



โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง
จังหวัดอุทัยธานี

ชื่อนิสิต นางสาวภัทราพร เตใจ

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง จังหวัดอุทัยธานี

นางสาวภัทราพร เตใจ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

STRATIGRAPHY AND STRUCTURAL GEOLOGY OF KHAO SAKAE KRANG,
CHANGWAT UNTHAI THANI

Ms.PATTARAPORN TEJO

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 _____

(อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย:	ลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง จังหวัดอุทัยธานี
นิสิตผู้ทำการวิจัย:	นางสาวภัทราพร เตใจ
ภาควิชา:	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา:	อาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล
ปีการศึกษา:	2558

บทคัดย่อ

เขาสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี เป็นภูเขาที่มีการวางตัวในแนวเหนือใต้ มีความสูง 150 เมตร และความยาวประมาณ 3.5 กิโลเมตร ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างชัณษาทูเพลค (Chainat duplex) (Smith *et al.*, 2007) โครงสร้างนี้เกิดจากการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงในช่วงไทรแอสซิกตอนปลายถึงช่วงโอลิโกซีน ทำให้เกิดการยกตัวของภูมิภาคโดยรอยเลื่อนที่มีการวางตัวในแนวเหนือใต้ อย่างไรก็ตามการเลื่อนแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงได้สิ้นสุดลง เมื่อมีแรงบีบอัดเกิดขึ้นในแนวเหนือใต้อันเป็นผลมาจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและยูเรเชีย ส่งผลให้รอยเลื่อนแม่ปิงมีการเลื่อนตัวแบบขวาเข้าตั้งแต่ช่วงไมโอซีนจนถึงปัจจุบัน

จากการศึกษาในภาคสนาม ข้อมูลลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง ได้ถูกนำมาศึกษาและวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อใช้ในการอธิบายสภาพแวดล้อมการสะสมตัวและลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวเขาสะแกกรัง จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าหินโพลีในพื้นที่ศึกษามีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวในทะเลลึกบริเวณลาดทวีป นอกจากนี้ยังพบว่าการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบตะกอนน้ำพารูปพัดใต้ทะเล และหินโพลีในพื้นที่ศึกษามีลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะการเลื่อนแบบแตกเปราะ (brittle deformation) นอกจากนี้หินโพลียังมีลักษณะโครงสร้างแบบดูเพลค ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกิดจากรอยเลื่อนย้อนโค้งที่มีระนาบรอยเลื่อนซ้อนทับกัน โดยมีการวางตัวที่ค่อนข้างอยู่ในแนวเหนือใต้ของทั้งระนาบรอยเลื่อนและการวางตัวของแนวเขาบ่งบอกรูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะหลักที่กระทำกับพื้นที่สอดคล้องกับการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแม่ปิงแบบซ้ายเข้า แต่ไม่พบหลักฐานการเปลี่ยนเป็นการเลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงของหินโพลีในพื้นที่ศึกษา

คำสำคัญ : เขาสะแกกรัง, ชัณษาทูเพลค, รอยเลื่อนแม่ปิง

Project title: STRATIGRAPHY AND STRUCTURAL GEOLOGY OF KHAO SAKAE KRANG,
CHANGWAT UTHAI THANI

Researcher: Ms.Pattaraporn Tejo

Department: Geology

Advisor: Dr.Sukonmeth Jitmahantakul

Academic Year: 2015

Abstract

Khao Sakae Krang, Amphoe Muang, Changwat Uthai Thani, is an elongate with 150 meters in height and approximately 3.5 km long. It situates within the Chainat duplex (Smith *et al.*, 2007) developed along the predominant sinistral Mae Ping Fault Zone. Both structures were formed during the Late Triassic to Oligocene. The duplex characterized by a series of N-S striking ridges, and is bounded to the north and south by NW-SE striking faults. However, the sinistral strike-slip motion of the Mae Ping Fault ended and changed to dextral movement due to a N-S compression; during the Miocene to the present.

Stratigraphic and structural data from field mapping were analyzed in order to explain the depositional environment and structural style of Khao Sakae Krang. The results suggest that sediments were deposited in the region of submarine fan and continental rise. Reverse faults imply that the rock within the ridge were deformed under sinistral brittle deformation. The occurrence of duplex structures are displayed by the NW-SE striking reverse faults. Apart from faults, the N-S trending of ridge is also the evidence of sinistral strike-slip motion of Mae Ping Fault. However, there is no evidence of dextral strike-slip motion found in Khao Sakae Krang outcrops, including other ridges within the modern Chainat duplex.

Key words : Khao Sakae Krang, Chianat duplex, Mae Ping Fault

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินี เจริญฐิติรัตน์ ที่ได้เสียสละเวลามาช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนาม และให้คำปรึกษาตลอดการศึกษานี้

ขอขอบคุณทีมโปรเจกต์ นายชนะกานต์ คุ่มฉาย นายธนพ ศิริพัฒนานุรักษ์ นางสาวภาชีณี โสโพธิ์ และนางสาววิรินทร์ อินทร์ทุ่ง ที่ได้ช่วยเหลือตลอดงานวิจัยนี้และเป็นผู้ช่วยในการออกภาคสนาม นอกจากนี้ขอขอบคุณนายกษิตศ หล่อศุภสิริรัตน์ นายธนภัทร วงษ์สวัสดิ์ นายณัฐ ศรีสุรักษ์และนายวิศรุต เตชะสุวรรณวงศ์ ผู้ช่วยในการออกภาคสนาม โดยช่วยเหลือด้านการเก็บข้อมูลชนิดหิน ข้อมูลลำดับชั้นหิน ข้อมูลธรณีวิทยา โครงสร้าง และวัดค่าข้อมูลโครงสร้างต่างๆในพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆจีโอรุ่น 56 ทุกคนที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 พื้นที่ศึกษา	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
1.5 โครงสร้างรายงาน	4
บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป	
2.1 ธรณีวิทยาทั่วไปของประเทศไทย	5
2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	11
2.2.1 ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง	11
2.2.2 ลักษณะธรณีแปรสัณฐาน	14
บทที่ 3 ระเบียบวิจัย	
3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น	15
3.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
3.1.2 ศึกษาวิธีเก็บข้อมูลลำดับชั้นหินและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง	16
3.2 สำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม	16
3.3 รวบรวมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและตีความความผลการศึกษา	16
3.4 อภิปรายผลการศึกษา	16
3.5 สรุปผลการศึกษา	17
3.6 นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน	17
3.7 ข้อจำกัดในการวิจัย	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง	19
4.1.1 หน่วยหิน A	19
4.1.2 หน่วยหิน B	19
4.1.3 หน่วยหิน C	21
4.1.4 หน่วยหิน D	21
4.1.5 หน่วยหิน E	21
4.2 ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง	24
4.2.1 การวางตัวของชั้นหิน	24
4.2.2 ระบายรอยเลื่อนและรอยแตก	24
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	
5.1 สภาพแวดล้อมการสะสมตัว	30
5.2 วิวัฒนาการโครงสร้าง	30
5.2.1 การเกิดรอยเลื่อนย้อน	30
5.2.2 การเกิดสันเขาแนวเหนือใต้	32
5.3 วิวัฒนาการการแปรสัณฐาน	35
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	41

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ชัยนาทอุพเพลค และรอยเลื่อนมีพลัง บริเวณภาคเหนือและตอนกลางของประเทศไทย	2
รูปที่ 1.2	ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเขาสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี	3
รูปที่ 2.1	แบบจำลองธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและการพัฒนาของแนวภูเขาไฟสุโขทัย ในช่วงยุคคาร์บอนิเพอร์รัสถึงยุคจูแรสซิก	6
รูปที่ 2.2	(a-f) การทดลองการบ่มในดินน้ำมันโดยผลึกไม้เข้าไปข้างในและเกิดรอยเลื่อนแบบเป็นชั้นๆ เลข 1 และ 2 ในรูป (f) คือแผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแผ่นจีนตามลำดับ (g) แผนที่แสดงการแปรสัณฐานของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตัวเลขในลูกศรใหญ่เป็นเหตุการณ์การหนีหาย ในช่วง 50-20 ล้านปีและในช่วง 20 ล้านปี-ปัจจุบัน	8
รูปที่ 2.3	แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	9
รูปที่ 2.4	(a) แผนที่ธรณีวิทยาลำดับชุด 1501S ระวัง ND 47-3 มาตรฐาน 1: 250,000 จังหวัด นครสวรรค์ จัดให้เขาสะแกกรังอยู่ในหน่วยหินยุคไซลูเรียนดีโวเนียน หินเชิร์ตเขากบ (SDc) ส่วน (b) แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์ จัดให้เขาสะแกกรังอยู่ในหน่วยหินแปรยุคไซลูเรียนดีโวเนียน (SD)	12
รูปที่ 2.5	แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์และแสดงเขต โดยเขาสะแกกรังถูกจัดให้อยู่ในหน่วยหินเพอร์เมียนเชิร์ตเขากบ ซึ่งอยู่ในเขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย	13
รูปที่ 3.1	แผนผังแสดงลำดับชั้นตอนในระเบียบวิจัย	18
รูปที่ 4.1	ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง สามารถแบ่งลักษณะหินในพื้นที่ศึกษาได้เป็น 5 หน่วยหิน ตามลำดับการสะสมตัวของชั้นหิน	20
รูปที่ 4.2	หน่วยหิน A หินเชิร์ต สีเทาถึงสีเทาเข้ม ชั้นหินหนา 0.5-15 เซนติเมตร บางส่วนมีชั้นบางๆ ของหินดินดานแทรกระหว่างชั้นหิน มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $148^{\circ}/42^{\circ}\text{SW}$	20
รูปที่ 4.3	หน่วยหิน B หินดินดานเนื้อปนซิลิกา สีน้ำตาลอ่อน ซึ่งพบหินเชิร์ตซึ่งประกอบด้วยซิลิกา สีเทาถึงสีเทาเข้มสะสมตัวเป็นชั้นบางๆและเลนส์ แทรกอยู่ในชั้นหินดินดาน มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $160^{\circ}/40^{\circ}\text{SW}$	22
รูปที่ 4.4	หน่วยหิน C หินดินดาน มีสีฝูสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม สะสมตัวอย่างต่อเนื่องเป็นชั้นบางๆ ลักษณะของหินโคลมีความนุ่มมาก มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $175^{\circ}/28^{\circ}\text{SW}$	22
รูปที่ 4.5	หน่วยหิน D หินทรายแทรกสลับกับหินดินดาน มีสีฝูสีน้ำตาลอ่อนและสีน้ำตาลเทา พบเป็นหินทรายเม็ดละเอียด สะสมตัวแทรกสลับกันกับหินดินดานชั้นบางอย่างต่อเนื่อง มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $210^{\circ}/20^{\circ}\text{SE}$	23

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 หน่วยหิน E หินทรายเม็ดละเอียด สีฝุ่น้ำตาลอ่อน มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $171^{\circ}/23^{\circ}\text{SW}$	23
รูปที่ 4.7 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนย้อนหลักของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาลงบน กำหนดตำแหน่งในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า แสดงการกระจายตัวของข้อและความหนาแน่นการกระจายตัวของระนาบรอยเลื่อนย้อนหลักในพื้นที่ศึกษามีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้	25
รูปที่ 4.8 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 1 (b) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 3 ซึ่งแสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่สำคัญ	26
รูปที่ 4.9 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 1 แสดง (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างกายภาพ ซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนย้อนในพื้นที่หลายครั้ง ทำให้ชั้นหินบางบริเวณมีลักษณะคดโค้งจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน	27
รูปที่ 4.10 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 3 จุดที่ 1 แสดง (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างกายภาพ ซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนย้อน ทำให้ชั้นหินเกิดระนาบซ้อนทับกันเป็นชั้นหนา	28
รูปที่ 4.11 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 3 จุดที่ 2 แสดง (b) ลักษณะชั้นหินที่วางตัวเกือบตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งเป็นผลจากแรงกระทำต่อพื้นที่ที่ค่อนข้างมาก ทำให้เกิดรอยเลื่อนและมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางตัวของชั้นหินในลักษณะนี้	29
รูปที่ 5.1 แบบจำลองสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของหินตะกอนเขาสะแกกรัง โดยเชื่อว่าเป็นการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมตะกอนน้ำพารูปพัดใต้ทะเล บริเวณฐานของลาดทวีปที่แผ่กระจายลงสู่พื้นมหาสมุทร	31
รูปที่ 5.2 แบบจำลองการเกิดแนวสันเขาเหนือใต้ภายในชัณษาตุพลค	33
รูปที่ 5.3 (a) ลักษณะของโครงสร้างกายภาพจากการหดตัวของรอยเลื่อนในแนวระดับ จากการเคลื่อนที่ผ่านและอัดกันของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงเกิดเป็นชัณษาตุพลค (b) การเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือใต้	34
รูปที่ 5.4 แบบจำลองวิวัฒนาการของรอยเลื่อนแม่ปิงและแอ่งตะกอนยุคเทอร์เชียรี	37

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	สรุปเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานที่สำคัญและการเกิดหินอัคนีในประเทศไทย	10
ตารางที่ 5.1	สรุปเหตุการณ์การเกิดเขาสะแกกรังภายในชัณษาทุดูเพลค ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย โดยผลการศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องกันกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

รอยเลื่อนแม่ปิงและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ เป็นกลุ่มรอยเลื่อนขนาดใหญ่ที่สำคัญของประเทศไทย กลุ่มรอยเลื่อนทั้งสองวางตัวขนานกันในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ จากการศึกษาของ Smith *et al.* (2007) กล่าวว่า การเลื่อนแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้เกิดโครงสร้างชัณษาตดูเพลค (Chainat duplex) ในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศ (รูป 1.1) ทำให้เกิดการยกตัวของภูมิประเทศเกิดเป็นแนวสันเขาในแนวเหนือใต้หลายแนว (Cunningham *et al.*, 2007) โดยรอยเลื่อนภายในชัณษาตดูเพลคมีการวางตัวในแนวเหนือใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ จากการศึกษาของ Morley *et al.* (2007) พบว่าในยุคไทรแอสสิกตอนปลายจนถึงสมัยโอลิโกซีนนั้น รอยเลื่อนแม่ปิงนี้มีการเลื่อนแบบซ้ายเข้าและเปลี่ยนเป็นแบบขวาเข้าในสมัยไมโอซีน จากหลักฐานการกลับทิศของแอ่งย่อยละหาน (Lahan sub-basin) ของแอ่งพิชญะโลกในบริเวณใกล้เคียง อย่างไรก็ตามยังไม่ปรากฏหลักฐานของหินโผล่ที่แสดงถึงอิทธิพลของการเลื่อนแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงในบริเวณชัณษาตดูเพลค ซึ่งต้องอาศัยการสำรวจภาคสนามเพื่อหาหลักฐานอธิบายวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชัณษาตดูเพลคตั้งแต่ยุคไทรแอสสิกจนถึงปัจจุบัน

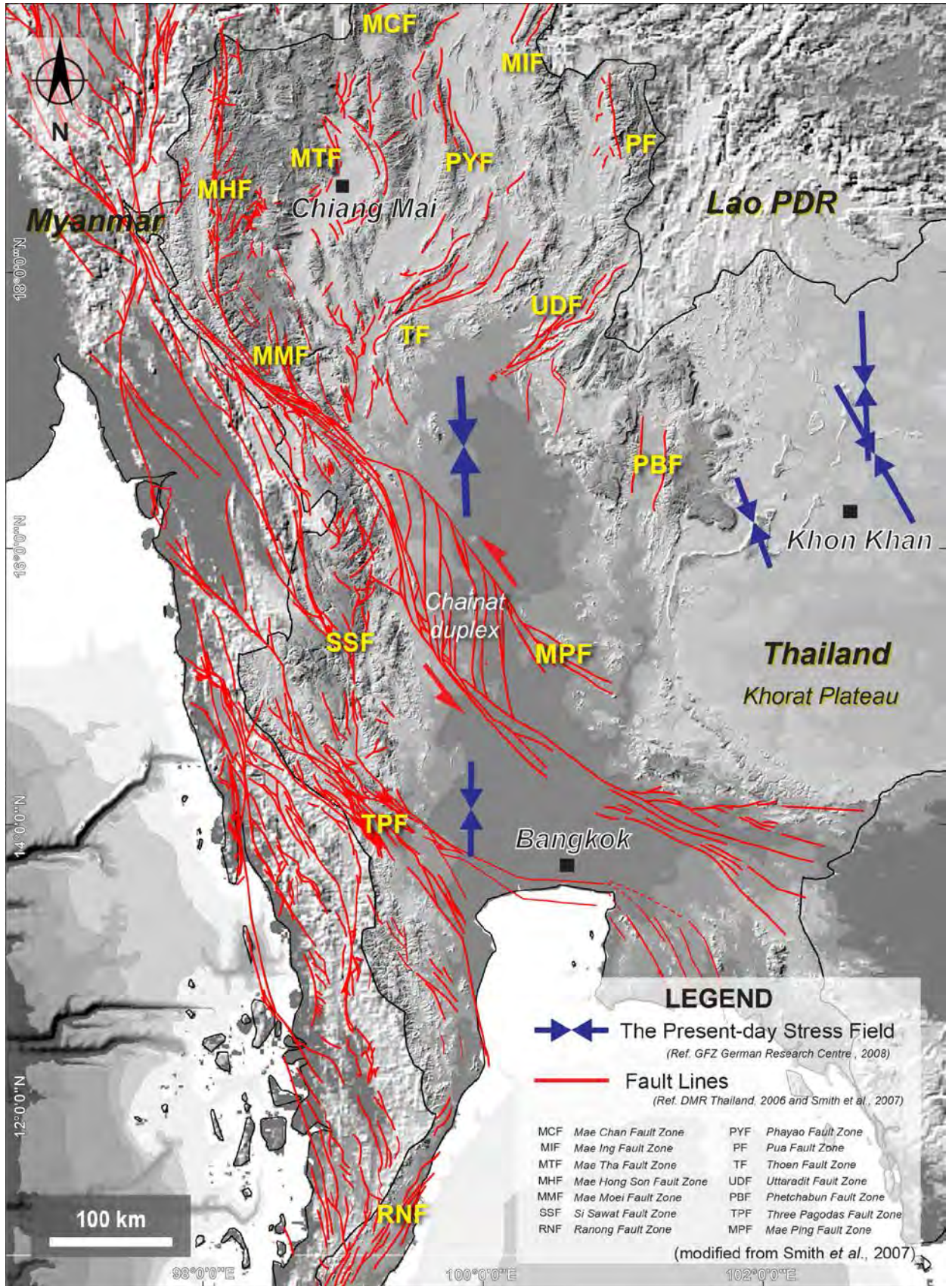
พื้นที่เขาสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี อยู่ในเขตรอยเลื่อนแม่ปิง และจัดอยู่ในโครงสร้างชัณษาตดูเพลค การศึกษาเขาสะแกกรังในครั้งนี้ เน้นศึกษาในเรื่องของลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง เพื่อหาลำดับชั้นหิน ความสัมพันธ์ของกับธรณีวิทยาโครงสร้างใหญ่ในชัณษาตดูเพลค และวิเคราะห์หาวิวัฒนาการโครงสร้างของเขาสะแกกรัง

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อจัดลำดับชั้นของหินในเขาสะแกกรัง
- เพื่ออธิบายลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างและวิวัฒนาการโครงสร้างของเขาสะแกกรัง

1.3 พื้นที่ศึกษา

เขาสะแกกรัง เป็นแนวเขาที่อยู่ภายในชัณษาตดูเพลค ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี มีความสูง 150 เมตรและความยาวประมาณ 3.5 กิโลเมตร โดยแนวเขามีการวางตัวในแนวทิศเหนือใต้ (รูปที่ 1.2) ซึ่งพื้นที่ศึกษาตั้งใกล้กับถนนหมายเลข 3221 บริเวณสถานีตำรวจภูธรจังหวัดอุทัยธานี แบ่งออกเป็น 4 ตำแหน่งศึกษา โดยลักษณะของหินโผล่ที่พบเป็นเหมืองขุด (quarry) มีความสูง 3 เมตรและความยาว 70 เมตร



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ชัยนาทดูเพล็กซ์ และรอยเลื่อนมีพลัง บริเวณภาคเหนือและตอนกลางของประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Smith et al., 2007)



รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเขาสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี แนวเขาวางตัวในแนวเหนือใต้ โดยมีพื้นที่ศึกษา (กรอบสีแดง) อยู่บริเวณถนนหมายเลข 3221 ใกล้กับสถานีตำรวจจังหวัดอุทัยธานี

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาระณีวิทยาแนวเขาสะแกกรัง แบ่งออกเป็น

- การศึกษาลำดับชั้นหิน จากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งจะได้ข้อมูลชนิดหิน ความสัมพันธ์ของชั้นหิน และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาอธิบายสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนในอดีตได้
- การศึกษาระณีวิทยาโครงสร้าง โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม เช่น ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) ข้อมูลรอยเลื่อน (fault) และข้อมูลแนวแตก (joint) เพื่อศึกษาระณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจะนำมาใช้อธิบายวิวัฒนาการโครงสร้างและสร้างแบบจำลองวิวัฒนาการของเขาสะแกกรัง

โดยจุดศึกษามีข้อจำกัดคือ หินโผล่มีความผุพัง และลักษณะของธรณีวิทยาโครงสร้างที่ซับซ้อน ซึ่งทำให้ยากต่อการศึกษา การวิเคราะห์ข้อมูลและความถูกต้องแม่นยำของผลการศึกษา นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในแง่ของอายุของหินในพื้นที่ศึกษา โดยการศึกษาของ Saesaengseerung *et al.* (2007) ได้ศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียในหินเชิร์ต ทำให้ทราบอายุการสะสมตัวของหินในพื้นที่ศึกษา แต่ไม่ทราบอายุการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการเกิดแนวเขาสะแกกรังที่ได้รับอิทธิพลจากการเลื่อนแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง

1.5 โครงสร้างรายงาน

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของการศึกษางานวิจัยนี้ วัตถุประสงค์ พื้นที่ศึกษา และขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้
- บทที่ 2 ธรณีวิทยาทั่วไป กล่าวถึงวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศและธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา โดยเป็นการนำเสนอข้อมูลโดยภาพรวม เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับธรณีวิทยาในเรื่องต่างๆเชื่อมโยงกับงานวิจัย ซึ่งได้นำมาอ้างอิงในการอภิปรายและสรุปผลในบทต่อไป
- บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย กล่าวถึง วิธีการและขั้นตอนการทำงานวิจัย การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม วิธีการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล และข้อจำกัดในงานวิจัยครั้งนี้
- บทที่ 4 ผลการศึกษา กล่าวถึง ผลการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม โดยมีข้อมูลลักษณะหิน ลำดับชั้นหิน และธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา
- บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา กล่าวถึง ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งสามารถใช้ในการอธิบายสภาพแวดล้อมการสะสมตัว วิวัฒนาการโครงสร้าง และวิวัฒนาการการแปรสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา
- บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา กล่าวถึง ผลที่ได้จากงานวิจัยเพื่อตอบอธิบายลักษณะทางธรณีวิทยาตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

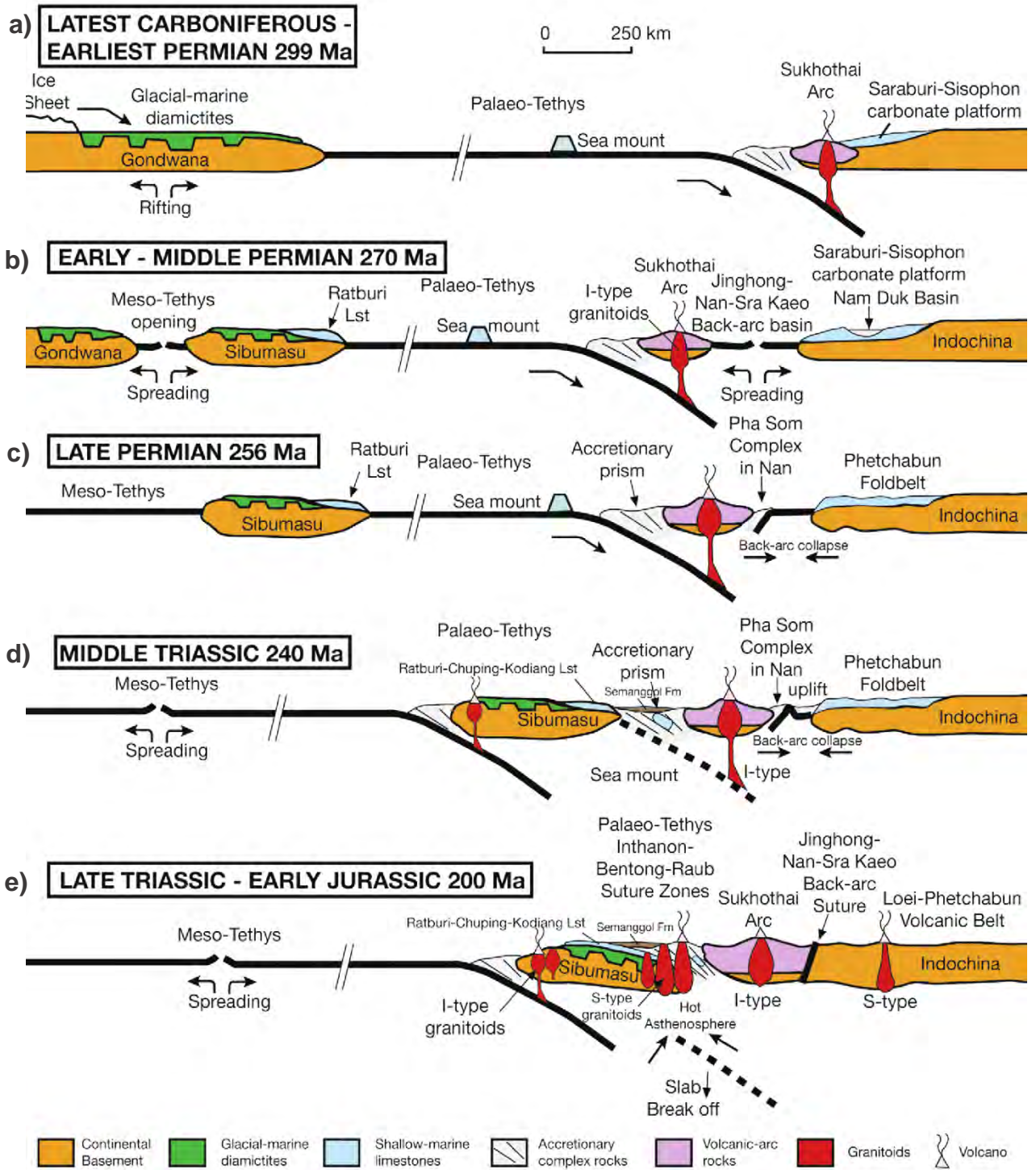
บทที่ 2

ธรณีวิทยาทั่วไป

บทนี้กล่าวถึงข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปครอบคลุมพื้นที่ระดับประเทศและพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยข้อมูลทางด้านธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา โดยเนื้อหาของบทนี้เป็น การนำเสนอข้อมูลโดยภาพรวม เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับธรณีวิทยาในเรื่องต่างๆ เชื่อมโยงกับงานวิจัย ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดจะถูกอ้างอิงในการอภิปรายและสรุปผลในบทต่อไป

2.1 ธรณีวิทยาทั่วไปของประเทศไทย

ในพื้นที่ประเทศไทยนั้นประกอบด้วยแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ (Sibumasu Plate) และแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่า (Indochina Plate) ซึ่งทั้งสองแผ่นนั้นต่างมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (convergence plate motion) จากการศึกษาของ Metcalfe (2013) ในยุคติวเวเนียนตอนปลายถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นได้เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรที่รองรับทะเลโบราณพาลีโอเทธิส (Paleotethys) โดยมุดตัวลงไปได้แผ่นจุลทวีปอินโดไชน่าและเกิดการแทรกดันตัวของหินหนืดบริเวณศูนย์กลางรอยแยกระหว่างแผ่นไซบูมาสุและแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่า (รูปที่ 2.1a) ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นเกิดการแยกตัวของแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่าขึ้นบริเวณขอบแผ่น ทำให้เกิดเป็นแอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟ (back-arc basin) และแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Sukhothai arc) ในขณะเดียวกันในส่วนของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุได้มีการแยกตัวออกมาจากแผ่นทวีปคอนควานาเกิดเป็นทะเลโบราณมีโซเทธิส (Meso-Tethys) (รูปที่ 2.1b) โดยในช่วงเวลาดังกล่าว ตำแหน่งของแผ่นจุลทวีปเหล่านี้ไม่ได้อยู่ติดกัน โดยแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่าตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรเมื่อเทียบกับตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรในปัจจุบันและตำแหน่งของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุตั้งอยู่บริเวณซีกโลกใต้ของโลกเมื่อเทียบกับตำแหน่งของซีกโลกในปัจจุบัน จากนั้นเกิดการขยายตัวของทะเลโบราณมหายุคมีโซโซอิก ทำให้แผ่นจุลทวีปไซบูมาสุเริ่มมีการเคลื่อนที่ขึ้นมาจากทางซีกโลกใต้ เข้ามาใกล้แผ่นจุลทวีปอินโดไชน่าที่อยู่บริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรมากขึ้นเรื่อยๆ การเคลื่อนตัวเข้าใกล้ของสองแผ่นจุลทวีปนี้ทำให้บางส่วนของทะเลโบราณมหายุคพาลีโอโซอิกมีการมุดตัวและเกิดการสะสมตะกอนแบบพอกพูน (accretionary prism) (รูปที่ 2.1c) ขึ้นจนกระทั่งถึงช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้น แอ่งสะสมตะกอนหลังแนวภูเขาไฟก็มีการปิดแอ่ง เนื่องจากแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่าและแนวภูเขาไฟสุโขทัยเริ่มมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน และเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทะเลบริเวณหลังแนวภูเขาไฟลงใต้แนวภูเขาไฟสุโขทัย ทำให้มีลักษณะของแนวภูเขาไฟเกิดเป็นแนวยาว และในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้น เกิดการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุกับแนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ทำให้แผ่นจุลทวีปไซบูมาสุมีการมุดตัวลงใต้แนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่า (รูปที่ 2.1d) จนกระทั่งถึงยุคจูแรสซิกตอนต้นการมุดตัวได้สิ้นสุดลงและทะเลโบราณมหายุคพาลีโอโซอิกได้ปิดตัวลง ทำให้แผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ แนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นจุลทวีปอินโดไชน่าได้รวมเป็นแผ่นทวีปแผ่นเดียวกัน ซึ่งกระบวนการชนนี้เกิดจากการขยายตัวของทะเลโบราณมหายุคมีโซโซอิก (รูปที่ 2.1e)

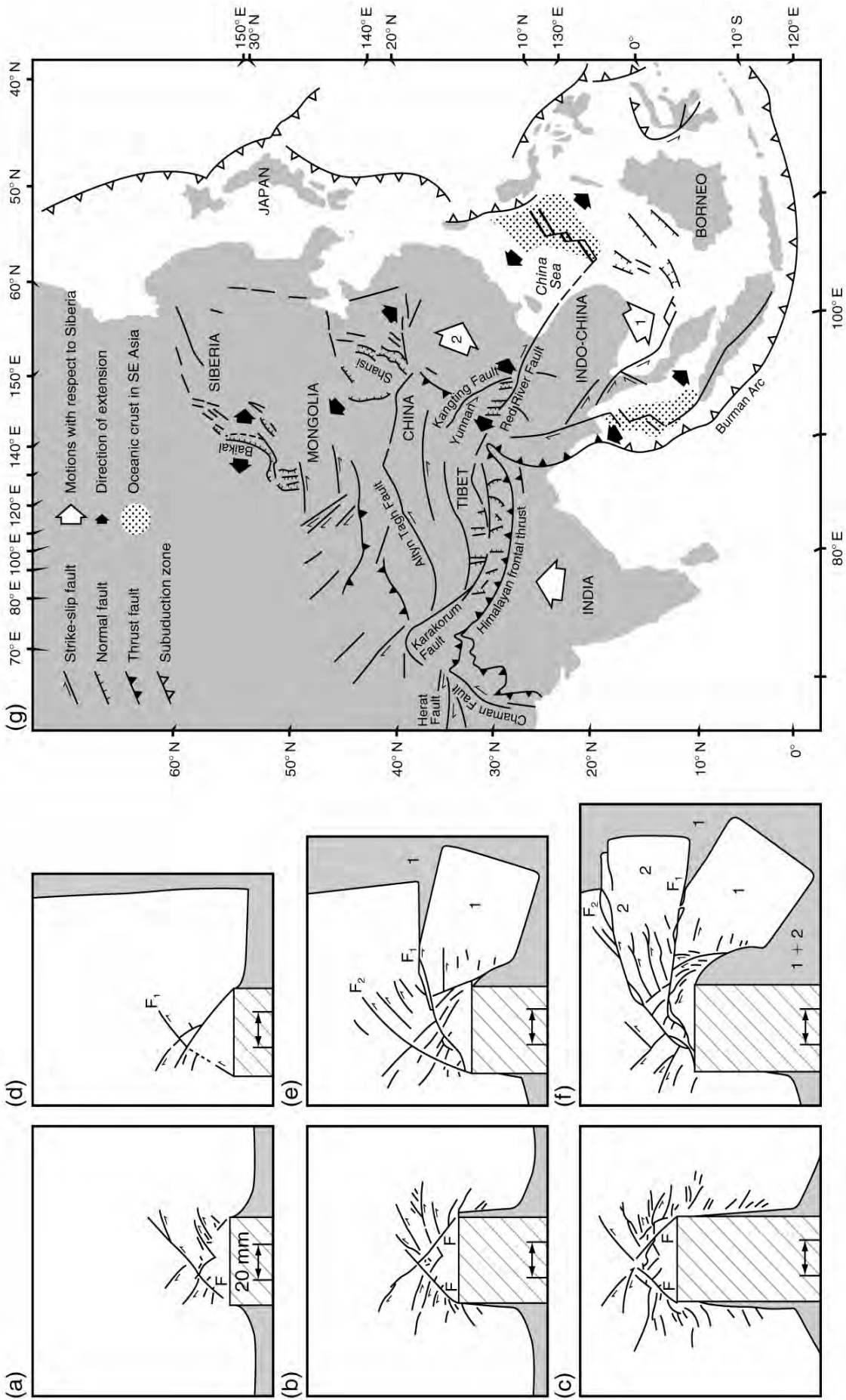


รูปที่ 2.1 แบบจำลองธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและการพัฒนาของแนวภูเขาไฟสุโขทัย ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคจูแรสซิก (Metcalf, 2013)

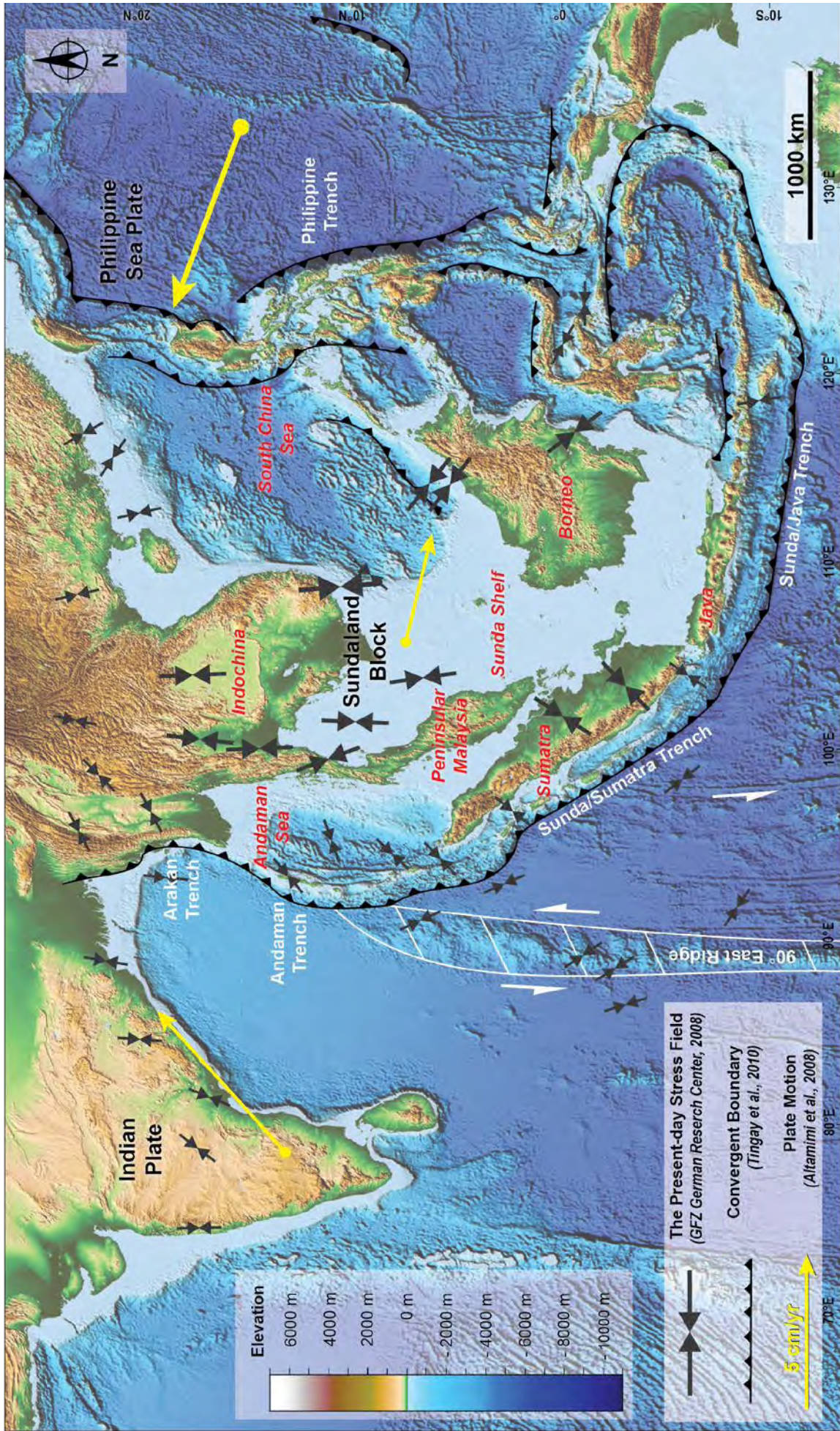
ต่อมาในช่วงมหายุคซีโนโซอิกเป็นช่วงที่มีการเปิดแอ่งทรุดตัวในแนวเหนือใต้ โดยแอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิกนี้สามารถเห็นได้ชัดจากแอ่งสะสมตะกอนที่มีทั้งบนบกและในทะเล ซึ่งแอ่งสะสมตะกอนต่างๆ เหล่านี้เกิดจากอิทธิพลของธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการชนกันระหว่างแผ่นทวีปอินเดียกับแผ่นทวีปยูเรเชียในสมัยอีโอซีนตอนต้น ทำให้ชั้นหินต่างๆ ในประเทศไทยถูกแรงบีบอัดในแนวเหนือใต้ เป็นผลให้เกิดการคดโค้งของเทือกเขาในภาคเหนือและเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนต่างๆ ในประเทศไทย เช่น รอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และแนวรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนระนอง-คลองมะรุ่ย

จากการทดลองการบุ้ม (indentation experiments) โดย Tapponier *et al.* (1986) พบว่าผลของการชนกันนี้ส่งผลทำให้แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยมีการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือที่เรียกกันว่า “เหตุการณ์การหนีหาย (escape tectonic)” (รูปที่ 2.2) นอกจากนี้ผลของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนทำให้เกิดการเปิดออกของแอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิกของประเทศไทยดังปรากฏให้เห็นในปัจจุบันเนื่องจากแรงอัดในแนวเหนือใต้ และมีผลทำให้เกิดรอยเลื่อนในแนวระดับ เช่น รอยเลื่อนแม่ปิงได้หยุดเคลื่อนตัว จากนั้นเกิดการหยุดการหมุนตัวตามเข็มนาฬิกาของแผ่นอินโดจีนมาได้ ทำให้เกิดการดันตัวสูงขึ้นของแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ อีกทั้งยังส่งผลทำให้เกิดการยกตัวของเทือกเขาภูพานและเทือกเขาพนมดงรักตามบริเวณขอบแอ่งโคราช (Sattayarak & Polachan, 1990) ในขณะเดียวกันกลุ่มรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้เริ่มมีการเคลื่อนตัวไปแบบขวาเข้า เช่น รอยเลื่อนแม่ปิงและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ส่วนรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้เริ่มมีการเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้า เช่น รอยเลื่อนระนอง-คลองมะรุ่ย

หลังจากนั้นทวีปเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ได้เกิดการผ่อนคลายแรง (relaxing stage) โดยมีผลทำให้บริเวณทางด้านตะวันตกเกิดเป็นแอ่งที่ไม่ชัน พร้อมกับการสะสมตัวของตะกอนภายในแอ่งยูคเทอเรีย โดยการพัฒนตัวของแอ่งนั้นเกิดจากรอยเลื่อนปกติในแนวเหนือใต้ เนื่องจากเปลือกโลกในช่วงระยะนี้เกิดการขยายตัวเกือบขนานกับแอ่งลึกลับสมุทรชาในปัจจุบัน อันเกิดจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกใต้มหาสมุทรดูดตัวเข้าไปใต้ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งในปัจจุบันมีการมุดตัวด้วยอัตราการเคลื่อนที่ 5 เซนติเมตรต่อปี (รูปที่ 2.3) นอกจากนี้ในบางพื้นที่ยังพบตะกอนยุคควอเทอร์นารีตกสะสมตัวในบริเวณที่สูงกว่าและพบตะพักลำน้ำ (alluvial terrace) ในบริเวณขอบที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งตะพักลำน้ำเหล่านี้แสดงถึงแผ่นดินที่มีการทรุดตัวอย่างรวดเร็วในช่วงยุคควอเทอร์นารี ซึ่งลักษณะธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยสามารถสรุปเป็นลำดับเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานที่สำคัญในและการเกิดหินอัคนีในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 (a-f) การทดลองการบุ่ม (indentation experiments) ในดินน้ำมันโดยผลึกไม่เข้าไปข้างในและเกิดรอยเลื่อนแบบเป็นซั้งๆ เลข 1 และ 2 ในรูป (f) คือแผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแผ่นจีนตามลำดับ (g) แผนที่แสดงการแปรสัณฐานของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตัวเลขในลูกศรใหญ่เป็นเหตุการณ์การหนีภัย (escape event) ในช่วง 50-20 ล้านปี (ลูกศรตัวเลขน 1) และในช่วง 20 ล้านปี-ปัจจุบัน (ลูกศรตัวเลขน 2) (Kearey *et al.*, 2009; ตัดแปลงจาก Tapponnier *et al.*, 1986)



รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแสดงทิศทางของแนวแรงที่กระทำต่อแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบัน

(ลูกศรสีเหลือง) (ตัดแปลงจาก Tingay et al., 2010; ETOPO Image from Varner J. and E. Lim, CIRES, University of Colorado at Boulder, 2008)

ตารางที่ 2.1 สรุปเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานที่สำคัญและการเกิดหินอัคนีในประเทศไทย โดยเส้นสีน้ำเงิน แสดงช่วงเวลาและความแรงในการแปรสัณฐาน วงสีชมพูแสดงช่วงเวลาของการเกิดกระบวนการเกิดหินอัคนี (ดัดแปลงจาก 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.
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. Presumed Silurian-Devonian rifting of North and South China and Indochina from Gondwana.
485		Ordovician			452-430 Ma heating event in Sibumasu.
		Cambrian			

2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี อยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ซึ่งมีลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษาที่สำคัญ ประกอบด้วย ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง และธรณีแปรสัณฐานที่ส่งผลต่อพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

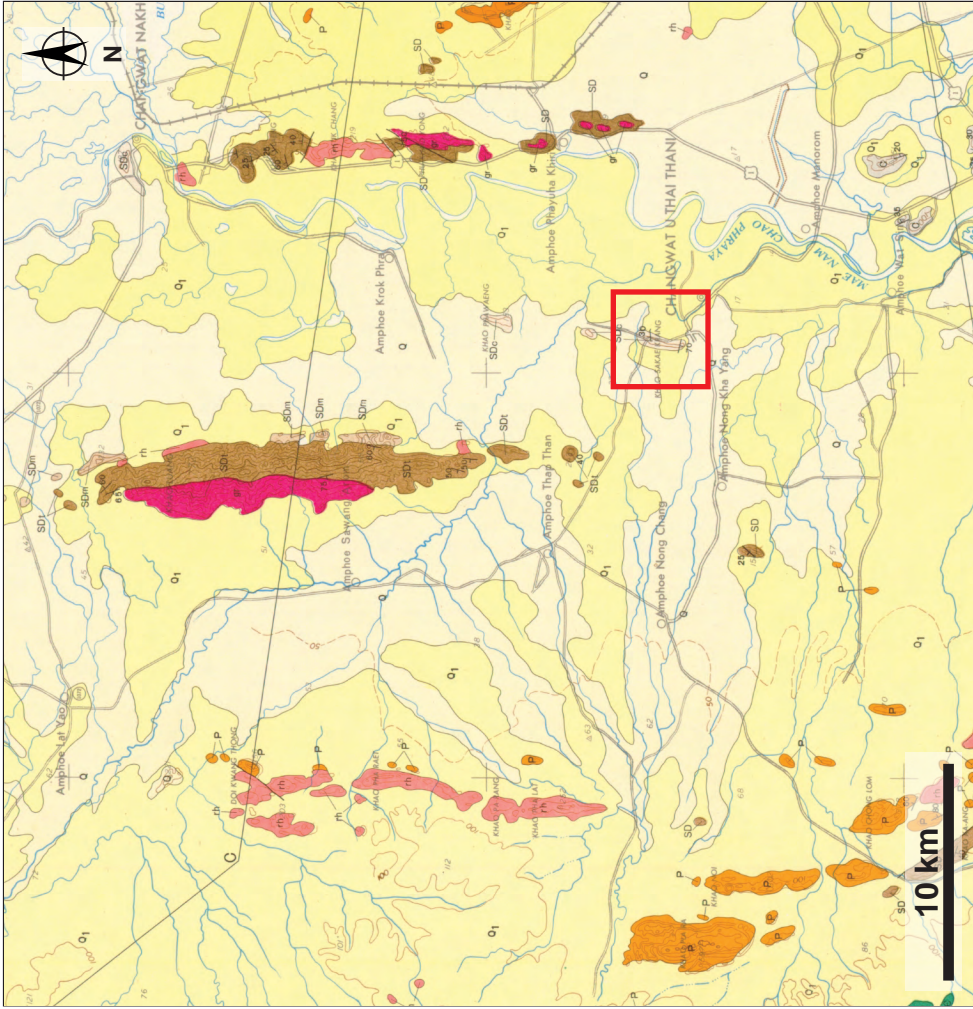
2.2.1 ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง

การจัดลำดับชั้นหิน ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากชั้นหินต่างๆ ขาดความต่อเนื่อง โดยพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง ตั้งอยู่ในตอนล่างของเขตรอยเลื่อนแม่ปิง มีพื้นที่บริเวณข้างเคียงประกอบด้วยหินหลากหลายช่วงอายุตั้งแต่ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียนถึงควอเทอร์นารี โดยอ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยาลำดับชุด 1501S ระวัง ND 47-3 มาตราส่วน 1: 250,000 จังหวัดนครสวรรค์ โดยกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ. 2519 ซึ่งได้จัดให้เขาสะแกกรังอยู่ในหน่วยหินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน หินเชิร์ตเขากบ (SDc) พบเป็นหินเชิร์ตและหินทัฟฟ์แทรกสลับกับหินดินดาน (รูปที่ 2.4a) ส่วนแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์ โดยกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ.2550 จัดให้เขาสะแกกรังจัดอยู่ในหน่วยหินแปรยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (SD) ประกอบด้วย หินฟิลไลต์ หินฟิลไลต์เนื้อคาร์บอนและหินฟิลไลต์เนื้อซิลิกา (รูปที่ 2.4b)

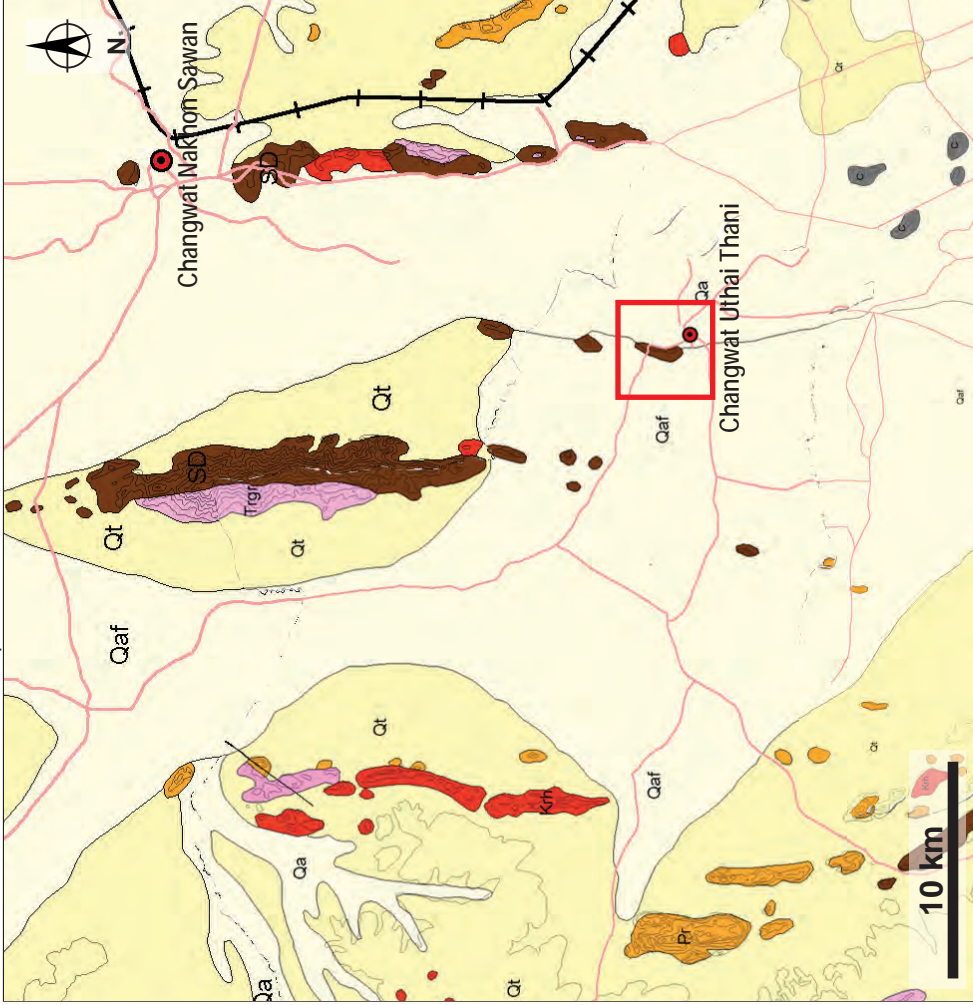
จากแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณภาคกลางของประเทศไทยโดย Ueno *et al.* (2012) จัดให้เขาสะแกกรังอยู่เขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย เป็นหน่วยหินยุคเพอร์เมียนหินเชิร์ตเขากบ (Permian Chert Khao Kob) ซึ่งหินเชิร์ตเขากบมีที่มาจากเขากบทางตอนเหนือของจังหวัดนครสวรรค์และเขาโดด (monadnock) หลายแห่งทางตอนเหนือของจังหวัดอุทัยธานี (รูปที่ 2.5) ในหน่วยหินนี้ประกอบด้วยหินตะกอนเนื้อประสม ได้แก่ หินดินดาน หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อละเอียดที่มีส่วนประกอบของซิลิกาและหินเชิร์ต จากหลักฐานการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรีย (radiolaria) ในชั้นหินเชิร์ตบริเวณภาคกลางของประเทศไทยโดย Saesaengseerung *et al.* (2007) ซึ่งสามารถจำแนกเรดิโอลาเรียได้ 2 ชนิด คือ ชนิด *Pseudoalbaillella lomentaria* มีช่วงอายุกระจายตัวอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้น และชนิด *Follicucullus scholasticus* มีช่วงอายุกระจายตัวอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางจนถึงช่วงต้นยุคเพอร์เมียนตอนปลาย บ่งบอกว่าชั้นหินมีอายุการสะสมตัวในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นจนถึงต้นยุคเพอร์เมียนตอนปลาย

ข้อมูลลักษณะหินและอายุของซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียในหินเชิร์ตเขากบ สามารถเทียบสัมพันธ์ได้กับหินเชิร์ตขามู (Khanu Chert) ซึ่งพบในพื้นที่อำเภอขามเฒ่าบุรี ทางตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดกำแพงเพชร และยังพบที่บริเวณเขาวงพระจันทร์ทางตะวันตกของอำเภอยางชุมน้อย จังหวัดสุโขทัย ซึ่งเป็นพื้นที่หินแบบฉบับของหินเชิร์ตขามู (Bunopas, 1981)

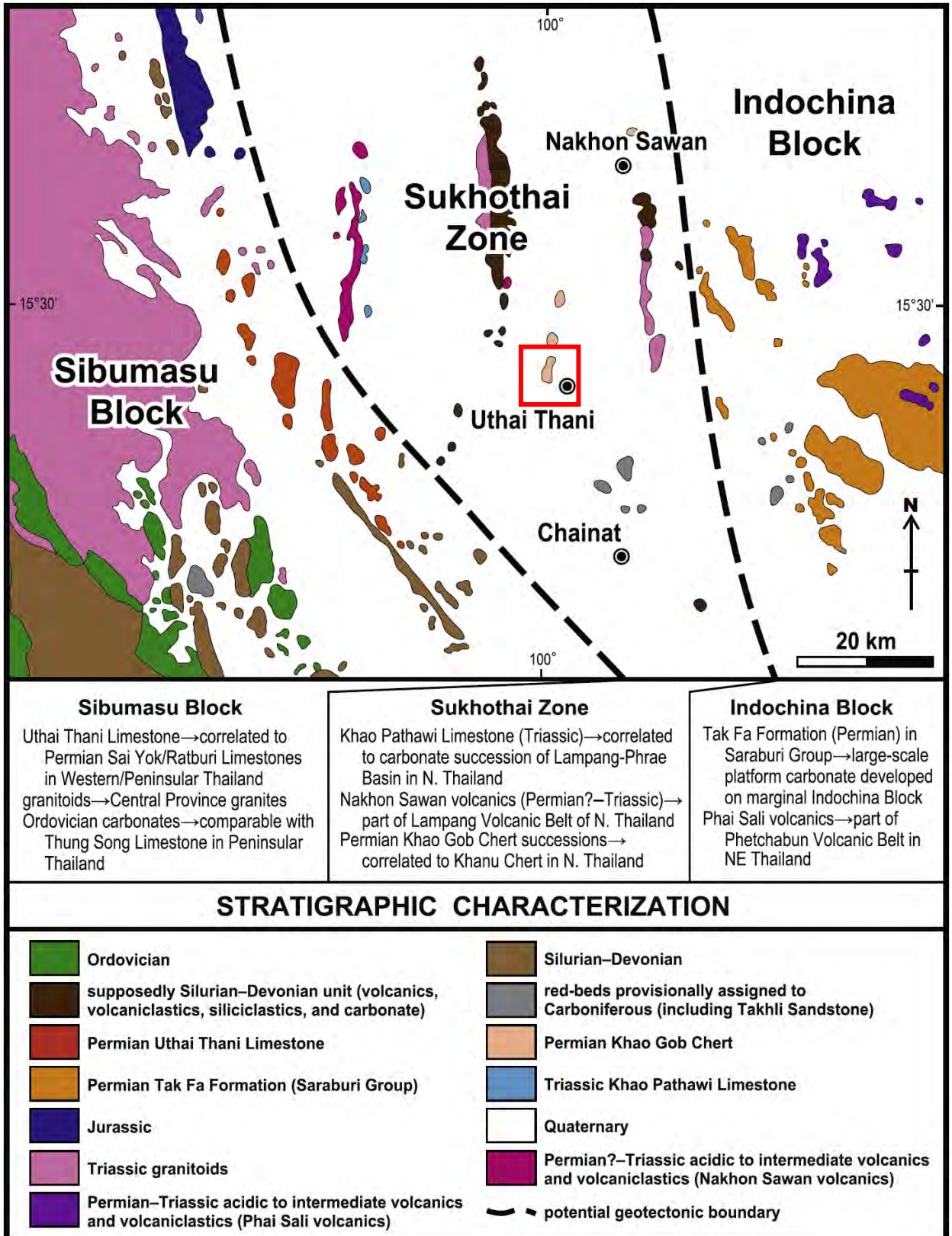
า) แผนที่ธรณีวิทยา ราวาง ND 47-3 จังหวัดนครสวรรค์ โดยกรมทรัพยากรธรณี (พ.ศ. 2519)



บ) แผนที่ธรณีวิทยารายจังหวัด จังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์ โดยกรมทรัพยากรธรณี (พ.ศ. 2550)



รูปที่ 2.4 (a) รูปถ่าย แผนที่ธรณีวิทยาลำดับชุด 15015 ราวาง ND 47-3 มาตราส่วน 1:250,000 จังหวัดนครสวรรค์ (DMR, 1976) จัดให้เขาสะแกกรัง (กรอบสีแดง) อยู่ในหน่วยหินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน หินเชิร์ตเขากบ (SDc) ประกอบด้วยหินเชิร์ตและหินฟอสเฟตที่แปรสภาพกลับกับหินดินดาน ส่วน (b) รูปขวา แผนที่ธรณีวิทยารายจังหวัด จังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์ (DMR, 2007) จัดให้เขาสะแกกรังอยู่ในหน่วยหินแปรยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (SD) ประกอบด้วยหินฟิลไลต์เนื้อคาร์บอนและหินฟิลไลต์เนื้อซิลิกา



รูปที่ 2.5 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณจังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์และแสดงเขต โดยเขาสะแกกรังถูกจัดให้อยู่ในหน่วยหินเพอร์เมียนเซิร์ตเขากบ (กรอบสีแดง) ซึ่งอยู่ในเขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย (Ueno *et al.*, 2012)

2.2.2 ลักษณะธรณีแปรสัณฐาน

ธรณีวิทยาโครงสร้างและวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยนั้นมีความสัมพันธ์กับการก่อเทือกเขาหิมาลัย (Himalayan Orogeny) ซึ่งเป็นกระบวนการก่อเทือกเขาในมหายุคซีโนโซอิก โดยการก่อเทือกเขาหิมาลัยพัฒนามาจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชียตั้งแต่สมัยอโอซีนถึงสมัยโอลิโกซีน ซึ่งส่งผลมายังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากแนวคิการบ่มและหนีภัยด้านข้าง (indentation and lateral escape) โดย Tapponnier *et al.* (1986) ผลของแผ่นทวีปอินเดียที่แกร่งกว่าชนกับแผ่นทวีปยูเรเชียที่อ่อนกว่าทำให้เกิดรอยเลื่อนด้านข้างหรือเหลี่ยมข้างคล้ายรูปสามเหลี่ยม (รูปที่ 2.2) ที่มีการเคลื่อนตัวในแนวระดับทั้งแบบซ้ายเข้าและขวาเข้า ทำให้แผ่นทวีปยูเรเชียเกิดการเลื่อนและหมุนตัวตามเข็มนาฬิกา จนทำให้แผ่นจุลทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เลื่อนหลุดจากแผ่นทวีปยูเรเชีย ในช่วง 50-20 ล้านปีที่ผ่านมา จากนั้นเมื่อแผ่นทวีปอินเดียเคลื่อนตัวมาชนกับแผ่นทวีปยูเรเชียมากขึ้น ทำให้เกิดการเลื่อนทะลัก (extrusion) ของแผ่นทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในช่วง 20 ล้านปีจนถึงปัจจุบัน

จากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและยูเรเชีย ส่งผลให้เกิดรอยเลื่อนแนวระดับในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ เช่น เขตรอยเลื่อนแม่ปิง และเขตรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ในภาคกลางและภาคตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งรอยเลื่อนเหล่านี้ตัดผ่านไปทางด้านตะวันตกของแผ่นจุลทวีปไซพูมาสูไปยังอินโดจีน่าและวางตัวขนานกับรอยเลื่อนแม่น้ำแดง (Red River Fault) ในประเทศจีน ซึ่งในบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศมีลักษณะโครงสร้างที่เรียกว่า ชัยนาทดูเพลค (Chainat duplex) จากการเลื่อนแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง (Smith *et al.*, 2007) ซึ่ง Morley *et al.* (2007) และ Smith *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิกในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางกับแนวรอยเลื่อนแม่ปิง ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาและช่วงเวลาการเกิดชัยนาทดูเพลค ซึ่งพบว่าบริเวณชัยนาทดูเพลคเกิดจากอิทธิพลของการเคลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงและหยุดการเคลื่อนตัวในช่วง 30-33 ล้านปีจากการหาอายุการเย็นตัวของไบโอไทต์โดยใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Lacassin *et al.*, 1993, 1997) โดยชัยนาทดูเพลคมีการวางตัวในแนวเหนือใต้และแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งรอยเลื่อนในแนวเหนือใต้นั้น ทำให้เกิดการอัด (restraining bend) ซึ่งส่งผลให้เกิดการยกตัวของภูมิประเทศเป็นแนวสันเขา โดยธรณีวิทยาของแนวสันเขาภายในชัยนาทดูเพลค ประกอบไปด้วยชุดแนวสันเขาที่วางตัวในแนวทิศเหนือใต้และมีหินหลากหลายชนิด ตั้งแต่หินตะกอน หินตะกอนกึ่งแปรสภาพและหินอัคนี ของมหายุคพาลีโอโซอิกถึงมีโซโซอิก นอกจากนี้ในบริเวณทางตอนใต้ของรอยเลื่อนแม่ปิงได้หยุดเกิดการเคลื่อนตัวในแนวระดับแบบซ้ายเข้าในช่วงยุคโอลิโกซีนตอนปลายและไม่พบลักษณะการเคลื่อนตัวแบบขวาเข้าในแอ่งแยก ต่อมาในช่วงยุคไมโอซีนตอนปลายได้เกิดโครงสร้างผกผัน (inversion) ขึ้นซึ่งเกิดจากการกลับทิศของรอยเลื่อนจากทิศทางขวาเข้ามาเป็นทิศทางซ้ายเข้าในช่วงเวลาสั้นๆ โดยพบหลักฐานการเกิดโครงสร้างผกผันบริเวณแอ่งย่อยละหานของแอ่งพิชณุโลกทางตอนเหนือของชัยนาทดูเพลค (Morley *et al.*, 2007) และจากการศึกษาของ Tingay *et al.* (2010) พบว่าในปัจจุบันประเทศไทยได้รับแรงบีบอัดในแนวเหนือใต้ (รูปที่ 2.3) ซึ่งคาดว่าอาจเป็นผลให้รอยเลื่อนแม่ปิงมีการเคลื่อนตัวแบบขวาเข้า อย่างไรก็ตามงานวิจัยในปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานที่สนับสนุนแนวคิการเคลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ แบ่งระเบียบวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น สํารวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม รวบรวมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล อภิปรายผลการศึกษา และสรุปผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดระเบียบวิจัยและแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (รูปที่ 3.1) ดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น

3.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารายงานและการวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา ในเรื่องของรอยเลื่อนแม่ปิง ชัยนาทตุนเพลค การเกิดสั่นไหวแนวเหนือ-ใต้จากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแม่ปิง โดย Morley *et al.* (2007) และ Smith *et al.* (2007) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการกระเจิงตัวของหินโผล่ในพื้นที่ โดย Ueno *et al.* (2012) และการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ของเรดิโอลาเรีย บริเวณภาคกลางของประเทศไทย โดย Saesaengseerung *et al.* (2007) รวมถึงหลักการและแนวทางปฏิบัติโดยรวมในการทำวิจัย จากนั้นรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากรายงานวิจัยเก่า โดย Phasongtham (2011), Chindamane (2012), Kachondham (2012) และ Pithayarungsarit (2013) ซึ่งได้ทำการศึกษารณิวิทยาโครงสร้างของแนวเขาที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง ภายในชัยนาทตุนเพลค จากนั้นนำมาวางแผนงานวิจัยในการศึกษาครั้งนี้และบางส่วนสำหรับผลการศึกษาในอนาคต โดยข้อมูลที่ต้องใช้ในการศึกษา มีดังนี้

1) ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ภูมิศาสตร์ และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยข้อมูลแผนที่ดังกล่าวสามารถสืบค้นได้จากห้องสมุดแผนที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทางอินเทอร์เน็ต

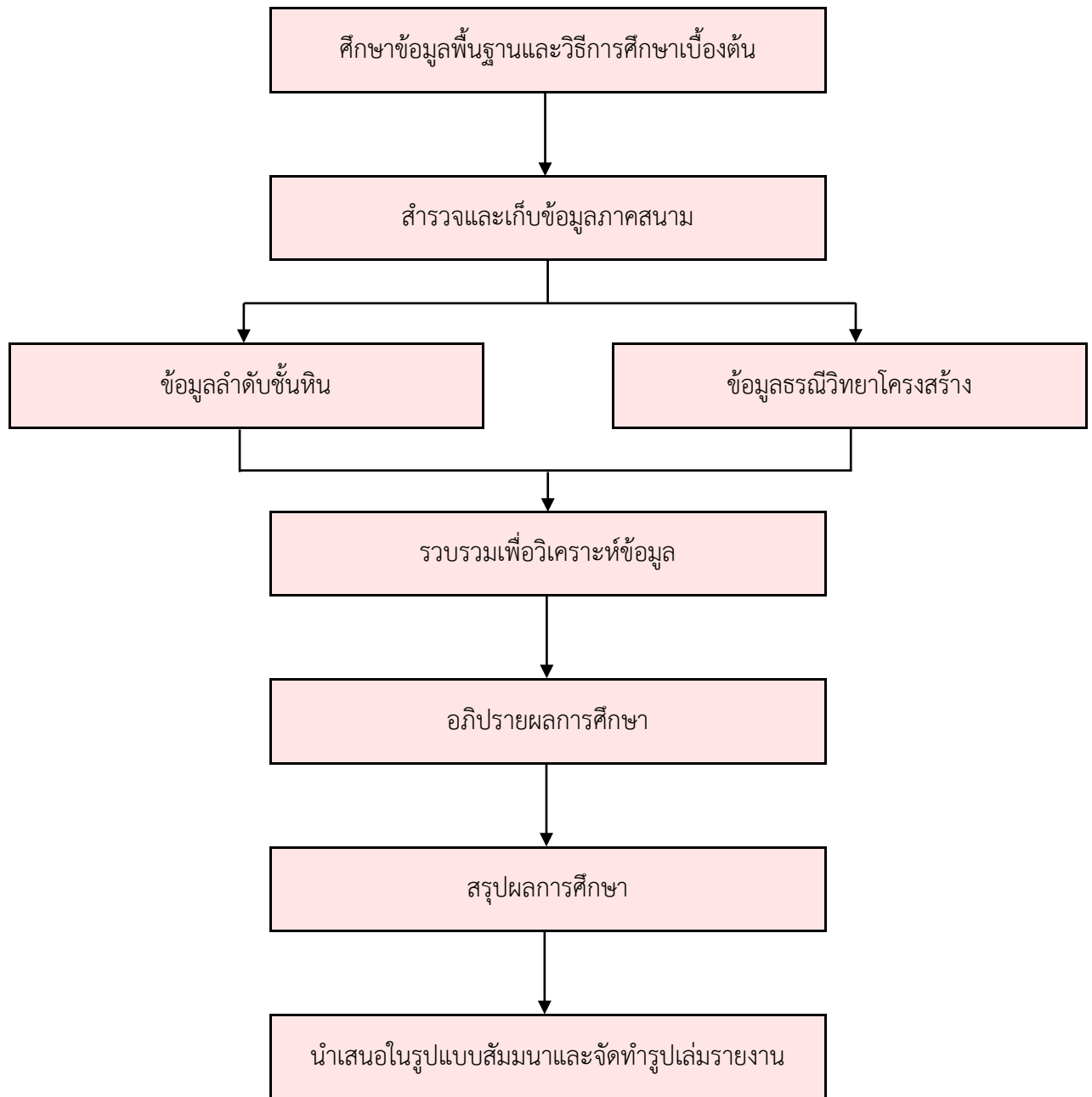
แผนที่ธรณีวิทยา ได้แก่

- แผนที่ธรณีวิทยา ND 47-3 จังหวัดนครสวรรค์ มาตรฐาน 1:250,000 กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ.2519
- แผนที่ธรณีวิทยารายจังหวัด จังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์ โดยกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ.2550

แผนที่ภูมิศาสตร์ ได้แก่

- ลำดับชุด L7018 ระวัง 5039 IV มาตรฐาน 1:50,000 จังหวัดอุทัยธานี

2) ข้อมูลการศึกษารณิวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถค้นคว้าได้จาก วารสารงานวิจัย เอกสารงานประชุมวิชาการต่างๆ และงานวิจัยเก่า จากห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือสืบค้นได้จากอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนในระเบียบวิธีวิจัย

3.1.2 ศึกษาวิธีเก็บข้อมูลลำดับชั้นหินและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง

การเก็บข้อมูลภาคสนาม จำเป็นที่จะต้องศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลอย่างถูกต้องและครบถ้วน เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลทั้งข้อมูลลำดับชั้นหิน การจำแนกชนิดหิน และการวัดค่าทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่ถูกต้อง โดยมีการวางแผนก่อนการออกภาคสนาม ซึ่งต้องคำนึงข้อจำกัดของพื้นที่ศึกษาและการเข้าถึงพื้นที่ รวมถึงจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับออกภาคสนาม โดยมีอุปกรณ์ดังนี้ เข็มทิศบรรทัด (Brunton compass) ค้อนธรณี กล้องถ่ายรูป จีพีเอส สายวัดระยะ สมุดธรณีสนาม อุปกรณ์เครื่องเขียน แผนที่ธรณีวิทยา และแผนที่ภูมิศาสตร์

3.2 สำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนาม จะทำการเก็บข้อมูลจากตำแหน่งของลำดับชั้นหินที่อยู่ล่างสุดของลำดับชั้นหินในแต่ละตำแหน่งศึกษา ในทุกๆ 1 เมตรของหินโผล่ (measuring section) ซึ่งแบ่งออกเป็นกรเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาลำดับชั้นหิน โดยเก็บข้อมูลลักษณะกายภาพของหินโผล่ ข้อมูลชนิดหินและความหนาของชั้นหิน นอกจากนี้ยังทำการเก็บข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างควบคู่ไปด้วย โดยเก็บข้อมูลค่าการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างที่ต้องการวัดโดยใช้เข็มทิศธรณีวิทยา ประกอบด้วย ค่าการวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) แนวแตก (joint) ระนาบรอยเลื่อน (fault plane) และลักษณะโครงสร้างบ่งชี้อื่นๆที่พบในภาคสนาม จากนั้นทำการถ่ายรูปเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อนำมาใช้ต่อไป นอกจากนี้ยังมีการเก็บตัวอย่างหินเพื่อนำมาศึกษาลักษณะหินต่อไป

3.3 รวบรวมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและตีความความผลการศึกษา

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยจัดทำเป็นข้อมูลลักษณะกายภาพของหินโผล่ในรูปแบบของลำดับชั้นหินของแต่ละตำแหน่งศึกษาและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง โดยวิเคราะห์การวางตัวของชั้นหิน ระนาบรอยเลื่อนและแนวแตกของหินในพื้นที่ศึกษา และจัดทำเป็นภาพจำลองของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาเพื่อง่ายต่อการนำเสนอลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง

การวิเคราะห์ระนาบรอยเลื่อนและแนวแตกของหินในพื้นที่ศึกษาโดยการกำหนดตำแหน่งในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (equal-area stereographic net) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณีวิทยา เพื่อแสดงของรูปทรงสัญญาณและการวางตัวของเส้น (line) และระนาบ (plane) โดยไม่คำนึงถึงขนาดและระยะทาง โดยทั่วไปมักนำเสนอในรูปแบบแผนภาพแสดงการวางตัวแบบขั้วการกระจายตัว (pole) และแบบเส้น (linear) เพื่อแสดงลักษณะของธรณีวิทยาโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์

3.4 อภิปรายผลการศึกษา

รวบรวมผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง มาอภิปรายผลในเรื่องของการเทียบสัมพันธ์ลำดับชั้นหิน สภาพแวดล้อมการสะสมตัวโบราณ ลักษณะของธรณีวิทยาโครงสร้าง และวิวัฒนาการโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา เพื่อสร้างแบบจำลองวิวัฒนาการของเขาสะแกกรังและการศึกษาแบบจำลองธรณีวิทยาโครงสร้างของสันเขาภายในโครงสร้างชัชนาทุพลก โดยวิเคราะห์และอภิปรายผลร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดย Phasongtham (2011), Chindamane (2012), Kachondham (2012) และ Pithayarungsarit (2013) เพื่อนำมาใช้สนับสนุนข้อมูลผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องกัน

3.5 สรุปผลการศึกษา

สรุปที่ได้ผลจากงานวิจัยจากการศึกษาข้อมูลภาคสนามในพื้นที่เขาสะแกกรังและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างจากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

3.6 นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน

นำข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ เช่น ผลการศึกษา การอภิปรายผล และการสรุปผล นำเสนอในรูปแบบสัมมนา และจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.7 ข้อจำกัดในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดของพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง คือ ลักษณะของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษามีความผุค่อนข้างมากเนื่องจากลักษณะของลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษาเป็นหินตะกอนเนื้อละเอียด เช่น หินดินดาน และหินทราย หลังจากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากแรงที่มากกระทำต่อพื้นที่ศึกษา ทำให้หินโผล่มีความผุ นอกจากนี้ความซับซ้อนของลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษา ซึ่งทำให้ยากต่อการเก็บข้อมูลในภาคสนามและจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง นอกจากนี้ยังไม่สามารถเก็บตัวอย่างหินเพื่อนำมาทำแผ่นหินบาง (thin section) เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างในระดับจุลภาค (microscopic scale) ได้ เนื่องจากความผุของหิน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นที่การศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาในหินโผล่ (outcrop scale) หรือระดับกลาง (mesoscopic scale) เท่านั้น

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาที่นำเสนอในบทนี้ ประกอบด้วยข้อมูลการลำดับชั้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง จากการศึกษาสำรวจในพื้นที่เขาสะแกกรัง อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี โดยแบ่งการศึกษาข้อมูลลำดับชั้นหินและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง

เขาสะแกกรังประกอบด้วยหินตะกอน ได้แก่ หินดินดาน หินทรายและหินเชิร์ต ซึ่งจากการศึกษาลำดับชั้นหิน สามารถแบ่งลักษณะหินในพื้นที่ศึกษาได้เป็น 5 หน่วยหิน (รูปที่ 4.1) โดยจำแนกจากขนาดตะกอนและเรียงลำดับชั้นหินจากด้านล่างไปด้านบน ดังต่อไปนี้

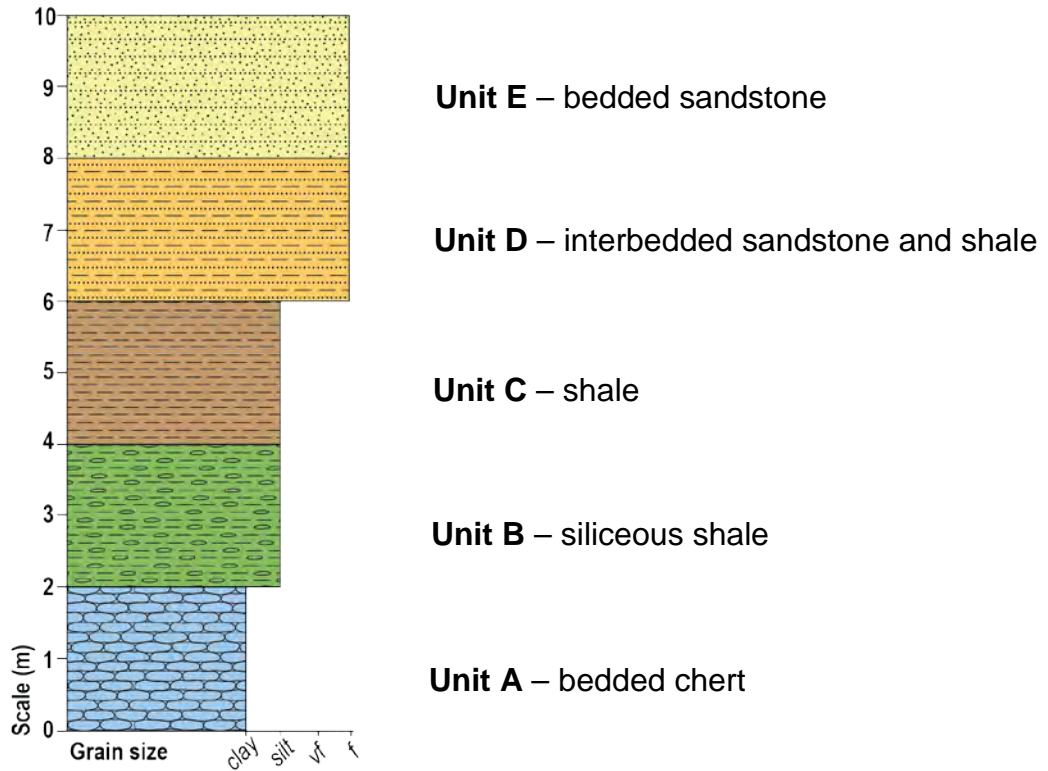
4.1.1 หน่วยหิน A

หน่วยหิน A เป็นหน่วยหินล่างสุดของลำดับชั้นหิน ประกอบด้วย หินเชิร์ต ซึ่งเป็นหินตะกอนเนื้อแน่น (non-clastic sedimentary rock) สีเทาถึงสีเทาเข้ม มีสีฝุ่นน้ำตาล สละสมตัวเป็นชั้นหินหนาตั้งแต่ 0.5-15 เซนติเมตร โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide; SiO₂) สละสมตัวในทะเลลึกที่มีองค์ประกอบหลักคือส่วนแข็งของซากแพลงก์ตอนโปรโตซัวเรดิโอลาเรีย เชื่อว่าเป็นตัวแทนของหินที่สละสมตัวในพื้นที่ทะเลลึกและห่างไกลจากชายฝั่ง แต่สามารถสละสมตัวในพื้นที่ท้องทะเลทั้งไกลและใกล้ชายฝั่งเนื่องจากเรดิโอลาเรียอาศัยอยู่ทุกบริเวณในทะเล ในหน่วยหินนี้บางส่วนมีการแทรกสลับกับหินดินดานชั้นบางสีน้ำตาล ขนาด 0.2-1 เซนติเมตร (รูปที่ 4.2) ซึ่งหน่วยหิน A วางตัวไม่ต่อเนื่องกับหน่วยหินอื่นจากรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นหิน

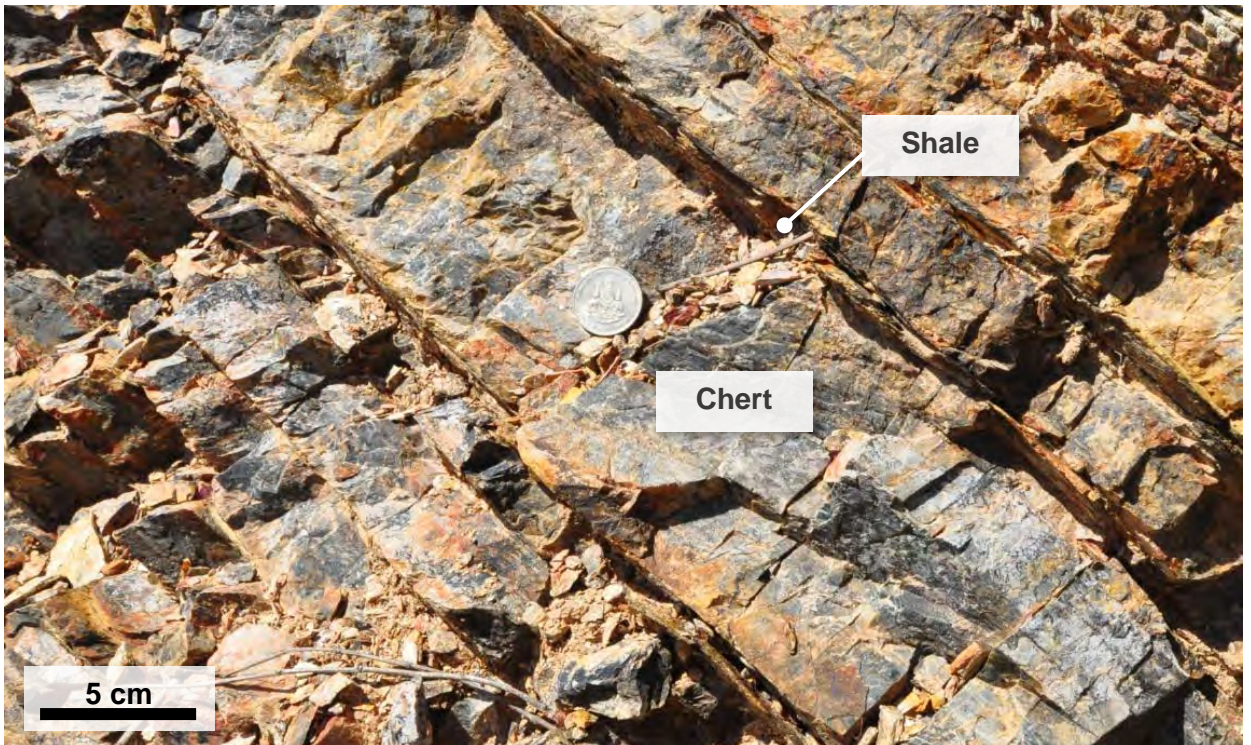
หินเชิร์ตในหน่วยหิน A ได้มีการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ขนาดเล็กที่เรียกว่า เรดิโอลาเรีย โดย Saesaengseerung *et al.* (2007) ซึ่งสามารถนำมาศึกษาโครงสร้างและเทียบเคียงเพื่อบ่งบอกอายุทางธรณีวิทยาได้ ผลการศึกษาพบว่า เรดิโอลาเรียในหินเชิร์ตจากเขาสะแกกรังสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด คือ ชนิด *Pseudoalbaillella lomentaria* มีช่วงอายุกระจายตัวอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้น และชนิด *Follicucullus scholasticus* มีช่วงอายุกระจายตัวอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางจนถึงช่วงต้นยุคเพอร์เมียนตอนปลาย ซึ่งสามารถบ่งบอกว่า บริเวณที่มีการสละสมตัวอยู่ที่เขตละติจูดต่ำ (เขตละติจูดต่ำกว่า 30 องศาทั้งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้) ในมหาสมุทรแพนทาลัสซา (Panthalassa Oceans)

4.1.2 หน่วยหิน B

หน่วยหิน B ประกอบด้วย หินดินดานเนื้อปนซิลิกา (siliceous shale) ซึ่งเป็นหินตะกอนเนื้อประสม (clastic sedimentary rock) มีสีฝุ่นน้ำตาลอ่อน แสดงแนวแตกถ้ำในหินดินดาน (fissility) วางตัวต่อเนื่องกับหน่วยหิน C ภายในชั้นหินพบหินเชิร์ตซึ่งมีองค์ประกอบเป็นซิลิกา สละสมตัวเป็นชั้นบางๆ ขนาด 0.2-1 เซนติเมตร แทรกในชั้นหินและมีลักษณะของเลนส์ของหินเชิร์ต (chert lens) ขนาด 0.5-2 เซนติเมตร (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.1 ลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง สามารถแบ่งลักษณะหินในพื้นที่ศึกษาได้เป็น 5 หน่วยหิน ได้แก่ หน่วยหิน A, B, C, D และ E ตามลำดับการสะสมตัวของชั้นหิน



รูปที่ 4.2 หน่วยหิน A หินเชิร์ต สีเทาถึงสีเทาเข้ม ชั้นหินหนา 0.5-15 เซนติเมตร บางส่วนมีชั้นบางๆขนาด 0.2-1 เซนติเมตร ของหินดินดานแทรกกระหว่างชั้นหิน มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $148^{\circ}/42^{\circ}\text{SW}$

4.1.3 หน่วยหิน C

หน่วยหิน C ประกอบด้วย หินดินดาน ซึ่งเป็นหินตะกอนเนื้อประสม มีสีฝูสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม แสดงแนวแตกถ้ำในหินดินดาน วางตัวต่อเนื่องกับหน่วยหิน B และ D ซึ่งแสดงสภาพแวดล้อมการสะสมตัวแบบน้ำนิ่งหรือใต้ทะเลลึก โดยหินโคลงของหน่วยหินนี้ในพื้นที่ศึกษามีความนุ่มมาก แต่ยังสามารถศึกษาลักษณะหินและวัตค่าการวางตัวของชั้นหินได้ (รูปที่ 4.4) และหินบางส่วนพบการแปรสภาพของเนื้อหิน

4.1.4 หน่วยหิน D

หน่วยหิน D ประกอบด้วย หินทรายแทรกสลับกับหินดินดาน (interbedded sandstone and shale) ซึ่งเป็นหินตะกอนเนื้อประสม มีสีฝูสีน้ำตาลอ่อนและสีน้ำตาลเทา พบเป็นหินทรายเม็ดละเอียด (fine-grained sandstone) ชั้นหินมีความหนา 1-10 เซนติเมตร สะสมตัวแทรกสลับกันกับหินดินดานชั้นบาง (รูปที่ 4.5) วางตัวอย่างต่อเนื่องกับหน่วยหิน C แต่ไม่ต่อเนื่องกับหน่วยหิน E จากรอยเลื่อนย้อนที่ตัดผ่านชั้นหิน โดยการแทรกสลับของหินทรายและหินดินดานบ่งชี้สภาพแวดล้อมการสะสมตัวบริเวณฐานของลาดทวีป (continental slope) แผ่กระจายลงสู่พื้นมหาสมุทร (continental rise) เป็นตะกอนที่ถูกพัดมาจากกระแสปั่นป่วน (turbidity current) ในมหาสมุทร เรียกตะกอนเหล่านี้ที่สะสมตัวอยู่บนบริเวณนี้และพื้นมหาสมุทรว่า เทอร์บิไดต์ (turbidite)

4.1.5 หน่วยหิน E

หน่วยหิน E เป็นหน่วยหินบนสุดในพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง ประกอบด้วย หินทราย ซึ่งเป็นหินตะกอนเนื้อประสม มีสีฝูสีน้ำตาลอ่อน พบเป็นหินทรายเม็ดละเอียด ชั้นหินมีความหนา 0.5-5 เซนติเมตร มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเศษหิน (rock fragments) และมีความนุ่มมาก (รูปที่ 4.6)

โดยสรุป การศึกษาลำดับชั้นหินของเขาสะแกกรัง สามารถแบ่งออกเป็น 5 หน่วยหิน โดยจำแนกจากขนาดของตะกอนจากหินตะกอนเนื้อแน่นและหินตะกอนเนื้อเม็ดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจากการเก็บข้อมูลภาคสนามพบว่า หินโคลงที่พบมีความนุ่มและไม่ต่อเนื่อง อันเป็นผลจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนย้อนซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงสภาพของชั้นหินซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในงานวิจัย นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาอายุของการสะสมตัวของหินตะกอนในพื้นที่ศึกษาที่แน่นอน โดยมีทราบเพียงอายุของหินเชิร์ตซึ่งคาดว่าสะสมตัวตั้งแต่ช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นจนถึงช่วงต้นยุคเพอร์เมียนตอนปลาย



รูปที่ 4.3 หน่วยหิน B หินดินดานเนื้อปนซิลิกา สีน้ำตาลอ่อน ซึ่งพบหินเชิร์ตซึ่งประกอบด้วยซิลิกา สีเทาถึงสีเทา เข้มสะสมตัวเป็นชั้นบางๆขนาด 0.2-1 เซนติเมตร และเลนส์ แทรกอยู่ในชั้นหินดินดาน มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $160^{\circ}/40^{\circ}\text{SW}$



รูปที่ 4.4 หน่วยหิน C หินดินดาน มีสีฝูสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม สะสมตัวอย่างต่อเนื่องเป็นชั้นบางๆ ลักษณะของ หินโคลมีความนุ่มมาก มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $175^{\circ}/28^{\circ}\text{SW}$



รูปที่ 4.5 หน่วยหิน D หินทรายแทรกสลับกับหินดินดาน มีสีฝุ่นน้ำตาลอ่อนและสีน้ำตาลเทา พบเป็นหินทรายเม็ดละเอียด (fine-grained sandstone) สะสมตัวแทรกสลับกันกับหินดินดานชั้นบางอย่างเนื่อง มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $210^{\circ}/20^{\circ}\text{SE}$



รูปที่ 4.6 หน่วยหิน E หินทรายเม็ดละเอียด (fine-grained sandstone) สีฝุ่นน้ำตาลอ่อน มีค่าการวางตัวของชั้นหิน $171^{\circ}/23^{\circ}\text{SW}$

4.2 ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง

จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง สามารถแบ่งเป็นข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน ระบายรอยเลื่อน และรอยแตก โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การวางตัวของชั้นหิน

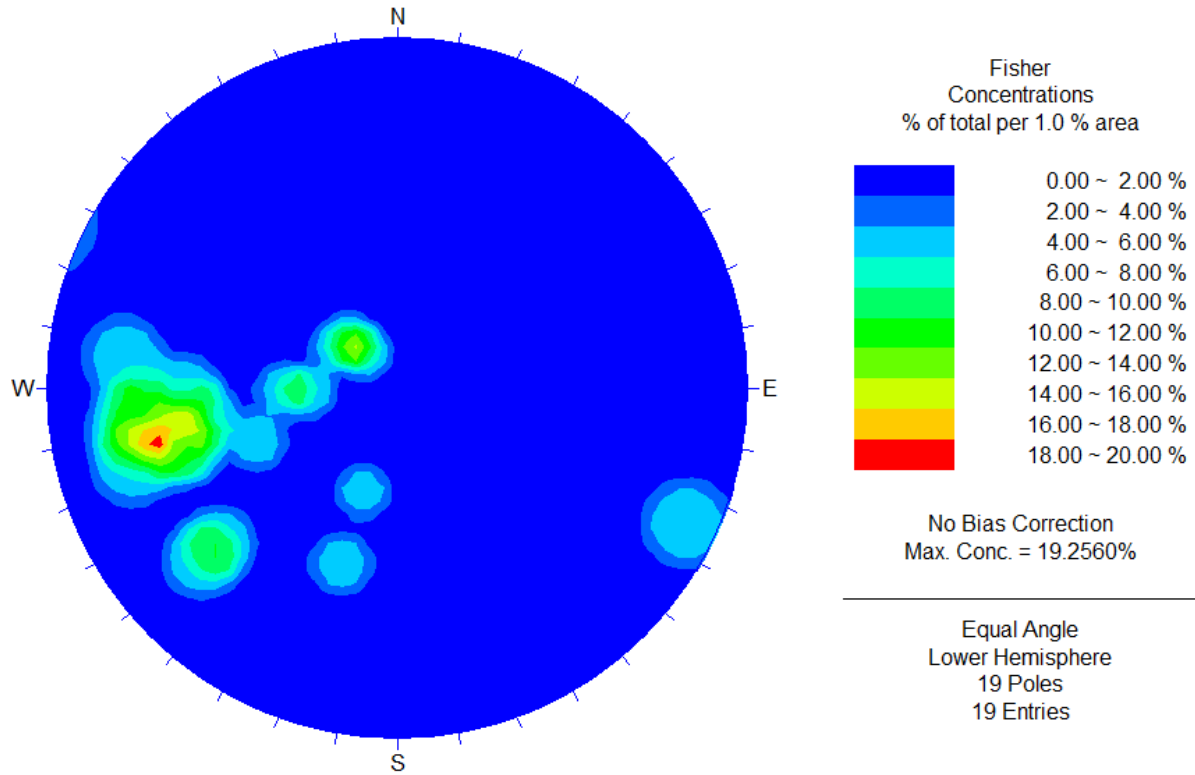
การวางตัวของชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง มีแนวการวางตัวหลักในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งขนานกับแนวการวางตัวของแนวเขาสะแกกรัง แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลของรอยเลื่อนย่อยอื่น ทำให้แนวการวางตัวของชั้นหินบางบริเวณมีการเปลี่ยนแปลงไปในหลายทิศทางตามแนวของรอยเลื่อนในบริเวณใกล้เคียง โดยตำแหน่งศึกษาที่ 1, 2 และ 3 ทุกหน่วยหินมีแนวการวางตัวของชั้นหินหลักในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนตำแหน่งศึกษาที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยหน่วยหิน D หินทรายแทรกสลับกับหินดินดาน มีแนวการวางตัวของชั้นหินในแนวตะวันออกเฉียงเหนือตะวันตกเฉียงใต้

4.2.2 ระบายรอยเลื่อนและรอยแตก

ข้อมูลค่าการวางตัวของระบายรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลจากภาคสนามข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (equal-area stereographic net) เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างและนำมาใช้ตีความวิวัฒนาการโครงสร้างของแนวเขาสะแกกรังได้ ซึ่งพบว่า การกระจายตัวของขั้วและความหนาแน่นการกระจายตัวของระบายรอยเลื่อนหลักในพื้นที่ศึกษามีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 4.7)

นอกจากนี้ จากการสำรวจพื้นที่เขาสะแกกรัง พบจุดศึกษาที่น่าสนใจในตำแหน่งศึกษาที่ 1 และ 3 (รูปที่ 4.8) รวมทั้งหมด 3 จุด ซึ่งจากลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในแต่ละจุดศึกษา พบเป็นลักษณะโครงสร้างก่ายทับ (duplex structure) เกิดจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนย่อยอื่นซึ่งมีระบายรอยเลื่อนหลักในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเกิดเป็นระนาบซ้อนทับกันของชั้นหิน (รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10) และยังพบลักษณะของชั้นหินที่วางตัวเกือบตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งเป็นผลจากแรงกระทำต่อพื้นที่ ทำให้เกิดรอยเลื่อนและมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางตัวของชั้นหิน (รูปที่ 4.11)

ส่วนค่าของระบายรอยแตกของหินโพลีในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมักปรากฏในหินเนื้อแน่น เช่น หินเชิร์ต ที่เป็นหินเนื้อแน่น ทำให้มีความนุ่มน้อยกว่าหินชนิดอื่นที่พบในพื้นที่ศึกษา จากการกำหนดตำแหน่งค่าแนวแตกของหินลงบนแผนภาพกุหลาบ มีการแสดงแนวรอยแตกหลายแนวและไม่สามารถระบุแนวรอยแตกหลักได้ ซึ่งคาดว่ารอยแตกที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนลักษณะของพื้นที่และอิทธิพลของรอยเลื่อน ในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้นำค่าของระบายรอยแตกมาตีความวิวัฒนาการโครงสร้างของแนวเขาสะแกกรัง



รูปที่ 4.7 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนย้อนหลักของหินโพลในพื้นที่ศึกษาลงบนกำหนดตำแหน่งในสเตอริโอกราฟิคชนิดพื้นที่เท่า แสดงการกระจายตัวของขั้วและความหนาแน่นการกระจายตัวของระนาบรอยเลื่อนย้อนหลักในพื้นที่ศึกษามีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้



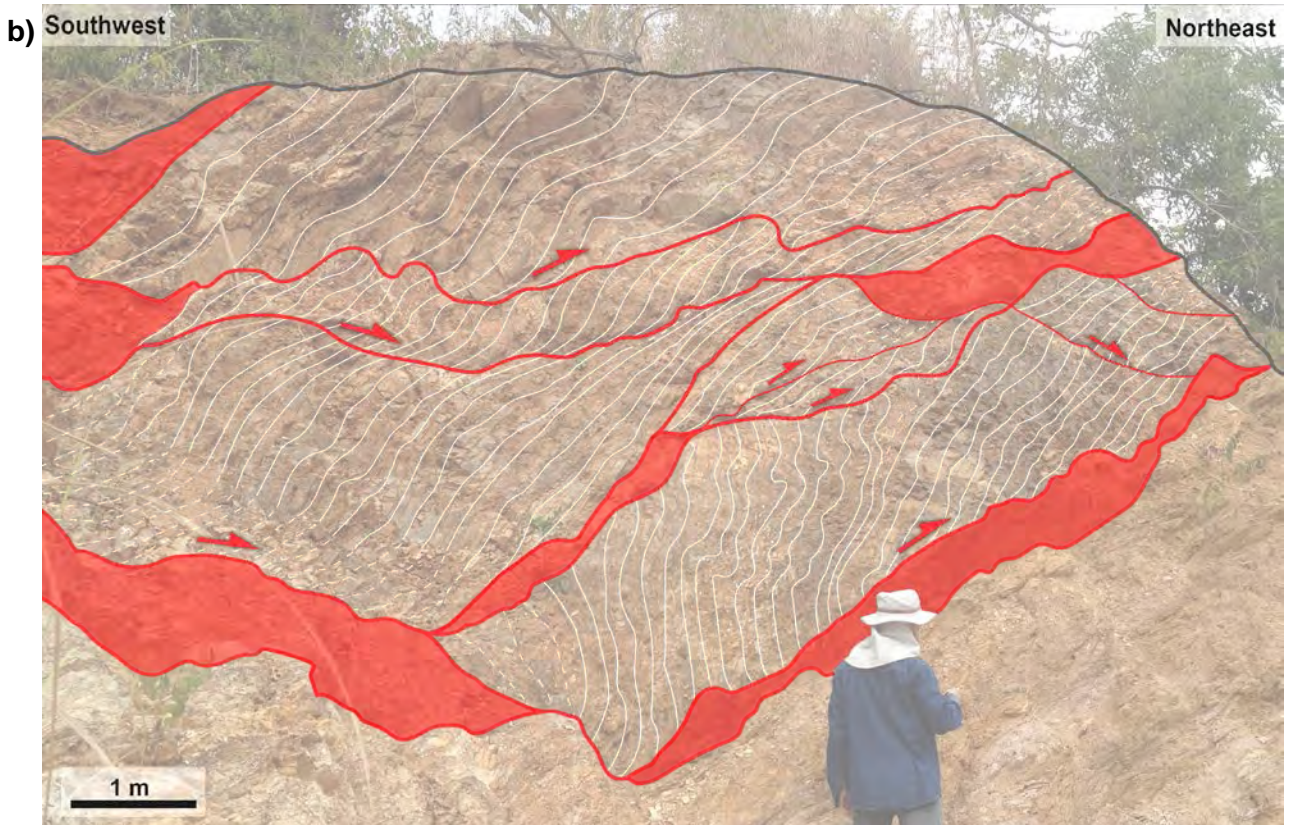
Fig 4.9



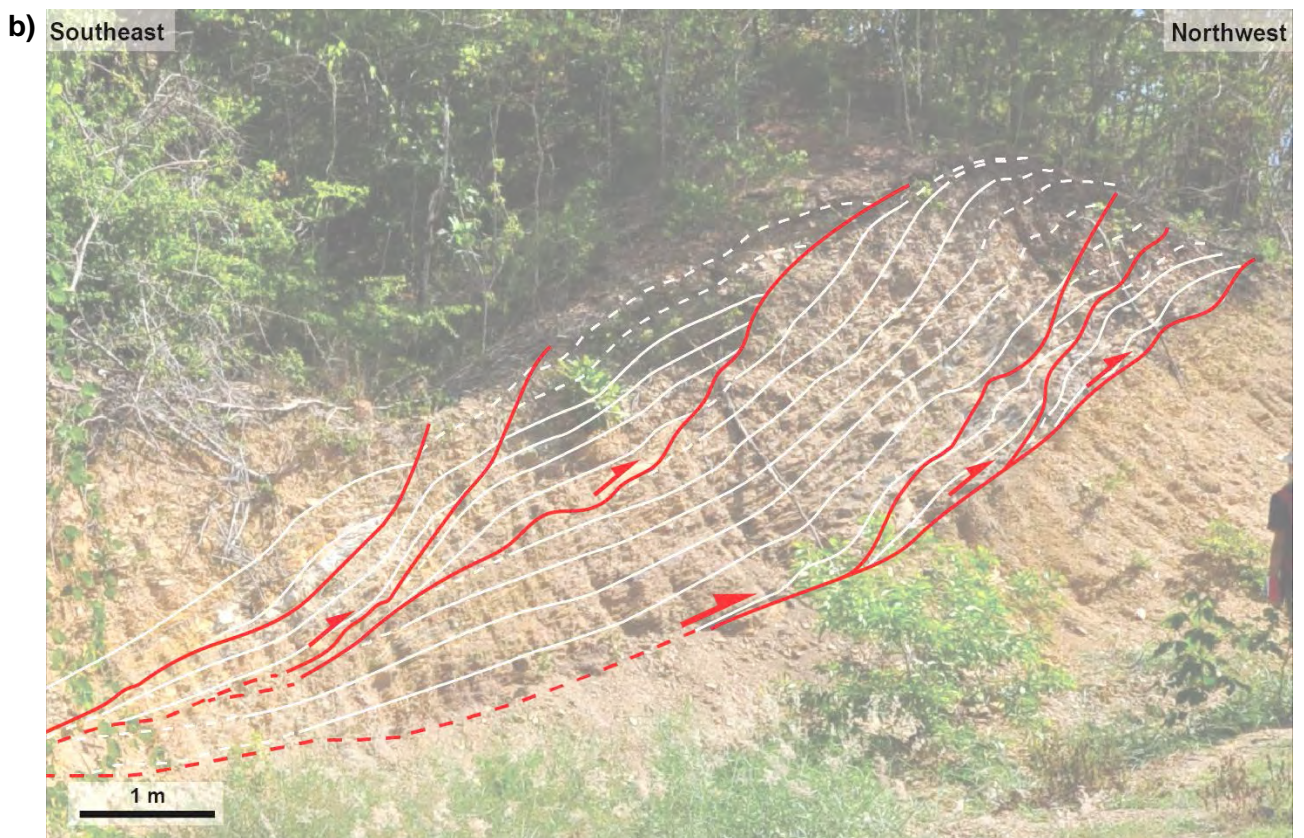
Fig 4.10

Fig 4.11

รูปที่ 4.8 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโคลนในตำแหน่งศึกษาที่ 1 และ (b) รูปล่าง รูปถ่ายหินโคลนในตำแหน่งศึกษาที่ 3 ซึ่งแสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่สำคัญ (กรอบสีแดง)



รูปที่ 4.9 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโคลนในตำแหน่งศึกษาที่ 1 แสดง (b) รูปล่าง ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างกายภาพ ซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนย้อนในพื้นที่หลายครั้ง ทำให้ชั้นหินบางบริเวณมีลักษณะคดโค้งจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน (เส้นสีแดงแทนระนาบรอยเลื่อน พื้นที่สีแดงแสดงเขตรอยเลื่อน เส้นสีขาวแสดงแนวการวางตัวของชั้นหินและเส้นประแสดงระนาบที่ไม่แน่ชัด)



รูปที่ 4.10 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 3 จุดที่ 1 แสดง (b) รูปล่าง ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง กายทับ ซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนย้อน ทำให้ชั้นหินเกิดระนาบซ้อนทับกันเป็นชั้นหนา (เส้นสีแดงแทนระนาบรอยเลื่อน พื้นที่สีแดงแสดงเขตรอยเลื่อน เส้นสีขาวแสดงแนวการวางตัวของชั้นหินและเส้นประแสดงระนาบที่ไม่แนชัด)



รูปที่ 4.11 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาที่ 3 จุดที่ 2 แสดง (b) รูปล่าง ลักษณะชั้นหินที่วางตัวเกือบตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งเป็นผลจากแรงกระทำต่อพื้นที่ที่ค่อนข้างมาก ทำให้เกิดรอยเลื่อนและมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางตัวของชั้นหินในลักษณะนี้ (เส้นสีแดงแทนระนาบรอยเลื่อน พื้นที่สีแดงแสดงเขตรอยเลื่อน เส้นสีขาวแสดงแนวการวางตัวของชั้นหินและเส้นประแสดงระนาบที่ไม่แน่ชัด)

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

ในบทนี้กล่าวถึงการนำข้อมูลลำดับชั้นหินและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างที่ได้จากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง ได้นำมารวบรวมและอภิปรายผลการศึกษาได้เป็น สภาพแวดล้อมการสะสมตัว วิวัฒนาการโครงสร้าง และวิวัฒนาการการแปรสัณฐาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สภาพแวดล้อมการสะสมตัว

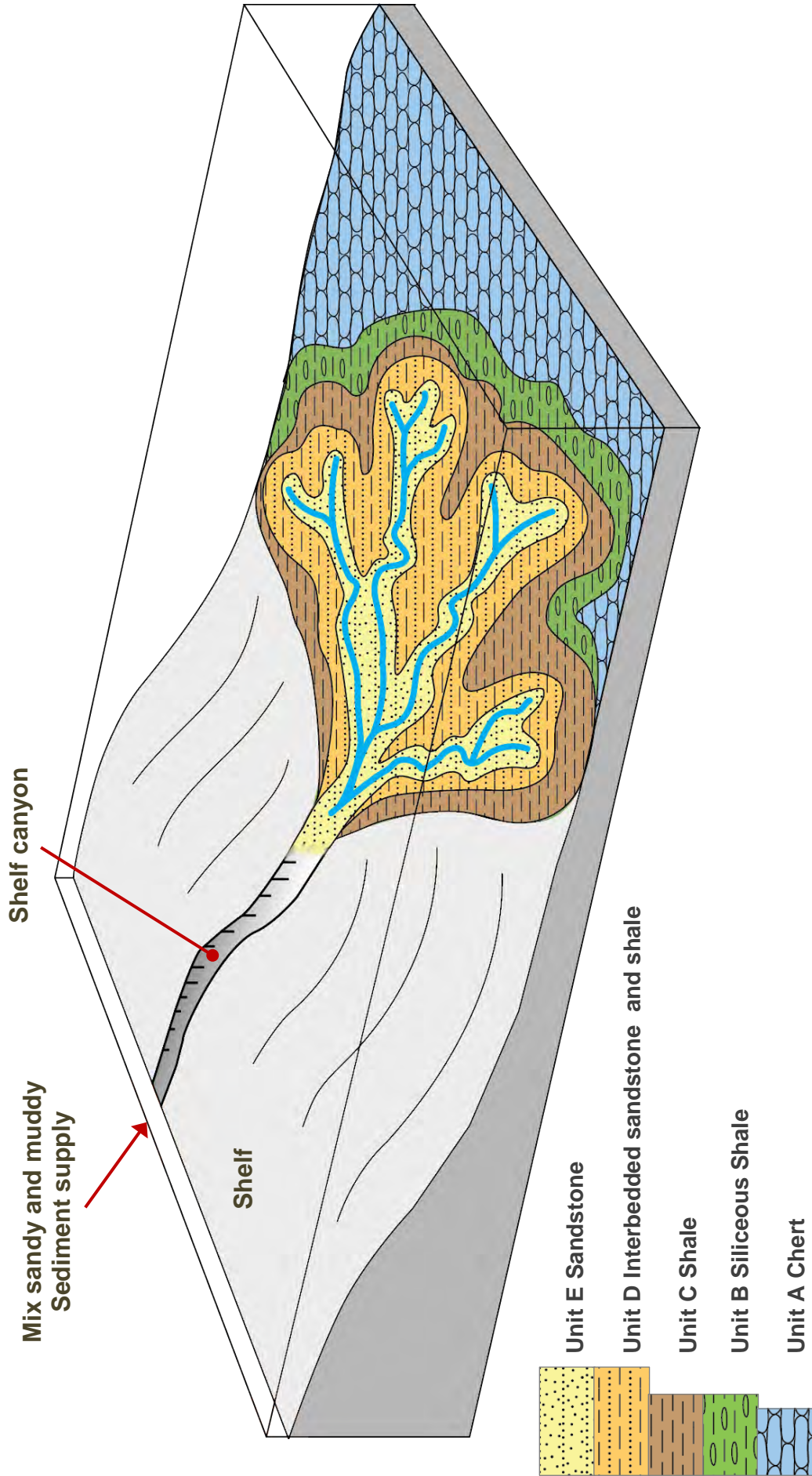
ข้อมูลลำดับชั้นหินจากการเก็บข้อมูลภาคสนามของเขาสะแกกรัง สามารถแบ่งออกเป็น 5 หน่วยหิน คือ หินเชิร์ต หินดินดานเนื้อซิลิกา หินดินดาน หินทรายแทรกสลับกับหินดินดาน และหินทรายเม็ดละเอียด ซึ่งสามารถคาดเดาสภาพแวดล้อมการสะสมตัวได้จากข้อมูลของชนิดหินในพื้นที่ นอกจากนี้หลักฐานซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียของหินเชิร์ตในหน่วยหิน A โดย Saesaengseerung *et al.* (2007) และการแทรกสลับของหินทรายและหินดินดานในหน่วยหิน D ซึ่งเป็นตะกอนที่ถูกพัดมาจากกระแสน้ำปนเปื้อน โดยเชื่อว่าเป็นการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมตะกอนน้ำพารูปพัดใต้ทะเล บริเวณฐานของลาดทวีปที่แผ่กระจายลงสู่พื้นมหาสมุทรใต้ทะเลลึก (รูปที่ 5.1)

5.2 วิวัฒนาการโครงสร้าง

จากข้อมูลภาคสนามและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถอธิบายการพัฒนาของเขาสะแกกรังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ การเกิดรอยเลื่อนย้อน และการเกิดสันเขาแนวเหนือใต้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การเกิดรอยเลื่อนย้อน

ขั้นตอนแรกคาดการณ์จากหลักฐานที่พบจากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษาดังที่แสดงในบทที่ 4 พบลักษณะโครงสร้างดูเพลคที่เกิดจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนย้อนที่มีระยะบรรอยเลื่อนหลักในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักในพื้นที่ศึกษา โดยทั่วไปการเกิดรอยเลื่อนย้อนเป็นผลมาจากแรงอัดที่กระทำต่อพื้นที่ทำให้เกิดการคิดโค้งของชั้นหินและเกิดเป็นรอยเลื่อนย้อนหรือรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำขึ้น จากแผนที่แสดงเขตธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยจากงานวิจัยของ Ueno *et al.* (2012) พบว่าพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรังอยู่ภายในเขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย (รูปที่ 2.5) ซึ่งสัมพันธ์กับการชนกันของแผ่นจูลทวีปไซบิวมาสุและแผ่นจูลทวีปอินโดจีนที่ส่งแรงอัดกระทำต่อพื้นที่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือในยุคนิวโรมาไทโรแอสซิก ทำให้เกิดแนวรอยแตกและรอยเลื่อนในแนวเหนือใต้ จากนั้นพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลของรอยเลื่อนแม่ปิงที่มีการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าในยุคไทรแอสซิกตอนปลายจนถึงสมัยโอลิโกซีน ทำให้ระยะบรรอยแตกและรอยเลื่อนในแนวเหนือใต้เกิดการหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้เช่นเดียวกับที่พบเป็นหลักฐานในหินโพลีบริเวณพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง



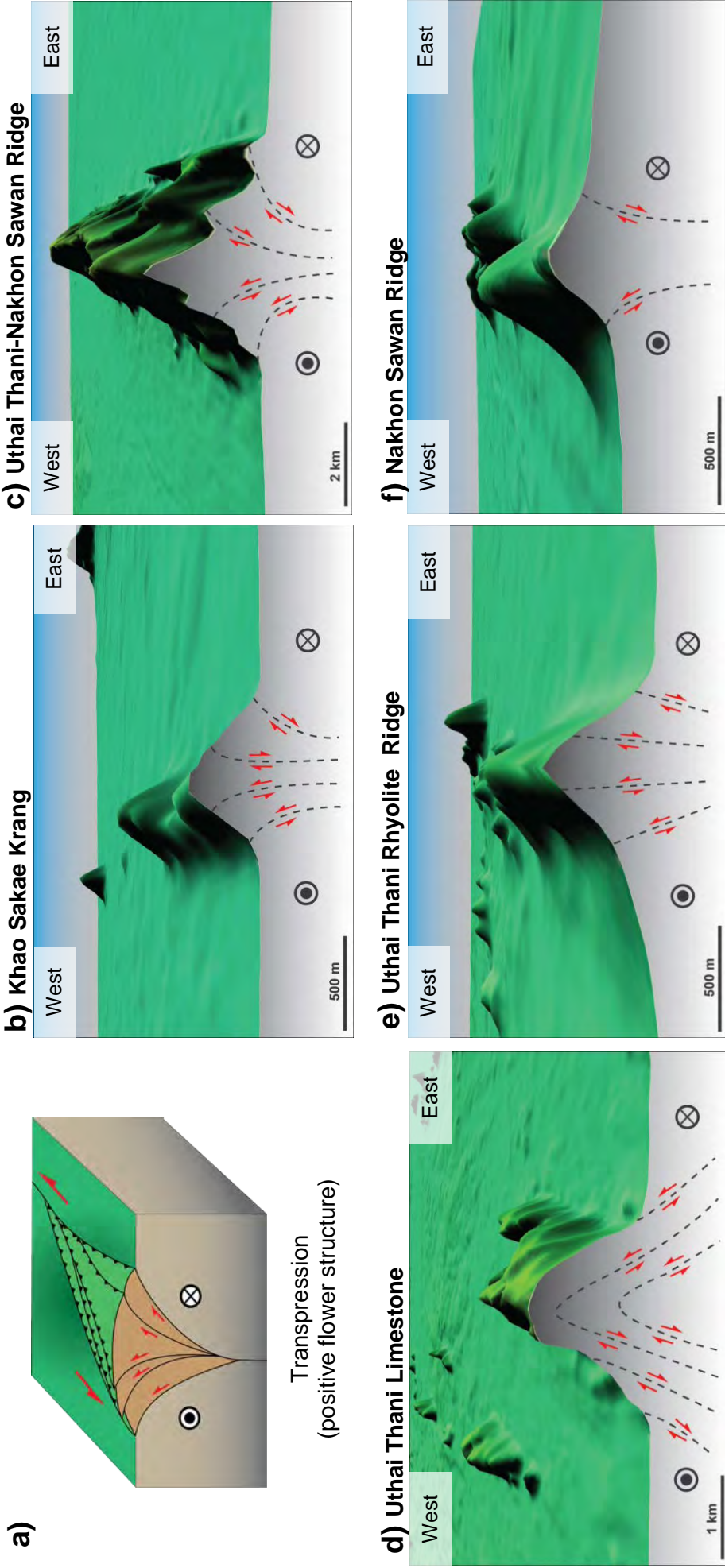
รูปที่ 5.1 แบบจำลองสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของหินตะกอนเขาสะแกกรัง โดยเชื่อว่าเป็นการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมตะกอนน้ำพารูปพัดได้ทะเล บริเวณฐานของลาดทวีป ที่แผ่กระจายสู่พื้นมหาสมุทร ซึ่งมีการสะสมตัวของหินในหน่วยหิน A, B, C, D และ E ตามลำดับ

5.2.2 การเกิดสันเขาแนวเหนือใต้

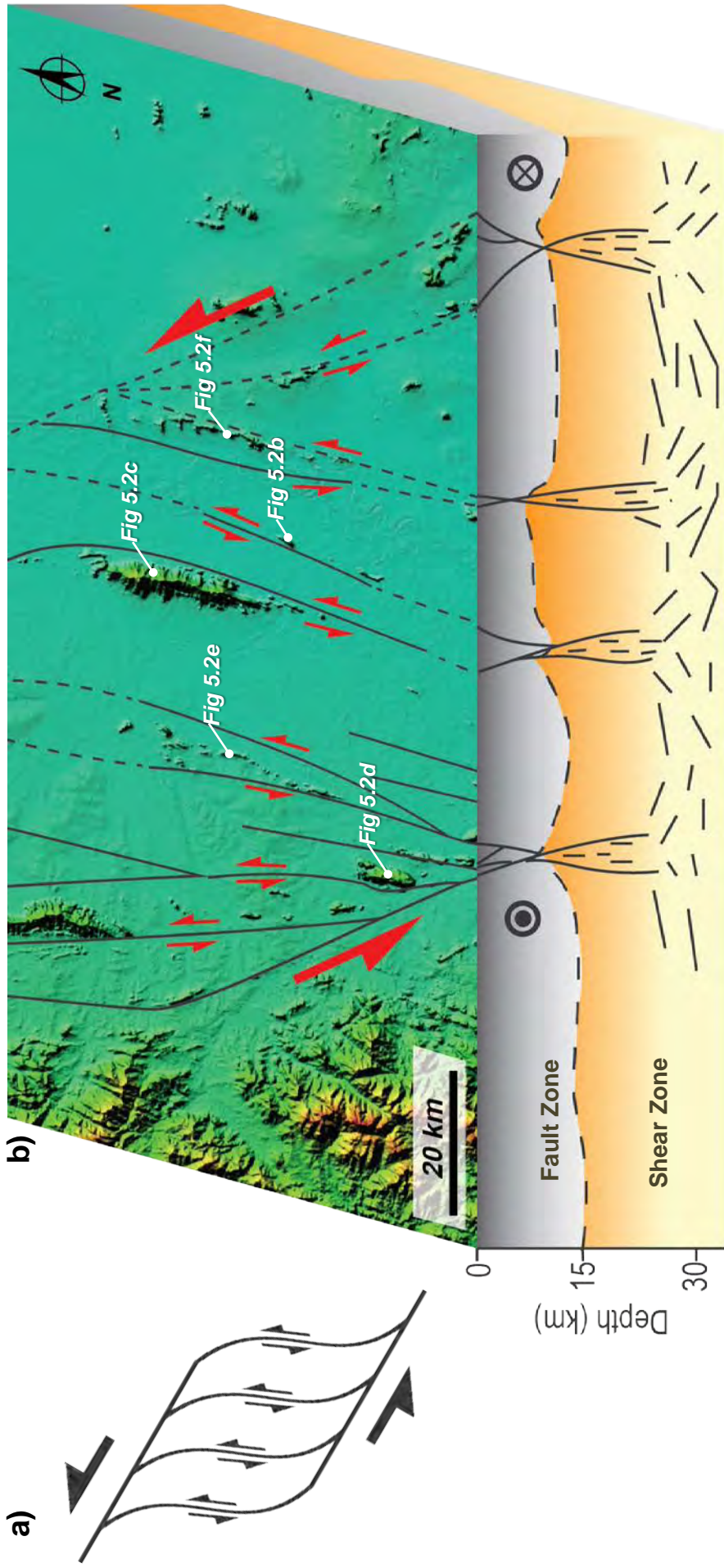
หลังการเกิดรอยเลื่อนย้อนในขั้นตอนแรก ขั้นตอนที่สองเป็นผลต่อเนื่องจากการแปรสัณฐานที่เป็นการเคลื่อนที่ผ่านและอัดกัน (transpression) ของเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้เกิดการยกตัวของในลักษณะของโครงสร้างดอกไม้บวก (positive flower structure) (Cunningham & Mann, 2007) ที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือใต้ภายในชัชนาทตุเพลค (รูปที่ 5.2a) โดยรอยเลื่อนย้อนและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำมีโอกาสอย่างมากที่จะเป็นกลไกสำคัญในกระบวนการยกตัวของแนวสันเขาต่างๆรวมถึงเขาสะแกกรัง (รูปที่ 5.2b) ซึ่งสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ Phasongtham (2011), Chindamanee (2012), Kachondham (2012) และ Pithayarungsarit (2013) ที่ได้ศึกษารณีวิทยาโครงสร้างของสันเขาแนวเหนือใต้ภายในชัชนาทตุเพลค เขาอุทัยธานี-นครสวรรค์ เขาหินปูนอุทัยธานี เขาหินไรโอไรต์อุทัยธานี และเขานครสวรรค์ตามลำดับ (รูปที่ 5.2c-f)

จากการศึกษาโดย Morley *et al.* (2007) และ Smith *et al.* (2007) ได้แปลความและอธิบายถึงที่ราบลุ่มแม่น้ำภาคกลางตอนบนของประเทศไทยบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิง เป็นลักษณะของโครงสร้างก่ายทับจากการหดตัวของรอยเลื่อนในแนวระดับ (contractional strike-slip duplex) (รูปที่ 5.3a) พบว่าการเคลื่อนที่ผ่านและอัดกันของเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือใต้ในชัชนาทตุเพลค รอยเลื่อนย้อนและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ เป็นกลไกสำคัญในกระบวนการยกตัวของแนวสันเขาต่างๆ (รูปที่ 5.3b)

การเกิดลักษณะแนวการบิดโค้งของรอยเลื่อนตามแนวระดับ (restraining bend) โดยแรงจากการเคลื่อนสวนทางกันของแผ่นหินสองข้างตามแนวรอยเลื่อนตามแนวระดับ จะเป็นผลทำให้รอยเลื่อนแขนงขนาดเล็กในพื้นที่บริเวณแนวบิดโค้งยกตัวขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการยกตัวของภูมิภาคเป็นแนวสันเขา จากการศึกษาของ Cowgill *et al.* (2004) นอกจากชัชนาทตุเพลค บริเวณที่เกิดลักษณะของแนวการบิดโค้งของรอยเลื่อนตามแนวระดับยังพบแนวบิดโค้งซานตาครูซ (Santa Cruz bend) รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเกิดจากการเลื่อนตัวตามแนวระดับของรอยเลื่อนซานแอนเดรียส และแนวบิดโค้งอัลตุลตาค (Akato Tagh bend) ในประเทศจีน โดยแนวบิดโค้งอัลตุลตาคเกิดจากการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าตามแนวระดับของรอยเลื่อนอัลตุลตาคซึ่งเป็นผลมาจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดียและยูเรเชียเช่นเดียวกับการเกิดรอยเลื่อนแม่ปิงที่ทำให้เกิดชัชนาทตุเพลค แต่จากการศึกษาของ Tapponnier *et al.* (1982) กล่าวว่า การเลื่อนทะลักของแผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อินโดจีน-ไซบุมาส) เกิดในช่วง 50-20 ล้านปี ซึ่งเกิดก่อนการเลื่อนทะลักของแผ่นจีน ในช่วง 20 ล้านปี-ปัจจุบัน (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 5.2 แบบจำลองการเกิดแนวสันเขาเหนือใต้ภายในชั้นมาตุพลัด (a) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านและอัดกันทำให้เกิดการยกตัวของโครงสร้างดอกไม้บวก (ตัดแปลงจาก Cunningham & Mann, 2007) โดยรอยเลื่อนย้อนเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการยกตัวของ (b) เขาสะแกกรัง (c) เขาอุทัยธานี-นครสวรรค์ (ตัดแปลงจาก Phasongtham, 2011) (d) เขานินนุอุทัยธานี (ตัดแปลงจาก Chindamane, 2012) (e) เขานินโรอุทัยธานี (ตัดแปลงจาก Kachondham, 2012) และ (f) เขานครสวรรค์ (ตัดแปลงจาก Pithayungsarit, 2013)



รูปที่ 5.3 (a) รูปถ่าย ลักษณะของโครงสร้างก่อกำเนิดจากการหดตัวของรอยเลื่อนในแนวระดับ (contractional strike-slip duplex) จากการเคลื่อนที่ผ่านและตัดกันของเขตรอยเลื่อนแมงป่องเป็นชั้นนาทูเพลต (b) รูปถ่าย แบบจำลองการเคลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแมงป่อง โดยมีชั้นสีเทาแสดงเขตรอยเลื่อน (fault zone) และสีส้มแสดงเขตรอยเลื่อน (shear zone) ภายในเขตรอยเลื่อนแมงป่อง ซึ่งทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศเป็นแนวสันเขาเหนือใต้ภายใต้ภายในชั้นนาทูเพลต ดังรูปที่ 5.2b-f (ตัดแปลงจาก Morley et al., 2007 and Smith et al., 2007)

5.3 วิวัฒนาการการแปรสัณฐาน

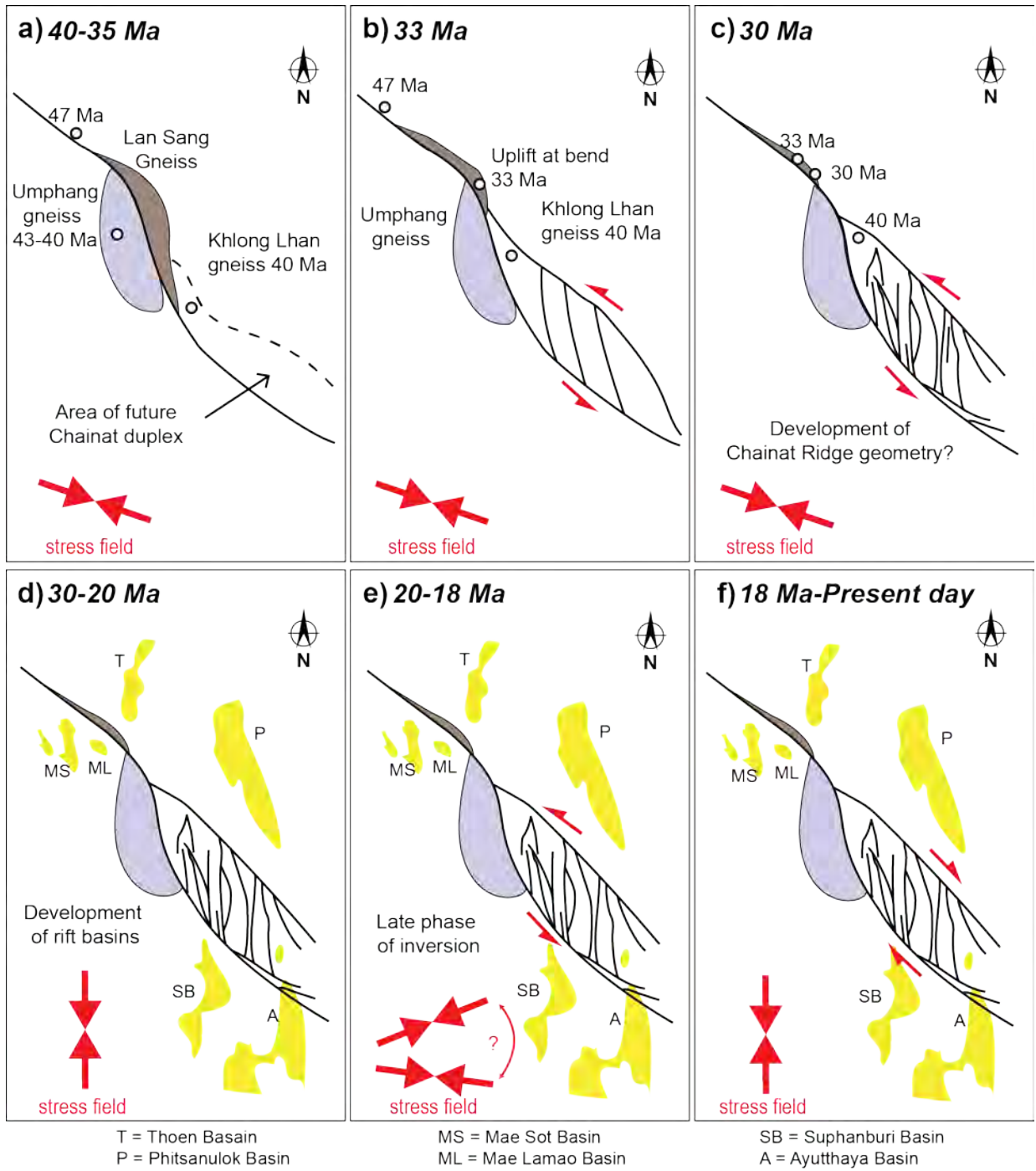
หากเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรังกับแนวสันเขาอื่นๆที่อยู่ข้างเคียง คาดว่าช่วงการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง อาจเริ่มต้นเกิดในช่วงยุคปลายไทรแอสซิกไปถึงสมัยปลายโอลิโกซีน ซึ่งสามารถคาดการณ์โดยประมาณช่วงเวลาของการยกตัวจากข้อมูลธรณีกาลวิทยา (geochronological data) ของหินแกรนิตในสันเขาข้างเคียง จากงานวิจัยของ Lacassin *et al.* (1997) การหาอายุโดยใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ซึ่งอายุการเย็นตัวของไปโอไทต์สามารถบ่งบอกถึงเวลาการหยุดการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกาของรอยเลื่อนแม่ปิงได้ ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 33-30 ล้านปี ดังนั้นขั้นการยกตัวของแนวสันเขาต่างๆในแนวเหนือใต้บริเวณชัยนาทอุพเพลค รวมถึงแนวเขาสะแกกรังช่วงแรกคาดว่าอยู่ในช่วงระหว่างสมัยโอลิโกซีนถึงปลายไมโอซีน นอกจากนี้ข้อมูลธรณีกาลวิทยาบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิงนี้ถูกเก็บบันทึกค่าไว้ในงานวิจัยเก่าและงานวิจัยของ Lacassin *et al.* (1997) และของ Morley *et al.* (2007) โดยขั้นการยกตัวช่วงที่สองของชัยนาทอุพเพลค สัมพันธ์กับการยกตัวและการกลับทิศของแอ่งย่อยละหานในแอ่งพิฆณุโลกทางทิศเหนือของชัยนาทอุพเพลค ซึ่งสอดคล้องกับอายุที่ได้จาก Apatite fission track ในหินแกรนิต 2 บริเวณภายในชัยนาทอุพเพลค ได้อายุ 22.4+22.8 ล้านปี และ 18.2+1.6 ล้านปี ซึ่งจากผลการศึกษาคาดว่ามีความสอดคล้องกันกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับธรณีแปรสัณฐานได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

จากการศึกษาในภาคสนามและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสร้างแบบจำลองวิวัฒนาการของรอยเลื่อนแม่ปิงและแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิก (รูปที่ 5.4) โดยรอยเลื่อนแม่ปิงเกิดจากแรงซึ่งมาจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและยูเรเชียในสมัยอีโอซีนในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ จากหลักฐานการเย็นตัวของแร่ในหินอุ้มผางไนส์ ลานสางไนส์และคลองลานไนส์ทางด้านตะวันตกของรอยเลื่อนแม่ปิง ในสมัยอีโอซีนตอนปลาย รอยเลื่อนแม่ปิงที่เลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าทำให้เกิดแนวการบิดโค้งและเริ่มมีการยกตัวของสันเขาบริเวณลานสางไนส์ ต่อมาในสมัยโอลิโกซีนคาดว่าเกิดการยกตัวของสันเขาภายในชัยนาทอุพเพลค จากนั้นเกิดการเลื่อนทะลักของแผ่นเปลือกโลกบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียง ทำให้แรงในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้เกิดการหมุนตามเข็มนาฬิกาอยู่ในแนวเหนือใต้ เริ่มมีการเปิดของแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิกและการหยุดเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนแม่ปิง ในสมัยไมโอซีนตอนกลางแรงเปลี่ยนไปจากแนวเหนือใต้จากหลักฐานการยกตัวและการกลับทิศของแอ่งตะกอน ทำให้รอยเลื่อนแม่ปิงเกิดการเลื่อนตัวอีกครั้งในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นแรงเปลี่ยนกลับมาอยู่ในแนวเหนือใต้ ส่งผลให้รอยเลื่อนแม่ปิงมีการเลื่อนตัวแบบขวาเข้าตั้งแต่สมัยไมโอซีนตอนปลายจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่พบหลักฐานหินโผล่ภายในชัยนาทอุพเพลคที่แสดงการเลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง

ตารางที่ 5.1 สรุปเหตุการณ์การเกิดเขาสะแกกรังภายในชั้นนาทูเพลค ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย โดยผลการศึกษาพบว่ามีเวลาสอดคล้องกันกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (เส้นทึบแสดงเวลาที่แน่ชัด และ เส้นประแสดงเวลาที่ไม่แน่ชัด)

Ages		Khao Sakae Krang and Chainat duplex	Tectonic events
Quaternary	Holocene	?	?
	Pleistocene	?	?
Neogene	Pliocene	<p>Mae Ping fault (Dextral strike-slip motion) (Morley <i>et al.</i>, 2007 and Smith <i>et al.</i>, 2007)</p>	<p>Development of rift basins (Morley <i>et al.</i>, 2007)</p>
	Miocene	?	<p>? Late phase of inversion ? (Morley <i>et al.</i>, 2007)</p>
Paleogene	Oligocene	<p>? Occurrence of Chainat duplex geometry (Smith <i>et al.</i>, 2007; Phasongtham, 2011; Chindamane, 2012; Kachontham, 2012 and Pithayarungsarit, 2013)</p>	?
	Eocene	?	<p>India-Eurasia Collision (Tapponnier <i>et al.</i>, 1986)</p>
	Paleocene	?	?
Cretaceous		<p>Mae Ping fault (Sinistral strike-slip motion) (Morley <i>et al.</i>, 2007 and Smith <i>et al.</i>, 2007)</p>	?
Jurassic		?	?
Triassic		?	<p>Indosinian Orogeny (Metcalf, 2013)</p>
Permian		?	?

————— Certain timing Uncertain timing



รูปที่ 5.4 แบบจำลองวิวัฒนาการของรอยเลื่อนแม่ปิงและแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิก (a) รอยเลื่อนแม่ปิงเกิดจากแรงซึ่งมาจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและยูเรเชียในสมัยอีโอซีนในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ จากหลักฐานการยื่นตัวของแรในหินอุ้มผางไนส์ ลานsangไนส์และคลองลานไนส์ (b) ในสมัยอีโอซีนตอนปลาย รอยเลื่อนแม่ปิงเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าเกิดแนวการบิดโค้งและเริ่มมีการยกตัวของสันเขาบริเวณลานsangไนส์ (c) ในสมัยโอลิโกซีนเกิดการยกตัวของสันเขาภายในชัยนาทอุพลค (d) เริ่มมีการเปิดของแอ่งตะกอนมหายุคซีโนโซอิกและหยุดการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแม่ปิงจากแรงในแนวเหนือใต้ (e) ในสมัยไมโอซีนรอยเลื่อนแม่ปิงเกิดการเลื่อนตัวอีกครั้งในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยแรงที่เปลี่ยนไปจากแนวเหนือใต้ (f) จากนั้นแรงเปลี่ยนกลับมาอยู่ในแนวเหนือใต้ ส่งผลให้รอยเลื่อนแม่ปิงมีการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า ตั้งแต่สมัยไมโอซีนตอนปลายจนถึงปัจจุบัน (ดัดแปลงจาก Morley *et al.*, 2007)

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจภาคสนามเพื่อศึกษาลำต้นหินและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาสะแกกรัง นำมารวบรวม วิเคราะห์และอภิปรายผลการศึกษาในด้านของสภาพแวดล้อมการสะสมตัว วิวัฒนาการโครงสร้าง และวิวัฒนาการ การแปรสัณฐานของเขาสะแกกรังและโครงสร้างชั้นนาทูเพลค สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ลำดับชั้นหินในพื้นที่ศึกษาเขาสะแกกรัง ประกอบด้วย 5 หน่วยหิน คือ หินเชิร์ต หินดินดานเนื้อซิลิกา หินดินดาน หินทรายแทรกสลับกับหินดินดาน และหินทราย โดยมีรอยเลื่อนย้อนที่มีระนาบการเลื่อนตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ตัดผ่านชั้นหินและทำให้เกิดโครงสร้างแบบก่ายทับ (duplex structure)
- สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของเขาสะแกกรังจากข้อมูลของลำดับชั้นหินและหลักฐานซากดึกดำบรรพ์เรติโอลาเรียของหินเชิร์ต บ่งบอกการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมตะกอนน้ำพารูปพัดใต้ทะเล บริเวณฐานของลาดทวีปที่แผ่กระจายลงสู่พื้นมหาสมุทรใต้ทะเลลึก
- วิวัฒนาการโครงสร้างของเขาสะแกกรังแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเกิดรอยเลื่อนย้อน ซึ่งสัมพันธ์กับการชนกันของแผ่นอนุทวีปไซบูมาสูและแผ่นอนุทวีปอินโดจีน่าที่ส่งแรงอัดกระทำต่อพื้นที่ในแนวตะวันออกตะวันตกในยุคเพอร์โมไทรแอสสิก ขั้นตอนที่สองเป็นผลต่อเนื่องจากการแปรสัณฐานที่เป็นการเคลื่อนที่ผ่านและอัดกันจากการเลื่อนตัวในแนวระดับแบบซ้ายเข้าของเขต รอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้เกิดการยกตัวของในลักษณะของโครงสร้างดอกไม้บวทที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือใต้ภายในชั้นนาทูเพลคในยุคเทอร์เชียรี
- วิวัฒนาการการแปรสัณฐานของเขาสะแกกรังและชั้นนาทูเพลค เป็นลักษณะโครงสร้างก่ายทับจากการหดตัวของรอยเลื่อนในแนวระดับ (contractional strike-slip duplex) เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านและอัดกันของเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือใต้ในชั้นนาทูเพลค โดยรอยเลื่อนย้อนและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำเป็นกลไกสำคัญในกระบวนการยกตัวของแนวสันเขาต่างๆภายในชั้นนาทูเพลค

อย่างไรก็ตามหลักฐานจากการสำรวจภาคสนามในหินโผล่ของเขาสะแกกรังไม่สามารถอธิบายการเลื่อนตัวในแนวระดับแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงจากแรงในแนวเหนือใต้ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาหลักฐานเพื่อสนับสนุนแนวความคิดการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระบบแรงนี้อาจส่งผลให้ รอยเลื่อนแม่ปิงมีโอกาสขยับตัวได้ในอนาคตและส่งผลกระทบต่อความเสียหายบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ตอนกลางของประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- Bunopas, S. (1981). Palaeogeographic history of Western Thailand and adjacent parts of Southeast Asia - a plate tectonics interpretation. Geological Survey Paper, 5 (Department of Mineral Resources, Thailand), pp.1-810.
- Cowgill, E., Arrowsmith, J., Yin, A., Xiaofeng, W. and Zhengle, C. (2004). The Akato Tagh bend along the Altyn Tagh fault, northwest Tibet 2: Active deformation and the importance of transpression and strain hardening within the Altyn Tagh system. Geological Society of America Bulletin, 116(11-12), pp.1443-1464.
- Chindamanee, P. (2012). Structural Geology of the Uthai Thani Limestone Ridge within the Chainat Duplex, Thailand. Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.
- Cunningham, W.D. and Mann, P. (2007). Tectonic of strike-slip restraining and releasing bends. In: Cunningham, W.D., Mann, P. (Eds.), Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends. Geological Society, London, Special Publications 290, pp. 1-12
- Kachondham, N. (2012). Structural Geology of the Uthai Thani Rhyolite Ridge within the Chainat Duplex, Thailand. Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.
- Kearey, P., Klepeis, K. and Vine, F. (2009). Global Tectonics. Chichester: John Wiley & Sons.
- Lacassin, R., Maluski, H., Leloup, P., Tapponnier, P., Hinthong, C., Siribhakdi, K., Chuaviroj, S. and Charoenravat, A. (1997). Tertiary diachronic extrusion and deformation of western Indochina: Structural and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence from NW Thailand. J. Geophys. Res., 102(B5), pp.10013-10037.
- Metcalfe, I. (2013). Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. Journal of Asian Earth Sciences, 66, pp.1-33.
- Morley C. K., Smith M., Carter A., Charusiri P. and Chantraprasert S. (2007). Evolution of deformation styles at a major restraining bend, constraints from cooling histories, Mae Ping fault zone, western Thailand. The Geological Society, London, Special Publication 290, pp. 325-349.
- 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.

- Pithayarungsarit, P. (2013). Structural Geology of the Nakorn Sawan Ridge within the Chainat Duplex, Thailand. Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.
- Prasongtham, P. (2011). Structural Geology of the Uthai Thani-Nakhorn Sawan Ridge in the Chainat Duplex, Thailand. Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand.
- Prasongtham, P. and Kanjanapayont, P. (2014). Deformation styles of the Uthai Thani-Nakhon Sawan ridge within the Chainat duplex, Thailand. *J. Earth Sci.*, 25(5), pp.854-860.
- Saesaengseerung, D., Sashida, K., Sardud, A., Poonpan, S. (2007). Discovery of Permian radiolarian faunas from the Nakhon Sawan and Uthai Thani areas, Central Thailand. In: Tantiwanit, W. (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Geology of Thailand (GEOTHA1 '07): Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy*. Department of Mineral Resources, Bangkok, p. 72.
- 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)*.
- Smith, M., Chantraprasert, S., Morley, C. and Cartwright, I. (2007). Structural geometry and timing of deformation in the Chainat duplex, Thailand. *Geological Society, London, Special Publications*, 290(1), pp.305-323.
- Tapponnier, P., Peltzer, G., Armijo, R. (1986). On the mechanism of collision between India and Asia. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *Collision Tectonics*. *Journal of the Geological Society, London, Special Publications.*, vol.19, pp. 115-157.
- 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., Miyahigashi, A., Kamata, Y., Kato, M., Charoentitirat, T. and Limruk, S. (2012). Geotectonic implications of Permian and Triassic carbonate successions in the Central Plain of Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, pp.33-50.
- กรมทรัพยากรธรณีฯ. ธรณีวิทยาประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง. กรุงเทพมหานคร : กรมทรัพยากรธรณี, 2550.
- ดร. เพียงตา สาตย์รักษ์. อุทกธรณีวิทยาโครงสร้าง. จังหวัดขอนแก่น : ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547

ภาคผนวก

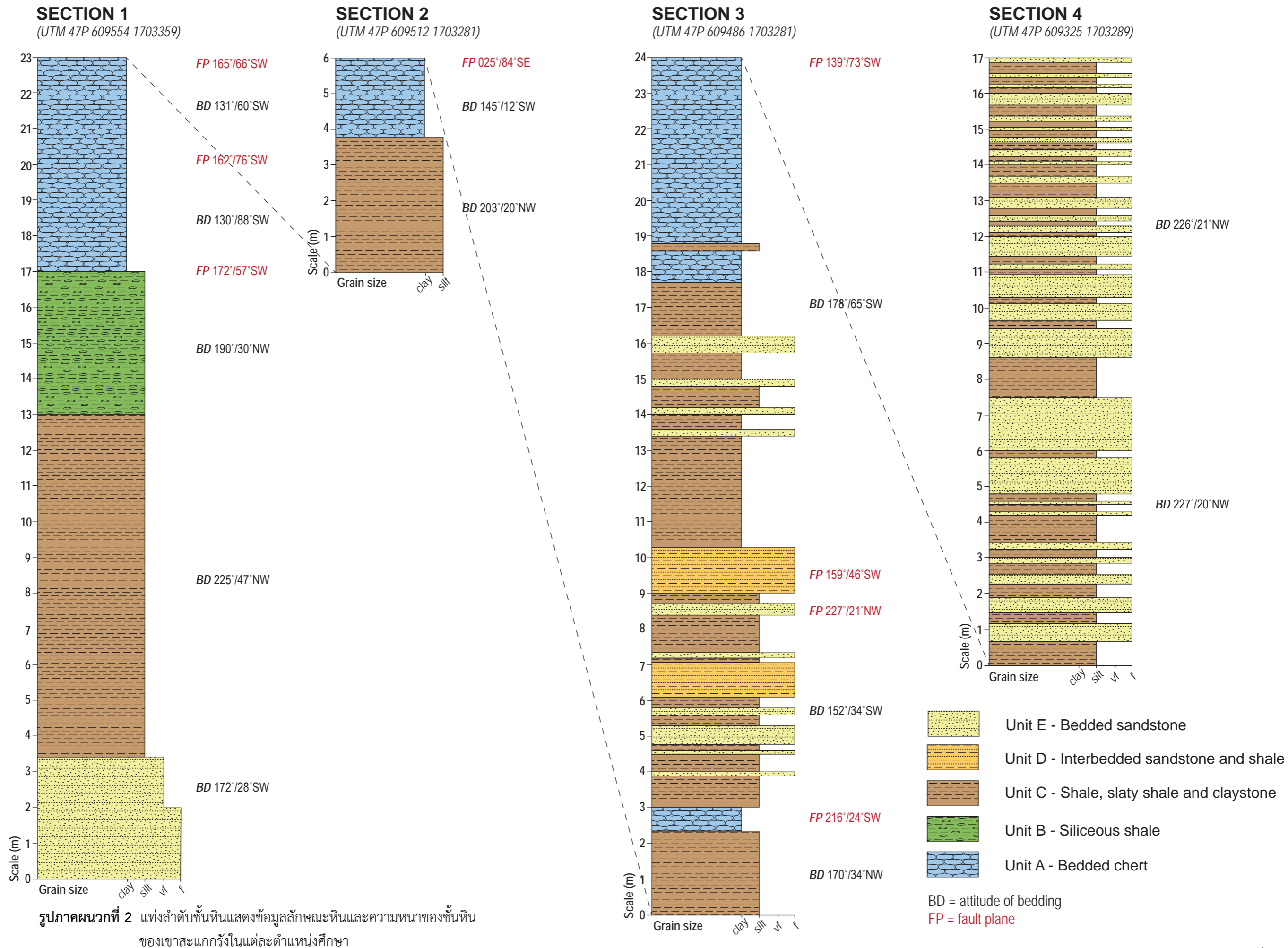
ก. ข้อมูลตำแหน่งศึกษาและลักษณะหิน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจภาคสนามเพื่อนักศึกษาระดับปริญญาโททั้งหมด 4 ตำแหน่งศึกษา (รูปภาคผนวกที่ 1) โดยการเก็บข้อมูลลักษณะหิน ความหนาของชั้นหินและข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง ทุกๆ 1 เมตรในแต่ละตำแหน่งศึกษา รวมทั้งสิ้น 70 เมตร โดยมีรายละเอียดลักษณะหิน (รูปภาคผนวกที่ 2) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ตำแหน่งศึกษาที่ 1 พิกัดยูทีเอ็ม 47P 609554 1703359
เก็บข้อมูลทั้งหมด 23 เมตร
- ตำแหน่งศึกษาที่ 2 พิกัดยูทีเอ็ม 47P 609512 1703281
เก็บข้อมูลทั้งหมด 6 เมตร
- ตำแหน่งศึกษาที่ 3 พิกัดยูทีเอ็ม 47P 609486 1703281
เก็บข้อมูลทั้งหมด 24 เมตร
- ตำแหน่งศึกษาที่ 4 พิกัดยูทีเอ็ม 47P 609325 1703289
เก็บข้อมูลทั้งหมด 17 เมตร



รูปภาคผนวกที่ 1 ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงตำแหน่งศึกษาซึ่งอยู่ใกล้กับสถานีตำรวจภูธรจังหวัดอุทัยธานี



รูปภาคผนวกที่ 2 แท่งลำดับชั้นหินแสดงข้อมูลลักษณะหินและความหนาของชั้นหินของเขาสะแกกรังในแต่ละตำแหน่งศึกษา

ข. ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง

ตำแหน่งศึกษาที่ 1	
1-1	(B) 205°/55°NW
1-2	(B) 170°/64°SW
1-3	(B) 150°/80°SW (B) 172°/28°SW
1-4	(B) 140°/40°SW (B) 138°/35°SW
1-5	(B) 195°/29°NW
1-6	(B) 200°/29°NW
1-7	(B) 230°/46°NW (B) 192°/28°NW (B) 192°/28°NW (B)187°/40°NW
1-8	(B) 225°/47°NW
1-9	(B) 215°/30°NW (B) 243°/40°NW
1-10	(B) 161°/38°SW (B) 240°/19°NW
1-11	(B) 195°/36°NW (B) 151°/40°SW
1-12	(B) 186°/24°NW (B) 194°/45°NW (B) 184°/31°NW (B) 170°/41°SW (B)153°/45°SW
1-13	(B) 162°/30°SW (B) 160°/40°SW (J) 098°/83S°W
1-14	(B) 175°/40°SW (B) 195°/31°NW (F) 108°/55°SW
1-15	(B) 199°/31°NW (B) 182°/30°NW (B) 190°/30°NW
1-16	(B) 151°/48°SW (B) 146°/53°SW (F) 180°/62°W (F) 172°/57°SW (F) 164°/63°SW
1-17	(B) 123°/31°SW (J) 192°/83°NW (F) 109°/34°SW
1-18	(B) 130°/88°SW (J) 200°/58°NW (J) 267°/55°NW
1-19	(B) 138°/41°SW (F) 172°/75°SW (F) 174°/72°SW
1-20	(B) 140°/55°SW (B) 157°/44°SW (B) 146°/52°SW (F) 187°/76°NW (F) 162°/76°SW
1-21	(B) 203°/58°NW (B) 188°/42°NW (B) 215°/32°NW (J) 310°/76°NE
1-22	(B) 195°/55°NW (B) 145°/43°NW
1-23	(B) 179°/18°SW (B) 252°/32°NW (B) 243°/24°NW (F) 165°/66°SW (F) 139°/67°SW

ตำแหน่งศึกษาที่ 2	
2-1	(B) 154°/13°SW (B) 163°/13°SW
2-2	(B) 223°/14°NW (B) 203°/20°NW (B) 125°/15°SW
2-3	(B) 115°/13°SW
2-4	(B) 145°/12°SW (J) 077°/82°SE (J) 005°/53°SE
2-5	(B) 156°/30°SW (B) 135°/26°SW (B) 148°/42°SW
2-6	(B) 117°/08°SW (B) 183°/22°NW (F) 025°/84°SE

ตำแหน่งศึกษา-จุดศึกษา (เมตร) (B) = bedding plane (F) = fault plane (J) = joint

ตำแหน่งศึกษาที่ 3					
3-1	(B) 198°/46°NW (B) 189°/47°NW	(B) 181°/41°NW	3-13	(B) 149°/57°SW (B) 169°/47°SW	
3-2	(B) 182°/27°NW (B) 183°/29°NW	(B) 175°/28°SW	3-14	(B) 171°/65°SW (B) 170°/50°SW	
3-3	(B) 115°/13°SW (F) 216°/24°NW	(B) 170°/34°SW (F) 180°/36°W	3-15	(B) 187°/45°NW (B) 174°/42°SW	
3-4	(B) 189°/31°MW		3-16	(B) 183°/67°NW (J) 312°/29°NE	
3-5	(B) 184°/37°MW		3-17	(B) 174°/65°SW (B) 178°/64°SW	
3-6	(B) 126°/43°SW	(B) 152°/34°SW	3-18	(B) 223°/73°NW (B) 228°/56°NW	
3-7	(B) 165°/23°SW		3-19	(B) 172°/63°SW (B) 174°/47°SW	
3-8	(B) 171°/23°SW (F) 227°/21°MW	(F) 229°/15°MW (F) 178°/28°SW	3-20	(B) 175°/61°SW	
3-9	(B) 170°/36°SW (B) 155°/37°SW	(B) 160°/32°SW (F) 159°/46°SW	3-21	(B) 188°/68°NW (J) 213°/55°NW	
3-10	(B) 158°/27°SW	(B) 165°/28°SW	3-22	(B) 187°/83°NW (J) 208°/44°NW	
3-11	(B) 170°/39°SW	(B) 153°/44°SW	3-23	(B) 149°/88°SW (B) 162°/89°SW	
3-12	(B) 173°/46°SW	(B) 172°/48°SW	3-24	(B) 149°/70°SW (F) 139°/73°SW	

ตำแหน่งศึกษาที่ 4					
4-1	(B) 239°/14°NW	(B) 219°/28°NW	4-10	(B) 227°/28°NW (B) 222°/22°NW	
4-2	(B) 223°/14°NW	(B) 203°/20°NW	4-11	(B) 252°/15°NW (B) 248°/26°NW	
4-3	(B) 210°/14°NW	(B) 200°/15°NW	4-12	(B) 226°/21°NW (B) 211°/16°NW	
4-4	(B) 227°/20°NW	(B) 254°/13°NW	4-13	(B) 232°/18°NW	
4-5	(B) 234°/20°NW	(B) 218°/18°NW	4-14	(B) 236°/19°NW	
4-6	(B) 247°/16°NW		4-15	(B) 228°/20°NW	
4-7	(B) 238°/17°NW		4-16	(B) 211°/16°NW (B) 234°/18°NW	
4-8	(B) 231°/16°NW	(B) 238°/27°NW	4-17	(B) 235°/12°NW (B) 247°/10°NW	
4-9	(B) 203°/36°NW	(B) 226°/16°NW			

ตำแหน่งศึกษา-จุดศึกษา (เมตร) (B) = bedding plane (F) = fault plane (J) = joint