



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์
บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

โดย

นายรุ่งโรจน์ สุนทรภักดี
เลขประจำตัวนิสิต 5932728823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

นาย รุ่งโรจน์ สุนทรภักดี

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

STRUCTURAL GEOLOGY OF CLAY MINE AT SOUTHEAST OF BAN RAI DISTRICT,
UTHAI THANI PROVINCE

Mr. Rungrot Sunthonpakdee

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2019

หัวข้อโครงการ

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณ
ตะวันออกเฉียงใต้ของ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

โดย

นายรุ่งโรจน์ สุนทรภักดี

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์

วันที่ส่ง _____

วันที่อนุมัติ _____

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์)

Project Tittle

STRUCTURAL GEOLOGY OF CLAY MINE AT
SOUTHEAST OF BAN RAI DISTRICT, UTHAI THANI
PROVINCE

By

Mr. Rungrot Sunthonpakdee

Field of Study

Geology

Project Advisor

Associate Professor Dr. Pitsanupong
Kanjnapayont

Submitted date _____

Approval date _____

Project Advisor

(Associate Professor Dr. Pitsanupong Kanjanapayont)

หัวข้อโครงการ: ธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของ อำเภอบ้านไร่ จังหวัด
อุทัยธานี

ผู้วิจัย: นายรุ่งโรจน์ สุนทรภักดี

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ: รองศาสตราจารย์ ดร.พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์

ภาควิชา: ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

จังหวัดอุทัยธานี เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางด้านแหล่งอุตสาหกรรมแร่อย่างมากมาย ซึ่งหนึ่งในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในจังหวัดอุทัยธานีคือ “อุตสาหกรรมแร่ดินขาว” ซึ่งเป็นจุดศึกษาของงานวิจัยในครั้งนี้อยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาโครงสร้างโดยหินเคลย์ในจุดศึกษาเกิดการบีบอัดของแรงทำให้เกิดชั้นหินคดโค้ง เป็นให้เกิดรอยแตกและเกิดการแทรกดันของแร่ควอตซ์ทำให้เกิดการแปรสภาพเล็กน้อยโดยที่แร่ควอตซ์ได้เข้าไปเชื่อมประสานระหว่างเม็ดตะกอนในหินเคลย์และบางส่วนได้ฝังโดยสีฝุ่นมีลักษณะที่เป็นสีขาวทำให้เรียกว่าแร่ดินขาว โดยลักษณะที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสันนิษฐานว่าเกิดจากอิทธิพลของรอยเลื่อน แม่ปิง รอยเลื่อน ศรีสวัสดิ์ รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีแรงบีบอัดในช่วงการเกิดเทือกเขาอินโดจีนในยุคเพอร์เม-ไทรแอสซิก โดยโครงการนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง รวมถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี ทั้งในระดับมหัภูมิภาคและระดับจุลภาคต่อไป

จากการศึกษาระดับมหัภูมิภาคและระดับจุลภาค เพื่อหาหลักฐานจากค่าชั้นหินคดโค้ง การวางตัวรอยเลื่อน ชุดของแนวแตก และโครงสร้างแนวเส้นพบว่าชั้นหินคดโค้งมีทิศทางของแกนชั้นหินคดโค้งวางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะอีกทั้งยังหลักฐานของรอยเลื่อนมุ่มย้อนที่ตัดผ่านชั้นหินคดโค้งและทั้งยังพบมีลักษณะที่บ่งบอกได้อีกคือชุดของแนวแตกทั้ง 4 แนวที่ศึกษาได้จากการวัดค่าจากภาคสนามและศึกษาผ่านแผ่นหินบาง โดยวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ เกิดขึ้นในยุคไทรแอสซิก ซึ่งเป็นผลมาจากการชนกันระหว่างแผ่นจูลทวีปฉาน-ไทยและแผ่นจูลทวีปอินโดจีนทำให้เกิดความเค้นหลักค่ามากสุดในประมาณทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เป็นผลทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งแบบเลื่อนไถลที่เกิดร่วมกับแรงเฉือนเฉพาะระดับท้องถิ่นในบริเวณพื้นที่ศึกษาพร้อมกับการแปรสภาพเล็กน้อยและการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาอื่นๆ

คำสำคัญ : เหมืองเคลย์จังหวัดอุทัยธานี, รอยเลื่อนแม่ปิง, ธรณีวิทยาโครงสร้างจังหวัดอุทัยธานี

ภาควิชา ธรณีวิทยา ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา ธรณีวิทยา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก _____

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารอง _____

Project Title: Structural geology of Clay mine at Sountheast of Banrai District, Uthai Thani
Province

Researcher: Mr. Rungrot Sunthonpakdee

Advisor: Associate Professor Pitsanupong Kanjanapayont

Department: Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract

Uthai Thani Province Is an area that has the potential to source many mineral industries Which one of the mining industry in Uthai Thani province is "The kaolin industry" which is the study point of this research is on the southeast side of Ban Rai District Uthai Thani Province Which is related to the geological structure by the clay stone in the study point, the compression of the force causes the curving layers to cause cracks and the insertion of quartz minerals causing slight transformation The quartz ore has been bonded between the granular sediments in the clay rock and some have decayed. The decay color is white, which is called kaolin. All of the above characteristics can be assumed to be caused by the influence of Mae Ping fault, Sri Sawat fault, three pagoda faults. Resting in the north-south-east direction There was compression during the Indochina mountains during the Thermo-Triassic period. This project will focus on the study of structural geology. Including the relationship, evolution and mechanism of geological structure of Clay Mine in the southeast of Ban Rai District Uthai Thani Province Both at the mesoscopic level and the microscopic level

From the mesoscopic and microscopic level studies To find evidence from folding The formation of faults and sets of joint show that the curving layers have the direction of the fold axis in the north-south-east, with changes in fragmented characteristics and evidence. Of the reverse angle fault that cuts through the curving strata and also has an indication of the characteristic of the four sets of broken lines studied from the field measurements and the study The thin slab By evolution, morphology and structural geology of Clay mine Occurred in the Triassic era This is the result of a collision between the Shan-Thai plate and the Indochina microscopy, causing the highest stress in the north-southeast region, resulting in sliding rocks. Skids that occur with local shear forces in the study area, along with slight transformation and the formation of other geological structures

Keyword : Clay Mine Uthai Thani Province, Mae Ping Fault , Geological Structure of Uthai Thani Province

Department Geology Student's Signature _____

Field of Study Geology Advisor's Signature _____

Academic Year 2019

Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ออกภาคสนามในตลอดการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ อ.ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ที่ได้สละเวลามาช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาทั้งการและหลังการออกสำรวจภาคสนามและให้คำปรึกษาอื่นในทุกๆด้าน ทั้งการออกแบบการนำเสนอ ทั้งการเตรียมความพร้อมก่อนการออกภาคสนามและหลังการออกภาคสนาม และการทำรูปเล่ม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้ออกมาสมบูรณ์ รวมไปถึงการให้คำปรึกษาในด้านการเรียน แล้วการใช้ชีวิตของการเป็นนักธรณีวิทยา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ ทั้งในด้านวิชาการ กระบวนการความคิด ด้านการออกภาคสนาม ด้านคุณธรรม และด้านการใช้ชีวิต และขอบคุณพี่ๆบุคลากรภายในภาควิชาที่คอยช่วยเหลือต่างๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือผมให้สามารถผ่านพ้นตลอด 4 ปีได้อย่างมีความสุข

ขอขอบคุณ นายวศิน มีสวน นายธรรมปพน สรรพอุดม และนายผดุงผล จิโนการ เพื่อนนิตปี 4 ที่ช่วยเหลือในตลอดงานวิจัยในครั้งนี้และเป็นผู้ช่วยในการออกภาคสนาม นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ จีโอรุ่น 60 (GEO'60) และ น้องๆสมาชิกธรณีสัมพันธ์ (UNION) ที่คอยเป็นกำลังใจ คอยสนับสนุนในการทำวิจัยนี้ภายใต้สถานการณ์ โโรค COVID-19 ระบาด แต่ก็สามารถให้แรงผลักดันในการทำวิจัยนี้ให้เสร็จสิ้นได้

สารบัญ

บท	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ(Background)	1
1.2 จุดประสงค์(Objective)	2
1.3 พื้นที่ศึกษา(Study area)	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา(Scope of work)	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ(Expected output)	5
บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย (General geology)	6
2.1 ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน	6
2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	12
2.3 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	13
2.3.1 ธรณีวิทยาภาพภาพและการลำดับชั้นหิน	15
2.3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้างทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	15
2.3.2.1 การวางตัวชั้นหิน	15
2.3.2.2 ชั้นหินคดโค้ง	15
2.3.2.3 รอยแยกและรอยเลื่อน	16
2.3.2.4 แนวแตกเรียบ	18
2.3.2.5 รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง	18
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	19
3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น	19
3.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
3.1.2 การวิเคราะห์แนวเส้นและธรณีสัณฐานด้วยข้อมูลจากการสำรวจ	20
ระยะไกล	20
3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม	20

3.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	
3.2.2 การเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง	20
3.3 การศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ	22
3.3.1 การวิเคราะห์ระดับมหัศจรรย์ภาค	22
3.3.2 การวิเคราะห์ระดับจุลภาค	22
3.4 การตีความข้อมูล	25
3.4.1 ธรณีวิทยา	25
3.4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	25
3.4.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง	25
3.5 การอภิปรายและการสรุปผลการศึกษา	25
3.6 การจัดทำรายงานและการนำเสนอ	26
3.6.1 การสัมมนา	26
3.6.2 เขียนรายงานโครงงาน	26
บทที่ 4 ผลการศึกษา (Result)	27
4.1 ธรณีวิทยา	27
4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	28
4.2.1 ผลการศึกษาระดับมหัศจรรย์ภาค	28
4.2.1.1 จุดศึกษาขอบเขตที่ 1 (domain 1)	34
4.2.1.2 จุดศึกษาขอบเขตที่ 2 (domain 2)	34
4.2.1.3 จุดศึกษาขอบเขตที่ 3 (domain 3)	47
4.2.1.4 จุดศึกษาขอบเขตที่ 4 (domain 4)	50
4.2.2. ผลการศึกษาระดับจุลภาค	65
4.2.2.1. กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ	66
4.2.2.1.1 สายแร่	66
4.2.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงแบบแตกหัก	68
4.2.2.2. ตัวชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาค (shear sense indicator)	69
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (Discussion&Result)	70
5.1 ธรณีวิทยา	70
5.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	71
5.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง	79

5.4 สรุปผลการศึกษา (Conclusion)	84
เอกสารอ้างอิง (Referense)	85

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูป 1.1 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณรอยเลื่อนหลัก บริเวณภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทยที่ที่อิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจาก Smith et al., 2007)	3
รูป 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ศึกษาแสดงลักษณะการวางตัวของภูเขาในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ (อ้างอิง : google earth)	4
รูป 2.1 แบบจำลองธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและการพัฒนาของแนวภูเขาไฟสุโขทัย ในช่วงยุคคาร์บอนิเพอร์ริสถึงยุคจูแรสซิก (Metcalfe, 2013)	7
รูป 2.2 (a-f) การทดลองการบุ๋ม(indentation experiments) ในดินน้ำมันโดยผลักไม้เข้าไปข้างในและเกิดลอยเลื่อนเป็นชั้นๆ เลข 1 และ 2 ในรูป (f) คือแผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแผ่นจีนตามลำดับ (g) แผนที่แสดงการแปรสัณฐานของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตัวเลขในลูกศรใหญ่เป็นเหตุการณ์การหนีหาย (escape event) ในช่วง 50-20 ล้านปี (ตัวเลขลูกศร 1) และในช่วง 20 ล้านปี-ปัจจุบัน(ลูกศรตัวเลข 2) (kearey et al., 2009: ดัดแปลงจาก Tapponier et al., 1986)	9
รูป 2.3 แผนที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่และแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแสดงทิศทางของแนวแรงที่กระทำต่อแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบัน (ลูกศรสีเหลือง) (ดัดแปลงจาก Tingay et al., 2010; ETOPO Image from Vamer J. and E. Lim, CIRES, University of Colorado at Boulder, 2008)	10
รูป 2.4 สรุปเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานที่สำคัญและการเกิดหินอัคนีในประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Morley et al., 2011)	11
รูป 2.5 แสดงทิศทางความเค้นหลักสัมพันธ์กับระบบรอยเลื่อนแต่ละประเภท	13
รูป 2.6 แผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250000 จังหวัดอุทัยธานี	14
รูป 2.7 แสดงกลุ่มรอยเลื่อนที่มีพลังพาดผ่านของประเทศไทย	17
รูป 3.1 วิธีการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งสำหรับทำแผ่นหินบาง (Passcheir and Trouw, 2005)	21
รูป 3.2 แผนที่แสดงขั้นตอนลำดับการวิจัย	23
รูป 3.3 การพล็อตโพล (pole) ในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า	24
รูป 3.4 แผนภาพภูเขาลาบแสดงทิศทางการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้าง	24
รูป 4.1 หินเคลย์เนื้อซิลิกาและแร่ควอตซ์ บริเวณเหมืองเคลย์บริเวณตะออกเฉียงใต้ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี	27

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูป 4.2 แสดงภาพรวมของจุดศึกษาขอบเขตที่ 1 (domain 1)	29
รูป 4.3 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 (domain 2)	30
รูป 4.4 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 (domain 3)	31
รูป 4.5 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 (domain 3) บริเวณด้านหลัง	32
รูป 4.6 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 (domain 4)	33
รูป 4.7 (a) รูปถ่าย รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) รูปขวา ลักษณะธรณีวิทยา โครงสร้างของพื้นที่เส้นสีประแสดงชั้นหินคดโค้ง และ พื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อน	11
รูป 4.8 (a) รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอย เลื่อนที่ไม่ทราบทิศทางการวางตัวซึ่งเป็นรอยเลื่อนเดียวกับรอยเลื่อนของ(รูป 4.9)	36
รูป 4.9 (a) รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอย เลื่อนที่มีค่าการวางตัวที่ 158/28 WSW และ 145/14 WSW ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรอยเลื่อนที่พบใน พื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1	39
รูป 4.10 (a) รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของ พื้นที่เส้นสีเทาแสดงชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold) โดยมีค่าระนาบแกน (axial plane) 218/26 WNW โดยมีรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นหินคดโค้งนี้โดยมีค่าการวางตัว 270/26 N โดยแสดง ลักษณะของ และ พื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อน และ พื้นที่สีชมพูคือลักษณะของ พนัง ควอตซ์ (quartz dike)	40
รูป 4.11 (a) รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของ พื้นที่เส้นสีเทาแสดงชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold)	42
รูป 4.12 (a) รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะของพนังควอตซ์ที่แทรกผ่าน ชั้นหินในขอบเขตที่ 2 วัดค่าวางตัวได้ 241/69 NNW	44
รูป 4.13 แสดงลักษณะของกลุ่มแนวแตก (joint set) ที่พบในพื้นที่ศึกษา	46
รูป 4.14 พื้นที่เส้นสีเทาแสดงลักษณะชั้นหินคดโค้งและพื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อนของ ขอบเขตที่ 3	47

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูป 4.15 (a) รูปถ่ายหินโพลีในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 3 (b) ลักษณะของโครงสร้างเชิงเส้นที่เป็นโครงสร้างแนวสร้างจากรอยหยัก (crenulation lineation) เช่นเดียวกับทุกขอบเขต	48
รูป 4.16 แสดงภาพรวมของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะโครงสร้างของรอยเลื่อน (เส้นสีดำ) และชั้นหินคดโค้ง (เส้นประ)	50
รูป 4.17 แสดงภาพรวมของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ซึ่งพบผนังควอตซ์ (quartz dike) ซึ่งเป็นตัวเดียวกับขอบเขตที่ 2	51
รูป 4.18 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโพลีในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 4 (b) รูปล่าง ของรอยเลื่อนและชั้นหินคดโค้ง	52
รูป 4.19 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโพลีในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 4 (b) รูปล่าง ของรอยเลื่อนและชั้นหินคดโค้ง	53
รูป 4.20 (a) รูปบนรูปถ่ายหินโพลีในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 4 (b) รูปล่าง ของรอยเลื่อนและชั้นหินคดโค้ง	54
รูป 4.21 a) คือแผนภาพภูทาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 1	55
รูป 4.22 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพภูทาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพภูทาบและ (รูป c) คือโพล	56
รูป 4.23 a) คือแผนภาพภูทาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 2	57

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูป 4.24 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล	58
รูป 4.25 a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือ ระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 3	59
รูป 4.26 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล	60
รูป 4.27 a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือ ระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 4	61
รูป 4.28 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล	62
รูป 4.29 a) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ b) คือแผนภาพกุกุหลาบและ c) คือโพล ทั้งหมดคือ ระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาทั้งหมด	63

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูป 4.30 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกแยกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุหลาบและ (รูป c) คือโพล	64
รูป 4.31 สายแร่ควอตซ์ภายใต้แผ่นหินขัดบาง	66
รูป 4.32 รูปแบบของการเติบโตเส้นใยในสายแร่ที่พบได้ในธรรมชาติ ส่วนที่อายุน้อยที่สุดแสดงโดยสีที่อ่อนกว่า พื้นผิวที่เติบโตแสดงโดยเส้นสีดำเข้ม การเติบโตแบบแกนร่วมมีหนึ่งพื้นผิวการเติบโตแบบแกนเดี่ยวและแบบสมมาตร การเติบโตแบบด้านแกนและการเติบโตแบบผสมมีสองพื้นผิวการเติบโต การเติบโตแบบไม่มีแกนไม่จำกัดพื้นผิวการเติบโต (Passchier and Trouw, 2005)	67
รูป 4.33 แสดงการเคลื่อนที่แบบรอยแตกแบบดึงออก (รูปบน) , (รูปล่าง)การเคลื่อนที่เกิดในรูปแบบของการดึงออก (a) และการเลื่อนหรือการฉีก (b) (Passschier and Trouw, 2005)	68
รูปที่ 4.34 ตัวอย่างบอกทิศทางการเฉือนจุลภาคชนิดต่างๆ โดยกรอบสีแดงแสดงถึงชนิดที่เจอในแผ่นหินบางของการศึกษานี้ (Passchier and Trouw, 2005)	69
รูปที่ 5.1 แนวการวางตัวของโครงสร้างในทรงรีความเครียด (Charusiri, 1997)	73
รูป 5.2 เส้นประแสดงถึงรอยเลื่อนแนวระดับในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา	74
รูป 5.3 หน้าผาสามเหลี่ยม (triangular facet)บริเวณเขาน้ำเกลือ	74
รูป 5.4 โครงสร้างแนวเส้นขนานไปกับแกนชั้นคดโค้งที่วางตัวไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ที่ใช้วิเคราะห์ทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดได้	75
รูป 5.5 แบ่งลักษณะประเภทของชั้นหินคดโค้งในพื้นที่ศึกษา	76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูป 5.6 แนวแตกทั้ง 2 แนวที่เกิดขึ้นพร้อมกับชั้นหินคดโค้ง โดยแยกตามประเภทของวิธีการแตก รวมถึงการวางตัวเมื่อเทียบกับแนวการวางตัวของแกนชั้นคดโค้ง	77
รูป 5.7 แผนที่การสภาพการแปรสัณฐานในช่วง 260 – 210 ล้านปีก่อนซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเหนือ แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนใต้ เขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ (Morley, 2018)	81
รูป 5.8 ตารางสรุปเหตุการณ์การเกิดเหมืองเคลย์บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดอุทัยธานี ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	82
รูป 5.9 แบบจำลองการเกิดธรณีวิทยาโครงานเหมืองเคลย์บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จงหวัดอุทัยธานี	83

บทที่ 1

บทนำ(Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญ(Background)

จังหวัดอุทัยธานีตั้งอยู่บนพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างติดกับภาคตะวันตกและมีพื้นที่เทือกเขาสูงสลับซับซ้อนทางทิศทางด้านตะวันตกเป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างของลักษณะภูมิประเทศ ตั้งแต่ที่ราบลุ่มแม่น้ำไปจนถึงที่ราบสูงสอดคล้องกับแนวภูเขาของแนวเทือกเขาถนนธงชัย(กรมทรัพยากรธรณี.2551) พื้นที่ด้านตะวันตกของจังหวัดอุทัยธานีวางตัวต่อเนื่องมาจากแนวหลักของจังหวัดตากเรียกว่าแนวดอยอินทนนท์ (Inthanon zone)(Ueno et al., 2012)และในตั้งอยู่ในแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ (Sibumasu microcontinent); (Metcalf 2013) ประกอบด้วย หินตะกอน หินแปร หินอัคนี และตะกอนร่วน ซึ่งสะสมตัวตั้งแต่ยุคพรีแคมเบรียนจนถึงยุคควอเทอร์นารี ได้แก่ หินแปรมหายุคพรีแคมเบรียน (หินไนส์ลานสาง) หินยุคแคมเบรียน (หมวดหินเจ้าแฉกร) หินยุคออร์โดวิเซียน (หมวดหินท่ามะกา) หินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (หมวดหินทองผาภูมิ) หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (สามารถเทียบเคียงได้กับ หมวดหินทองผาภูมิ) หินยุคเพอร์เมียน (หมวดหินไทรโยค และ หมวดหินซับบอน) หินยุคไทรแอสซิกซึ่งประกอบด้วยสองหน่วยหินคือ หน่วยหินฮ่องฮอยและหน่วยหินTr2 (หินแกรนิตยุคไทรแอสซิก) หินตะกอนยุคควอเทอร์นารี และ หินอัคนี ในยุคไทรแอสซิก-เพอร์เมียนและยุคไทรแอสซิก (หินแกรนิตบ้านทองหลาง)

ในช่วงเวลาดังกล่าวมีการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบภาคพื้นสมุทรและภาคพื้นทวีป การแทรกดันของหินอัคนีมีการบีบอัดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการแปรสภาพสภาพของชั้นหิน และการยกตัวของหน่วยหินต่างๆอันเนื่องมาจากรอยเลื่อนที่สำคัญในประเทศไทยทางด้านตะวันตกคือกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ กลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงและกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ซึ่งวางตัวขนานกันและมีการวางตัวของโครงสร้างในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (รูป 1.1) รอยเลื่อนตามแนวระดับนี้เคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกาเป็นหลักช่วงสมัยโอลิโกซีนและมีบางช่วงเวลาที่ย้อนกลับเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา โดยเกิดในช่วงสมัยปลายโอลิโกซีนถึงไมโอซีน(Morley et al., 2013) ทำให้เกิดกระบวนการกัดกร่อน ผุพัง และสะสมตัวของชั้นตะกอนร่วมทางน้ำทางด้านตะวันออกในปัจจุบัน

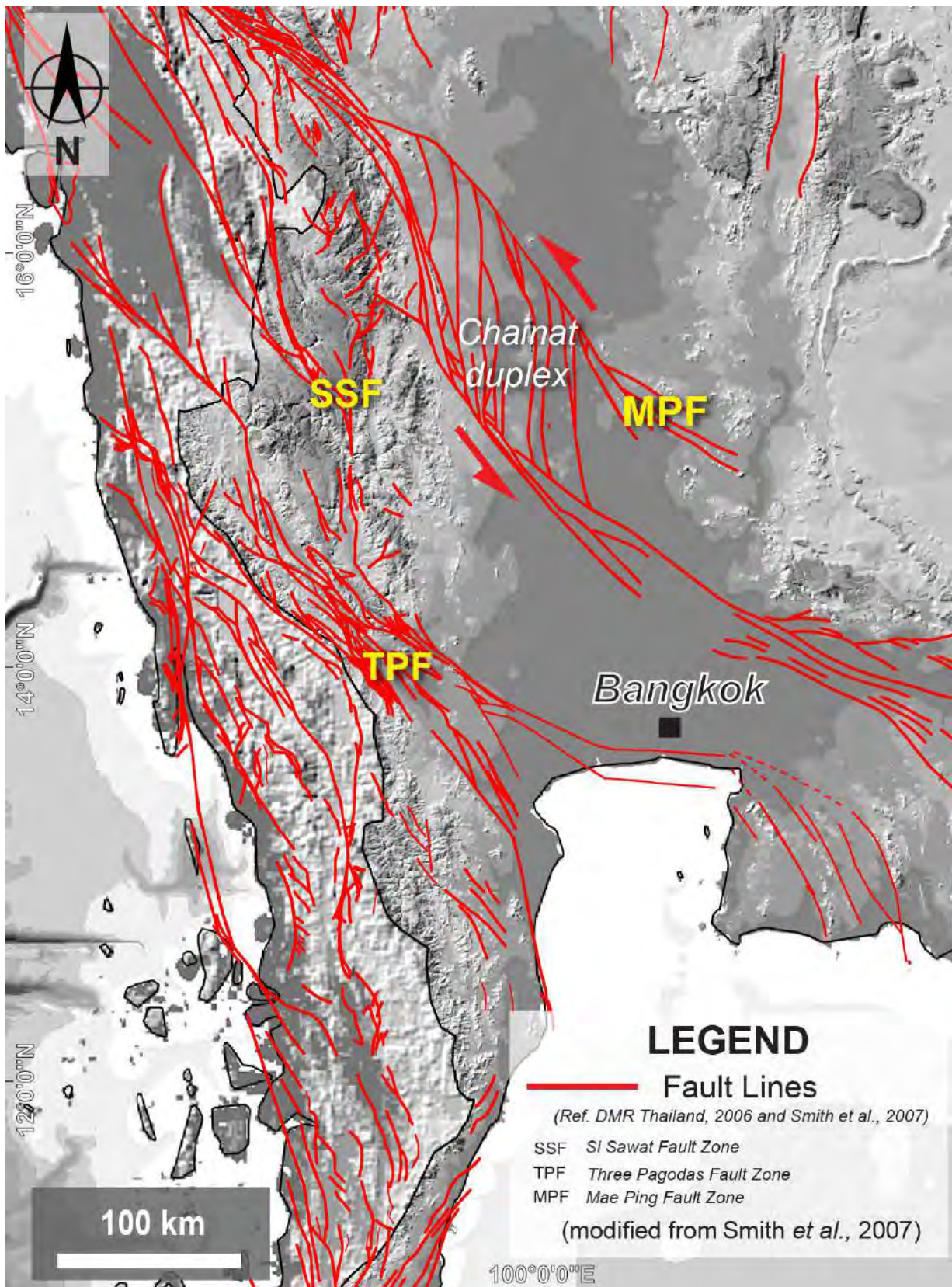
พื้นที่ศึกษาบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานีนั้นได้รับอิทธิพลจากกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงกลุ่มรอยเลื่อนและกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ทำให้ปรากฏโครงสร้างทางธรณีวิทยาขึ้นแต่ในบริเวณพื้นที่ศึกษานี้ ดังนั้น โครงงานวิจัยนี้ จะทำการสำรวจหินโผล่บริเวณขอบตะวันตกเฉียงใต้ ในพื้นที่อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางโครงสร้าง และเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยเก่า

1.2 จุดประสงค์(Objectives)

- เพื่อศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี
- เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะธรณีโครงสร้างของเหมืองเคลย์

1.3 พื้นที่ศึกษา(Study area)

พื้นที่ศึกษาของการศึกษาคือบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี โดยจะเน้นศึกษาลักษณะธรณีแปรสัณฐานในระดับมหภาค (macro scale) จากข้อมูลภาคสนาม (outcrops survey) และศึกษาระดับจุลภาค(micro scale) ผ่านแผ่นหินขัดบาง (thinsection) โดยแนวเขามีกการวางตัวในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (รูป 1.2.) โดยได้รับอิทธิพลจากรอยเลื่อนในประเทศไทย โดยในพื้นที่ศึกษาเป็นลักษณะของเหมืองขุด (quarry) ชนิดแร่ดินขาวซึ่งเป็นแร่เศรษฐกิจอันดับต้นของจังหวัดอุทัยธานี



รูป 1.1. แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณรอยเลื่อนหลัก บริเวณภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทยที่
 ที่อิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจาก Smith et al., 2007)



รูป 1.2. ภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ศึกษาแสดงลักษณะการวางตัวของภูเขาในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ (อ้างอิง : google earth)

1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

โครงการนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่บริเวณเหมืองเคลย์ บริเวณตะออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี โดยศึกษาจากลักษณะชนิดหินและเก็บข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างต่างๆที่พบในหินโผล่ (outcrop) ทั้งโครงสร้างชนิดระนาบ เช่น รอยเลื่อน (fault) แนวแตก (joint) และริ้วขนาน (foliation) เป็นต้น รวมถึงโครงสร้างแนวเส้น (lineation) อื่นๆที่พบ หลังจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 คือการวิเคราะห์ระดับมัชฌิมภาค (mesoscopic scale) จะเป็นการวิเคราะห์โดยใช้การกำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (equal-area stereographic plot) และแผนภาพกุหลาบ (rose diagram) และระดับที่ 2 คือการวิเคราะห์ระดับจุลภาค (microscopic) จะเป็นการศึกษาทางด้านศิลาวรรณา (petrography) และโครงสร้างขนาดเล็กด้วยการศึกษาแผ่นหินบาง (thin section) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และสุดท้ายจะเป็นการสรุปข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected outputs)

- ทราบข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณตะออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี
- ทราบข้อมูลความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณตะออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

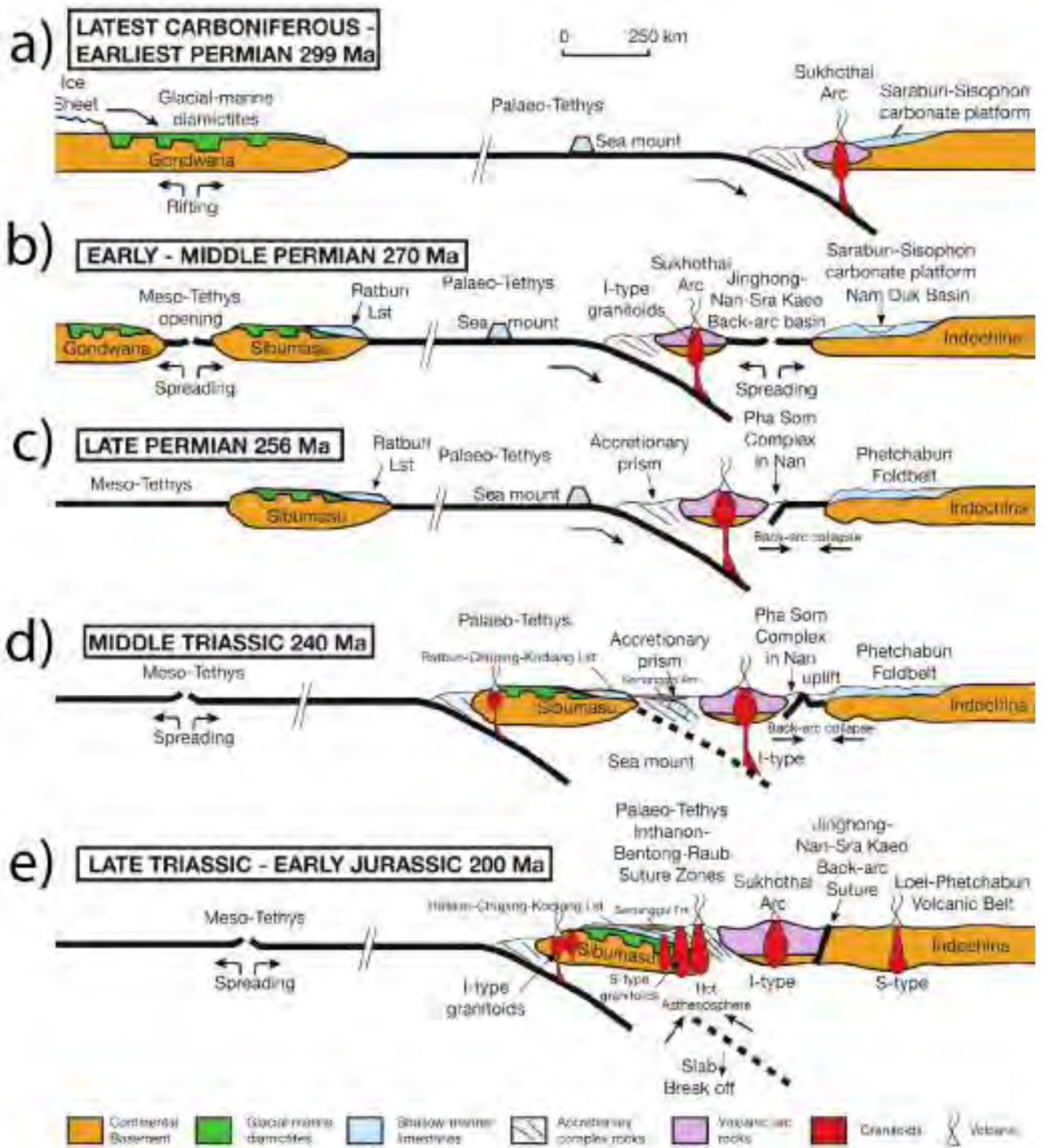
บทที่ 2

ธรณีวิทยาทั่วไป (General geology)

บทนี้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาทั้งในระดับภูมิภาคและระดับท้องถิ่น ประกอบด้วยข้อมูลธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ธรณีวิทยาโครงสร้าง และธรณีวิทยาของจังหวัด นครสวรรค์ เพื่อเป็นข้อมูลใช้สำหรับการอภิปรายผลการศึกษาในบทที่ 5 ต่อไป

2.1 ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน

Barber et al. (2005, 2009) ได้สรุปวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในช่วงก่อนยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) ดังต่อไปนี้ ช่วงยุคแคมเบรียน-ออร์โดวิเชียียน (Cambrian – Ordovician) แผ่นเปลือกโลกอินโดจีน (Indochina terrane) และแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ (Sibumasu terrane) เป็นส่วนหนึ่งของมหาทวีปคอนดวานา (Gondwana) ต่อมาแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนแยกตัวออกจากมหาทวีปคอนดวานาในช่วงปลายยุคดีโวเนียน (Late Devonian) ทำให้เกิดทะเลโบราณพาลีโอเทธิส (Paleo-Tethys) ต่อมาเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทรลงไปได้แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนบริเวณด้านทิศตะวันตกในปัจจุบันผลจากการมุดตัวก่อให้เกิดแนวภูเขาไฟตามขอบด้านตะวันตกของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนที่เรียกว่า แนวสุโขทัย (Sukhothai arc; รูปที่ 2.1a) และก่อให้เกิดการเปิดออกของแอ่งโค้งด้านหลังน่าน (Nan Back-arc basin; รูปที่ 2.1b) ต่อมานั้นแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุได้แยกตัวออกจากมหาทวีปคอนดวานาในช่วงต้นยุคเพอร์เมียน (Early Permian) เกิดเป็นทะเลโบราณมีโซเทธิส (Meso-Tethys) ช่วงเวลาก่อนจะเกิดการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนและแผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ นั้น แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนมีตำแหน่งอยู่ในละติจูดต่ำใกล้เส้นศูนย์สูตรเมื่อเทียบกับปัจจุบัน ในขณะที่แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุอยู่ที่ละติจูดประมาณ 20-30 องศาใต้ซึ่งขณะนั้นหินปูนอายุเพอร์เมียนของกลุ่มหินสระบุรีมีการสะสมตัวบริเวณขอบด้านตะวันตกของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน ต่อมาในช่วงปลายยุคเพอร์เมียน-ยุคไทรแอสซิกตอนปลาย (รูปที่ 2.1c) แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุเริ่มมีการเคลื่อนที่ขึ้นมาทางเหนือ เนื่องจากการขยายตัวของธรณีมหาสมุทร (seafloor spreading) ของทะเลโบราณมีโซเทธิส จนเกิดการมุดตัวได้แนวสุโขทัย ทำให้ทะเลโบราณพาลีโอเทธิสตัวเกิดการสะสมตะกอนแบบพอกพูน (accretionary prism) และแอ่งหลังแนวภูเขาไฟน่านถูกปิดด้วยแรงบีบอัด



รูป 2.1 แบบจำลองธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและการพัฒนาของแนวภูเขาไฟสุโขทัย ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคจูแรสซิก (Metcalf, 2013)

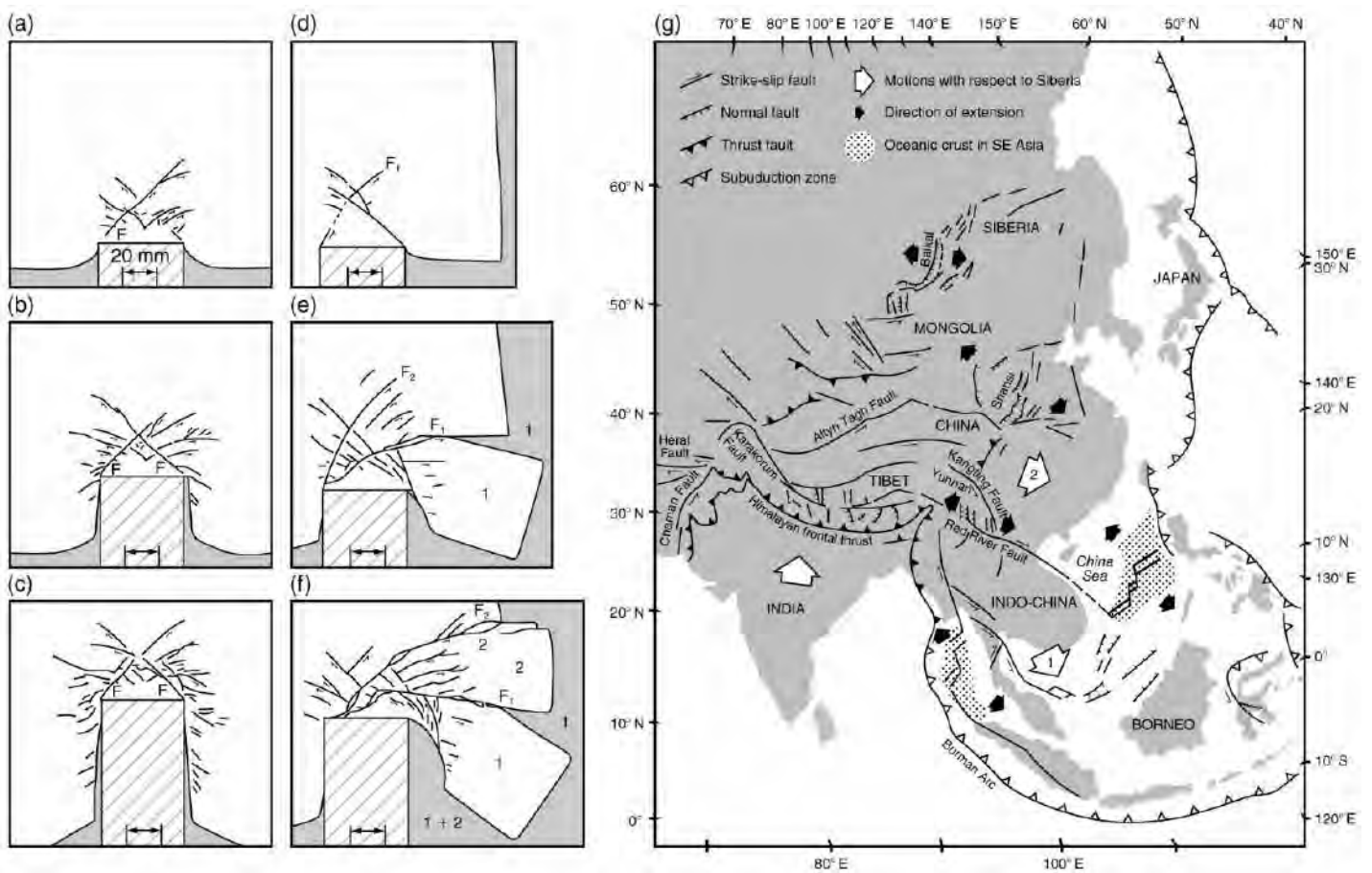
ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย (รูปที่ 2.1d) แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสู แนวภูเขาไฟสุโขทัย และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนได้เชื่อมต่อกันเป็นแผ่นเดียวกัน ทำให้ทะเลโบราณพาลีโอเทธิสปิดตัวลง เกิดชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำและการเปลี่ยนแปลงลักษณะขึ้นหรือเรียกการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน

(Indosinian Orogeny; Sone & Methcalfe, 2008) ในมหายุคซีโนโซอิก (รูปที่ 2.1e) เกิดเหตุการณ์ก่อเทือกเขาหิมาลัย(Himalayan Orogeny) ซึ่งเกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) ในแนวเหนือ-ใต้ การชนกันนี้ส่งผลทำให้เกิดการหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ทำให้เกิดแอ่งตะกอนสะสมที่ค่อย ๆ เปิดออกจากทางใต้ขึ้นมาทางเหนือ และเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนต่าง ๆ ในประเทศไทย (รูปที่ 2.2) เช่น รอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และแนวรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย เป็นต้น โดยสามารถสรุปช่วงที่เกิดการก่อเทือกเขาและการชนของแผ่นเปลือกโลกได้ดังรูป(รูปที่ 2.4)

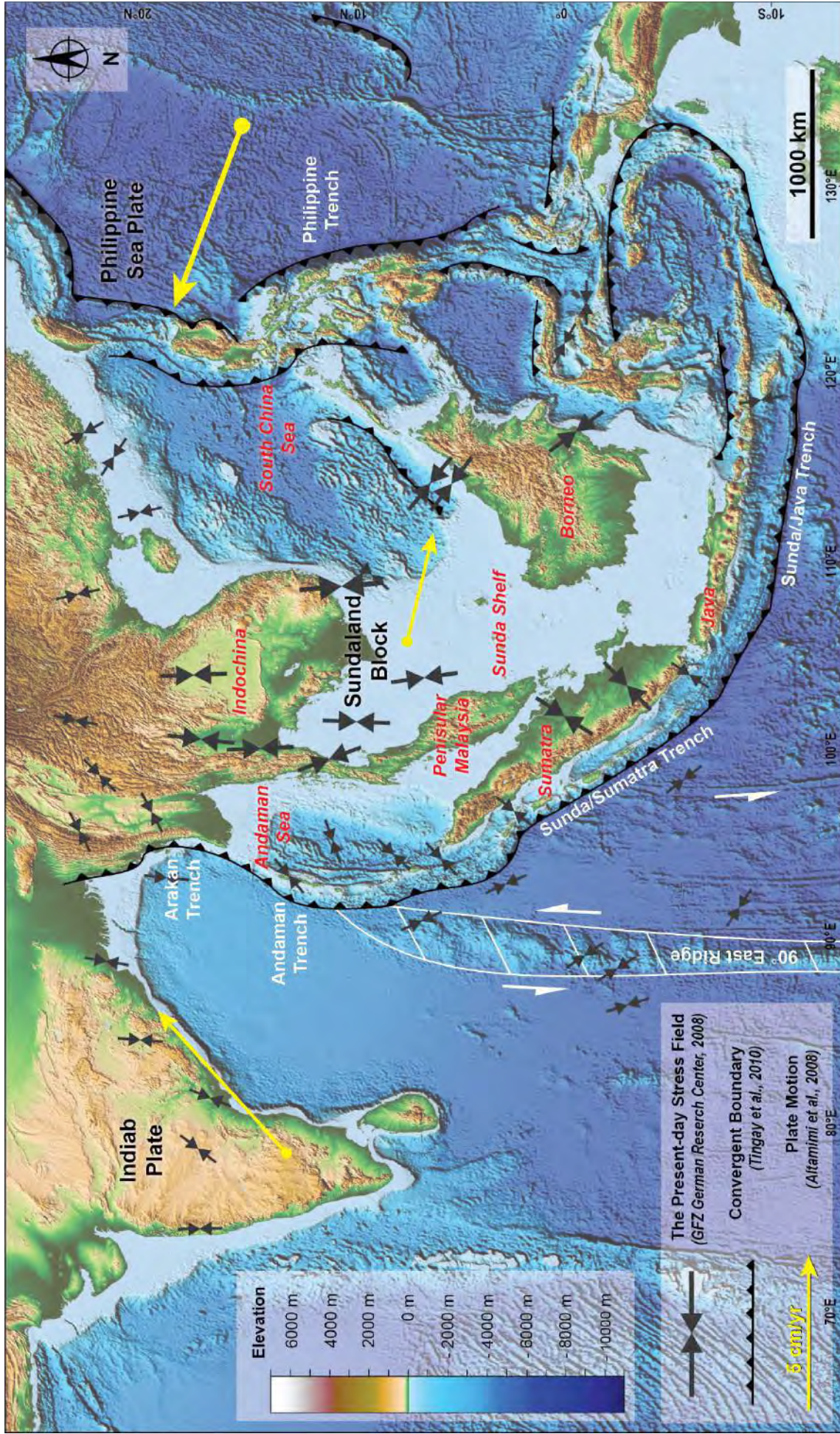
ช่วงมหายุคซีโนโซอิกเป็นช่วงที่มีการเปิดแอ่งทรุดตัวในแนวเหนือใต้ โดยแอ่งสะสมตะกอน มหายุคซีโนโซอิกนี้สามารถเห็นได้ชัดจากแอ่งสะสมตะกอนที่มีทั้งบนบกและในทะเล ซึ่งแอ่งสะสมตะกอนต่างๆ เหล่านี้เกิดจากอิทธิพลของธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการชนกันระหว่างแผ่นทวีปอินเดียกับแผ่นทวีปยูเรเชียใน สมัยอีโอซีนตอนต้น ทำให้ชั้นหินต่างๆในประเทศไทยถูกแรงบีบอัดในแนวเหนือใต้ เป็นผลให้เกิดการคดโค้งของเทือกเขาในภาคเหนือและเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนต่างๆในประเทศไทย เช่น รอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และแนวรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือตะวันตกเฉียงใต้ เช่น รอยเลื่อนระนอง-คลองมะรุ่ย

จากการทดลองการบุ้ม (indentation experiments) โดย Tapponier et al. (1986) พบว่าผลของการ ชนกันนี้ส่งผลทำให้แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยมีการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือที่เรียกกันว่า “เหตุการณ์การหนีหาย (Escape tectonic)” (รูปที่ 2.2) นอกจากนี้ผลของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนทำให้เกิดการเปิดออกของ แอ่งสะสมตะกอนมหายุคซีโนโซอิกของประเทศไทยดังปรากฏให้เห็นในปัจจุบันเนื่องจากแรงอัดในแนวเหนือใต้ และมีผลทำให้เกิดรอยเลื่อนในแนวระดับ เช่น รอยเลื่อนแม่ปิงได้หยุดเคลื่อนตัว จากนั้นเกิดการหยุดการหมุนตัว ตามเข็มนาฬิกาของแผ่นอินโดจีนใต้ ทำให้เกิดการดันตัวสูงขึ้นของแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ อีกทั้งยังส่งผลทำให้ เกิดการยกตัวของเทือกเขาภูพานและเทือกเขาพนมดงรักตามบริเวณขอบแอ่งโคราช (Sattayarak & Polachan, 1990) ในขณะที่เดียวกันกลุ่มรอยเลื่อนในแนวระดับที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียง ใต้เริ่มมีการเคลื่อนตัวไปแบบขวาเข้า เช่น รอยเลื่อนแม่ปิงและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ส่วนรอยเลื่อนในแนวระดับ ที่มีระนาบการเคลื่อนตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้เริ่มมีการเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้า เช่น รอยเลื่อน ระนอง-คลองมะรุ่ย

หลังจากนั้นทวีปเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ได้เกิดการผ่อนคลายแรง (relaxing stage) โดยมีผลทำให้บริเวณ ทางด้านตะวันตกเกิดเป็นแอ่งที่ไม่ขึ้น พร้อมกับ การสะสมตัวของตะกอนภายในแอ่งยูคเทอร์เชียร์ โดยการ พัฒนา ตัวของแอ่งนั้นเกิดจากรอยเลื่อนปกติในแนวเหนือใต้ เนื่องจากเปลือกโลกในช่วงระยะนี้เกิดการ ขยายตัวเกือบ ขนานกับแอ่งลึกกันสมุทรขาในปัจจุบัน อันเกิดจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกใต้ มหาสมุทรมุดตัวเข้าไป ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งในปัจจุบันมีการมุดตัวด้วยอัตราการเคลื่อนที่ 5 เซนติเมตรต่อ ปี (รูปที่ 2.3) นอกจากนี้ใน บางพื้นที่ยังพบตะกอนยุคควอเทอร์นารีตกสะสมตัวในบริเวณที่สูงกว่าและพบ ตะพักลำน้ำ (alluvial terrace) ใน บริเวณขอบที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งตะพักลำน้ำเหล่านี้ แสดงถึงแผ่นดินที่มีการทรุดตัวลงอย่าง รวดเร็วในช่วงยุคควอเทอร์นารี ซึ่งลักษณะธรณีแปรสัณฐานของ ประเทศไทยสามารถสรุปเป็นลำดับเหตุการณ์ธรณี แปรสัณฐานที่สำคัญในและการเกิดหินอัคนีในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.4



รูป 2.2 (a-f) การทดลองการข่ม (indentation experiments) ในดินน้ำมันโดยผลักไม้เข้าไปข้างในและเกิดรอยเลื่อนเป็นชั้นๆ เลข 1 และ 2 ในรูป (f) คือแผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแผ่นจีนตามลำดับ (g) แผนที่แสดง การแปรสัณฐานของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตัวเลขในลูกศรใหญ่เป็นเหตุการณ์การหนีหาย (escape event) ในช่วง 50-20 ล้านปี (ตัวเลขลูกศร 1) และในช่วง 20 ล้านปี-ปัจจุบัน (ลูกศรตัวเลข 2) (Kearey *et al.*, 2009: ดัดแปลงจาก Tapponier *et al.*, 1986)



รูป 2.3 แผนที่แสดงทิศทางทางการเคลื่อนที่และแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแสดงทิศทางของแนวแรงที่กระทำต่อแผ่นเปลือกโลกในปัจจุบัน (ลูกศรสีเหลือง) (ดัดแปลงจาก Tingay et al., 2010; ETOPO Image from Yamer J. and E. Lim, CIRES, University of Colorado at Boulder, 2008)

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. Presumed Silurian-Devonian rifting of North and South China and Indochina from Gondwana.
444		Ordovician			452-430 Ma heating event in Sibumasu.
485		Cambrian			

รูป 2.4 สรุปเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานที่สำคัญและการเกิดหินอัคนีในประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Morley *et al.*, 2011)

2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

Metcalf (2013) เสนอว่า การชนกันของแผ่นเปลือกโลกไซบิวมาสูและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนก่อเกิดเทือกเขาอินโดไชนีเยน ภายในเกิดโครงสร้างชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำและต่อมา Arboit et al. (2014) ที่ศึกษาโครงสร้างจากการชนของแผ่นเปลือกโลกทั้งสองระบุว่าแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเกิดเป็นชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำไม่ตัดฐานหินที่ความลึกประมาณ 0.7 – 1.5 กิโลเมตร จากการชนของแผ่นเปลือกอินเดียและแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ส่งผลทำให้เกิดรอยเลื่อนแนวระดับในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เช่น เขตรอยเลื่อนแม่ปิง และเขตรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (Three Pagoda fault zone) ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย โดยรอยเลื่อนแนวระดับเหล่านี้จากการศึกษา Smith et al. (2007) และ Morley et al. (2007) ได้แปลความของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงที่พาดผ่านพื้นที่ตอนกลางของประเทศไทยที่ส่งผลทำให้เกิดโครงสร้างเกยทับซ้อนกันจากเลื่อนตัวแบบซ้ายของรอยเลื่อนแม่ปิง และศึกษาอิทธิพลของการเลื่อนตัวของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงแบบซ้ายเข้าจากการหาอายุการเย็นตัวของไบโอโทต์โดยใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Lacassin et al., 1997) และพบว่าการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าหยุดการเลื่อนตัวในช่วง 30 – 33 ล้านปี และแนวการวางตัวของโครงสร้างเกยทับซ้อนกันทางทิศทางเหนือ-ใต้ เป็นผลจากการเลื่อนตัวผ่านกันของรอยเลื่อนแนวระดับในเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ทำให้เกิดการอัด (transpression) ซึ่งส่งผลให้เกิดการยกตัวของภูมิประเทศเป็นแนวสันเขา นอกจากนี้บริเวณทางใต้ของรอยเลื่อนแม่ปิงหยุดการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าในช่วงยุคโอลิซีนตอนปลายและไม่พบลักษณะการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า (Morley et al., 2007)

การศึกษาทิศทางความเค้นหลัก (principal stress) ในงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์อธิบายพฤติกรรมของรอยเลื่อนที่พบในภาคสนาม เพื่อหาความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานในพื้นที่ศึกษา โดยใช้หลักการจำแนกชนิดรอยเลื่อนกับความเค้นหลักตาม Anderson (1905) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระบบดังนี้

- รอยเลื่อนปกติ จะมีค่าความเค้นตามแนวตั้งมากที่สุด (vertical stress : σ_1) ค่าความเค้นสูงสุดตามแนวนอน (maximum horizontal stress : σ_2) และค่าความเค้นต่ำสุดตามแนวนอน (minimum horizontal stress : σ_3) รองลงมาตามลำดับ
- รอยเลื่อนแนวระดับ จะมีค่าเค้นสูงสุดตามแนวนอนมากที่สุด (σ_1) ค่าความเค้นตามแนวตั้ง (σ_2) และค่าความเค้นต่ำสุดตามแนวนอน (σ_3) รองลงมาตามลำดับ
- รอยเลื่อนย้อน จะมีค่าความเค้นสูงสุดตามแนวนอน (σ_1) ค่าความเค้นต่ำสุดตามแนวนอน (σ_2) และค่าความเค้นตามแนวตั้ง (σ_3) รองลงมาตามลำดับ (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 แสดงทิศทางความเค้นหลักสัมพันธ์กับระบบรอยเลื่อนแต่ละประเภท

2.3 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดอุทัยธานีเป็นจังหวัดที่มีรูปร่างขอบเขตวางตัวยาวในแนวตะวันออก-ตะวันตก และมีพื้นที่เทือกเขาสูงสลับซับซ้อนของเทือกเขาถนนธงชัยทางด้านทิศตะวันตก เป็นพื้นที่ที่มีความแตกต่างของลักษณะภูมิประเทศ ตั้งแต่ที่ราบลุ่มแม่น้ำไปจนถึงเทือกเขาสูง ทำให้ลักษณะธรณีวิทยาบริเวณด้านทิศตะวันตกมีความซับซ้อน สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศภูเขาสูงของแนวเทือกเขาถนนธงชัยและค่อยๆเปลี่ยนเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำทางด้านทิศตะวันออกของจังหวัด แม่น้ำสำคัญ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา ห้วยเสลาห้วยขาแข้ง ห้วยกระเสี้ยว ฯลฯ ส่วนมากไหลจากด้านทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกและไหลจากทิศเหนือไปทิศใต้ ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของจังหวัดอุทัยธานี ประกอบด้วย หินแปร หินตะกอน หินอัคนี และตะกอนร่วน อายุตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียน (มากกว่า 570 ล้านปี) ถึงปัจจุบัน การนำเสนอนี้เป็นกรรวบรวมข้อมูลการสำรวจธรณีวิทยาโดยกรมทรัพยากรธรณีตั้งแต่อดีตจนถึงปี พ.ศ.2551 พร้อมกับการตรวจสอบความถูกต้องจากการสำรวจภาคสนาม

จังหวัดอุทัยธานีตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างติดกับภาคตะวันตก ในส่วนของธรณีวิทยามีภาคพื้นที่ยุคแคมเบรียน-ดาก และตั้งอยู่ในแผ่นอนุทวีปฉานไทย ประกอบด้วย หินตะกอน หินแปรหินอัคนี และตะกอนร่วน มีอายุทางธรณีกาลอยู่ในมหายุคพรีแคมเบรียน (มากกว่า 570 ล้านปี) ยุคแคมเบรียน (505-570 ล้านปี) ยุคออร์โดวิเซียน (438-505 ล้านปี) ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (360-438 ล้านปี) คาร์บอนิเฟอรัส (286-360 ล้านปี) ยุคเพอร์เมียน (245-286 ล้านปี) หินยุคไทรแอสซิก (210-245 ล้านปี) และยุคควอเทอร์นารี (0.01-1.6 ล้านปี) ช่วงเวลาดังกล่าวมีการสะสมตัวตะกอนในสภาพแวดล้อมแบบภาคพื้นสมุทรและภาคพื้นทวีป การแทรกดันของหินอัคนีมีการบีบอัดทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพของหิน และการยกตัวของหน่วยหินต่างๆ ทำให้เกิดกระบวนการกัดกร่อน ผุพังและสะสมตัวของชั้นตะกอนร่วนทางน้ำบริเวณด้านตะวันออกของจังหวัด กระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกบริเวณนี้และลักษณะภูมิประเทศที่เห็นในปัจจุบันนี้ใช้ระยะเวลายาวนาน

2.3.1 ธรณีวิทยากายภาพและลำดับชั้นหิน

ลักษณะธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่ ประกอบด้วย 7 หน่วยหินตะกอนและหินแปร ได้แก่ หินแปรมหายุคพรีแคมเบรียน หินควอร์ตไซต์และหินชีสต์ยุคแคมเบรียน หินปูนเนื้อดิน หินอ่อนหรือหินแคลก์ซิลิเกตยุคออร์โดวิเซียน หินดินดาน หินชนวน หินกาบ หินควอร์ตไซต์ หินเชิร์ต และหินทราย ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน หินทรายและหินทรายปนกรวดยุคคาร์บอนิเฟอรัส หินปูนชั้นหนา หินปูนปนโคลิไมต์ยุคเพอร์เมียน และหินตะกอนยุคไทรแอสซิก มีลักษณะดังรูป 2.6.

2.3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้างทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

อิทธิพลของกระบวนการวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ดังกล่าว ทำให้ประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียงในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีสภาพภูมิประเทศและลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างอย่างในปัจจุบัน และทำให้ชั้นหินอายุต่างๆ ในประเทศไทยแถบภาคเหนือภาคตะวันตก ภาคกลางและภาคใต้ มีแนวชั้นหินคดโค้ง ซึ่งวางตัวประมาณเหนือ-ใต้ และบริเวณแอ่งที่ราบสูงโคราชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนววางตัวประมาณตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และยังทำให้เกิดรอยเลื่อนปกติในแนวเหนือ-ใต้ ในตอนกลางของภาคเหนือจนถึงอ่าวไทย ส่งผลให้แผ่นดินเกิดการแยกกลายเป็นแอ่งแบบฮอรัสต์และกราเบน ขึ้นในอ่าวไทยและที่ราบลุ่มในแอ่งเจ้าพระยาก็มีการกำเนิดในทำนองเดียวกัน

ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญทางธรณีวิทยาของพื้นที่จังหวัดอุทัยธานี ประกอบด้วย การวางตัวชั้นหินชั้นหินคดโค้ง รอยแยกและรอยเลื่อน แนวแตกเรียบ และรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง

2.3.2.1 การวางตัวชั้นหิน

ชั้นหินบริเวณจังหวัดอุทัยธานีมีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มชั้นหินก่อนยุคไทรแอสซิก และกลุ่มชั้นหินยุคไทรแอสซิก กลุ่มแรกมีการแปรสัณฐานรุนแรงกว่ากลุ่มที่สอง ทำให้ชั้นหินมีมุมเอียงเทค่อนข้างชันไปทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ เกิดการโค้งงอของชั้นหินมาก และมักพบแนวแตกเรียบเกิดร่วมด้วยเสมอ รวมทั้งมีแนวรอยเลื่อนเกิดร่วมด้วยหลายแนวกลุ่มที่สองชั้นหินมีการแปรสัณฐานรุนแรงน้อยกว่า และมีมุมเอียงเทชันปานกลางไปด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเหมือนกันกับกลุ่มที่ 1 และแสดงแนวแตกเรียบเช่นกัน

2.3.2.2 ชั้นหินคดโค้ง

จังหวัดอุทัยธานีตั้งอยู่บนหินฐานธรณีฐาน-ไทย โดยชั้นหินคดโค้งหรือรอยคดโค้งที่ปรากฏในบริเวณนี้ส่วนมากจะเป็นรอยคดโค้งแบบอสมมาตร แบบมุมแหลม และแบบตลบทับ โดยมีแกนของชั้นหินคดโค้งอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ พบชั้นหินคดโค้งรูปประทุนขนาดใหญ่อยู่หลายบริเวณโดยมีชั้นหินยุคพรีแคมเบรียนเป็นแกนกลางของรอยคดโค้ง พบชั้นหินแคมเบรียนและหินปูนยุคออร์โดวิเซียนวางทับอยู่บนทั้งสองด้านของส่วนข้างของชั้นหินคดโค้ง แกนของชั้นหินคดโค้งรูปประทุนนี้จะถูกหินแกรนิตยุคไทรแอสซิกดันแทรกขึ้นมา โดยเฉพาะตั้งแต่บริเวณตะวันตกของจังหวัดอุทัยธานี (ใต้กลุ่มรอยเลื่อนแม่เมยกับรอยเลื่อนแม่ปิง) แกน

ของชั้นหินคดโค้งวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้และเหนือ-ใต้ บางบริเวณพบชั้นหินคดโค้งแบบตลบทับที่มีระนาบแกนเอียงไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

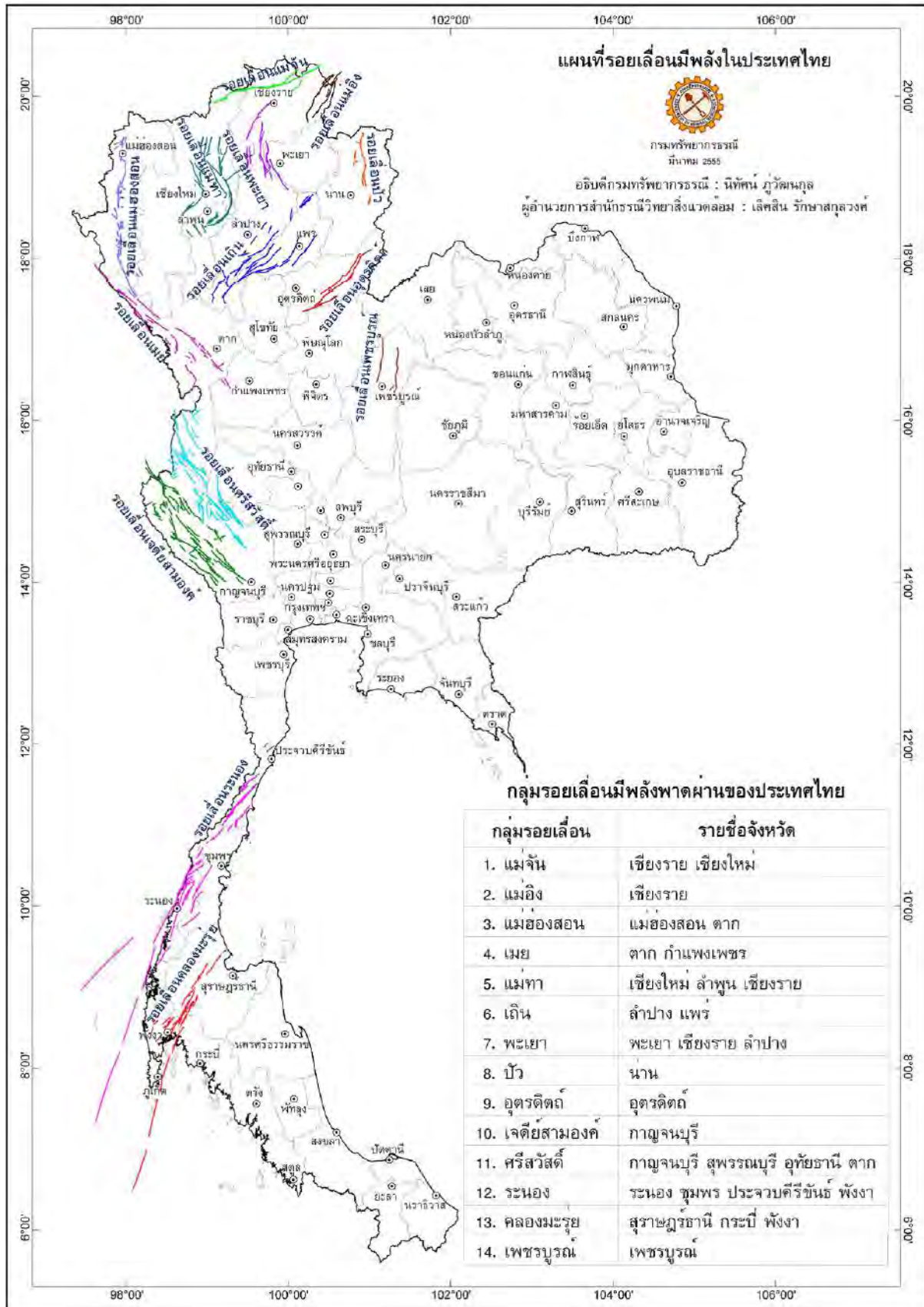
2.3.2.3 รอยแยกและรอยเลื่อน

แนวรอยเลื่อนในระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ที่ปรากฏอยู่ในประเทศไทยมีรอยเลื่อนใหญ่ๆ ปรากฏหลายแนว และเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ โดยมีทิศทางต่าง ๆ สำหรับประเทศไทยมีการจัดกลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญไว้เป็น 3 กลุ่ม ตามทิศทางการวางตัวและการเคลื่อนที่ คือ 1) กลุ่มรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ 2) กลุ่มรอยเลื่อนที่วางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ และ 3) กลุ่มรอยเลื่อนแบบปกติวางตัวอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ จังหวัดอุทัยธานีตั้งอยู่ระหว่างรอยเลื่อนสำคัญและได้รับอิทธิพลต่อการเลื่อนของกลุ่มรอยเลื่อนดังกล่าวแสดงในรูป 2.7 ได้แก่ 3 กลุ่มรอยเลื่อน ดังนี้

1) **กลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง** เป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่รวมเอารอยเลื่อนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น รอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี หรือ รอยเลื่อนเมย รอยเลื่อนวังเจ้า และ รอยเลื่อนลานสาง เป็นต้น มีทิศทางไปทางตะวันออกเฉียงใต้โดยเริ่มต้นจากรอยเลื่อนสะแกง ในประเทศพม่า ผ่านเข้ามาในประเทศไทยบริเวณแม่น้ำเมยด้านตะวันตกเฉียงใต้ของ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผ่านบ้านลานสาง จังหวัดตาก แม่น้ำปิงจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดนครสวรรค์ต่อเลยไปถึงจังหวัดสระแก้วและประเทศกัมพูชา มีความยาวทั้งสิ้นที่ผ่านประเทศไทยประมาณ 750 กิโลเมตร เนื่องจากเป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่ยาวมากจึงตัดผ่านชั้นหินมากมายตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนถึงยุคมีโซโซอิก โดยเคลื่อนตัวไปทางซ้ายประมาณ 100 กิโลเมตร ปัจจุบันนี้รอยเลื่อนกลุ่มนี้เคลื่อนย้ายไปทางขวา และยังคงเป็นรอยเลื่อนที่มีพลังอยู่

2) **กลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์** วางตัวขนานและอยู่ระหว่างแนวกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงและกลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ รอยเลื่อนนี้เริ่มต้นจากอำเภอศรีสวัสดิ์และบริเวณตอนเหนือของอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ผ่านแม่น้ำแควใหญ่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เข้าไปประเทศพม่าต่อกับกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงเข้าหารอยเลื่อนเมยและรอยเลื่อนสะแกง (ในประเทศพม่า) โดยตัดผ่านหินตั้งแต่มหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้นถึงมหายุคมีโซโซอิกตอนต้น มีความยาวประมาณ 200 กิโลเมตร

3) **กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์** วางตัวขนานกับกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงและกลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ ที่อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ รวมกับรอยเลื่อนสะแกงในประเทศพม่า เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับแบบเคลื่อนตัวไปทางซ้าย กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์นี้ผ่านเข้ามาในประเทศไทยบริเวณด้านเจดีย์สามองค์ อำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี ตามแนวแม่น้ำแควน้อย ผ่านชั้นหินมหายุคพาลีโอโซอิกและยุคมีโซโซอิกและผ่านบริเวณจังหวัดราชบุรี ถึงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสงคราม ยาวประมาณ 350 กิโลเมตร หมวดหินแก่งกระจานบริเวณแหลมไทยทางใต้จะสิ้นสุดลงที่กลุ่มรอยเลื่อนนี้ จากการหาอายุของผลึกควอตซ์ที่เกิดในระนาบรอยเลื่อนบริเวณเขื่อนเขาแหลม ตามลำน้ำแควน้อยพบว่าเคยมีการเคลื่อนตัวประมาณ 3 แสนปี เป็นการเคลื่อนตัวแบบไปทางขวา



รูป 2.7 แสดงกลุ่มรอยเลื่อนที่มีพลังพาดผ่านของประเทศไทย

2.3.2.4 แนวแตกเรียบ

แนวแตกเรียบเป็นระนาบการแตกเกิดในขณะชั้นหินโค้งงอ พบชัดเจนในหินดินดานและหินโคลน โดยหน่วยหินที่พบมาก ได้แก่ หน่วยหินยุคแคมเบรียนถึงยุคเพอร์เมียน และพบแนวแตกเรียบบ้างในหน่วยหินยุคไทรแอสซิก อันเป็นผลจากรอยเลื่อนตัดผ่าน แนวแตกเรียบที่พบวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่

2.3.2.5 รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง

รอยชั้นไม่ต่อเนื่องแสดงถึงช่วงเวลาทางธรณีวิทยาที่ขาดหายไป รอยชั้นไม่ต่อเนื่องของชั้นหินบริเวณจังหวัดอุทัยธานีที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นหินยุคคาร์บอนิเฟอรัสวางตัวไม่ต่อเนื่องบนหินเชิร์ตยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน รอยชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างหินปูนเพอร์เมียนกับหินดินดานยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน และพบชั้นหินที่วางชั้นไม่ต่อเนื่องกัน ระหว่างหินดินดานยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียนกับหินทรายยุคไทรแอสซิกนอกจากนี้พบว่าตะกอนยุคควอเทอร์นารีวางตัวแบบรอยชั้นไม่ต่อเนื่องบนหินฐานธรณี

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย(Methodology)

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้แบ่งระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์แนวเส้นและกรณีศึกษาด้วยข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล การสำรวจข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนาม วิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างและทิศทางความเค้นหลัก การเขียนรายงานอภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น

3.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารายงานและการวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา ในเรื่องของรอยเลื่อน แม่ปิง ชัยนาทดูเพลต การเกิดสันเขาแนวเหนือ-ใต้จากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแม่ปิง โดย Marley et al. (2007) และ Smith et al. (2007) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการกระจายตัวของหินโพลีในพื้นที่ โดย Ueno et al. (2012) รวมถึงหลักการและแนวทางปฏิบัติโดยรวมในการทำวิจัย จากนั้นรวบรวม ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากรายงานวิจัยเก่า โดย Phasongtham (2011), Chindamanee (2012), Kachondham (2012) และ Pithayarungsarit (2013) ซึ่งได้ทำการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวเขาที่วางตัวในแนวเหนือ ใต้ในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำมาวางแผนงานวิจัยในการศึกษา ครั้งนี้และบางส่วนสำหรับผลการศึกษาในอนาคต โดยข้อมูลที่ต้องใช้ในการศึกษา มีดังนี้

1) ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ภูมิศาสตร์ และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยข้อมูลแผนที่ดังกล่าวสามารถสืบค้นได้จากห้องสมุดแผนที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทางอินเทอร์เน็ต

- แผนที่ธรณีวิทยารายจังหวัด จังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดนครสวรรค์ โดยกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2550 แผนที่ภูมิศาสตร์ ได้แก่

- ลำดับชุด L7018 ระวัง 5039 V มาตราส่วน 1:50,000 จังหวัดอุทัยธานี

2) ข้อมูลการศึกษารวมธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถค้นคว้า ได้จาก วารสารงานวิจัย เอกสารงานประชุมวิชาการต่างๆ และงานวิจัยเก่า จากห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือสืบค้นได้จากอินเทอร์เน็ต

3.1.2 การวิเคราะห์แนวเส้นและธรณีสัณฐานด้วยข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล

การวิเคราะห์แนวเส้นนั้น จะทำการศึกษากับข้อมูลแนวเส้น โครงสร้างแนวเส้น ของลักษณะที่เป็นเส้นตรง กึ่งตรง หรือโค้ง ทางธรณีวิทยา อาทิเช่น รอยเลื่อน (fault) รอยแตก (fracture) ที่สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายทางอากาศ และ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) เพื่อที่จะได้ทิศทางการวางตัวของแนวเส้นหรือโครงสร้างแนวเส้น ซึ่งทำด้วยหลักการการวิเคราะห์แนวเส้นด้วยข้อมูลความสูงต่ำเชิงเงา

3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม

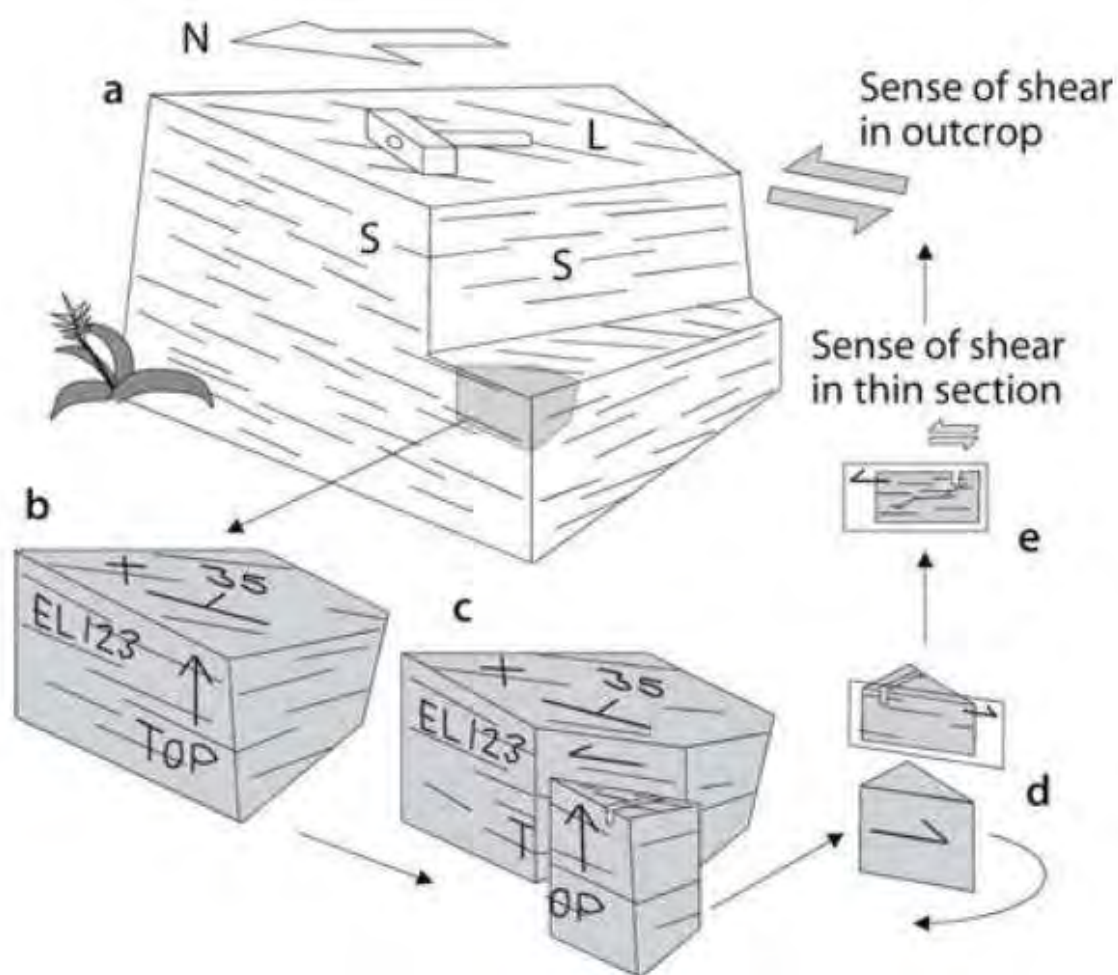
3.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามจากหินโผล่เพื่อศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในบริเวณพื้นที่ศึกษาทำได้ โดยการวัดค่าแนวการวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) ริวขนาน รอยแตก รอยเลื่อน และอื่นๆ ที่เปรียบเสมือนเป็นระนาบ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าแนวระดับหรือแนวการวางตัว (strike) และมุมเท (dip) ของชั้นหิน นอกจากนี้ยังต้องทำการวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้น ซึ่งประกอบไปด้วยค่าทิศทางการวางตัว (trend หรือ plunge direction) ที่มีความคล้ายคลึงกับแนวการวางตัว และมุมกด (plunge) ที่มีความคล้ายคลึงกับมุมเท ของโครงสร้างแนวเส้น เมื่อทำการเก็บข้อมูลการวางตัวของชั้นหินและโครงสร้างแนวเส้น จะต้องทำการระบุพิกัดเพื่อที่จะได้ทราบตำแหน่งของข้อมูลภายในพื้นที่ศึกษาร่วมด้วยทุกครั้ง

3.2.2 การเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง

ตัวอย่างหินในภาคสนามมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะจะต้องนำตัวอย่างหินจากภาคสนามไปใช้ในการวิเคราะห์ระดับจุลภาคหรือการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยควรเก็บตัวอย่างหินให้มีขนาดไม่น้อยกว่า 15 ซม. X 15 ซม. X 15 ซม. และควรระบุค่าแนวการวางตัวและมุมเทของระนาบบนผิวระนาบที่พบ พร้อมทั้งระบุพิกัดด้วย อย่างไรก็ตามสิ่งนี้ยังคงมีสองความเป็นไปได้ของการระบุตำแหน่ง นั่นคือการระบุสามารถเขียนบนระนาบด้านบนหรือบนระนาบด้านล่างของหินก็ได้ การระบุข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติมเป็นสิ่งจำเป็นเช่น เครื่องหมายกากบาทแสดงบนผิวระนาบด้านบนหรือลูกศรแสดงด้านบน (Passchier and Trouw, 2005) (รูป 3.1) ความผิดพลาดสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายในการระบุตำแหน่งตัวอย่างหินและสำหรับหินที่มีความสำคัญอย่างมากเช่น ตัวอย่างหินที่ต้องการบ่งชี้ทิศทางการเฉือน จึงเป็นประโยชน์ถ้าทำการถ่ายรูปหรือวาดรูปประกอบการเก็บตัวอย่างทั้งตำแหน่งการวางตัวในหินโผล่และการเขียนระบุตำแหน่งบนตัวอย่างหิน สิ่งสำคัญอีกประการคือ ตัวอย่างหินที่เก็บมาควรห่อในกระดาษหรือใส่ถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการแตกหักและการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตำแหน่งและหมายเลขต่างๆที่ระบุบนตัวอย่างหิน (Kanjanapoyont *et al.*, 2018)

หลังจากเก็บตัวอย่างหินพร้อมทั้งระบุตำแหน่งจากภาคสนามมาแล้วจะนำตัวอย่างหินไปตัดแล้ว นำไปติดกาวและกระจกก่อนนำไปขัดให้กลายเป็นแผ่นหินบาง โดยทั่วไปแผ่นหินบางมาตรฐานควรจะมีขนาด 0.8 ถึง 1.9 มิลลิเมตร แผ่นวัสดุเนื้อหินและแผ่นกระจกปิดแผ่นหินบางที่หนา 0.2 มิลลิเมตร ส่วนของแผ่นหินบางรวมกับกาวที่กำหนดค่าดัชนีการหักเหมีขนาดประมาณ 1.5 ถึง 1.6 มิลลิเมตร ความหนามาตรฐานของวัสดุคือ 30 ไมครอน และต้องติดด้วยกระจกปิดแผ่นหินบางทุกครั้ง (Kanjanapoyont *et al.*, 2018) เมื่อใช้เลื่อยตัดเสร็จแล้วควรระบุตำแหน่งของตัวอย่างหินไว้ในทั้งสองข้างของที่ถูกต้อง ควรเขียนเป็นระบบแบบลูกศรครึ่งหัวขนานกับริ้วขนานและลูกศรอยู่ด้านบนของตัวอย่างหิน ลูกศรควรเขียนจากชั้นหินที่ใช้ในการทำแผ่นหินบางบนแผ่นสไลด์ ควรระวังเมื่อเตรียมชิ้นหินจากแผ่นหินบางไม่ให้ตำแหน่งลบบหายไปหรือสลับสับสนวมถึงต้องระวังในเรื่องของรอยเลื่อยที่อาจสร้างความสับสนให้ผู้ที่ศึกษาได้ (Passcheir and Trouw, 2005)



รูป 3.1. วิธีการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งสำหรับทำแผ่นหินบาง (Passcheir and Trouw, 2005)

จากรูปวิธีการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งหินโผล่ทำได้โดยเริ่มจากการระบุตำแหน่งแผ่นหินบางจากตัวอย่างหินโครงสร้างต่างๆ จะต้องถูกตรึงตำแหน่งลงบนหินตั้งรูปที่แสดงข้อมูลแนวระดับและมุมเทบนระนาบตัวอย่างหินและลูกศรแสดงด้านบนพร้อมชื่อตัวอย่าง หลังจากนั้นตัวอย่างหินจะถูกนำมาตัดในแนวขนานกับโครงสร้างเส้นเพื่อเป็นชิ้น ทำเครื่องหมายแสดงทิศทางการเฉือนด้านบน นำมาติดกับกระจกทำแผ่นหินบางโดยอาจมีการตัดทาดำหนิศด้านบน และสุดท้ายจะได้แผ่นหินบางที่ระบุทิศทางการเฉือนดังที่พบในหินโผล่

3.3 การศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ

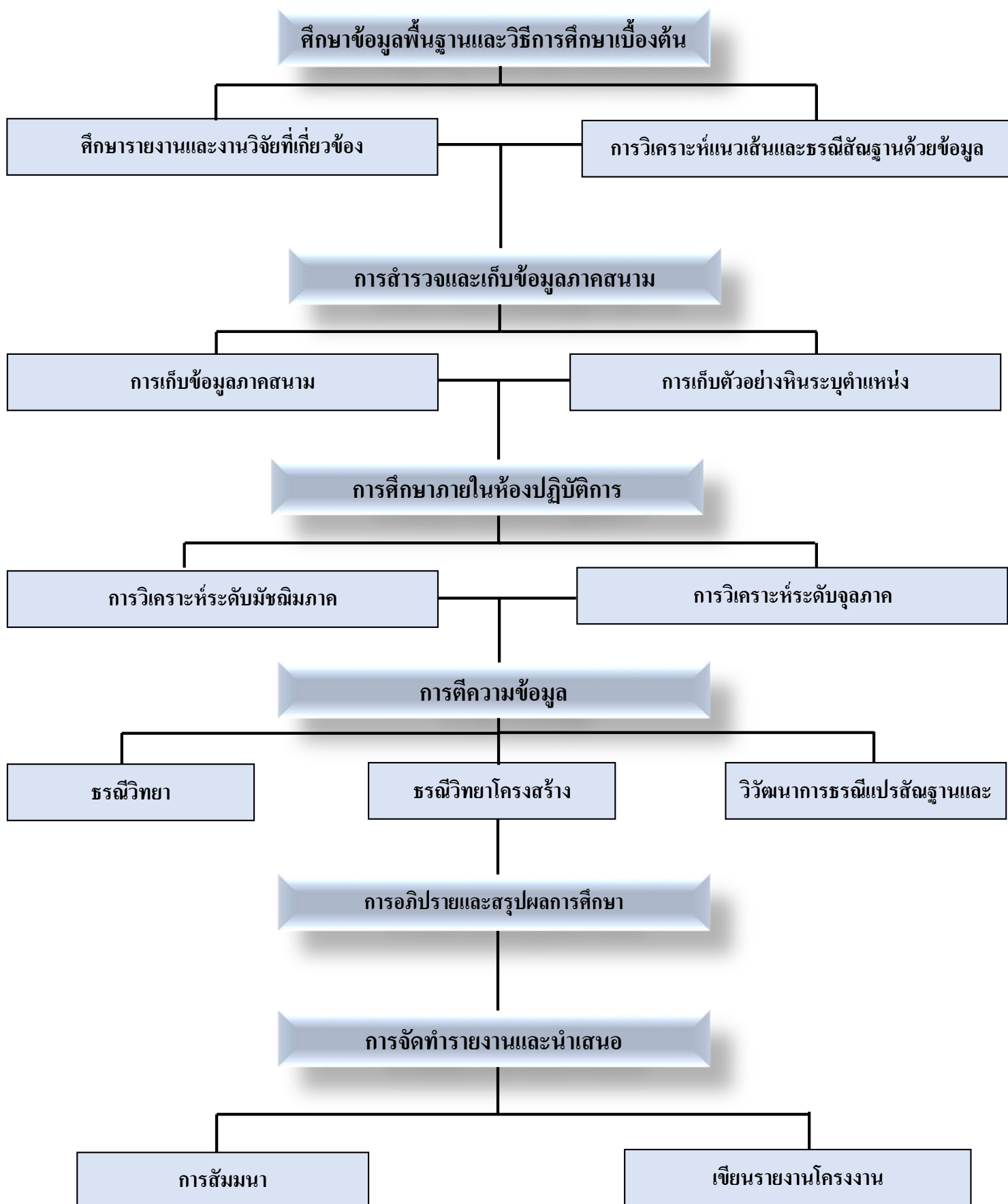
การศึกษาในห้องปฏิบัติการจะเป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึงหาความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลระดับมหัศจรรย์และการวิเคราะห์ข้อมูลระดับจุลภาค ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.3.1 การวิเคราะห์ระดับมหัศจรรย์

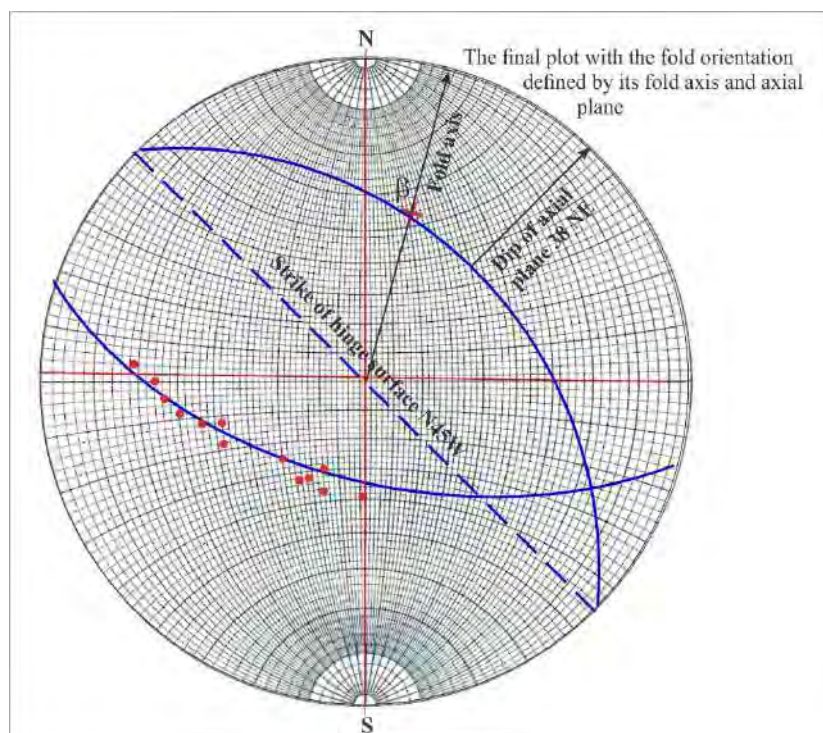
เป็นการรวบรวมข้อมูลโครงสร้างที่ได้จากการออกภาคสนามทั้งค่าแนวการวางตัวและมุมเทของชั้นหิน ริวขนาน รอยเลื่อน แนวแตก และระนาบโครงสร้างอื่นๆ รวมถึงค่าทิศทางการวางตัวและมุมกตของโครงสร้างแนวเส้นต่างๆที่พบในแต่ละจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษามาทำการวิเคราะห์โดยการกำหนดตำแหน่งบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (รูปที่ 3.3) และแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 3.4) เพื่อนำไปหาธรณีโครงสร้างในภาพรวมของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์ทิศทางของแรงหรือความเค้นโบราณ (paleo stress) ที่มีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์สำคัญทางธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในอดีตที่เข้ามากระทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนืดและการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบเปราะการวิเคราะห์ในระดับมหัศจรรย์นี้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดบริเวณพื้นที่ศึกษาได้พอสมควร ยังขาดในเรื่องของรายละเอียดบางอย่าง ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์ในระดับจุลภาคในลำดับถัดไปเพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่หรือข้อมูลเพิ่มเติมที่จะทำให้การตีความนั้นมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.3.2 การวิเคราะห์ระดับจุลภาค

เป็นการศึกษาแผ่นหินบางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ภายใต้แนวคิดของธรณีแปรสัณฐานจุลภาค ซึ่งเป็นการศึกษาเส้นโครงสร้าง (fabric) ของหินเพื่อเข้าใจถึงช่วงลำดับในวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงและการแปรสภาพของหินที่มีถูกแสดงเป็นส่วนหนึ่งของเส้นโครงสร้าง การศึกษาเส้นโครงสร้างของหินนั้นนอกจากสามารถสร้างเป็นประวัติโครงสร้างและการแปรสภาพแล้วยังเป็นการปรับปรุงความเข้าใจในกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการแปรสภาพอีกด้วย โดยในเรื่องของกระบวนการเปลี่ยนแปลงจะศึกษาจากริวขนาน โครงสร้างแนวเส้น และการเรียงตัวของหน่วยผลึกรวมถึงโครงสร้างจุลภาคต่างๆที่เป็นตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาค เช่น แร่รูปปลา (mineral fish)

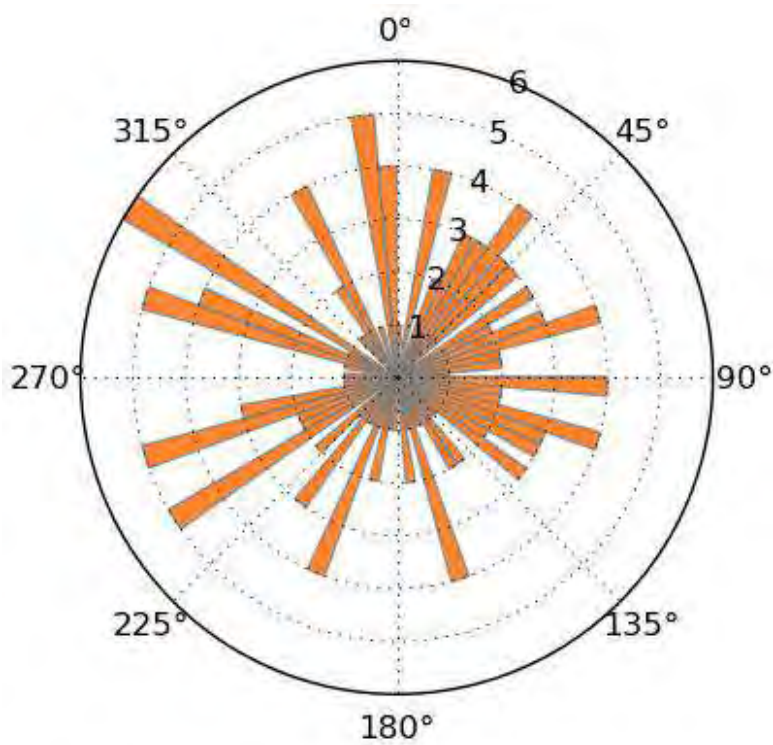


รูป 3.2. แผนผังแสดงขั้นตอนลำดับการวิจัย



รูป 3.3. การพล็อตโพล (pole) ในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า

(WWW. <https://www.geological-digressions.com/>)



รูป 3.4. แผนภาพกุหลาบแสดงทิศทางการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้าง

(www. yonggeng.wordpress.com)

แถบการเฉือน (shear band) และอื่นๆซึ่งมีความแตกต่างกันในรายละเอียดเพื่อหาแนวแรงที่เข้ามากระทำในระดับจุลภาค และเรื่องของ การแปรสภาพจะทำการหาแร่ดัชนี (index mineral) ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับจุลภาคจะเปรียบเสมือนส่วนเติมเต็มให้กับการวิเคราะห์ระดับมหัพภาค

3.4 การตีความข้อมูล

หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทั้งในระดับมหัพภาคและระดับจุลภาคมาแล้วจากการศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ ในลำดับถัดไปจะต้องทำการตีความข้อมูลทางด้านสัณฐานวิทยา ลักษณะธรณีโครงสร้าง รวมถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดพื้นที่ศึกษาจากหลักฐานต่างๆที่พบร่วมกับการศึกษาและงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อให้มีความถูกต้องมากที่สุดก่อนที่จะทำการสรุปผลและนำเสนอต่อไป

3.4.1 ธรณีวิทยา

ใช้หลักฐานทางด้านแร่ดัชนีและหลักฐานทางด้านกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะเพื่อบอกชื่อหิน ระบุชุดลักษณะ และประมาณสภาพแวดล้อมการแปรสภาพของหินในพื้นที่ศึกษา

3.4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

อธิบายขั้นตอนและกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งการเปลี่ยนแปลงแบบอ่อนนุ่มและการเปลี่ยนแปลงแบบแตกเปราะของโครงสร้างต่างๆที่พบในพื้นที่ศึกษาพร้อมกับระบุชนิดของโครงสร้างเช่น ชนิดของแนวแตก ชนิดของชั้นหินโค้ง ชนิดรอยเลื่อน และอื่นๆให้มากที่สุด และอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่มาเข้ากระทำและธรณีวิทยาโครงสร้าง จากนั้นนำข้อมูลลักษณะธรณีโครงสร้างทั้งหมดที่ได้มาสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาโครงสร้างในภาพรวมขึ้นโดยมีหลักฐานที่พบจากการวิเคราะห์ระดับมหัพภาคและระดับจุลภาคคอยช่วยสนับสนุน

3.4.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง

เมื่อมีแบบจำลองธรณีวิทยาโครงสร้างที่สามารถเชื่อมโยงและสามารถอธิบายขั้นตอนและกลไกรวมถึงทิศทางของแรงต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาโครงสร้างแล้ว ในลำดับถัดไปจะนำแบบจำลองนี้ไปเทียบเคียงกับธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยโดยทิศทางของแรงหลักที่เกิดจากเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับแรงหลักที่เข้ามากระทำในพื้นที่ศึกษา อีกทั้งยังสามารถทำให้ทราบถึงช่วงอายุของการเกิดธรณีโครงสร้างอีกด้วย

3.5 การอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

เป็นการนำข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านการวิเคราะห์และตีความจากหลักฐานทั้งหมดที่มีมาเรียบเรียงอภิปรายและสรุปผลที่ได้ทั้งหมดออกมาในเรื่องของสัณฐานวิทยา ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึงกลไกการเกิด ความสัมพันธ์ และวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา

3.6 การจัดทำรายงานและนำเสนอ

3.6.1 การสัมมนา

เป็นการนำเสนอโครงการที่ศึกษาโดยอธิบายถึงที่มาและความสำคัญ สมมติฐาน จุดประสงค์ ขอบเขต และผลการศึกษารวมถึงการอภิปรายและสรุปผล

3.6.2 เขียนรายงานโครงการ

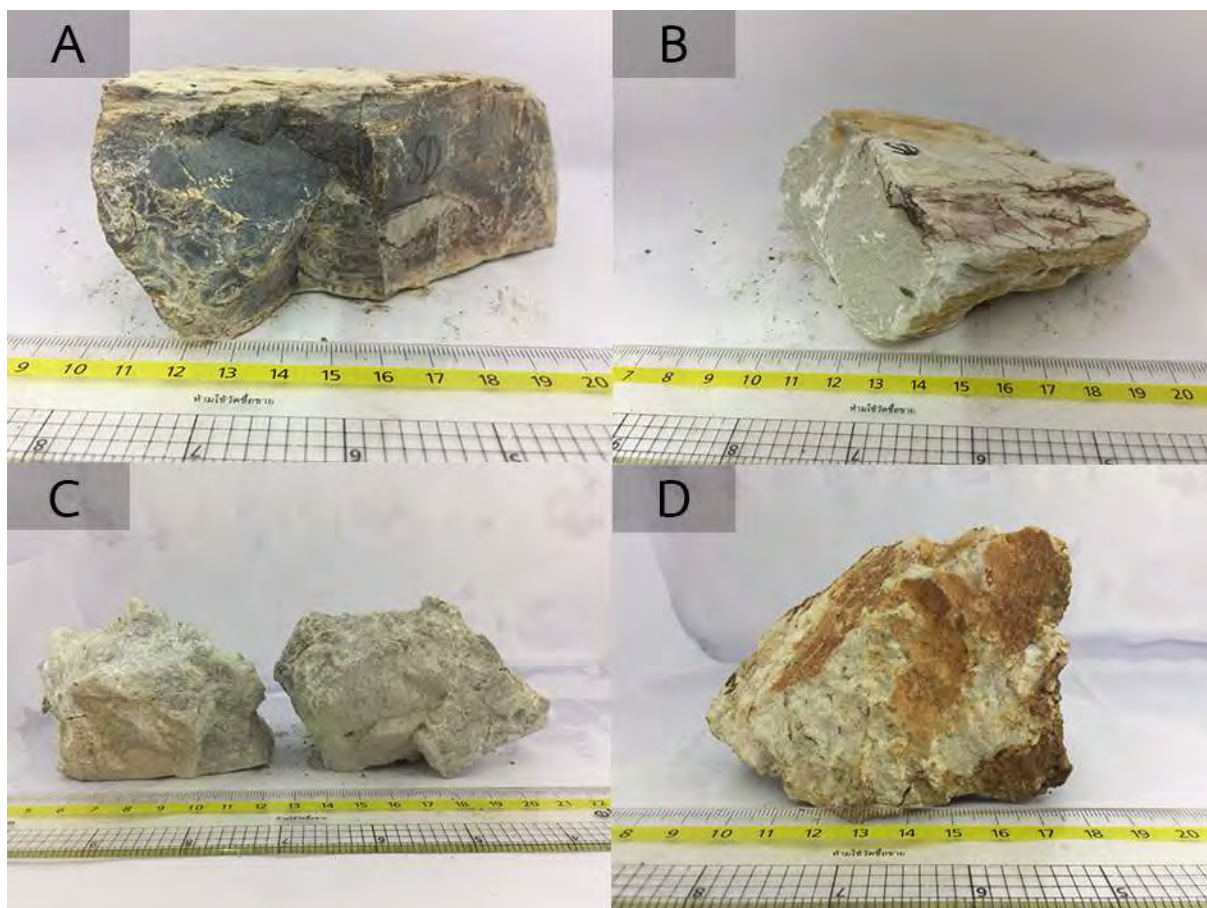
หลังจากการนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจากหลักฐานต่างๆที่พบจากการศึกษาโครงการมาวิเคราะห์ตีความและสรุปผลการศึกษา ในลำดับสุดท้ายนี้จะนำข้อมูลในทุกๆส่วนที่กล่าวมาทั้งหมดมาเขียนลงในรูปของรายงานโครงการของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตเพื่อยืนยันและแสดงให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจในเรื่องของ ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของผู้ศึกษาได้ และยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในเรื่องของธรณีวิทยาและธรณีโครงสร้างของพื้นที่ศึกษานี้ที่จะนำรายงานเล่มนี้ไปใช้ต่อยอดในการศึกษาอื่นๆต่อไปในอนาคต

บทที่ 4

ผลการศึกษา (Result)

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการศึกษาในเรื่องของข้อมูลทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งหมดในระดับมัธยมศึกษาที่ได้จากการศึกษาจากการออกภาคสนามและระดับจุลภาคที่ได้จากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของหินของหินโผล่ในพื้นที่บริเวณ เข้มองเคลย์ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี โดยหินโผล่ทั้งหมดที่พบในการศึกษาจะเป็นหินโผล่ที่โผล่ออกมาให้เห็นบริเวณกว้างอันเนื่องมาจากการขุดเพื่อทำเหมืองในอดีตจึงทำให้สามารถมองเห็นลักษณะต่างๆทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของหินโผล่ได้อย่างชัดเจนและสามารถจะเข้าไปทำการศึกษาเพื่อใช้จุดศึกษานี้เป็นตัวแทนการศึกษา

4.1 ธรณีวิทยา



รูป 4.1 หินเคลย์เนื้อซิลิกาและแร่ควอตซ์ บริเวณเหมืองเคลย์บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

จากการออกภาคสนามหรือการศึกษาระดับมัธยมศึกษาเพื่อออกไปสำรวจและเก็บข้อมูลหินโผล่ในจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่าจุดที่ทำการศึกษาแต่ละจุดนั้นมีความคล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกันมาก โดยหินจะมีสีสดเป็นสีน้ำตาลอ่อนและสีสดเป็นสีชาวม่วงโดยหินที่มีสีชาวม่วงได้รับอิทธิพลจากผนังควอตซ์ (quartz dike) ที่แทรกตัดผ่านจุดศึกษานี้ทำให้หินเคลย์ที่มีสีสดเป็นสีชาวม่วงมีซิลิกาในการเชื่อมประสานของตัวหินเคลย์ (รูป 4.1)

4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

4.2.1 ผลการศึกษาระดับมัธยมศึกษา

เป็นผลการศึกษาที่ได้มาจากการนำค่าข้อมูลโครงสร้างต่างๆทั้งหมดที่เก็บจากการออกภาคสนามเช่น ระบายเรียงตัวของหินเคลย์ แนวแตก และรอยเลื่อนรวมถึงโครงสร้างแนวเส้นอื่นๆที่ทำการกำหนดตำแหน่งบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบพร้อมกับแสดงรูปธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในแต่ละจุดศึกษาในบริเวณจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาร่วมด้วย

โดยการออกภาคสนามก่อนการออกไปเก็บข้อมูลได้ทำการสำรวจภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณพื้นที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลเป็น แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model; DEM) โดยจะทำการวิเคราะห์ระดับภูมิประเทศและทิศทางการวางตัวของพื้นที่ศึกษาเพื่อจะได้มองพื้นที่ศึกษาในจากบริเวณกว้างเพื่อจะทำการศึกษาระดับหน้างานของพื้นที่ศึกษา ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ระดับภูมิประเทศและทิศทางการวางตัวของพื้นที่ศึกษาได้นั้น จะต้องสร้างแบบจำลองความสูงต่ำเชิงเงา (hillshade) จากแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขก่อน โดยตั้งค่าทิศของมุมแสง (azimuth) ไว้แปดทิศ และตั้งค่าระดับความสูงของแหล่งกำเนิดดวงอาทิตย์ 45 องศาเท่ากันทั้งแปดทิศ เพื่อจะได้เห็นความชัดเจนของพื้นที่มากขึ้น

หลังจากทำการสำรวจภาคสนามได้ทำการแบ่งขอบเขต (domain) ของการเก็บข้อมูลเป็น 4 ขอบเขต (รูป 4.2-4.20) โดยทำการเก็บค่าการวางตัวของชั้นหิน (bedding) รอยเลื่อน (fault) ชุดหินคดโค้ง (fold) โครงสร้างแนวเส้น (lineation) ชุดของแนวแตก (joint set) และเก็บตัวอย่างเพื่อทำแผ่นหินบางโดยจะทำการศึกษาระดับจุลภาค (microtectonic)

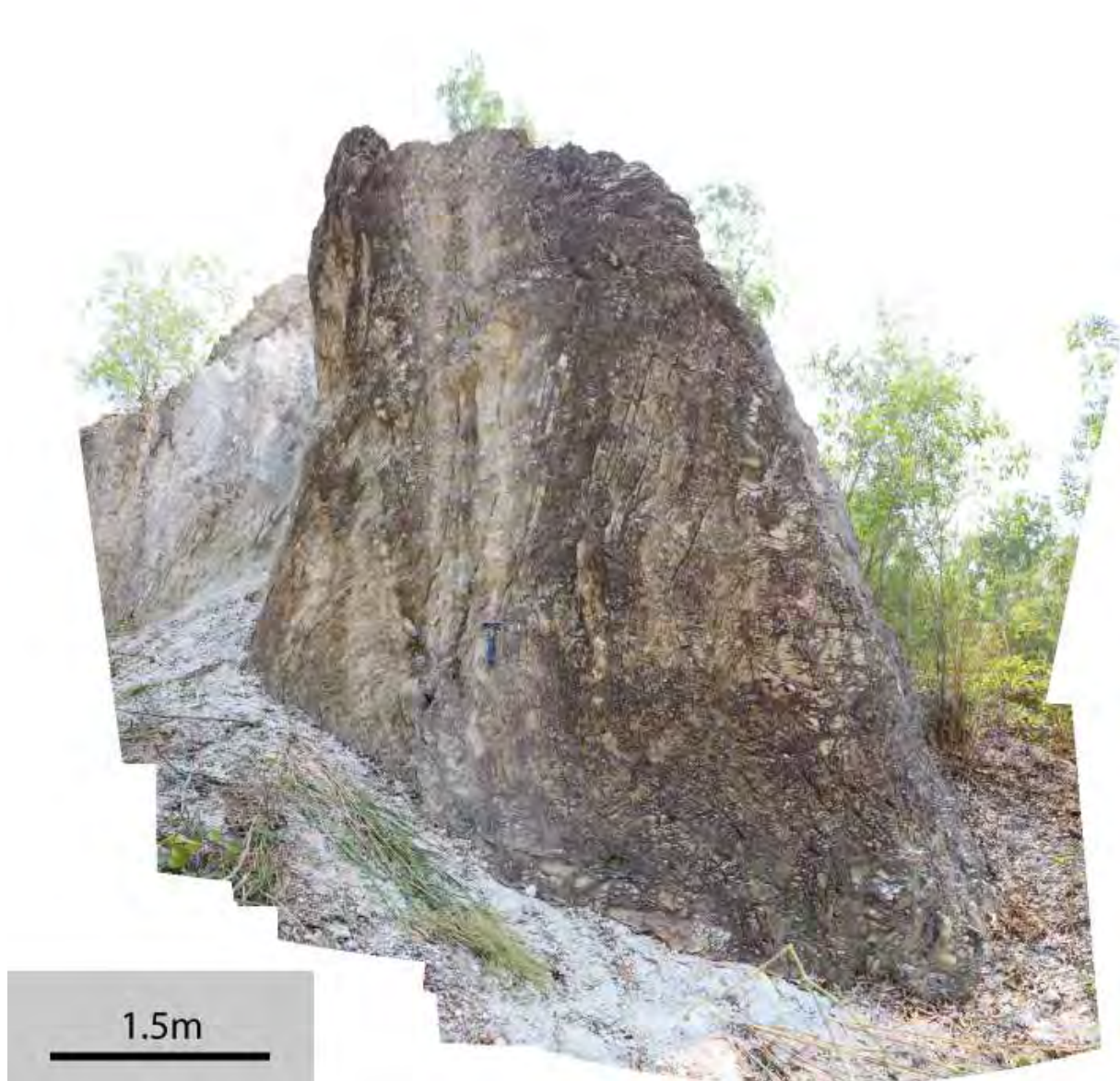


รูป 4.2 แสดงภาพรวมของจุดศึกษาขอบเขตที่ 1 (domain 1)



รูป 4.3 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 (domain 2)

SSE



รูป 4.4 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 (domain 3)



รูป 4.5 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 (domain 3) บริเวณด้านหลัง



รูป 4.6 แสดงพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 (domain 4)

4.2.1.1 จุดศึกษาขอบเขตที่ 1 (domain 1)

ในส่วนขอบเขตแรก (domain 1) สิ่งที่เกิดจากภาคสนาม (รูป 4.7) พบหลักฐานของการวางตัวของชั้นหินคดโค้งโดยมีค่าการวางตัวที่ 335/52 ENE, 337/60 ENE , 116/63 SSE, 337/46 ENE, 116/63 SSE , 334/55 ENE โดยส่วนใหญ่จะทิศทางการวางตัวของแนวตัดระนาบเอียงจะมีทิศทาง ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และมุมระหว่างระนาบกับระนาบเอียงมีค่าประมาณ 36-60 องศา และเก็บค่าของรอยเลื่อนได้ 4 ค่าคือ 158/28 WSW, 145/14 WSW, 143/65 WSW , 138/36 WSW โดยการกำหนดตำแหน่งบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าได้ดังรูป (รูป 4.21)จากการสำรวจพื้นที่ในขอบเขตแรกพบลักษณะของรอยเลื่อนที่มีความโดดเด่นโดยรอบเลื่อนในพื้นที่ศึกษาขอบเขตแรกจะเป็นชนิดรอยเลื่อนปกติ (normal fault) พบได้ในหลายตำแหน่งของจุดศึกษาขอบเขตที่ 1 และพบชุดของแนวแตก 2 แนว (รูป 4.13) โดยชุดของแนวแตกที่ 1 จะวัดค่าการวางตัวเฉลี่ยประมาณ 236/67 WSW ทำให้ทราบว่าชุดของรอยแตกที่ 1 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และมีมุมเอียงเทประมาณ 67 องศาเอียงเทไปทางทิศตะวันออก ชุดของแนวแตกที่ 2 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ 147/46 WSW ทำให้ทราบว่าชุดของแนวแตกที่ 2 มีแนวการวางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และมีมุมเอียงเทประมาณ 46 องศาเอียงเทไปทางทิศตะวันตก

โครงสร้างแนวเส้นที่พบจะวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ 341/11 ENE ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงค่อนไปทางเหนือ โดยโครงสร้างแนวเส้นที่พบคือ โครงสร้างแนวเส้นจากรอยหยัก (crenulation lineation) (รูป 4.15)

4.2.1.2 จุดศึกษาขอบเขตที่ 2 (domain 2)

ส่วนต่อมาในขอบเขตที่สอง (domain 2) (รูป 4.10) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบคือค่าการวางตัวของชั้นหินเคลย์ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 338/46 NNE ทำให้ทราบว่าค่าการวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันออกมีมุมเอียงเทประมาณ 46 องศาเอียงไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันออก พบลักษณะโครงสร้างที่ต่อมาจากขอบเขตแรกโดยในขอบเขตจะแสดงลักษณะชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold) โดยมีค่าระนาบแกน (axial plane) 218/26 WNE โดยมีรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นหินคดโค้งนี้โดยมีค่าการวางตัว 270/26 N โดยในขอบเขตที่สองจะเห็นโครงสร้างของพั้งควอตซ์ (quartz dike) (รูป 4.12) มีแนวการวางตัว 291/69 NNE ทำให้ทราบว่าพั้งควอตซ์วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้แทรกตัดผ่านชั้นหินเคลย์ทำให้เกิดการผุพังในบริเวณนี้ จากการสำรวจภาคสนามพบชุดของแนวแตก 3 แนว (รูป 4.13) โดยชุดของแนวแตกที่ 1 จะวัดค่าการวางตัวเฉลี่ยประมาณ 215/71 SSW ทำให้ทราบว่าชุดของที่ 1 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และมีมุมเอียงประมาณ 71 องศาเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูป 4.7 (a) รูปถ่าย รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) รูปขวา ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่เส้นสีประแสดงชั้นหินคดโค้ง และ พื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อน

a)



รูป 4.8 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยเลื่อนที่ไม่ทราบทิศทางการวางตัวซึ่งเป็นรอยเลื่อนเดียวกับรอยเลื่อนของ(รูป 4.9)

b)



รูป 4.8 (a) รูปถ่ายหินโพลในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยเลื่อนที่ไม่ทราบทิศทางการวางตัวซึ่งเป็นรอยเลื่อนเดียวกับรอยเลื่อนของ(รูป 4.9)

a)



รูป 4.9 (a) รูปถ่ายหินโพลีในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยเลื่อนที่มีค่าการวางตัวที่ 158/28 WSW และ 145/14 WSW ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรอยเลื่อนที่พบในพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1

b)



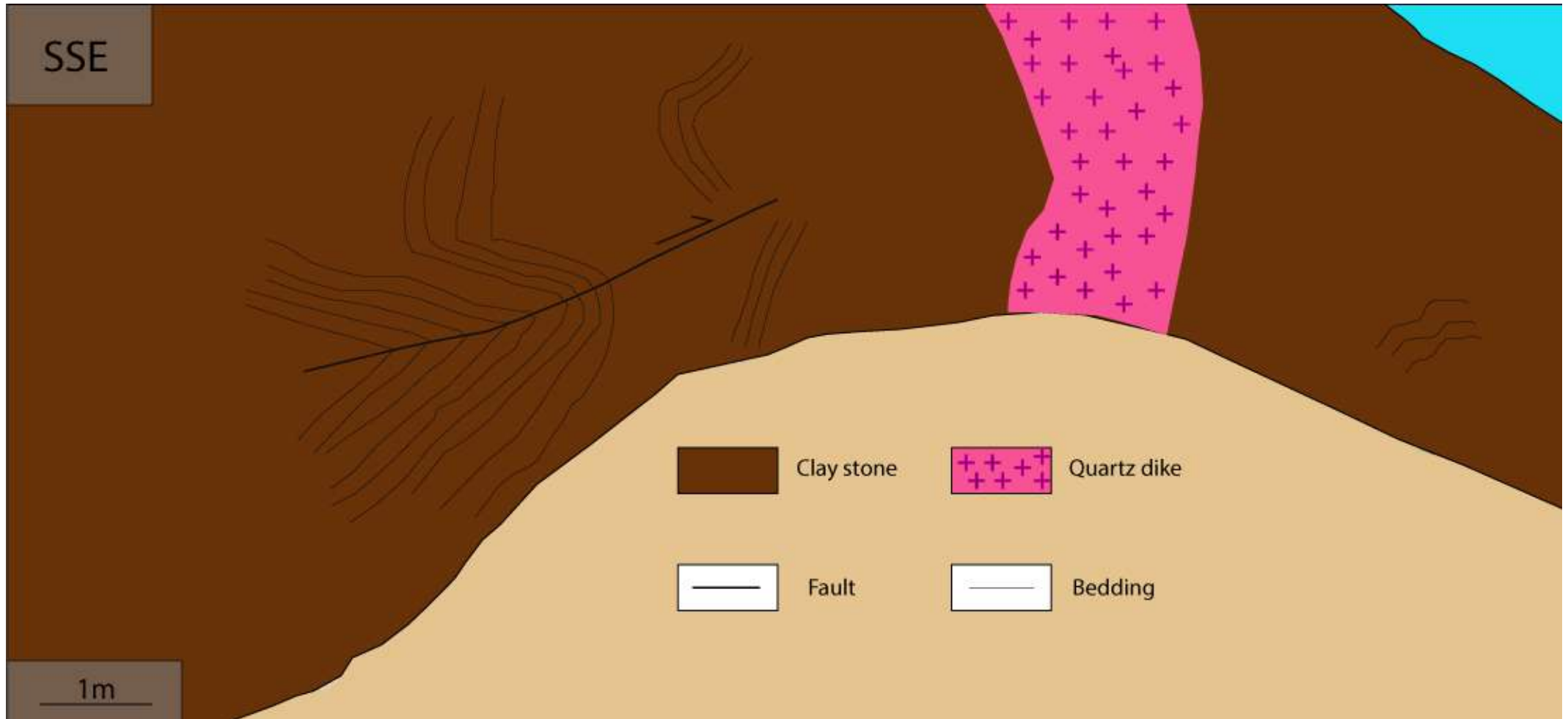
รูป 4.9 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 1 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยเลื่อนที่มีค่าการวางตัวที่ 158/28 WSW และ 145/14 WSW ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรอยเลื่อนที่พบในพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1

a)



รูป 4.10 (a) รูปถ่ายหินโคลนในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่เส้นสีเทาแสดงชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold) โดยมีค่าระนาบแกน (axial plane) 218/26 WNW โดยมีรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นหินคดโค้งนี้โดยมีค่าการวางตัว 270/26 N โดยแสดงลักษณะของ และ พื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อน และ พื้นที่สีชมพูคือลักษณะของ พนังควอตซ์ (quartz dike)

b)



รูป 4.10 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่เส้นสีเทาแสดงชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold) โดยมีค่าระนาบแกน (axial plane) 218/26 WNW โดยมีรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นหินคดโค้งนี้โดยมีค่าการวางตัว 270/26 N โดยแสดงลักษณะของ และ พื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อน และ พื้นที่สีชมพูคือลักษณะของ พนังควอตซ์ (quartz dike)



รูป 4.11 (a) รูปถ่ายหินโคลนในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่เส้นสีเทาแสดงชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold)

b)



รูป 4.11 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่เส้นสีเทาแสดงชั้นหินคดโค้งนอนทับ (recumbent fold)

a)



รูป 4.12 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะของผนังควอตซ์ที่แทรกผ่านชั้นหินในขอบเขตที่ 2 วัดค่าวางตัวได้ 241/69 NNW



รูป 4.12 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 2 (b) ลักษณะของผนังควอตซ์ที่แทรกผ่านชั้นหินในขอบเขตที่ 2 วัดค่าวางตัวได้ 241/69 NNW

ชุดของแนวแตกที่ 2 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $95/88$ SSW ทำให้ทราบว่าชุดของแนวแตกที่ 2 มีแนวการวางตัวค่อนข้างไปในทางทิศตะวันตก-ตะวันออกและมีมุมเอียงเท 88 องศาเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ชุดของแนวแตกที่ 3 วัดค่าการวางตัวเฉลี่ยประมาณ $310/90$ NE ทำให้ทราบว่าชุดของแนวแตกที่ 3 มีแนวการวางตัวไปทางตะวันตกเฉียงเหนือขตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมเอียงเท 90 องศาเอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

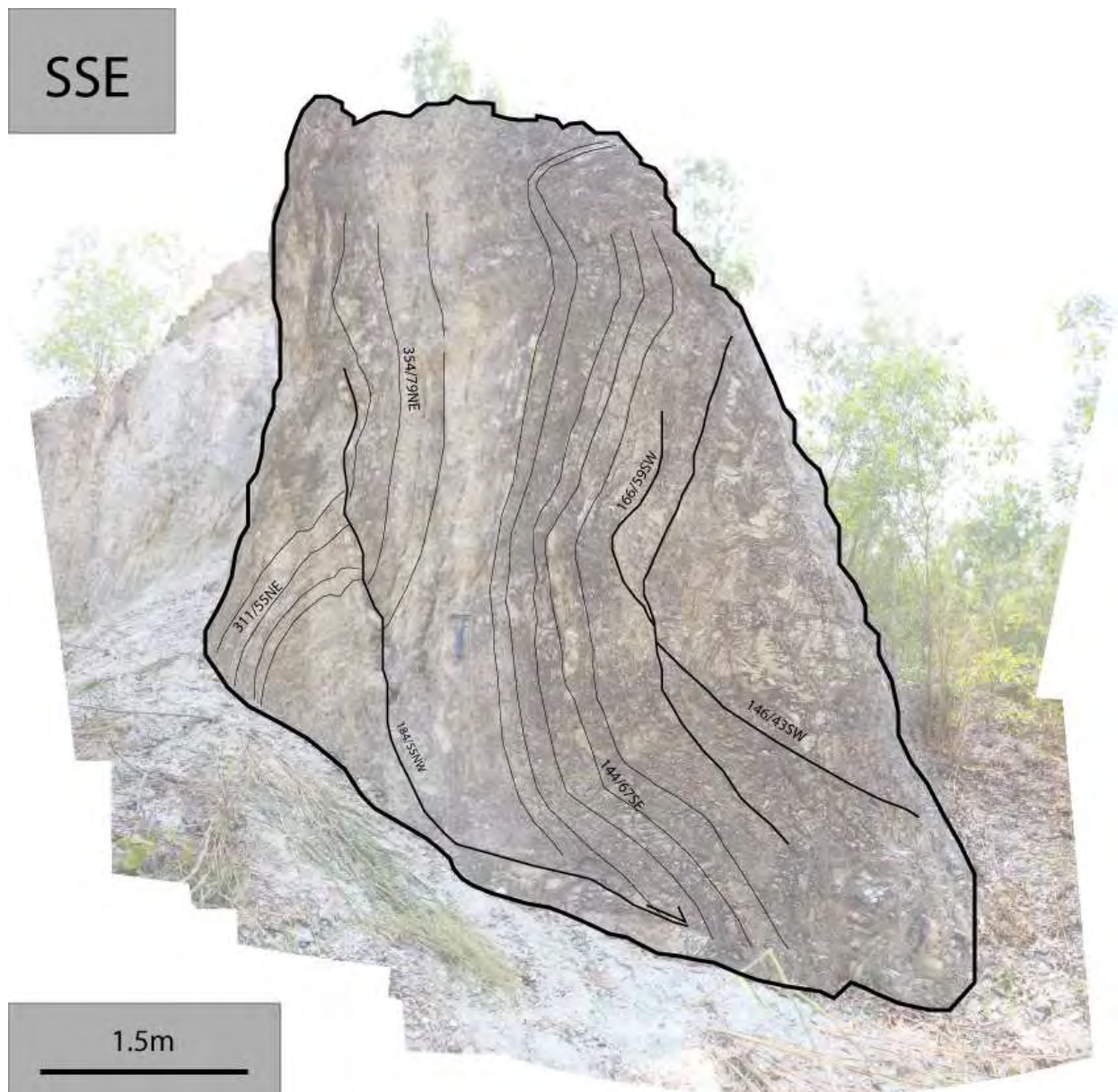
โครงสร้างแนวเส้นที่พบสามารถวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ $119/2$ SSW ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออก โดยโครงสร้างแนวสร้างจากรอยหยัก (crenulation lineation) เช่นเดียวกับขอบเขตแรก



รูป 4.13 แสดงลักษณะของกลุ่มแนวแตก (joint set) ที่พบในพื้นที่ศึกษา

4.2.1.3 จุดศึกษาขอบเขตที่ 3 (domain 3)

ในส่วนขอบเขตที่ 3 (domain 3) (รูป 4.14) พบหลักฐานชั้นหินคดโค้งที่มีค่าการวางตัว 339/79 ENE ,311/55 NNE,140/54 WSW,276/83 NNE ทำให้ทราบว่า การวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้มีมุมเอียงเทเฉลี่ยประมาณ 70 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออก ลักษณะ โครงสร้างต่อมาคือรอยเลื่อนที่มีค่าการวางตัว 184/55 WNW,166/59 WSW,146/43 WSW โดยรอยเลื่อนมี ทิศทางการวางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้



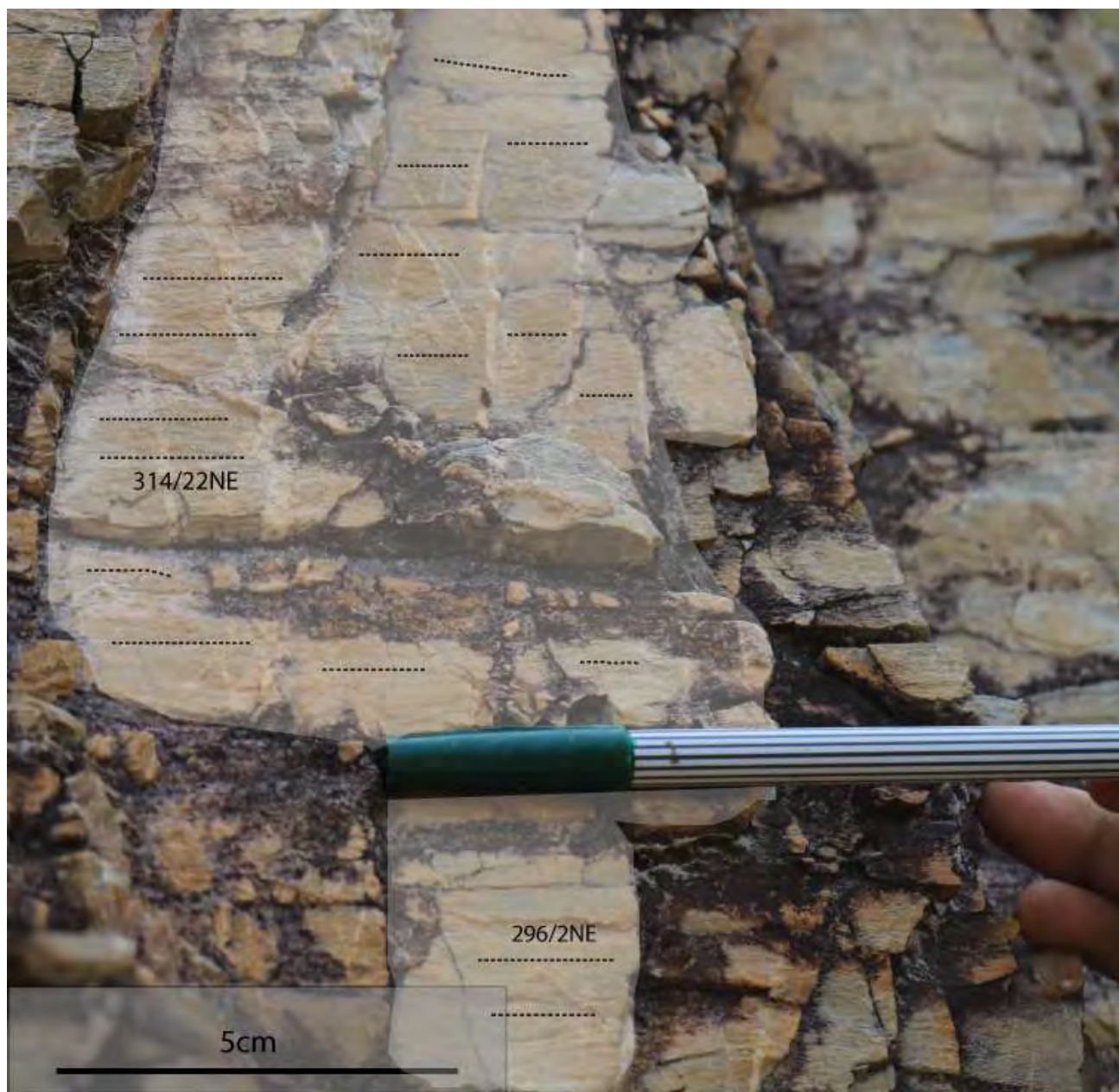
รูป 4.14 พื้นที่เส้นสีเทาแสดงลักษณะชั้นหินคดโค้งและพื้นที่เส้นสีดำแสดงลักษณะของรอยเลื่อนของขอบเขตที่ 3

โครงสร้างแนวเส้นที่พบสามารถวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ 22/314 ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยโครงสร้างแนวเส้นที่พบเป็นโครงสร้างแนวเส้นจากรอยหยัก (crenulation lineation)



รูป 4.15 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 3 (b) ลักษณะของโครงสร้างเชิงเส้นที่เป็นโครงสร้างแนวสร้างจากรอยหยัก (crenulation lineation) เช่นเดียวกับทุกขอบเขต

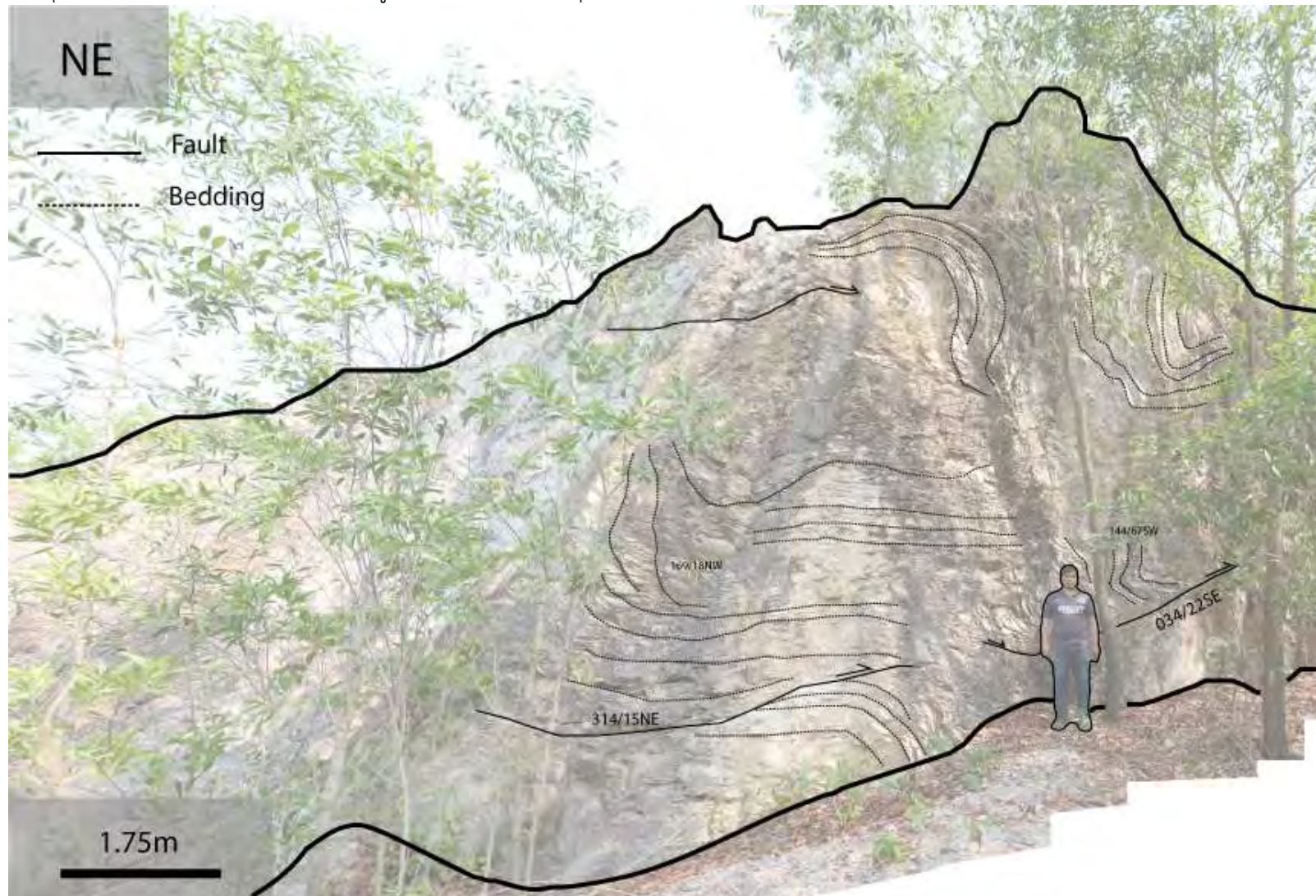
b)



รูป 4.15 (a) รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 3 (b) ลักษณะของโครงสร้างเชิงเส้นที่เป็นโครงสร้างแนวสร้างจากรอยหยัก (crenulation lineation) เช่นเดียวกับทุกขอบเขต

4.2.1.4 จุดศึกษาขอบเขตที่ 4 (domain 4)

ส่วนสุดท้ายคือขอบเขตที่ 4 (domain 4) (รูป 4.16) เป็นส่วนริมสุดของหน้าตัดของพื้นที่ศึกษา



รูป 4.16 แสดงภาพรวมของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะโครงสร้างของรอยเลื่อน (เส้นสีดำ) และชั้นหินคดโค้ง (เส้นประ)

โดยยังพบลักษณะโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งโดยมีค่าการวางตัวเฉลี่ยประมาณ 144/67 WSW ทำให้ทราบว่า การวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้มีมุมเอียงเทประมาณ 67 องศาเอียงไปทางตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตก และยังพบรอยเลื่อนในที่มีค่าการวางตัว 341/15 ENE, 034/22 ESE โดยวางตัวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือไปจนถึงตะวันออกเฉียงและพบเจอลักษณะของผนังควอตซ์ (quartz dike) แทรกตัดผ่านชั้นหินซึ่งเป็นตัวเดียวกับขอบเขตที่ 2 (รูป 4.17)

โครงสร้างแนวเส้นที่พบสามารถวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ 145/3 WSW ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยโครงสร้างแนวเส้นที่พบจะเป็นโครงสร้างแนวเส้นชนิดเดียวกันกับขอบเขตที่ผ่านมาคือโครงสร้างแนวเส้นแบบรอยหนัก (crenulation lineation)



รูป 4.17 แสดงภาพรวมของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ซึ่งพบผนังควอตซ์ (quartz dike) ซึ่งเป็นตัวเดียวกับขอบเขตที่ 2

a)



b)



รูป 4.18 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 4 (b) รูปล่าง ของรอยเลื่อนและชั้นหินคดโค้ง

a)



b)



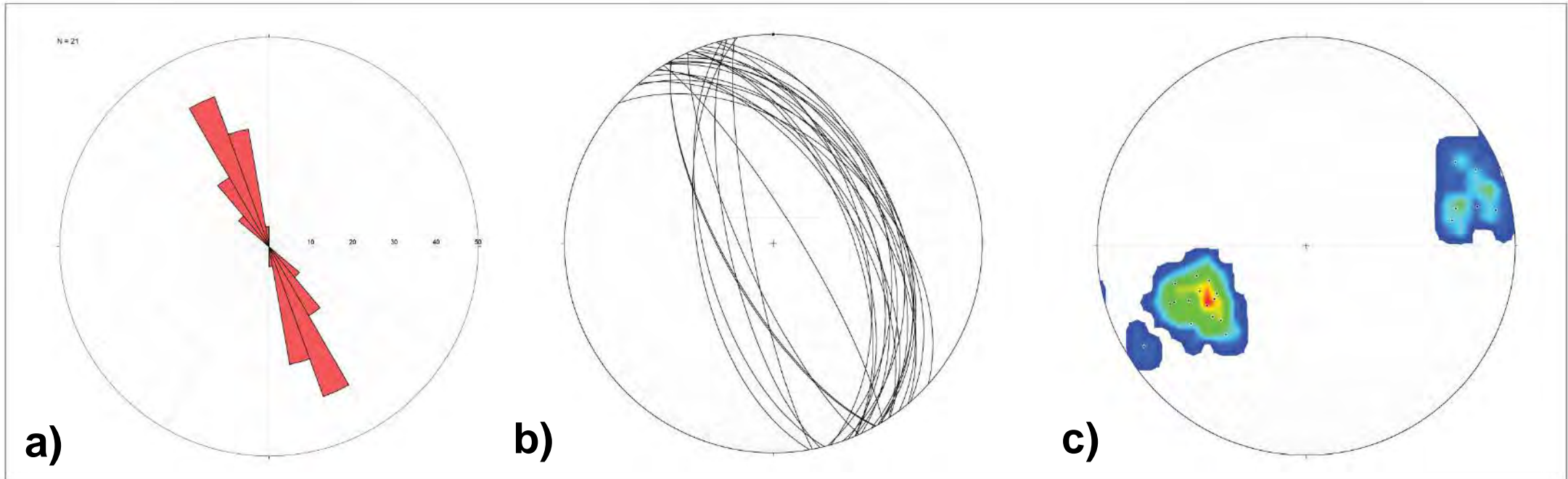
รูป 4.19 (a) รูปบน รูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 4 (b) รูปล่าง ของรอยเลื่อนและชั้นหินคดโค้ง



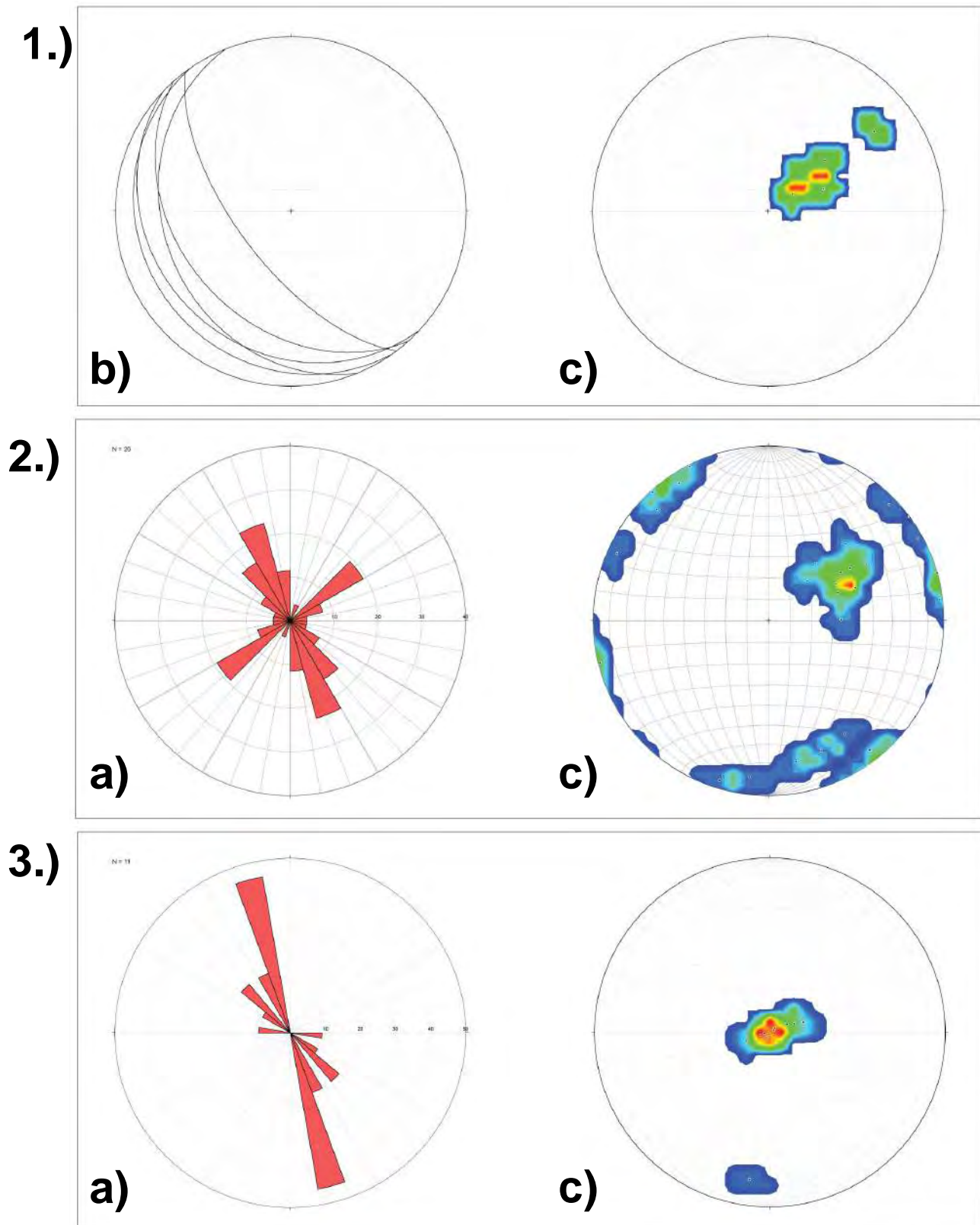
รูป 4.20 (a) รูปบนรูปถ่ายหินโผล่ในตำแหน่งศึกษาขอบเขตที่ 4 (b) รูปล่าง ของรอยเลื่อนและชั้นหินคดโค้ง

แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาขอบเขตที่ 1

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาขอบเขตที่ 1 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินเคลย์ แนวแตกทั้ง 2 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 4.21) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกุหลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้



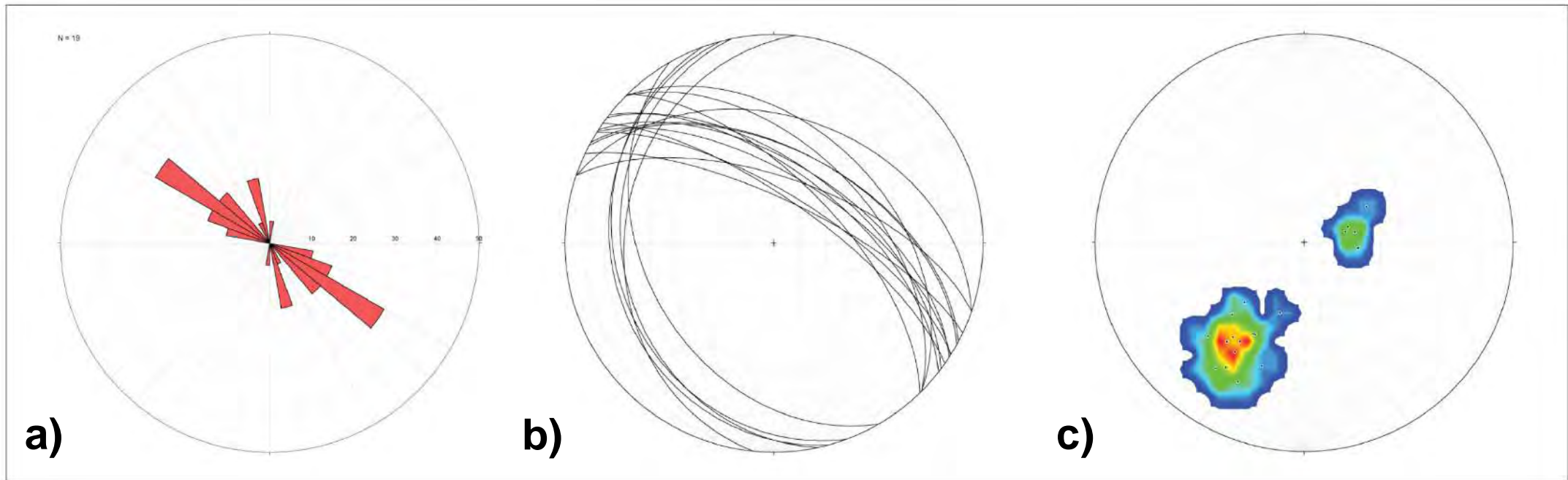
รูปที่ 4.21 a) คือแผนภาพกุหลาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 1



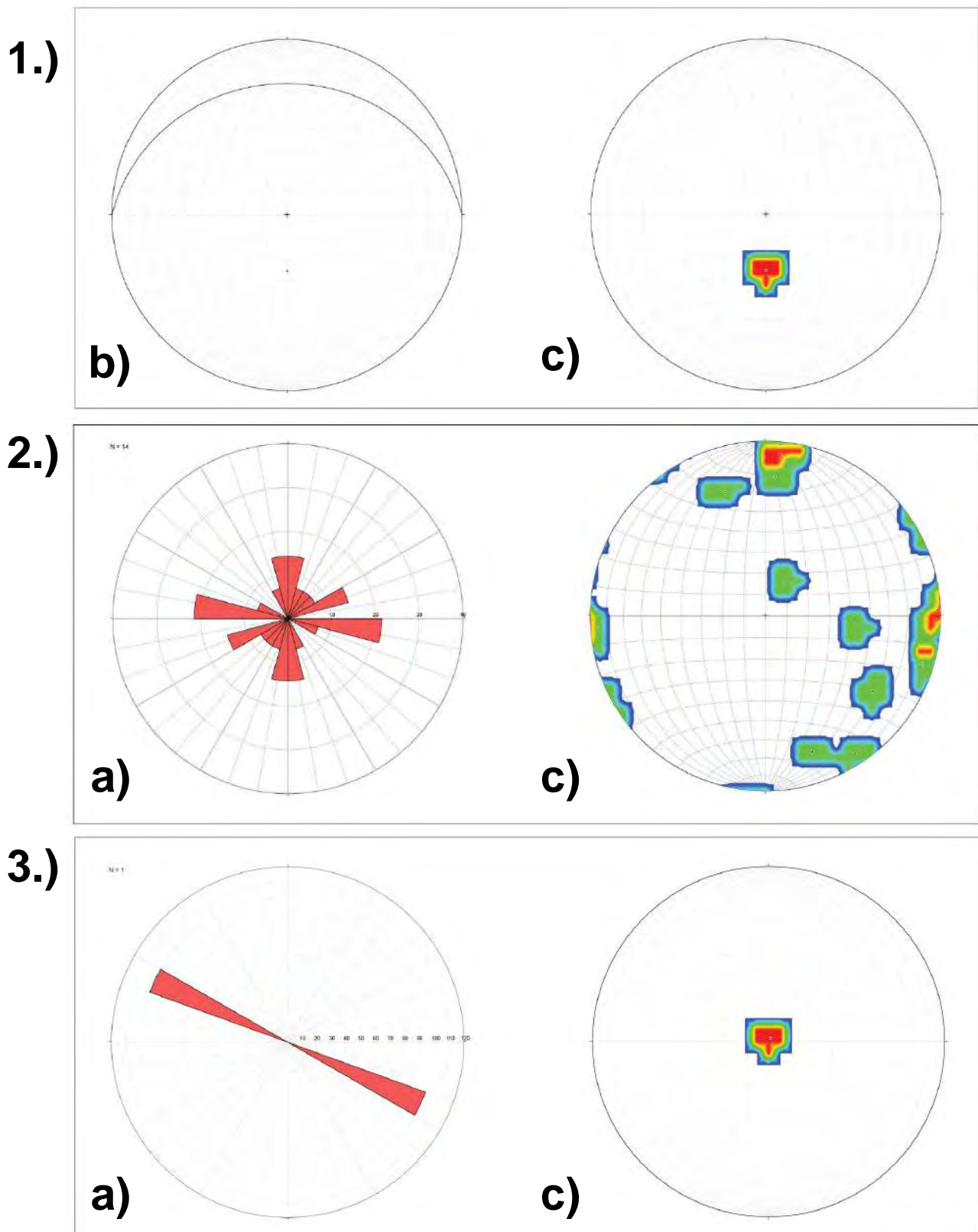
รูปที่ 4.22 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิก ชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือ แผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล

แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาขอบเขตที่ 2

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาขอบเขตที่ 2 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินเคลย์ แนวแตกทั้ง 2 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 4.23) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกุหลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้



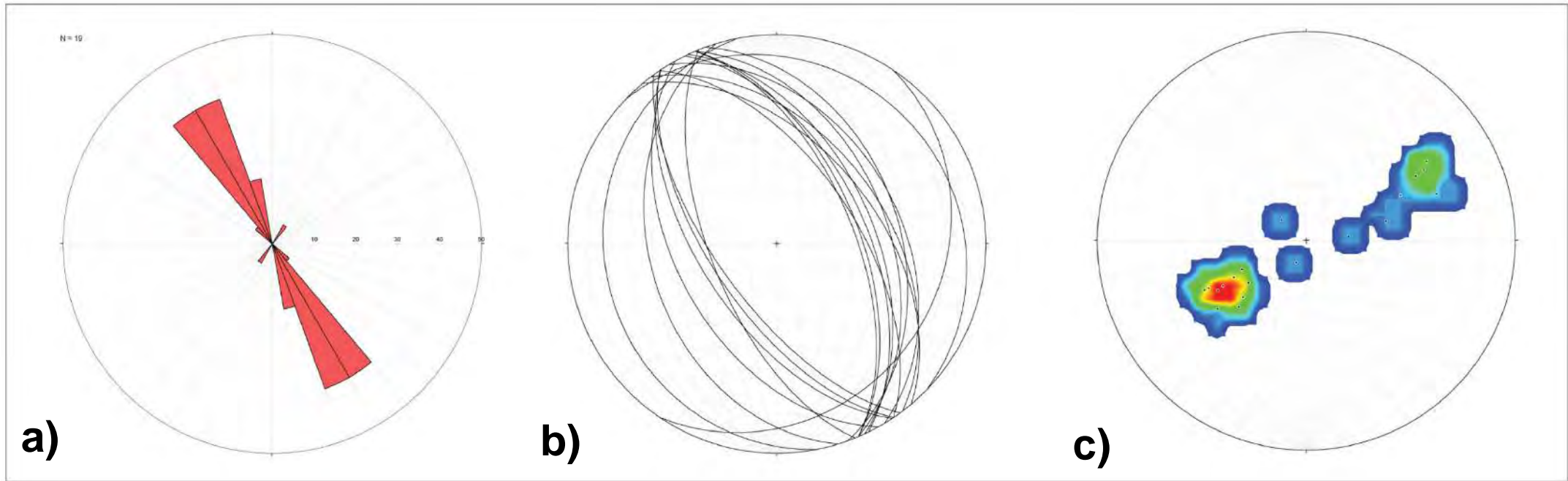
รูปที่ 4.23 a) คือแผนภาพกุหลาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 2



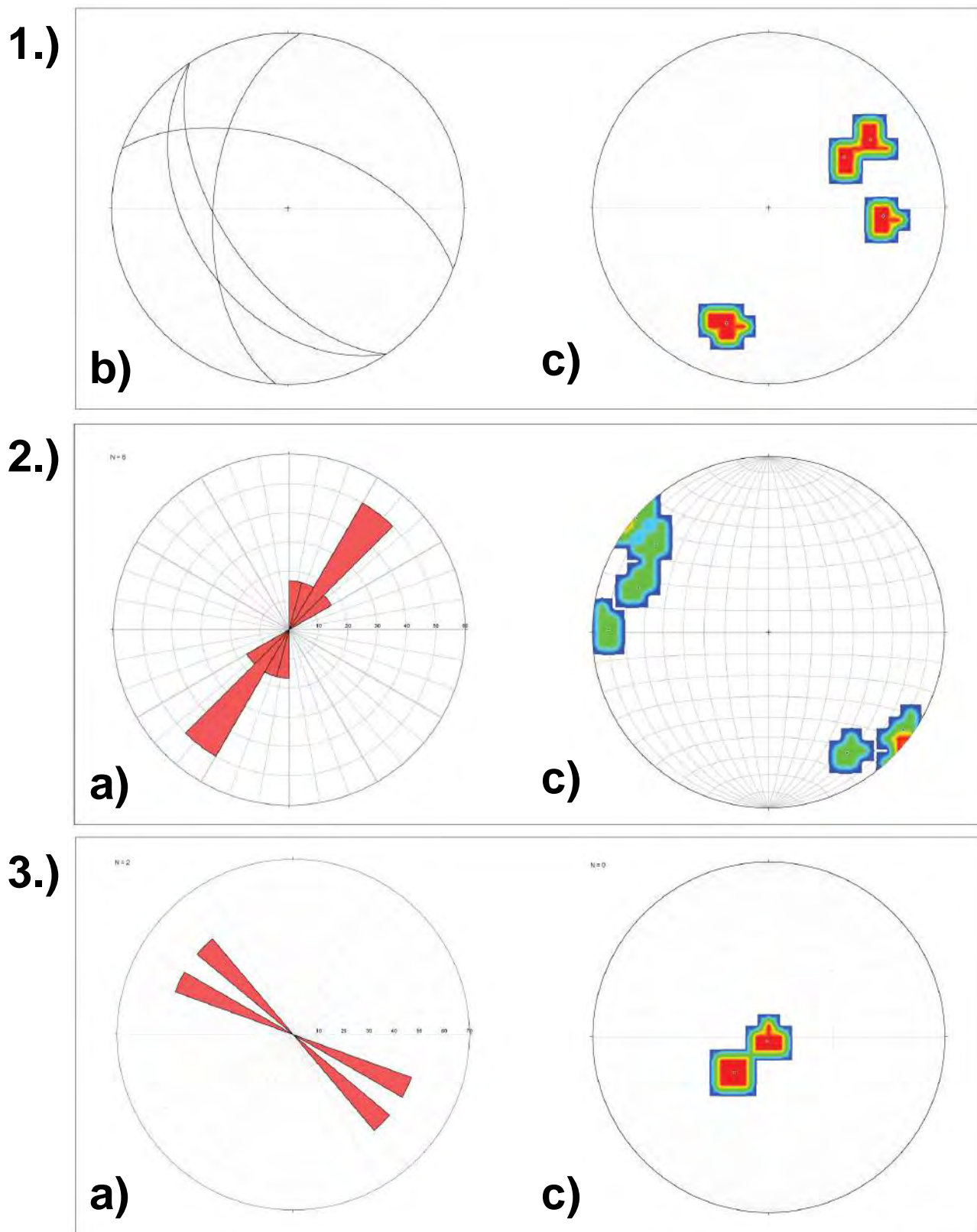
รูปที่ 4.24 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 2 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล

แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาขอบเขตที่ 3

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาขอบเขตที่ 3 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินเคลย์ แนวแตกทั้ง 2 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 4.25) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกุหลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้



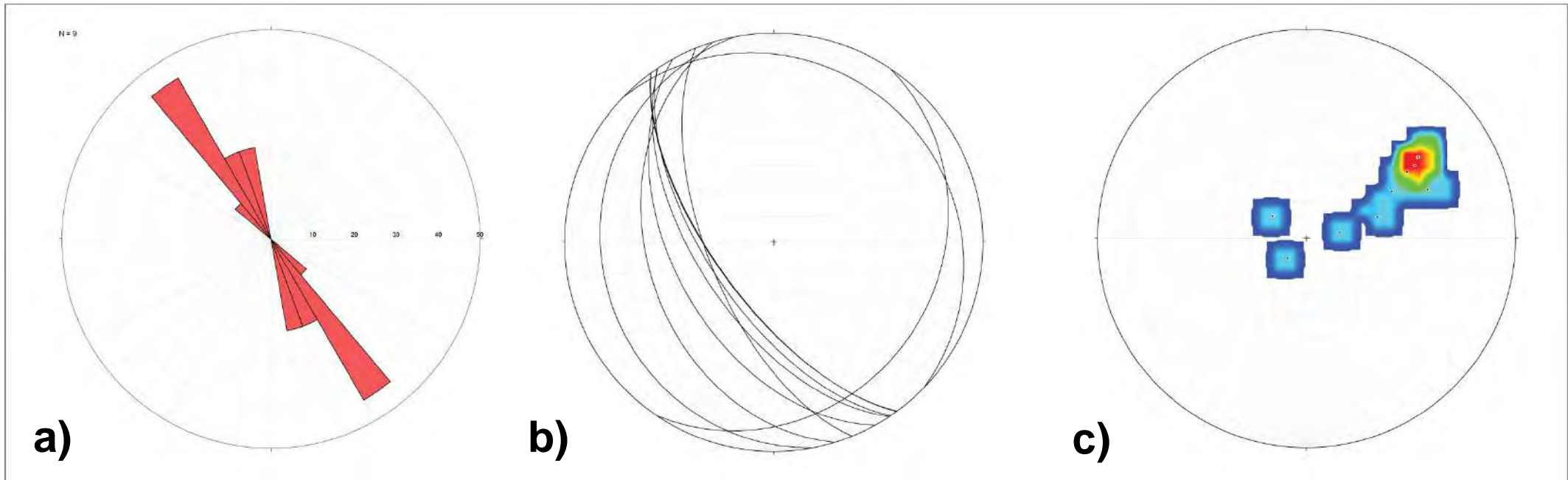
รูปที่ 4.25 a) คือแผนภาพกุหลาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 3



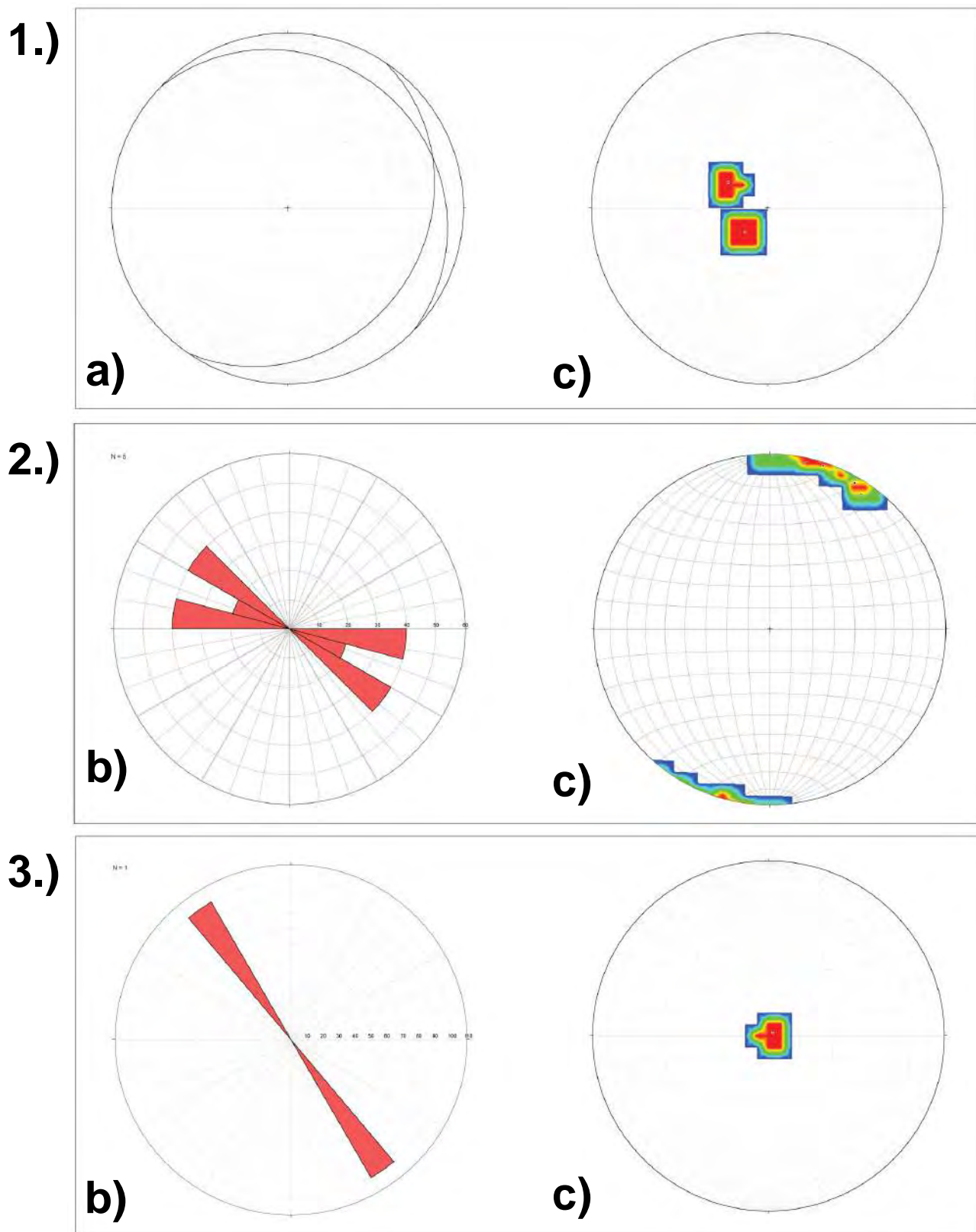
รูปที่ 4.26 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 3 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกุกุหลาบและ (รูป c) คือโพล

แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาขอบเขตที่ 4

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาขอบเขตที่ 2 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินเคลย์ แนวแตกทั้ง 2 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 4.27) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกุหลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้

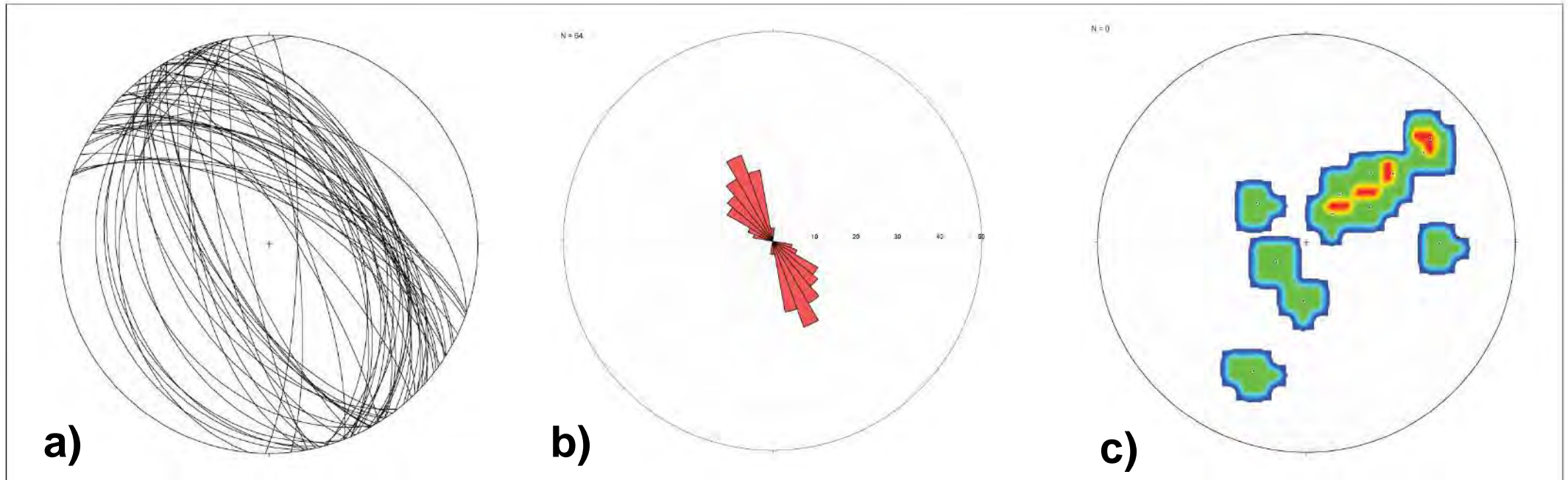


รูปที่ 4.27 a) คือแผนภาพกุหลาบและ b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาที่ 4

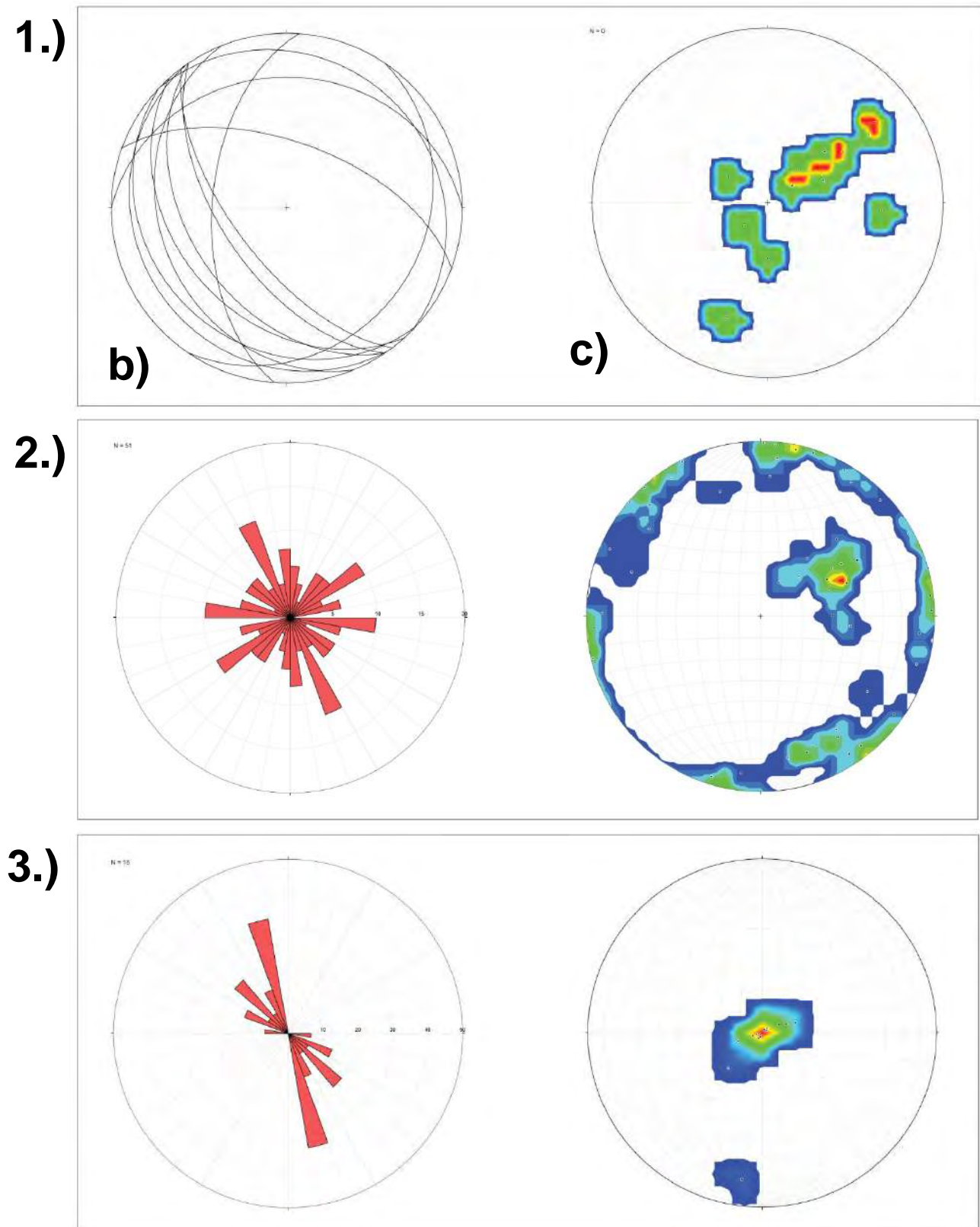


รูปที่ 4.28 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิก ชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกแยกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกู่หลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกู่หลาบและ (รูป c) คือโพล

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างที่จากทุกจุดศึกษาตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 ไปจนถึงจุดศึกษาที่ 4 มาทำการกำหนดตำแหน่งรวมกันลงบนสเตอริโอกราฟชนิดพื้นที่เท่า และแผนภาพกุหลาบและโพลก็จะทำให้ทราบภาพรวมของแนวการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างต่างๆของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4.29-4.30)



รูปที่ 4.29 a) คือคือสเตอริโอกราฟชนิดพื้นที่เท่าและ b) คือแผนภาพกุหลาบและ c) คือโพล ทั้งหมดคือระนาบการเรียงตัวของจุดศึกษาทั้งหมด



รูปที่ 4.30 1.) แสดงการพล็อตข้อมูลของรอยเลื่อนของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ประกอบไปด้วย (รูป b) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและ (รูป c) คือโพล 2.) แสดงการพล็อตของแนวแตกแยกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกู่หลาบและ (รูป c) คือโพล 3.) แสดงการพล็อตของโครงสร้างแนวเส้นของพื้นที่ศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ประกอบไปด้วย (รูป a) คือแผนภาพกู่หลาบและ (รูป c) คือโพล

จากการนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างแต่ละชนิดที่เก็บมาจากภาคสนามทั้งหมดมาเฉลี่ยทำให้ทราบว่าพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ขอบเขตที่ 1-4 มีค่าเฉลี่ยของการเรียงตัวแบบหินเคลย์มีค่าเท่ากับ 258/57 WNW แนวรอยเลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 175/37 WSW ทั้งหมดพบชุดแนวแตก 3 แนวแตกทิศทางที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 325/68 SSE แนวแตกแยกทิศทางที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 046/75 SSE แนวแตกทิศทางที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96/80 SSW และโครงสร้างแนวเส้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 298/11 WNW

4.2.2 ผลการศึกษาระดับจุลภาค

ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคนั้นจะศึกษาในแผ่นหินบางที่ได้จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยจะนำมาศึกษาสีลาบรรณของหินรวมไปถึงศึกษาโครงสร้างจุลภาค ซึ่งทำให้ทราบถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะและตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนจุลภาค ซึ่งการวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างในระดับจุลภาคนี้นำไปใช้ในการสนับสนุนการวิเคราะห์ธรณีวิทยาในระดับมหัศจรรย์และวิวัฒนาการแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

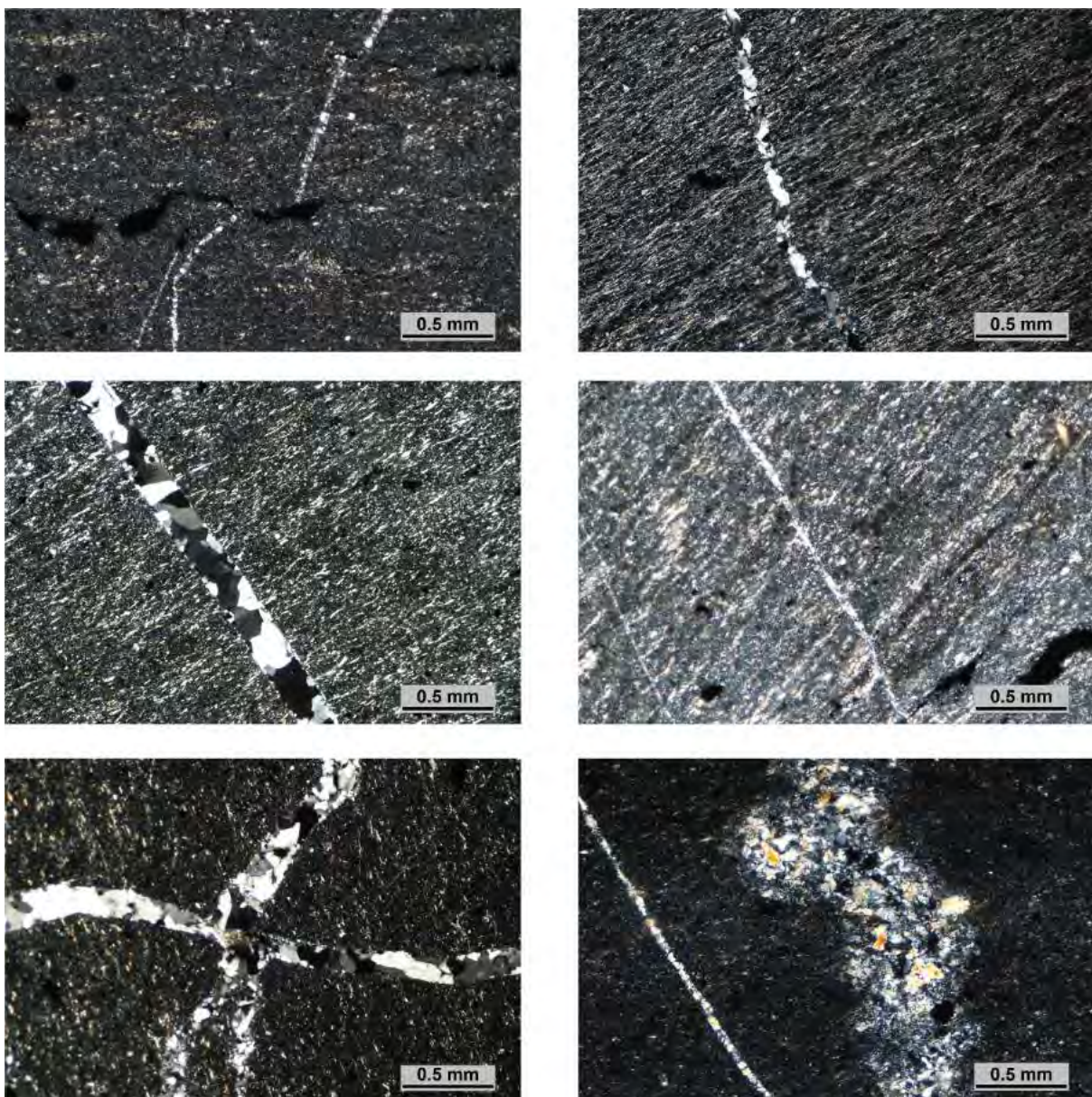
ตัวอย่างหินระบุตำแหน่งในพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 จุดการศึกษานั้นเป็นหินเคลย์ ซึ่งเก็บตัวอย่างหินมาจำนวน 4 ก้อนจาก 4 จุดศึกษา ประกอบไปด้วย ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาขอบเขตที่ 1 - 4 เพื่อนำไปทำแผ่นหินบางสำหรับใช้ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยจะนำตัวอย่างหินมาตัดในแนวขนานไปกับโครงสร้างแนวเส้น ซึ่งทำการตัดแผ่นหินบางจำนวน 10 ตัวอย่าง

เมื่อทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทำให้พบว่าในเรื่องของสีลาบรรณ แร่องค์ประกอบหลักของหินเคลย์ ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ส่วนใหญ่ในเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างพบสายแร่ควอตซ์และแนวแตก ที่บ่งบอกในเรื่องของกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ

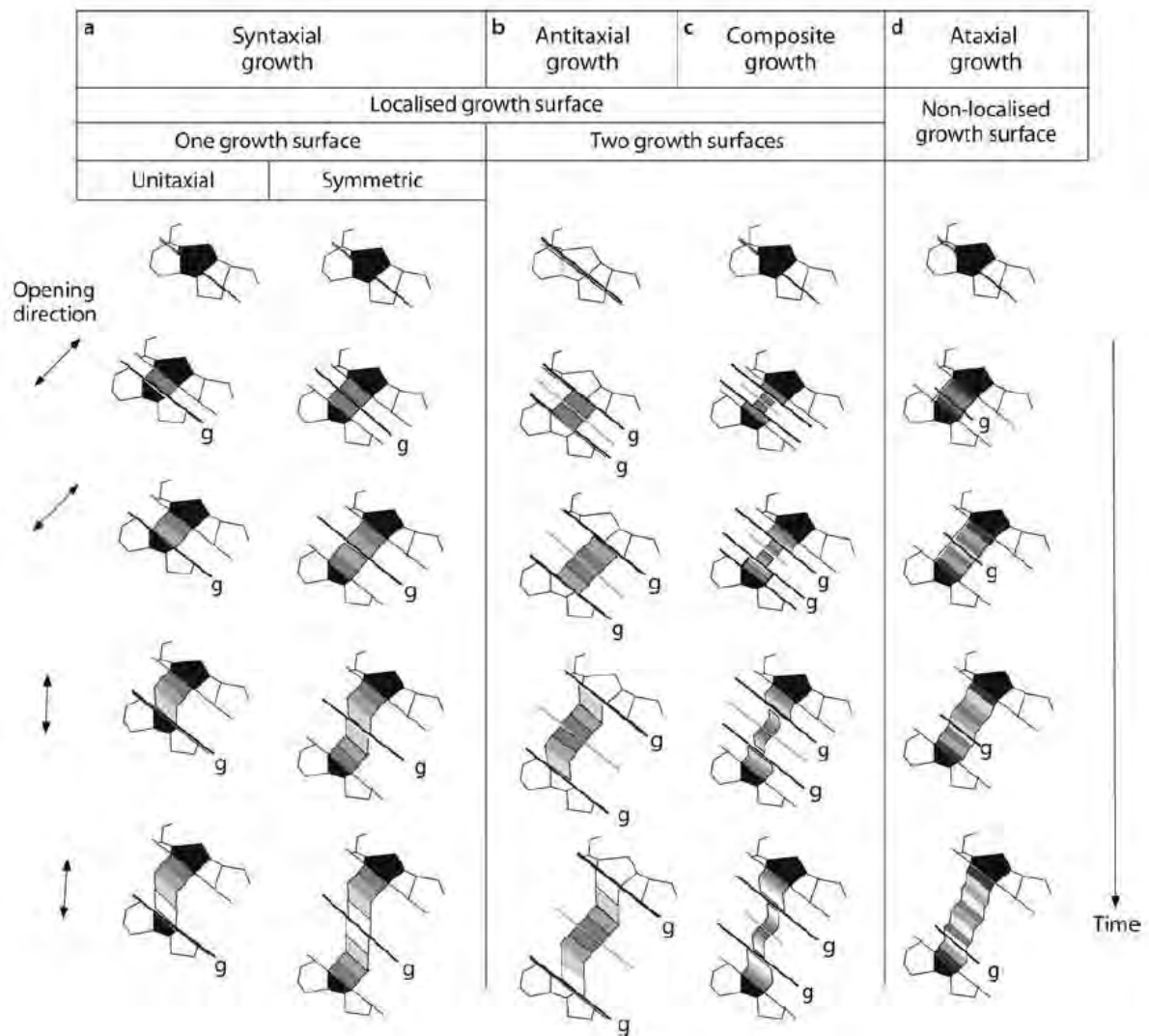
4.2.2.1 กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ

4.2.2.1.1 สายแร่

สายแร่ควอตซ์ถูกเติมเต็มด้วยการเติบโตของแร่ที่ไม่ใช่องค์ประกอบของหินผนัง โดยจะเกิดการเติบโตขึ้นตามการสัมผัสของเม็ดยาวหรือเส้นใยและหินผนัง (รูป 4.31) เส้นกลางที่ไม่ชัดเจนแสดงด้วยเม็ดที่เท่ากันขนาดเล็กหรือเศษชิ้นส่วนของผนังที่มักจะปรากฏอยู่ตรงกลางของกลุ่มเส้นใยซึ่งบ่งชี้ถึงบริเวณเริ่มต้นรวมตัวกันของการเติมเต็มสายแร่ ชนิดของการเติบโตไปสู่หินผนังนี้เรียกว่าการเติบโตแบบด้านแกนและเรียกว่าสายแร่เส้นใยแบบด้านแกน (Ramsay and huber, 1983)



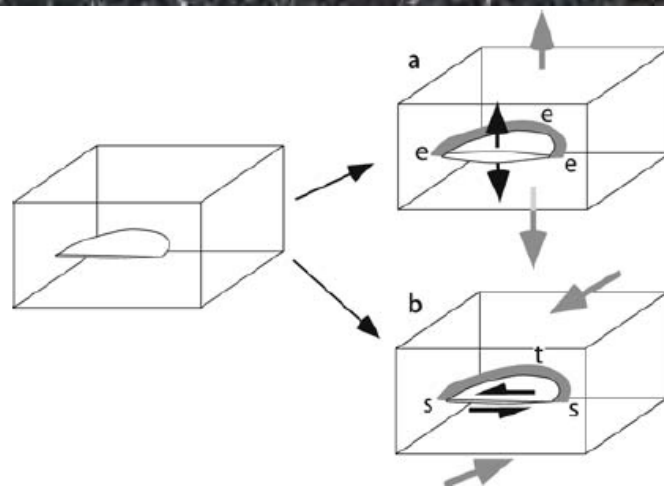
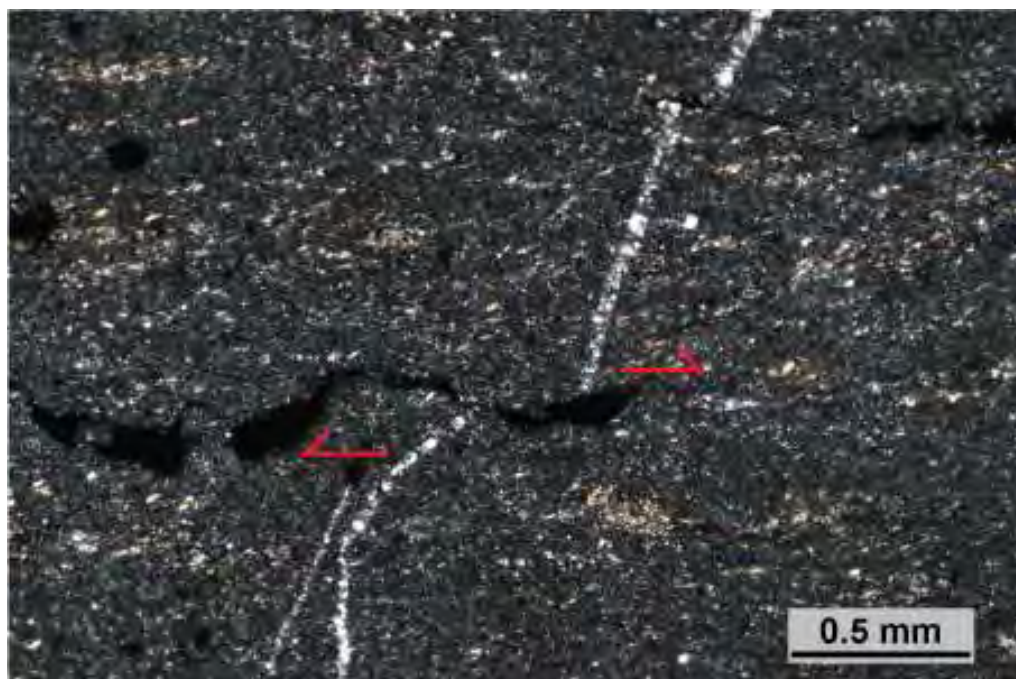
รูปที่ 4.31 สายแร่ควอตซ์ภายใต้แผ่นหินขัดบาง



รูป 4.32 รูปแบบของการเติบโตเส้นใยในสายแร่ที่พบได้ในธรรมชาติ ส่วนที่อายุน้อยที่สุดแสดงโดยสีที่อ่อนกว่า พื้นผิวที่เติบโตแสดงโดยเส้นสีดำเข้ม การเติบโตแบบแกนร่วมมีหนึ่งพื้นผิวการเติบโตแบบแกนเดี่ยวและแบบสมมาตร การเติบโตแบบต้านแกนและการเติบโตแบบผสมมีสองพื้นผิวการเติบโต การเติบโตแบบไม่มีแกนไม่จำกัดพื้นผิวการเติบโต (Passchier and Trouw, 2005)

4.2.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงแบบแตกหัก

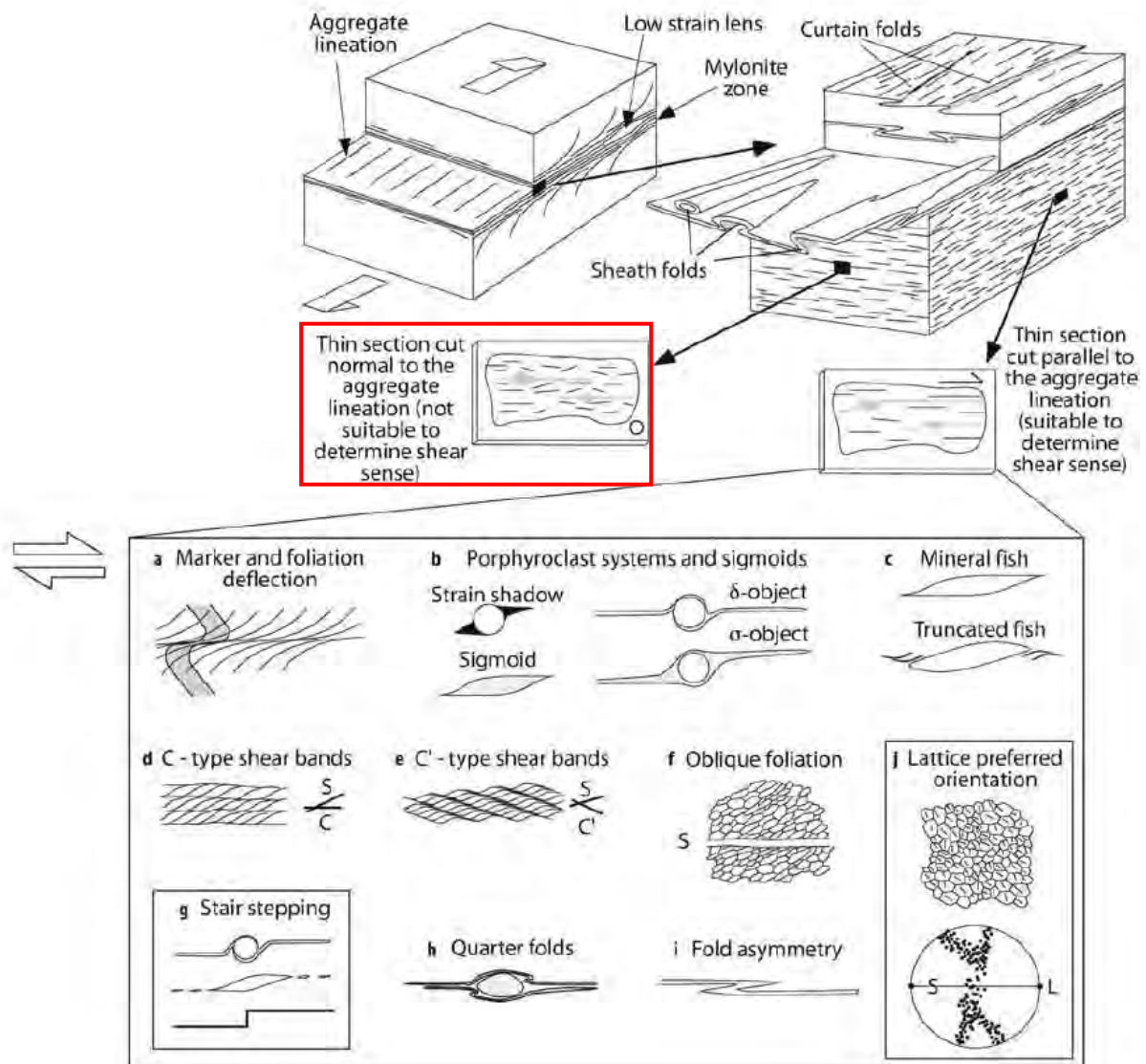
ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำหรือมีอัตราความเครียดสูง หินจะเปลี่ยนรูปร่างลักษณะแบบแตกหัก โดยจะต้องมีขนาดที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งมักมีการเปลี่ยนขนาดบ้างอยู่เล็กน้อย โดยประกอบด้วย แนวแตกขนาดเล็ก แนวแตกและรอยย่น



รูป 4.33 แสดงการเคลื่อนที่แบบรอยแตกแบบดึงออก (รูปบน) , (รูปล่าง) การเคลื่อนที่ที่เกิดในรูปแบบของการดึงออก (a) และการเลื่อนหรือการฉีก (b) (Passschieer and Trouw, 2005)

4.2.2.2 ตัวชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาค (shear sense indicator)

การศึกษาแผ่นหินบางเพื่อหาหลักฐานการแปรสัณฐานโดยที่นี้จะศึกษาผ่านโครงสร้างชนิดเส้น โดยโครงสร้างเชิงเส้นถูกจำกัดความด้วยโครงสร้างเชิงเส้นซึ่งเกิดขึ้นได้ทั่วไปทั้งก่อนในปริมาตรหินจึงไม่สามารถรวมรูปแบบเชิงเส้นที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวที่แน่นอนในหิน โดยทำการตัดแผ่นหินบางโดยตัดขนาดกึ่งขึ้นหิน



รูปที่ 4.34 ตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนจุลภาคชนิดต่างๆ โดยกรอบสีแดงแสดงถึงชนิดที่เจอในแผ่นหินบางของการศึกษานี้ (Passchier and Trouw, 2005)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล (Discussion&Result)

จากการศึกษาทั้ง 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยระดับมัธยมศึกษาที่ได้ศึกษาจากการออกภาคสนาม และระดับจุลภาคที่ได้จากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์จึงทำให้ได้ผลการศึกษาของทั้ง 2 ระดับออกมา ต่อจากนั้นจะทำการรวบรวมเอาผลที่ได้ทั้งหมดนี้มาทำการวิเคราะห์ร่วมกันแล้วอภิปรายผล การศึกษาทั้งหมดออกมาได้เป็น 3 เรื่อง ได้แก่ ศิลาวรรณา ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึง ความสัมพันธ์และกลไกการเกิด และวิวัฒนาการการเกิดของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

5.1 ธรณีวิทยา

จากการออกภาคสนามหรือการศึกษาระดับมัธยมศึกษาเพื่อออกไปสำรวจและเก็บข้อมูลหินโพลใน แต่ละจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่าทุกจุดศึกษาขอบเขตที่ 1 ถึงจุดศึกษาขอบเขตที่ 4 นั้นจะมีลักษณะหินที่คล้ายกันหรือใกล้เคียงกันมาก โดยหินที่มีสีสดเป็นสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีเทา และมีสีผุเป็นสีน้ำตาลเหลือง แต่บางขอบเขตจะได้รับอิทธิพลของ พ่นังควอตซ์แทรกผ่านชั้นหินทำให้หินมีสีสดเป็นสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงสีน้ำตาลดำ และมีสีผุเป็นสีขาว โดยเกิดจากเกิดเชื่อมประสานของแร่ควอตซ์ บางส่วน ผุฝังได้แร่ดินขาวทำให้เกิดการทำเหมืองแร่ดินขาวขึ้นในบริเวณนี้ในอดีต โดยจะแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของธรณีวิทยาโครงสร้างจากการศึกษาระดับมัธยมศึกษาทำให้ทราบว่าหินเคลย์ในบริเวณที่ศึกษาได้รับอิทธิพลของแรงทำให้เกิดการโครงสร้างของชั้นหินที่คดโค้งและรอยเลื่อน

การศึกษาเพิ่มเติมภายใต้กล้องจุลทรรศน์หรือการศึกษาระดับจุลภาคจะพบว่าแร่องค์ประกอบหลักประกอบด้วย แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่พลาจิโอเคลส และ พวกแร่ไมกา เพื่อหาหลักฐานจากการศึกษาระดับจุลภาคมาสนับสนุนในเรื่องของการกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ เมื่อทราบข้อมูลทั้งระดับมัธยมศึกษาและจุลภาคแล้วสามารถประมาณการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นที่ศึกษาของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี ได้อีกด้วย

5.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

จากการศึกษาในเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งในระดับมหัพภาคและจุลภาคทำให้พบว่าจากการออกภาคสนามพบลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบนั้นประกอบด้วย การวางตัวของชั้นหิน รอยเลื่อน โครงสร้างแนวเส้น แนวแตกทั้งหมด 3 แนว แล้วสายแร่ควอตซ์ ส่วนการศึกษาในแผ่นหินบางจะพบว่ามีโครงสร้างแนวเส้นแบบหยัก (crenulation lineation) เป็นหลักฐานของการได้รับการกระทำของแรงภายในหิน (รูป 5.4) ในหัวข้อนี้จะบอกถึงลักษณะธรณีวิทยาถึงความสัมพันธ์และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่ศึกษา

โครงสร้างแนวเส้นที่พบในภาคสนามคือโครงสร้างแนวเส้นชนิดหยักที่เกิดจากการคดโค้งขนาด ซึ่งโครงสร้างแนวเส้นสามารถนำไปใช้พิจารณาหาทิศทางแรงหลักหรือทิศทางความเค้นหลักมากที่สุด (maximum stress, σ_1) ได้โดยปกติแล้วโครงสร้างแนวเส้นนั้นมักจะขนาดไปกับแกนชั้นหินโค้ง (fold axis) ทำให้เราสามารถสันนิษฐานได้ว่าแกนชั้นหินคดโค้งของหินทั้งศึกษาอยู่ในทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เนื่องจากค่าเฉลี่ยของโครงสร้างแนวเส้นมีค่าเท่ากับ 238/11 WNW และแกนชั้นหินคดโค้งจะตั้งฉากกับทิศทางความเค้นค่ามากที่สุดทำให้ทราบว่าทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (รูป 4.29) เช่นเดียวกับแกนชั้นหินคดโค้งที่มีการวางตัวมีค่าเฉลี่ย 258/57 WNW วางตัวในทิศทางตัวตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้โดยได้รับความเค้นสูงสุดที่ทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้นอกจากนี้ยังทราบว่าค่ายังมีทิศทางที่สอดคล้องเดียวกับโครงสร้างแนวเส้นที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 238/11 WNW โดยวางตัวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้โดยทั้งหมดแสดงถึงการได้รับการเฉือนในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากจุดศึกษาขอบเขตที่ 1-4 ทำให้ทราบว่ากลุ่มชั้นหินที่บริเวณพื้นที่ศึกษาทุกขอบเขตที่ผ่านมานั้นมีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีการแปรสัณฐานรุนแรง ทำให้เกิดชั้นหินมีมุมเองเทไปทางตะวันออกเฉียงเหนือเกิดการโค้งงอของชั้นหินจำนวนมากและมักพบแนวแตกเรียบเกิดขึ้นด้วยเสมอ โดยชั้นหินคดโค้งที่ปรากฏในบริเวณนี้ส่วนมากจะเป็นรอยคดโค้งแบบอสมมาตร (asymmetrical fold) และชั้นหินตลบทับ (overtured fold) (รูป 5.5) แกนชั้นหินคดโค้งวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และเหนือ-ใต้ (N-S) บางบริเวณพบชั้นหินคดโค้งแบบตลบทับที่มีระนาบแกนเอียงไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) บางส่วนของชั้นหินคดโค้งจะถูกตัดแทรกด้วยผนังควอตซ์ในบางบริเวณต้นแทรกขึ้นมาเฉพาะดังตัวอย่างในขอบเขตที่ 2 และ 4 อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ชั้นหินเอียงตัวอย่างกระจัดกระจาย ไม่เป็นระเบียบ มีทั้งชนิดมุมสูงและมุมต่ำปะปนกันไป

จากการศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการออกภาคสนาม พบว่ามีแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ผ่านบริเวณด้านตะวันตกของเขาน้ำเกลือลงผ่าน เขาขวาง และเขาวงเดือนซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งวางตัวในแนว NNW ซึ่งจากการออกภาคสนามในรายวิชาธรณีวิทยาสนาม (Fieldwork) ช่วง 30 พฤษภาคม-19 มิถุนายน พ.ศ. 2562 พบหลักฐาน ผงรอยเลื่อน (Fault gouge) ในหน่วยหินเขาน้ำเกลือและบริเวณด้านทิศตะวันออกของเขาน้ำเกลือติดกับพื้นที่ราบทางด้านตะวันออก และพบผาสามเหลี่ยม (triangular facet) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในแนวตั้ง ทำให้แสดงลักษณะหน้าผารูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม แล้วถูกกระบวนการกัดเซาะของทางน้ำหลายสายในหุบเขาปรับเปลี่ยนเป็นหน้าผารอยเลื่อน ให้เปลี่ยนรูปจนกลายเป็นสามเหลี่ยมจากการสำรวจพบว่าเป็นรอยเลื่อนปกติ (normal fault) มีแนวการวางตัวไปทางตกเฉียง เหนือค่อนไปทางเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อน ไปทางใต้ (NNW-SSE) จากหลักฐานของแนว รอยเลื่อนที่พบสามารถ สันนิษฐานได้ว่า น่าจะ มีแรงบีบอัดมากระทำทางทิศเกือบตะวันตก-ตะวันออก (W-E)

จากลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาที่เห็นได้จากภาพถ่ายทางอากาศและจากข้อมูลในการออกภาคสนามทำให้กำหนดทิศทางของรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นโดยประมาณทิศทางได้ดังนี้

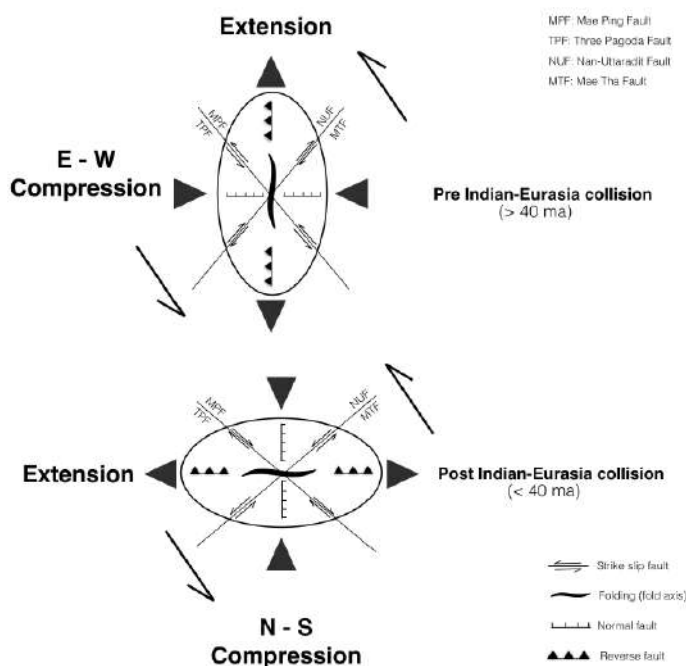
- รอยเลื่อนในแนว NNW – SSE รอยเลื่อนในแนวนี้ปรากฏให้เห็นชัดมากจากหลักฐานในการสำรวจภาคสนาม แสดงลักษณะแบบรอยเลื่อนปกติมีขนาดยาว 2 – 3 เมตร
- รอยเลื่อนในแนว NW – SE แสดงลักษณะเป็นรอยเลื่อนในแนวระดับ (strike-slip fault) หรือรอยเลื่อนในแนวเฉียง (oblique fault) เนื่องจากทำให้เกิดการระยาะการเลื่อน (Displacement) ของหินบ้างเล็กน้อย ไรก็ตามแนวเลื่อนแนวนี้มีความชัดเจนน้อยกว่าแนวแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว
- รอยเลื่อนในแนว E-W รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (Thrust fault) ทำให้เกิดการคดโค้งของชั้นหิน

ซึ่งตรงกับวิวัฒนาการการแปรสัณฐาน และแนวการวางตัวของโครงสร้างตามที่แสดง ในทรงรีความเครียดโดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือก่อน และหลังการเกิดเทือกเขาหิมาลัย (รูป 5.1)

กลุ่มแนวแตก (joint set) เกิดจากแรงที่มากกระทำจากการเกิดขึ้นหินคดโค้งหรือรอยเลื่อน กลุ่มแนวแตกมีทั้งแบบตั้งฉากหรือทำมุม และขนานไปกับชั้นหิน ที่ทำให้เกิดทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยสามารถจำแนกทิศกลุ่มของรอยแยกได้ดังนี้

- กลุ่มแนวแตกในแนว NW-SE เป็นกลุ่มแนวแยกที่พบได้มากที่สุดในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าเฉลี่ยทิศทางเท่ากับ 325/68 SSE โดยมีทิศทางขนานไปกับแกนชั้นหินคดโค้งจึงเรียกว่า รอยแยกตามแนวยาว (longitudinal joint) หรือแนวแตกตามแนวระดับ (strike joint)
- กลุ่มแนวแตกในแนว NE-SW เป็นกลุ่มแนวแยกที่พบบ้างในบางส่วนของพื้นที่ศึกษา อาจเกิดขึ้นในขณะเกิดการคดโค้งของชั้นหิน โดยมีค่าเฉลี่ยทิศทางเท่ากับ 046/75 SSE โดยแนวแตกนี้จะมีทิศทางทำมุมกับแกนชั้นหินคดโค้ง และมุมระหว่างแนวแตก (dihedral angle) ของแนวแตกนี้ไม่เท่ากับ 90 องศา จึงจัดเป็นแนวแตกแบบเฉือน (shear joint)
- กลุ่มแนวแตกในแนว E-W เป็นแนวแตกเดียวกับกลุ่มแนวแตกในแนว NE-SW โดยมีค่าเฉลี่ยทิศทางเท่ากับ 96/80 SSW

ซึ่งทั้งหมดเป็นแนวแตกที่เกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 3 แนวสามารถพบได้ทั่วไปในการเกิดขึ้นหินคดโค้ง โดยสามารถสร้างแบบจำลอง (รูป 5.6) เพื่ออธิบาย แนวการวางตัวของรอยเลื่อน แนวคดโค้ง และกลุ่มของรอยแยก



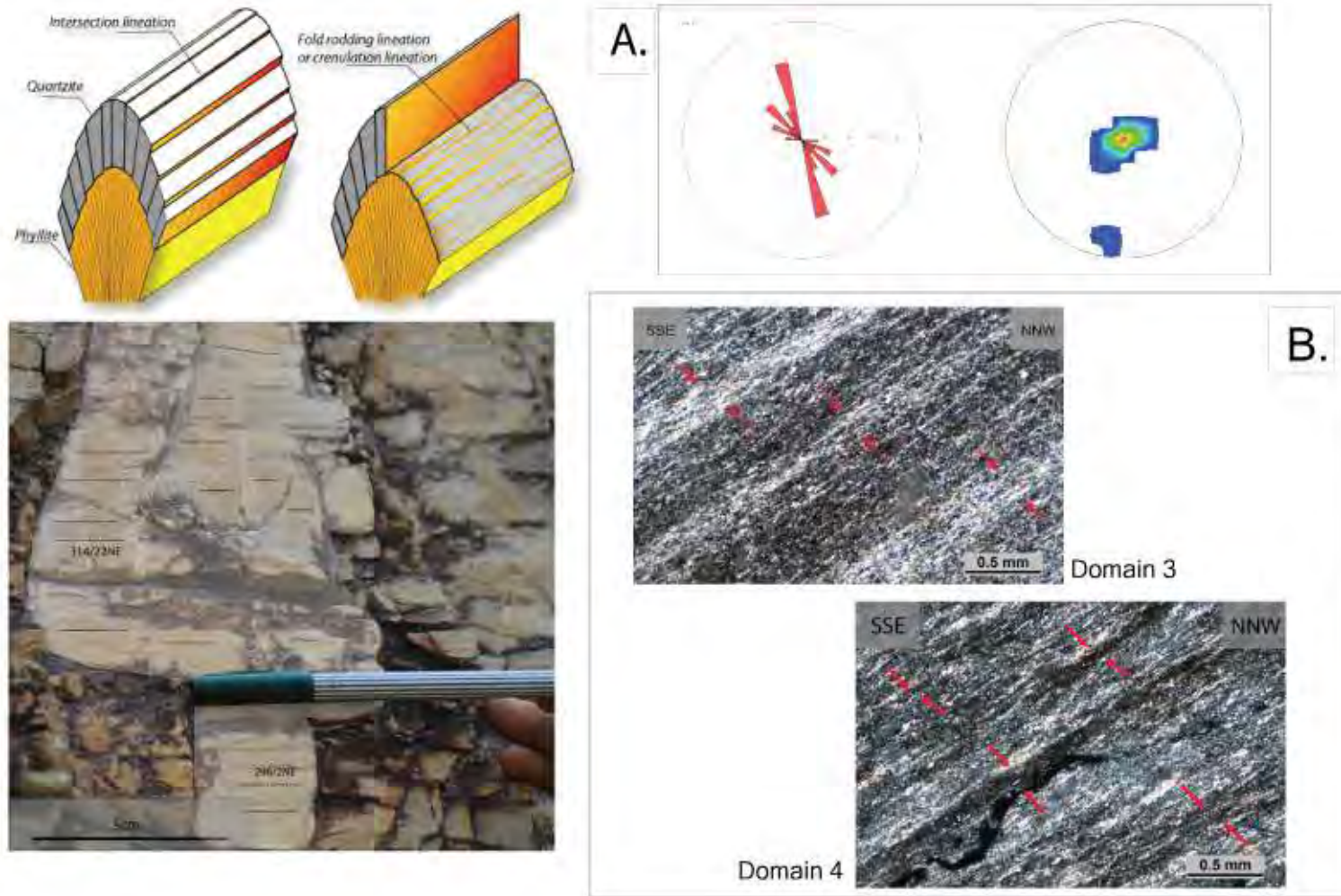
รูป 5.1 แนวการวางตัวของโครงสร้างในทหริความเครียด (Charusiri, 1997)



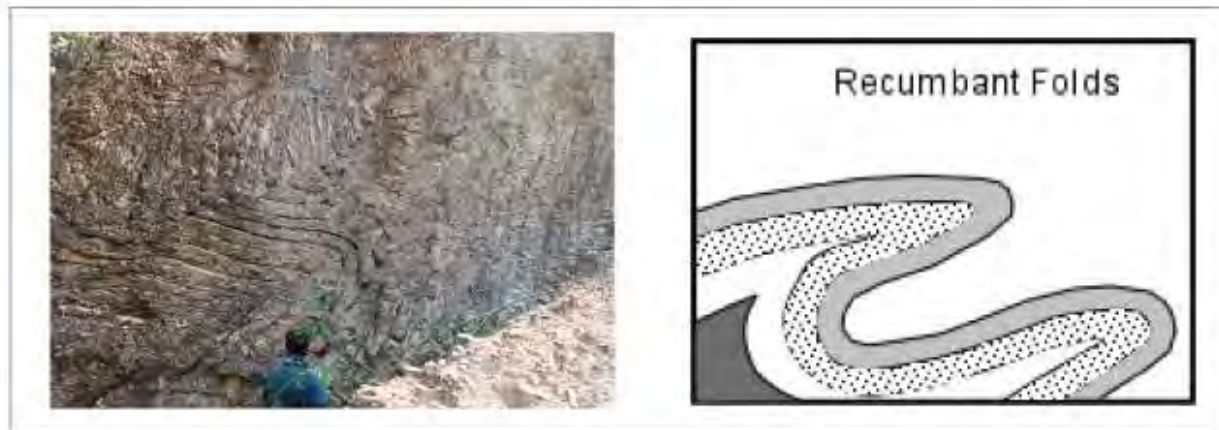
รูป 5.2 เส้นประแสดงถึงรอยเลื่อนแนวระดับในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา



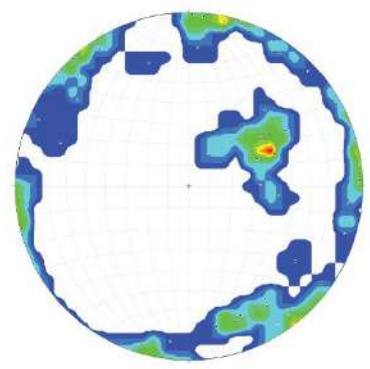
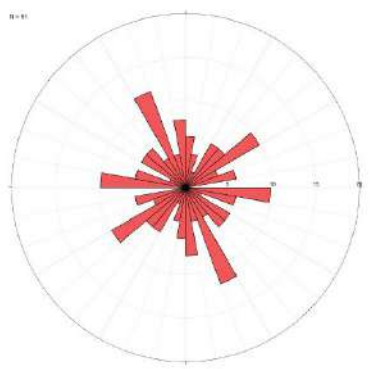
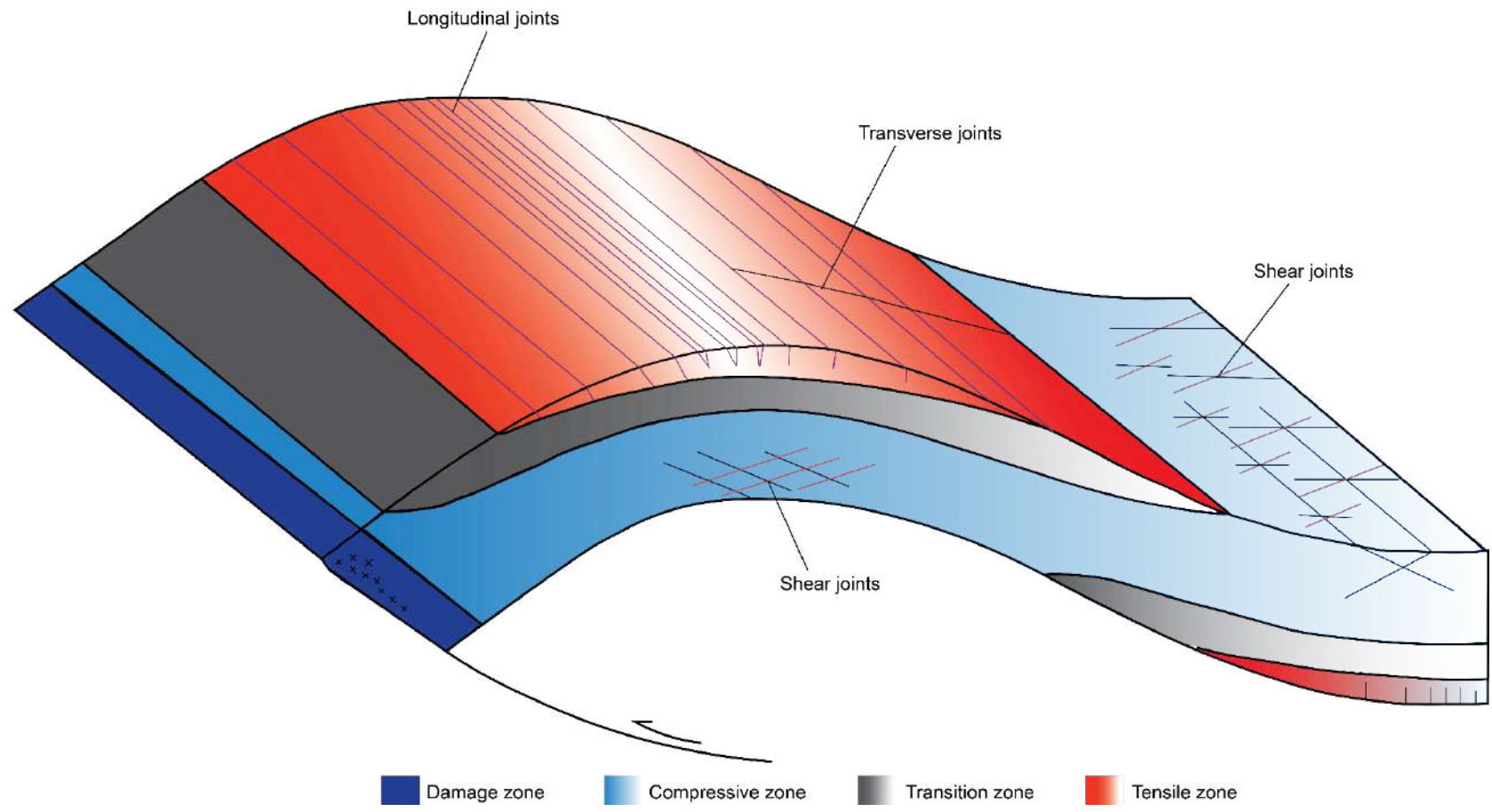
รูป 5.3 หน้าผาสามเหลี่ยม (triangular facet) บริเวณเขาน้ำเกลือ



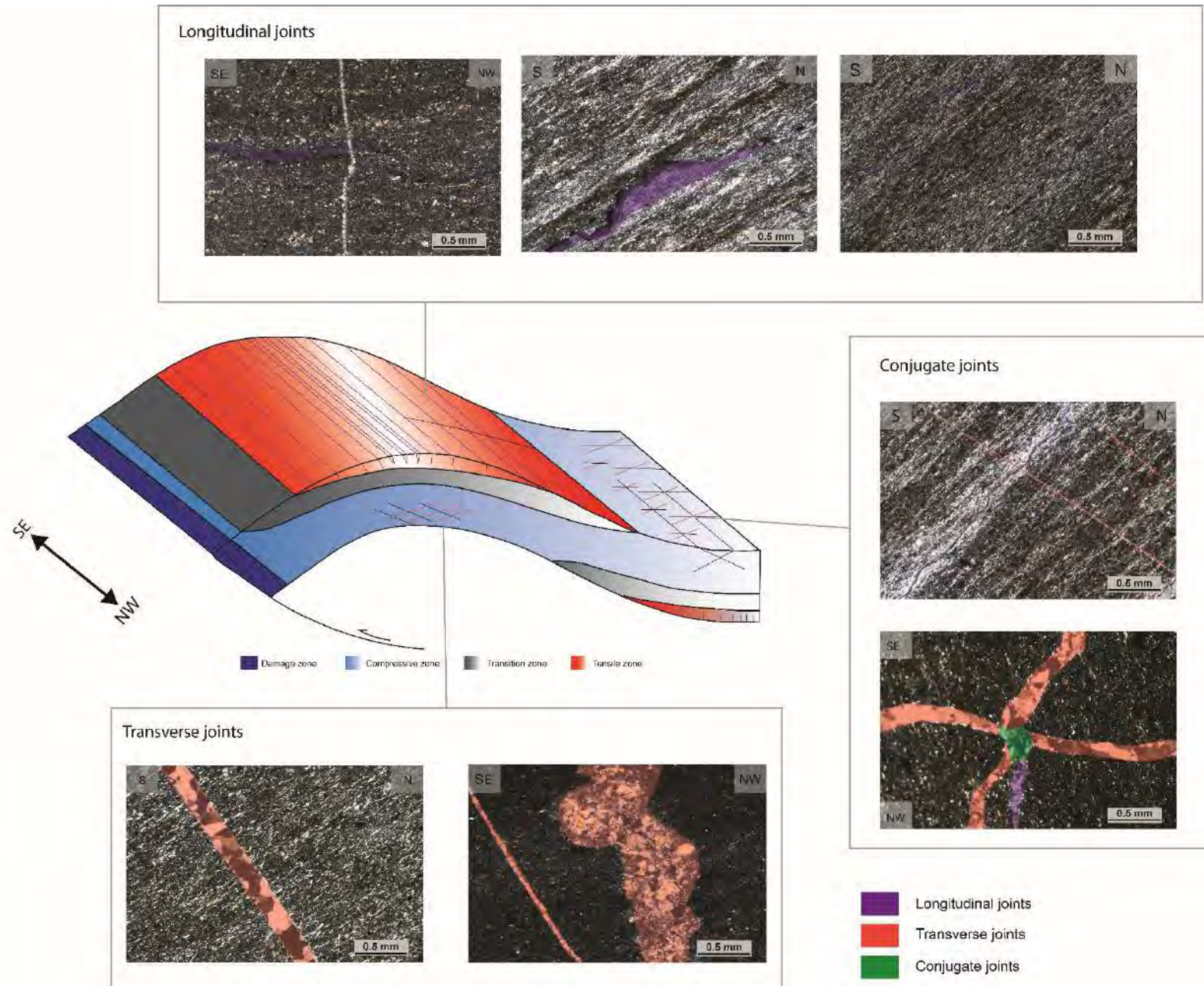
รูป 5.4 โครงสร้างแนวเส้นขนานไปกับแกนชั้นคดโค้งที่วางตัวไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียง เียงใต้ที่ใช้วิเคราะห์ทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดได้



รูป 5.5 แบ่งลักษณะประเภทของชั้นหินคดโค้งในพื้นที่ศึกษา



รูป 5.6 แนวแตกทั้ง 2 แนวที่เกิดขึ้นพร้อมกับชั้นหินคดโค้ง โดยแยกตามประเภทของวิธีการแตก รวมถึงการวางตัวเมื่อเทียบกับแนวการวางตัวของแกนชั้นคดโค้ง



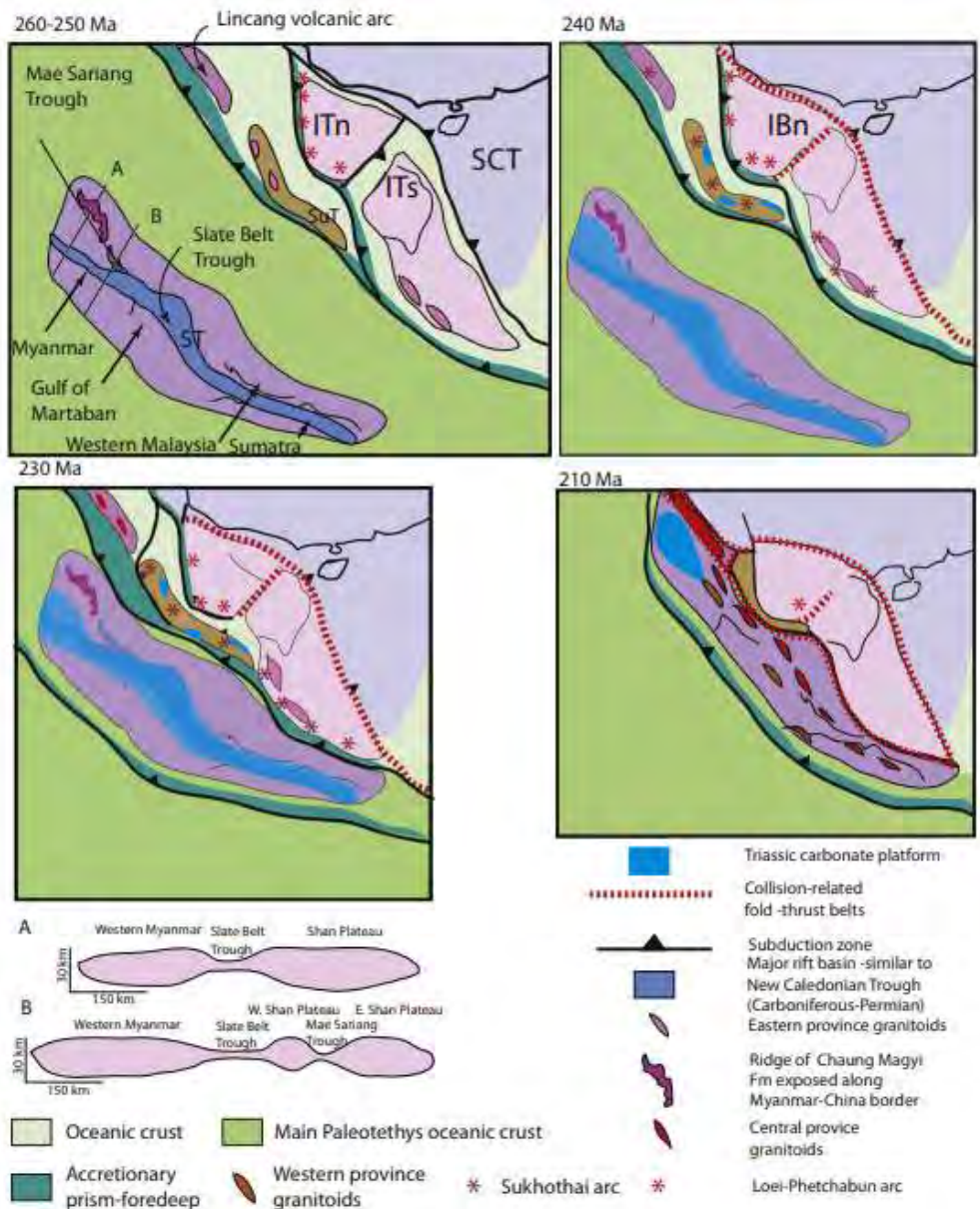
รูป 5.6.1. แนวแตกทั้ง 2 แนวที่เกิดขึ้นพร้อมกับชั้นหินคดโค้ง โดยแยกตามประเภทของวิธีการแตก รวมถึงการวางตัวเมื่อเทียบกับแนวการวางตัวของแกนชั้นคดโค้ง โดยเทียบกับแผ่นหินขัดบาง (thin section) โดยจะแสดงลักษณะรอยแยกตามประเภทต่างๆ

5.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง

จากหลักฐานต่างที่กล่าวจากข้างต้นจะนำไปสู่ในเรื่องของวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของ พื้นที่ศึกษา โดยจากหลักฐานที่มีทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่าทิศทางการเคลื่อนหลักอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงเกือบทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทยในช่วงกลางไปจนถึงปลายยุคไทรแอสซิก ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่แผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยชนกับแผ่นจุลทวีปอินโดจีนหรือที่เรียกว่าการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Metcalfe, 2013) ซึ่งการชนกันของทั้ง 2 แผ่นจุลทวีปก่อให้เกิดความเค้นหลักค่ามากที่สุดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้จากการโดนแรงอัดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ในช่วงการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Tejo, 2015) นอกจากนั้นค่าแนวการวางตัวของร้าวขนานของเขาสะแกกรังก็มีค่าใกล้เคียงกันกับพื้นที่ศึกษาโดยแกนชั้นหินคดโค้งจะวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียง-ตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมเท45องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเช่นเดียวกันกับพื้นที่ศึกษาอีกด้วย (Ridd, 2012)

โครงสร้างต่างๆที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาจะเกิดขึ้นพร้อมกันในช่วงการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียนในกลางถึงปลายยุคไทรแอสซิกโดยมีรายละเอียดดังนี้เมื่อมีแรงเค้นค่ามากสุดบีบอัดเข้ามาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งซึ่งเกิดแบบ เลื่อนไกลจากหลักฐานที่ได้กล่าวไป และได้รับอิทธิพลของแรงเฉือนในระดับท้องถิ่นเฉพาะ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาจึงทำให้ชั้นหินคดโค้งเกิดการเอียงและเกิดการเอียงเทรวมถึงทำให้แร่เกิดการเรียงเป็นโครงสร้างแนวเส้นชนิดรอยหยัก แนวแตกขึ้นทั้ง 2 แนว รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในจุดศึกษา ที่ 1-4 และเกิดการเอียงขึ้นในหินโคล์ทำให้เกิดเป็นแถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วม และ ขณะเดียวกันก็เกิดแรงดึงออกในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ทำให้แร่เกิดการยึดตัวเป็น แนวยาวเกิดเป็นโครงสร้างแนวเส้นชนิดรอยคูด

หลังจากการเกิดขึ้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในช่วงเวลาแรกและทิศทางของแรงอัดแนวเหนือ - ใต้ที่ทำให้เกิดรอยเลื่อนย้อนหยุดการพัฒนาในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย ต่อมาในช่วงยุคครีเทเชียสตอนปลาย ขณะนั้นคาดว่าเขตรอยเลื่อนแม่ปิงเริ่มพัฒนาขึ้นแล้ว ซึ่งเป็นผลจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลก ไชบูมาสุกับแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตก (Western Burma terrane) และต่อเนื่องมาช่วงสมัยอีโอซีน - สมัยโอลิโกซีน (Eocene-Oligocene) การชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดียกับยูเรเชีย (India-Eurasia collision) ทำให้ทิศทางแรงอัดในแนวตะวันออก - ตะวันตกและค่อยมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (Smith et al., 2007; Morley et al., 2007) ในช่วงเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานสอง ครั้งหลัง เขตรอยเลื่อนแม่ปิง แสดงการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าและเคลื่อนที่ผ่านและอัดกัน (transpression) ทำให้เกิดการยกตัวของโครงสร้างในลักษณะของโครงสร้างดอกไม้บวก (positive flower structure) ที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือ-ใต้ภายในแต่พบหลักฐานในพื้นที่ศึกษาน้อย โครงสร้างเกยทับซ้อน (Chainat duplex) ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith et al. (2007) Morley et al. (2007) และ Prasongtham & Kanjanapayont (2014) ที่ได้ศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างของสันเขาแนวเหนือ - ใต้ภายในโครงสร้างเกยทับซ้อนและคาดว่าแนวสันเขาบริเวณด้านตะวันออกพื้นที่ศึกษาเป็นผลจาก เกิดการธรณีวิทยาโครงสร้างในลักษณะเดียวกัน

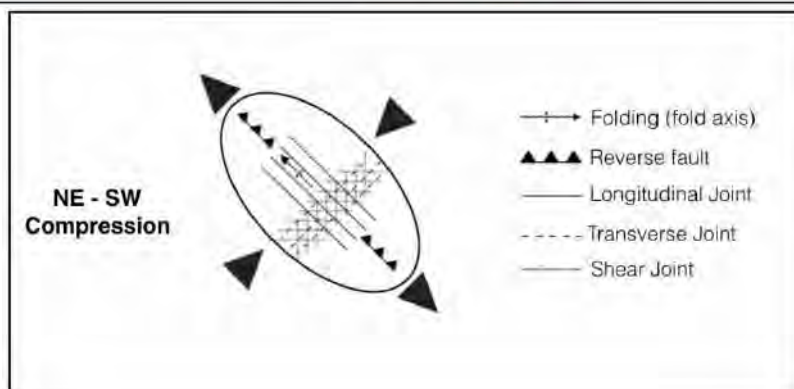
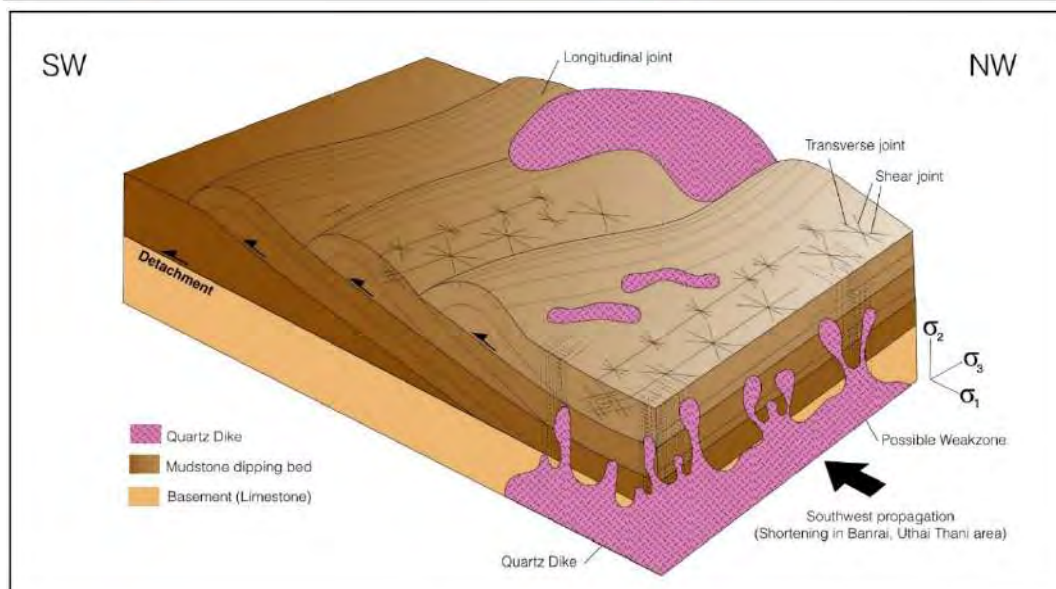
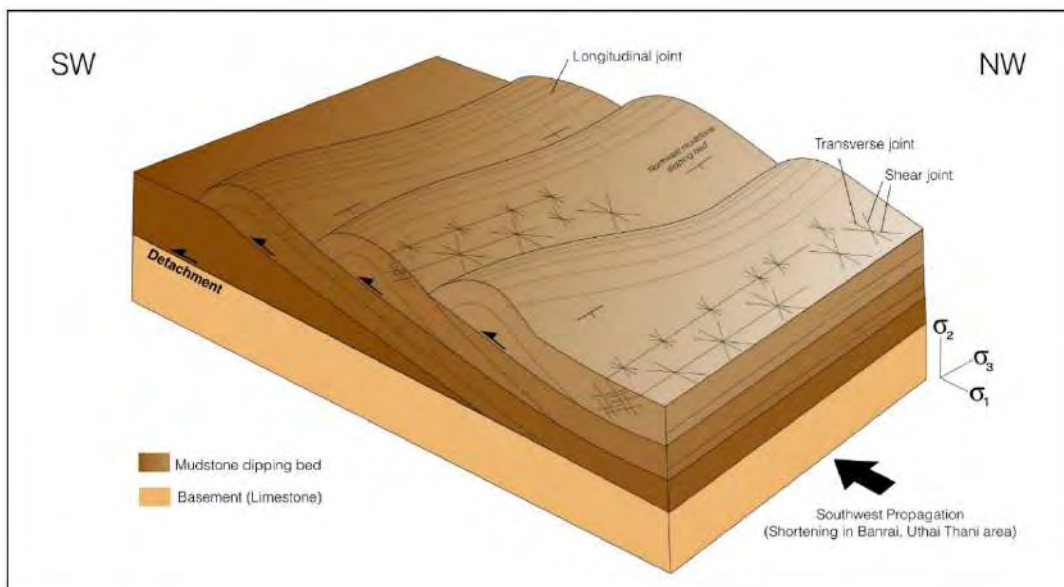


รูป 5.7 แผนที่การสภาพการแปรธรณีสังฐานในช่วง 260 – 210 ล้านปีก่อนซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนเหนือ แผ่นเปลือกโลกอินโดจีนใต้ เขตแนวภูเขาไฟสุโขทัย แผ่นเปลือกโลกไซบูมาสุ (Morley, 2018)

Ages		Clay mine and Chainat duplex	Tectonic events
Quaternary	Holocene	?	?
	Pliostocene	?	?
Neogene	Pliocene	?	?
	Miocene	?	?
Paleogene	Oligocene	?	?
	Eocene	?	?
	Paleocene	?	?
Cretaceous		?	?
Jurassic		?	?
Triassic		?	?
Permian		?	?

—————	Certian timing	- - - - -	Uncertian timing
-------	----------------	-----------	------------------

รูป 5.8 ตารางสรุปเหตุการณ์การเกิดเหมืองเคลย์บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดอุทัยธานี ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูป 5.9 แบบจำลองการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างเสมือนโคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี

5.4 สรุปผลการศึกษา (Result)

จากการศึกษาธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี ทั้งในระดับมหัพภาคจากการศึกษาในภาคสนามและในระดับจุลภาคจากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้วรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และตีความทำให้สรุปได้ว่า

- แนวของสันเขาของเหมืองเคลย์ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี มีแนวการวางตัวที่ทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ สอดคล้องกับกับผลทิศทางการวางตัวต่างๆของการเก็บค่าภาคสนามและสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนแม่ปิง
- ทิศทางแนวความเค้นหลักของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการออกภาคสนามพบเป็นความเค้นหลักของแรงอัดในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) ถึง ตะวันตก-ตะวันออก (W-E) ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการธรณีแปรสัณฐานในช่วงของการก่อเทือกเขาอินโดจีน เพอร์โม-ไทรแอสซิก
- หลังจากเหตุการณ์การชนกันของเทือกเขาอินโดจีนทำให้เกิดรอยแยกและแตกทำให้เกิดการแทรกดันของแร่ควอตซ์ ในทิศทางการวางตัวที่ 241/69 NNW ทำให้หินเคลย์บางส่วนในพื้นที่มีการแปรสภาพเล็กน้อยโดยการเชื่อมประสานของควอตซ์เป็นหินเคลย์เนื้อซิลิกา และบางส่วนเกิดการผุพังอันเนื่องมาจากแทรกดันของควอตซ์ทำให้ได้เป็นดินขาวทำให้ในอดีตถูกใช้อุตสาหกรรมเหมืองแร่ของจังหวัดอุทัยธานี โดยเรียกกันว่า “แร่ดินขาว”
- ค่าการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 258/57 WNW และ ค่าวางตัวของแนวรอยเลื่อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 175/37 WSW
- พบชุดแนวแตก 3 แนวแตกทิศทางที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 325/68 SSE แนวแตกแยกทิศทางที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 046/75 SSE แนวแตกทิศทางที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96/80 SSW ค่าวางตัวโครงสร้างแนวเส้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 238/11 WNW
- การเปลี่ยนแปลงลักษณะที่พบทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาเป็นแบบแตกเปราะ
- อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับเล็ก และการสำรวจภาคสนามของหินโผล่ สามารถเก็บของของธรณีวิทยาโครงสร้างแบบอื่นหรือการหาหลักฐานที่มาช่วยยืนยันถึงช่วงอายุของ การเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นที่ศึกษา เพื่อหาความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานหลักของประเทศ ไทยในแต่ละเหตุการณ์และสามารถอธิบายถึงลำดับวิวัฒนาการของธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาได้อย่างถูกต้องแน่นอนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง (reference)

- Anderson, E. M., 1905, The dynamics of faulting, *Trans. Edin. Geol. Soc.*, 8, 387-402
- Barber, A. J. & Crow, M. J., 2009. Structure of Sumatra and its implications for the tectonic assembly of Southeast Asia and the destruction of Paleotethys. *Island Arc*, 18, 3–20
- Barber, A. J., Crow, M. J. & Milsom, J. S. (eds), 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society, London, Memoir, 31.
- Charusiri, P., Kosuwan, S., and Imsamut, S., 1997. Tectonic evolution of Thailand: from Bunopas's model to a new scenario. In *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific (Geothai'97)*, 19-24 August 1997, Bangkok, 414-420.
- Chindamane, 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.
- 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.
- Kanjanapayont, P., Kiedupattum, P., Klötzli, U., Klötzli, E. and Charusiri, P., 2013. Deformation history and U–Pb zircon geochronology of the high grade metamorphic rocks within the Klaeng fault zone, eastern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences* 77 (2013) 224–233.
- LACASSIN, R., HINTHONG, C. ET AL., 1997. Cenozoic diachronic extrusion and deformation of western Indochina: structure and ⁴⁰Ar/³⁹Ar evidence from NW Thailand. *Journal of Geophysical Research*, 102, 10 013–10 037.
- Metcalfe, I. (2013). "Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys." *Journal of Asian Earth Sciences* 66: 1-33.
- Morley, C. K. (2018). "Understanding Sibumasu in the context of ribbon continents." *Gondwana Research* 64: 184-215.
- Morley, C. K., et al. (2007). "Evolution of deformation styles at a major restraining bend, constraints from cooling histories, Mae Ping fault zone, western Thailand." *Geological Society, London, Special Publications* 290(1): 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.

- Passcheir, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- 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.
- Ridd, M.F., 2012. The role of strike-slip faults in the displacement of the Palaeotethys suture zone in Southeast Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences* 51 (2012) 63– 84.
- Sattayarak, N., and Polachan, S. (1990). Rock salt underneath the khorat Plateau, in *Proceeding of the Department of Mineral Resources Annual Meeting, Bangkok, Thailand: 1990* (in thai).
- Smith, M., et al. (2007). "Structural geometry and timing of deformation in the Chainat duplex, Thailand." *Geological Society, London, Special Publications* 290(1): 305-323.
- Sone, M., and I. Metcalfe., 2008, Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian Orogeny: *ScienceDirect*, p. 166-179.
- 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.
- Tejo P. (2015) *Stratigraphy and Structural Geology of Khao Sakae Krang, Untai Thani Province, Thailand* Unpublished Senior Project, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- 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., et al. (2012). "Geotectonic implications of Permian and Triassic carbonate successions in the Central Plain of Thailand." *Journal of Asian Earth Sciences* 61: 33-50.
- กรมทรัพยากรธรณี, 2551. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดอุทัยธานี. กรุงเทพฯ: 92 หน้า

ภาคผนวก (appendix)

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำงานสำรวจภาคสนามเพื่อการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งหมด 4 ขอบเขตหารศึกษา โดยการเก็บข้อมูลลักษณะหิน ค่าการวางตัวของชั้นหิน ค่ารอยเลื่อน ค่าแนวแตก ค่าโครงสร้างแนวเส้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

- พิกัดจุดศึกษาอยู่ที่เอ็ม 47P 552267 1657601

PlaneType	Dip	Strike
Bedding	52	335
Bedding	58	337
Bedding	46	329
Bedding	45	319
Bedding	42	330
Bedding	46	337
Bedding	40	332
Bedding	55	344
Bedding	56	326
Bedding	60	337
Bedding	45.08754	344.9026489
Bedding	60.17466	170.0677185
Bedding	77.73502	155.7716675
Bedding	70.79369	150.6652527
Bedding	72.80569	167.1208191
Bedding	80.45052	328.3641357
Bedding	47.69995	312.1233826
Bedding	62.898	165.920105
Bedding	81.45156	169.274292
Bedding	70.26134	150.841095
Bedding	51.25842	338.9021606

PlaneType	Dip	Strike
Bedding	40.68237	329.1977234
Bedding	51.3986	319.9003601
Bedding	58.77835	326.4168701
Bedding	40.76464	340.3452759
Bedding	46.71641	323.0032654
Bedding	70.42976	302.032959
Bedding	72.75019	295.3801575
Bedding	29.07769	185.7136231
Bedding	72.69068	305.1340637
Bedding	63.51067	302.3702087
Bedding	58.75441	302.9951477
Bedding	65.29969	315.6892395
Bedding	44	315
Bedding	52	315
Bedding	38	150
Bedding	23	165
Bedding	28	168
Bedding	25	160
Bedding	39	289
Bedding	53	299
Bedding	53	298
Bedding	62	308
Bedding	64	289
Bedding	59	307
Bedding	65.41079	289.5916748
Bedding	82.71746	275.605896
Bedding	54	142
Bedding	67	149
Bedding	78	317

PlaneType	Dip	Strike
Bedding	79	1
Bedding	79	354
Bedding	76	339
Bedding	55	313
Bedding	55	311
Bedding	59	306
Bedding	55	302
Bedding	64	158
Bedding	85	95
Bedding	50	151
Bedding	64	146
Bedding	39	163
Fault	28	158
Fault	14	145
Fault	21	133
Fault	65	143
Fault	36	138
Fault	26	270
Fault	15	314
Fault	22	34
Fault	55	184
Fault	59	146
Fault	43	146
Fault	59	290
Joint	90	164
Joint	83	232
Joint	87	151
Joint	71	259
Joint	89	63

PlaneType	Dip	Strike
Joint	69	248
Joint	44	159
Joint	35	158
Joint	35	129
Joint	34	179
Joint	26	134
Joint	88	173
Joint	85	136
Joint	89	346
Joint	83	57
Joint	79	277
Joint	79	45
Joint	89	48
Joint	67	236
Joint	41	146
Joint	46	147
Joint	36	151
Joint	54	150
Joint	52	135
Joint	85	287
Joint	84	24
Joint	85	356
Joint	83	237
Joint	88	178
Joint	90	330
Joint	81	186
Joint	64	215
Joint	71	251
Joint	18	119

PlaneType	Dip	Strike
Joint	69	94
Joint	64	72
Joint	80	96
Joint	88	95
Joint	83	197
Joint	43	186
Joint	71	237
Joint	84	216
Joint	89	41
Joint	80	1
Joint	70	38
Joint	67	19
Joint	87	102
Joint	82	124
Joint	86	120
Joint	88	108
Joint	89	91
Lineation	2	150
Lineation	1	315
Lineation	3	139
Lineation	3	305
Lineation	11.64466	341.351532
Lineation	2.586525	348.4264832
Lineation	4.528368	344.0622559
Lineation	11.93436	160.0171051
Lineation	16.05072	162.8506775
Lineation	8.715548	153.7752686
Lineation	73.98727	277.881134
Lineation	1.849679	119.9851303

PlaneType	Dip	Strike
Lineation	22.86529	314.2350769
Lineation	1.964145	296.9677124
Lineation	2.46	145.6

