

ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี บริเวณชัยนาทอุทุมพรค ประเทศไทย

นาย ณัฏพล ขจรธรรม

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชา

ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

STRUCTURAL GEOLOGY OF THE UTHAI THANI RHYOLITE RIDGE WITHIN THE
CHAINAT DUPLEX, THAILAND

MR. NUTCHAPON KACHONDHAM

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF THE BACHELOR OF SCIENCE,
DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE,
CHULALONGKORN UNIVERSITY, 2011

วันที่ส่ง/...../.....
วันที่อนุมัติ/...../.....

ลงชื่อ.....
(อาจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

กิตติกรรมประกาศ

ประการแรก ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ รวมไปถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำงานในห้องปฏิบัติการ

ประการที่สอง ขอขอบคุณอย่างสูงแก่ อาจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยในครั้งนี้ อาจารย์ได้เสียสละเวลามาช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนาม และให้คำปรึกษาในการอธิบายเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างและการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของหินในพื้นที่ศึกษา

นอกจากนั้น ขอขอบคุณ ส.พรชนก จินตามณี, นส.ปิยนุช เกียรติอุปถัมภ์, นส.พิมพ์ร เจิมประไพ และนายบรร บุตรชัยงาม ที่เป็นผู้ช่วยในการสำรวจภาคสนาม โดยช่วยเหลือด้านการเก็บข้อมูลโครงสร้าง และวัดค่าข้อมูลโครงสร้างต่างๆ และขอขอบคุณนายภัทรพงษ์ ประสงค์ธรรม ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

หัวข้อ (ภาษาไทย)	ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี บริเวณ ชัยนาทอุพลค ประเทศไทย
ชื่อ-สกุล	นายณัฏพล ขจรธรรม
รหัสนิสิต	513 27107 23
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์

บทคัดย่อ

แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีในบริเวณชัยนาทอุพลคเป็นแนวภูเขา มีความยาว 25 กิโลเมตร วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ตั้งอยู่ในจังหวัดอุทัยธานี แนวสันเขานี้สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนท่ามกลางที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงบริเวณที่ราบภาคกลางตอนบนจากภาพดาวเทียม ลักษณะทางธรณีวิทยาของแนวสันเขาดังกล่าวประกอบไปด้วยกลุ่มหินไรโอไลต์มหายุคมีโซโซอิกและมีพื้นที่คาบเกี่ยวเป็นหินปูนเพอร์เมียนบางส่วน

จากการสำรวจภาคสนาม และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ได้ถูกนำมาศึกษาและวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อใช้ในการอธิบายธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี ซึ่งพบว่าหินในพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายใต้สภาวะการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) ซึ่งสังเกตได้จากโครงสร้างริ้วขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) และผิวรอยครูด (Slickenside) ในหินโผล่และภายในแผ่นหินบางด้วยธรณีวิทยาโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงลักษณะของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีมีความสัมพันธ์กับรูปลักษณะของชัยนาทอุพลคและพฤติกรรมของรอยเลื่อนแม่ปิงในช่วงยุคเทอร์เชียรี

คำสำคัญ: ธรณีวิทยาโครงสร้าง แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี ชัยนาทอุพลค

Title STRUCTURAL GEOLOGY OF THE UTHAI THANI RHYOLITE
RIDGE WITHIN THE CHAINAT DUPLEX, THAILAND

Present by Mr.Nutchapon Kachondham

ID 513 27107 23

Advisor Dr. Pitsanupong Kanjanapayont

Abstract

Uthai Thani Rhyolite ridge within the Chainat duplex is the 25 km mountain range lying in N-S direction, and located in Changwat Uthai Thani. The ridge, which is clearly seen in the satellite image along the flat areas of the Central plane, is composed of Mesozoic rhyolite and a part of Permian limestone. Field observation and microstructure analysis have been integrated for the structural style of Uthai Thani Rhyolite ridge. The rocks within the ridge have been deformed under sinistral brittle shear which shown by foliations, lineations and slickensides in the outcrops in the thin sections. All structural elements and deformation style of Uthai Thani Rhyolite ridge relate to the Chainat duplex geometry and Mae Ping fault zone activity during Tertiary.

Keywords: Structural geology, Uthai Thani Rhyolite ridge, Chainat duplex

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญภาพ	ง
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 พื้นที่ศึกษา (Location)	2
1.2 วัตถุประสงค์ (Objectives)	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)	3
1.5 ธรณีวิทยาบริเวณไพศาล (Regional Geology)	3
1.6 การตั้งค่าแปรสัณฐาน (Tectonic setting)	5
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย (Methodology)	7
2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น	9
2.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว	9
2.1.2 ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลทางธรณีโครงสร้างจากการสำรวจภาคสนาม และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)	10
2.2 การแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing)	11
2.3 สำรวจภาคสนาม	12
2.3.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากหินโผล่ และเก็บข้อมูลพื้นที่	12
2.3.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen)	12
2.4 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ	13
2.4.1 กำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams	13
2.4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) จากแผ่นหิน ขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)	13
2.5 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตีความผลการศึกษา	14
2.6 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน	14
บทที่ 3 แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี	15
3.1 การแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing)	15
3.1.1 ข้อมูลระดับความสูง (DEM)	15
3.1.2 ภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite images)	18
3.2 ธรณีวิทยา (Geology)	21
3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural Geology)	22
3.3.1 ระดับกลาง (Mesoscopic scale)	23
3.3.1.1 การเปลี่ยนลักษณะแบบแตกเปราะ (Brittle deformation)	27
3.3.2 ระดับจุลภาค (Microscopic scale)	29
บทที่ 4 อธิปราย (Discussion)	34
4.1 รูปแบบโครงสร้าง (Structural style)	34
4.2 วิวัฒนาการโครงสร้าง (Structural evolution)	35
4.3 วิวัฒนาการการแปรสัณฐาน (Tectonics evolution)	39
บทที่ 5 สรุป (Conclusion)	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	45
ภาคผนวก ก: จุดศึกษา	45
ภาคผนวก ข: ข้อมูลที่วัดเก็บค่าจากการสำรวจภาคสนาม	46

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 1.1 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณรอยเลื่อนแม่ปิงในประเทศไทย (Smith et al., 2007)	1
รูป 1.2 ภาพแสดงการแปลความรูปแบบของรอยเลื่อนแนวระดับบริเวณห้วยนาทศุเพลค ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลทางหินโผล่และทางสนามแม่เหล็ก (Morley, 2007)	2
รูป 1.3 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4 บริเวณพื้นที่ศึกษา แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี ซึ่งมีการวางตัวทอดยาวในแนวเหนือ-ใต้	2
รูป 1.4 ภาพแสดงธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา (กรอบสีแดง) อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยา ลำดับชุด 1501S ระวัง ND 47-3 มาตราส่วน 1: 250,000 จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ. 2519 กรมทรัพยากรธรณี	5
รูป 2.1 แผนผังแสดงลำดับการดำเนินงานวิจัย	8
รูป 2.2 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือน (Shear sense indicators) ของ โครงสร้างจุลภาคในแผ่นหินบาง (Passchier and Trouw, 2005)	10
รูป 2.3 แสดงการเก็บตัวอย่างระบุตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้าง ภายใต้อุณหภูมิสูงและแรงดันสูง (Passchier and Trouw, 2005)	13
รูป 3.1 ภาพมุมมอง 3 มิติของภาพแสงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) ของแนวสันเขา หินไรโอไลต์อุทัยธานีแสดงโครงสร้างแนวเส้นแนวเหนือ-ใต้ (N-S) และ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) ที่อาจปรากฏภายใน แนวสันเขา (a และ b) และภาพมุมมองด้านข้าง (b) ที่สร้างโดย โปรแกรม Global mapper	16
รูป 3.2 ภาพแสงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนแสดง แนวสันเขาที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (a) และการแปลความโครงสร้างแนวเส้นในพื้นที่บริเวณนี้เป็นลักษณะของ Contractional strike-slip duplex โดยกรอบสีแดงแสดงพื้นที่ศึกษา (b) (Phasongthum, 2011)	17

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูป 3.3 ภาพดาวเทียม LANDSAT 7 จากการผสมแบนด์ 7-5-4 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้น แนวหลักอยู่ในแนวเหนือ-ใต้	19
รูป 3.4 แผนที่แนวเส้นและRose diagram จากการแปลภาพดาวเทียม LANDSAT 7 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้น แนวหลักอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และมีแนวรองเบี่ยงไปทางตะวันออกเฉียงน้อย (NNE-SSW)	20
รูป 3.5 หินโผล่ไรโอไลต์แสดงแนวแตก (a) และสายแร่ควอตซ์ที่ตัดเข้าไปในหินไรโอไลต์ (b) ในจุดศึกษาที่ 1	21
รูป 3.6 หินโผล่หินปูนแสดงแนวแตก (a) และฟอสซิลแบรคิโอพอด (b) ในจุดศึกษาที่ 3	22
รูป 3.7 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าริ้วขนาน (Foliation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Equal-area stereographic projection	23
รูป 3.8 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าริ้วขนาน (Foliation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Rose diagrams	24
รูป 3.9 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าแนวแตก (Joint) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Equal-area stereographic projection	24
รูป 3.10 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าแนวแตก (Joint) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Rose diagrams	25
รูป 3.11 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Equal-area stereographic projection	25
รูป 3.12 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Rose diagrams	26
รูป 3.13 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าเส้นรอยเลื่อน (Striation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Equal-area stereographic projection	26
รูป 3.14 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าเส้นรอยเลื่อน (Striation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Rose diagrams	27
รูป 3.15 หินโผล่ไรโอไลต์แสดงแนวแตก (Joint) ในแนวตะวันออกเฉียง-ตะวันตกในจุดศึกษาที่ 2	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูป 3.16 หินโผล่แสดงระนาบรอยเลื่อนแนวระดับในแนวเหนือ-ใต้ (a) และเซทเทอร์ มาร์ค (Chatter mark) แสดงการเคลื่อนที่ในแนวระดับแบบซ้ายเข้า (b) ในจุดศึกษาที่ 2	28
รูป 3.17 หินโผล่แสดงระนาบรอยเลื่อนแนวระดับในแนวตะวันออก-ตะวันตก (a) และเซทเทอร์ มาร์ค (Chatter mark) แสดงรอยเลื่อนปกติ (Normal fault) (b) ในจุดศึกษาที่ 6	29
รูป 3.18 ภาพแสดงรูปแบบต่างๆ การละลายจากแรงดัน (Pressure solution)	30
รูป 3.19 ภาพแสดงรูปแบบสลิคโคไลต์ (Slickolite) ที่แสดงแสดงลักษณะการเฉือน โดยเป็นแบบขวาเข้า	31
รูป 3.20 ลักษณะของสลิคโคไลต์ (Slickolite) แผ่นหินบาง แสดงลักษณะการเฉือน โดยเป็นแบบขวาเข้า (a, b, c, d, e, f) (PPI = plane polarize light, Cpl = cross polarize light)	32
รูป 3.21 ลักษณะรอยแตก (Fracture) ในแผ่นหินบาง ที่ขนานไปกับระนาบรีวิชัน และแสดงลักษณะการเฉือนโดยเป็นแบบซ้ายเข้า (a, b, c, d, e, f) (PPI = plane polarize light, Cpl = cross polarize light)	33

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 คุณสมบัติของแบนด์ในภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 (Sabins, 1996)	11
ตาราง 2.2 แสดงการประเมินสีที่เลือกผสม (Sabins, 1996)	12
ตาราง 4.1 แสดงสรุปเหตุการณ์แปรสัณฐาน (Tectonic event) และการเปลี่ยนแปลงลักษณะของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีบริเวณชัยนาทอุพเพลค	41

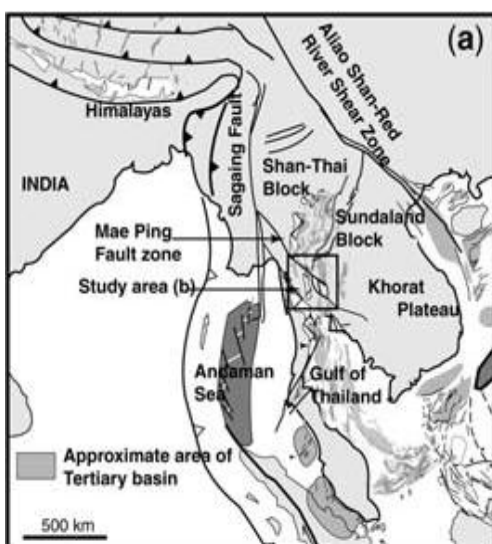
บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

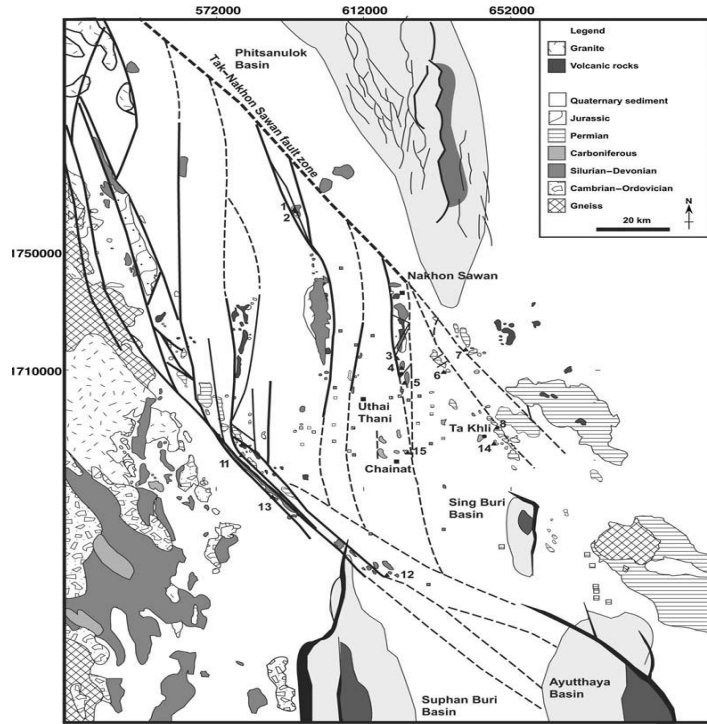
วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในอดีตบ่งชี้ว่า โครงสร้างหลักในประเทศไทยเป็นผลมาจากการชนกันของแผ่นจุลทวีปชานไทยและแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ในช่วงยุคเพอร์มีไตรแอสซีส และอิทธิพลของการชนกันระหว่างแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชียในช่วงยุคเทอร์เชียรี (Bunopas, 1981 และ Charusiri et al., 2002) การชนกันระหว่างแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชียนี้ส่งผลต่อบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยตรง โดยเฉพาะในประเทศไทยบริเวณภาคตะวันตกและภาคใต้ของประเทศ

ประเทศไทยทางด้านตะวันตก มีรอยเลื่อนแนวระดับที่สำคัญได้แก่รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และรอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งวางตัวขนานกันและมีการวางตัวของโครงสร้างในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และเป็นรอยเลื่อนแนวระดับที่เคลื่อนที่แบบซ้ายเข้าเป็นหลักช่วงสมัยโอลิโกซีนและมีบางช่วงเวลาที่ย้อนกลับเป็นแบบขวาเข้า โดยเกิดในช่วงสมัยปลายโอลิโกซีนถึงไมโอซีน (Morley et al., 2007) รอยเลื่อนแม่ปิงส่งผลให้เกิดโครงสร้างแบบชัชนาทุพลคขึ้น ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 100 ตารางกิโลเมตร (รูป 1.1 และ 1.2) และส่งผลให้เกิดการยกตัวเป็นแนวสันเขาวางตัวในแนวเหนือใต้หลายแนว (Morley, 2007) โดยหนึ่งในแนวสันเขาในแนวทิศเหนือ-ใต้ที่เกิดขึ้นเป็นแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี ซึ่งแนวนี้จะเป็นแนวที่ศึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้

การศึกษาแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีในครั้งนี้ เน้นศึกษาในเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างในตัวแนวสันเขารวมถึงพื้นที่คาบเกี่ยวที่เป็นหินปูนบางส่วน เพื่อหาความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาโครงสร้างใหญ่ในชัชนาทุพลค และวิเคราะห์หาวิวัฒนาการการเกิดแนวสันเขาหินไรโอไลต์ที่เกิดขึ้นโดยโครงสร้างชัชนาทุพลค โดยจะทำการศึกษาในสามระดับหลัก ได้แก่ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับกลาง



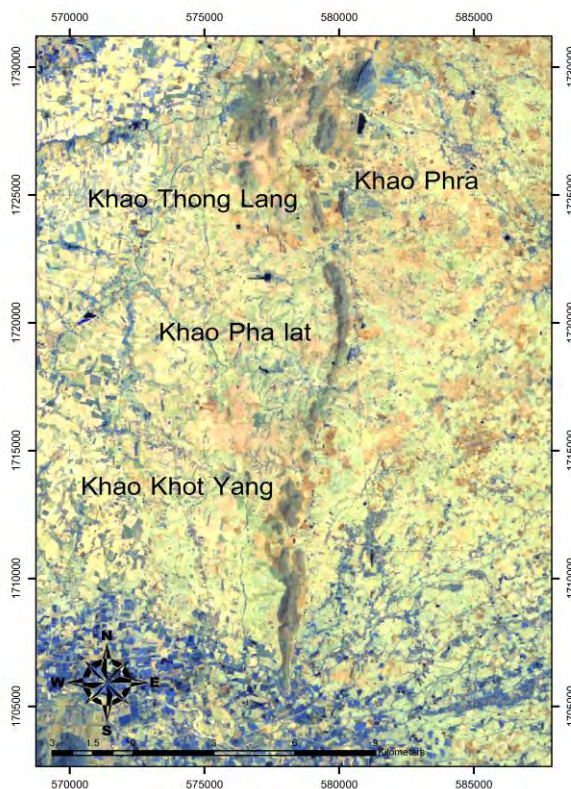
รูป 1.1 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณรอยเลื่อนแม่ปิงในประเทศไทย (Smith et al., 2007)



รูป 1.2 ภาพแสดงการแปลความรูปแบบของรอยเลื่อนแนวระดับบริเวณชัชนาทดูละลอก ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลทางหินโผล่และทางสนามแม่เหล็ก (Morley, 2007)

1.1 พื้นที่ศึกษา (Location)

แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีตั้งอยู่บนที่ราบภาคกลางประเทศไทยและอยู่ตรงส่วนกลางของชัชนาทดูละลอก ในเขตรอยเลื่อนแม่ปิง แนวสันเขาดังกล่าวมีความยาวประมาณ 25 กิโลเมตร วางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ และตั้งอยู่ในจังหวัดอุทัยธานี หินท้องที่ในแนวสันเขาเป็นหินไรโอไลต์มหายุคมีโซโซอิกและมีพื้นที่คาบเกี่ยวเป็นหินปูนเพอร์เมียนบางส่วน



รูป 1.3 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ที่ได้จากการผสมแบนด์ 7-5-4 บริเวณพื้นที่ศึกษา แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี ซึ่งมีการวางตัวทอดยาวในแนวเหนือ-ใต้

1.2 วัตถุประสงค์ (Objectives)

1. ศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี
2. ศึกษาวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี

1.3 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

การศึกษาธรณีโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์และหินปูนอุทัยธานี แบ่งออกเป็น 3 ระดับหลักคือ 1.ระดับมหภาค (Macroscopic scale) เป็นการศึกษาจากการแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing) โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ร่วมกับข้อมูลระดับความสูง (DEM) ข้อมูลทั้งสองจะนำไปใช้เป็นข้อมูลฐานของ ArcGIS โปรแกรม Global Mapper และใช้ในการแปลความข้อมูลแนวเส้น (Lineament interpretation)

2.ระดับกลาง (Mesoscopic scale) เป็นการสำรวจภาคสนามซึ่งจะได้ข้อมูลเช่นข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding) ริวขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) รอยแยก (Joint) ผิวยกครูด (Slickenside) และตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (oriented specimen) เป็นต้น

3.ระดับจุลภาค (Microscopic scale) ศึกษาแผ่นหินขัดบาง (Thin section) จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

ข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจะนำมาใช้ตีความวิวัฒนาการโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

1. ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี
2. วิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี

1.5 ธรณีวิทยาบริเวณไพศาล (Regional Geology)

แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี อยู่ในตอนล่างของเขตรอยเลื่อนแม่ปิง มีพื้นที่บริเวณข้างเคียงประกอบไปด้วยหินหลากหลายช่วงอายุตั้งแต่ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ถึงควอเทอร์นารี โดยลักษณะทางธรณีวิทยานี้อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยา ลำดับชุด 1501S ระวัง ND 47-3 มาตราส่วน 1: 250,000 จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ. 2519 กรมทรัพยากรธรณี (รูป 1.4)

หน่วยหินเพอร์เมียน

หน่วยหินนี้เป็นส่วนของพื้นที่คาบเกี่ยวของพื้นที่ศึกษา ซึ่งแผนที่ธรณีวิทยา (DMR, 2008) จัดให้หน่วยหินนี้อยู่ในชุดหินเขาขาดของกลุ่มหินสระบุรี ประกอบไปด้วยหินปูนเนื้อแน่น หินโดโลไมต์ หินปูนโดโลไมต์ สีเทา ชั้นบางถึงหนา มีฟอสซิลเป็นแบรคิโอพอด ปะการัง ฟองน้ำและฟิวซิลินิด

หน่วยหินควอเทอร์นารี

ตะกอนควอเทอร์นารีสะสมอยู่ที่บริเวณที่ราบแสดงให้เห็นจากเนินตะกอนน้ำพารูปพัดเก่า, เศษหินเชิงเขา และที่ราบเก่าที่สะสมบนลานตะพัก (Q1) และตะกอนน้ำพาในที่ราบลุ่มปัจจุบัน (Q) โดย (Q1) ประกอบไปด้วยตะกอนกรวด ทราย ทรายแป้ง และศิลาแลง (Q) ประกอบไปด้วยตะกอนทราย ทรายแป้ง และตะกอนที่ลุ่มน้ำขัง

หน่วยหินไซลูเรียน-ดีโวเนียน

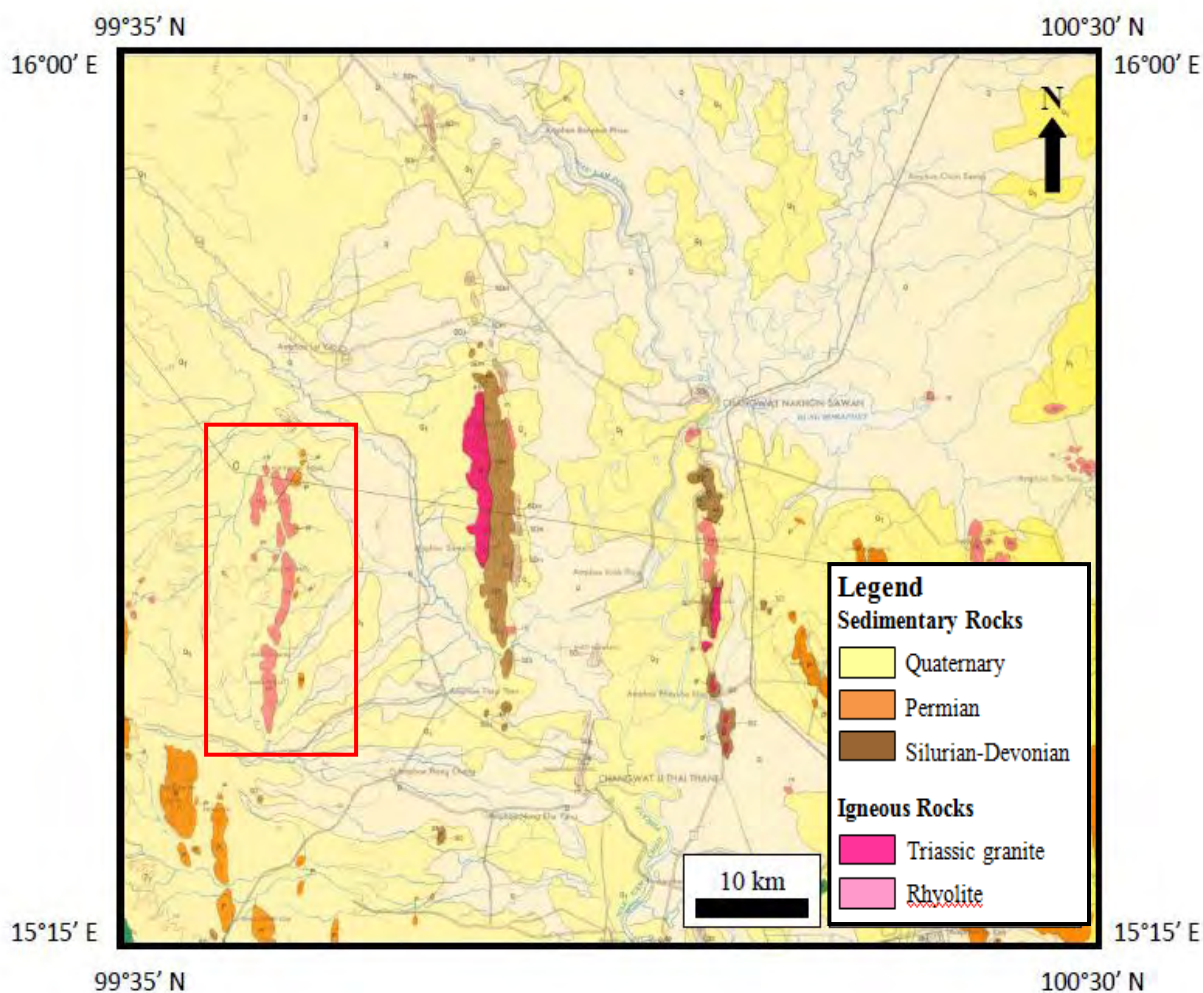
หน่วยหินนี้อยู่ในแนวสันเขาข้างเคียงที่อยู่ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งแผนที่ธรณีวิทยา (DMR, 2008) จัดให้หน่วยหินนี้อยู่ในชุดหินบ้านไร่ ประกอบไปด้วยหินควอตไซต์ ฟิลไลต์ เกรย์แวก และหินกรวดมน

หน่วยหินไรโอไลต์

หน่วยหินนี้อยู่ในแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีเกือบทั้งหมด มีอายุเพอร์โมไทรแอสสิก (DMR, 2008) ประกอบไปด้วยหินไรโอไลต์ แอนดีไซต์ เดไซต์และทัฟ

หินแกรนิต

หินแกรนิตนี้อยู่ในแนวสันเขาข้างเคียงที่อยู่ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา และอยู่ในแนวหินแกรนิตตอนกลางของประเทศไทย (Charusiri et al., 1993) โดยวิทยาหินประกอบไปด้วยมิกมาไทต์ แกรนิต, แกรนิต ผลึกดอกใบไอไทต์ และแกรนิต ริวขนานใบไอไทต์



รูป 1.4 ภาพแสดงธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา (กรอบสีแดง) อ้างอิงจากแผนที่ธรณีวิทยา ลำดับชุด 1501S ราววง ND 47-3 มาตรฐาน 1: 250,000 จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ. 2519 กรมทรัพยากรธรณี

1.6 การตั้งค่าแปรสัณฐาน (Tectonic setting)

ธรณีวิทยาโครงสร้างในประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับการก่อเทือกเขาหิมาลัย (Himalayan Orogeny) ซึ่งเป็นกระบวนการก่อเทือกเขาในมหายุคซีโนโซอิก (Morley, 2002) การก่อเทือกเขาหิมาลัยพัฒนามาจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชีย และส่งผลมายังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Lacassin et al., 1997; Tapponnier et al., 1986) แผ่นทวีปอินเดียเคลื่อนที่ไปด้านบนและเกิดการหมุนตามเข็มนาฬิกามากกว่า 100° ในช่วงสมัยกลางอีโอซีน และสมัยกลางไมโอซีน ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยเลื่อนในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) เช่น เชนรอยเลื่อนแม่ปิง และเชนรอยเลื่อนด่านเจดีย์สามองค์ ในภาคกลางและภาคตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งรอยเลื่อนเหล่านี้ตัดผ่านไปทางด้านตะวันตกของแผ่นจุลทวีปอินโดจีน

และวางตัวขนานกับรอยเลื่อนแม่น้ำแดง (Red river fault) ในประเทศจีน หลักฐานสำคัญที่แสดง การเฉือนแบบอ่อนนืดเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้า (Ductile left-lateral shear) พบในหินไนส์ลานสาง ซึ่ง จากการหาอายุโดย $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ในบริเวณนี้แสดงช่วงอายุประมาณ 30.5 Ma จึงสันนิษฐานว่าการ เฉือนแบบอ่อนนืดเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้านี้เกิดในช่วงสมัยต้นถึงปลายโอลิโกซีน (Lacassin et al., 1993, 1997)

เขตรอยเลื่อนแม่ปิงมีการเคลื่อนที่แนวระดับแบบทวนเข็มนาฬิกา (Lacassin et al., 1993, 1997) และเกิดเป็นชั้นนาทูเพลคบริเวณที่ราบภาคกลางในประเทศไทย (Smith et al., 2007) มีการวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ทำให้เกิดแนวการอัด (Restraining bend) ซึ่งส่งผลให้เกิดการยกตัวของภูมิภาคเป็น แนวสันเขา (Cunningham et al., 2007) ธรณีวิทยาของแนวสันเขายกชันประกอบไปด้วยชุดแนว สันเขาที่วางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ และมีหินหลากหลายชนิด ตั้งแต่หินตะกอน, หินตะกอนกึ่งแปรสภาพ และหินอัคนี ของมหายุคพาลีโอโซอิกถึงมีโซโซอิก และมีตะกอนควอเทอร์นารีสะสมอยู่บน รอบบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำภาคกลาง (Smith et al., 2007)

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย (Methodology)

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น

2.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว

2.1.2 ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลทางธรณีโครงสร้างจากการสำรวจภาคสนาม และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)

2.2 การแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing)

2.3 สำรวจภาคสนาม

2.3.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากหินโผล่ และเก็บข้อมูลพื้นที่

2.3.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen)

2.4 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

2.4.1 กำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams

2.4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) จากแผ่นหินขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)

2.5 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตีความผลการศึกษา

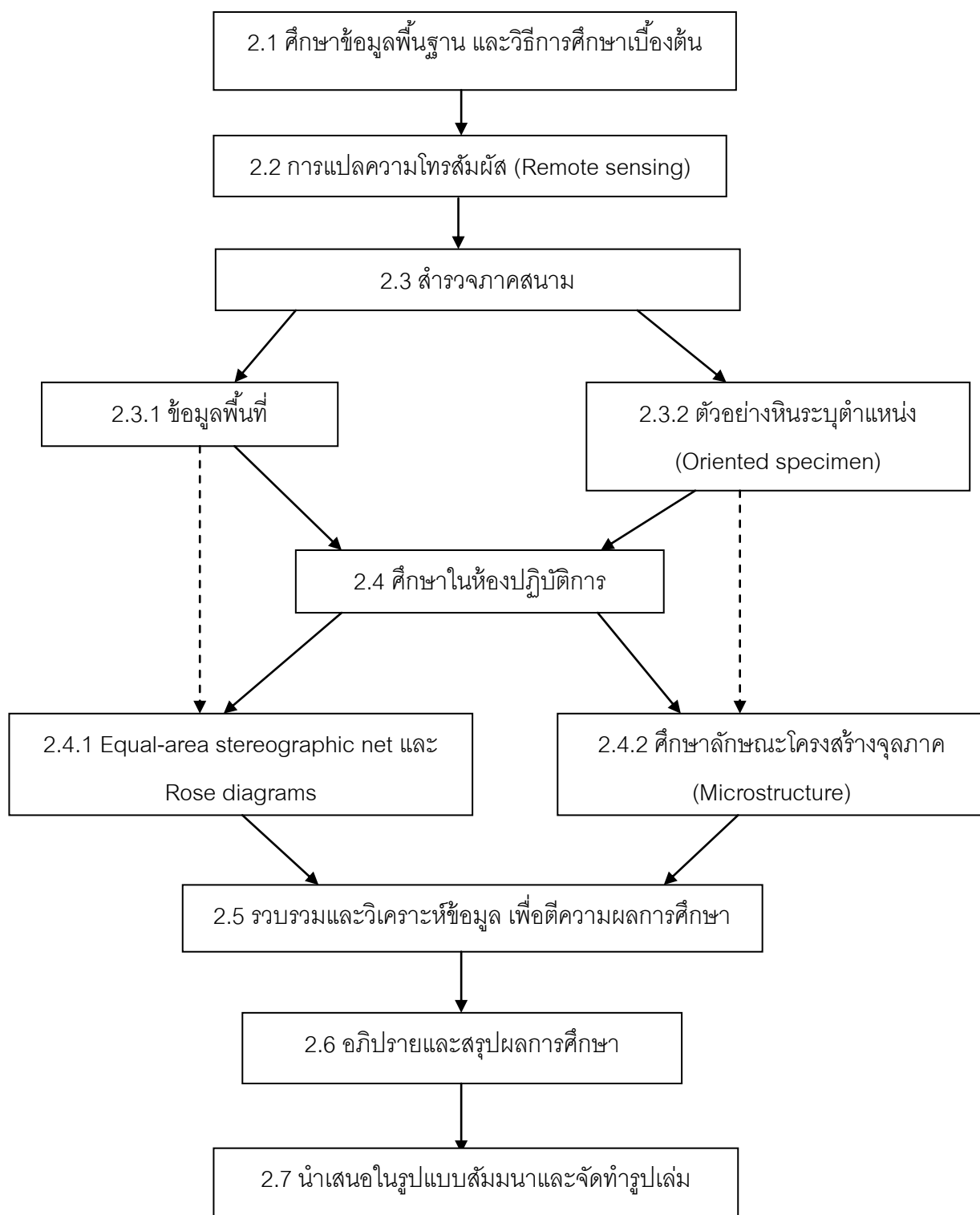
2.5.1 ข้อมูลลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง

2.5.2 วิวัฒนาการทางธรณีโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา

2.6 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

2.7 นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน

แผนผังแสดงลำดับการดำเนินงานวิจัย



รูป 2.1 แผนผังแสดงลำดับการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น

2.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว

ข้อมูลที่ต้องการในการศึกษา

- 1) ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา
- 2) ข้อมูลการศึกษาธรณีโครงสร้างในพื้นที่หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ และค่าการวางตัวของธรณีโครงสร้าง ภายในหิน โผล่ในพื้นที่
- 4) ตัวอย่างหินจากภาคสนาม
- 5) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและธรณีวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสง โพลาริซ (Polarizing microscope)

ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย

แผนที่ธรณีวิทยาลำดับชุด 1501S ระวัง ND 47-3 มาตรฐาน 1: 250,000

จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ. 2550

แผนที่ภูมิศาสตร์ ได้แก่

- ลำดับชุด L7018 ระวัง 4939 I มาตรฐาน 1: 50,000 อำเภอหนองฉาง ประเทศไทย
- ลำดับชุด L7018 ระวัง 4939 IV มาตรฐาน 1: 50,000 อำเภอลานสัก ประเทศไทย
- ลำดับชุด L7018 ระวัง 4940 II มาตรฐาน 1: 50,000 อำเภอสว่างอารมณ์ ประเทศไทย
- ลำดับชุด L7018 ระวัง 4940 III มาตรฐาน 1: 50,000 กิ่งอำเภอชุมตาบง ประเทศไทย

แผนที่ดังกล่าวสามารถสืบค้นได้จากห้องสมุดแผนที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรมทรัพยากรธรณี (แผนที่ธรณีวิทยา) กรมแผนที่ทหาร(แผนที่ภูมิศาสตร์) และทางอินเทอร์เน็ต (แผนที่ธรณีวิทยา)

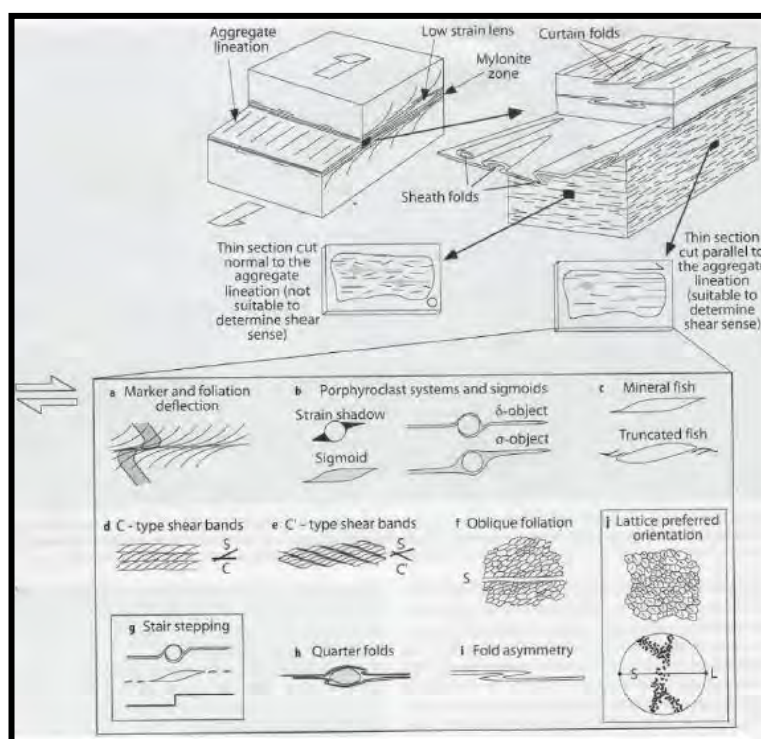
ข้อมูลการศึกษาทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณใกล้เคียง หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สามารถค้นคว้าได้จาก วารสารงานวิจัย (Journal) เอกสารงานประชุมวิชาการ

(Proceeding) ต่างๆในห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต

2.1.2 ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลทางธรณีโครงสร้างจากการสำรวจภาคสนาม และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)

โครงสร้างจุลภาคจะทำการศึกษาในแผ่นหินบาง (Thin section) จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen) ที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษา โดยจะนำมาศึกษาในเรื่องโครงสร้างในระดับจุลภาค ศิวารรณภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) ทำให้สามารถรู้ถึงทิศทางการเฉือน กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินในพื้นที่ (รูป 2.2) แร่ประกอบหินและลักษณะเนื้อหินที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณสมบัติในระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะ



รูป 2.2 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือน (Shear sense indicators) ของโครงสร้างจุลภาคในแผ่นหินบาง (Passchier and Trouw, 2005)

2.2 การแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing)

เป็นการศึกษาในระดับมหภาค (Microscopic scale) ซึ่งมุ่งเป้าหมายไปถึงบริเวณพื้นผิว ข้อมูลการแปลความโทรสัมผัสที่ใช้ในการศึกษานี้คือภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 และข้อมูลระดับความสูง (DEM) ข้อมูลทั้งสองจะนำไปใช้เป็นข้อมูลฐานของ ArcGIS โปรแกรม Global Mapper และใช้ในการแปลความโครงสร้างแนวเส้น (Lineament interpretation)

คุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 จะแสดงคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละแบนด์ (Band) ความยาวคลื่น และลักษณะเฉพาะ รวมไปถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้สีผสมต่างๆ (ตาราง 2.1 และตาราง 2.2)

ตาราง 2.1 คุณสมบัติของแบนด์ในภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 (Sabins, 1996)

แบนด์ (Band)	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	คุณสมบัติ
1	0.45 – 0.52	สีฟ้า-เขียว ความคมสูงสุดของน้ำ มีประโยชน์ในการจำแนกดิน ออกจากพืช
2	0.52 – 0.60	สีเขียว เข้ากับการสะท้อนสีเขียวของพืช มีประโยชน์ในการประเมินของสมบูรณ์ของพืช
3	0.63 – 0.69	สีแดง เข้ากับการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ มีคสามสำคัญในการจำแนกพันธุ์พืช
4	0.76 – 0.90	คลื่นสะท้อนอินฟราเรด มีประโยชน์ในการค้นหาชีวมวล เพื่อทำแผนที่ชายฝั่ง
5	1.55 – 1.75	คลื่นสะท้อนอินฟราเรด ใช้ตรวจหาความชื้นในดินและพืช ทะลุเมฆ
6	10.40 – 12.50	คลื่นอินฟราเรดความร้อน มีประโยชน์ต่อการทำแผนที่ความร้อน และประมาณค่าความชื้นในดิน
7	2.08 – 2.35	คลื่นสะท้อนอินฟราเรด ใช้ตรวจหาแหล่งแร่

ตาราง 2.2 แสดงการประเมินสีที่เลือกผสม (Sabins, 1996)

สีที่เลือกผสม	ข้อดี	ข้อเสีย
1-2-3	เหมาะกับการทำแผนที่น้ำระดับต้น	มีความละเอียดต่ำ
2-3-4	มีความละเอียดปานกลาง	มีข้อจำกัดด้านความหลากหลาย
4-5-7	เหมาะสำหรับบริเวณชื้น และมีความละเอียดสูง	มีข้อจำกัดด้านความหลากหลาย
2-4-7	เหมาะสำหรับบริเวณระหว่างแถบร้อนกับแถบขั้วโลก ถึงบริเวณแห้งแล้ง	แสดงสีที่ไม่คุ้นเคย

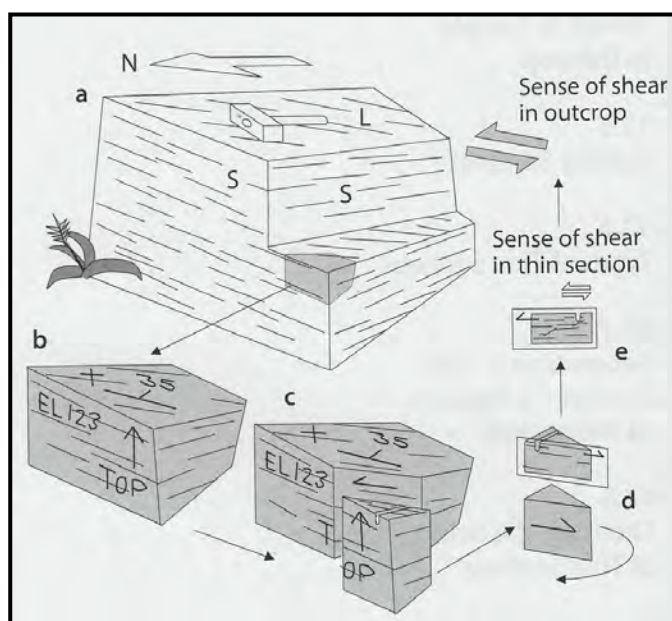
2.3 สักรวจภาคสนาม

2.3.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากหินโผล่ และเก็บข้อมูลพื้นที่

ทำการเก็บข้อมูลในภาคสนามโดยใช้เข็มทิศธรณีวิทยา ซึ่งค่าการวางตัวของธรณีวิทยา โครงสร้างที่วัดประกอบด้วย strike/ dip angle และ trend/plunge ของริ้วขนาน (Foliation) การวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) แกนชั้นหินคดโค้ง (Fold axis) แนวแตก (Joint) ผิวรอยครูด (Slickenside) ลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ และลักษณะโครงสร้างบ่งชี้อื่นๆที่พบในภาคสนาม จากนั้นทำการถ่ายรูปไว้เป็นหลักฐาน

2.3.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen)

เก็บโดยมีขนาดไม่น้อยกว่า 15 ซม. x 15 ซม. x 15 ซม. เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค ซึ่งตัวอย่างหินที่นำกลับมาจะต้องบันทึกค่าระนาบการวางตัวอย่างน้อยหนึ่งระนาบ ลงบนตัวอย่างหิน (Orientated sample) (รูป 2.3) เพื่อใช้เป็นระนาบอ้างอิง ทำให้ทราบถึงการวางตัวของระนาบการบิดเบี้ยวเดิมของหินในหินโผล่ที่เราเก็บมาจากการสำรวจภาคสนามเมื่อเรานำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



รูป 2.3 แสดงการเก็บตัวอย่างระบุตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างภายใต้จุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Passchier and Trouw, 2005)

2.4 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

2.4.1 กำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams

ข้อมูลสำหรับการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีนั้นเป็นข้อมูลในภาคสนาม อันได้แก่ ริวขนาน (Foliation) การวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) แกนชั้นหินคดโค้ง (Fold axis) แนวแตก (Joint) ผิวรอยครูด (Slickenside) หรือโครงสร้างอื่นๆที่พบในภาคสนาม เพื่อคุณลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง การเปลี่ยนแปลงและการบิดเบี้ยวในระดับกลาง (Mesoscopic scale) ที่ปรากฏของแต่ละจุดศึกษา แล้วนำมาวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างภาพรวมของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี จากนั้นทำการถ่ายรูปลักษณะหินโผล่และธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏชัดเจน

ข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams เพื่อใช้วิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจะนำมาใช้ตีความวิวัฒนาการโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี

2.4.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) จากแผ่นหินขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)

การศึกษานี้เกี่ยวกับลักษณะเนื้อผิว (Texture) ของหินและแร่ ที่บ่งชี้ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น การยึดของเม็ดแร่ การแตกของแร่อย่างเป็นระบบ รวมถึงระดับและสภาวะการแปรสภาพของหินภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing

microscope) ซึ่งในขั้นตอนการทำแผ่นหินบาง (Thin section) เพื่อให้แสดง ลักษณะ ธรณีวิทยาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ที่ชัดเจนและถูกต้องมากที่สุด มีลำดับ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1) นำตัวอย่างระบุตำแหน่ง (Orientated sample) มาพิจารณาแนวการวางตัวของริ้วขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) จากนั้นวางแนวการตัดให้ตั้งฉากกับริ้วขนานและตั้งฉากกับแนวเส้นเพื่อดูลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกิดจากแนวความเค้นมากที่สุด (Maximum stress) ที่กระทำต่อหินในพื้นที่

2) พิจารณาแบ่งลักษณะเนื้อหินเลือกบริเวณที่ต้องการโดยอาศัยลักษณะเนื้อหินแนวรอยต่อระหว่างเนื้อหิน และลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง ตัดแผ่นหินให้ได้ขนาดเหมาะสมกับแผ่นกระจกใส โดยให้ทำสัญลักษณ์ที่ด้านบน (Top)

3) นำด้านล่าง (Bottom) ของแผ่นหินที่พร้อมติดสไลด์มาติดกับสไลด์ (ระวางอย่าติดสไลด์ที่ด้านบนของแผ่นหิน มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้)

4) ดำเนินการทำแผ่นหินบางตามขั้นตอนปกติ

2.5 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตีความผลการศึกษา

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม และจากการกำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งในระดับกลาง (Mesoscopic scale) และระดับจุลภาค (Microscopic scale) โดยวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (Deformation) ทิศทางของการเฉือน (Sense of shear) แนวหลักของริ้วขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) แนวแตก (Joint) ของหินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เป็นต้น

2.6 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการศึกษา มาอภิปรายในเรื่องรูปแบบของโครงสร้าง (Structural style) และวิวัฒนาการของโครงสร้าง (Structural evolution) ของพื้นที่ศึกษา โดยวิเคราะห์ร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้สนับสนุนข้อมูลผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องกันและสรุปผลการศึกษาจากผลการศึกษาทั้งหมด

2.7 นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน

นำข้อมูลทั้งหมดในงานวิจัยครั้งนี้ เช่นผลการศึกษา อภิปราย และสรุปผลการศึกษาไปนำเสนอในรูปแบบสัมมนา และจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 3

แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี

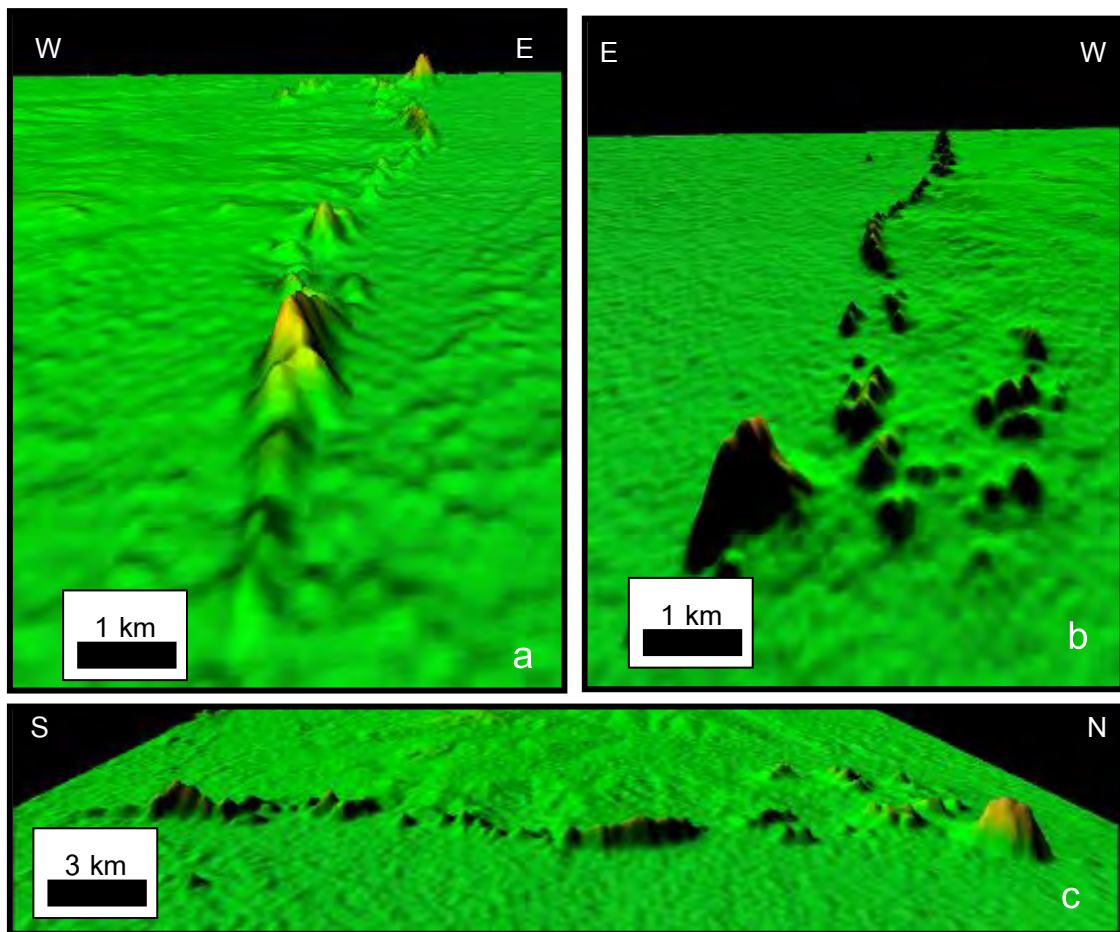
เนื้อหาในบทนี้เป็นผลจากการแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing) การสำรวจภาคสนาม (Field observation) และการศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure analysis) ของแนวสันเขาหินไรโอไลต์ที่ตั้งอยู่ในชัชนาทดูละครบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิง แนวหินโผล่รอบแนวสันเขานี้ส่วนมากถูกปกคลุมไปด้วยดินและวัชพืชเป็นผลเนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีอัตราการผุพังค่อนข้างสูงจากภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในพื้นที่ทางตอนเหนือของที่ราบลุ่มแม่น้ำภาคกลางในประเทศไทย แต่ก็ยังมีหินโผล่ที่ดีที่สามารถเข้าไปทำการสำรวจได้

3.1 การแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing)

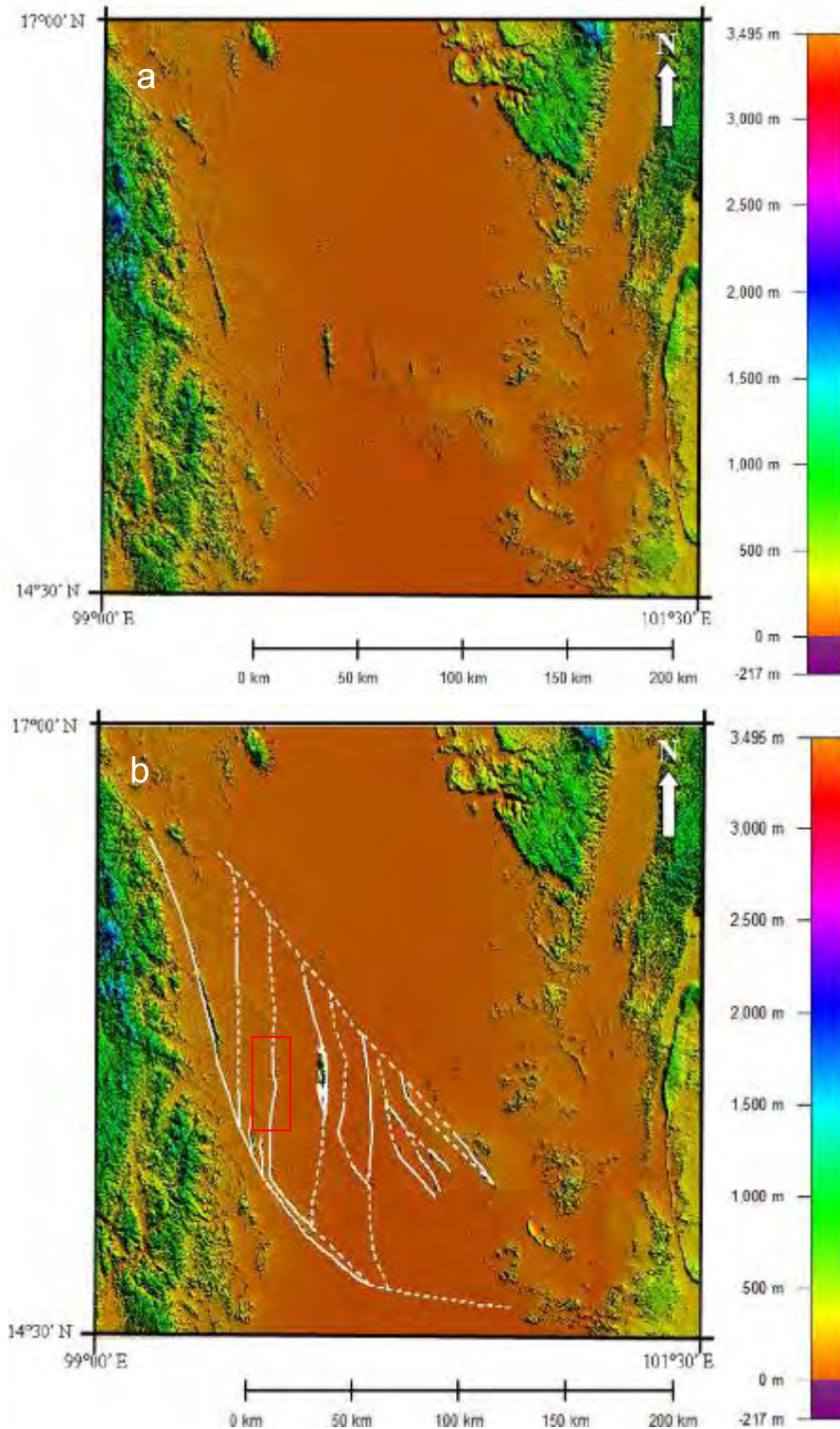
เนื้อหาส่วนนี้จะมุ่งเป้าหมายไปถึงบริเวณพื้นผิวโดยใช้เทคนิคจากการแปลความการรับรู้ระยะไกล รวมไปถึงการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้น ข้อมูลการแปลความโทรสัมผัสที่ใช้ในการศึกษานี้คือภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 และข้อมูลระดับความสูง (DEM) ข้อมูลทั้งสองจะนำไปใช้เป็นข้อมูลฐานของ ArcGIS โปรแกรม Global Mapper และใช้ในการแปลความโครงสร้างแนวเส้น (Lineament interpretation) ซึ่งโครงสร้างแนวเส้นที่ได้จะนำไปกำหนดตำแหน่งใน Rose diagrams

3.1.1 ข้อมูลระดับความสูง (DEM)

ข้อมูลที่ใช้เป็น SRTM 90 เมตร ใช้ในการดูคุณสมบัติของภูมิประเทศ โดยนำไปใช้ในโปรแกรม Global mapper เพื่อสร้างภาพแสงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) ที่แสดงลักษณะความขรุขระของภูมิประเทศเป็นภาพสามมิติที่สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างแนวเส้นที่ถูกควบคุมโดยลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา (รูป 3.1)



รูป 3.1 ภาพมุมมอง 3 มิติของภาพแสงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) ของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อูทัยธานีแสดงโครงสร้างแนวเส้นแนวเหนือ-ใต้ (N-S) และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) ที่อาจปรากฏภายในแนวสันเขา (a และ b) และภาพมุมมองด้านข้าง (b) ที่สร้างโดยโปรแกรม Global mapper

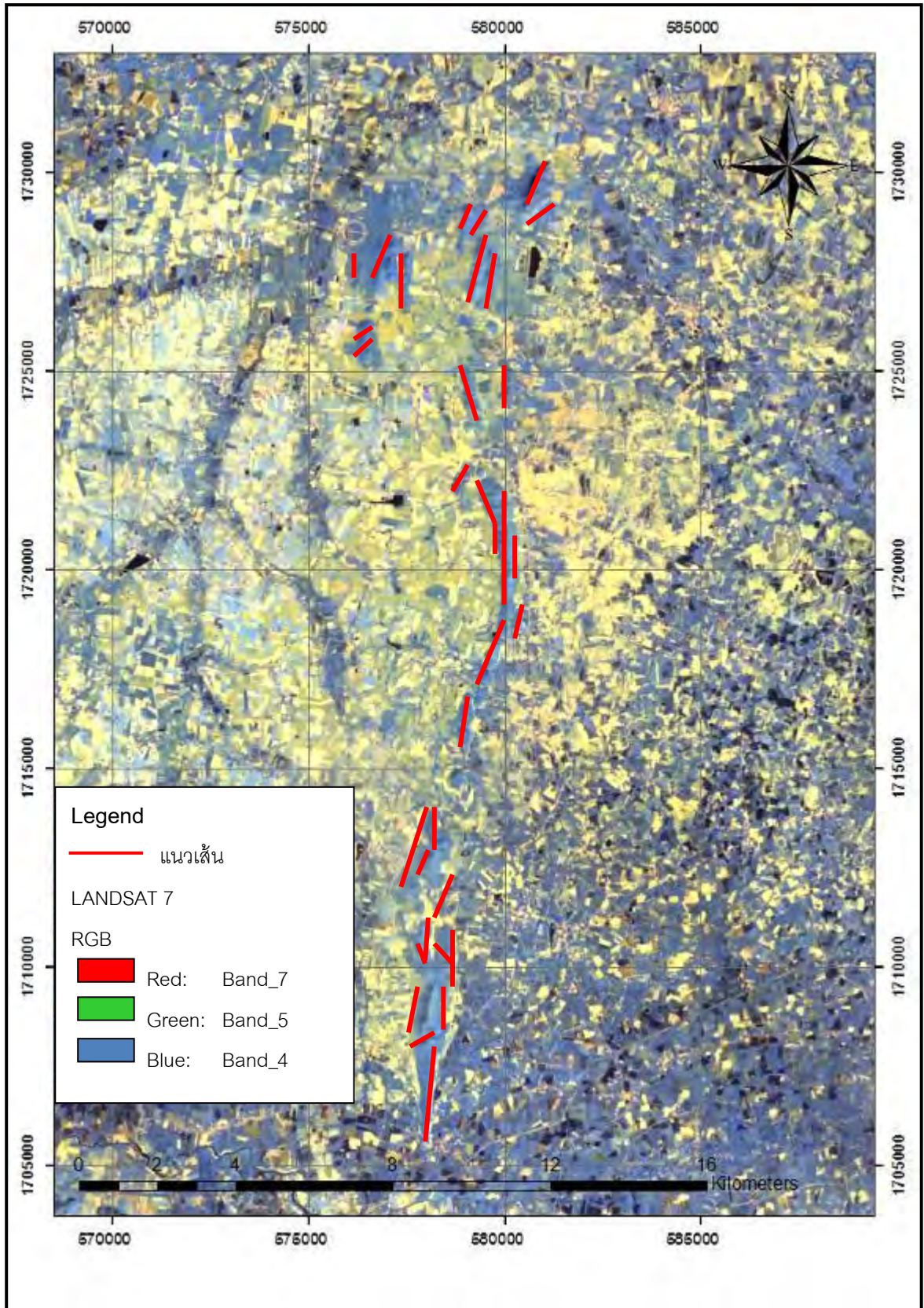


รูป 3.2 ภาพแสงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนแสดงแนวสันเขาที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (a) และการแปลความโครงสร้างแนวเส้นในพื้นที่บริเวณนี้เป็นลักษณะของ Contractional strike-slip duplex โดยกรอบสีแดงแสดงพื้นที่ศึกษา (b) (Phasongthum, 2011)

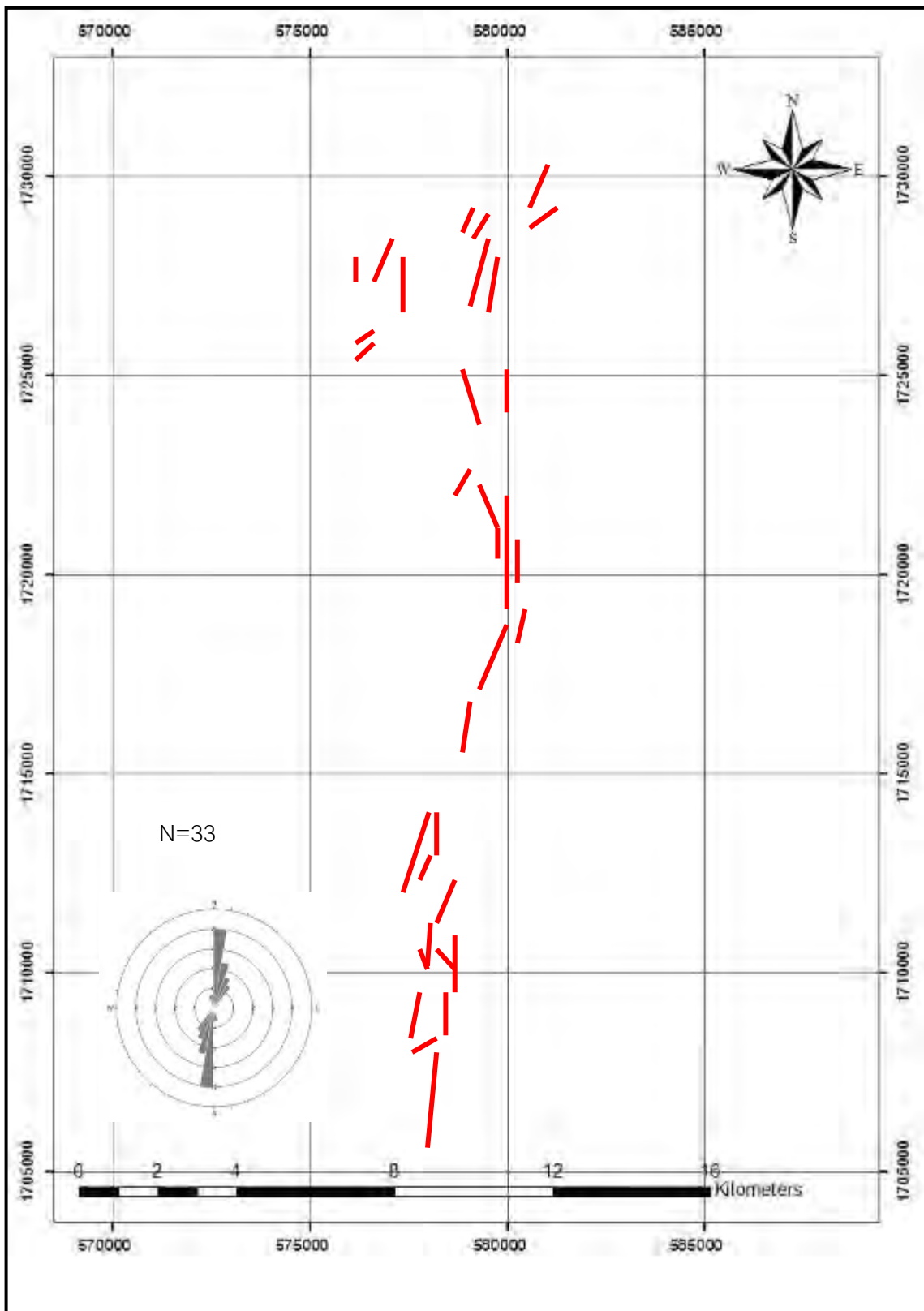
3.1.2 ภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite images)

การศึกษานี้จะใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 7 (path 129 row 49, path 129 row 50, path 130 row 49 และ path 130 row 50) ซึ่งจะใช้โปรแกรม ArcGIS ในการเลือกใช้แบนด์ (Band) ต่างๆ จะเลือกโดยดูคุณสมบัติที่มีต่อผิวโลก การวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้นจะเลือกใช้แบนด์ (Band) 7-5-4 ซึ่งมีความละเอียดสูงและใช้ดูลักษณะของธรณีสัณฐานเช่น การเปลี่ยนความชัน (Slope-break) แนวระดับหุบเขา (Valley-strike) และผาชัน (Scarp) โดยโครงสร้างแนวเส้นนี้ จะสามารถแยกจากการมองเห็นได้ในภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7

จากการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้นทำให้ได้โครงสร้างแนวเส้นออกมา 33 แนว (รูป 3.3), (รูป 3.4) และนำไปกำหนดค่าใน Rose diagrams ซึ่งแสดงแนวหลัก คือ แนวเหนือ-ใต้ (N-S) และมีแนวรองเบี่ยงไปทางตะวันออกเล็กน้อย (NNE-SSW) โดยแนวที่เห็นอาจบ่งบอกได้ว่าเป็นระนาบของชั้นหิน (Bedding planes) ระนาบริ้วนาน (Foliation plane) รอยเลื่อน (Fault) แนวแตก (Joint) หรือรอยแตก (Fracture) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการสำรวจภาคสนามในชั้นตอนถัดไป



รูป 3.3 ภาพดาวเทียม LANDSAT 7 จากการผสมแบนด์ 7-5-4 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้น แนวหลักอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ (N-S)



รูป 3.4 แผนที่แนวเส้นและRose diagram จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างแนวเส้น แนวหลักอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ (N-S) และมีแนวรองเบี่ยงไปทางตะวันออกเฉียงเล็กน้อย (NNE-SSW)

3.2 ธรณีวิทยา (Geology)

ธรณีวิทยาของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีส่วนใหญ่เป็นหินไรโอไลต์ (หินไรโอไลต์มหายุคมีโซโซอิก) และมีพื้นที่คาบเกี่ยวเป็นหินปูน (หินปูนเพอร์เมียน) บางส่วนอยู่ด้านตะวันออกของแนวสันเขา ซึ่งหินไรโอไลต์มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) ในแนวเหนือ-ใต้ (N-S) ถึงเบี่ยงไปทางตะวันตกเล็กน้อย (NNW) โดยสังเกตได้จากหลักฐานบนหินโผล่ เช่น ระบายรอยเลื่อน แนวเส้นและผิวรอยครูด

หินไรโอไลต์

หินไรโอไลต์ที่พบมีลักษณะ สีสด เป็นสีขาว สีฝู เป็นสีน้ำตาลแดง ผลึกค่อนข้างละเอียด มีแร่ควอตซ์ และเฟลด์สปาร์เป็นส่วนใหญ่ มีชิ้นเศษหิน (Fragment) ปะปนอยู่ในเนื้อหินด้วยเล็กน้อย บางบริเวณมีสายแร่ควอตซ์ตัดผ่านตัวหิน หินไรโอไลต์นี้พบในบริเวณจุดศึกษาที่ 1, 2, 4 และ 5



รูป 3.5 หินโผล่ไรโอไลต์แสดงแนวแตก (a) และสายแร่ควอตซ์ที่ตัดเข้าไปในหินไรโอไลต์ (b) ในจุดศึกษาที่ 1

หินปูน

หินปูนในพื้นที่คาบเกี่ยวทางด้านตะวันออกของแนวสันเขาที่พบมีลักษณะเป็นหินปูนสีเทา ชั้นหนาถึงบาง มีค่าการวางตัวและรีขนาน ทั้งสองขนานกันและอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ มีฟอสซิลที่พบเป็นแบรคิโอพอด หินปูนนี้พบในบริเวณจุดศึกษาที่ 3, 6 และ 7



รูป 3.6 หินโผล่หินปูนแสดงแนวแตก (a) และฟอสซิลแบรคิโอพอด (b) ในจุดศึกษาที่ 3

3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural Geology)

การวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1.ระดับกลาง (Mesoscopic scale) จากการสำรวจภาคสนาม

2.ระดับจุลภาค (Microscopic scale) จากการศึกษาแผ่นหินขัดบาง (Thin section) จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

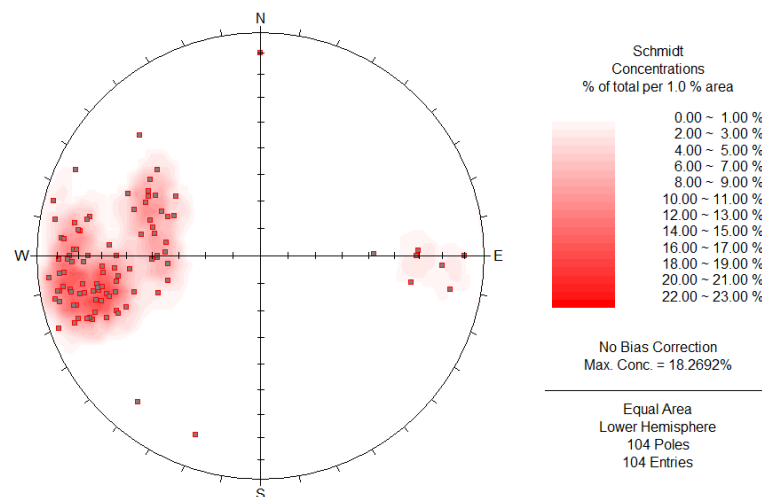
จากข้อมูลโครงสร้างต่างๆสามารถวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแนวสันเขาได้ เป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบแตกเปราะ (Brittle deformation)

3.3.1 ระดับกลาง (Mesoscopic scale)

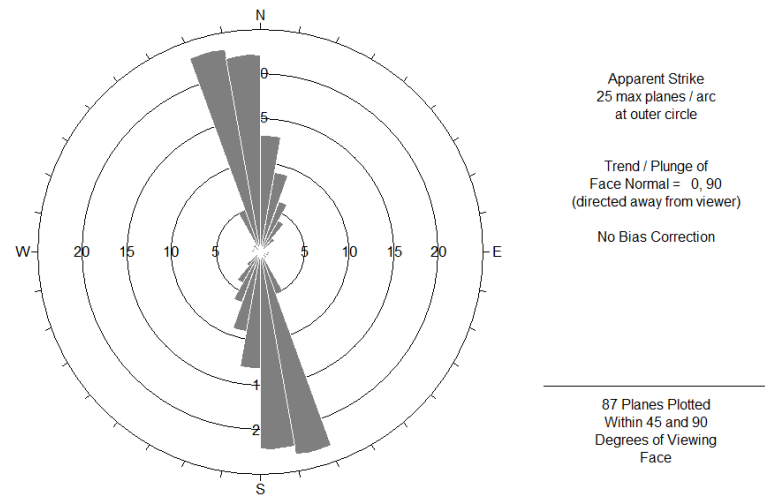
ข้อมูลพื้นที่จากการสำรวจภาคสนาม ได้แก่ ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding) ริวขนาน (Foliation) แนวเส้น (Lineation) รอยแยก (Joint) ผิวรอยครูด (Slickenside) เป็นต้น ข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งใน Equal-area stereographic net และ Rose diagrams เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจะนำมาใช้ตีความวิวัฒนาการโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี

โครงสร้างริวขนาน (Foliation)

การกระจายตัวของ pole และความหนาแน่นกระจายตัวของริวขนานของหินในพื้นที่ศึกษา แสดงแนวริวขนานของหินอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ (N-S) (รูป 3.7) มีมุมเอียงเทไปทางทิศตะวันออกประมาณ 045° ถึง 080°



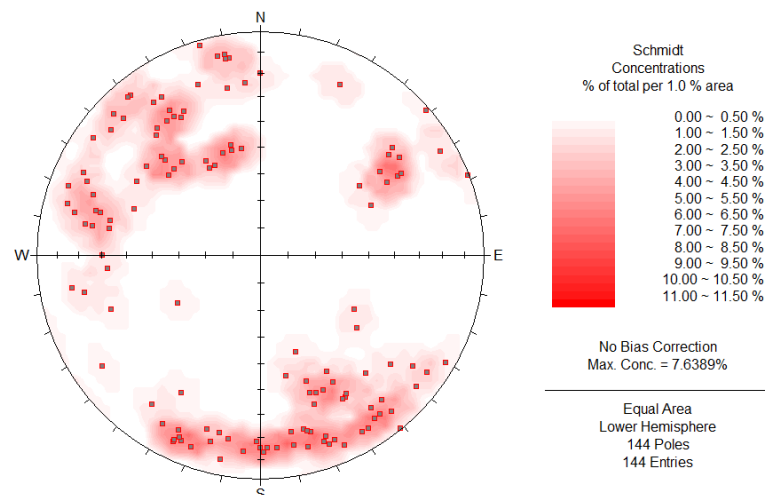
รูป 3.7 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าริวขนาน (Foliation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Equal-area stereographic projection



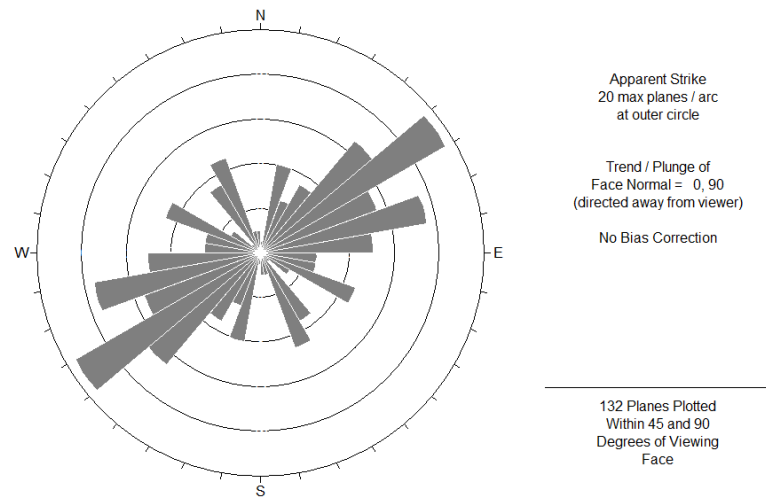
รูป 3.8 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าวิชันาน (Foliation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Rose diagrams

โครงสร้างแนวแตก (Joint)

การกระจายตัวของ pole และความหนาแน่นกระจายตัวของแนวแตกในพื้นที่ศึกษามีอยู่ 3 แนวที่โดดเด่นอย่างเห็นได้ชัดคือ แนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก (E-W), ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) (รูป 3.9)



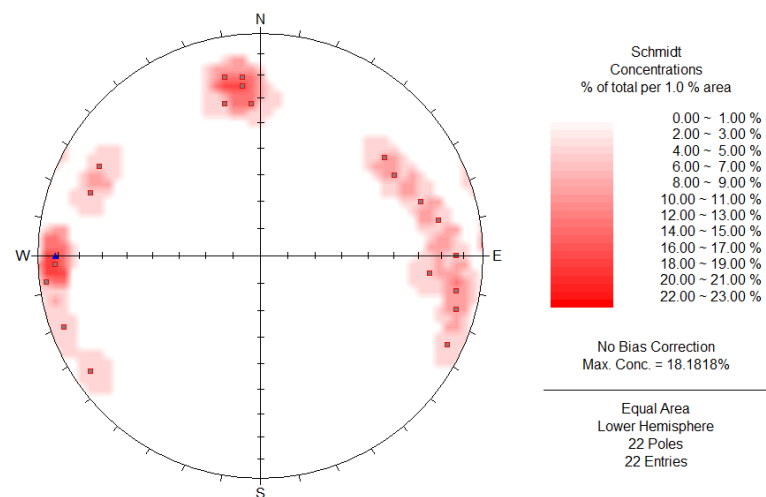
รูป 3.9 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าแนวแตก (Joint) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Equal-area stereographic projection



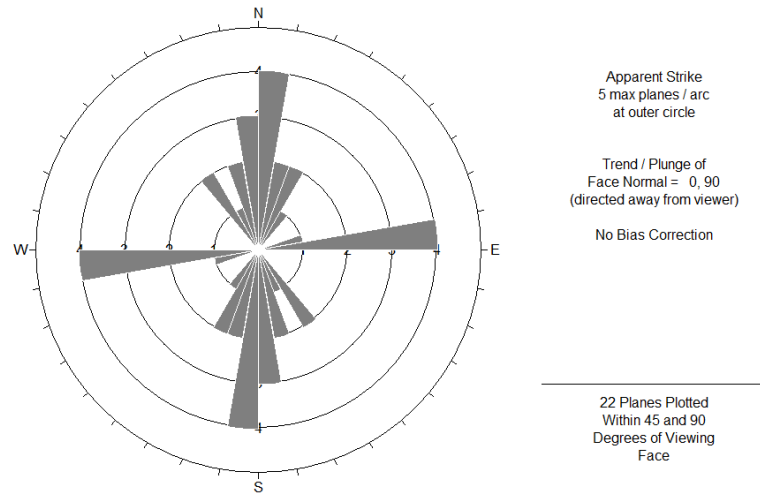
รูป 3.10 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าแนวแตก (Joint) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน Rose diagrams

โครงสร้างระนาบรอยเลื่อน (Fault plane)

การกระจายตัวของ pole และความหนาแน่นกระจายตัวของระนาบรอยเลื่อนของหินในพื้นที่ศึกษาแสดงแนวระนาบของรอยเลื่อนของหินอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ (N-S) และแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก (E-W) (รูป 3.11) มีมุมเอียงเทไปทางทิศตะวันออกและทิศใต้ประมาณ 070° ถึง 090°



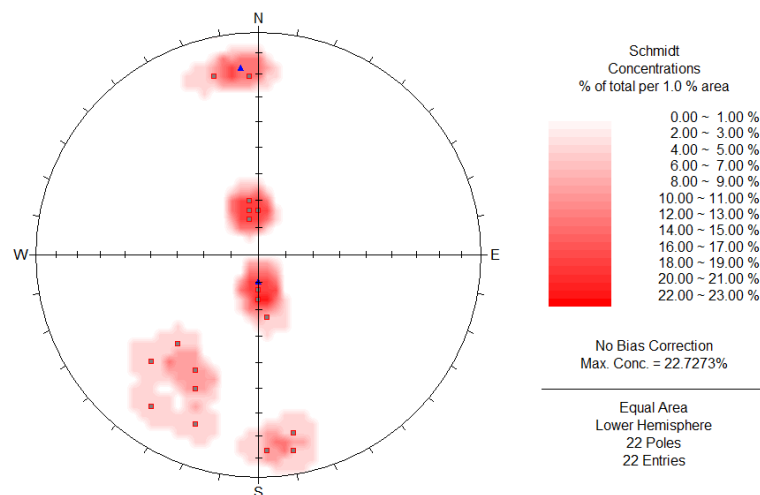
รูป 3.11 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane) ของหินในพื้นที่ศึกษา ลงบน Equal-area stereographic projection



รูป 3.12 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane) ของหินในพื้นที่ศึกษา
ลงบน Rose diagrams

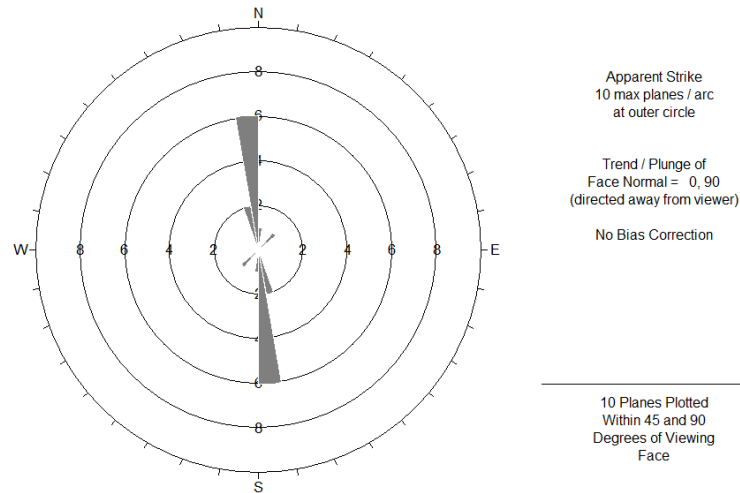
โครงสร้างเส้นรอยเลื่อน (Striation)

การกระจายตัวของ pole และความหนาแน่นกระจายตัวของแนวเส้นรอยเลื่อนของหินในพื้นที่ศึกษาแสดงทิศทางอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ (N-S) มีมุมเอียงเทไปทางทิศเหนือประมาณ 010° ถึง 030° (รูป 3.13)



รูป 3.13 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าเส้นรอยเลื่อน (Striation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน

Equal-area stereographic projection



รูป 3.14 ผลการกำหนดตำแหน่งค่าเส้นรอยเลื่อน (Striation) ของหินในพื้นที่ศึกษาลงบน

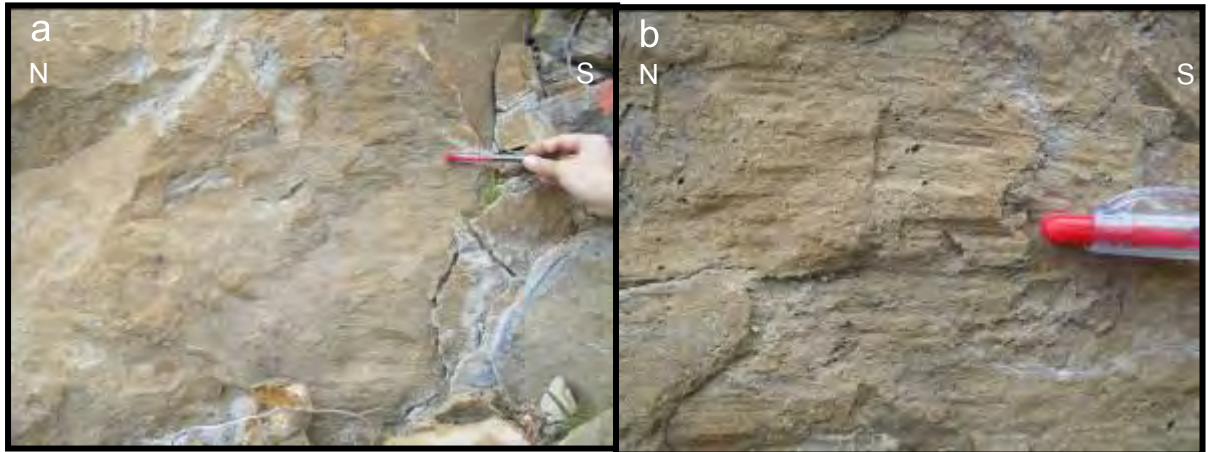
Rose diagrams

3.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ (Brittle deformation)

จากการสำรวจภาคสนามพบว่าหินไรโอไลต์ในพื้นที่ศึกษาส่วนมากมีการตอบสนองต่อแรง โดยแสดงออกมาอย่างชัดเจนในลักษณะของแนวแตก (Joint) ซึ่งมีอยู่ 3 แนวที่โดดเด่นอย่างเห็นได้ชัดคือ แนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก (E-W), ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) และพบระนาบรอยเลื่อนซึ่งมีระนาบการวางตัวอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ (N-S) และแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก (E-W) ซึ่งพบบริเวณฝั่งด้านตะวันออกของแนวสันเขา



รูป 3.15 หินโผล่ไรโอไลต์แสดงแนวแตก (Joint) ในแนวตะวันออก-ตะวันตกในจุดศึกษาที่ 2



รูป 3.16 หินโผล่แสดงระนาบรอยเลื่อนแนวระดับในแนวเหนือ-ใต้ (a) และแซทเทอร์ มาร์ค (Chatter mark) แสดงการเคลื่อนที่ในแนวระดับแบบซ้ายเข้า (b) ในจุดศึกษาที่ 2



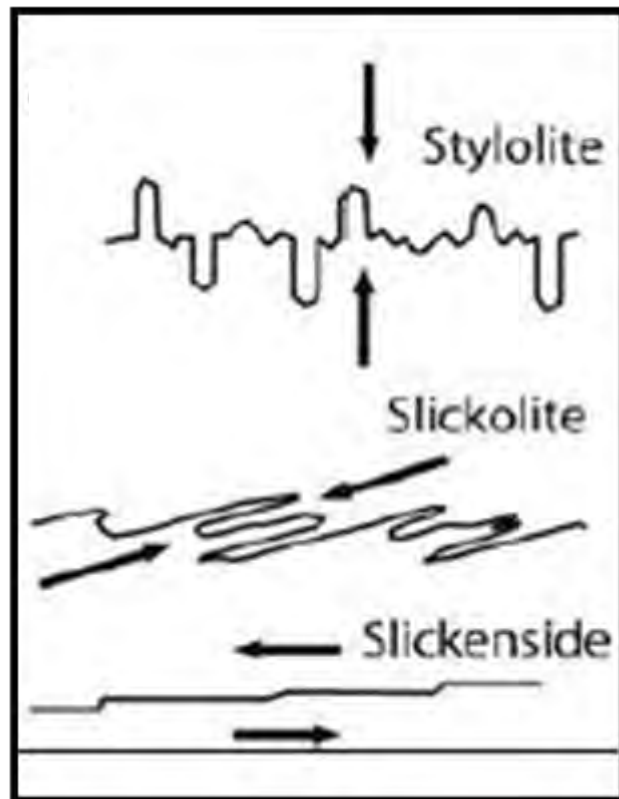
รูป 3.17 หินโผล่แสดงระนาบรอยเลื่อนแนวระดับในแนวตะวันออก-ตะวันตก (a) และ แชนท์เทอร์ มาร์ค (Chatter mark) แสดงรอยเลื่อนปรกติ (Normal fault) (b) ในจุดศึกษาที่ 6

3.3.2 ระดับจุลภาค (Microscopic scale)

โครงสร้างจุลภาคจะทำการศึกษาในแผ่นหินบาง (Thin section) จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen) ที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษา โดยจะนำมาศึกษาในเรื่องของโครงสร้างในระดับจุลภาค รวมไปถึงการศึกษาสัณฐานวิทยา ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) ทำให้สามารถรู้ถึงทิศทางการเฉือน กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินในพื้นที่ แร่ประกอบหินและลักษณะเนื้อหินที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะและอุณหภูมิในระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคนี้ยังสามารถนำไปใช้สนับสนุนการวิเคราะห์โครงสร้างในระดับกลาง และวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานในพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

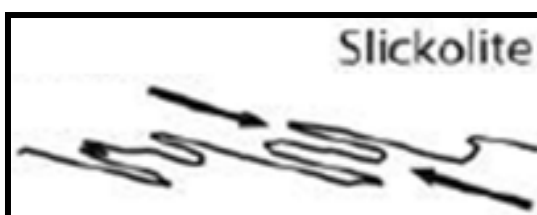
แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีส่วนใหญ่เป็นหินไรโอไลต์ ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟหรืออัคนีพุ มีเม็ดผลึกค่อนข้างละเอียดเป็นเนื้อพื้น (Matrix) มีผลึกดอกขนาดกลางเป็นแร่ควอตซ์และเฟลด์สปาร์เป็นส่วนใหญ่ โดยเนื้อพื้นจะพบเป็นลักษณะของรอยแตก (Fracture) ในเนื้อพื้นที่ขนานไปกับระนาบรีวขนานและบ่งบอกถึงการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) และนอกจากนี้ยังลักษณะของการละลายจากแรงดัน (Pressure solution) ใน

รูปแบบของสลิกโคไลต์ (Slickolite) ที่ขนานไปกับระนาบรีวชันและบ่งบอกถึงแรงดันที่เข้ามามีทิศทางเฉียงไปกับระนาบรีวชันและเป็นการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา (Dextral brittle shear)

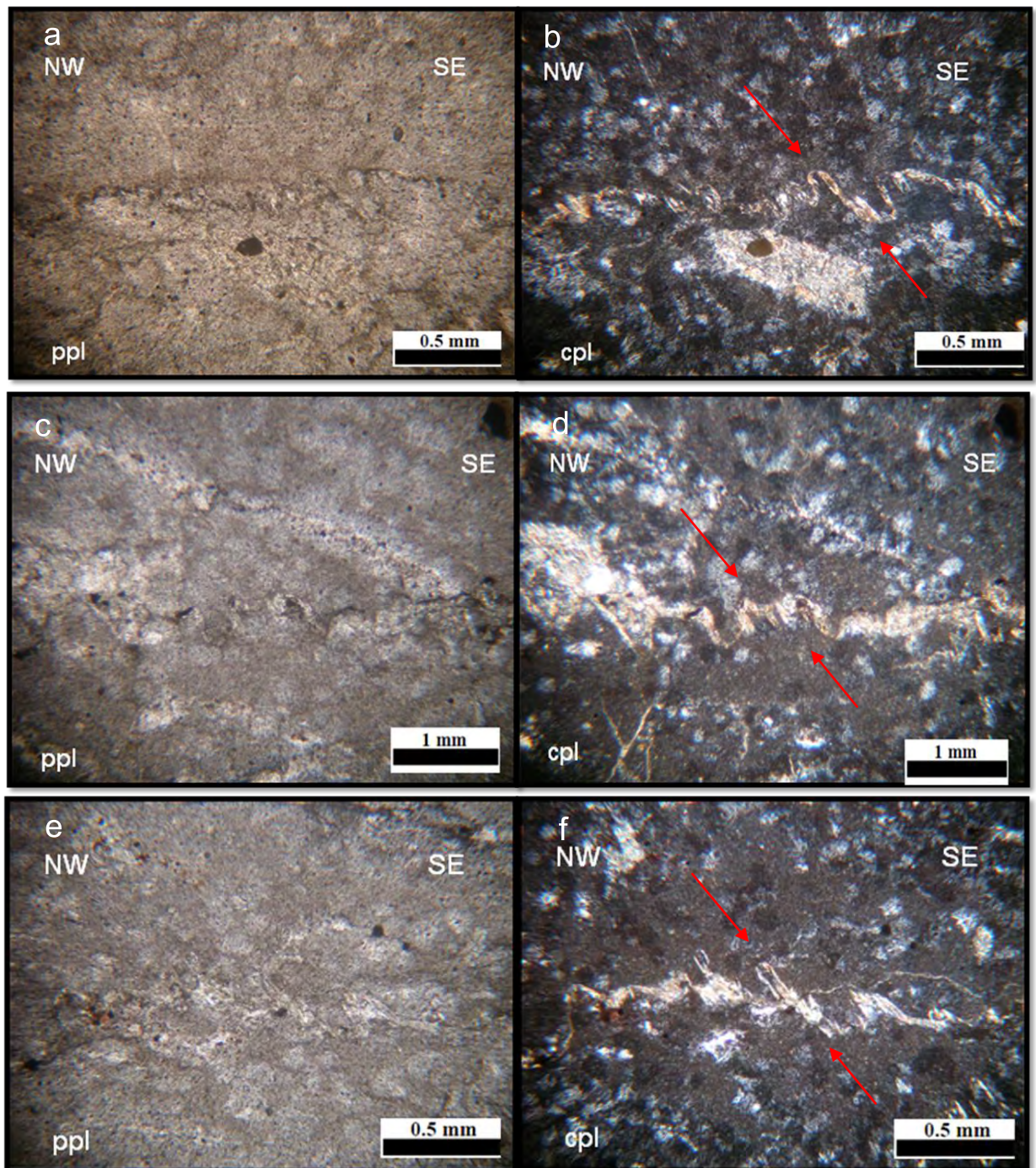


รูป 3.18 ภาพแสดงรูปแบบต่างๆ การละลายจากแรงดัน (Pressure solution)

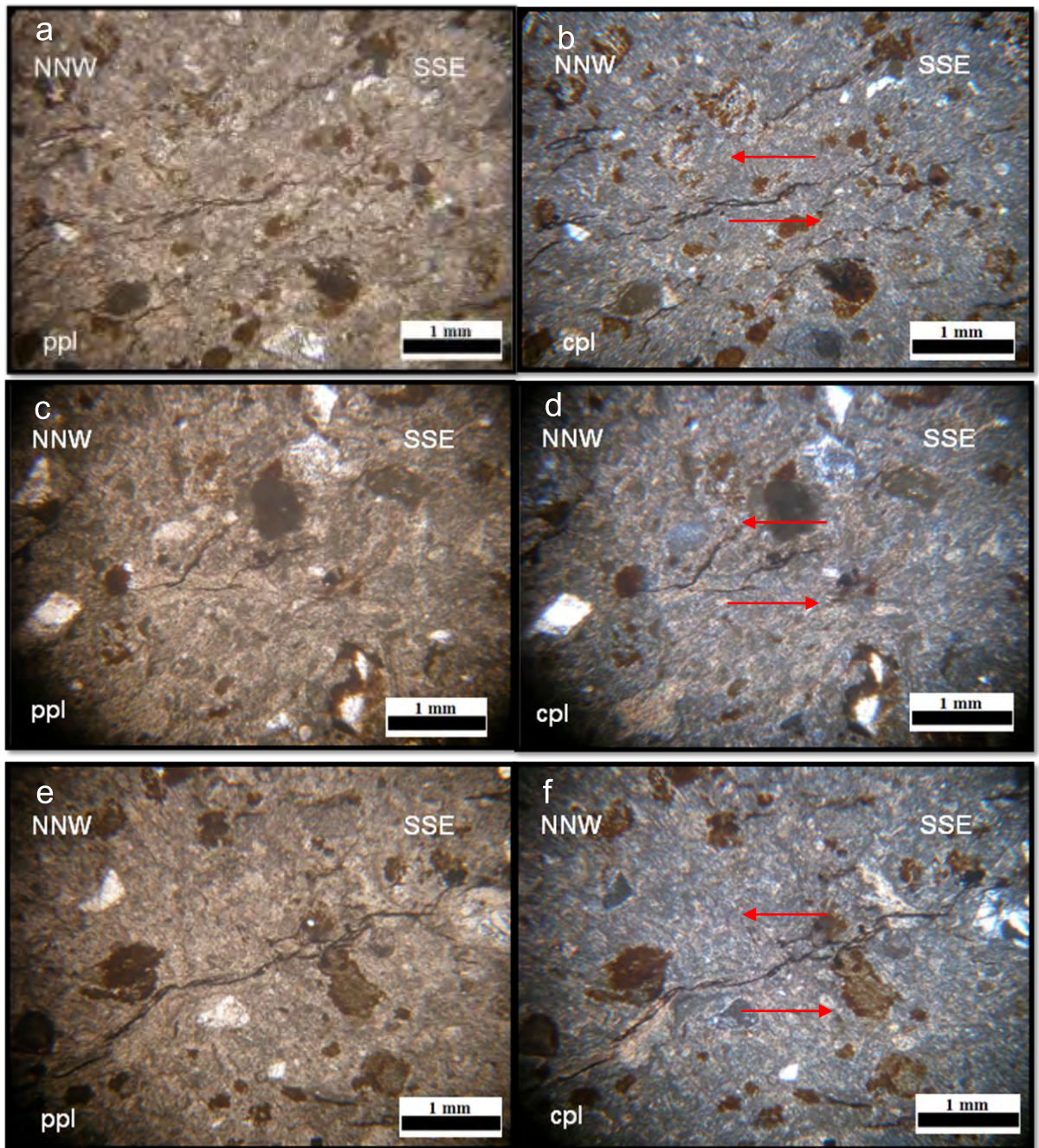
ลักษณะของแนวฟันในหิน (Stylolite) สลิกโคไลต์ (Slickolite) และผิวรอยครูด (slickenside) จะอธิบายได้ดังนี้ คือ แนวฟันในหิน (Stylolite) จะมีฟันยื่นออกไปสั้นๆ แสดงทิศทางที่ตามแรงที่โดนกดทับโดยแรงดัน ส่วนสลิกโคไลต์ (Slickolite) จะมีฟันที่แสดงทิศทางเฉียงจะแสดงลักษณะการเฉือนและผิวรอยครูด (slickenside) จะแสดงลักษณะการเลื่อน (Ramsay, 1967 and Hobbs et al., 1988)



รูป 3.19 ภาพแสดงรูปแบบสลิกโคไลต์ (Slickolite) ที่แสดงแสดงลักษณะการเฉือน โดยเป็นแบบขวาเข้า



รูป 3.20 ลักษณะของสลิกโคลไลต์ (Slickolite) แผ่นหินบาง แสดงลักษณะการเฉือน โดยเป็นแบบขวาเข้า (a, b, c, d, e, f) (PPI = plane polarize light, Cpl = cross polarize light)



รูป 3.21 ลักษณะรอยแตก (Fracture) ในแผ่นหินบาง ที่ขนานไปกับระนาบรีขานานและแสดงลักษณะการเฉือนโดยเป็นแบบซ้ายเข้า (a, b, c, d, e, f) (PPI = plane polarize light, Cpl = cross polarize light)

หินในพื้นที่ศึกษาเป็นหินภูเขาไฟหรือหินอัคนีพุ มีลักษณะผลึกและเนื้อหิน (Matrix) ค่อนข้างละเอียด ไม่พบการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนุ่ม (Ductile deformation) เนื่องจากหินภูเขาไฟส่วนใหญ่มักตอบสนองต่อแรงโดยแสดงการเปลี่ยนลักษณะแบบแตกเปราะ (Brittle deformation) ออกมาได้ง่ายกว่า ซึ่งข้อมูลจากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคเป็นหลักฐานที่สนับสนุนโครงสร้างในระดับกลางได้เป็นอย่างดี

บทที่ 4

อภิปราย (Discussion)

การศึกษาใน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับมหภาค (Macroscopic scale) ระดับกลาง (Mesoscopic scale) และระดับจุลภาค (Microscopic scale) ได้ผลออกมาจากการแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing) การสำรวจภาคสนามและการศึกษาโครงสร้างจุลภาค นำมารวบรวมและอภิปรายได้เป็นลักษณะรูปแบบโครงสร้าง (Structural style) วิวัฒนาการโครงสร้าง (Structural evolution) และวิวัฒนาการการแปรสัณฐาน (Tectonics evolution) ของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทยานนี้

4.1 รูปแบบโครงสร้าง (Structural style)

การแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing) บ่งชี้ว่าโครงสร้างแนวเส้นแนวหลัก อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ (N-S) และมีแนวรองเบี่ยงไปทางตะวันออกเฉียงเล็กน้อย (NNE-SSW) ซึ่งแนวที่ได้มีความสัมพันธ์กับข้อมูลในการสำรวจภาคสนามและโครงสร้างจุลภาค

หลักฐานที่พบจากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษา บ่งบอกถึงการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) ที่เกิดในหิน โครงสร้างริ้วขนาน (Foliation) และแนวเส้น (Lineation) สามารถสังเกตและวัดค่าได้ในภาคสนามโดยมีแนวหลักอยู่ในแนวเหนือ-ใต้เบี่ยงไปทางตะวันออกเฉียงเล็กน้อย (N-S ถึง NNE-SSW) นอกจากนี้ยังพบระนาบรอยเลื่อน (Fault plane) อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ (N-S) และบนระนาบรอยเลื่อนพบผิวรอยครูด (Slickenside) และเซทเทอร์ มาร์ค (Chatter mark) ที่แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวระดับแบบซ้ายเข้าชัดเจน ซึ่งข้อมูลทั้งหมดค่อนข้างสอดคล้องกับโครงสร้างแนวเส้นในการแปลความโทรสัมผัส (Remote sensing)

ในแผ่นหินบาง (Thin section) โครงสร้างจุลภาคที่พบเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ (Brittle deformation) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนิ่ม (Ductile deformation) โดยหลักฐานที่พบเป็นลักษณะของรอยแตก (Fracture) บนเนื้อพื้น (Matrix) ที่ขนานไปกับระนาบริ้วขนานและบ่งบอกถึงการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) และนอกจากนี้ยังพบลักษณะของการละลายจากแรงดัน (Pressure solution) ในรูปแบบของสลิคโคไลต์ (Slickolite) ที่ขนานไปกับระนาบริ้วขนานและบ่งบอกถึงแรงดันที่เข้ามาทิศทางเฉียงไปกับระนาบริ้วขนานและมีเคลื่อนที่แบบขวาเข้าที่อาจเกิดขึ้นมาภายหลังหรืออาจเกิดขึ้นเฉพาะ

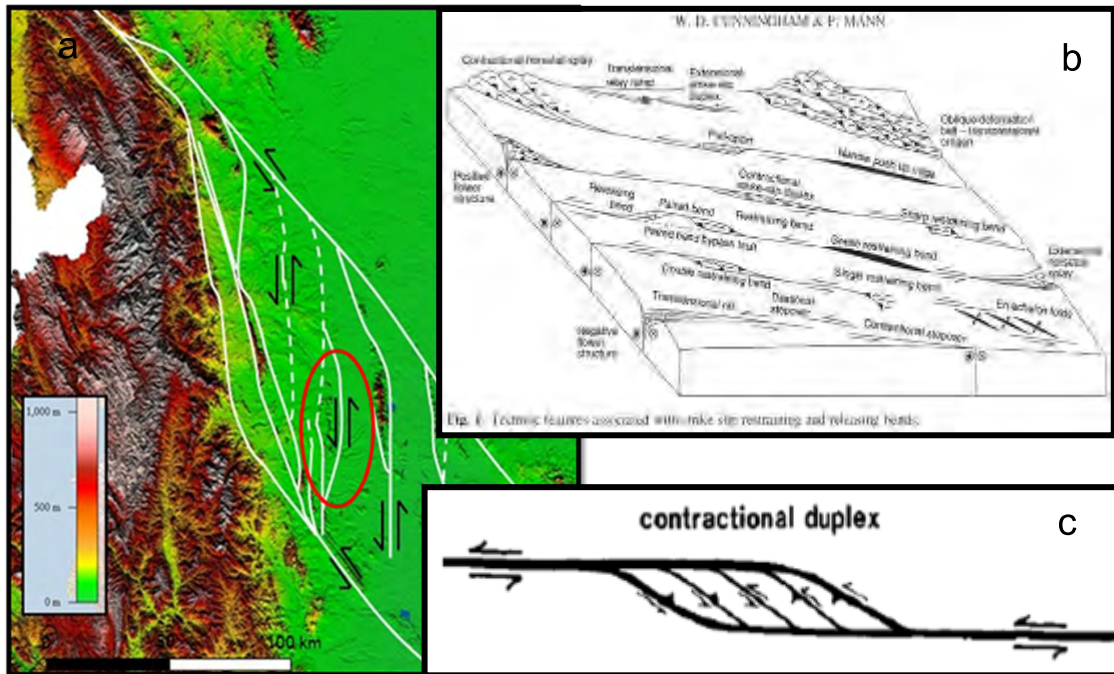
บางบริเวณเท่านั้น โดยข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่พบบนหินโผล่ในการสำรวจภาคสนาม

4.2 วิวัฒนาการโครงสร้าง (Structural evolution)

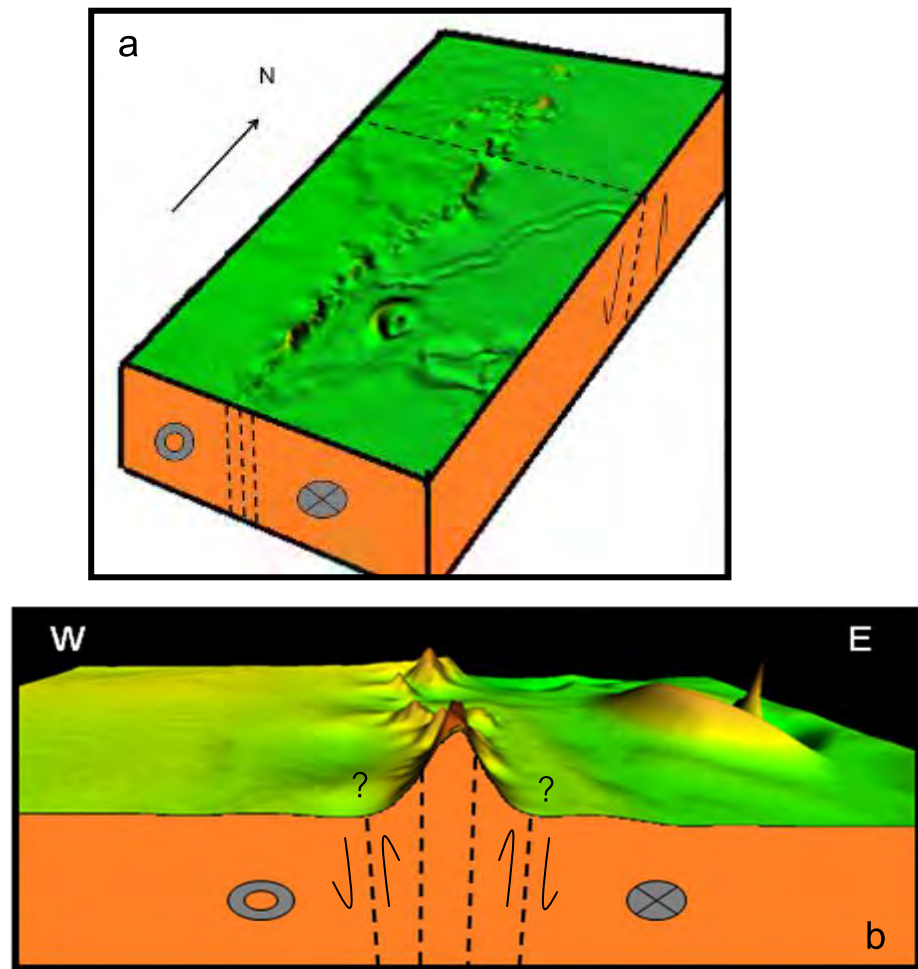
จากข้อมูลรูปแบบโครงสร้าง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกันจะเห็นว่าลักษณะปรากฏของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีแสดงชัดเจนถึงแนวเหนือ-ใต้ ถึงเบี่ยงไปทางทิศตะวันตกเล็กน้อย (N-S ถึง NNW-SSE) ของการวางตัว, แนวริ้วขนาน (Foliation) และโครงสร้างแนวเส้น (Lineation) ของขั้นการแตกเปราะแบบทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle phase) ที่เกิดขึ้นภายในแต่ช่วงขั้นของการยกตัว (Uplift) ยังไม่ชัดเจน Morley และคณะ (Morley et al., 2007) กับ Smith และคณะ (Smith et al., 2007) ได้แปลผลขั้นการยกตัวของชัชนาทดูละเอียดว่าสัมพันธ์กับการกลับทิศของแอ่งย่อยลาฮาน (Lahan sub-basin) ของแอ่งพิฆณโลก การอัด (Compression) ในแนวตะวันออก-ตะวันตก (E-W) ของลาฮานกราเบน (Lahan graben) ส่งผลกระตุ้นต่อชัชนาท รวมถึงรอยเลื่อนแนวระดับแบบทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral strike-slip fault) หรือรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (Thrust fault) ด้วยเช่นกัน แต่รอยเลื่อนย้อน (Reverse fault) หรือรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำที่เป็นหลักฐานของการยกตัวที่สำคัญไม่พบในการสำรวจภาคสนาม แต่สามารถพบได้ในแนวสันเขาที่อยู่ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา แต่ก็ไม่สามารถเป็นหลักฐานที่หนักแน่นพอที่จะอธิบายขั้นของการยกตัวของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีได้เนื่องจากในระนาบของรอยเลื่อนแสดงการเคลื่อนที่มีทั้งเป็นรอยเลื่อนปกติและรอยเลื่อนย้อน และยังไม่ทราบอายุโครงสร้างที่แน่ชัด แนวสันเขาข้างเคียงที่มีการวางตัวในแนวเหนือ-ใต้และขนานกัน มีความเป็นไปได้ที่น่าจะถูกควบคุมโดยการแปรสัณฐานในช่วงเวลาเดียวกัน และนอกจากนั้น ระนาบรอยเลื่อนย้อนยังแสดงการเลื่อนยกขึ้นไปทางด้านตะวันออกและด้านตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องเกี่ยวกับช่วงเวลาการเคลื่อนผ่านและอัดกัน (Transpression) ในบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิงอีกด้วย ดังนั้นรอยเลื่อนย้อนที่เกิดในแนวสันเขาใกล้เคียงที่ขนานกันจะถูกนำมาใช้เป็นหลักฐานของการยกตัวของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีในการศึกษานี้

แบบจำลองของรูปแบบโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี (รูป 4.2) มี 2 ขั้นตอน ขั้นแรกเป็นการเกิดการเชื่อมแบบเปราะที่เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่รอยเลื่อนแม่ปิงและส่งผลให้หินท้องที่ (Country rock) ที่เป็นหินไรโอไลต์เกิดเปลี่ยนแปลงลักษณะ ขั้นตอนที่สองเป็นผลต่อเนื่องจากการแปรสัณฐานที่เป็นการเคลื่อนผ่านและอัดกัน (Transpression) ของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงซึ่งน่าจะทำให้เกิดลักษณะปรากฏเป็นแนวสันเขาเหนือ-ใต้ในชัชนาทดูละเอียด รอยเลื่อนย้อน

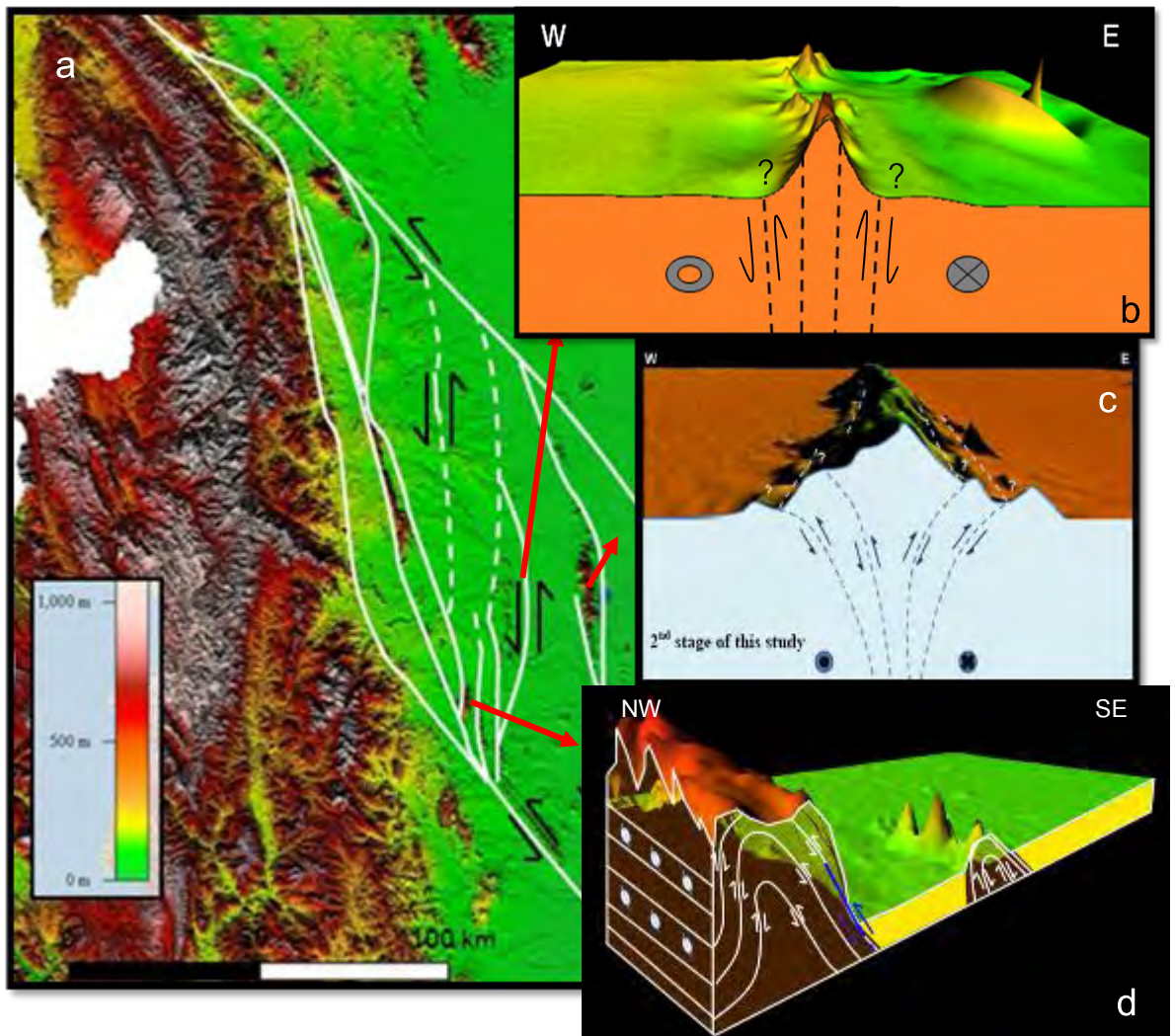
และรอยเลื่อนย้อนนวมุ่มต่ำมีโอกาสอย่างมากที่จะเป็นกลไกสำคัญของกระบวนการการยกตัวของแนวสันเขาต่างๆ ซึ่งแนวสันเขานี้ถูกยกตัวขึ้นภายในชั้นนาทูเพลคที่เป็นคอนแทคชันนอล สไตรล์-สลีป ดูเพลค (Contractional strike-slip duplex) (รูป 4.1)



รูป 4.1 ภาพแสดงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนที่แสดงการแปลความโครงสร้างแนวเส้นในพื้นที่บริเวณนี้เป็นลักษณะของ Contractional strike-slip duplex โดยกรอบสีแดงเป็นพื้นที่ศึกษา (a) เปรียบเทียบกับรูปแบบของการแปรสัณฐานที่เกี่ยวข้องการเคลื่อนที่ในแนวระดับ (b, Cunningham and Mann, 2007 และ c, Woodcock and Fischer, 1985)



รูป 4.2 แบบจำลองของรูปแบบโครงสร้างของแนวส้นเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี โดย (a) ชั้นแรกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (Deformation) เป็นแบบการเฉือนแบบแตกเพราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) และ (b) ชั้นตอนที่สองเป็นการยกตัวในอุดมคติ (Idealized uplift)

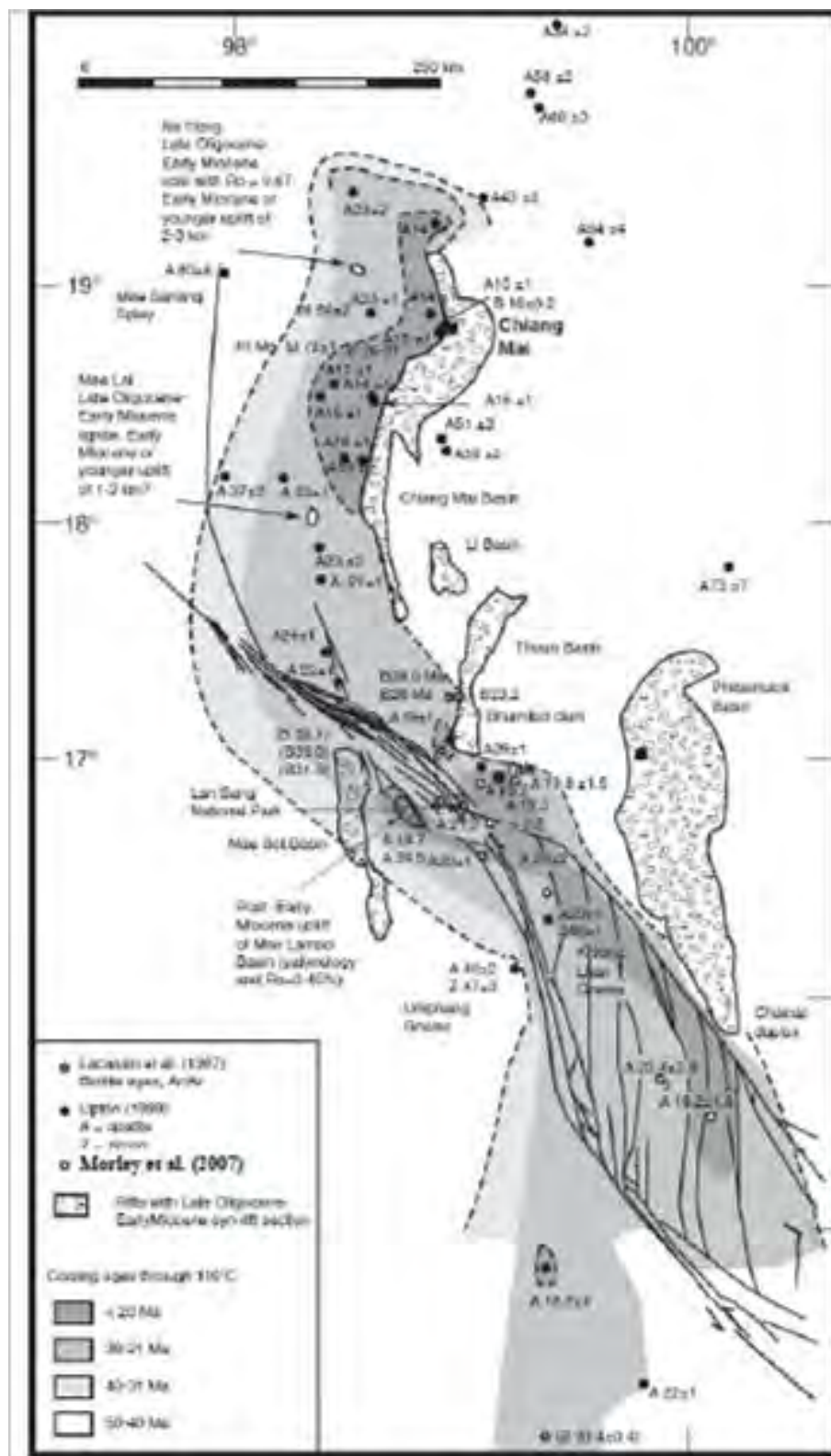


รูป 4.3 ภาพแสงเงาภูมิประเทศ (Hillshade) บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนที่แสดงการแปลความโครงสร้างแนวเส้นในพื้นที่บริเวณนี้เป็นลักษณะของ Contractual strike-slip duplex (a) และเปรียบเทียบกับรูปแบบโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี (b), รูปแบบโครงสร้างของสันเขาอุทัยธานี-นครสวรรค์ (c) (Phasongthum, 2011) และรูปแบบโครงสร้างของแนวสันเขาหินปูนอุทัยธานี (d)

4.3 วิวัฒนาการการแปรสัณฐาน (Tectonics evolution)

แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีแสดงให้เห็นลักษณะการเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ ทวมเข้มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) ที่น่าจะสัมพันธ์กับการแปรสัณฐานแบบเคลื่อนผ่านและอัด (Transpressional tectonic) จากการชนกันระหว่างแผ่นจุลทวีปชานไทยและแผ่นจุลทวีปพม่า ตะวันตก (Morley, 2004) การแปรสัณฐานนี้เป็นผลมาจากการพัฒนาของเขตรอยเลื่อนแม่ปิงและเขตรอยเลื่อนด่านเจดีย์สามองค์ ซึ่งช่วงเวลาการแปรสัณฐานนี้ทำให้แนวสันเขาแนวเหนือ-ใต้ (N-S) ในเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งสามารถมองเห็นได้ข้อมูลระดับความสูง (DEM) เกิดการอัด (Compression) และการยกตัวขึ้น (Uplift) การแปลความโครงสร้างแนวเส้นในการศึกษาครั้งนี้ และจาก Smith และคณะ (Smith et al, 2007) ได้แปลความและอธิบายให้ที่ราบลุ่มแม่น้ำภาคกลางตอนบนของประเทศไทยบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิงเป็นลักษณะของคอนแทรกชันนอล สไตรค์-สลิป ดูเพลค (Contractional strike-slip duplex) (รูป 4.1) อ้างอิงกับรูปแบบของการแปรสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ในแนวระดับของ Cunningham และ Mann, 2007 และ Woodcock และ Fischer, 1985 แต่ช่วงเวลาของการยกตัวยังไม่ชัดเจน เป็นผลจากการไม่พบหลักฐานในการสำรวจภาคสนาม

การศึกษานี้หากเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขา หินไรโอไลต์อุทัยธานีกับแนวสันเขาอื่นๆที่อยู่ข้างเคียง สามารถคาดการณ์โดยประมาณช่วงเวลาของการยกตัวจากข้อมูลธรณีกาลวิทยา (Geochronological data) ของหินแกรนิตในแนวสันเขา ข้างเคียง ข้อมูลธรณีกาลวิทยาบริเวณเขตรอยเลื่อนแม่ปิงนี้ถูกเก็บบันทึกค่าไว้ในงานวิจัยเก่าและงานวิจัยของ Lacassin และคณะ (Lacassin et al, 1997) และของ Morley และคณะ (Morley et al, 2007) ชั้นการยกตัวของชัชนาทดูเพลค สัมพันธ์กับการยกตัวและการกลับทิศของแอ่งย่อยลาฮาน (Lahan sub-basin) (Smith et al, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับอายุการเย็นตัวของแร่แยกนิวเคลียสในอะพาไทต์ (Apatite fission track) (รูป 4.4) ในหินแกรนิตสองบริเวณบนชัชนาทดูเพลค (22.4±2.8 Ma และ 18.2±1.6 Ma) (Morley et al. 2007) และจากการหาอายุโดยใช้ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ อายุการเย็นตัวของไบโอไทต์บ่งบอกถึงการหยุดการเคลื่อนที่แบบทวมเข้มนาฬิกาของรอยเลื่อนแม่ปิงในระหว่าง 33-30 Ma (Lacassin et al., 1997) ดังนั้นชั้นของการยกตัวของสันเขาต่างๆในบริเวณชัชนาทดูเพลค รวมถึงแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีคาดว่าอยู่ช่วงระหว่างสมัยโอลิโกซีน ถึงปลายไมโอซีน และช่วงการเฉือนแบบแตกเปราะทวมเข้มนาฬิกาอาจเริ่มต้นเกิดในช่วงระหว่างยุคปลายไทรแอสซิกไปถึงสมัยปลายโอลิโกซีน (ตาราง 4.1)



รูป 4.4 แผนที่การเย็นตัวอุณหภูมิที่บริเวณตะวันตกเฉียงของประเทศไทย จากข้อมูลงานวิจัยเก่าและข้อมูลรอยแบ่งแยกนิวเคลียสในอะพาไทต์ (Apatite fission track) (Morley et al, 2007)

ตาราง 4.1 แสดงสรุปเหตุการณ์แปรสัณฐาน (Tectonic event) และการเปลี่ยนแปลงลักษณะของแนว
 สันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีบริเวณชั้นนาทดูเพลค (— เวลาที่แน่ชัด, เวลาที่ไม่ชัด)

อายุ (Ages)		แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี	เหตุการณ์แปรสัณฐาน
ควอเทอร์นารี	โฮโลซีน	?	?
	ไพลสโตซีน		
นีโอจีน	ไพลโอซีน	? } การปรากฏของรูปร่างดูเพลค (Occurrence of Duplex geometry)	? } การยกตัว (Uplift) และการกร่อน (Erosion)
	ไมโอซีน		
พาลีโอจีน	โอลิโกซีน	} ขั้นตอนการเฉือนแบบแตก	} การชนกันของแผ่นจุลทวีปชานไทยกับแผ่นจุลทวีปพม่าตะวันตก
	อีโอซีน		
	พาลีโอซีน		
ครีเทเชียส		} เพราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear)	? }
จูแรสซิก			
ไทรแอสซิก		? }	? }
เพอร์เมียน			

บทที่ 5

สรุป (Conclusion)

จากการแปลความโทรสัมผัส การสำรวจภาคสนามและการศึกษาโครงสร้างจุลภาคนำมา รวบรวม, วิเคราะห์ และอธิบายในด้านของลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง และวิวัฒนาการ ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- จากการสำรวจภาคสนาม และการแปลความโทรสัมผัส ที่ราบภาคกลางบริเวณเขตรอย เลื่อนแม่ปิง แสดงหลักฐานที่สัมพันธ์กับโครงสร้างแบบ Contractional strike-slip duplex
- การเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) ส่งผลให้เกิด การเปลี่ยนลักษณะของหินในแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี
- แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีเป็นแนวสันเขาที่มีการเปลี่ยนลักษณะภายใต้สภาวะการ เฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) ซึ่งน่าจะเป็นผล มาจากการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนแม่ปิง
- การเฉือนแบบแตกเปราะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Sinistral brittle shear) อาจเริ่มเกิด ในช่วงปลายของยุคไทรแอสสิกไปจนถึงการหยุดของการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาของรอย เลื่อนแม่ปิงระหว่างช่วงเวลา 30-33 Ma
- รอยเลื่อนย้อน (Reverse fault) และรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (Thrust fault) ไม่สามารถพบใน แนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานี แต่สามารถพบในแนวสันเขาแนวเหนือ-ใต้ ที่อยู่ข้างเคียง โดยหลักฐานจะใช้ในการอธิบายกลไกการยกตัวของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีนี้ ซึ่ง หลักฐานนี้ยังมีความไม่แน่ชัดในเรื่องเวลาของการวิวัฒนาการของแนวสันเขา
- ช่วงเวลาของการยกตัวของแนวสันเขาหินไรโอไลต์อุทัยธานีอาจเทียบเคียงได้กับการยกตัว ของแอ่งเทอร์เชียรีบริเวณรอบเขตรอยเลื่อนแม่ปิง ซึ่งเป็นช่วงระหว่างปลายโอลิโกซีนถึงปลาย ไมโอซีน

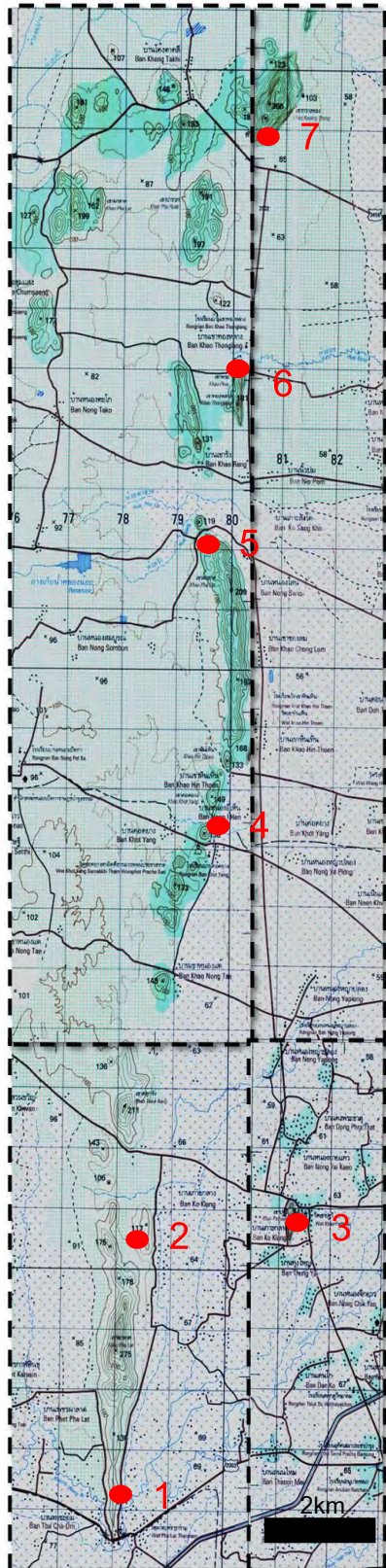
เอกสารอ้างอิง

- Charusiri, P., Clark, A.H., Farrad, E., Archibald, D., Charusiri, B., 1993. Granite belts in Thailand: evidence from the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological and geological syntheses. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*.8, 127-136 pp.
- Charusiri, P., Daorerk, V., Archibald, D., Hisada, K., Ampaiwan, T., 2002. Geotectonic evolution of Thailand: A new synthesis. *Journal of Geological Society, Thailand*, 1, 1-20 pp.
- Cunningham, W.D. and Mann, P., 2007. Tectonic of strike-slip restraining and releasing bends. In: Cunningham, W.D., Mann, P. (Eds.), *Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends. Geological Society, London, Special Publications* 290, 1–12 pp.
- Department of Mineral Resources., 1976. *Geological map of Thailand*, sheet Changwat Nakhorn Sawan, ND47-3, scale 1:250,000.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences* 20, 353-434 pp.
- Lacassin, R., Maluski, H., Leloup, P.H., Tapponnier, P., Hinthong, C., Siribhakdi, K., Chauviroj, S., Charoenravat, A., 1997. Tertiary diachronic extrusion and deformation of western Indochina: Structure and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence from NW Thailand. *Journal of Geophysics, Research*, 102 (B5), 10013-10037 pp.
- Morley, C.K., 2002. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia. *Tectonophysics* 347, 189-215 pp.
- Morley, C.K. 2004. Nested strike-slip duplexes, and other evidence for Late Cretaceous–Palaeogene transpressional tectonics before and during India–Eurasia collision, in Thailand, Myanmar and Malaysia. *Journal of the Geological Society, London*, 161, 799–812 pp.
- Morley, C.K., Smith, M., Carter, A., Charusiri, P. and Chantraprasert, S., 2007. Evolution of deformation styles at a major restraining bend, constraints from cooling

- histories, Mae Ping fault zone, western Thailand. In: Cunningham, W.D., Mann, P. (Eds.), Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends. *Journal of the Geological Society, London, Special Publications* 290, 325–349 pp.
- 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.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. Microtectonics, 2nd edn. *Springer-Verlag*, Heidelberg, Berlin.
- Sabins, F.F., 1996. Remote sensing: principles and interpretation, 3rd edn. W.H. Freeman and Co., New York.
- Smith, M., Chantraprasert, S., Morley, C.K. and Cartwright, I., 2007. Structural geometry and timing of deformation in the Chainat duplex, Thailand. In: Cunningham, W.D., Mann, P. (Eds.), Tectonics of Strike-slip Restraining and Releasing Bends. *Journal of the Geological Society, London, Special Publications*, 290, 305–323 pp.
- 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, 115-157 pp.
- Woodcock, N.H. and Fischer, M. 1985. Strike-slip duplexes, *Journal of the Structural Geology*. V.8, 725–735 pp.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก: จุดศึกษา



ชื่อจุดศึกษา (Locations name)

- จุดศึกษาที่ 1 วัดผาลาด (Wat Pha Lat)
- จุดศึกษาที่ 2 บ้านเกาะกลาง (Ban Ko Klang)
- จุดศึกษาที่ 3 วัดเขาปฐวี (Wat Khao Pathavi)
- จุดศึกษาที่ 4 เขาคอดยาง (Khao Khot Yang)
- จุดศึกษาที่ 5 เขาผาลาด (Khao Pha Lat)
- จุดศึกษาที่ 6 เขาพระ (Khao Phra)
- จุดศึกษาที่ 7 เขากวางทอง (Khao Kwang Thong)

รูป 5 แสดงบางส่วนของแผนที่ภูมิศาสตร์ ลำดับชุด L7018 ระวัง 4940 III มาตรฐาน 1: 50,000 กิ่งอำเภอชุมตาบง ประเทศไทย (ภาพซ้ายบน), ลำดับชุด L7018 ระวัง 4940 II มาตรฐาน 1: 50,000 อำเภอสว่างอารมณ์ ประเทศไทย (ภาพขวาบน), ลำดับชุด L7018 ระวัง 4939 IV มาตรฐาน 1: 50,000 อำเภอลานสัก ประเทศไทย (ภาพซ้ายล่าง), ลำดับชุด L7018 ระวัง 4939 I มาตรฐาน 1: 50,000 อำเภอหนองฉาง ประเทศไทย (ภาพขวาล่าง) และตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลพื้นที่ในภาคสนาม (จุดสีแดง)

ภาคผนวก ข: ข้อมูลที่วัดเก็บค่าจากการสำรวจภาคสนาม

โครงสร้างรีขนาน (Foliation): แนวระดับ (Strike)/มุมเท (Dip) (จุดศึกษาที่)

344/49(1)	000/38(1)	341/67(2)	000/74(3)	339/54(4)	358/66(5)	345/75(6)	024/40(7)
346/56(1)	010/45(1)	338/58(2)	180/59(3)	012/68(4)	005/77(5)	348/83(6)	028/47(7)
352/54(1)	008/35(1)	310/74(2)	178/60(3)	345/59(4)	025/80(5)	350/80(6)	020/50(7)
359/38(1)	340/40(1)	345/35(2)	190/58(3)	350/55(4)	010/73(5)	355/79(6)	025/35(7)
010/45(1)	350/63(1)	190/75(2)	004/57(3)	348/65(4)	349/63(5)	345/65(6)	030/48(7)
002/35(1)	355/34(1)	183/70(2)	004/57(4)	340/71(4)	355/55(5)	340/77(6)	035/50(7)
358/40(1)	354/60(2)	045/65(2)	008/71(4)	341/75(4)	348/69(5)	349/75(6)	018/43(7)
348/63(1)	000/54(2)	179/42(3)	349/61(4)	040/50(4)	350/75(5)	350/80(6)	
355/34(1)	345/74(2)	013/67(3)	355/77(4)	035/50(4)	002/71(5)	350/81(6)	
338/63(1)	351/69(2)	015/85(3)	290/74(4)	025/55(4)	348/71(6)	025/47(7)	
015/41(1)	358/73(2)	008/70(3)	090/80(4)	005/78(5)	351/78(6)	020/50(7)	
354/49(1)	340/85(2)	358/68(3)	180/80(4)	354/84(5)	359/79(6)	023/37(7)	
346/60(1)	339/58(2)	002/72(3)	344/63(4)	356/60(5)	339/69(6)	035/38(7)	
352/54(1)	347/81(2)	010/82(3)	012/40(4)	359/75(5)	340/70(6)	030/45(7)	

ทั้งหมด 105 ค่า

โครงสร้างระนาบรอยเลื่อน (Fault plane): แนวระดับ (Strike)/มุมเท (Dip) (จุดศึกษาที่)

002/80(1)	358/82(1)	340/85(2)	205/84(4)	190/80(4)	150/60(6)	085/65(6)	088/58(6)
353/85(1)	325/80(2)	030/70(2)	195/80(4)	170/70(4)	160/65(6)	078/60(6)	
001/81(1)	180/75(2)	020/70(2)	185/65(4)	140/60(4)	080/71(6)	083/70(6)	

ทั้งหมด 22 ค่า

โครงสร้างแนวเส้นรอยเลื่อน (Striation): แนว (Trend)/พลงันจ์ (Plunge) (จุดศึกษาที่)

358/20(1)	354/18(1)	178/15(2)	205/35(4)	220/45(4)	345/75(6)	175/77(6)	175/80(6)
345/18(1)	170/20(2)	215/18(2)	225/32(4)	350/74(4)	352/70(6)	180/75(6)	
355/15(1)	170/10(2)	200/20(2)	210/40(4)	355/75(4)	170/81(6)	169/68(6)	

ทั้งหมด 22 ค่า

โครงสร้างแนวแตก (Joint): แนวระดับ (Strike)/มุมเท (Dip) (จุดศึกษาที่)

245/56(1)	045/45(1)	216/73(2)	295/75(2)	063/37(3)	233/78(4)	230/80(5)	240/64(6)
260/75(1)	051/81(1)	010/65(2)	293/79(2)	145/55(3)	340/60(4)	145/65(5)	240/55(6)
246/82(1)	050/45(1)	010/68(2)	295/81(2)	150/62(3)	020/80(4)	220/80(5)	079/65(6)
251/77(1)	041/45(1)	015/65(2)	115/73(2)	150/55(3)	350/74(4)	044/80(5)	238/62(6)
240/80(1)	080/40(1)	020/68(2)	295/80(2)	265/75(3)	348/69(4)	045/75(5)	248/78(6)
250/79(1)	031/54(1)	020/50(2)	294/78(2)	062/62(3)	010/58(4)	256/69(6)	250/50(7)
270/75(1)	080/40(1)	013/58(2)	280/72(2)	058/62(3)	231/89(5)	080/80(6)	210/40(7)
235/78(1)	060/37(1)	015/78(2)	285/75(2)	258/46(4)	141/65(5)	081/78(6)	228/60(7)
250/38(1)	150/55(1)	015/63(2)	283/70(2)	300/60(4)	210/85(5)	239/63(6)	045/50(7)
254/71(1)	142/62(1)	139/88(2)	281/82(2)	060/60(4)	035/80(5)	240/50(6)	075/40(7)
248/56(1)	150/60(1)	159/89(2)	271/72(2)	355/58(4)	275/77(5)	250/60(6)	040/76(7)
250/75(1)	150/82(1)	295/81(2)	275/77(2)	075/42(4)	287/70(5)	085/66(6)	250/55(7)
256/77(1)	156/45(1)	115/73(2)	055/62(3)	330/35(4)	058/65(5)	090/70(6)	217/45(7)
238/80(1)	145/45(1)	260/69(2)	045/45(3)	049/60(4)	215/80(5)	070/70(6)	220/65(7)
234/73(1)	150/82(1)	306/71(2)	050/81(3)	023/73(4)	074/87(5)	255/70(6)	045/52(7)
268/75(1)	240/80(2)	300/76(2)	038/54(3)	025/76(4)	325/75(5)	078/80(6)	070/40(7)
270/70(1)	240/75(2)	310/68(2)	046/66(3)	030/75(4)	270/77(5)	075/68(6)	081/60(7)
051/62(1)	002/60(2)	290/80(2)	070/40(3)	013/74(4)	269/77(5)	080/78(6)	058/72(7)

ทั้งหมด 144 ค่า