

โครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินแปรบริเวณบ้านวังสมบูรณ์ อำเภอวังสมบูรณ์ จังหวัดสระแก้ว

นายวัชรพล สีสายนอก

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GEOLOGICAL STRUCTURES OF METAMORPHIC ROCKS AT BAN WANG SOMBUN,
AMPHOE WANG SOMBUN, CHANGWAT SA KAEO

Mr. Watcharapol Seeyangnok

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

วันที่ส่ง

...../...../.....

วันที่อนุมัติ

...../...../.....

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชัย จุฑะโกสิทธิ์กานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หัวข้องานวิจัย : โครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินแปรบริเวณบ้านวังสมบูรณ์ อำเภอวังสมบูรณ์
จังหวัดสระแก้ว

ผู้ทำการวิจัย : นายวัชรพล สียงนอก รหัสประจำตัวนิสิต : 5532736423

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชัย จุฑะโกสิทธานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์

ภาควิชา : ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา : 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในระดับมหัศจรรย์และระดับจุลภาคของหินโผล่ที่เป็นหินแปรในบริเวณป้อมน้ำมันบางจาก ริมถนนทางหลวง 317 บ้านวังสมบูรณ์ อำเภอวังสมบูรณ์ จังหวัดสระแก้ว ซึ่งหินโผล่บริเวณจุดศึกษาเป็นส่วนหนึ่งในหน่วยหินเขาแหลม (Chutakositkanon, 2004 และ Chutakositkanon and Hisada, 2008) ในหน่วยหินชั้นซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างภาพวาดเชิงมโนทัศน์ของวิวัฒนาการการเกิดธรณีโครงสร้างในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาธรณีโครงสร้างระดับมหัศจรรย์ หินโผล่ในบริเวณป้อมน้ำมันบางจาก พบรูปร่างวางตัวในแนว NW-SE และมีสายแร่ควอตซ์สองชุด ชุดแรกวางตัวขนานไปกับแนวรูกว้าง มีตัวบ่งชี้ทิศทาง การเลื่อนแสดงการเลื่อนตัวแบบขวาเข้า ชุดที่สอง (อายุน้อยกว่า) วางตัวตัดกับแนวรูกว้าง และไม่พบหลักฐานการเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยการเฉือน รอยแตกที่พบในหินโผล่ปรากฏในแนว ENE-WSW และแนว NE-SW ซึ่งมีการตัดผ่านสายแร่ควอตซ์ทั้งสองชุด บางแนวรอยแตกแสดงการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า แต่ส่วนใหญ่ไม่พบการเลื่อนตัว

สำหรับการศึกษาธรณีโครงสร้างระดับจุลภาค พบลักษณะเม็ดแร่ควอตซ์ในรูกว้างมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยแรงเฉือนบริสุทธิ์ ส่วนแร่ควอตซ์ที่อยู่ในสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองไม่พบลักษณะการเปลี่ยนแปลง และจากการศึกษาทางสัณฐานวิทยาและการวิเคราะห์ทางธรณีเคมี พบแร่ประกอบหินส่วนใหญ่ ได้แก่ ควอตซ์ มัสโคไวท์และอิลไลต์

ข้อมูลใหม่ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลได้ว่า หินแปรในพื้นที่ศึกษา อยู่ในที่ลึกและแสดงสภาพแบบยึดหยุ่น เมื่อมีแรงบีบอัดในแนว NE-SW ที่เป็นแรงเฉือนแบบทั่วไปที่มีแรงเฉือนแบบบริสุทธิ์เด่นทำให้หินตั้งเดิม (อายุเพอร์เมียน) และแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะแสดงตัวบ่งชี้ทิศทาง การเฉือนแบบขวาเข้าและแปรสภาพในระดับพรีไนท์-พัมเพลลิไต์ตอนบนถึงกรีนชีสต์ตอนล่าง ต่อมาเกิดการแทรกตัดขึ้นมาของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง โดยตัดผ่านรูกว้างและสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งหลังจากการบีบอัดแบบเฉือนสิ้นสุดแล้ว ซึ่งคาดว่าสัมพันธ์กับการเลื่อนตัวแบบย้อนมุมต่ำของหน่วยหินเขาแหลมขึ้นมาในช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหน่วยหินชั้นซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสสิกถึงยุคไทรแอสสิกตอนต้น และในท้ายที่สุด เมื่อหินในพื้นที่ศึกษาเกิดการยกตัวขึ้นมาอยู่ในระดับแตกหัก การเลื่อนตัวในแนวระดับแบบขวาเข้าในแนว N-S ทำให้เกิดรอยแตกแบบไรเดียมเชียร์และบางรอยแตกเกิดการเคลื่อนแบบซ้ายเข้า

คำสำคัญ : หินแปรบ้านวังสมบูรณ์, หน่วยหินเขาแหลม, หน่วยหินชั้นซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี

Title: GEOLOGICAL STRUCTURES OF METAMORPHIC ROCKS AT BAN WANG SOMBUN,
AMPHOE WANG SOMBUN, CHANGWAT SA KAEO

Researcher: Mr. Watchapol Seeyangnok **Student ID:** 5532736423

Advisor: Asst. Prof. Dr. Vichai Chutakositkanon

Co-advisor: Asst. Prof. Dr. Pitsanupong Kanjanapayont

Department: Geology

Academic Year: 2015

Abstract

This senior project is to study geological structures in meso and microscopic scale of metamorphic rocks which are located at Bangchak Gas Station on the Highway 317 Amphoe Wang Sombun, Changwat Sa Kaeo. Outcrops in the study area are blocks in Khao Lheam Unit which is a part of Sa Kaeo-Chantaburi Accretionary Complex (Chutakositkanon, 2004; Chutakositkanon and Hisada, 2008). The purposes of this study are to understand and construct the conceptual model of structural evolution of metamorphic rocks in the study area.

From the mesoscopic scale, four geological structures are shown in outcrops. To illustrate, NW-SE foliations, Quartz I which is parallel with foliations shows dextral shear senses, Quartz II which cut through foliations lacks in shear senses. At last, ENE-WSW and NE-SW fractures cut through foliations, Quartz I and II. Some fractures show the sinistral movements while mostly do not show senses of movement.

From the microscopic scale, longitudinal axes of quartz in foliations are parallel with main foliations but these evidences are not shown in Quartz II. The result of rock-forming mineral classification in petrography and analytical geochemistry are quartz, muscovite and illite.

The new data from this study can be interpreted as following. Stage I, this metamorphic rock block in ductile stage (deeper) and was deformed by the NE-SW compressional stress and showed as NW-SE foliation and dextral shear sense in Quartz I. This deformation is in Upper Prehnite-Pumpellyite to Lower Greenschist. Stage II, this block was in brittle stage (shallower), the ENE-WSW compressional stress caused the opening fractures and was filled by quartz II. Finally, Stage III the N-S dextral movement caused the Riedel shear fractures in this block and some fractures show the sinistral movement.

Keywords: Metamorphic rock at Ban Wang Sombun, Khao Lheam Unit, Sa Kaeo-Chantaburi Accretionary Complex

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย จุฑะโกสิทธิ์กานนท์ (อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย) และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์ (อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม) ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และการดูแลเอาใจใส่ตลอดตั้งแต่ออกภาคสนาม เก็บข้อมูล เตรียมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล ตลอดจนทำรายงานเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณดร.สรารุช จันทระประเสริฐ (นักธรณีวิทยาอาวุโส บริษัทปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)) ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการสรุปผลการศึกษา และอาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาลัม ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการระบุชนิดแร่องค์ประกอบหิน

ขอขอบคุณคุณสุริยะ โชคเหมาะ คุณบรรจง พวงทองและคุณจิระประภา เนียมปาน ที่ให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือปฏิบัติการต่างๆ และขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ สถานที่และห้องปฏิบัติการในการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ช่วยออกภาคสนาม นายธนประเสริฐ เตชะวงศ์และนายกานต์กวี นิลสิทธิกุล ผู้ช่วยจัดการข้อมูล นางสาววารภรณ์ คำไพเราะ และขอขอบคุณนิสิตธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคนโดยเฉพาะเพื่อนๆ นิสิตธรณีวิทยา รุ่นที่ 56 ที่คอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1: บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 พื้นที่ศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.7 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	4
บทที่ 2: เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3: ผลการศึกษา.....	9
3.1 ลักษณะทางกายภาพของหินโผล่.....	9
3.2 ลักษณะทางธรณีโครงสร้างระดับมหัณมิภาคของหินโผล่.....	10
3.2.1 ริวขนาน.....	11
3.2.2 ตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือน.....	12
3.2.3 สายแร่ควอตซ์.....	12
3.2.4 แนวรอยแตก.....	16
3.3 ลักษณะทางธรณีวิทยาในระดับจุลภาคของหินโผล่.....	16
3.3.1 ริวขนาน.....	16
3.3.2 การเปลี่ยนลักษณะของแร่.....	19
3.3.3 ธรณีโครงสร้างระดับจุลภาค.....	19
3.4 การวิเคราะห์ทางธรณีเคมี.....	24
บทที่ 4: วิเคราะห์ผลการศึกษา.....	25
4.1 ลำดับการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยา.....	25
4.1.1 ระยะเวลาที่หนึ่ง.....	25
4.1.2 ระยะเวลาที่สอง.....	26
4.1.3 ระยะเวลาที่สาม.....	26
4.2 ผลการวิเคราะห์แถบโค้งมุมแหลม.....	27
4.3 ผลการวิเคราะห์ร่องรอยประกอบหินทางศิลาวรรณนาและทางธรณีเคมีด้วยวิธี XRD.....	27
4.4 ภาพวาดเชิงมโนทัศน์แสดงลำดับการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา.....	30

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5: อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา.....	33
5.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	33
5.2 สรุปผลการศึกษา.....	36
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง.....	38

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูป 1.1 พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 317 โดยหมุดสีแดงแสดงตำแหน่งของหินโผล่: จุดศึกษาที่ 1 (1) จุดศึกษาที่ 2 (2) จุดศึกษาที่ 3 (3) หินเชิร์ต (C) และหินบะซอลต์ (B).....	2
รูป 1.2 ภาพหินโผล่ในพื้นที่ศึกษา (คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร) ขนาดหินโผล่ 2x7 ตารางเมตร (กว้างxยาว)....	2
รูป 1.3 ภาพหินโผล่ในพื้นที่ศึกษา (คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร).....	3
รูป 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยแสดงตำแหน่งแผ่นธรณีภาคต่างๆ กรอบสีแดงแสดงพื้นที่ซับซ้อนพอกพูน สระแก้ว-จันทบุรี (Ueno and Charoentitirat, 2010).....	6
รูป 2.2 A แผนที่ธรณีวิทยาแสดงหน่วยหินบริเวณ SKCB-AC (Chutakositkanon, 2004), B กระบวนการแปร สัณฐานบริเวณ SKCB-AC (Ueno and Charoentitirat, 2010).....	7
รูป 2.3 A แผนที่แสดงรอยเลื่อนแนวระดับ (เส้นสีดำ) (ดัดแปลงจาก Ridd, 2012), B แผนที่ธรณีวิทยาแสดง แนวทั้ง 6 แนวบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Ridd, 2012).....	8
รูป 3.1 ภาพร่างหินโผล่ คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร (เส้นสีดำ = ริวขนาน สีเหลือง = สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง เส้นสีน้ำเงิน = สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง เส้นสีแดง = รอยแตก).....	9
รูป 3.2 A หินโผล่บริเวณจุดศึกษาที่ 2, B จุดศึกษาที่ 3 แถบสเกลในรูปยาวช่องละ 1 เซนติเมตร.....	10
รูป 3.3 A ริวขนานที่แสดงในหินโผล่, B หน้าตัดของตัวอย่างหินที่ตัดตั้งฉากกับระนาบริวขนาน.....	10
รูป 3.4 A-B ภาพถ่ายมิคิเตอร์ไอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของริวขนาน.....	11
รูป 3.4 C แผนภาพภูทาบแสดงค่าการวางตัวของริวขนาน.....	12
รูป 3.5 A-B และ C-D ลักษณะ mineral fish ของแร่ควอตซ์และรอยแตกที่สัมพันธ์กับแรงเฉือน (เส้นสีแดงใน สายแร่ควอตซ์) ในแร่ควอตซ์แสดงลักษณะการเฉือนแบบขวาเข้า, E-F ลักษณะ fold asymmetry ของแร่ ควอตซ์แสดงลักษณะการเฉือนแบบขวาเข้า, G-H ลักษณะ δ - object ของแร่ควอตซ์แสดงลักษณะการหมุน ของแร่ควอตซ์ขณะที่เกิดการเฉือนแบบขวาเข้า ลูกศรสีเทาแสดงการหมุนของแร่ควอตซ์.....	13
รูป 3.6 การกระจายตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองที่ตัดแนวริวขนาน (เส้นสีดำ = ริวขนาน เส้นสีน้ำเงิน = สาย แร่ควอตซ์ชุดที่สอง เส้นสีแดง = รอยแตก).....	14
รูป 3.7 A ภาพถ่ายมิคิเตอร์ไอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง.....	14
รูป 3.7 B ภาพถ่ายมิคิเตอร์ไอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง, C แผนภาพภูทาบแสดงค่าการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง.....	15
รูป 3.8 A-B ลักษณะแนวรอยแตกที่ตัดผ่านสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง, C-F ลักษณะการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า, G-H ลักษณะการตัดกันของแนวรอยเลื่อนเป็นรูปตัวที (T-intersection) (เส้นสีดำ = ริวขนาน สีเหลือง = สาย แร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง สีน้ำเงิน = สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง เส้นสีแดง = รอยแตก).....	17
รูป 3.9 A-B ภาพถ่ายมิคิเตอร์ไอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของแนวรอยแตก.....	18
รูป 3.9 C แผนภาพภูทาบแสดงค่าการวางตัวของแนวรอยแตก.....	19
รูป 3.10 A-B แร่ควอตซ์และแร่ไมก้าเรียงตัวตามริวขนานและแกนยาวของแร่ขนานกับแนวริวขนาน, C-D ลักษณะริวขนานแบบ anastosing, E-F สายแร่ควอตซ์ชุดที่สองวางตัวตัดแนวริวขนานและไม่พบการเปลี่ยน ลักษณะของเม็ดแร่ควอตซ์, G-H แนวรอยแตกตัดผ่านริวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง A, C, E, G (XPL) B, D, F, H (PPL)	20
รูป 3.11 A-D ริวขนานแสดงโครงสร้างคดโค้งแบบ close fold หรือแบบ class 2 (Ramsay, 1967), E-H ริว ขนานแสดงแถบโค้งมุมแหลม A, C, E, G (XPL) B, D, F, H (PPL)	21
รูป 3.12 A รูปแสดงมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับริวขนานข้างนอก (α) มุมระหว่างแกนแถบโค้งมุม แหลมกับริวขนานข้างใน (β) และมุมระหว่างริวขนานข้างนอกกับริวขนานข้างใน (κ), B ตำแหน่งของมุมต่างๆ บนแผ่นหินขัดบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (PPL)	22

เรื่อง	หน้า
รูป 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรีวขนานข้างนอก (α) และมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรีวขนานข้างใน (β) พบว่าส่วนใหญ่ค่ามุม α มากกว่า β	22
รูป 3.14 แผนภาพรูปสามเหลี่ยมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรีวขนานข้างนอก (α) มุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรีวขนานข้างใน (β) และมุมระหว่างรีวขนานข้างนอกกับรีวขนานข้างใน (κ)	23
รูป 3.15 ผลการวิเคราะห์ทางธรณีเคมีด้วยเครื่อง XRD.....	24
รูป 4.1 ตารางสรุปลำดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินในพื้นที่ศึกษาในระยะต่างๆ.....	28
รูป 4.2 การเขียนแบบง่ายตามแกนแถบคดโค้งมุมแหลม.....	29
รูป 4.3 ระดับการแปรสภาพของหินในพื้นที่ศึกษาคาดว่าอยู่ในช่วง Upper Prehnite-Pumpellyite ถึง Lower Greenschist.....	29
รูป 4.4 ภาพวาดเชิงนโมทัศน์แสดงวิวัฒนาการของโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา ระยะก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (A) และระยะที่หนึ่งเอ (B).....	30
ระยะที่หนึ่งบี (C) และระยะที่สอง (D).....	31
ระยะที่สาม (E).....	32
รูป 5.1 ตำแหน่งของบล็อกหินแปรเกรดต่ำ (พื้นที่ศึกษา) ในหน่วยหินเขาแหลมขณะเกิดการเคลื่อนที่ย้อนมุมต่ำแบบเฉียงในระยะที่หนึ่ง (I) และระยะที่สอง (II) (วงรีสีน้ำเงินแทนสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง).....	34
รูป 5.2 A ทิศทางของความเค้นมากที่สุด (ลูกศรสีดำ) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะที่หนึ่งเอ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ย้อนมุมต่ำแบบเฉียงของหน่วยหินเขาแหลมในทิศ NE-SW (ลูกศรเส้นประ), B ทิศทางความเค้นมากที่สุดที่ทำให้เกิดรอยแตกแบบเปิดและมีสายแร่ควอตซ์จากหินแกรนิตยุคโทรแอสสิกตอนปลาย (สีแดง) มาสะสมตัว.....	34
รูป 5.3 A แผนที่แสดงแนวรอยเลื่อนบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Ridd, 2012) กรอบสี่เหลี่ยมคือบริเวณพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีที่ถูกขนาบโดยรอยเลื่อนแม่ปิง (MPF) และรอยเลื่อนท่าใหม่ (TMF), B การเลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงทำให้เกิดรอยเลื่อนย่อยในทิศ N-S (เส้นประสีแดง) และการเลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนย่อยทำให้เกิดรอยแตกแบบไรเดิลเซียร์ในพื้นที่ศึกษา.....	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยเกิดจากการชนกันของแผ่นธรณีภาคขนาดใหญ่ 2 แผ่น คือ แผ่นไซบิวมาซู ทางด้านตะวันตกและแผ่นอินโดจีน ทางด้านตะวันออก โดยมีแนวภูเขาไฟคดโค้งสุโขทัยอยู่ระหว่างแผ่นธรณีภาคทั้งสอง ผู้ที่ทำการศึกษามาก่อนเชื่อว่า แผ่นธรณีภาคทั้งสองชนกันสนิทในช่วงอายุไทรแอสซิกตอนกลาง โดยการชนกันของแผ่นธรณีภาคทำให้เกิดเป็นแนวตะเข็บธรณีต่างๆ มากมาย (Ueno, 1999; Sone et al., 2012; Metcalfe., 2013)

Chutakositkanon (2004) และ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้ศึกษาหน่วยหินพอกพูนซับซ้อนบริเวณจังหวัดสระแก้วและจันทบุรี และได้แบ่งหน่วยหินบริเวณนี้ออกเป็น 5 หน่วยหินวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ เรียงจากเหนือลงใต้ได้ดังนี้ หน่วยหินเขาปริก หน่วยหินเขาแหลม หน่วยหินบ้านหนองบอน และหน่วยหินสอยดาว มีอายุในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลายถึงยุคไทรแอสซิกตอนต้น โดยมีหน่วยหินโป่งน้ำร้อนซึ่งมีอายุไทรแอสซิกตอนกลางปิดทับทั้ง 4 หน่วยหิน และมีหินแกรนิตอายุไทรแอสซิกตอนปลายแทรกดันผ่านหน่วยหินโป่งน้ำร้อนขึ้นมา

หน่วยหินเขาแหลมในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนบริเวณจังหวัดสระแก้ว-จันทบุรี มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินเมลาไนต์ที่ประกอบด้วยหินเชิร์ตสีแดง หินปูน หินบะซอลต์รูปหมอน หินตะกอนภูเขาไฟ และหินเซอร์เพนทีไนต์ จากการพบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียในหินเชิร์ตสีแดงบ่งบอกอายุได้ในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนปลาย (Sashida et al., 1997; Hada et al., 1997) และการพบซากดึกดำบรรพ์ฟิวซิลินิดในหินปูนบ่งบอกอายุในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนปลาย (Fontaine and Salyapongse, 1997; Fontaine et al., 1997; Sashida et al., 1997, 1999)

นอกจากนี้ยังมีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยามากมายในหน่วยหินเขาแหลมในหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนบริเวณจังหวัดสระแก้ว-จันทบุรี เช่น รอยเลื่อน รอยแตกและโครงสร้างแรงเฉือน ซึ่งการศึกษาโครงสร้างเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ทิศทางของแรงกระทำโบราณต่อหินในพื้นที่ได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งหมายในการศึกษาพฤติกรรมและทิศทางของแนวแรงที่ทำให้เกิดธรณีโครงสร้างในพื้นที่ศึกษา รวมไปถึงลำดับขั้นตอนการเกิดธรณีโครงสร้างชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปพฤติกรรมและทิศทางของแนวแรงในการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาแต่ละลำดับในพื้นที่ศึกษาได้

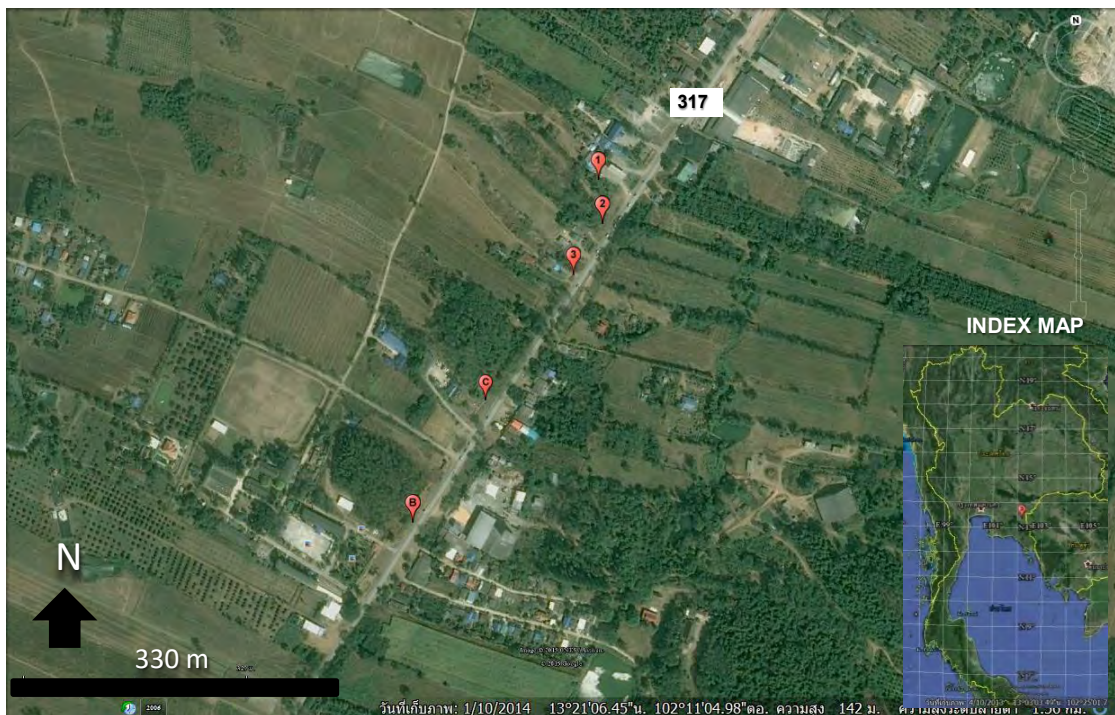
1.2 วัตถุประสงค์

- ศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น รอยเลื่อน รอยแตกและโครงสร้างแรงเฉือน ได้แก่
 - ลักษณะธรณีโครงสร้างระดับมหัศจรรย์และระดับจุลภาค
 - ความสัมพันธ์ของธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด

- สร้างภาพวาดวิวัฒนาการการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาเชิงมโนทัศน์ ได้แก่
 - ลำดับการเกิดธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด
 - ลักษณะการเกิดธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด

1.3 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาหินแปรบริเวณป่าบางจาก ริมถนนทางหลวงหมายเลข 317 พิกัดทางภูมิศาสตร์ $13^{\circ}21'15.0660''\text{N}$ และ $102^{\circ}11'07.4642''\text{E}$ (48P 0195110 1478035) บ้านวังสมบูรณ์ อำเภอวังสมบูรณ์ จังหวัดสระแก้ว (รูป 1.1)



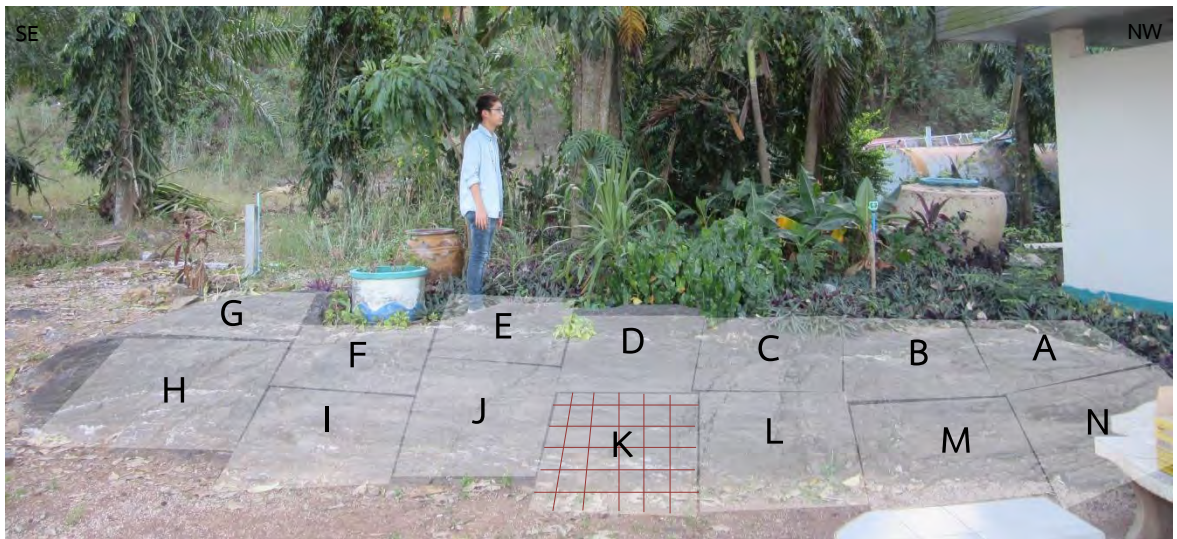
รูป 1.1 พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณริมทางหลวงหมายเลข 317 โดยหมุดสีแดงแสดงตำแหน่งของหินโผล่: จุดศึกษาที่ 1 (1) จุดศึกษาที่ 2 (2) จุดศึกษาที่ 3 (3) หินเชิร์ต (C) และหินบะซอลต์ (B)



รูป 1.2 ภาพหินโผล่ในพื้นที่ศึกษา (คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร) ขนาดหินโผล่ 2x7 ตารางเมตร (กว้างยาว)

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- ศึกษาลักษณะธรณีโครงสร้างระดับมหภาค ได้แก่ รอยเลื่อน รอยแตกและโครงสร้างเฉือนจากหินโผล่ขนาด 2x7 เมตร โดยแบ่งเก็บข้อมูลเป็นบล็อก บล็อกละ 90x90 เซนติเมตร (อักษร A-N) และแต่ละบล็อกแบ่งเป็นช่องเล็กๆ ช่องละ 15x15 เซนติเมตร (ช่องสีน้ำตาล) (ดังรูป 1.3)
- วิเคราะห์ข้อมูลในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบโดยใช้โปรแกรม Rocscience DIPS
- ศึกษาลักษณะธรณีโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์จากแผ่นหินขัดบาง



รูป 1.3 ภาพหินโผล่ในพื้นที่ศึกษา (คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบพฤติกรรมของแรงที่ทำให้เกิดธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด
- ทราบวิวัฒนาการการเกิดธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิธีการศึกษาเบื้องต้น
 - ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา
 - ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณีวิทยา
- สำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลภาคสนามและตัวอย่างหิน
 - สำรวจโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินโผล่ที่เป็นหินแปร บริเวณบึงน้ำมันบางจาก บ้านวังสมบูรณ์ อ.วังสมบูรณ์ จ.สระแก้ว หินโผล่มีพื้นที่ 2x7 ตารางเมตร
 - เก็บค่าทางธรณีโครงสร้างเชิงสถิติ โดยแบ่งพื้นที่หินโผล่ด้วยความละเอียด 15x15 ตารางเซนติเมตร (รูป 1.3)
 - เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งและการวางตัว

- วิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทางธรณีวิทยา
 - จัดทำภาพร่างหินโพลโดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator ครอบคลุมพื้นที่ 2x7 ตารางเมตร
 - วิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีโครงสร้างระดับมัธยมศึกษา เช่น แนวรอยเลื่อน แนวรอยแตก โครงสร้างเอนและสายแร่ เพื่อวิเคราะห์แนวแรงที่ทำให้เกิดธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด โดยกำหนดตำแหน่งในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกราฟฟิกและแผนภาพกุหลาบ
 - วิเคราะห์ข้อมูลทางธรณีโครงสร้างระดับจุลภาคจากแผ่นหินขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์
- อภิปรายและสรุปผลการศึกษา
 - รวบรวมผลการวิเคราะห์ธรณีโครงสร้างมัธยมศึกษาและระดับจุลภาค
 - สร้างภาพวาดเชิงมโนทัศน์แสดงวิวัฒนาการและพฤติกรรมการเกิดธรณีโครงสร้างแต่ละชนิด
 - สรุปผลการศึกษา
- นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปแบบเล่มรายงาน

1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน

รายละเอียดวิธีดำเนินงานวิจัย	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2. สํารวจภาคสนามเพื่อเก็บค่าธรณีโครงสร้างและตัวอย่างหิน										
3. จัดทำภาพร่างหินโพลและวิเคราะห์ข้อมูลธรณีโครงสร้างระดับมัธยมศึกษา										
4. เตรียมแผ่นหินขัดบาง										
5. วิเคราะห์ข้อมูลธรณีโครงสร้างระดับจุลภาค										
6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา										
7. นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรายงาน										

บทที่ 2

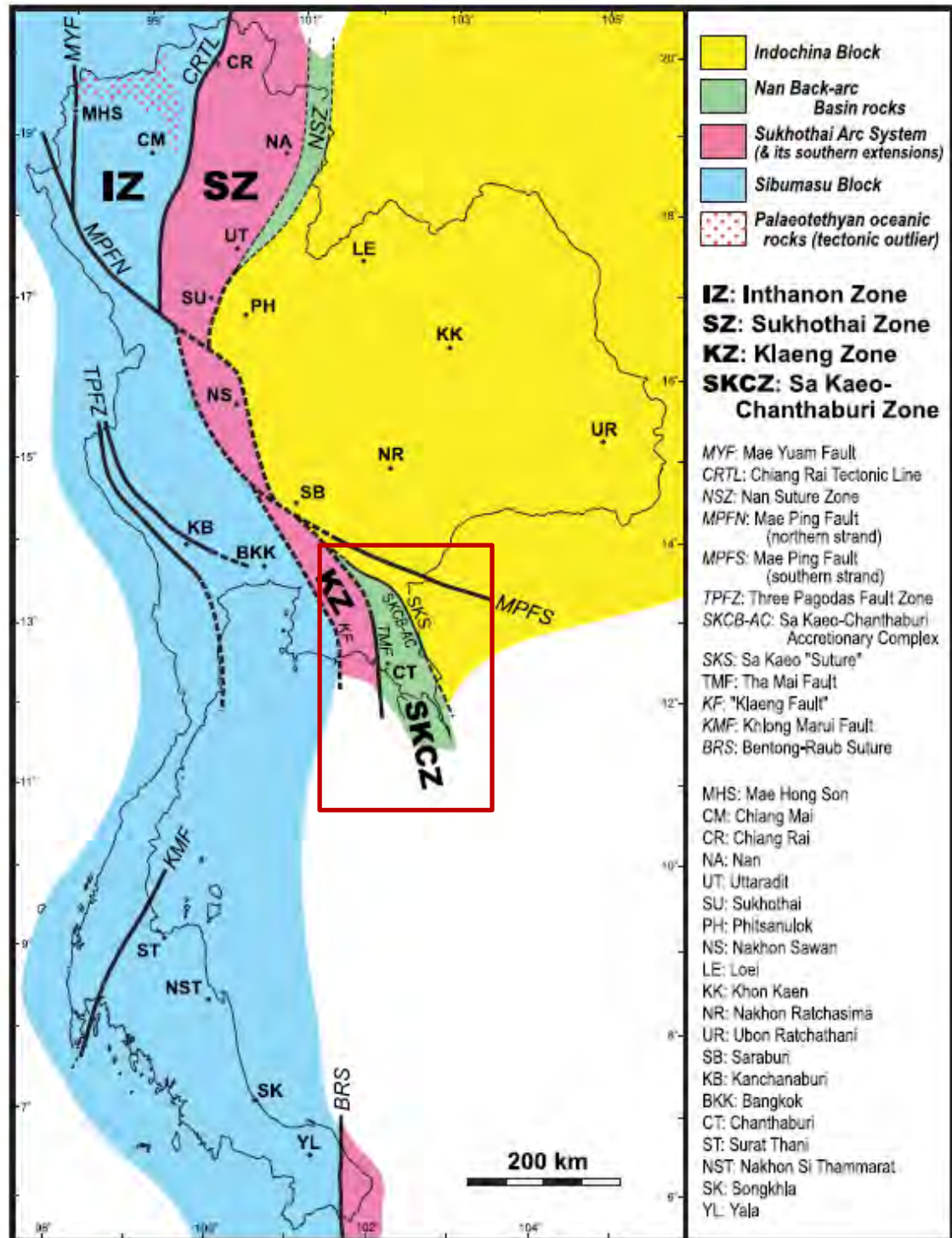
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยเกิดจากการชนกันของแผ่นธรณีภาคขนาดใหญ่ 2 แผ่น ได้แก่ แผ่นไซบุมาชู (Sibumasu) ทางตะวันตกและแผ่นอินโดจีน (Indochina) ทางตะวันออก โดยปรากฏเป็นแนวภูเขาไฟคดโค้งสุโขทัย (Sukhothai Volcanic Arc) ระหว่างแผ่นธรณีภาคทั้งสอง การชนกันระหว่างแผ่นธรณีภาคไซบุมาชูและแนวภูเขาไฟสุโขทัยเกิดรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำทำให้เกิดการซ้อนทับของแผ่นมหาสมุทรเททิสโบราณขึ้นไปบนแผ่นธรณีภาคไซบุมาชูปรากฏเป็นแนวอินทนนท์ (Metcalf, 2013) การชนกันของแผ่นธรณีภาคทำให้เกิดแนวตะเข้บริเวณขึ้นมากมาย เช่น ตะเข้บริเวณน่านและตะเข้บริเวณสระแก้ว ซึ่งเป็นแนวที่เกิดจากการชนกันของแนวภูเขาไฟสุโขทัยและแผ่นธรณีภาคอินโดจีนโดยมีรอยเลื่อนแม่ปิงแบ่งแยกออกเป็น 2 ตะเข้บริเวณ ตะเข้บริเวณที่อยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อนแม่ปิงเรียก *ตะเข้บริเวณน่าน* และ ตะเข้บริเวณที่อยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อนแม่ปิงเรียก *ตะเข้บริเวณสระแก้ว* โดยพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้อยู่บริเวณตะเข้บริเวณสระแก้ว (รูป 2.1)

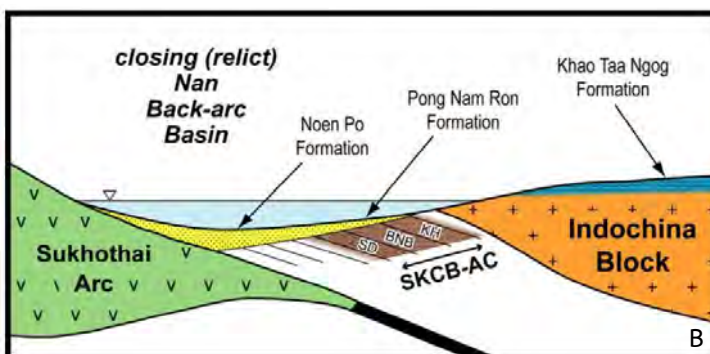
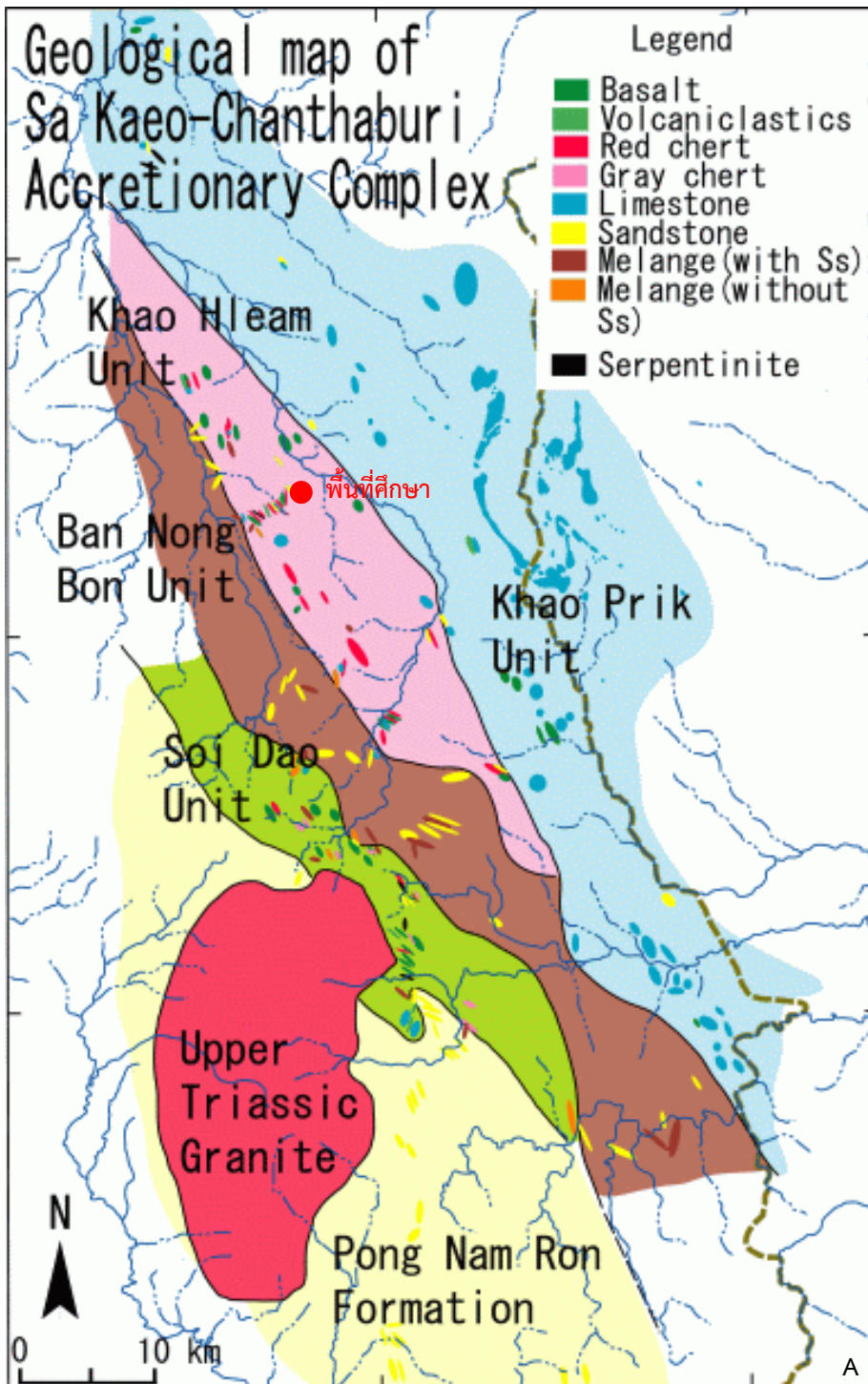
ก่อนการชนกันสนิทของแผ่นธรณีภาคจะมีการมุดตัวของแผ่นมหาสมุทร ซึ่งการมุดตัวของแผ่นมหาสมุทรลงไปได้แผ่นธรณีภาคจะทำให้เกิดหน่วยหินพอกพูนซับซ้อน (accretionary complex) ขึ้น เช่น การชนกันของแผ่นธรณีภาคอินโดจีนกับแนวภูเขาไฟคดโค้งสุโขทัยทำให้แผ่นมหาสมุทรที่อยู่ระหว่างแผ่นธรณีภาคทั้งสองมุดตัวลงไปได้แผ่นธรณีภาคอินโดจีนและเกิดเป็นหน่วยหินพอกพูนซับซ้อนทางตะวันตกของแผ่นธรณีภาคอินโดจีน เรียกว่า หน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Sa Keo-Chantaburi Accretionary Complex, SKCB-AC) (รูป 2.2B)

Chutakositkanon (2004) และ Chutakositkanon and Hisada (2008) ได้ศึกษาหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี และได้แบ่งหน่วยหินบริเวณนี้ออกเป็น 5 หน่วยหิน วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ เรียงจากเหนือลงใต้ได้ดังนี้ หน่วยหินเขาปริก หน่วยหินเขาแหลม หน่วยหินบ้านหนองบอนและหน่วยหินสอยดาว มีอายุในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนปลายถึงยุคไทรแอสสิกตอนต้น โดยมีหน่วยหินโป่งน้ำร้อนซึ่งมีอายุไทรแอสสิกตอนกลางปิดทับทั้ง 4 หน่วยหินดังกล่าว และมีหินแกรนิตอายุไทรแอสสิกตอนปลายแทรกดันผ่านหน่วยหินโป่งน้ำร้อนขึ้นมา (รูป 2.2A) โดยงานวิจัยนี้อยู่ในหน่วยหินเขาแหลม (วงกลมสีแดง รูป 2.2A)

หน่วยหินเขาปริก หน่วยหินเขาแหลม หน่วยหินบ้านหนองบอนและหน่วยหินสอยดาวมีรอยต่อแบบรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำที่มีทิศทางการเอียงเทไปทางทิศตะวันออก (รูป 2.2B) การศึกษา Paleogeothermal Structure ด้วยการวิเคราะห์ค่า Illite Crystallinity (IC) พบว่าค่า IC จากหน่วยหินบ้านหนองบอนมีค่าน้อยกว่าหน่วยหินเขาแหลม บ่งชี้ได้ว่าหน่วยหินบ้านหนองบอนอยู่ในระดับที่ลึกกว่าหน่วยหินเขาแหลม (Hara et al., 2006)



รูป 2.1 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยแสดงตำแหน่งแผ่นธรณีภาคต่างๆ กรอบสีแดงแสดงพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี (Ueno and Charoentitirat, 2010)



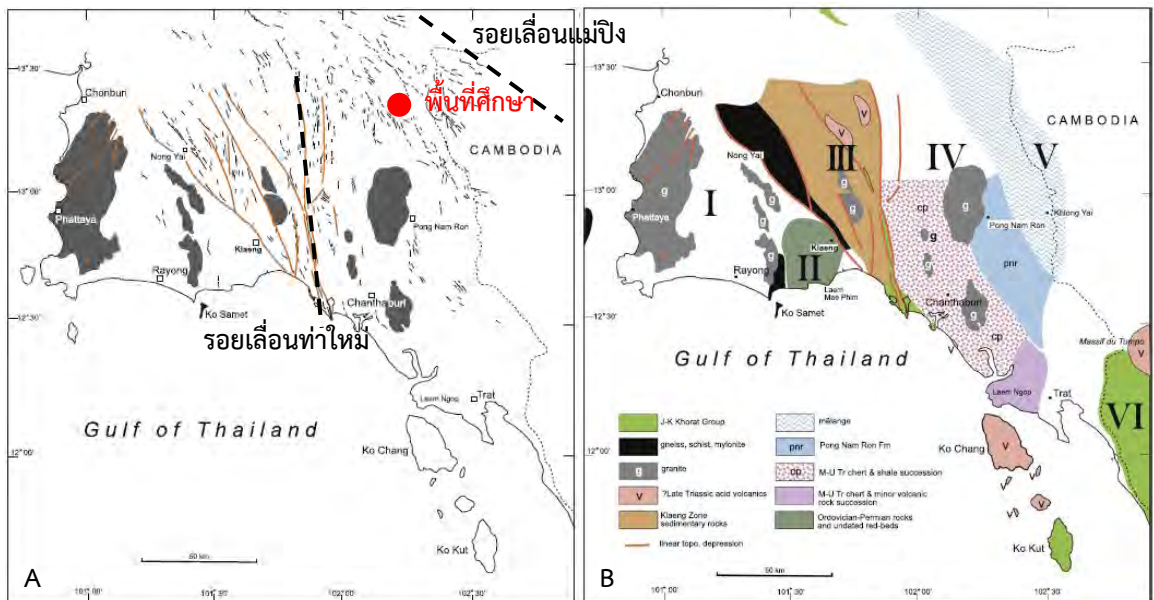
รูป 2.2

A แผนที่ธรณีวิทยาแสดงหน่วยหินบริเวณ SKCB-AC (Chutakositkanon, 2004)

B กระบวนการแปรสัณฐานบริเวณ SKCB-AC (Ueno and Charoentitrat, 2010)

หน่วยหินเขาแหลมประกอบด้วยบล็อกของหินเชิร์ตสีแดง หินปูน หินบะซอลต์รูปหมอน หินตะกอนภูเขาไฟ หินปูนและหินเซอร์เพนไทน์ท์ หน่วยหินนี้แสดงให้เห็นลักษณะของมิลานจ์ เช่น โครงสร้างรอยเลื่อน โครงสร้างเฉือน บางบริเวณโผล่ให้เห็นโครงสร้างเฉือนที่มีบล็อกหินบะซอลต์ หินเชิร์ตและหินปูนในเนื้อหินดินดาน นอกจากนี้มีการพบบล็อกที่เป็นหินทราย หินกรวดมน หินแปรและหินแกรนิตบ้าง (Hada et al., 1997, 1999) การวิเคราะห์ทางเคมีของเศษชิ้นส่วนของ chromian spinel ที่พบในหินตะกอนภูเขาไฟที่เกิดร่วมกับหินบะซอลต์รูปหมอนจากหมวดหินเขาแหลม พบว่าความสัมพันธ์ของ $Fe^{3+} / (Cr+Al+Fe^{3+})$ กับ TiO_2 (Arai, 1992) ระบุได้ว่าแหล่งกำเนิดของ chromian spinel มาจากบริเวณที่เป็น Intraplate Basalt (Chutakositkanon, 2004; Chutakositkanon and Hisada, 2008)

จากการศึกษารอยเลื่อนแนวระดับ (strike-slip fault) บริเวณทางวันตะวันออกของประเทศไทย โดย Michael F. Ridd (2012) แบ่งออกเป็น 6 แนวตามลักษณะของ tectono-stratigraphy (2.3B) บริเวณทุ่งกบินทร์มีลานจ์ (Thung Kabin Mélange ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในหน่วยหินพอกพูนซับซ้อนสระแก้ว-จันทบุรี) อยู่ในแนวที่ V ระหว่างรอยเลื่อนท่าใหม่ทางตะวันตกและรอยเลื่อนแม่ปิงทางตะวันออก (รูป 2.3A) การชนกันของแผ่นธรณีภาคอินเดียกับแผ่นธรณีภาคยูเรเชียส่งผลให้มีความเค้นมากที่สุดใแนว N-S บริเวณประเทศไทย ทำให้รอยเลื่อนที่อยู่ในแนว NW-SE เช่น รอยเลื่อนแม่ปิง เลื่อนตัวแบบขวาเข้า



รูป 2.3

A แผนที่แสดงรอยเลื่อนแนวระดับ (เส้นสีดำ) (ดัดแปลงจาก Ridd, 2012)

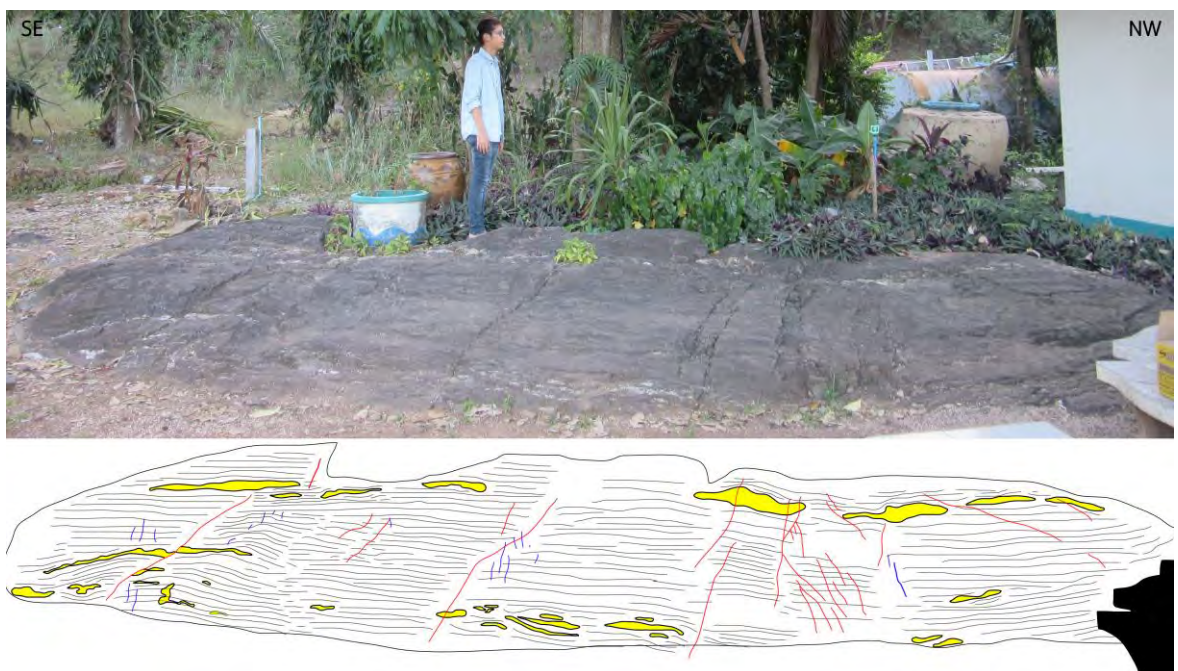
B แผนที่ธรณีวิทยาแสดงแนวทั้ง 6 แนวบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย (Ridd, 2012)

บทที่ 3 ผลการศึกษา

3.1 ลักษณะทางกายภาพของหินโผล่

ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ในพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 2x7 ตารางเมตร หินโผล่ที่พบเป็นหินฟิลไลต์มีลักษณะค่อนข้างผุ สีผุแสดงสีเทาเข้ม-น้ำตาล สีสดแสดงเป็นสีเทา แสดงแถบชั้นของริ้วขนานชัดเจน ไม่สามารถระบุชนิดของแร่องค์ประกอบหินในภาคสนามได้ชัดเจน แต่คาดว่าน่าจะประกอบด้วยตะกอนขนาดละเอียด อาจเป็นแร่ควอตซ์ผลึกเล็กและแร่ดิน มีสายแร่ควอตซ์สองชุดแสดงในหินโผล่ ชุดแรกวางตัวขนานไปกับริ้วขนานพร้อมแสดงลักษณะตัวบ่งชี้การเฉือน กว้าง 5-10 เซนติเมตร ยาว 5-100 เซนติเมตร มีรอยแตกในสายแร่ควอตซ์ที่สัมพันธ์กับการเฉือนแบบขวาเข้า กระจายตัวบริเวณส่วนบนและส่วนล่างของหินโผล่ ชุดที่สองวางตัวตัดริ้วขนาน กว้าง 0.5-1 เซนติเมตร ยาว 5-10 เซนติเมตร กระจายตัวประมาณ 10% ของหินโผล่ นอกจากนี้มีแนวรอยแตกที่ตัดริ้วขนานและสายแร่ควอตซ์ทั้งสองชุด บางแนวรอยแตกแสดงการเลื่อนตัวในแนวระดับแบบซ้ายเข้า แต่ส่วนใหญ่ไม่พบการเลื่อนตัว (รูปที่ 3.1)

นอกจากนี้ผู้เขียนยังได้พบการโผล่ของหินฟิลไลต์ในบริเวณใกล้เคียงนอกเหนือจากจุดศึกษาที่ 1 (จุดศึกษาที่ 1) อีก 2 จุด (จุดศึกษาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ) (รูป 1.1) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกันแต่ในจุดศึกษาที่ 2 และ 3 นั้นไม่พบการกระจายตัวของสายแร่ควอตซ์ที่วางตัวตัดริ้วขนาน (รูป 3.2) เนื่องจากอีกสองจุดศึกษาหินโผล่มีลักษณะค่อนข้างผุมากกว่า ทางผู้เขียนจึงกำหนดให้จุดศึกษาที่ 1 เป็นจุดศึกษาหลักและเก็บข้อมูลละเอียดกว่าจุดศึกษาอื่นๆ



รูป 3.1 ภาพร่างหินโผล่ คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร (เส้นสีดำ = ริ้วขนาน สีเหลือง = สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง เส้นสีน้ำเงิน = สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง เส้นสีแดง = รอยแตก)



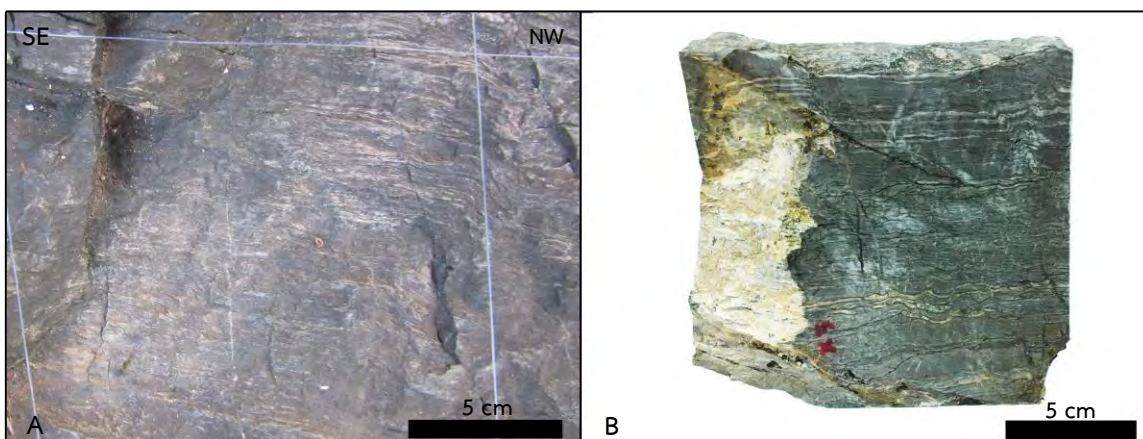
รูป 3.2 A หินโคล่บริเวณจุดศึกษาที่ 2, B จุดศึกษาที่ 3 แถบสเกลในรูปยาวช่องละ 1 เซนติเมตร

3.2 ลักษณะทางธรณีโครงสร้างระดับมหัณมิภาคของหินโคล่

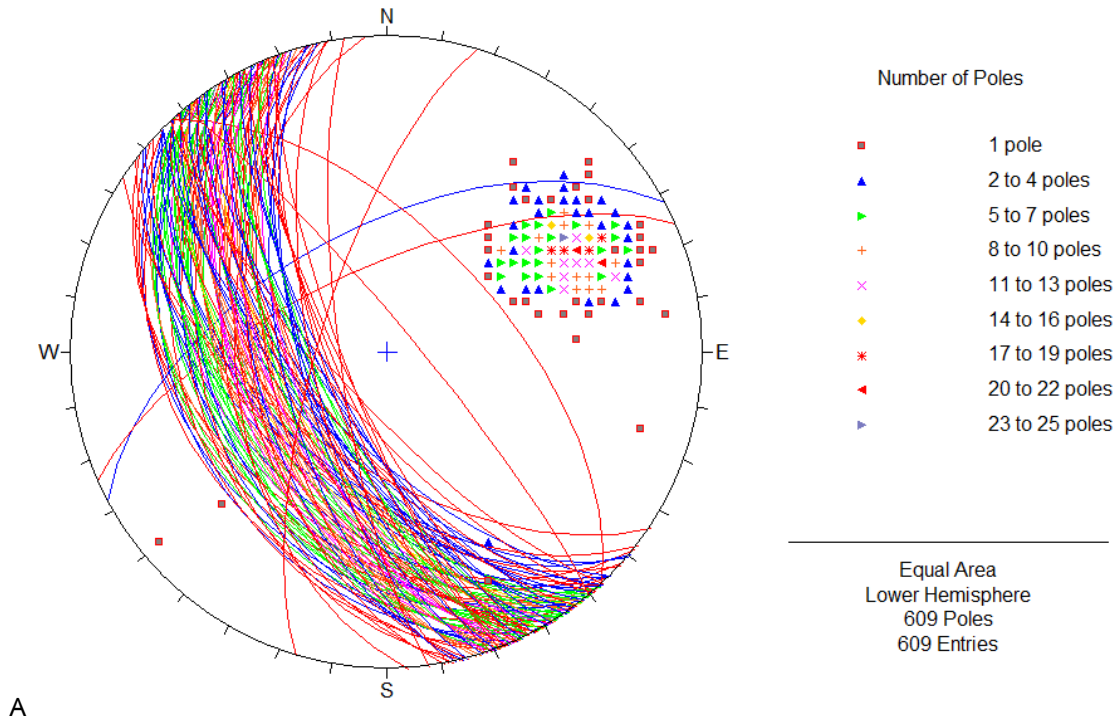
ในการศึกษาธรณีโครงสร้างระดับมหัณมิภาคของหินโคล่ ทางผู้เขียนได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาด้วยความละเอียด 15x15 ตารางเซนติเมตร โดยศึกษาแนวการวางตัวและความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางธรณีวิทยาอื่นๆ ของรื้อขนาน สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งและสอง และแนวรอยแตก นอกจากนี้ยังศึกษาลักษณะของตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนของสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งเพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.2.1 รื้อขนาน

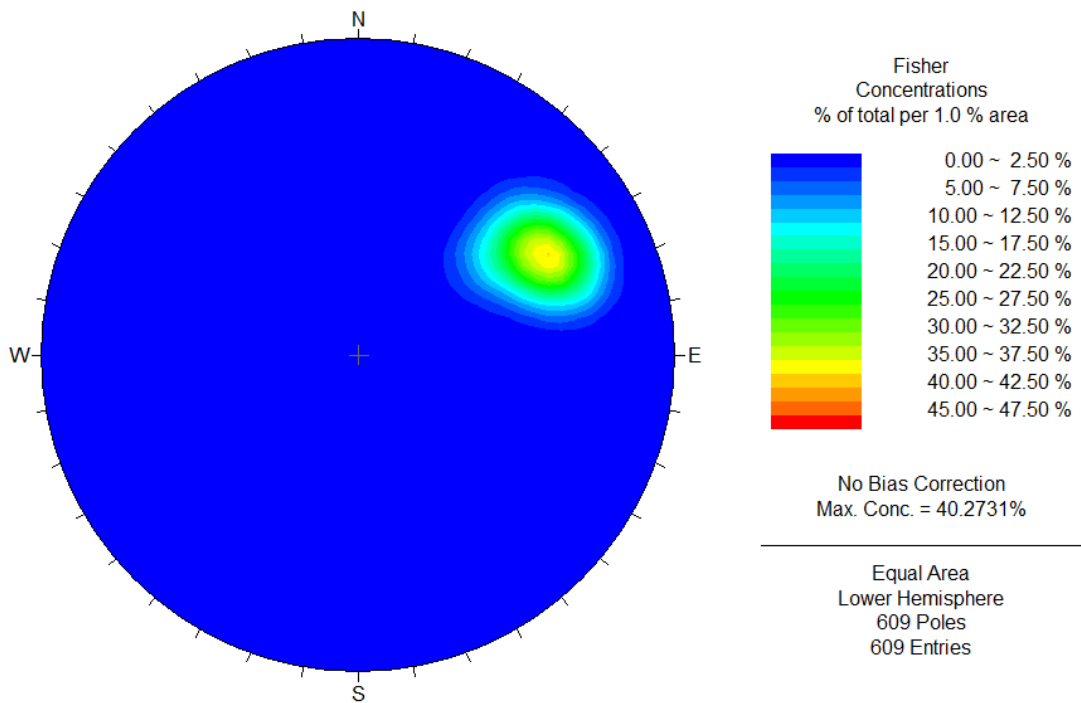
รื้อขนานแสดงให้เห็นในหินโคล่เป็นลักษณะการสลับชั้นของสีเข้มและสีอ่อน ความหนาของแต่ละชั้นรื้อขนานมีค่าประมาณ 1-6 เซนติเมตร (รูป 3.3) ระบายของรื้อขนานในหินโคล่แสดงให้เห็นในลักษณะสามมิติทำให้สามารถวัดค่าได้ โดยแสดงค่าการวางตัวของแนวรื้อขนานให้เห็นในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่า (รูป 3.4A-B) และแผนภาพกุกุหลาบ (รูป 3.4C) จำนวนค่าข้อมูลทั้งหมด 609 ค่า



รูป 3.3 A รื้อขนานที่แสดงในหินโคล่, B หน้าตัดของตัวอย่างหินที่ตัดตั้งฉากกับระนาบรื้อขนาน

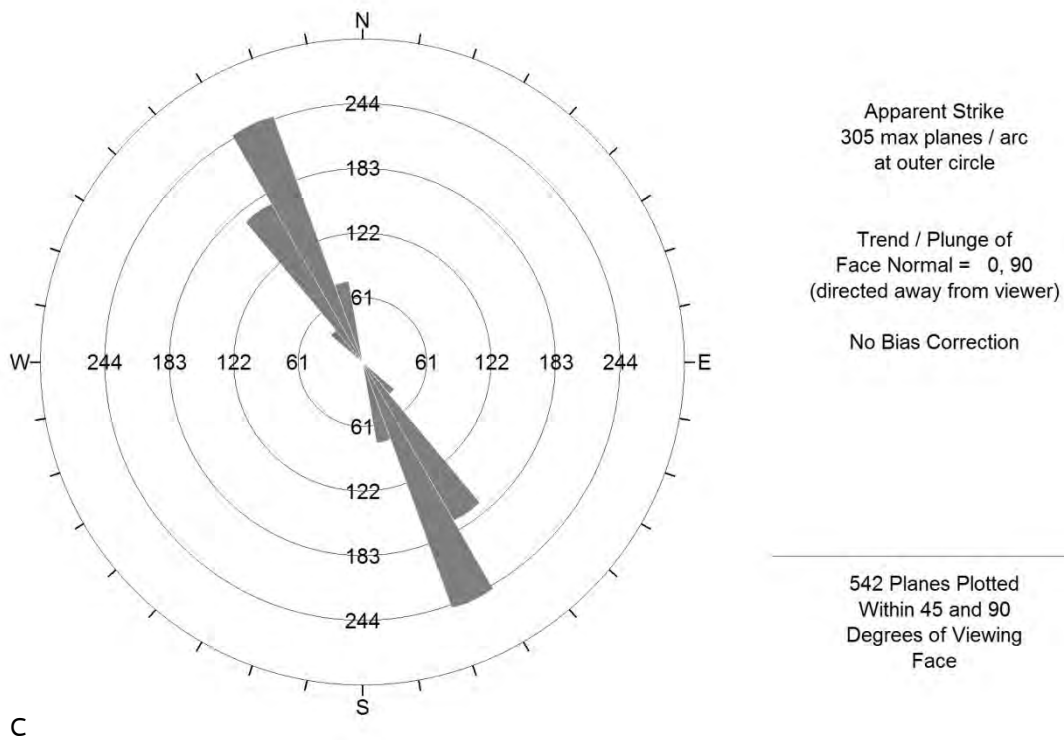


A



B

รูป 3.4 A-B ตาข่ายมิตสเตอร์ไอกรัฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของรีวขนาน



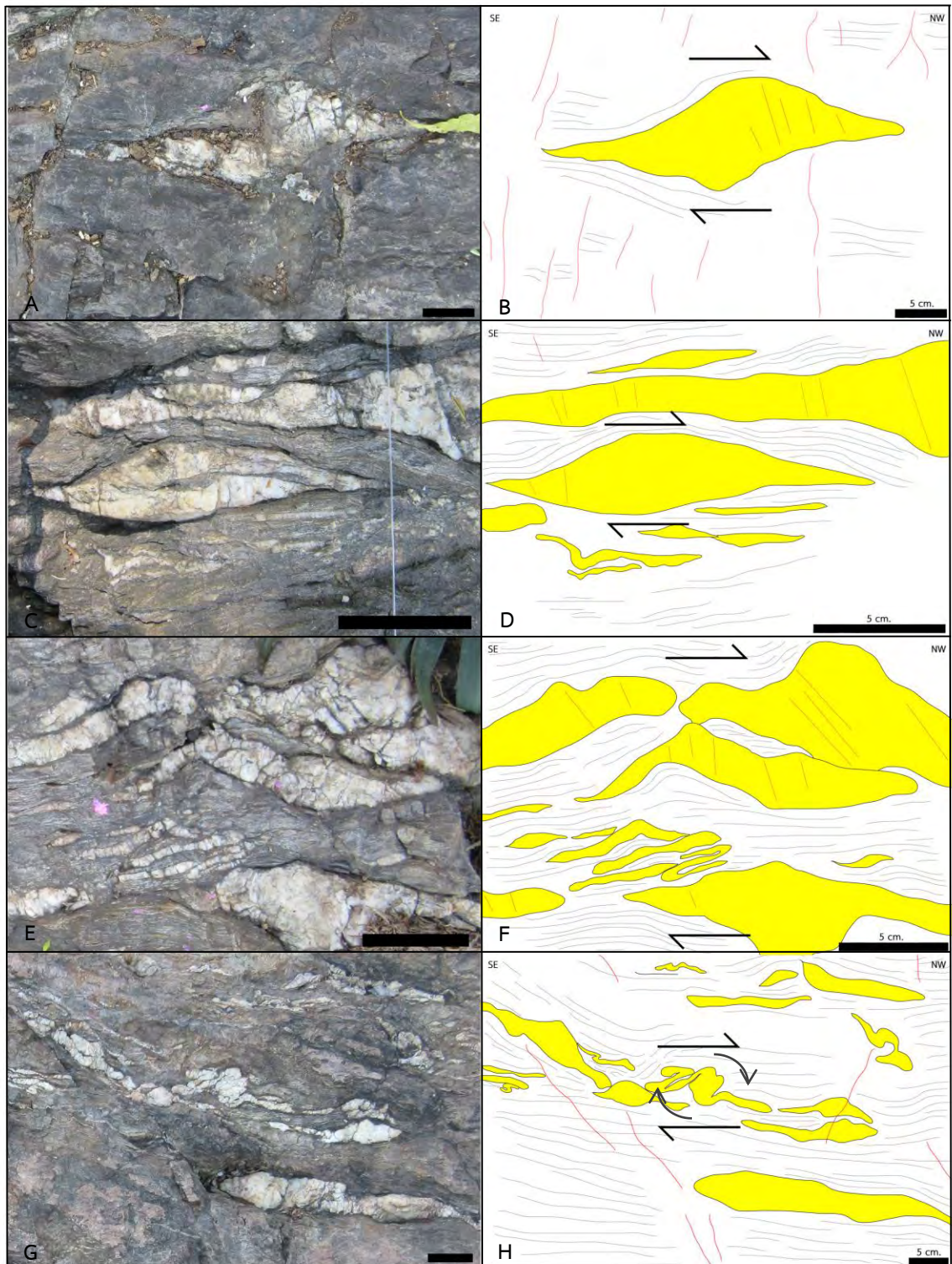
รูป 3.4 C แผนภาพกู่หลายแสดงค่าการวางตัวของร้าวขนาน

3.2.2 ตัวยับชี้ทิศทางการเฉือน

หลักฐานการเฉือน (shear sense) ในหินโผล่ถูกแสดงด้วยลักษณะการเปลี่ยนลักษณะของสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งและรอยแตกที่สัมพันธ์กับแรงเฉือนในสายแร่ควอตซ์ (เส้นสีแดงในสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง รูป 3.5) ซึ่งจากการสำรวจทางภาคสนามพบว่าหินโผล่นี้แสดงให้เห็นทั้งลักษณะการเฉือนทั้งแบบขวาเข้าและซ้ายเข้า แต่จากการเก็บค่าข้อมูลในเชิงสถิติแล้วพบว่าตัวยับชี้ทิศทางการเฉือนแบบขวาเข้ามีมากกว่าการเฉือนแบบซ้ายเข้า ในอัตราส่วน 0.95:0.5

3.2.3 สายแร่ควอตซ์

จากการศึกษาสายแร่ควอตซ์ในบริเวณหินโผล่พบว่ามีสองชุด ชุดแรกคือสายแร่ควอตซ์ที่ขนานไปกับแนวร้าวขนานซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าชุดที่สองที่ตัดแนวร้าวขนาน สายแร่ควอตซ์ชุดแรกแสดงลักษณะการเปลี่ยนลักษณะจากแรงเฉือน (กล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.2) สายแร่ควอตซ์ชุดที่สองมีการกระจายตัวเพียงบางส่วนของหินโผล่ของจุดศึกษาที่ 1 เท่านั้น แนวการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองแสดงในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกรรฟฟิกชนิดพื้นที่เท่า (รูป 3.7A-B) และแผนภาพกู่หลาย (รูป 3.7C) ด้วยค่าข้อมูลทั้งหมด 114 ค่า จากการศึกษความสัมพันธ์ของแนวรอยแตกกับสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองพบว่าแนวรอยแตกตัดผ่านสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งและสอง (รูป 3.6)

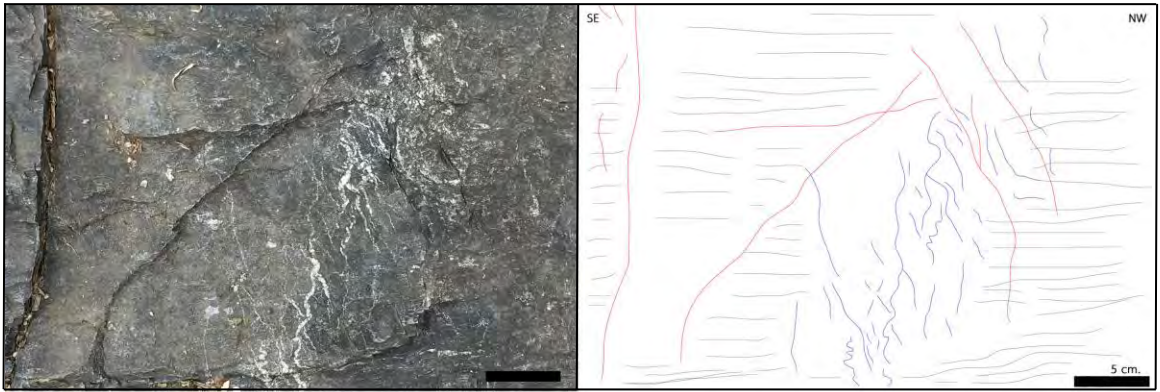


รูป 3.5 A-B และ C-D ลักษณะ mineral fish ของแร่ควอตซ์และรอยแตกที่สัมพันธ์กับแรงเฉือน (เส้นสีแดงในสายแร่ควอตซ์) ในแร่ควอตซ์ แสดงลักษณะการเอียงแบบขวาเข้า

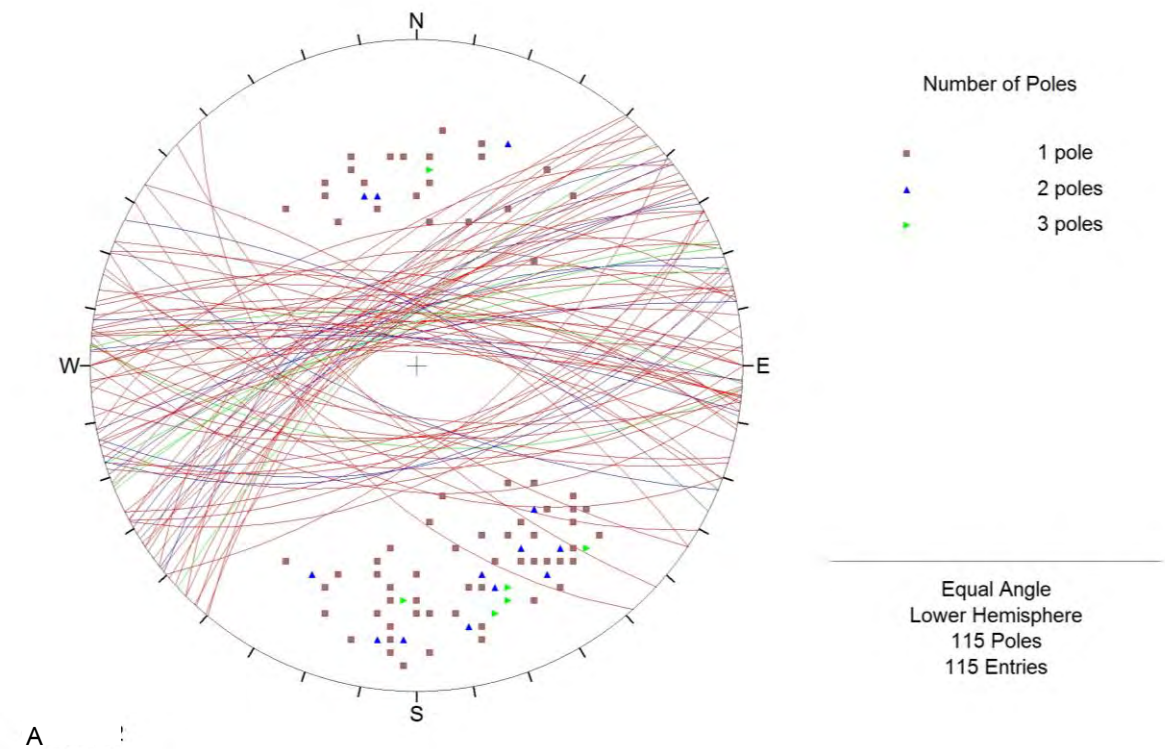
E-F ลักษณะ fold asymmetry ของแร่ควอตซ์แสดงลักษณะการเอียงแบบขวาเข้า

G-H ลักษณะ δ - object ของแร่ควอตซ์แสดงลักษณะการหมุนของแร่ควอตซ์ขณะที่เกิดการเอียงแบบขวาเข้า ลูกศรสีเทาแสดงการหมุนของแร่ควอตซ์

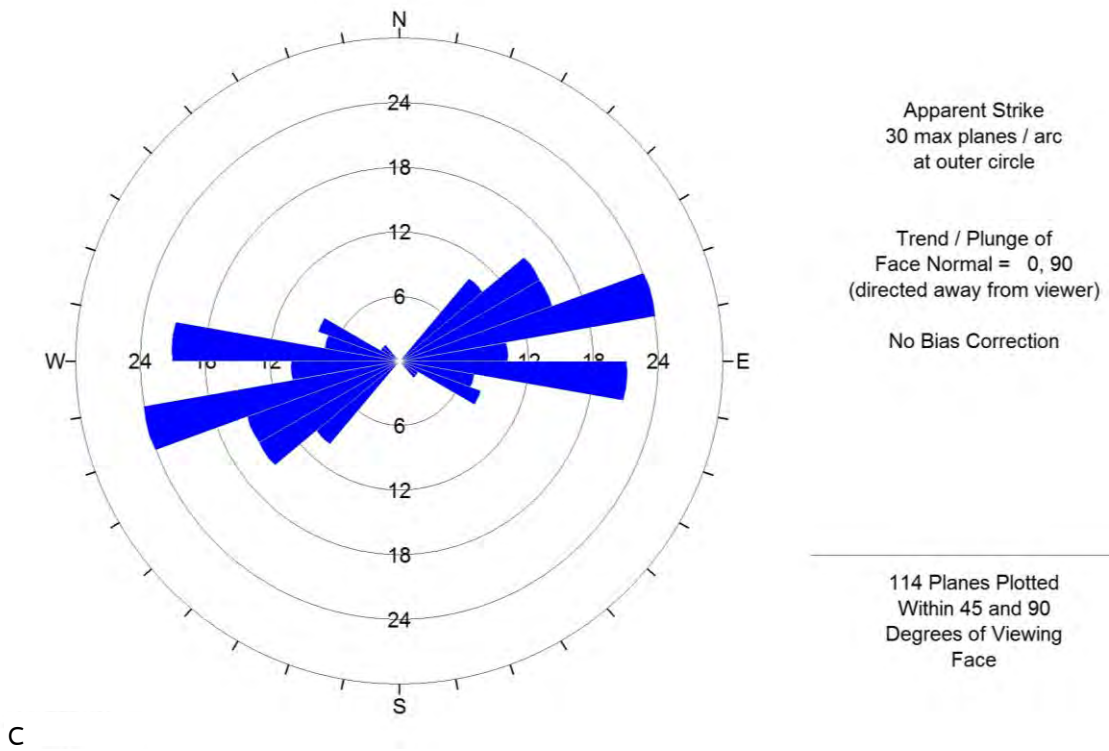
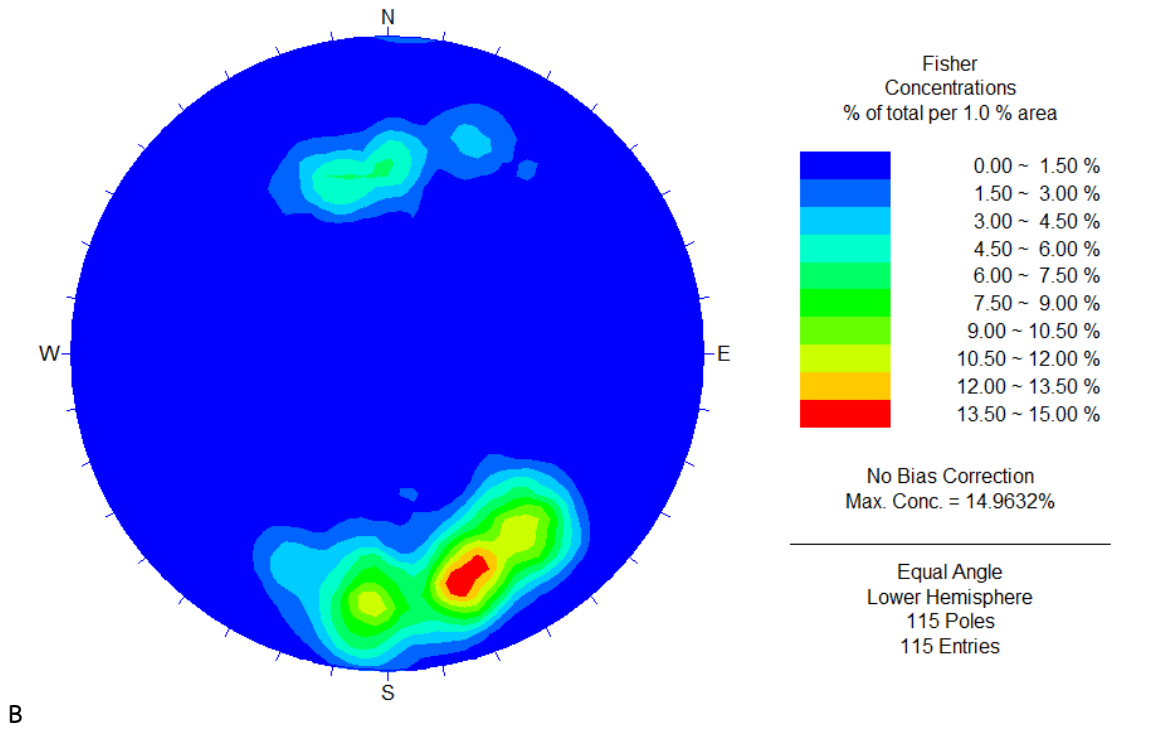
(เส้นสีดำ = ริวขนาน สีเหลือง = สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง เส้นสีแดง = รอยแตก)



รูป 3.6 การกระจายตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองที่ตัดแนวริ้วขนาน (เส้นสีดำ = ริ้วขนาน เส้นสีน้ำเงิน = สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง เส้นสีแดง = รอยแตก)



รูป 3.7 A ภาพถ่ายมิตสเตอร์ไอกรรฟิกันชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง



รูป 3.7 B ตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง, C แผนภาพกู่หลายแสดงค่าการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง

3.2.4 แนวรอยแตก

ระนาบรอยแตกที่แสดงให้เห็นในหินโผล่พบว่ามีระนาบหลักสองระนาบ คือ $240^{\circ}/55^{\circ}\text{NW}$ และ $50^{\circ}/70^{\circ}\text{SE}$ หรือมีแนวโครงสร้างแบบเส้นสองแนวคือแนว ENE-WSW และแนว NE-SW โดยมีการตัดกันเป็นรูปตัวที (รูป 3.8G-H) จากการศึกษาความสัมพันธ์ของแนวรอยแตกกับโครงสร้างอย่างอื่นพบว่าแนวรอยแตกตัดผ่านทั้งริ้วขนาน สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง (รูป 3.8A-B) และสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง (รูป 3.6) นอกจากนี้ยังพบว่าแนวรอยแตกมีการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า โดยมีระยะการเลื่อนตัว 5-10 เซนติเมตร (รูป 3.8C-F)

ค่าการวางตัวของแนวรอยแตกวัดได้จากภาคสนามทั้งหมด 684 ค่า ซึ่งแสดงให้เห็นในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกรรฟฟิกชนิดพื้นที่เท่า (รูป 3.9A-B) และแผนภาพกุหลาบ (รูป 3.9C)

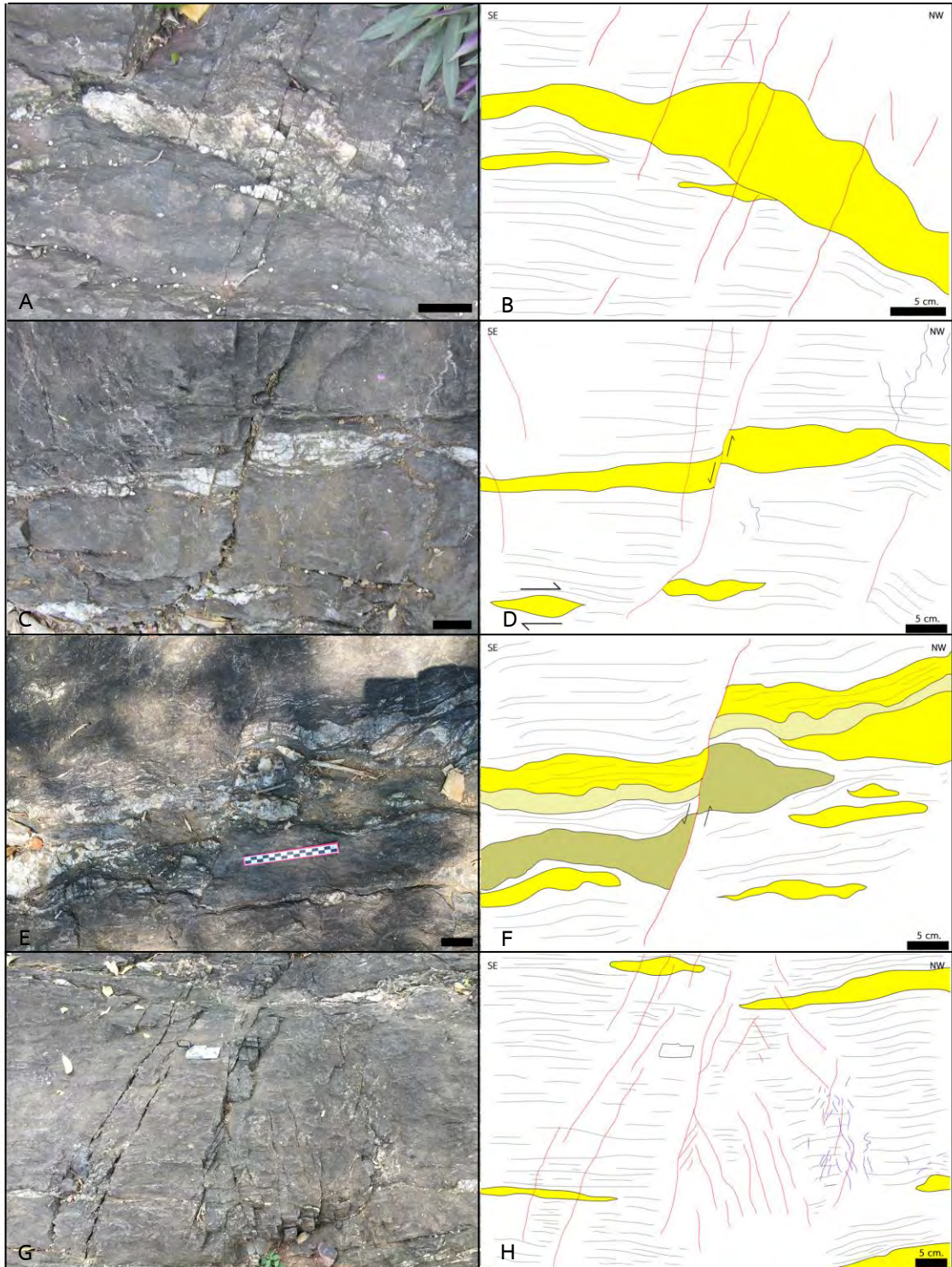
3.3 ลักษณะทางธรณีโครงสร้างระดับจุลภาคของหินโผล่

การศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาในระดับจุลภาค ทางผู้เขียนได้นำตัวอย่างหินจากพื้นที่ศึกษามาทั้งหมด 4 ตัวอย่างและนำตัวอย่างมาทำแผ่นหินขัดบางเพื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิงเพื่อศึกษาลักษณะธรณีโครงสร้างระดับจุลภาคและศึกษาสัณฐานวิทยาเพื่อบอกระดับการแปรสภาพของหินในพื้นที่ศึกษา

3.3.1 ริ้วขนาน

ริ้วขนานสังเกตได้จากแนวปรากฏที่แตกต่างกันระหว่างแนวที่มีแร่ไมก้าเด่นกับแนวที่มีแร่ควอตซ์เด่น (รูป 3.10A-D) สามารถจำแนกตามลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิงโดย Powell 1979 and Borradaile et al. (1982) ได้เป็น spaced foliation บรรยายลักษณะริ้วขนานได้คือ

- spaced cleavage: พบลักษณะการเรียงตัวของเม็ดแร่ (microlithon) ขนาดเล็ก
- disjunctive foliation: ไม่พบรอยหยัก (crenulation) ระหว่างริ้วขนาน
- smooth: ริ้วขนานค่อนข้างเป็นเส้นตรง
- ความหนาแน่นของริ้วขนานประมาณ 5-10%
- parallel และ บางบริเวณเป็น anastomosing: ริ้วขนานวางตัวขนานกันและบางบริเวณมีการประสานสายกัน

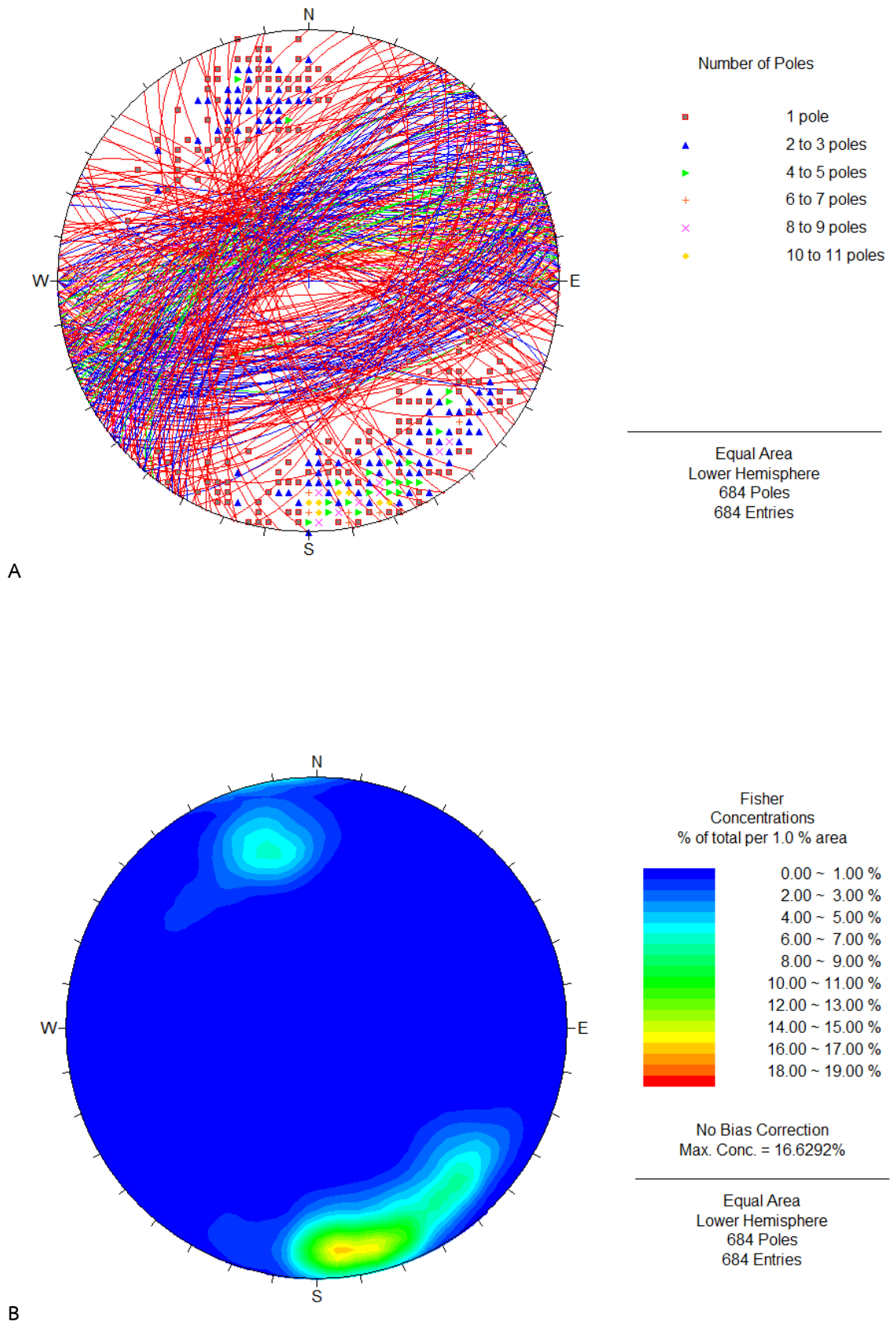


รูป 3.8 A-B ลักษณะแนวรอยแตกที่ตัดผ่านสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง

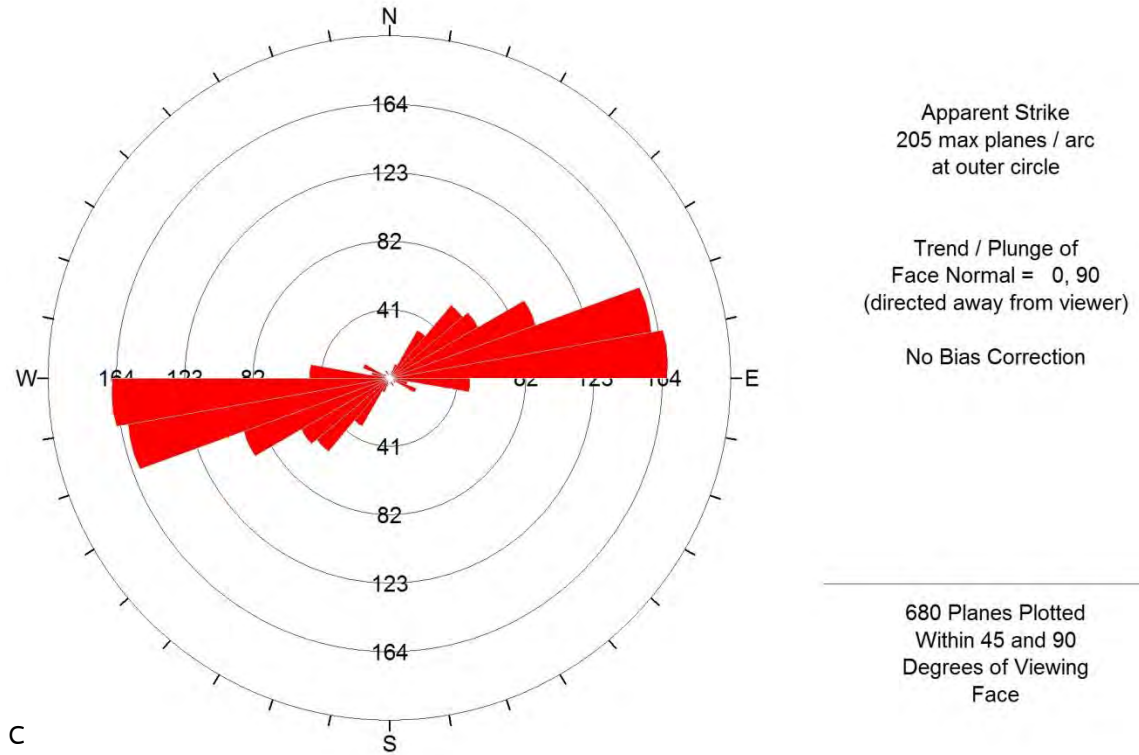
C-F ลักษณะการเลื่อนตัวแบบซ้ำเข้า

G-H ลักษณะการตัดกันของแนวรอยเลื่อนเป็นรูปตัวที (T-intersection)

(เส้นสีดำ = ริวขนาน สีเหลือง = สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง สีน้ำเงิน = สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง เส้นสีแดง = รอยแตก)



รูป 3.9 A-B ตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่าแสดงค่าการวางตัวของแนวรอยแตก



รูป 3.9 C แผนภาพกู่ทาบแสดงค่าการวางตัวของแนวรอยแตก

3.3.2 การเปลี่ยนลักษณะของแร่

ลักษณะของแร่ควอตซ์และแร่ไมก้ามีแกนยาววางตัวขนานไปกับแนวร้าวขนาน และสำหรับแร่ควอตซ์ที่อยู่ในสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองพบว่าลักษณะรูปร่างของแร่ควอตซ์นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (รูป 3.10E-F) และขนาดของแร่ควอตซ์ที่อยู่ในร้าวขนานมีขนาดเล็กกว่าแร่ควอตซ์ที่อยู่ในสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง

3.3.3 ธรณีโครงสร้างระดับจุลภาค

พบแนวรอยแตกที่ตัดผ่านร้าวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง (รูป 3.10G-H) ร้าวขนานแสดงโครงสร้างคดโค้งที่เป็น close fold ตามการจำแนกชนิดของชั้นหินคดโค้งตาม fold profile ซึ่งมีค่ามุมโครงสร้างคดโค้งอยู่ระหว่าง 30° - 70° หรือเป็นลักษณะ class 2 (Ramsay, 1967) ซึ่งเป็นโครงสร้างคดโค้งที่มีความโค้งของชั้นในและนอกเท่ากัน (รูป 3.11A-D) นอกจากนี้ร้าวขนานยังแสดงลักษณะแถบโค้งมุมแหลม (kink band) (รูป 3.11E-H) ซึ่งเมื่อทำการวัดมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับร้าวขนานข้างนอก (α) และมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับร้าวขนานข้างใน (β) (รูป 3.12) สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองมุมดังกล่าวได้ดังรูป 3.13



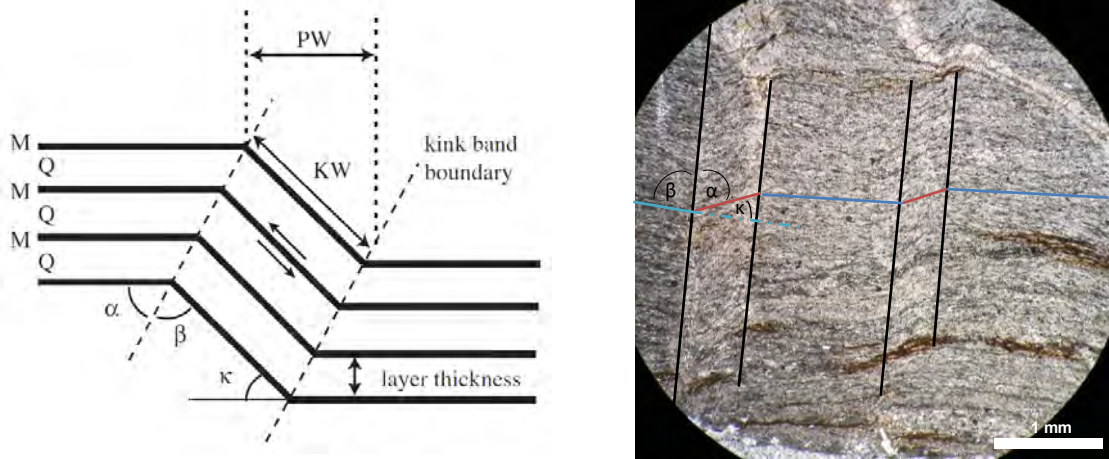
รูป 3.10 A-B แร่ควอตซ์และแร่ไมก้าเรียงตัวตามริ้วขนานและแกนยาวของแร่ขนานกับแนวริ้วขนาน
 C-D ลักษณะริ้วขนานแบบ anastomosing
 E-F สายแร่ควอตซ์ชุดที่สองวางตัวตัดแนวริ้วขนานและไม่พบการเปลี่ยนลักษณะของเมดแร่ควอตซ์
 G-H แนวรอยแตกตัดผ่านริ้วขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง
 A, C, E, G (XPL) B, D, F, H (PPL)



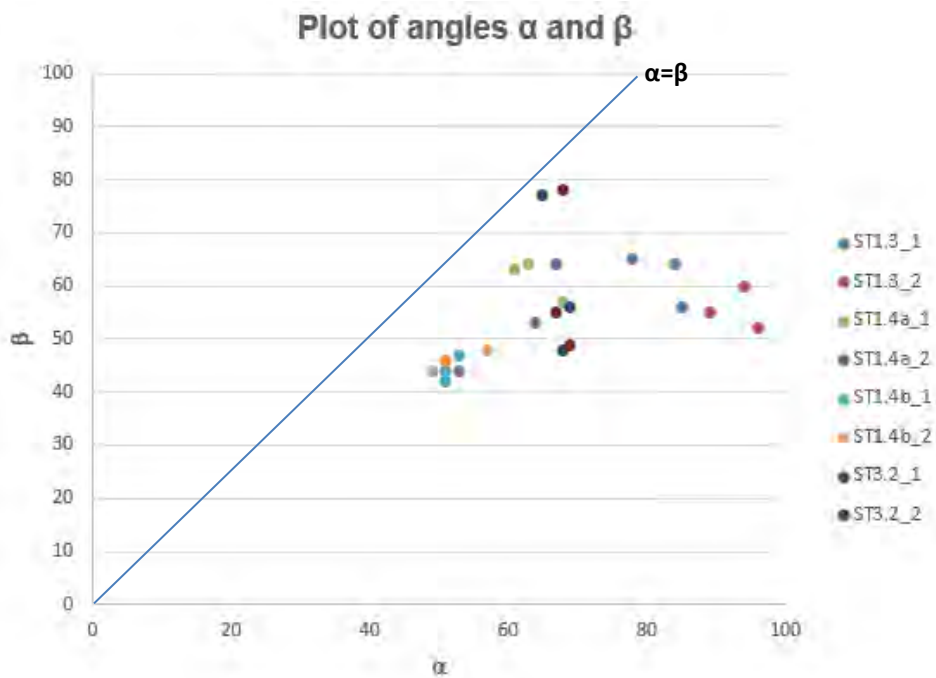
รูป 3.11 A-D รีวขนานแสดงโครงสร้างคดโค้งแบบ close fold หรือแบบ class 2 (Ramsay, 1967)

E-H รีวขนานแสดงแถบโค้งมุมแหลม

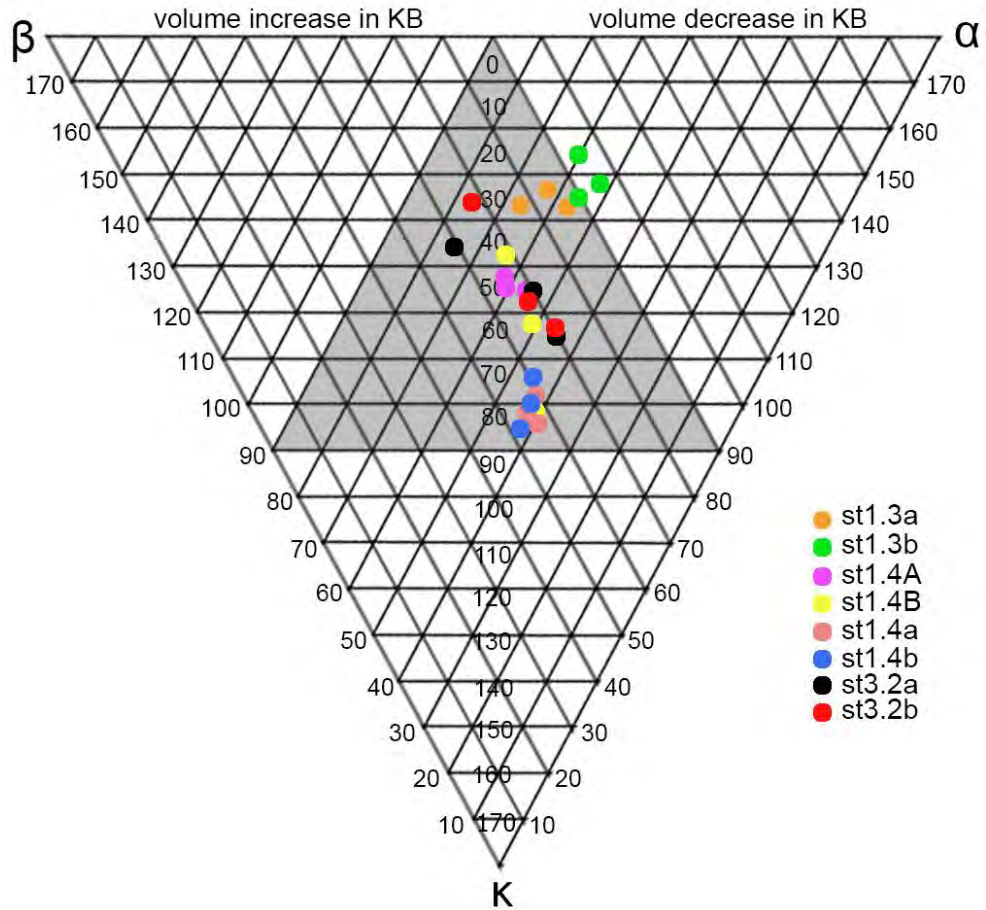
A, C, E, G (XPL) B, D, F, H (PPL)



รูป 3.12 A รูปแสดงมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับริ้วขนานข้างนอก (α) มุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับริ้วขนานข้างใน (β) และมุมระหว่างริ้วขนานข้างนอกกับริ้วขนานข้างใน (κ), B ตำแหน่งของมุมต่างๆบนแผ่นหินขัดบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (PPL)



รูป 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับริ้วขนานข้างนอก (α) และมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับริ้วขนานข้างใน (β) พบว่าส่วนใหญ่ค่ามุม α มากกว่า β



รูป 3.14 แผนภาพรูปสามเหลี่ยมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรั้วขนานข้างนอก (α) มุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรั้วขนานข้างใน (β) และมุมระหว่างรั้วขนานข้างนอกกับรั้วขนานข้างใน (K)

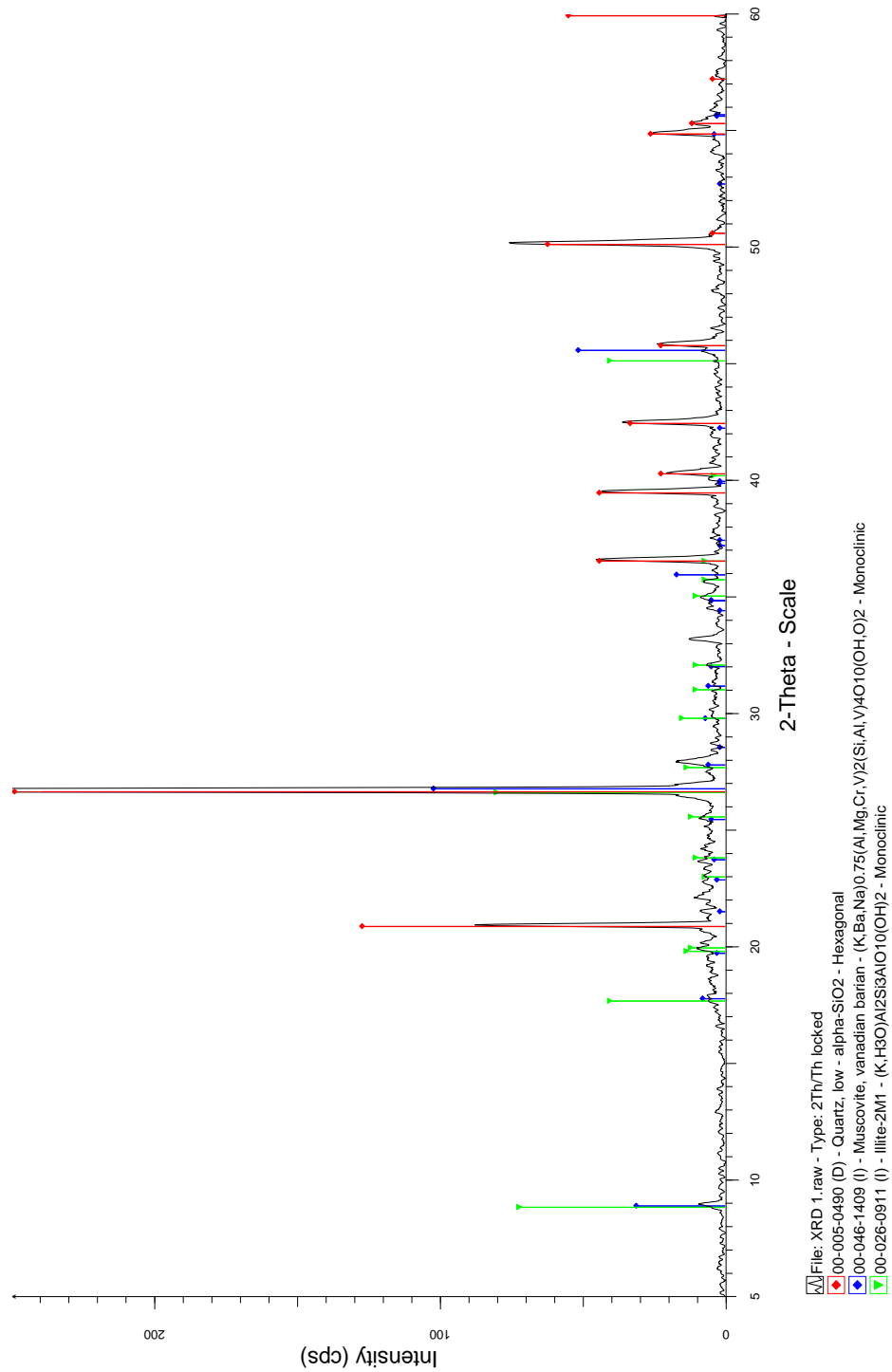
จากการคำนวณตามสมการ $\Delta_v = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} - 1$ (Ramsay, 1967) ได้ค่าดังต่อไปนี้

Sample	Number		
	1	2	3
st1.3a	-0.07344	-0.09626	-0.1678
st1.3b	-0.20765	-0.13186	-0.18072
st1.4A	0.00874	-0.09546	0.018736
st1.4B	-0.02359	-0.11144	-0.13019
st1.4a	-0.13899	-0.08425	-0.10614
st1.4b	-0.1139	-0.07438	-0.07957
st3.2a	-0.19849	0.075098	-0.11198
st3.2b	-0.1916	0.054966	-0.11011

ค่าในตารางเทียบสัดส่วนเป็น 1 และเครื่องหมายลบหมายถึงปริมาตรระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมลด

3.4 การวิเคราะห์ทางธรณีเคมี

การศึกษาแร่องค์ประกอบหิน ทางผู้เขียนได้ใช้ผลจากการวิเคราะห์ทางธรณีเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) รุ่น D8 Advance โดยวิธี Power XRD หรือ Random จากตัวอย่าง 4 ตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับการอธิบายระดับการแปรสภาพของหินในพื้นที่ศึกษา



รูป 3.15 ผลการวิเคราะห์ทางธรณีเคมีด้วยเครื่อง XRD

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการศึกษา

4.1 ลำดับการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยา

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาพบว่าประกอบไปด้วยธรณีโครงสร้างทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ รีวขนาน สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง และแนวรอยแตก รีวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งวางตัวขนานกัน พบการโค้งของรีวขนานไปตามรูปร่างของสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง จึงคาดว่ารีวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะในเวลาเดียวกัน พบสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองตัดผ่านรีวขนานจึงคาดว่าสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองเกิดหลังรีวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง และพบแนวรอยแตกตัดผ่านทั้งรีวขนาน สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งและสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองจึงคาดว่าแนวรอยแตกเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เกิดท้ายที่สุด

จากโครงสร้างทางธรณีวิทยาทั้งหมดที่พบในพื้นที่ศึกษา สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะตามลำดับการเกิดได้เป็น *ระยะที่หนึ่ง ระยะที่สองและระยะที่สาม* (รูป 4.1) ดังต่อไปนี้
 ระยะที่หนึ่ง (Stage I) ประกอบไปด้วย รีวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่ง
 ระยะที่สอง (Stage II) ประกอบไปด้วย สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง
 ระยะที่สาม (Stage III) ประกอบไปด้วย แนวรอยแตก

4.1.1 ระยะที่หนึ่ง (Stage I)

Stage IA

แนวการวางตัวของรีวขนานส่วนใหญ่วางตัวในแนว NW-SE (รูป 3.4) และจากการศึกษาลักษณะธรณีโครงสร้างระดับจุลภาคพบว่าแกนยาวของแร่ควอตซ์ของรีวขนานวางตัวเกือบขนานกัน (รูป 3.11) ซึ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะโดยแรงเฉือนบริสุทธิ์ (pure shear) โดยมีความเค้นหลักมากที่สุด (σ_1) ในแนว NE-SW

สายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งแสดงลักษณะตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือน ซึ่งส่วนใหญ่พบแสดงลักษณะเป็น Mineral Fish (รูป 3.5A-D) บางบริเวณแสดงเป็นลักษณะของ Fold Symmetry (รูป 3.5E-F) และ δ - object (รูป 3.5G-H) ซึ่งลักษณะดังกล่าวระบุได้ว่าแรงที่มากกระทำเป็นแรงเฉือนแบบง่าย (simple shear)

ทั้งรีวขนานและสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งพบว่ามีกรวางตัวขนานกันและพบลักษณะการโค้งของรีวขนานตามลักษณะการโค้งของสายแร่ควอตซ์ (รูป 3.5) จึงระบุได้ว่าธรณีโครงสร้างทั้งสองนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพร้อมกันด้วยแรงเดียวกัน จากการวิเคราะห์ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของแร่ควอตซ์ในรีวขนานกับแนวรีวขนานและลักษณะตัวบ่งชี้การเฉือนในสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งพบว่าเป็น

แรงที่มากกระทำแบบแรงเฉือนบริสุทธิ์กับแรงเฉือนปกติ ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความยาวของปลายแหลมของสายแร่ควอตซ์ที่แสดงลักษณะเป็น Mineral Fish พบว่าปลายแหลมมีความยาวไม่มาก คาดว่าแรงที่มากกระทำกับหินโพลีในพื้นที่ยกเป็นแรงเฉือนทั่วไปที่มีลักษณะของแรงเฉือนบริสุทธิ์เด่น (Pure shear dominated general shear) ทิศทางของความเค้นมากที่สุดที่มากกระทำในระยะที่ IA จึงน่าจะอยู่ในแนว NNE-SSW (รูป 4.1)

เพิ่มเติม เมื่อดูลักษณะริวขนานที่วางตัวในแนว NW-SE และลักษณะแกนยาวของแร่กับแนวริวขนาน ทิศทางความเค้นมากที่สุดควรอยู่ในแนว NE-SW แต่ในระยะนี้พบลักษณะการเฉือนแบบขวาเข้าด้วย ซึ่งถ้าแรงที่มากกระทำในระยะนี้ตั้งฉากกับริวขนานจะไม่สามารถแสดงลักษณะการเฉือนแบบขวาเข้าได้เลย จึงคาดว่าแรงที่มากกระทำน่าจะทำมุมกับแนว NE-SW โดยมีค่าการวางตัวลดลง (เข้าหาแกน N-S มากขึ้น) และเนื่องจากระยะนี้มีลักษณะที่เกิดจากการเฉือนบริสุทธิ์เด่นกว่า จึงคาดว่าทิศทางความเค้นมากที่สุดทำมุมไม่เกิน 45° กับแนว NE-SW จึงสรุปให้อยู่ในแนว NNE-SSW

Stage IB

ริวขนานพบลักษณะการแสดงโครงสร้างคดโค้ง (รูป 3.11A-D) และแถบโค้งมุมแหลม (รูป 3.11E-H) ซึ่งพบว่าลักษณะแร่ควอตซ์ในริวขนานที่เปลี่ยนลักษณะแล้วก็แสดงการเรียงตัวโค้งหรือเหลี่ยมตามโครงสร้างดังกล่าวด้วย จึงคาดว่าโครงสร้างคดโค้งและแถบโค้งมุมแหลมเกิดหลังจากหินบริเวณพื้นที่ศึกษาเกิดการเปลี่ยนลักษณะจากระยะ IA แล้ว และเป็นโครงสร้างที่เกิดจากแรงอัด โดยทิศทางของความเค้นมากที่สุดอยู่ในแนว NW-SE (รูป 4.1)

4.1.2 ระยะที่สอง (Stage II)

สายแร่ควอตซ์ชุดที่สองตัดผ่านริวขนานและลักษณะผลึกแร่ควอตซ์ในสายแร่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเหมือนผลึกแร่ควอตซ์ที่อยู่ในริวขนาน (รูป 3.10E-F) ดังนั้นจึงคาดว่าสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองนี้เข้ามาสะสมตัวหลังจากการเปลี่ยนลักษณะในระยะที่หนึ่งแล้ว

เมื่อดูขอบสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองพบว่าผลึกควอตซ์เจริญเติบโตเกิดขึ้นฉากกับผนังสายแร่ ซึ่งคาดว่าป็นลักษณะรอยแตกแบบเปิด (opening fracture) ที่มีสายแร่ควอตซ์เข้ามาสะสมตัวที่หลัง ดังนั้นจากการศึกษาแนวการวางตัวของสายแร่ควอตซ์จะสามารถระบุแนวการวางตัวของแนวรอยแตกได้และจะสามารถระบุทิศทางของความเค้นมากที่สุดได้ จากการศึกษาแนวการวางตัวของสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง (รูป 3.7) คาดว่าความเค้นมากที่สุดอยู่ในแนว ENE-WSW หลังจากแรงที่มากกระทำต่อหินในพื้นที่ศึกษาทำให้เกิดรอยแตกแบบเปิดแล้วจึงมีสายแร่ควอตซ์เข้ามาสะสมตัวตามช่องว่างเหล่านั้น (รูป 4.1)

4.1.3 ระยะที่สาม (Stage III)

แนวรอยแตกวางตัวตัดกรณีโครงสร้างทุกประเภทที่กล่าวมาในระยะที่หนึ่งและสอง หรือกล่าวได้ว่าแนวรอยแตกนี้เป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เกิดท้ายที่สุด มีสองแนว โดยรอยแตกที่อยู่ในแนว ENE-WSW ซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้า (รูป 3.8C-F) เกิดก่อนรอยแตกในแนว NE-SW โดยใช้

หลักฐานการตัดกันรูปตัวของแนวรอยแตกสองนั้นดังกล่าว (รูป 3.8G-H) จากการวิเคราะห์ค่าการวางตัวของแนวรอยแตกพบว่าทิศทางความเค้นมากที่สุดในแนว ENE-WSW ซึ่งลักษณะแนวรอยแตกสองแนวดังกล่าวสามารถเทียบเคียงได้กับแนวรอยแตกที่เกิดจากรอยเลื่อนแขนงตามแนวระดับตามหรือไรเดิลเชียร์ (Riedel shear) (รูป 4.1)

4.2 ผลการวิเคราะห์แถบโค้งมุมแหลม

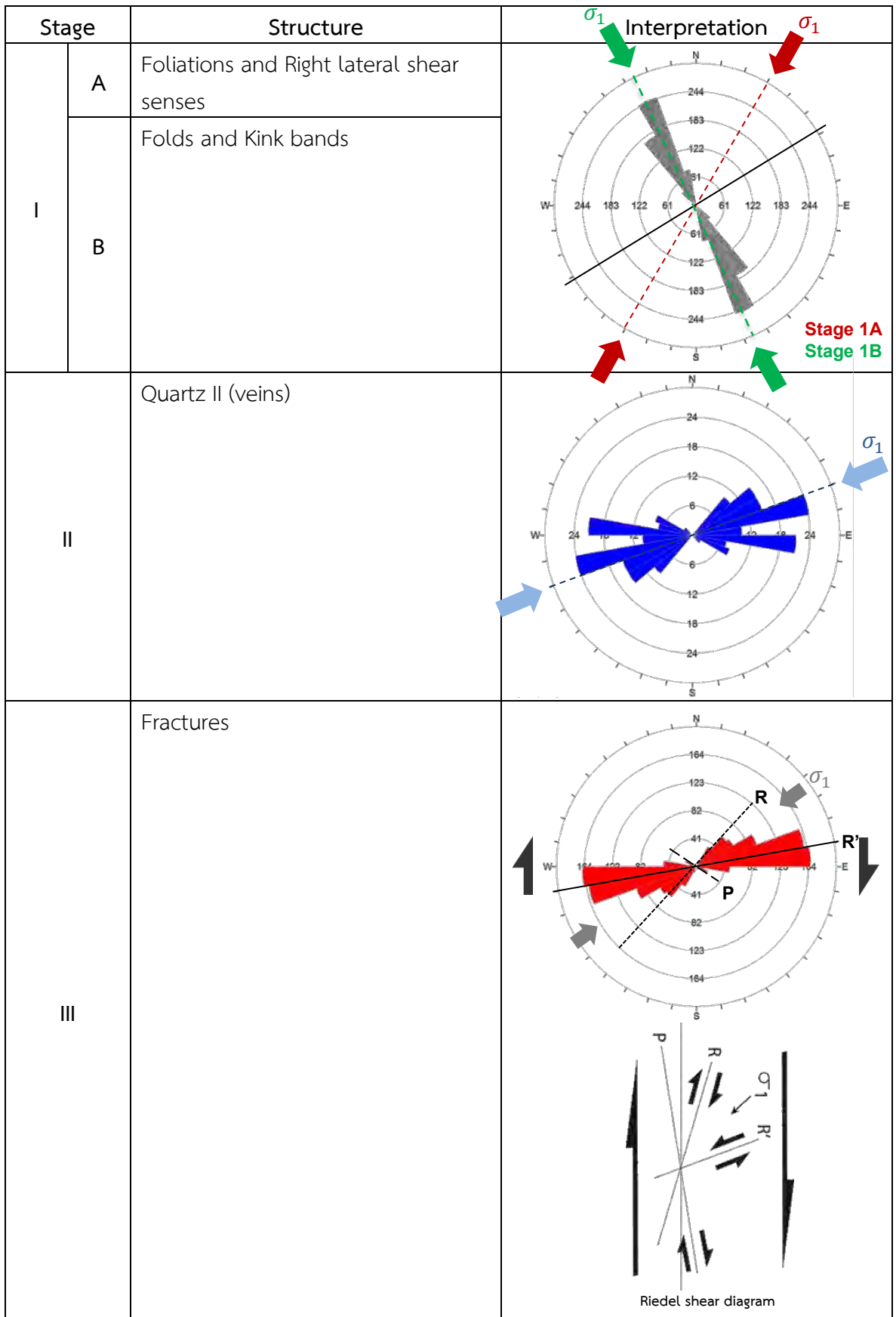
จากการวิเคราะห์ค่ามุมระหว่างแกนแถบโค้งมุมแหลมกับรีวขนานข้างนอกและแถบโค้งมุมแหลมกับรีวขนานข้างใน พบว่าส่วนใหญ่มีค่ามุม α มีค่ามากกว่า β (รูป 3.13) และจากการแสดงค่าลงแผนภาพสามเหลี่ยม (ternary diagram) (รูป 3.14) พบว่าส่วนใหญ่มีการสูญเสียปริมาตรภายในแถบคดโค้งมุมแหลมและจากการคำนวณตามสมการพบว่าสูญเสียปริมาตรไปประมาณ 5-10%

ลักษณะแถบโค้งมุมแหลมในพื้นที่ศึกษา (รูป 4.2) ระบุได้ว่าการเนื้อง่ายในแนวขนานแกนแถบคดโค้งมุมแหลม ซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดกับหินแปรระดับสูง แต่ในพื้นที่ศึกษาเป็นหินแปรเกรดระดับต่ำจึงคาดว่าอาจเป็นผลมาจากมาความดันขณะเกิดการแปรสภาพที่เป็นปัจจัยเด่นกว่าอุณหภูมิ

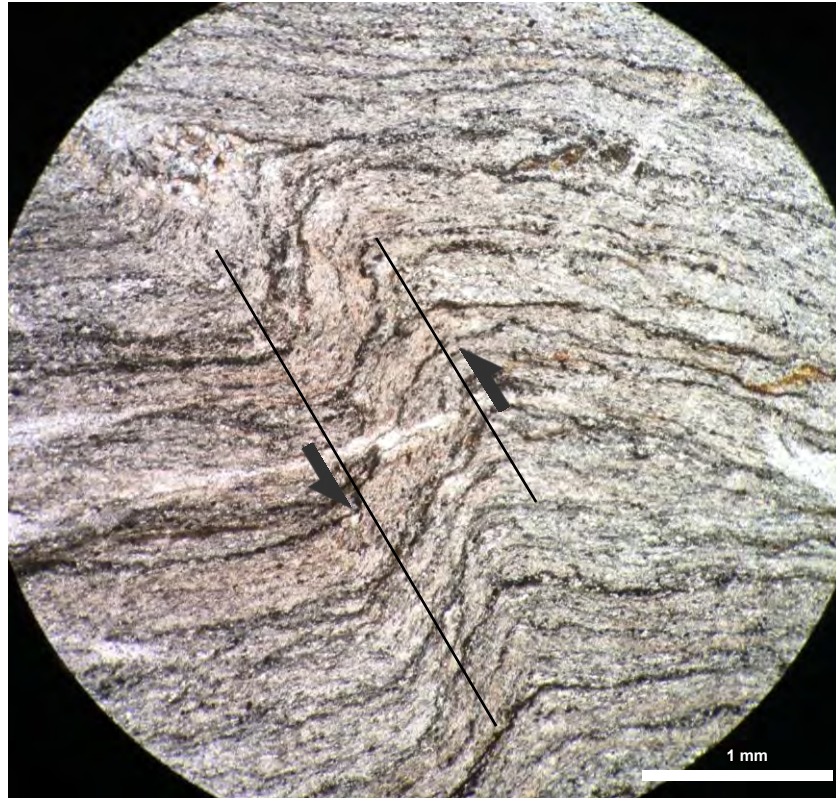
4.3 ผลการวิเคราะห์ร่องค้ประกอบหินทางศิลารรณนาและทางธรณีเคมีด้วยวิธี XRD

จากการศึกษาร่องค้ประกอบหินผ่านกล้องจุลทรรศน์แสงโพราไรซ์พบว่า มีร่องค้ประกอบหินหลักๆ คือ แร่ควอตซ์และแร่มีสโคไวท์ ซึ่งทั้งสองแร่พบเป็นขนาดเล็กกว่า 0.1 มิลลิเมตร ส่วนการศึกษาร่องค้ประกอบหินทางธรณีเคมีด้วยวิธี XRD พบแร่ควอตซ์แบบอัลฟ่า แร่มีสโคไวท์และแร่โอลไลต์ (?) (รูป 3.15) ซึ่งคาดว่าแร่มีสโคไวท์น่าจะเกิดการเปลี่ยนสภาพมาจากแร่โอลไลต์ในกระบวนการเปลี่ยนลักษณะระยะที่หนึ่งเนื่องจากพบการวางตัวของแร่ทั้งสองเป็นไปในทางเดียวกันคือแนวเดียวกับรีวขนาน

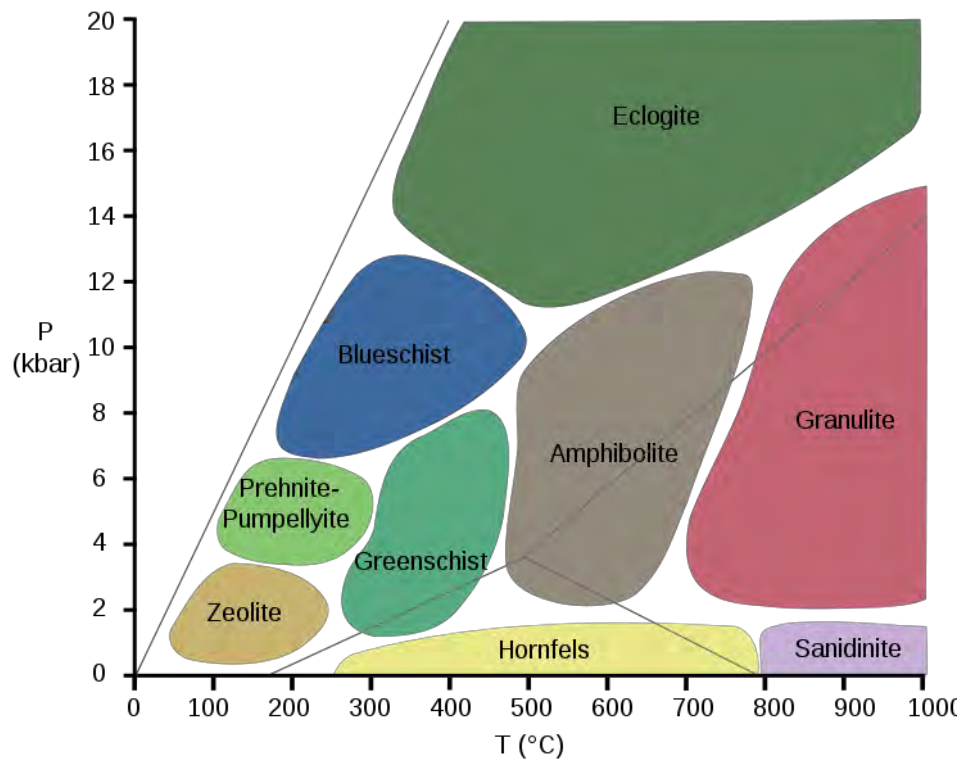
จากการนำร่องค้ประกอบดังกล่าวไปเทียบกับระดับการแปรสภาพพบว่า ขณะที่หินในพื้นที่ศึกษาเกิดการเปลี่ยนลักษณะในระยะที่หนึ่งก็เกิดการแปรสภาพด้วยในระดับ Upper Prehnite-Pumpellyite ถึง Lower Greenschist มีอุณหภูมิตั้งแต่ 200-350°C และความดัน 2-5 kbar (รูป 4.3)



รูป 4.1 ตารางสรุปลำดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินในพื้นที่ศึกษาระยะต่างๆ



รูป 4.2 การเลื่อนแบบง่ายตามแกนแถบคดโค้งมุมแหลม

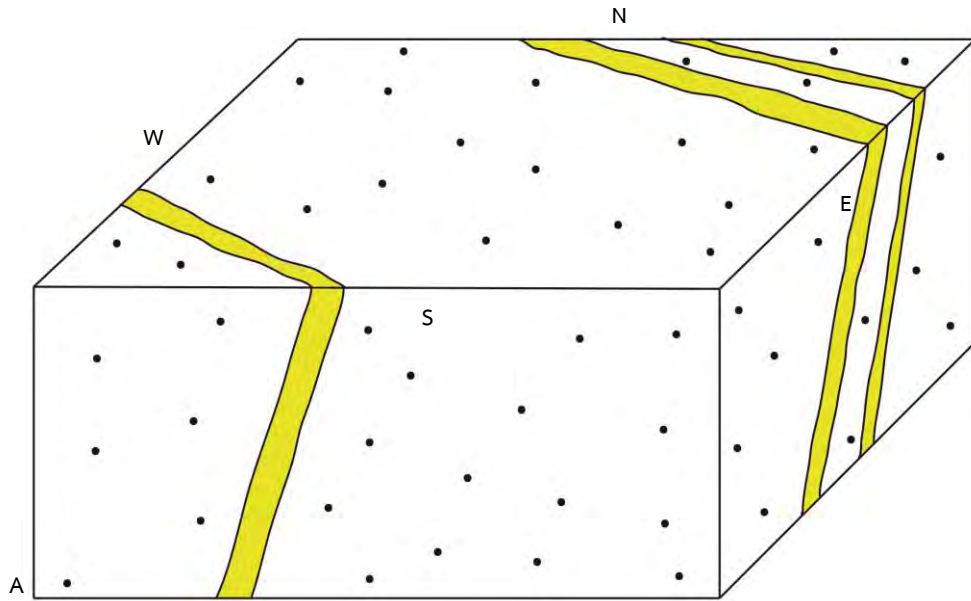


รูป 4.3 ระดับการแปรสภาพของหินในพื้นที่ศึกษาคาดว่าอยู่ในช่วง Upper Prehnite-Pumpellyite ถึง Lower Greenschist

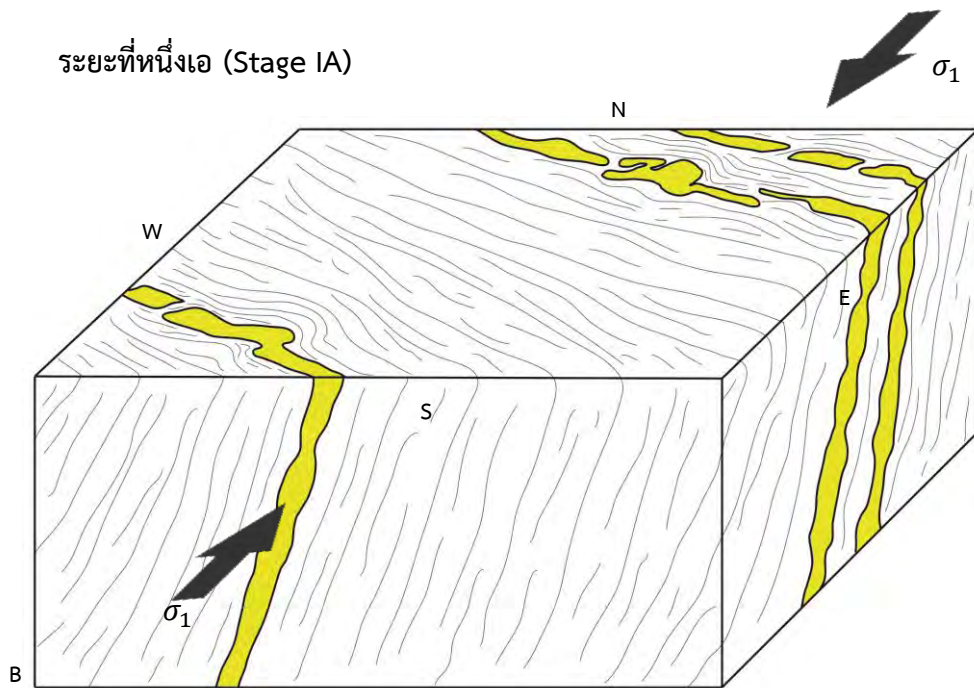
4.4 ภาพวาดเชิงโมทัศน์แสดงลำดับการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

จากตารางแสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (รูป 4.1) สามารถสร้างภาพวาดเชิงโมทัศน์แสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะในระยะต่างๆได้ ดังนี้

ระยะก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (Stage 0)

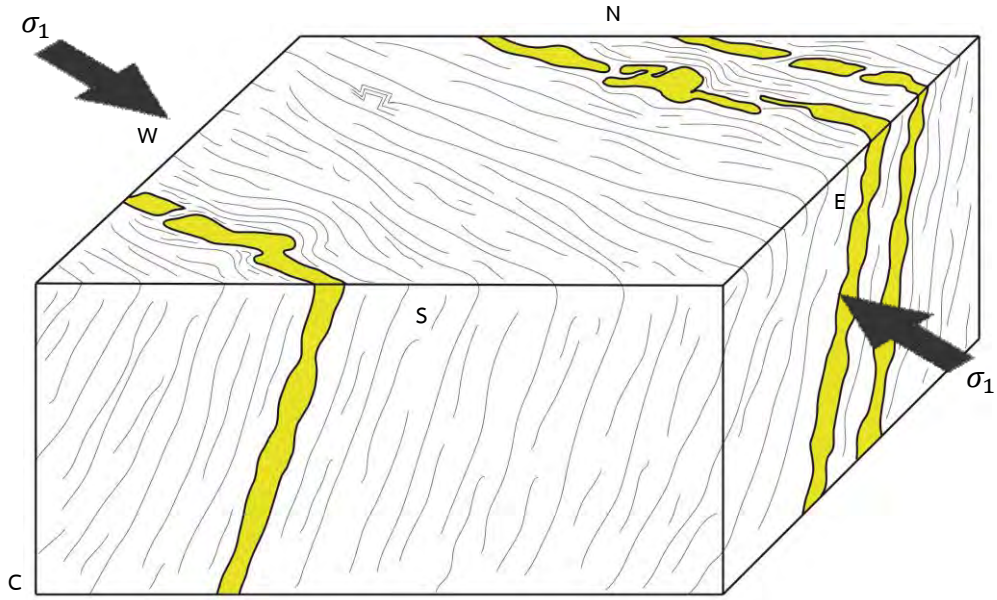


ระยะที่หนึ่งเอ (Stage IA)

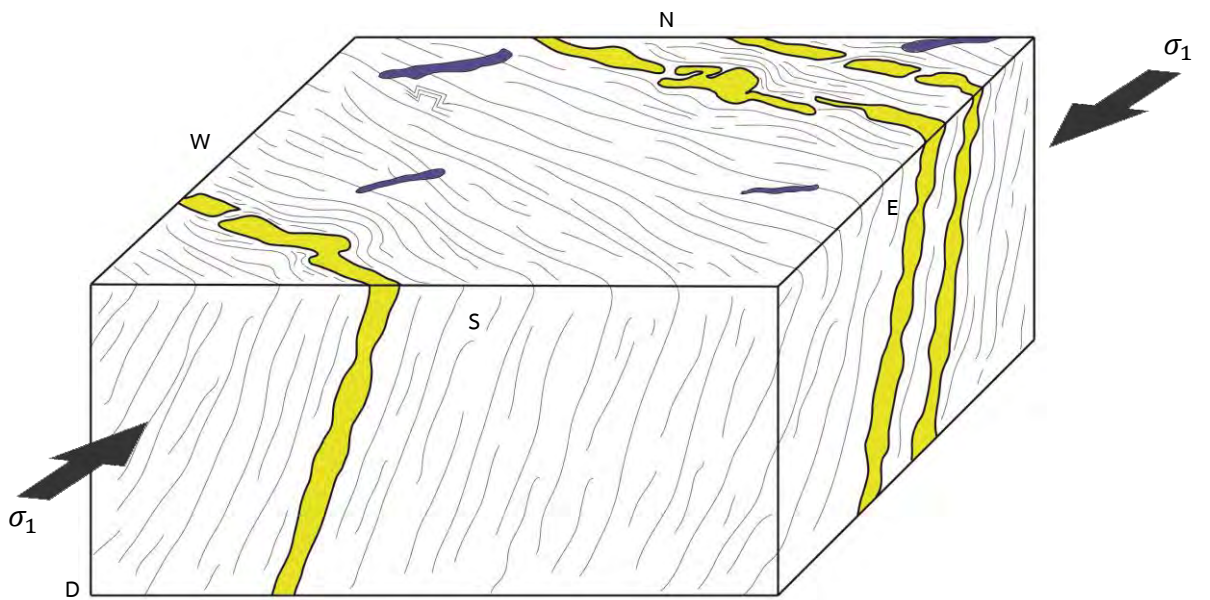


รูป 4.4 ภาพวาดเชิงโมทัศน์แสดงวิวัฒนาการของโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา ระยะก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (A) และระยะที่หนึ่งเอ (B)

ระยะที่หนึ่งปี (Stage IB)

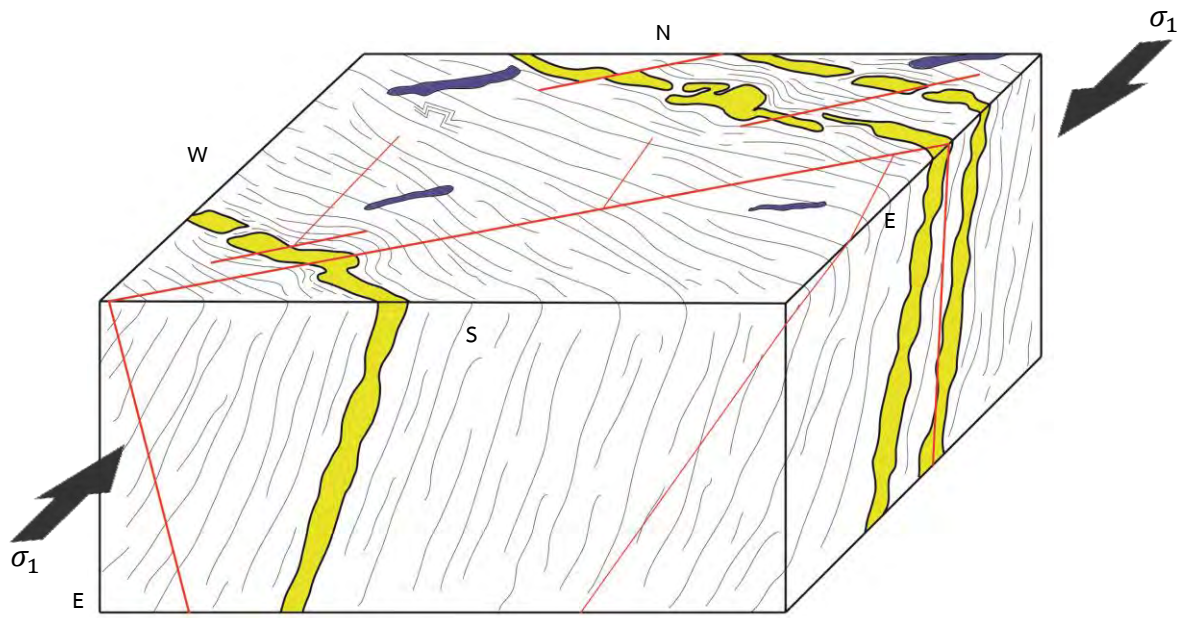


ระยะที่สอง (Stage II)



รูป 4.4 ภาพวาดเชิงโมทัศน์แสดงวิวัฒนาการของโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา ระยะที่หนึ่งปี (C) และระยะที่สอง (D)

ระยะที่สาม (Stage III)



รูป 4.4 ภาพวาดเชิงโมทัศน์แสดงวิวัฒนาการของโครงสร้างทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา ระยะที่สาม (E)

บทที่ 5

อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

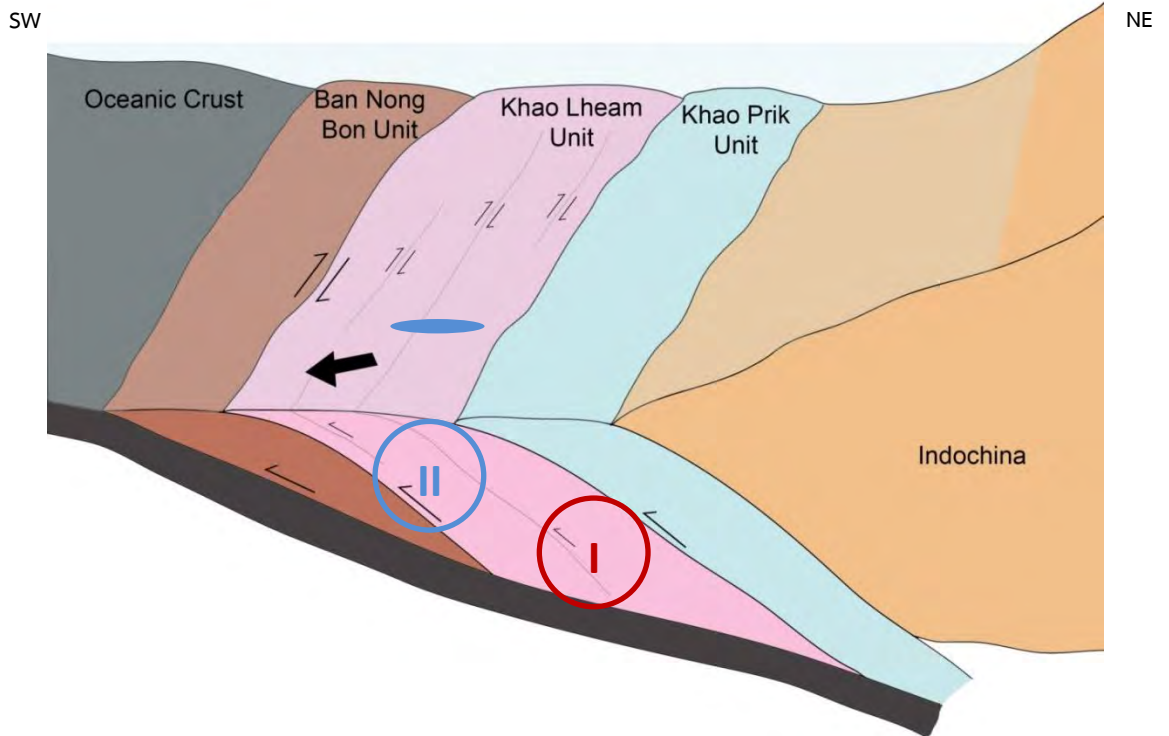
พื้นที่ศึกษาเป็นบล็อกของหินแปรเกรดต่ำที่อยู่ในหน่วยหินมิลานจ์ของหน่วยหินเขาแหลม บริเวณพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี ช่วงยุคเพอร์โม-ไทรแอสสิกการเคลื่อนตัวเข้ามาชนกันของ แนวคดโค้งภูเขาไฟสุโขทัยกับแผ่นธรณีภาคอินโดจีนทำให้เกิดการมุดตัวของแผ่นมหาสมุทรลงไปได้แผ่น ธรณีภาคอินโดจีนและเกิดเป็นพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีขึ้น ซึ่งคาดว่าแผ่นธรณีภาคทั้งสอง เคลื่อนที่เข้ามาชนกันในแนวประมาณ E-W และชนกันสนิทในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนกลาง (Chutakositkanon, 2004 และ Chutakositkanon and Hisada, 2008)

ในการสะสมตัวของแต่ละหน่วยหินในพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนในบริเวณสระแก้ว-จันทบุรีนั้น เกิด การเคลื่อนตัวย้อนมุมต่ำแบบเฉียง (Oblique Thrust Fault) ของแต่ละหน่วยหิน ซึ่งในขณะที่หน่วยหิน เขาแหลมอยู่ในที่ลึกลงนั้น แรงอัดในแนว E-W ทำให้หินในหน่วยหินนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนุ่ม (ductile deformation) และผลจากการเคลื่อนตัวย้อนมุมต่ำแบบเฉียงในทิศ NE-SW (ลูกศรเส้นประใน รูป 5.2A) ทำให้บล็อกหินแปรเกรดต่ำนี้แสดงลักษณะรีวขนานในแนว NW-SE และตัวบ่งชี้ทิศทางการ เฉือนแสดงลักษณะแบบขวาเข้า (ระยะที่ IA) (รูป 5.1) ด้วยอุณหภูมิประมาณ 200-350°C และความดัน ประมาณ 2-5 kbar และมีแรงย่อยเป็นแรงอัดเข้ามาในทิศทางขนานกับแนวรีวขนานทำให้แสดงลักษณะ คดโค้งและแถบคดโค้งมุมแหลม (ระยะที่ IB)

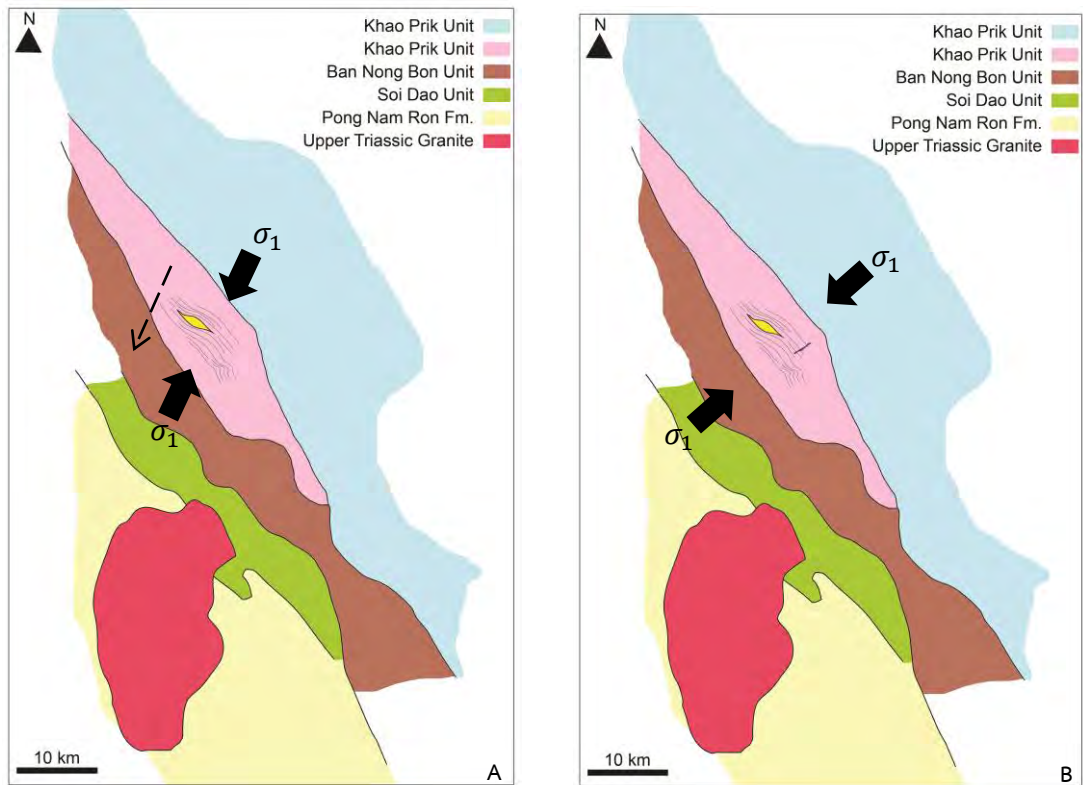
เมื่อบล็อกหินแปรเกรดต่ำนี้เคลื่อนที่ขึ้นมาในระดับที่ตื้นขึ้น แรงอัดที่เกิดจากการชนกันของแนว คดโค้งสุโขทัยกับแผ่นธรณีภาคอินโดจีนในแนว E-W ทำให้บล็อกหินแปรเกรดต่ำนี้เกิดการแปรสภาพแบบ เปราะ เกิดเป็นแนวรอยแตกแบบเปิด ในยุคไทรแอสสิกตอนปลายมีการแทรกตัวขึ้นมาของหินแกรนิตใน บริเวณนี้และทำให้เกิดสายแร่ควอตซ์ (สายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง) มาสะสมตัวในรอยแตกในบล็อกหินแปร เกรดต่ำนี้ เนื่องจากสายแร่ควอตซ์นี้เข้ามาสะสมตัวหลังจากการชนกันของแผ่นธรณีภาคสนิทแล้ว จึงไม่มี แรงที่มากกระทำหรือแรงที่มากกระทำต่อบล็อกหินแปรเกรดต่ำนี้มีค่าต่ำมากจนไม่พบลักษณะการเปลี่ยน ลักษณะในสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองเลย (ระยะที่สอง) (รูป 5.2)

ในช่วงตอนต้นของมหายุคซีโนโซอิก การเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีภาคอินเดียนกับแผ่นธรณีภาค ยูเรเชียส่งผลให้มีความเค้นมากที่สุดที่มากกระทำบริเวณประเทศไทยในแนว N-S ส่งผลรอยเลื่อนแม่ปิงกับ รอยเลื่อนท่าใหม่เคลื่อนที่แบบขวาเข้าและทำให้เกิดรอยเลื่อนย่อยๆ บริเวณระหว่างแนวรอยเลื่อนทั้งสอง วางตัวในทิศ N-S (รูป 2.3) ซึ่งการเคลื่อนที่ของแนวรอยเลื่อนย่อยๆนี้ส่งผลให้เกิดรอยแตกแบบไรเดิลล์ เชียร์ในบล็อกหินแปรเกรดต่ำ (ระยะที่สาม) (รูป 5.3)

ระยะที่หนึ่งและสอง (Stage I and II)

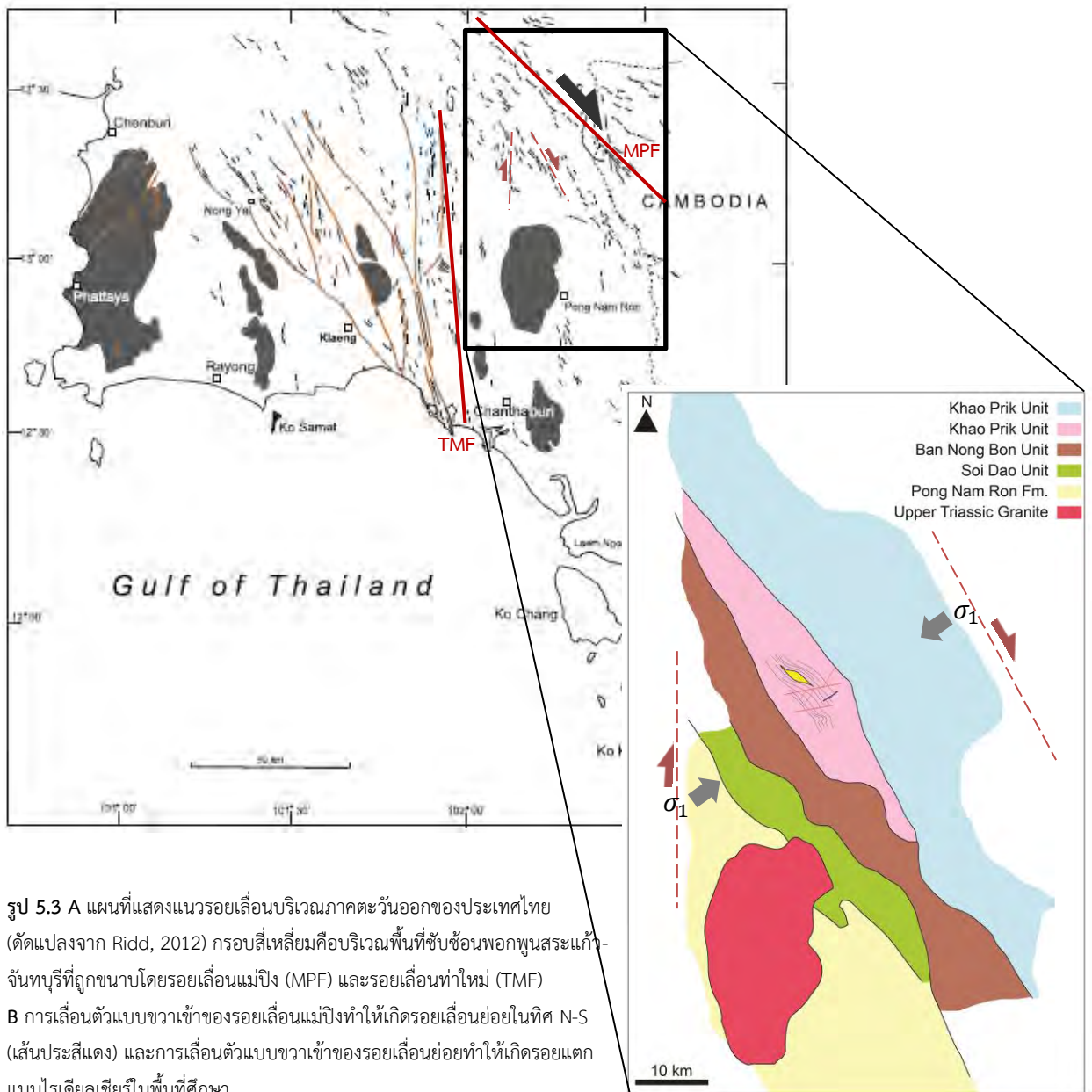


รูป 5.1 ตำแหน่งของบล็อกหินแปรกรดต่ำ (พื้นที่ศึกษา) ในหน่วยหินเขาแหลมขณะเกิดการเคลื่อนที่ย้อนมุมต่ำแบบเฉียงในระยะที่หนึ่ง (I) และระยะที่สอง (II) (วงรีสีน้ำเงินแทนสายแร่ควอตซ์ชุดที่สอง)



รูป 5.2 A ทิศทางของความเค้นมากที่สุด (ลูกศรสีดำ) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนลักษณะระยะที่หนึ่งเอ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ย้อนมุมต่ำแบบเฉียงของหน่วยหินเขาแหลมในทิศ NE-SW (ลูกศรเส้นประ), B ทิศทางความเค้นมากที่สุดที่ทำให้เกิดรอยแตกแบบเปิดและมีสายแร่ควอตซ์จากหินแกรนิตยุคไทรแอสสิกตอนปลาย (สีแดง) มาสะสมตัว

ระยะที่สาม (Stage III)



รูป 5.3 A แผนที่แสดงแนวรอยเลื่อนบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Ridd, 2012) กรอบสี่เหลี่ยมคือบริเวณพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีที่ถูกขนาบโดยรอยเลื่อนแม่ปิง (MPF) และรอยเลื่อนท่าใหม่ (TMF)
 B การเคลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงทำให้เกิดรอยเลื่อนย่อยในทิศ N-S (เส้นประสีแดง) และการเคลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนย่อยทำให้เกิดรอยแตกแบบโรเดียลเชียรในพื้นที่ศึกษา

5.2 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาทั้งระดับมหัณนิภาคและระดับจุลภาคของหินโผล่ที่เป็นหินแปรเกรดต่ำบริเวณบึงน้ำมันบางจาก ริมถนนทางหลวงหมายเลข 317 ตำบลวังสมบูรณ์ จังหวัดสระแก้ว สรุปได้เป็นลำดับการเกิดดังนี้

ระยะที่หนึ่ง

มีแรงอัดมากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในแนว NE-SW ทำให้เกิดริ้วขนานในแนว NW-SE และสายแร่ควอตซ์ชุดที่หนึ่งซึ่งแสดงลักษณะตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนแบบขวาเข้า คาดว่าน่าจะเป็นแรงที่มาจากการเคลื่อนที่ย้อนมุมต่ำแบบเฉียงของหน่วยหินเขาแหลมในแนว NE-SW จากนั้นมีแรงอัดในแนว NW-SE ทำให้ริ้วขนานแสดงลักษณะคดโค้งและแถบโค้งมุมแหลม ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นแรงย่อยในเวลาที่หน่วยหินเขาแหลมเคลื่อนตัวขึ้นมา โดยการเปลี่ยนลักษณะดังกล่าวน่าจะเกิดในที่ลึกเพราะธรณีโครงสร้างที่พบเป็นลักษณะที่เกิดจากการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่ม (ductile deformation)

จากการศึกษาแร่องค์ประกอบหินจากกล้องจุลทรรศน์แสงโพราไรซ์และการวิเคราะห์ทางธรณีเคมีด้วยวิธี XRD พบว่ามีแร่องค์ประกอบเป็น แร่ควอตซ์ แร่มีสโคไนด์และแร่โอลิไนด์(?) ซึ่งเทียบได้กับระดับการแปรสภาพในช่วง Prehnite-Pumpellyite ตอนบนถึง Greenschist ตอนล่าง คาดว่ามีอุณหภูมิประมาณ 200-350°C และมีความดันประมาณ 2-5 kbar

ระยะที่สอง

มีแรงอัดมากระทำต่อพื้นที่ศึกษาในแนว ENE-WSW ทำให้เกิดรอยแตกแบบเปิดขึ้นและมีสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองมาสะสมตัวในช่องว่างเหล่านั้น คาดว่าสายแร่ควอตซ์ชุดนี้สะสมตัวหลังจากการเปลี่ยนลักษณะในระยะที่หนึ่งสิ้นสุดหรือเกือบจะสิ้นสุดเพราะไม่พบลักษณะผลึกควอตซ์ในสายแร่ควอตซ์ชุดที่สองนี้มีการเปลี่ยนลักษณะ ซึ่งคาดว่าหน่วยหินเขาแหลมนั้นได้เคลื่อนที่ขึ้นมายังที่ตื้นขึ้นและเกิดการเปลี่ยนลักษณะแบบเปราะ (brittle deformation) จึงเกิดรอยแตกขึ้น ส่วนสายแร่ควอตซ์นั้นคาดว่าน่าจะมาจากหินแกรนิตยุคไทรแอสสิกตอนปลายที่แทรกตัวขึ้นมาในทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา

ระยะที่สาม

มีแรงอัดเข้ามาในแนว NE-SW ทำให้เกิดรอยแตกสองแนว คือ ENE-WSW และ NE-SW ซึ่งแนวแรกมีการแสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้า นอกจากนี้ยังพบแนวรอยแตกในแนว NW-SE บางส่วน จากความสัมพันธ์ของแนวรอยแตกทั้งหมดสามารถเทียบสัมพันธ์กับรอยแตกที่เกิดจากไรเดิลเซียร์ที่เป็นการเคลื่อนที่แบบขวาเข้าในทิศทาง N-S ซึ่งคาดว่า เป็นการเคลื่อนที่ของแนวรอยเลื่อนย่อยที่อยู่ระหว่างรอยเลื่อนแม่ปิงกับรอยเลื่อนท่าใหม่ การเคลื่อนตัวแบบขวาเข้าของรอยเลื่อนแม่ปิงทำให้รอยเลื่อนย่อยในแนว N-S เลื่อนตัวแบบขวาเข้าด้วย ส่งผลให้เกิดรอยแตกแบบไรเดิลเซียร์ในพื้นที่ศึกษา

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การศึกษาต้นกำเนิดของหินในพื้นที่ศึกษา

หากมีการวิเคราะห์ทางธรณีเคมีของหินในพื้นที่ศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติม อาจจะสามารถช่วยระบุหินต้นกำเนิดของหินแปรเกรดต่ำนี้ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจต่อการสะสมตัวของหินแต่ละหน่วยหินแรกเริ่มก่อนจะเกิดเป็นหน่วยหินซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีมากขึ้น

5.3.2 อายุของหินในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาของ Chutakositkanon (2004) และ Chuakositkanon and Hisada (2008) พบว่าบล็อกของหินแปรเกรดต่ำมีการกระจายตัวอยู่เพียงแห่งเดียวในบริเวณพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี ซึ่งไม่มีการระบุแน่ชัดถึงอายุของหินแปรเกรดต่ำนี้ มีเพียงการเทียบสัมพันธ์กับหินเซิร์ตสีแดงบริเวณใกล้เคียงที่อยู่ในช่วงยุคเพอร์โม-ไทรแอสสิก โดยคาดว่าอยู่ในช่วงอายุใกล้เคียงกัน ซึ่งทางผู้จัดทำได้ทดลองทำการหาตัวอย่างแร่เซอร์คอนของหินในพื้นที่ศึกษาดังกล่าว เพื่อใช้ในการหาอายุสัมบูรณ์ แต่หาจากตัวอย่างในปริมาณที่น้อยจึงไม่พบตัวอย่างแร่เซอร์คอนเลย ทางผู้จัดทำจึงเสนอให้มีเพิ่มตัวอย่างในการใช้หาตัวอย่างแร่เซอร์คอนเพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นในการพบแร่เซอร์คอนมากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้หาอายุสัมบูรณ์ได้

5.3.3 การเทียบเคียงกับโครงสร้างทางธรณีในบริเวณ SKCB-AC

เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ขนาดเล็กในบริเวณพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรี ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อนมาก ยังมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ เช่น การใช้วิวัฒนาการทางธรณีโครงสร้างของพื้นที่ เทียบเคียงกับการศึกษาในจุดศึกษาอื่นๆ ด้วย จึงจะสรุปเป็นวิวัฒนาการธรณีโครงสร้างระดับมหภาคของพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีนี้ และจะสามารถอธิบายและเข้าใจการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาในหน่วยหินต่างๆ ในบริเวณนี้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเข้าใจพฤติกรรมการเกิดธรณีแปรสัณฐานของบริเวณพื้นที่ซับซ้อนพอกพูนสระแก้ว-จันทบุรีมากยิ่งขึ้น

บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง

- Bosworth, W. 2014. The relative roles of boudinage and "STRUCTURAL SLICING" in the disruption of layered rock sequences 1. The Journal of Geology 92(4) : 447-456.
- Chutakositkanon, V. 2004. Detrital chromian spinels from the Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex, eastern Thailand: tectonic evolution of the western margin of Indochina. Unpublished Ph.D. dissertation, the University of Tsukuba, Japan.
- Chutakositkanon, V., and Hisada, K. 2008. Tectono-stratigraphy of the Sa Kaeo-Chanthaburi Accretionary Complex, Eastern Thailand: Reconstruction of tectonic evolution of oceanic plate-Indochina collision. In. M. Choowong and T. Thitimakorn (eds.). Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008). 4th IGCP 516. And 5th APJEG. Pp. 330-338. 24-26 November 2008. Bangkok, Thailand: Department of Geology, Chulalongkorn University.
- Fontaine, H., and Salyapongse, S. 1997. Biostratigraphy of East Thailand. In P.Dheeradilok et al. (eds.), Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific, pp.73-82. 19-24 August 1997. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Industry.
- Hada, S., Bunopas, S., Ishii, K., and Yoshikura, S. 1997. Rift-drift history and the amalgamation of Shan-Thai and Indochina/East Malaya blocks. In P. Dheeradilok et al. (eds.), Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific, pp.273-286. 19-24 August 1997. Bangkok, Thailand: Department of Mineral Resources, Ministry of Industry.
- Hara, H., Chutakositkanon, V., Hisada, K., and Charusiri, P., 2006. Paleo-geothermal structure of the Permo-Triassic accretionary complex in the Sa Kaeo-Chanthaburi area, eastern Thailand: Preliminary result of illite crystallinity analysis. Journal of the Geological Society of Thailand 2005-2006 : 49-56.
- Johnson S., et al. 2009. Clast-based kinematic vorticity gauges: The effects of slip at matrix/clast interfaces. Journal of Structural Geology 31 : 1322-1339.
- Kanjanapayont, P., Grasemann, B., Edwards, M., and Fritz, H. 2011. Quantitative kinematic analysis within the Khlong Marui shear zone, southern Thailand. Journal of Structural Geology 35 : 17-27.
- Liang C., et al. 2015. Structures, kinematic analysis, rheological parameters and temperature-pressure estimate of the Mesozoic Xingcheng-Taili ductile shear zone in the North China Craton. Journal of Structural Geology 78 : 27-51.
- Metcalf, I., 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. Journal of Asian Earth Sciences 66(2013) : 1-33.
- Passchier C.W., and Trouw R.A.J. 2005. Microtectonics. 2nd edition. Berlin, Germany: Springer.
- Ramsay, J.G., and Huber, M.I. 1987. The techniques of modern structural geology Volume 2: Folds and Fractures. San Diego, CA: Academic Press Inc.
- Ridd, M. 2012. The role of strike-slip faults in the displacement of the Palaeotethys suture zone in Southeast Thailand. Journal of Asian Earth Sciences 51 : 63-84.

- Sashida, K., Adachi, S., Igo, H., Nakornsri, N., and Ampornmaha, A. 1997. Middle to Upper Permian and Middle Triassic radiolarians from Eastern Thailand. Science Reports of the Institute of Geoscience, the University of Tsukuba 18 : 1-17.
- Shibata, T., and Hashimoto, Y. 2005. Deformation style of slickenlines on mélangé foliations change in deformation mechanisms along subduction interface: Example from the Cretaceous Shimanto Belt, Shikoku, Japan. Gondwana Research 8(3) : 433-442.
- Ueno H., and Hisada K. 2006. Slip sense in the Southern Chichibu Belt in the Kanto Mountains, Japan: An Indicator of plate subduction direction. Journal of the Geological Society of Thailand 1 : 83-90.
- Ueno, K., and Charoentitirat, T. 2011. Carboniferous and Permian. In Ridd, M.F., Barber, and A.J. Crow, M.J. (eds.), The Geology of Thailand, pp.71-136. The Geological Society of London, 2011