



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

โดย

นายอนุพงศ์ วีระพันธ์

เลขประจำตัวนิสิต 5832741823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ได้มีการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

นายอนุพงศ์ วีระพันธ์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

STRUCTURAL GEOLOGY OF KHAO DONG YANG, CHACHOENGSAO PROVINCE

Mr. Anupong Weerapan

A Report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Science

Department of Geology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง

จังหวัดฉะเชิงเทรา

โดย

นายอนุพงศ์ วีระพันธ์

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์

วันที่ส่ง 13 พฤษภาคม 2562

วันที่อนุมัติ 13 พฤษภาคม 2562



อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์)

Project Title STRUCTURAL GEOLOGY OF KHAO DONG YANG,
 CHACHOENGSAO PROVINCE

By Mr. Anupong Weerapan

Field of Study Geology

Project Advisor Associate Professor Pitsanupong Kanjanapayont, Dr.rer.nat.

Submitted date 13 May 2019

Approval date 13 May 2019



Project Advisor

(Associate Professor Pitsanupong Kanjanapayont, Dr.rer.nat.)

หัวข้อโครงการ: ธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

ผู้วิจัย: นายอนุพงศ์ วีระพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ: รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์

ภาควิชา: ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

เขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางด้านแหล่งแร่โลหะพื้นฐานและทองคำที่มีลักษณะการเกิดแบบแหล่งแร่ร้อน โดยสารละลายน้ำร้อนจะแทรกเข้ามาตามรอยแตกในหิน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาโครงสร้าง โครงการนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง รวมถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา จากการศึกษาในระดับมหัพภาคจากภาคสนามทำให้ทราบว่าหินโผล่เป็นหินไมกาชีสต์ที่มีระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์วางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เช่นเดียวกับโครงสร้างแนวเส้น พบแนวแตกทั้งหมด 3 แนว รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำและหินกรวดเหลี่ยมรอยเลื่อน รวมถึงชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วมและแถบโค้งมุมแหลม และจากการศึกษาเพิ่มเติมในระดับจุลภาคจากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาคหลายชนิดและการแสดงกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนุ่มของแร่ควอตซ์จึงทำให้ทราบว่าหินในพื้นที่ศึกษาอยู่ในชุดลักษณะกรีนชีสต์ที่มีอุณหภูมิการแปรสภาพอยู่ในช่วงระหว่าง 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส และมีการกลไกการเกิดชั้นหินคดโค้งเป็นแบบเลื่อนไกล วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เกิดขึ้นในยุคไทรแอสซิก ซึ่งเป็นผลมาจากการชนกันระหว่างแผ่นจูลทวีปฉาน-ไทยและแผ่นจูลทวีปอินโดจีนทำให้เกิดความเค้นหลักค่ามากสุดในประมาณทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งแบบเลื่อนไกลที่เกิดร่วมกับแรงเฉือนเฉพาะระดับท้องถิ่นในบริเวณพื้นที่ศึกษาพร้อมกับการแปรสภาพและการเกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยาอื่นๆ

ภาควิชา ธรณีวิทยา ลายมือชื่อนิสิต อนุพงศ์ วีระพันธ์
 สาขาวิชา ธรณีวิทยา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.พิชญพงศ์
 ปีการศึกษา 2561

Project Title: Structural geology of Khao Dong Yang, Chachoengsao Province

Researcher: Mr. Anupong Weerapan

Advisor: Associate Professor Pitsanupong Kanjanapayont, Dr.rer.nat.

Department: Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract

Khao Dong Yang, Chachoengsao Province is an area that has potential in the area of basic metals and gold that has the characteristics of hydrothermal deposit, the hydrothermal solution will come along in the cracks in the rock. This project focuses on the study of structural geology. Including the relationship, evolution and mechanism of structural geology of Khao Dong Yang, Chachoengsao Province. Based on the mesoscopic study from the field, the outcrops are mica-schist with NW-SE direction of schistosity as well as the lineation. There are 3 different joint sets, thrust fault and fault breccia. Including parasitic folds and kink bands are also found. From the additional microscopic study, from the study of thin sections under the microscope, many types of shear sense indicators and ductile deformation of quartz are found, causing the rocks in the study area are greenschist facies with temperatures between 300 to 400 °C and fold mechanism is flexural-slip. Tectonic and structural evolution of Khao Dong Yang, Chachoengsao Province occurred in the Triassic era which is the result of a collision between Shan-Thai microcontinent and Indochina microcontinent, causing the maximum stress in about W-E direction, resulting in the formation of flexural-slip fold with local shear force in the study area along with the metamorphism and formation of other geological structures.

Department Geology Student's Signature Anupong Weerapan
Field of Study Geology Advisor's Signature of R
Academic Year 2018

กิตติกรรมประกาศ

ประการแรก ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในโครงการครั้งนี้ด้วย รวมไปถึงยานพาหนะ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆในการทำงานภาคสนาม

ประการที่สอง ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงแก่ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการในครั้งนี้อาจารย์ได้สละเวลามาช่วยเหลือตั้งแต่การสำรวจภาคสนาม รวมทั้งความรู้ ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างต่างๆ และขั้นตอนต่างๆตลอดโครงการในครั้งนี้อย่างดี รวมทั้งขอขอบคุณ ดร.สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล ผศ.ดร.ปิยพงษ์ เชนรัมย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาลำ และอาจารย์ท่านอื่นๆในภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้ แนะนำ และชี้ทางให้ข้าพเจ้าได้เห็นสิ่งต่างๆตั้งแต่ข้าพเจ้าได้เข้ามาสู่ภาควิชาจบจนที่ข้าพเจ้าได้ทำโครงการนี้จนสำเร็จ

ประการที่สาม ขอขอบคุณ นายภูริช เจตนา นายณัฐนิตี สุธีรพงศ์พันธ์ และนายแดน ปิ่นเฉลียว ผู้ช่วยในการสำรวจภาคสนามที่ช่วยในการเก็บข้อมูลโครงสร้างต่างๆจากภาคสนาม

สารบัญ

บท	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 พื้นที่ศึกษา	5
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 ขอบเขตการศึกษา	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.6 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย	8
บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	14
2.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น	15
2.1.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานจากแผนที่ของบริเวณพื้นที่ศึกษา	15
2.1.1.1 แผนที่ภูมิประเทศจังหวัดฉะเชิงเทรา	15
2.1.1.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดฉะเชิงเทรา	15
2.1.2 การศึกษาลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	17
2.1.3 การศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม	29
2.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	29
2.2.2 การเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง	29
2.3 การศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ	31
2.3.1 การวิเคราะห์ระดับมหัศจรรย์ภาค	31
2.3.2 การวิเคราะห์ระดับจุลภาค	33
2.4 การตีความข้อมูล	33
2.4.1 ธรณีวิทยา	34
2.4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	34

2.4.3	วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง	34
2.5	การอภิปรายและสรุปผลการศึกษา	34
2.6	การจัดทำรายงานและนำเสนอ	35
2.6.1	การสัมมนา	35
2.6.2	การเขียนรายงานโครงงาน	35
บทที่ 3	ผลการศึกษา (Result)	36
3.1	ธรณีวิทยา	37
3.1.1	หินไม่กา-ซิสต์	37
3.2	ธรณีวิทยาโครงสร้าง	39
3.2.1	ผลการศึกษาระดับมหัณมิภาค	38
3.2.1.1	จุดศึกษาที่ 1	40
3.2.1.2	จุดศึกษาที่ 2	49
3.2.1.3	จุดศึกษาที่ 3	54
3.2.1.4	จุดศึกษาที่ 4	59
3.2.2	ผลการศึกษาระดับจุลภาค	66
3.2.2.1	กลไกการเปลี่ยนลักษณะ	69
3.2.2.1.1	การโป่งนูน	69
3.2.2.2	ตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาค	70
3.2.2.2.1	แถบการเฉือนแบบ C และ C'	71
3.2.2.2.2	เม็ตรูปซิกม่า แร่รูปลา และเม็ตรูปซิกมอยด์	72
3.2.2.2.3	ริ้วขนานเฉียง	75
3.2.2.2.4	ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร	76
3.2.2.2.5	ระบบการเฉือนรีเดล	77
บทที่ 4	อภิปรายผลการศึกษา (Discussion)	80
4.1	ธรณีวิทยา	80
4.2	ธรณีวิทยาโครงสร้าง	87
4.3	วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง	91
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษา (Conclusion)	94
	เอกสารอ้างอิง (Reference)	96
	ภาคผนวก (Appendix)	100

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย (Boonchaisuk et al., 2013)	2
รูปที่ 1.2 ขอบเขตของแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัยและแนวชั้นหินคดโค้งเลย (ดัดแปลงจาก Bunopas and Vella, 1983)	3
รูปที่ 1.3 ขอบเขตของศิลาภูมิประเทศหินล้าง ศิลาภูมิประเทศสุโขทัย และศิลาภูมิประเทศจันทบุรี รวมถึงตะเข้บธรณีน่านและตะเข้บธรณีสระแก้ว (Metcalf, 2013)	4
รูปที่ 1.4 ลักษณะภูมิประเทศของเขาตงยางที่ปรากฏอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวัง 5236 II (อำเภอพนมสารคาม) จังหวัดฉะเชิงเทรา	5
รูปที่ 1.5 ลักษณะภูมิประเทศของเขาตงยาง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา พร้อมแสดงภาพรวมของพื้นที่บริเวณจุดศึกษาที่อยู่บริเวณตีนเขาตงยาง (ภาพจาก Google Earth)	6
รูปที่ 1.6 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในชั้นต่างๆ A. ชั้นแปรสัณฐานบรรพกาล และ B. ชั้นแปรสัณฐานโบราณ	11
รูปที่ 1.6 (ต่อ) แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในชั้นต่างๆ C. ชั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล	12
รูปที่ 1.6 (ต่อ) แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในชั้นต่างๆ D. ชั้นแปรสัณฐานนวกาล	13
รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงลำดับของระเบียบวิธีวิจัยทั้ง 6 ส่วน	14
รูปที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดฉะเชิงเทราพร้อมแสดงพื้นที่บริเวณเขาตงยาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	16
รูปที่ 2.3 แผนที่ธรณีวิทยาของเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา (อำนาจ ส่งอุไรล้ำ และคณะ, 2543)	18
รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายตัวของหินบรมยุคพรีแคมเบรียนของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545)	20
รูปที่ 2.5 ภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะ การแปรสภาพ รวมถึงหลักฐานทางธรณีโครงสร้าง และเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานของหินแปรบริเวณบ้านป่อกวางทอง อำเภอพัสนิมคม จังหวัดชลบุรี (Areesiri, 1983)	22
รูปที่ 2.6 แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินแปรระดับต่างๆในประเทศไทย (Bussai, 2005)	25
รูปที่ 2.7 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการแทรกตัดตัดเข้าของหินแกรนิตสีขาวในหินแปรบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนแกลง (Kanjanapayont et al., 2013)	26

รูปที่ 2.8	แนวหินแปรในประเทศไทย (Salyapongse, 2002)	28
รูปที่ 2.9	วิธีการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งสำหรับทำแผ่นหินบาง (Passcheir and Trouw, 2005)	30
รูปที่ 2.10	การพล็อตโพล (pole) ในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (www.geologylearn.blogspot.com)	32
รูปที่ 2.11	แผนภาพภูทาบแสดงทิศทางการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้าง (www.rockware.com)	32
รูปที่ 3.1	จุดศึกษาทั้งหมด 4 จุด บริเวณตีนเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา	36
รูปที่ 3.2	หินไมกา-ชีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา	37
รูปที่ 3.3	แร่องค์ประกอบหลักที่พบให้หินไมกาชีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยรูปด้านซ้ายมือจะเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวามือจะเป็นแบบ PPL ประกอบด้วย A) แร่ควอตซ์ B) แร่มีสโคไวต์ C) แร่การ์เนต	38
รูปที่ 3.3 (ต่อ)	แร่องค์ประกอบหลักที่พบให้หินไมกาชีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยรูปด้านซ้ายมือจะเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวามือจะเป็นแบบ PPL ประกอบด้วย D) แร่ไบโอไทต์ และ E) แร่คลอไรต์	39
รูปที่ 3.4	ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 1	40
รูปที่ 3.5	แนวแตกทั้ง 3 แนวในจุดศึกษาที่ 1	41
รูปที่ 3.6	แนวแตกแนวที่ 1 แนวแตกแนวที่ 2 และสายแร่ควอตซ์ในจุดศึกษาที่ 1	42
รูปที่ 3.7	สายแร่ควอตซ์ที่แสดงลักษณะของโครงสร้างไส้กรอกในจุดศึกษาที่ 1	43
รูปที่ 3.8	แถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วมชนิด s ในจุดศึกษาที่ 1	44
รูปที่ 3.9	โครงสร้างแนวเส้นในจุดศึกษาที่ 1	45
รูปที่ 3.10	โครงสร้างแนวเส้นจากเม็ดแร่ยัดและโครงสร้างแนวเส้นจากรอยหยักในจุดศึกษาที่ 1	46
รูปที่ 3.11	แผนภาพภูทาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 1 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1	47
รูปที่ 3.11 (ต่อ)	แผนภาพภูทาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 1 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น	48
รูปที่ 3.12	ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 2	49
รูปที่ 3.13	แนวแตกแนวที่ 1 แนวแตกแนวที่ 2 และสายแร่ควอตซ์ในจุดศึกษาที่ 2	50
รูปที่ 3.14	โครงสร้างแนวเส้นในจุดศึกษาที่ 2	51
รูปที่ 3.15	แผนภาพภูทาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 2 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1	52

รูปที่ 3.15 (ต่อ) แผนภาพกุหลาบและสเตอร์โอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 2 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น	53
รูปที่ 3.16 ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 3	54
รูปที่ 3.17 แนวแตกแนวที่ 1 แนวแตกแนวที่ 2 และสายแร่ควอตซ์ในจุดศึกษาที่ 3	55
รูปที่ 3.18 โครงสร้างแนวเส้นในจุดศึกษาที่ 3	56
รูปที่ 3.19 แผนภาพกุหลาบและสเตอร์โอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 3 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1	57
รูปที่ 3.19 (ต่อ) แผนภาพกุหลาบและสเตอร์โอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 3 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น	58
รูปที่ 3.20 ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 4	59
รูปที่ 3.21 บริเวณชั้นหินด้านบนเป็นชั้นหินคดโค้งอยู่เหนือชั้นหินปกติด้านล่าง	61
รูปที่ 3.22 หินกรวดเหลี่ยมรอยเลื่อน	62
รูปที่ 3.23 แผนภาพกุหลาบและสเตอร์โอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 4 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1	63
รูปที่ 3.23 (ต่อ) แผนภาพกุหลาบและสเตอร์โอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 4 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น	64
รูปที่ 3.24 แผนภาพกุหลาบและสเตอร์โอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของพื้นที่ศึกษาที่ โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ รูปกลาง (สีเหลือง สีฟ้า และสีเขียว) คือ แนวแตกแนวทั้ง 3 แนว และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น	65
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 1	67
รูปที่ 3.26 ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 2	67
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 3	68
รูปที่ 3.28 แผ่นหินบางจำนวน 9 แผ่น	68
รูปที่ 3.29 A) แร่ควอตซ์แสดงการโป่งนูน B) ลูกศรสีแดงแสดงขอบที่กินกันเข้าไปของเม็ดแร่ และ (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	69
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างบอกทิศทางการเฉือนจุลภาคชนิดต่างๆ โดยกรอบสีแดงแสดงถึงชนิดที่เจอในแผ่นหินบางของการศึกษานี้ (Passchier and Trouw, 2005)	70

รูปที่ 3.31 A) แถบการเฉือนแบบ C B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนขวา (dextral shear) (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	71
รูปที่ 3.32 A) แถบการเฉือนแบบ C' B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนขวา (dextral shear) (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	72
รูปที่ 3.33 A) เม็ดรูปซิกม่า B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	73
รูปที่ 3.34 A) แร่ไมการูปลา B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	74
รูปที่ 3.35 A) เม็ดรูปซิกมอยด์ B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนซ้าย (sinistral shear) (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	75
รูปที่ 3.36 A) ริวขนานเฉียง B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนซ้าย (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	76
รูปที่ 3.37 A) ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	77
รูปที่ 3.38 A) ระบบการเฉือนแบบรีเดล B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนหลักเป็นแบบเฉือนวนขวา ของเม็ดแร่พร้อมกับเกิดรอยเลื่อนขึ้นภายในเม็ดอันเนื่องมาจากรอยเลื่อนตามแนวระดับขวาง (anti-Riedel shear, R') ซึ่งมีทิศทางการเฉือนตรงข้ามกับทิศทางการเฉือนหลัก (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	78
รูปที่ 3.39 ทิศทางการเฉือนที่แตกต่างกันแขนแต่ละข้างของชั้นคดโค้ง (รูปบนสุดถึงรูปล่างสุด) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือน โดยแขนข้างซ้ายเป็นแบบเฉือนวนซ้าย และแขนข้างขวาเป็นแบบเฉือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)	79
รูปที่ 4.1 แร่องค์ประกอบหลักทั้งหมดในหินไมกาชีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา (รูปด้านบนเป็นแบบ XPL และรูปด้านล่างเป็นแบบ PPL)	81
รูปที่ 4.2 ตารางกลุ่มแร่ในสภาพแวดล้อมการแปรสภาพระดับต่างๆ โดยอ้างอิงตามกลุ่มองค์ประกอบเคมี โดยกรอบสีแดงแสดงถึงชุดลักษณะที่มีความเป็นไปได้ของหินไมกาชีสต์ในพื้นที่ศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับแร่ องค์ประกอบ ซึ่งก็คือชุดลักษณะกรีนชีสต์ (สีเขียว) หรือชุดลักษณะแอมฟิโบลต์ (สีแดง) (Blatt et al., 2006)	82
รูปที่ 4.3 การโป่งนูนของแร่ควอตซ์ (รูปบนด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปบนด้านขวาเป็นแบบ PPL) ซึ่งมักเกิดขึ้นในอุณหภูมิต่ำ (รูปด้านล่าง)	83
รูปที่ 4.4 ควอตซ์ที่มีการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่ม (รูปด้านบน) และแผนภาพแสดงความแข็งแรงต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะและการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่มของแร่ควอตซ์และแร่เฟลด์สปาร์	84

- โดยกรอบสี่เหลี่ยมแสดงถึงขั้นการเปลี่ยนลักษณะและกรอบสีแดงแสดงถึงช่วงอุณหภูมิ (Passchier and Trouw, 2005)
- รูปที่ 4.5** แผนภาพแสดงอุณหภูมิของการเปลี่ยนลักษณะของควอตซ์และเฟลด์สปาร์ โดยกรอบสี่เหลี่ยมคือ 85
 หลักฐานการเปลี่ยนลักษณะของควอตซ์ ได้แก่ การโป่งนูนและการแสดงการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนุ่ม
 และสีแดงคือช่วงอุณหภูมิที่เป็นไปได้มากที่สุดของสภาพแวดล้อมการแปรสภาพ (Fossen et al., 2017)
- รูปที่ 4.6** แผนภาพแสดงสภาพแวดล้อมของการแปรสภาพในแต่ละช่วงอุณหภูมิและความดันที่เริ่มจากเขต 86
 อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำไปจนถึงเขตอุณหภูมิสูงและความดันสูง กรอบสีแดงคือชุดลักษณะของหินไมกา
 ซีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นชุดลักษณะกรีนซีสต์ (Arndt, 2013)
- รูปที่ 4.7** โครงสร้างแนวเส้นขนานไปกับแกนชั้นคดโค้งที่วางตัวไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออก 89
 เชียงใต้ที่ชี้วิเคราะห์ทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดได้
- รูปที่ 4.8** ระบายเรียงตัวแบบหินซีสต์ที่วางตัวไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ที่ตั้งฉากกับ 89
 ทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุด
- รูปที่ 4.9** แถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระบายแกนร่วมที่เกิดจากการเฉือนบ่งบอกว่าหินโผล่เป็นแขน 90
 ข้างหนึ่งของชั้นหินคดโค้งและยังบอกทิศทางความเค้นค่ามากที่สุด
- รูปที่ 4.10** รูปแบบการเฉือนในแขนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งต่างกันสนับสนุนการเกิดชั้นหินคดโค้งแบบ 90
 เลื่อนไถล
- รูปที่ 4.11** แนวแตกทั้ง 3 แนวที่เกิดขึ้นพร้อมกับชั้นหินคดโค้ง โดยแยกตามประเภทของวิธีการแตกรวมถึง 91
 การวางตัวเมื่อเทียบกับแนวการวางตัวของแกนชั้นคดโค้ง
- รูปที่ 4.12** วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาตงยางจังหวัดฉะเชิงเทรา 93

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

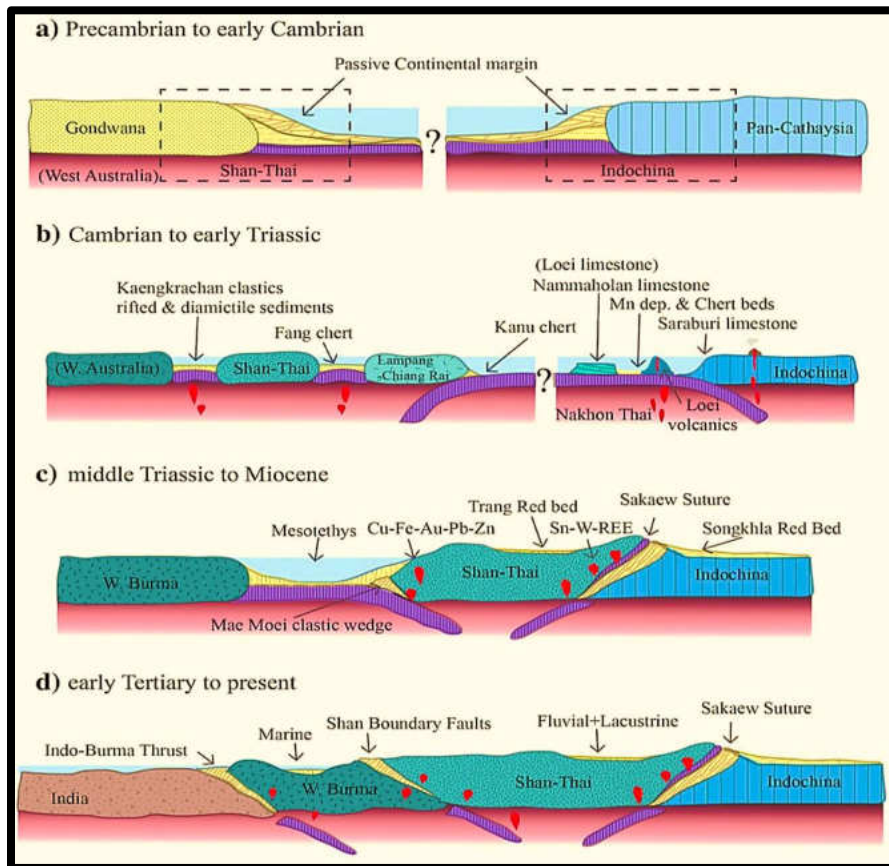
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Origin and significant)

โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่จะได้รับอิทธิพลมาจากการเคลื่อนที่เข้ามาชนกันของแผ่นเปลือกโลกในอดีต และจากการศึกษาวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic evolution) ของประเทศไทยทำให้สามารถบ่งชี้ได้ว่าประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นจุลทวีป (microcontinent) 2 แผ่น ได้แก่ แผ่นจุลทวีปฉาน-ไทย (Shan Thai microcontinent) ที่สามารถเทียบเคียงได้กับแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ (Sibumasu microcontinent) ของ Metcalfe (1988) และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน (Indochina microcontinent) การก่อเทือกเขาอินโดจีนเป็นหนึ่งเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อธรณีวิทยาของประเทศไทยมากที่สุดเหตุการณ์หนึ่ง ซึ่งจะเป็นการเคลื่อนที่เข้ามาชนกันระหว่างแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยและแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในช่วงยุคไทรแอสซิกหรือช่วงท้ายของวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยขึ้นแปรสัณฐานโบราณ (Paleotectonic stage) ไปจนถึงช่วงต้นของวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยขึ้นแปรสัณฐานมีชมิติกาล (Mesotectonic stage) และทั้งสองแผ่นจุลทวีปได้เข้ามาเชื่อมติดกันในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย โดยบริเวณพื้นที่ตรงกลางระหว่างทั้งสองแผ่นจุลทวีปจะมีการเกิดขึ้นของตะเข็บธรณีน่าน (Nan suture) และตะเข็บธรณีสระแก้ว (Sa Kaeo suture หรือ Srakaew suture) (รูปที่ 1.1) และจากเหตุการณ์นี้ยังก่อให้เกิดแนวโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ แนวชั้นหินคดโค้งเลย (Loei fold belt) และแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัย (Sukhothai fold belt) (Bunopas and Vella, 1983) (รูปที่ 1.2)

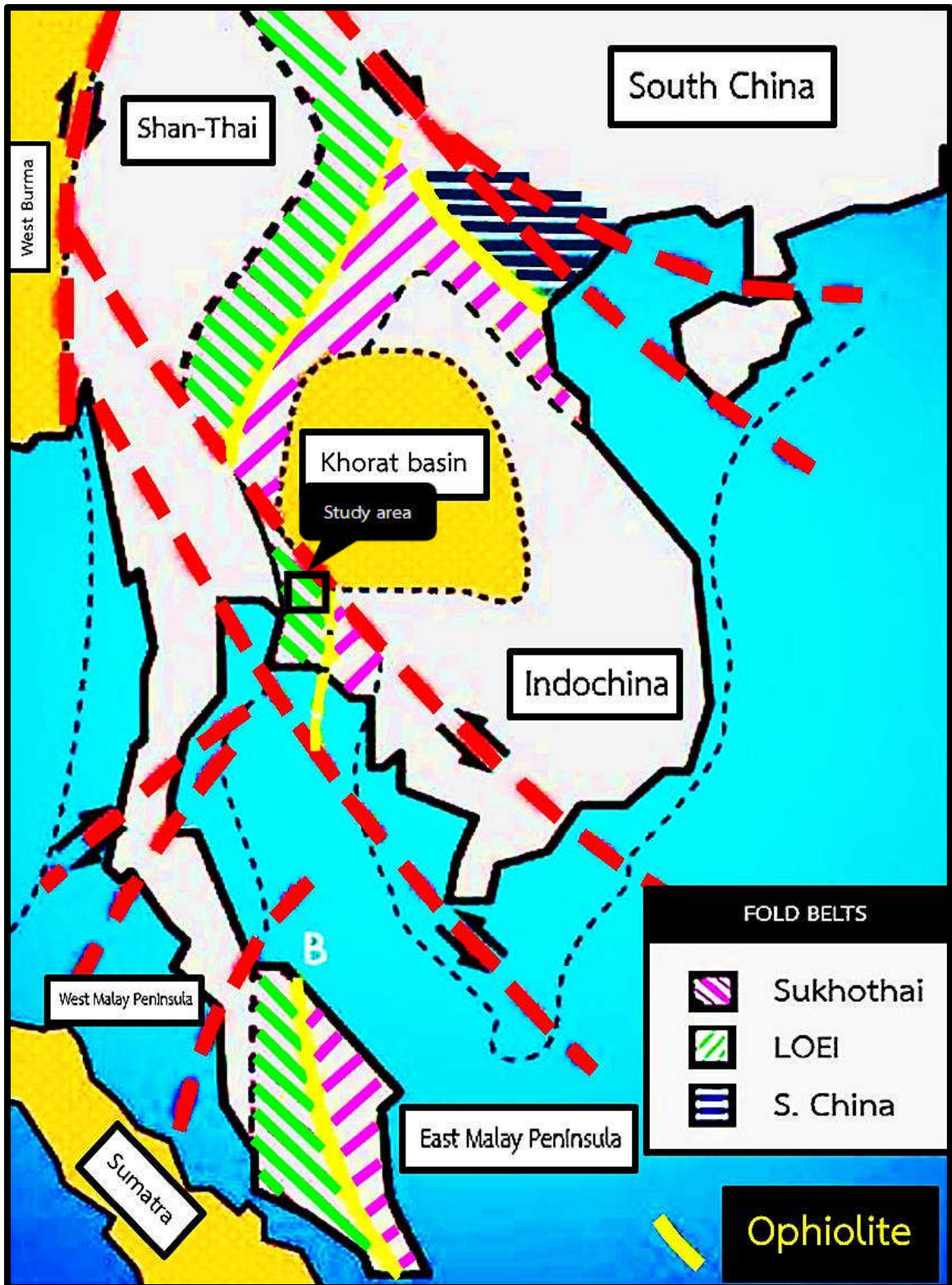
แนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัยและหมู่เกาะรูปโค้งสุโขทัย (Sukhothai arc) หรือปัจจุบันถูกเรียกรวมกันเป็นขอบเขตธรณีแปรสัณฐานแนวสุโขทัย (Sukhothai Zone) ซึ่งสามารถเทียบเคียงได้กับแผ่นลำปาง-เชียงใหม่ (Lampang-Chiang Rai block) (Charusiri et al., 2002) โดยมีการวางตัวแนวยาวอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ ระบบหมู่เกาะรูปโค้งสุโขทัย (Sukhothai island arc system) ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่เข้ามาชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุและแผ่นจุลทวีปอินโดจีนได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ศิลาภูมิประเทศ (terrane) ซึ่งแยกออกจากกันด้วยรอยเลื่อนประกอบไปด้วย ศิลาภูมิประเทศหลินซาง (Lincang

terrane) ศิลาภูมิประเทศสุโขทัย (Sukhothai terrane) และศิลาภูมิประเทศจันทบุรี (Chantaburi terrane) (Sone, Metcalfe and Chaodumrong, 2012) (รูปที่ 1.3) บริเวณพื้นที่เขาตองยาง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นส่วนหนึ่งของศิลาภูมิประเทศจันทบุรี จากการศึกษาในอดีตบ่งชี้ว่าพื้นที่เขาตองยางเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่โลหะพื้นฐานและทองคำที่มีลักษณะการเกิดแบบแหล่งแร่ร้อน (hydrothermal deposit) (อำนาจ ส่งอุไรล้ำ และคณะ, 2543) โดยสารละลายน้ำร้อน (hydrothermal solution) จะแทรกเข้ามาตามรอยแตก (fracture) ในหิน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาโครงสร้าง

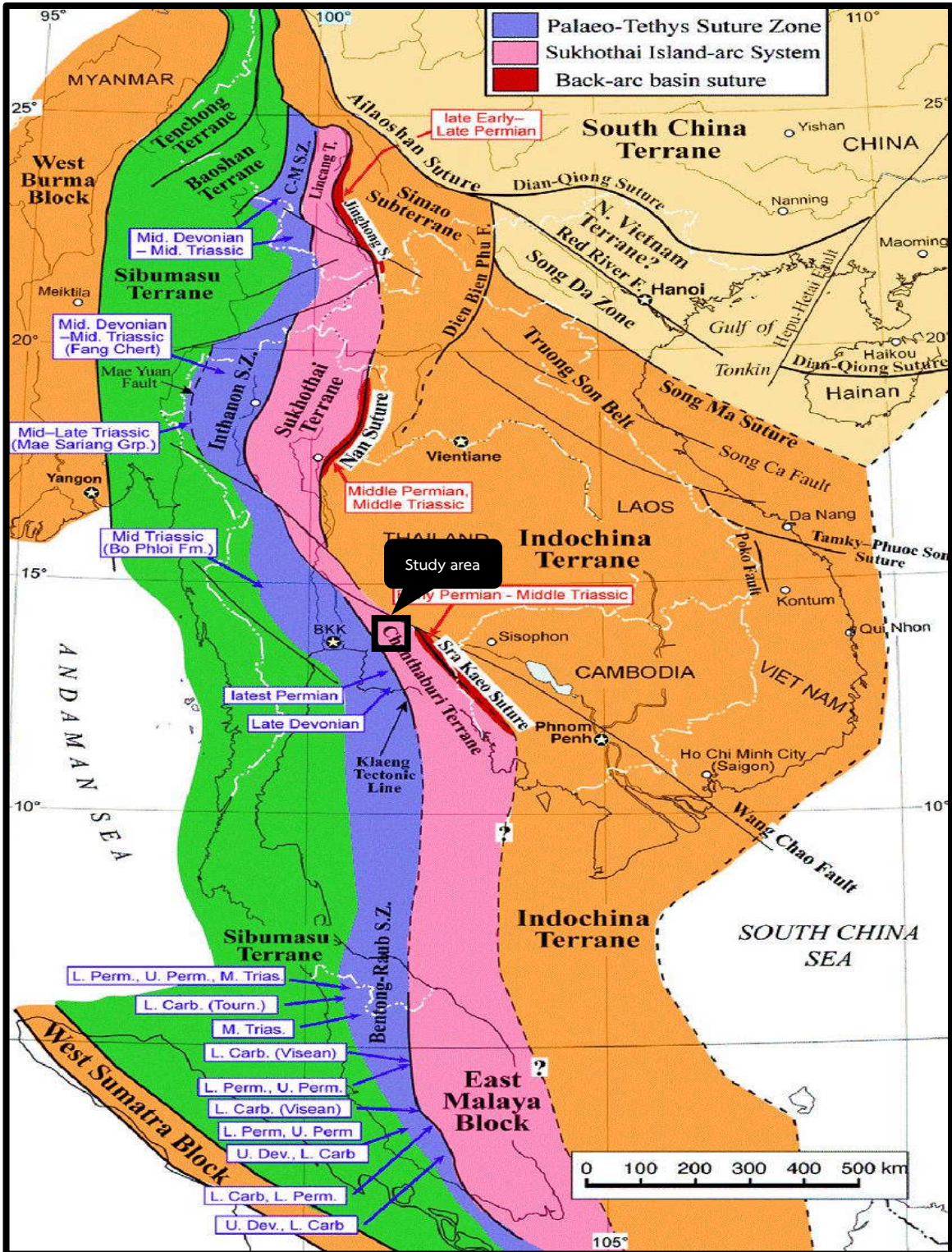
โครงการนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง รวมถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่บริเวณเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เพื่อให้ข้อมูลในพื้นที่ศึกษามีความครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และสามารถนำข้อมูลทางด้านธรณีวิทยาโครงสร้างนี้ไปใช้ในงานด้านการสำรวจด้านอื่นๆต่อไปในอนาคต



รูปที่ 1.1 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย (Boonchaisuk et al., 2013)



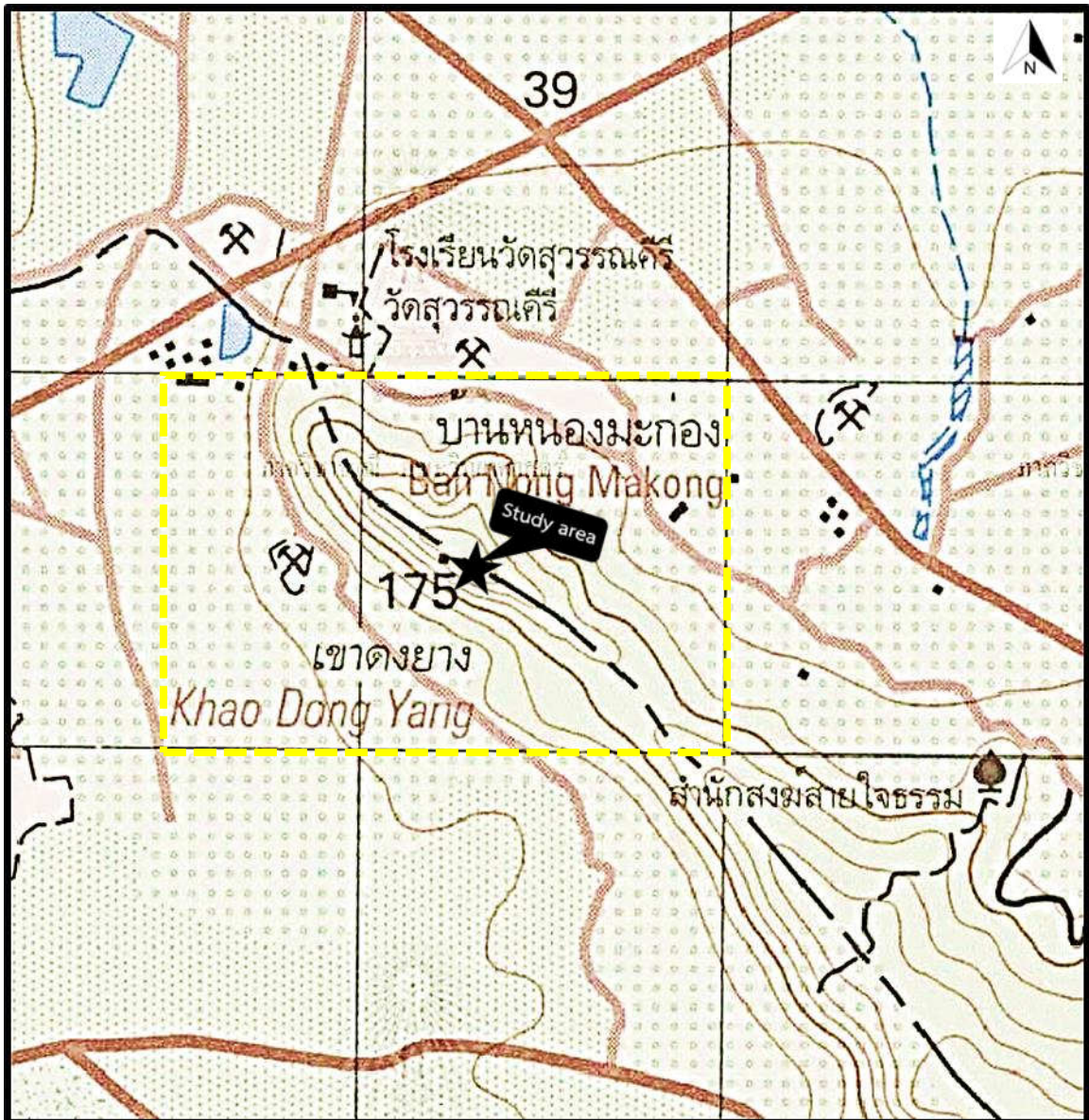
รูปที่ 1.2 ขอบเขตของแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัยและแนวชั้นหินคดโค้งเลย (ดัดแปลงจาก Bunopas and Vella, 1983)



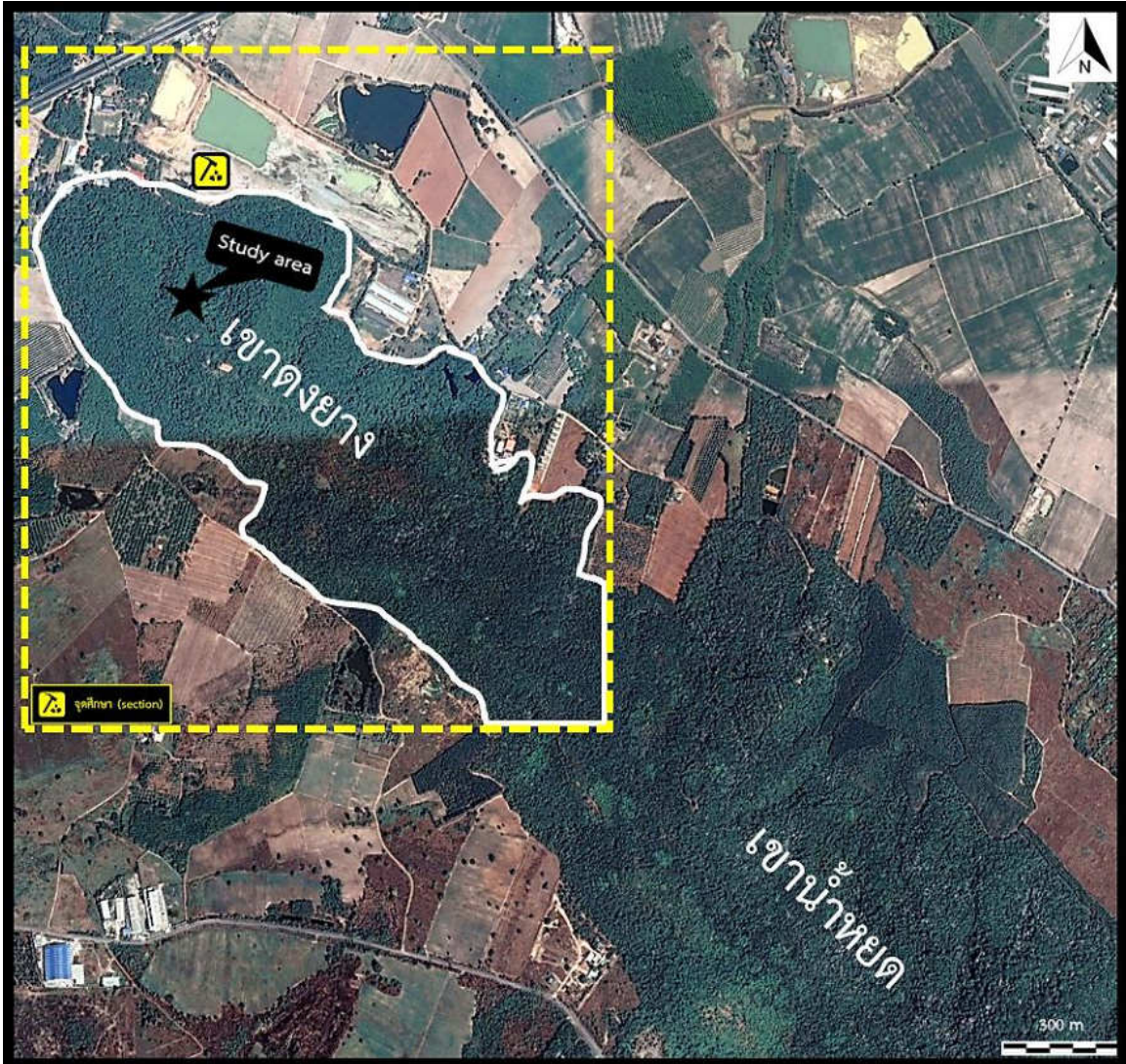
รูปที่ 1.3 ขอบเขตของคิลาภูมิประเทศหลินซาง คิลาภูมิประเทศสุโขทัย และคิลาภูมิประเทศจันทบุรี รวมถึงตะเข้บรรณิน่านและตะเข้บรรณินสระแก้ว (Metcalf, 2013)

1.2 พื้นที่ศึกษา (Study area)

พื้นที่เขาดงยางเป็นเขาส່ว่นหนึ่งซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของเทือกเขาน้ำหยด อยู่ในเขตอำเภอพนมสารคามและอำเภอแปลงยาว จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยจะปรากฏอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวัง 5236 II (อำเภอพนมสารคาม) (รูปที่ 1.4 และ รูปที่ 1.5)



รูปที่ 1.4 ลักษณะภูมิประเทศของเขาดงยางที่ปรากฏอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวัง 5236 II (อำเภอพนมสารคาม) จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 1.5 ลักษณะภูมิประเทศของเขาตงยาง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา พร้อมแสดงภาพรวมของพื้นที่บริเวณจุดศึกษาที่อยู่บริเวณตีนเขาตงยาง (ภาพจาก Google Earth)

1.3 วัตถุประสงค์ (Objectives)

- เพื่อศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา
- เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

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

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected outputs)

- ทราบข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา
- ทราบข้อมูลความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

1.6 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย (Tectonic evolution of Thailand)

แนวคิดทางด้านธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยเป็นแนวคิดหลักมาจากการศึกษาของ Bunopas (1981) ที่สามารถอธิบายเรื่องธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยตามลักษณะของธรณีประวัติ โดยแบ่งตามมหายุคต่างๆ ซึ่งต่อมา Charusiri et al. (2002) ได้ทำการแบ่งวิวัฒนาการทางธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยออกเป็น 4 ชั้น โดยอาศัยข้อมูลทางด้านลักษณะปรากฏของหิน อายุหิน ธรณีวิทยาโครงสร้าง ตลอดจนธรณีเคมี (geochemistry) และการลำดับชั้นหิน (stratigraphy) ทำให้สามารถแบ่งวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยออกเป็น 4 ชั้น (รูปที่ 1.6) ได้แก่ ชั้นแปรสัณฐานบรรพกาล (Archaeotectonic stage) ชั้นแปรสัณฐานโบราณกาล ชั้นแปรสัณฐานมีชนิมกาล และชั้นแปรสัณฐานนวกกาล นอกจากนี้ยังแบ่งแผ่นธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยออกเป็น 4 แผ่น ได้แก่ แผ่นจุลทวีปฉาน-ไทย แผ่นลำปาง-เชียงราย แผ่นนครไท (Nakhon Thai block) และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ชั้นแปรสัณฐานบรรพกาล

เป็นช่วงแรกสุดของการแปรสัณฐาน โดยทั้งจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีนยังคงอยู่แยกจากกัน และทั้งสองจุลทวีปยังคงเป็นส่วนหนึ่งของหินฐานธรณี (craton) ที่ประกอบไปด้วยหินแปรเกรดสูงที่มีอายุอยู่ในบรมยุคพรีแคมเบรียนของทวีปซิมเมอร์เรียน (Cimmerian) ที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย และทวีปแพน-คาเธเซีย (Pan-Cathaysia) ที่อยู่ทางด้านทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย ตามลำดับ และทั้งหมดเป็นส่วนหนึ่งของผืนแผ่นดินกอนด์วานา (Gondwanaland) ตะวันออกทางด้านซีกโลกใต้ในช่วงบรมยุคพรีแคมเบรียนไปจนถึงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้น

ชั้นแปรสัณฐานโบราณ

ต่อมาในช่วงกลางของมหายุคพาลีโอโซอิกเกิดการแยกออกจากกัน (rifting) ของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยและแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปิดออกของมหาสมุทรเททิสโบราณ (Paleotethys) และเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกจึงทำให้เกิดการรูก้ำเข้ามาของน้ำทะเลขึ้นมาท่วมทั้งบนจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีนตั้งแต่ยุคแคมเบรียนไปจนถึงยุคเพอร์เมียน และเกิดแนวภูเขา

ไฟรูโบโค้ง (volcanic arc) พร้อมกับการเกิดขึ้นของแผ่นเปลือกโลกใหม่ 2 แผ่นที่ขึ้นมาแทรกอยู่ระหว่างจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีน ได้แก่ แผ่นลำปาง-เชียงรายและแผ่นนครไท โดยแผ่นลำปาง-เชียงรายจะเป็นแนวภูเขาไฟรูโบโค้งที่รวมอยู่กับส่วนทางด้านทิศตะวันตกของพื้นมหาสมุทรเททิสโบราณ และแผ่นนครไทจะเป็นส่วนทางด้านทิศตะวันออกพื้นมหาสมุทรเททิสโบราณ ในช่วงสุดท้ายของมหายุคพาลีโอโซอิกไปจนถึงช่วงต้นของมหายุคมีโซโซอิกหรือช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิก (Permo-Triassic) แผ่นธรณีแปรสัณฐาน (tectonic plate) ทั้งหมดได้เคลื่อนตัวไปทางซีกโลกเหนือ ซึ่งเป็นอีกด้านหนึ่งของเส้นศูนย์สูตรบรรพกาล (paleoequator) และเข้ามาอยู่ใกล้กันมากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดการชนซึ่งกันและกันของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทย แผ่นลำปาง-เชียงราย แผ่นนครไท และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ผลจากการชนกันรวมถึงการมุดตัวและการยกตัวทำให้มหาสมุทรเททิสโบราณเริ่มปิดตัวลงและค่อยๆหายไป ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้เกิดตะเข็บธรณีเชียงใหม่ (Chiang Mai suture) และตะเข็บธรณีเลย (Loei suture) จากนั้นมหาสมุทรเททิสโบราณจะปิดตัวลงอย่างสมบูรณ์พร้อมกับการเกิดเป็นตะเข็บธรณีน่านและตะเข็บธรณีสระแก้วในช่วงปลายยุคไทรแอสซิก

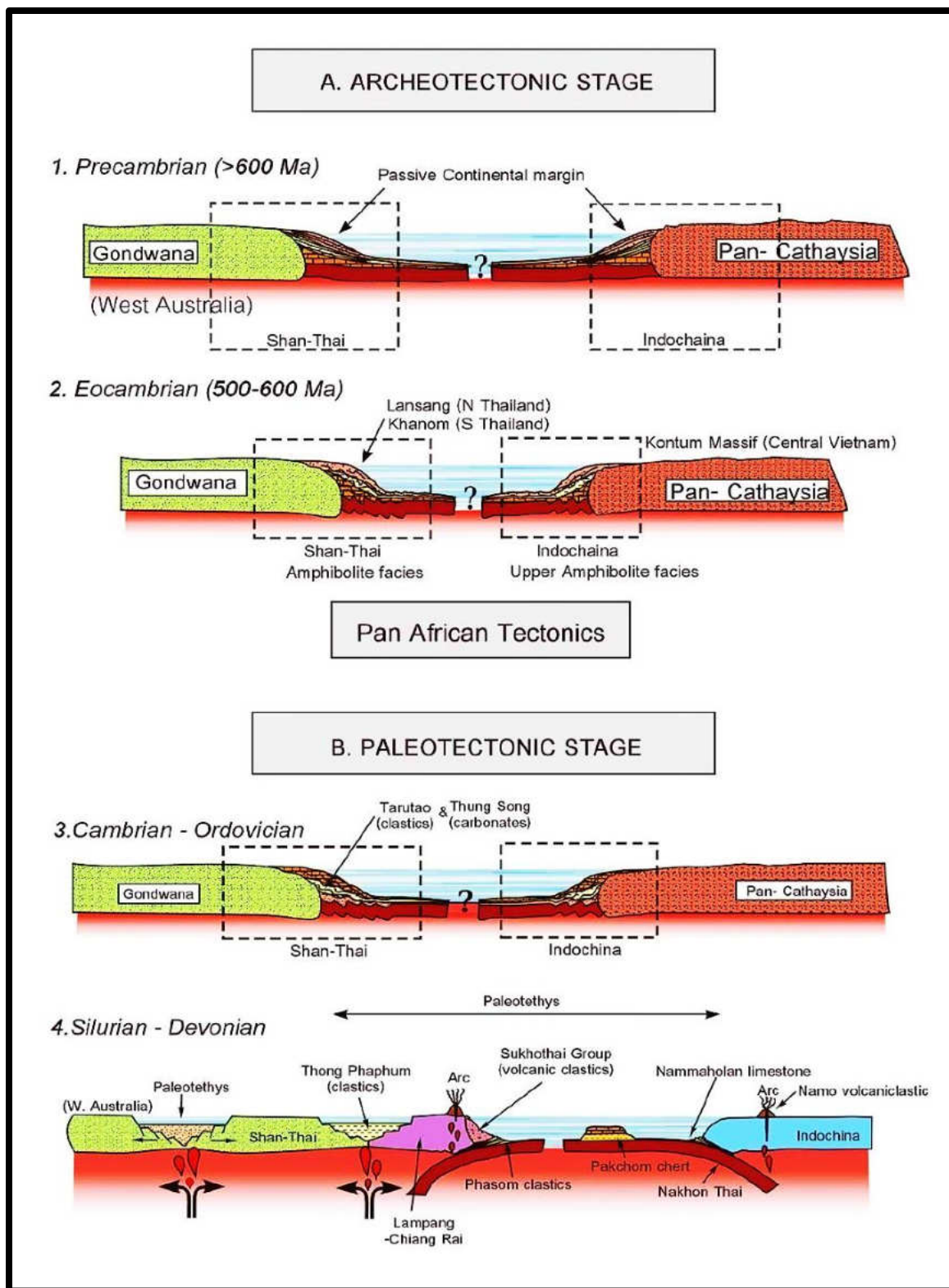
ชั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล

จากการเคลื่อนที่เข้าชนกันของแผ่นธรณีแปรสัณฐานเป็นผลทำให้เกิดการปิดตัวลงของมหาสมุทรเททิสโบราณและยังทำให้ส่วนที่เป็นทะเลบางส่วนถูกยกตัวขึ้นจนกลายเป็นแผ่นดิน แต่ในขณะเดียวกันทางด้านทิศตะวันตกสุดของประเทศไทยก็เริ่มที่จะมีการเปิดออกของมหาสมุทรเททิสมัชฌิมกาล (Mesotethys) ในชั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาลนี้ก่อให้เกิดแนวหินแกรนิตอักษิ (I-type granite) และหินแกรนิตตะกอน (S-type granite) ซึ่งมีปริมาณอะลูมิเนียมสูงที่ให้แหล่งแร่มากมายร่วมกับหินเหล่านี้ปกคลุมเป็นบริเวณกว้างของประเทศไทย การชนกันของแผ่นธรณีแปรสัณฐานครั้งนี้เป็นเหตุที่ทำให้เกิดระบวรอยเลื่อนหลักในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือในประเทศไทย เนื่องจากการโผล่ของทวีปเป็นบริเวณกว้าง การยกตัวและการสึกกร่อนอย่างรุนแรงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ทางด้านตะวันออกทิศตะวันออกของประเทศไทยเกิดการสะสมตัวของตะกอนแผ่นดินสีแดงในช่วงสุดท้ายของมหายุคมีโซโซอิก โดยเฉพาะในแผ่นจุลทวีปอินโดจีน แผ่นนครไท และแผ่นลำปาง-เชียงราย อย่างไรก็ตามทางด้านทิศตะวันตกของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยยังคงท่วมด้วยน้ำทะเลจากมหาสมุทรเททิสมัชฌิมกาลเป็นผลทำให้อีกฝั่งหนึ่งค่อยๆยกตัวขึ้นจนกระทั่งช่วงสุดท้ายของมหายุคมีโซโซอิก

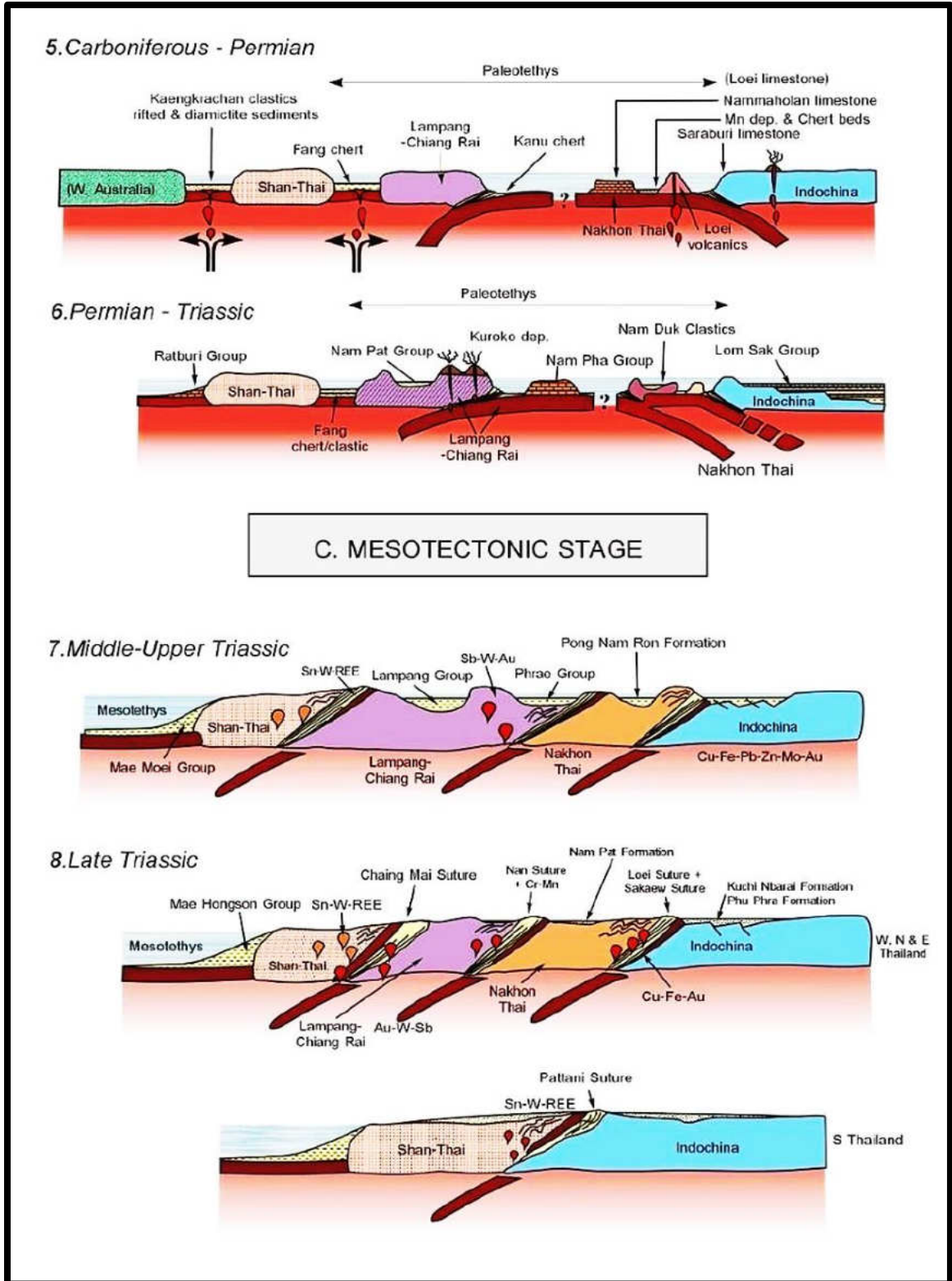
ในช่วงประมาณปลายยุคครีเตเชียสถึงต้นยุคเทอร์เชียรีแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกได้เคลื่อนที่เข้ามาชนกับจุลทวีปฉาน-ไทย ซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดหินแกรนิตชนิดอัคนีและหินแกรนิตชนิดตะกอนรวมถึง การเกิดขึ้นของแหล่งแร่ต่างๆ และเกิดการปิดตัวของมหาสมุทรเททิสมีขั้วภูมิภาค ปრაการณดังกล่าว เป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงการสิ้นสุดลงของขั้นแปรสัณฐานมีขั้วภูมิภาค ถึงแม้ว่าในเวลาต่อมาเกิดการเกิดของ มหาสมุทรเททิสนวกาลขึ้น แต่ก็ไม่มีสิ่งใดที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาในประเทศไทยมากเท่าใดนัก

ขั้นแปรสัณฐานนวกาล

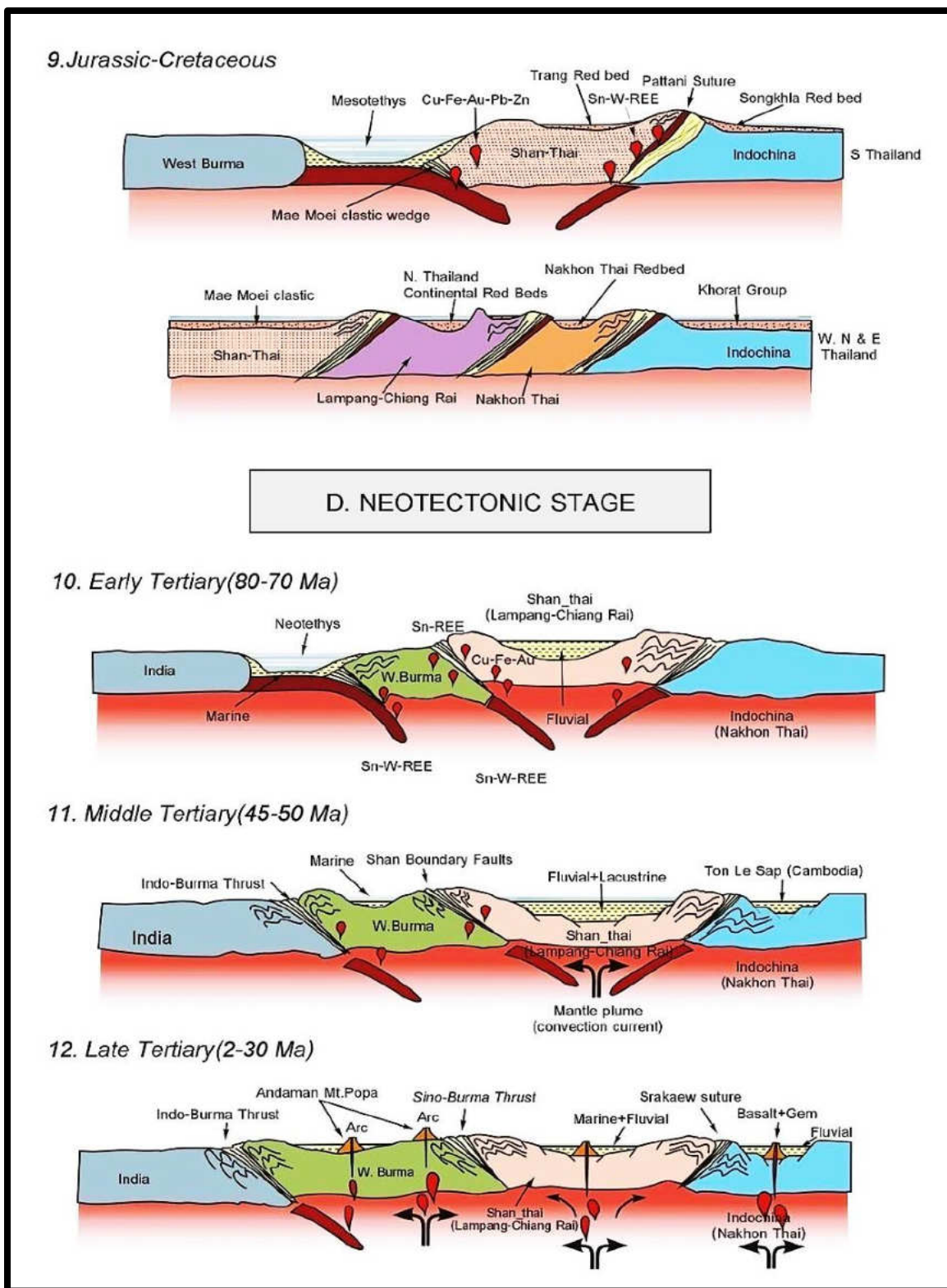
ในขั้นนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดียเข้าไปชนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในช่วง ยุคอีโอซีน ผลจากการชนกันทำให้เกิดการขาดหายไปของมหาสมุทรเททิสนวกาลโดยเกิดการแปรสัณฐาน ทวีปเลื่อนดัน (continental extrusion tectonics) อันเป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง รูปแบบธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการ เคลื่อนที่กลับทิศของรอยเลื่อนตามแนวระดับ เกิดการพัฒนาของแอ่งตะกอนแยกตัว (pull-apart basin) การเปิดออกของอ่าวไทย ทะเลจีนใต้ และทะเลอันดามัน จุดสำคัญที่สุดของขั้นแปรสัณฐานนวกาลแสดง ให้เห็นถึงการเกิดหินบะซอลต์ที่ไหลลอย ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากเนื้อโลก และสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าปัจจุบัน ยังคงอยู่ในขั้นของแปรสัณฐานนวกาลได้แก่ การเกิดน้ำพุร้อน บริเวณที่มีการไหลเวียนของหย่อมความ ร้อนสูง และการเกิดแผ่นดินไหว



รูปที่ 1.6 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในชั้นต่างๆ A. ชั้นแปรสัณฐานบรรพกาล และ B. ชั้นแปรสัณฐานโบราณ



รูปที่ 1.6 (ต่อ) แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในชั้นต่างๆ C. ชั้นแปรสัณฐานมีชัณณิกกาล

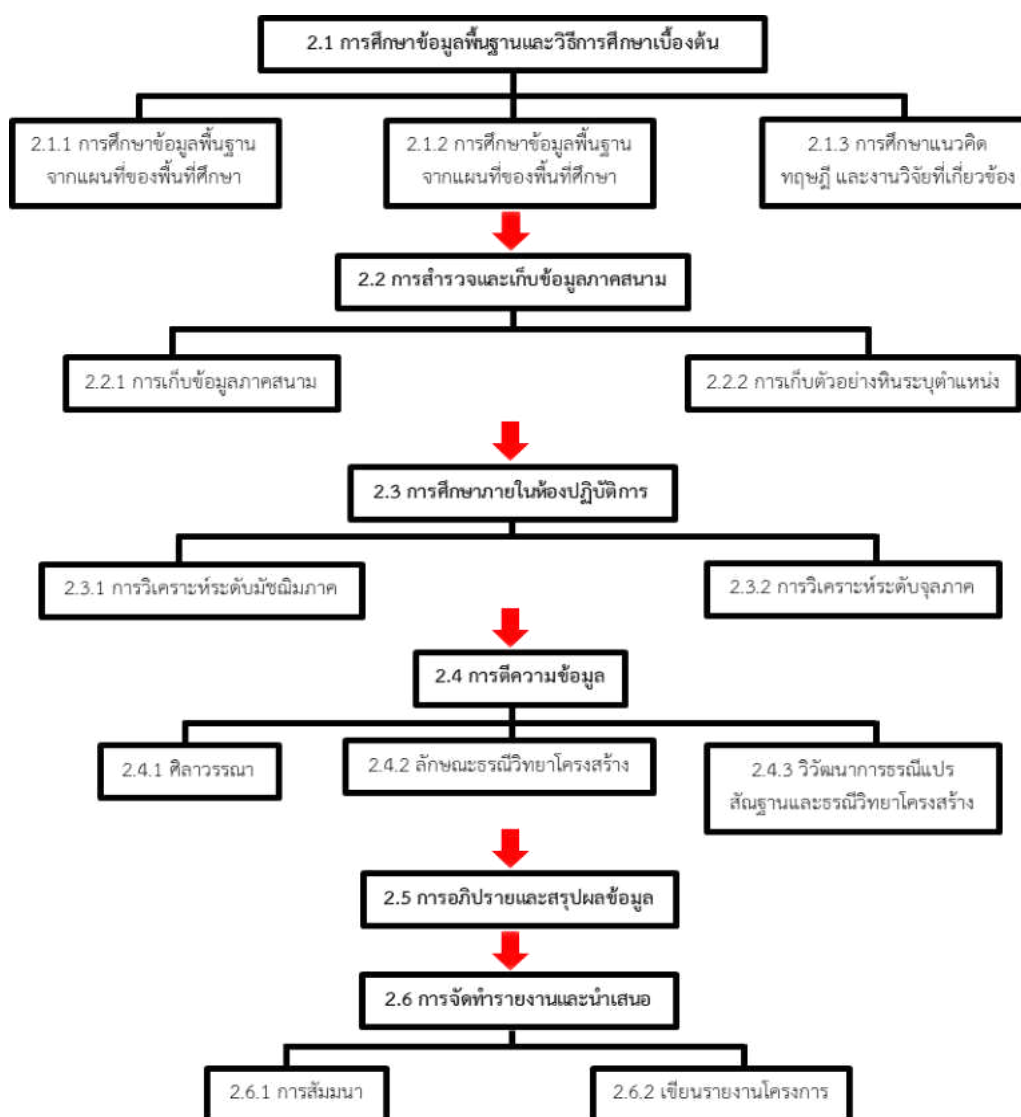


รูปที่ 1.6 (ต่อ) แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในชั้นต่างๆ D. ชั้นแปรสัณฐาน นวกาล

บทที่ 2

ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

การศึกษานี้ได้แบ่งระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 6 ส่วน (รูปที่ 2.1) ประกอบด้วย ส่วนแรกเป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น ส่วนที่สองเป็นการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม ส่วนที่สามเป็นการศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ ส่วนที่สี่เป็นตีความข้อมูล ส่วนที่ห้าเป็นการอภิปรายและสรุปผลข้อมูล และส่วนสุดท้ายเป็นการจัดทำรายงานและนำเสนอ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงลำดับของระเบียบวิธีวิจัยทั้ง 6 ส่วน

2.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น

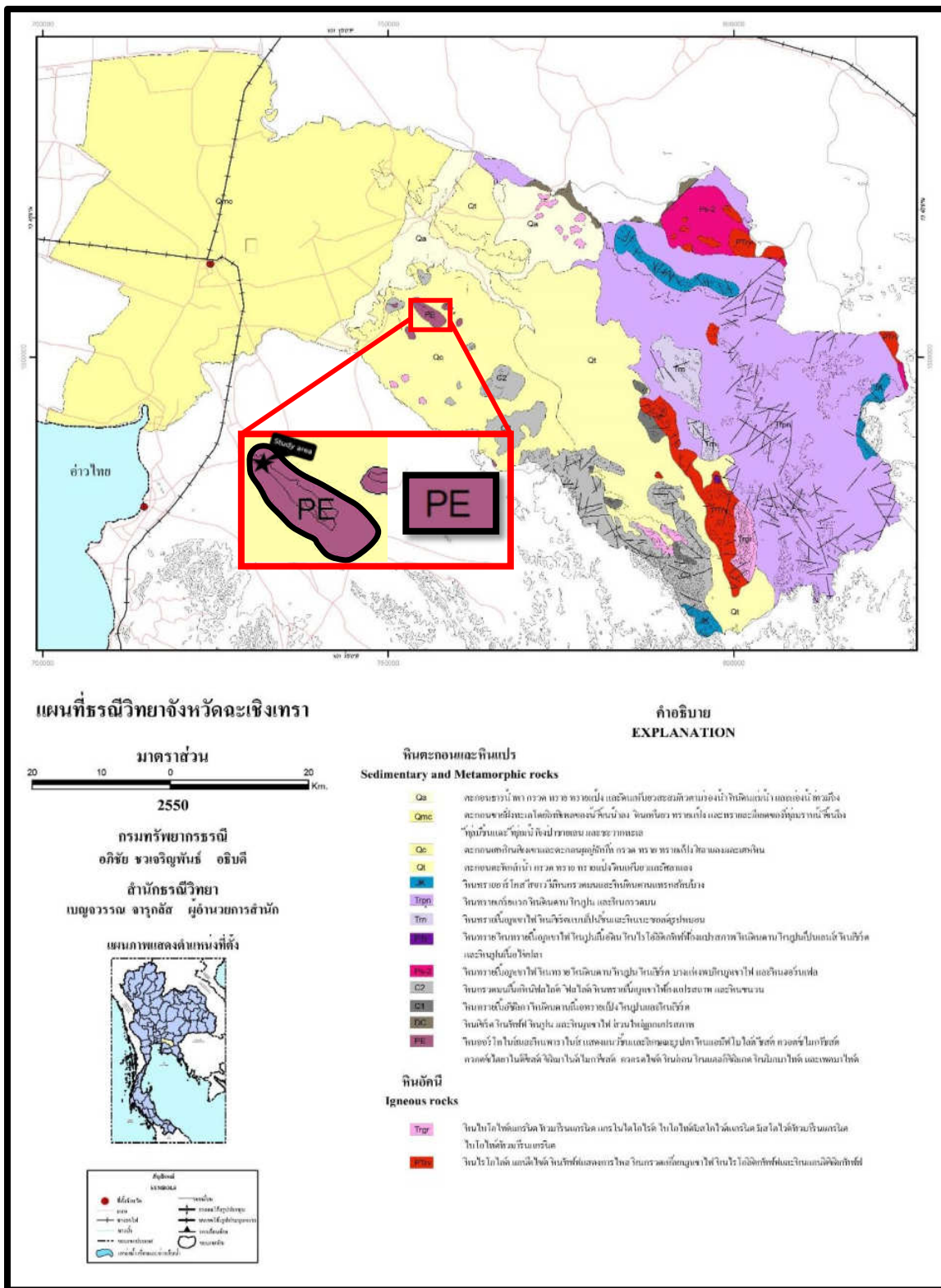
2.1.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานจากแผนที่ของบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.1.1.1 แผนที่ภูมิประเทศจังหวัดฉะเชิงเทรา

แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวัง 5236 II (อำเภอพนมสารคาม) โดยพื้นที่ศึกษามีขอบเขตของพื้นที่อยู่ระหว่างพิกัด 753678 ถึง 755265 ตะวันออก และ 1506670 ถึง 1508183 เหนือ UTM เขต 47 (รูปที่ 1.4)

2.1.1.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดฉะเชิงเทรา

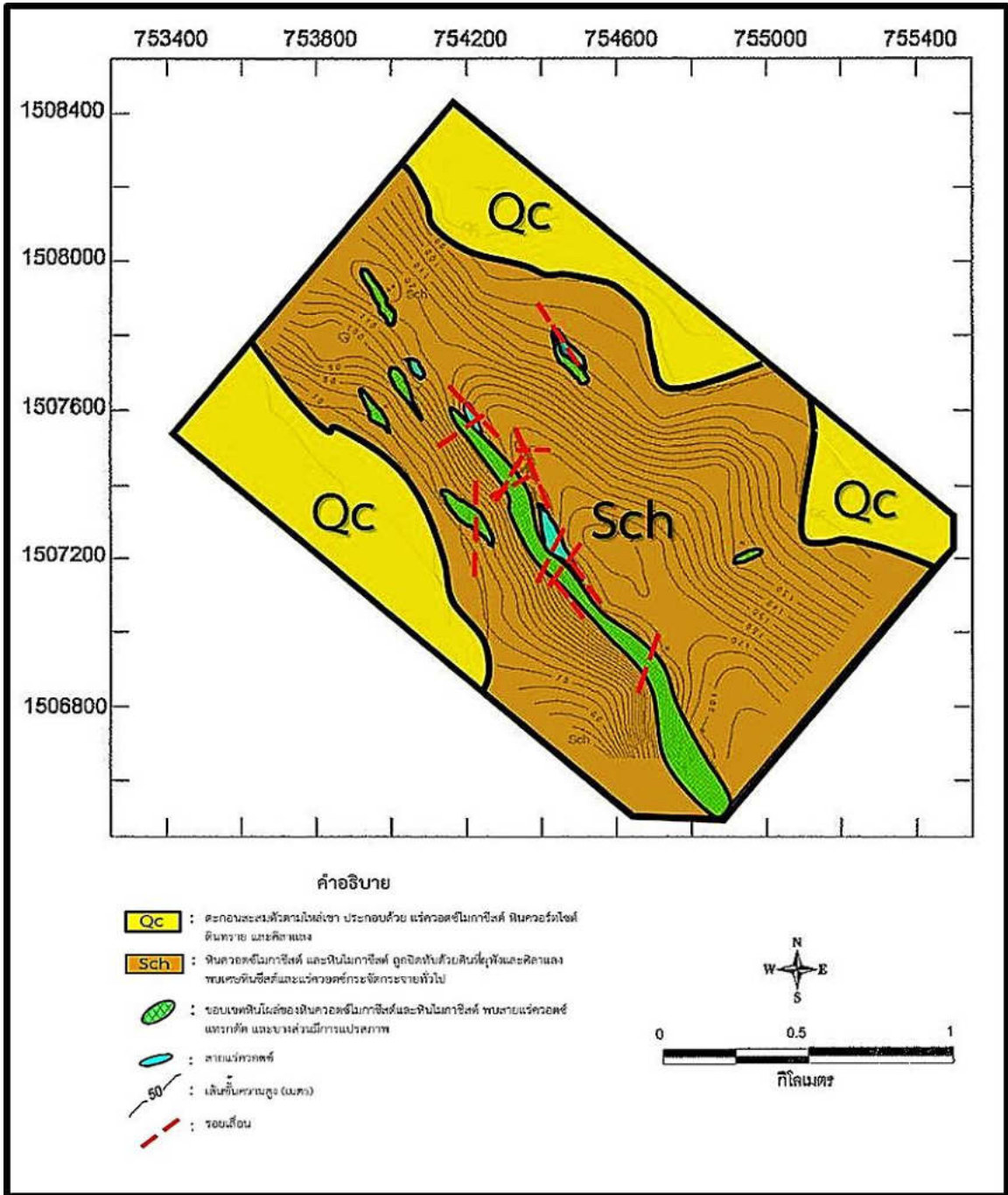
จากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดฉะเชิงเทราของกรมทรัพยากรธรณี (2550) มาตราส่วน 1 : 250,000 พื้นที่บริเวณเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา (รูปที่ 2.2) จะพบหน่วยหิน (rock unit) 2 หน่วยหิน ได้แก่ หน่วยหินแรกคือหน่วยหิน PE ที่มีอายุอยู่ในบรมยุคพรีแคมเบรียน ประกอบไปด้วยหินออร์โทไนส์ (orthogneiss) และหินพาราไนส์ (paragneiss) แสดงแนวชั้นและลักษณะรูปตา หินแอมฟีโบลโรต์ชีสต์ (amphibolite schist) ควอตซ์ไมกาชีสต์ (quartz-mica schist) ควอตซ์ไคยาไนต์ชีสต์ (quartz-kyanite schist) ซิลิมาไนต์ไมกาชีสต์ (silimanite-mica schist) ควอร์ตไซต์ หินอ่อน (marble) หินแคลก์ซิลิเกต (calc-silicate) หินมิกมาไทต์ (migmatite) และเพคมาไทต์ (pegmatite)



รูปที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดพะเยารวมแสดงพื้นที่บริเวณเขาดงยาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

2.1.2 การศึกษาลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

จากการสำรวจธรณีวิทยาในบริเวณพื้นที่เขาแดงยาง (รูปที่ 2.3) พบว่าในพื้นที่ประกอบด้วยหินควอตซ์ไมกาชีสต์ (quartz-mica schist) และหินไมกาชีสต์ (mica schist) เป็นส่วนใหญ่ มีแนวเรียงตัวในหินชีสต์ (schistosity) ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 20° - 45° โผล่ให้เห็นในบริเวณหน้าผาที่ปรากฏทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ หินควอร์ตไซต์ (quartzite) พบในบริเวณเชิงเขาทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่พบเป็นหินลอย (floated rock) และบริเวณเชิงเขาทางด้านทิศเหนือของเขาดงยางพบหินควอร์ตไซต์แทรกสลับกับหินชีสต์ (schist) และพบสายแร่ควอตซ์ (quartz vein) มีขนาดกว้างตั้งแต่ประมาณ 0.1 เมตรถึง 15 เมตร ความยาวตั้งแต่ประมาณ 1 เมตรถึง 70 เมตรในบริเวณทั่วไปโดยเกิดแทรกตามรอยแตก รอยแยก รอยเลื่อนและแนวเรียงตัวในหินชีสต์ บางบริเวณพบมีแร่เหล็กออกไซด์เคลือบตามรอยแตก สำหรับลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบได้แก่ รอยเลื่อนและรอยแตกแยก ซึ่งพบตัดผ่านหินทุกชนิด ส่วนใหญ่จะวางตัวในแนวทิศเกือบเหนือ-ใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (อำนาจ ส่องไรรู้ และคณะ, 2543)

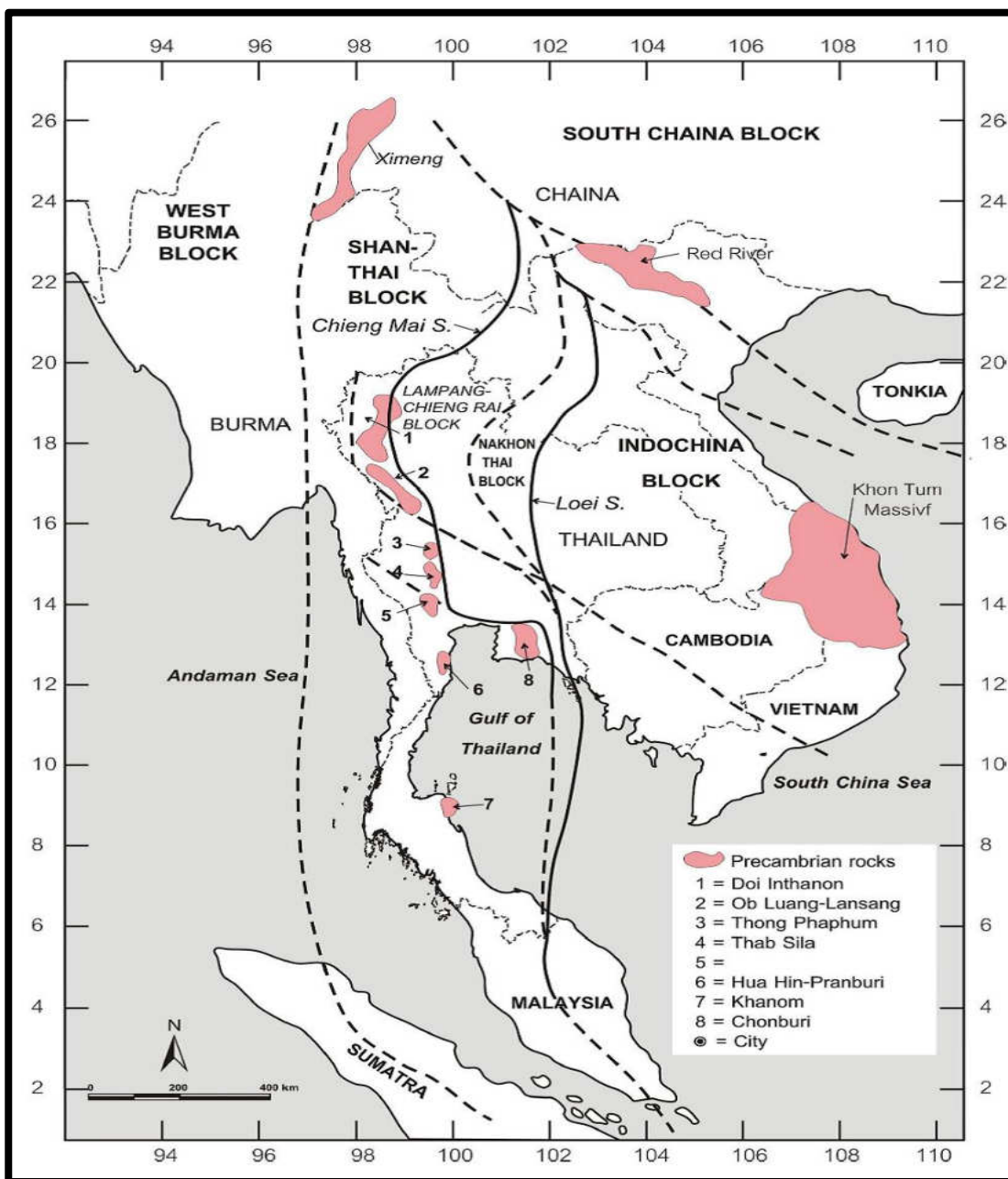


รูปที่ 2.3 แผนที่ธรณีวิทยาของเขาดงยาง จังหวัดพะเยา (อำนาจ ส่งอุไรล้ำ และคณะ, 2543)

2.1.3 การศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2545) กล่าวว่า หินบรมยุคพรีแคมเบรียนเป็นหินที่มีอายุแก่ที่สุดของประเทศไทยถูกวิจิณัยให้มีอายุอยู่ในบรมยุคพรีแคมเบรียน ซึ่งอาจเป็นโดยทางการลำดับชั้นหินและการหาอายุทางอ้อม โดยทั่วไปมีลักษณะเด่นคือผ่านการแปรสภาพไพศาล (regional metamorphism) ที่ค่อนข้างรุนแรงและเป็นหินแปรที่เกรดสูงถึงชุดลักษณะแอมฟีโบลิต (amphibolite facies) การกระจายตัวของหินอายุพรีแคมเบรียนมักอยู่เป็นแนวหินแปรเกือบทั้งหมดวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ตั้งแต่เหนือสุดของประเทศจนถึงตอนใต้ของไทย โดยเริ่มจากบริเวณแถบตะวันตกของจังหวัดเชียงใหม่โดยเฉพาะแถบน้ำตกแม่สายและออบหลวงทอดตัวลงไปทางใต้จนถึงเขื่อนภูมิพล แล้ววางตัวเบี่ยงเล็กน้อยไปทางทิศตะวันออกไปยังห้วยแม่โถ คลองวังแก้ว และน้ำตกลานสาง จังหวัดตาก ทอดตัวยาวไปจนถึงคลองสวนหมาก อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดกำแพงเพชร และแถบ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี ซึ่งไปโผล่อีกทีและต่อเลยลงไปทางใต้ แถบตะวันตกของจังหวัดสุพรรณบุรี (บ้านทับศิลา) และจังหวัดกาญจนบุรีโดยแตกเป็นแขนงเล็กๆและไปโผล่อีกทีแถบอำเภอบางแพ จังหวัดสุพรรณบุรีไปจนถึงหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และโผล่พบเห็นอีกครั้งที่แถบใต้สุดที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีไปจนถึงจังหวัดนครศรีธรรมราช และในบริเวณตะวันออก แนวหินอายุพรีแคมเบรียนพบทอดตัวไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือตั้งแต่ อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี จนถึงอำเภอบ้านเพ จังหวัดระยอง (รูปที่ 2.4) จากการประมวลผลการศึกษาพบว่าลักษณะทางธรณีวิทยา ศิลาวิทยา และการลำดับชั้นหิน เป็นไปในรูปแบบเดียวกันเกือบทั่วประเทศแต่ก็ยังมีหาชั้นหินแบบฉบับชัดเจนไม่ได้ซึ่งพอรวบรวมได้เป็น 5 หน่วยเริ่มจากหน่วยล่างสุดไปหน่วยบนสุดคือ 1) หน่วยหินไนส์ (Gneissic unit) 2) หน่วยหินชีสต์ (Schist unit) 3) หน่วยหินแคลซิลิเกต (Calcsilicate unit) 4) หน่วยหินควอร์ตไซต์ (Quartzite unit) และ 5) หน่วยหินอ่อน (Marble unit) หน่วยหินที่ 1 จนถึง 3 มักพบได้ทั่วไปในเกือบทุกแห่ง ส่วนหน่วยที่ 4 และ 5 มักพบเป็นบางแห่ง โดยหน่วยหินชีสต์หรือหินเมตตาเพลไลต์มักพบอยู่ร่วมกับหน่วยหินเมตตาคาร์บอเนตหรือแคลซิลิเกตอยู่เสมอ และโดยมากหน่วยหินชีสต์มักพบในปริมาณที่น้อยกว่าและปรากฏเป็นชั้นบางกว่าหน่วยหินแคลซิลิเกต ส่วนใหญ่หน่วยหินชีสต์ประกอบด้วยหินมีรีวลาเยชันชนิดผลึกละเอียด ทางตอนเหนือมักพบเห็นเป็นหินชีสต์ชนิดควอร์ต-ไมก้าเป็นส่วนใหญ่ และอาจมีแร่ซิลิมาไนต์ การ์เน็ต และคอร์เดียไรต์ (cordierite) ได้บ้างโดยเฉพาะหินแถบเขื่อนภูมิพล ที่ท่ามะกา (กาญจนบุรี) พบว่าหินชีสต์ประกอบด้วยกลุ่มแร่ควอร์ต-ไบโอไทต์-มัสโดไวท์-ซิลิมาไนต์-ออร์โทเคลส ส่วนที่ปราณบุรี-หัวหิน หน่วยหินชีสต์ประกอบด้วย 3 หน่วยย่อย คือ 1) ควอร์ต-ไบโอไทต์-ซิลิมาไนต์-การ์เน็ต 2)

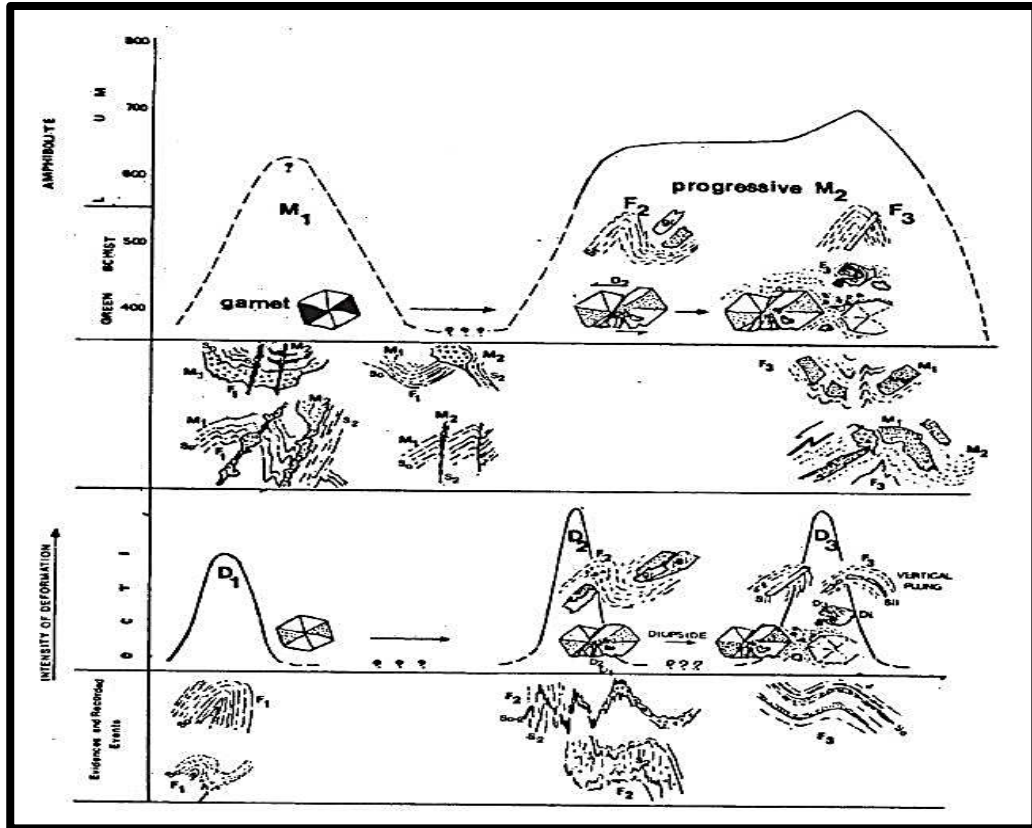
ควอ์ต-ไบโอไทต์-ซิลิมาไนต์-การ์เนต-ออร์โทเคลส และ 3) ควอ์ต-ไบโอไทต์-ซิลิมาไนต์-การ์เนต-ออร์โทเคลส และคลอเดียไรต์ บริเวณแถบอมก๋อย (เชียงใหม่) มีรายงานว่าหน่วยหินชีสประกอบด้วยการ์เนต (โกเมน) และสตอโรไลต์ (staurolite) อยู่ด้วย เชื่อกันว่าหน่วยหินชีสที่น่าจะแปรสภาพมาจากหินตะกอนจำพวกเพลไลต์ (pelite)



รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายตัวของหินบรมยุคพรีแคมเบรียนของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545)

อำนาจ ส่องไรรู้ และคณะ (2543) กล่าวว่าผลจากการสำรวจธรณีเคมี โดยการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุและผลจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการทางด้านแม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำพบว่าค่าผิดปกติต่าง ๆ นั้นมีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่บริเวณเขาตองยางและจากการสำรวจทางธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีเคมี และธรณีฟิสิกส์ สามารถบ่งชี้ได้ว่าพื้นที่เขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และทองคำที่มีลักษณะการเกิดสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพโดยน้ำร้อน (hydrothermal alteration)

Areesiri (1983) กล่าวว่า หินแปรบริเวณบ้านบ่อกว้างทอง อำเภอพัสนนิคม จังหวัดชลบุรี หรือที่เรียกว่า แนวหินไนส์เขาเจ้า ประกอบด้วยหินพาราไนส์ แอมฟิโบลิต์ และมิกมาไทต์ไนส์ อายุก่อนยุคคาร์บอนิเฟอรัส แบ่งออกได้เป็น 6 หน่วยที่สำคัญคือ ไบโอบีโตน-เพลดส์ปาติค-ควอตซ์ไนส์ ไบโอบีโตน-ฮอร์นเบลนด์-ไนส์ ไบโอบีโตน-ไนส์ ฮอร์นเบลนด์-ไดออกไซด์-ไนส์ ไบโอบีโตน-ซิลิมาไนต์-ไนส์ และไบโอบีโตน-ไดออกไซด์-ไนส์ นอกจากนี้ยังมีหินชนิดอื่นๆเกิดแทรกสลับอยู่บ้างได้แก่ หินมิกมาไทต์-ไนส์ แอมฟิโบลิต์ หินอ่อน และหินแคลซ์ซิลิเกต หลักฐานจากการศึกษาในภาคสนาม การศึกษาด้านศิลาวรรณมา และการวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณีวิทยาโครงสร้างบ่งชี้ว่าหินในบริเวณนี้ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงมาอย่างน้อย 3 ครั้งและกระบวนการแปรสภาพ 2 ครั้ง การเปลี่ยนแปลงครั้งแรกเกิดร่วมกับการแปรสภาพครั้งแรกในการก่อเทือกเขาเฮอริไซเนียน (Hercynian orogeny) ตอนช่วงปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส ส่วนกระบวนการนอกนั้นเกิดร่วมกันในการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียนตอนช่วงระหว่างยุคเพอร์เมียนและยุคไทรแอสซิก (รูปที่ 2.5) ลักษณะทางธรณีเคมีของหินบริเวณนี้บ่งชี้ว่าหินต้นกำเนิดของหินพาราไนส์น่าจะเป็นหินทรายชนิดสับแกรวค, เกรวคและอาร์โคส ส่วนแอมฟิโบลิต์อาจมีต้นกำเนิดมาจากหินเพิลด์ปนกับหินที่มีปริมาณแมกนีเซียมสูง เช่น เบสิกทัฟฟ์ ยกเว้นแอมฟิโบลิต์ที่มีฮอร์นเบลนด์ประกอบอยู่ด้วยมาก ซึ่งอาจแปลมาจากเบสิกซิลต์



Event	Spatial Relationship	Nature/Characteristics of the event	Possible age
D ₁	_____	Byckling mechanism producing open-upright-horizontal to isoclinal-incline folds, both synform and antiformal; fold axes trending NW-SE and plunging S.	Hercynian Orogeny
M ₁	_____	The nature of this metamorphism is not very clear, possibly obliterated by subsequent events. It is represented by folded saddle reef pegmatite which intruded into the crest of the open-upright-horizontal folds of D ₁ .	(Late Carboniferous)
D ₂	_____	Shear mechanism, represented by survived folded hinge zone and open-sinistral-similar-upright folds.	Indosinian Orogeny
M ₂	_____	Progressive thermal metamorphism with migmatization, possibly related with Triassic granitic intrusion.	(Permo-Triassic)
D ₃	_____	Simple shear mechanism of left-lateral movement, represented by sinistral-open-recline folds.	

D : Deformation
M : Metamorphism

รูปที่ 2.5 ภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ รวมถึงหลักฐานทางธรณีโครงสร้าง และเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานของหินแปรบริเวณบ้านบ่อวางทอง อำเภอพนมดงรัก จังหวัดชลบุรี (Areesiri, 1983)

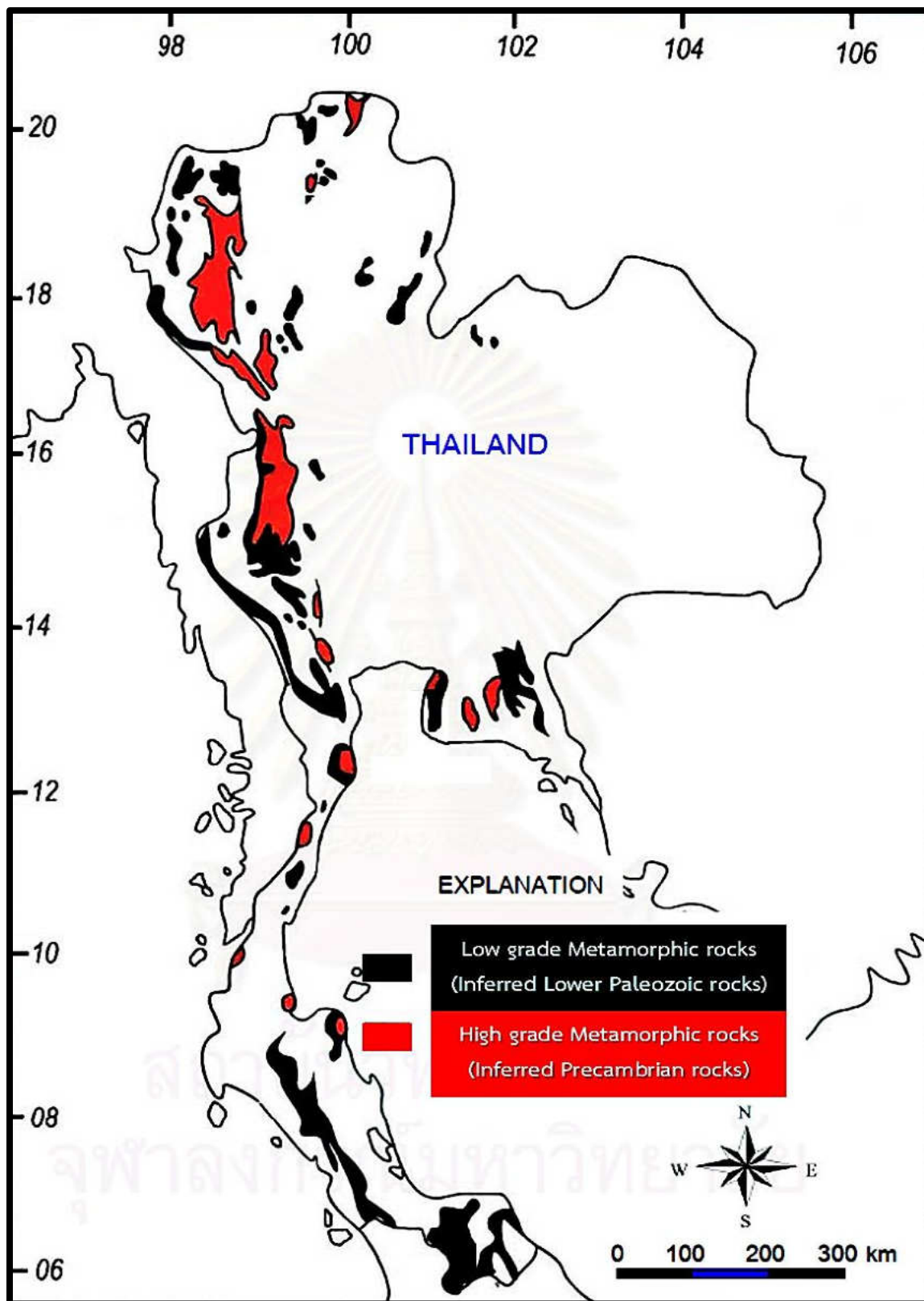
Buravas (1948) กล่าวว่า หินชีสต์ทองแดงพนมสารคาม (Cupriferous Phanom Sarakham schist) เป็นหินชีสต์เนื้อผลึก (crystalline schist) ที่ทำให้พื้นที่อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา นั้นมีศักยภาพทางด้านแหล่งแร่ทองแดง โดยมีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพรีแคมเบรียนและมักวางตัวอยู่ใต้ชั้นหนาของศิลาแลง หินชีสต์ที่โผล่ขึ้นมาในแต่ละบริเวณของพื้นที่อำเภอพนมสารคามจะมีองค์ประกอบทางแร่ที่คล้ายคลึงกันในทุกพื้นที่ แต่จะมีลักษณะทางโครงสร้างที่แตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละพื้นที่ แร่องค์ประกอบหลักที่พบในหินชีสต์พนมสารคามได้แก่ แร่เซอร์ไซท์และแร่ควอตซ์เป็นหลัก ซึ่งในหลายๆพื้นที่พบว่าแร่เซอร์ไซท์ได้เปลี่ยนไปเป็นแร่คลอไรท์ และแร่องค์ประกอบอื่นๆที่พบได้แก่ แร่การ์เนตชนิดอัลแมนดิน แร่โทแพซ แร่การ์เนตสีเขียว (คาดว่าเป็แร่การ์เนตชนิดอูวาโรไวต์) แร่ไคยาไนท์ และแร่เอพิโดต นอกจากนี้ยังพบแร่ไฟโรต์ในสายแร่ควอตซ์สีน้ำตาลที่ตัดผ่านเข้ามา โดยสายแร่ควอตซ์ส่วนใหญ่มักจะแทรกอยู่ตามแนวเรียงตัวของหินชีสต์ ส่วนสายแร่ที่แทรกตัดเข้ามาในแนวอื่นจะมีจำนวนน้อยกว่าและมีขนาดเล็กกว่า หินต้นกำเนิดของหินชีสต์พนมสารคามนี้มาจากหินตะกอน ลักษณะทางโครงสร้างที่พบประกอบไปด้วยแนวเรียงตัวของหินชีสต์ที่วางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือเกือบตะวันตกไปจนถึงทิศทิศตะวันตกเฉียงเหนือเกือบเหนือ โดยมีทิศการเอียงเทไปในทิศตะวันออกด้วยมุมเท 25 ถึง 35 องศา ริวขนานขนานไปกับระนาบการวางตัวของชั้นหิน พบแร่เซอร์ไซท์ที่มีลักษณะแบนราบและมีการถูกยึดไปตามระนาบนี้ และในหลายบริเวณที่พบหินชีสต์พนมสารคามยังพบลักษณะของการบิดเบี้ยวของชั้นหินไปเป็นลักษณะของโค้งรูปประทุนหลายลูกฟูกขนาดเล็ก และยังมีการบิดเบี้ยวของชั้นหินในระดับเล็กเกิดขึ้นตลอดโค้งประทุนคว่ำ ความหนาของหินชีสต์เชื่อว่ามีขนาดมากถึง 10,000 ฟุต

Buravas (1959) กล่าวว่า หินบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และบริเวณใกล้เคียงสามารถเรียงอายุจากน้อยไปมากได้ดังนี้ หินชีสต์พนมสารคาม หินควอร์ตไซต์ หินไนส์ และหินชีสต์กาญจนบุรี หินปูนเกาะสีชัง และหินควอร์ตไซต์ศรีราชา โดยหินทั้งหมดมีอายุอยู่ในช่วงบรมยุคพรีแคมเบรียน แต่ในภายหลังได้มีการปรับแก้ไขอายุของหินโดย Javanapet (1969) จึงทำให้หินบางส่วนถูกจัดให้อยู่ในหน่วยหินมหายุคพาลีโอโซอิก ยกเว้นพวกหินไนส์และหินชีสต์

Department of Mineral Resources (2013) กล่าวว่า หินชีสต์พนมสารคาม (Phanom Sarakham schist) ถูกพบอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทยในอำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งคาดว่ามีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพรีแคมเบรียน โดยมีแร่องค์ประกอบหลักที่พบได้แก่ แร่มีส์โคไวต์ แร่การ์เนต แร่โทแพซ และแร่ไคยาไนท์

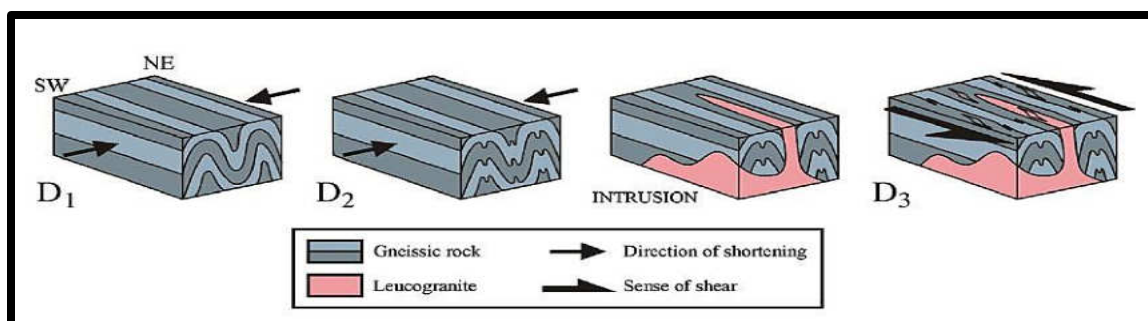
Dheeradilok and Lumjuan (1983) กล่าวว่า หินแปรที่โผล่ให้เห็นในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณเทือกเขาฝั่งตะวันตกของประเทศ หินแปรเหล่านี้มีการคดโค้งของชั้นหินและมักจะวางตัวอยู่ในแนวเส้นตรง โดยจะไม่โผล่ให้เห็นต่อเนื่องกันทั้งหมดแต่จะพบเป็นระยะๆ เรียกว่าแนวหินแปร (metamorphic belt) ชุดลักษณะการแปรสภาพ (metamorphic facies) หรือลักษณะการแปรสภาพของหินแปรในประเทศไทยนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชุดหลัก ซึ่งทั้งคู่เป็นชุดลักษณะของหินแปรที่อยู่ภายใต้สภาวะการแปรสภาพที่มีอุณหภูมิสูงแต่ความดันต่ำได้แก่ ชุดลักษณะแอมฟิโบลิตแบบความดันต่ำของหินแปรที่มีอายุอยู่ในช่วงบรมยุคพรีแคมเบรียนถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสที่วางตัวทอดยาวไปตลอดเป็นแกนกลางของแนว และชุดลักษณะกรีนชีสต์แบบความดันต่ำของหินแปรที่มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่างจะเกิดขึ้นในบริเวณทั้งสองฝั่งของแนวและวางตัวทอดยาวจากภาคเหนือไปจนถึงคาบสมุทรรภาคใต้ของประเทศไทย หินแปรในภาคเหนือของประเทศไทยถูกพิจารณาให้เป็นหินแปรเกรดสูงชุดลักษณะแอมฟิโบลิตที่มีอายุอยู่ในบรมยุคพรีแคมเบรียนเป็นหลัก

Pongsapich et al. (1983) กล่าวว่า หินแปรในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ถูกพิจารณาให้มีอายุอยู่ในช่วงบรมยุคพรีแคมเบรียนจากลักษณะของหินแปรที่มีการแปรสภาพระดับสูงและหินแอนาเทกไซต์ (anatexite) ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่ถูกพิจารณาให้มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง (ยุคแคมเบรียนถึงดีโวเนียน) จากลักษณะของหินแปรที่มีการแปรสภาพระดับต่ำ แต่อย่างไรก็ตามหินที่มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่างทั้งหมดไม่จำเป็นต้องได้รับการแปรสภาพ (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินแปรระดับต่างๆในประเทศไทย (Bussai, 2005)

Kanjanapayont et al. (2013) กล่าวว่า กลุ่มรอยเลื่อนแกลง (Klaeng fault zone) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยประกอบไปด้วยกลุ่มหินแปรที่มีการแปรสภาพระดับสูงหรือเรียกว่าหินไนส์หนองใหญ่วางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ตลอดแนวกลุ่มรอยเลื่อน ซึ่งมีความยาวประมาณ 30 กิโลเมตร โดยหินที่พบบริเวณนี้จะอยู่ในชุดลักษณะแอมฟิโบลิต์ไปจนถึงแกรนูลิต์ จากการวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างทำให้บ่งชี้ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งหมด 3 ครั้ง (รูปที่ 2.7) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงครั้งแรกทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งพับผ้า (isoclinal fold) ขนาดใหญ่ที่มีแกนของชั้นหินคดโค้งวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ต่อมาเกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งที่สองทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กขึ้นภายในชั้นหินคดโค้งพับผ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงครั้งแรก โดยการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกและครั้งที่สองนั้นเป็นผลมาจากการบีบอัดแบบหดสั้น (shortening) ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียนก่อนที่จะถูกแทรกตัดขึ้นมาโดยหินแกรนิตสีขาว (leucogranite) โครงเนื้อ (fabric) จากการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกและครั้งที่สองจะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะครั้งที่สาม ซึ่งเป็นการเฉือนแบบวนซ้าย (sinistral shearing) และมีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์ในช่วงต้นของการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดียและแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในช่วงยุคอีโอซีน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดระนาบเฉือน (shear plane) และโครงสร้างลายเส้นที่เกิดจากการยืดและเรียงตัวของแร่ (mineral stretching lineation) จากการหาอายุด้วยวิธียูเรเนียม-ตะกั่ว (Uranium-Lead, U-Pb dating) ทำให้ทราบว่าแกรนิตสีขาวที่แทรกตัดเข้ามาและการตกผลึกของแมกมาครั้งแรกต่อการตกผลึกของแมกมาครั้งที่สอง โดยทั้งหมดเกิดขึ้นในช่วงปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกและแผ่นจูลทวีปฉาน-ไทย

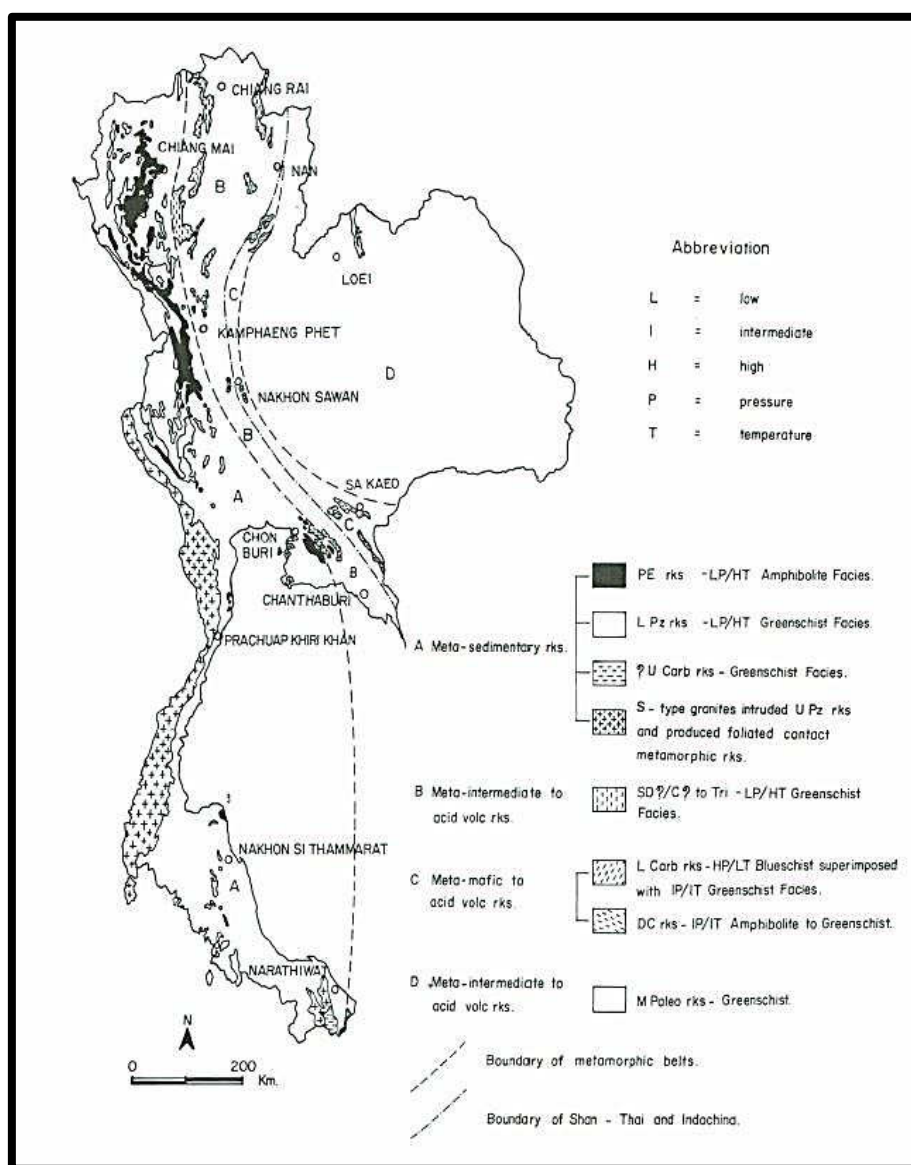


รูปที่ 2.7 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการแทรกตัดตัดเข้าของหินแกรนิตสีขาวในหินแปรบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนแกลง (Kanjanapayont et al., 2013)

Kawakami et al. (2014) กล่าวว่า หินแกรนิตไบโอไทต์ในสัจจากเขาจ้าว มีการแปรสภาพ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกเกิดขึ้นในยุคไทรแอสซิกตอนปลายไปจนถึงยุคจูแรสซิกตอนต้น ซึ่งสัมพันธ์กับการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Indosinian orogeny) และครั้งที่สองเกิดขึ้นในช่วงยุคครีเทเชียสตอนปลายไปจนถึงยุคเทอร์เชียรี จากการหาอายุจากแร่เซอร์คอน (zircon) ด้วยวิธี LA-ICP-MS U-Pb และแร่โมนาไซต์ (monazite) ด้วยวิธี CHIME

Salyapongse (2002) กล่าวว่า แนวหินแปรในประเทศไทย (รูปที่ 2.8) ซึ่งวางตัวในแนวเหนือ-ใต้เป็นหลักสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แนวเรียงจากทางด้านทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกได้แก่ แนวแรก (A) เป็นแนวที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกสุดจะเป็นหินแปรในแนวนี้จะมีความต่อเนื่องกันทั้งในเรื่องของการลำดับชั้นหินและลำดับชั้นการแปร อายุของหินแปรในแนว A นี้ถูกวินิจฉัยให้มีอายุอยู่ในช่วงบรมยุคพรีแคมเบรียนไปจนอาจถึงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลางหรือตอนบน และหินแปรในแนวนี้จะเป็นชุดลักษณะอะบุกูมา (Abukuma-type facies series) ซึ่งแสดงถึงชุดลักษณะแอมฟีโบลิตในหินแปรที่ถูกวินิจฉัยให้มีอายุมหายุคพรีแคมเบรียน และชุดลักษณะกรีนชีสต์ระดับสูงในหินแปรที่มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง แนวที่สอง (B) จะพบหินแปรจากภูเขาไฟ (metavolcanic rock) ครั้งแรกทางด้านทิศตะวันออก ซึ่งเป็นพวกแคลก์-แอลคาไลน์ (calc-alkali) และพบลักษณะของการแปรสภาพอย่างเด่นชัดในบริเวณพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงแต่มีความดันต่ำ มีการกระจายตัวเป็นหย่อมๆไม่ต่อเนื่องพบเฉพาะในบางพื้นที่และมีการวางตัวในแนวยาวตลอดแนวภูเขาไฟ (volcanic chain) อายุของหินแปรในแนวนี้มีความหลากหลายตั้งแต่ยุคซิลูเรียน ดีโวเนียน คาร์บอนิเฟอรัส เพอร์เมียน และไทรแอสซิก และดูเหมือนจะมีอายุน้อยลงไปทางด้านทิศตะวันออกจนถึงขอบของแนวหรือตะเข็บธรณีน่าน หินแปรจากภูเขาไฟทางด้านทิศตะวันออกเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการงอกพอกพูน (accretion) ทางด้านทิศตะวันตกตลอดแนวตะเข็บธรณีน่าน แนวที่สาม (C) วางตัวไปตลอดแนวตะเข็บธรณีน่าน หินแปรในแนวนี้น่าจะมีความสัมพันธ์กับการมุดตัว ซึ่งประกอบไปด้วย หินแปรเมฟิก (metamafic rock) ไปจนถึงหินแปรภูเขาไฟชนิดกรด (meta-acid volcanic rock) ในบริเวณจังหวัดน่านพบชุดลักษณะกรีนชีสต์ที่มีความดันและอุณหภูมิต่ำอยู่เหนือชุดลักษณะบลูชีสต์ที่มีความดันสูงแต่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งน่าจะมีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ที่มีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันในพื้นที่จากการยกตัว นอกจากนี้ยังพบชุดลักษณะกรีนชีสต์ที่มีความดันและอุณหภูมิต่ำไปจนถึงชุดลักษณะแอมฟีโบลิตแสดงให้เห็นถึงความดันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ในภาคตะวันออก

ของประเทศไทย ความแตกต่างทางอายุระหว่างหินแปรในจังหวัดน่านที่มีอายุอยู่ในช่วงต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสและหินแปรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีอายุตั้งแต่ยุคดีโวเนียนไปจนถึงยุคคาร์บอนิเฟอรัสทำให้บ่งชี้ได้ถึง ความแตกต่างกันของบริเวณมุดตัว และแนวสุดท้าย (D) เป็นแนวที่แยกตัวออกมาและพบจำกัดแค่เพียงในบริเวณนี้เท่านั้น มีการวางตัวในแนวเหนือ-ใต้และสิ้นสุดที่บริเวณด้านทิศเหนือของที่ราบสูงโคราช (Khorat Plateau) หินแปรบริเวณนี้มีการแปรสภาพเพียงเล็กน้อย อายุของหินแปรบริเวณนี้มีตั้งแต่ยุคไซลูเรียนไปจนถึงยุคดีโวเนียนตอนบน และน่าจะมีความสัมพันธ์กับทางด้านทิศตะวันตกของบริเวณมุดตัวใต้แผ่นจุลทวีปอินโดจีน



รูปที่ 2.8 แนวหินแปรในประเทศไทย (Salyapongse, 2002)

2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม

2.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

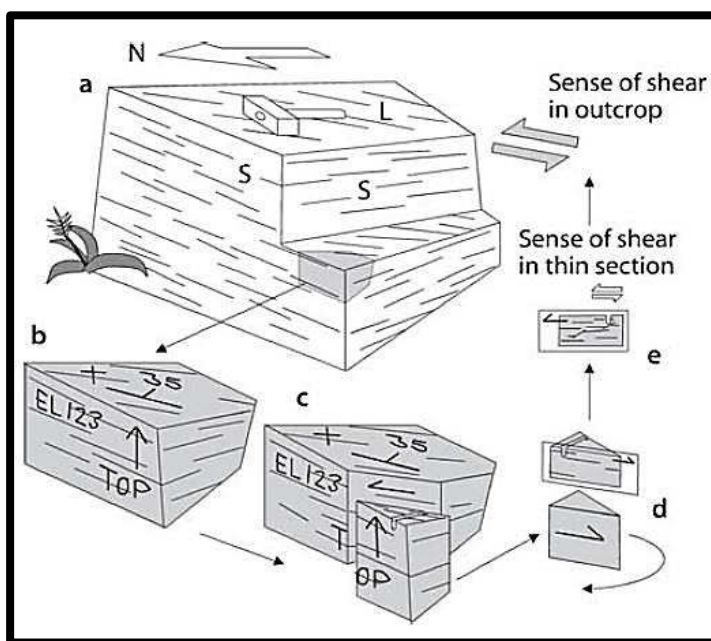
การเก็บข้อมูลภาคสนามจากหินโผล่เพื่อศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในบริเวณพื้นที่ศึกษาทำได้โดยการวัดค่าแนวการวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) รีวขนาน รอยแตก รอยเลื่อน และอื่นๆ ที่เปรียบเสมือนเป็นระนาบ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าแนวระดับหรือแนวการวางตัว (strike) และมุมเท (dip) ของชั้นหิน นอกจากนี้ยังต้องทำการวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้น ซึ่งประกอบไปด้วยค่าทิศทางการวางตัว (trend หรือ plunge direction) ที่มีความคล้ายคลึงกับแนวการวางตัว และมุมกด (plunge) ที่มีความคล้ายคลึงกับมุมเท ของโครงสร้างแนวเส้น เมื่อทำการเก็บข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน และโครงสร้างแนวเส้นจะต้องทำการระบุพิกัดเพื่อที่จะได้ทราบตำแหน่งของข้อมูลภายในพื้นที่ศึกษาร่วมด้วยทุกครั้ง

2.2.2 การเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง

ตัวอย่างหินในภาคสนามมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะจะต้องนำตัวอย่างหินจากภาคสนามไปใช้ในการวิเคราะห์ระดับจุลภาคหรือการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยควรเก็บตัวอย่างหินให้มีขนาดไม่น้อยกว่า 15 ซม. X 15 ซม. X 15 ซม. และควรระบุค่าแนวการวางตัวและมุมเทของระนาบบนผิวระนาบที่พบพร้อมทั้งระบุพิกัดด้วย อย่างไรก็ตามสิ่งนี้ยังคงมีสองความเป็นไปได้ของการระบุตำแหน่ง นั่นคือการระบุสามารถเขียนบนระนาบด้านบนหรือบนระนาบด้านล่างของหินก็ได้ การระบุข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติมเป็นสิ่งจำเป็นเช่น เครื่องหมายกากบาทแสดงบนผิวระนาบด้านบนหรือลูกศรแสดงด้านบน (Passchier and Trouw, 2005) (รูปที่ 2.9)

ความผิดพลาดสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายในการระบุตำแหน่งตัวอย่างหินและสำหรับหินที่มีความสำคัญอย่างมากเช่น ตัวอย่างหินที่ต้องการบ่งชี้ทิศทางการเฉือน จึงเป็นประโยชน์ถ้าทำการถ่ายรูปหรือวาดรูปประกอบการเก็บตัวอย่างทั้งตำแหน่งการวางตัวในหินโผล่และการเขียนระบุตำแหน่งบนตัวอย่างหิน สิ่งสำคัญอีกประการคือตัวอย่างหินที่เก็บมาควรห่อในกระดาษหรือใส่ถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการแตกหักและการลบเลือนของข้อมูลตำแหน่งและหมายเลขต่างๆที่ระบุบนตัวอย่างหิน (พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์, 2561)

หลังจากเก็บตัวอย่างหินพร้อมทั้งระบุตำแหน่งจากภาคสนามมาแล้วจะนำตัวอย่างหินไปตัดแล้วนำไปติดกาวและกระจกก่อนนำไปขัดให้กลายเป็นแผ่นหินบาง โดยทั่วไปแผ่นหินบางมาตรฐานควรมีขนาด 0.8 ถึง 1.9 มิลลิเมตร แผ่นวัสดุเนื้อหินและแผ่นกระจกปิดแผ่นหินบางที่หนา 0.2 มิลลิเมตร ส่วนของแผ่นหินบางรวมกับกาวที่กำหนดค่าดัชนีการหักเหมีหนาประมาณ 1.5 ถึง 1.6 มิลลิเมตร ความหนามาตรฐานของวัสดุคือ 30 ไมครอน และต้องติดด้วยกระจกปิดแผ่นหินบางทุกครั้ง (พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์, 2561) เมื่อใช้เลื่อยตัดเสร็จแล้วควรระบุตำแหน่งของตัวอย่างหินไว้ในทั้งสองข้างของที่ถูกต้อง ควรเขียนเป็นระบบแบบลูกศรครึ่งหัวขนานกับริ้วขนานและลูกศรอยู่ด้านบนของตัวอย่างหิน ลูกศรควรเขียนจากชั้นหินที่ใช้ในการทำแผ่นหินบางบนแผ่นสไลด์ ควรระวังเมื่อเตรียมชิ้นหินจากแผ่นหินบางไม่ให้ตำแหน่งลบหายไปหรือสลับสับสนวมถึงต้องระวังในเรื่องของรอยเลื่อยที่อาจสร้างความสับสนให้ผู้ที่ศึกษาได้ (Passcheir and Trouw, 2005)



รูปที่ 2.9 วิธีการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งสำหรับทำแผ่นหินบาง (Passcheir and Trouw, 2005)

จากรูปวิธีการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งหินโผล่ทำได้โดยเริ่มจากการระบุตำแหน่งแผ่นหินบางจากตัวอย่างหินโครงสร้างต่างๆ จะต้องถูกระบุตำแหน่งลงบนหินดังรูปที่แสดงข้อมูลแนวระดับและมุมเทบบนระนาบตัวอย่างหินและลูกศรแสดงด้านบนพร้อมชื่อตัวอย่าง หลังจากนั้นตัวอย่างหินจะถูกนำมาตัดในแนวขนานกับโครงสร้างเส้นเพื่อเป็นชิ้น ทำเครื่องหมายแสดงทิศทางการเฉือนด้านบน นำมาติดกับกระจก

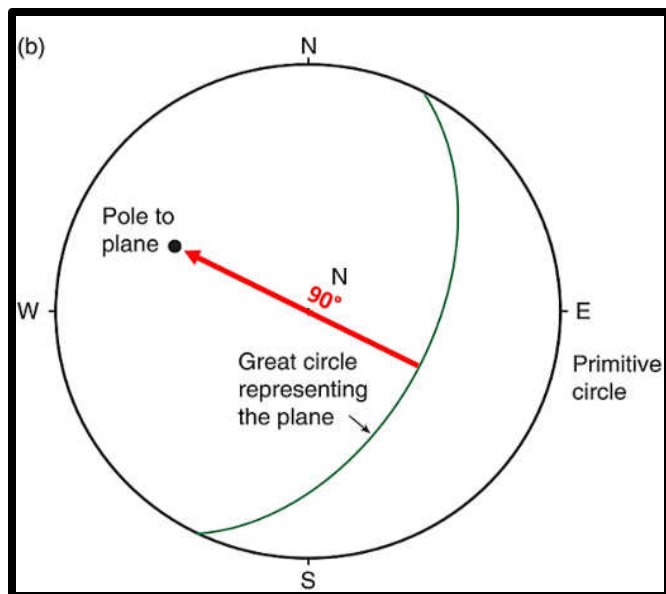
ทำแผ่นหินบางโดยอาจมีกาตัดทำตำหนิตศด้านบน และสุดท้ายจะได้แผ่นหินบางที่ระบุทิศทางการเฉือน ดังที่พบในหินโผล่

2.3 การศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ

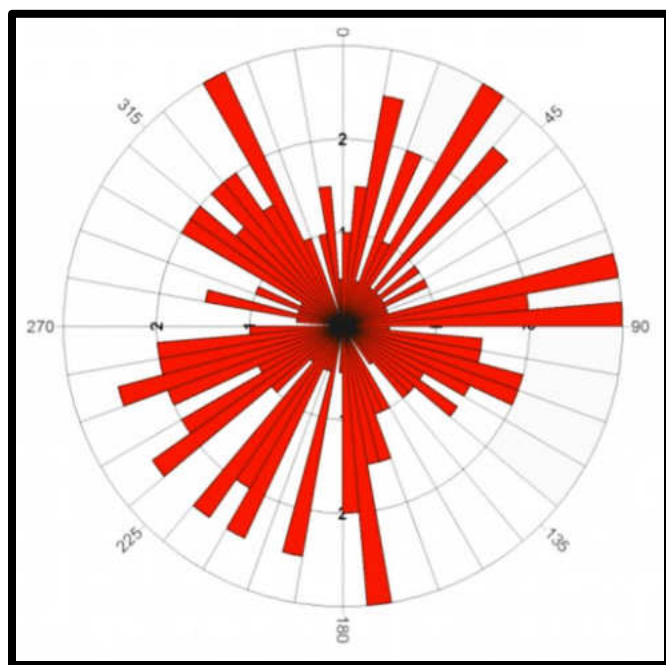
การศึกษาในห้องปฏิบัติการจะเป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึงหาความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลระดับมัชฌิมภาคและการวิเคราะห์ข้อมูลระดับจุลภาค ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.3.1 การวิเคราะห์ระดับมัชฌิมภาค

เป็นการรวบรวมข้อมูลโครงสร้างที่ได้จากการออกภาคสนามทั้งค่าแนวการวางตัวและมุมเทของชั้นหิน รีวขนาน รอยเลื่อน แนวแตก และระนาบโครงสร้างอื่นๆ รวมถึงค่าทิศทางการวางตัวและมุมกดของโครงสร้างแนวเส้นต่างๆที่พบในแต่ละจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษามาทำการวิเคราะห์โดยการกำหนดตำแหน่งบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (รูปที่ 2.10) และแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 2.11) เพื่อนำไปหาธรณีโครงสร้างในภาพรวมของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ทิศทางการวางหรือความเค้นโบราณ (paleo stress) ที่มีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์สำคัญทางธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในอดีตที่เข้ามามีผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนิ่มและการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบเปราะ การวิเคราะห์ในระดับมัชฌิมภาคนี้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดบริเวณพื้นที่ศึกษาได้พอสมควร ยังขาดในเรื่องของรายละเอียดบางอย่าง ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์ในระดับจุลภาคในลำดับถัดไปเพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่หรือข้อมูลเพิ่มเติมที่จะทำให้การตีความนั้นมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.10 การพล็อตโพล (pole) ในสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (www.geologylearn.blogspot.com)



รูปที่ 2.11 แผนภาพกุหลาบแสดงทิศทางการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้าง (www.rockware.com)

2.3.2 การวิเคราะห์ระดับจุลภาค

เป็นการศึกษาแผ่นหินบางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ภายใต้แนวคิดของธรณีแปรสัณฐานจุลภาค ซึ่งเป็นการศึกษาเส้นโครงสร้าง (fabric) ของหินเพื่อเข้าใจถึงช่วงลำดับในวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการแปรสภาพของหินที่มักถูกแสดงเป็นส่วนหนึ่งของเส้นโครงสร้าง การศึกษาเส้นโครงสร้างของหินนี้นอกจากสามารถสร้างเป็นประวัติโครงสร้างและการแปรสภาพแล้วยังเป็นการปรับปรุงความเข้าใจในกระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะและการแปรสภาพอีกด้วย โดยในเรื่องของกระบวนการเปลี่ยนแปลงศึกษาจากรีซนนาน โครงสร้างแนวเส้น และการเรียงตัวของหน่วยผลึกรวมถึงโครงสร้างจุลภาคต่างๆที่เป็นตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาค เช่น แร่รูปปลา (mineral fish) แถบการเฉือน (shear band) และอื่นๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันในรายละเอียดเพื่อหาแนวแรงที่เข้ามากระทำในระดับจุลภาค และเรื่องของการแปรสภาพจะทำการหาแร่ดัชนี (index mineral) และแร่องค์ประกอบอื่นๆแล้วนำไปเทียบกับตารางกลุ่มแร่ในสภาพแวดล้อมการแปรสภาพระดับต่างๆ โดยอ้างอิงตามกลุ่มองค์ประกอบเคมีของหินแปรเพื่อทราบชุดลักษณะของหินแปร จากนั้นนำไปหาช่วงความดันและอุณหภูมิโดยประมาณของหินแปรนั้นโดยใช้แผนภาพแสดงสภาพแวดล้อมของการแปรสภาพในแต่ละช่วงอุณหภูมิและความดันที่เริ่มจากเขตอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำไปจนถึงเขตอุณหภูมิสูงและความดันสูง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับจุลภาคจะเปรียบเสมือนส่วนเติมเต็มให้กับการวิเคราะห์ระดับมหัพภาค

2.4 การตีความข้อมูล

หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างทั้งในระดับมหัพภาคและระดับจุลภาคมาแล้วจากการศึกษาภายในห้องปฏิบัติการ ในลำดับถัดไปจะต้องทำการตีความข้อมูลทางด้านสัณฐานวิทยา ลักษณะธรณีโครงสร้างรวมถึงความสัมพันธ์ วิวัฒนาการ และกลไกการเกิดพื้นที่ศึกษาจากหลักฐานต่างๆที่พบ ร่วมกับการศึกษาและงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อให้มีความถูกต้องมากที่สุดก่อนที่จะทำการสรุปผลและนำเสนอต่อไป

2.4.1 ธรณีวิทยา

ใช้หลักฐานทางด้านแร่ดัชนีและแร่องค์ประกอบและหลักฐานทางด้านกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะเพื่อบอกชื่อหิน ระบุชุดลักษณะ และประมาณสภาพแวดล้อมการแปรสภาพของหินในพื้นที่ศึกษา

2.4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

อธิบายขั้นตอนและกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนุ่มและการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะของโครงสร้างต่างๆที่พบในพื้นที่ศึกษาพร้อมกับระบุชนิดของโครงสร้างเช่น ชนิดของแนวแตก ชนิดของชั้นหินโค้ง ชนิดรอยเลื่อน และอื่นๆให้มากที่สุด และอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่มาเข้ากระทำและธรณีวิทยาโครงสร้าง จากนั้นนำข้อมูลลักษณะธรณีโครงสร้างทั้งหมดที่ดีความได้มาสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาโครงสร้างในภาพรวมขึ้นโดยมีหลักฐานที่พบจากการวิเคราะห์ระดับมหัพภาคและระดับจุลภาคคอยช่วยสนับสนุน

2.4.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง

เมื่อมีแบบจำลองธรณีวิทยาโครงสร้างที่สามารถเชื่อมโยงและสามารถอธิบายขั้นตอนและกลไก รวมถึงทิศทางของแรงต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาโครงสร้างแล้ว ในลำดับถัดไปจะนำแบบจำลองนี้ไปเทียบเคียงกับธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยโดยทิศทางของแรงหลักที่เกิดจากเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับแรงหลักที่เข้ามากระทำในพื้นที่ศึกษา อีกทั้งยังสามารถทำให้ทราบถึงช่วงอายุของการเกิดธรณีโครงสร้างอีกด้วย

2.5 การอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

เป็นการนำข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านการวิเคราะห์และตีความจากหลักฐานทั้งหมดที่มีมาเรียบเรียง อภิปรายและสรุปผลที่ได้ทั้งหมดออกมาในเรื่องของซิลาวรรณา ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึง กลไกการเกิด ความสัมพันธ์ และวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา

2.6 การจัดทำรายงานและนำเสนอ

2.6.1 การสัมมนา

เป็นการนำเสนอโครงการที่ศึกษาโดยอธิบายถึงที่มาและความสำคัญ สมมติฐาน จุดประสงค์ ขอบเขต และผลการศึกษารวมถึงการอภิปรายและสรุปผล

2.6.2 เขียนรายงานโครงการ

หลังจากการนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจากหลักฐานต่างๆที่พบจากการศึกษาโครงการมาวิเคราะห์ตีความและสรุปผลการศึกษา ในลำดับสุดท้ายนี้จะนำข้อมูลในทุกๆส่วนที่กล่าวมาทั้งหมดมาเขียนลงในรูปของรายงานโครงการของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตเพื่อยืนยันและแสดงให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจในเรื่องของธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของผู้ศึกษาได้ และยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในเรื่องของธรณีวิทยาและธรณีโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาที่จะนำรายงานเล่มนี้ไปใช้ต่อยอดในการศึกษาอื่นๆต่อไปในอนาคต

บทที่ 3

ผลการศึกษา (Result)

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการศึกษาในเรื่องของข้อมูลทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยา โครงสร้างทั้งหมดในระดับภูมิภาคที่ได้จากการศึกษาจากการออกภาคสนามและระดับจุลภาคที่ได้จากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของหินโผล่ในพื้นที่บริเวณเขาแดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยหินโผล่ทั้งหมดที่พบในการศึกษานี้จะพบเป็นหินโผล่ที่โผล่ออกมาให้เห็นเป็นบริเวณกว้างอันเนื่องมาจากการขุดเพื่อทำเหมืองในอดีตจึงทำให้สามารถมองเห็นลักษณะต่างๆทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้างของหินโผล่ได้ชัดเจนและสามารถที่จะเข้าไปทำการศึกษาเพื่อใช้จุดศึกษาเหล่านี้เป็นตัวแทนในการศึกษา เขาแดงยางทั้งลูก โดยจะแบ่งออกเป็น 4 จุดศึกษา (รูปที่ 3.1) ซึ่งจุดศึกษาทั้งหมดจะอยู่ในบริเวณดินเขาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขาแดงยาง และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 จุดศึกษาทั้งหมด 4 จุด บริเวณดินเขาแดงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.1 ธรณีวิทยา

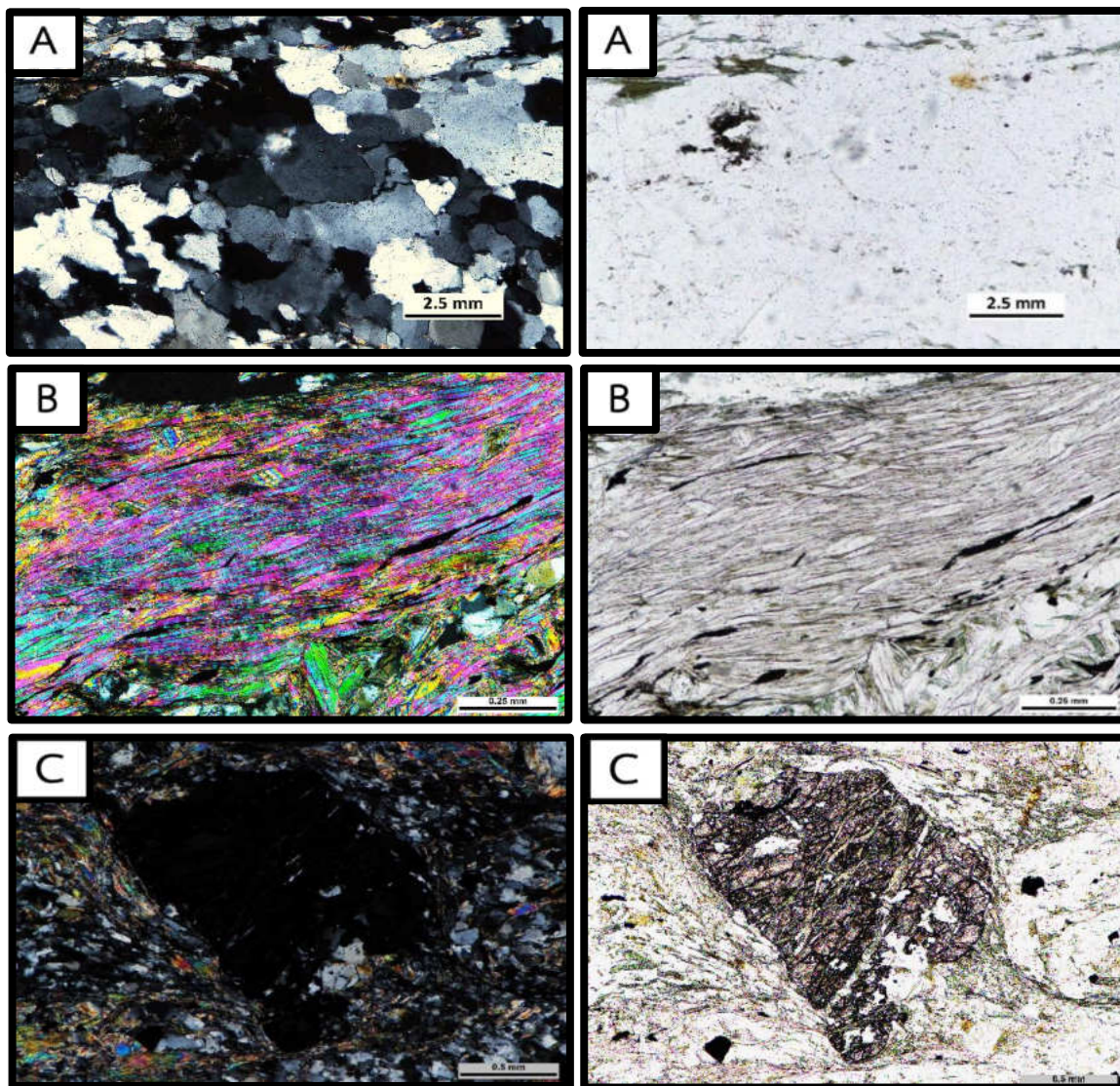
3.1.1 หินไมกา-ชีสต์



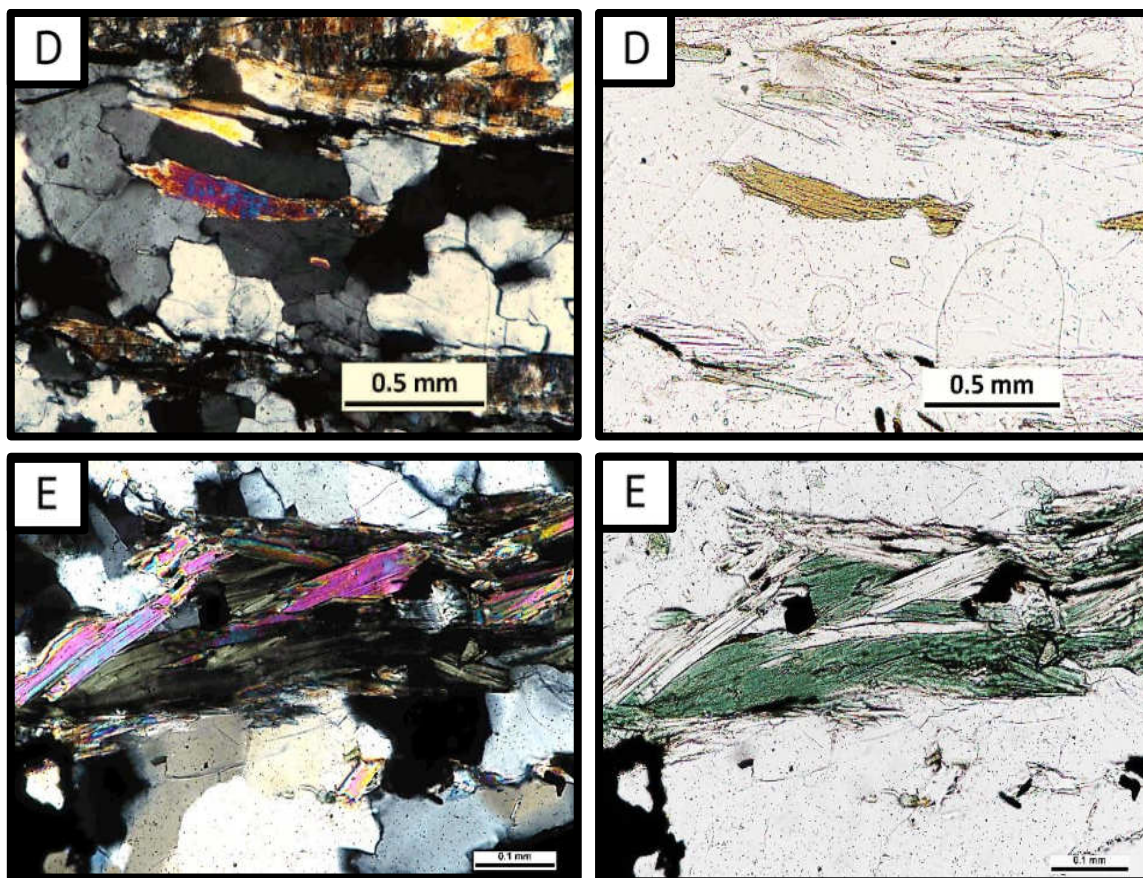
รูปที่ 3.2 หินไมกา-ชีสต์จากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

จากการออกภาคสนามหรือการศึกษาระดับมัธยมศึกษาเพื่อออกไปสำรวจและเก็บข้อมูลหินโผล่ในแต่ละจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่าทุกจุดศึกษาตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 ไปจนถึงจุดศึกษาที่ 4 นั้นจะมีลักษณะของหินที่คล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกันมาก โดยหินจะมีสีสดเป็นสีเทาไปจนถึงสีเทาเขียวและมีสีผุเป็นสีน้ำตาลเหลือง ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นแร่การ์เนตและแร่มีสโคไวต์เป็นหลักได้ด้วยตาเปล่า โดยผลึกแร่การ์เนตจะมีขนาดใหญ่กว่าผลึกแร่ที่เป็นเนื้อหรือเรียกว่าผลึกดอกแปร และแร่มีสโคไวต์จะแสดงลักษณะการเรียงตัวกันเป็นริ้วขนานได้ค่อนข้างชัดเจนแต่ยังไม่ได้แยกออกจากกันเป็นชั้นอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงจัดให้ระนาบการเรียงตัวเป็นระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์ จากหลักฐานพบทำให้ทราบว่าหินในบริเวณพื้นที่ศึกษาคือหินชีสต์ ซึ่งเป็นหินแปร และประกอบด้วยแร่มีสโคไวต์ ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มแร่ไมกาในปริมาณมากจึงเรียกชื่อว่าหินในพื้นที่ศึกษานี้ว่าหินไมกาชีสต์ (รูปที่ 3.2) และจากการศึกษาเพิ่มเติมภายใต้

กล้องจุลทรรศน์หรือการศึกษาระดับจุลภาคจะพบว่าแร่องค์ประกอบหลักประกอบไปด้วย แร่การ์เน็ต แร่ควอตซ์ แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ (รูปที่ 3.3) โดยจะพบกลุ่มแร่ไมกา ได้แก่ แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ ในปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับแร่อื่นๆในหิน



รูปที่ 3.3 แร่องค์ประกอบหลักที่พบให้หินไมกาชีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยรูปด้านซ้ายมือจะเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวามือจะเป็นแบบ PPL ประกอบด้วย A) แร่ควอตซ์ B) แร่มีสโคไวต์ C) แร่การ์เน็ต



รูปที่ 3.3 (ต่อ) แร่องค์ประกอบหลักที่พบให้หินไมกาชีสต์จากเขาตางยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยรูปด้านซ้ายมือจะเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวามือจะเป็นแบบ PPL ประกอบด้วย D) แร่ไบโอไทต์ และ E) แร่คลอไรต์

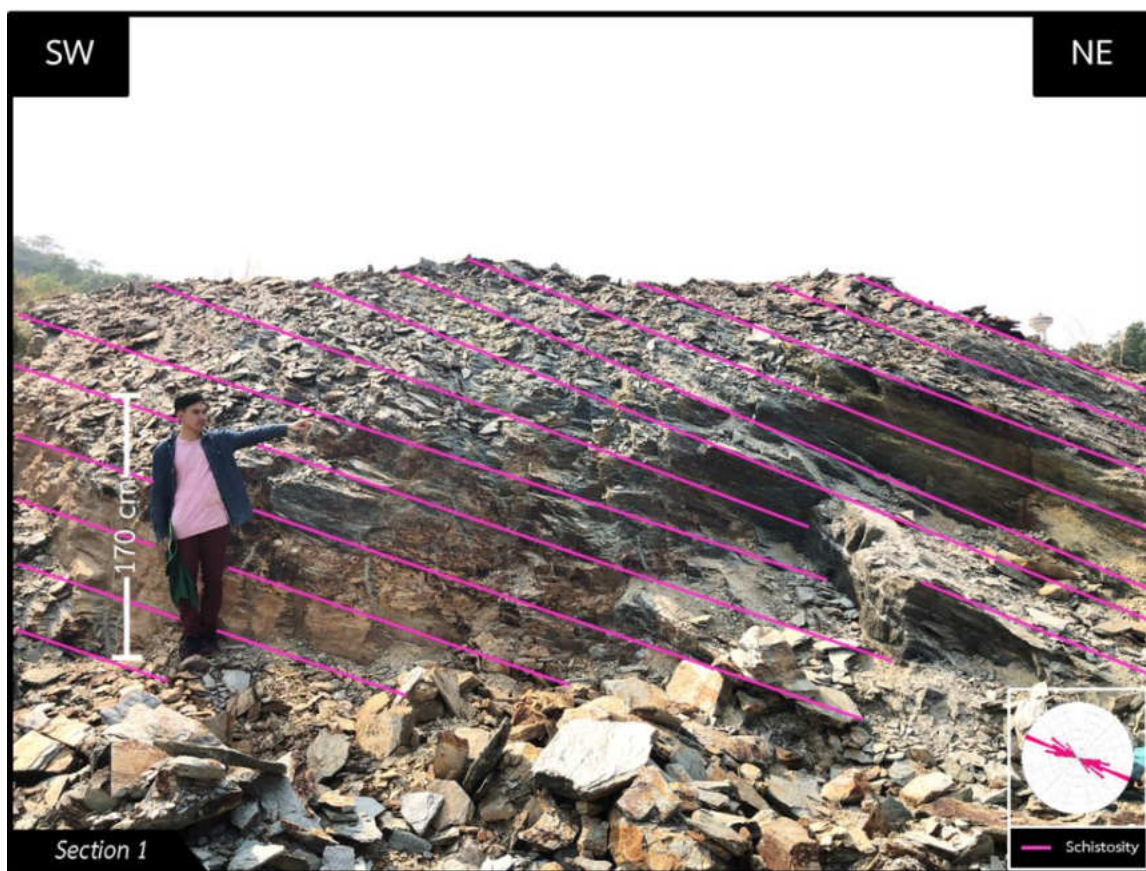
3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

3.2.1 ผลการศึกษาระดับมัธยมศึกษา

เป็นผลการศึกษาที่ได้มาจากการนำค่าข้อมูลโครงสร้างต่างๆทั้งหมดที่เก็บจากการออกภาคสนาม เช่น ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ แนวแตก และรอยเลื่อนรวมถึงโครงสร้างแนวเส้นอื่นๆมาทำการกำหนดตำแหน่งบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบพร้อมกับแสดงรูปของธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในแต่ละจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาร่วมด้วย

3.2.1.1 จุดศึกษาที่ 1

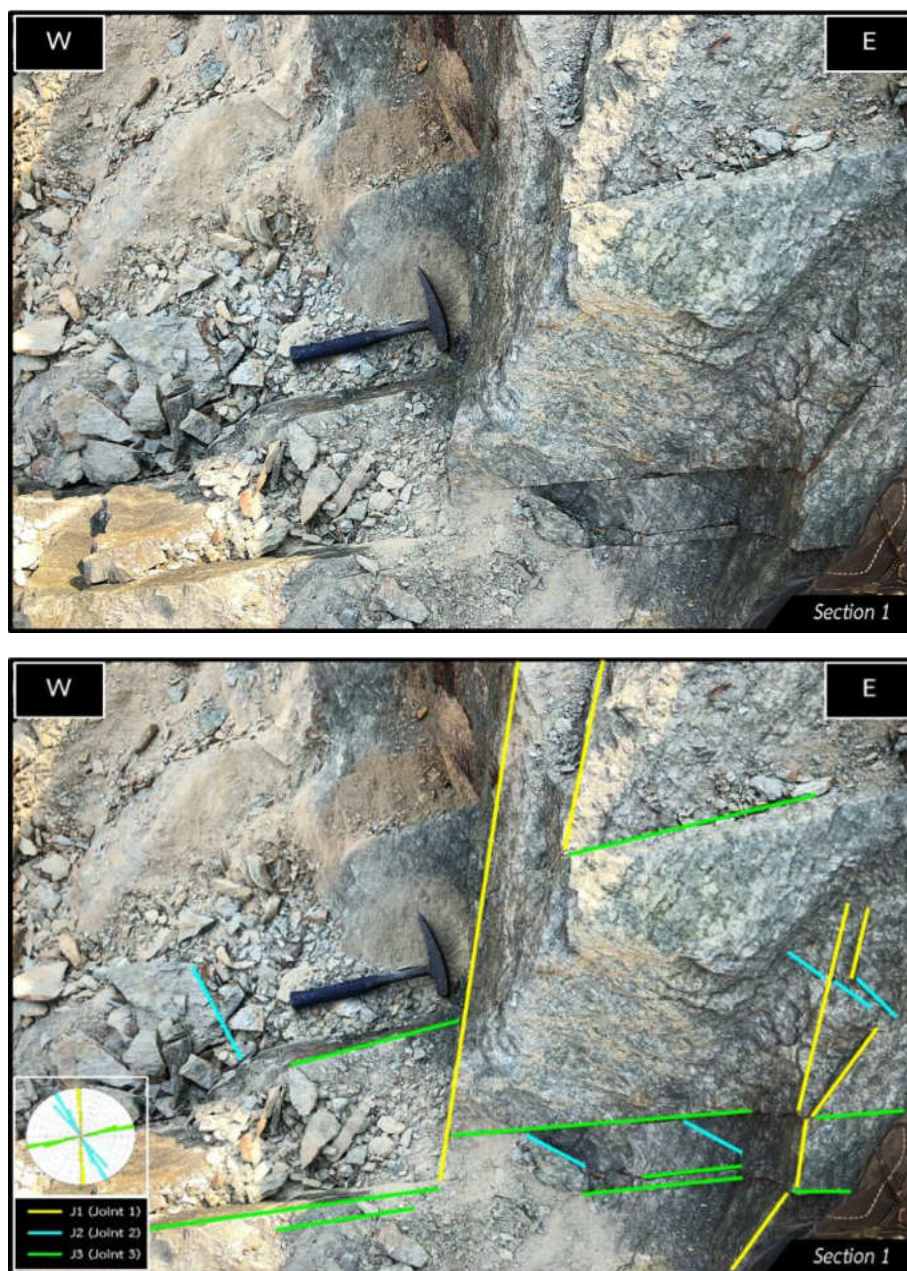
จุดศึกษาที่ 1 อยู่ในพิกัด UTM เขต 47 753150 ตะวันออก และ 1509092 เหนือ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในหินโผล่ของหินไมกาชีสต์ในจุดศึกษาที่ 1 วัดค่าระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ $296^{\circ}/26^{\circ}$ NNE ทำให้ทราบว่าระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์มีการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ก่อนไปทางตะวันออกและมีมุมเทประมาณ 26 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 1

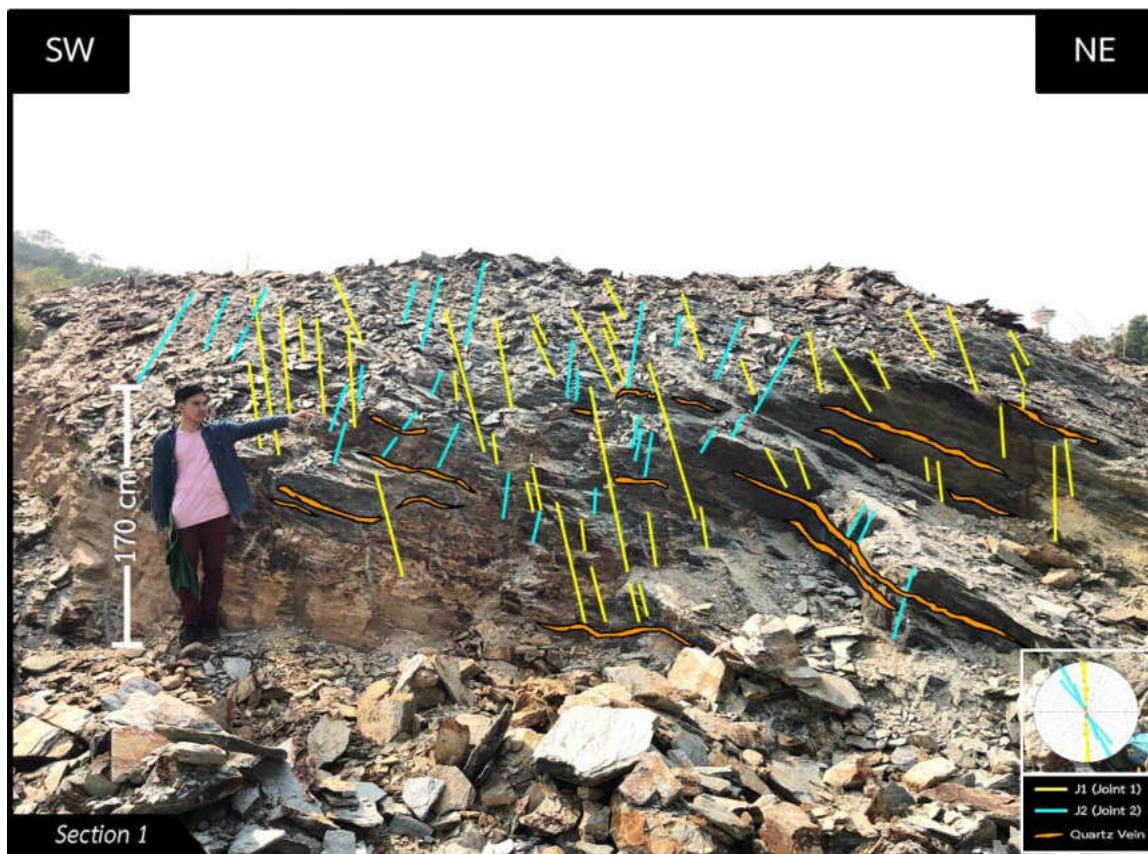
พบแนวแตกทั้งหมด 3 แนว (รูปที่ 3.5) โดยแนวแตกแนวที่ 1 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $360^{\circ}/85^{\circ}$ E ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 1 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศเหนือ-ใต้และมีมุมเทประมาณ 83 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออก แนวแตกแนวที่ 2 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $150^{\circ}/72^{\circ}$ WSW ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 2 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงใต้

ค่อนข้างทางใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางเหนือและมีมุมเทประมาณ 72 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตก และแนวแตกแนวที่ 3 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ 76 /83 SSE ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 3 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางตะวันออกเฉียง-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตกและมีมุมเทประมาณ 83 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้



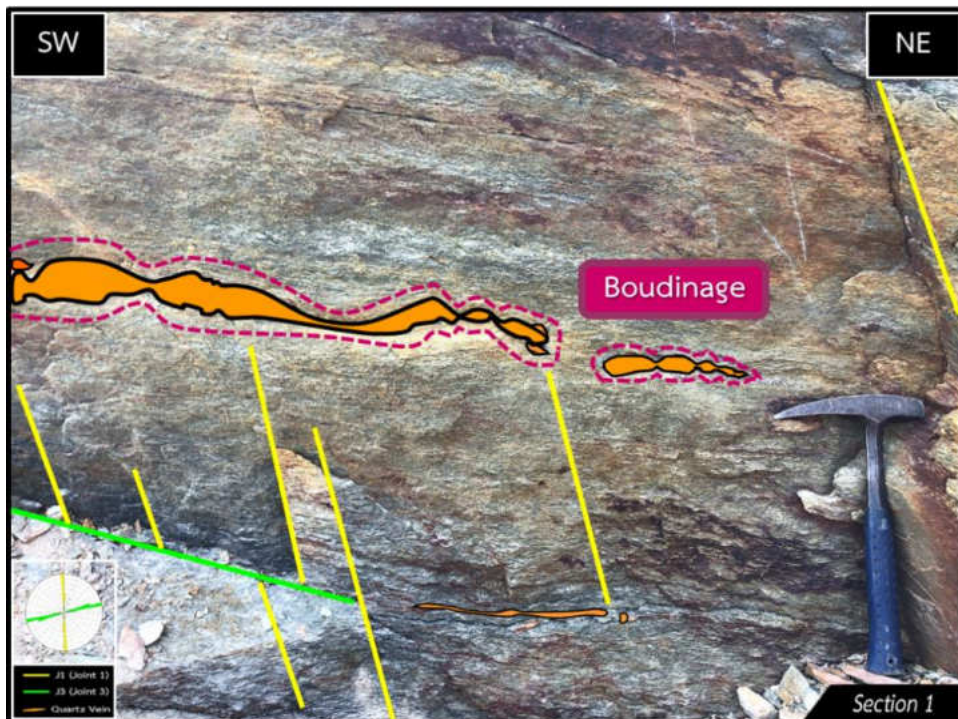
รูปที่ 3.5 แนวแตกทั้ง 3 แนวในจุดศึกษาที่ 1

สายแร่ควอตซ์ที่พบบ่อยมักจะเกิดแทรกอยู่ตามรอยแตกต่างๆที่เกิดขึ้นภายในหินโผล่ (รูปที่ 3.6) โดยส่วนใหญ่มักจะพบสายแร่ควอตซ์วางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับระนาบเรียงตัวของหินชีสต์ในทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ



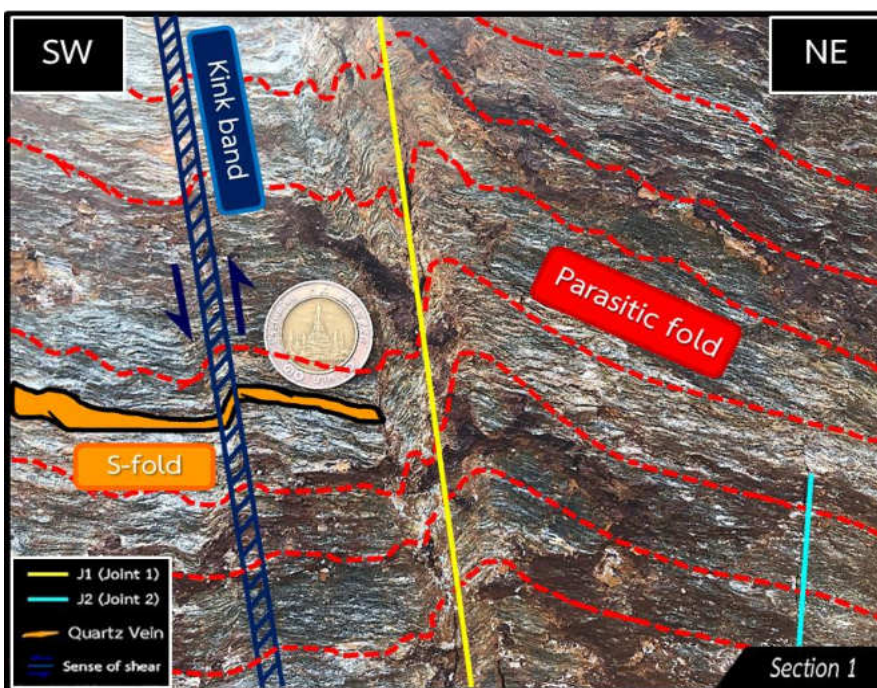
รูปที่ 3.6 แนวแตกแนวที่ 1 แนวแตกแนวที่ 2 และสายแร่ควอตซ์ในจุดศึกษาที่ 1

ในบางบริเวณยังพบลักษณะของสายแร่ควอตซ์ที่แสดงลักษณะของโครงสร้างแบบไส้กรอก (boudingae) (รูปที่ 3.7) อีกด้วย



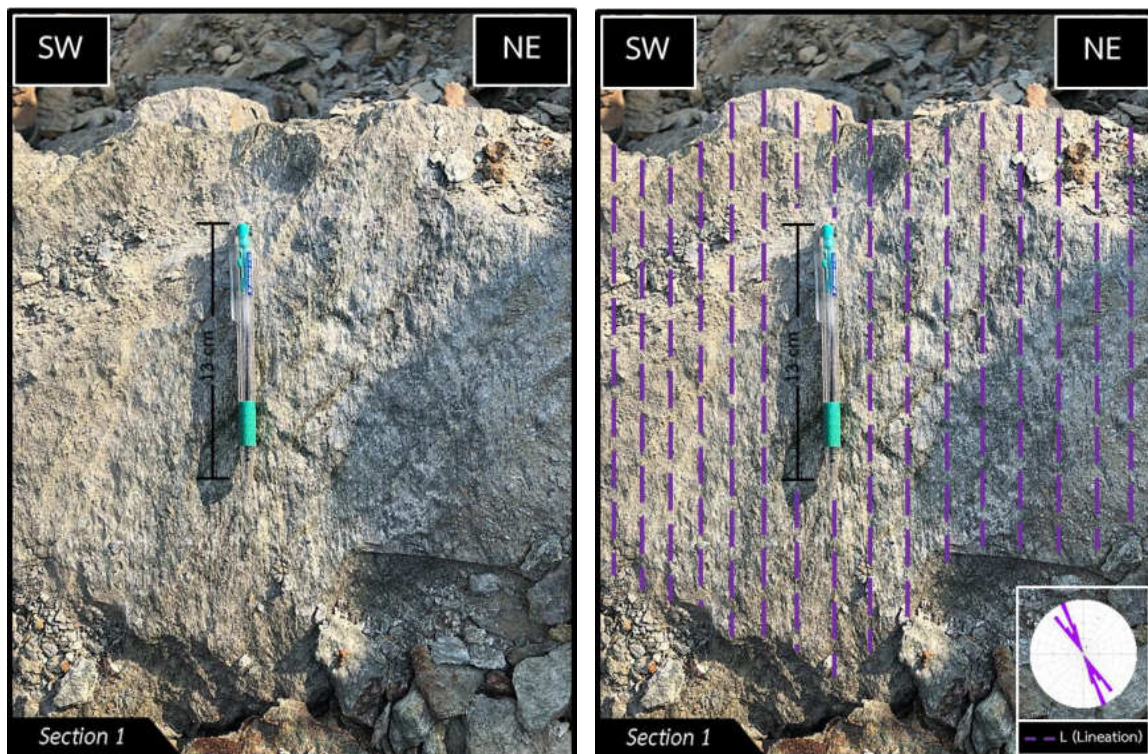
รูปที่ 3.7 สายแร่ควอตซ์ที่แสดงลักษณะของโครงสร้างไส้กรอกในจุดศึกษาที่ 1

ในเนื้อหินยังแสดงลักษณะของแถบโค้งมุมแหลม (Kink band) และชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วม (parasitic fold) ชนิด s (s-fold) ซึ่งเป็นลักษณะของชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในหินโผล่ (รูปที่ 3.8)



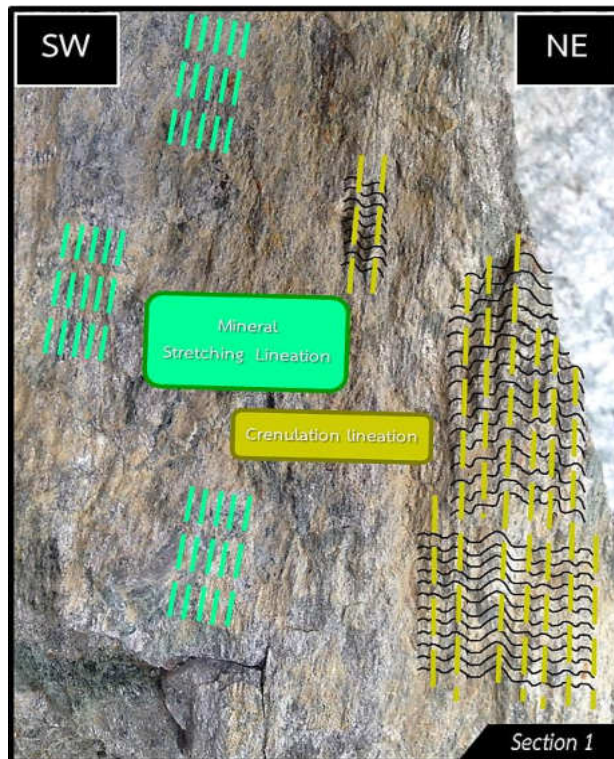
รูปที่ 3.8 แถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วมชนิด s ในจุดศึกษาที่ 1

โครงสร้างแนวเส้น (รูปที่ 3.9) ที่พบจะวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ 332 ± 15 NNW ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้และมีมุมกดประมาณ 15 องศาไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางเหนือ



รูปที่ 3.9 โครงสร้างแนวเส้นในจุดศึกษาที่ 1

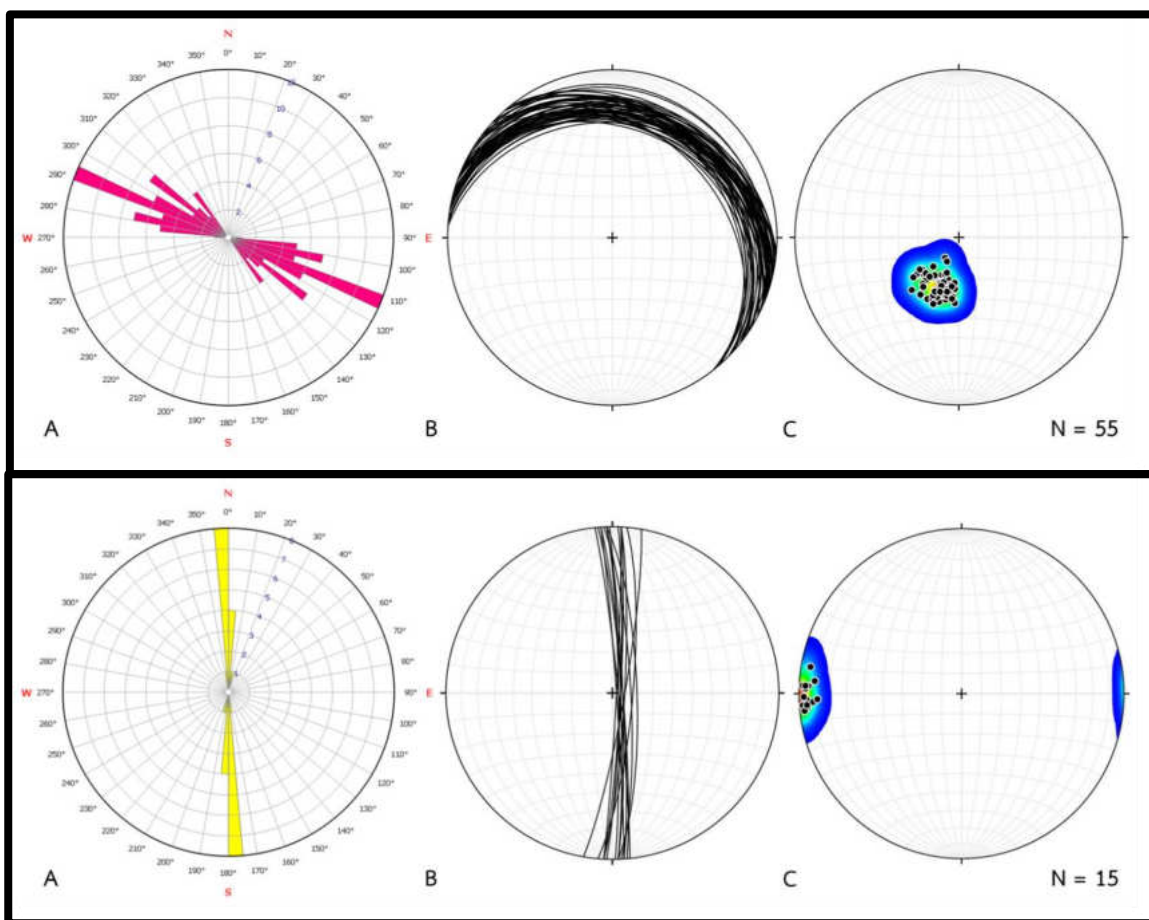
โครงสร้างแนวเส้นที่พบนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักได้แก่ โครงสร้างแนวเส้นจากเม็ดแร่ยืด (mineral stretching lineation) และโครงสร้างแนวเส้นจากรอยหยัก (crenulation lineation) (รูปที่ 3.10) ซึ่งจะพบลักษณะนี้ในทุกหินโผล่ของทุกจุดศึกษา



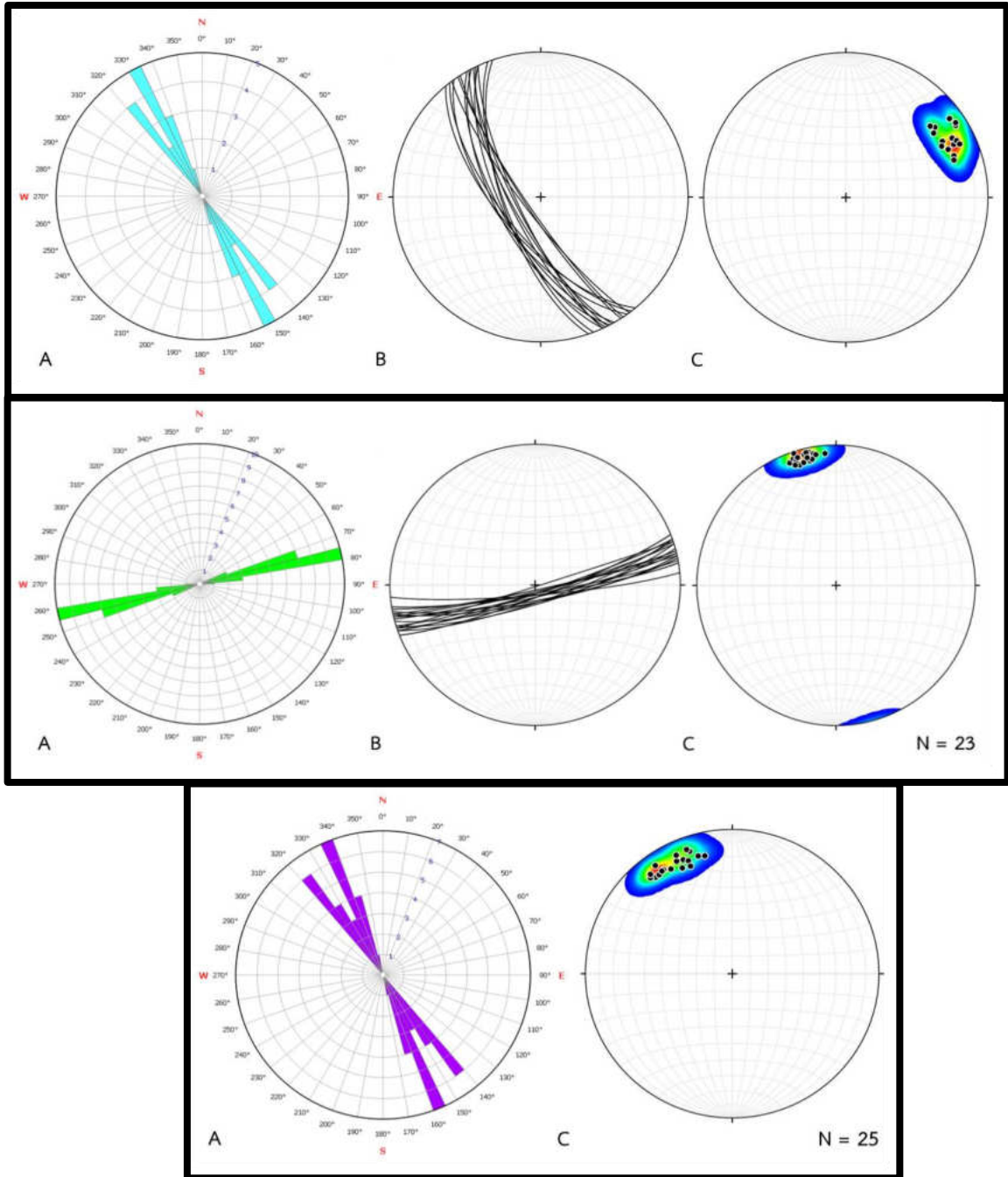
รูปที่ 3.10 โครงสร้างแนวเส้นจากเม็ดแร่ยืดและโครงสร้างแนวเส้นจากรอยหยักในจุดศึกษาที่ 1

แผนภาพกุกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 1

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาที่ 1 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์ แนวแตกทั้ง 3 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุกุหลาบ (รูปที่ 3.11) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกุกุหลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้



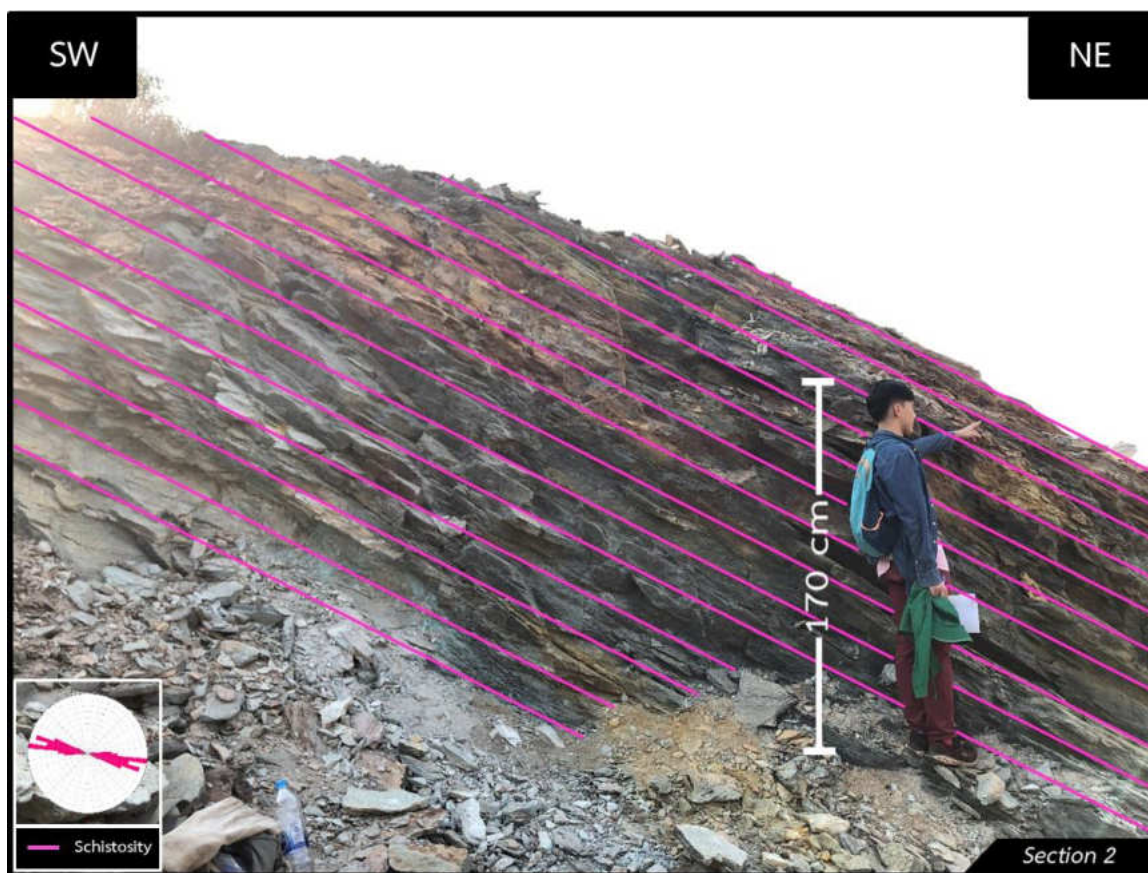
รูปที่ 3.11 แผนภาพกุกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 1 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1



รูปที่ 3.11 (ต่อ) แผนภาพกู่หลาบและสเตอร์โกราฟิคนิตพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 1 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น

3.2.1.2 จุดศึกษาที่ 2

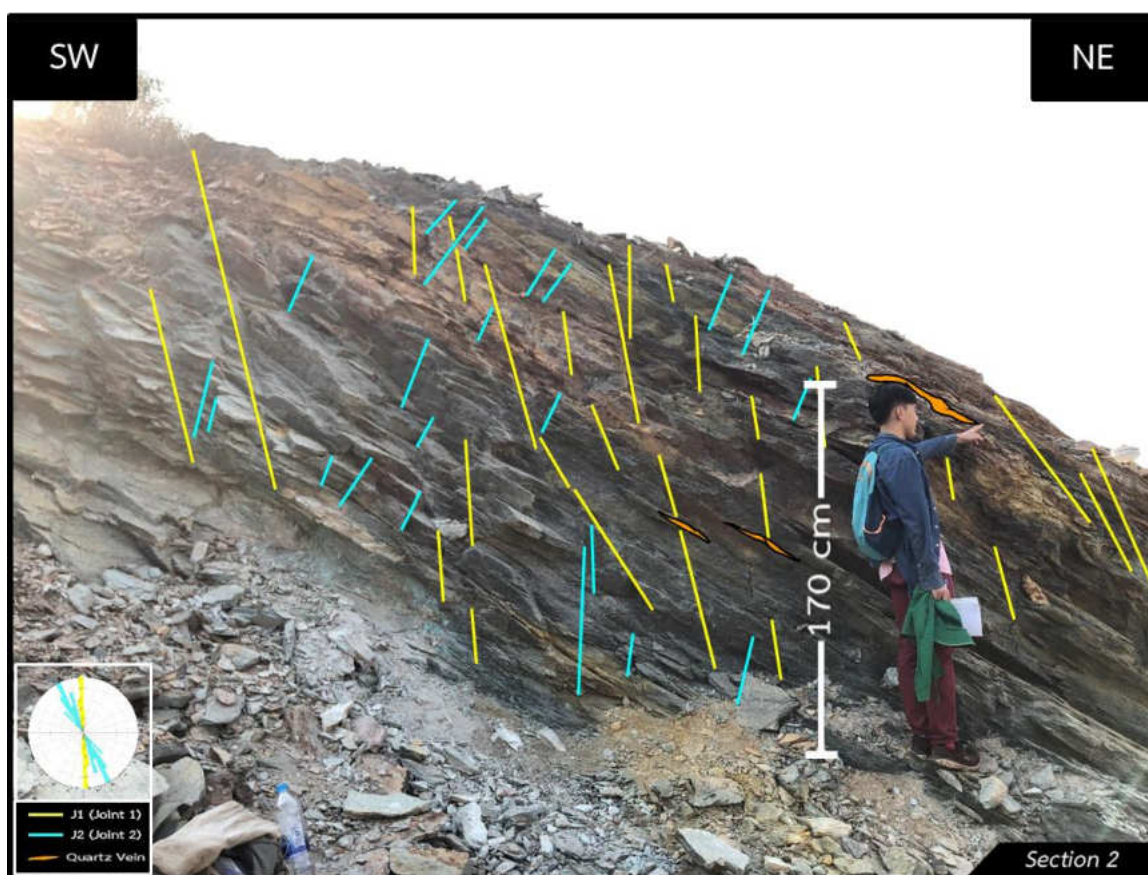
จุดศึกษาที่ 2 อยู่ในพิกัด UTM เขต 47 753139 ตะวันออก และ 1509062 เหนือ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในหินโผล่ของหินไมกาชีสต์ในจุดศึกษาที่ 2 วัดค่าระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ $281 / 35^{\circ}$ NNE ทำให้ทราบว่าระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์มีการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ก่อนไปทางตะวันออกและมีมุมเทประมาณ 35 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 2

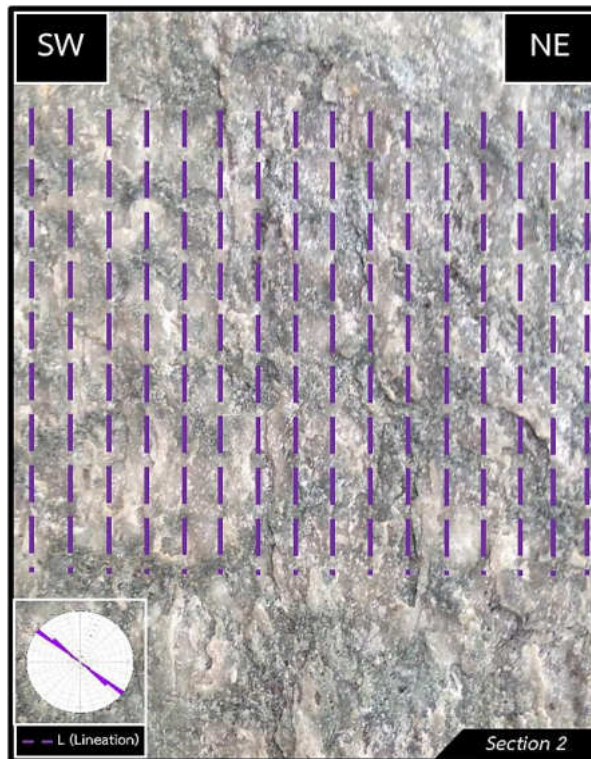
พบสายแร่ควอตซ์แทรกตัวอยู่ในรอยแตกต่างๆในหินโผล่ โดยส่วนใหญ่จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และพบแนวแตกทั้งหมด 3 แนว (รูปที่ 3.13) โดยแนวแตกแนวที่ 1 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $354^{\circ} / 70$ E ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 1 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศเหนือ-ใต้และมีมุมเทประมาณ 70

องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออก แนวแตกแนวที่ 2 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $151^{\circ}/74^{\circ}$ WSW ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 2 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางเหนือและมีมุมเทประมาณ 74° องศาเอียงเทไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันตก และแนวแตกแนวที่ 3 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $73^{\circ}/82^{\circ}$ SSE ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 3 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันออก-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันตกและมีมุมเทประมาณ 82° องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้



รูปที่ 3.13 แนวแตกแนวที่ 1 แนวแตกแนวที่ 2 และสายแร่ควอตซ์ในจุดศึกษาที่ 2

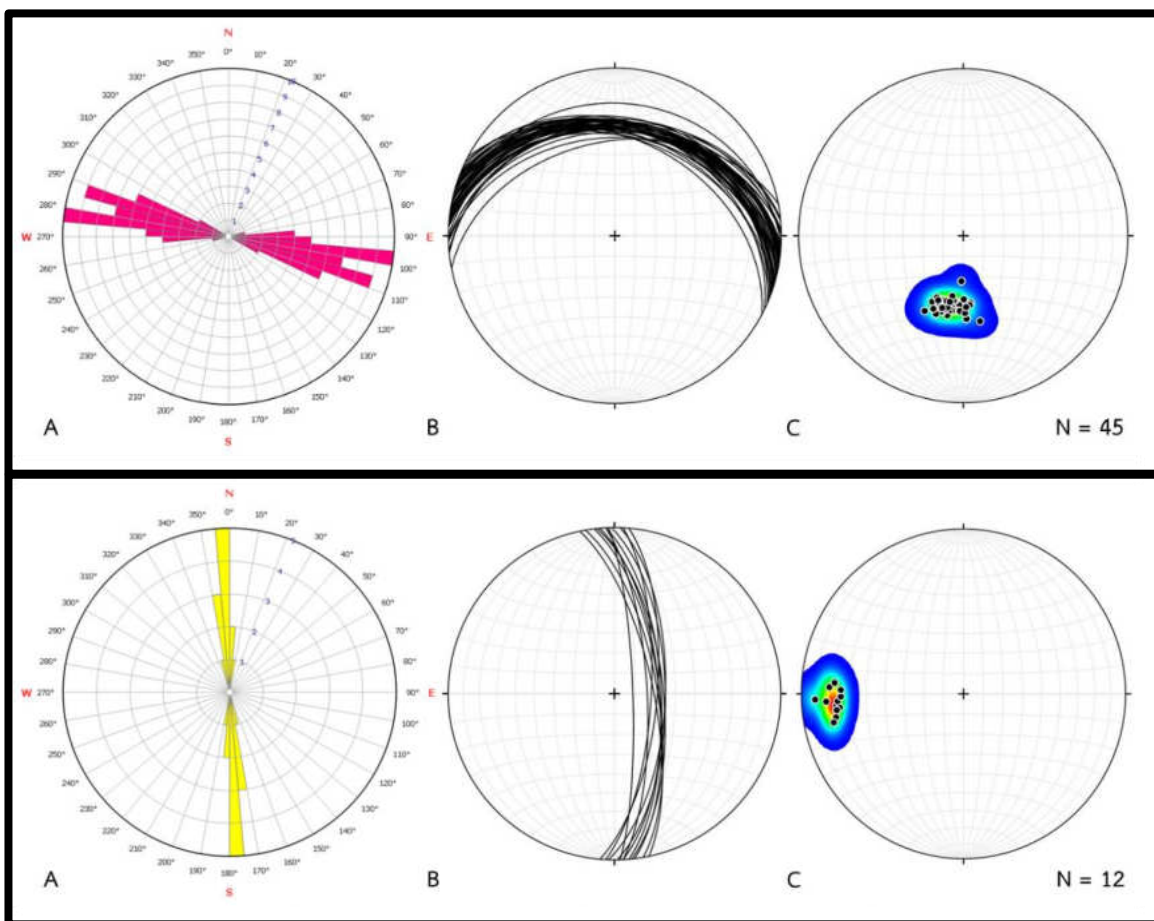
โครงสร้างแนวเส้น (รูปที่ 3.14) ที่พบวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ $309^{\circ}/16^{\circ}$ NW ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมกดประมาณ 16° องศาไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



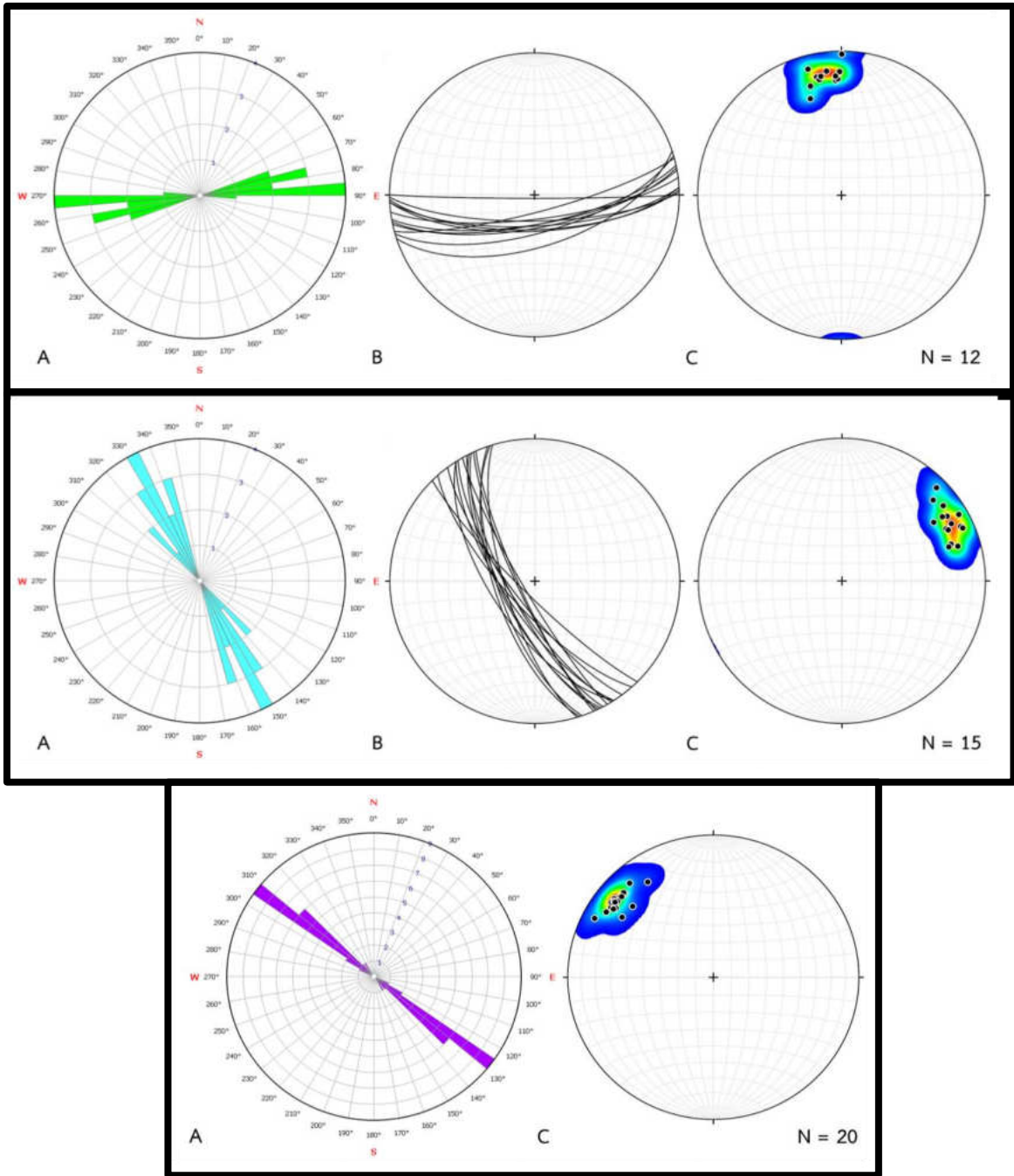
รูปที่ 3.14 โครงสร้างแนวเส้นในจุดศึกษาที่ 2

แผนภาพกุกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 2

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาที่ 2 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์ แนวแตกทั้ง 3 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุกุหลาบ (รูปที่ 3.15) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกุกุหลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้



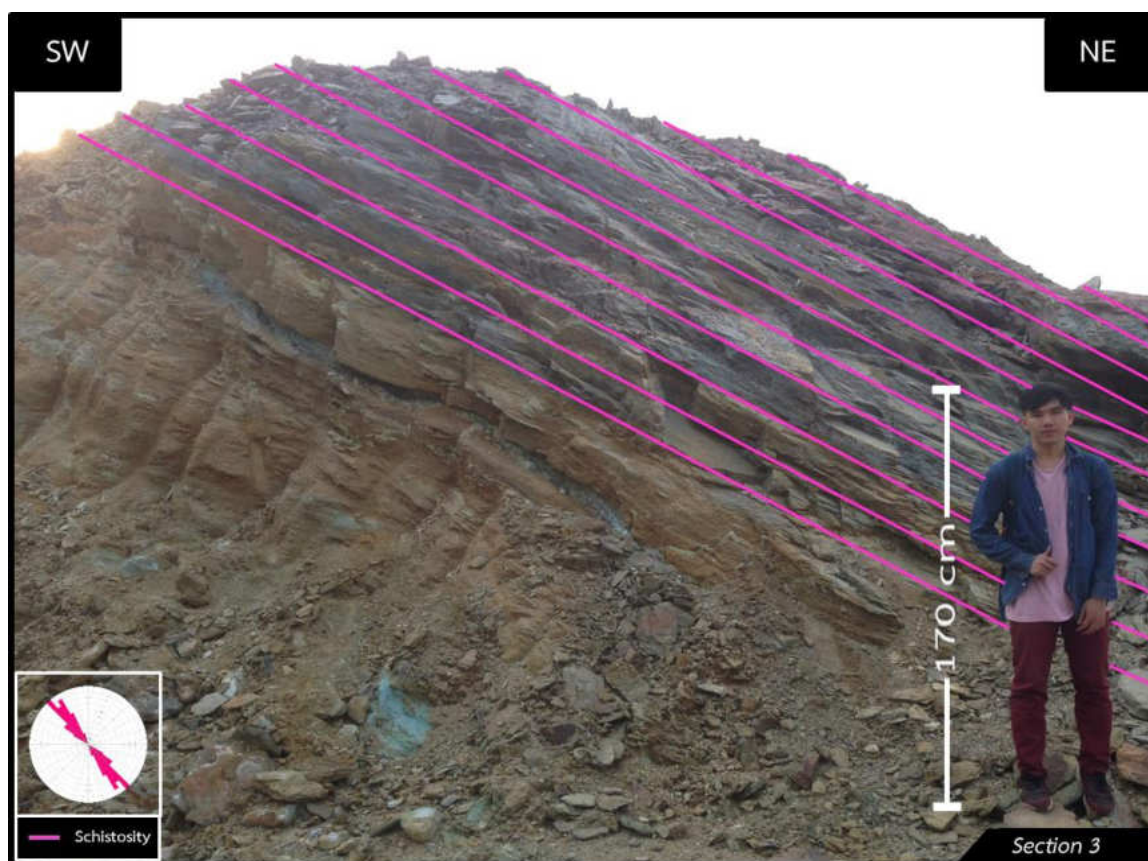
รูปที่ 3.15 แผนภาพกุกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 2 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1



รูปที่ 3.15 (ต่อ) แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 2 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น

3.2.1.3 จุดศึกษาที่ 3

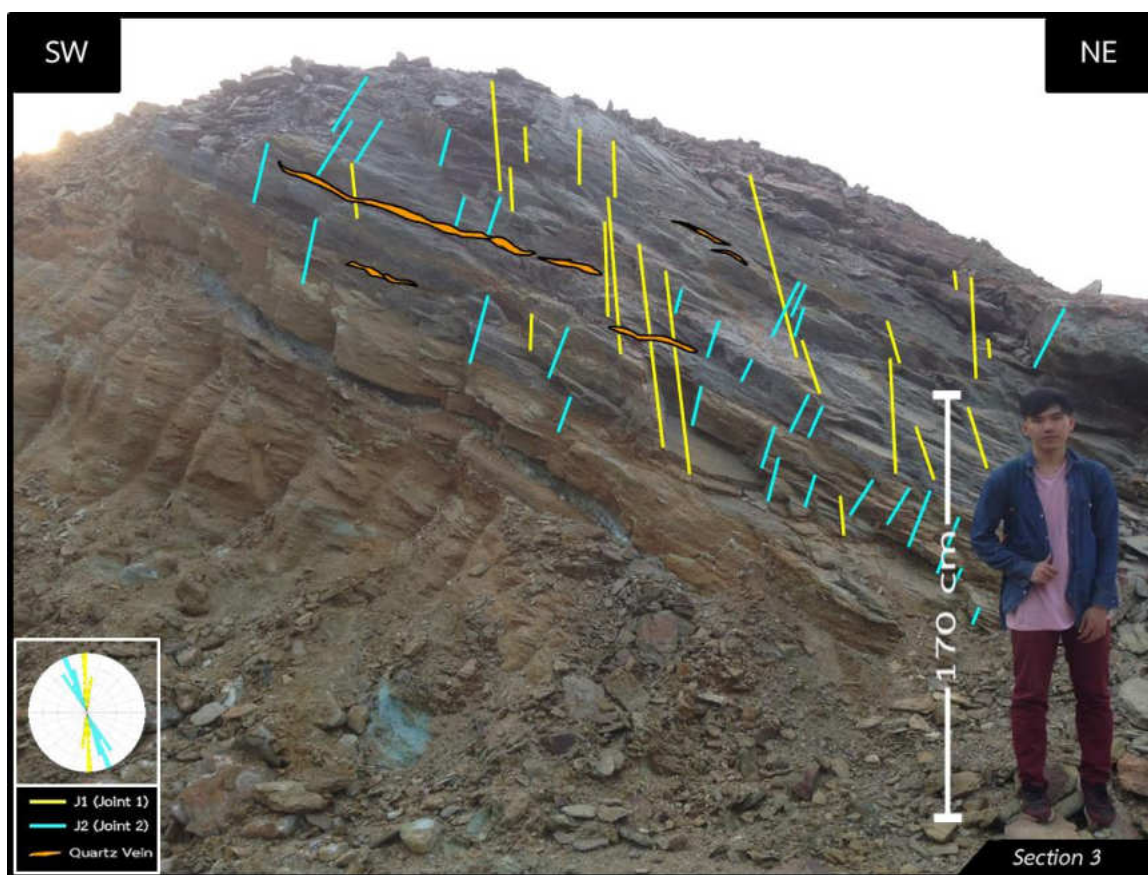
จุดศึกษาที่ 3 อยู่ในพิกัด UTM เขต 47 753157 ตะวันออก และ 1509039 เหนือ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในหินโผล่ของหินไมกาชีสต์ในจุดศึกษาที่ 3 วัดค่าระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ $320 / 38^{\circ}$ NE ทำให้ทราบว่าระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์มีการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมเทประมาณ 38 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 3

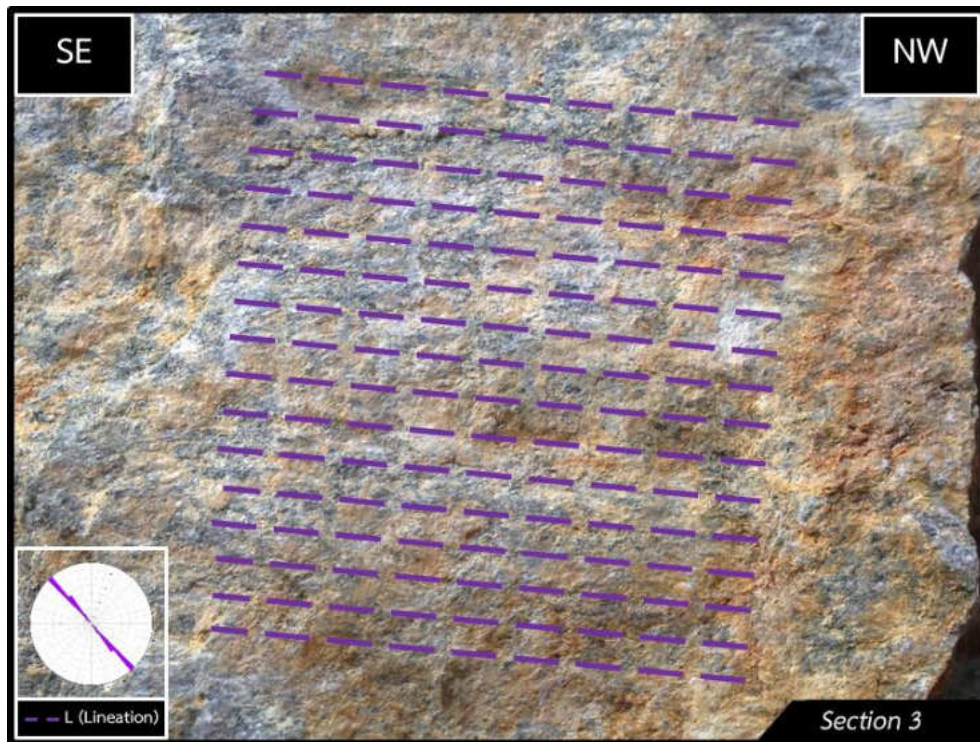
พบสายแร่ควอตซ์แทรกตัวอยู่ในรอยแตกต่างๆภายในหินโผล่ โดยส่วนใหญ่จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และพบแนวแตกทั้งหมด 3 แนว (รูปที่ 3.17) โดยแนวแตกแนวที่ 1 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $356^{\circ} / 79^{\circ}$ E ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวแตกแนวที่ 1 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศเหนือ-ใต้และมีมุมเทประมาณ 79

องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออก แนวแตกแนวที่ 2 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $155 / 72^{\circ}$ WSW ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 2 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางเหนือและมีมุมเทประมาณ 72 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตก และแนวแตกแนวที่ 3 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $77 / 79$ SSE ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 3 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางตะวันออก-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตกและมีมุมเทประมาณ 79 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้



รูปที่ 3.17 แนวแตกแนวที่ 1 แนวแตกแนวที่ 2 และสายแร่ควอตซ์ในจุดศึกษาที่ 3

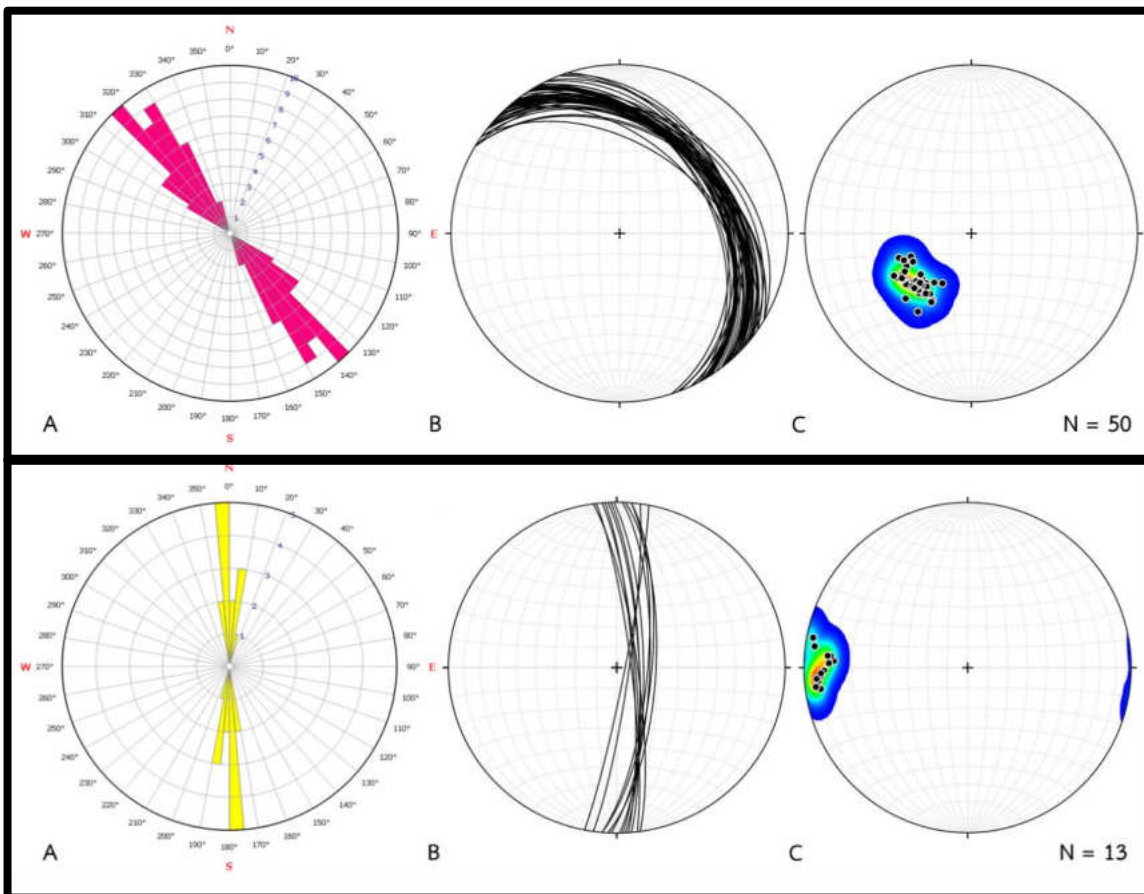
โครงสร้างแนวเส้น (รูปที่ 3.18) ที่พบนั้นจะวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ $319^{\circ} / 06^{\circ}$ NW ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมกดประมาณ 6 องศาไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



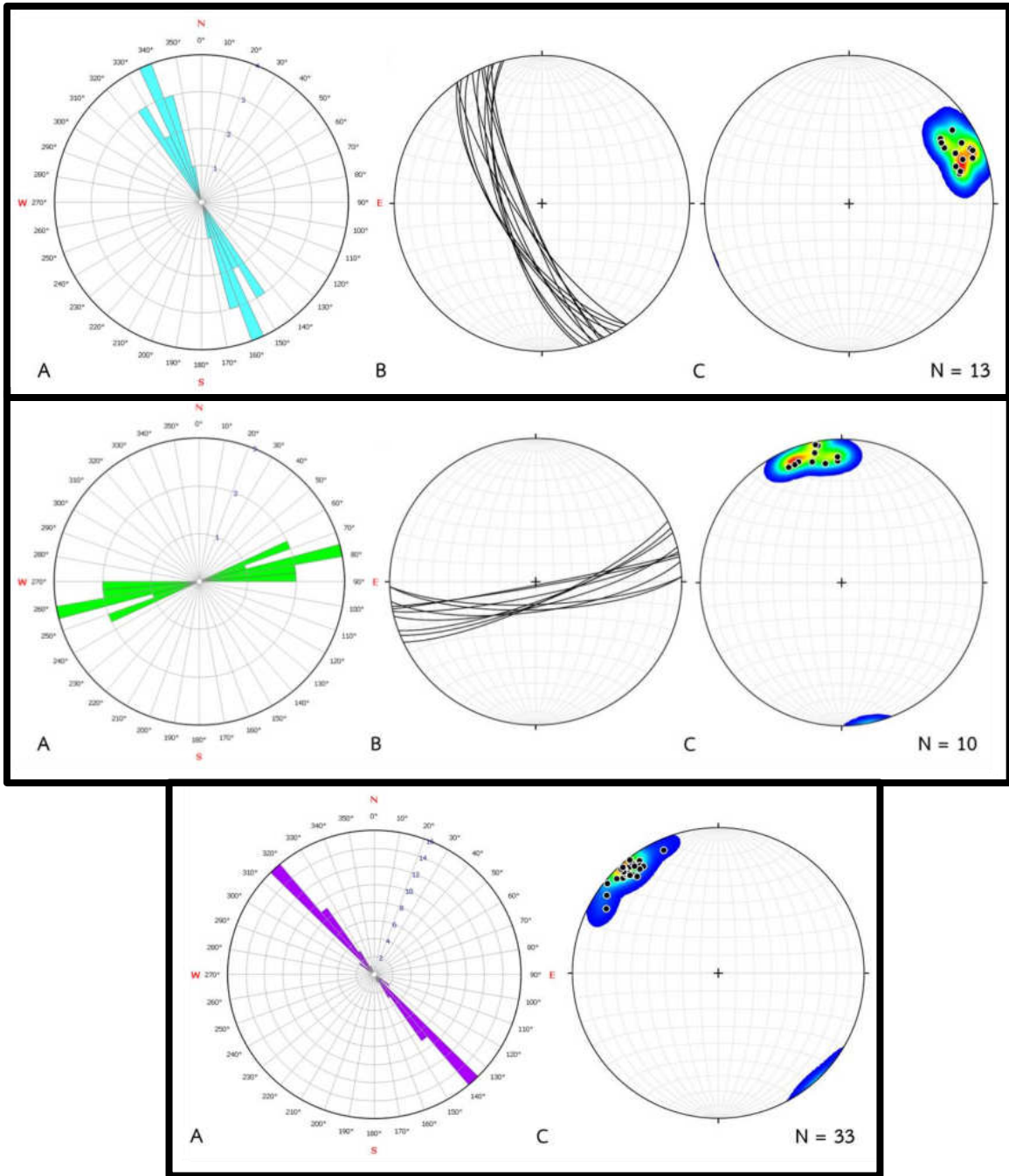
รูปที่ 3.18 โครงสร้างแนวเส้นในจุดศึกษาที่ 3

แผนภาพกู่หลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 3

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาที่ 3 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์ แนวแตกทั้ง 3 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกู่หลาบ (รูปที่ 3.19) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกู่หลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้



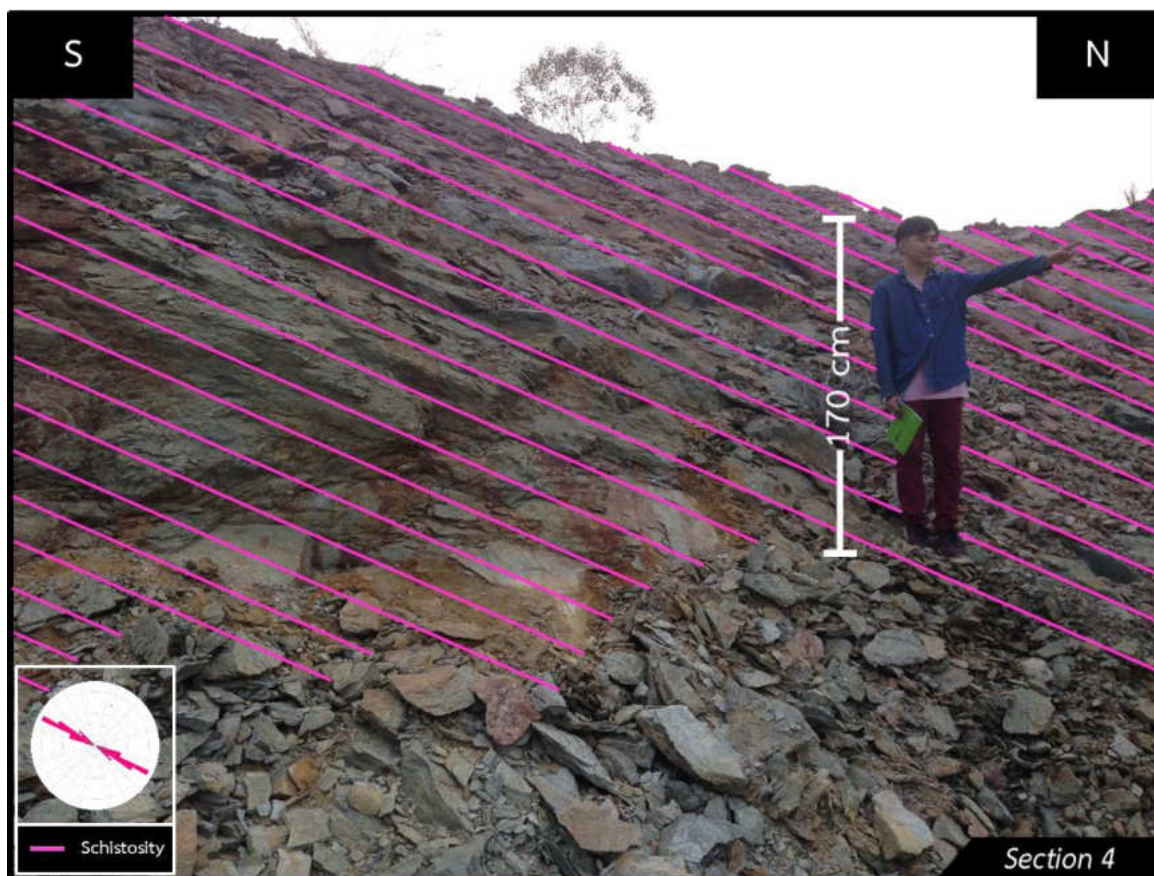
รูปที่ 3.19 แผนภาพกู่หลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 3 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1



รูปที่ 3.19 (ต่อ) แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 3 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น

3.2.1.4 จุดศึกษาที่ 4

จุดศึกษาที่ 4 อยู่ในพิกัด UTM เขต 47 753181 ตะวันออก และ 1509054 เหนือ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในหินโผล่ของหินไมกาชีสต์ในจุดศึกษาที่ 3 วัดค่าระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ $298^{\circ}/29^{\circ}$ NNE ทำให้ทราบว่าระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์มีการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางตะวันตก-ตะวันออกเฉียงใต้ก่อนไปทางตะวันออกและมีมุมเทประมาณ 29 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือก่อนไปทางเหนือ (รูปที่ 3.20)



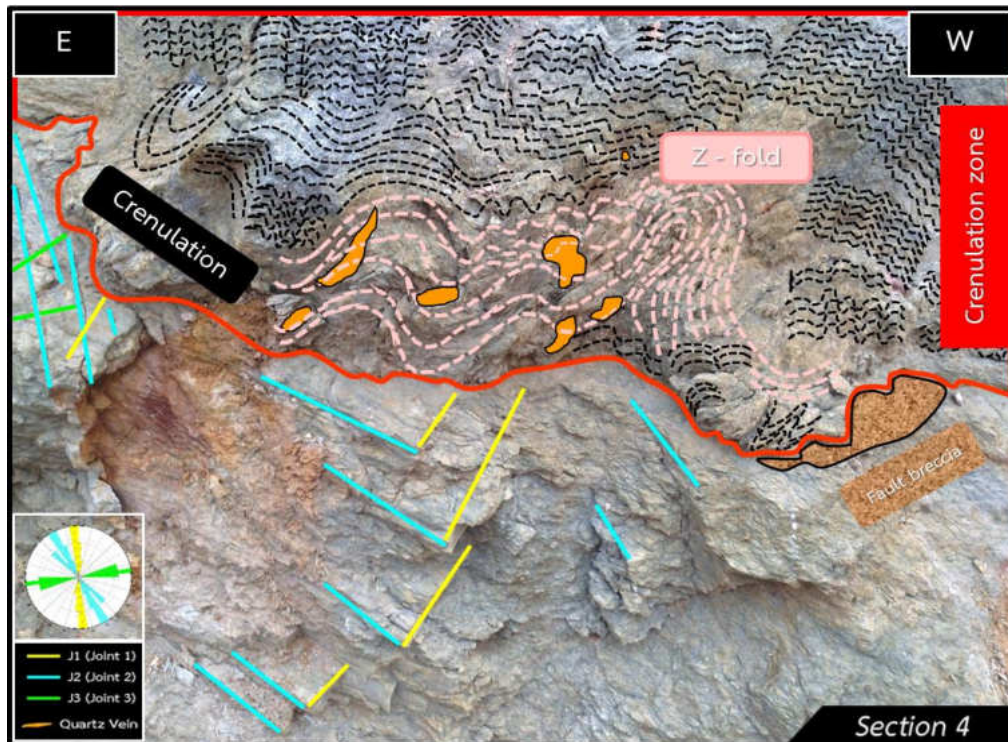
รูปที่ 3.20 ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในจุดศึกษาที่ 4

พบสายแร่ควอตซ์แทรกตัวอยู่ในรอยแตกต่างๆในหินโผล่ โดยส่วนใหญ่จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และพบแนวแตกทั้งหมด 3 แนว โดยแนวแตกแนวที่ 1 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $355^{\circ}/80^{\circ}$ E ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวแตกแนวที่ 1 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศเหนือ-ใต้และมีมุมเทประมาณ 80 องศาเอียงเทไป

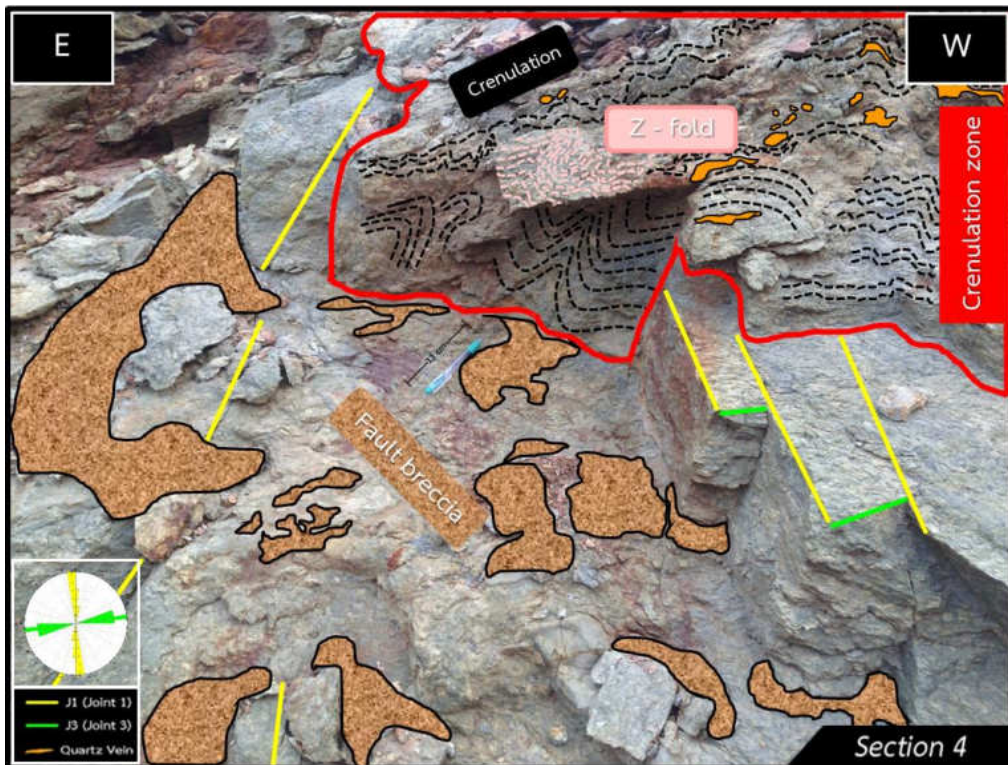
ในทิศตะวันออก แนวแตกแนวที่ 2 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $147 / 75^{\circ}$ WSW ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 2 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ค่อนข้างไปทางเหนือและมีมุมเทประมาณ 75 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตก และแนวแตกแนวที่ 3 จะวัดค่าแนวการวางตัวได้เฉลี่ยประมาณ $80 / 79$ SSE ทำให้ทราบว่าแนวแตกแนวที่ 3 มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างไปทางตะวันออก-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตก และมีมุมเทประมาณ 79 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างไปทางใต้

โครงสร้างแนวเส้นที่พบนั้นจะวัดค่าแนวการวางตัวของโครงสร้างแนวเส้นได้เฉลี่ยประมาณ $319 / 15^{\circ}$ NW ทำให้ทราบว่าโครงสร้างแนวเส้นนี้มีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมกดประมาณ 15 องศาไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

นอกจากนี้ในจุดศึกษาที่ 4 นี้ยังพบลักษณะของหินโผล่ที่ชั้นด้านล่างจะไม่พบชั้นหินคดโค้งหรือพบน้อยมาก ในขณะที่ถัดขึ้นมาเพียงเล็กน้อยจะพบว่าชั้นด้านบนนั้นแสดงลักษณะเป็นชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กจำนวนมากอยู่ตลอดแนวชั้นด้านบน (รูปที่ 3.21) และชั้นหินคดโค้งยังแสดงลักษณะของชั้นหินคดโค้งแกนร่วมชนิด z อีกด้วย จากทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นสันนิษฐานว่าลักษณะที่พบดังกล่าวน่าจะเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากผลของรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในบริเวณนั้น โดยระนาบรอยเลื่อนอยู่ระหว่างชั้นทั้งสอง อีกทั้งในบริเวณรอบๆ หินโผล่ก็จะพบลักษณะของเศษหินแตกหักจำนวนมาก ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นหินกรวดเหลี่ยมรอยเลื่อน (fault breccia) (รูปที่ 3.22) ที่เกิดขึ้นพร้อมกันกับรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ



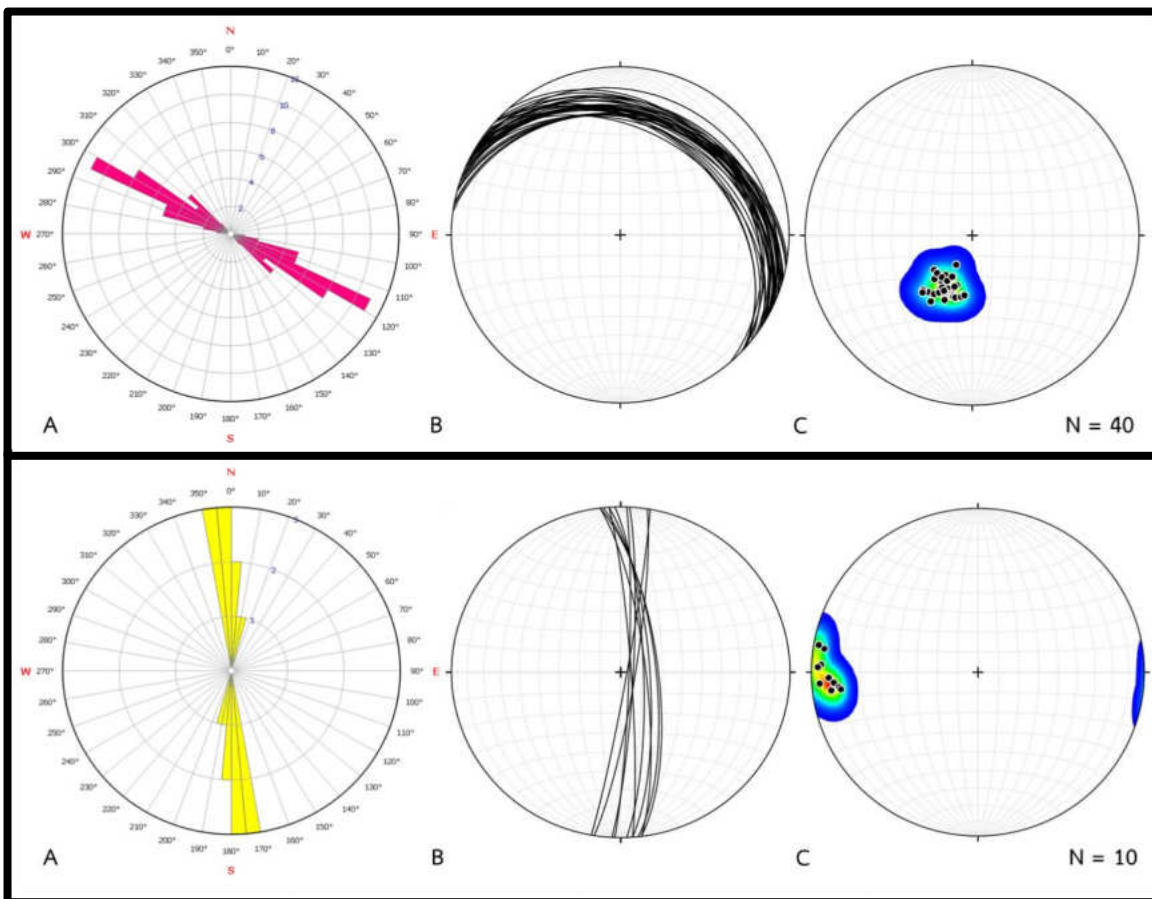
รูปที่ 3.21 บริเวณชั้นหินด้านบนเป็นชั้นหินคดโค้งอยู่เหนือชั้นหินปกติด้านล่าง



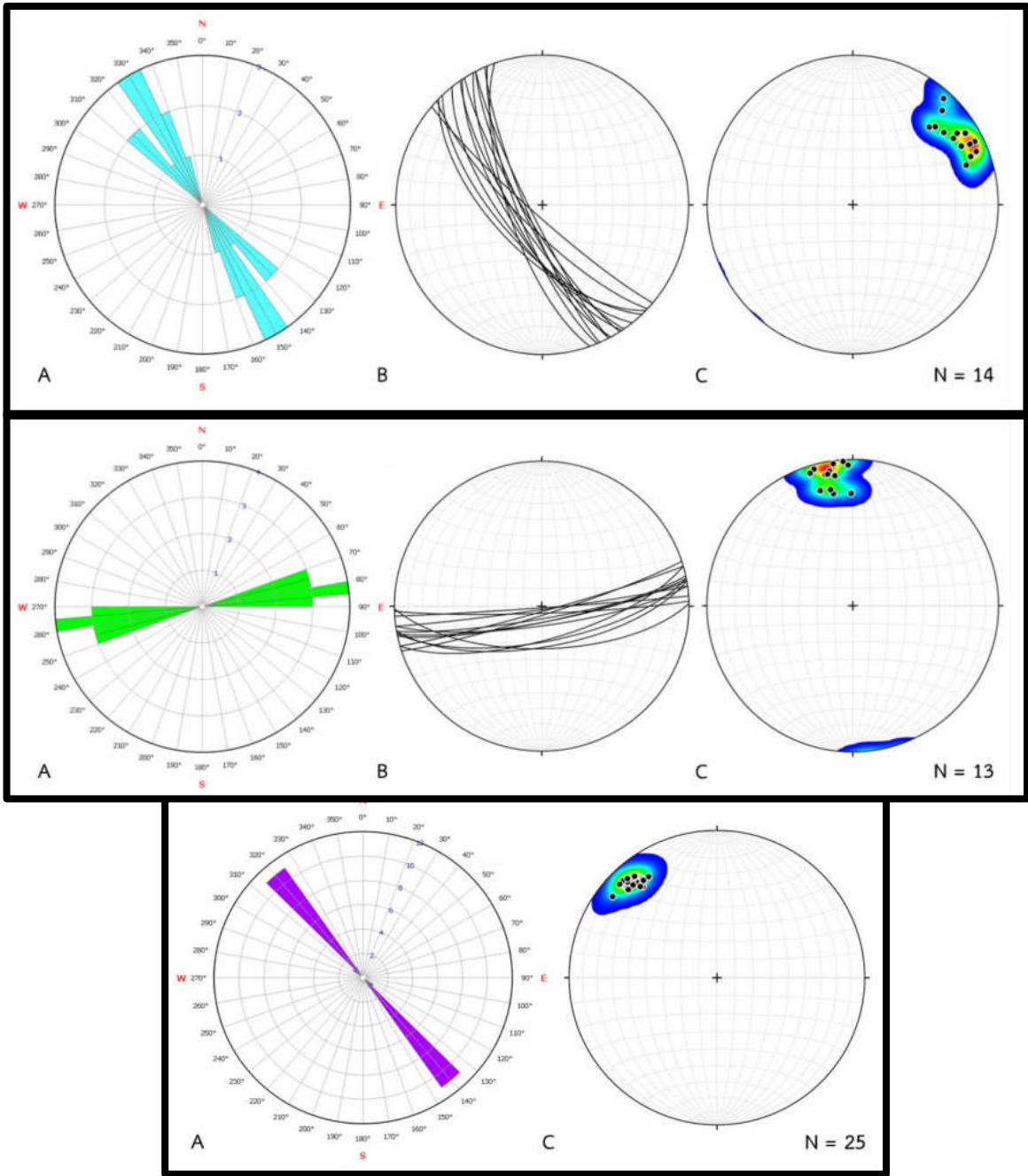
รูปที่ 3.22 หินกรวดเหลี่ยมรอยเลื่อน

แผนภาพกู่หลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 4

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของจุดศึกษาที่ 4 ที่วัดค่ามาจากภาคสนาม (ระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์ แนวแตกทั้ง 3 แนว และโครงสร้างแนวเส้น) มากำหนดตำแหน่งลงบนสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกู่หลาบ (รูปที่ 3.23) โดยแยกตามประเภทของข้อมูล และกำหนดให้ A คือแผนภาพกู่หลาบ B (ระนาบ) และ C (โพล) คือสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาดังนี้

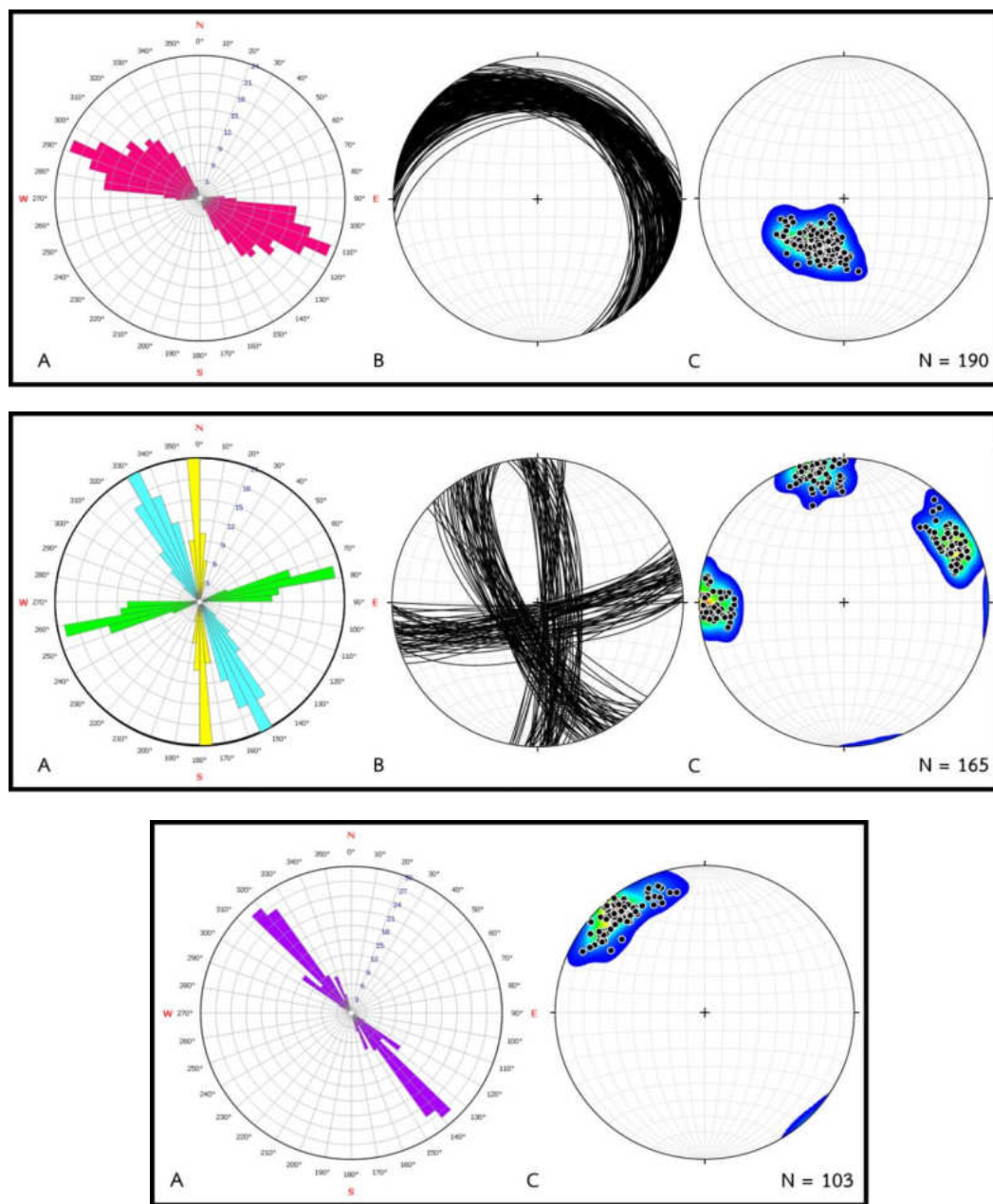


รูปที่ 3.23 แผนภาพกู่หลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 4 โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์ และรูปด้านล่าง (สีเหลือง) คือ แนวแตกแนวที่ 1



รูปที่ 3.23 (ต่อ) แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าของจุดศึกษาที่ 4 โดยรูปด้านบน (สีฟ้า) คือ แนวแตกแนวที่ 2 รูปกลาง (สีเขียว) คือ แนวแตกแนวที่ 3 และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น

เมื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างที่จากทุกจุดศึกษาตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 ไปจนถึงจุดศึกษาที่ 4 มาทำการกำหนดตำแหน่งรวมกันลงบนสเตอริโอกราฟชนิดพื้นที่เท่าและแผนภาพกุหลาบก็จะทำให้ทราบภาพรวมของแนวการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างต่างๆของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.24 แผนภาพกุหลาบและสเตอริโอกราฟชนิดพื้นที่เท่าของพื้นที่ศึกษาที่ โดยรูปด้านบน (สีชมพู) คือ ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ รูปกลาง (สีเหลือง สีฟ้า และสีเขียว) คือ แนวแตกแนวทั้ง 3 แนว และรูปด้านล่าง (สีม่วง) คือ โครงสร้างแนวเส้น

จากการนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างแต่ละชนิดที่เก็บมาจากภาคสนามทั้งหมดมาเฉลี่ยทำให้ทราบว่าเป็นที่ศึกษาหรือเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา มีค่าเฉลี่ยของระนาบเรียงตัวแบบหินซิสต์มีค่าเท่ากับ $299^{\circ}/32^{\circ}$ NNE แนวแตกที่ 1 มีค่าเท่ากับ $359^{\circ}/79^{\circ}$ E แนวแตกที่ 2 มีค่าเท่ากับ $151^{\circ}/73^{\circ}$ WSW แนวแตกที่ 3 มีค่าเท่ากับ $078^{\circ}/80^{\circ}$ SSE และโครงสร้างแนวเส้นมีค่าเท่ากับ $320^{\circ}/12^{\circ}$ NW

3.2.2 ผลการศึกษาระดับจุลภาค

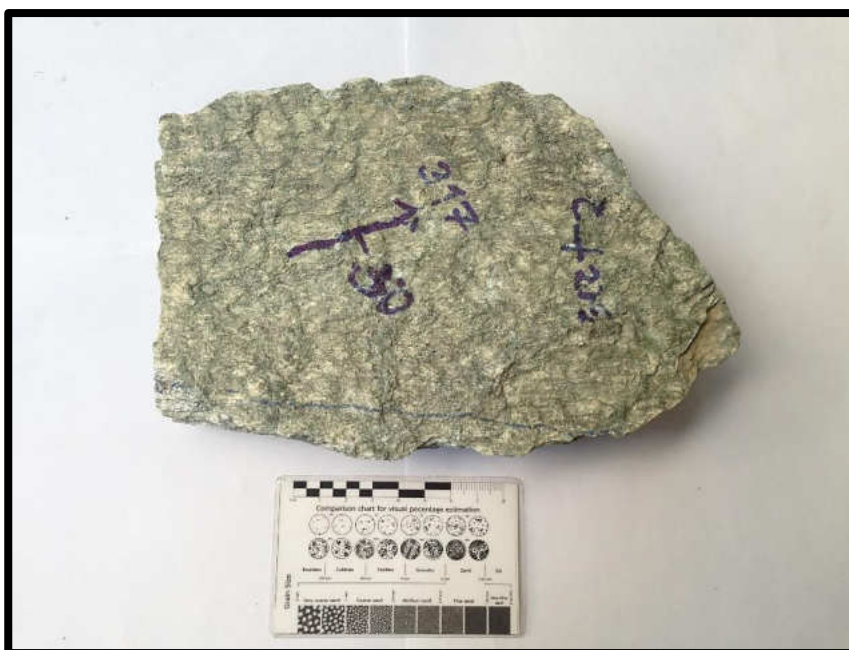
ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคนั้นจะศึกษาในแผ่นหินบางที่ได้จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยจะนำมาศึกษาสีลาบรรณาของหินรวมไปถึงศึกษาโครงสร้างจุลภาค ซึ่งทำให้ทราบถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะและตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนจุลภาค ซึ่งการวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างในระดับจุลภาคนี้นำไปใช้ในการสนับสนุนการวิเคราะห์ธรณีวิทยาในระดับมหัพภาค และวิวัฒนาการแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

ตัวอย่างหินระบุตำแหน่งในพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 จุดการศึกษานั้นเป็นหินไมกาซิสต์ ซึ่งเก็บตัวอย่างหินมาจำนวน 3 ก้อนจาก 3 จุดศึกษา ประกอบไปด้วย ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 1 (รูปที่ 3.25) ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 2 (รูปที่ 3.26) และตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 3 (รูปที่ 3.27) เพื่อนำไปทำแผ่นหินบางสำหรับใช้ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยจะนำตัวอย่างหินมาตัดในแนวขนานไปกับโครงสร้างแนวเส้นซึ่งทำการตัดแผ่นหินบางจำนวน 9 ตัวอย่าง (รูปที่ 3.28)

เมื่อทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทำให้พบว่าในเรื่องของสีลาบรรณา แร่องค์ประกอบหลักของหินไมกาซิสต์จากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ แร่การ์เนต แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ (ดูหัวข้อ 3.1.1) ส่วนในเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างพบการโป่งนูน (bulging, BLG) ที่บ่งบอกในเรื่องของกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ และพบตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาคที่สามารถบอกทิศทางการเฉือนได้ 8 ชนิด ได้แก่ แถบการเฉือนแบบ C (C - type shear bands) แถบการเฉือนแบบ C' (C' - type shear bands) เม็ดรูปซิกม่า (Sigma-object) แร่รูปปลา (Mica fish) เม็ดรูปซิกมอยด์ (Sigmoid) ริวขนานเฉียง (Oblique foliation) ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร (Fold asymmetry) และระบบการเฉือนรีเดล (Riedel shear) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



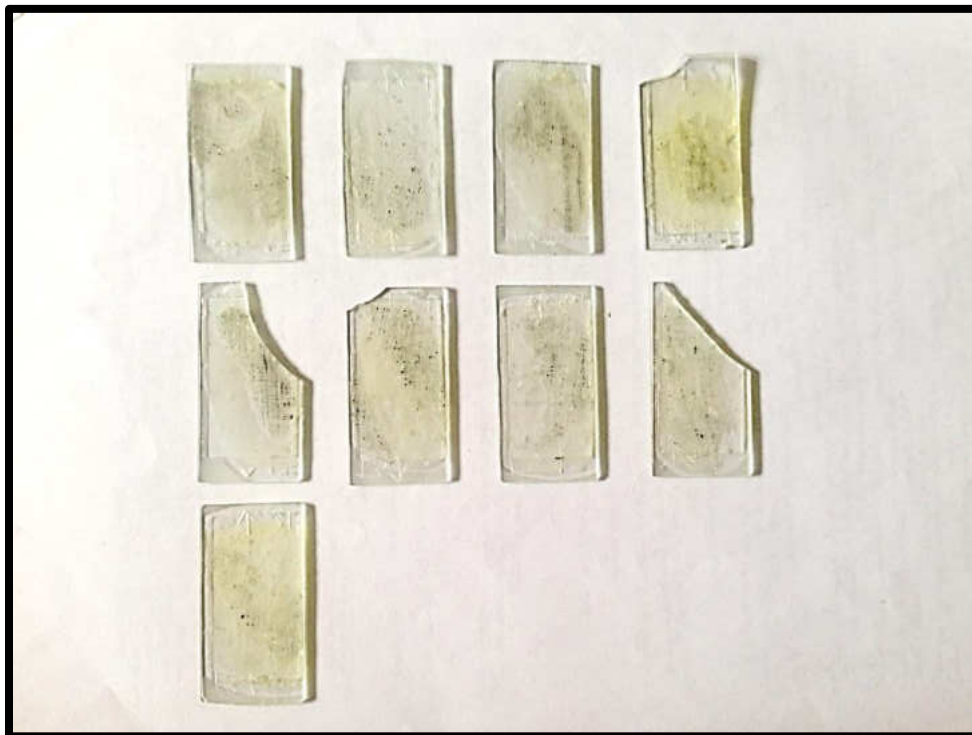
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 1



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 2



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างหินจากจุดศึกษาที่ 3

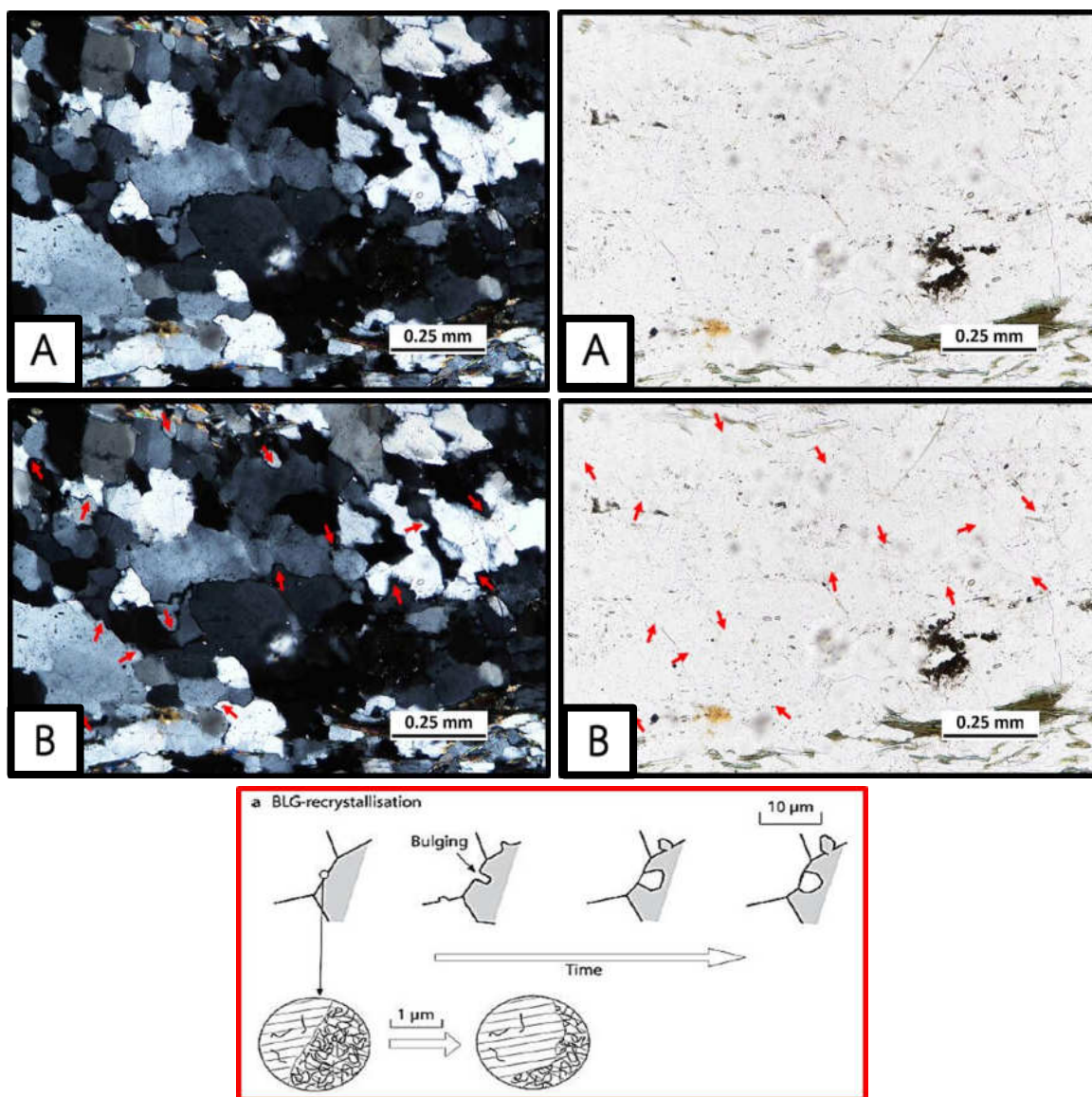


รูปที่ 3.28 แผ่นหินบางจำนวน 9 แผ่น

3.2.2.1 กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ

3.2.2.1.1 การโป่งนูน

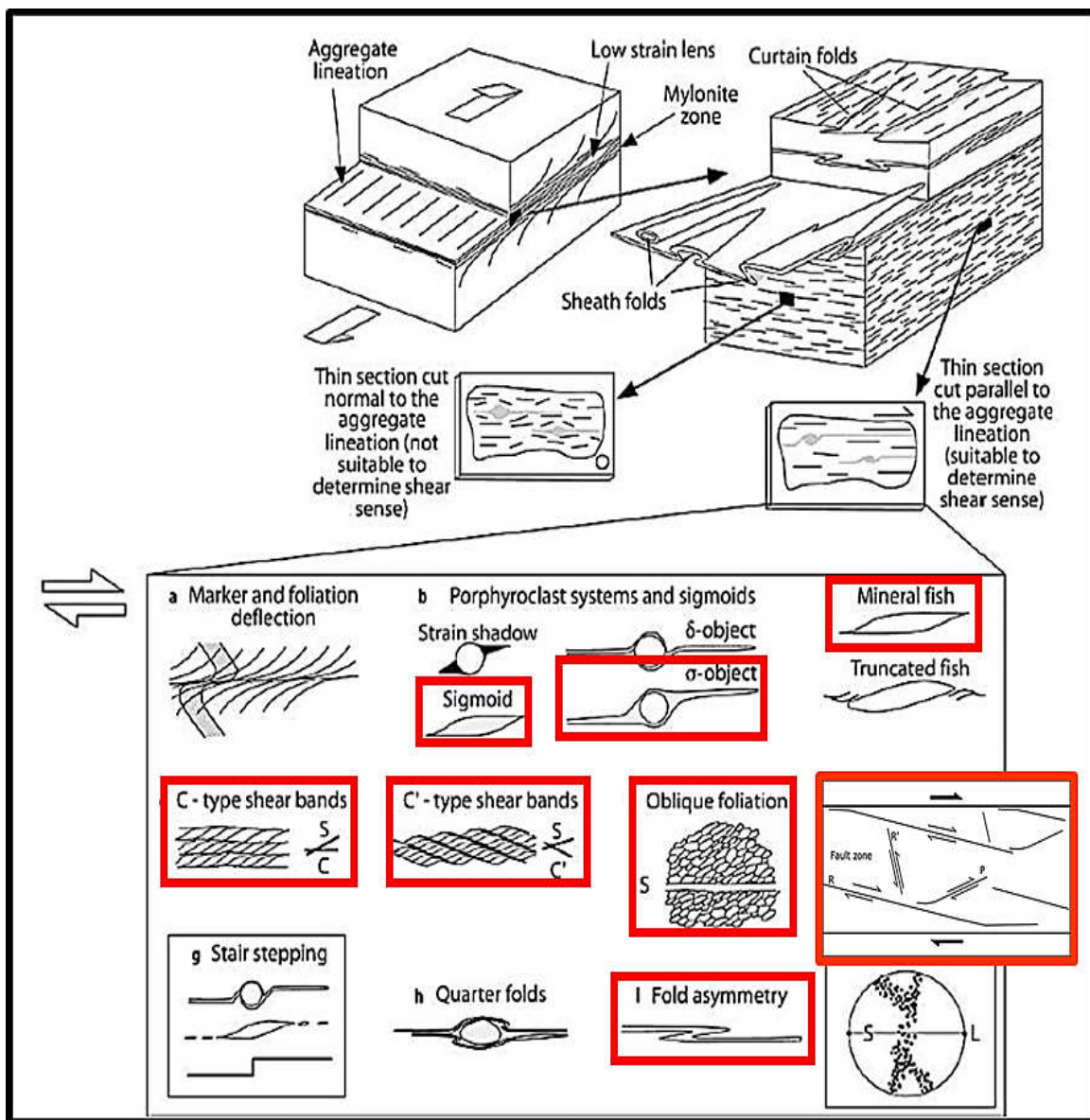
การโป่งนูน จะเกิดขึ้นหากเม็ดโดยรอบมีความหนาแน่นการเลือนตำแหน่งต่างกันและขอบเม็ดจะเคลื่อนที่เข้าสู่เม็ดด้วยความหนาแน่นที่สูงกว่า โดยมักจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ (รูปที่ 3.29)



รูปที่ 3.29 A) แร่ควอตซ์แสดงการโป่งนูน B) ลูกศรสีแดงแสดงขอบที่กินกันเข้าไปของเม็ดแร่ และ (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

3.2.2.2 ตัวชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาค (shear sense indicator)

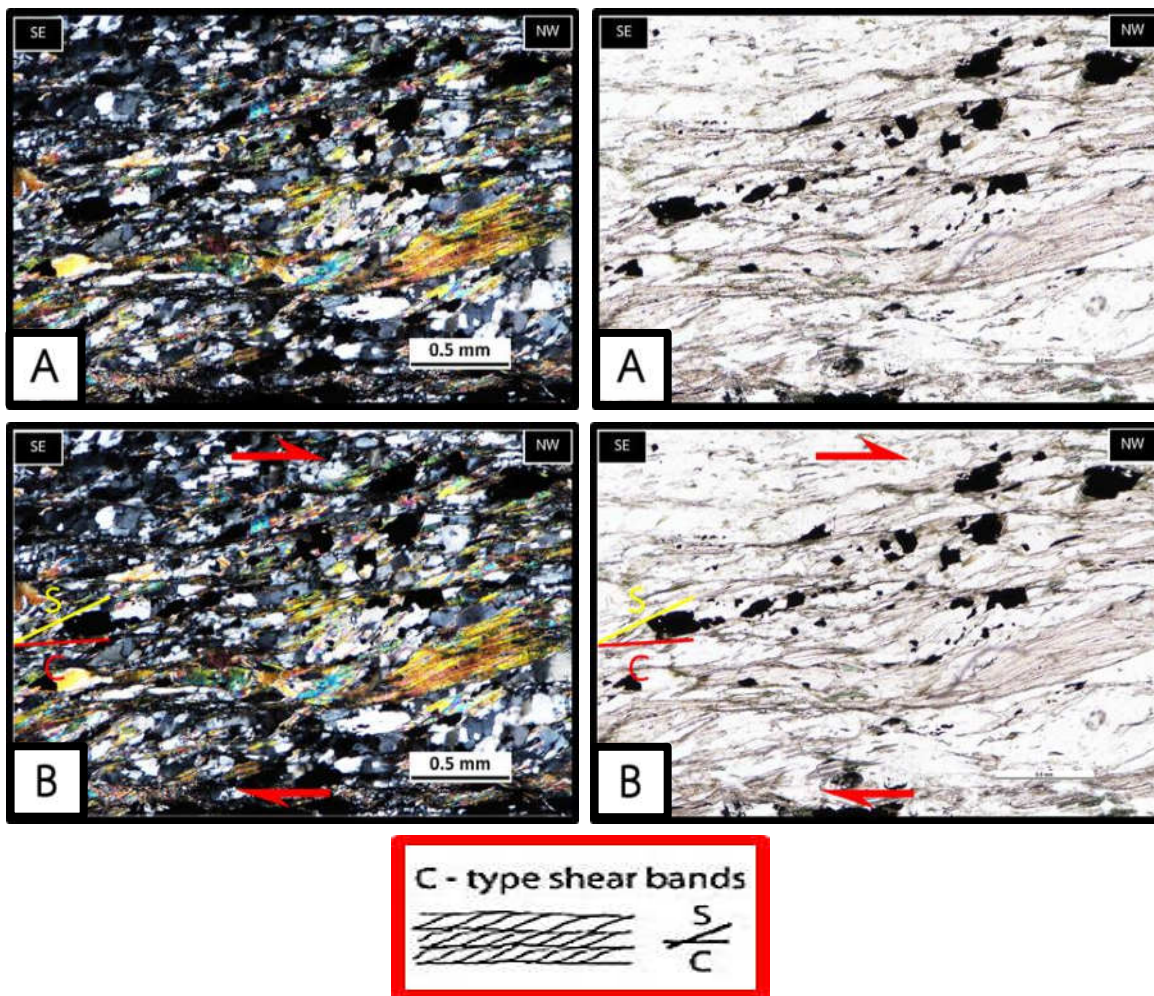
จากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนจุลภาค 8 ชนิด ได้แก่ แถบการเฉือนแบบ C แถบการเฉือนแบบ C' เม็ดรูปซิกม่า เม็ดรูปซิกมอยด์ แร่รูปปลา ริวขนานเฉียง ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร และระบบการเฉือนรีเดล (รูปที่ 3.30)



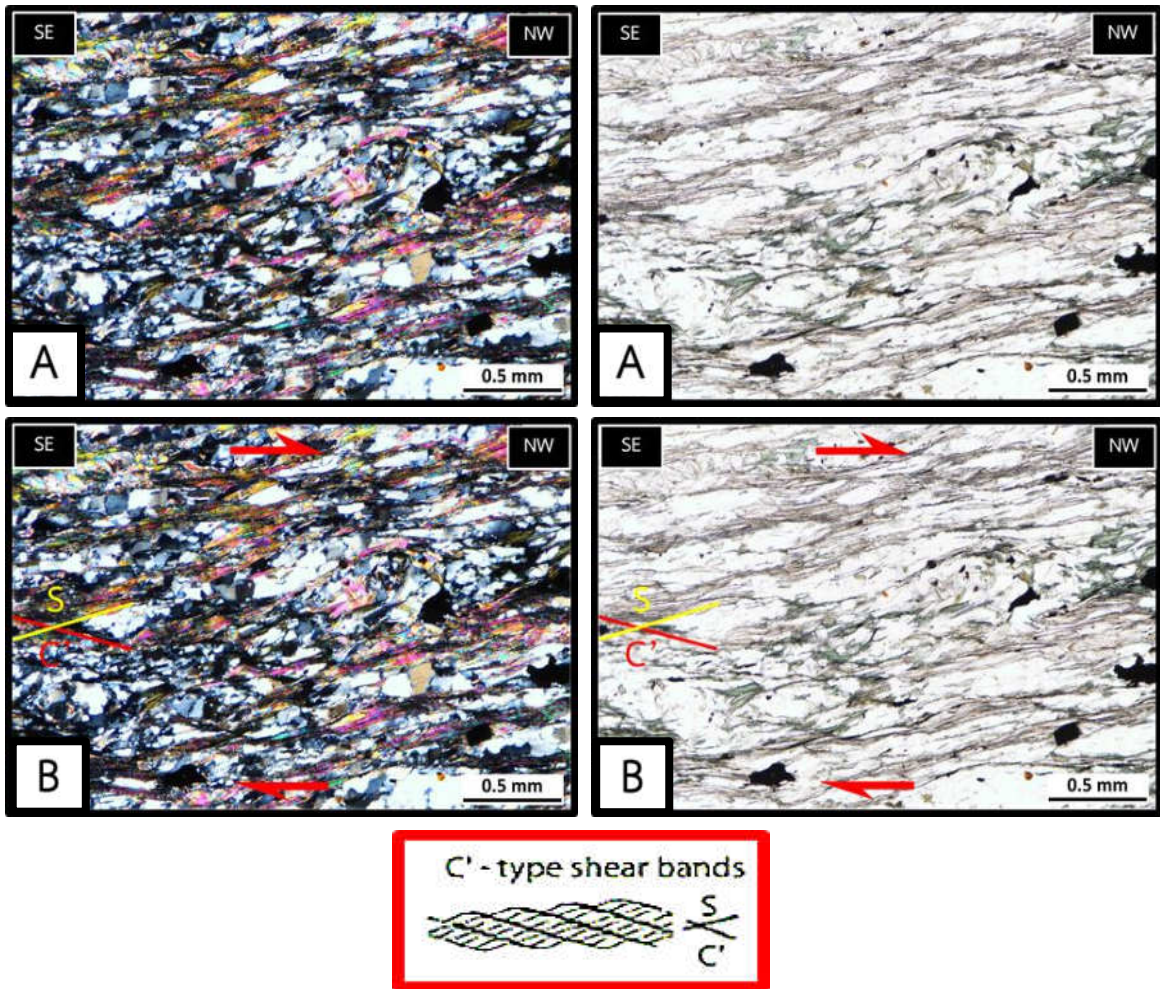
รูปที่ 3.30 ตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนจุลภาคชนิดต่างๆ โดยกรอบสีแดงแสดงถึงชนิดที่เจอในแผ่นหินบางของการศึกษานี้ (Passchier and Trouw, 2005)

3.2.2.2.1 แถบการเฉือนแบบ C และ C'

เป็นส่วนหนึ่งของเส้นโครงสร้าง C/S และ C'/S ที่บ่งบอกทิศทางการเฉือนได้ ซึ่งประกอบด้วย แถบ 2 แถบ ได้แก่ แถบ S และแถบ C หรือ C' โดยแถบการเฉือนแบบ C นั้นแถบ C จะขนานกับแนวริ้วขนาน (รูปที่ 3.31) แต่ในแถบการเฉือนแบบ C' จะทำมุมกับริ้วขนาน (รูปที่ 3.32)



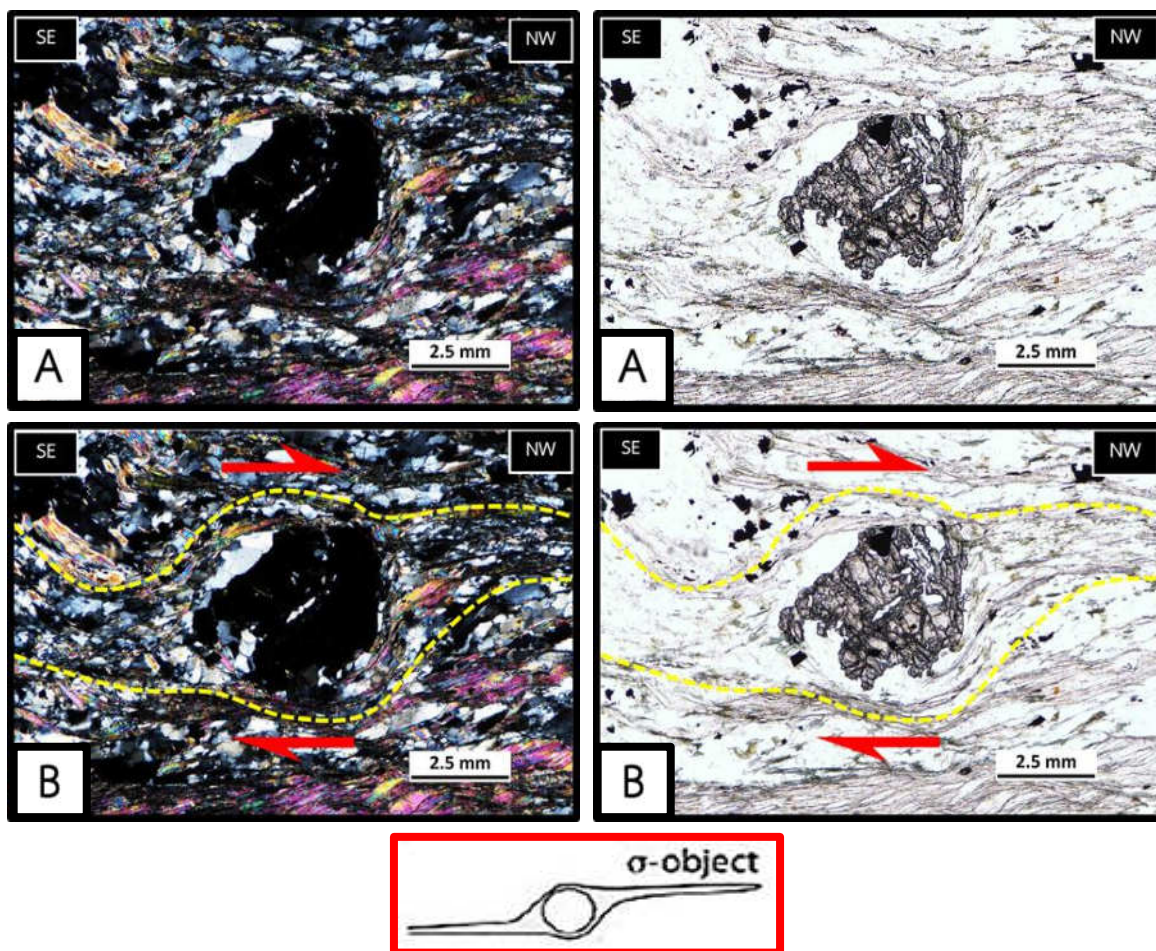
รูปที่ 3.31 A) แถบการเฉือนแบบ C B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนขวา (dextral shear) (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)



รูปที่ 3.32 A) แถบการเฉือนแบบ C' B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนขวา (dextral shear) (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

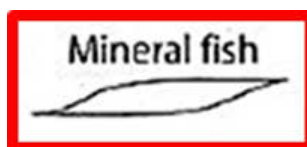
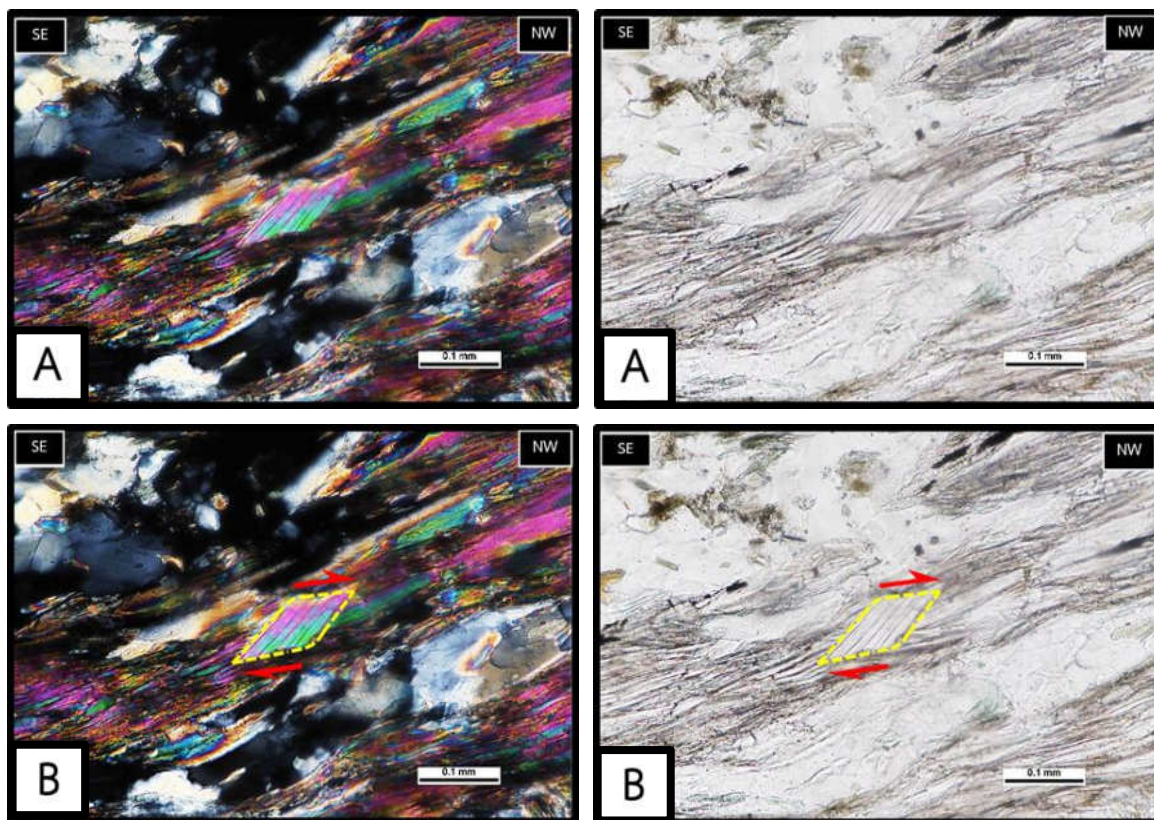
3.2.2.2.2 เม็ดรูปซิกมา แร่รูปลา และเม็ดรูปซิกมอยด์

เม็ดรูปซิกมาจะเป็นลักษณะของเม็ดแร่เดี่ยวขนาดใหญ่ล้อมด้วยเม็ดแร่ขนาดเล็กอื่นๆที่แสดงลักษณะของการถูกยึด ซึ่งสามารถแสดงทิศทางการเฉือนได้ โดยทั่วไปขอบรอบๆ มักจะมีรูปร่างตีบลงบนด้านตรงข้ามของเม็ดแร่ (รูปที่ 3.33)



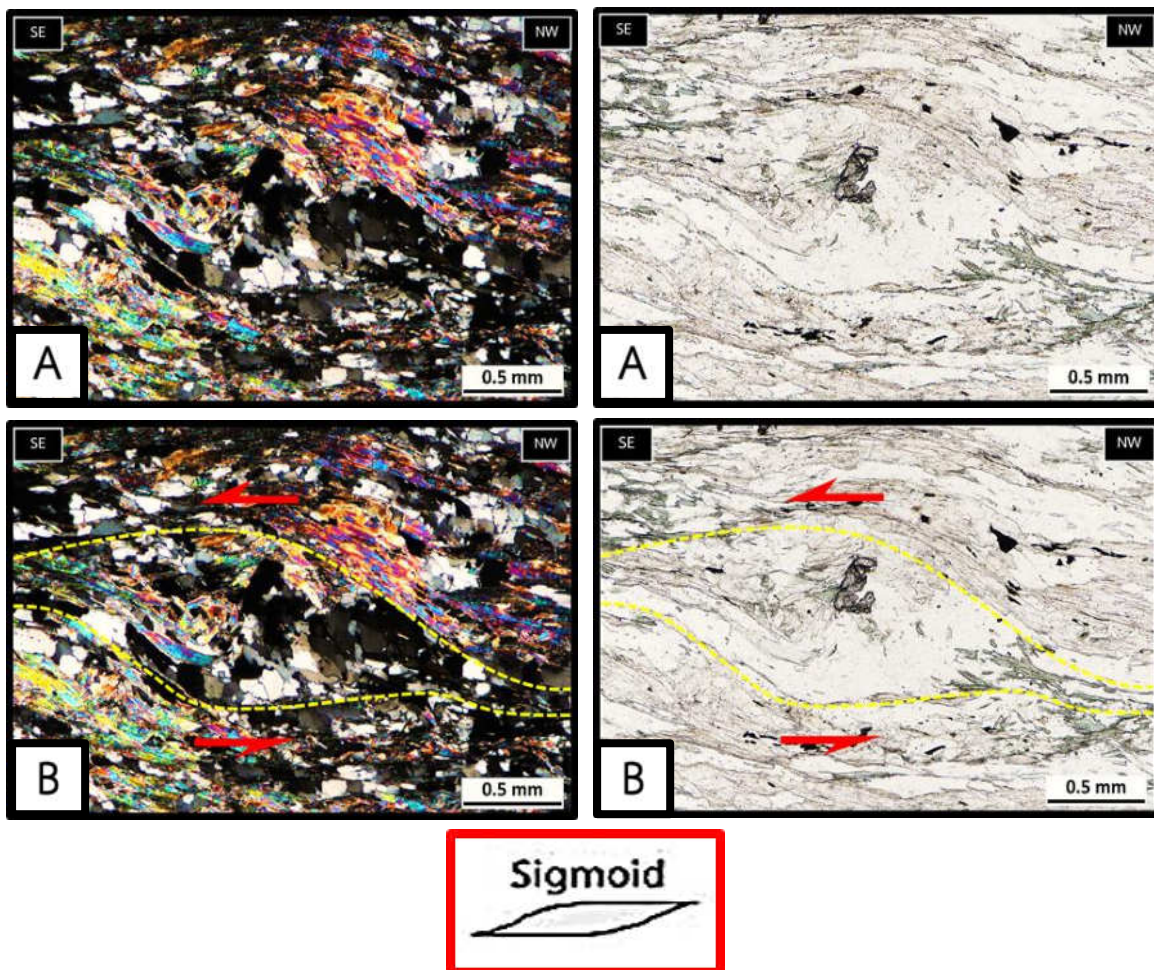
รูปที่ 3.33 A) เม็ดรูปซิกม่า B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนขนาน (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

แร่รูปปลาเป็นผลึกเดี่ยวรูปวงเล็บยาวหรือรูปเลนส์ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นในแร่ไมกาขาวหรือแร่สโคไวต์จึงเรียกว่าแร่ปลาของผลึกไมกาขาวหรือแร่ไมการูปปลา (mica fish) (รูปที่ 3.34)



รูปที่ 3.34 A) แร่ไมการูปปลา B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเหือนเป็นแบบเหือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

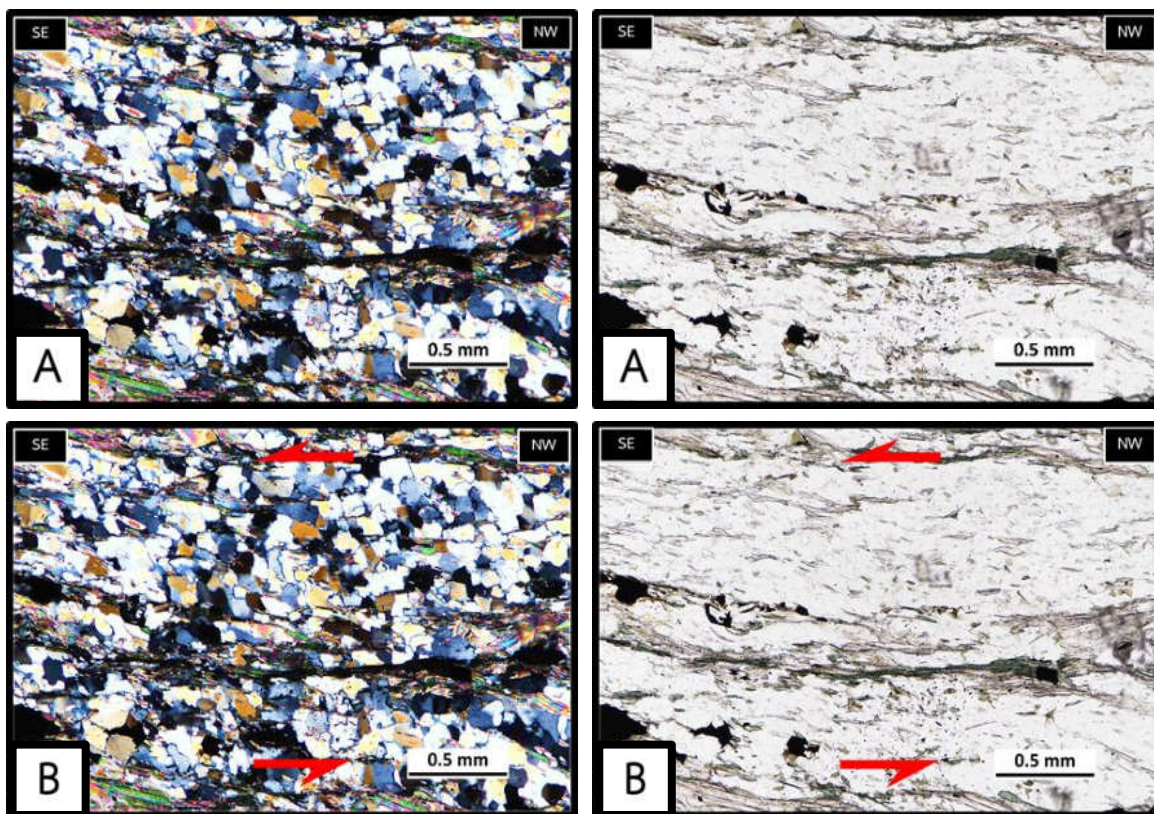
เม็ดรูปซิกมอยด์คือกลุ่มของเม็ดแร่ชนิดหนึ่งในเนื้อหินของแร่อีกชนิดหนึ่งซึ่งไม่มีแก่นเม็ดแร่ที่ชัดเจน และสามารถมีรูปร่างเหมือนกับเม็ดรูปซิกมาหรือแร่รูปปลา (รูปที่ 3.35)



รูปที่ 3.35 A) เม็ดรูปซิกมอยด์ B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนซ้าย (sinistral shear) (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

3.2.2.2.3 ริวขนานเฉียง

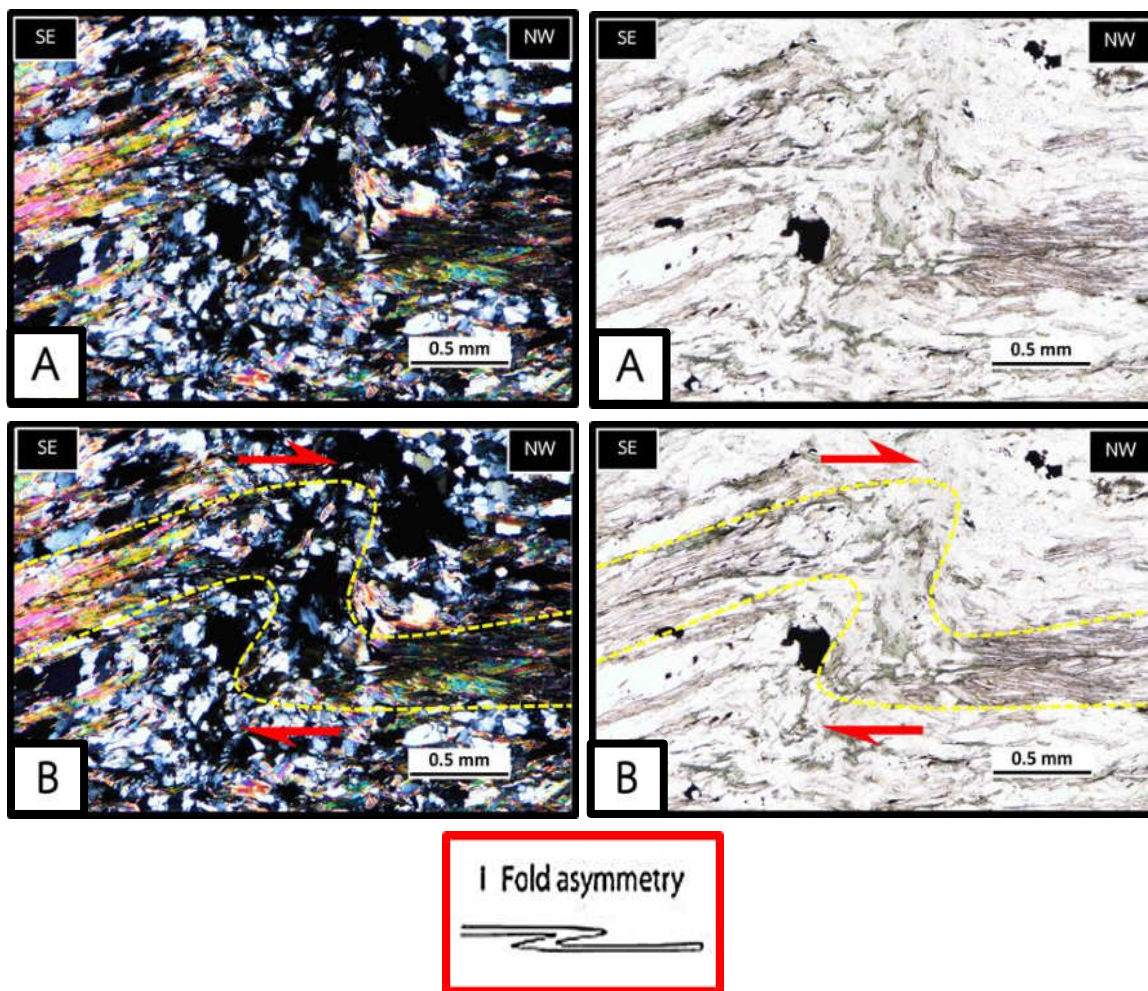
เป็นลักษณะการเรียงตัวของแร่ที่ทำมุมกับริวขนานหลัก (รูปที่ 3.36)



รูปที่ 3.36 A) รั้วขนานเฉียง B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนซ้าย (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

3.2.2.2.4 ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร

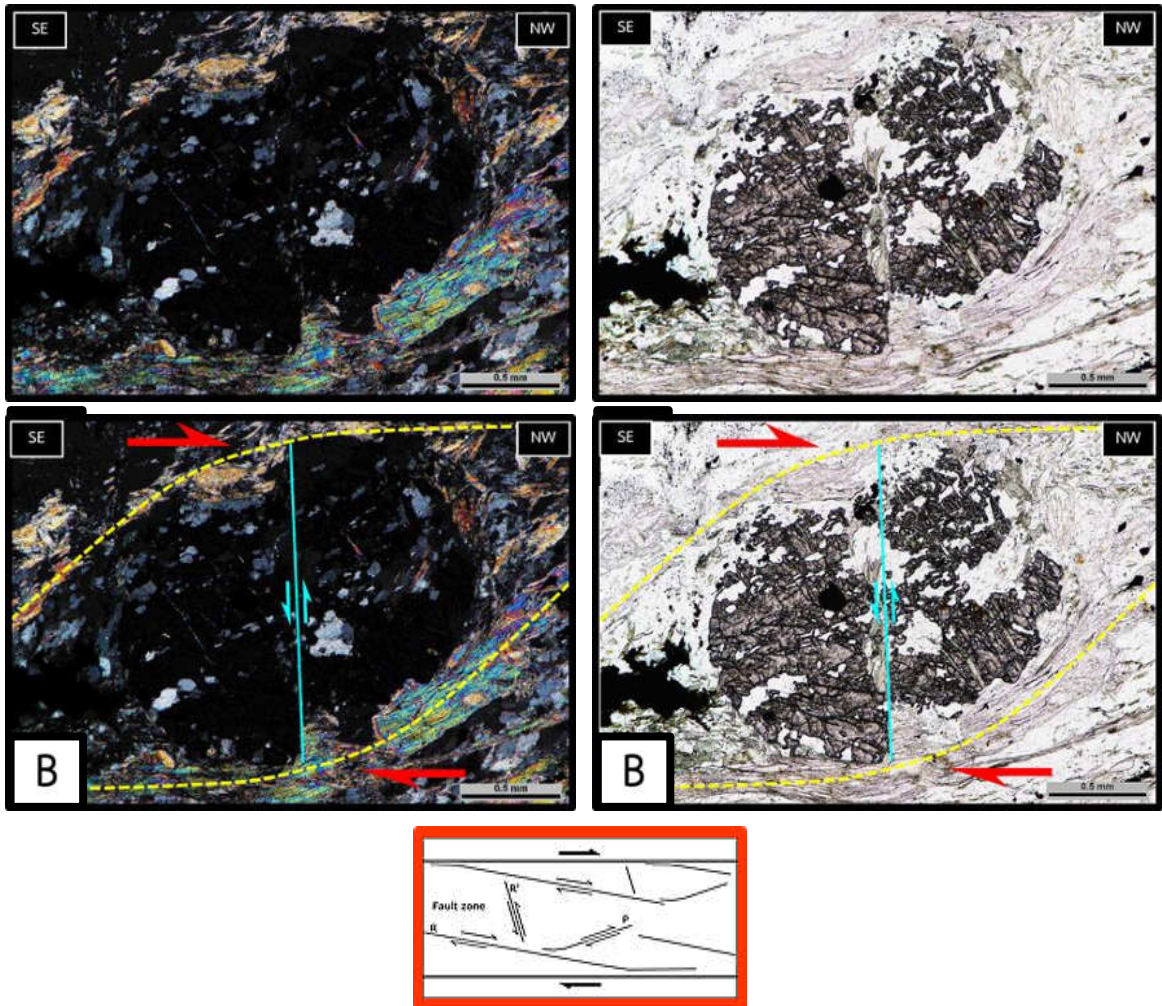
เป็นลักษณะของชั้นคดโค้งที่เกิดจากการเฉือนภายในหิน (รูปที่ 3.37)



รูปที่ 3.37 A) ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนเป็นแบบเฉือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

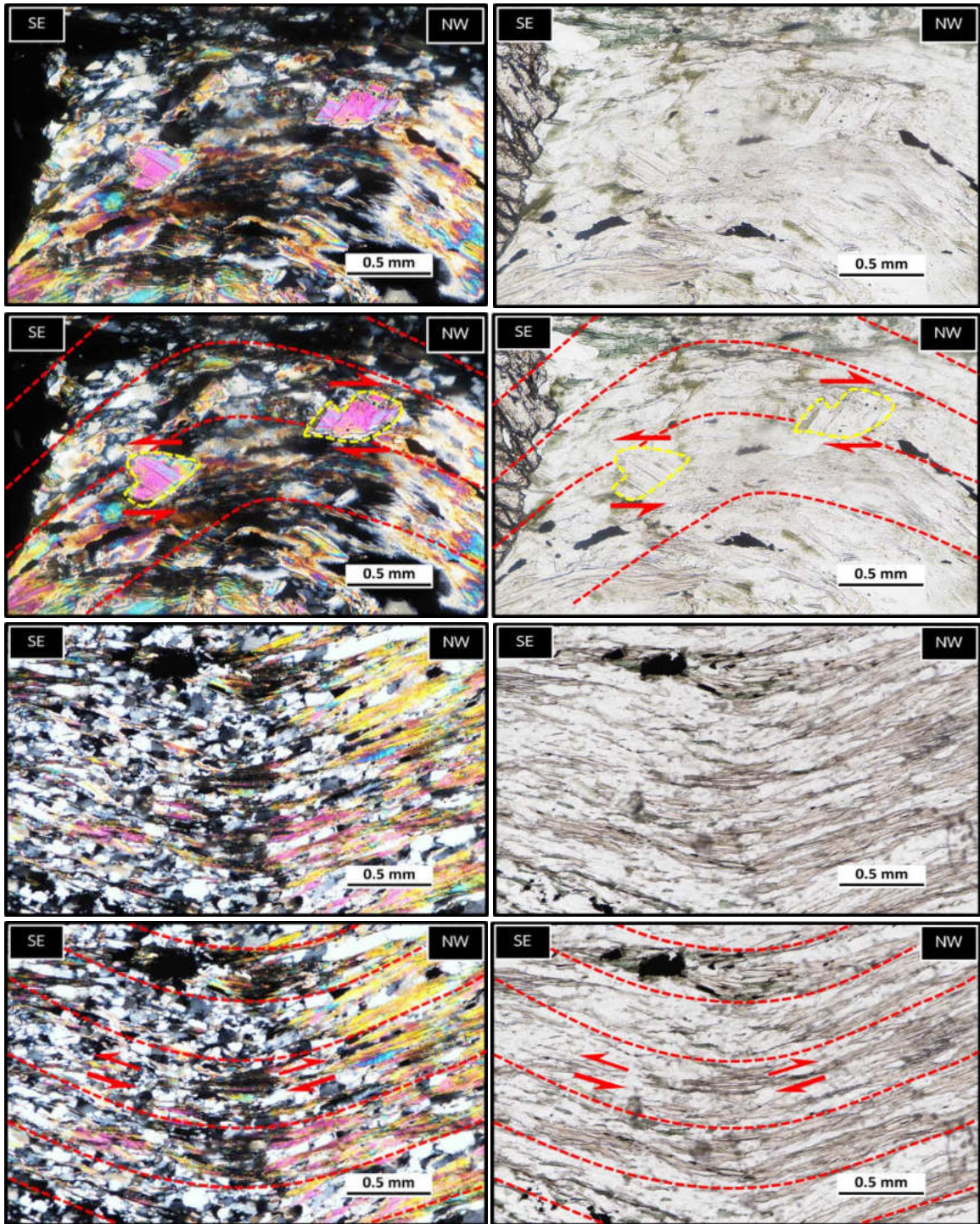
3.2.2.2.5 ระบบการเฉือนรีเดล

เมื่อดำเนินการแตกหักจากการโดนเฉือนภายใน ซึ่งเป็นผลมาจากระบบการเฉือนรีเดล (รูปที่ 3.38)



รูปที่ 3.38 A) ระบบการเฉือนแบบบริเตล B) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางการเฉือนหลักเป็นแบบเฉือนวนขวาของเม็ดแร่พร้อมกับเกิดรอยเลื่อนขึ้นภายในเม็ดอันเนื่องมาจากรอยเลื่อนตามแนวระดับขวาง (anti-Riedel shear, R') ซึ่งมีทิศทางการเฉือนตรงข้ามกับทิศทางการเฉือนหลัก (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

ลักษณะอื่นๆนอกเหนือจากตัวบ่งชี้ทิศทางการเฉือนจุลภาคชนิดต่างๆที่พบแล้ว ยังพบลักษณะของการเฉือนที่เกิดขึ้นในแขนทั้ง 2 ข้างของชั้นคดโค้งภายในแผ่นหินบางที่มีทิศทางการเฉือนตรงกันข้ามซึ่งกันและกัน โดยโดยแขนข้างหนึ่งของชั้นคดโค้งจะเป็นแบบเฉือนวนขวา ในขณะที่แขนอีกข้างหนึ่งเป็นแบบเฉือนวนซ้าย (รูปที่ 3.39)



รูปที่ 3.39 ทิศทางการเฉือนที่แตกต่างกันแขนแต่ละข้างของชั้นคดโค้ง (รูปบนสุดถึงรูปล่างสุด) ลูกครี แสดงทิศทางการเฉือน โดยแขนข้างซ้ายเป็นแบบเฉือนวนซ้าย และแขนข้างขวาเป็นแบบเฉือนวนขวา (รูปด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปด้านขวาเป็นแบบ PPL)

บทที่ 4

อภิปรายผลการศึกษา (Discussion)

จากการศึกษาทั้ง 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยระดับมัธยมศึกษาที่ได้ศึกษาจากการออกภาคสนาม และระดับจุลภาคที่ได้จากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์จึงทำให้ได้ผลการศึกษาของทั้ง 2 ระดับออกมา ต่อจากนั้นจะทำการรวบรวมเอาผลที่ได้ทั้งหมดนี้มาทำการวิเคราะห์ร่วมกันแล้วอภิปรายผลการศึกษาทั้งหมดออกมาได้เป็น 3 เรื่อง ได้แก่ ศิลาบรรณ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างรวมถึงความสัมพันธ์และกลไกการเกิด และวิวัฒนาการการเกิดของเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา

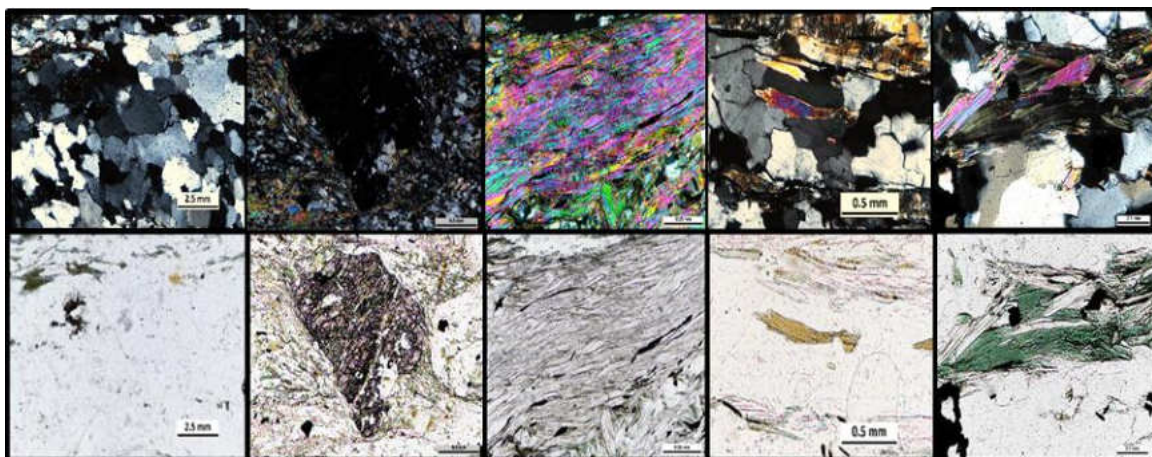
4.1 ธรณีวิทยา

จากการออกภาคสนามหรือการศึกษาระดับมัธยมศึกษาเพื่อออกไปสำรวจและเก็บข้อมูลหินโผล่ในแต่ละจุดศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่าทุกจุดศึกษาตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 ไปจนถึงจุดศึกษาที่ 4 นั้นจะมีลักษณะของหินที่คล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกันมาก โดยหินจะมีสีสดเป็นสีเทาไปจนถึงสีเทาเขียวและมีสีฝุ่นเป็นสีน้ำตาลเหลือง ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นแร่คาร์เนตและแรมส์โคไวต์ได้อย่างเด่นชัดด้วยตาเปล่า โดยผลึกแร่คาร์เนตจะมีขนาดใหญ่กว่าผลึกแร่ที่เป็นเนื้อพื้นหรือเรียกว่าผลึกดอกแปร และแรมส์โคไวต์จะแสดงลักษณะการเรียงตัวกันเป็นริ้วขนานได้ค่อนข้างชัดเจนแต่ยังไม่ได้แยกออกจากกันเป็นชั้นอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงจัดให้ระนาบการเรียงตัวเป็นระนาบการเรียงตัวแบบหินชีสต์ จากหลักฐานที่ได้จากการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาพบทำให้ทราบว่าหินในบริเวณพื้นที่ศึกษาคือหินชีสต์ ซึ่งเป็นหินแปรที่ประกอบด้วยแรมส์โคไวต์ ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มแร่ไมกาในปริมาณมากจึงเรียกชื่อว่าหินในพื้นที่ศึกษานี้ว่าหินไมกาชีสต์

การศึกษาเพิ่มเติมภายใต้กล้องจุลทรรศน์หรือการศึกษาระดับจุลภาคจะพบว่าแร่องค์ประกอบหลักประกอบไปด้วย แร่คาร์เนต แร่ควอตซ์ แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ เนื่องจากพบกลุ่มแร่ไมกา ได้แก่ แรมส์โคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ ในปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับแร่องค์ประกอบอื่นๆในหิน จากหลักฐานที่ได้จากการศึกษาระดับจุลภาคนี้ทำให้สามารถนำมาช่วยสนับสนุนในเรื่องของชนิดหินของพื้นที่ศึกษาว่าเป็นหินไมกาชีสต์ และสอดคล้องกับการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาอีกด้วย

นอกจากนี้การศึกษาระดับจุลภาคยังจะนำไปสู่การหาชุดลักษณะของหินไมกาชีสต์จากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยดูจากหลักฐานทางด้านแร่ดัชนีและแร่องค์ประกอบที่พบร่วมกับหลักฐานทางด้านกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ เมื่อทราบชุดลักษณะของหินไมกาชีสต์ในพื้นที่ศึกษาแล้วจะสามารถประมาณความดันและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมการแปรสภาพของหินในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้อีกด้วย

แร่องค์ประกอบหลักของหินไมกาชีสต์ในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4.1) ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ แร่การ์เนิต แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ หินชีสต์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ถูกเชื่อกันว่าน่าจะแปรสภาพมาจากหินจำพวกเพลไลต์ ซึ่งเป็นหินตะกอนที่มีเนื้อละเอียดมาก (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545) และหินต้นกำเนิดของหินชีสต์พนมสารคามเป็นหินตะกอน (Buravs, 1948) จึงจัดให้หินต้นกำเนิดของหินไมกาชีสต์ในพื้นที่ศึกษาเป็นหินตะกอนเนื้อละเอียดหรือหินจำพวกเพลไลต์ และเมื่อนำแร่องค์ประกอบที่ได้จากการศึกษาระดับจุลภาคมาเปรียบเทียบกับตารางกลุ่มแร่ในสภาพแวดล้อมการแปรสภาพระดับต่างๆ โดยอ้างอิงตามกลุ่มองค์ประกอบเคมีของหินแปรจะได้ว่าชุดลักษณะของหินในพื้นที่ศึกษานั้นอยู่ในชุดลักษณะกรีนชีสต์หรือชุดลักษณะแอมฟิไบไลต์ เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่กล่าวไปข้างต้นดูแล้วจะพบว่าแร่ควอตซ์ แร่การ์เนิต แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ทั้งหมดนั้นอยู่ทั้งในชุดลักษณะกรีนชีสต์และชุดลักษณะแอมฟิไบไลต์ (รูปที่ 4.2)



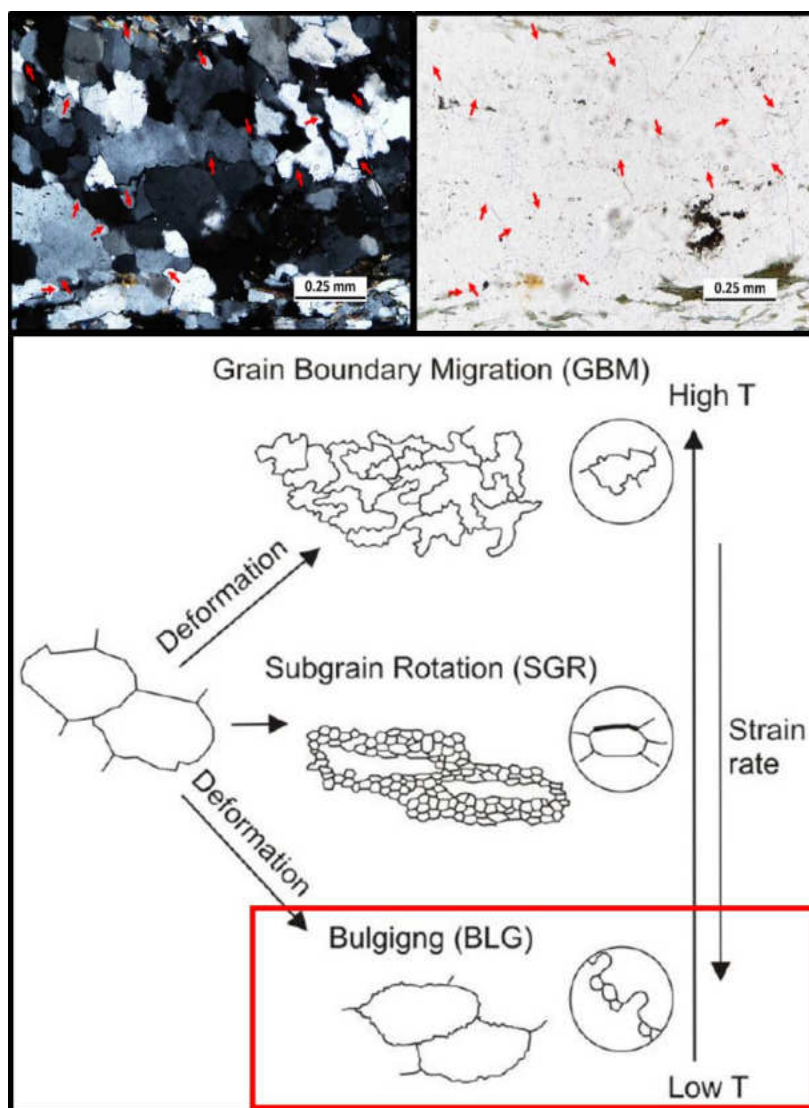
รูปที่ 4.1 แร่องค์ประกอบหลักทั้งหมดในหินไมกาชีสต์จากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา (รูปด้านบนเป็นแบบ XPL และรูปด้านล่างเป็นแบบ PPL)

[Al, aluminum; Ca, calcium; Mg, magnesium]				
Facies	Mafic rocks	Ultramafic rocks	Pelitic rocks	Calcareous rocks
Zeolite	Analcime, Ca-zeolites, zoisite, albite	Serpentine, brucite, chlorite, dolomite, magnesite	Quartz, clays, illite, albite, chlorite	Calcite, dolomite, quartz, talc, clays
Prehnite-pumpellyite	Chlorite, prehnite, albite, pumpellyite, epidote	Serpentine, talc, forsterite, tremolite, chlorite	Quartz, illite, muscovite, albite, chlorite, stilpnomelane	Calcite, dolomite, quartz, clays, talc, muscovite
Greenschist	Chlorite, actinolite, epidote or zoisite, albite	Serpentine, talc, tremolite, brucite, diopside, chlorite,	Quartz, plagioclase, chlorite, muscovite, biotite, gar-	Calcite, dolomite, quartz, muscovite, biotite
Greenschist	Chlorite, actinolite, epidote or zoisite, albite	Serpentine, talc, tremolite, brucite, diopside, chlorite, magnetite	Quartz, plagioclase, chlorite, muscovite, biotite, garnet, pyrophyllite, graphite	Calcite, dolomite, quartz, muscovite, biotite
Epidote-amphibolite	Hornblende, actinolite, epidote or zoisite, plagioclase, sphene	Forsterite, tremolite, talc, serpentine, chlorite, magnetite	Quartz, plagioclase, chlorite, muscovite, biotite, graphite	Calcite, dolomite, quartz, muscovite, biotite, tremolite
Amphibolite	Hornblende, plagioclase, sphene, ilmenite	Forsterite, tremolite, talc, anthophyllite, chlorite, orthopyroxene, magnetite	Quartz, plagioclase, chlorite, muscovite, biotite, garnet, staurolite, kyanite, sillimanite, andalusite, graphite, ilmenite	Calcite, dolomite, quartz, biotite, tremolite, forsterite, diopside, plagioclase
	orthopyroxene, plagioclase, ilmenite	augite, hornblende, garnet, Al-spinel	orthoclase, biotite, garnet, cordierite, sillimanite, orthopyroxene	diopside, wollastonite, humite-chondrodite, Calc-garnet, plagioclase
Blueschist	Glaucophane, lawsonite, albite, aragonite, chlorite, zoisite	Forsterite, serpentine, diopside	Quartz, plagioclase, muscovite, carpholite, talc, kyanite, chloritoid	Calcite, aragonite, quartz, forsterite, diopside, tremolite
Eclogite	Mg-rich garnet, omphacite, kyanite, rutile	Forsterite, orthopyroxene, augite, garnet	Quartz, albite, phengite, talc, kyanite, garnet	Calcite, aragonite, quartz, forsterite, diopside
Albite-epidote	Albite, quartz, tremolite, actinolite, chlorite	Serpentine, talc, epidote or zoisite, chlorite	Quartz, plagioclase, tremolite, cordierite	Calcite, dolomite, epidote, muscovite, chlorite, talc, forsterite
Hornblende hornfels	Hornblende, plagioclase, orthopyroxene, garnet	Forsterite, orthopyroxene, hornblende, chlorite, Al spinel, magnetite	Quartz, plagioclase, muscovite, biotite, cordierite, andalusite	Calcite, dolomite, quartz, tremolite, diopside, forsterite
Pyroxene hornfels	Orthopyroxene, augite, plagioclase, garnet	Forsterite, orthopyroxene, augite, plagioclase, Al-spinel	Quartz, plagioclase, orthoclase, andalusite, sillimanite, cordierite, orthopyroxene	Calcite, quartz, diopside, forsterite, wollastonite
Sanidinite	Orthopyroxene, augite, plagioclase, garnet	Forsterite, orthopyroxene, augite, plagioclase	Quartz, plagioclase, sillimanite, cordierite, orthopyroxene, sapphirine, Al-spinel	Calcite, quartz, diopside, forsterite, wollastonite, monticellite, akermanite

รูปที่ 4.2 ตารางกลุ่มแร่ในสภาพแวดล้อมการแปรสภาพระดับต่างๆ โดยอ้างอิงตามกลุ่มองค์ประกอบเคมี โดยกรอบสีแดงแสดงถึงชุดลักษณะที่มีความเป็นไปได้ของหินเมกมาซิสต์ในพื้นที่ศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับจากแร่องค์ประกอบ ซึ่งก็คือชุดลักษณะกรีนชีสต์ (สีเขียว) หรือชุดลักษณะแอมไฟโบลิต (สีแดง) (Blatt et al., 2006)

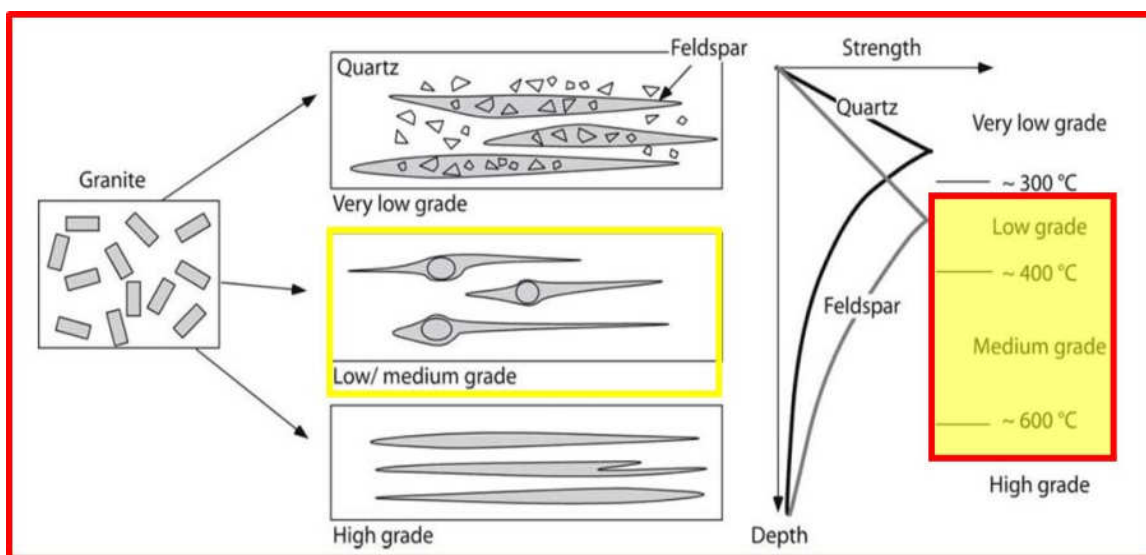
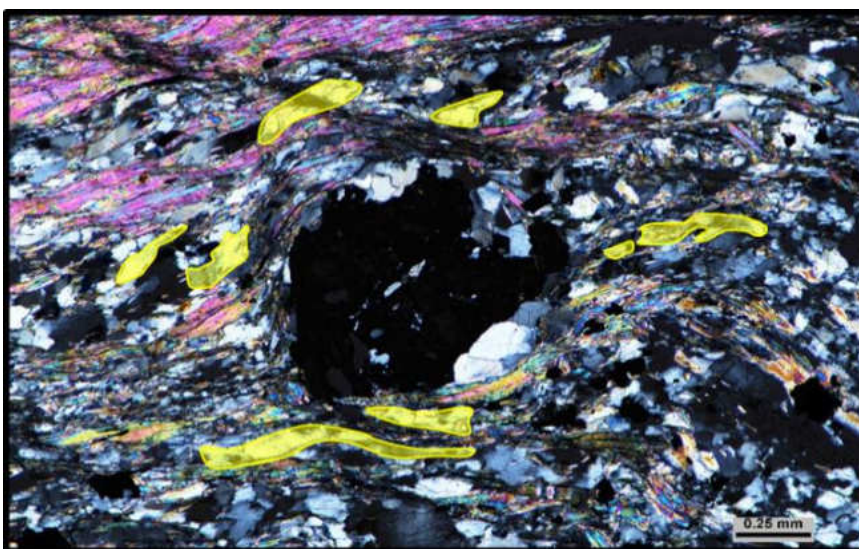
หลังจากได้ทำการประมาณชุดลักษณะของหินไมกาซีสต์ในพื้นที่ศึกษาจากหลักฐานทางด้านแร่ ดัชนีและแร่องค์ประกอบทำให้ทราบว่าหินไมกาซีสต์อยู่ในชุดลักษณะกรีนซีสต์หรือชุดลักษณะแอมไฟโบลิต์ ซึ่งยังไม่สามารถแยกได้อย่างชัดเจนจึงต้องอาศัยหลักฐานทางด้านกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และพิจารณาชุดลักษณะให้ถูกต้องมากขึ้น

การโป่งนูนเป็นหลักฐานทางด้านกลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ซึ่งการโป่งนูนที่พบจะสามารถบ่งชี้ได้ว่าสภาพแวดล้อมการแปรสภาพควรมีอุณหภูมิต่ำ (รูปที่ 4.3)



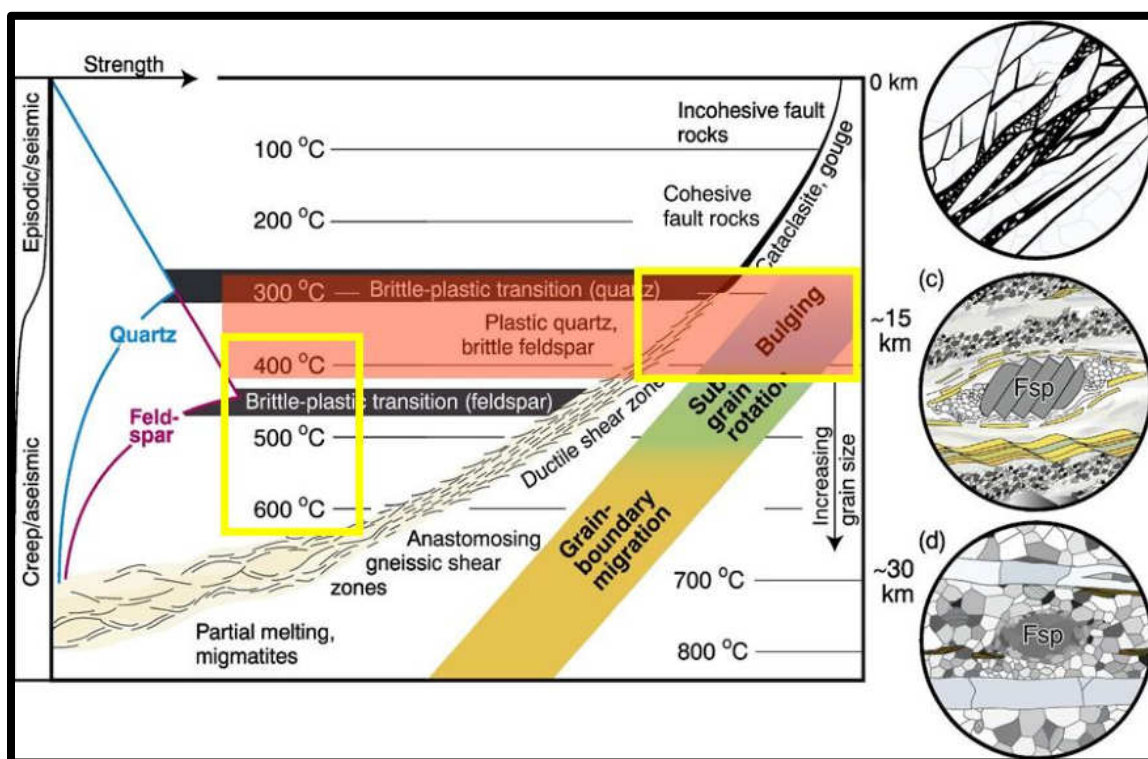
รูปที่ 4.3 การโป่งนูนของแร่ควอตซ์ (รูปบนด้านซ้ายเป็นแบบ XPL และรูปบนด้านขวาเป็นแบบ PPL) ซึ่งมักเกิดขึ้นในอุณหภูมิต่ำ (รูปด้านล่าง)

ภายใต้แผ่นหินบางจะพบว่าแร่ควอตซ์ได้เริ่มมีการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่ม (รูปที่ 4.4) ซึ่งสามารถนำมาประมาณหาอุณหภูมิคร่าวๆได้จากแผนภาพแสดงความแข็งแรงต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะและการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่มของแร่ควอตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนลักษณะของแร่ควอตซ์นั้นอยู่ในขั้นต่ำไปจนถึงขั้นปานกลาง โดยมีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส

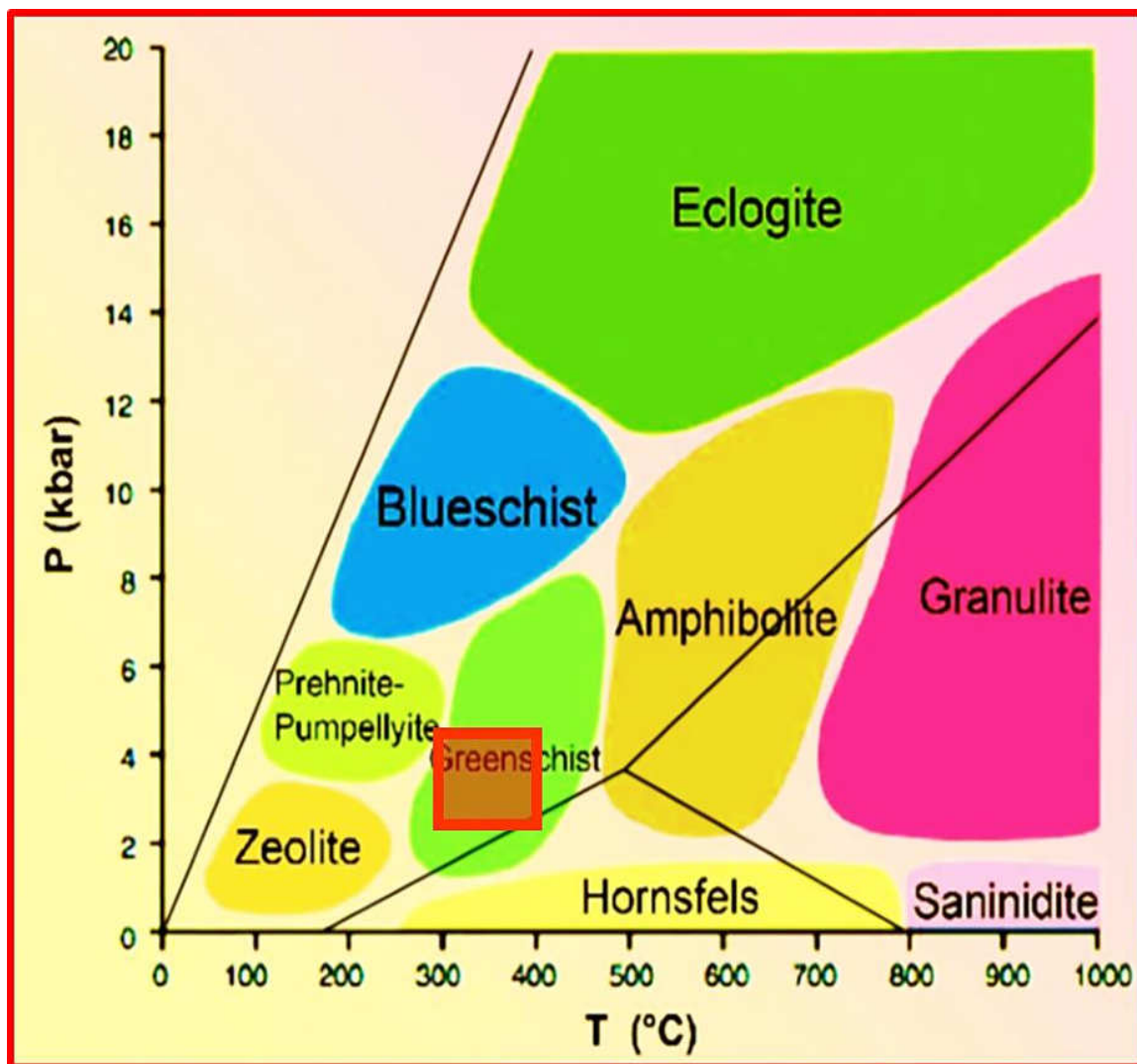


รูปที่ 4.4 ควอตซ์ที่มีการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่ม (รูปด้านบน) และแผนภาพแสดงความแข็งแรงต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะและการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนิ่มของแร่ควอตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ โดยกรอบสีเหลืองแสดงถึงขั้นการเปลี่ยนลักษณะและกรอบสีแดงแสดงถึงช่วงอุณหภูมิ (Passchier and Trouw, 2005)

จากหลักฐานทางด้านแร่ดัชนีและร่องรอยประกอบและหลักฐานทางด้านกลไกการเปลี่ยนลักษณะที่พบภายในแผ่นหินบาง เช่น การโป่งนูนและการแสดงการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนืดของควอตซ์ เมื่อนำหลักฐานทั้งหมดนี้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ร่วมกันจะได้ว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมการแปรสภาพของหินไม่กาซีสต์ในพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.5) จากงานวิจัยของ Dheeradilok และ Lumjuan ในปี 1983 ได้กล่าวว่าหินแปรในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 ชุดลักษณะ ได้แก่ ชุดลักษณะแอมฟิโบลิต์และชุดลักษณะกรีนชีสต์ ซึ่งทั้งคู่จะเกิดที่สภาพแวดล้อมการแปรสภาพแบบความดันและอุณหภูมิต่ำ เมื่อนำช่วงอุณหภูมิที่ได้จากหลักฐานต่างๆ และทราบว่าสภาพการแปรสภาพควรจะมี ความดันต่ำไปทำการพล็อตลงไปในแผนภาพแสดงสภาพแวดล้อมการแปรสภาพ (รูปที่ 4.6) จะได้ผลออกมาว่าหินไม่กาซีสต์จากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา อยู่ในชุดลักษณะกรีนชีสต์



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของการเปลี่ยนลักษณะของควอตซ์และเฟลด์สปาร์ โดยกรอบสีเหลืองคือหลักฐานการเปลี่ยนลักษณะของควอตซ์ ได้แก่ การโป่งนูนและการแสดงการเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนืด และสีแดงคือช่วงอุณหภูมิที่เป็นไปได้มากที่สุดของสภาพแวดล้อมการแปรสภาพ (Fossen et al., 2017)



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงสภาพแวดล้อมของการแปรสภาพในแต่ละช่วงอุณหภูมิและความดันที่เริ่มจากเขตอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำไปจนถึงเขตอุณหภูมิสูงและความดันสูง กรอบสีแดงคือชุดลักษณะของหินไมกาชีสต์จากเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นชุดลักษณะกรีนชีสต์ (Arndt, 2013)

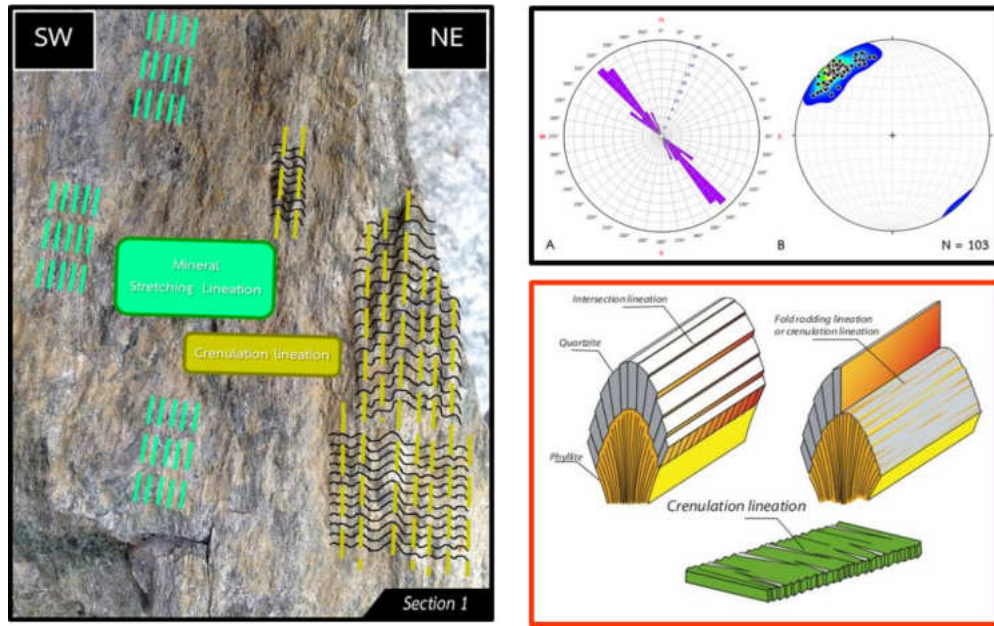
4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

จากการศึกษาในเรื่องของธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งในระดับมหัพภาคและจุลภาคทำให้พบว่าจากภาคสนามพบลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบนั้นประกอบด้วย ริวขนาน (แนวเรียงตัวแบบหินชีสต์) โครงสร้างแนวเส้น แนวแตกทั้งหมด 3 แนว สายแร่ควอตซ์ ส่วนการศึกษาในแผ่นหินบางจะพบว่ามี การเฉือนเกิดขึ้นภายในหิน ซึ่งจะพบตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนจุลภาคหลายชนิด และพบว่ามี การเฉือนทั้งแบบวนซ้ายและแบบวนขวา ในหัวข้อนี้จะบอกถึงลักษณะธรณีวิทยารวมถึงความสัมพันธ์และกลไกการเกิดต่างๆของธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในพื้นที่ศึกษา

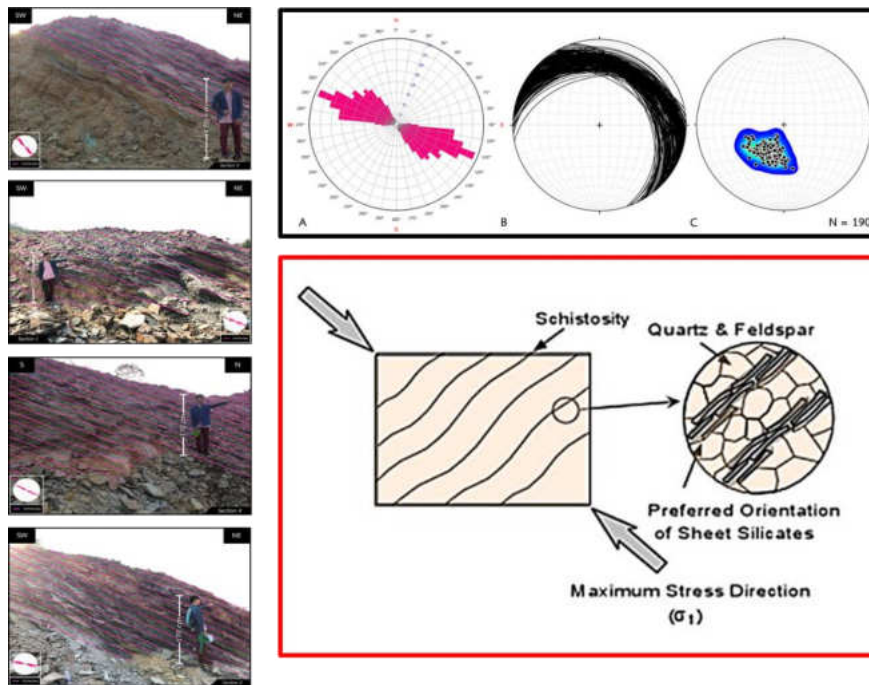
โครงสร้างแนวเส้นที่พบในภาคสนามประกอบไปด้วย 2 ประเภท ได้แก่ โครงสร้างแนวเส้นชนิดเส้นแร่ยึดที่เกิดจากการยึดตัวของแร่ภายในหินและโครงสร้างแนวเส้นชนิดหยักที่เกิดจากชั้นหินคดโค้งขนาด ซึ่งโครงสร้างแนวเส้นสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาหาทิศทางแนวแรงหลักหรือทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุด (Maximum stress, σ_1) ได้ โดยปกติแล้วโครงสร้างแนวเส้นนั้นมักจะขนานไปกับแกนชั้นหินโค้ง (fold axis) ทำให้เราสามารถสันนิษฐานได้ว่าแกนชั้นหินโค้งของพื้นที่ศึกษาอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เนื่องจากค่าเฉลี่ยของโครงสร้างแนวเส้นมีค่าเท่ากับ $320^{\circ}/12^{\circ}\text{NW}$ และแกนชั้นหินคดโค้งจะตั้งฉากกับทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดทำให้ทราบว่าทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับริวขนานที่พบในพื้นที่ศึกษาที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $299^{\circ}/32^{\circ}\text{NNE}$ ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างตรง และริวขนานจะตั้งฉากกับตั้งฉากกับทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุด (รูปที่ 4.8) เช่นเดียวกันกับแกนชั้นหินโค้งหรือโครงสร้างแนวเส้น นอกจากนี้ยังพบลักษณะของแถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วม ซึ่งทั้งคู่แสดงถึงการมีการเฉือนเกิดขึ้นภายในหินในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากจุดศึกษาที่ 1 ที่พบลักษณะของแถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วมชนิด s ทำให้ตีความได้ว่าหินโผล่เป็นแขนข้างหนึ่งของชั้นหินคดโค้งและมีทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 4.9) เช่นเดียวกันกับหลักฐานที่ได้จากโครงสร้างแนวเส้นและริวขนาน ชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วมชนิด z พบในบริเวณจุดศึกษาที่ 4 ทำให้ทราบได้ว่ารอยเลื่อนย้อนมุมต่ำจะมีความเค้นหลักค่าที่สุดในแนวประมาณทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียง จากหลักฐานทั้งหมดที่กล่าวไปในข้างต้นจะทำให้สรุปได้ว่าทิศทางของความเค้นหลักค่ามากที่สุดของบริเวณเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทราอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียง

การศึกษาจากแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพิ่มเติมพบว่าจากหลักฐานตัวบ่งบอกทิศทางการเฉือนบ่งชี้ว่าเกิดการเฉือนอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้และพบทั้งแบบเฉือนแบบวนซ้ายและเฉือนแบบวนขวา ซึ่งเมื่อนำหลักฐานนี้มาพิจารณาร่วมกับแถบโค้งมุมแหลมในระดับมหัศจรรย์ภาคก็จะทำให้ตีความในเรื่องของการเกิดขึ้นหินคดโค้งได้ โดยจากการพบการเฉือนภายในหินโผล่และพบทั้งแบบวนซ้ายและแบบวนขวาจะเป็นการสนับสนุนการเกิดขึ้นหินคดโค้งแบบเลื่อนไถล (flexural-slip fold) (รูปที่ 4.10) โดยทิศการเฉือนหลักของชั้นหินคดโค้งน่าจะอยู่ในแนวเดียวกันกับทิศความเค้นหลักค่ามากสุดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือจากหลักฐานแถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วม ส่วนการเฉือนในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้จากการศึกษาระดับจุลภาคนั้นน่าจะเกิดจากกลไกในระดับท้องถิ่นของพื้นที่ทำให้เกิดการเฉือนในทิศทางดังกล่าว

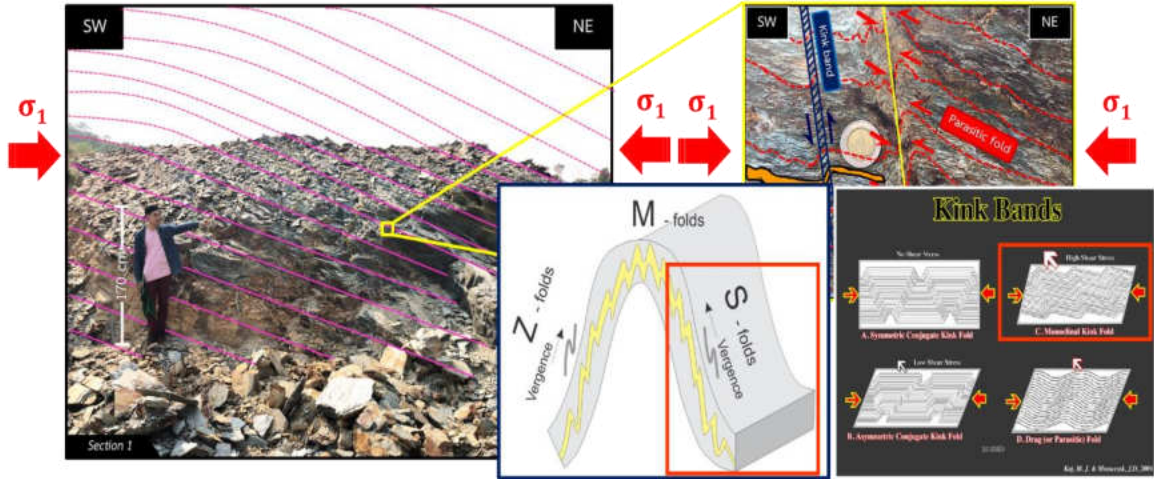
แนวแตกทั้ง 3 แนวที่พบจะมาแนวการวางตัวโดยเฉลี่ยอยู่ 3 แนว ได้แก่ แนวแตกแนวที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $359^{\circ}/79^{\circ}\text{E}$ อยู่ในแนวทิศเหนือ-ใต้ แนวแตกแนวที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $151^{\circ}/73^{\circ}\text{WSW}$ อยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือค่อนไปทางเหนือ และแนวแตกที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $078^{\circ}/80^{\circ}\text{SSE}$ อยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่อนไปทางตะวันออก-ตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางตะวันตก โดยแนวแตกแนวที่ 2 มีทิศขนานหรือเกือบขนานไปกับแกนชั้นหินโค้งทำให้จัดแนวแตกแนวที่ 2 อยู่ในวิธีการแตกรูปแบบที่ 1 เป็นการแตกแบบเปิดหรือดึงออก และมีชื่อเรียกว่าแนวแตกตามแนวยาว (longitudinal joint) หรือแนวแตกตามแนวระดับ (strike joint) ส่วนแนวแตกแนวที่ 1 และ 3 จะมีแนวการวางตัวที่ทำมุมและไม่ตั้งฉากกับแกนชั้นหินโค้ง และมุมระหว่างแนวแตก (dihedral angle) แนวที่ 1 และ 3 ก็มีค่าไม่เท่ากับ 90° องศาจึงจัดให้แนวแตกแนวที่ 1 และ 3 เป็นแนวแตกที่อยู่ในวิธีการแตกแบบที่ 2 เป็นการแตกแบบเลื่อนหรือเฉือน และมีชื่อเรียกว่าแนวแตกแบบเฉือน (shear joint) ซึ่งจะเป็นแนวแตกร่วมที่เกิดขึ้นมาพร้อมกัน โดยแนวแตกทั้ง 3 แนวสามารถพบได้ทั่วไปในการเกิดขึ้นหินคดโค้ง (รูปที่ 4.11)



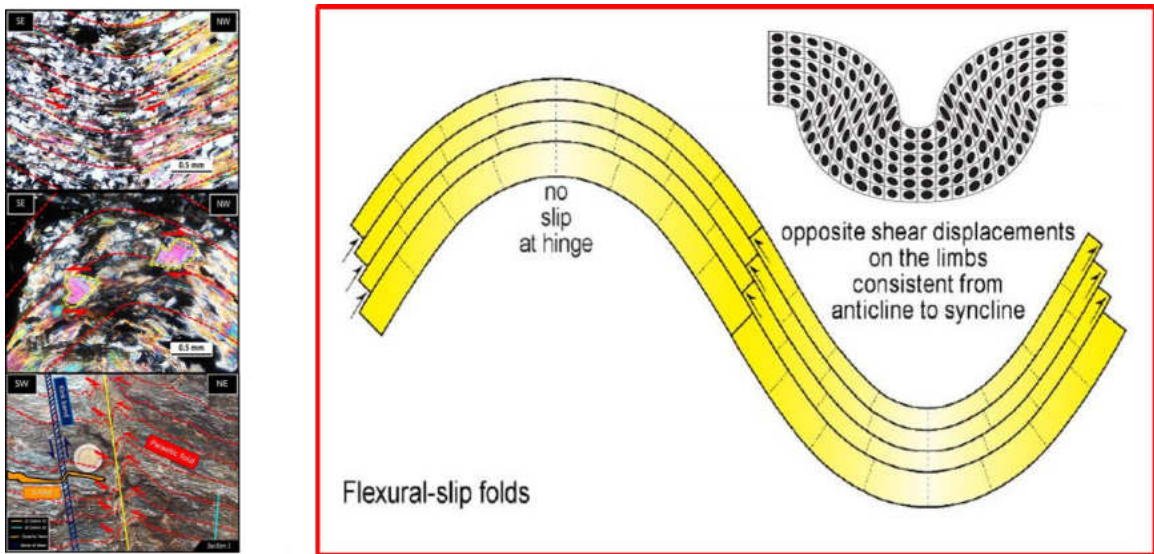
รูปที่ 4.7 โครงสร้างแนวเส้นขนานไปกับแกนชั้นคดโค้งที่วางตัวไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ที่ใช้วิเคราะห์ทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุดได้



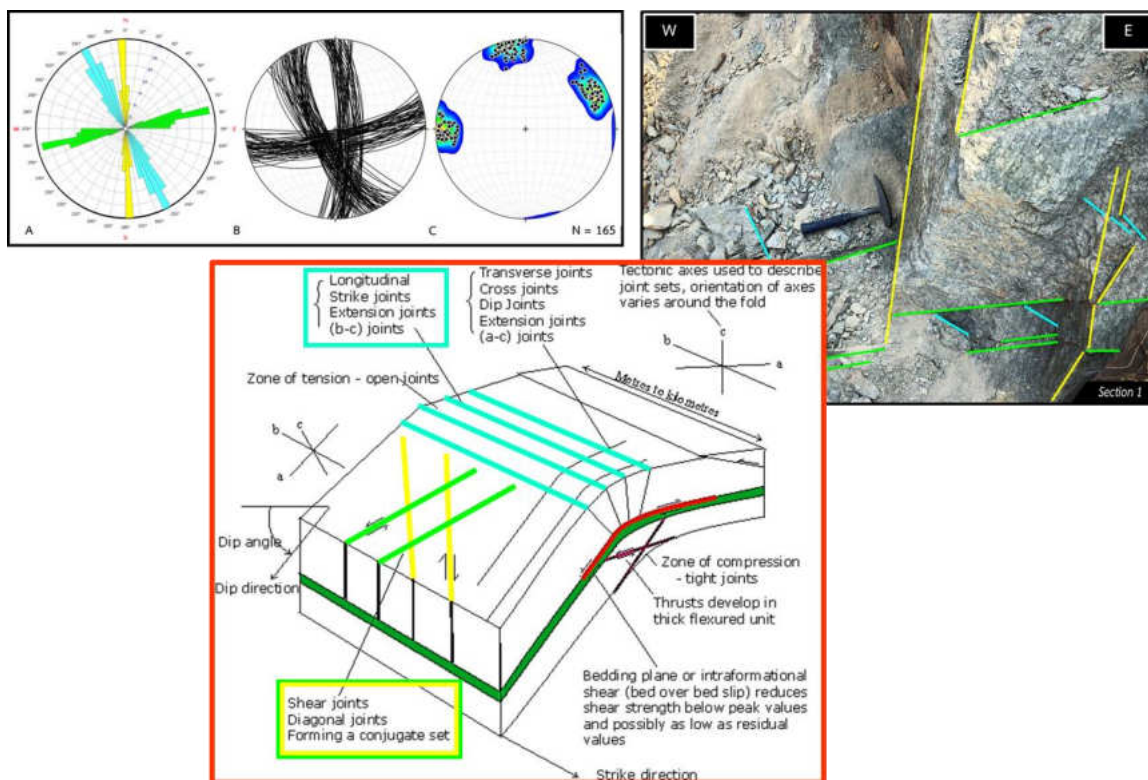
รูปที่ 4.8 ระบายเรียงตัวแบบหินชีสต์ที่วางตัวไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ที่ตั้งฉากกับทิศทางความเค้นหลักค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.9 แถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วมที่เกิดจากการเอนบ่งบอกว่าหินโผล่เป็นแกนข้างหนึ่งของชั้นหินคดโค้งและยังบอกทิศทางความเค้นค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.10 รูปแบบการเอนในแกนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งต่างกันสนับสนุนการเกิดชั้นหินคดโค้งแบบเลื่อนไถล



รูปที่ 4.11 แนวแตกทั้ง 3 แนวที่เกิดขึ้นพร้อมกับชั้นหินคดโค้ง โดยแยกตามประเภทของวิธีการแตก รวมถึงการวางตัวเมื่อเทียบกับแนวการวางตัวของแกนชั้นคดโค้ง

4.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง

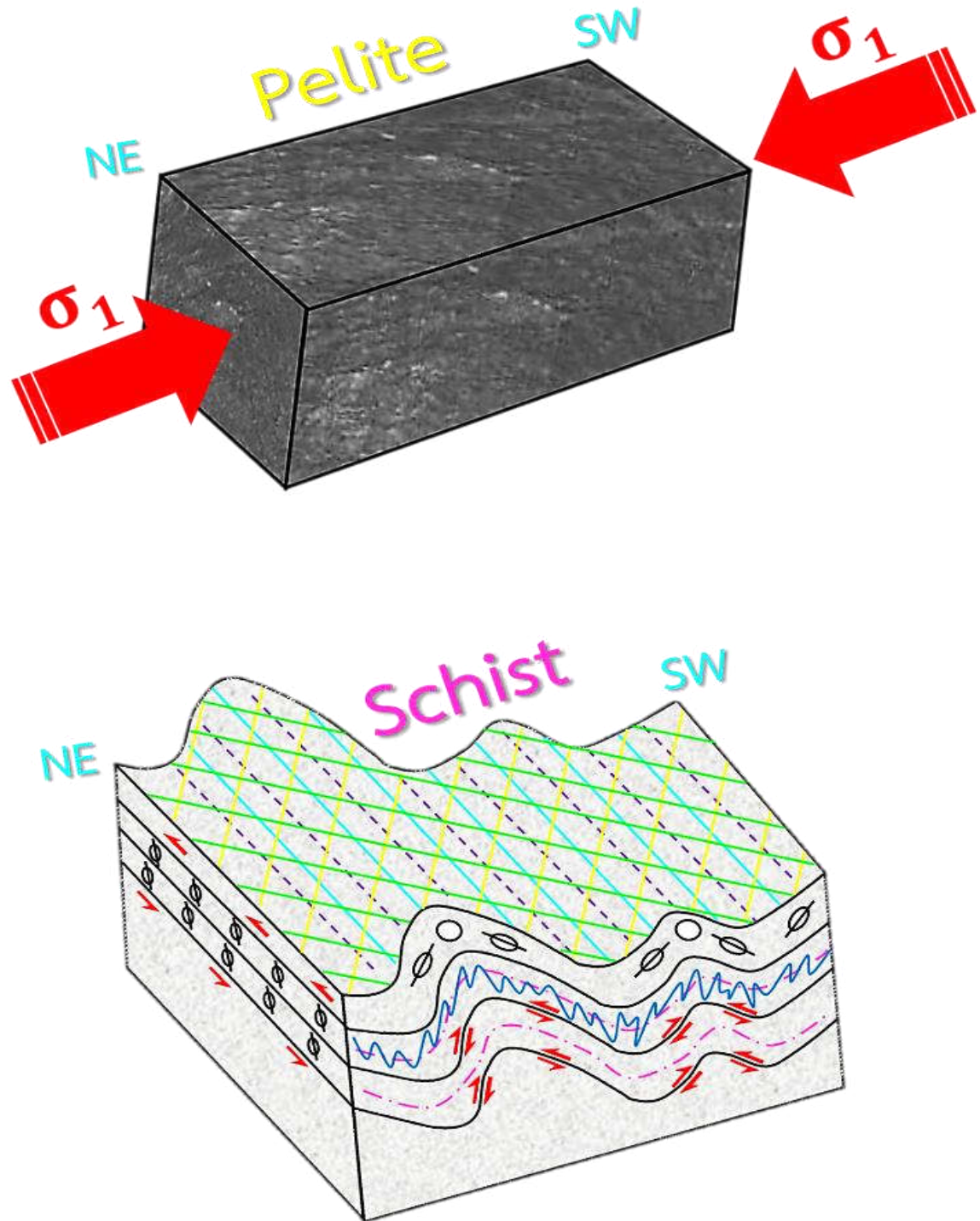
จากหลักฐานต่างๆที่กล่าวจากข้างต้นจะนำไปสู่ในเรื่องของวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา โดยจากหลักฐานที่มีทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่าทิศทางการเคลื่อนหลักอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงเกือบทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือ เหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทยในช่วงกลางไปจนถึงปลายยุคไทรแอสซิก ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่แผ่นจูลทวีปลาน-ไทยชนกับแผ่นจูลทวีปอินโดจีนหรือที่เรียกว่าการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Metcalf, 2017) ซึ่งการชนกันของทั้ง 2 แผ่นจูลทวีปก่อให้เกิดความเค้นหลักค่ามากที่สุดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกเฉียงเหนือทำให้พื้นที่ศึกษาน่าจะมีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์นี้ประกอบกับการศึกษาเขาเจ้า จังหวัดชลบุรี ในภาคตะวันออกเฉียงใต้ที่อยู่ห่างออกไปไม่ไกลจากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อเทียบกับในระดับมหภาค ซึ่งมีการเกิดขึ้นหินคดโค้งในแนวเดียวกันกับเขาตองยางในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้จากการโดนแรงอัดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศ

ตะวันตก-ทิศตะวันออกในช่วงการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Kanjanapayont et al., 2013) นอกจากนั้นค่าแนวการวางตัวของรีวขนานของเขาเจ้าก็มีค่าใกล้เคียงกันกับเขาตงยาง โดยรีวขนานจะวางตัวอยู่ในทิศตะวันตกเฉียง-ตะวันออกเฉียงใต้และมีมุมเท 50 องศาเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเช่นเดียวกับเขาตงยางอีกด้วย (Ridd, 2012)

โครงสร้างต่างๆที่เกิดขึ้นในเขาตงยางจะเกิดขึ้นพร้อมกันในช่วงการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียนในกลางถึงปลายยุคไทรแอสซิก โดยมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อมีแรงเค้นค่ามากที่สุดบีบอัดเข้ามาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงตะวันตก-ตะวันออกทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งซึ่งเกิดแบบเลื่อนไกลจากหลักฐานที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2 และได้รับอิทธิพลของแรงเฉือนในระดับท้องถิ่นเฉพาะในบริเวณพื้นที่ศึกษาจึงทำให้ชั้นหินคดโค้งเกิดการเฉือนและเกิดการเอียงเท รวมถึงทำให้แรงแก่งเกิดการเรียงตัวเป็นรีวขนาน โครงสร้างแนวเส้นชนิดรอยหยัก แนวแตกขึ้นทั้ง 3 แนว รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในจุดศึกษาที่ 4 และเกิดการเฉือนขึ้นในหินโผล่ทำให้เกิดเป็นแถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งระนาบแกนร่วม และขณะเดียวกันก็เกิดแรงดึงออกในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ทำให้แรงแก่งเกิดการยึดตัวเป็นแนวยาวเกิดเป็นโครงสร้างแนวเส้นชนิดแรยี้ด

การแปรสภาพบริเวณภาคตะวันออกเฉียงใต้โดยศึกษาจากเขาเจ้า จังหวัดชลบุรี พบว่ามีการแปรสภาพ 2 ครั้งคือ ครั้งแรกในช่วงปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิกและครั้งที่สองในช่วงปลายยุคครีเทเชียสถึงเทอร์เชียรี (Kawakami, 2014) จึงสันนิษฐานว่าเขาตงยางมีการแปรสภาพเกิดขึ้นในช่วงยุคไทรแอสซิก

ดังนั้นเขาตงยางจังหวัดฉะเชิงเทราจึงมีการแปรสภาพจากหินตะกอนพวกเพลไลต์ไปเป็นหินไมกาชีสต์ พร้อมกับการเกิดชั้นหินคดโค้ง ชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กภายในชั้นหินคดโค้งขนาดใหญ่ โครงสร้างแนวเส้น รีวขนาน แนวแตก รอยเลื่อน และการเฉือนต่างๆ เกิดขึ้นในการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียนในช่วงยุคไทรแอสซิก (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาดงยางจังหวัดฉะเชิงเทรา

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

จากการศึกษาธรณีวิทยาและธรณวิทยาโครงสร้างบริเวณเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา ทั้งในระดับมหัศจรรย์ภาคจากการศึกษาในภาคสนามและในระดับจุลภาคจากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้วรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และตีความทำให้สรุปได้ว่า

- หินโผล่บริเวณเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นหินไม่กาซีสต์ที่มีร่องค์ประกอบหลักคือ แร่ควอตซ์ แร่การ์เนต แร่มีสโคไวต์ แร่ไบโอไทต์ และแร่คลอไรต์ โดยแร่ส่วนใหญ่จะเป็นแร่ในกลุ่มแร่ไมกา
- หินโผล่เป็นหินไม่กาซีสต์ที่ถูกสายแร่ควอตซ์แทรกตัดผ่านตามรอยแตก
- หินไม่กาซีสต์จากเขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา อยู่ในชุดลักษณะกรีนชีสต์ที่มีสภาพแวดล้อมการแปรสภาพแบบความดันและอุณหภูมิต่ำ โดยมีช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส
- เขาตองยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นเขาที่วางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้
- การเปลี่ยนแปลงพบทั้งแบบแตกเปราะและแบบอ่อนนืด
- ค่าการวางตัวโดยเฉลี่ยของริ้วขนาน (ระนาบเรียงตัวแบบหินชีสต์) มีค่าเท่ากับ $299^{\circ}/32^{\circ}\text{NNE}$ และโครงสร้างแนวเส้นมีค่าเท่ากับ $320^{\circ}/12^{\circ}\text{NW}$
- แนวแตกมีทั้งหมด 3 แนว โดยแนวแตกแนวที่ 2 เป็นแนวแตกตามยาวหรือแนวแตกตามแนวระดับ ซึ่งเกิดจากวิธีการแตกรูปแบบที่ 1 เป็นการเปิดหรือดึงออก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $151^{\circ}/73^{\circ}\text{WSW}$ ส่วนแนวแตกแนวที่ 1 และแนวแตกแนวที่ 3 เป็นแนวแตกร่วมที่เกิดขึ้นพร้อมกันและแตกโดยวิธีการแตกรูปแบบที่ 2 เป็นการเลื่อนหรือเฉือน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $359^{\circ}/79^{\circ}\text{E}$ และ $078^{\circ} / 80^{\circ}\text{SSE}$ ตามลำดับ
- พบลักษณะของรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำในพื้นที่ ร่วมกับหินกรวดเหลี่ยมรอยเลื่อน
- พบการเฉือนในหินทำให้เกิดแถบโค้งมุมแหลมและชั้นหินคดโค้งแกนร่วมระนาบชนิด s และ z
- พบการเปลี่ยนแปลง เช่น การโป่งนูนรวมถึงการแสดงลักษณะแบบอ่อนนืดของแร่ควอตซ์

- พบตัวบ่งบอกทิศทางการเลื่อนจุลภาค 8 ชนิด ประกอบด้วยแถบการเลื่อนแบบ C แถบการเลื่อนแบบ C' เม็ดรูปซิกม่า เม็ดรูปซิกมอยด์ แร่รูปปลา รั้วขนานเฉียง ชั้นคดโค้งแบบไม่สมมาตร และระบบการเลื่อนรีเดล โดยจะพบทั้งแบบเลื่อนวนซ้ายและเลื่อนวนขวา
- การเกิดขึ้นหินคดโค้งเป็นการเกิดแบบเลื่อนไถลร่วมกับแรงเฉือนในระดับท้องถิ่นในบริเวณพื้นที่ศึกษา
- วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เกิดขึ้นในช่วงของการก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียนในช่วงยุคไทรแอสซิกจากการชนกันของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีน ซึ่งก่อให้เกิดแรงเค้นหลักในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ไปจนถึงทิศตะวันตก-ตะวันออกทำให้พื้นที่เขาตงยาง จังหวัดฉะเชิงเทรา เกิดการแปรสภาพพร้อมกับการเกิดโครงสร้างธรณีวิทยาต่างๆขึ้นในพื้นที่

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- กรมทรัพยากรธรณี, 2550. แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดฉะเชิงเทรา.
- ปัญญา จารุศิริ, เจริญพันธุ์ อาไพพรรณ, เคน-อิชิโร อิซาดาคา, กิตติ ขาววิเศษ, สุวิทย์ โคสุวรรณและวิโรจน์ ดาวฤกษ์. 2545. วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย: การประมวลและการวิเคราะห์ แนวใหม่.วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T), ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (2545/2002).
- ปัญญา จารุศิริ, สัน อัครพัชร, สุวภาคย์ อิ่มสมุทร, กิตติ ขาววิเศษ และสันติ ภัยหลบลี้. 2545.ธรณีวิทยา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Geology of SE Asia).
- พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์. 2561. ธรณีแปรสัณฐานจุลภาค. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,ถ. พญาไท, แขวงวังใหม่, เขตปทุมวัน, กรุงเทพมหานคร.
- อำนาจ ส่งอุไรล้ำ, มนตรี เหลืองอิงคะสุต และพงศ์สันต์ ยาวิไชย. 2543. ศักยภาพทางแร่โลหะพื้นฐาน และ ทองคำ พื้นที่เขาตงยาง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา. รายงานความก้าวหน้า. (ฉบับที่ กศ 7/2543) : VI-9.
- Areesiri, S., 1983. Genetic consideration of amphibolite and related rocks of Bo Kwang Thong, Amphoe Phanat Nikhom, Changwat Chon Buri. In:Thanasuthipitak, T. (Ed.), Proceedings of the Annual Technical Meeting,Chiangmai. pp. 81–100.
- Arndt, N., 2013. Formation and Evolution of the Continental Crust. *Geochemical Perspectives*. 2. 405-533. 10.7185/geochempersp.2.3.
- Boonchaisuk, S., Siripunvaraporn, W., Ogawa, Y., 2013. Evidence for middle Triassic to Miocene dual subduction zones beneath the Shan–Thai terrane, western Thailand from magnetotelluric data. *Gondwana Research* 23 (2013) 1607–1616.

- Blatt, H., Tracy, R.J., Owens, B.E., 2006. Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic. W. H. Freeman and Company, New York.
- Bunopas, S., Vella, P., 1983. Tectonic and Geological Evolution of Thailand. In Proceedings of the Workshop on Stratigraphic Correlation of Thailand and Malaysia. Geological Society of Thailand, Haad Yai, Thailand, 8 - 10 September, 1983.
- Buravas, S., 1948. The Cupriferous Schist of Pnom Sarakam. Siam Science Bulletin, Volume V, No. 1, Department of science ministry of industry, Bangkok, Siam.
- Buravas, S., 1959. Preliminary Notes on the Geology of Thailand.
- Bussai, C., 2005. Geologic structure of the low-grade metamorphic terrane, Chon buri Coastal Area. Chulalongkorn University, Bangkok.
- Department of Mineral Resources, 2013. Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand, Department of Mineral Resources Thailand.
- Dheeradilok, P., Lumjuan, A., 1983. On The Metamorphic and Precambrian Rocks of Thailand. Conference on Geology and Mineral Resource of Thailand, Bangkok, 19-28 November, 1983.
- Fossen, H., Carolina, G., Cavalcante, G., 2017. Shear zones – A review. Earth-Science Reviews 171 (2017) 434–455.
- Javanaphet, C., 1969. Geological Map of Thailand; scale 1:1,000,000 with explanation text.
- Kanjanapayont, P., Kieduppatum, P., Klötzli, U., Klötzli, E. and Charusiri, P., 2013. Deformation history and U–Pb zircon geochronology of the high grade metamorphic rocks within the Klaeng fault zone, eastern Thailand. Journal of

Asian Earth Sciences 77 (2013) 224–233.

Kawakami, T., Nakano, N., Higashino, F., Hokada, T., Osanai, Y., Yuhara, M., Charusiri, P., Kamikubo, H., Yonemura, K., Hirata, T., 2014. U-Pb zircon and CHIME monazite dating of granitoids and high-grade metamorphic rocks from the Eastern and Peninsular Thailand — A new report of Early Paleozoic granite. *Lithos* 200–201 (2014) 64–79.

Metcalfe, I., 1988. Origin and assembly of Southeast Asian continental terranes. In:

Audley-Charles, M.G. and Hallam, A. (Eds), *Gondwana and Tethys*.

Geological Society of London Special Publication No. 37, 101–118.

Metcalfe, I., 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences* 66 (2013) 1–33.

Metcalfe, I., 2017. Tectonic evolution of Sundaland. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, Volume 63, June 2017, pp. 27 – 60.

Passcheir, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

Pongsapich, W., Charusiri, P., Vedchakanchana, S., 1983. Reviews of Metamorphic Rocks of Thailand. In *Proceedings of the Workshop on Stratigraphic Correlation of Thailand and Malaysia*. Geological Society of Thailand, Haad Yai, Thailand, 8 – 10 September, 1983: p. 244-252.

Ridd, M.F., 2012. The role of strike-slip faults in the displacement of the Palaeotethys suture zone in Southeast Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences* 51 (2012) 63–84.

- Salyapongse, S., 2002. Metamorphic rocks of Thailand. In: Mantajit, N., Potisat, S. (Eds.), Proceedings of the Symposium on Geology of Thailand 2002. Department of Mineral Resources, Bangkok, pp. 253–260.
- Sone, M., Metcalfe, I., Chaodumrong, P., 2012. The Chanthaburi terrane of southeastern Thailand: Stratigraphic confirmation as a disrupted segment of the Sukhothai Arc. *Journal of Asian Earth Sciences* 61 (2012) 16–32.

ภาคผนวก
(Appendix)

Type	Trend	Plunge	Section
Lination	337	15	Section 1
Lination	334	14	Section 1
Lination	339	17	Section 1
Lination	322	16	Section 1
Lination	344	16	Section 1
Lination	347	17	Section 1
Lination	339	21	Section 1
Lination	327	15	Section 1
Lination	330	17	Section 1
Lination	324	16	Section 1
Lination	335	10	Section 1
Lination	341	11	Section 1
Lination	320	14	Section 1
Lination	327	15	Section 1
Lination	330	17	Section 1
Lination	324	16	Section 1
Lination	335	10	Section 1
Lination	341	11	Section 1
Lination	320	14	Section 1
Lination	326	15	Section 1
Lination	335	20	Section 1
Lination	340	9	Section 1
Lination	325	9	Section 1

Lineation	335	20	Section 1
Lineation	321	12	Section 1

Type	Strike	Dip angle	Section
Foliation	287	27	Section 1
Foliation	286	28	Section 1
Foliation	285	21	Section 1
Foliation	295	28	Section 1
Foliation	296	20	Section 1
Foliation	284	26	Section 1
Foliation	307	30	Section 1
Foliation	275	25	Section 1
Foliation	290	27	Section 1
Foliation	283	31	Section 1
Foliation	306	12	Section 1
Foliation	319	28	Section 1
Foliation	315	25	Section 1
Foliation	320	28	Section 1
Foliation	292	19	Section 1
Foliation	298	34	Section 1
Foliation	287	29	Section 1
Foliation	284	29	Section 1
Foliation	294	33	Section 1
Foliation	320	30	Section 1
Foliation	288	33	Section 1
Foliation	320	24	Section 1
Foliation	291	31	Section 1
Foliation	313	35	Section 1
Foliation	302	23	Section 1
Foliation	280	23	Section 1

Foliation	305	34	Section 1
Foliation	282	29	Section 1
Foliation	292	27	Section 1
Foliation	295	31	Section 1
Foliation	292	23	Section 1
Foliation	295	29	Section 1
Foliation	304	23	Section 1
Foliation	309	27	Section 1
Foliation	276	22	Section 1
Foliation	293	24	Section 1
Foliation	290	23	Section 1
Foliation	313	19	Section 1
Foliation	304	22	Section 1
Foliation	314	24	Section 1
Foliation	292	35	Section 1
Foliation	274	32	Section 1
Foliation	291	25	Section 1
Foliation	322	25	Section 1
Foliation	309	29	Section 1
Foliation	308	24	Section 1
Foliation	298	13	Section 1
Foliation	290	28	Section 1
Foliation	276	29	Section 1
Foliation	281	27	Section 1
Foliation	307	30	Section 1
Foliation	279	24	Section 1
Foliation	290	18	Section 1
Foliation	277	30	Section 1
Foliation	283	27	Section 1
Joint1	355	85	Section 1

Joint1	358	86	Section 1
Joint1	10	84	Section 1
Joint1	356	88	Section 1
Joint1	354	87	Section 1
Joint1	358	85	Section 1
Joint1	5	80	Section 1
Joint1	357	81	Section 1
Joint1	358	78	Section 1
Joint1	3	84	Section 1
Joint1	2	86	Section 1
Joint1	356	85	Section 1
Joint1	3	88	Section 1
Joint1	3	86	Section 1
Joint1	359	87	Section 1
Joint2	142	68	Section 1
Joint2	151	74	Section 1
Joint2	140	66	Section 1
Joint2	155	68	Section 1
Joint2	150	67	Section 1
Joint2	147	81	Section 1
Joint2	146	82	Section 1
Joint2	143	80	Section 1
Joint2	154	73	Section 1
Joint2	159	70	Section 1
Joint2	144	65	Section 1
Joint2	153	76	Section 1
Joint2	155	77	Section 1
Joint2	161	69	Section 1
Joint2	152	65	Section 1
Joint3	78	87	Section 1

Joint3	78	80	Section 1
Joint3	76	86	Section 1
Joint3	81	84	Section 1
Joint3	69	83	Section 1
Joint3	71	85	Section 1
Joint3	79	81	Section 1
Joint3	80	85	Section 1
Joint3	78	80	Section 1
Joint3	76	86	Section 1
Joint3	81	84	Section 1
Joint3	69	83	Section 1
Joint3	71	85	Section 1
Joint3	79	81	Section 1
Joint3	73	79	Section 1
Joint3	72	89	Section 1
Joint3	85	84	Section 1
Joint3	77	87	Section 1
Joint3	72	83	Section 1
Joint3	75	80	Section 1
Joint3	77	83	Section 1
Joint3	71	80	Section 1
Joint3	73	85	Section 1

Type	Trend	Plunge	Section
Lineation	311	15	Section 2
Lineation	309	13	Section 2
Lineation	314	16	Section 2
Lineation	314	16	Section 2
Lineation	326	20	Section 2

Lination	319	13	Section 2
Lination	305	15	Section 2
Lination	307	15	Section 2
Lination	314	15	Section 2
Lination	307	13	Section 2
Lination	312	26	Section 2
Lination	304	25	Section 2
Lination	297	9	Section 2
Lination	312	16	Section 2
Lination	302	14	Section 2
Lination	309	16	Section 2
Lination	308	14	Section 2
Lination	308	15	Section 2
Lination	306	18	Section 2
Lination	305	17	Section 2

Type	Strike	Dip angle	Section
Foliation	289	33	Section 2
Foliation	279	33	Section 2
Foliation	276	35	Section 2
Foliation	277	34	Section 2
Foliation	282	36	Section 2
Foliation	287	36	Section 2
Foliation	277	33	Section 2
Foliation	282	40	Section 2
Foliation	286	39	Section 2
Foliation	290	34	Section 2
Foliation	279	33	Section 2
Foliation	268	41	Section 2

Foliation	274	34	Section 2
Foliation	264	33	Section 2
Foliation	288	35	Section 2
Foliation	296	36	Section 2
Foliation	259	43	Section 2
Foliation	265	34	Section 2
Foliation	287	39	Section 2
Foliation	278	32	Section 2
Foliation	279	32	Section 2
Foliation	281	30	Section 2
Foliation	286	36	Section 2
Foliation	279	36	Section 2
Foliation	275	37	Section 2
Foliation	290	41	Section 2
Foliation	298	42	Section 2
Foliation	270	31	Section 2
Foliation	287	33	Section 2
Foliation	293	39	Section 2
Foliation	284	37	Section 2
Foliation	294	33	Section 2
Foliation	280	37	Section 2
Foliation	283	36	Section 2
Foliation	276	37	Section 2
Foliation	285	33	Section 2
Foliation	291	35	Section 2
Foliation	273	22	Section 2
Foliation	274	37	Section 2
Foliation	273	37	Section 2
Foliation	292	34	Section 2
Foliation	282	33	Section 2

Foliation	287	37	Section 2
Foliation	269	38	Section 2
Foliation	268	35	Section 2
Joint1	355	68	Section 2
Joint1	357	74	Section 2
Joint1	354	66	Section 2
Joint1	353	68	Section 2
Joint1	357	67	Section 2
Joint1	358	81	Section 2
Joint1	359	65	Section 2
Joint1	3	72	Section 2
Joint1	350	69	Section 2
Joint1	348	71	Section 2
Joint1	2	65	Section 2
Joint1	5	69	Section 2
Joint2	153	70	Section 2
Joint2	147	65	Section 2
Joint2	161	69	Section 2
Joint2	162	67	Section 2
Joint2	154	71	Section 2
Joint2	148	75	Section 2
Joint2	155	80	Section 2
Joint2	143	77	Section 2
Joint2	150	83	Section 2
Joint2	138	74	Section 2
Joint2	152	75	Section 2
Joint2	135	82	Section 2
Joint2	163	73	Section 2
Joint2	147	72	Section 2
Joint2	156	81	Section 2

Joint3	89	75	Section 2
Joint3	90	88	Section 2
Joint3	72	60	Section 2
Joint3	78	73	Section 2
Joint3	83	76	Section 2
Joint3	79	71	Section 2
Joint3	80	73	Section 2
Joint3	87	69	Section 2
Joint3	74	68	Section 2
Joint3	88	70	Section 2
Joint3	87	72	Section 2
Joint3	75	80	Section 2

Type	Trend	Plunge	Section
Lination	317	5	Section 3
Lination	325	6	Section 3
Lination	315	8	Section 3
Lination	336	8	Section 3
Lination	321	5	Section 3
Lination	320	5	Section 3
Lination	325	6	Section 3
Lination	323	9	Section 3
Lination	319	11	Section 3
Lination	324	9	Section 3
Lination	305	7	Section 3
Lination	317	8	Section 3
Lination	317	5	Section 3
Lination	322	4	Section 3
Lination	318	4	Section 3

Lineation	317	7	Section 3
Lineation	317	4	Section 3
Lineation	320	14	Section 3
Lineation	325	11	Section 3
Lineation	323	11	Section 3
Lineation	300	12	Section 3
Lineation	318	8	Section 3
Lineation	318	4	Section 3
Lineation	322	7	Section 3
Lineation	313	5	Section 3
Lineation	317	3	Section 3
Lineation	318	3	Section 3
Lineation	317	5	Section 3
Lineation	318	10	Section 3
Lineation	309	2	Section 3
Lineation	317	2	Section 3
Lineation	318	2	Section 3
Lineation	322	1	Section 3

Type	Strike	Dip angle	Section
Foliation	329	41	Section 3
Foliation	327	40	Section 3
Foliation	327	40	Section 3
Foliation	305	36	Section 3
Foliation	315	38	Section 3
Foliation	329	40	Section 3
Foliation	342	38	Section 3
Foliation	328	40	Section 3
Foliation	316	46	Section 3

Foliation	317	33	Section 3
Foliation	331	38	Section 3
Foliation	320	40	Section 3
Foliation	301	28	Section 3
Foliation	340	32	Section 3
Foliation	334	36	Section 3
Foliation	320	34	Section 3
Foliation	308	30	Section 3
Foliation	322	32	Section 3
Foliation	320	37	Section 3
Foliation	322	39	Section 3
Foliation	339	36	Section 3
Foliation	330	43	Section 3
Foliation	325	41	Section 3
Foliation	327	40	Section 3
Foliation	301	38	Section 3
Foliation	305	47	Section 3
Foliation	330	40	Section 3
Foliation	301	39	Section 3
Foliation	323	41	Section 3
Foliation	327	41	Section 3
Foliation	309	38	Section 3
Foliation	312	39	Section 3
Foliation	328	41	Section 3
Foliation	332	44	Section 3
Foliation	321	37	Section 3
Foliation	319	39	Section 3
Foliation	310	37	Section 3
Foliation	318	36	Section 3
Foliation	320	36	Section 3

Foliation	313	33	Section 3
Foliation	335	32	Section 3
Foliation	311	34	Section 3
Foliation	314	38	Section 3
Foliation	315	35	Section 3
Foliation	331	38	Section 3
Foliation	317	38	Section 3
Foliation	308	37	Section 3
Foliation	317	37	Section 3
Foliation	317	39	Section 3
Foliation	317	35	Section 3
Joint1	3	71	Section 3
Joint1	2	74	Section 3
Joint1	359	77	Section 3
Joint1	352	80	Section 3
Joint1	355	81	Section 3
Joint1	357	79	Section 3
Joint1	356	82	Section 3
Joint1	353	83	Section 3
Joint1	358	79	Section 3
Joint1	5	73	Section 3
Joint1	11	86	Section 3
Joint1	8	84	Section 3
Joint1	5	75	Section 3
Joint2	145	66	Section 3
Joint2	165	68	Section 3
Joint2	161	67	Section 3
Joint2	156	81	Section 3
Joint2	157	82	Section 3
Joint2	160	80	Section 3

Joint2	159	73	Section 3
Joint2	155	70	Section 3
Joint2	150	65	Section 3
Joint2	145	76	Section 3
Joint2	152	77	Section 3
Joint2	164	69	Section 3
Joint2	147	65	Section 3
Joint3	88	74	Section 3
Joint3	80	87	Section 3
Joint3	76	76	Section 3
Joint3	65	78	Section 3
Joint3	70	79	Section 3
Joint3	68	78	Section 3
Joint3	82	73	Section 3
Joint3	78	82	Section 3
Joint3	88	77	Section 3
Joint3	79	88	Section 3

Type	Trend	Plunge	Section
Lination	326	18	Section 4
Lination	315	14	Section 4
Lination	320	15	Section 4
Lination	317	12	Section 4
Lination	320	14	Section 4
Lination	315	14	Section 4
Lination	308	11	Section 4
Lination	323	17	Section 4
Lination	321	12	Section 4
Lination	317	10	Section 4

Lination	316	9	Section 4
Lination	317	13	Section 4
Lination	315	15	Section 4
Lination	315	16	Section 4
Lination	314	9	Section 4
Lination	318	10	Section 4
Lination	321	21	Section 4
Lination	319	16	Section 4
Lination	321	17	Section 4
Lination	323	16	Section 4
Lination	322	19	Section 4
Lination	318	16	Section 4
Lination	323	17	Section 4
Lination	320	20	Section 4
Lination	323	18	Section 4

Type	Strike	Dip angle	Section
Foliation	303	38	Section 4
Foliation	309	35	Section 4
Foliation	313	36	Section 4
Foliation	300	16	Section 4
Foliation	299	25	Section 4
Foliation	302	30	Section 4
Foliation	312	28	Section 4
Foliation	319	25	Section 4
Foliation	312	37	Section 4
Foliation	304	34	Section 4
Foliation	288	31	Section 4
Foliation	301	32	Section 4

Foliation	296	31	Section 4
Foliation	294	34	Section 4
Foliation	305	23	Section 4
Foliation	293	28	Section 4
Foliation	288	25	Section 4
Foliation	304	27	Section 4
Foliation	314	25	Section 4
Foliation	307	25	Section 4
Foliation	285	31	Section 4
Foliation	280	29	Section 4
Foliation	291	28	Section 4
Foliation	286	31	Section 4
Foliation	286	31	Section 4
Foliation	281	30	Section 4
Foliation	291	27	Section 4
Foliation	295	29	Section 4
Foliation	278	29	Section 4
Foliation	296	28	Section 4
Foliation	296	28	Section 4
Foliation	296	28	Section 4
Foliation	299	25	Section 4
Foliation	301	29	Section 4
Foliation	296	22	Section 4
Foliation	300	25	Section 4
Foliation	297	22	Section 4
Foliation	297	30	Section 4
Foliation	290	26	Section 4
Foliation	298	30	Section 4
Joint1	358	79	Section 4
Joint1	9	83	Section 4

Joint1	356	76	Section 4
Joint1	354	73	Section 4
Joint1	353	72	Section 4
Joint1	3	84	Section 4
Joint1	10	87	Section 4
Joint1	2	86	Section 4
Joint1	353	78	Section 4
Joint1	356	85	Section 4
Joint2	134	77	Section 4
Joint2	135	63	Section 4
Joint2	137	66	Section 4
Joint2	142	68	Section 4
Joint2	147	71	Section 4
Joint2	157	81	Section 4
Joint2	131	84	Section 4
Joint2	152	73	Section 4
Joint2	153	83	Section 4
Joint2	158	76	Section 4
Joint2	153	79	Section 4
Joint2	148	80	Section 4
Joint2	146	75	Section 4
Joint2	161	71	Section 4
Joint3	82	88	Section 4
Joint3	80	67	Section 4
Joint3	79	70	Section 4
Joint3	74	87	Section 4
Joint3	80	83	Section 4
Joint3	72	85	Section 4
Joint3	74	71	Section 4
Joint3	89	66	Section 4

Joint3	78	81	Section 4
Joint3	79	81	Section 4
Joint3	82	79	Section 4
Joint3	86	89	Section 4
Joint3	88	86	Section 4