



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ระบบรอยแตกบริเวณเขาถ้ำโหว่ จังหวัดเพชรบุรี

ชื่อนิสิต นาย นวภัทร กลมเกลียว

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบรอยแตกบริเวณเขาค้อไหว่ จังหวัดเพชรบุรี

นาย นวภัทร กลมเกลียว

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

FRACTURE SYSTEM OF KHAO THUM WO, CHANGWAT PHETCHABURI

Mr. Navapat Klomkliew

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

วันที่ส่ง

___/___/___

วันที่อนุมัติ

___/___/___

ลงชื่อ _____

(_____)

อาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการ

หัวข้องานวิจัย : ระบบรอยแตกบริเวณเขาค้อไหว่ จังหวัดเพชรบุรี
นิสิตผู้ทำการวิจัย : นาย นวภัทร กลมเกลียว
ภาควิชา : ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์
ปีการศึกษา : 2558

บทคัดย่อ

พื้นที่ศึกษาจัดอยู่ในกลุ่มหินสระบุรี บริเวณภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย ที่มีลักษณะของธรณีวิทยา โครงสร้างชั้นหินอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และมีแนวเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นแนวหลัก โครงสร้างธรณีวิทยาเป็นผลมาจากการเกิดธรณีแปรสัณฐานของสองช่วงเวลา คือ การชนกันของ แผ่นเปลือกโลกมาซูลูไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนในยุคไทรแอสซิก-จูแรสสิกในช่วงแรก และการชนกัน ของแผ่นเปลือกโลกอินเดียและแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในช่วงอีโอซีน โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตีความ ธรณีวิทยาโครงสร้างและวิวัฒนาการของระบบรอยแตกภายในเหมืองหินปูน จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม และโครงสร้างธรณีจุลภาคพบว่าสามารถแบ่งระบบรอยแตกออกเป็น 3 ระบบ คือ รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน วางตัวแนวตะวันออก-ตะวันตก รอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติวางตัวแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และรอยแตกที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติมีแนวการวางตัวหลัก แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยลำดับการเกิดของรอยแตกเริ่มจากรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินที่ เกิดจากอิทธิพลของการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนและแผ่นเปลือกโลกมาซูลูไทย รอยแตกอันดับที่สองคือ รอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติและอันดับสุดท้ายคือรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติที่เกิดจากอิทธิพลของการ ชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดียและแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย มีการวางตัวที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ จาก ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกและวิวัฒนาการของรอยแตกบริเวณ เหมืองหินปูน บริษัท ชลประทาน ซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีคาดว่ามีความสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐาน 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงก่อ เทือกเขาอินโดจีนเนียน และช่วงก่อเทือกเขาหิมาลัย

คำสำคัญ : ระบบรอยแตก, กลุ่มหินสระบุรี, การก่อเทือกเขาอินโดจีนเนียน, การก่อเทือกเขาหิมาลัย

Project title : FRACTURE SYSTEM OF KHAO THUM WO, CHANGWAT
PHETCHABURI

Researcher : Mr. Navapat Klomkliew

Department : Geology

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

Academic year : 2015

ABSTRACT

The study area is a part of Ratburi Group settle on North Peninsular Thailand, which has structural trend approximately NNW-SSE and dip direction about SSW. This structure caused by the collision of Sibumasu and Indochina terrane in Triassic-Jurassic and the collision of India and Eurasia plate in Eocene. The aim of this study is to interpret structural style and evolution of fracture system at industrial mine. Based on the evidence from field observation, microstructure and fracture systems can separate in to 3 systems: (1) Bed-perpendicular fracture has E-W trending, (2) Normal fault-parallel fracture has both NNW-SSE trending and NNE-SSW trending and (3) Normal fault-related fracture has NNE-SSW trending. The first generation fracture is Bed-perpendicular fracture, which is influenced by the Shan-Thai and Indochina collision. The second generation fracture is normal fault-parallel fracture and the last is normal fault-related fracture, which is influenced by India and Eurasia collision. Structural style and evolution of fracture system in industrial mine at Jalapathan Cement Ltd., Amphoe Cha Am, Changwat Phetchaburi relate to 2 stages of tectonic consist of Indochina orogeny and Himalayan orogeny, respectively.

KEYWORD: Fracture system, Ratburi Group, Indochina orogeny, Himalaya orogeny

กิตติกรรมประกาศ

ประการแรก ขอขอบพระคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ รวมไปถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำงานทั้งภาคสนามและภายในห้องปฏิบัติการ

ประการที่สอง ขอขอบพระคุณอย่างสูงแด่ นางสาว สุภาดา จากแผนกประชาสัมพันธ์และ นาย จำลอง และนาย อัทพล จากแผนกเหมืองของบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ในการรับหน้าที่ ดำเนินการขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่พาเข้าพื้นที่ภายในเหมืองจนกระทั่ง เก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ประการที่สาม ขอขอบคุณอย่างสูงแก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยครั้งนี้ ที่อาจารย์ได้เป็นธุระ เสียสละเวลามาช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนามครั้งนี้ ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาเรื่องของธรณีวิทยา โครงสร้างของรอยแตกและ วิวัฒนาการรอยแตกรวมถึงคำแนะนำในการศึกษาโครงสร้างจุดภาคของพื้นที่ศึกษานี้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณนายปริดา ธิาเปียง นางสาวภาชีนี โสโพธิ์ และนางสาวภัศติกร สุวรรณจันตา ที่เป็นผู้ช่วยในการสำรวจภาคสนาม ช่วยเหลือทั้งด้านเก็บข้อมูลโครงสร้างธรณีวิทยา และเก็บข้อมูลต่างๆจากภาคสนามมาได้ด้วยดี และขอขอบคุณนางสาว บุศรินทร์ เกียรติกุลกังวาน ในความช่วยเหลือภายในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างภายในห้องปฏิบัติการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 ระยะเวลาดำเนินงาน	2
1.3 พื้นที่ศึกษา	2
1.4 นิยามปัญหา	4
1.5 วัตถุประสงค์	4
1.6 สมมุติฐาน	4
1.7 ขอบเขตการศึกษา	4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.9 ธรรมเนียมทั่วไป	5
1.10 ธรรมเนียมอาคารสร้าง	5
1.11 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	
2.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิธีการศึกษาเบื้องต้น	16
2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม	17
2.3 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ	19
2.4 การรวบรวมและตีความหมายข้อมูล	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา	21
2.6 การนำเสนอข้อมูล	21
บทที่ 3 ผลการศึกษา (Results)	
3.1 ธรณีวิทยา	24
3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	29
3.2.1 ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลาง (Mesoscopic scale)	29
3.2.1.1 ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน	32
3.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ	35
3.2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาค (Microscopic scale)	44
บทที่ 4 อภิปรายผลการศึกษา (Conclusion)	
4.1 ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตก	48
4.2 วิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตก	52
4.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน	58
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา (Conclusion)	
5.1 สรุปผลการศึกษา	62
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	63
5.3 ข้อเสนอแนะ	63

เอกสารอ้างอิง

สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศแสดงพื้นที่ศึกษา(กรอบสีแดง)บริเวณเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด บริเวณสามแยกชะอำ ริมถนนทางหลวง หมายเลข 4 ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี	3
รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมปี 2015 แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด บริเวณสามแยกชะอำ ริมถนนทางหลวงหมายเลข เลข 4 ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี	3
รูปที่ 1.3 แผนที่ธรณีวิทยาระหว่างอำเภอหัวหิน มาตราส่วน1:250000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2519)	6
รูปที่ 1.4 บริเวณพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดงบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมช่วงแรกเป็น แบบ High energy open platform (รูปซ้าย)และสภาพแวดล้อม ช่วงหลัง(รูปขวา) ปรากฏหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์น้อยกว่าช่วงแรกบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลง การตกสะสมแบบ Low energy open platform (modified from Baired and Bosence, 1993)	8
รูปที่ 1.5 แสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ระบอบอายุเพอร์เมียนของกลุ่มหินราชบุรี (Modified from Dawson and Raysey, 1993)	8
รูปที่ 1.6 แบบจำลองแสดงการหมุนตามเข็มนาฬิกาของรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และรอยเลื่อน แม่ปิงจากการเปลี่ยนทิศทางของแรงเค้นมากที่สุด(Maximum stress)จากการชน กันของแผ่นอินเดียกับแผ่นยูเรเชียช่วง Mid Eocene - Mid Miocene (Modified from Huchon, 1994)	9
รูปที่ 1.7 แผนที่ประเทศไทยแสดงรอยเลื่อนแม่ปิงและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์วางตัวแนว ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และรอยเลื่อนระนองกับรอยเลื่อนคลอง	10

สารบัญรูปร่างภาพ(ต่อ)

หน้า

มรรู๋ยที่วางตัวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ทำมุม 100 องศาทวนเข็มนาฬิกา(Modified from Watkinson <i>et al.</i> , 2008)	
รูปที่ 1.8 แบบจำลองแสดงกระบวนการเปลี่ยนลักษณะของรอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะลุ่ย โดยสีเทาแสดงหินที่เกิดการแปรสภาพบริเวณแนวเขตเฉือน (Shear zone) ที่โดนตัดด้วยหินอัคนีแทรกดัน เป็นช่วงการเปลี่ยนลักษณะ D1-D2 และเกิดรอยเลื่อนแนวระดับซ้ายเข้าแบบบิบบัด(Positive flower structure) ช่วงการเปลี่ยนลักษณะ D3 และรอยเลื่อนแบบแตกเปราะที่อยู่ด้านล่างของรอยเลื่อนแบบเฉือนเป็นการเปลี่ยนลักษณะช่วง D4 (Modified from Watkinson <i>et al.</i> , 2008)	11
รูปที่ 1.9 แผนที่ประเทศไทยแสดงแผ่นทวีปฉานไทยและแผ่นทวีปอินโดไชน่าที่มีแนวอินทนนท์และแนวสุโขทัยเป็นตัวแบ่งทั้งสองแผ่นออกจากกัน และแสดงพื้นที่ศึกษาในกรอบสีแดงบนแผ่นทวีปฉานไทย (Modified from Sone and Metcalfe, 2008)	13
รูปที่ 1.10 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปในช่วงยุคเพอร์เมียน แสดงการเปิดมหาสมุทรโบราณ Paleotethys และ Mesotethys และแสดงการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปฉานไทยไปทางทิศเหนือเคลื่อนตัวจากซีกโลกใต้ชนกับแผ่นทวีปอินโดไชน่าตามลำดับจากรูป A, B และ C (Modified from Metcalfe, 2013)	14
รูปที่ 1.11 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกฉานไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนช่วงตอนปลายของยุคคาร์บอนิเฟอรัส ถึงตอนต้นของยุคจูแรสซิก บริเวณกรอบสีแดงแสดงธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา(Modified from Metcalfe, 2013)	15
รูปที่ 2.1 แบบจำลองสามมิติแสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน(Strike) ทิศทางของมุมเอียงเท (Dip direction) และมุมเอียงเทของชั้นหิน(Dip angle)(http://geologycafe.com/images/strike-n-dip.jpg/ Accessed by March 2016)	18

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการบันทึกภาพถ่ายจากหิน โผล่เพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบรอยแตก(บน) และแสดงเป็นภาพร่างของหิน โผล่เพื่อให้ผู้อ่านทราบแนวการวางตัวของโครงสร้างธรณีวิทยาชัดเจนมากยิ่งขึ้น(ล่าง)	18
รูปที่ 2.3 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งจากภาคสนาม เพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ (Passchier and Trouw, 2005)	19
รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายสเตอริโอเน็ตชนิดพื้นที่เท่าใช้กำหนดข้อมูลธรณีวิทยา โครงสร้าง บริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงองค์ประกอบของภาพถ่ายสเตอริโอเน็ต(ซ้าย) และแสดงองศาของทิศทาง(Strike and Dip direction)และมุมเอียงเท(Dip angle) (ซ้าย)(Leysdon and Lyle, 2004)	20
รูปที่ 2.5 แผนผังดอกกุหลาบใช้กำหนดตำแหน่งข้อมูลธรณีวิทยา โครงสร้างรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษา(ซ้าย) และตัวอย่างกำหนดข้อมูลที่แสดงทิศทาง ความเค้นหลัก(Maximum stress)เข้ามาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้(ซ้าย) (http://1.bp.blogspot.com/1EEqWfwRjE/VLEth5kFLOI/AAAAAA AADw4/8if9K16HJos/s1600/Untitled.jpg/ Accessed March 10, 2016)	20
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแผ่นหินบาง 1)เตรียมตัวอย่างที่ระบุค่าการวางตัวของชั้นหิน, 2)ตัดหินตั้งฉากแนวการวางตัวของชั้นหินพร้อมระบุด้านบน-ด้านล่าง, 3)ตัดหินบางให้มีขนาดเท่ากับแผ่นสไลด์กระจกใส, 4)ขัดตัวอย่างด้วยเครื่องขัดละเอียดก่อนขัดด้วยผงขัด 600 และ1,000 ไมโครเมตร, 5) นำตัวอย่างติดกับกระจกใสด้วยกาวบาวซัม โดยเลือกด้านที่สนใจติดกับกระจกใสทิ้งไว้ 1-2วัน, 6)ขัดตัวอย่างด้วยผงขัด600 และ1,000 ไมโครเมตร และ7)ขัดจนได้แผ่นหินบางพอเพื่อใช้ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์	22
รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียม การศึกษา และสรุปผลงานวิจัย	23

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 ตารางแสดงการจำแนกหินคาร์บอนเนต(Modified from Dunham, 1962)	25
รูปที่ 3.2 หินปูนสีเทาขาวในบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงลักษณะSlickenside บน ระนาบรอยแตกแนวที่ 3 ของการสำรวจ(สมุคยาว19 เซนติเมตร:กว้าง:12.5 เซนติเมตร)	26
รูปที่ 3.3 หินปูนไบโอคลาสติกแพคสโตนถึงเกรนสโตน(Bioclastic packstone to grainstone) ตามการจำแนกของ Dunham (1962) จากการพบซากคอกคำบรรพ์ จำพวกฟิวซิลินิด(Fusulinid)ตระกูล Schwagerinaที่โคนสายแร่แคลไซต์ ตัดผ่าน(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)	26
รูปที่ 3.4 หินปูนสีเทาเข้มในบริเวณทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา แสดงลักษณะผิวรอย เลื่อน(Slickenside)ของแร่แคลไซต์(Calcite)บอกถึงเกิดการเลื่อนตัวของ แนวแตกที่ 1 แบบซ้ายเข้า(Sinistral strike slip fault)(ดินสอกยาว 14 เซนติเมตร)	27
รูปที่ 3.5 หินปูนประเภทหินปูนแวกสโตน(Wackstone)ถึงแพคสโตน(Packstone) (รูป3.4)ตามการจำแนกของDunham(1962) ที่แสดงสายแร่แคลไซต์ตัดผ่าน เนื้อหินในแนวตั้งฉากกับชั้นหิน(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)	27
รูปที่ 3.6 หินทรายแป้งเนื้อปูนสีดำ(Black calcareous siltstone) แสดงลักษณะชั้น หินหนาประมาณ 20ถึง40 เซนติเมตร ที่แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลง ลักษณะแบบแตกเปราะและการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนุ่ม(คนสูง 171 เซนติเมตร)	28
รูปที่ 3.7 หินทรายแป้งเนื้อปูนจากการพบเม็ดตะกอนควอตซ์มากและมีตัวเชื่อม ประสานเนื้อปูนจากการพบแร่แคลไซต์ และพบซากคอกคำบรรพ์ของ เปลือกหอยแบรคคิโอพอด(Brachiopod)	29
รูปที่ 3.8 ภาพมุมสูงแสดงพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดงบริเวณโซนทางใต้ภายใน เหมืองหินปูนบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ ตำบล ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี	30

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 ภาพล่างด้านข้างแสดงพื้นที่ศึกษาย่อยทั้งหมด 3 พื้นที่ศึกษาภายใน กรอบสีแดง ประกอบด้วย BLOCK 1, BLOCK 2 และBLOCK 3 โดย อาศัยความแตกต่างทางธรณีวิทยาหินและธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏ จากการสำรวจธรณี โครงสร้างระดับกลาง(Mesosopic scale)	31
รูปที่ 3.10 ภาพล่างแสดงโครงสร้างธรณีวิทยาตลอดระยะทางของการเก็บข้อมูล ประมาณ 400 เมตรที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียง ใต้เป็นแนวหลัก(รูปบน) และภาพถ่ายหินโพล์โครงสร้างธรณีวิทยาระดับ กลางจากภาคสนามแสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดง(รูปล่าง)	32
รูปที่ 3.11 ชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา BLOCK 1 หินปูนสีเทาขาวแสดงชั้นหินหนา มากถึงไม่แสดงชั้นหินบริเวณทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา	33
รูปที่ 3.12 ชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา BLOCK 2 บริเวณหินตะกอนเนื้อเมืคสีเทาดำ ใต้รอยเลื่อนปกติ	33
รูปที่ 3.13 ชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษาBLOCK 3 หินปูนสีเทาเข้มวางตัวต่อเนื่องอยู่ บนหินตะกอนเนื้อเมืค	33
รูปที่ 3.14 ความแตกต่างของชนิดหินเป็นตัวบ่งบอกชั้นหินวางตัวแนวตะวันตก เฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ของหิน BLOCK 1 แสดงรูปร่างของหิน ดินดาน(Shale)ที่อยู่ระหว่างหินปูนสีเทาขาว	34
รูปที่ 3.15 ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน(Attitude of bedding)ตลอดพื้นที่ศึกษาบน ตาข่ายมิติสเตอริโอเนตชนิดพื้นที่เท่า(Equal-Area Stereographic net) แบบ Pole figure(รูป A) และแบบเส้นGreat circle(รูป B)	34
รูปที่ 3.16 พื้นที่ศึกษา Block 1 อยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา มีความยาวประมาณ 100 เมตร แสดงระบบรอยแตก(Joint sets)ทั้งหมด 3 แนว และแสดงความ	36

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

สัมพันธของการตัดกันของรอยแตกทั้ง 3 ระบบ(กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)	
รูปที่ 3.17 ระนาบรอยแตกตั้งฉากกับระนาบชั้นหิน(สีแดง)ภายในพื้นที่ศึกษา Block 1 และผลของการกำหนดข้อมูลค่าการวางตัวของรอยแตกลงบนแผนภาพกุกหลาบ (กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)	36
รูปที่ 3.18 ระนาบรอยแตกขนานแนวรอยเลื่อนปกติ (สีเขียว)ภายในพื้นที่ศึกษา Block 1 และผลของการกำหนดข้อมูลการวางตัวของรอยแตกลงบนแผนภาพกุกหลาบ(กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)	37
รูปที่ 3.19 ระนาบรอยแตกที่สัมพันธกับรอยเลื่อนปกติ (สีน้ำเงิน) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 1 และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกุกหลาบ (กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)	37
รูปที่ 3.20 พื้นที่ศึกษา Block 2 แสดงหินทรายเนื้อแข็งเนื้อปูน(สีน้ำเงิน) ที่วางตัวอยู่ใต้หินปูนสีเทาอ่อน(สีแดง) และแสดงระนาบรอยแตก 2 ระบบ คือ รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินและรอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ (คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)	38
รูปที่ 3.21 ระนาบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(สีแดง) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 2 และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกุกหลาบ (คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)	38
รูปที่ 3.22 ระนาบรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ(สีเขียว) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 2 และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกุกหลาบ (คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)	39

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.23 ระบายรอยแตกที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ (สีน้ำเงิน) ที่อยู่บริเวณ รอยเลื่อนปกติที่อยู่ติดกับ Block 1 ทางทิศใต้ และผลของการกำหนด ข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกุหลาบ(คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)	39
รูปที่ 3.24 พื้นที่ศึกษาหินปูนสีเทาขาวชั้นหนาปานกลาง(สีแดง)วางตัวต่อเนื่อง อยู่บนชั้นหินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาเข้ม โดยปรากฏระบายรอยแตก ทั้งหมดแบบตั้งฉากกับชั้นหิน(สีแดง) ตลอดพื้นที่ศึกษา Block 3 และ ผลของการกำหนดข้อมูลลงบนแผนภาพกุหลาบ	40
รูปที่ 3.25 ตำแหน่งของรอยเลื่อนปกติ(Normal fault)ที่แบ่งหินปูนที่สีขาวชั้น หนามากกับหินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาเข้ม มีระนาบการวางตัวอยู่ใน แนวและผลของการกำหนดข้อมูลลงบนแผนภาพกุหลาบ(คนใน รูปสูง 173 เซนติเมตร)	41
รูปที่ 3.26 โครงสร้างลักษณะคล้ายขั้วบันได(Chatter mark) บนระบายรอยเลื่อน ปกติบนผนังหินฐาน(Foot wall)ที่มีแนวการวางตัวแนวตะวันตกเฉียง เหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE)(คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)	42
รูปที่ 3.27 โครงสร้างเส้นรอยเลื่อน(slicken line) บนระบายรอยเลื่อนปกติบน ผนังหินฐาน(Foot wall)ที่แสดงการเลื่อนตัวขึ้น มีแนวการวางตัวแนว ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE)	42

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.28 ระบายรอยเลื่อนตามแนวระดับและมุมเอียงเท(Oblique-slip fault)แนวเดียวกับรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture)บริเวณรอยต่อระหว่าง Block 2และBlock3 แสดงการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า(Sinistral strike-slip fault)และผลของการกำหนดข้อมูลลงบนแผนผังดอกกุหลาบ(คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร)	43
รูปที่ 3.29 ระบายรอยเลื่อนตามแนวระดับและมุมเอียงเท(Oblique-slip fault)ขนานแนวเดียวกับรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน แสดงระบายรอยเลื่อน(Slickenside) ที่บ่งบอกถึงการเลื่อนตัวแนวระดับเป็นหลัก(Strike-slip fault)แบบซ้ายเข้า(Sinistral strike-slip fault)(ดินสอยยาว 14เซนติเมตร)	44
รูปที่ 3.30 หินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาดำ(Dark grey calcareous siltstone) พบกรวดของแร่ควอตซ์และมีตัวเชื่อมประสานเนื้อปูน(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)	45
รูปที่ 3.31 หินปูนสีเทาเข้ม(Dark grey limestone) จัดเป็นหินปูนชนิดแวกสโตน(Wackstone)ถึงแพคสโตน(Packstone) ตามการจำแนกของDunham(1962) และพบแร่แคลไซต์ขนาดใหญ่(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)	45
รูปที่ 3.32 หินปูนสีเทาขาวโคโลไมต์เป็นหินปูนประเภทหินปูนBioclasticแบบแพคสโตนถึงเกรนสโตนตามการจำแนกของDunham(1962) พบผลึกของแร่โคโลไมต์(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)	46
รูปที่ 3.33 ลักษณะของรอยแตกเฉือน(Shear fracture) จากหลักฐานการตัดกันและเลื่อนตัวของสายแร่แคลไซต์	46

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.34 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์แสดงการตัดกันของสายแร่แคลไซต์ของรอยแตก 3 แนว เรียงจากแก่ไปอ่อน จาก รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture) รอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-parallel fracture) และรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-related fracture) (ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)	47
รูปที่ 4.1 ภาพหินโผล่บริเวณพื้นที่ศึกษา Block 1 แสดงระนาบรอยแตกทั้ง 3 ระนาบตัดกัน(กลุ่มคนในภาพสูงประมาณ 160-170 เซนติเมตร)	48
รูปที่ 4.2 ภาพหินโผล่แสดงระนาบรอยแตกตั้งฉากชั้นหิน วางตัวแนวตะวันออก-ตะวันตก(ภาพA) และภาพจากโครงสร้างระดับจุลภาคภายในแผ่นหินบางแสดงสายแร่ขนานกับระนาบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(เส้นสีแดง)(ภาพ BและC) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตกตั้งฉากชั้นหินลงบนแผนภาพกุหลาบ(ภาพ D)	49
รูปที่ 4.3 ภาพหินโผล่แสดงระนาบรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ วางตัวแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(ภาพA) และภาพจากโครงสร้างระดับจุลภาคภายในแผ่นหินบางแสดงสายแร่ขนานกับระนาบรอยแตกนี้(เส้นสีเขียว)(ภาพ BและC) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตกตั้งฉากชั้นหินลงบนแผนภาพกุหลาบ(ภาพ D)	50
รูปที่ 4.4 ภาพหินโผล่แสดงระนาบรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ วางตัวแนวตะวันออก-ตะวันตก(ภาพA) และภาพจากโครงสร้างระดับ	51

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

จุดภาคภายในแผ่นหินบางแสดงสายแร่ขนานกับระนาบรอยแตก
นี้(เส้นสีน้ำเงิน)(ภาพ B และ C) และผลจากการกำหนดข้อมูล
ระนาบรอยแตกตั้งฉากชั้นหินลงบนแผนภาพกุหลาบ(ภาพ D)

- รูปที่ 4.5** แบบจำลองการเกิดรอยแตก 3 โหมด ประกอบด้วย โหมด 1 แบบ
เปิดออก(Mode 1: Opening fracture), โหมด 2 แบบเฉือน(Mode 2
: Sliding shear mode) และ โหมด 3 แบบฉีก(Mode 3: Tearing
shear fracture) (Reference: [http://www.frontiersin.org/files/
Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg](http://www.frontiersin.org/files/Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg)) 52
- รูปที่ 4.6** ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน(Attitude of bedding)ตลอดพื้นที่
ศึกษาบนตาข่ายมิติสเตอร์ไอเนตชนิดพื้นที่เท่าแบบ Pole figure
(ภาพ A)และแบบเส้นGreat circle(ภาพ B)และแบบจำลอง
โครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 1: การตกสะสมของหินตะกอน
(Stage 1 : Sedimentary rock deposit) จากสภาพแวดล้อมบริเวณ
ทะเลน้ำลึกถึงบริเวณทะเลน้ำตื้นของหินปูนภายในพื้นที่ศึกษา(ภาพ C) 53
- รูปที่ 4.7** ตัวอย่างชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา Block 2ของหินทรายเนื้อ
แป้งสีเทาเข้ม(Dark grey limestone)(สีน้ำเงิน) 54
- รูปที่ 4.8** แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 2 : การเริ่มมีแรงดึง
มากระทำ (Stage 2 : Begin extension) (ภาพ A)ในแกนทิศเหนือ-ใต้ 55

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่

หน้า

จากการพบระนาบรอยแตกจากการเปิดออกของรอยแตกแบบโหมด 1 (Mode 1) ที่ได้รับอิทธิพลจากแรงบีบอัด (Compression) ในทิศทาง ตะวันออก-ตะวันตกเป็นทิศทางหลัก และผลจากการกำหนดข้อมูล ระนาบรอยแตกภายในพื้นที่ศึกษาลงในแผนภาพกุหลาบ (Rose diagram) (ภาพ B)

- รูปที่ 4.9** แบบจำลองการเกิดรอยแตก 3 โหมด โดยรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (Bed-perpendicular fracture) เกิดสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกแบบ โหมด 1 แบบเปิดออก (Mode 1: Opening fracture) ภายในกรอบสีแดง (Reference: http://www.frontiersin.org/files/Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg) 55
- รูปที่ 4.10** แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 3 : การเริ่มเกิดรอยเลื่อน ปกติ (Stage 3 : Normal faulting) (ภาพ A) จากธรณีแปรสัณฐานดึง ออกแนวตะวันตก-ตะวันออก เกิดรอยแตกขนานรอยเลื่อนที่มีระนาบ การวางตัวของรอยแตกในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียง ใต้ (NNW-SSE) และแสดงภาพตัดขวางของโมเดลของตำแหน่ง บริเวณพื้นที่ศึกษา (ภาพ B) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอย แตก (ภาพ C) และรอยเลื่อนปกติ (ภาพ D) ภายในพื้นที่ศึกษาลงในแผน ภาพกุหลาบ (Rose diagram) 56
- รูปที่ 4.11** แบบจำลองการเกิดรอยแตก 3 โหมด โดยรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ (Bed-parallel fracture) เกิดสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกแบบ โหมด 2 แบบเนียน (Mode 2: Sliding shear fracture) ภายในกรอบสีแดง (Reference: 57

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

http://www.frontiersin.org/files/Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg

- รูปที่ 4.12** แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 4 : การเปลี่ยนทิศทาง
ความเค้นสูงสุด (Stage 4 : Maximum stress shift) (ภาพ A) จากธรณีแปร
สัณฐานดึงออกแนวเหนือ-ใต้ เกิดระนาบรอยแตกทำมุมกับรอยเลื่อน
ที่มีระนาบการวางตัวหลักของรอยแตกในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-
ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SSW) ผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตก
(ภาพ B) ภายในพื้นที่ศึกษาลงในแผนภาพกุหลาบ(Rose diagram)
และภาพร่างแสดงการเปิดออกของระนาบรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(ภาพ C)
- รูปที่ 4.13** แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานจากการชนกันของแผ่น
เปลือกโลกงานไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนช่วงตอน
ปลายของยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงตอนต้นของยุคจูแรสซิก บริเวณ
กรอบสีแดงแสดงธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา(Modified
from Metcalfe, 2013)
- รูปที่ 4.14** ทรงรีความเครียด(Strain ellipsoids)แสดงการเปลี่ยนแปลงทิศ
ทางของความเค้นสูงสุด(Maximum stress)และความเค้นน้อยสุด
(Minimum stress) ที่เข้ามากระทำในแต่ละช่วงเวลา โดยแสดง
ช่วงก่อนIndochina orogeny (ภาพ A)และช่วงหลัง Indochina
orogeny(ภาพ B) (Reference from Charusiri and Pum-Im, 2009)

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Original and Significant)

พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาถ้ำโหว่ จังหวัดเพชรบุรี มีธรณีวิทยาหินส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินปูนเพอร์เมียนของกลุ่มหินราชบุรี (Chaodumrong *et al.*, 2007) โดยในอดีตเคยมีการศึกษากลุ่มหินราชบุรี (Baird and Bosense, 1993) ในบริเวณตะวันตกและทางตอนใต้ของประเทศไทย ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ที่ศึกษาด้วย และเน้นศึกษาสภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวของตะกอนในอดีตในช่วงยุคเพอร์เมียนเป็นหลัก และจากรายงานโครงการการศึกษาและจัดทำแผนแม่บทการอนุรักษ์และฟื้นฟูเขานางพันธุรัต (เขาเจ้าลายใหญ่) (กรมทรัพยากรธรณีและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543) บริเวณพื้นที่ศึกษามีลักษณะธรณีวิทยาทั่วไป ประกอบด้วยชั้นบนเป็นชั้นหินปูนสีเทาอ่อนชั้นหนามาก วางตัวอยู่บนชั้นหินปูนสีเทาต่ำแสดงชั้นหินหนาปานกลางถึงบางอย่างชัดเจน และชั้นหินดินดานที่อยู่ด้านล่างถูกปิดทับด้วยหินปูนทั้ง 2 ลักษณะก่อนหน้าด้านบน ซึ่งหมวดหินดังกล่าวมีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนกลางถึงตอนปลาย นอกจากนี้มีการศึกษาวิวัฒนาการทางด้านธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าเกิดเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐาน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงแรกอยู่ในช่วงเพอร์โม-ไทรแอสสิก (Wolfart, 1987) ซึ่งเป็นช่วงเหตุการณ์เกิดการปิดของมหาสมุทร โบราณ (Paleothethys) ทำให้เกิดการชนกันของแผ่นฉานไทยกับแผ่นอินโดจีน เกิดลักษณะภูมิประเทศแบบคลาสก์ และเกิดชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ ก่อให้เกิดเทือกเขาขึ้น (Indosinian I Orogeny) ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ แนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ (Loei-Phetchabun Fold belt) และช่วงหลังคือช่วงเทอร์เชียรีหรือยุคอีโอซีน (Eocene) เกิดจากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดีย-ออสเตรเลียและแผ่นทวีปยูเรเชีย ส่งผลให้เกิดโครงสร้างธรณีวิทยาที่มีความซับซ้อนมากกว่าเดิม จากงานศึกษารอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (Brady *et al.*, 2005) ที่บ่งบอกถึงมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนแนวระดับ และเกิดการหมุนตามเข็มนาฬิกาของทิศทางการวางตัวของรอยเลื่อนในช่วงอีโอซีนตอนต้นถึงไมโอซีนตอนกลาง ส่งผลให้ภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ศึกษามีแนวการวางตัวของภูเขาแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ดังลักษณะในปัจจุบัน

สืบเนื่องจากเหตุการณ์ในวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2537 เกิดเหตุการณ์เขาโกศนางพันธุรัตพังทลายลงมา ส่งผลให้เกิดความเสียหาย และทัศนียภาพที่เสื่อมเสีย โดยพื้นที่ศึกษาหรือเขาถ้ำโหว่ เป็นเขาที่วางตัวอยู่ทางตอนใต้จากเขานางพันธุรัต พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระราชินีนาถได้รับสั่งให้มีการฟื้นฟูพื้นที่บริเวณนี้ขึ้น โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดการพังทลายเกิดจากโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณนี้ไม่เสถียร จากการเกิดรอยแตกที่ไม่เป็นระเบียบ (กรมทรัพยากรธรณีและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543) ดังนั้นการศึกษาระบบรอยแตกจะ

ทำให้ทราบระบบรอยแตกและวิวัฒนาการรอยแตก ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการช่วยวางแผนเพื่อทำแนวป้องกันการพังทลายของพื้นที่ข้างเคียงได้ในอนาคต

1.2 ระยะเวลาการดำเนินงาน (Duration)

ตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินงานของการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณภายในเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงเวลาการดำเนินงาน									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
การศึกษาข้อมูลและวิธีการเก็บข้อมูลเบื้องต้น	↔									
การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม			↔							
การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนามในห้องปฏิบัติการ					↔					
การรวบรวมข้อมูลเพื่อสรุปความผลการศึกษา							↔			
อภิปรายและสรุปผลการศึกษา								↔		
นำเสนอข้อมูล									↔	

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงช่วงระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

1.3 พื้นที่ศึกษา (Location)

ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์

พื้นที่ศึกษาอยู่ภายในพื้นที่เหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด บริเวณสามแยกชะอำ ริมถนนทางหลวงหมายเลข 4 (รูปที่ 1.1) ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี บริเวณพิกัด $12^{\circ}48'45.95''N$ $99^{\circ}57'07.50''E$ (รูปที่ 1.2) โดยพบหินโผล่ที่มีแนวการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ยาวประมาณ 1 กิโลเมตร



รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศแสดงพื้นที่ศึกษา(กรอบสีแดง)บริเวณเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด บริเวณสามแยกชะอำ ริมถนนทางหลวงหมายเลข 4 ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมปี 2015 แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด บริเวณสามแยกชะอำ ริมถนนทางหลวงหมายเลข 4 ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี(Google earth)

สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาลหลัก จากการได้ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ช่วงฤดูฝน และได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือช่วงฤดูหนาว ดังนี้

ฤดูร้อน	ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม
ฤดูฝน	ช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม
ฤดูหนาว	ช่วงเดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

1.4 นิยามปัญหา (Problem defined)

ระบบรอยแตกและวิวัฒนาการรอยแตกบริเวณเขาถ้ำโหว่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี มีลักษณะเป็นอย่างไร

1.5 วัตถุประสงค์ (Objectives)

- เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างของระบบรอยแตกบริเวณเขาถ้ำโหว่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
- เพื่อศึกษาวิวัฒนาการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกบริเวณเขาถ้ำโหว่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

1.6 สมมติฐาน (Hypothesis)

ระบบรอยแตกและวิวัฒนาการรอยแตกบริเวณเขาถ้ำโหว่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี มีลักษณะความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของการชนกันของแผ่นเปลือกโลกไซบิวมาสูและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนในช่วงแรก และจากอิทธิพลของการชนกันของแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชียในช่วงถัดมา ส่งผลให้เกิดความซับซ้อนของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

1.7 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1.6.1 ระดับกลาง (Mesoscopic scale) เป็นการศึกษาและเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ ได้แก่ การวางตัวของชั้นหิน การวางตัวรอยแตก การบันทึกภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบรอยแตก และนำข้อมูลมากำหนดค่าลงบนตาข่ายมิติสเตอริโอเนตกราฟิกพื้นที่เท่า (Equal-area stereographic net) และแผนภาพกุหลาบ (Rose diagram)

1.6.2 ระดับจุลภาค (Microscopic scale) เป็นการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาค จากแผ่นหิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ จากตัวอย่างภาคสนามที่ระบุตำแหน่ง และการวางตัวของหิน

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected output)

- ทราบลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกบริเวณเขาถ้ำโหว่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
- ทราบวิวัฒนาการการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกบริเวณ เขาถ้ำโหว่ ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

1.9 ธรณีวิทยาทั่วไป (General geology)

ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปของจังหวัดเพชรบุรีแบ่งออกเป็นภูเขาสูงทางด้านตะวันตก โดยตะวันตกสุดของจังหวัดเพชรบุรีติดกับประเทศพม่าเป็นบริเวณที่สูงที่สุดของจังหวัดเพชรบุรี และค่อยๆลดระดับความสูงชันต่ำลงมาเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำและที่ราบฝั่งทะเลทางตะวันออกของจังหวัด โดยตะวันตกมีลักษณะของเทือกเขา ลักษณะยาวจากเหนือมาใต้ซึ่งเป็นสันกั้นน้ำในตัวเอง เป็นต้นน้ำของแม่น้ำเพชรบุรีและแม่น้ำปราณบุรีไหลลงสู่อ่าวไทย โดยพื้นที่ศึกษารองรับด้วยหินแข็งที่มีอายุอยู่ในช่วงยุคไซลูเลียน-ดีโวเนียน จนถึงตะกอนปัจจุบัน

จากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรีมาตราส่วน 1:250,000(กรมทรัพยากรธรณี, 2519)(รูปที่1.3) แสดงพื้นที่ศึกษาจัดอยู่ในกลุ่มหินราชบุรี โดยมีชั้นหินแบบฉบับอยู่ที่จังหวัดราชบุรี(Chaodumrong *et al.* 1998) เป็นหินในยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงตอนปลาย ลักษณะทั่วไปของหินในกลุ่มหินนี้ประกอบด้วยหินปูนสีเทาถึงสีเทาเข้มแสดงลักษณะเป็นกระเปาะของหินเชิร์ตแทรกอยู่และพบหินปูนเนื้อโคลโลไมต์เล็กน้อย บางที่มีหินทราย หินทรายแป้ง หินดินดานแทรกสลับอยู่บ้าง โดยพบกลุ่มหินนี้กระจายอยู่ทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออกของจังหวัดเพชรบุรี ซากดึกดำบรรพ์ที่พบส่วนใหญ่เป็น ฟิวซิลินิด (Dawson and Raysey, 1993) และส่วนน้อยเป็นพวก หอยแบรคคิโอพอด ประการัง แอมโมไนต์ และปลับลิงทะเล โดยกลุ่มหินราชบุรีแบ่งออกเป็น 5 หมวดหิน(Chaodumrong *et al.*, 2007) เรียงลำดับจากล่างขึ้นบน คือ หมวดหินทุ่งนางลิง(Thung Nang Ling Fm.) หมวดหินเขาเมืองครุฑ(Khao Muang Khrut sandstone) หมวดหินพับผ้า(Phap Pha Fm.) หมวดหินพนมวัง(Phanom Wang Fm.) และหมวดหินอุ้มลูก(Um Luk Fm.)

1.10 ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural geology)

การวางตัวของชั้นหิน ส่วนใหญ่มีแนวการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และมีทิศทางการเอียงเทของหินส่วนใหญ่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

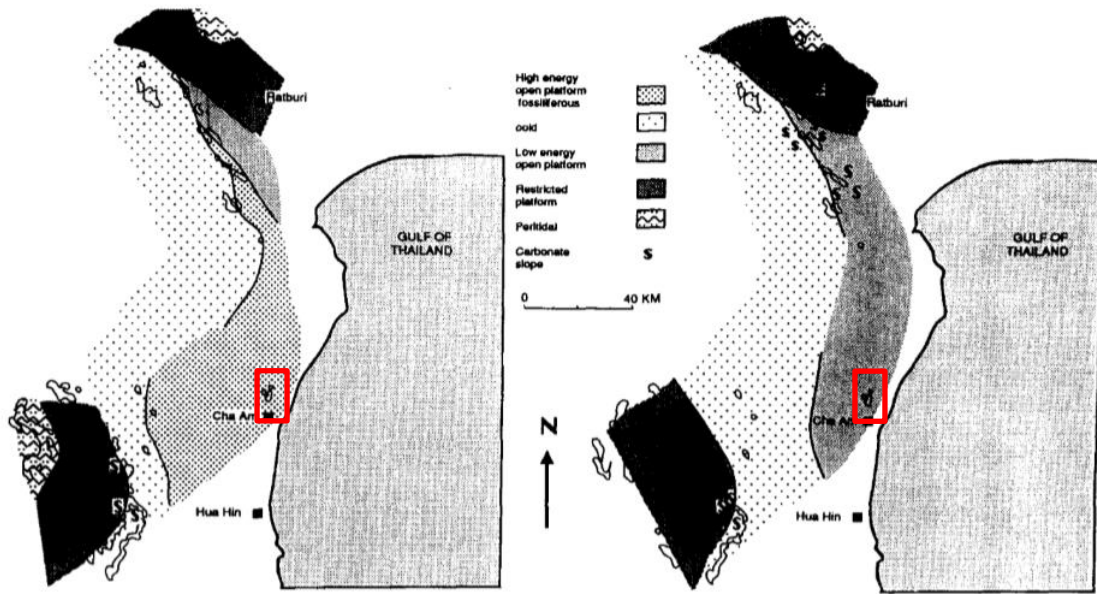
ชั้นหินคดโค้ง แสดงลักษณะประทุนหงายขนาดใหญ่ในทิศทางเดียวกับการวางตัวของชั้นหิน คือแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

รอยเลื่อน พบรอยเลื่อนกระจายตัวอยู่ทางตอนกลางของจังหวัด พบมากในหินแข็งซึ่งมีแนวรอยเลื่อนหลักอยู่ 2 แนวคือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

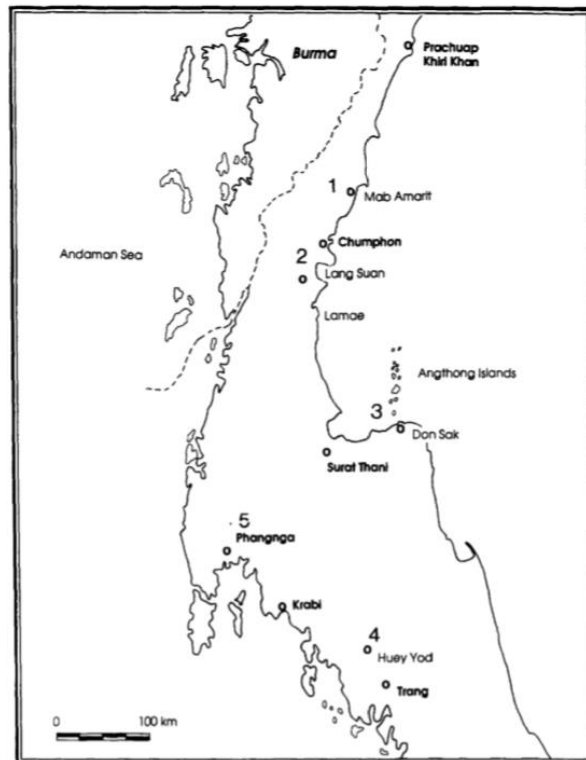
1.10 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

Hills (1989) ศึกษาสภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวของหินปูนราชบุรี โดยศึกษาหินหล่น (Drop stone) ที่ตกสะสมในแอ่งสะสมตะกอน และรอยครูดธารน้ำแข็ง (Tillites) ในช่วงแผ่นทวีปฉานไทยเลื่อนตัวขึ้นเหนือจากแผ่นมหาทวีปกอนด์วานา โดยกระบวนการตกสะสมตัวแบบกองเศษหินไหล (Debris flow) เป็นช่วงตกสะสมตะกอนของหินในกลุ่มแกร่งกระงาน และมีการตกสะสมของหินปูนเพอร์เมียนราชบุรีบริเวณ Carbonate platform ปิดทับต่อเนื่องบนกลุ่มหินแกร่งกระงาน

Baired and Bosence (1993) ศึกษาออกซิเจน/คาร์บอนไอโซโทปจากข้อมูลตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหลุมเจาะบริเวณราชบุรี ชะอำ หัวหิน เช่น ฟิวซิลินิด (Fusulinids) หอยแบรคิโอพอด (Brachiopods) สาหร่ายทะเล (Green algae) ปะการัง (Corals) และหอยสองฝา (Bivalves) บอกรสภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวของคาร์บอนบนแผ่นทวีปฉานไทยช่วงตอนกลางถึงตอนปลายยุคเพอร์เมียนแบบลานกว้างคาร์บอนेट (Carbonate platform) จากธรณีแปรสัณฐานแบบดึงออก (Extensional tectonics) และเริ่มแสดงลักษณะภูมิประเทศแบบคลาสต์ (Karst topography) เมื่อเกิดการยกตัว (Uplift) จากการมุดตัวลงของแผ่นทวีปฉานไทยได้ แผ่นทวีปอินโดจีนนำไปทางทิศตะวันออก และจากการทำ Facies association บริเวณพื้นที่ศึกษาบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมช่วงแรกเป็นแบบ High energy open platform จากการพบหินลักษณะปูนแบบ Boundstones fossiliferous grainstones และ ooidstone และสภาพแวดล้อมช่วงหลังปรากฏหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์น้อยกว่า ช่วงแรกบอกลักษณะการตกสะสมแบบ Low energy open platform (รูปที่ 1.4)



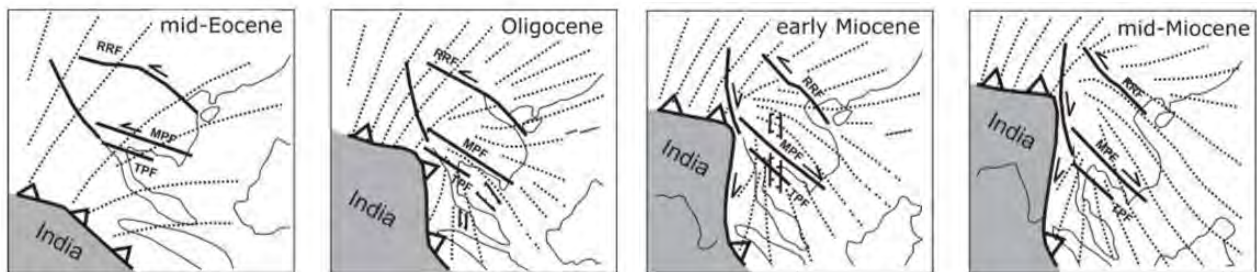
รูปที่ 1.4 บริเวณพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดงบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมช่วงแรกเป็นแบบ High energy open platform (รูปซ้าย)และสภาพแวดล้อมช่วงหลัง(รูปขวา)ปรากฏหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์น้อยกว่าช่วงแรกบอถึงมีการเปลี่ยนแปลงการตกสะสมแบบ Low energy open platform(modified from Baird and Bosence, 1993)



รูปที่ 1.5 แสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์เพื่อหาอายุเทียบสัมพัทธ์(Relative age)ระบุนายุเพอร์เมียนของกลุ่มหินราชบุรี(Modified from Dawson and Raysey, 1993)

Dawson and Raysey (1993) หาอายุสัมพัทธ์(Relative age)จากซากดึกดำบรรพ์บริเวณภาคใต้ของประเทศไทย(Peninsular Thailand)ในหินปูน พบฟิวซูลินิด(fusulinids) ฟอแรมขนาดเล็ก(smaller foraminifera) สาหร่าย(algae) ปะการัง(corals) เปลือกหอย(fragment shell) เอไคโนเดิร์ม(echinoderm) และไบรโอซัว(Bryozoa) โดยเน้นศึกษาฟิวซูลินิดในแต่ละจุดศึกษา(รูปที่ 1.5) พบ 3สกุลคือ Shanita, Abadahella และ Colaniella ที่บ่งบอกอายุอยู่ในยุคเพอร์เมียนตอนปลาย(Dzhulfian-Dorashamian)

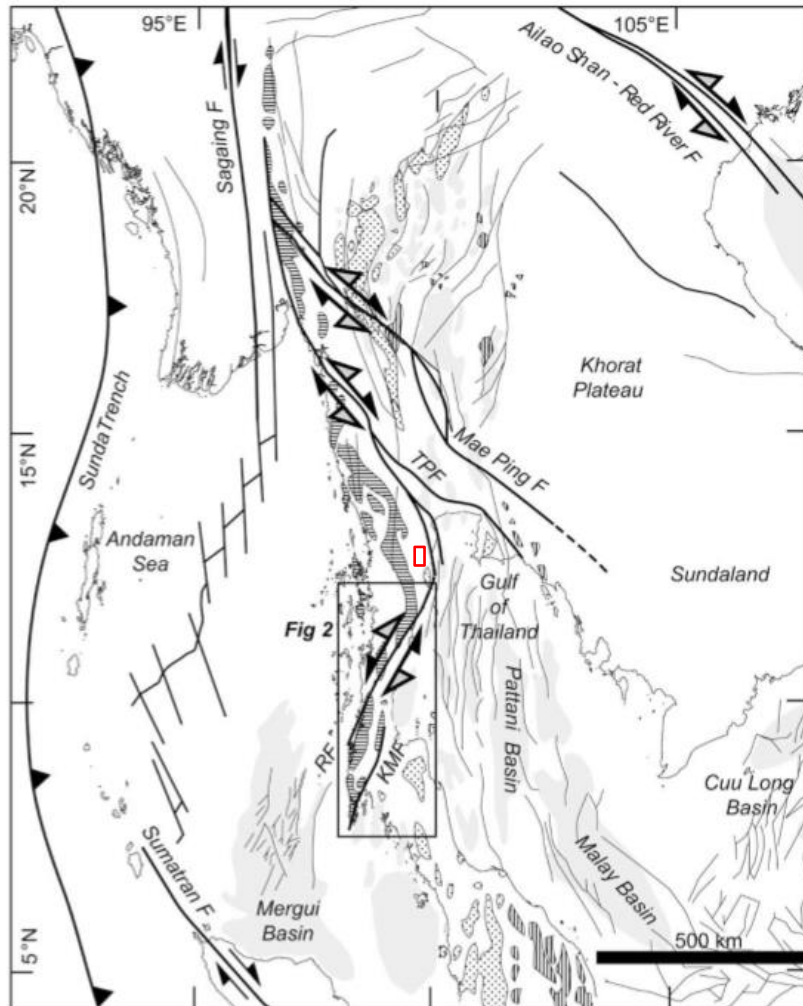
Bunopas (1981) คนแรกที่อธิบายธรณีแปรสัณฐานในประเทศไทย และให้นิยามของหินปูนบนชั้นหน้าเป็นหินปูนยุคเพอร์เมียน ถูกตั้งชื่อกลุ่มหินราชบุรีครั้งแรกโดย Javanaphet (1969) และ Chaodumrong *et al.* (1998) ได้ศึกษากลุ่มหินปูนราชบุรีบนแผ่นทวีปจานไทย(รูปที่ 1.6) และได้แบ่งหมวดหินออกเป็น 5 หมวดหินตามลักษณะทางกายภาพที่มีอายุอยู่ในช่วง Middle - Late Permian เช่น คุณสมบัติของหิน ชนิดหิน และการวางตัวของชั้นหิน โดยเรียงจากอายุมากไปอายุน้อยดังนี้ หมวดหินทุ่งนางลิ่ง หมวดหินเขาเมืองครุฑ หมวดหินพับผ้า หมวดหินพนมวัง และหมวดหินอุ่มลูก โดยส่วนใหญ่พบหมวดหินพับผ้า และหมวดหินอุ่มลูก กลุ่มหินราชบุรีวางตัวไม่ต่อเนื่องกับกลุ่มหินแกร่งกระจานเนื่องมาจากไม่พบข้อมูลซากดึกดำบรรพ์ในช่วงอายุ Late Carboniferous โดยกลุ่มหินแกร่งกระจานมีอายุอยู่ในช่วง Carboniferous-Early Permian จากการศึกษาดูตัวอย่างที่บิดเบี้ยว(Distorted specimen) โดย Raksaskulwong and Wongwanich (1993)



รูปที่ 1.6 แบบจำลองแสดงการหมุนตามเข็มนาฬิกาของรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และรอยเลื่อนแม่ปิงจากการเปลี่ยนทิศทางของแรงเค้นมากที่สุด(Maximum stress)จากการชนกันของแผ่นอินเดียนกับแผ่นยูเรเชียช่วง Mid Eocene - Mid Miocene (Modified from Huchon, 1994)

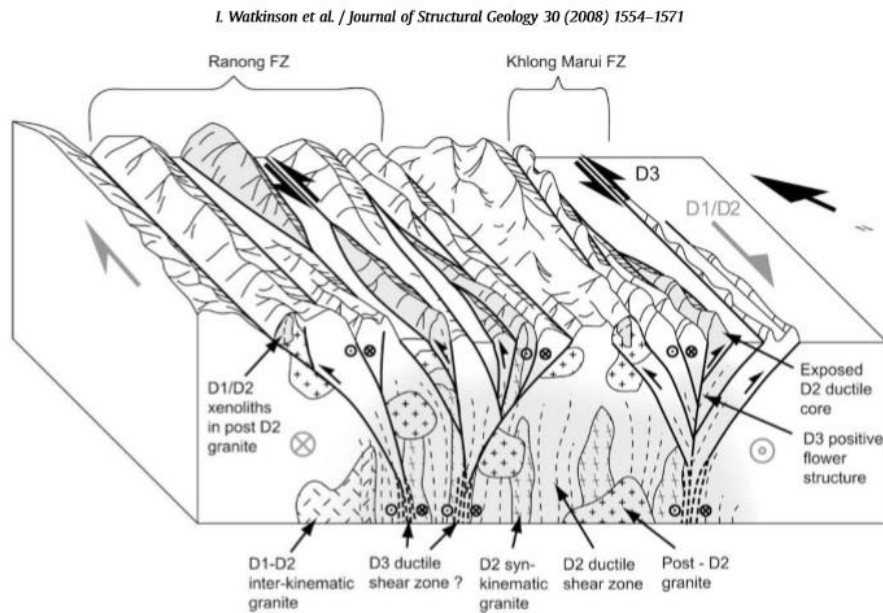
Charusiri *et al.* (2000) ศึกษาวิวัฒนาการของรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ในช่วงยุคเทอร์เชียรี จากการชนกันของแผ่นทวีปชานไทยและแผ่นทวีปอินโดจีน่า ส่งผลให้รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และรอยเลื่อนแม่ปิงเกิดการหมุนจากแนวเดิมไป 100 องศาปรากฏทิศทางการวางตัวปัจจุบันแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งส่งผลให้หินมหายุคพาลีโอโซอิกและมีโซโซอิกบริเวณตะวันตกของประเทศไทยเปลี่ยนแนวการวางตัวขนานกับรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และได้แบ่งวิวัฒนาการโดยอาศัยโมเดลการหมุนของแรงเค้นมากที่สุด(Maximum stress)(Huchon, 1994)(รูปที่1.7)ในการอธิบายการเกิดวิวัฒนาการร่วมด้วยได้ทั้งหมด 4 ขั้นตอนคือ 1)ช่วงต้น

ของการเกิดการหมุน เกิดรอยเลื่อนซ้ายเข้าแบบเนียน(Left lateral ductile strike-slip fault)ในแนวเนียนแบบ Transpression ของช่วงอีโอซีน-โอลิโกซีน(Eocene - Oligocene) 2)ช่วงเกิดการหมุนของรอยเลื่อนแนวระดับแบบตามเข็มนาฬิกา เกิดรอยเลื่อนแนวระดับขวาเข้าแบบแตกเปราะ(Right lateral brittle strike-slip fault)ในแนวเนียนแบบ Transtension 3)ช่วงหลังจากการหมุนตามเข็มนาฬิกาของรอยเลื่อน เกิดการกักร่อนจากกระแสน้ำตรงกับช่วงโอลิโกซีน-ไมโอซีน(Oligocene - Miocene) และ4)ตกสะสมตัวของตะกอนควอเทอร์นารี เกิดรอยเลื่อนแนวระดับขวาเข้า(Right lateral strike slip fault)ในแนวเนียนแบบ Transpression



รูปที่ 1.7 แผนที่ประเทศไทยแสดงรอยเลื่อนแม่ปิงและรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์วางตัวแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และรอยเลื่อนระนองกับรอยเลื่อนคลองมะลุ่ยที่วางตัวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทำมุม 100 องศาตามเข็มนาฬิกา และแสดงตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณตอนปลายของรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ภายในกรอบสีแดง(Modified from Watkinson *et al.*, 2008)

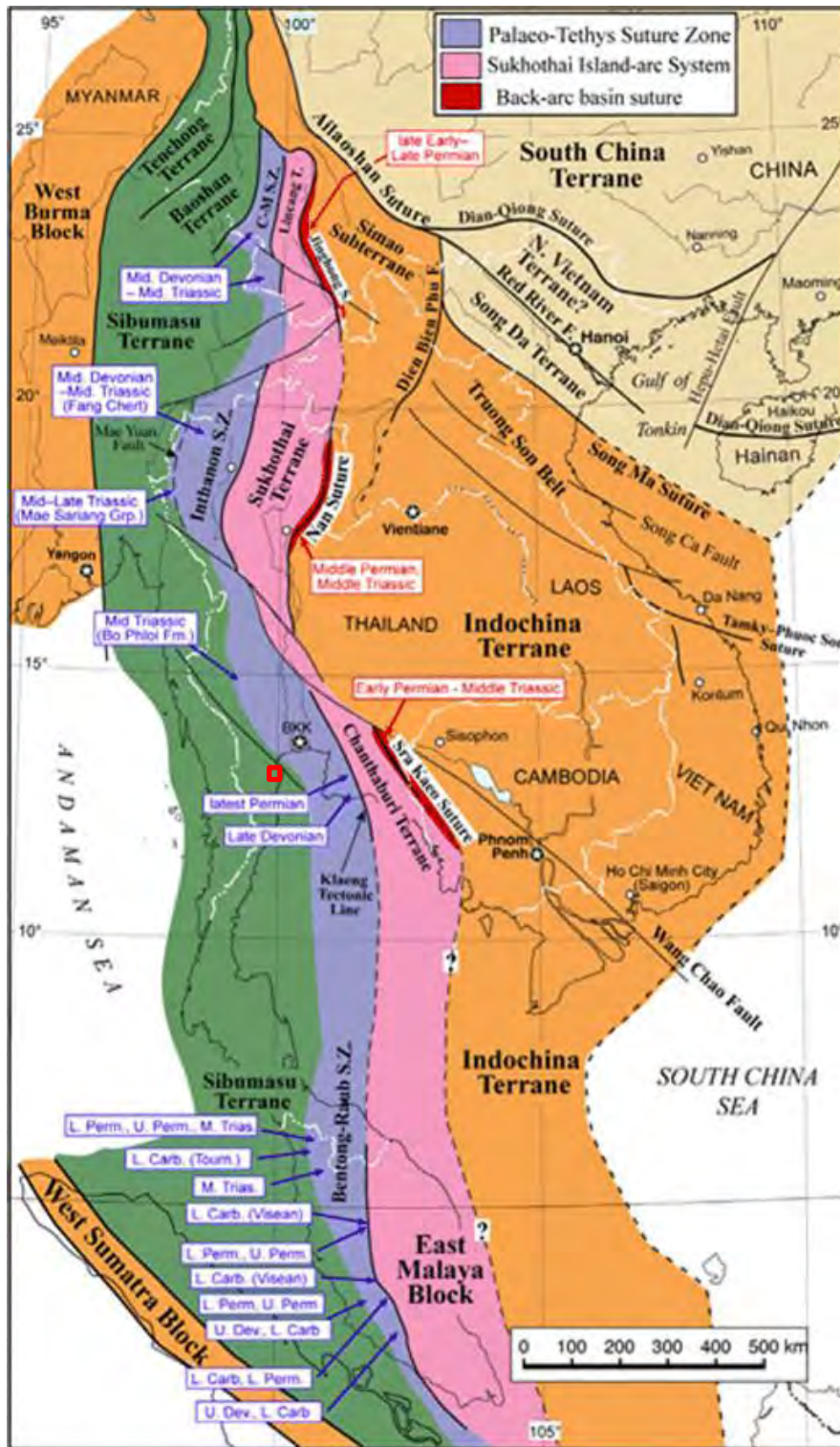
Watkinson *et al.* (2008) ศึกษารอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยที่วางตัวแนว ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ทางตอนใต้ของประเทศไทย โดยมีมุมห่างจากรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ทวนเข็มนาฬิกาประมาณ 100 องศา (รูปที่ 1.8) ได้แบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงลักษณะออกเป็น 4 ช่วงที่มีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับแนวเดือนของรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์คือ 1) ช่วงการเปลี่ยนลักษณะครั้งแรกแสดงรอยเลื่อนแนวระดับขวาเข้าแบบเนียนแปรสภาพต่ำ (Low grade ductile dextral strike-slip fault) เกิดก่อนยุคไทรแอสซิกตอนปลาย ประมาณ 87 ล้านปีจากการหาอายุ Monazite dating ที่คอกยอินทนนท์ 2) ช่วงการเปลี่ยนลักษณะครั้งที่ 2 แสดงรอยเลื่อนแนวระดับขวาเข้าแบบเนียนแปรสภาพกลางถึงสูง (Medium to High grade ductile dextral strike-slip fault) เกิดการเลื่อนตัวช่วงพาลีโอซีนถึงอีโอซีน 3) ช่วงการเปลี่ยนลักษณะครั้งที่ 3) แสดงรอยเลื่อนย้อนแนวระดับซ้ายเข้าแบบแตกเปราะ (Brittle sinistral reverse oblique fault) เกิดช่วงอีโอซีนถึงโอลีโกซีน เป็นช่วงตรงกับ syn-rift (Hall and Morley, 2004) และ 4) ช่วงการเปลี่ยนลักษณะครั้งที่ 4) แสดงรอยเลื่อนแนวระดับขวาเข้าแบบแตกเปราะ (Brittle dextral strike-slip fault) จนถึงปัจจุบัน



รูปที่ 1.8 แบบจำลองแสดงกระบวนการเปลี่ยนลักษณะของรอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย โดยสีเทาแสดงหินที่เกิดการแปรสภาพบริเวณแนวเขตเฉือน (Shear zone) ที่โดนตัดด้วยหินอัคนีแทรกดัน เป็นช่วงการเปลี่ยนลักษณะ D1-D2 และเกิดรอยเลื่อนแนวระดับซ้ายเข้าแบบบีบอัด (Sinistral positive flower structure) ในช่วงการเปลี่ยนลักษณะ D3 และรอยเลื่อนแบบแตกเปราะที่อยู่ด้านล่างของรอยเลื่อนแบบเนียนเป็นการเปลี่ยนลักษณะช่วง D4 (Modified from Watkinson *et al.*, 2008)

Metcalfe (2013) อธิบายธรณีแปรสัณฐานแบ่งออกเป็น 3 เหตุการณ์หลักของการปิดตัวลงของมหาสมุทรโบราณจนกระทั่งกลายเป็นประเทศไทยในปัจจุบัน(รูปที่1.9) เริ่มจากPaleotethys (ช่วง Devonian-Triassic) Mesotethys (ช่วง Late Early Permian-Late Cretaceous) และช่วงสุดท้าย Cenotethys (ช่วง Late Triassic-Late Cretaceous) จากการศึกษาภาวะแม่เหล็กบรรพกาล(Paleotethys) ภูมิอากาศบรรพกาลวิทยา (Paleoclimatology) และภูมิศาสตร์บรรพกาล โดยเริ่มแรกช่วงPrecambrian แผ่นเปลือกโลกฉานไทย(Shan Thai) และแผ่นเปลือกโลกอินโดไชน่า(Indochina plate)เป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกกอนด์วานา(Gondwana)อยู่ทางเหนือของแผ่นออสเตรเลีย และเริ่มเกิดการยกตัวของแผ่นทวีปกอนด์วานาเกิดการแยกออกของแผ่นอินโดไชน่าช่วงกลางยุคดีโวเนียน(Middle Devonian) เคลื่อนตัวจากซีกโลกใต้ขึ้นมาทางทิศเหนือจนกระทั่งอยู่เหนือบริเวณเส้นศูนย์สูตร(Equation-Low northern Paleolatitute) ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัส(Carboniferous)เริ่มตกสะสมตะกอนภายในแอ่งPaleotethysเป็นครั้งแรกบนแผ่นอินโดจีนจนกระทั่งถึงช่วงตอนต้นยุคเพอร์เมียน(Early Permian) ทางฝั่งของแผ่นทวีปฉานไทยเริ่มแยกตัวออกจากแผ่นทวีปกอนด์วานาในช่วงตอนต้นถึงตอนปลายของยุคเพอร์เมียน(Early-Middle Permian)มีการตกสะสมตะกอนจากธารน้ำแข็ง(Glaciomarine)ของกลุ่มหินแก่งกระจาน(Kaeng Kragan Group) และเริ่มเปิดมหาสมุทรโบราณMesotethysขึ้นในเวลาถัดมา(รูปที่1.10) โดยเวลานี้เริ่มการตกสะสมของกลุ่มหินราชบุรีขึ้นเนื่องจากเคลื่อนตัวเข้าใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับตกตะกอนหินคาร์บอนเตตตั้งแต่ตอนกลางถึงตอนปลายของยุคเพอร์เมียน และเกิดการมุดตัว(Subduction)ของแผ่นทวีปฉานไทยใต้แผ่นทวีปอินโดจีนในช่วงต้นของยุคไทรแอสซิก(Early Triassic) และชนกันสนิท ปิดตัวลงของมหาสมุทรโบราณPaleotethysช่วงประมาณยุคไทรแอสซิกตอนปลายถึงตอนต้นยุคจูแรสซิก(Late Triassic-Early Jurassic) เกิดแนวตะเข็บ(suture)ระหว่างสองแผ่นทวีปขึ้น ส่งผลให้เกิดชั้นหินคดโค้งและรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำขึ้นอย่างมากบริเวณรอยต่อของทั้งสองแผ่นทวีป และเกิดเล็กน้อยบริเวณสองฝั่งถัดออกไปจากแนวตะเข็บ(รูปที่1.11)

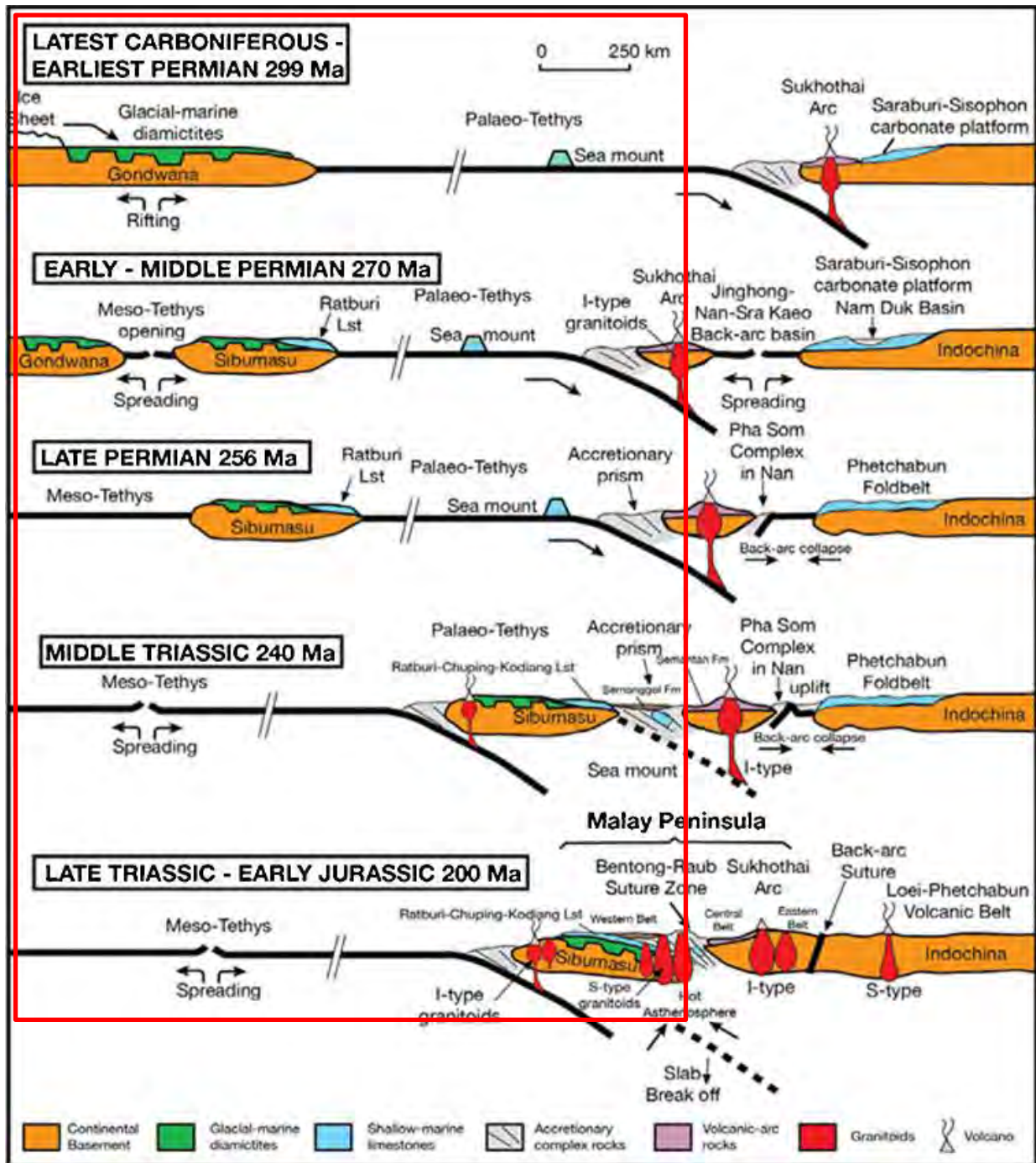
กรมทรัพยากรธรณีและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2543) ได้ทำโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูเขานางพันธุรัต จากการสำรวจพื้นที่บริเวณตอนล่างของเขานางพันธุรัตพบหินปูนวางตัวอยู่บนหินดินดานแสดงรอยแตก 3 แนวตัดกัน ส่งผลให้เสถียรภาพบริเวณเขานางพันธุรัตมีความเสถียรภาพทางวิศวกรรมธรณีวิทยาอยู่ในระดับต่ำ จึงได้มีการแบ่งเขตเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาเสถียรภาพต่ำขึ้น โดยพื้นที่ศึกษาจัดอยู่เขตพัฒนาคือบริเวณที่เหมาะสมในการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เชิงเศรษฐกิจ



รูปที่ 1.9 แผนที่ประเทศไทยแสดงแผ่นทวีปฉาน ไทยและแผ่นทวีปอินโดจีนนำที่มีแนวอินทนนท์และแนวสุโขทัยเป็นตัวแบ่งทั้งสองแผ่นออกจากกัน และแสดงพื้นที่ศึกษาในกรอบสีแดงบนแผ่นทวีปฉานไทย (Modified from Sone and Metcalfe, 2008)



รูปที่ 1.10 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปในช่วงยุคเพอร์เมียน แสดงการเปิดมหาสมุทรโบราณ Paleotethys และ Mesotethys และแสดงการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปฉานไทยไปทางทิศเหนือเคลื่อนตัวจากซีกโลกใต้ชนกับแผ่นทวีปอินโดจีนมาตามลำดับจากรูป A, B และ C (Modified from Metcalfe, 2013)



รูปที่ 1.11 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกงานไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนช่วงตอนปลายของยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงตอนต้นของยุคจูแรสซิก บริเวณกรอบสีแดงแสดงธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา (Modified from Metcalfe, 2013)

บทที่ 2

ระเบียบวิธีวิจัย(Methodology)

รูปแบบการศึกษาในรายงานเล่มนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนเริ่มจาก การศึกษาข้อมูลและวิธีการเก็บข้อมูลเบื้องต้น การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนามในห้องปฏิบัติการ การรวบรวมข้อมูลเพื่อสรุปผลการศึกษา อภิปรายและสรุปผลการศึกษา และนำเสนอข้อมูล โดยระยะเวลาขั้นตอนการดำเนินงาน(รูปที่ 2.7)และรายละเอียดของแต่ละหัวข้อมีดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาข้อมูลและวิธีการเก็บข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ❖ ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปบริเวณพื้นที่ศึกษา
- ❖ ข้อมูลงานวิจัยธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกี่ยวข้องในบริเวณพื้นที่ศึกษา
- ❖ ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของตัวอย่างหิน โผล่ในพื้นที่ศึกษา ระดับมหัศจรรย์ (Mesoscopic scale)
- ❖ ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างของตัวอย่างหิน โผล่ในพื้นที่ศึกษา ระดับจุลภาค (Microscopic scale)

2.1.2 ศึกษาขั้นตอนการเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากการสำรวจภาคสนาม และการศึกษา

ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์

- ❖ โครงสร้างระดับมหัศจรรย์ โดยการบันทึกค่าการวางตัวโครงสร้างธรณีวิทยาของหิน โผล่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ต้องบันทึกโครงสร้างที่ปรากฏทั้งหมดในภาคสนามเพื่อให้การแปลความมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และควรมีแผนที่พื้นที่ศึกษาขนาดเล็กเพื่อดูแนวโน้มของโครงสร้างธรณีวิทยาขณะทำการสำรวจ
- ❖ โครงสร้างระดับจุลภาค ศึกษาข้อมูลจากแผ่นหินขัดบาง โดยนำตัวอย่างที่ได้จากภาคสนามที่ระบุตำแหน่งและค่าการวางตัวของตัวอย่าง มาศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) เพื่อรู้ทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำให้เกิดโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.1.3 เตรียมข้อมูลพื้นฐานก่อนออกภาคสนาม เพื่อให้การเข้าถึงพื้นที่ศึกษาสะดวกรวดเร็วและเพื่อวางแผนในการเก็บข้อมูลและตัวอย่างหินในแต่ละจุดศึกษา

แผนที่ธรณีวิทยา

- ❖ แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรี มาตราส่วน 1:250,000 พ.ศ.2528 ตีพิมพ์ครั้งที่ 1 ระวัง ND47-15 อำเภอหัวหิน จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย
- ❖ แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบุรี มาตราส่วน 1:250,000 พ.ศ. 2550 แผนที่ภูมิศาสตร์
- ❖ ลำดับชุด L7018 ระวัง 4934 I มาตราส่วน 1:50,000 จังหวัดเพชรบุรี

ศึกษาข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไป ธรณีวิทยาโครงสร้าง ธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสืบค้นข้อมูลจากหนังสือ วารสารงานวิจัย เอกสารงานประชุมจากห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจากทางอินเทอร์เน็ต

2.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม

2.2.1 การบันทึกข้อมูลหิน โผล่

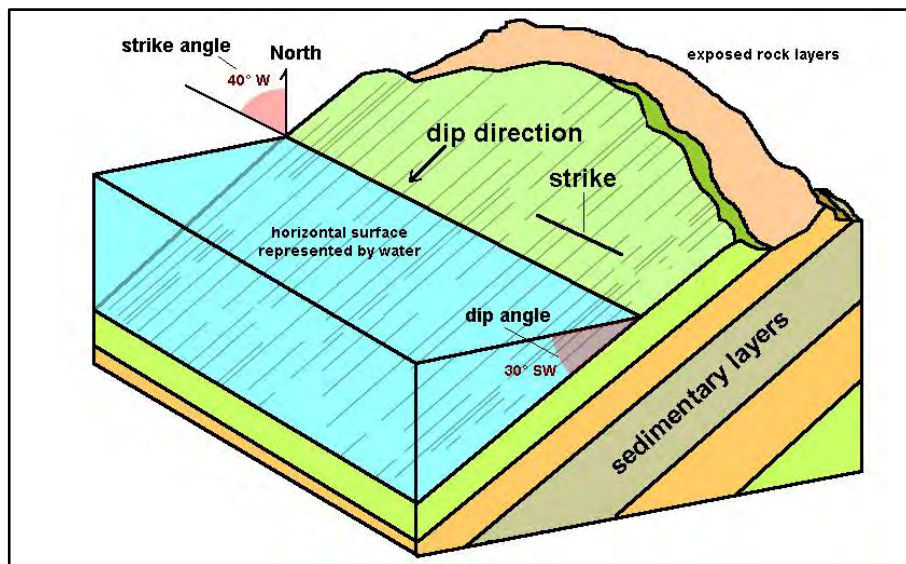
ใช้เข็มทิศวัดโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สนใจ อาทิเช่น รอยแตก ระบายรอยเลื่อน ค่าการวางตัวและเอียงเทของชั้นหิน ลักษณะทางกายภาพของหิน โผล่ และลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างอื่นๆที่ปรากฏบนหิน โผล่ บริเวณที่สนใจ

2.2.2 การบันทึกภาพลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา

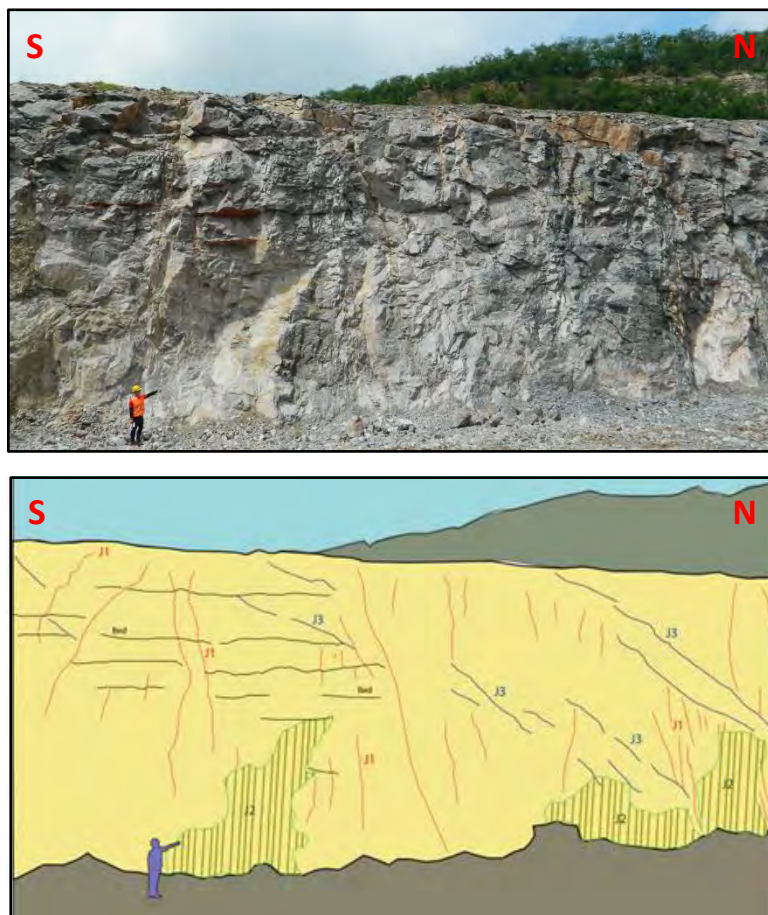
จุดประสงค์ของการบันทึกลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาในรายงานเล่มนี้คือ เพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบรอยแตกและเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสำรวจภาคสนามและโครงสร้างธรณีวิทยาที่ปรากฏในภาคสนามอื่นๆ เช่น โครงสร้างแนวเส้น รอยเลื่อน และรอยแตก เป็นต้น

2.2.3 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง

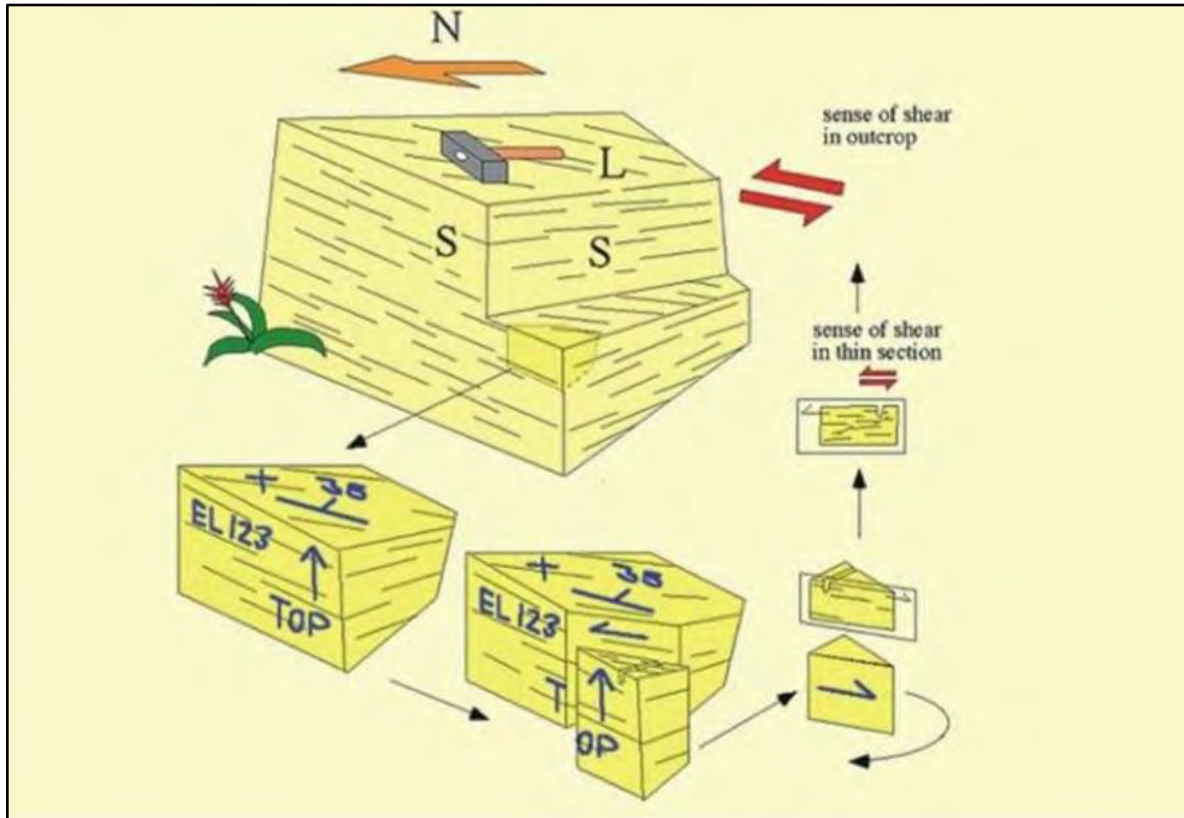
การเก็บตัวอย่างหินจากภาคสนามเพื่อนำกลับมาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค โดยตัวอย่างหินที่นำกลับมาจะต้องมีขนาดมากกว่า 15x15x15 ตารางเซนติเมตร และต้องบันทึกค่าระนาบการวางตัวอย่างน้อยหนึ่งระนาบลงบนตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นระนาบอ้างอิงของหิน โผล่ที่เราเก็บกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป



รูปที่ 2.1 แบบจำลองสามมิติแสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน(Strike) ทิศทางของมุมเอียงเท(Dip direction) และมุมเอียงเทของชั้นหิน(Dip angle)(<http://geologycafe.com/images/strike-n-dip.jpg/> Accessed by March 2016)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการบันทึกภาพถ่ายจากหิน โผล่เพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบรอยแตก(บน) และแสดงเป็นภาพร่างของหิน โผล่เพื่อให้ผู้อ่านทราบแนวการวางตัวของโครงสร้างธรณีวิทยาชัดเจนมากยิ่งขึ้น(ล่าง)

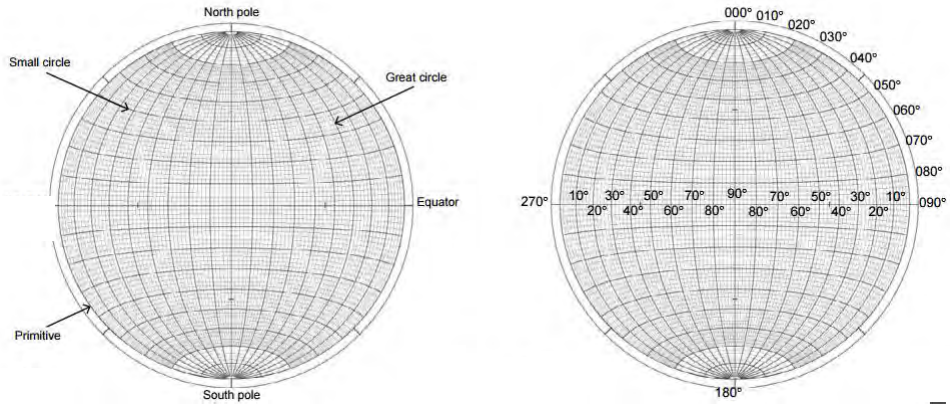


รูปที่ 2.3 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งจากภาคสนาม เพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ (Passchier and Trouw, 2005)

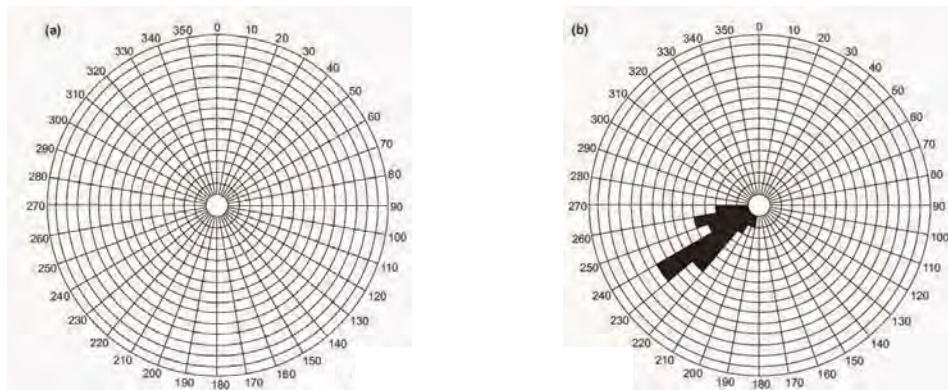
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนามในห้องปฏิบัติการ

2.3.1 กำหนดข้อมูล โครงสร้างธรณีวิทยาจากภาคสนามลงบนตาข่ายสเตริโอเน็ตชนิดพื้นที่เท่า และแผนภาพกุหลาบ

การนำค่าการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างต่างๆจากภาคสนามมาวิเคราะห์ลงบนตาข่ายสเตริโอเน็ตชนิดพื้นที่เท่าและแผนผังดอกกุหลาบ เพื่อคุณลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของการเปลี่ยนแปลงและการแตกหักในการศึกษาระดับกลางที่ปรากฏในพื้นที่ศึกษา และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตีความและสรุปผลระบบรอยแตกและวิวัฒนาการรอยแตก



รูปที่ 2.4 ตาข่ายสเตอริโอเนตชนิดพื้นที่เท่าใช้กำหนดข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงองค์ประกอบของตาข่ายสเตอริโอเนต(ซ้าย) และแสดงองศาของทิศทางและมุมเอียงเท(ซ้าย)(Leyshon and Lyle, 2004)



รูปที่ 2.5 แผนผังดอกกุหลาบใช้กำหนดตำแหน่งข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษา(ซ้าย) และตัวอย่างกำหนดข้อมูลที่แสดงทิศทางแรงเค้นหลัก(Maximum stress)เข้ามาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้(ซ้าย) (<http://1.bp.blogspot.com/1EEqpWfwRjE/VLEth5kFLOI/AAAAAAAAADw4/8if9Kl6HJos/s1600/Untitled.jpg> / Accessed March 10, 2016)

2.3.2 ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคจากแผ่นหินขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับจุลภาค และเนื้อผิว(Texture)ของแร่ในหิน รวมถึงระดับการแปรสภาพของหินที่เกิดภายใต้ความดันและอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแผ่นหินขัดบางเพื่อให้เห็นโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับจุลภาคและชนิดแร่ชัดเจนมากที่สุดมีลำดับดังนี้

- นำตัวอย่างที่ระบุตำแหน่งที่กำหนดค่าร่วขนานค่าการวางตัวของชั้นหินจากภาคสนาม มากำหนดแนวตัดให้ตั้งฉากกับร่วขนานและขนานกับโครงสร้างเชิงเส้นในกรณีหินที่แสดงลักษณะแบบยึดหยุ่น

(Ductile) หรือตั้งฉากกับค่าการวางตัวของชั้นหิน(Strike)และขนานกับทิศทางเอียงเทในกรณีหินที่แสดงลักษณะเนื้อหินแบบแตกเปราะ(Elastic) เพื่อดูลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกิดจากแรงเค้น(Stress)ในแต่ละทิศทางที่เข้ามากระทำและส่งผลให้เกิดความซับซ้อนของระบบรอยแตกในพื้นที่ศึกษา

➤ พิจารณาเนื้อหินเพื่อแบ่งหรือเลือกบริเวณที่คาดว่าแสดงลักษณะความสัมพันธ์ของรอยแตก โดยอาศัยลักษณะเนื้อหิน รอยต่อความแตกต่างระหว่างเนื้อหิน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของธรณีวิทยาโครงสร้าง นำมาตัดแผ่นหินบางที่มีขนาดเท่ากับแผ่นกระจกใส และกำหนดทิศทางด้านบน-ล่างของตัวอย่างไว้ที่แผ่นกระจกใสเพื่อรู้รูปแบบการวางตัวของตัวอย่างที่เราสนใจอยู่เสมอ

➤ เลือกฝั่งของแผ่นหินบางที่ต้องการพิจารณาโครงสร้าง โดยเลือกฝั่งที่ต้องการศึกษาคัดกับแผ่นกระจกบางด้วยกาวบาวซัม(Balsum) และทิ้งตัวอย่างให้กาวแห้ง 1-2วัน ระวังอย่าติดแผ่นหินขัดบางผิวด้าน เพราะจะทำให้การตีความเกิดความผิดพลาดได้

➤ ทำการขัดบางด้วยเครื่องขัดละเอียด และขัดด้วยผงขัดบาง600 ไมโครเมตรและ 1,000 ไมโครเมตร เพื่อให้ตัวอย่างบางพอสำหรับส่องดูแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์(ควรลงแรงขัดให้เท่ากันเพื่อพิจารณาตัวอย่างได้ทั้งแผ่นหินบาง)

2.4 การรวบรวมข้อมูลเพื่อตีผลการศึกษา

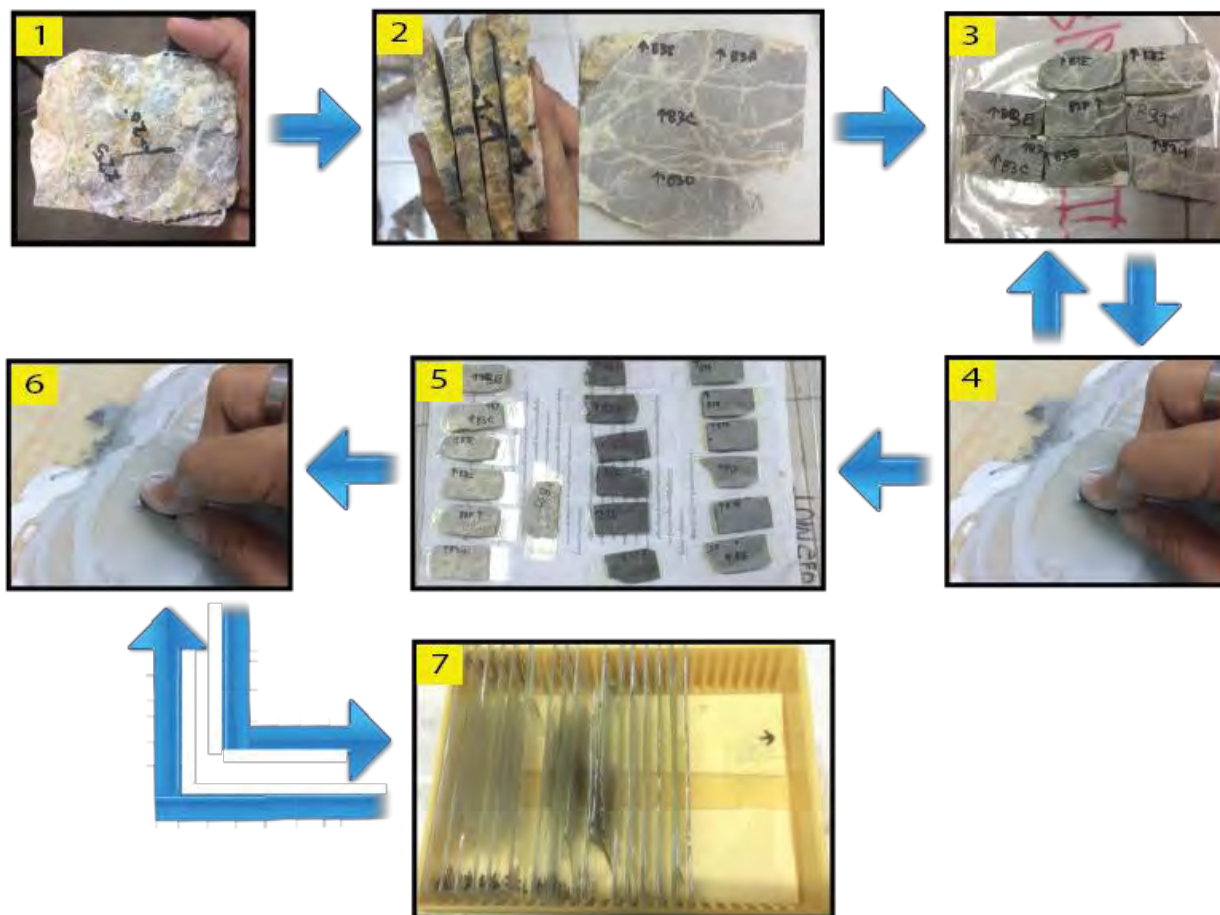
รวบรวมข้อมูลทั้งหมดทั้งจากภาคสนามและจากห้องปฏิบัติการ เช่น ข้อมูลโครงสร้างธรณีวิทยาภาคสนามจากการกำหนดข้อมูลลงในตาข่ายสเตอริโอเน็ตชนิดพื้นที่เท่าและแผนผังดอกกุหลาบ และข้อมูลธรณีโครงสร้างระดับจุลภาคจากการส่องกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ใช้แสง เพื่อวิเคราะห์ระบบรอยแตกและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นที่ศึกษา

2.5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

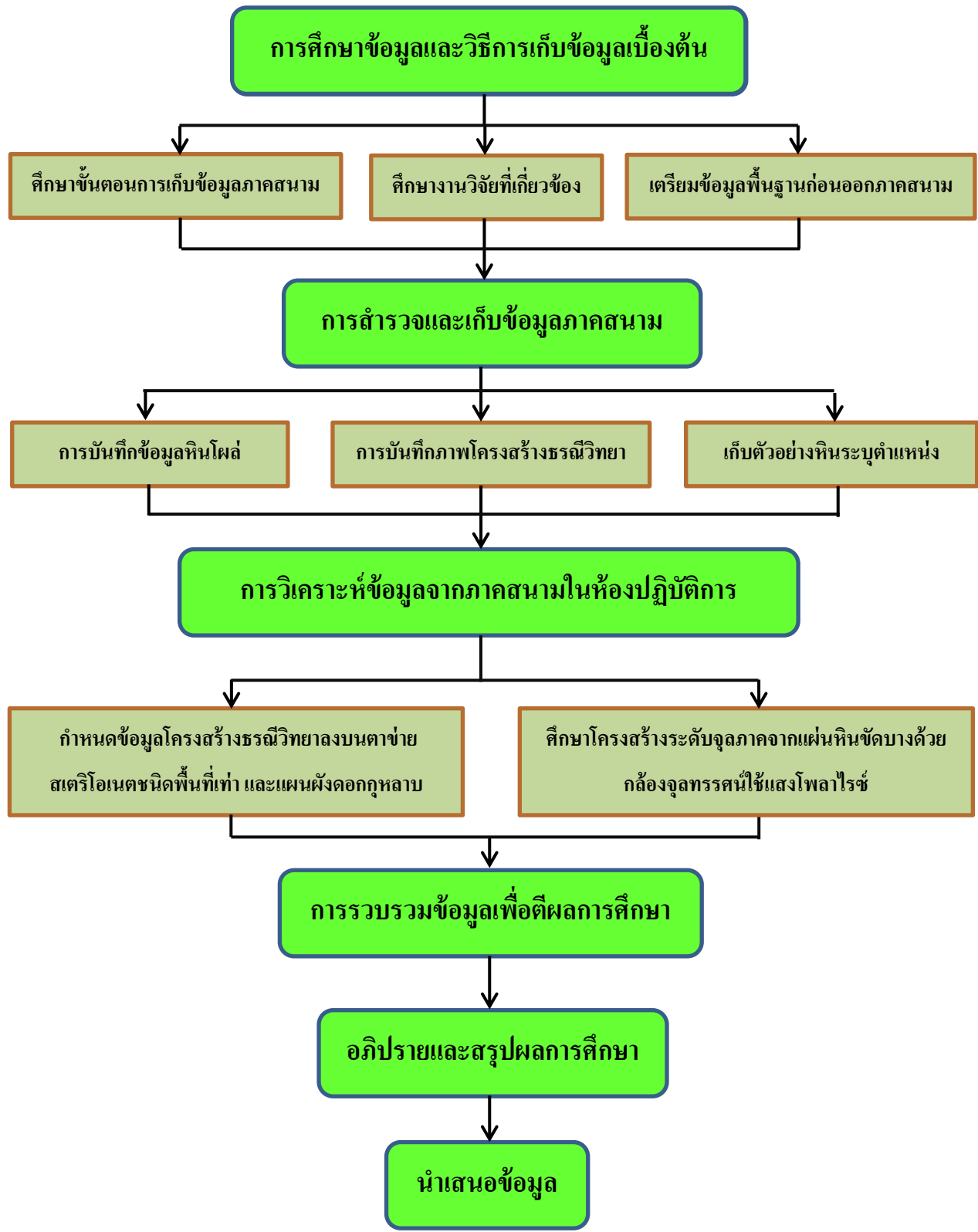
นำข้อมูลที่รวบรวมมาอภิปรายในเรื่องลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างรอยแตก วิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างรอยแตก และวิวัฒนาการการแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา โดยวิเคราะห์ร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สนับสนุนข้อมูลที่ได้จากการศึกษา และสรุปผลการศึกษาทั้งหมด

2.6 นำเสนอข้อมูล

จัดทำรายงานเป็นรูปเล่มและนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของการสัมมนา



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแผ่นหินบาง 1)เตรียมตัวอย่างที่ระบุค่าการวางตัวของชั้นหิน, 2)ตัดหินตั้งฉากแนวการวางตัวของชั้นหินพร้อมระบุด้านบน-ด้านล่าง, 3)ตัดหินบางให้มีขนาดเท่ากับแผ่นสไลด์กระจกใส, 4)ขัดตัวอย่างด้วยเครื่องขัดละเอียดก่อนขัดด้วยผงขัด 600 และ 1,000 ไมโครเมตร, 5) นำตัวอย่างติดกับกระจกใสด้วยกาวขาวซึม โดยเลือกด้านที่สนใจติดกับกระจกใสทิ้งไว้ 1-2 วัน, 6)ขัดตัวอย่างด้วยผงขัด 600 และ 1,000 ไมโครเมตร และ 7)ขัดจนได้แผ่นหินบางพอเพื่อใช้ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียม การศึกษา และสรุปผลงานวิจัย

บทที่ 3

ผลการศึกษา (Results)

เนื้อหาภายในรายงานบทนี้แสดงผลการศึกษาจากภาคสนาม จากการเก็บข้อมูลจากภาคสนามเพื่อทำการศึกษาข้อมูลระดับกลาง(Mesosopic scale) และเก็บตัวอย่างชนิดหินระบุตำแหน่งจากภาคสนามเพื่อนำมาศึกษาข้อมูลระดับจุลภาค(Microscopic scale) โดยการศึกษาแผ่นหินขัดบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์แบบใช้แสง บริเวณภายในเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ธรณีวิทยา (Geology)

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาภายในเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด จัดอยู่ในกลุ่มหินราชบุรี(กรมทรัพยากรธรณี, 2519) โดยพบหินปูน 2 ลักษณะภายในพื้นที่ศึกษาคือ หินปูนโดโลไมต์สีเทาขาวแสดงลักษณะชั้นหนา(Thick bed)ถึงไม่แสดงชั้นหิน(Massive bed) และหินปูนสีเทาเข้ม แสดงลักษณะชั้นหินหนาปานกลาง(Medium bed) และพบหินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาดำ มีความหนา ประมาณ 10-30 เซนติเมตร โดยหินปูนทั้งสองชนิดและหินตะกอนเนื้อเม็ดแสดงลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่มเล็กน้อย และแสดงชั้นหินแบบแตกเปราะคือรอยแตกทั้งหมด 3 แนวหลัก อีกทั้งแสดงการเลื่อนตัวและไม่แสดงการเลื่อนตัว โดยชั้นหินปูนในพื้นที่ศึกษามีแนวการวางตัวส่วนใหญ่(Strike)อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และชั้นหินมีแนวเอียงเท(Dip direction)ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

หินปูน(Limestone)

➤ หินปูนสีเทาขาวโดโลไมต์(White grey dolomitic limestone) เป็นหินปูนประเภทหินปูน Bioclastic แบบแพคสโตน(packstone)ถึงเกรนสโตน(grainstone)ตามการจำแนกของDunham(1962)ที่มีผลึก Rhombohedralของแร่โดโลไมต์ชัดเจน (รูปที่ 3.1)เนื่องจากพบซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด(Fusulinid)ตระกูล Schwagerina (รูปที่3.3) มีการวางตัวของชั้นหินในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เป็นแนวหลัก ที่แสดงชั้นหนามาก(Very Thick bed)ประมาณ 40-60 เซนติเมตรถึงไม่แสดงชั้น(Massive) นอกจากนั้นยังแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะแตกเปราะ(Brittle deformation) คือ รอยแตกและรอยเลื่อน ซึ่งพบสายแร่แคลไซต์

(Calcite vein)แทรกตามรอยแตกบางแนวการวางตัวภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ใช้แสง และในบางบริเวณแสดงแนวการเลื่อนตัว เช่น รอยครูดุฑ(Chatter mark)(รูปที่3.2)

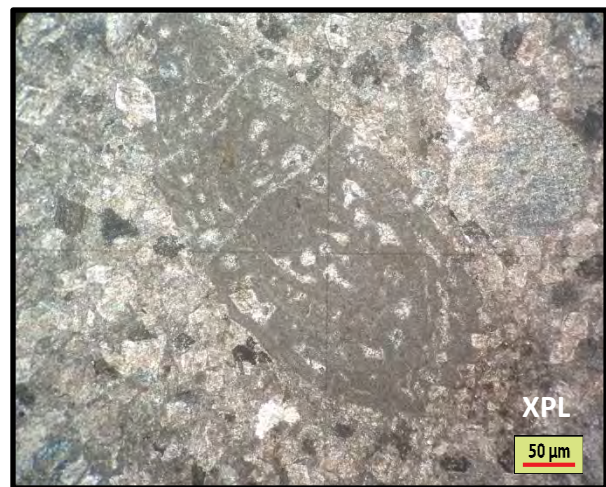
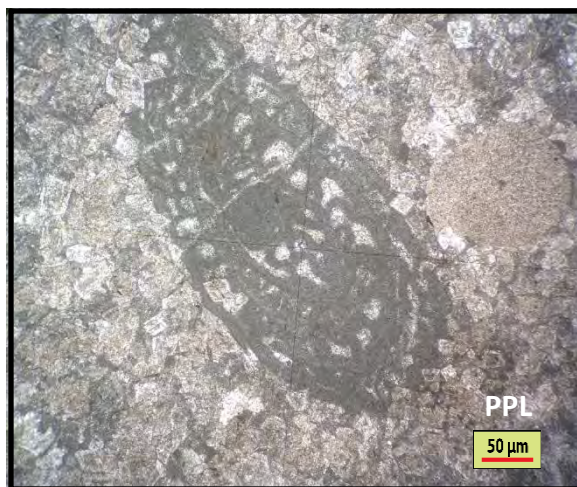
➤ หินปูนสีเทาเข้ม(Dark grey limestone) เป็นหินปูนประเภทหินปูนแบบแวกสโตน(Wackstone)ถึงแพคสโตน(Packstone)(รูปที่3.5)ตามการจำแนกของDunham(1962) เนื่องจากไม่พบซากดึกดำบรรพ์เหมือนหินปูนชนิดแรก มีการวางตัวของชั้นหินอยู่ล่างหินตะกอนเนื้อเม็ดสีเทาดำ ที่แสดงแนวการวางตัวแนวเดียวกับหินปูนสีขาวคือแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยความหนาชั้นหินอยู่ในช่วง20-30 เซนติเมตร จัดอยู่ในชั้นหินหนาปานกลาง(Medium bed) และยังแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ(Brittle deformation) แบบรอยแตกและรอยเลื่อนทั้งในภาคสนามและภายในแผ่นหินขัดบาง(รูปที่3.4)

Depositional texture recognizable				Depositional texture not recognizable	
Components not bound together during deposition			Components were bound together during deposition		Crystalline
Contains carbonate mud (clay / fine silt)		Grain supported	Lacks mud and is grain supported		
Mud supported	Less than 10% grains		More than 10% grains	Boundstone	
Less than 10% grains		Mudstone			
5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
Floatstone (large grains)		Rudstone (large grains)		Framestone	1m
30 mm	30 mm	30 mm	30 mm	Bindstone	100 mm
				Bafflestone	100 mm

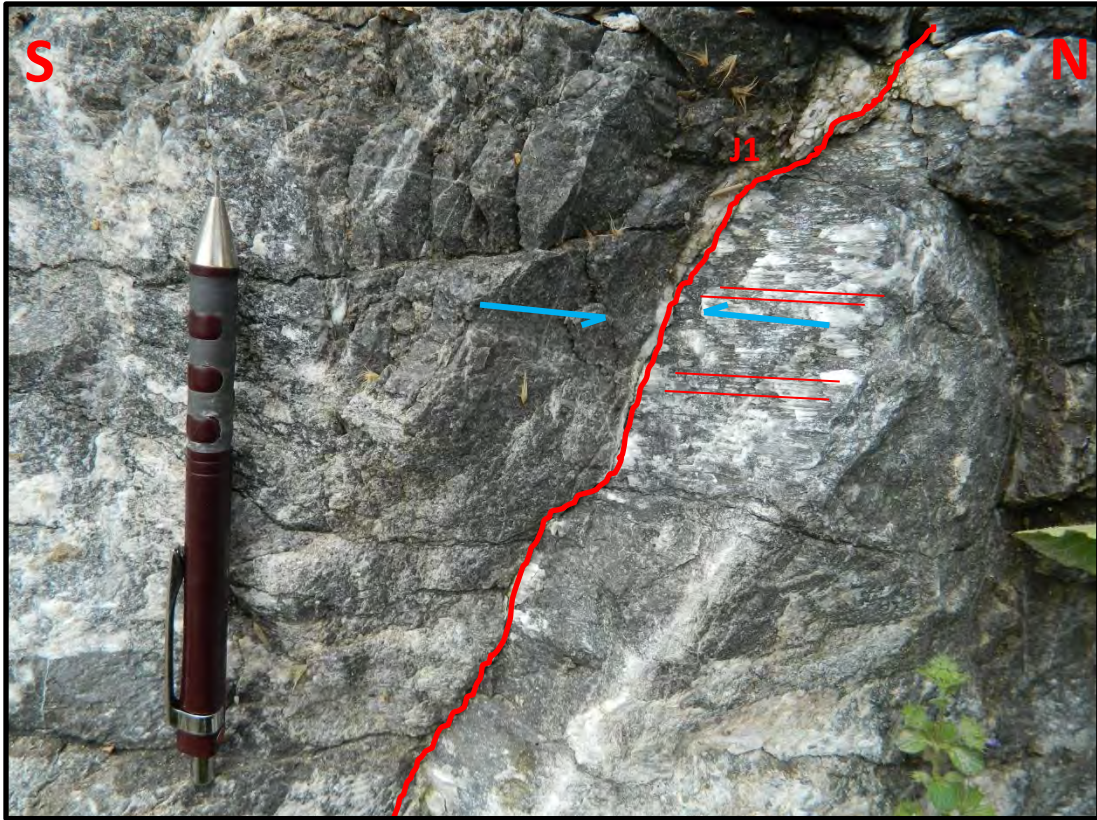
รูปที่ 3.1 ตารางแสดงการจำแนกหินคาร์บอเนต(Modified from Dunham, 1962)



รูปที่ 3.2 หินปูนสีเทาขาวในบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงลักษณะ Slickenside บนระนาบรอยแตกแนวที่ 3 ของการสำรวจ (สมมุติยาว 19 เซนติเมตร กว้าง 12.5 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.3 หินปูนไปโอคลาสติกแพคสโตนถึงกรนสโตน (Bioclastic packstone to grainstone) ตามการจำแนกของ Dunham (1962) จากการพบซากดึกดำบรรพ์จำพวกฟิวซูลินิด (Fusulinid) ตระกูล Schwagerina ที่โคนสายแร่แคลไซต์ตัดผ่าน (ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)



รูปที่ 3.4 หินปูนสีเทาเข้มในบริเวณทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา แสดงลักษณะผิวรอยเลื่อน(Slickenside)ของแร่แคลไซต์(Calcite)บอกถึงเกิดการเคลื่อนตัวของแนวแตกที่ 1 แบบซ้ายเข้า(Sinistral strike slip fault)(ดินสอความยาว 14 เซนติเมตร)



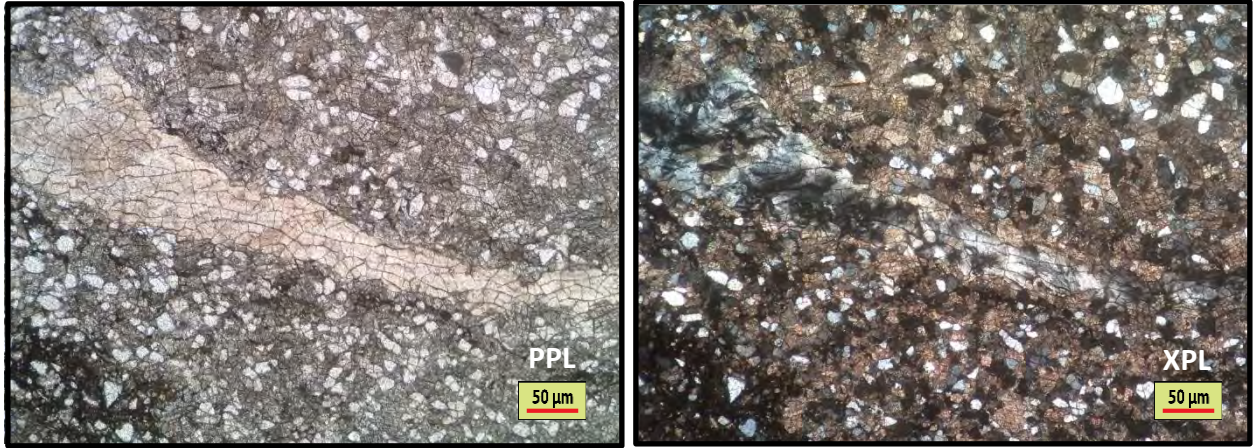
รูปที่ 3.5 หินปูนประเภทหินปูนแวกสโตน(Wackstone)ถึงแพคสโตน(Packstone)(รูป3.4)ตามการจำแนกของ Dunham(1962) ที่แสดงสายแร่แคลไซต์ตัดผ่านเนื้อหินในแนวตั้งฉากกับชั้นหิน(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)

หินตะกอนเนื้อเม็ด(Clastic sedimentary rock)

➤ หินทรายเนื้อแป้งเนื้อปูนสีเทาดำ(Black calcareous siltstone) จากการจำแนกขนาดของตะกอนเนื้อเม็ดในภาคสนามและจากการพิจารณาแผ่นหินขัดบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์แบบใช้แสง แสดงเม็ดตะกอนประกอบด้วย ควอตซ์ แคลไซต์ และแร่ชนิดอื่นๆ โดยมีตัวเชื่อมประสาน(Cement)เป็น Calcareous cement พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกเปลือกหอยแบรคคิโอพอด(รูปที่ 3.7) โดยพบชั้นหินนี้อยู่ระหว่างหินปูนสีเทาขาวและหินปูนสีเทาเข้ม ที่มีแนวการวางตัวแนวเดียวกับหินปูน และมีความหนาของชั้นหินประมาณ 10-30 เซนติเมตร เป็นชั้นหินหนาปานกลาง และแสดงลักษณะแตกเปราะเช่นเดียวกัน(รูปที่3.6)



รูปที่ 3.6 หินทรายแป้งเนื้อปูนสีดำ(Black calcareous siltstone) แสดงลักษณะชั้นหินหนาประมาณ 20ถึง40 เซนติเมตร ที่แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะและการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนุ่ม (คนสูง 171 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.7 หินทรายแป้งเนื้อปูนจากการพบเม็ดตะกอนควอตซ์มากและมีตัวเชื่อมประสานเนื้อปูนจากการพบแร่แคลไซต์ และพบซากดึกดำบรรพ์ของเปลือกหอยแบรคิโอพอด (Brachiopod) (ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)

3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural geology)

การวิเคราะห์โครงสร้างธรณีวิทยาของเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอลำลูกกา จังหวัดเพชรบุรี ในรายงานเล่มนี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ระดับคือ

- 1) โครงสร้างธรณีวิทยาระดับกลาง เป็นการศึกษาและเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ ได้แก่ การวางตัวของชั้นหิน การวางตัวรอยแตก การบันทึกภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์ระบบรอยแตก และนำข้อมูลมากำหนดค่าลงบนตาข่ายมิติสเตอริโอเนตกราฟฟิกชนิดพื้นที่เท่า และแผนภาพกุหลาบ
- 2) โครงสร้างธรณีวิทยาระดับจุลภาค เป็นการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคจากแผ่นหินบาง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ จากตัวอย่างภาคสนามที่ระบุตำแหน่ง และการวางตัวของหิน

3.2.1 ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลาง (Mesoscopic scale)

จากการสำรวจหิน โผล่ภายในภาคสนามบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีระยะความยาวของการสำรวจในแนวเหนือ-ใต้โดยประมาณ 400 เมตร (รูปที่ 3.8) สามารถแบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 3 พื้นที่ศึกษาที่ต่อเนื่องกัน (รูปที่ 3.9) ตามความแตกต่างของธรณีวิทยาหินและธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลางที่ปรากฏตลอดบริเวณพื้นที่ศึกษา ได้แก่

- พื้นที่ศึกษา BLOCK 1 : บริเวณหินปูนโดโลไมต์สีเทาขาวทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา
- พื้นที่ศึกษา BLOCK 2 : บริเวณหินตะกอนเนื้อเม็ดสีเทาดำ ใต้รอยเลื่อนปกติ
- พื้นที่ศึกษา BLOCK 3 : บริเวณหินปูนสีเทาเข้มวางตัวต่อเนื่องอยู่บนหินตะกอนเนื้อเม็ด

ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลางนี้ ได้จากการออกสำรวจภาคสนามเพื่อนำข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง อาทิเช่น ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน ข้อมูลการวางตัวของรอยแตก และโครงสร้างอื่นๆที่ปรากฏภายในพื้นที่ศึกษามากำหนดค่าลงในตาข่ายสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่าและแผนผังดอกกุหลาบ เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของรอยแตกและวิวัฒนาการรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษาภายในเหมืองหินปูนบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งเพื่อมาศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคอีกด้วย



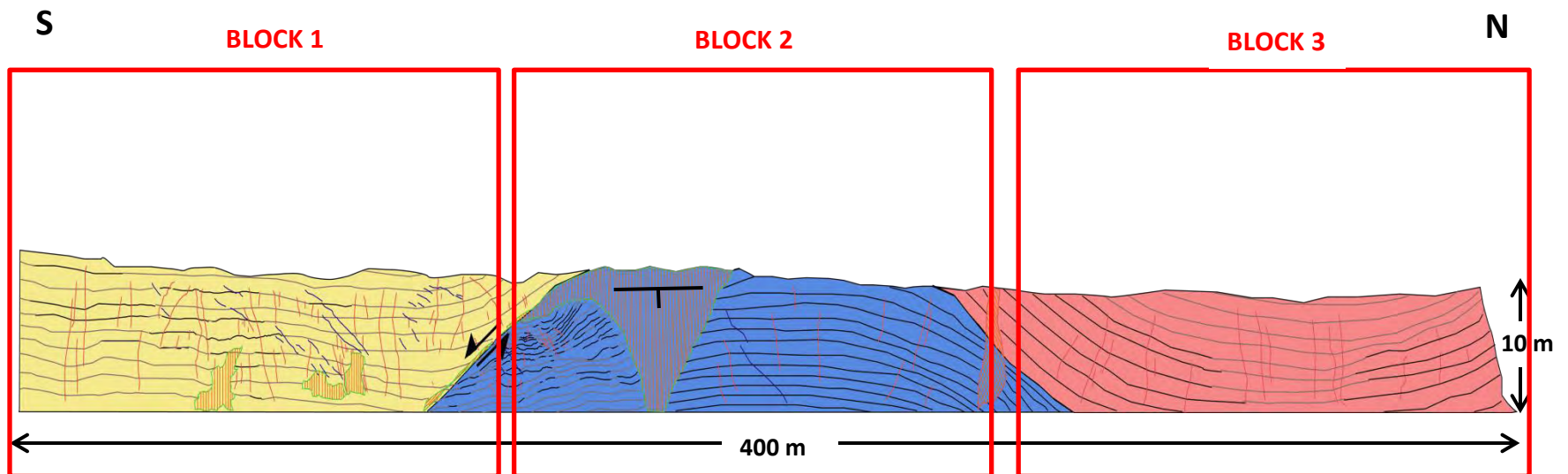
รูปที่ 3.8 ภาพมุมสูงแสดงพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดงบริเวณ โชนทางใต้ภายในเหมืองหินปูนบริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ ตำบลชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (Google earth)

CROSS SECTION OF STUDY AREA

(Not to scale)

LEGENDS

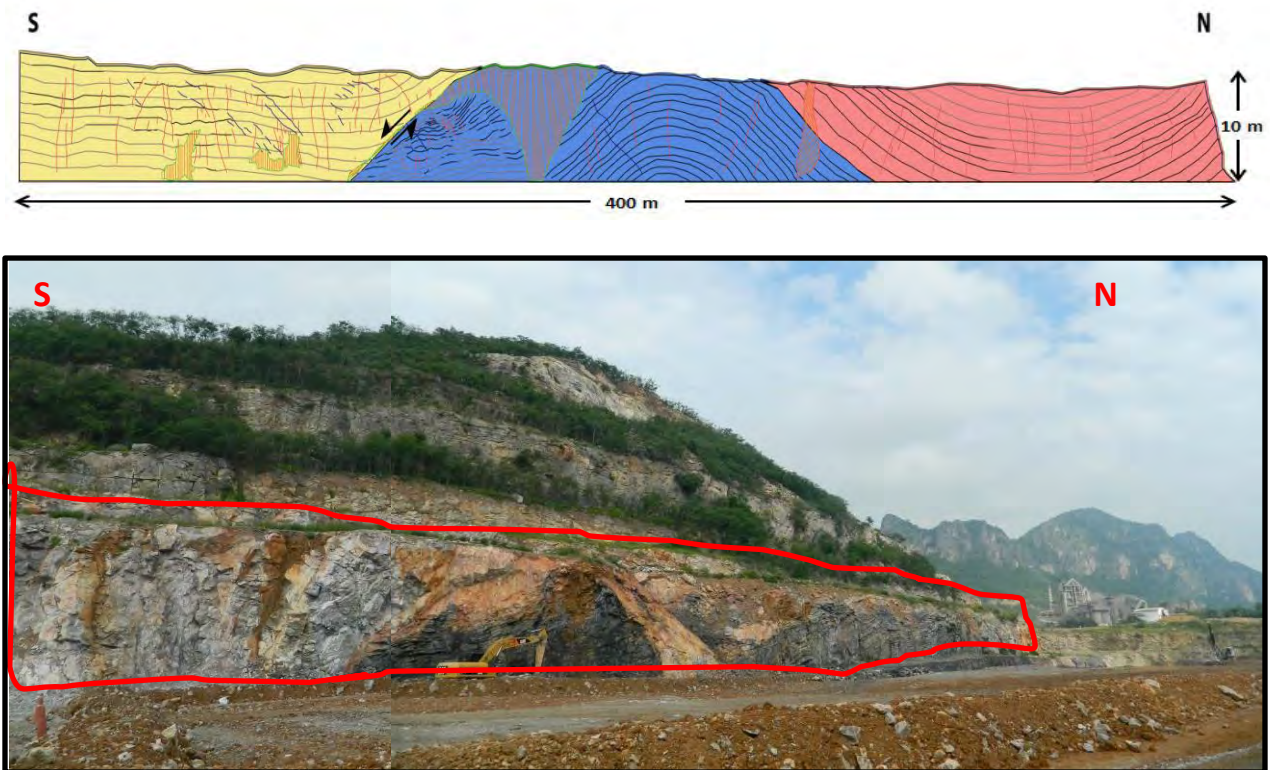
- UNSURED BED
- SURED BED
- JOINT 1
- JOINT 2
- JOINT 3
- ↘ NORMAL FAULT
- GREY MASSIVE LIMESTONE
- PALE GREY MEDIUM LIMESTONE
- CLASTIC SEDIMENTARY ROCK
- ▨ SLICKENSIDE



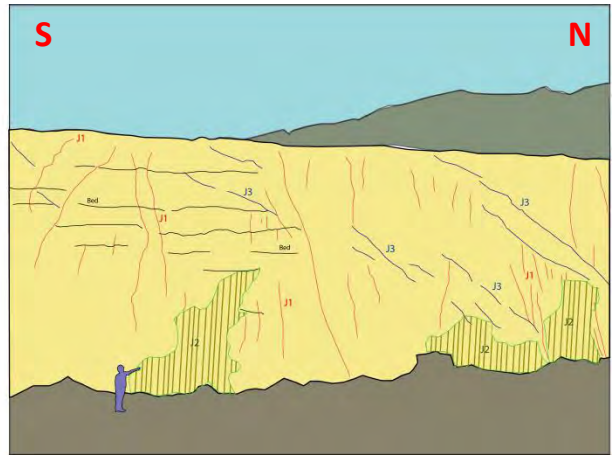
รูปที่ 3.9 ภาพทางด้านข้างแสดงพื้นที่ศึกษาย่อยทั้งหมด 3 พื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดง ประกอบด้วย BLOCK 1, BLOCK 2 และBLOCK 3 โดยใช้เกณฑ์ความแตกต่างทางธรณีวิทยาหินและธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏจากการสำรวจธรณี โครงสร้างระดับกลาง(Mesosopic scale)

3.2.1.1 ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding)

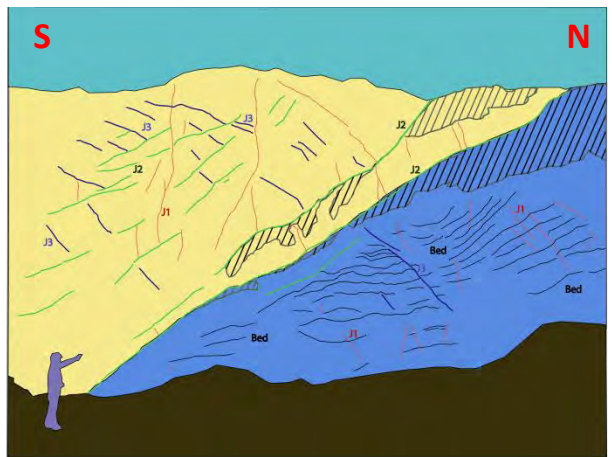
พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณทางตอนใต้ภายในเหมืองหินปูนบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอลำปาง จังหวัดลำปาง ภูมิประเทศอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยพื้นที่ศึกษามีความยาวประมาณ 400 เมตร และสูงประมาณ 10 เมตร พบแสดงชั้นหินของหินปูนและชั้นหินตะกอนเนื้อเมืควางตัวต่อเนื่องกัน(รูปที่ 3.11, รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13) โดยอาศัยความแตกต่างของชนิดหินเป็นตัวบ่งชี้ชั้นหินในภาคสนาม (รูปที่3.14) โดยชั้นหินที่ปรากฏมีแนวการวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NNW-SSE) เป็นส่วนใหญ่และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SSW) และมีทิศทางการเอียงเทส่วนใหญ่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้(SW) และส่วนน้อยเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ(NW)จากการกำหนดข้อมูลลงบนตาข่ายมิดิสเตอร์ไอเนตชนิดพื้นที่เท่า(รูปที่ 3.15) โดยมีค่าการวางตัวประมาณ $165^{\circ}/25^{\circ}$ SW, $120^{\circ}/24^{\circ}$ SW และ $214^{\circ}/48^{\circ}$ NW



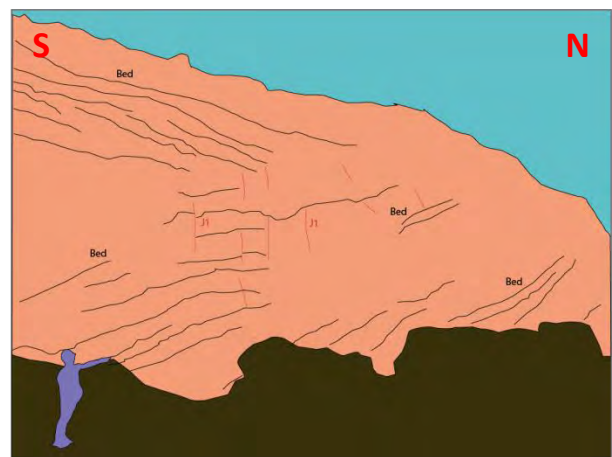
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายแสดงโครงสร้างธรณีวิทยาตลอดระยะทางของการเก็บข้อมูลประมาณ 400 เมตรที่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เป็นแนวหลัก(รูปบน) และภาพถ่ายหินโผล่โครงสร้างธรณีวิทยาระดับกลางจากภาคสนามแสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาภายในกรอบสีแดง(รูปล่าง)



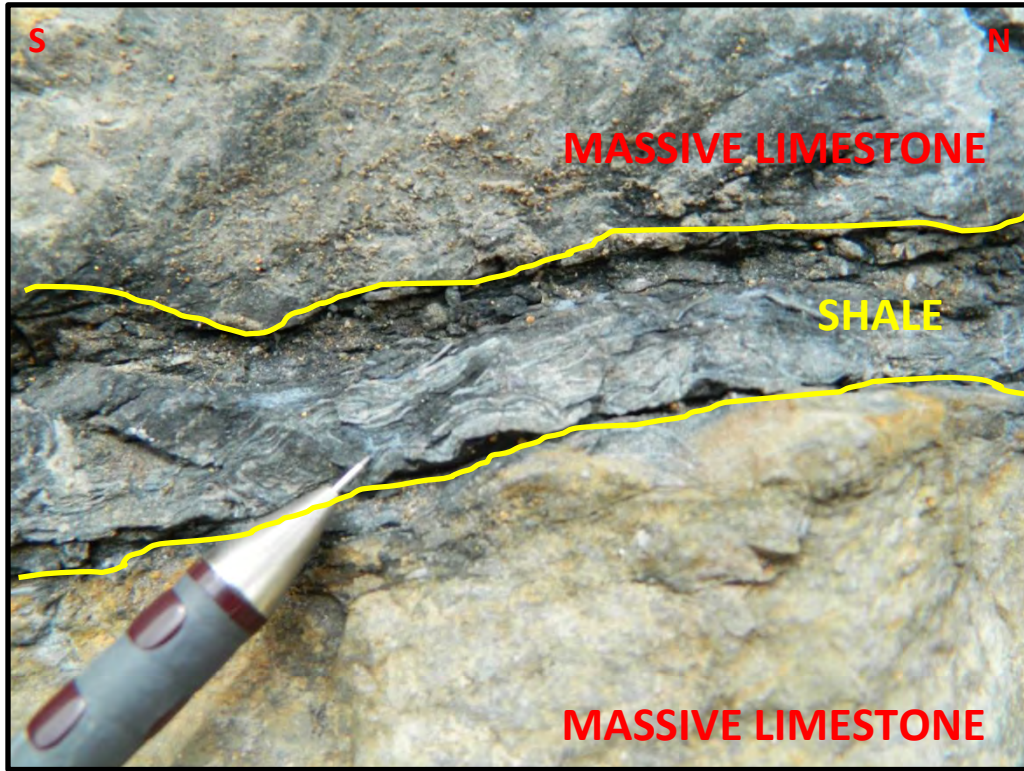
รูปที่ 3.11 ชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา BLOCK 1 หินปูนสีเทาขาวแสดงชั้นหินหนามากถึงไม่แสดงชั้นหินบริเวณทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา



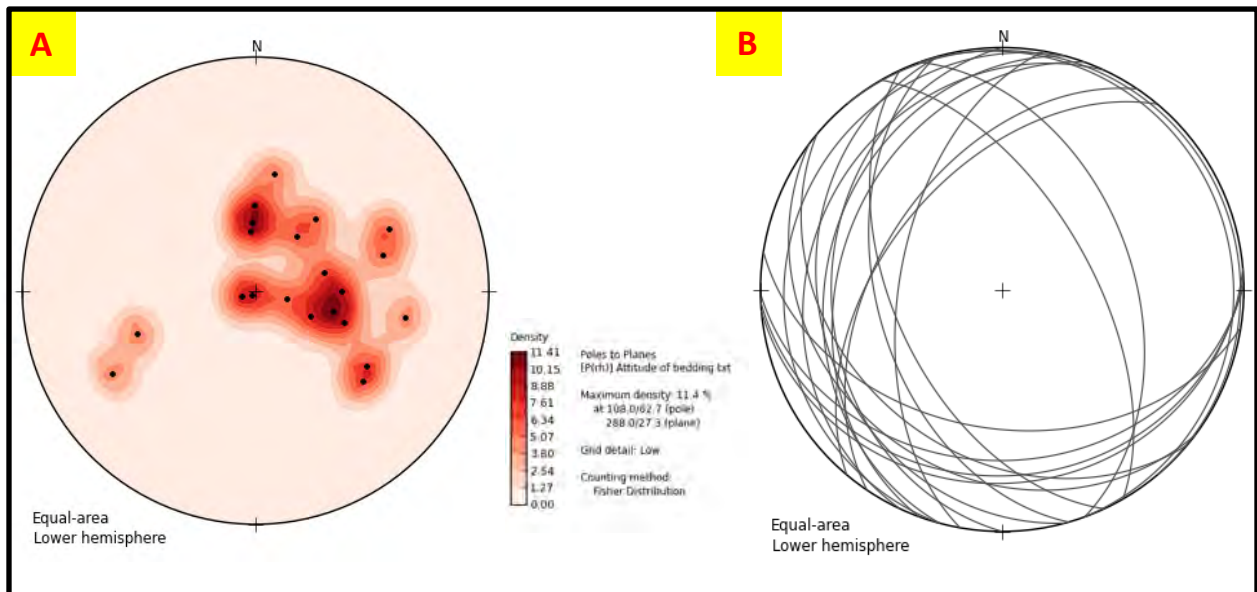
รูปที่ 3.12 ชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา BLOCK 2 บริเวณหินตะกอนเนื้อเม็ดสีเทาดำได้รอยเลื่อนปกติ



รูปที่ 3.13 ชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษาBLOCK 3 หินปูนสีเทาเข้มวางตัวต่อเนื่องอยู่บนหินตะกอนเนื้อเม็ด



รูปที่ 3.14 ความแตกต่างของชนิดหินเป็นตัวบ่งบอกชั้นหินวางตัวแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ของหิน BLOCK 1 แสดงรื้อขานของหินดินดานที่อยู่ระหว่างหินปูนสีเทาขาว



รูปที่ 3.15 ข้อมูลการวางตัวของชั้นหินตลอดพื้นที่ศึกษาบนตาข่ายมิติสเตอร์ไอออนตชนิดพื้นที่เท่าแบบ Pole figure(รูป A) และแบบเส้นGreat circle(รูป B)

3.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ (Brittle deformation)

โครงสร้างรอยแตก (Fracture)

จากการสำรวจระบบรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษา พบระบบรอยแตก(Joint sets)ที่ปรากฏตลอดพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 แนว คือ

- 1) รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (Bed - perpendicular fracture)
วางตัวในแนวตะวันออกเฉียง-ตะวันตกที่มีทิศทางการเอียงเทไปทางทิศเหนือ มีค่าประมาณ $273^{\circ}/70^{\circ}$ N
- 2) รอยแตกขนานแนวรอยเลื่อนปกติ (Normal fault - parallel fracture)
วางตัวแนวเหนือ-ใต้ มีทิศทางการเอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียง มีค่าประมาณ $28^{\circ}/52^{\circ}$ SE
- 3) รอยแตกสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนปกติ (Normal fault – related fracture)
วางตัวในแนวตะวันออกเฉียง-ตะวันตก ทิศทางเอียงเทไปทางทิศเหนือ มีค่าประมาณ $243^{\circ}/25^{\circ}$ NW

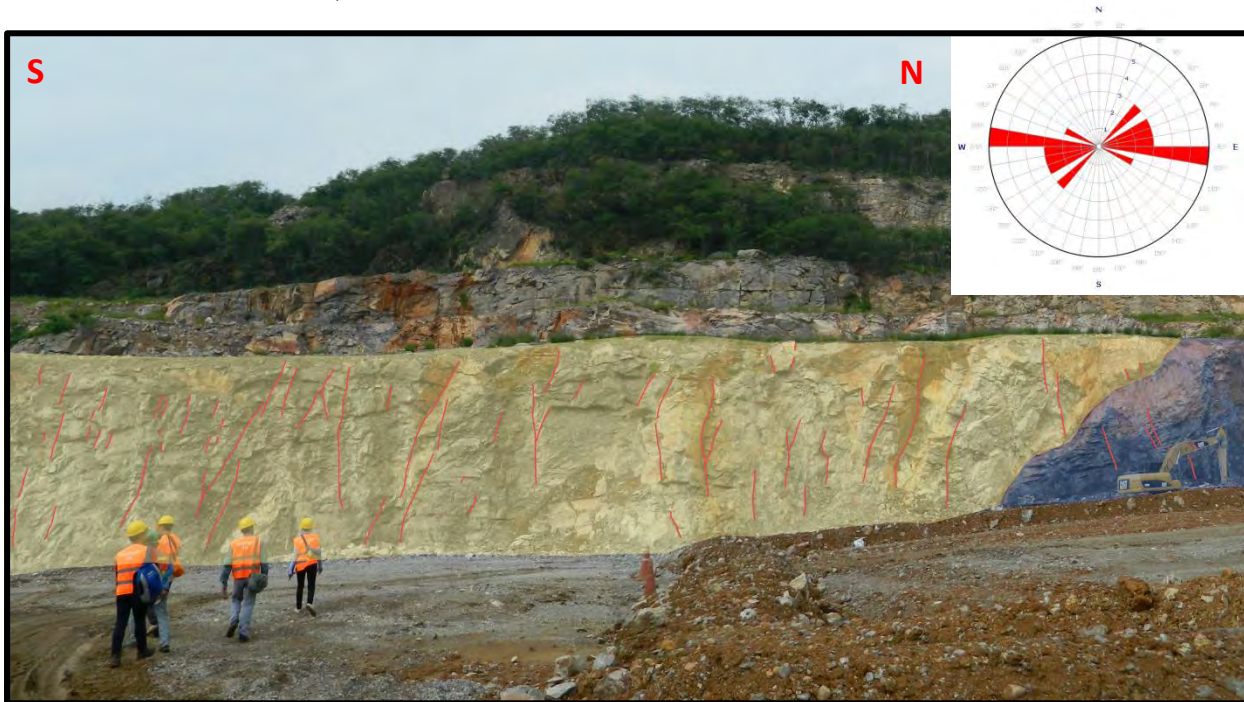
พื้นที่ศึกษา Block 1

จากข้อมูลการสำรวจธรณีวิทยาโครงสร้างภาคสนามพบว่า รอยแตกที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษานี้ พบทั้งหมด 3ระบบรอยแตก(Joint set)ภายในกรอบสี่เหลี่ยม คือ รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน รอยแตกขนานแนวรอยเลื่อนปกติ และรอยแตกที่ทำมุมรอยเลื่อนปกติ

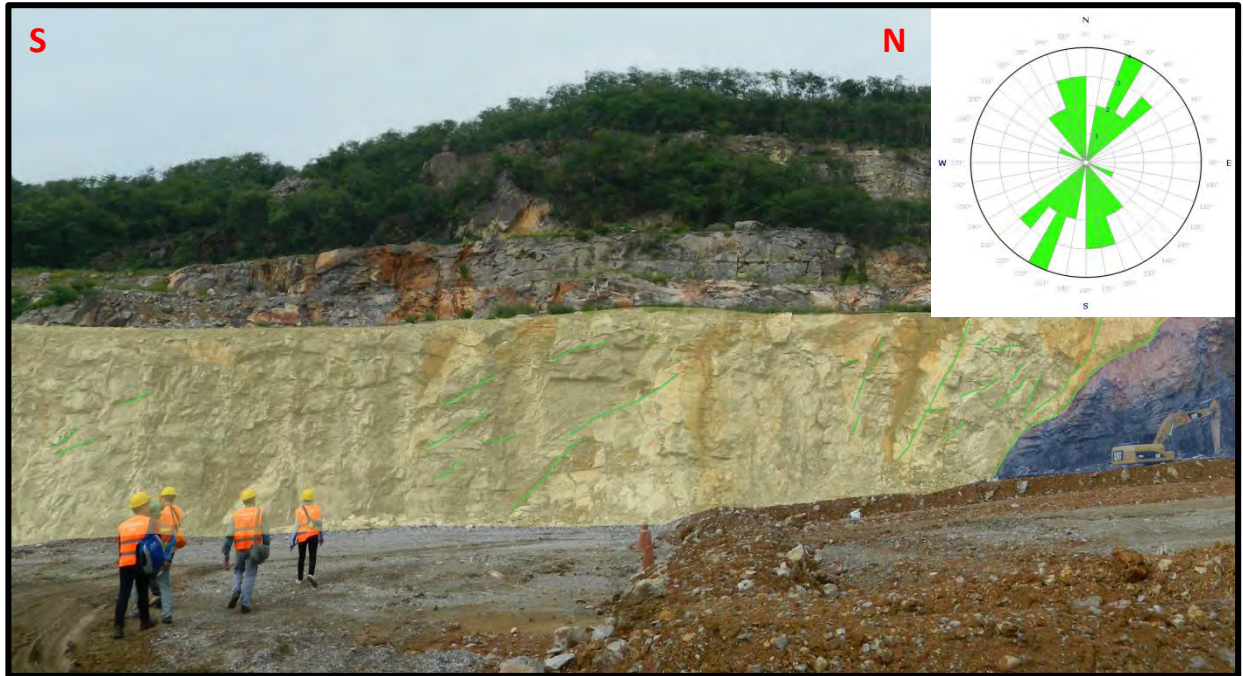
โดยรอยแตกแสดงอันดับการเกิดก่อนหลังจากพฤติกรรมการตัดกันของรอยแตก(Butting relationship) พบว่าระบบรอยแตกแรก(Joint set 1) คือ รอยแตกเกิดตั้งฉากกับชั้นหิน เกิดจากการเปิดออกของรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด(Mode 1: Opening fracture) พบเกิดทั่วทั้งระยะการสำรวจ แสดงทั้งระนาบเลื่อนตัวและระนาบไม่เลื่อนตัว และพบตัดผ่านรอยแตกอีก 2 ระบบที่เหลือ มีค่าการวางตัวของระนาบรอยแตกประมาณ $270^{\circ}/83^{\circ}$ N โดยระบบรอยแตกที่เกิดอันดับ 2 (Joint set 2) คือระบบรอยแตกที่ขนานกับระนาบรอยเลื่อนปกติ จากการเกิดของรอยแตกแบบโหมด 2 แบบเฉือน(Mode2: Shearing fracture)พบไม่ตลอดระยะการสำรวจ และพบทั้งชนิดที่แสดงการเลื่อนตัวและไม่เลื่อนตัว มีค่าระนาบการวางตัวประมาณ $27^{\circ}/68^{\circ}$ SE และระนาบรอยแตกสุดท้าย(Joint set 3)คือ รอยแตกที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ โดยพบมากบริเวณติดกับระนาบรอยแตก 2 ที่แสดงการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนปกติ จึงคาดว่าเป็นระบบรอยแตกที่3 เกิดจากอิทธิพลของระนาบรอยแตกที่ขนานแนวรอยเลื่อนปกติ มีค่าการวางตัวของระนาบรอยแตกประมาณ $240^{\circ}/17^{\circ}$ NW (รูป 3.15)



รูปที่ 3.16 พื้นที่ศึกษา Block 1 อยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา มีความยาวประมาณ 100 เมตร แสดงระบบรอยแตก(Joint sets)ทั้งหมด 3 แนว และแสดงความสัมพันธ์ของการตัดกันของรอยแตกทั้ง 3 ระบบ(กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.17 ระบายรอยแตกตั้งฉากกับระนาบชั้นหิน(สีแดง)ภายในพื้นที่ศึกษา Block 1 และผลของการกำหนดข้อมูลค่าการวางตัวของรอยแตกลงบนแผนภาพกุหลาบ(กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.18 ระนาบรอยแตกขนานแนวรอยเลื่อนปกติ (สีเขียว) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 1 และผลของการกำหนดข้อมูลการวางตัวของรอยแตกลงบนแผนภาพภูหาลาบ(กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.19 ระนาบรอยแตกที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ (สีน้ำเงิน) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 1 และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพภูหาลาบ(กลุ่มคนในรูปสูงประมาณ 165-175 เซนติเมตร)

พื้นที่ศึกษา Block 2

พื้นที่ศึกษานี้ อยู่ในช่วงกลางของพื้นที่ศึกษา(รูปที่ 3.10) จากการสำรวจธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษานี้ พบว่ามีระบบรอยแตก 2 ระบบหลัก(Major Joint sets) คือ รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินที่พบตลอดพื้นที่ พบทั้งแสดงการเลื่อนตัวและไม่แสดงการเลื่อนตัว มีค่าระนาบรอยแตกประมาณ $275^{\circ}/78^{\circ}\text{N}$ และรอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ พบอยู่ทางตอนใต้ติดกับBlock1มากและน้อยลงเมื่อไปทางทิศเหนือมีค่าประมาณ $330^{\circ}/48^{\circ}\text{NE}$ และ 1ระบบรอยแตกย่อย(Minor joint sets) คือรอยแตกที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ ที่พบน้อยมากตลอดระยะของการศึกษา Block 2 โดยพบมากอยู่บริเวณทางตอนใต้ ใกล้กับรอยเลื่อนปกติ มีค่าประมาณ $230^{\circ}/28^{\circ}\text{NW}$ โดยพบความสัมพันธ์ของรอยแตก คือพบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินตัดผ่านระนาบรอยแตกที่ขนานกับรอยเลื่อนปกติ



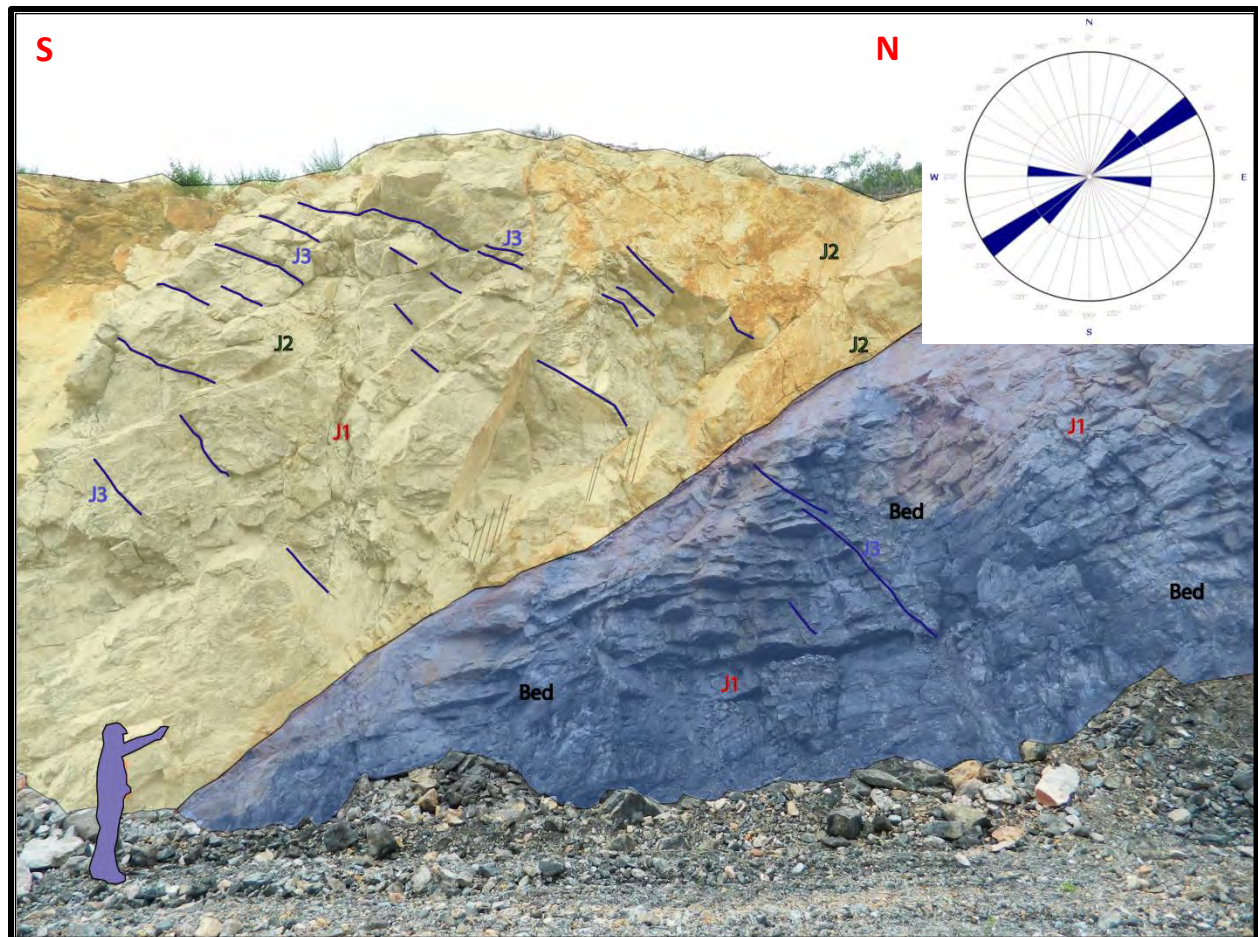
รูปที่ 3.20 พื้นที่ศึกษา Block 2 แสดงหินทรายเนื้อแข็งเนื้อปูน(สีน้ำเงิน) ที่วางตัวอยู่ใต้หินปูนสีเทาอ่อน(สีแดง) และแสดงระนาบรอยแตก 2 ระบบ คือ รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินและรอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ (คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.21 ระนาบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (สีแดง) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 2 และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกugelab (คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)



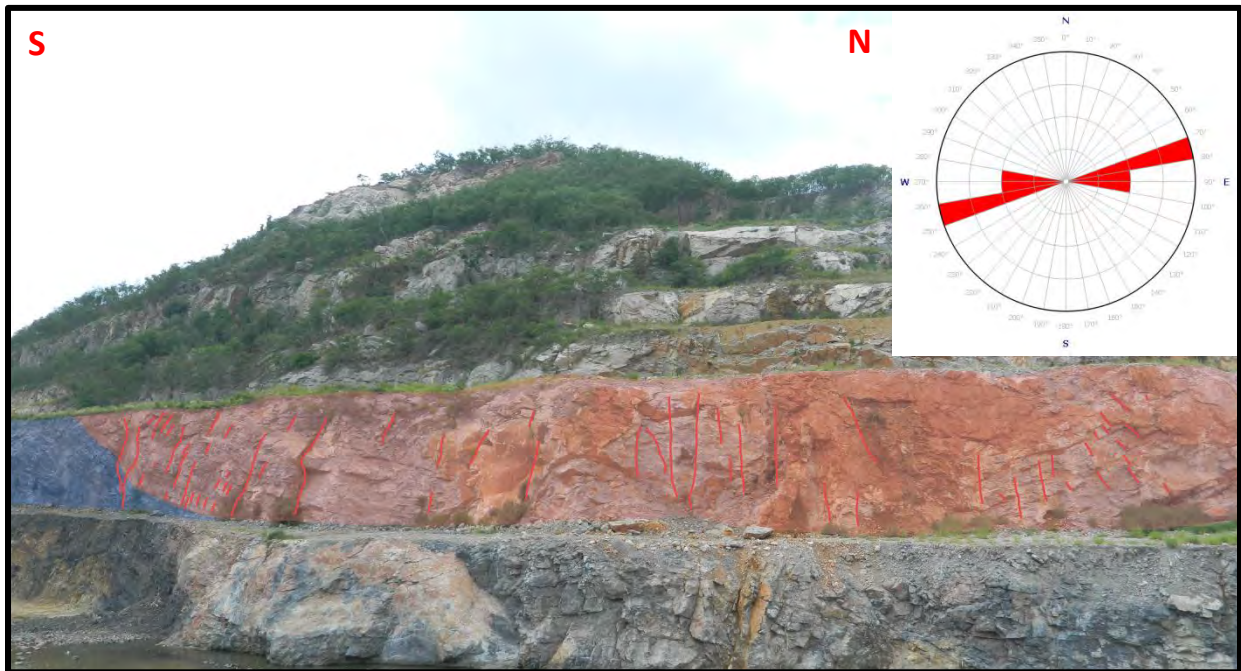
รูปที่ 3.22 ระนาบรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ (สีเขียว) ภายในพื้นที่ศึกษา Block 2 และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกุหลาบ(คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.23 ระนาบรอยแตกที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ (สีน้ำเงิน) ที่อยู่บริเวณรอยเลื่อนปกติที่อยู่ติดกับ Block 1 ทางทิศใต้ และผลของการกำหนดข้อมูลรอยแตกลงบนแผนภาพกุหลาบ(คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)

พื้นที่ศึกษา Block 3

พื้นที่ศึกษาบริเวณนี้อยู่ทางทิศเหนือสุดของพื้นที่ศึกษา(รูปที่ 3.10) จากการสำรวจธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณนี้ พบว่ามีระบบรอยแตกเพียง 1 ระบบ คือ รอยแตกที่เกิดตั้งฉากกับชั้นหิน โดยพบทั้งแสดงการเลื่อนตัวและไม่แสดงการเลื่อนตัว พบเกิดตลอดหินปูนสีเทาชั้นหนาปานกลาง มีค่าการวางตัวของระนาบรอยแตกประมาณ $250^{\circ}/31^{\circ}\text{NW}$

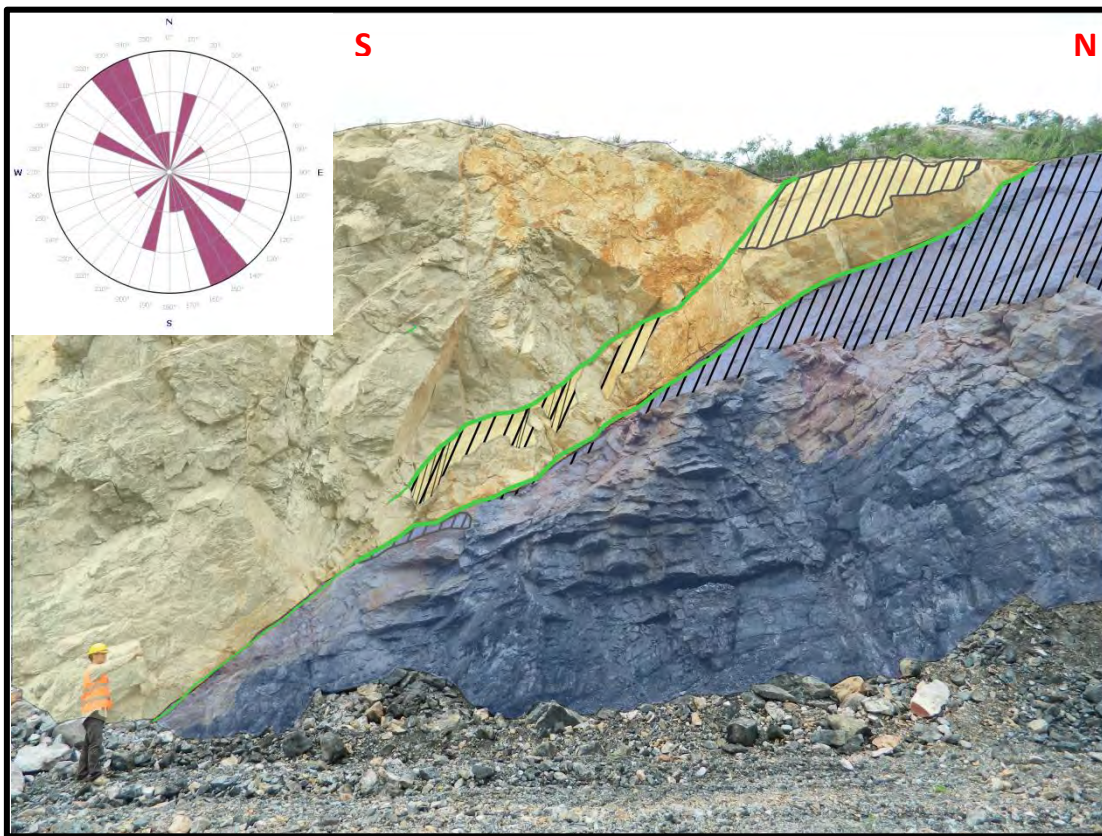


รูปที่ 3.24 พื้นที่ศึกษาหินปูนสีเทาขาวชั้นหนาปานกลาง(สีแดง)วางตัวต่อเนื่องอยู่บนชั้นหินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาเข้ม โดยปรากฏระนาบรอยแตกทั้งหมดแบบตั้งฉากกับชั้นหิน(สีแดง) ตลอดพื้นที่ศึกษา Block 3 และผลของการกำหนดข้อมูลลงบนแผนภาพกุหลาบ

2) โครงสร้างรอยเลื่อน (Fault)

จากข้อมูลการสำรวจภาคสนามตลอดระยะพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 blocks พบรอยเลื่อนที่สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดหลักคือ รอยเลื่อนตามแนวมุมเท และรอยเลื่อนตามแนวระดับและแนวมุมเท (Oblique-slip fault) แบบซ้ายเข้าเด่น (Normal oblique sinistral fault)

รอยเลื่อนตามแนวมุมเอียงเท พบลักษณะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนปกติอยู่บริเวณ Block 1 และ Block 2 เป็นรอยเลื่อนแบ่งหินปูนสีเทาชั้นหนาออกจากหินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาเข้ม (รูปที่ 3.24) โดยมีระนาบรอยเลื่อนอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NNW-SSE) นอกจากนี้ยังพบหลักฐานของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน เช่น โครงสร้างลักษณะขั้วบันได (Chatter mark) (รูปที่ 3.25) และเส้นรอยเลื่อน (รูปที่ 3.26) ซึ่งบ่งบอกถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน มีค่า Trend/Plung ประมาณ $55^{\circ}/75^{\circ}$ NE



รูปที่ 3.25 ตำแหน่งของรอยเลื่อนปกติที่แบ่งหินปูนที่เสขาวชั้นหนามากับหินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาเข้ม มีระนาบการวางตัวอยู่ในแนวและผลของการกำหนดข้อมูลลงบนแผนภาพกุหลาบ (คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร)

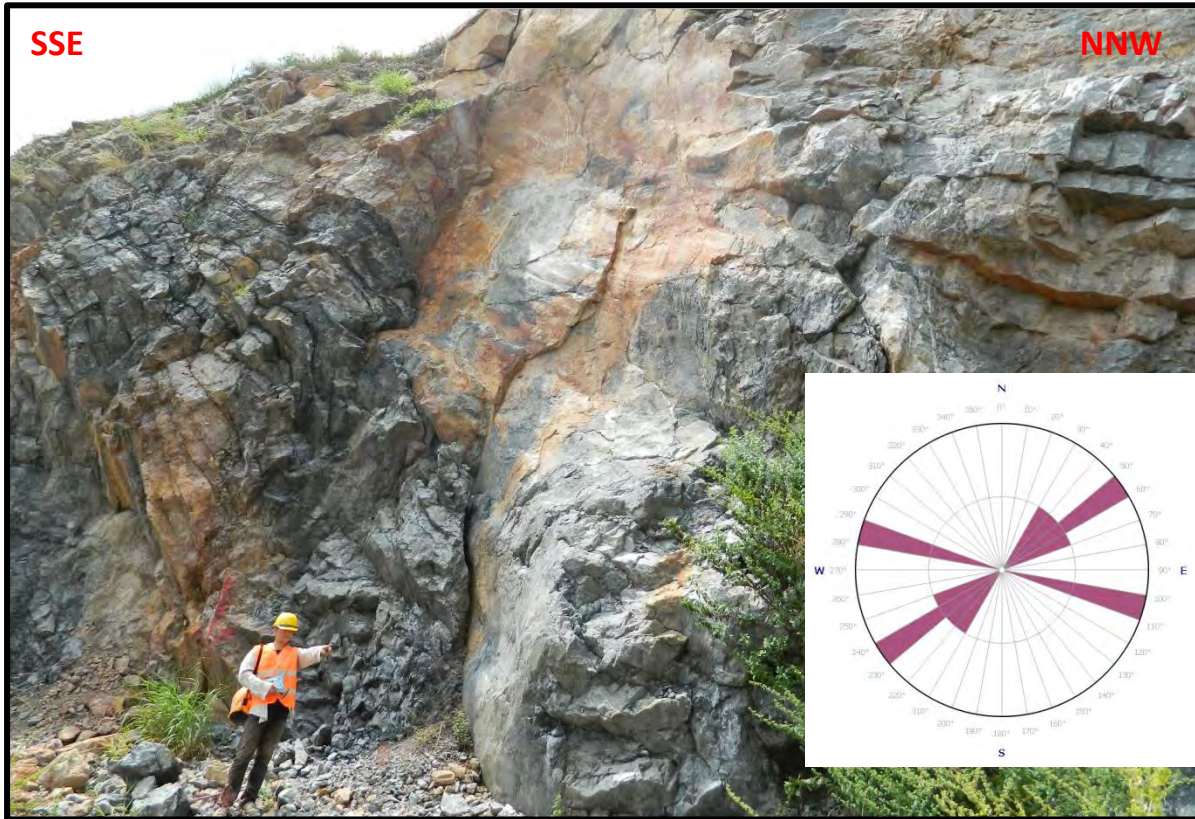


รูปที่ 3.26 โครงสร้างลักษณะคล้ายขี้บันได(Chatter mark) บนระนาบรอยเลื่อนปกติบนผนังหินฐาน(Foot wall)ที่มีแนวการวางตัวแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE)(คนในรูปสูง 171 เซนติเมตร)



รูปที่ 3.27 โครงสร้างเส้นรอยเลื่อน(slicken line) บนระนาบรอยเลื่อนปกติบนผนังหินฐาน(Foot wall)ที่แสดงการเลื่อนตัวขึ้น มีแนวการวางตัวแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE)

รอยเลื่อนตามแนวระดับและแนวมุมเทแบบซ้ายเข้าเด่น(Normal oblique sinistral fault) ที่ขนานกับรอยแตกแนวระดับตั้งฉากกับชั้นหิน โดยระนาบรอยเลื่อนมีแนวการวางตัวในแนวตะวันตก-ตะวันออก(NE-SW)ประมาณ $230^{\circ}/90^{\circ}$ NW และ $281^{\circ}/67^{\circ}$ N(รูปที่ 3.27) และพบหลักฐานของการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้านี้จากแร่บนเส้นรอยเลื่อน(Mineral slickenline)(รูปที่ 3.28) มีค่า Trend/Plunge ประมาณ $20^{\circ}/3^{\circ}$ NE และ $19^{\circ}/4^{\circ}$ NE



รูปที่ 3.28 ระนาบรอยเลื่อนตามแนวระดับและมุมเอียงเท(Oblique-slip fault)แนวเดียวกับรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture)บริเวณรอยต่อระหว่าง Block 2และBlock3 แสดงการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า(Sinistral strike-slip fault)และผลของการกำหนดข้อมูลลงบนแผนภาพกู่หลายบ(คนในรูปสูง 173 เซนติเมตร)



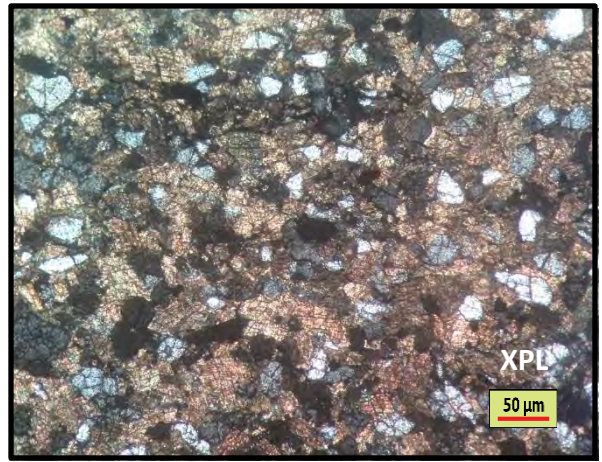
รูปที่ 3.29 ระบายรอยเลื่อนตามแนวระดับและมุมเอียงเท (Oblique-slip fault) ขนานแนวเดียวกับรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน แสดงระนาบรอยเลื่อน (Slickenside) ที่บ่งบอกถึงการเลื่อนตัวแนวระดับเป็นหลัก (Strike-slip fault) แบบซ้ายเข้า (Sinistral strike-slip fault) (ดินสอยยาว 14 เซนติเมตร)

3.2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาค (Microscopic scale)

ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคในแผ่นหินขัดบางจากตัวอย่างหินระบุตำแหน่งที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษา โดยจะนำตัวอย่างจากภาคสนามมาทำหินแผ่นขัดบาง เพื่อนำมาศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคและศึกษาสัณฐานวิทยาใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ ทำให้ทราบวิวัฒนาการ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างธรณีวิทยาในระดับจุลภาคจากความสัมพันธ์การตัดกันของสายแร่ (Cross cutting relationship) ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคนี้สามารถนำไปสนับสนุนการวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลางและวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานบริเวณพื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างหินระบุตำแหน่งภายในเหมืองหินปูนบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี พบหิน 3 ชนิดจากการจำแนกภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์และภายในภาคสนาม เรียงจากอายุแก่ไปอ่อนคือ หินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาดำ (Dark grey calcareous siltstone) (รูปที่ 3.29) ที่แสดงกวอด

ของแร่ควอตซ์(Quartz)ขนาดเล็ก และมีตัวเชื่อมประสานเนื้อปูน(Calcareous cement) ถัดขึ้นมาเป็นหินปูนสีเทาเข้ม(Dark grey limestone) (รูปที่ 3.30)พบแร่แคลไซต์ขนาดใหญ่จัดเป็นหินปูนชนิดแวกสโตน(Wackstone)ถึงแพคสโตน(Packstone)(รูปที่3.5)ตามการจำแนกของDunham(1962) และสายแร่แคลไซต์(Calcite veins)ตัดกัน 3 แนวหลัก และไม่พบฟอสซิล และชั้นหินบนสุดคือ หินปูนสีเทาขาวโดโลไมต์(White dolomitic limestone) (รูปที่ 3.31) เป็นหินปูนประเภทหินปูนBioclastic แบบแพคสโตน(packstone)ถึงเกรนสโตน(grainstone)ตามการจำแนกของDunham(1962)พบผลึกของแร่โดโลไมต์มาก แสดงลักษณะรอยแตกในลักษณะของสายแร่แคลไซต์ และพบฟอสซิลฟอลเรมินิเฟอรา(Foraminifera)เด่นชนิดSchwagerina



รูปที่ 3.30 หินทรายแป้งเนื้อปูนสีเทาดำ(Dark grey calcareous siltstone) พบกรวดของแร่ควอตซ์และมีตัวเชื่อมประสานเนื้อปูน(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)

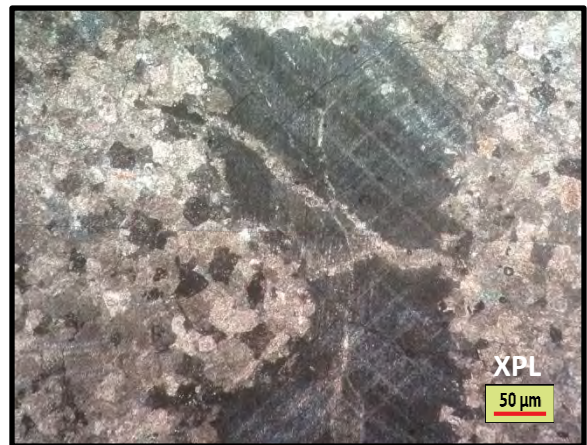


รูปที่ 3.31 หินปูนสีเทาเข้ม(Dark grey limestone) จัดเป็นหินปูนชนิดแวกสโตน(Wackstone)ถึงแพคสโตน(Packstone)ตามการจำแนกของDunham(1962) และพบแร่แคลไซต์ขนาดใหญ่(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)



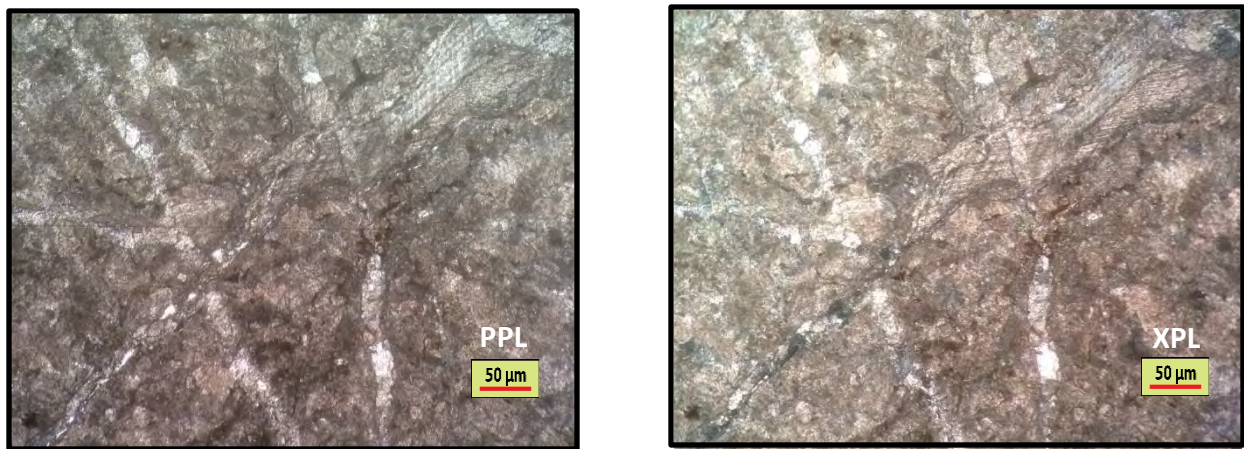
รูปที่ 3.32 หินปูนสีเทาขาวโดโลไมต์เป็นหินปูนประเภทหินปูนBioclastic แบบแฟลตโตจนถึงเกรนสโตนตามการจำแนกของDunham(1962)พบผลึกของแร่โดโลไมต์(ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)

ธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคที่พบในพื้นที่ศึกษาเป็นลักษณะของสายแร่ที่มีการตัดกัน จากการศึกษาพบว่าเกิดรอยแตกจากการเปิดออกของรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด และการเปิดออกของรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน หลังจากนั้นเกิดสายแร่แคลไซต์(Calcite veins)เข้ามาตกผลึก ทำให้ได้ลักษณะของเนื้อหินสมานมีเนื้อเดียวกัน(Homogenous) ซึ่งเมื่อเกิดรอยแตกอีกครั้งหนึ่งจะสามารถเกิดรอยแตกตัดผ่านรอยแตกเดิมที่ถูกสายแร่เข้ามาตกผลึกได้ เรียกความสัมพันธ์นี้ว่าการตัดกันของหิน(Cross cutting relationship) นอกจากนี้ยังพบสายแร่ที่มีการเคลื่อนตัวออกจากกันเล็กน้อย เรียกแนวแตกที่มีการเคลื่อนตัวชนิดนี้ว่า รอยแตกเฉือน(Shear fracture) โดยหลักฐานการตัดกันของสายแร่จากการพิจารณาผ่านทางกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์แบบใช้แสงนี้สามารถบอกถึงอายุสัมพัทธ์(Relative age)



รูปที่ 3.33 ลักษณะของรอยแตกเฉือน(Shear fracture) จากหลักฐานการตัดกันและเคลื่อนตัวของสายแร่แคลไซต์

จากการวิเคราะห์การตัดกันของรอยแตกจากธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลางและธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง พบว่ามีการตัดกันของรอยแตก(Fractures)และสายแร่แคลไซต์(Calcite veins)ชัดเจนของหินที่บริเวณBlock1และBlock3 โดยอันดับการตัดกันของสายแร่แคลไซต์(Calcite vein)เข้ามาตกลึกเป็นสายแร่ ส่งผลให้เนื้อหินเดี่ยวเหมือนกัน(Homogenous) เริ่มจากรอยแตกที่เกิดตั้งฉากกับชั้นหินเป็นรอยแตกที่สายแร่แคลไซต์เข้ามาตกลึกอันดับแรก หลังจากนั้นเกิดรอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ และมีสายแร่แคลไซต์เข้ามาตกลึกเกิดเป็นสายแร่แคลไซต์แนวอนตัดผ่านทับสายแร่แคลไซต์แนวตั้ง และเกิดการตัดผ่านของรอยแตกที่เกิดสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติที่มีแร่แคลไซต์เข้ามาตกลึกเป็นสายแร่ตัดผ่านสายแร่ 2 สายก่อนหน้า ดังนั้นจะพบรอยแตกจากการสำรวจธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลางสัมพันธ์กับสายแร่แคลไซต์ของธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคในบริเวณพื้นที่ศึกษาภายในเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 3.34 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์แสดงการตัดกันของสายแร่แคลไซต์ของรอยแตก 3 แนวเรียงจากแก่ไปอ่อน จาก รอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture) รอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-parallel fracture) และรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-related fracture) (ภาพ A: PPL และภาพ B: XPL)

บทที่ 4

อภิปรายผลการศึกษา(Discussion)

จากการสำรวจธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลางและธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาค ได้ผลการศึกษ
ของธรณีวิทยาโครงสร้างทั้ง 2 ระดับ สามารถนำมาอภิปรายผลการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอย
แตก และวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตกสัมพันธ์กับธรณีแปรสัณฐานตลอดบริเวณพื้นที่ศึกษา
ภายในเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

4.1 ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตก (Structural styles of fractures)

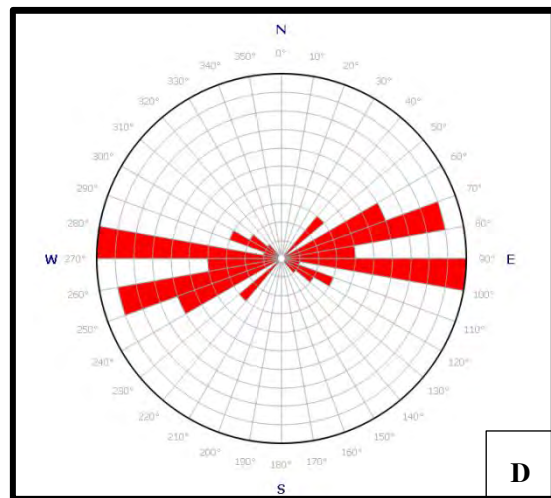
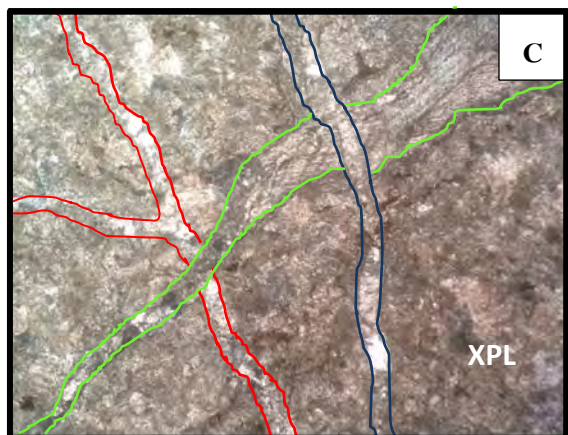
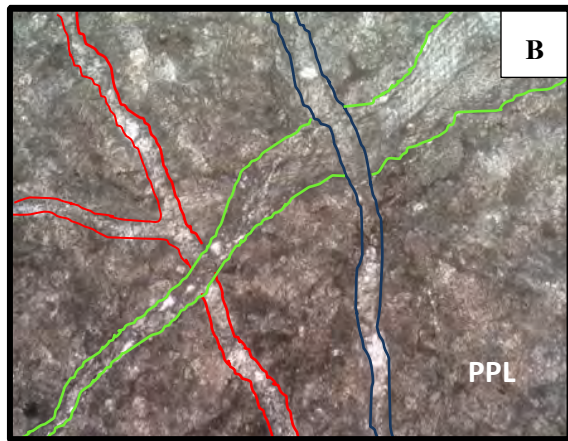
จากหลักฐานของการศึกษาธรณีวิทยาภาคสนามบริเวณพื้นที่ศึกษา สามารถบอกการเปลี่ยนแปลง
โครงสร้างทางธรณีวิทยาแบบแตกเปราะ(Brittle deformation)ของรอยแตกได้เป็น 3 ระบบที่ปรากฏตลอด
บริเวณพื้นที่ศึกษา แบ่งออกได้เป็นรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-parallel fracture)ที่มีทิศทางการวางตัวหลักอยู่
ในแนวตะวันออก-ตะวันตก(E-W) ที่พบตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา รอยแตกขนานแนวรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-
parallel fracture)ที่มีแนวการวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้เป็น(N-S)แนวหลักขนานกับรอยเลื่อนปกติที่มีแนวการ
วางตัวหลักอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NW-SE) รอยแตกที่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนปกติ
(Normal fault-related fracture) มีทิศทางการวางตัวหลักอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ(SW-
NEE) พบส่วนใหญ่เกิดบริเวณรอยเลื่อนปกติบนหินเพดานส่วนใหญ่



รูปที่ 4.1 ภาพหินโผล่บริเวณพื้นที่ศึกษา Block 1 แสดงระนาบรอยแตกทั้ง 3 ระนาบตัดกัน(กลุ่มคนในภาพสูง
ประมาณ 160-170 เซนติเมตร)

4.1.1 โครงสร้างรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (Bed-parallel fracture)

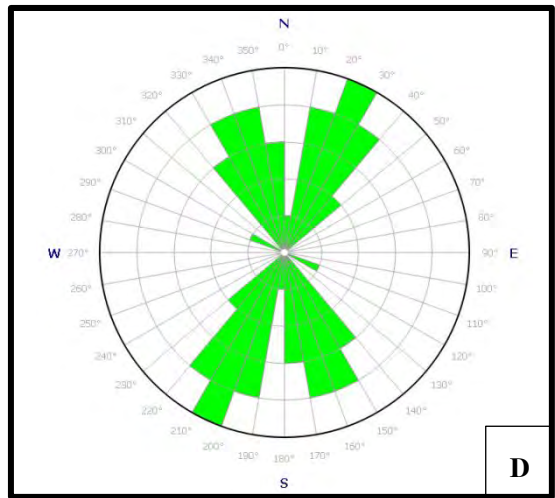
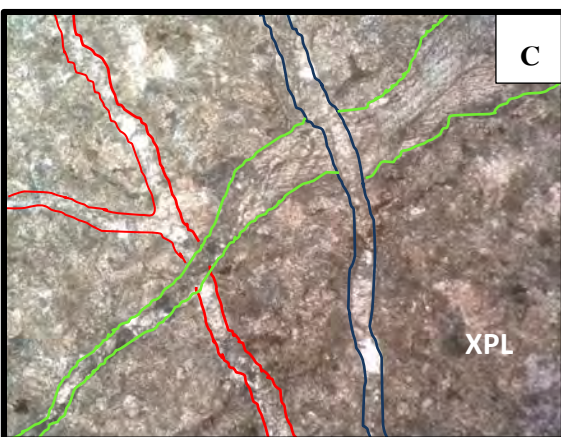
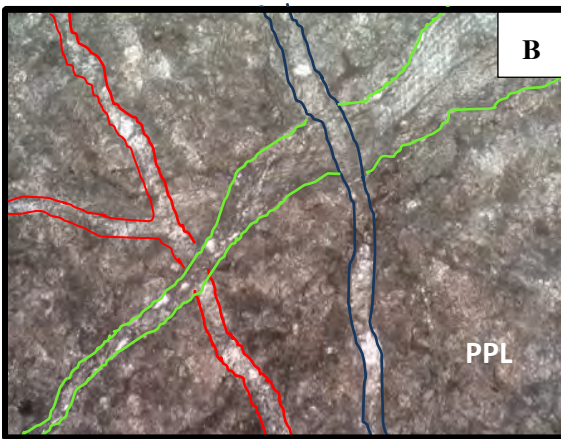
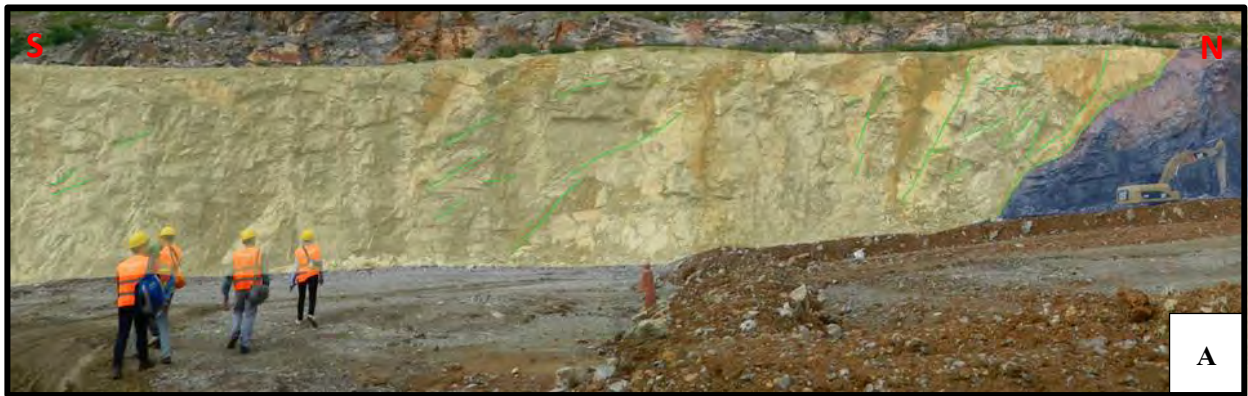
รอยแตกระนาบนี้พบกระจายตัวอยู่ตลอดพื้นที่ศึกษา แสดงระนาบรอยแตกโดดเด่นในแนวตะวันออก-ตะวันตก(E-W) พบแสดงลักษณะรอยแตกตัดชั้นหินตั้งฉากและเกือบตั้งฉากจากการเปิดออกของรอยแตกโหมด 1 แบบเปิด(Mode 1: Opening fracture) จึงตีความได้ว่ารอยแตกนี้เป็นรอยแตกที่เกิดเป็นอันดับแรกสุดของพื้นที่ศึกษา โดยรอยแตกนี้คาดว่าสัมพันธ์กับสายแร่แคลไซต์แนวตั้งฉากกับชั้นหินอันแรกสุดจากการพิจารณาโครงสร้างระดับจุลภาคผ่านกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์



รูปที่ 4.2 ภาพหิน โฟล์แสดงระนาบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน วางตัวแนวตะวันออก-ตะวันตก(ภาพA) และภาพจาก โครงสร้างระดับจุลภาคภายในแผ่นหินบางแสดงสายแร่ ขนานกับระนาบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(เส้นสีแดง)(ภาพ BและC) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบ รอยแตกตั้งฉากชั้นหินลงบนแผนภาพภูทาบ(ภาพ D)

4.1.2 โครงสร้างรอยแตกขนานระนาบรอยเลื่อนปกติ (Normal fault-parallel fracture)

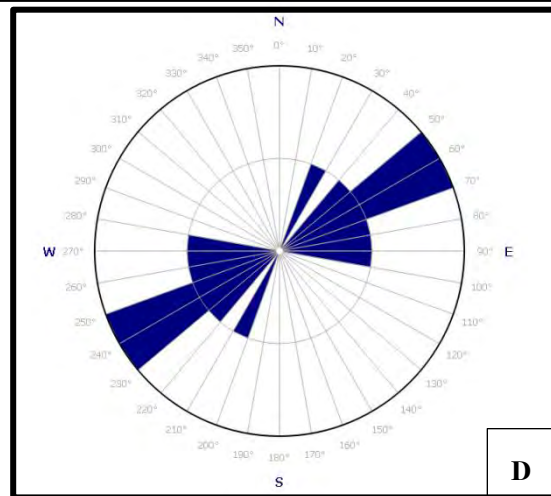
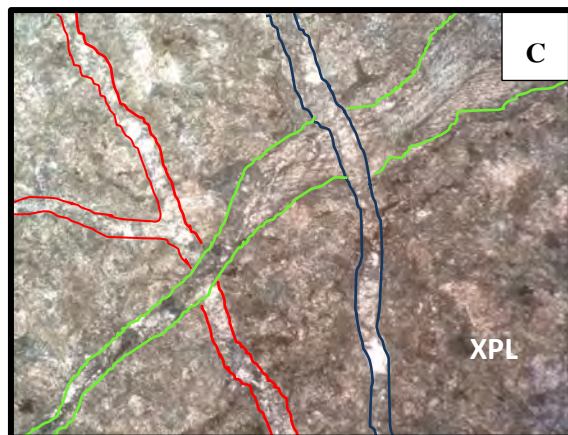
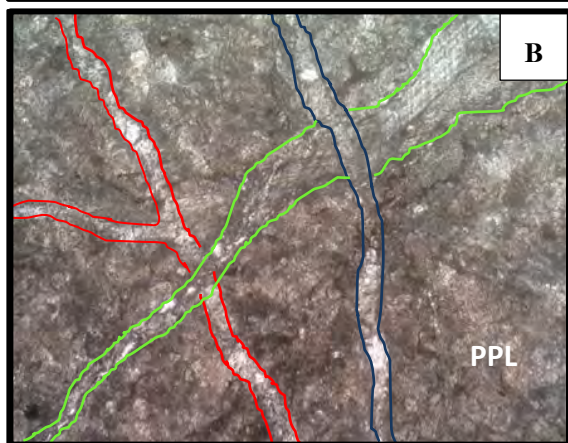
รอยแตกระนาบนี้พบกระจายตัวอยู่มากเฉพาะบริเวณรอยเลื่อนปกติบนฝั่งหินเพดาน แสดงระนาบรอยแตกโคดเด่นในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NNW-SSE) ตีความได้ว่ารอยแตกนี้เปิดออกจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนปกติจากการเปิดออกของรอยแตกโหมด 2 แบบเฉือน ซึ่งเกิดเป็นอันดับสองของระบบรอยแตก โดยรอยแตกนี้คาดว่าสัมพันธ์กับสายแร่แคลไซต์ขนานกับชั้นหินที่ตัดสายแร่แคลไซต์ตั้งฉากชั้นหินระบบแรกจากหลักฐาน โครงสร้างระดับจุดภาค



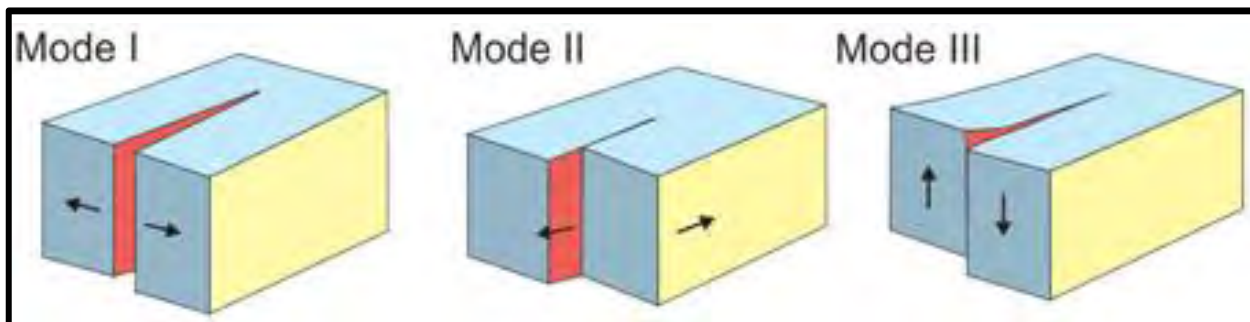
รูปที่ 4.3 ภาพหิน โฟล์แสดงระนาบรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ วางตัวแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (ภาพA) และภาพจากโครงสร้างระดับจุดภาคภายในแผ่นหินบางแสดงสายแร่ขนานกับระนาบรอยแตกนี้(เส้นสีเขียว)(ภาพ BและC) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตกตั้งฉากชั้นหินลงบนแผนภาพกู่หลาย(ภาพ D)

4.1.3 โครงสร้างรอยแตกที่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนปกติ (Normal fault-related fracture)

รอยแตกระนาบนี้พบกระจายตัวอยู่มากบริเวณรอยเลื่อนปกติบนฝั่งหินผดานที่แสดงระนาบรอยแตก โคดเด่นในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NEE-SWW) โดยระนาบรอยแตกนี้เกิดจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนปกติบริเวณที่ไม่มีการเลื่อนตัวลงตามระนาบรอยเลื่อนปกติจึงเกิดการเปิดออกของรอยแตกในแนวทำมุมกับรอยเลื่อนปกติ โดยรอยแตกนี้คาดว่าสัมพันธ์กับสายแร่แคลไซต์เกิดตั้งจากชั้นหินที่ตัดผ่านสายแร่ทั้งหมดก่อนหน้านี้จากหลักฐาน โครงสร้างระดับจุลภาค



รูปที่ 4.4 ภาพหิน โผล่แสดงระนาบรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ วางตัวแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตก(ภาพA) และภาพจากโครงสร้างระดับจุลภาคภายในแผ่นหินบางแสดงสายแร่ขนานกับระนาบรอยแตกนี้(เส้นสีน้ำเงิน)(ภาพ B และC) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตกตั้งจากชั้นหินลงบนแผนภาพกุหลาบ(ภาพ D)



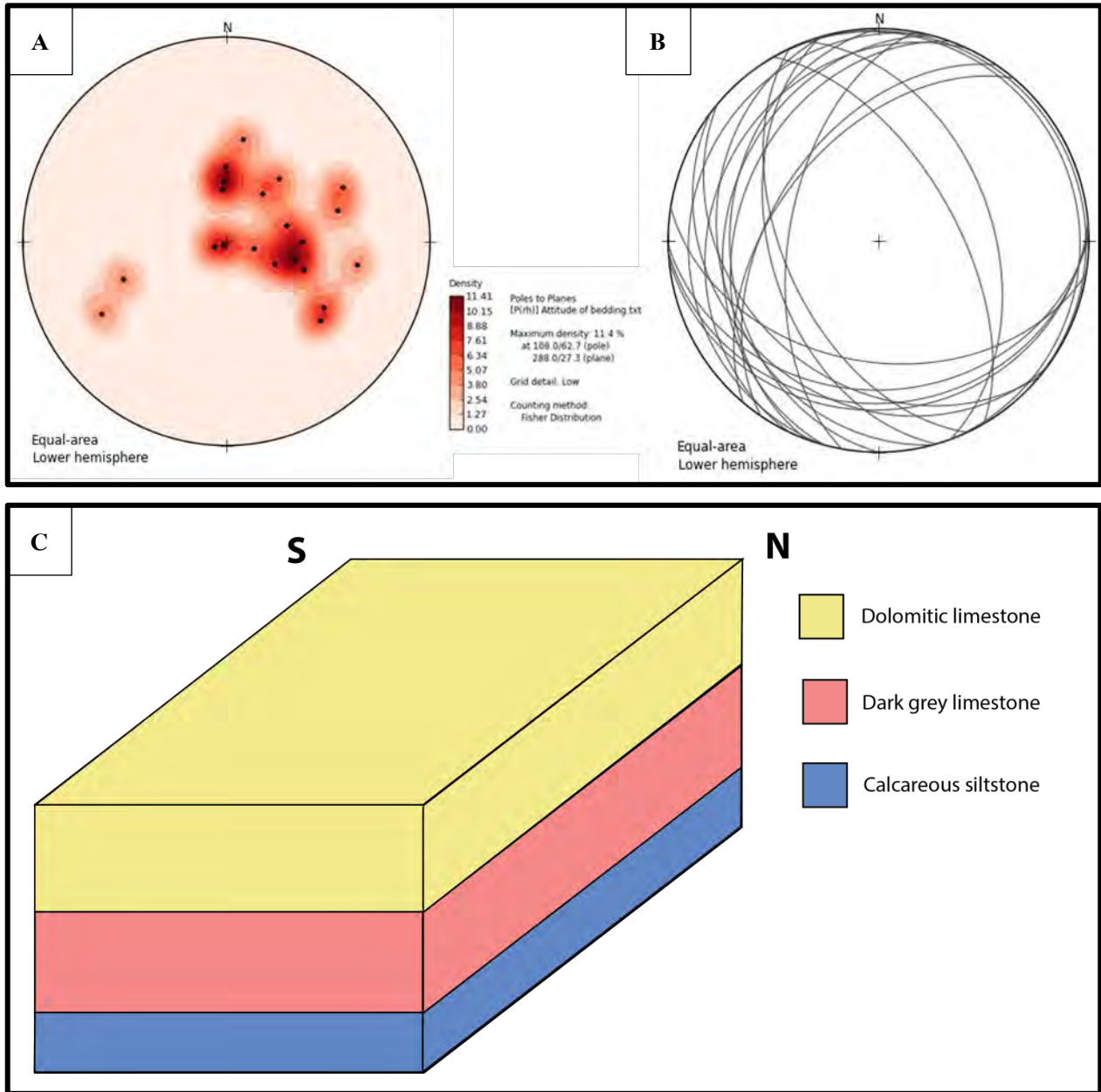
รูปที่ 4.5 แบบจำลองการเกิดรอยแตก 3 โหมด ประกอบด้วย โหมด 1 แบบเปิดออก(Mode 1: Opening fracture), โหมด 2 แบบเฉือน(Mode 2: Sliding shear mode) และ โหมด 3 แบบฉีก(Mode 3: Tearing shear fracture) (Reference: http://www.frontiersin.org/files/Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg)

4.2 วิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างรอยแตก (Structural evolution of fracture)

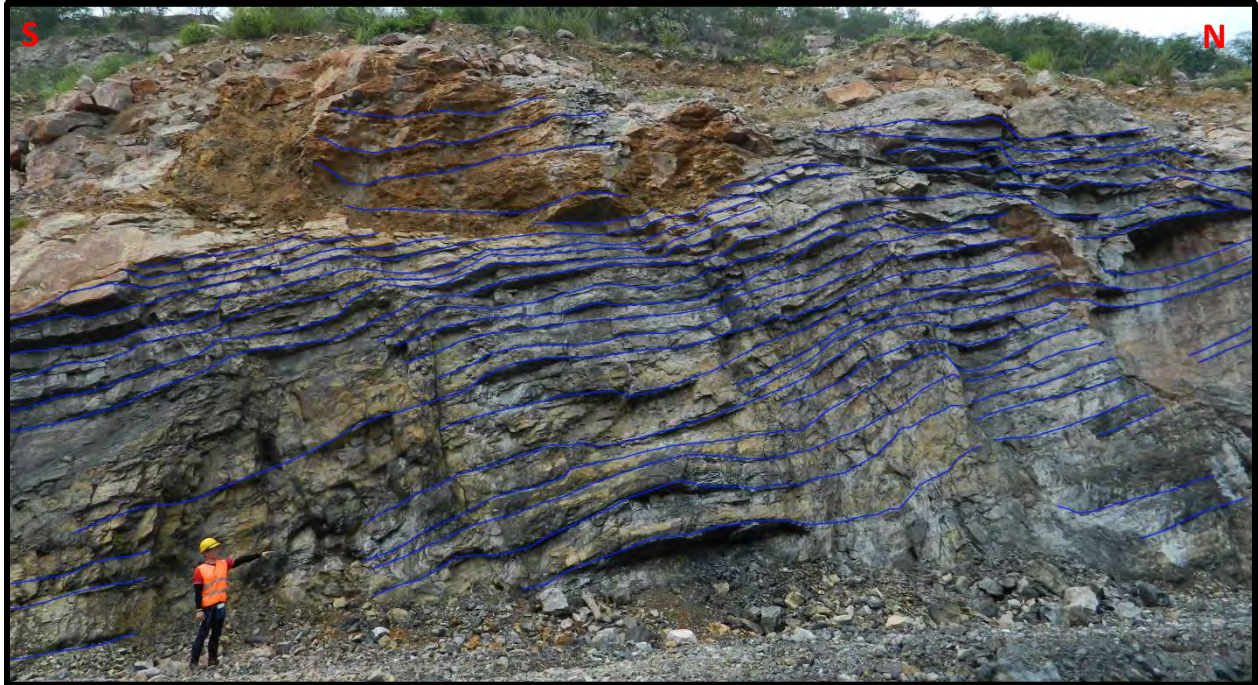
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยา โครงสร้างระดับกลางและธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาค บริเวณพื้นที่ศึกษาภายในเหมืองหินปูน บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรีสามารถสรุปวิวัฒนาการได้ทั้งหมด 4 ลำดับ ดังต่อไปนี้

ลำดับที่ 1 การตกสะสมของหินตะกอน (Stage 1 : Sedimentary rock deposit)

หลังจากที่มีการตกสะสมตะกอนของหินทรายแป้งเนื้อปูน(Calcareous siltstone) จากการลอยของตะกอนขนาดทรายแป้งมาตกสะสมบริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณเขตทะเลน้ำลึก หลังจากนั้นเกิดการลดระดับของระดับน้ำทะเลลง ส่งผลให้เกิดการตกสะสมของลานกว้างของหินคาร์บอนเนตบริเวณเขตทะเลน้ำตื้น โดยจำแนกความแตกต่างของหินปูน 2 ชนิดออกจากกันจากลักษณะที่ปรากฏธรณีวิทยา โครงสร้างระดับกลาง และโครงสร้างระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์แบบใช้แสงได้เป็นหินปูนสีเทาเข้ม(Dark grey limestone)ที่แสดงชั้นหินหนาปานกลาง พบแร่ขนาดใหญ่ และปรากฏฟอสซิลขนาดเล็กของฟิวซิลินิด และหินปูนสีเทาขาวโดโลไมต์(White dolomitic limestone)ที่แสดงชั้นหินหนามาก ปรากฏแร่โดโลไมต์(Dolomite)มากจากการเข้าไปแทนที่แร่แคลไซต์(Secondary dolomitization)และปรากฏฟอสซิลขนาดใหญ่ของฟิวซิลินิดโดยหินปูนทั้งสองคาดว่าเกิดจากอิทธิพลของหินอัคนีที่อยู่ด้านล่างส่งผลให้แร่แคลไซต์ของหินปูนสีเทาเข้มมีผลึกใหญ่และหินปูนสีเทาขาวโดโลไมต์มีแร่โดโลไมต์มากขึ้น



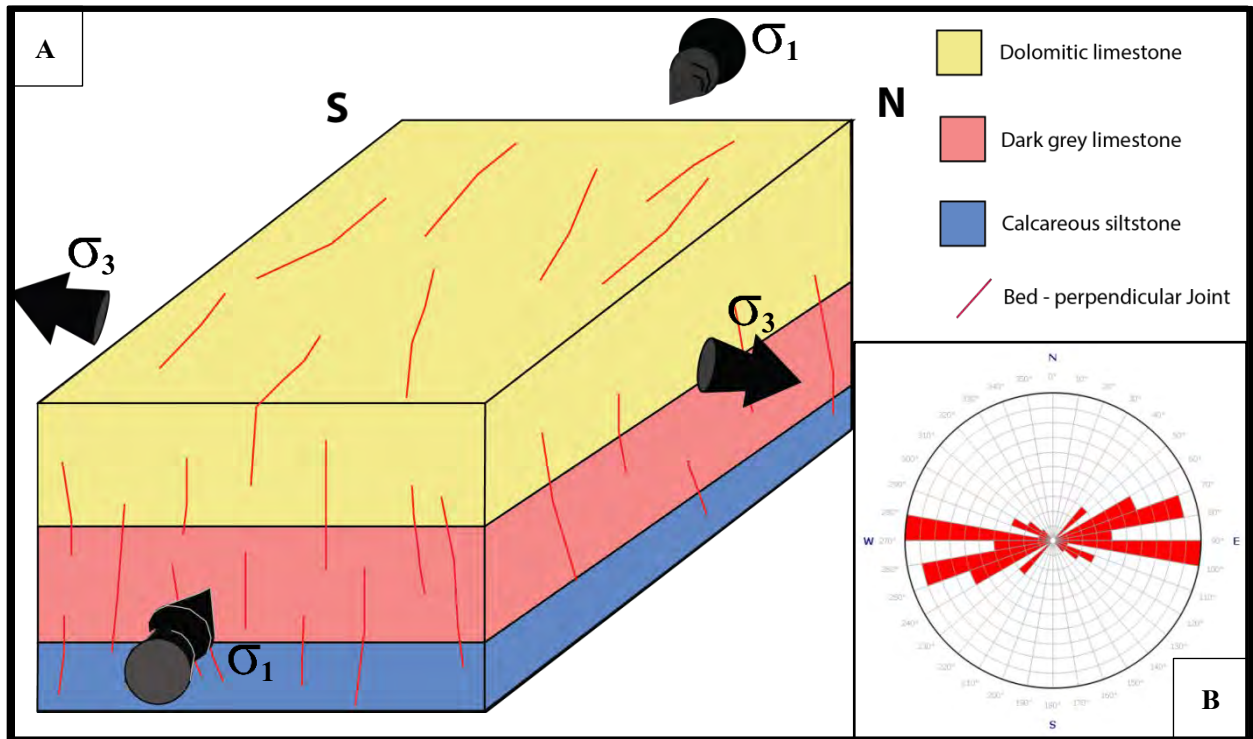
รูปที่ 4.6 ข้อมูลการวางตัวของชั้นหินตลอดพื้นที่ศึกษานตาข่ายมิติสเตอริโอเนตชนิดพื้นที่ทำแบบ Pole figure (ภาพ A) และแบบเส้น Great circle (ภาพ B) และแบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 1 : การตกสะสมของหินตะกอน (Stage 1 : Sedimentary rock deposit) จากสภาพแวดล้อมบริเวณทะเลน้ำลึกถึงบริเวณทะเลน้ำตื้นของหินปูนภายในพื้นที่ศึกษา (ภาพ C)



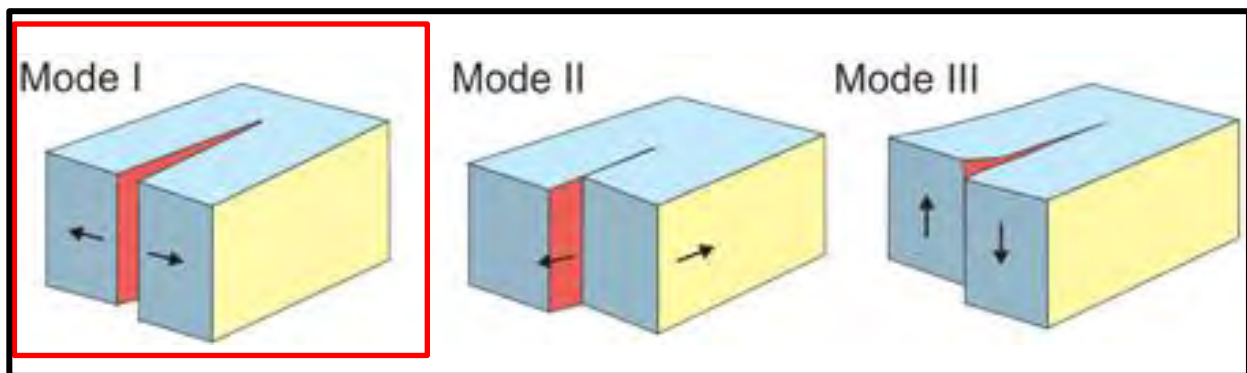
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างชั้นหินบริเวณพื้นที่ศึกษา Block 2ของหินทรายเนื้อแป้งสีเทาเข้ม(Dark grey limestone) (สีน้ำเงิน)

ลำดับที่ 2 การเริ่มมีแรงดึงออกมากกระทำ (Stage 2 : Begin extension)

หลังจากเกิดการตกสะสมของหินตะกอนบริเวณพื้นที่ศึกษาแล้ว เกิดการดึงออก(Extension)ในแนวเหนือ-ใต้เข้ามากระทำสอดคล้องกับแรงบีบอัด(Compression)เข้ามาในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ส่งผลให้เกิดการเปิดออกของระนาบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินโหมด 1 แบบเปิด(Mode 1: Opening fracture)ในทิศทางเหนือ-ใต้ เกิดเป็นรอยแตกที่เกิดตั้งฉากกับชั้นหินที่มีทิศทางขนานแนวแรงบีบอัดเข้ามากระทำและส่งผลให้ชั้นหินทั่วตลอดทั้งพื้นที่ศึกษามีแนวการวางตัวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NW-SE)ขนานสันเขาของภูมิภาคนี้ มีแนวการเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นทิศทางหลัก

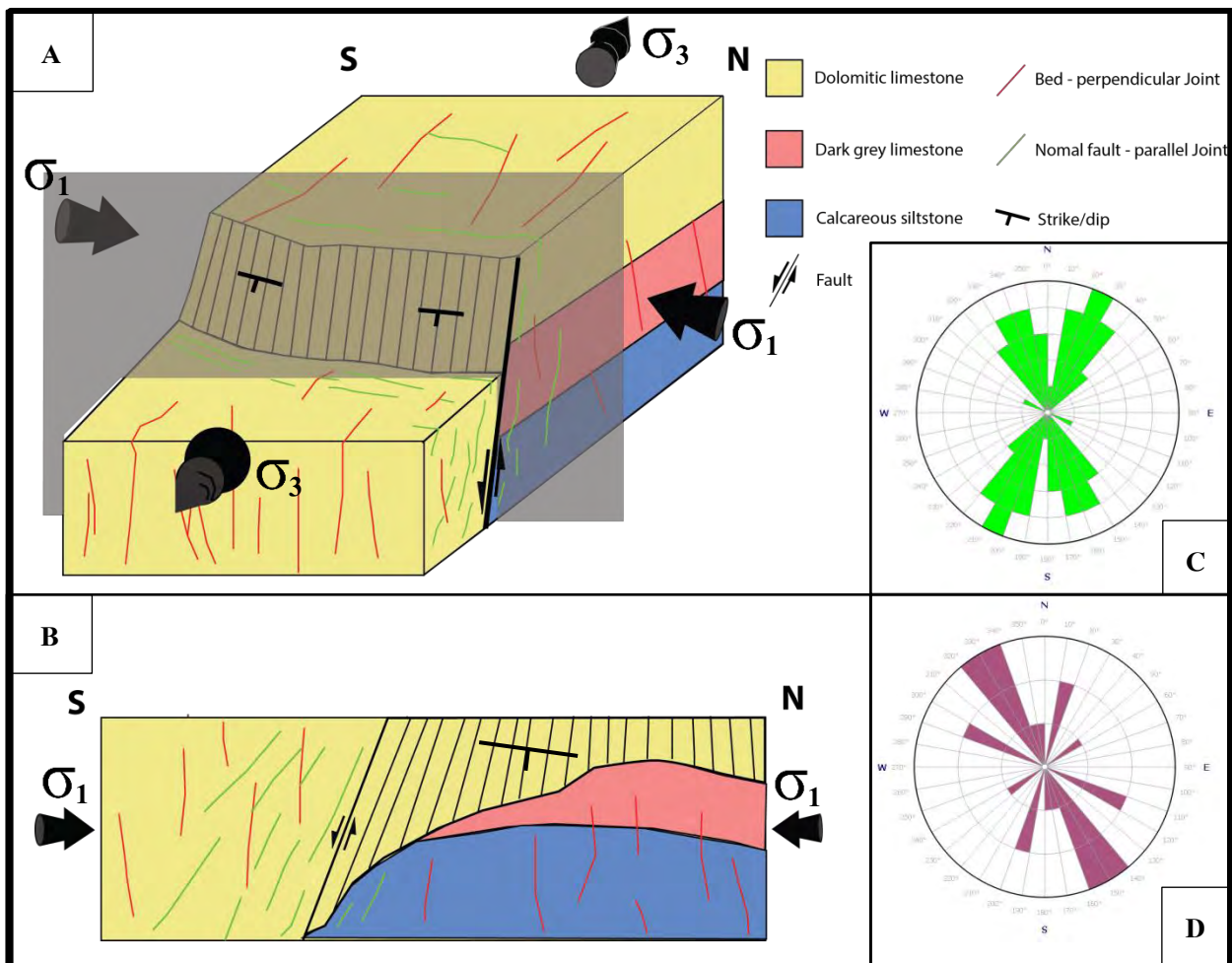


รูปที่ 4.8 แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 2 : การเริ่มมีแรงดึงออกมากกระทำ (Stage 2 : Begin extension) (ภาพ A) ในแกนทิศเหนือ-ใต้ จากการพบระนาบรอยแตกจากการเปิดออกของรอยแตกแบบโหมด 1 (Mode 1) ที่ได้รับอิทธิพลจากแรงบีบอัด (Compression) ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตกเป็นทิศทางหลัก และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตกภายในพื้นที่ศึกษาลงในแผนภาพกุหลาบ (Rose diagram) (ภาพ B)



รูปที่ 4.9 แบบจำลองการเกิดรอยแตก 3 โหมด โดยรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน (Bed-perpendicular fracture) เกิดสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกแบบโหมด 1 แบบเปิดออก (Mode 1: Opening fracture) ภายในกรอบสีแดง (Reference: http://www.frontiersin.org/files/Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg)

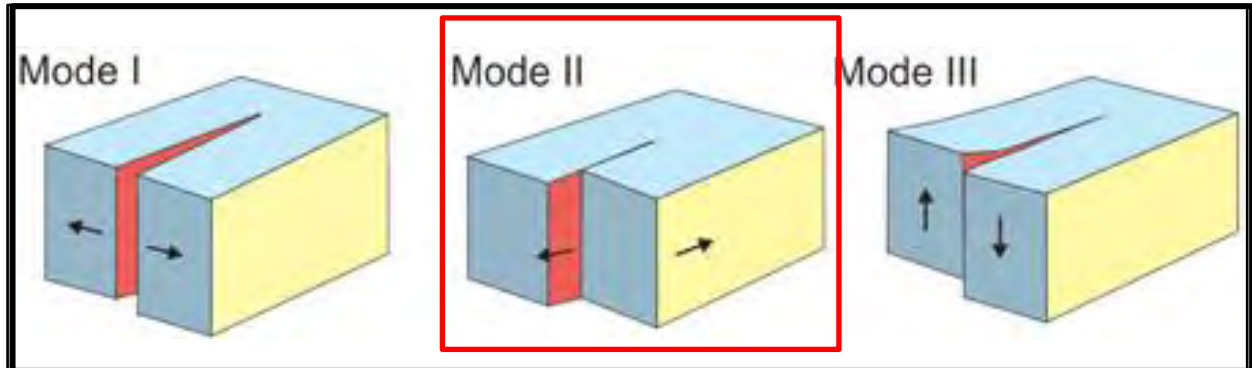
ลำดับที่ 3 การเริ่มเกิดรอยเลื่อนปกติ (Stage 3 : Normal faulting)



รูปที่ 4.10 แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 3 : การเริ่มเกิดรอยเลื่อนปกติ (Stage 3 : Normal faulting) (ภาพ A) จากธรณีแปรสัณฐานดึงออกแนวตะวันตก-ตะวันออก เกิดรอยแตกขนานรอยเลื่อนที่มีระนาบการวางตัวของรอยแตกในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE) และแสดงภาพตัดขวางของโมเดลของตำแหน่งบริเวณพื้นที่ศึกษา(ภาพ B) และผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตก(ภาพ C)และรอยเลื่อนปกติ(ภาพ D)ภายในพื้นที่ศึกษาลงในแผนภาพกุหลาบ(Rose diagram)

เกิดการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนปกติโดยมีระนาบการเลื่อนตัววางตัวอยู่ 2 แนวหลัก คือ แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NW-SE) และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NE-SW) จากแรงดึงออก(Extension)ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก(E-W)ส่งผลให้เกิดการเลื่อนตัวของรอยแตกมากกว่า 1 เมตรในแนวตั้งหรือรอยเลื่อนแบบปกติ โดยการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนปกตินี้ส่งผลให้เกิดรอยแตกขนานรอยเลื่อนจากการเกิดโหมด 2: แบบเนียน(Mode 2: Slide shearing fracture)พบกระจายตัวหนาแน่นบริเวณหินเพดาน

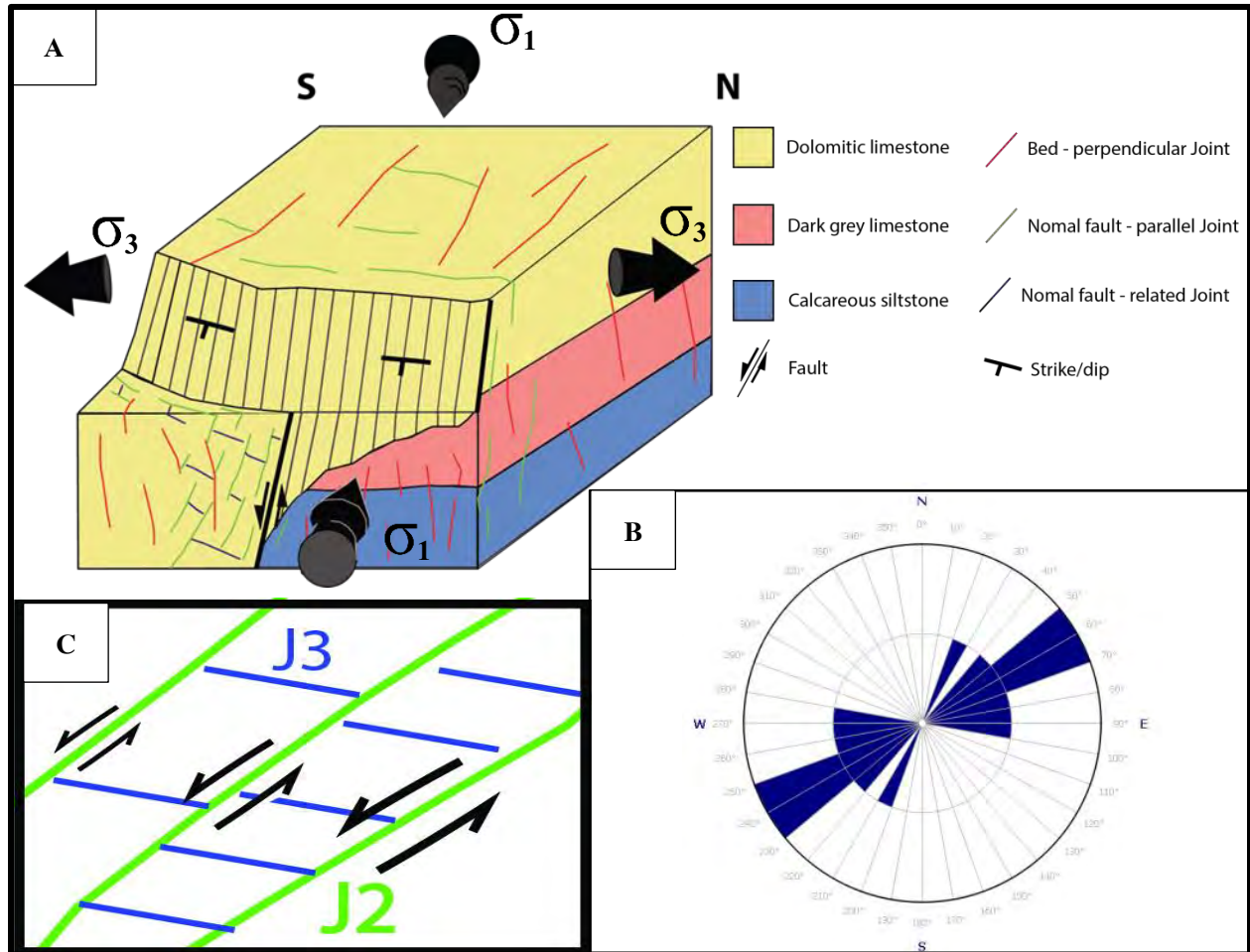
(Hanging wall) ที่แสดงการตัดกันของรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-parallel fracture) กับรอยแตกตั้งฉากชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture) บ่งบอกถึงรอยแตกที่ขนานรอยเลื่อนปกติเกิดเป็นชุดรอยแตก(Joint set) อันดับที่ 2 ที่เกิดขึ้นตลอดบริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.11 โมเดลการเกิดรอยแตก 3 โหมด โดยรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติ(Bed-parallel fracture)เกิดสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกแบบโหมด 2 แบบเฉือน(Mode 2: Sliding shear fracture)ภายในกรอบสีแดง(Reference: http://www.frontiersin.org/files/Articles/97164/feart-02-00010-HTML/image_m/feart-02-00010-g004.jpg)

ลำดับที่ 4 การเปลี่ยนทิศทางความเค้นสูงสุด (Stage 4 : Maximum stress change)

เมื่อแรงที่เข้ามามีค่าแบบบีบอัดในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SSW)จาก Stage 3 เปลี่ยนทิศทางมาอยู่แนวเดียวกับ Stage 4 ระบบรอยแตกในช่วงสุดท้ายนี้เกิดจากแรงดึงออกในทิศทางหลักแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SSW) ส่งผลให้เกิดการเลื่อนตัวของระนาบรอยเลื่อนปกติไปทางใต้ ซึ่งส่งผลให้เกิดการพัฒนาแนวรอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-parallel fracture)มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปิดออกของแนวรอยแตกออกในแนวการวางตัวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SWW)ที่ทำมุมกับระนาบรอยเลื่อนปกติหรือเกิดรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-related fracture) โดยพบการกระจายตัวของรอยแตกนี้อยู่บริเวณรอยเลื่อนมากที่แสดงหลักฐานการตัดกันของรอยสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติกับรอยแตกระบบอื่น



รูปที่ 4.12 แบบจำลองโครงสร้างธรณีวิทยาลำดับที่ 4 : การเปลี่ยนทิศทางความเค้นสูงสุด (Stage 4 : Maximum stress change) (ภาพ A) จากธรณีแปรสัณฐานดั้งเดิมออกแนวเหนือ-ใต้ เกิดระนาบรอยแตกทำมุมกับรอยเลื่อนที่มีระนาบการวางตัวหลักของรอยแตกในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SSW) ผลจากการกำหนดข้อมูลระนาบรอยแตก(ภาพ B) ภายในพื้นที่ศึกษาลงในแผนภาพกุหลาบ(Rose diagram) และภาพร่างแสดงการเปิดออกของระนาบรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(ภาพ C)

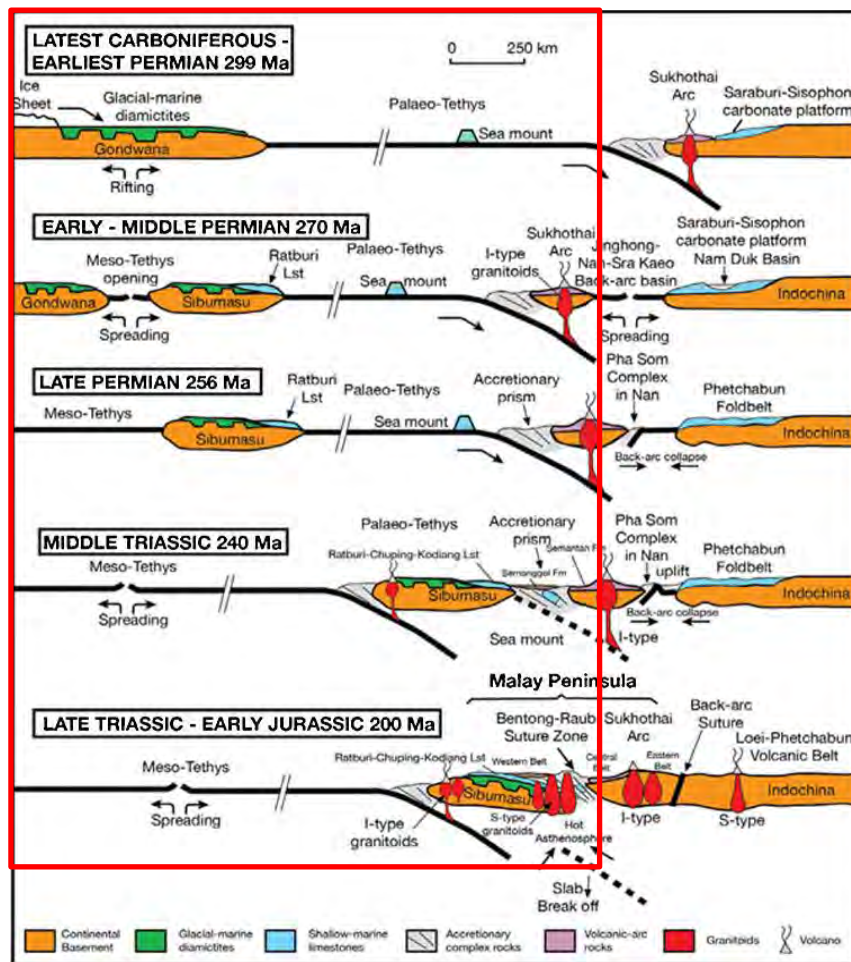
4.3 วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานบริเวณพื้นที่ศึกษา (Tectonic evolution of study area)

จากการสะสมตัวของหินตะกอนบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งแต่บริเวณเขตทะเลลึกบนลานกว้างคาร์บอนेटในช่วงแรกที่มีสภาพแวดล้อมแบบ High energy open platform (Baired and Bosence, 1993) ส่งผลให้เกิดการตกสะสมตะกอนกลายเป็นหินทรายเนื้อแป้งสีเทาดำ(Dark grey calcareous siltstone) จนกระทั่งเปลี่ยนระดับน้ำทะเลลดลง(Shallow marine) เกิดการตกสะสมของตะกอนคาร์บอนेटบริเวณ Restricted platform เป็น

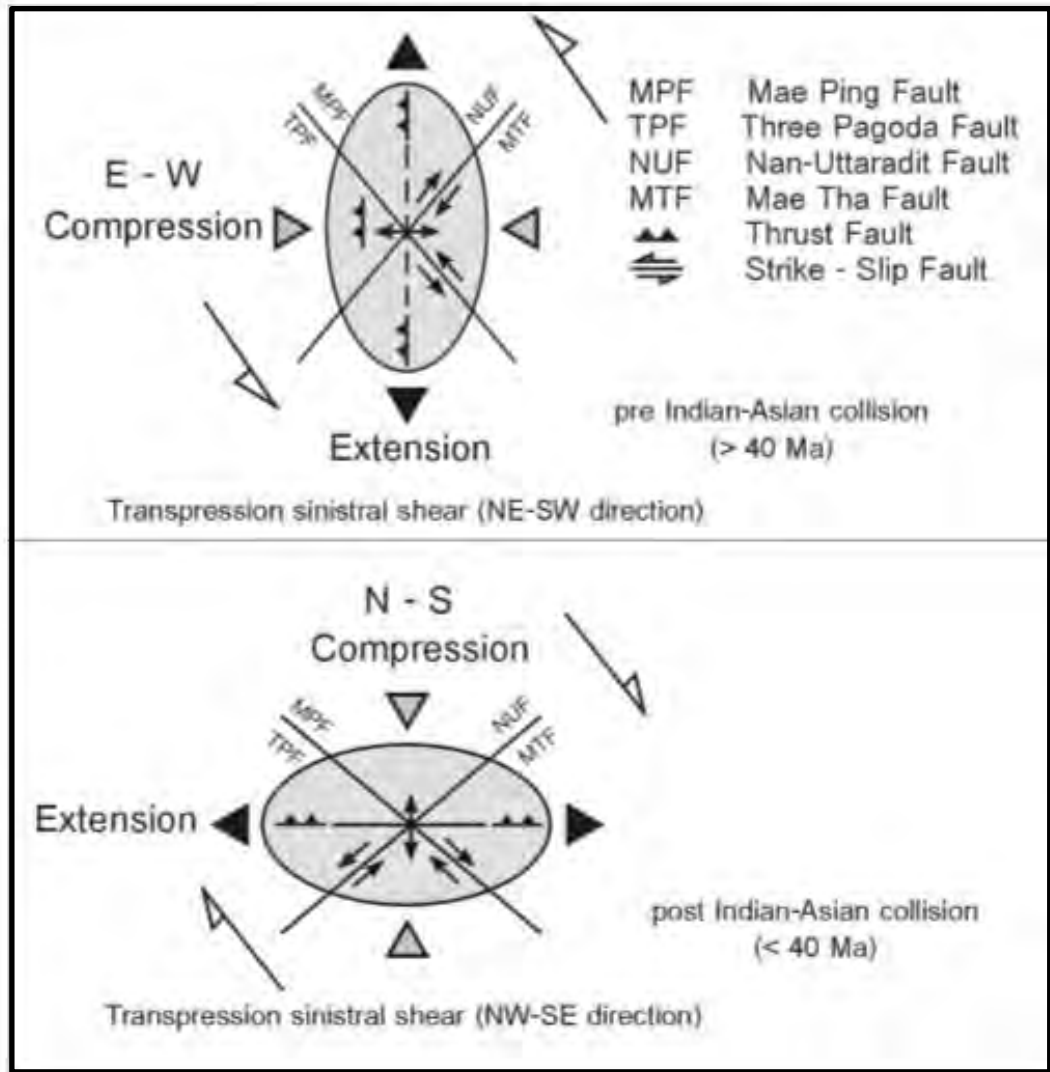
หินปูนทั้ง 2 ชนิดในพื้นที่ศึกษาที่มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงตอนปลาย(Middle-Late Permian)บนบริเวณขอบทางด้านตะวันออกของแผ่นทวีปไซบุมาสู(Sibumasu)(Morley ,2013) และแสดงการเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปมุดตัวลง(Subduction)ใต้แผ่นอินโดจีน(Indochina)ในช่วงตอนปลายยุคไทรแอสซิก-ตอนต้นยุคจูแรสซิก(Late Triassic-Early Jurassic) เกิดหินแกรนิตไทรแอสซิกแทรกขึ้นมา(Triassic granite)บริเวณทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งคาดว่าเป็นส่วนหนึ่งของหินแกรนิตหุบกระโปรง(Hub-Krapong granite)หรือภายในแอ่งหินอัคนีตรงกลาง(Central granite belt) ส่งผลให้หินปูนในพื้นที่ศึกษาเกิดการแทนที่ของแร่โดโลไมต์จากการพามาเมกนีเซียมมากับสายแร่จากการเกิดโดโลไมต์แบบ 2(Secondary dolomitization) โดยธรณีแปรสัณฐานแรกเริ่มบริเวณพื้นที่ศึกษา(Metcalf, 2013) เริ่มจากยุคพรีแคมเบรียนที่แผ่นเปลือกโลกฉานไทย(Shan Thai) และแผ่นเปลือกโลกอินโดไชน่า(Indochina plate)เป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกกอนด์วานา(Gondwana)อยู่ทางเหนือของแผ่นออสเตรเลีย(Australian plate) เริ่มเกิดการยกตัวของแผ่นทวีปกอนด์วานาเกิดการแยกออกของแผ่นอินโดไชน่าช่วงกลางยุคดีโวเนียน(Middle Devonian) เคลื่อนตัวจากซีกโลกใต้ขึ้นมาทางทิศเหนือก่อนแผ่นทวีปฉานไทย โดยแผ่นทวีปฉานไทยเริ่มแยกตัวออกจากแผ่นทวีปกอนด์วานาในช่วงตอนต้นถึงตอนปลายของยุคเพอร์เมียน(Early-Middle Permian)และเคลื่อนที่จากบริเวณซีกโลกใต้กับเส้นศูนย์สูตร(Low Southern latitude) มาอยู่บริเวณซีกโลกเหนือใกล้กับเส้นละติจูด(Low Northern latitude) เกิดการตกสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนเนตเป็นกลุ่มหินราชบุรีมีอายุในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง-เพอร์เมียนตอนปลาย(Middle Permian-Late Permian) หลังจากนั้นเกิดการปิดตัวลงของมหาสมุทรโบราณ(Paleo-Tethys)จากการมุดตัวลงของแผ่นทวีปฉานไทยใต้แผ่นทวีปอินโดจีนจนกระทั่งแผ่นทวีปทั้งสองเกิดการชนกันในช่วงตอนปลายยุคไทรแอสซิก(Late Triassic) เกิดธรณีวิทยาโครงสร้างที่ซับซ้อนมากบริเวณตะเข็บ(Suture) เรียกการเกิดธรณีแปรสัณฐานช่วงนี้ว่า Indochina orogeny หลังจากนั้นแผ่นทวีปอินเดีย-ออสเตรเลีย(India-Australia plate) เคลื่อนตัวชนกันกับแผ่นยูเรเชีย(Eurasia plate)ช่วง Mid Eocene - Mid Miocene (Charusiri *et al.*, 2000) หรือในยุคเทอร์เชียรี(Tertiary) เรียกช่วงนี้ว่า Himalayan orogeny เกิดการหมุนของรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และรอยเลื่อนแม่ปิงแบบตามเข็มนาฬิกา(Clockwise)ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนลักษณะของรอยเลื่อนแนวระดับเป็นขวาเข้าแบบแตกเปราะ(Right lateral brittle strike-slip fault)ดังปัจจุบัน

จากธรณีแปรสัณฐานที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถอธิบายการเกิดวิวัฒนาการรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้ ช่วงแรกการชนกันของ 2 แผ่นทวีประหว่างแผ่นทวีปฉานไทยและแผ่นทวีปอินโดจีนในช่วงตอนปลาย

ยุคไทรแอสซิก(Metcalf, 2013) ส่งผลให้เกิดรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture) ที่มีระนาบรอยแตกวางตัวแนวตะวันออก-ตะวันตกขนานทิศทางความเค้นสูงสุด(Maximum stress)(รูปที่4.11 A) และในช่วงยุคเทอร์เชียรีจากการชนกันของ 2 แผ่นทวีประหว่างแผ่นอินเดีย-ออสเตรเลียและแผ่นทวีปยูเรเชีย(Charusiri et al., 2000) (รูปที่4.11 B) ส่งผลให้เกิดรอยเลื่อนปกติและรอยแตกขนานกับรอยเลื่อน(Normal fault-parallel fracture)ที่มีแนวการวางตัวแนวออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และหลังจากนั้นเกิดการการเปลี่ยนทิศทางความเค้นสูงสุด(Maximum stress change)จากการชนกันของสองแผ่นทวีป เกิดการพัฒนาเป็นรอยแตกสุดท้ายที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-related fracture) โดยทำมุมกับระนาบรอยแตกขนานรอยเลื่อน



รูปที่ 4.13 แบบจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนช่วงตอนปลายของยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงตอนต้นของยุคจูแรสซิก บริเวณกรอบสีแดงแสดงธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษา(Modified from Metcalfe, 2013)



รูปที่ 4.14 ทรงรีความเครียด(Strain ellipsoids)แสดงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของความเค้นสูงสุด(Maximum stress)และความเค้นน้อยสุด(Minimum stress) ที่เข้ามากระทำในแต่ละช่วงเวลา โดยแสดงช่วงก่อนIndochina orogeny (ภาพ A)และช่วงหลัง Indochina orogeny(ภาพ B) (Reference from Charusiri and Pum-Im, 2009)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยา โครงสร้างภาคสนามระดับกลางและจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาคของสายแร่แคลไซต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบโพลาไรซ์สามารถสรุปลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของรอยแตก วิวัฒนาการธรณีโครงสร้างของรอยแตก และวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานบริเวณพื้นที่ศึกษาภายในเหมืองหินปูนบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ได้ดังต่อไปนี้

ระบบรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษาจากการเก็บข้อมูลโครงสร้างธรณีวิทยาระดับกลาง(Mesosopic scale) สามารถแบ่งประเภทของรอยแตกที่พบออกเป็น 3 ระบบเรียงจากอายุมากไปอายุน้อย โดยเริ่มจากระบบรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหิน(Bed-perpendicular fracture) ที่มีระนาบการวางตัวของรอยแตกในแนวตะวันออก-ตะวันตก ถัดมาเป็นระบบรอยแตกขนานกับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-parallel fracture) ที่มีระนาบการวางตัวหลักของรอยแตก 2 แนวหลักในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NNE-SSW) และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE) เกิดจากรอยเลื่อนปกติที่มีระนาบรอยเลื่อนอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้(NNW-SSE) และรอยแตกสุดท้ายคือรอยแตกที่เกิดสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ(Normal fault-related fracture)ที่มีระนาบหลักอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NEE-SWW)เป็นแนวหลัก

วิวัฒนาการธรณีโครงสร้างของรอยแตกบริเวณพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ระดับโดยสามารถเทียบเคียงกับธรณีแปรสัณฐาน เริ่มจากลำดับที่ 1 การตกสะสมของตะกอนคาร์บอเนต(Carbonate sediment deposit) จากบริเวณขอบเขตทะเลลึกเป็นขอบเขตทะเลตื้น เทียบเคียงกับช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง-เพอร์เมียนตอนปลาย (Middle Permian-Upper Permian)ของการตกสะสมตะกอนคาร์บอเนตของกลุ่มหินราชบุรี (Chaodumrong *et al.*, 2007) จากนั้นเกิดลำดับที่ 2 ความเครียดสูงสุดเข้ามากระทำ(Maximum stress)ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ส่งผลให้เกิดการเปิดออกของรอยแตกตั้งฉากกับชั้นหินแบบโหมด 1 เปิดออก จากการชนกันของแผ่นทวีปฉานไทยและแผ่นทวีปอินโดจีนในช่วงตอนปลายยุคไทรแอสซิก-ตอนต้นยุคจูแรสซิก(Late Triassic-Early

Jurassic)(Morley ,2013) ลำดับที่ 3 เกิดรอยเลื่อนปกติจากแรงดึงออกแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก เกิดการพัฒนากลายเป็นรอยแตกขนานรอยเลื่อนปกติที่พบกระจุกตัวอยู่มากบริเวณรอยเลื่อน จากการชนกันของแผ่นทวีปอินเดีย-ออสเตรเลีย(India-Australia plate) เคลื่อนตัวชนกันกับแผ่นยูเรเชีย(Eurasia plate)ช่วง Mid Eocene - Mid Miocene (Charusiri *et al.*, 2000) และลำดับสุดท้ายเกิดการเปลี่ยนทิศทางของความเค้นสูงสุด เกิดระบบรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติที่มีทิศทางของความเค้นมากที่สุด ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้(NEE-SWW) แต่จากการกำหนดข้อมูลลงบนแผนภาพกุหลาบ พบข้อมูลรอยแตกมีการกระจายตัวบ่งบอกถึงเกิดการเปลี่ยนทิศทางความเค้นสูงสุด จึงเกิดรอยแตกสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

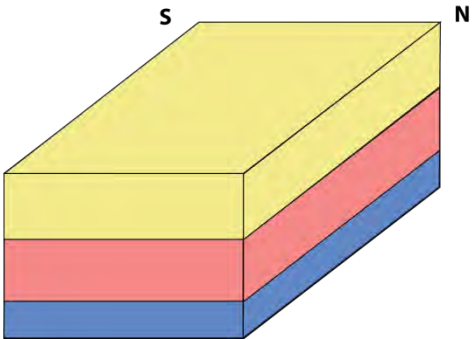
1. สภาพภูมิอากาศช่วงที่ทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงฤดูฝนส่งผลให้การเก็บข้อมูลเป็นไปได้ด้วยความเร่งรีบ และอันตรายเนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ภายในเหมืองที่อาจเกิดหินร่วง(Rock fall) หรือเกิดการเลื่อนตัวของระบบรอยแตกได้ง่าย(Failure)
2. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างหินขัดบาง(Thin section)จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่งที่เก็บจากภาคสนาม อาจแสดงแนวการตัดกันของรอยแตกหรือสายแร่ผิดเพี้ยนเล็กน้อย เนื่องจากขั้นตอนการตัดหินหยาบ อาจตัดไม่ตั้งฉากกับการวางตัวของชั้นหิน(Attitude of bedding)

5.3 ข้อเสนอแนะ

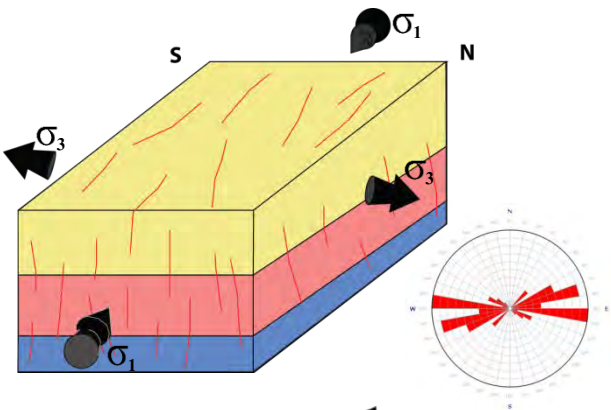
1. เนื่องจากพื้นที่ศึกษา ยังไม่ได้มีการจัดทำชั้นหิน(Stratigraphic column)ของกลุ่มหินราชบุรีอย่างเป็นทางการ จึงไม่สามารถบอกช่วงเวลาของการตกสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนที่แน่นอนได้ว่าตรงกับหมวดหินไหนในกลุ่มหินราชบุรี
2. พื้นที่ศึกษามีความเสถียรภาพของความชัน(Slope stability)ในเชิงวิศวกรรมธรณีต่ำจากการประเมินหน้างานที่มีการเปิดชั้นบันได(Bench)ของเหมืองประมาณ 70-80องศา ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคนงานได้ หากเกิดแผ่นดินไหวบริเวณนี้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรจัดทำประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดการถล่มต่อไปภายในอนาคต

The structural evolution model of fracture

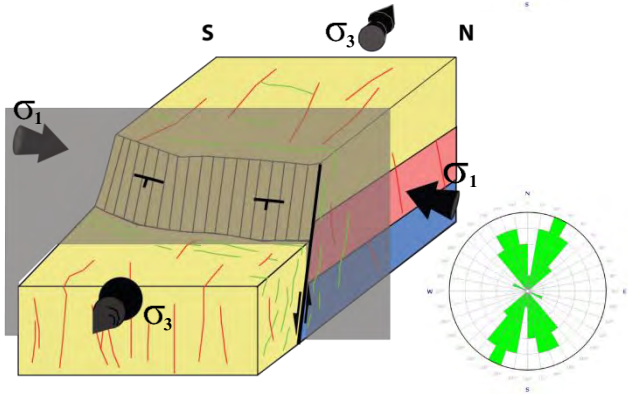
Stage 1: Sedimentary rock deposit



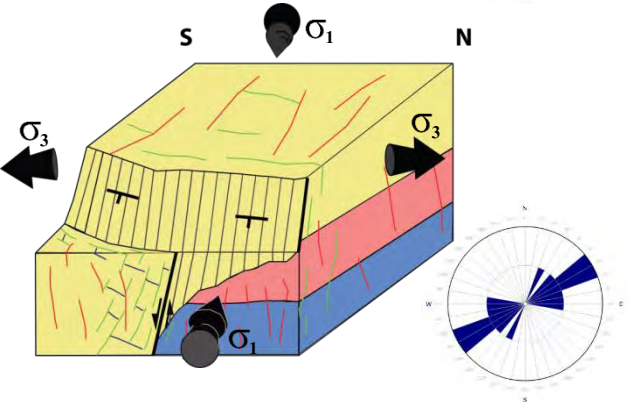
Stage 2: Begin extension



Stage 3: Normal faulting



Stage 4: Maximum stress shift



เอกสารอ้างอิง(References)

- กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550. ธรณีวิทยาประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร: สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- กรมทรัพยากรธรณี, 2551. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาแลทรัพยากรธรณี จังหวัดเพชรบุรี.
กรุงเทพมหานคร: บริษัท แอดวานซ์ วิชั่น เซอร์วิส จำกัด, สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและเกษตร (องค์การมหาชน), กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมทรัพยากรธรณีและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543. โครงการการศึกษาและจัดทำแผนแม่บทการอนุรักษ์และฟื้นฟูเขานางพันธุรัต อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี.แหล่งที่มา:<http://www.gisthai.org/resource/chulaex/project8.html>. 13 พฤศจิกายน 2558.
- กรมทรัพยากรธรณี, 2519. แผนที่ธรณีวิทยาแนวอำเภอดำเนินสะดวก(ND 47-15), กรุงเทพมหานคร: กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี.
- Baird, A., and Bosence, D. 1993. The sedimentological and diagenetic evolution of the Ratburi Limestone, Peninsular Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, p.173-180.
- Bunopas, S. 1983. Paleozoic succession in Thailand, workshop on stratigraphic correlation of Thailand and Malaysia, Department of Mineral Resources, p.72.
- Charusiri, P and Pum-Im, S. 2009. Cenozoic Tectonic Evolution of Major Sedimentary Basins in Central, Northern, and the Gulf of Thailand, *The Best 2009*, p. 40-62.
- Flügel, E., Flügel, E. and Flügel, E., 2004, *Microfacies of Carbonate rocks: Analysis,*

interpretation and application. Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co.

K., p. 352-354.

Hatcher, R.D. 1995. Structural geology: Principles, concepts, and problems. 2nd Ed. New Jersey:

Prentice Hall. 525p.

Hills, J.W., 1989, The geology of Phuket district of Thailand and its tectonic relationship to

Gondwanaland: BSc Honors Thesis, Geology Department, University of Tasmania, 144 p.

Houghton, J., n.d., Introduction to structural geology. School of Earth and Environment, University

of Leeds. 43p. Retrieved from: [http://www.sciencenc.com/event-help/examples/geologic/](http://www.sciencenc.com/event-help/examples/geologic/Introduction%20to%20stereonet.pdf)

[Introduction%20to%20stereonet.pdf](http://www.sciencenc.com/event-help/examples/geologic/Introduction%20to%20stereonet.pdf).

Leyshon, P., and Lyle, R. 2004. Stereographic Projection Techniques in Structural Geology.

Cambridge: Cambridge University Press.

Metcalf, I., 2013 Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic

evolution of eastern Tethys, *Journal of Asian Earth Sciences*, p. 1–33.

Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J., 2005. Microtectonics, 2nd edn. Springer-Verlag, Heidelberg,

Berlin.

Pitapaivan, K., 1965, Fusulinacean fossils from Thailand, Part 1: Fusulinies of the Ratburi limestone

of Thailand: Faculty of Sciences, Kyushi University, Menoir, Series D, Geology, v.17,p.1-69.

Rhodes, P., Charusiri, P., Kosuwan, S. and Lamjuan, A., 2000. Tertiary of the Three Pagodas Fault, Western Thailand.

Ueno, K., Charoentitirat, T., 2011. Carboniferous and Permian. In: Ridd, M.F., Barber, A.J., Crow, M.J. (EDs.), The Geology of Thailand. The Geological Society of London, p.71-136.

Watkinson, I., Elders, C. and Hall, R. 2008. The kinematic history of the Khlong Marui and Ranong faults, southern Thailand', *Journal of Structural Geology*, 30(12), p. 1554–1571.