

ชั้นหินคดโค้งของแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัด
เพชรบูรณ์

นาย ญาณวิทย์ ศรีสูงเนิน

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชา
ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

FOLDS OF THE LOEI-PETCHABUN FOLD BELT AT KLONG LAMGONG RESEVIOR,
CHANGWAT PETCHABUN

MR. YANNAVIT SORNSOONGNOEN

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF THE BACHELOR OF SCIENCE,
DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE,
CHULALONGKORN UNIVERSITY, 2013

วันที่ส่ง/...../.....
วันที่อนุมัติ/...../.....
ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อ (ภาษาไทย)	ชั้นหินคดโค้งของแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์
ชื่อ-สกุล	นายญาณวิทย์ ศรีสูงเนิน
รหัสนิสิต	533 27093 23
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์

แนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ วางตัวต่อเนื่องมาจากแนวชั้นหินคดโค้งเลย - เพชรบูรณ์มีทิศการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ หรือเกือบเหนือ - ใต้ ลักษณะทางธรณีวิทยาของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกงประกอบด้วยหินทรายแกรนิตแกวยุคเพอร์เมียน อยู่ในหมวดหินน้ำดุก

การศึกษาและวิเคราะห์ร่วมกันในระดับมัธยมศึกษาและจุลภาคนี้ สามารถอธิบายลักษณะพฤติกรรมและธรณีโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกงได้ การสำรวจภาคสนามได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลโครงสร้างแนวการวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) และโครงสร้างแนวรอยเลื่อน (fault) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ผลลัพธ์จากการกำหนดข้อมูลภาคสนามลงบนตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (Equal-area stereographic projection) และแผนภาพกุหลาบ (Rose diagram) แสดงถึงทิศทางของโครงสร้างที่สอดคล้องกับแนวโครงสร้างหลัก โดยหินในพื้นที่ศึกษามีหลักฐานแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายใต้แรงบีบอัด (compression) แบบอ่อนนุ่มถึงแตกเปราะ คือ การพบโครงสร้างประทุนหงาย (antiform) และประทุนคว่ำ (synform) ที่มีระนาบการบิดโค้ง (fold axis) ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ พบเขตเงาความเค้น (Strain shadow) ในแผ่นหินขัดบาง และจากลักษณะผลึกแร่ถูกแรงบีบอัดจนแตกละเอียดในแผ่นหินขัดบาง แสดงการถูกแรงบีบอัดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ อีกทั้งธรณีวิทยาโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงลักษณะของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกงมีความสัมพันธ์กับรูปลักษณะของแนวชั้นหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ และพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ และอินโดจีนในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้นถึงตอนปลาย

คำสำคัญ: แนวชั้นหินคดโค้งเลย - เพชรบูรณ์

Title	Folds of the Loei-Petchabun Fold Belt at Klong Lamgong Reservoir, Changwat Petchabun
Present by	Mr.Yannavit Sornsoongnoen
ID	533 27093 23
Advisor	Asst.Prof.Pitsanupong Kanjanapayont

Folds of the Loei-Petchabun Fold Belt at Klong Lamgong Reservoir, Changwat Petchabun lies in NE-SW direction and lies almost in N-S direction. Geology in this area consists of Permian greywacke sandstone in Nam Duk formation.

The evidences from mesoscopic and microscopic structural geology can be explained for the structural style of folds at Klong Lamgong Reservoir. From the field observation, record attitude of bedding, lineations and faults, all of which have been observed and measured in the field. By using Equal-area stereographic projection and Rose diagram, the data shown the trends that conform to major structure. The evidences of the compressional motion of ductile to brittle are antiform and synform that have fold axis in the NE-SW direction, strain shadow and a lot of crack in minerals grain in the thinsections that indicated a compressional force in NW-SE direction. Also the structural geology and deformation of folds at Klong Lamgong Reservoir related Loei-Petchabun Fold Belt and also concern in a behavior of the motion between Sibumasu plate and Indochina plate that are collided in Late Triassic period.

กิตติกรรมประกาศ

ประการแรก ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางด้านงบประมาณและค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ รวมไปถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำงานในห้องปฏิบัติการ

ประการที่สอง ขอขอบคุณอย่างสูงแก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยในครั้งนี้ อาจารย์ได้เสียสละเวลามาช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนามและให้คำปรึกษาในขั้นตอนต่างๆระหว่างการดำเนินงานวิจัยอย่างเต็มที่

นอกจากนั้น ขอขอบคุณนางสาวอัญญาณี เกษโกวิท, นางสาวดุจกมล วงสุวิศิษฐ์, นางสาวศิริรัตน์ ทรัพย์สกุล, นายคณิศร วงศ์สีแก้ว, นางสาววิชาณี มณีโลกย์, นายพงศพัศ ธิรเศรษฐ์ และนายธนพันธ์ ผาทอง ที่เป็นผู้ช่วยในการสำรวจภาคสนาม โดยช่วยเหลือด้านการเก็บข้อมูลโครงสร้าง และวัดค่าข้อมูลต่างๆ และขอขอบคุณนายหาญณรงค์ มงคลวีระพันธ์ นายภรณ์ญู พิทยรังสฤษฏ์ และนางสาวกุลมาศ เครือวรมณี ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ง
Abstract.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ (Introduction).....	1-8
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Origin and Significant).....	1
1.2 พื้นที่ศึกษา (Location).....	4
1.3 ธรณีวิทยาทั่วไป (General Geology).....	6
1.4 การแปรสัณฐาน (Tectonic setting).....	6
1.5 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review).....	7
1.6 นิยามปัญหา (Problem Defined).....	8
1.7 วัตถุประสงค์ (Objectives).....	8
1.8 สมมติฐาน (Hypothesis).....	8
1.9 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work).....	8
1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output).....	8
บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology).....	9-15
2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น.....	11
2.2 สัมภาษณ์.....	13
2.3 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ.....	14
2.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตีความผลการศึกษา.....	15
2.5 อภิปราย สรุปผลการศึกษา นำเสนอในรูปแบบสัมมนา และจัดทำรูปเล่มรายงาน.....	15
บทที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis).....	16-41
3.1 ธรณีวิทยา (Geology).....	16
3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural geology).....	20
บทที่ 4 อภิปราย (Discussion).....	42
4.1 ลักษณะรูปแบบโครงสร้าง (structural style).....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 วิวัฒนาการโครงสร้าง (structural evolution).....	43
4.3 วิวัฒนาการการแปรสัณฐาน (Tectonic evolution).....	44
บทที่ 5 สรุปผล (Conclusion).....	48
เอกสารอ้างอิง (References).....	49
ภาคผนวก (Appendix).....	51

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพแสดงขอบเขตจุลทวีปของประเทศไทย แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่างเก็บน้ำคลอง ลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งอยู่บนแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในบริเวณกรอบสีแดง (Metcalf, 2013)	2
รูปที่ 1.2 ภาพแสดงโมเดลจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic setting) ของประเทศ ไทย (Metcalf, 2013)	3
รูปที่ 1.3 ภาพ A แสดงขอบเขตจุลทวีปของประเทศไทย และภาพ B แสดงแนวชั้นหินคดโค้ง เลย - เพชรบูรณ์ (กรอบสีแดง) (Bunopas and Vella, 1992)	3
รูปที่ 1.4 ภาพ A แสดงพื้นที่ศึกษา บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัด เพชรบูรณ์ จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ระวัง 5240 I มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านหนองไม้แก่น ลำดับชุด L7017 ระวัง 5240 IV มาตราส่วน 1 : 50,000 อำเภอหนองไผ่ ระวัง 5241 II มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านหนองใหญ่ และระวัง 5241 III มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านนาเฉลียง ภาพ B แสดงภาพถ่ายดาวเทียมแสดงพื้นที่ศึกษา บริเวณ อ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map	4
รูปที่ 1.5 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงเส้นทางการเดินทางจากกรุงเทพฯ ถึง พื้นที่ศึกษา บริเวณอ่าง เก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ (เส้นสีขาว) บริเวณอ่างเก็บน้ำ คลองลำกง ตำบลวังท่าดี อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map	5
รูปที่ 1.6 ภาพแสดงภาพถ่ายดาวเทียม และลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา (กรอบสีแดง) ดัดแปลงแผนที่จากข้อมูลธรณีวิทยา จ.เพชรบูรณ์ จากกรมทรัพยากรธรณี ประเทศไทย โดยโปรแกรม ArcMap	6
รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงลำดับชั้นตอนระเปียบวิธีวิจัย	10
รูป 2.2 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางของแรงบีบอัด (stress sense indicators) คือ เขตเงาความเค้น (Strain shadow) จากภาพแสดงแรงบีบอัดบนล่างของโครงสร้างระดับ จุลภาคในแผ่นหินบาง (Robin, 1979)	11

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูป 2.3 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางของแรงบีบอัด (stress sense indicators) คือ เขตเงาความเค้น (Strain shadow) ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ (stain) ของโครงสร้างระดับจุลภาคในแผ่นหินขัดบางมี 3 รูปแบบ (Wintsch, 1986)	12
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Passchier et al., 1990)	13
รูปที่ 2.5 ภาพแสดงตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งในตาข่ายมิติสเตอร์ไอกรราฟิกชนิดพื้นที่ และแผนภาพกุหลาบ ตามลำดับ	14
รูปที่ 3.1 ภาพแสดงจุดศึกษาแต่ละตำแหน่งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map	16
รูปที่ 3.2 ภาพ A และ B แสดงหินโผล่ของหินทรายบริเวณจุดศึกษาที่ 1 แสดงให้เห็นแนวรอยแตก 3 แนว (เส้นประสีแดง) วางตัวในแนว เหนือ-ใต้, ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก	17
รูปที่ 3.3 ภาพ A แสดงหินโผล่ของหินทรายบริเวณจุดศึกษาที่ 23 โดยเนื้อหินแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่ม และแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันออก และภาพ B แสดงลักษณะหินทรายที่มีเนื้อหินสดสีเทา	17
รูปที่ 3.4 ภาพแสดงหินโผล่ของหินแอนดีไซต์บริเวณจุดศึกษาที่ 17 โดยแสดงการแทรกตัดเข้ามาภายหลัง เป็นผนังหินแอนดีไซต์ที่มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตก-ตะวันออกแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก	18
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงผลการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่ศึกษาจำนวน 182 ค่า ลงบนตาข่ายมิติสเตอร์ไอกรราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (equal-area stereographic projection) มีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) โดยมีทิศการเอียงเทของชั้นหินไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก	19

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 ภาพแสดงผลการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่ศึกษาจำนวน 182 ค่า ลงบนแผนภาพกุหลาบ (rose diagram) มีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) โดยมีทิศการเอียงเทของชั้นหินไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้	19
รูปที่ 3.7 ภาพ A แสดงองค์ประกอบของชั้นหินคดโค้ง และภาพ B แสดงการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินลงในแผนที่จากมุมมองบน (top view) (Jpb, 2013)	20
รูปที่ 3.8 ภาพ A แสดงองค์ประกอบของชั้นหินคดโค้ง และภาพ B แสดงการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินลงในแผนที่จากมุมมองบน (top view) (Jpb, 2013)	21
รูปที่ 3.9 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) และมุมระหว่างส่วนข้างของชั้นหินคดโค้ง (interlimb angle) (Jpb, 2013)	21
รูปที่ 3.10 ภาพแสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ และชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงาย (Jpb, 2013)	22
รูปที่ 3.11 ภาพแสดงลักษณะการเรียกชื่อของชั้นหินคดโค้งรูปแบบต่างๆ ในเชิงอายุสัมพัทธ์ (relative age) (Jpb, 2013)	23
รูปที่ 3.12 ภาพแสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนตั้งฉาก (neutral folds) (Jpb, 2013)	23
รูปที่ 3.13 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงลักษณะต่างๆของชั้นหินคดโค้ง (Jpb, 2013)	23
รูปที่ 3.14 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงลักษณะต่างๆของชั้นหินคดโค้งแบบสมมาตร (symmetrical) และแบบไม่สมมาตร (asymmetrical) (Jpb, 2013)	24
รูปที่ 3.15 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงการจำแนกชนิดของชั้นหินคดโค้งโดยใช้ขนาดของมุมระหว่างส่วนข้างของชั้นหินคดโค้งเป็นเกณฑ์ (interlimb angle) (Jpb, 2013)	24
รูปที่ 3.16 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงการจำแนกชนิดของชั้นหินคดโค้งโดยใช้ระนาบการบิดโค้ง (axial surface or plane) ของชั้นหินคดโค้งเป็นเกณฑ์ (Jpb, 2013)	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.17 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงการจำแนกลำดับของชั้นหินคดโค้งโดยใช้รูปร่าง (shape) ของชั้นหินคดโค้งเป็นเกณฑ์ (Jpb, 2013)	25
รูปที่ 3.18 ภาพแสดงจุดศึกษาแต่ละตำแหน่งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map	26
รูปที่ 3.19 ภาพแสดงจุดศึกษาที่ 1 เป็นหินโผล่ของหินทราย ภาพ A และ B แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $210^{\circ}/52^{\circ}$ NW ภาพ C แสดงให้เห็นแนวรอยแตก 3 แนว (เส้นประสีขาว) วางตัวในแนว เหนือ-ใต้, ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และภาพ D แสดงให้เห็นแนวรอยแตกที่มีแร่พวก แคลไซต์ และควอตซ์ มาตกผลึกและวางตัวอยู่ในแนวตะวันออก - ตะวันตกซึ่งตรงกับแนวหลักของแนวรอยแตกบริเวณจุดศึกษาที่ 1	27
รูปที่ 3.20 ภาพแสดงจุดศึกษาที่ 2 เป็นหินโผล่ของหินทรายที่ผุพังสูง แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $215^{\circ}/40^{\circ}$ NW	27
รูปที่ 3.21 ภาพแสดงจุดศึกษาที่ 3 เป็นหินโผล่ของหินทรายที่ผุพังสูง ภาพ A และ B แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $195^{\circ}/46^{\circ}$ NW ภาพ C ถัดมาจากภาพ A ไปทางทิศเหนือ แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $150^{\circ}/42^{\circ}$ SW ภาพ D ถัดมาจากภาพ C ไปทางทิศเหนือ แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $145^{\circ}/25^{\circ}$ SW มีค่าของมุมเอียงเทค่อยๆน้อยลงเมื่อเดินทางไปทางทิศเหนือ และพบรอยเลื่อนวางตัวประมาณ $270^{\circ}/41^{\circ}$ N และภาพ E แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำมีระนาบการบิดโค้งอยู่ในแนวประมาณทิศเหนือ - ใต้	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.22 ภาพ A แสดงรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 4 โดยพบหลักฐานของเศษหินบดขยี้ (fault gauge) บริเวณแนวรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวประมาณเกือบทิศเหนือ - ใต้ แสดงให้เห็นถึงแรงบีบอัด (compression) ในทิศที่ตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อน ภาพ B C และ D เป็นส่วนที่ต่อกันจากทิศตะวันตกไปตะวันออกตามลำดับ แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ และประทุนหงายของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 27 ซึ่งชั้นหินมีการเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้สลับกันไปมีค่าการวางตัวของแกนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งประมาณ $250^{\circ}/49^{\circ}$ NW และ $45^{\circ}/45^{\circ}$ SE อีกทั้งยังพบหลักฐานรอยเลื่อนย้อนที่วางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นถึงแรงบีบอัด (compression) ในทิศที่ตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อน	29
รูปที่ 3.23 ภาพ A B C D และ E เรียงจากทางทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก แสดงแกนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 26 และ 25-1 ถึง 3 ซึ่งมีมุมการเอียงเทของแกนแต่ละข้างสูง และพบเนื้อหินแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่ม และแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน มีค่าการวางตัวของแกนแต่ละข้างชั้นหินคดโค้งประมาณ $19^{\circ}/80^{\circ}$ SE และ $230^{\circ}/65^{\circ}$ NW	30
รูปที่ 3.24 ภาพ C เนื้อหินแสดงลักษณะของการถูกเฉือนในทิศทางขวาเข้า (dextral shear) ซึ่งบ่งบอกถึงแรงที่เข้ามากระทำในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ และสังเกตเห็นบริเวณขอบของเศษหินที่ถูกพัดพามาตกสะสมตัว (rip - up clast) เป็นหลักฐานที่บ่งบอกว่าบริเวณนี้มีแรงมากกระทำ (กรอบสีขาว)	31
รูปที่ 3.25 ภาพ A และ B ต่อเนื่องกันแสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 21 ภาพ C และ D บริเวณจุดศึกษาที่ 20 แสดงชั้นหินเอียงเทในทิศทางตรงข้ามกับภาพ B จุดศึกษาที่ 21 ทำห่างประมาณได้วาร์รอยต่อระหว่างสองจุดศึกษามีระนาบแกนคดโค้งอยู่ในรูปประทุนหงาย ภาพ E และ F แสดงแนวรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ของหินโผล่ของหินทราย ซึ่งแนวรอยเลื่อนวางตัวในแนวประมาณเกือบทิศตะวันตก - ตะวันออก บริเวณจุดศึกษาที่ 18 แสดงให้เห็นถึงแรงคลายตัว (extension) ที่เกิดขึ้นในแนวประมาณเกือบทิศเหนือ - ใต้	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.26 ภาพ A แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงายแบบสมมาตรของหินโผล่ของหินทราย มีค่าการวางตัวของแกนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งประมาณ $170^{\circ}/52^{\circ}$ SW และ $35^{\circ}/37^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 16 ภาพ B แสดงหินโผล่ของหินแอนดีไซต์บริเวณจุดศึกษาที่ 17 โดยแสดงการแทรกตัดเข้ามาภายหลัง เป็นผนังหินแอนดีไซต์ที่มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตก - ตะวันออกแสดงการเปลี่ยนลักษณะของเนื้อหินแบบแตกเปราะให้เห็นเด่น โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก ภาพ C D E และ F แสดงชั้นหินมีค่าการวางตัวประมาณ $60^{\circ}/25^{\circ}$ SE	33
รูปที่ 3.27 ภาพ A B และ C แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $150^{\circ}/35^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 14 ภาพ D และ E แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $120^{\circ}/26^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 13	34
รูปที่ 3.28 ภาพ A และ B แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำแบบไม่สมมาตรของหินโผล่ของหินทราย มีชั้นหินคดโค้งรองภายในที่มีระนาบแกนบิดโค้งเกือบจะขนานกับแนวระดับ บริเวณจุดศึกษาที่ 12 ภาพ C และ D แสดงหินโผล่ของหินทราย มีค่าการวางตัวประมาณ $45^{\circ}/41^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 11 ภาพ E และ F แสดงหินโผล่ของหินทราย มีค่าการวางตัวประมาณ $30^{\circ}/40^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 10	35
รูปที่ 3.29 ภาพ A และ B แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $50^{\circ}/62^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 9 ภาพ C และ D แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทราย มีค่าการวางตัวประมาณ $121^{\circ}/42^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 8	36
รูปที่ 3.30 ภาพ A แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $110^{\circ}/39^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 7 ภาพ B แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $175^{\circ}/40^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 6 ภาพ C แสดงชั้นหินของหินโผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $220^{\circ}/30^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 5	37
รูปที่ 3.31 ภาพแสดงการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินในแผนที่บริเวณพื้นที่ศึกษา และแสดงแนวเส้นภาคตัดขวางจาก A ไป B ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้	38
รูปที่ 3.32 ภาพแสดงภาคตัดขวางจาก A ไป B ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูป 3.33 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางของแรงบีบอัด (stress sense indicators) คือ เขตเงาความเค้น (Strain shadow) จากภาพแสดงแรงบีบอัดบนล่างของโครงสร้างระดับจุลภาคในแผ่นหินบาง (Robin, 1979)	39
รูปที่ 3.34 ภาพ A และ B แสดงลักษณะของเขตเงาความเค้น (strain shadow) ภายใต้แผ่นหินขัดบางบริเวณจุดศึกษาที่ 25 และ 16 ตามลำดับ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงมวลแบบพลวัตร (mass diffusion) ถูกแรงบีบอัดในแนว NW - SE	40
รูปที่ 3.35 ภาพแสดงการเกิดการละลายของมวลไปเติมเต็มช่องว่าง ภาพ a ขอบผลึกเริ่มมีสีที่ไม่เท่ากัน และภาพ b เมื่อมีแรงเข้ามามากขึ้นขอบผลึกจะเกิดการละลายไปเติมเต็มในช่องว่าง (Spiers and Brzesowsky 1993)	40
รูปที่ 3.36 ภาพ A และ B แสดงลักษณะของเนื้อหินถูกแรงบีบอัด ภายใต้แผ่นหินขัดบางบริเวณจุดศึกษาที่ 9 และ 1 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นผลึกแตกละเอียดบงบอกถึงการถูกแรงบีบอัด แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงมวลแบบกระจาย โดยส่วนที่ถูกบีบอัดจะเกิดการหลอมผลึกใหม่ (recrystallization) และบางส่วนก็ไปตกเป็นผลึกอยู่ในส่วนของช่องว่าง รอยแตก หรือรอยแยก (vein)	41
รูปที่ 4.1 ภาพแสดงรูปแบบโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกง	43
รูปที่ 4.2 ภาพแสดงวิวัฒนาการโครงสร้าง ชั้นแรก เกิดการสะสมตัวของตะกอนกลายเป็นหินตะกอน ชั้นที่สองเกิดการคดโค้งเฉียงเทของชั้นหิน เนื่องจากการเกิดแรงบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้ชั้นหินยกตัวและเกิดเป็นแนวชั้นหินคดโค้งขึ้น และค่อยๆ ผุพัง ถูกกัดกร่อนจนเห็นเป็นสภาพภูมิประเทศในปัจจุบัน	44
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงโมเดลจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic setting) ของประเทศไทย (Metcalf, 2013)	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการสรุปเหตุการณ์แปรสัณฐาน (Tectonic event) และการเปลี่ยนแปลงลักษณะของชั้นหินคดโค้งบริเวณพื้นที่ศึกษา อย่างเก็บน้ำคลองลำกง	47

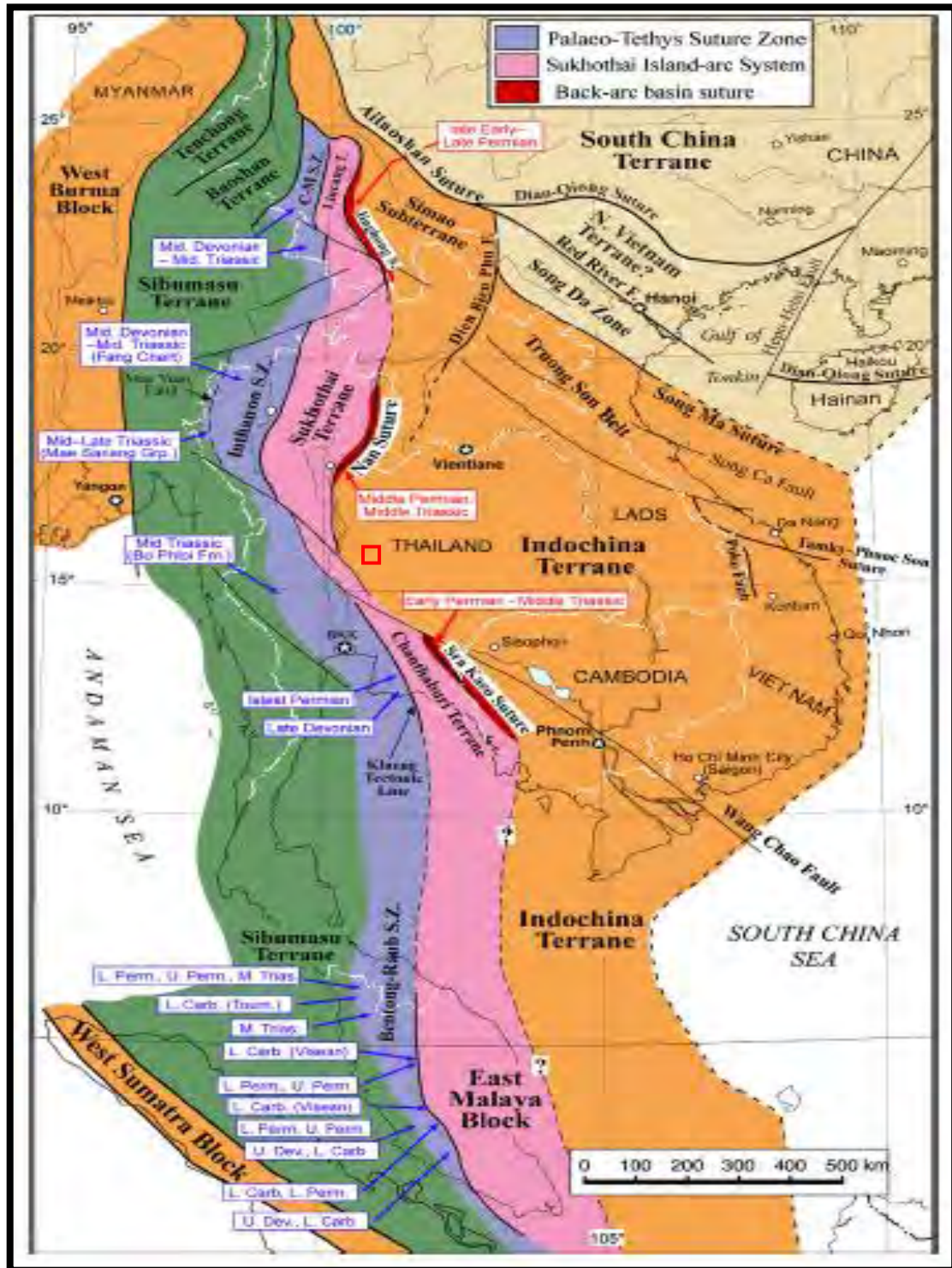
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Origin and Significant)

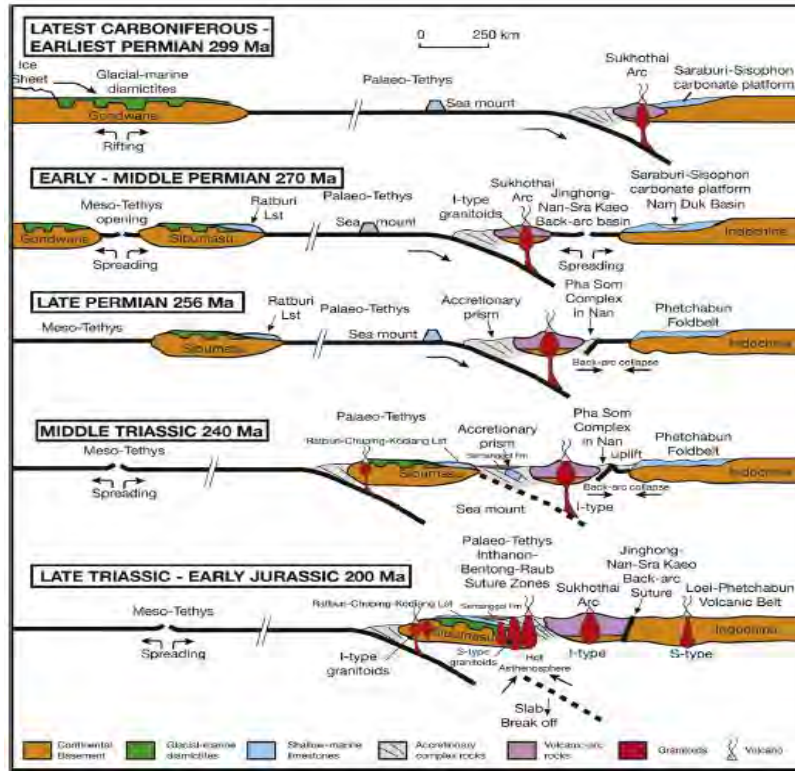
วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในอดีตบ่งชี้ว่า โครงสร้างหลักในประเทศไทยเป็นผลมาจากการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบิวมาสุ และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน (รูปที่ 1.1) ในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้นถึงยุคไทรแอสสิกตอนปลาย และอิทธิพลของการชนกันระหว่างแผ่นทวีปอินเดียและแผ่นทวีปยูเรเชียในช่วงยุคเทอร์เชียรี (Metcalf, 2013) ซึ่งการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบิวมาสุ และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้นถึงยุคไทรแอสสิกตอนปลายนี้ส่งผลให้เกิดแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ (รูปที่ 1.2)

ซึ่งบริเวณด้านทิศตะวันตกของที่ราบสูงโคราชถูกขนาบด้วยแนวเทือกเขาตั้งแต่อายุพาลีโอโซอิกตอนปลายจนถึงยุคควอเตอร์นารี โดยนับจากแนวเทือกเขาจากแม่น้ำโขงทางด้านทิศเหนือจนถึงบริเวณจังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครราชสีมาทางด้านทิศใต้ รวมระยะทางประมาณ 400 กิโลเมตร หรือเรียกว่าแนวหินคดโค้งเลย (Bunopas, 1981) มีทิศทางการวางอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ (รูปที่ 1.3) ทางด้านขอบตะวันตกของแผ่นทวีปอินโดจีนประกอบไปด้วยหินที่มีประวัติการลำดับชั้น และธรณีวิทยาโครงสร้างที่แตกต่างกัน ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปของแนวหินคดโค้งเพชรบูรณ์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากขาดความชัดเจนของสภาพธรณีวิทยากายภาพในช่วงอายุพาลีโอโซอิกตอนปลายจึงทำให้เกิดความหลากหลายของมุมมองทางด้านธรณีวิทยาจากการศึกษาในอดีต ด้วยข้อจำกัดนี้เองการเพิ่มเติมข้อมูลใหม่จากงานวิจัยนี้จะช่วยให้การแปลความหมายทางด้านธรณีวิทยาในบริเวณแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ ต่อเนื่องไปยังภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

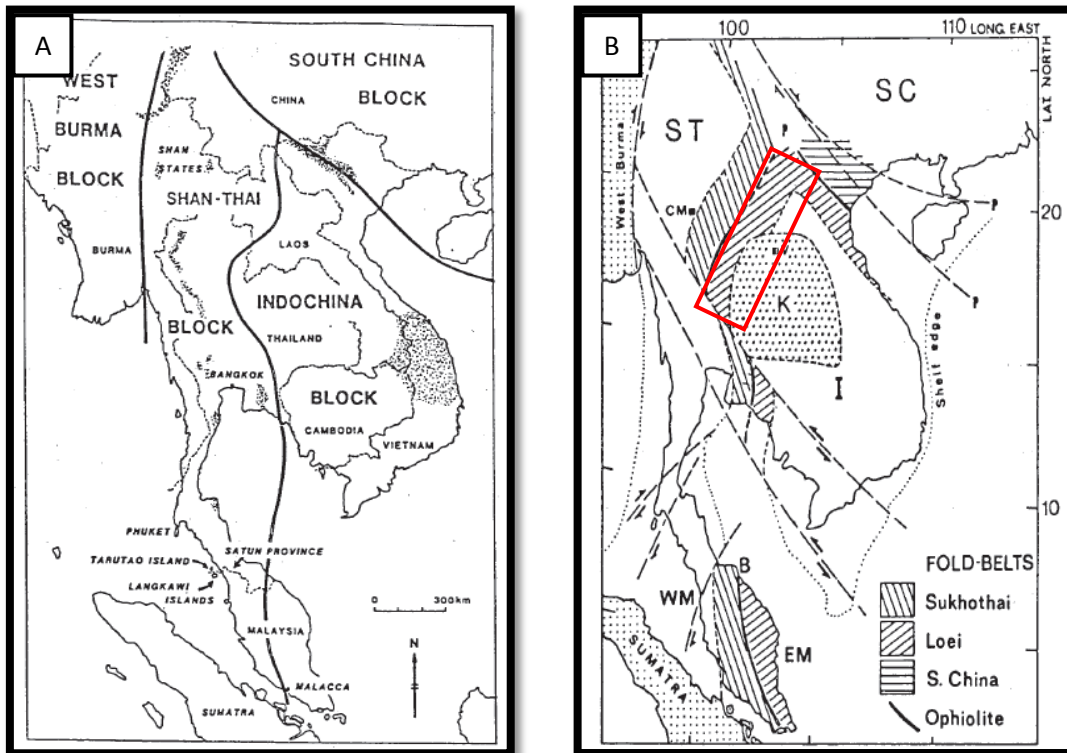
การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปยังการศึกษาธรณีโครงสร้างชั้นหินคดโค้งของแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จ.เพชรบูรณ์ที่มีทิศทางการวางตัวเหนือ-ใต้ เพื่อหาความสัมพันธ์ธรณีวิทยาโครงสร้างชั้นหินคดโค้ง และวิเคราะห์หาวิวัฒนาการการเกิดแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงขอบเขตจุลทวีปของประเทศไทย แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำปาง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งอยู่บนแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในบริเวณกรอบสีแดง (Metcalf, 2013)



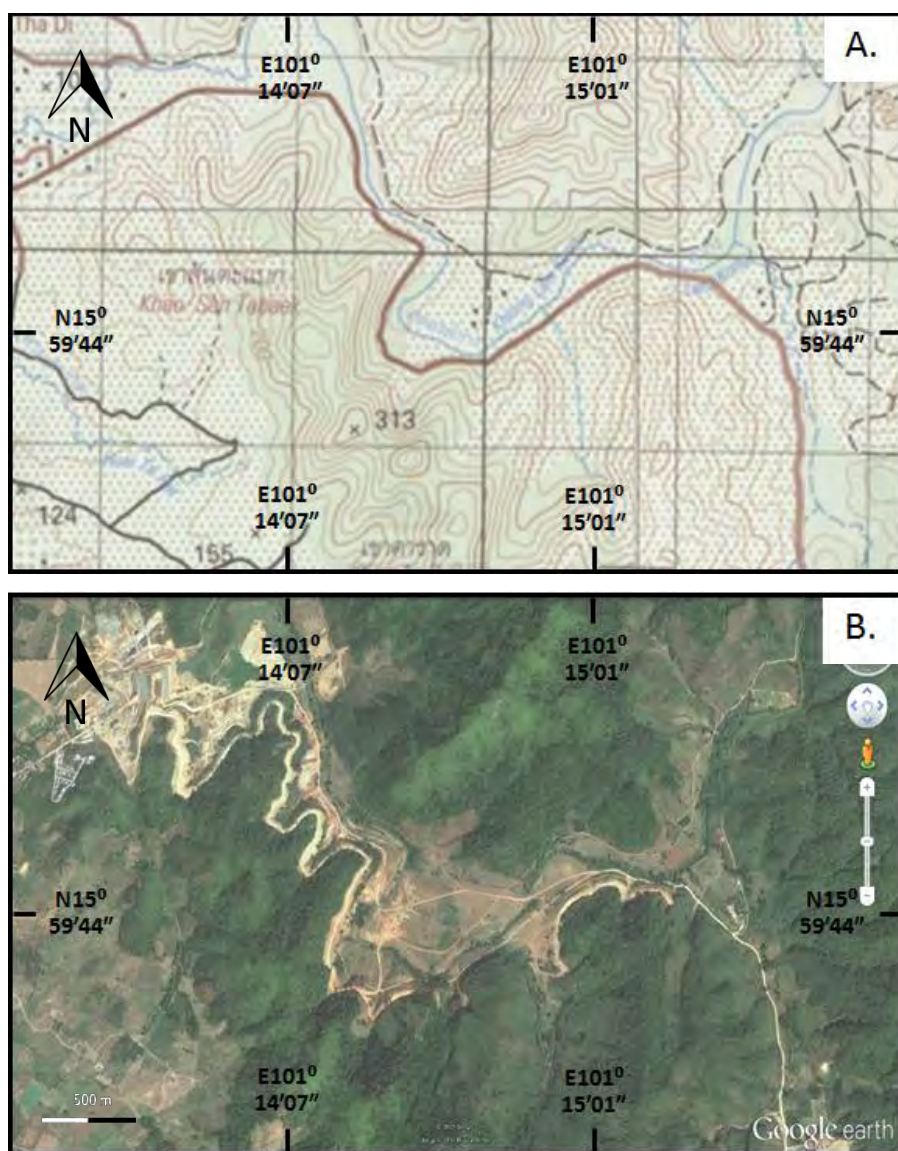
รูปที่ 1.2 ภาพแสดงโมเดลจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic setting) ของประเทศไทย (Metcalf, 2013)



รูปที่ 1.3 ภาพ A แสดงขอบเขตจุลทวีปของประเทศไทย และภาพ B แสดงแนวชั้นหินคดโค้งเลย - เพชรบูรณ์ (กรอบสีแดง) (Bunopas and Vella, 1992)

1.2 พื้นที่ศึกษา (Location)

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นส่วนหนึ่งของแนวหินคดโค้งเพชรบูรณ์ ประกอบด้วยหมวดหินน้ำดุกในช่วงตอนปลายของมหายุคพาลีโอโซอิก ซึ่งมีทิศทางการตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ วางตัวจากแนวเทือกเขาจากแม่น้ำโขงทางด้านทิศเหนือผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ จนถึงบริเวณจังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครราชสีมาทางด้านทิศใต้ (รูปที่ 1.4)



รูปที่ 1.4 ภาพ A แสดงพื้นที่ศึกษา บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ระวัง 5240 I มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านหนองไม้แก่น ลำดับชุด L7017 ระวัง 5240 IV มาตราส่วน 1 : 50,000 อำเภอหนองไผ่ ระวัง 5241 II มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านหนองใหญ่ และระวัง 5241 III มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านนาเฉลียง ภาพ B แสดงภาพถ่ายดาวเทียมแสดงพื้นที่ศึกษา บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map

การเดินทางจากกรุงเทพฯ ใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 1 ไปทางทิศเหนือเข้าทางหลวงหมายเลข 325 ถึงจังหวัดสระบุรีเลยไปจนถึงสวนพฤกษศาสตร์พุแคตรง กิโลเมตรที่ 125 แยกขวามือเข้าทางหลวงหมายเลข 21 ผ่านอำเภอชัยบาดาล อำเภอศรีเทพ อำเภอวิเชียรบุรี และไปทางทิศตะวันออกเข้าอำเภอหนองไผ่ ไปทางทิศเหนือเข้าทางหลวงหมายเลข 2075 ประมาณ 10 กิโลเมตร เลี้ยวขวาไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเข้าตำบลวังท่าดี ประมาณ 8 กิโลเมตรถึงพื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำคลองล่าง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ รวมระยะทางถึงที่หมายประมาณ 346 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินทาง ประมาณ 5 ชั่วโมง (รูปที่ 1.5)

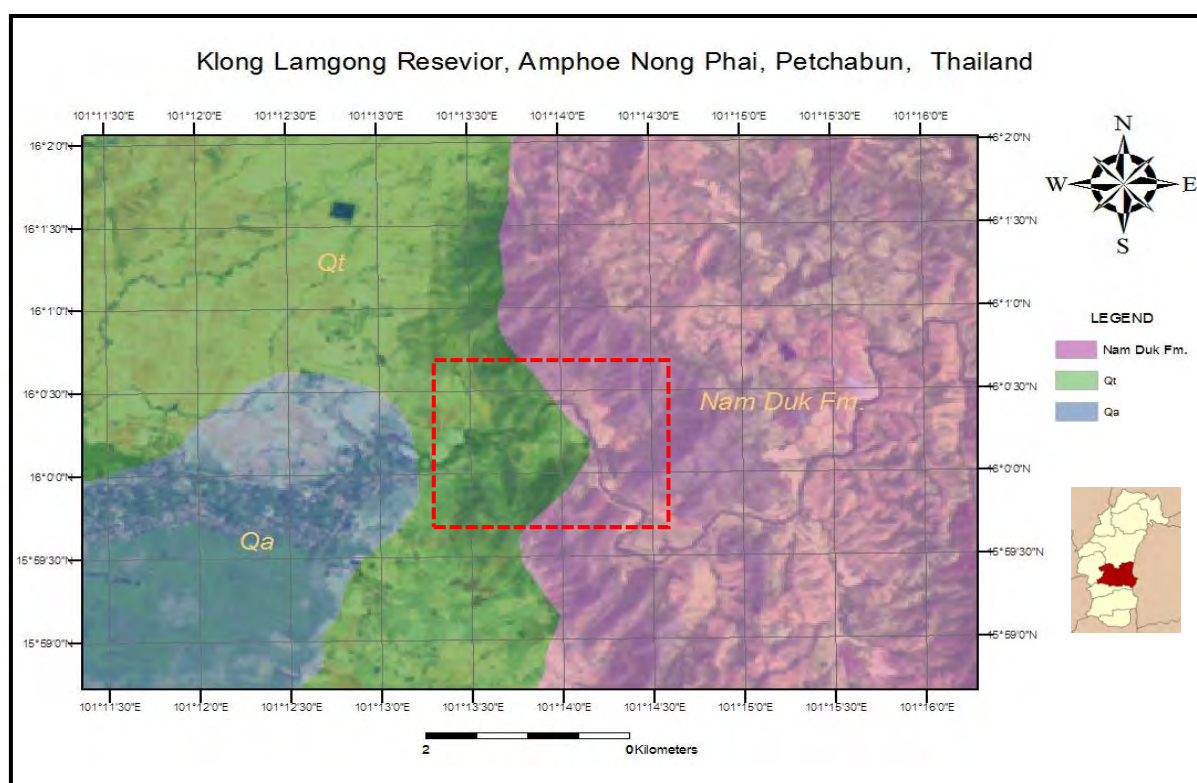


ตำบลวังท่าดี อำเภอหนองไผ่ จังหวัด
เพชรบูรณ์

รูปที่ 1.5 ภาพดาวเทียมแสดงเส้นทางการเดินทางจากกรุงเทพฯ ถึง พื้นที่ศึกษา บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ (เส้นสีขาว) บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง ตำบลวังท่าดี อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map

1.3 ธรณีวิทยาทั่วไป (General Geology)

1.3.1 หมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Fm.) เป็นหมวดหินที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จากกรมทรัพยากรธรณีให้หมวดหินนี้ประกอบด้วย หินดินดาน สีเทาดำ น้ำตาลแดง หินทราย สีน้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง มีชั้นเฉียงระดับขนาดเล็กขนาดกลาง มีการคดโค้งมาก มีซิลิเซียสเชื่อมประสาน หินปูนเป็นเลนส์ และบางส่วนแสดงลักษณะ Bouma - Sequence (รูปที่ 1.6)



รูปที่ 1.6 ภาพแสดงภาพถ่ายดาวเทียม และลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา (กรอบสีแดง) ดัดแปลงแผนที่จากข้อมูลธรณีวิทยา จ.เพชรบูรณ์ จากกรมทรัพยากรธรณี ประเทศไทย โดยโปรแกรม ArcMap

1.4 การแปรสัณฐาน (Tectonic setting)

Metcalf (2005) ได้ศึกษา และสรุปเกี่ยวกับธรณีแปรสัณฐานในอดีตได้เริ่มขึ้นในยุคครีตเวเนียนเมื่อแผ่นจูทวี่ปอินโดจีนได้เคลื่อนตัวออกจากทางตะวันตกเฉียงเหนือของ กอนด์วานา (Gondwana) หลังจากนั้นในช่วงต้นของยุคเพอร์เมียน แผ่นจูทวี่ปไซบุมาสู หรือในอดีตเรียกแผ่นจูทวี่ปซานไทยได้เคลื่อนตัวออกจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ กอนด์วานา (Gondwana) (Metcalf, 2005)

สองแผ่นจุลทวีปชนและเกิดการมุดตัว คาดว่าในช่วงไทรแอสซิก (Metcalf, 2013) จนทำให้เกิดแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ในภาคกลางของประเทศไทย อย่างไรก็ตามประวัติศาสตร์ที่แม่นยำของการชนกันยังคงไม่ชัดเจน (Metcalf, 2013)

1.5 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในอดีตมีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่องยกตัวอย่าง เช่น

Kozar และคณะ (1992) ได้เสนอว่าการเปิดของแอ่งน้ำตื้นคาดว่าเริ่มพัฒนาในช่วงคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลาง โดยมีตะกอนของหน่วยหินเพลลาจิกซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดในแอ่งน้ำลึกในมหาสมุทร โดยคาดว่า การสะสมของตะกอนเพลลาจิก อาจเริ่มตั้งแต่ช่วงคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลางถึงตอนปลายและเพอร์เมียนตอนต้น โดยมีแนวสะสมตะกอนหินปูนผานกเค้าและเขาขวาง ซึ่งในอดีตอาจเป็นแนวเดียวกันวางตัวอยู่ทางทิศตะวันออก หรือทางด้านทิศตะวันตกของแผ่นทวีปอินโดไชนา ในช่วงบนเพอร์เมียนตอนกลาง แผ่นทวีปอินโดไชนา (Indochina craton) ได้เคลื่อนตัวมุดชนกับแผ่นทวีปฉาน - ไทย (Shan-Thai craton) ทางด้านทิศตะวันตก โดยจ่ายตะกอนประเภทหินอัคนีเมฟิก และอัลตราเมฟิก ให้กับหน่วยหินฟลิช ในบริเวณแนวการพอกพูนซับซ้อน (accretionary complex) และตกตะกอนในสภาพแวดล้อมบริเวณด้านนอกของร่องโค้ง (outer or a fore-arc environment)

Intasopa และ Dunn (1994) ได้เสนอว่าในด้านธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ตะกอนในแอ่งน้ำตื้นพัฒนามาจากการเปิดของแอ่งทางด้านทิศตะวันตกของแผ่นทวีปอินโดไชนา ซึ่งเป็นผลมาจากการปิดตัวของทะเลเลย (Loei Ocean) ช่วงอายุระหว่างดีโวเนียนถึงคาร์บอนิเฟอรัส

Singharajwarapan (1994) และ Singharajwarapan และคณะ (2000) ได้ศึกษา และสรุปไว้ว่าแผ่นจุลทวีปชานไทย และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ได้เคลื่อนตัวมาชนกันและเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Indosinian orogeny) เป็นลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S) ส่งผลให้เกิดแนวเทือกเขาสุโขทัยในทางทิศตะวันตก และแนวเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ในทิศตะวันออก แนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ เป็นส่วนที่มีการเกิดกระบวนการแปรสัณฐานที่ซับซ้อนในบริเวณฝั่งตะวันตกของแผ่นจุลทวีปอินโดจีน

Metcalf (2013) ได้ศึกษา และสรุปเกี่ยวกับธรณีแปรสัณฐานในอดีตได้เริ่มขึ้นในยุคดีโวเนียนเมื่อแผ่นจุลทวีปอินโดจีนได้เคลื่อนตัวออกจากทางตะวันตกเฉียงเหนือของกอนด์วานา (Gondwana) หลังจากนั้นในช่วงต้นของยุคเพอร์เมียน แผ่นจุลทวีปไชบูมาสุ หรือในอดีตเรียกแผ่นจุลทวีปชานไทยได้เคลื่อนตัวออกจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของกอนด์วานา (Gondwana) (Metcalf, 2005) สองแผ่นจุลทวีปชนและเกิดการมุดตัว คาดว่าในช่วงไทรแอสซิก (Khin Zaw, et al, 2007; Meffre, et al, 2008. Kamvong และ Khin Zaw, 2008) จนทำให้เกิดแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ในภาคกลางของประเทศไทย อย่างไรก็ตามประวัติศาสตร์ที่แม่นยำของการชนกันยังคงไม่ชัดเจน (Carter, et al, 2001; Kamvong และ Khin Zaw, 2008)

1.6 นิยามปัญหา (Problem defined)

ธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้ง บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ มีลักษณะอย่างไร?

1.7 วัตถุประสงค์ (Objectives)

1 ศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์

2 ศึกษาวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.8 สมมติฐาน (Hypothesis)

ธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นชั้นหินคดโค้งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบิวมาสู และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในทิศตะวันออก-ตะวันตก

1.9 ขอบเขตการศึกษา (Scope of work)

การศึกษาด้านธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์แบ่งออกเป็น 2 ระดับหลัก คือ

1.9.1 ระดับกลาง (mesoscopic scale) เป็นการสำรวจภาคสนามซึ่งจะได้ข้อมูลเช่นข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding), ข้อมูลแนวเส้น (lineation) และตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (oriented specimen) เป็นต้นข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิก (equal-area stereographic net) และ แผนภาพกุหลาบ (rose diagrams)

1.9.2 ระดับจุลภาพ (microscopic scale) ศึกษาแผ่นหินขัดบาง (thin section) จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (oriented specimen) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค (microstructure)

1.10 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

1.10.1 ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.10.2 วิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น (รูปที่ 2.1)

2.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.2 ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลทางธรณีโครงสร้างจากการสำรวจภาคสนาม และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarizing microscope)

2.1.3 จัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานเช่น แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาจากกรมทรัพยากรธรณี และแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย

- แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ มาตราส่วน 1:250,000 พ.ศ. 2552 โดยทำการซ้อนทับกับภาพถ่ายทางดาวเทียม Google Earth
- แผนที่ภูมิศาสตร์ ได้แก่
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5240 I มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านหนองไม้แก่น จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5240 IV มาตราส่วน 1 : 50,000 อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5241 II มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านหนองใหญ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5241 III มาตราส่วน 1 : 50,000 บ้านนาเฉลียง จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย

2.2 สำรวจภาคสนาม (รูปที่ 2.1)

2.2.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากหินโผล่โดยเน้นไปที่การเก็บค่าแนวการวางตัวของชั้นหิน (attitude of bedding) ในแต่ละจุดศึกษา, ข้อมูลแนวเส้น (lineation) และเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ระบุตำแหน่งร่วมด้วย

2.2.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (oriented specimen)

2.3 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 2.1)

2.3.1 กำหนดตำแหน่งในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (equal-area stereographic net) และแผนภาพกุหลาบ (rose diagrams)

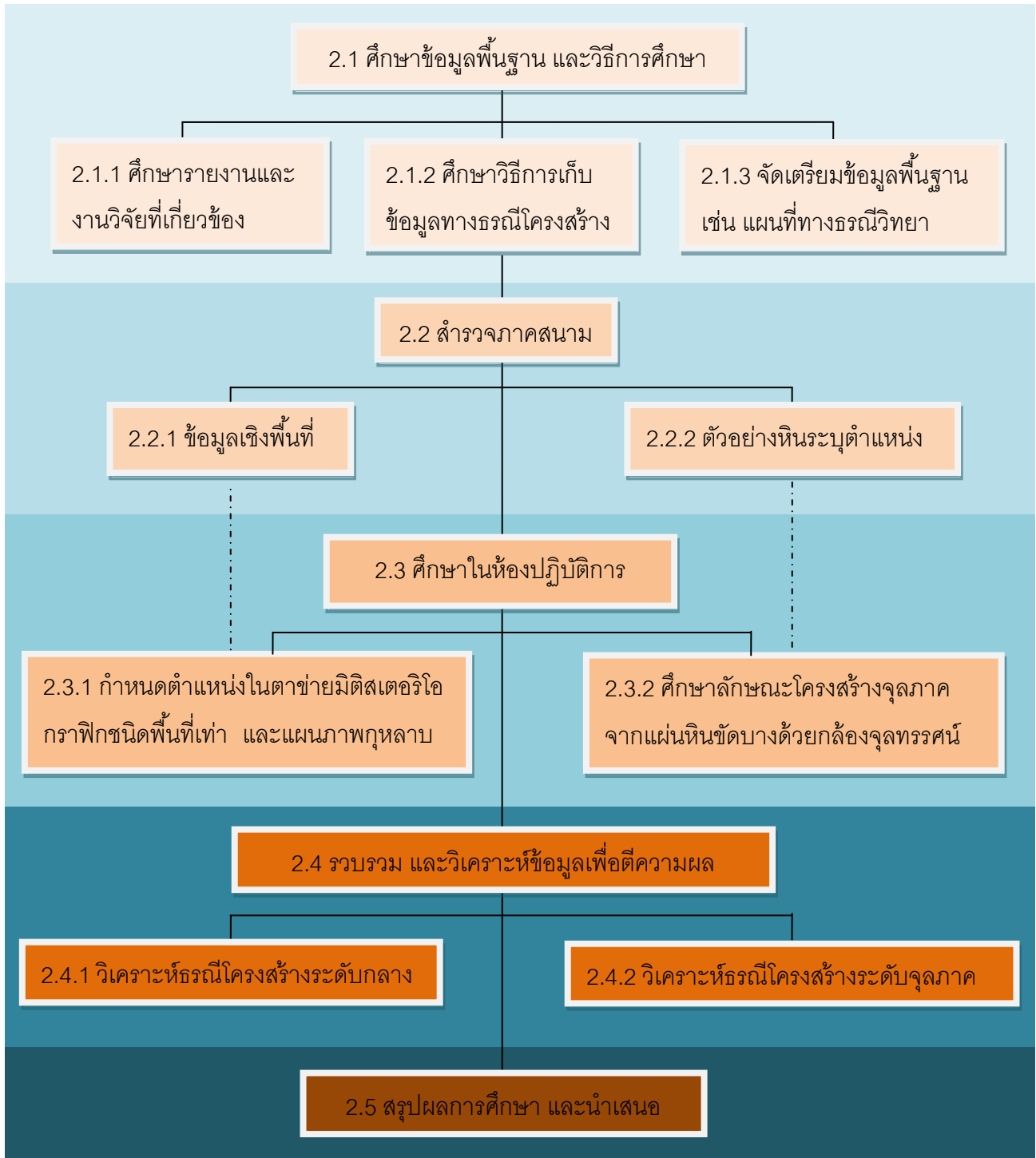
2.3.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค (microstructure) จากแผ่นหินขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarizing microscope)

2.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตีความผลการศึกษา (รูปที่ 2.1)

2.4.1 ข้อมูลลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างระดับกลาง

2.4.2 ข้อมูลลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างระดับจุลภาค

2.5 อภิปราย สรุปผลการศึกษา นำเสนอในรูปแบบสัมมนา และจัดทำรูปเล่มรายงาน (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนระเบียบวิธีวิจัย

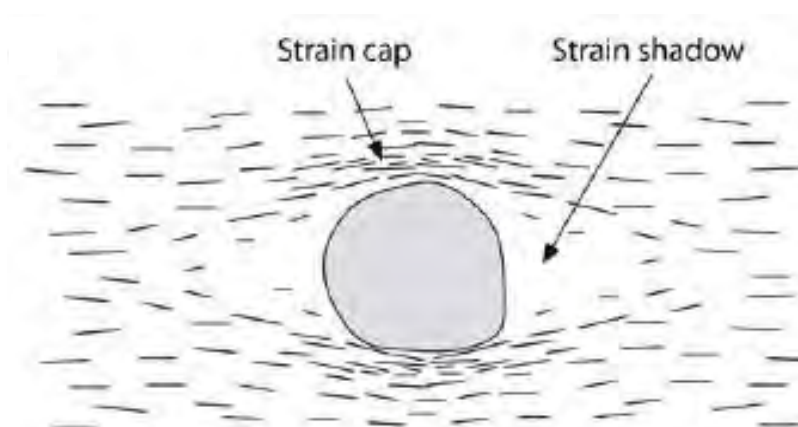
2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และวิธีการศึกษาเบื้องต้น

2.1.1 ศึกษารายงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ต้องใช้ในการศึกษา

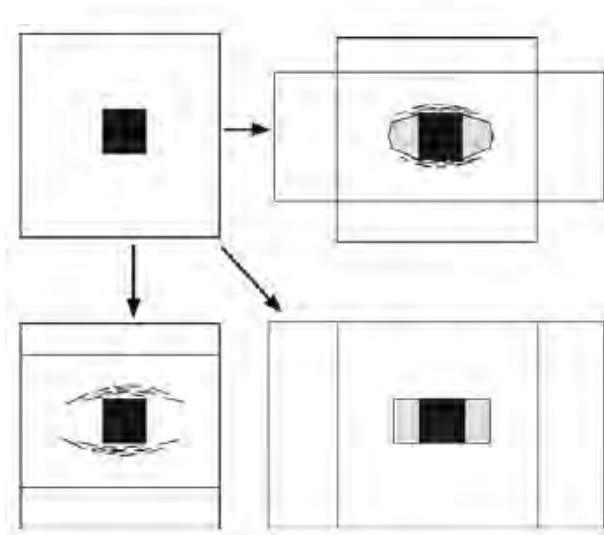
- ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา
- ข้อมูลการศึกษาธรณีโครงสร้างในพื้นที่หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ และค่าการวางตัวของธรณีโครงสร้าง ภายในหิน ใฝ่พื้นที่
- ตัวอย่างหินจากภาคสนาม
- ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและธรณีวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarizing microscope)
- ข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถค้นคว้าได้จาก วารสารงานวิจัย (journal), เอกสารงานประชุมวิชาการ (proceeding) ต่างๆ ในห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต

2.1.2 ศึกษาวิธีเก็บข้อมูลทางธรณีโครงสร้างจากการสำรวจภาคสนาม และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) โครงสร้างในระดับจุลภาคจะทำการศึกษาในแผ่นหินขัดบาง (Thin section) จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen) ที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษาโดยจะนำมาศึกษาในเรื่องโครงสร้างระดับจุลภาค ศิวารรณภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) ทำให้สามารถรู้ถึงทิศทางของแรง กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินในพื้นที่ (รูปที่ 2.2 และ 2.3) แร่ประกอบหินและลักษณะเนื้อหินที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะและอุณหภูมิในระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะ



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางของแรงบีบอัด (stress sense indicators) คือเขตเงาความเค้น (Strain shadow) จากภาพแสดงแรงบีบอัดบนล่างของโครงสร้างระดับจุลภาคในแผ่นหินบาง (Robin, 1979)



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงชนิดของตัวบ่งชี้ทิศทางของแรงบีบอัด (stress sense indicators) คือเขตเงาความเค้น (Strain shadow) ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ (stain) ของโครงสร้างระดับจุลภาคในแผ่นหินขัดบางมี 3 รูปแบบ (Wintsch, 1986)

2.1.3 จัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานเช่น แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาจากกรมทรัพยากรธรณี และแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยข้อมูลธรณีวิทยาทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย

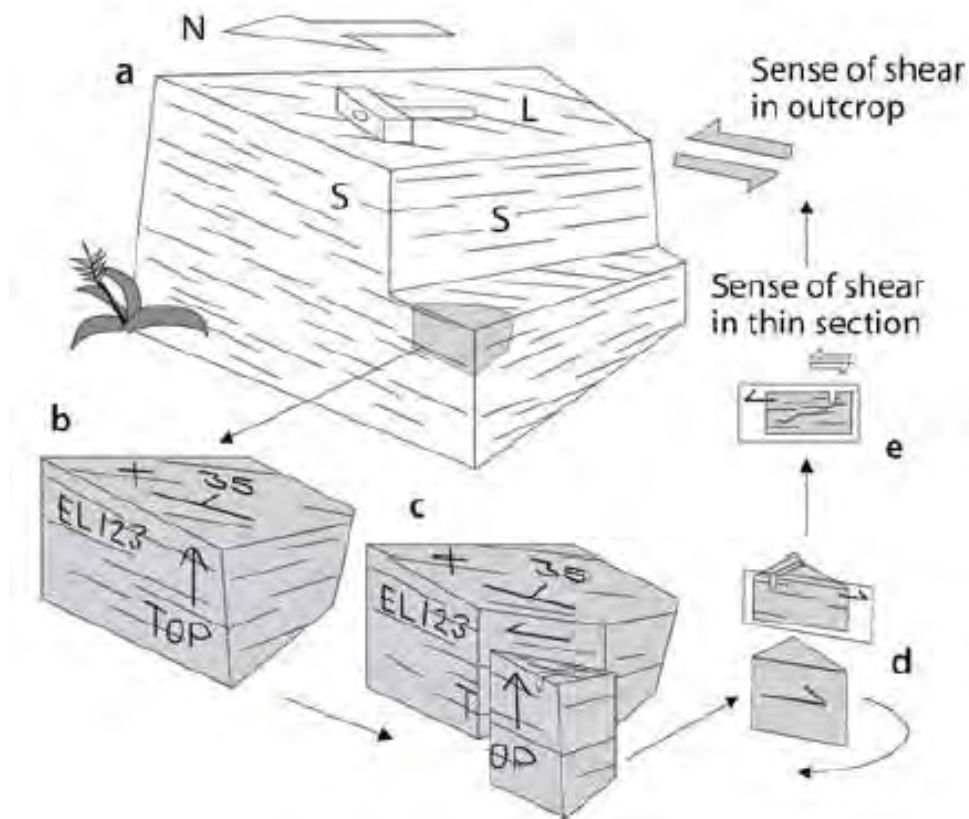
- แผนที่ธรณีวิทยา ได้แก่ แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์ มาตรฐาน 1:250,000 พ.ศ. 2552 โดยทำการซ้อนทับกับภาพถ่ายทางดาวเทียม Google Earth
- แผนที่ภูมิศาสตร์ ได้แก่
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5240 I มาตรฐาน 1 : 50,000 บ้านหนองไม้แก่น จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5240 IV มาตรฐาน 1 : 50,000 อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5241 II มาตรฐาน 1 : 50,000 บ้านหนองใหญ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย
 - ลำดับชุด L7017 ระวัง 5241 III มาตรฐาน 1 : 50,000 บ้านนาเฉลียง จังหวัดเพชรบูรณ์ ประเทศไทย

โดยแผนที่ดังกล่าวสามารถสืบค้นได้จากห้องสมุดแผนที่ภาคธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรมทรัพยากรธรณี (แผนที่ธรณีวิทยา), กรมแผนที่ทหาร (แผนที่ภูมิศาสตร์) และทางอินเทอร์เน็ต (แผนที่ธรณีวิทยา)

2.2 สํารวจภาคสนาม

2.2.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างจากหินโผล่ และเก็บข้อมูลพื้นที่ ทำการเก็บข้อมูลในภาคสนามโดยใช้เข็มทิศธรณีวิทยา ซึ่งค่าการวางตัวของธรณีวิทยา โครงสร้างที่ต้องการวัด ประกอบด้วย ค่าการวางตัว และเอียงเทของชั้นหิน (Attitude of bedding), โครงสร้างแนวเส้น (Lineation), แกนชั้นหินคดโค้ง (Fold axis) รอยเลื่อน (Fault) ลักษณะทางกายภาพของ หินโผล่ และลักษณะโครงสร้างบ่งชี้อื่นๆที่พบในภาคสนามจากนั้นทำการถ่ายรูปเก็บไว้เป็นหลักฐานเพื่อนำมาใช้ต่อไป

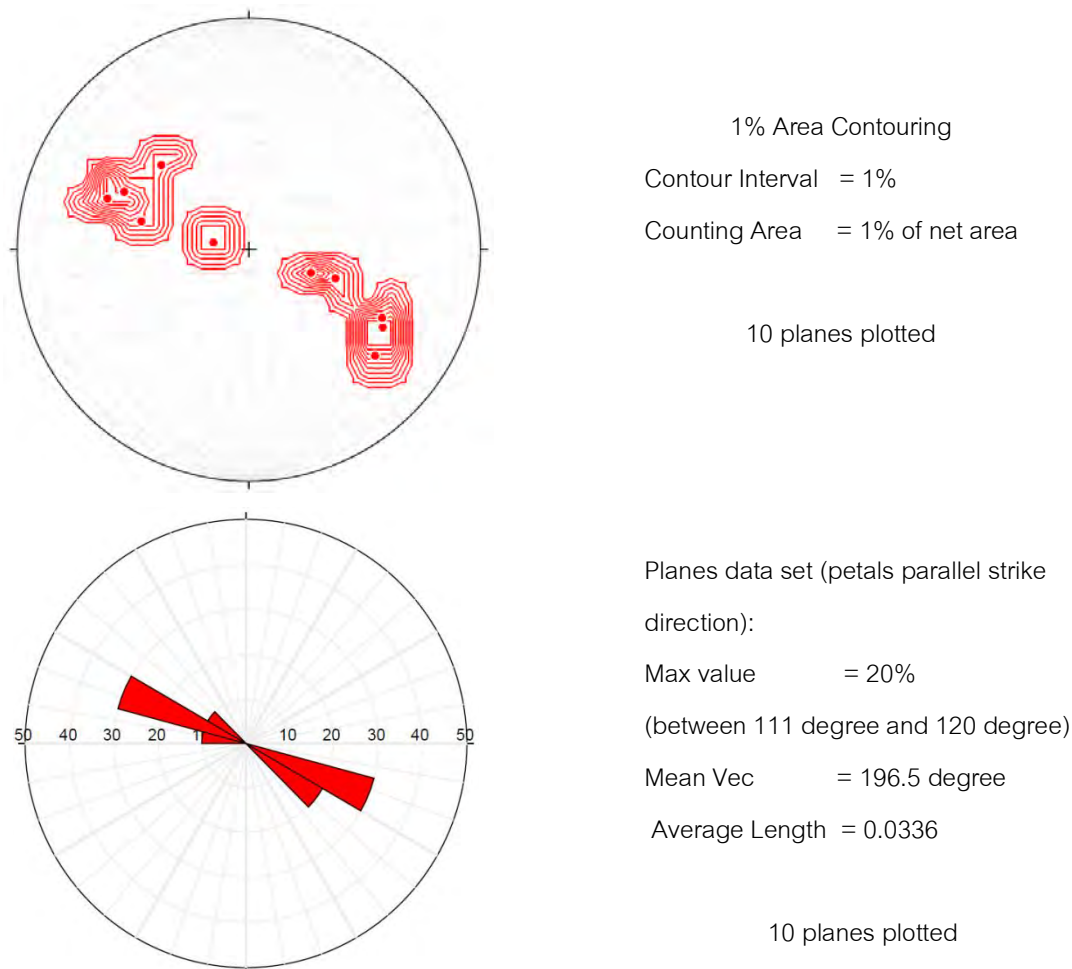
2.2.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Oriented specimen) การเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งนี้จะเก็บโดยตัวอย่างมีขนาดไม่น้อยไปกว่า 15 ซม. x 15 ซม. x 15 ซม. เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค ซึ่งตัวอย่างหินที่นำกลับมา จะต้องบันทึกค่าระนาบการวางตัวอย่างน้อยหนึ่งระนาบ ลงบนตัวอย่างหิน (Oriented sample) (รูปที่ 2.4) เพื่อใช้เป็นระนาบอ้างอิง ทำให้ทราบถึงการวางตัวของระนาบการบิดเบี้ยวเดิมของหินในหินโผล่ที่เราเก็บมาจากการสำรวจภาคสนามเมื่อเรานำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการเก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่งเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Passchier and Trouw, 2005)

2.3 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

2.3.1 กำหนดตำแหน่งลงในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่ และ แผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 2.5) โดยข้อมูลสำหรับการศึกษธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์นั้นเป็นข้อมูลในภาคสนาม อันได้แก่ การวางตัวของชั้นหิน โครงสร้างแนวเส้น แกนชั้นหิน คดโค้ง และรอยเลื่อน หรือโครงสร้างอื่นๆที่พบ เพื่อคุณลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง การเปลี่ยนแปลง และการบิดเบี้ยวในระดับกลาง (Mesoscopic scale) ที่ปรากฏของแต่ละจุดศึกษา แล้วนำมาวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างภาพรวมของพื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จากนั้นทำการถ่ายรูปลักษณะหินโผล่และธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏชัดเจน โดยข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่ และ แผนภาพกุหลาบ เพื่อใช้วิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจะนำมาใช้ตีความถึงวิวัฒนาการโครงสร้างของพื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงตัวอย่างการกำหนดตำแหน่ง 10 ค่าในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่ และ แผนภาพกุหลาบ ตามลำดับ

2.3.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) จากแผ่นหินขัดบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) การศึกษานี้เกี่ยวกับลักษณะเนื้อผิว (Texture) ของหินและแร่ที่บ่งชี้ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่นการยัดของเม็ดแร่ การแตกของแร่อย่างเป็นระบบ รวมถึงระดับและสภาวะการแปรสภาพของหินภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) ซึ่งในขั้นตอนการทำแผ่นหินบาง (Thin section) เพื่อให้แสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ที่ชัดเจนและถูกต้องมากที่สุด มีลำดับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

- 1) นำตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (Orientated sample) มาพิจารณาแนวการวางตัวของริ้วขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) จากนั้นกำหนดวางแนวตัดให้ตั้งฉากกับริ้วขนานและขนานกับแนวเส้นเพื่อดูลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกิดจากแนวความเค้นมากที่สุด (Maximum stress) ที่กระทำต่อหินในพื้นที่
- 2) พิจารณาแบ่งลักษณะเนื้อหิน เลือกบริเวณที่ต้องการโดยอาศัยลักษณะเนื้อหิน แนวนรอยต่อระหว่างเนื้อหิน และลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง ตัดแผ่นหินให้ได้ขนาดเหมาะสมกับแผ่นกระจกใส โดยทำสัญลักษณ์ที่ใช้บอกด้านบน-ล่าง (top-bottom) กำหนดไว้ด้วย
- 3) นำด้านล่าง (Bottom) ของแผ่นหินที่พร้อมติดสไลด์มาติดกับสไลด์ (ระวังอย่าติดสไลด์ที่ด้านบนของแผ่นหิน เพราะจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้)
- 4) ดำเนินการทำแผ่นหินขัดบางตามขั้นตอนปกติ

2.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อตีความผลการศึกษา รวบรวมข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม, จากการกำหนดตำแหน่งลงในตาข่ายมิตติสเตอร์ไอกร้าฟิคชนิดพื้นที่ และ แผนภาพภูทาบ และจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งในระดับกลาง และระดับจุลภาค โดยวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (deformation) ทิศทางของแรง (sense of stress) โครงสร้างแนวเส้น และแนวรอยเลื่อนของหินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดเป็นต้น

2.5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา นำเสนอในรูปแบบสัมมนา และจัดทำรูปเล่มรายงาน

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

บทที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

เนื้อหาในบทนี้ จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ทั้งหมดจากการศึกษาระดับกลาง (mesoscopic scale) โดยการออกภาคสนาม และจากการศึกษาระดับจุลภาค (microscopic scale) โดยการศึกษารายได้แผ่นหินขัดบาง (thin section) ของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ธรณีวิทยา (Geology)

ธรณีวิทยาของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นหินตะกอนเนื้อเม็ด และหินตะกอนเนื้อเคมี โดยจากการศึกษาแผนที่ธรณีวิทยา และหินโผล่จากการสำรวจภาคสนาม สามารถแบ่งกลุ่มหินได้ออกเป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 3.1)

3.1.1 หินทราย และหินทรายแป้ง ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหิน พบในจุดศึกษาที่ 1 ถึง 27

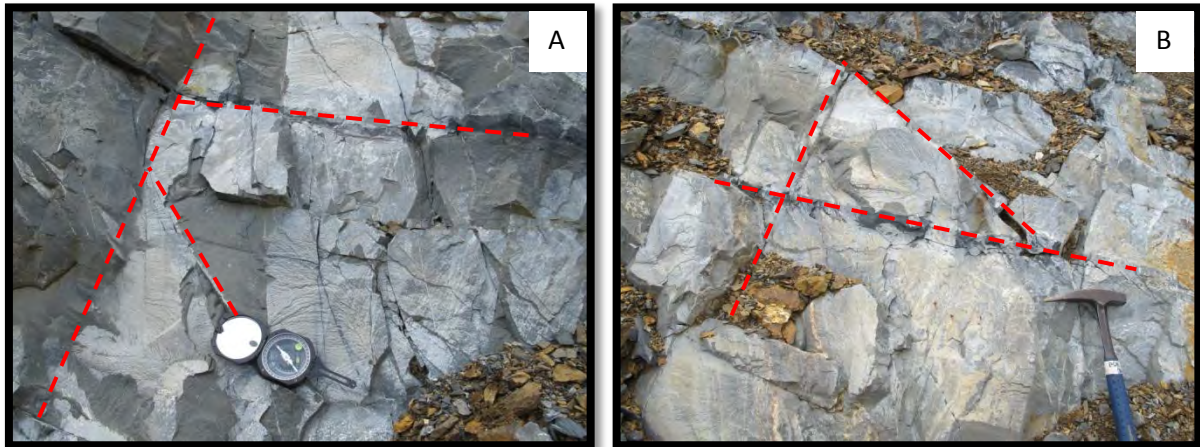
3.1.2 หินแอนดีไซต์ ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหิน พบในจุดศึกษาที่ 17



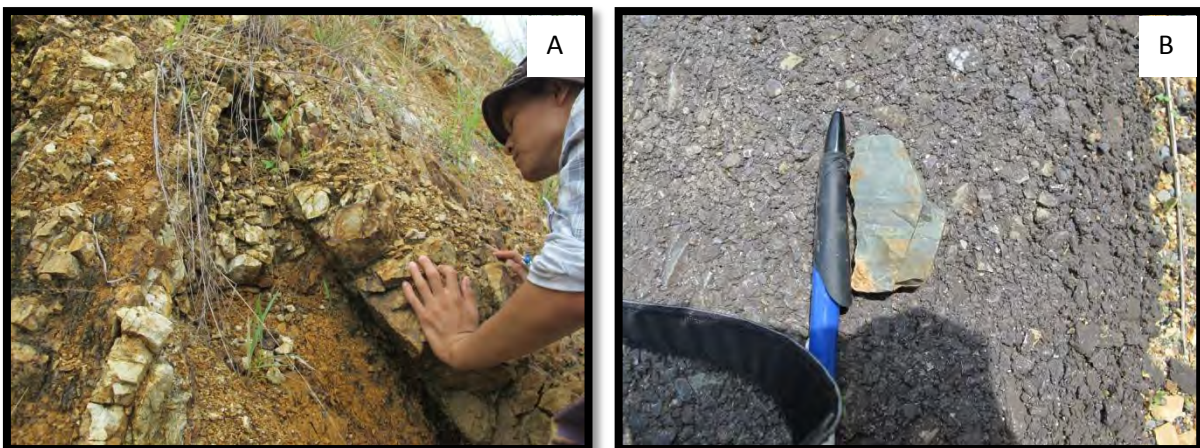
รูปที่ 3.1 ภาพแสดงจุดศึกษาแต่ละตำแหน่งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map

3.1.1 หินทราย

หินทรายที่พบเป็นแกรย์แวก (greywacke) ในพื้นที่ศึกษามีลักษณะ สีสดสีเทาเข้ม สีผุสีน้ำตาลขาว เนื้อหินประกอบไปด้วย เศษหิน 40 เปอร์เซ็นต์ แร่ควอตซ์ 30 เปอร์เซ็นต์ แร่เฟลด์สปาร์ 20 เปอร์เซ็นต์ และแร่อื่นๆ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการคัดขนาดไม่ดี ความเป็นทรงกลมต่ำ และพบตั้งแต่เม็ดขนาดละเอียดถึงหยาบ โดยเนื้อหินแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่ม และแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน (รูปที่ 3.2 และ 3.3)



รูปที่ 3.2 ภาพ A และ B แสดงหินโผล่ของหินทรายบริเวณจุดศึกษาที่ 1 แสดงให้เห็นแนวรอยแตก 3 แนว (เส้นประสีแดง) วางตัวในแนวเหนือ-ใต้, ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก



รูปที่ 3.3 ภาพ A แสดงหินโผล่ของหินทรายบริเวณจุดศึกษาที่ 23 โดยเนื้อหินแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่ม และแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันออก และภาพ B แสดงลักษณะหินทรายที่มีเนื้อหินสดสีเทา

3.1.2 หินแอนดีไซต์

หินแอนดีไซต์ที่พบในพื้นที่ศึกษามีลักษณะ มีสีสดเป็นสีเขียวเข้ม สีผิวเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง เป็นผืนหินแอนดีไซต์ที่แทรกตัดเข้ามาภายหลังหินปูน และหินทราย แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบแตกเปราะให้เห็น (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงหินโผล่ของหินแอนดีไซต์บริเวณจุดศึกษาที่ 17 โดยแสดงการแทรกตัดเข้ามาภายหลัง เป็นผืนหินแอนดีไซต์ที่มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตก-ตะวันออกแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบแตกเปราะให้เห็นเด่น โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก

3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural geology)

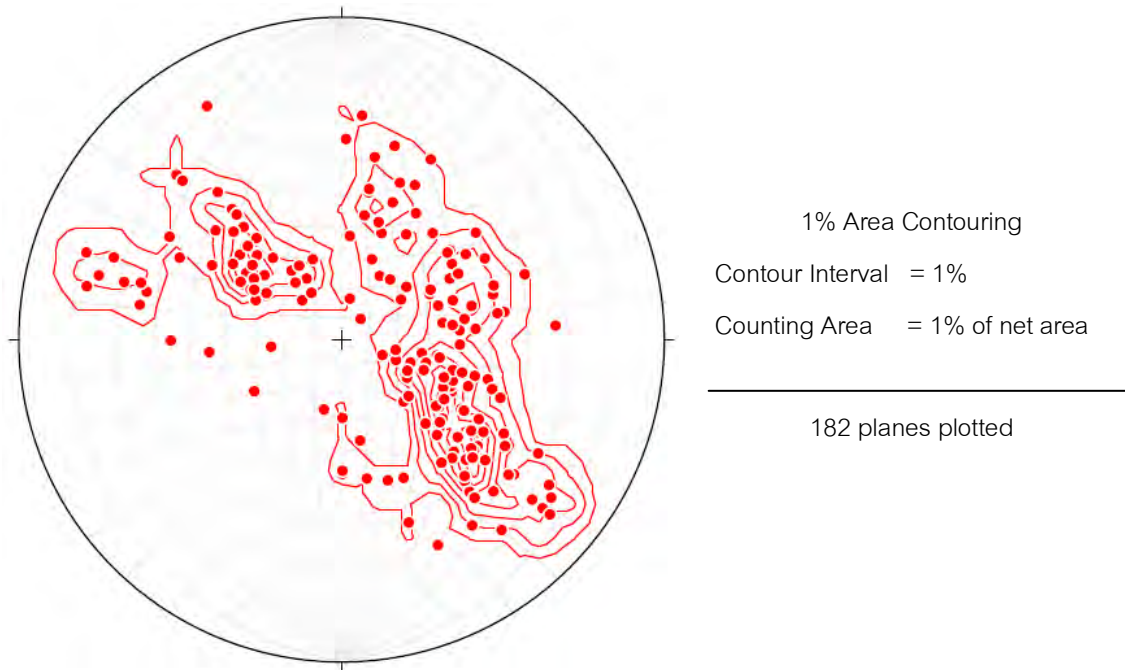
การวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ แบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ ได้แก่ ระดับกลาง จากการสำรวจภาคสนาม และระดับจุลภาค จากการศึกษาแผ่นหินขัดบาง จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค

3.2.1 ระดับกลาง (Mesoscopic scale)

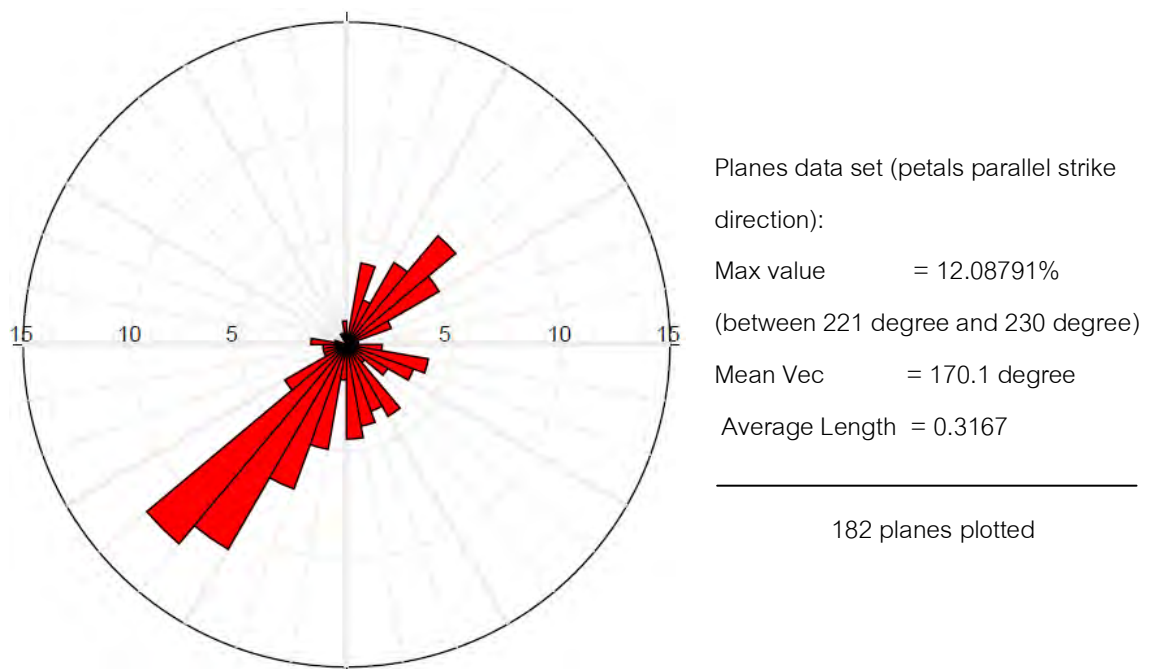
เป็นข้อมูลพื้นที่จากการสำรวจภาคสนาม ได้แก่ ข้อมูลการวางตัวของชั้นหิน และแนวเส้น เป็นต้น ซึ่งข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปกำหนดตำแหน่งในตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า และแผนภาพกุหลาบ เพื่อวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้าง ซึ่งจะนำมาใช้ตีความวิวัฒนาการโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์

3.2.1.1 โครงสร้างแนวการวางตัวของชั้นหิน

การกระจายตัวของขั้ว (pole) และความหนาแน่นกระจายตัวของโครงสร้างแนวการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่ศึกษามีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) โดยมีทิศการเอียงเทของชั้นหินไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ (รูป 3.5 และ 3.6)



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงผลการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่ศึกษาจำนวน 182 ค่า ลงบนตาข่ายมิติสเตอริโอกราฟิกชนิดพื้นที่เท่า (equal-area stereographic projection) มีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) โดยมีทิศการเอียงเทของชั้นหินไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก



รูปที่ 3.6 ภาพแสดงผลการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่ศึกษาจำนวน 182 ค่า ลงบนแผนภาพกุหลาบ (rose diagram) มีการวางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) โดยมีทิศการเอียงเทของชั้นหินไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้

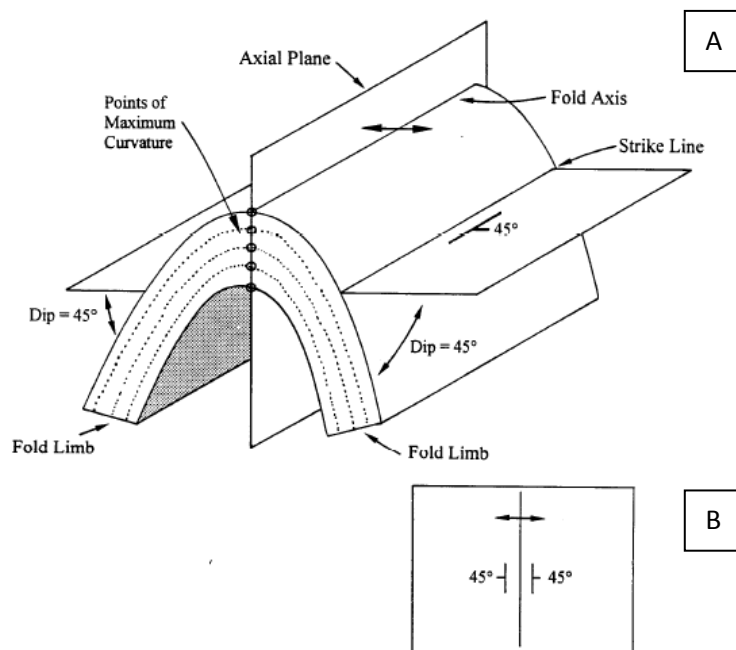
3.2.1.2 การเปลี่ยนลักษณะแบบอ่อนนืด (Ductile deformation)

จากการศึกษานี้มุ่งเน้นไปยังการศึกษารูปร่างชั้นหินคดโค้งของแนวหินคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองล่าง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยจะอธิบายองค์ประกอบโครงสร้าง รวมไปถึงลักษณะรูปแบบต่างๆของชั้นหินคดโค้ง (folds) ดังต่อไปนี้

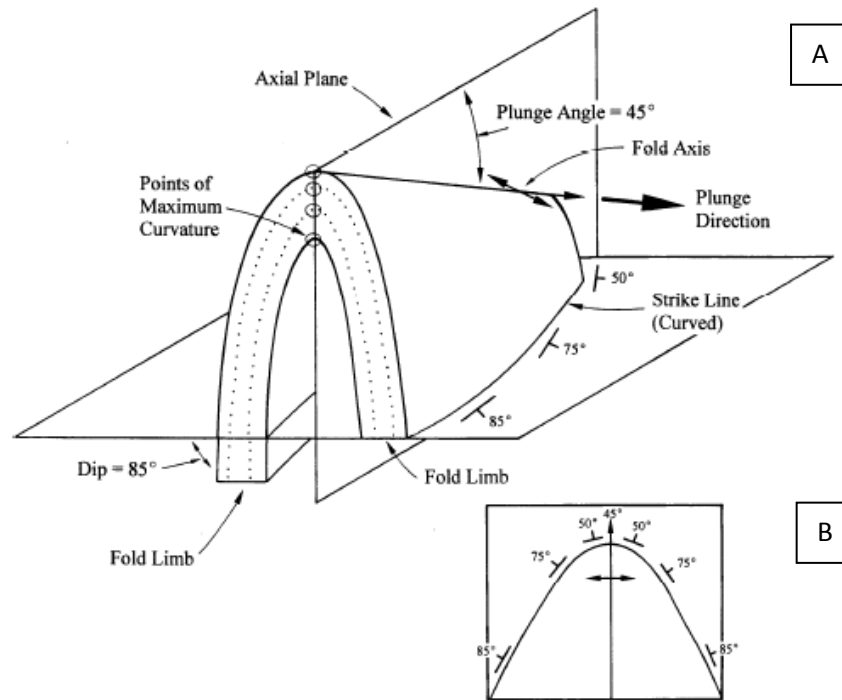
ชั้นหินคดโค้ง (folds) ส่วนใหญ่เกิดจากชั้นของหินตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวมากนัก หรือมีความยืดหยุ่นสูงค่อยๆโค้งงอ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนืด ชั้นหินคดโค้งนั้นพบได้ตั้งแต่ขนาดเล็กหรือเห็นได้ในกล้องจุลทรรศน์ ไปจนถึงขนาดใหญ่มากระมาณภูเขา และชั้นหินคดโค้งนั้นเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย ได้แก่ ผลของความเค้น (conditions of stress) แรงดันจากน้ำ (hydrostatic pressure) แรงดันภายในช่องว่าง (pore pressure) และอุณหภูมิ (temperature) ทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกัน

องค์ประกอบของชั้นหินคดโค้ง (factor of folds) ประกอบด้วย (รูปที่ 3.7, 3.8)

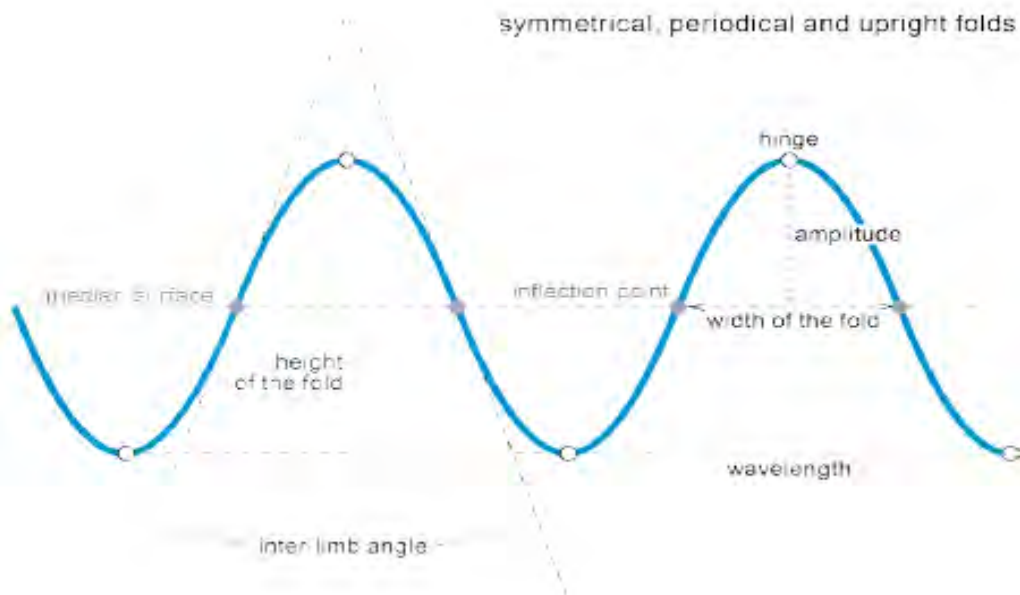
- 1) ระนาบการบิดโค้ง (axial plane) คือ ระนาบที่กึ่งกลางระหว่างแกนของชั้นหินคดโค้ง
- 2) แนวแกนการบิดโค้ง (fold axis) คือ โครงสร้างเส้นเป็นแนวแกนกึ่งกลางระหว่างแกนของชั้นหินคดโค้ง
- 3) แกนของชั้นหินคดโค้งข้างใดข้างหนึ่ง (fold limb) คือ ข้างหนึ่งของชั้นหินคดโค้งที่จะมีค่าการวางตัว (strike line) และมุมเอียงเท (dip) ที่ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นหินคดโค้ง
- 4) มุมระหว่างแกนของชั้นหินคดโค้ง (interlimb angle) คือมุมที่วัดระหว่างแกนของชั้นหินคดโค้ง
- 5) มุมของแนวแกนบิดโค้งเทียบกับแนวระดับ (plunge angle) คือมุมการเอียงเทของแนวแกนการบิดโค้งที่ทำมุมกับแนวระดับ
- 6) ทิศทางของแนวแกนบิดโค้ง (plunge direction) คือทิศทางของแนวแกนบิดโค้ง บอกว่าไปทางทิศไหน



รูปที่ 3.7 ภาพ A แสดงองค์ประกอบของชั้นหินคดโค้งในแนวระดับ และภาพ B แสดงการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินลงในแผนที่จากมุมมองบน (top view) (Jpb, 2013)



รูปที่ 3.8 ภาพ A แสดงองค์ประกอบของชั้นหินคดโค้งที่มีมุมของแนวแกนการบิดโค้ง และภาพ B แสดงการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินลงในแผนที่จากมุมบน (top view) (Jpb, 2013)



รูปที่ 3.9 ภาพแสดงรูปตัดขวางของชั้นหินคดโค้ง (fold profile) และมุมระหว่างส่วนข้างของชั้นหินคดโค้ง (interlimb angle) (Jpb, 2013)

ลักษณะของชั้นหินคดโค้ง (type of folds) แบ่งออกตามรูปทรงทางเรขาคณิตเป็น

1) ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ (synform folds) และชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงาย (antiform folds) ส่วนใหญ่จะพบอยู่ด้วยกันเสมอ ถ้าชั้นหินคดโค้งมีส่วนเว้าอยู่ด้านบน คือ ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ ถ้าชั้นหินคดโค้งมีส่วนเว้าอยู่ด้านล่าง คือ ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงาย (รูปที่ 3.10) โดยคำว่าแอนติไคลน์ (anticline) จะเกี่ยวข้องกับ การลำดับชั้นหินเป็นชั้นหินคดโค้งที่มีอายุแก่กว่าอยู่ด้านล่าง และคำว่าซินไคลน์ (syncline) จะเกี่ยวข้องกับ การลำดับชั้นหินเป็นชั้นหินคดโค้งรูปที่มีอายุอ่อนกว่าอยู่ด้านล่าง เช่น ถ้าชั้นหินนั้นเป็นชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงายที่มีชั้นหินอายุแก่กว่าอยู่ด้านล่างจะเรียก synformal anticline (รูปที่ 3.11)

2) ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนตั้งฉาก (neutral folds) คือชั้นหินที่มีส่วนเว้าอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวราบ (รูปที่ 3.12)

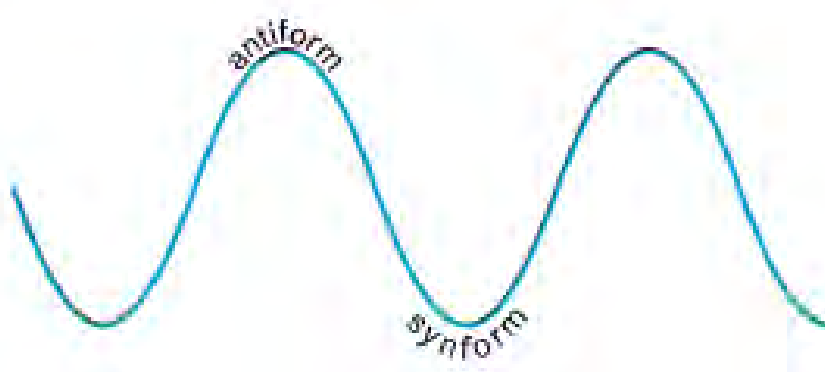
3) ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำแบบลูกฟูก (anticlinorium folds) คือชั้นหินคดโค้งขนาดใหญ่มาก ระดับภูเขาที่มีส่วนเว้าอยู่ด้านบน และมีชั้นหินคดโค้งย่อยอยู่ภายใน (รูปที่ 3.13)

4) ชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงายแบบลูกฟูก (synclinorium folds) คือชั้นหินคดโค้งขนาดใหญ่มาก ระดับภูเขาที่มีส่วนเว้าอยู่ด้านล่าง และมีชั้นหินคดโค้งย่อยอยู่ภายใน (รูปที่ 3.13)

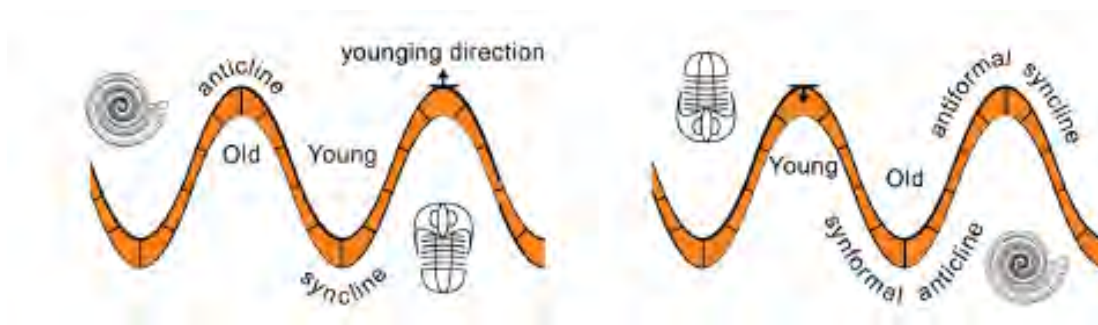
5) ชั้นหินคดโค้งพลิกกลับ (overturned fold) เป็นชั้นหินคดโค้งที่มีค่าการวางตัว และมุมเอียงเทอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยระนาบการบิดโค้งไม่อยู่ในแนวระดับ (รูปที่ 3.13)

6) ชั้นหินคดโค้งแนวนอน (recumbent fold) เป็นชั้นหินคดโค้งที่มีค่าการวางตัว และมุมเอียงเทอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยระนาบการบิดโค้งอยู่ในแนวระดับ (รูปที่ 3.13)

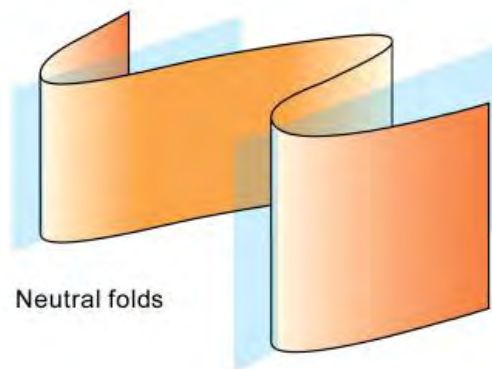
และชั้นหินคดโค้งที่มีลักษณะสมมาตรของแขนทั้งสองข้างเท่ากันจะเรียก (symmetrical folds) ส่วนชั้นหินคดโค้งที่มีลักษณะไม่สมมาตรของแขนทั้งสองข้างเท่ากันจะเรียก (asymmetrical folds) (รูปที่ 3.14) ทั้งนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของชั้นหินคดโค้งโดยใช้ขนาดของมุมระหว่างส่วนข้างของชั้นหินคดโค้ง (รูปที่ 3.15) ใช้การวางตัวของระนาบการบิดโค้ง (รูปที่ 3.16) และใช้ลักษณะรูปร่าง (รูปที่ 3.17) เป็นเกณฑ์ได้ด้วย



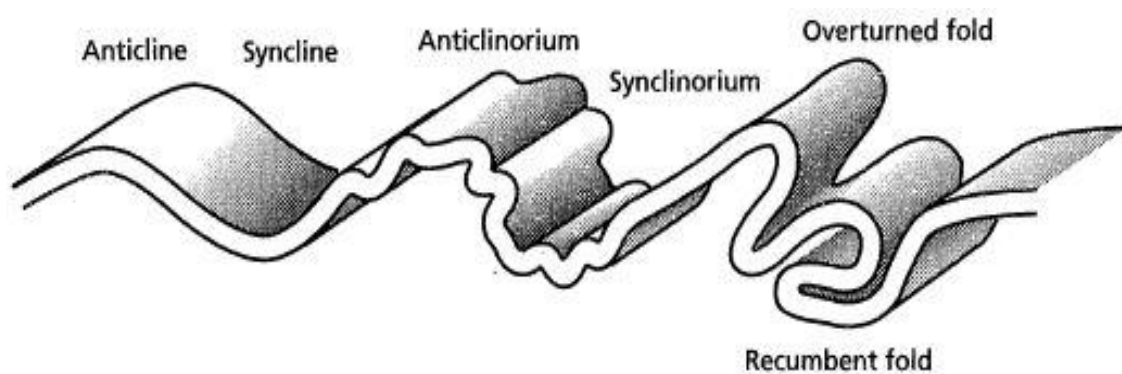
รูปที่ 3.10 ภาพแสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ และชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงาย (Jpb, 2013)



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงลักษณะการเรียกชื่อของชั้นหินคดโค้งรูปแบบต่างๆ ในเชิงอายุสัมพันธ์ (relative age) (Jpb, 2013)

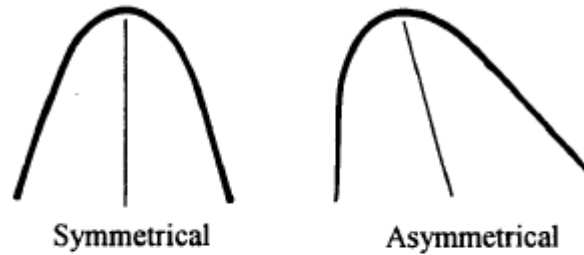


รูปที่ 3.12 ภาพแสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนตั้งฉาก (neutral folds) (Jpb, 2013)

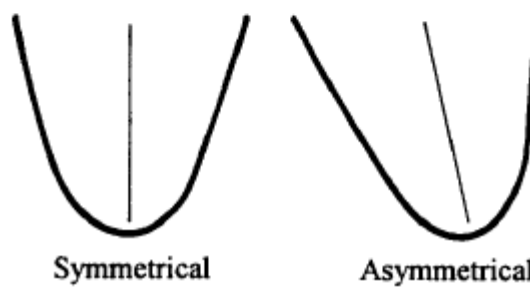


รูปที่ 3.13 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงลักษณะต่างๆของชั้นหินคดโค้ง (Jpb, 2013)

Anticlines



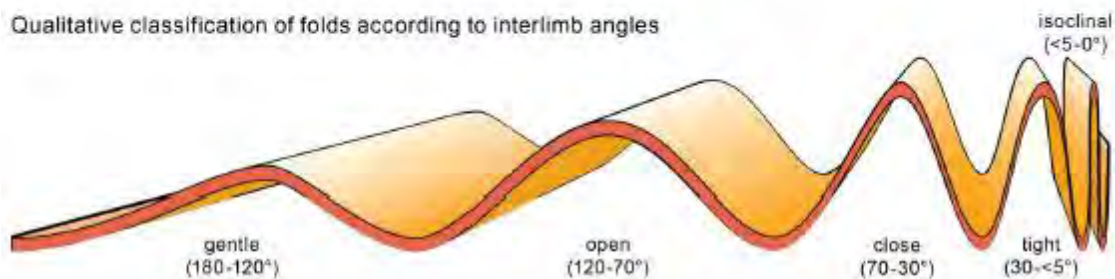
Synclines



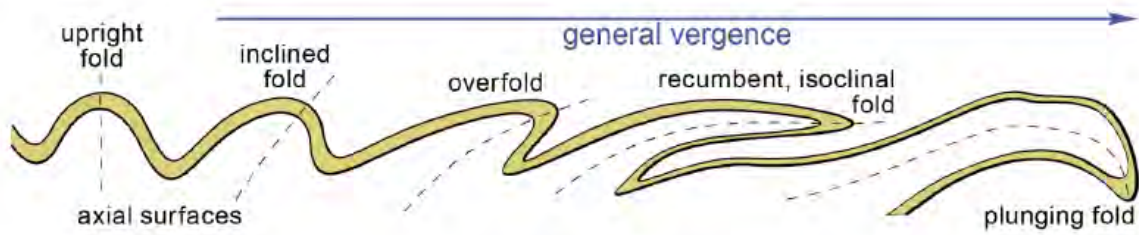
รูปที่ 3.14 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงลักษณะต่างๆของชั้นหินคดโค้งแบบสมมาตร (symmetrical) และแบบไม่สมมาตร (asymmetrical) (Jpb, 2013)

inter-limb angle	tightness class
180 to ca. 120°	Gentle
120 – 70°	Open
70 -- 30°	Close
less than 30°	Tight
0°, i.e. parallel limbs	Isoclinal
< 0°	Fan

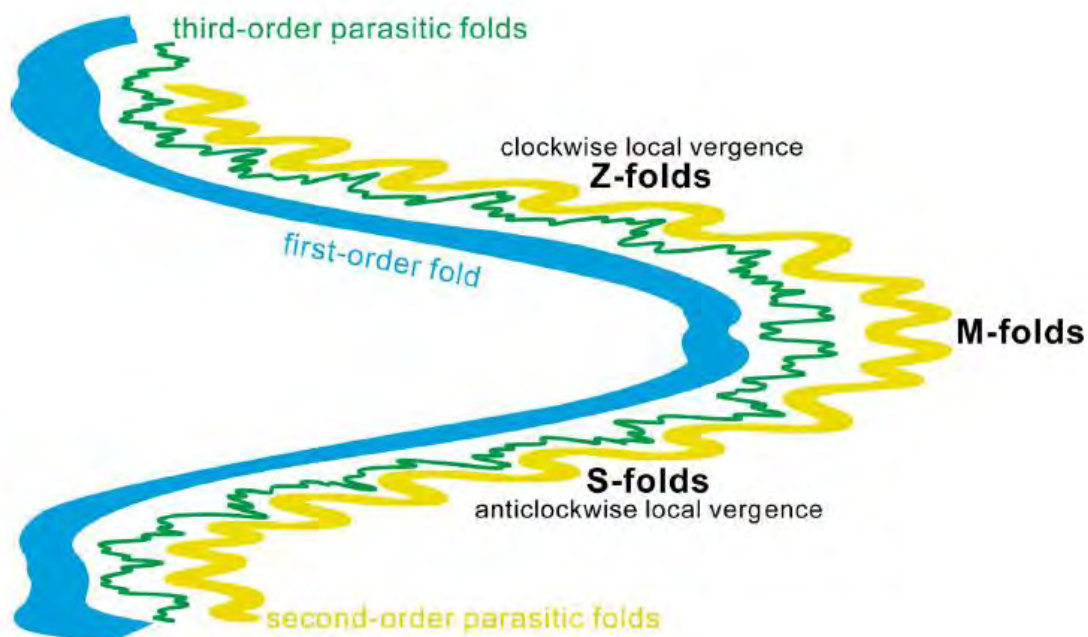
Qualitative classification of folds according to interlimb angles



รูปที่ 3.15 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงการจำแนกชนิดของชั้นหินคดโค้งโดยใช้ขนาดของมุมระหว่างส่วนข้างของชั้นหินคดโค้งเป็นเกณฑ์ (interlimb angle) โดยมีชื่อเรียกที่ต่างกัน (Jpb, 2013)



รูปที่ 3.16 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงการจำแนกชนิดของชั้นหินคดโค้งโดยใช้การวางตัวของระนาบการบิดโค้ง (axial surface or plane) ของชั้นหินคดโค้งเป็นเกณฑ์ (Jpb, 2013)



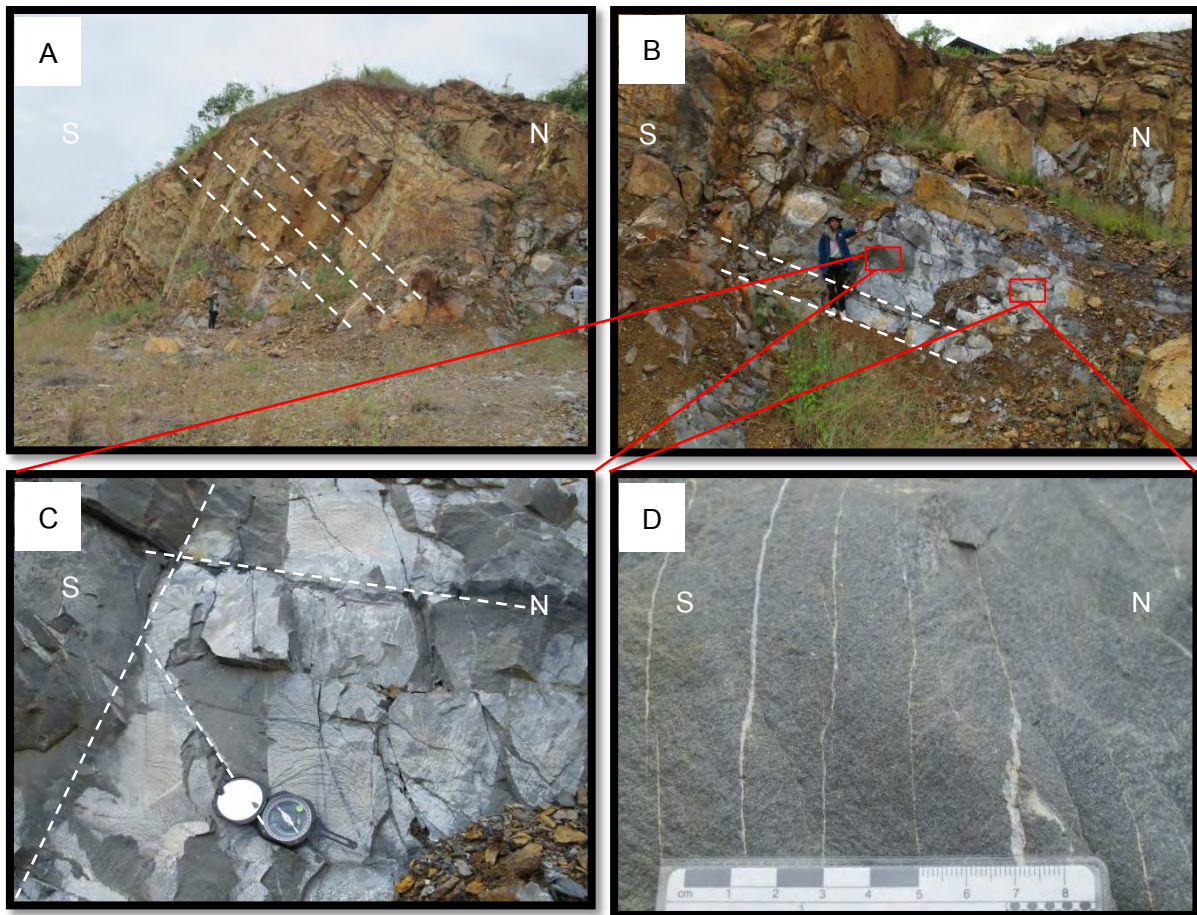
รูปที่ 3.17 ภาพแสดงรูปตัดขวางชั้นหินคดโค้ง (fold profile) แสดงการจำแนกลำดับของชั้นหินคดโค้งโดยใช้รูปร่าง (shape) ของชั้นหินคดโค้งเป็นเกณฑ์ โดยในรูปชั้นหินคดโค้งลำดับแรกเป็นสีฟ้าจะมีลักษณะที่สมมาตรถ้าแรงที่กระทำทั้งสองข้าง รวมไปถึงปัจจัยอื่นๆด้วยเท่ากัน ลำดับที่สองเป็นสีเหลือง จะแบ่งออกเป็นชั้นหินคดโค้งรูปตัว Z (Z-folds) แขนของชั้นหินคดโค้งเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ชั้นหินคดโค้งรูปตัว M (M-folds) หรือตัว W ถ้าเป็นในกรณีชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงาย มักมีลักษณะที่สมมาตร โดยส่วนใหญ่จะพบอยู่ในบริเวณสันของแนวชั้นหินคดโค้ง (hinge zone) และชั้นหินคดโค้งรูปตัว S (S-folds) แขนของชั้นหินคดโค้งเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (Jpb, 2013)

จากการสำรวจภาคสนามบริเวณพื้นที่ศึกษาทำให้ทราบว่าหินโคลนบริเวณอ่างเก็บน้ำ คลองลำกง นั้นมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนิ่ม ซึ่งหลักฐานที่บ่งบอกถึงการตอบสนองต่อแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนิ่มนั้น มาจากการพบลักษณะของชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงาย (antiform) และประทุนคว่ำ (synform) ของชั้นหินทราย โดยมีระนาบแกนบิดโค้ง (axial plane) วางตัวอยู่ในทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ และมีมุมการเอียงเทของชั้นหินในทิศตะวันออกเฉียงใต้ และ ตะวันตกเฉียงเหนือ จากผลการศึกษาทั้งหมดได้เก็บข้อมูลแนวการวางตัวของชั้นหิน โดยจะแสดงภาพของ หินโคลนในแต่ละจุดศึกษา (รูปที่ 3.18) โดยเริ่มจากทางทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกตามทางถนนจะเห็น หินโคลนที่เกิดจากการตัดถนน (road-cut outcrop) ผ่านเขาชัดเจน ทั้งนี้ผู้ศึกษาจะทำการเก็บข้อมูลในแนว ตัดขวางชั้นหินคดโค้งเป็นหลักเพื่อให้เห็นโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำ คลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ จะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.18 ภาพแสดงจุดศึกษาแต่ละตำแหน่งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ จาก Google Earth Map

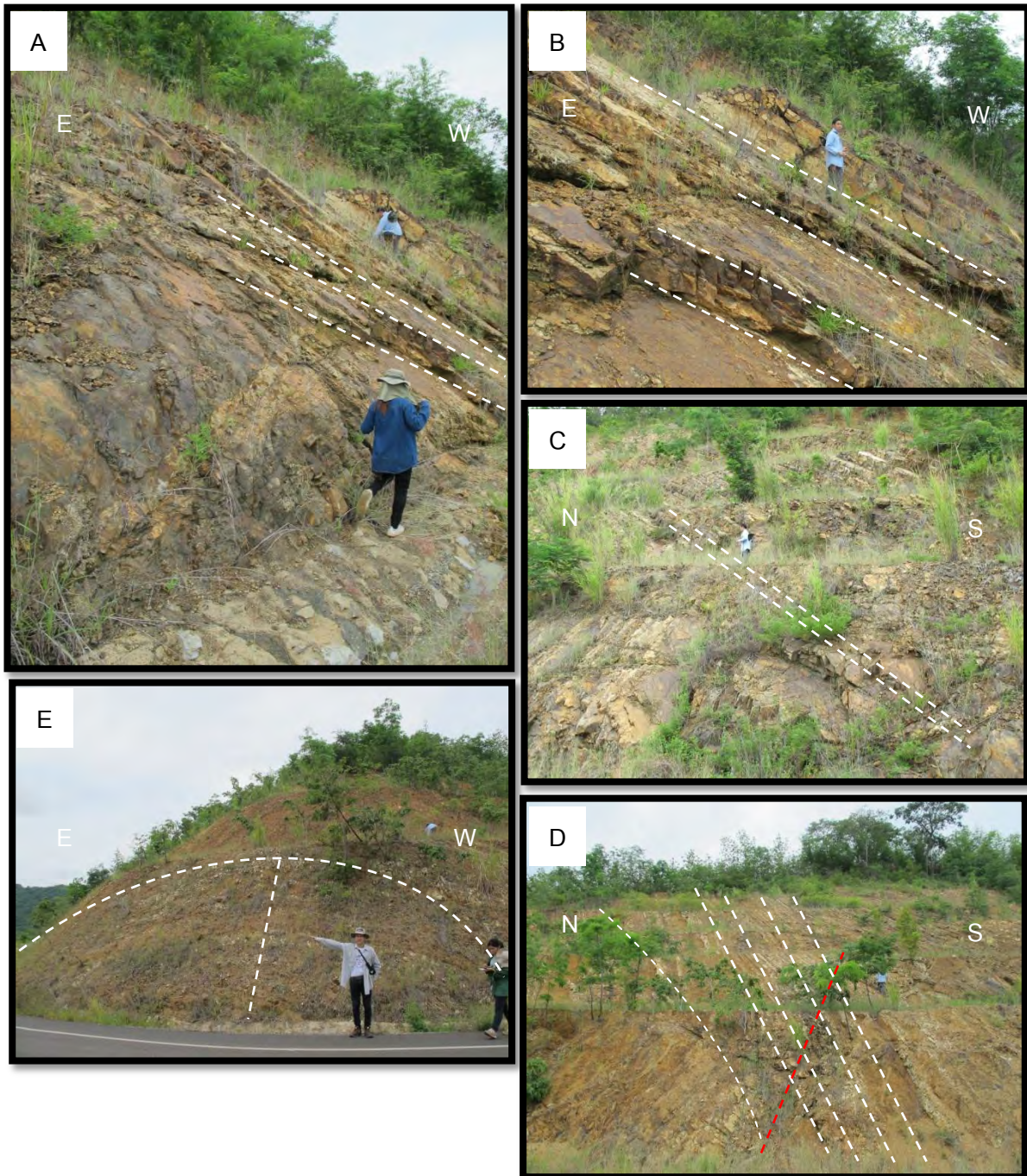
จุดศึกษาที่ 1 เป็นหินโผล่ของหินทรายสีสดสีเทา สีฝุ่น้ำตาล แนวการวางตัวของชั้นหิน มีค่าประมาณ $210^{\circ}/52^{\circ}$ NW แสดงให้เห็นแนวรอยแตก 3 แนว วางตัวในแนวเหนือ-ใต้, ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และในแนวรอยแตกบางส่วนนั้นมีแร่พวก แคลไซต์ และควอตซ์ มาตกผลึกและวางตัวอยู่ในแนวตะวันออก - ตะวันตก (รูปที่ 3.19) และเมื่อเดินไปตามถนนไปทางทิศตะวันออกประมาณ พบจุดศึกษาที่ 2 ลักษณะหินผุพังสูง เห็นแนวการวางตัวของชั้นหินคร่าวๆ มีค่าประมาณ $215^{\circ}/40^{\circ}$ NW (รูปที่ 3.20) ถัดไปทางตะวันออกพบจุดศึกษาที่ 3 เป็นหินโผล่ของหินทรายที่ค่อนข้างผุ แนวการวางตัวของชั้นหินใกล้เคียงจุดศึกษาที่ 1 (รูปที่ 3.20)



รูปที่ 3.19 ภาพแสดงจุดศึกษาที่ 1 ภาพ A และ B แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) ภาพ C แสดงให้เห็นแนวรอยแตก 3 แนว (เส้นประสีขาว) และภาพ D แสดงให้เห็นแนวรอยแตกที่มีแร่พวก แคลไซต์ และควอตซ์ มาตกผลึก

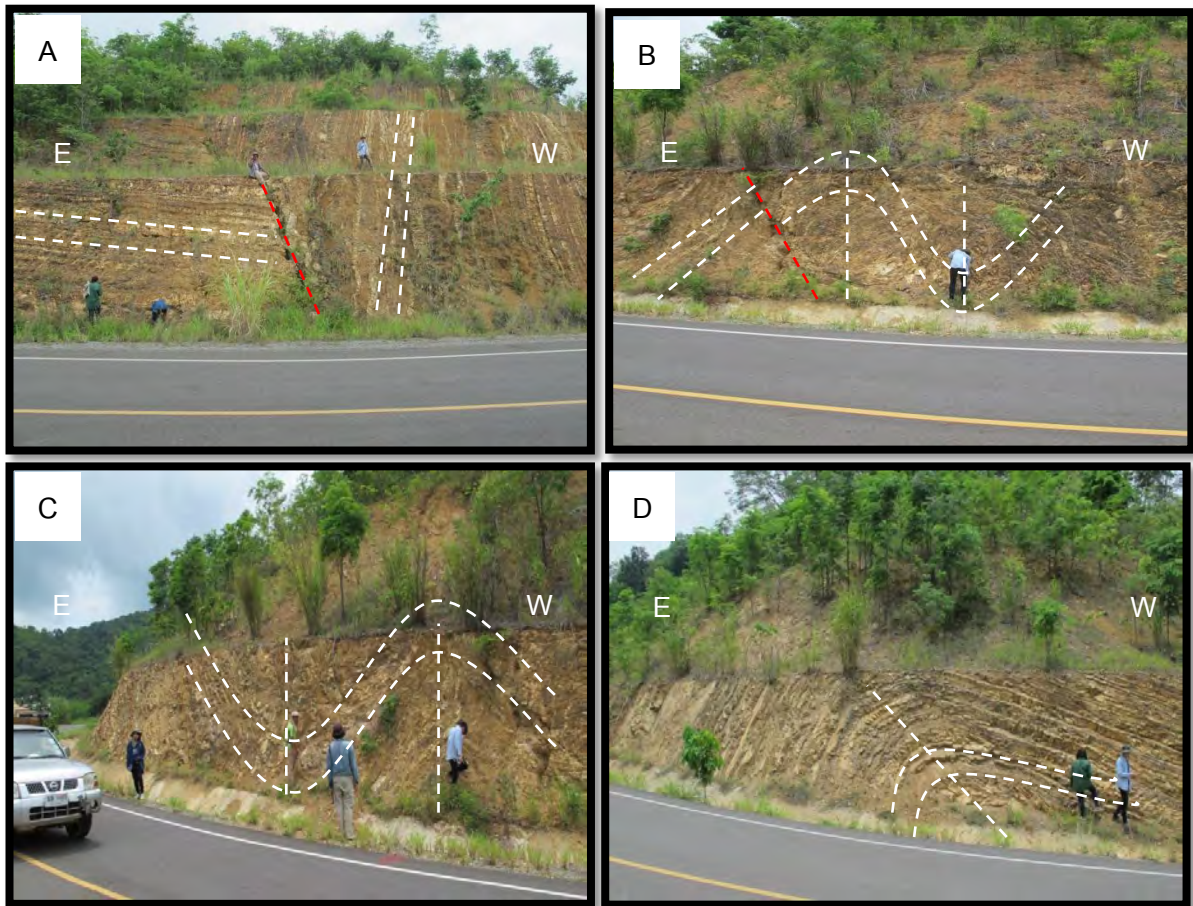


รูปที่ 3.20 ภาพแสดงจุดศึกษาที่ 2 เป็นหินโผล่ของหินทรายที่ผุพังสูง แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว)



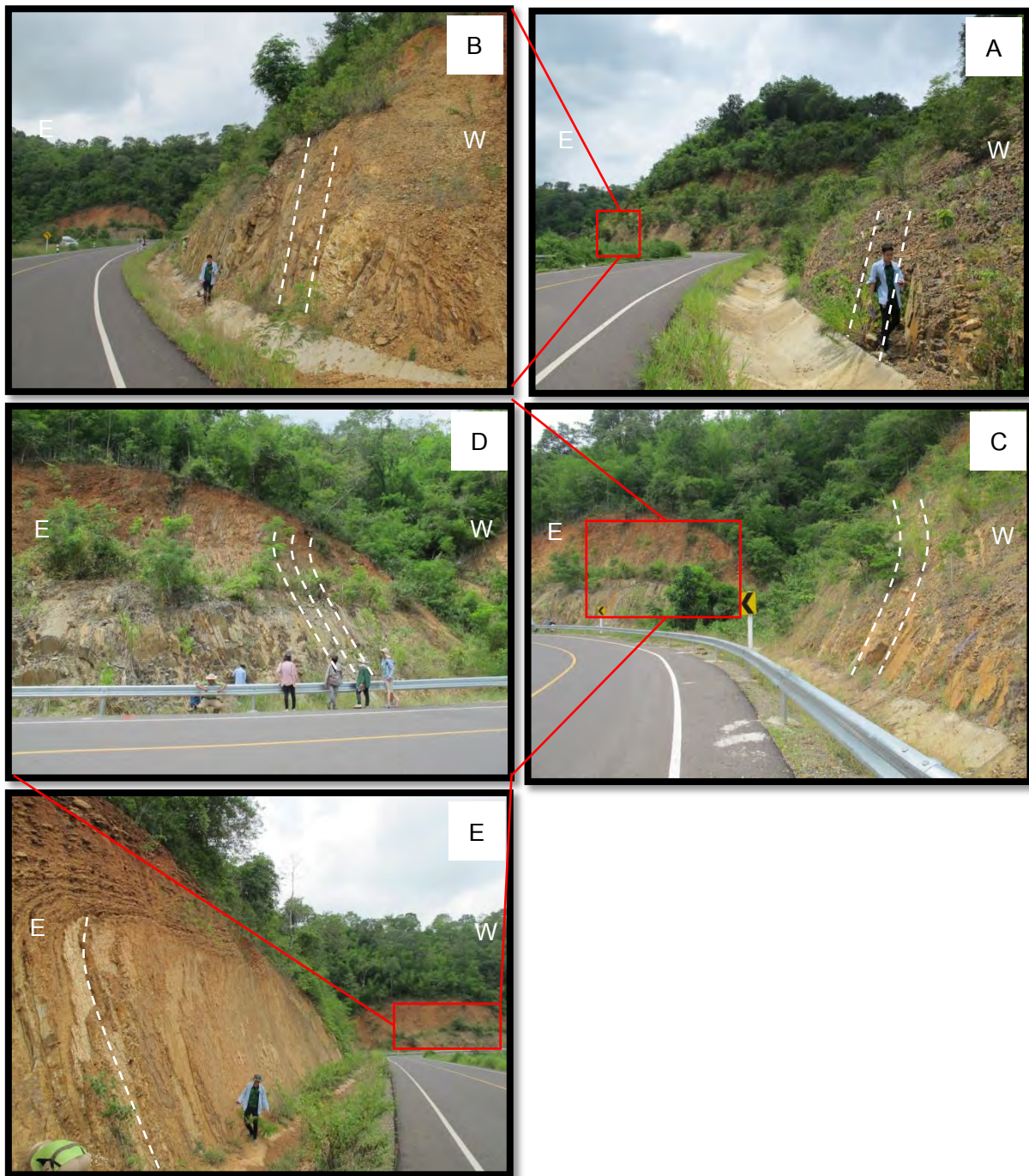
รูปที่ 3.21 ภาพแสดงจุดศึกษาที่ 3 เป็นหินโผล่ของหินทรายที่ผุพังสูง ภาพ A และ B แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $195^{\circ}/46^{\circ}$ NW ภาพ C ถัดมาจากภาพ A ไปทางทิศเหนือ แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $150^{\circ}/42^{\circ}$ SW ภาพ D ถัดมาจากภาพ C ไปทางทิศเหนือ แสดงแนวการวางตัวของชั้นหิน (เส้นประสีขาว) มีค่าประมาณ $145^{\circ}/25^{\circ}$ SW มีค่าของมุมเอียงเทค่อนข้างน้อยลงเมื่อเดินไปทางทิศเหนือ และพบรอยเลื่อนวางตัวประมาณ $270^{\circ}/41^{\circ}$ N และภาพ E แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำมีระนาบการบิดโค้งอยู่ในแนวประมาณทิศเหนือ - ใต้

จุดศึกษาที่ 4 นั้นอยู่ติดกับจุดศึกษาสุดท้ายเนื่องจากผู้ศึกษาได้ไปวัดค่าข้อมูลจากฝั่งตะวันออกของพื้นที่ศึกษาก่อน ดังนั้นจะทำการนำเสนอสภาพหินโผล่จากทางทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกตามถนนเป็นหลัก โดยต่อจากจุดศึกษาที่ 4 (รูปที่ 3.22A) จะเป็นจุดศึกษาที่ 27 (รูปที่ 3.22B, C และ D) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 26 และ 25-1 ถึง 3 (รูปที่ 3.23) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 24 ถึง 22 (รูปที่ 3.24) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 21 ถึง 18 (รูปที่ 3.25) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 17 ถึง 15 (รูปที่ 3.26) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 14 ถึง 13 (รูปที่ 3.27) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 12 ถึง 10 (รูปที่ 3.28) ถัดไปเป็นจุดศึกษาที่ 9 ถึง 8 (รูปที่ 3.29) และทางด้านตะวันออกสุดเป็นจุดศึกษาที่ 7 ถึง 5 (รูปที่ 3.30)



รูปที่ 3.22 ภาพ A แสดงรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 4 โดยพบหลักฐานของเศษหินบดขยี้ (fault gauge) บริเวณแนวรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวประมาณเกือบทิศเหนือ-ใต้ แสดงให้เห็นถึงแรงบีบอัด (compression) ในทิศที่ตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อน ภาพ B C และ D เป็นส่วนที่ต่อกันจากทิศตะวันตกไปตะวันออกตามลำดับ แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำ และประทุนหงายของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 27 ซึ่งชั้นหินมีการเอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้สลับกันไปมีค่าการวางตัวของแกนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งประมาณ $250^{\circ}/49^{\circ}$ NW

และ $45^{\circ}/45^{\circ}$ SE อีกทั้งยังพบหลักฐานรอยเลื่อนย้อนที่วางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นถึงแรงบีบอัด (compression) ในทิศที่ตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อน

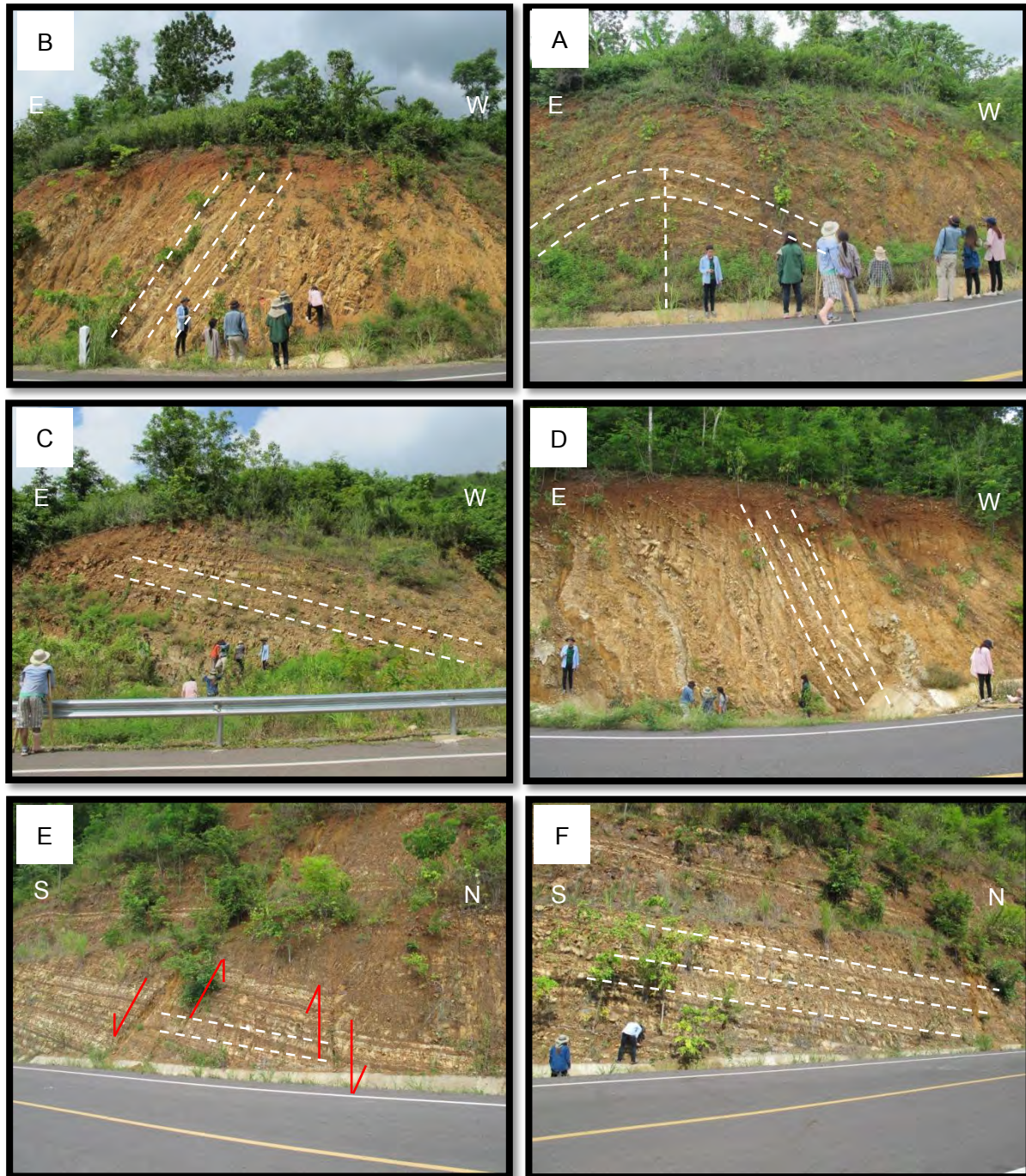


รูปที่ 3.23 ภาพ A B C D และ E เรียงจากทางทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก แสดงแนวแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 26 และ 25-1 ถึง 3 ซึ่งมีมุมการเอียงเทของแนวแต่ละข้างสูง และพบเนื้อหินแสดงการเปลี่ยนลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่ม และแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน มีค่าการวางตัวของแนวแต่ละข้างชั้นหินคดโค้งประมาณ $19^{\circ}/80^{\circ}$ SE และ $230^{\circ}/65^{\circ}$ NW

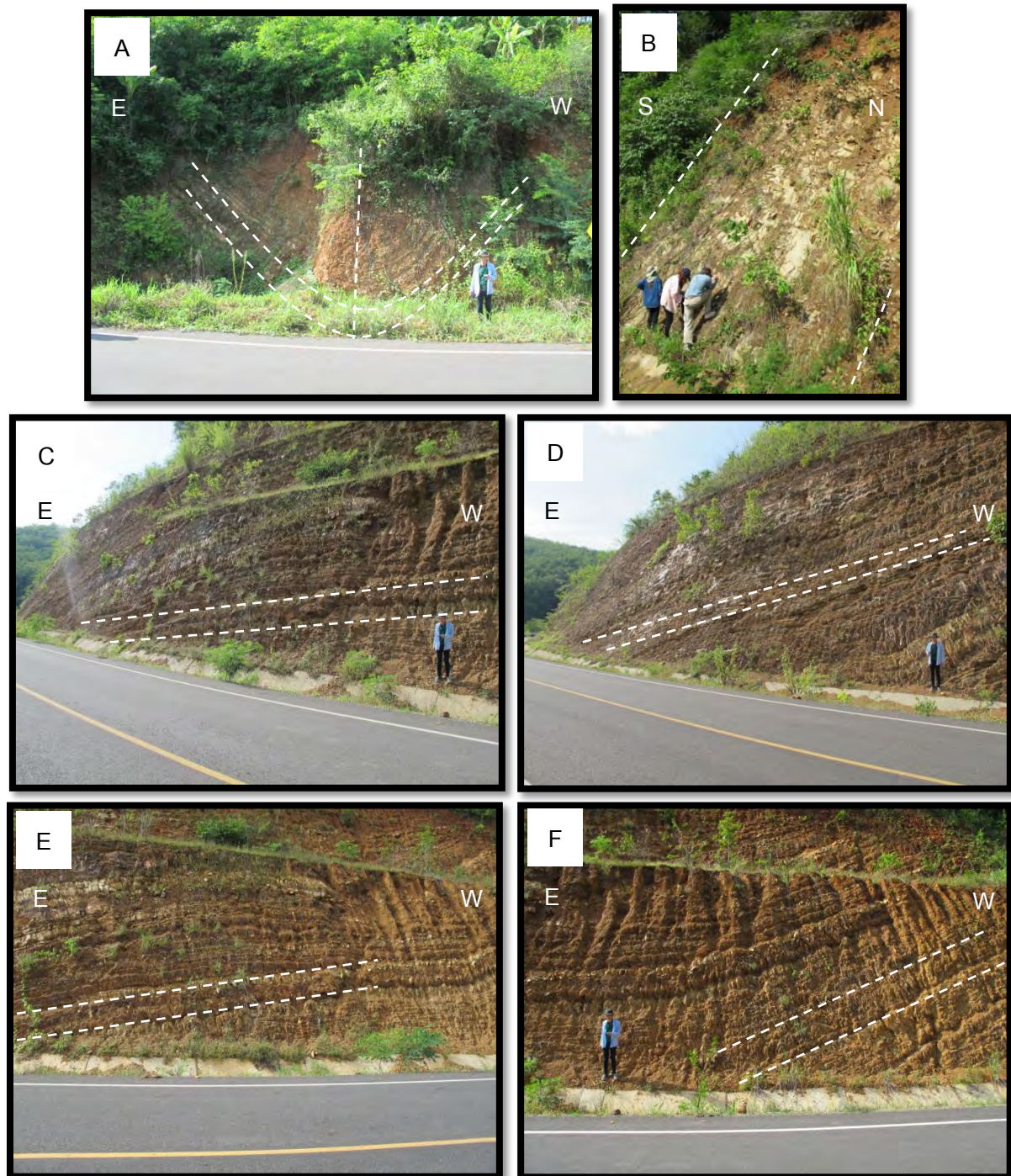


รูปที่ 3.24 ภาพ C เนื้อหินแสดงลักษณะของการถูกเฉือนในทิศทางขวาเข้า (dextral shear) ซึ่งบ่งบอกถึงแรงที่เข้ามากระทำในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ และสังเกตเห็นบริเวณขอบของเศษหินที่ถูกพัดพามาตกสะสมตัว (rip-up clast) เป็นหลักฐานที่บ่งบอกว่าบริเวณนี้มีแรงมากกระทำ (กรอบสีเขียว)

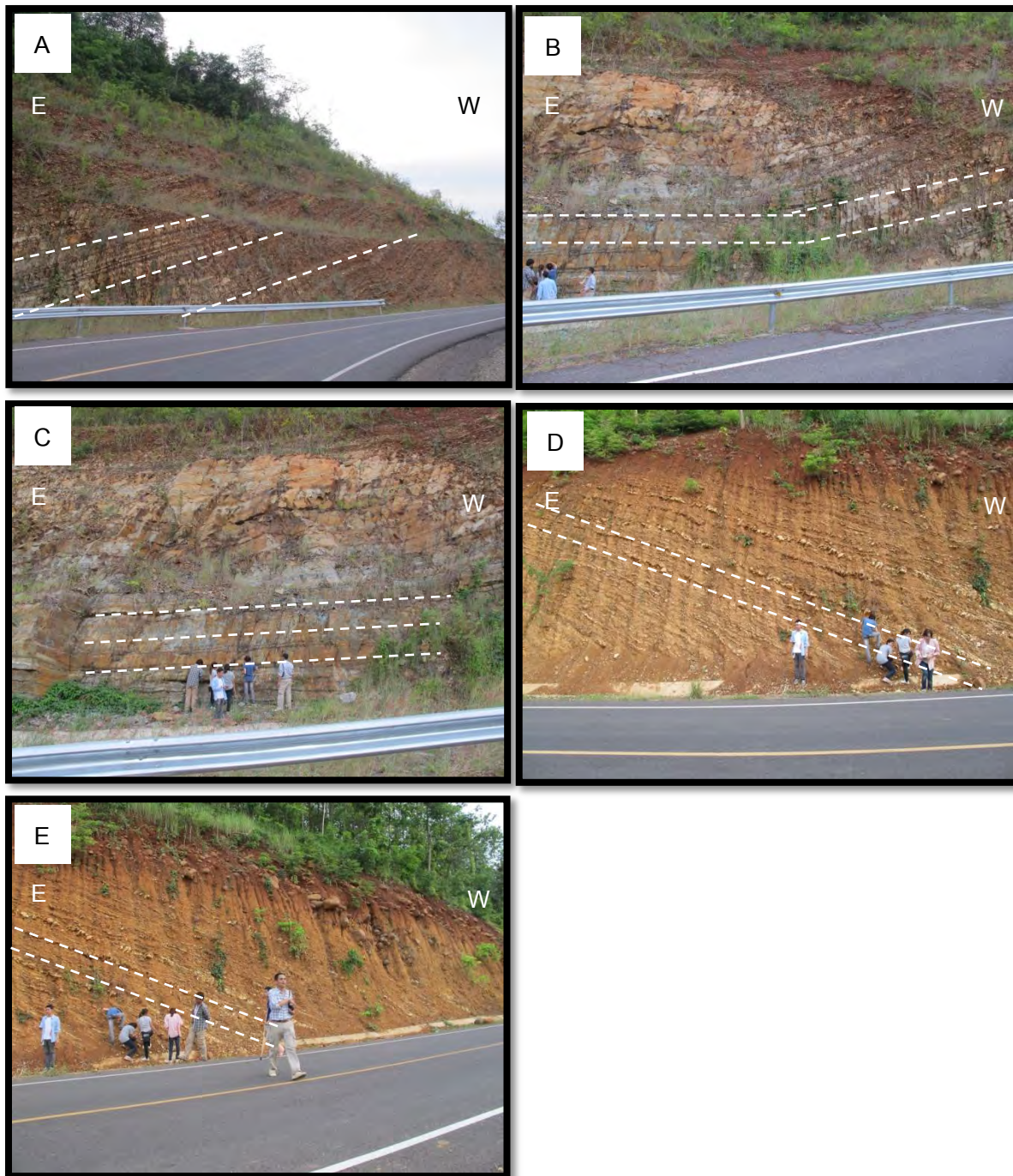
ภาพ A B C D และ E เรียงจากทางทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก แสดงแนวข้างเดียวของชั้นหินคดโค้งของหินโคลนของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 24 ถึง 22 ซึ่งมีมุมการเอียงเทของแนวค่อนข้างสูง และพบเนื้อหินแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบอ่อนนุ่ม และแบบแตกเปราะให้เห็นชัดเจน มีค่าการวางตัวของแนวชั้นหินคดโค้งประมาณ $220^{\circ}/56^{\circ}$ NW



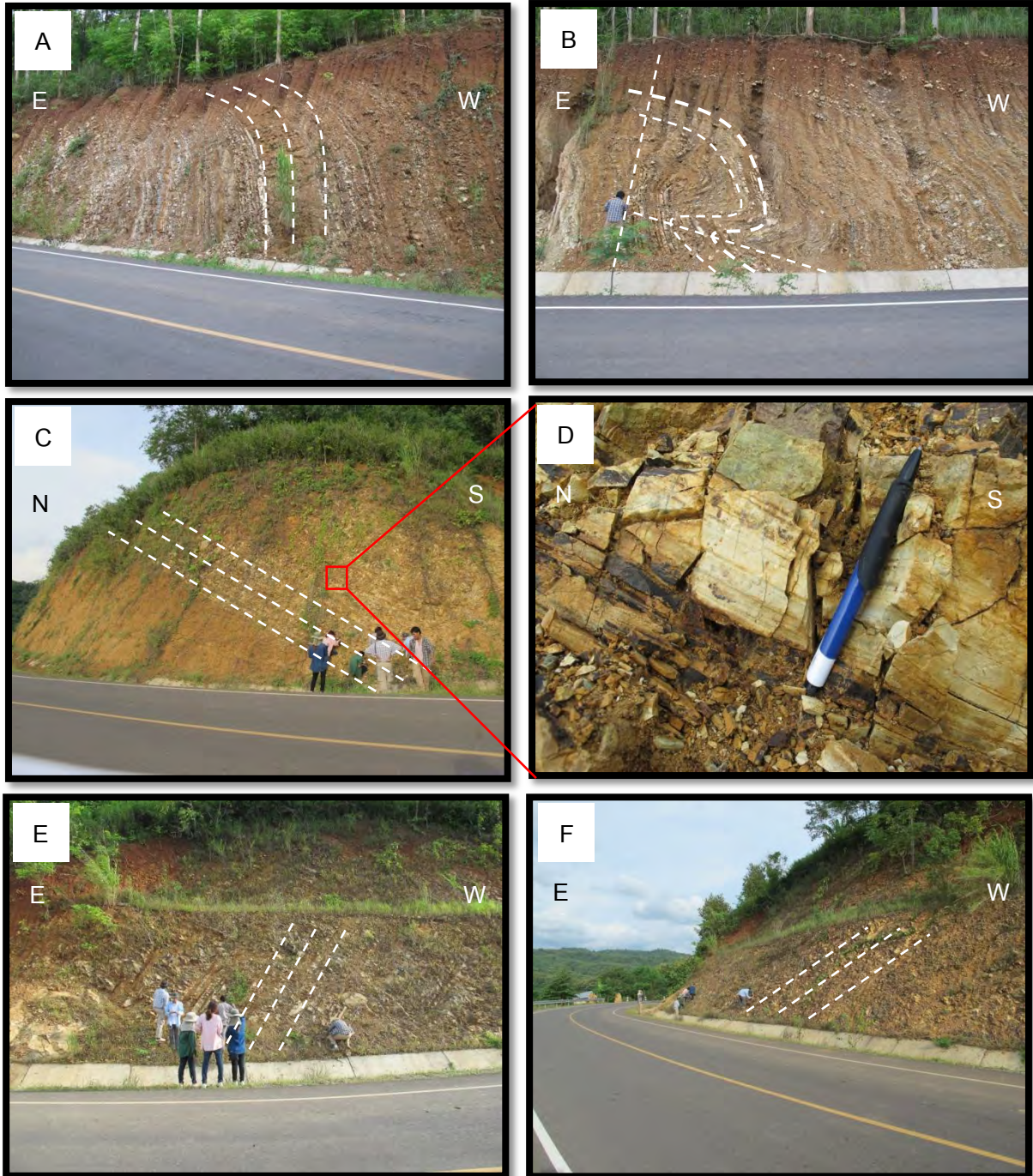
รูปที่ 3.25 ภาพ A และ B ต่อเนื่องกันแสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำของหินโผล่ของหินทราย บริเวณจุดศึกษาที่ 21 ภาพ C บริเวณจุดศึกษาที่ 20 มีค่าการวางตัวของชั้นหินประมาณ $200^{\circ}/37^{\circ}$ SE และ ภาพ D บริเวณจุดศึกษาที่ 19 แสดงชั้นหินเอียงเทในทิศทางตรงข้ามกับภาพ B มีค่าการวางตัวของชั้นหินประมาณ $209^{\circ}/60^{\circ}$ SE ภาพ E และ F แสดงแนวรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ของหินโผล่ของหินทราย ซึ่งแนวรอยเลื่อนวางตัวในแนวประมาณเกือบทิศตะวันตก - ตะวันออก บริเวณจุดศึกษาที่ 18 แสดงให้เห็นถึงแรงคลายตัว (extension) ที่เกิดขึ้นในแนวประมาณเกือบทิศเหนือ - ใต้



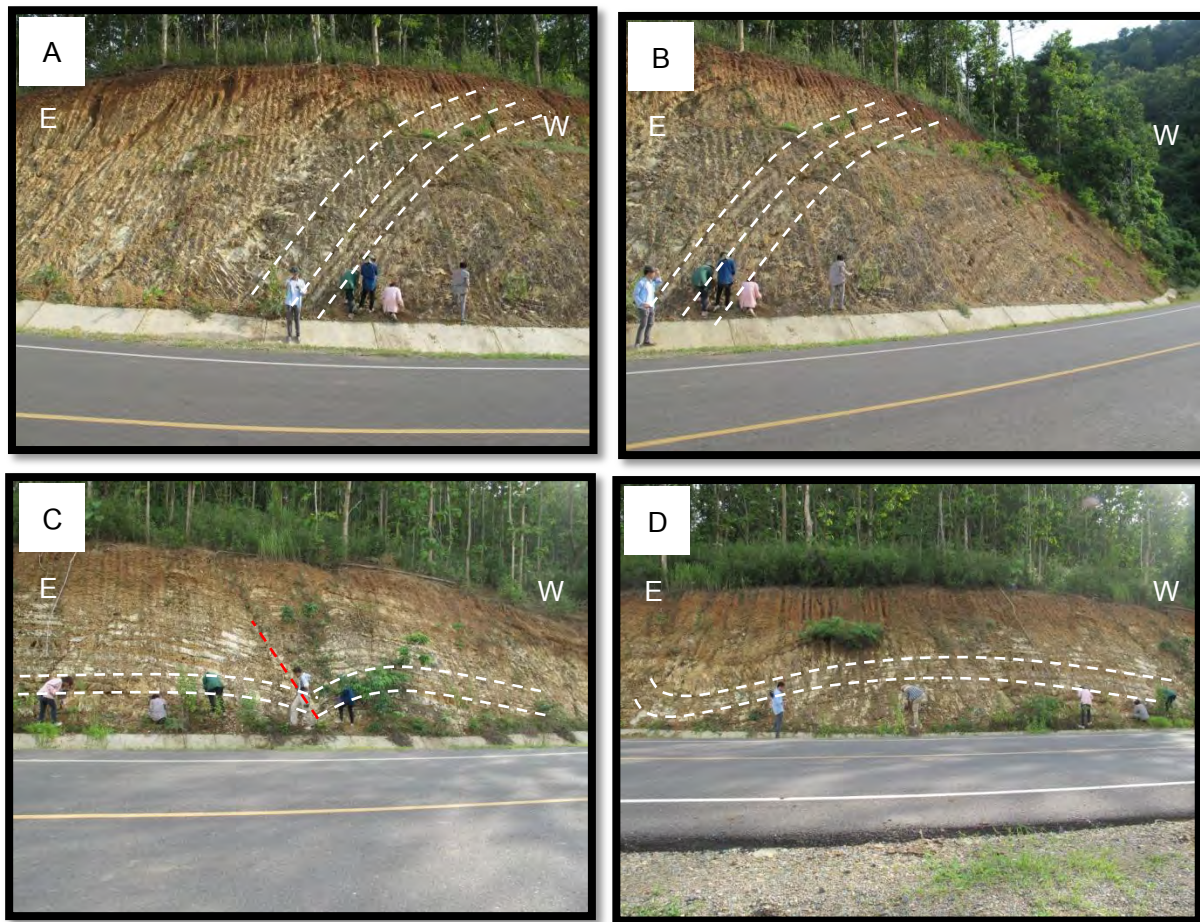
รูปที่ 3.26 ภาพ A แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนหงายแบบสมมาตรของหินเฝล่ของหินทราย มีค่าการวางตัวของแกนแต่ละข้างของชั้นหินคดโค้งประมาณ $170^{\circ}/52^{\circ}$ SW และ $35^{\circ}/37^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 16 ภาพ B แสดงหินเฝล่ของหินแอนดีไซต์บริเวณจุดศึกษาที่ 17 โดยแสดงการแทรกตัดเข้ามาภายหลัง เป็นผนังหินแอนดีไซต์ที่มีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันตก-ตะวันออกแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อหินแบบแตกเปราะให้เห็นเด่น โดยภาพถ่ายไปทางทิศตะวันตก ภาพ C D E และ F แสดงชั้นหินของหินทรายบริเวณจุดศึกษาที่ 15 มีค่าการวางตัวประมาณ $60^{\circ}/25^{\circ}$ SE



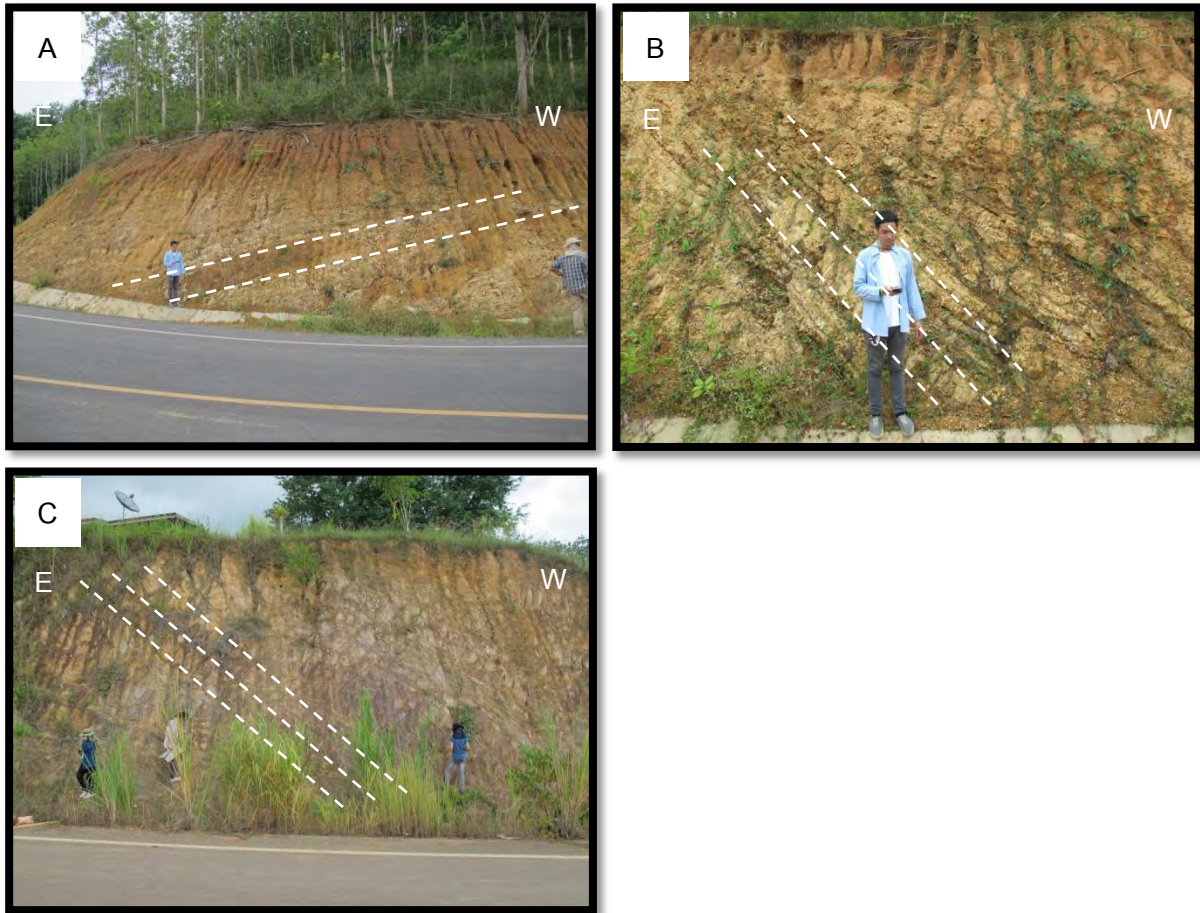
รูปที่ 3.27 ภาพ A B และ C แสดงชั้นหินของหินโคล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $150^{\circ}/35^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 14 ภาพ D และ E แสดงชั้นหินของหินโคล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $120^{\circ}/26^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 13



รูปที่ 3.28 ภาพ A และ B แสดงชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำแบบไม่สมมาตรของหินโคลงของหินทราย มีชั้นหินคดโค้งรองภายในที่มีระนาบแกนบิดโค้งเกือบจะขนานกับแนวระดับ บริเวณจุดศึกษาที่ 12 ภาพ C และ D แสดงหินโคลงของหินทราย มีค่าการวางตัวประมาณ $45^{\circ}/41^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 11 ภาพ E และ F แสดงหินโคลงของหินทราย มีค่าการวางตัวประมาณ $30^{\circ}/40^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 10



รูปที่ 3.29 ภาพ A และ B แสดงชั้นหินของหินโคลงของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $50^{\circ}/62^{\circ}$ SE บริเวณจุดศึกษาที่ 9 ภาพ C และ D แสดงชั้นหินของหินโคลงของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $121^{\circ}/42^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 8

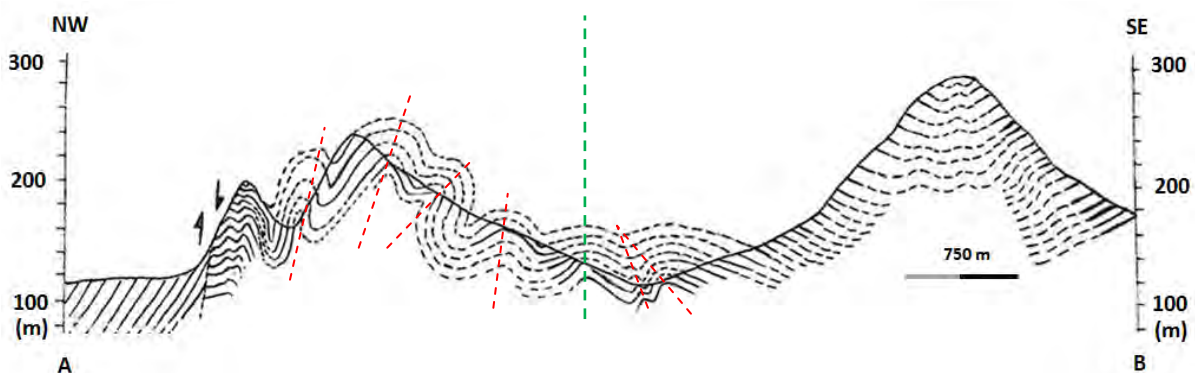


รูปที่ 3.30 ภาพ A แสดงชั้นหินของหินเผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $110^{\circ}/39^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 7 ภาพ B แสดงชั้นหินของหินเผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $175^{\circ}/40^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 6 ภาพ C แสดงชั้นหินของหินเผล่ของหินทรายมีค่าการวางตัวประมาณ $220^{\circ}/30^{\circ}$ SW บริเวณจุดศึกษาที่ 5

จากผลการศึกษาทั้งหมดที่ได้จากการวัดค่าข้อมูลแนวการวางตัวของชั้นหินได้นำลงไปกำหนดค่าในแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมด 182 ค่า (รูปที่ 3.31) จากข้อมูลค่าการวางตัวทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าชั้นหินในพื้นที่ศึกษามีแนวการวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก และมีทิศทางการเอียงเทของชั้นหินไปในทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และได้ทำภาคตัดขวาง (cross-section) จากจุด A ไป B ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ศึกษาเพื่อพิจารณาโครงสร้างชั้นหินคดโค้ง (รูปที่ 3.32)



รูปที่ 3.31 ภาพแสดงการกำหนดค่าแนวการวางตัวของชั้นหินในแผนที่บริเวณพื้นที่ศึกษา และแสดงแนวเส้นภาคตัดขวางจาก A ไป B ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้



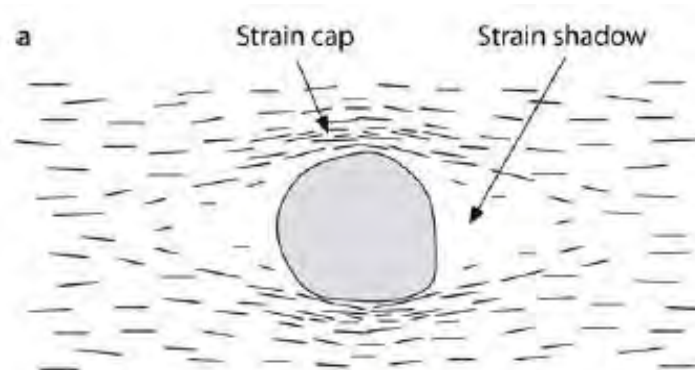
รูปที่ 3.32 ภาพแสดงภาคตัดขวางจาก A ไป B ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นชั้นหินคดโค้งหลักเป็นแบบประทุนคว่ำ และมีชั้นหินคดโค้งรองเป็นแบบประทุนหงาย และประทุนคว่ำสลัดกันไป โดยชั้นหินคดโค้งรองทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือมีลักษณะเป็นรูปตัว Z (เส้นประสีแดง) ชั้นหินคดโค้งตรงกลางมีลักษณะเป็นรูปตัว M เป็นแบบสมมาตร (เส้นประสีเขียว) ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นบริเวณที่อยู่ตรงระนาบแกนคดโค้งของชั้นหินคดโค้งหลัก และชั้นหินคดโค้งรองทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มีลักษณะเป็นรูปตัว S (เส้นประสีแดง) โดยเรียกชั้นหินคดโค้งแบบนี้ว่า ชั้นหินคดโค้งประทุนคว่ำแบบลูกฟูก (anticlinorium) หรือชั้นหินคดโค้งซับซ้อน (parasitic fold) แสดงให้เห็นถึงแรงบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้

3.2.2 ระดับจุลภาค (Microscopic scale)

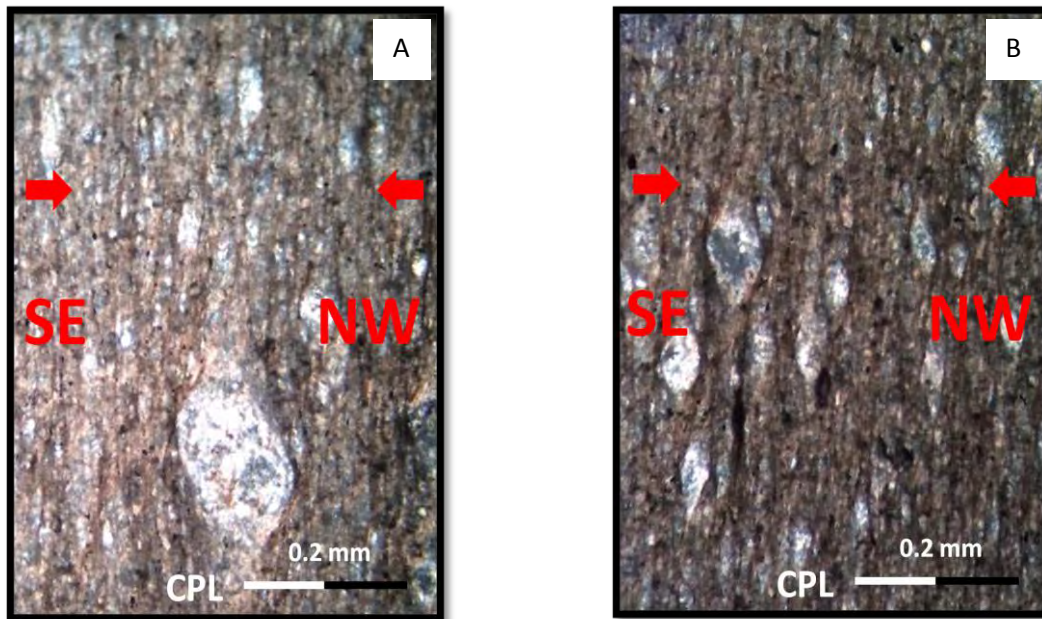
โครงสร้างระดับจุลภาคจะทำการศึกษาจากแผ่นหินขัดบาง จากตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง ที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษา รวมไปถึงการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ กลไกการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินในพื้นที่ ทำให้สามารถทราบถึงทิศทางการเกิดแรงบีบอัด แร่ประกอบหิน และลักษณะเนื้อหินที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ซึ่งโครงสร้างจุลภาคนี้ถูกนำไปวิเคราะห์ร่วมกับโครงสร้างในระดับกลาง เพื่อสรุปวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานในพื้นที่ศึกษา ลักษณะทางธรณีวิทยาส่วนใหญ่ของหินเผล่บริเวณอ่างเก็บน้ำของลำปาง ประกอบด้วยหินตะกอน ที่มีลักษณะของเม็ดตะกอนมาจากแหล่งกำเนิดหินภูเขาไฟ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นชั้นหินคดโค้งแสดงทั้งลักษณะเนื้อหินที่เป็นแบบอ่อนนุ่ม และแตกเปราะให้เห็นชัดเจน โดยผลลัพธ์จากการศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์มีพบการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบแตกเปราะ และอ่อนนุ่ม แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของเนื้อหิน โดยเลือกตัดให้แนวยาวของแผ่นหินขัดบางเป็นแนวตั้งฉากกับระนาบแกนบีบคดโค้ง

เขตเงาความเค้น (Strain shadow)

บริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เรียก strain shadow ส่วนบริเวณผลึกแร่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เรียก strain cap (รูปที่ 3.33 และ 3.34)



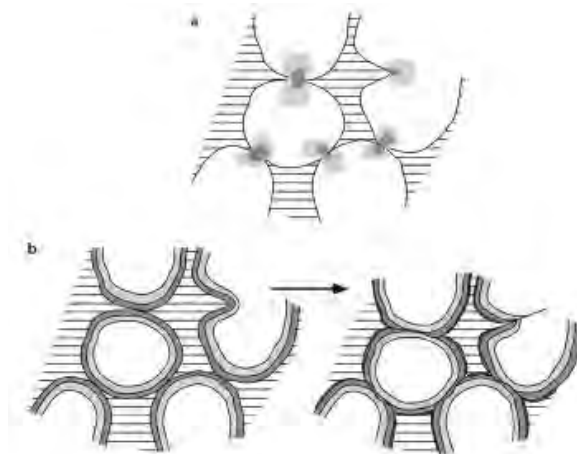
รูป 3.33 ภาพแสดงเขตเงาความเค้น (Strain shadow) ของโครงสร้างระดับจุลภาคในแผ่นหินบาง (Robin, 1979)



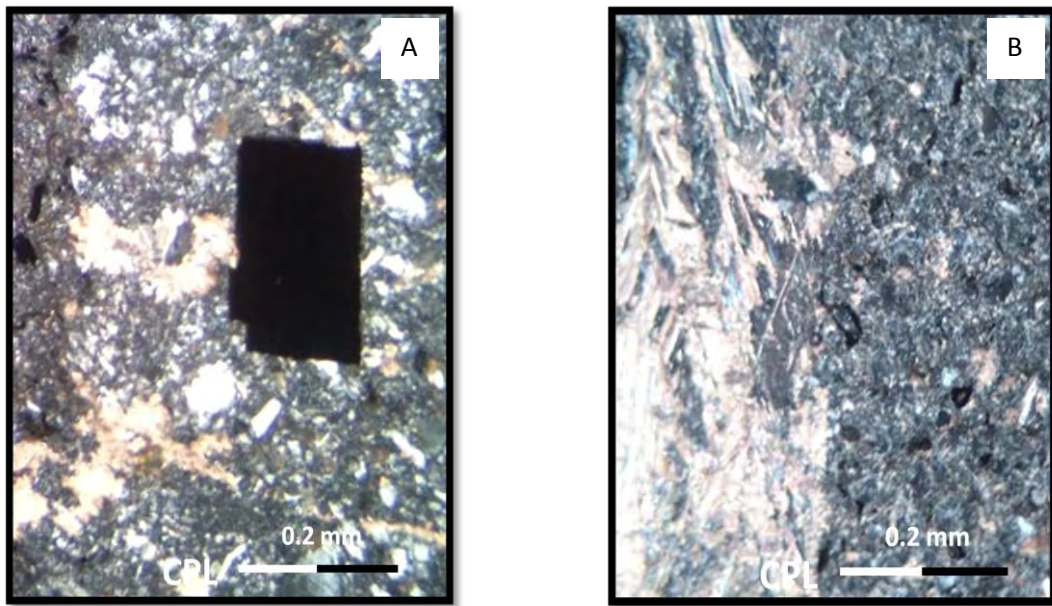
รูปที่ 3.34 ภาพ A และ B แสดงลักษณะของเขตเงาความเค้น (strain shadow) ภายใต้แผ่นหินขัดบาง บริเวณจุดศึกษาที่ 25 และ 16 ตามลำดับ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงมวลแบบพลวัณ (mass diffusion) ถูกแรงบีบอัดในแนว NW - SE

การเกิดการละลายของมวลไปเติมเต็มช่องว่าง (Dissolution precipitation)

การเกิดการละลายของมวลไปเติมเต็มช่องว่าง (Dissolution precipitation) เกิดจากกระบวนการเคลื่อนมวลแบบกระจาย (mass diffusion) (รูปที่ 3.35 และ 3.36)



รูปที่ 3.35 ภาพแสดงการเกิดการละลายของมวลไปเติมเต็มช่องว่าง ภาพ a ขอบผลึกเริ่มมีสีที่ไม่เท่ากัน และภาพ b (Spiers and Brzesowsky 1993)



รูปที่ 3.36 ภาพ A และ B แสดงลักษณะของเนื้อหินภายใต้แผ่นหินขัดบางบริเวณจุดศึกษาที่ 9 และ 1 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นผลึกแตกละเอียด แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงมวลแบบกระจาย (mass diffusion)

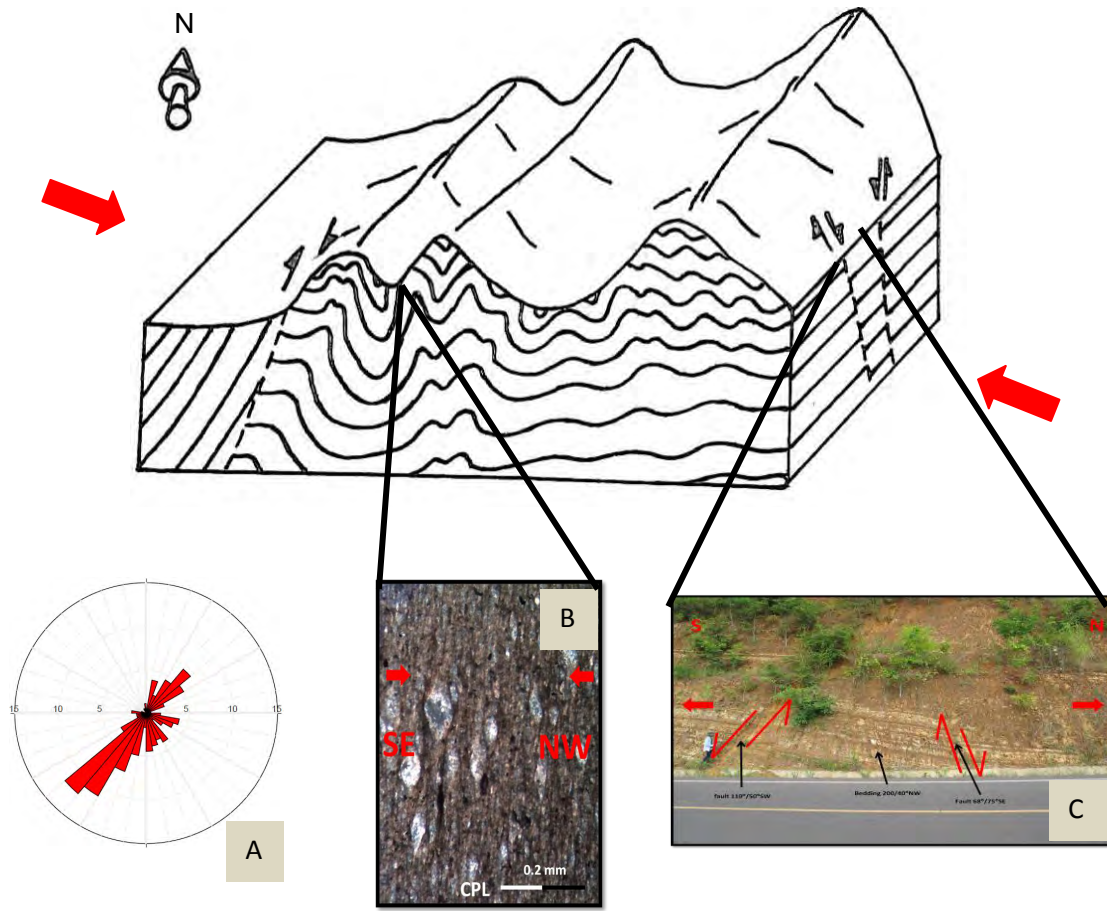
บทที่ 4 อภิปราย (Discussion)

จากผลการศึกษาใน 2 ระดับได้แก่ ระดับกลาง และระดับจุลภาค ซึ่งผลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและศึกษาโครงสร้างจุลภาค นำมารวบรวมและอภิปรายได้เป็นลักษณะรูปแบบโครงสร้าง (Structural style) วิวัฒนาการโครงสร้าง (Structural evolution) และวิวัฒนาการแปรสัณฐาน (Tectonics evolution) ของชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง ดังจะอธิบายในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะรูปแบบโครงสร้าง (structural style)

หลักฐานจากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกง รวมไปถึงโครงสร้างชั้นหินคดโค้ง โครงสร้างแนวรอยเลื่อน (fault) และโครงสร้างแนวรอยแตก (joint) สามารถสังเกตและวัดข้อมูลได้ในภาคสนามโดยโครงสร้างแนวการวางตัวของชั้นหิน มีแนวหลักอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 4.1A) โครงสร้างแนวรอยเลื่อนย้อน มีแนวหลักอยู่ในแนวประมาณเกือบทิศเหนือ-ใต้ (รูปที่ 4.1) ซึ่งใกล้เคียงกัน และโครงสร้างแนวรอยเลื่อนปกติ มีแนวหลักอยู่ในแนวประมาณทิศตะวันออกเฉียงใต้ - ตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.1C) ซึ่งตั้งฉากกับแนวการวางตัวของชั้นหินและระนาบการบิดโค้งของชั้นหิน กง บ่งบอกถึงการถูกแรงบีบอัดแบบอ่อนนึ่มถึงแตกเปราะที่เกิดขึ้นในเนื้อหิน

โครงสร้างจุลภาคจากการศึกษาในแผ่นหินขัดบางแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนึ่ม และแบบแตกเปราะโดยหลักฐานที่ยืนยันการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบอ่อนนึ่ม คือ การพบเขตเงาความเค้น ที่แสดงถึงทิศทางของแรงบีบอัดในทิศตะวันออกเฉียงใต้ - ตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.1B) และหลักฐานที่ยืนยันการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบแตกเปราะ คือ ลักษณะของเนื้อหินถูกแรงบีบอัด จะสังเกตเห็นผลึกแตกละเอียดบ่งบอกถึงการถูกแรงบีบอัด ซึ่งตีความถึงทิศทางของแรงบีบอัดในพื้นที่ศึกษาในอดีตกาลได้ว่าอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งส่งผลให้เกิดแนวชั้นหินคดโค้งที่มีระนาบการบิดโค้งอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่พบในการสำรวจภาคสนาม

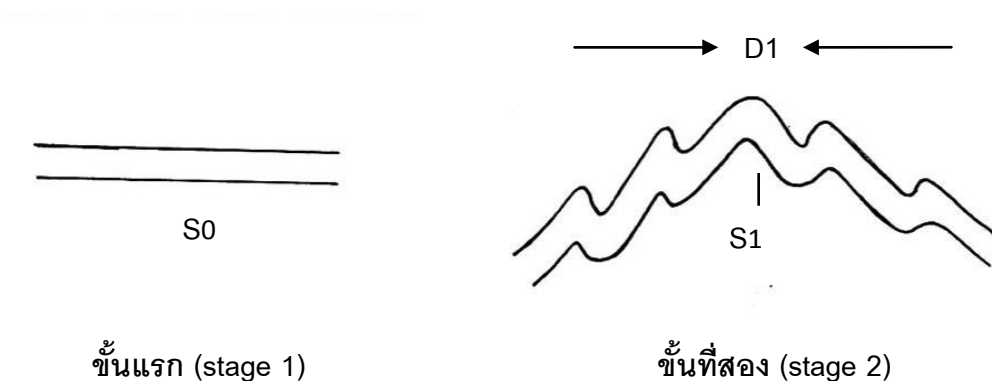


รูปที่ 4.1 ภาพแสดงรูปแบบโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกง ซึ่งแนวสันเขาบริเวณพื้นที่ศึกษามีทิศการวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ มีแนวแรงกระทำในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ดังลูกศรสีแดงในภาพ จากการนำข้อมูลภาคสนามมากำหนดตำแหน่งในแผนภาพกู่หลาบ พบว่าโครงสร้างชั้นหินมีแนวการวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ (A) มีเขตเงาความเค้น บอกถึงลักษณะแรงการบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ (B) และพบลักษณะรอยเลื่อนปกติซึ่งวางตัวในแนวประมาณทิศตะวันออกเฉียงใต้ - ตะวันตกเฉียงเหนือ (C) แสดงถึงแรงคลายตัวในทิศเกือบเหนือ - ใต้

4.2 วิวัฒนาการโครงสร้าง (structural evolution)

ขั้นตอนการพัฒนาบริเวณพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกงสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ช่วงเวลาดังด้วยกัน ช่วงเวลาแรก คือช่วงที่ตะกอนเกิดการตกสะสมตัวกลายเป็นชั้นทรายชนิดเกรย์แวค (greywacke) ที่มีปริมาณเศษหินสูง (rock fragment) แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) และแร่ควอตซ์ (quartz) คาดว่าน่าจะมีภูเขาไฟในอดีตกาลที่ให้แหล่งตะกอนและตกสะสมตัวไม่ไกลจากแหล่งให้ตะกอนเนื่องจากหลักฐานภายใต้

กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์แสดงความกลมมน และคัตขนาดไม่ดีของเม็ดตะกอน และจากการทราบอายุของหินท้องที่จากแผนที่ธรณีวิทยา ทำให้ทราบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกนั้นเป็นหินยุคเก่ามีอายุอยู่ในช่วง หมายยุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย (late paleozoic) ดังนั้นช่วงเวลาต่อมาเป็นระยะของการเกิดการคดโค้งเฉียงเทของชั้นหินส่งผลให้ชั้นหินยกตัวและเกิดเป็นแนวชั้นหินคดโค้งขึ้นเนื่องจากการเกิดแรงบีบอัด (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงวิวัฒนาการโครงสร้าง ชั้นแรก เกิดการสะสมตัวของตะกอนกลายเป็นหินตะกอน ชั้นที่สองเกิดการคดโค้งเฉียงเทของชั้นหิน เนื่องจากการเกิดแรงบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้ชั้นหินยกตัวและเกิดเป็นแนวชั้นหินคดโค้งขึ้น

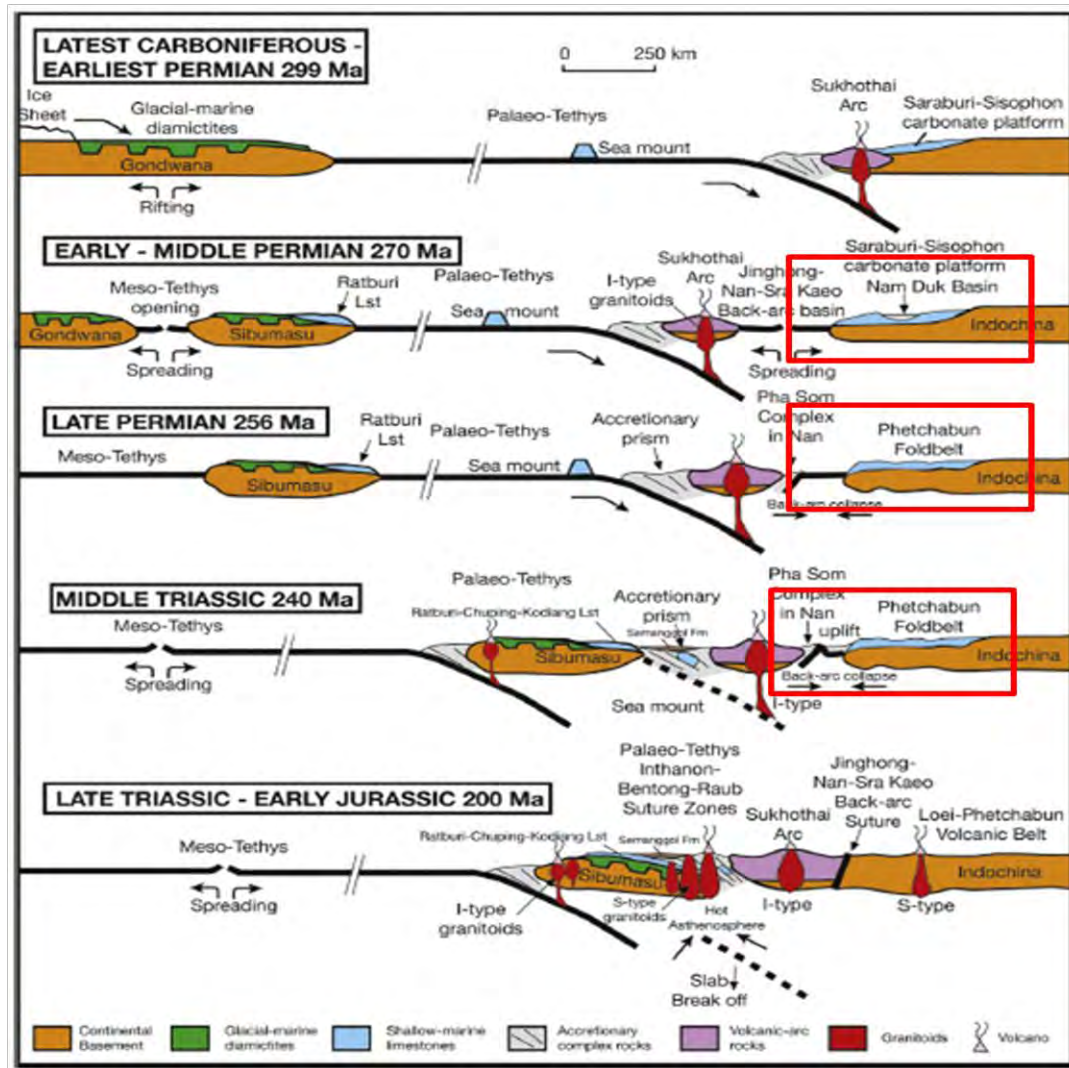
4.3 วิวัฒนาการการแปรสัณฐาน (Tectonic evolution)

บริเวณพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกเป็นส่วนหนึ่งของแนวสันเขาเลย - เพชรบูรณ์ซึ่งยาวต่อเนื่องและวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือเกือบเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้เกือบใต้ โดยบริเวณด้านทิศตะวันตกของที่ราบสูงโคราชถูกขนาบด้วยแนวเทือกเขาตั้งแต่อายุพาลีโอโซอิกตอนปลายจนถึงอายุควอเทอร์นารี โดยนับจากแนวเทือกเขาจากแม่น้ำโขงทางด้านทิศเหนือจนถึงบริเวณจังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครราชสีมาทางด้านทิศใต้ รวมระยะทางประมาณ 400 กิโลเมตร หรือเรียกว่าแนวหินคดโค้งเลย (Bunopas, 1981) มีทิศทางการวางอยู่ในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ทางด้านขอบตะวันตกของแผ่นทวีปอินโดจีน ประกอบไปด้วยหินที่มีประวัติการลำดับชั้น และธรณีวิทยาโครงสร้างที่แตกต่างกัน วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยในอดีตมีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่อง

ธรณีแปรสัณฐานในอดีตได้เริ่มขึ้นในยุคซีโนเนียนเมื่อแผ่นจุลทวีปอินโดจีนได้เคลื่อนตัวออกจากทางตะวันตกเฉียงเหนือของกอนด์วานา (Gondwana) (Metcalf, 2013) โดยการเปิดของแอ่งน้ำลึก คาดว่าเริ่มพัฒนาในช่วงคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลาง โดยมีตะกอนของหน่วยหินเพลลาจิกซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดในแอ่งน้ำลึกในมหาสมุทร โดยคาดว่า การสะสมของตะกอนเพลลาจิก อาจเริ่มตั้งแต่ช่วงคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลางถึงตอนปลายและเพอร์เมียนตอนต้นวางตัวอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงหรือทางด้านทิศตะวันตกของแผ่น

ทวีปอินโดไชน่า (Kozar และคณะ, 1992) และตะกอนในแอ่งน้ำดึกพัฒนามาจากการเปิดของแอ่งทางด้านทิศตะวันตกของแผ่นทวีปอินโดไชน่า ซึ่งเป็นผลมาจากการปิดตัวของทะเลเลย์ (Loei Ocean) ช่วงอายุระหว่างดีโวเนียนถึงคาร์บอนิเฟอรัส (Intasopa และ Dunn, 1994) หลังจากนั้นในช่วงต้นของยุคเพอร์เมียน แผ่นจุลทวีปไซบิวมาซูหรืออินโดตีเรียก แผ่นจุลทวีปชานไทยได้เคลื่อนตัวออกจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของกอนด์วานา (Gondwana) (Metcalf, 2005) แผ่นจุลทวีปชานไทย และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนได้เคลื่อนตัวมาชนกันและเกิดเทือกเขาอินโดจีนเนียน (Indosinian orogeny) เป็นลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S) ส่งผลให้เกิดแนวเทือกเขาสูงขั้วในทางทิศตะวันตกและ แนวเทือกเขาเลย์-เพชรบูรณ์ในทิศตะวันออก โดยแนวหินคดโค้งเลย์-เพชรบูรณ์ เป็นส่วนที่มีการเกิดกระบวนการแปรสัณฐานที่ซับซ้อนในบริเวณฝั่งตะวันตกของแผ่นจุลทวีปอินโดจีน (Singharajwarapan, 1994 และ Singharajwarapan และคณะ, 2000) ซึ่งผลการศึกษาในบริเวณพื้นที่ศึกษาอ่างเก็บน้ำคลองลำกงเป็นชั้นหินคดโค้งรูปประทุนคว่ำแบบลูกฟูกที่มีระนาบการบิดโค้งวางตัวอยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นถึงแรงบีบอัดในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งคาดว่าสัมพันธ์กับการเกิดชั้นหินคดโค้งในบริเวณแนวชั้นหินคดโค้งเลย์ - เพชรบูรณ์ โดยสองแผ่นจุลทวีปชนและเกิดการมุดตัว คาดว่าในช่วงไทรแอสซิก (Khin Zaw, et al, 2007; Meffre, et al, 2008. Kamvong และ Khin Zaw, 2008; Metcalf, 2013) จนทำให้เกิดแนวหินคดโค้งเลย์-เพชรบูรณ์ในภาคกลางของประเทศไทย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้คาดการณ์ช่วงเวลาการเกิดชั้นหินคดโค้งโดยอาศัยการคาดการณ์จากข้อมูลธรณีวิทยาและงานวิจัยของ Singharajwarapan (1994) และ Singharajwarapan และคณะ (2000) และของ Metcalf (2013) (รูปที่ 4.3) จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่าขั้นตอนการเกิดแนวชั้นหินคดโค้งของบริเวณแนวชั้นหินคดโค้งเลย์ - เพชรบูรณ์ สัมพันธ์กับการเกิดชั้นหินคดโค้งบริเวณพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกง ดังนั้นขั้นตอนการเกิดชั้นหินคดโค้งในบริเวณแนวชั้นหินคดโค้งเลย์ - เพชรบูรณ์ รวมถึงพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกงคาดว่าน่าจะอยู่ในช่วงระหว่างยุคไทรแอสซิกตอนต้นถึงปลาย จึงคาดว่าสัมพันธ์กับการชนตัวของแผ่นจุลทวีปไซบิวมาซู และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้นถึงปลาย และน่าจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดชั้นหินคดโค้งของหินตะกอนในบริเวณพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 4.1) อีกทั้งในบริเวณพื้นที่ศึกษายังเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แนวรอยต่อบรรพกาล (suture) ที่คาดว่าน่าจะได้รับแรงบีบอัดสูงและค่อยๆ ผัง ถูกกัดกร่อนจนเห็นเป็นสภาพภูมิประเทศในปัจจุบัน



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงโมเดลจำลองวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic setting) ของประเทศไทย (Metcalf, 2013) ซึ่งคาดว่าพื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำคลองลำกง อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ น่าจะเกิดในบริเวณกรอบสีแดง เริ่มจากตกสะสมเป็นตะกอนน้ำลึกที่มีแหล่งจ่ายตะกอนจากภูเขาไฟบรพกาล ในช่วงต้นของยุคเพอร์เมียน และเกิดการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบิวมาซุ และแผ่นจุลทวีปอินโดจีนในช่วงยุคไตรแอสสิกตอนต้น ถึงตอนปลาย ทำให้บริเวณพื้นที่ศึกษาเกิดแรงบีบอัด และส่งผลให้หินตะกอนบริเวณนี้เกิดชั้นหินคดโค้งขึ้นในซึ่งข้อมูลจากภาคสนามมีความสัมพันธ์กับทิศทางการเคลื่อนที่ชนกันของสองแผ่นจุลทวีปอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5 สรุปผล (Conclusion)

จากการสำรวจภาคสนามและศึกษาโครงสร้างจุลภาคนำมารวบรวม วิเคราะห์และอภิปราย ในด้านของ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างและวิวัฒนาการธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวชั้นหินบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นชั้นหินคดโค้งหลักขนาดใหญ่แบบ ชั้นหินคดโค้งแบบประทุนคว่ำลูกฟูก (Anticlinorium fold) ที่มีชั้นหินคดโค้งรองเป็นแบบชั้นหินคดโค้งไม่เท่ามุมเปิด (asymetric open fold) โดยมีระนาบแกนบิดโค้งวางตัวอยู่ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ตะวันตกเฉียงใต้ และมีมุมระหว่างแกนช่วงประมาณ 70 องศาถึง 120 องศา และจากหลักฐานของชั้นหินคดโค้งทั้งหมดในภาคสนาม บ่งชี้ว่าในอดีตมีแรงเข้ามากระทำในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก
- วิวัฒนาการโครงสร้างของพื้นที่ศึกษา เริ่มแรกจากชั้นแรก เกิดการสะสมตัวของตะกอนกลายเป็นหินตะกอนที่มีแหล่งจ่ายตะกอนเป็นภูเขาไฟบรรพกาล ชั้นที่สองเกิดการคดโค้งเอียงเทของชั้นหิน เนื่องจากการเกิดแรงบีบอัดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้ชั้นหินยกตัวและเกิดเป็นแนวชั้นหินคดโค้งขึ้นโดยมีแกนการบิดโค้งอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ - ตะวันออกเฉียงเหนือ
- ธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จังหวัดเพชรบูรณ์ มีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาโครงสร้างของแนวชั้นหินคดโค้งเลย - เพชรบูรณ์ ในแง่ของการเกิดแนวการวางตัวของโครงสร้างชั้นหินคดโค้ง โดยช่วงเวลาของการเกิดของแนวชั้นหินคดโค้งบริเวณอ่างเก็บน้ำคลองลำกง จ. เพชรบูรณ์ อาจเทียบเคียงได้กับการชนกันของแผ่นจุลทวีปไซบูมาสุ และแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ซึ่งเป็นช่วงประมาณยุคไทรแอสซิก อย่างไรก็ตาม ก็ยังต้องอาศัยข้อมูลหลายๆด้าน จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นส่วนหนึ่งของแนวชั้นหินคดโค้งเลย - เพชรบูรณ์

เอกสารอ้างอิง (References)

- Charusiri, P., Daorerk, V., Archibald, D., Hisada, K. และ Ampaiwan, T., 2002, Geotectonic evolution of Thailand: A new synthesis. *Journal of the Geological Society of Thailand* 1, p. 1-20.
- Bunopas, S., 1981, Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of south-east Asia: a plate tectonics interpretation. Doctoral dissertation, Victoria University of Wellington, New Zealand.
- Bunopas, S., และ Vella, P., 1992, Geotectonic and geologic evolution of Thailand, National conference on "Geologic Resources of Thailand: Potential for Future Development", 17-24 November 1992 Bangkok, Thailand.
- Kozar, M.G., Crandell, G.F. และ Hall, S.E. 1992, Integrated structural and stratigraphic study of the Khorat Basin, Rat Buri Limestone (Permian), Thailand. In: Piancharoen, C. (ed.) *Proceedings of a National Conference on Geologic Resources of Thailand Potential for future Development*, Bangkok, 17-24 November 1992, p. 692-736.
- Intasopa, S. B., Dunn, T. และ Lamburt, R. St J. 1995, Geochemistry of Cenozoic basaltic and Silicic magmas in the central portion of the Loei-Petchabun volcanic belt, Lop Buri, Thailand. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32, p. 393-403.
- Singharajwarapan, S., 1994, Deformation and Metamorphism of the Sukhothai Fold Belt, Northern Thailand: University of Tasmania, unpublished Ph.D. thesis, 385 p.
- Singharajwarapan, S., Berry, R., และ Panjasawatwong, Y., 2000, Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of the Permo-Triassic Pak Pat Volcanics, Uttaradit, Northern Thailand: *Journal of the Geological Society of Thailand*, no 1, p. 1-7.
- Metcalf, I., 2005, Asia: South-East, in Selley, R.C., Cocks, L.R.M., Plimer, I.R., eds.: *Encyclopedia of Geology*, v. 1. Elsevier, Oxford, p. 169-198.
- Metcalf, I., 2013, Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys, *Journal of Asian Earth Sciences*, Volume 66, 8 April 2013, p. 1-33
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. *Microtectonics*, 2nd edn. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.

Bos, B., Peach, C.J. และ Spiers, C.J., 2000, Frictional-viscous flow of simulated fault gouge caused by the combined effects of phyllosilicates and pressure solution.

Tectonophysics, 327, p. 173-194.

Wintsch, R.P., 1986, The possible effects of deformation on chemical processes in metamorphic fault zones. In: Thompson AB, Rubie DC (eds) Metamorphic reactions, kinetics textures and deformation. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, p. 251–268,

Jpb. [file on the internet]. Structural Geology: chapter 8 folds. Inc.; c2013. [cited 2014 Mar 6].

Available from: <http://www.files.ethz.ch/structuralgeology/JPB/files/English/8folds.pdf>

ภาคผนวก (Appendix)

ข้อมูลทีวัดเก็บค่าจากภาคสนาม

โครงสร้างแนวการวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding)

No.	Strike	Dip	Dip Quad	No.	Strike	Dip	Dip Quad
✓ 1	189.0	28.0	W	✓ 53	160.0	53.0	W
✓ 2	210.0	52.0	W	✓ 54	100.0	43.0	S
✓ 3	214.0	54.0	W	✓ 55	140.0	46.0	W
✓ 4	189.0	33.0	W	✓ 56	045.0	72.0	E
✓ 5	182.0	40.0	W	✓ 57	045.0	70.0	E
✓ 6	215.0	40.0	W	✓ 58	060.0	80.0	S
✓ 7	218.0	43.0	W	✓ 59	050.0	56.0	S
✓ 8	222.0	44.0	W	✓ 60	050.0	62.0	S
✓ 9	210.0	46.0	W	✓ 61	031.0	64.0	E
✓ 10	195.0	46.0	W	✓ 62	050.0	54.0	S
✓ 11	195.0	30.0	W	✓ 63	035.0	40.0	E
✓ 12	190.0	34.0	W	✓ 64	027.0	59.0	E
✓ 13	170.0	42.0	W	✓ 65	029.0	36.0	E
✓ 14	160.0	35.0	W	✓ 66	030.0	40.0	E
✓ 15	150.0	45.0	W	✓ 67	025.0	33.0	E
✓ 16	170.0	54.0	W	✓ 68	040.0	35.0	E
✓ 17	152.0	34.0	W	✓ 69	046.0	41.0	S
✓ 18	165.0	45.0	W	✓ 70	050.0	37.0	S
✓ 19	163.0	52.0	W	✓ 71	045.0	41.0	E
✓ 20	170.0	35.0	W	✓ 72	040.0	40.0	E
✓ 21	150.0	42.0	W	✓ 73	210.0	70.0	W
✓ 22	145.0	50.0	W	✓ 74	355.0	25.0	E
✓ 23	140.0	47.0	W	✓ 75	215.0	76.0	W
✓ 24	145.0	45.0	W	✓ 76	225.0	52.0	W
✓ 25	220.0	75.0	W	✓ 77	120.0	26.0	S
✓ 26	100.0	15.0	S	✓ 78	095.0	70.0	S
✓ 27	220.0	78.0	W	✓ 79	094.0	36.0	S
✓ 28	217.0	78.0	W	✓ 80	110.0	30.0	S
✓ 29	218.0	68.0	W	✓ 81	100.0	51.0	S
✓ 30	220.0	80.0	W	✓ 82	091.0	64.0	S
✓ 31	220.0	75.0	W	✓ 83	150.0	35.0	W
✓ 32	225.0	40.0	W	✓ 84	160.0	35.0	W
✓ 33	215.0	39.0	W	✓ 85	145.0	25.0	W
✓ 34	205.0	41.0	W	✓ 86	128.0	27.0	S
✓ 35	200.0	20.0	W	✓ 87	140.0	29.0	W
✓ 36	225.0	30.0	W	✓ 88	150.0	45.0	W
✓ 37	220.0	30.0	W	✓ 89	160.0	40.0	W
✓ 38	203.0	39.0	W	✓ 90	050.0	45.0	S
✓ 39	175.0	40.0	W	✓ 91	045.0	20.0	E
✓ 40	172.0	38.0	W	✓ 92	057.0	20.0	S
✓ 41	115.0	56.0	S	✓ 93	060.0	25.0	S
✓ 42	100.0	50.0	S	✓ 94	070.0	30.0	S
✓ 43	120.0	49.0	S	✓ 95	060.0	25.0	S
✓ 44	110.0	39.0	S	✓ 96	054.0	30.0	S
✓ 45	105.0	64.0	S	✓ 97	116.0	64.0	S
✓ 46	100.0	60.0	S	✓ 98	141.0	56.0	W
✓ 47	110.0	55.0	S	✓ 99	170.0	52.0	W
✓ 48	130.0	47.0	S	✓ 100	150.0	54.0	W
✓ 49	107.0	42.0	S	✓ 101	060.0	30.0	S
✓ 50	110.0	49.0	S	✓ 102	032.0	31.0	E
✓ 51	121.0	42.0	S	✓ 103	035.0	37.0	E
✓ 52	130.0	10.0	S	✓ 104	200.0	45.0	W

No.	Strike	Dip	Dip Quad	No.	Strike	Dip	Dip Quad
✓ 105	195.0	50.0	W	✓ 157	260.0	35.0	N
✓ 106	203.0	40.0	W	✓ 158	230.0	65.0	N
✓ 107	205.0	38.0	W	✓ 159	270.0	44.0	N
✓ 108	200.0	40.0	W	✓ 160	250.0	62.0	N
✓ 109	210.0	40.0	W	✓ 161	010.0	65.0	E
✓ 110	195.0	39.0	W	✓ 162	014.0	64.0	E
✓ 111	230.0	75.0	N	✓ 163	015.0	76.0	E
✓ 112	235.0	70.0	N	✓ 164	012.0	78.0	E
✓ 113	229.0	60.0	N	✓ 165	015.0	70.0	E
✓ 114	245.0	70.0	N	✓ 166	019.0	80.0	E
✓ 115	209.0	25.0	W	✓ 167	016.0	66.0	E
✓ 116	198.0	25.0	W	✓ 168	020.0	74.0	E
✓ 117	190.0	19.0	W	✓ 169	355.0	45.0	E
✓ 118	200.0	37.0	W	✓ 170	000.0	56.0	E
✓ 119	200.0	30.0	W	✓ 171	330.0	35.0	E
✓ 120	200.0	15.0	W	✓ 172	285.0	25.0	N
✓ 121	210.0	26.0	W	✓ 173	270.0	27.0	N
✓ 122	205.0	25.0	W	✓ 174	252.0	49.0	N
✓ 123	030.0	35.0	E	✓ 175	049.0	50.0	S
✓ 124	030.0	50.0	E	✓ 176	045.0	45.0	E
✓ 125	040.0	45.0	E	✓ 177	050.0	54.0	S
✓ 126	035.0	45.0	E	✓ 178	260.0	47.0	N
✓ 127	176.0	67.0	W	✓ 179	246.0	50.0	N
✓ 128	160.0	62.0	W	✓ 180	041.0	55.0	E
✓ 129	175.0	45.0	W	✓ 181	045.0	51.0	E
✓ 130	195.0	42.0	W	✓ 182	051.0	26.0	S
✓ 131	210.0	40.0	W				
✓ 132	210.0	47.0	W				
✓ 133	198.0	52.0	W				
✓ 134	200.0	55.0	W				
✓ 135	215.0	52.0	W				
✓ 136	220.0	43.0	W				
✓ 137	213.0	55.0	W				
✓ 138	220.0	50.0	W				
✓ 139	218.0	56.0	W				
✓ 140	227.0	53.0	N				
✓ 141	220.0	50.0	W				
✓ 142	220.0	56.0	W				
✓ 143	220.0	60.0	W				
✓ 144	224.0	56.0	W				
✓ 145	220.0	55.0	W				
✓ 146	225.0	45.0	W				
✓ 147	210.0	60.0	W				
✓ 148	231.0	52.0	N				
✓ 149	230.0	63.0	N				
✓ 150	213.0	62.0	W				
✓ 151	230.0	65.0	N				
✓ 152	225.0	67.0	W				
✓ 153	222.0	57.0	W				
✓ 154	228.0	59.0	N				
✓ 155	219.0	67.0	W				
✓ 156	270.0	45.0	N				