

ธรณีวิทยาโครงสร้างของเขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง

นายบวร บุตรชัยงาม

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี การศึกษา 2554

STRUCTURAL GEOLOGY OF LAEMYA MOUNTAIN, CHANGWAT RAYONG.

BOWON BOOTCHAINGAM

A REPORT IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF THE BACHERLOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF GEOLOGY, CHULALONGKORN UNIVERSITY

2011

วันที่ส่ง ...../...../.....

วันที่อนุมัติ ...../...../.....

.....  
อาจารย์ ดร.พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

## บทคัดย่อ

แหลมหญ้า อยู่ในกลุ่มภูเขาที่วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย พาดผ่านจังหวัดระยอง การศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้าง และการพัฒนาการของธรณีวิทยาโครงสร้าง ในพื้นที่เขาแหลมหญ้าจึง เป็นการเพื่อ ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างทางภาคตะวันออกของประเทศไทย การศึกษาในครั้งนี้ใช้การศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนาม ประกอบกับการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

จากข้อมูลการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างที่สามารถสังเกตได้ในภาคสนาม พบว่าบริเวณแนวเส้นการยึดแนวแกน และระนาบแกนชั้นหินคดโค้ง วางตัวอยู่ในแนวเกือบจะเหนือ-ใต้ และจากหลักฐานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่พบสายแร่ควอตซ์เล็กเกิดขึ้นแทรกในเนื้อหิน การขัดที่ผิวผลึกแร่ อันดรูโลส เอ็กติงชัน ผลึกแผดตีบหาย ผลึกแผดแปรสภาพบิดโค้ง และการหมุนตัวของแร่เฟลด์สปาร์ สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาเขาแหลมหญ้า อยู่ในระบบการเฉือนภายในชั้นหินคดโค้ง การแปรสภาพหลักเป็นแบบอ่อนนืด ความเค้นเป็นแรงบีบอัดในแนว ตะวันออก-ตะวันตก สัมพันธ์กันเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่แผ่นจุลทวีปชานไทย ชนกับ แผ่นจุลทวีปอินโดจีน ในช่วงมีชมิวมกาล

**คำสำคัญ** : ธรณีวิทยาโครงสร้าง เขาแหลมหญ้าจังหวัดระยอง การเฉือนภายในชั้นหินคดโค้ง

**Abstract**

Laemya Mountain is the member of N-S trend mountain range in Eastern Thailand in Changwat Rayong. To study structural geology style and history of structural geology development is a piece of puzzle to explain Eastern Thailand. Mesoscopic observation and microscopic observation method use to collect structural geology feather in quartz muscovite schist and quartz schist. Form field data -attitude of small fold axial, foliation, stretching lineation, joint- and polarizing microscope -quartz vein, basal glide, undulose extinction, tapering twin, and feldspar rotation etc.- data can interpret into flexural shear fold model and mainly ductile feature relate to premo-triassic Shan-thai Indochina correction tectonic event.

**Keywords:** structural geology, Laemya Mountain Changwat Rayong, Flexural shear fold

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ในครั้งนี้ จะไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของหน่วยงาน และบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้หมด หน่วยงานแรกที่ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณคือ อุทยาแห่งชาติเขาแหลมหญ้า-เกาะเสม็ด ที่ให้อนุญาตให้เข้าศึกษาหินในพื้นที่ อีกทั้งยังอำนวยความสะดวกระหว่างการออกภาคสนาม และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นผู้สนับสนุนงบประมาณตลอดการศึกษาในครั้งนี้ และเห็นสิ่งอื่นใดยังอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือ สำหรับการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.พิชญพงศ์ กาญจนพยนต์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ให้ทำปรึกษา ชี้แนะแนวทางตลอดการทำการศึกษา ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ออกภาคสนาม จนกระทั่งสรุปผลการศึกษา และยังเป็นผู้ที่พาผู้ศึกษาเข้าสู่โลกของธรณีวิทยาโครงสร้างที่ซ่อนตัวอยู่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาของผู้ศึกษา

สุดท้ายขอขอบคุณ นางสาวพรชนก จินตามณี นางสาวปิยนุช เกียรติอุปถัมภ์นางสาวพิมพ์ร เจิมประไพ และ นายณัฏพล ขจรธรรม สำหรับความช่วยเหลือระหว่างการดำเนินโครงการ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก.
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข.
กิตติกรรมประกาศ	ค.
<b>บทที่ 1</b>	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษา	1
1.3 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา	3
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.5 สมมติฐาน	5
1.6 ขอบเขตการศึกษา	5
1.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
<b>บทที่ 2</b>	7
2.1 ระเบียบวิธีวิจัย	7
แผนผังแสดงลำดับการดำเนินการวิจัย	8
2.2 ทำการศึกษางานวิจัยเก่า และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	9
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา	9

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 ข้อมูลการศึกษาทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณใกล้เคียง หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.3 สํารวจภาคสนาม	9
2.3.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในหินโผล่ และเก็บค่าการวางตัวของโครงสร้าง	9
2.3.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง	9
2.4 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ	10
2.4.1 ประมวลผลข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนาม โดยใช้สเตอริโอเน็ต (stereo nets) และ โรสไดอะแกรม(rose diagram)	10
2.4.2 ทำแผ่นหินบาง สำหรับการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์	10
2.4.3 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง และลักษณะที่บ่งชี้ สภาวะการแปรสภาพโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์	10
2.5 การแปลความหมายและอภิปรายผล	11
2.5.1 ธรณีวิทยา	11
2.5.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	11
2.5.3 ทิศทางความเค้น	11
2.6 สรุปผลการศึกษา	12



**สารบัญ (ต่อ)**

	หน้า
<b>บทที่ 3</b>	13
3.1 ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา	13
3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	18
3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้างจุลภาค	24
<b>บทที่ 4</b>	29
4.1 ธรณีวิทยา และสภาวะการแปรสภาพ	29
4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง และการวิวัฒนาการ	33
4.2 ความเค้นโบราณ	35
<b>บทที่ 5</b>	37
เอกสารอ้างอิง	38

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงลักษณะแนวภูเขาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยที่วางตัวอยู่ในแนว เหนือ-ใต้ และแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอุทยานแห่งชาติเขาแหลมหญ้าด้วย ตัวชี้ตำแหน่งป้ายอักษรตัวเอสสีแดง (maps.google.com, 2/3/2012)	2
1.2	ธรณีวิทยาของจังหวัดระยอง บริเวณพื้นที่ศึกษากรมทรัพยากรธรณี ให้ชนิดหินเป็น หินแปรอายุ ปริแคมเบรียน(แผนที่ธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	3
1.3	แสดงลักษณะของเขาแหลมหญ้าที่เป็นภูเขายาววางตัวในแนว เหนือ-ใต้ ยื่นลงไปทะเลด้านบนมีลักษณะเป็นที่ราบ ทางเหนือขึ้นไปเป็นที่ราบลูกฟูกระหว่างภูเขา (maps.google.com, 2/3/2012)	4
1.4	แสดงลักษณะเขาแหลมหญ้าที่เป็นภูเขายื่นลงไปทะเล ตอนบนทางทิศเหนือติดกับที่ราบและพื้นที่ศึกษาที่เป็นหาดตลอดแนวแหลมหญ้าทางด้านตะวันออกเฉียง (maps.google.com, 2/3/2012)	4
2.1	แสดงการเก็บตัวอย่างระบุตำแหน่ง และการวางแผนการตัดหินสำหรับทำแผ่นหินบางเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างภายใต้จุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) (Passchier and Trouw, 2005)	9
2.2	อิลลิปซอย แสดงแรงที่กระทำในแนวประมาณ เหนือ-ใต้ ที่ทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งและ รอยเลื่อน ในอุดมคติ (Law R D et al., 2001)	12
3.1.1	แสดงหินที่พบในพื้นที่ศึกษา (a) หินบริเวณชายหาดแหลมหญ้าด้านใน มีประมาณแร่แผ่นสูงและแสดงชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กพุ่งออกไปทางทิศตะวันตกเล็กน้อย (b) หินบริเวณตอนกลางของแหลมหญ้า มีปริมาณแร่แผ่นสูง ไม่แสดงชั้นหินคดโค้ง แต่แสดงลักษณะการเอียงในแนวระดับ (c) หินบริเวณปลายแหลมหญ้า หินสีขาวเหลืองในภาพเป็นหินชนิดที่มีแร่แผ่นต่ำแสดงลักษณะของการทนต่อการผุพังค่อนข้างชัดเจน เมื่อเทียบกับชั้นหินแร่แผ่นสูงบางๆที่แทรกสลับด้วยกัน (บริเวณที่เป็นร่องลึกเข้าไปในเนื้อหิน) (d) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหินชนิดแร่แผ่นสูง และแร่แผ่นต่ำที่มีการเปลี่ยนชนิดหินขนานกับแนวริ้วขนาน	14
3.1.2	เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างกันของเนื้อหินทั้งสองชนิดในพื้นที่ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะเนื้อหินที่มีปริมาณแร่แผ่นสูง (c) ภาพได้ PPL และ (d) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะเนื้อหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ	15
3.1.3	แสดงลักษณะการแปรสภาพของแร่เฟลด์สปาร์ (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะที่พบโดยทั่วไปของแร่เฟลด์สปาร์ในพื้นที่ศึกษาที่โดนดิ่ง บิด แดกออกมาเป็นชิ้นๆ (c) ภาพได้ PPL และ (d) ภาพได้ XPL ผลึกแฝดของแร่เฟลด์สปาร์โดนการแปรสภาพทำให้มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (e) ภาพได้ PPL และ (f) ภาพได้ XPL แนวผลึกแฝดตีบหายไป	16

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

- 3.1.4 แสดงลักษณะการแปรสภาพภายในผลึกแร่ควอตซ์ (a) ภาพใต้ PPL และ (b) ภาพใต้ XPL แสดงลักษณะอันดูโลส เอ็กติงซ์ชัน (c) ภาพใต้ PPL และ (d) ภาพใต้ XPL ลักษณะของการเริ่มเกิดผลึกแร่ย่อยสังเกตได้ชัดบริเวณกลางภาพ ที่มีลักษณะของขอบผลึกใหม่เกิดขึ้นจางๆ และลักษณะที่ขอบผลึกชัดเจนขึ้นจากล่างขึ้นบน อันเนื่องมาจากการขัดถูกับระหว่างผลึกควอตซ์ 17
- 3.1.5 แสดงลักษณะการแปรสภาพระหว่างผลึกแร่ควอตซ์ กับแร่ข้างเคียง(a) ภาพใต้ PPL และ (a) ภาพใต้ XPL แสดงลักษณะการถูบดกันของของผลึกแร่ควอตซ์ สังเกตได้จากคราบสีดำบริเวณขอบผลึก(Basal Glide) บางส่วนเกิดการตกผลึกใหม่ เป็นผลึกเล็กๆระหว่างผลึกแร่ ที่เรียกว่า Bulging (c) ภาพใต้ PPL และ (d) ภาพใต้ XPL แสดงการเกิดผลึกใหม่ของแร่ควอตซ์ตัดเข้าไปในผลึกแร่เฟลด์สปาร์เดิม 18
- 3.2.1 แสดงลักษณะการโค้งงอของแนวริ้วขนาด ที่สังเกตได้จากภาคสาม (a) ภาพถ่ายภาคสนาม ลักษณะชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กที่อยู่บริเวณชายหาดแหลมหญ้าตอนใน (b) ภาพวาดแสดงลักษณะที่ปรากฏอยู่ใน (a) เส้นสีดำใช้แทนริ้วขนาน สีแดงใช้แทนลิ่มควอตซ์ สีเทาระบุทิศทางแนวเส้นการยืด และสีน้ำเงินแสดงแรงเฉือนในแนวระดับเป็นแรงองค์ประกอบ นอกเหนือจากแรงบีบอัดที่ทำให้เกิดชั้นหินคดโค้ง (c) ภาพถ่ายภาคสนาม แสดงลักษณะการเฉือนในแนวระดับภายในเนื้อหิน (d) ภาพวาดแสดงลักษณะเนื้อหินถูกเฉือน เส้นสีดำให้แทนแนวระนาบริ้วขนานที่โค้งงอจากแรงเฉือนที่มีทิศทางตามลูกศรสีน้ำเงิน 19
- 3.2.2 ลักษณะของลิ่มควอตซ์ในเนื้อหินที่สามารถใช้บอกการเคลื่อนที่ของเนื้อหินและลักษณะของแรงที่กระทำได้ (a) ลิ่มควอตซ์รูปตา ที่เกิดจากการดึงยืดออก แสดงการเฉือนในแนวระดับ (b) ภาพวาดจากรูป (a) แสดงให้เห็นลักษณะของลิ่มควอตซ์ซึ่งแทนด้วยสีแดง และทิศทางการเฉือนแสดงด้วยลูกศรสีน้ำเงิน (c) ลิ่มควอตซ์โดนยึดเป็นริ้วยาว (d) ภาพวาดจากรูป (c) แทนลักษณะลิ่มควอตซ์ที่ถูกยึดด้วยสีแดง ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อแรงที่มากกระทำแทนด้วยลูกศรสีฟ้า 20
- 3.2.3 แสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในภาคสนาม ในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ (a) แนวเส้นการยืดในแนวทิศ เหนือ-ใต้ (b) ชั้นหินคดโค้งเป็นลอนคลื่นเล็กน้อยบริเวณปลายแหลมหญ้า บริเวณมุมล่างขวาของภาพแสดงแนวเส้นการยืดอยู่ในทิศ เหนือ-ใต้ 21
- 3.3.1 สเตอริโอเน็ตครึ่งทรงกลมล่าง แสดงการกระจายตัวข้อมูลการวางตัวของริ้วขนาน (foliation) ข้อมูลกระจายตัวหนาแน่นแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม วางตัวอยู่บนระนาบ 210/80 เดียวกัน การวางตัวของระนาบกลุ่มข้อมูลดังกล่าวคือ ระนาบหมายเลข 2 วางตัว 115/59 ระนาบหมายเลข 3 วางตัว 109/27 ระนาบทั้งสองตัดกันที่ 030/10 ซึ่งเป็นแกนของระนาบ 210/80 22

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

3.3.2	สเตอริโอเน็ตครึ่งทรงกลมล่างแสดงการกระจายตัวข้อมูลการวางตัวของแนวเส้นการยืด (Stretching Lineation) ส่วนใหญ่การกระจายตัวอยู่ในบริเวณ 032/9	22
3.3.3	โรสไดอะแกรม แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแนวรอยแตกมีระบบ ประกอบด้วยแนวโน้มหลักสองแนว คือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และแนวเกือบเหนือใต้	23
3.3.4	แสดงการกระจายตัวการวางตัวของระนาบแนวชั้นหินคดโค้ง (Axial plane) มีระนาบ 118/75 เป็นระนาบการวางตัวหลักของชั้นหินคดโค้งในพื้นที่ศึกษา	24
3.3.5	แสดงการกระจายตัวข้อมูลแนวแกนของชั้นหินคดโค้ง (fold axis) แบ่งการกระจายตัวหลักออกเป็นสามแนว คือ 008/12, 029/11 และ 202/6	24
3.2.4	แสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่บ่งบอกการเคลื่อนที่ในเนื้อหิน (a) ภาพตัด PPL และ (b) ภาพตัด XPL บริเวณกลางภาพแสดงลักษณะที่ลิ่มควอตซ์ยึดออกมีบางส่วนที่แยกป็นออกไปในบริเวณที่มีแร่แผ่น และบริเวณด้านบนของภาพ แสดงลักษณะการเรียงตัวของแร่แผ่นเป็นลักษณะแบบ S-C' (c) ภาพวาดแสดงลักษณะที่พบในรูป (a) และ (b) พร้อมทั้งแสดงทิศทางของแรงที่ส่งผลต่อการเกิดลักษณะดังกล่าวด้วยลูกศรสีน้ำเงิน บริเวณที่แร่เงาเป็นสีน้ำเงินอ่อน เป็นบริเวณที่ควอตซ์โดยดูเฉือนแตกออกไปป็นในกลุ่มแร่แผ่น (d) ภาพตัด PPL และ (e) ภาพตัด XPL บริเวณกลางภาพแสดงลักษณะของแร่ควอตซ์เกิดใหม่ตัดเข้าไปในเนื้อหินเดิมมีลักษณะเป็นเส้นเล็ก มีลักษณะคล้ายสายแร่ที่ขอบไม่เป็นเส้นตรง (f) ภาพตัด XPL เมื่อใส่แผ่นยิปซัม แสดงลักษณะของสายแร่ควอตซ์เกิดใหม่ที่ผลึกส่วนใหญ่แสดงลักษณะที่แผ่นยิปซัมเสริมความยาวคลื่น	26
3.2.5	(a) ภาพตัด PPL และ (b) ภาพตัด XPL แสดงลักษณะรอยเลื่อนเล็กๆของแร่เฟลด์สปาร์ในเนื้อหิน (c) ภาพตัด PPL และ (d) ภาพตัด XPL ภาพขยายจากรูป (a) และ (b) แสดงบริเวณด้านบนของภาพที่แร่เฟลด์สปาร์สองผลึกชน เบียดกันจนผลึกด้านบนแตกออก (e) ภาพวาดแสดงลักษณะที่พบในรูป (a) และ (b) พร้อมทั้งแสดงทิศทางของแรงที่กระทำให้เกิดลักษณะต่างๆโดยลูกศรสีน้ำเงิน บริเวณแถบแรงเงาสีน้ำเงินแสดงถึงบริเวณที่แร่เฟลด์สปาร์ถูกดึงให้แตกแยกออกจากกัน เส้นสีแดงหมายถึงแนวแตกเรียบ (cleavage) ลูกศรสีน้ำเงินขนาดเล็กแสดงการเคลื่อนที่ในเนื้อหิน และลูกศรสีน้ำเงินอันใหญ่แสดงแนวการเฉือนที่ทำให้เกิดลักษณะภายในเนื้อหิน	27

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

- 3.2.6 แสดงลักษณะของแร่ในหินที่บ่งบอกการเคลื่อนที่ของเนื้อหิน (a) ภาพตัด PPL และ (b) ภาพตัด XPL แสดงลักษณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อหินอันเนื่องมาจากแรงเฉือน สังเกตการเคลื่อนที่ได้จากแนวแตกเรียบ ตามแนวมุมซ้ายบนของภาพไปยังมุมขวาล่างของภาพ (c) ภาพวาดแสดงลักษณะภายในรูป (a) และ (b) แสดงแนวแตกเรียบด้วยเส้นสีแดง แนวแตกเรียบเกิดจากแรงบีบอัดที่เป็นแรงองค์ประกอบของการเฉือนแสดงโดยลูกศรสีน้ำเงินอ่อน (d) ภาพตัด PPL และ (e) ภาพตัด XPL แสดงลักษณะเม็ดแร่เฟลด์สปาร์ต้นตัวเข้ามาในกลุ่มแร่ควอตซ์ เห็นเป็นแนวแตกเรียบที่เกิดจากการละลายของแร่อย่างชัดเจน (f) ภาพวาดลักษณะที่พบเห็นในรูป (d) และ (e) แสดงการแตกบริเวณที่ผลึกแร่บดขยี้กัน แนวแตกเรียบแทนด้วยเส้นสีแดง แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ และการเฉือนโดยลูกศรสีน้ำเงิน
- 4.1.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่พบในแร่ควอตซ์ และ เฟลด์สปาร์ ที่ระดับความลึกต่างๆ กราฟทางขวามือ เป็นกราฟที่แสดงการตอบสนองของแร่ระหว่าง ความลึก กับแรงที่กระทำ แทนบริเวณการแปรสภาพแบบแปรด้วยเส้นตรง และแทนการแปรสภาพแบบอ่อนนุ่มด้วยเส้นโค้ง (Passchier and Trouw, 2005)
- 4.1.2 แสดงระดับการแปรสภาพของหินในพื้นที่ ว่าอยู่ในกลุ่มการแปรสภาพแบบกิริทซ์ชิต์ อุณหภูมิระหว่าง 300 °C-400 °C (after Patterson, 2010)
- 4.2.1 ภาพวาดแสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาเขาแหลมหญ้า แสดงเป็นสามชั้นแบ่งตามลักษณะเด่นที่เห็นในภาคสนามได้แก่ ชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กพับปิดไปมาในเนื้อหิน แร่ควอตซ์ที่ถูกยัด และริ้วขนานแสดงการเฉือนในแนวระดับ และหินชนิดแร่แผ่นต่ำและแร่แผ่นสูงสลับกัน แสดงแนวชั้นหินคดโค้งแบบเป็นลอนคลื่น
- 4.2.2 แสดงแบบจำลองในอุดมคติของการเฉือนแนวระดับที่เกิดภายในหินคดโค้ง (Twiss and Moores, 1992)
- 4.2.3 การกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากการพล็อตค่าลงบนสเตอริโอเน็ต ซึ่งเกิดจากการตอบสนองต่อแรงในทิศทาง ตะวันออก – ตะวันตก (a) การวางตัวของระนาบริ้วขนาน (b) การวางตัวของแนวเส้นการยัด (c) การวางตัวของแนวแตก (d) แสดงทิศทางของแรงที่มากระทำ และลักษณะต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ตอบสนองต่อแรงในทิศนั้นๆ (after Law et al., 2001)

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	จำแนกกลุ่มการแปรสภาพโดยอาศัยแร่สำคัญจากหินต้นกำเนิดแต่ละชนิด โดยอิงจากกลุ่มขององค์ประกอบทางเคมีของหิน กรอบภายในตารางแสดงบริเวณที่ตัวบ่งชี้สอดคล้องกับหินในพื้นที่ (after Best, 2003)	30

## บทที่ 1

### 1.1 บทนำ

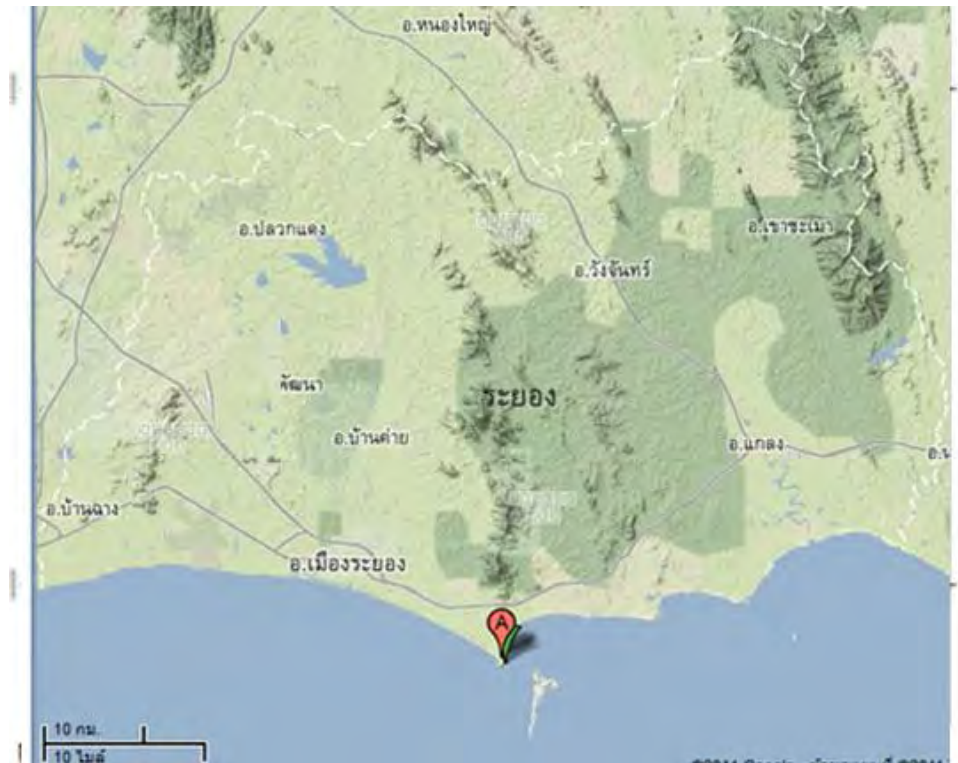
ธรณีวิทยาโครงสร้างในประเทศไทยเป็นผลมาจากเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานสองเหตุการณ์คือ ธรณีแปรสัณฐานมัชฌิมกาล ซึ่งเป็นการชนกันของจุลทวีปฉาน-ไทย กับอินโดจีน สิ้นสุดที่การชนกันของแผ่นฉาน-ไทย กับเวส เฮอร์มาร์ และธรณีแปรสัณฐานนวกาล ที่แผ่นอินเดียเคลื่อนตัวขึ้นมาทางเหนือชนกับแผ่นยูเรเชีย ในช่วงยุคเทอเทียรี ทั้งสองเหตุการณ์มีลักษณะของการเกิดธรณีวิทยาโครงสร้างที่แตกต่างกัน เหตุการณ์การในช่วงมัชฌิมกาลนั้นทำให้เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก การหลอมของแผ่นเปลือกโลกและการแทรกดันตัวขึ้นมาของหินหนืด ทำให้มีลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้ทั้ง แบบอ่อนนุ่ม (Ductile) และแบบแตกเปราะ (Brittle) เหตุการณ์การในช่วงนวกาล ทำให้บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกิดการเคลื่อนที่ เกิดการเลื่อนตัวของ รอยเลื่อนแม่ปิง ด้านเจดีย์สามองค์ ระนอง และคลองมารุย ซึ่งเป็นลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างแบบแตกเปราะ (Brittle)

เขาแหลมหญ้ามีลักษณะธรณีฐานเป็นแหลมยื่นออกไปในทะเล และข้อมูลโทรมัมผัสแสดงให้เห็นว่าเขาแหลมหญ้าอยู่ภายในแนวภูเขาที่เรียงตัวเป็นเส้นตรงวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ มีภูเขาเรียงลำดับจากเหนือไปใต้ประกอบด้วย เขาแม่แก่ เขาแหลมหญ้า และเกาะเสม็ด การศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่เขาแหลมหญ้าจึงเป็นองค์ประกอบทางข้อมูลชิ้นหนึ่งของข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างในแนวภูเขาดังกล่าว หินในบริเวณพื้นที่เขาแหลมหญ้า แผ่นที่ธรณีวิทยาจังหวัดระยอง ของกรมทรัพยากรธรณีจัดให้เป็นหินที่มีอายุอยู่ในช่วงมหายุคพรีแคมเบรียน ชนิด ควอร์ตไมกาชีสต์ ประกอบด้วยแร่แผ่นที่มีความอ่อน แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงได้ดี เหมาะสมสำหรับการศึกษาลักษณะ และวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาโครงสร้างเป็นอย่างยิ่ง

### 1.2 ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

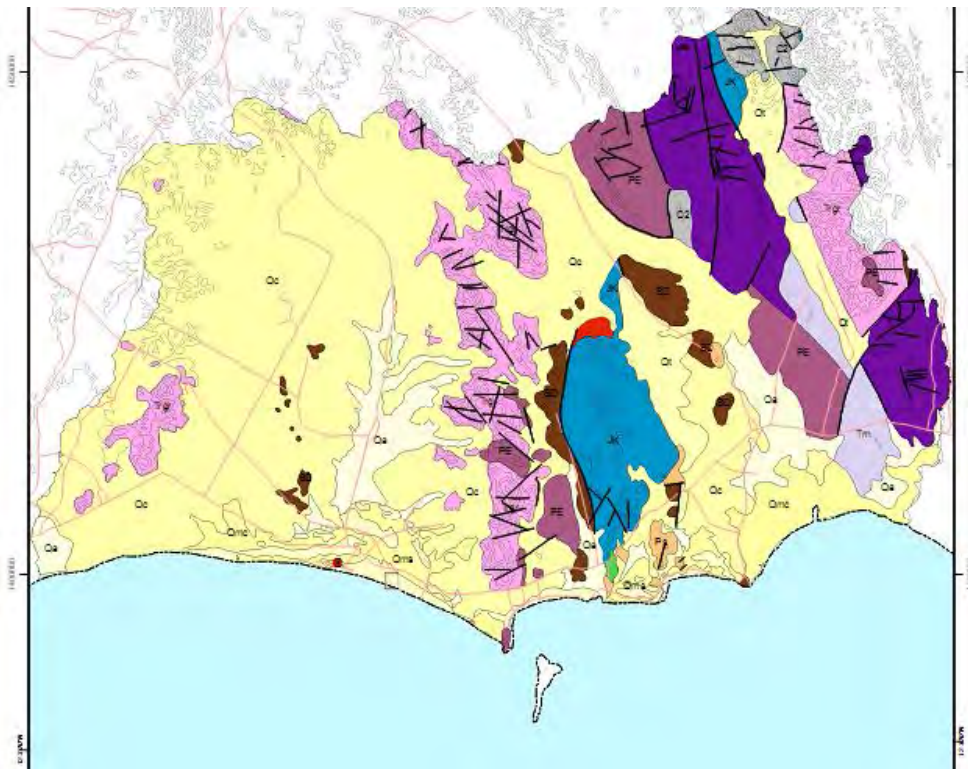
พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดระยองมีลักษณะเป็นที่ราบ สลับด้วยแนวภูเขาสูงปลานกลางวางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ตั้งฉากกับแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ต่อมาจากแนวภูเขาและเทือกเขาทางตอนบนของภาคตะวันออกเฉียง ส่วนปลายของแนวภูเขาปรากฏเป็นแหลมยื่นออกไปในทะเล (รูปที่ 1.1)

ธรณีวิทยาของพื้นที่ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยตะกอนเชิงเขา และตะกอนแม่น้ำยุคควอเทอร์นารี ที่ราบฝั่งตะวันออกเฉียงของแนวภูเขาเป็นหินทราย บริเวณแนวภูเขาเป็นหินจำพวก หินอัคนี ไอโอไทต์แกรนิต และหินแปรยุคเก่าแทรกอยู่ในแนวภูเขา (รูปที่ 1.2)



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะแนวภูเขาของภาคตะวันออกของประเทศไทยที่วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอุทยานแห่งชาติเขาแหลมหญ้าด้วย ตัวชี้ตำแหน่งป้ายอักษรตัวเอสีแดง (maps.google.com, 2/3/2012)

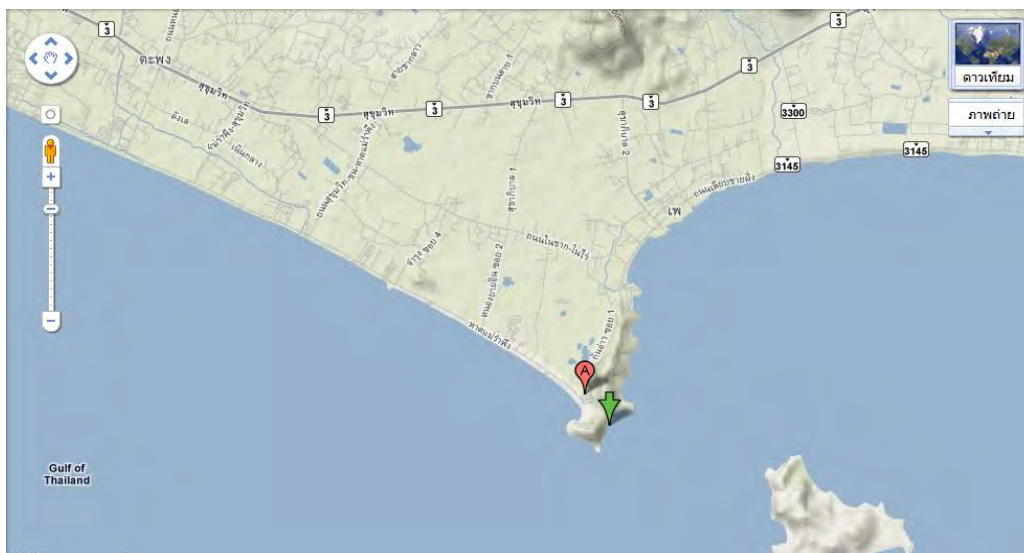




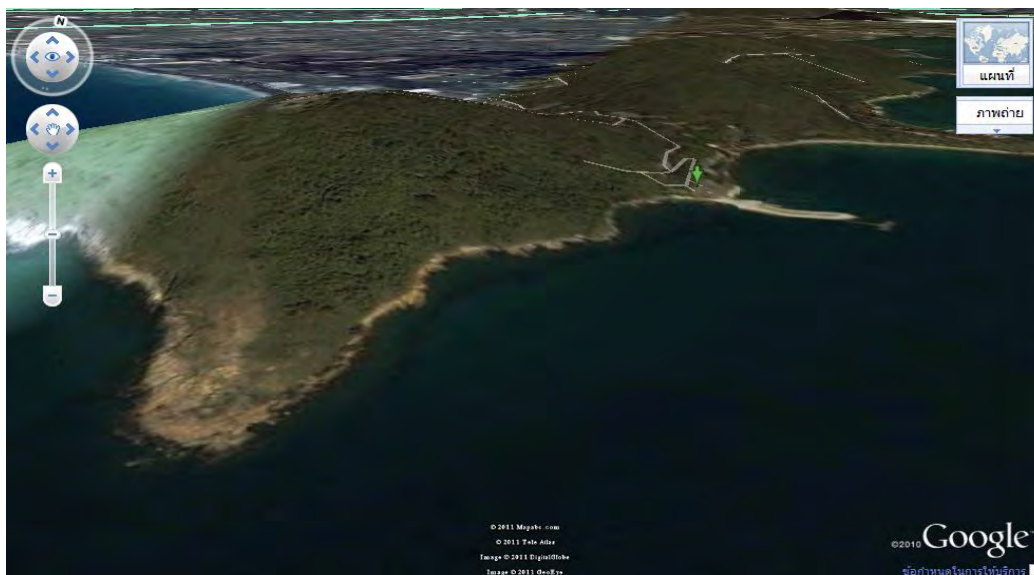
รูปที่ 1.2 ธรณีวิทยาของจังหวัดระยอง บริเวณพื้นที่ศึกษากรมทรัพยากรธรณี ให้ชนิดหินเป็น หินแปร อายุ ฟริแคมเปเรียน(แผนที่ธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

#### 1.4 ลักษณะของพื้นที่ศึกษา

เขาแหลมหญ้าตั้งอยู่ภายในอุทยานแห่งชาติเขาแหลมหญ้า-เกาะเสม็ด เลขที่ 79 หมู่ 1 บ้านกันอ่าว ถ.หาดแม่รำพึง-เพ ต.เพ อ. เมืองระยอง จ. ระยอง มีลักษณะเป็นภูเขาแนวยาวยื่นออกไปในทะเลเป็นแหลม ด้านล่างและด้านข้างทางทิศตะวันออกติดกับทะเล ด้านบนทางทิศเหนือติดกับที่ราบ และทางด้านตะวันตก ติดกับที่ราบและชายหาด บริเวณด้านทิศตะวันออกของเขาลแหลมหญ้ามี่ลักษณะเป็นชายหาดเรียบกับสันเขาไป มีหินถูกน้ำเซาะไหลออกให้เห็นเป็นแนวยาวค่อนข้างต่อเนื่องกัน



รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะของเขแหลมหญ้าที่เป็นภูเขายาววางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ยื่นลงไปในทะเล ด้านบนมีลักษณะเป็นที่ราบ ทางเหนือขึ้นไปเป็นที่ราบลูกฟูกระหว่างภูเขา (maps.google.com, 2/3/2012)



รูปที่ 1.4 แสดงลักษณะเขาแหลมหญ้าที่เป็นภูเขายื่นลงไปทะเล ตอนบนทางทิศเหนือติดกับที่ราบ และพื้นที่ที่ศึกษาที่เป็นชายหาดตลอดแนวแหลมหญ้าทางด้านตะวันออก (maps.google.com, 2/3/2012)

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในหินแปรบริเวณเขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง
- ศึกษาวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาโครงสร้างของหินแปรบริเวณเขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง

#### 1.5 สมมติฐาน

เขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง มีลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างแบบอ่อนนุ่ม (Ductile) สัมพันธ์กับเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงมหัศจรรย์ และลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างแบบแตกเปราะ (Brittle) สัมพันธ์กับเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐานในช่วงนวกาล

#### 1.6 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในบริเวณเขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง เก็บข้อมูลการวางตัวของลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง ในหินโผล่ (Outcrop) และในแผ่นหินบาง (Thin section) นำข้อมูลการวางตัวแต่ละชนิดของลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง นำข้อมูลมาประมวลผลทางสถิติเพื่อหาวิวัฒนาการทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ เขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง

#### 1.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หนังสือธรณีวิทยาประเทศไทย(2550) บรรยายลักษณะทางภูมิศาสตร์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ตั้งแต่ตอนล่างของเทือกเขาเพชรบูรณ์ ขอบแอ่งโคราชตอนล่างลงมาจนถึงชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน มีเทือกเขาบรรทัดทางตะวันออกเฉียงเหนือภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับประเทศกัมพูชา ตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นเทือกเขา และภูเขาสูงสลับกับที่ราบและพื้นที่ลอนลาด ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ตอนล่างของภาคเป็นที่ราบสลับกับพื้นที่ลอนลาดที่ต่อออกมาจากแนวภูเขาและเทือกเขา บรรจบลงที่ชายฝั่ง

เอกสารประกอบการสอนสำหรับธรณีวิทยาภาคสนาม ธรณีทัศน์ 1 (2552) บอกว่าหินในบริเวณชายฝั่งอุทยานแห่งชาติเขาแหลมหญ้า เป็นหินมีซิลิกา ไซส์ เป็นหินแปรชนิดวิวัฒนาการ พบแร่ควอร์ตซ์ มีลักษณะเหมือนรูปเลนซ์ยาวๆคล้ายลูกตา แร่ควอร์ตซ์ที่พบเกิดจากการที่มีแร่ควอร์ตซ์เดิมอยู่แล้วในหินดั้งเดิมก่อนจะถูกกระบวนการแปรสภาพบริเวณไพศาล และมารวมตัวกัน ระหว่างแร่แผ่น

ปัญญา จารุศิริ และคณะ(2545) จำแนกวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย ออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นแปรสัณฐานบรรพกาล ชั้นแปรสัณฐานโบราณกาล ชั้นแปรสัณฐานมหัศจรรย์ และชั้นแปรสัณฐานนวกาล และประเทศไทยแบ่งออกเป็นธรณีแปรสัณฐาน 4 แผ่น ได้แก่ จุลทวีป ฉาน-ไทย ลำปาง-เชียงาย นครไทย และอินโดจีน แผ่นทั้งสี่ชนกันบนชั้นแปรสัณฐานมหัศจรรย์และจบเหตุการณ์ในยุคด้วยการชนกันของจุลทวีป ฉาน-ไทย กับเวส เฮอร์นาร์ ชั้นนวกาลเกิดจากการชนกันของแผ่นอินเดียน และเอเชีย

Morley (2002) กล่าวว่า การชนกันของแผ่นเปลือกทวีปอินเดียน และยูเรเชีย ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนด้านเจดีย์สามองค์ และรอยเลื่อนแม่ปิง จากการหมุนตัวของแผ่นทวีปในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และพัฒนาลักษณะภูมิประเทศที่เป็นแนวสันเขาอยู่กลางที่ราบ เรียงตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ทางทิศตะวันออกเฉียงขึ้น

Hall(1996) กล่าวว่า การเคลื่อนที่และหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของแผ่นทวีป อินเดียน-ออสเตรเลียขึ้นมาจากเหนือมาหาแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ในช่วงยุค Tertiary

Tuan (2010) ศึกษากรณีศึกษาโครงสร้างเพื่อทำรายละเอียดในระดับหินโผล่ บริเวณ เขาทะลาย จังหวัดจันทบุรี พบว่าการวางตัวของโครงสร้างทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ สามารถแยกออกมาได้สาม แนวโน้ม คือตบสนองต่อแรงในทิศ ตะวันออกไปตะวันตก ทิศเหนือค่อนทางตะวันออกไปทิศใต้ค่อนทางทิศ ตะวันตก และ ทิศเหนือค่อนทางทิศตะวันตกไปทิศใต้ค่อนทางทิศตะวันออก ซึ่งพื้นที่ศึกษานี้อยู่ทางทิศตะวันออก ของเขาแหลมหญ้า อยู่ในบริเวณที่แสดงการเรียงตัวของภูเขาในแนวเหนือ-ใต้เช่นเดียวกัน

#### 1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

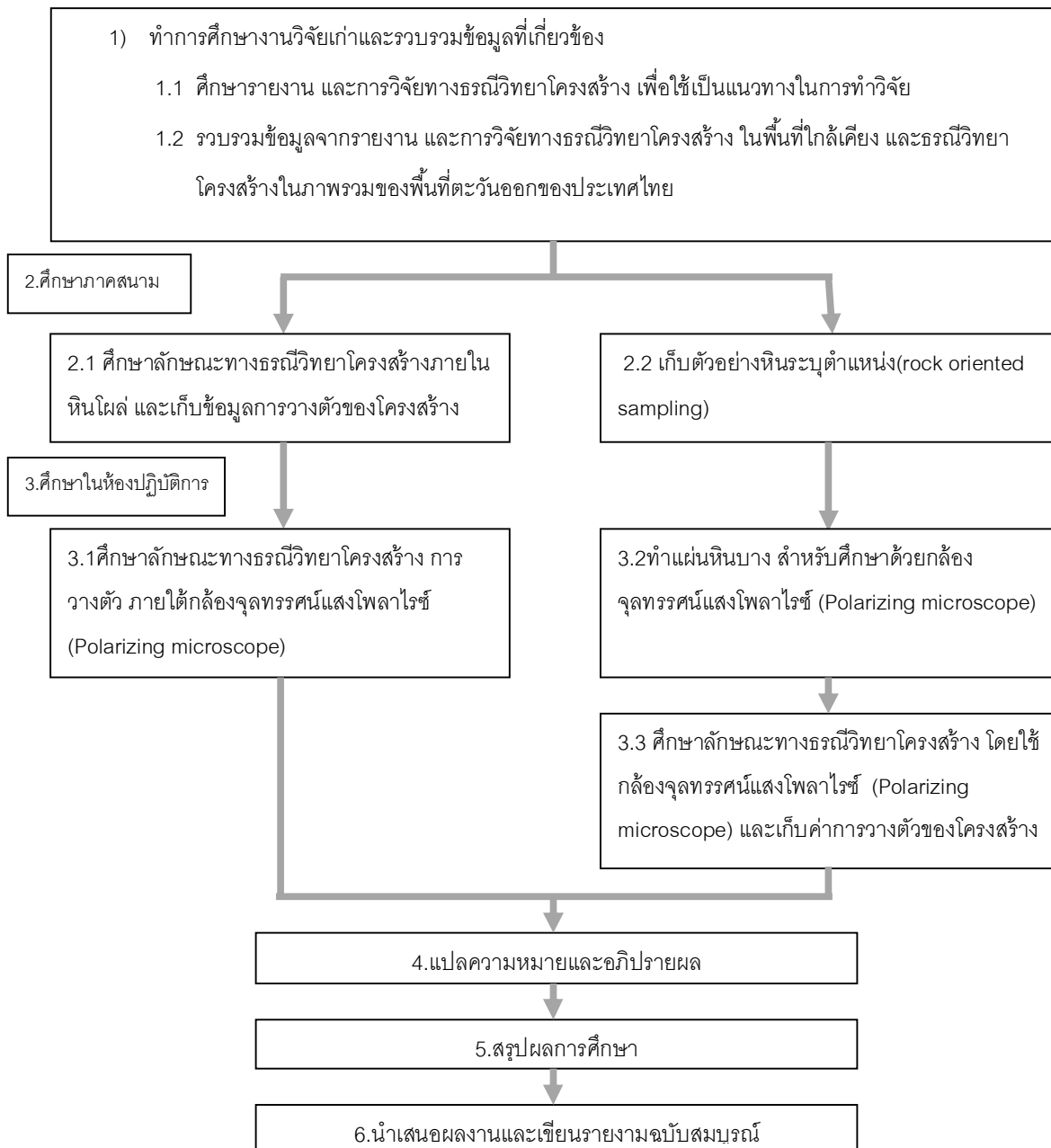
ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่เขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง และวิวัฒนาการทางธรณีวิทยา โครงสร้าง ในพื้นที่เขาแหลมหญ้า จังหวัดระยอง

## บทที่ 2

### 2.1 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) ทำการศึกษางานวิจัยเก่าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
  - 1.1 รวบรวมข้อมูลจากรายงาน และการวิจัยทางธรณีวิทยาโครงสร้าง ในพื้นที่ใกล้เคียง และธรณีวิทยาโครงสร้างในภาพรวมของพื้นที่ตะวันออกของประเทศไทย
  - 1.2 ศึกษารายงาน และการวิจัยทางธรณีวิทยาโครงสร้าง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย
- 2) สำนักรวภาคสนาม
  - 2.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างภายในหินโผล่ และเก็บข้อมูลการวางตัวของโครงสร้าง
  - 2.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (rock oriented sampling)
- 3) ศึกษาในห้องปฏิบัติการ
  - 3.1 ประมวลผลข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนามโดยใช้ Stereo nets และ Rose diagram
  - 3.2 ทำแผ่นหินบาง สำหรับศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)
  - 3.3 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง และลักษณะที่บ่งชี้สภาวะการแปรสภาพโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope)
- 4) แปลความหมายและอภิปรายผล
  - 4.1 ธรณีวิทยา
  - 4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง
  - 4.3 ทิศทางความเค้น
- 5) สรุปผลการศึกษา
- 6) นำเสนอผลงานและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

### แผนผังแสดงลำดับการดำเนินการวิจัย



## 2.2 ทำการศึกษางานวิจัยเก่า และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

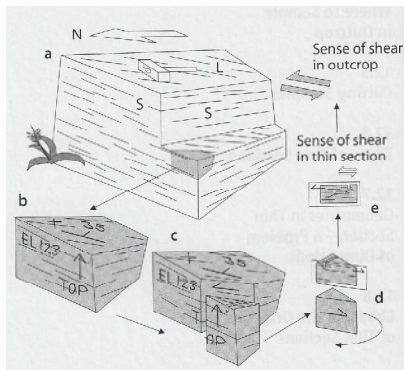
2.2.1 ข้อมูลทั่วไปทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยแผนที่ธรณีวิทยากรมทรัพยากรธรณี จังหวัดระยอง มาตราส่วน 1:50000 พ.ศ. 2550 ของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แผนที่ภูมิศาสตร์ ลำดับชุดที่ L7018 ระบุว่า 5234 II มาตราส่วน 1: 50,000 จังหวัดระยอง ประเทศไทย ซึ่งแผนที่ดังกล่าวสามารถหาได้จากห้องแผนที่ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (แผนที่ภูมิศาสตร์) หรือสามารถสืบค้นได้จากทางอินเทอร์เน็ต (แผนที่ธรณีวิทยา)

2.2.2 ข้อมูลการศึกษาทางธรณีวิทยาโครงสร้างบริเวณใกล้เคียง หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถค้นคว้าได้จาก วารสารงานวิจัย เอกสารงานประชุมต่างๆในห้องสมุดภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต

## 2.3 สักรวจภาคสนาม

2.3.1 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในหินโผล่ และเก็บค่าการวางตัวของโครงสร้าง การเก็บข้อมูลการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนามใช้เข็มทิศธรณีวิทยา ซึ่งค่าการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างที่วัดประกอบด้วย strike/trend และ dip angle/plunge ของริ้วขนาน (foliation) โครงสร้างแนวเส้นการยืด (Stretching Lineation) ระนาบแกนชั้นหินคดโค้ง (fold axial plan) แกนชั้นหินคดโค้ง (fold axis) แนวแตก (joint) ลักษณะทางกายภาพของหินโผล่ และลักษณะโครงสร้างบ่งชี้อื่นๆที่พบในภาคสนาม จากนั้นทำการถ่ายรูปไว้เป็นหลักฐาน

2.3.2 เก็บตัวอย่างหินระบุตำแหน่ง (rock oriented sampling) ตัวอย่างหินในภาคสนาม เก็บโดยมีขนาดไม่น้อยกว่า 15 ซม. x 15 ซม. x 15 ซม. เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค ซึ่งตัวอย่างหินที่นำกลับมาจะต้องบันทึกค่าระนาบอย่างน้อยหนึ่งระนาบลงบนหิน (orientated sample) เพื่อใช้เป็นระนาบอ้างอิง ทำให้ทราบถึงการวางตัวของระนาบการบิดเบี้ยวเดิมของหินในหินโผล่เมื่อเรานำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2.1 แสดงการเก็บตัวอย่างระบุตำแหน่ง และการวางแนว การตัดหินสำหรับทำแผ่นหินบางเพื่อนำไปใช้ในการศึกษา ธรณีวิทยาโครงสร้างภายใต้จุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) (Passchier and Trouw, 2005)

## 2.4 ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

2.4.1 ประมวลผลข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างในภาคสนามโดยใช้สเตอริโอเน็ต (stereo nets) และ โรสไดอะแกรม (rose diagram) นำค่าการวางตัวที่ได้จากภาคสนาม อันได้แก่ ริวขนาน (foliation) โครงสร้างแนวเส้นการยืด (Stretching Lineation) ระบายแกนชั้นหินคดโค้ง (fold axial plan) แกนชั้นหินคดโค้ง (fold axis) แนวแตก (joint) พล็อตลงในสเตอริโอเน็ต โดยใช้โปรแกรม Dips รุ่น 5.1 เพื่อดูแนวโน้มการวางตัวของธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ทั้งหมด

2.4.2 ทำแผ่นหินบาง สำหรับการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ นำเอาตัวอย่างหินระบุดำแหน่งที่ได้จากภาคสนาม ตัดเป็นแผ่นให้ตั้งฉากกับริวขนาน ขนานแนวเส้นการยืด และขนานกับริวขนานตั้งฉากแนวเส้นการยืด สำหรับการศึกษาลักษณะภายใต้กล้องเพื่อชนิดของชั้นหินคดโค้ง ตัดเป็นชิ้นเล็กขนาดเท่ากับกระจก นูทิตทาง และด้านบนด้านล่างของหินที่แผ่นกระจกให้ชัดเจน จากนั้นดำเนินขั้นตอนตามวิธีการทำแผ่นหินบางตามวิธีการปกติ

2.4.3 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง และลักษณะที่บ่งชี้สภาวะการแปรสภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ ใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อหาสมบัติทางแร่วิทยา ระบุชนิดของแร่ ลักษณะที่เกิดจากการแปรสภาพ สังเกตลักษณะที่บ่งชี้การเคลื่อนที่ต่างๆ เช่น ทิศทางการเรียงตัวของแร่ แนวการแตกที่มีการเลื่อนตัว ชั้นหินคดโค้งขนาดเล็ก

## 2.5 การแปลความหมายและอภิปรายผล

ข้อมูลสำหรับการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาเขาแหลมหญ้า นั้นประกอบด้วยข้อมูลมีซมิมิทรอร์น (Mesoscopic scale) และจุลทรรศน์ (Microscopic scale) หาความสัมพันธ์ของโครงสร้าง การแปรสัณฐาน โดยการวิเคราะห์ แนวแรง จากหลักฐานทางโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่พบ โดยใช้กระบวนการดังต่อไปนี้

2.5.1 ธรณีวิทยา ข้อมูลชนิดหินที่พบในภาคสนาม ลักษณะที่แสดงความสัมพันธ์ของหิน และจากลักษณะเนื้อหินภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ ใช้เป็นหลักฐานเพื่อหาหินตั้งต้นของหินแปรในพื้นที่ อาศัยแร่วิทยา เทียบเคียงชนิดของแร่ที่เสถียรที่อุณหภูมิ ความดัน เพื่อระบุระดับกลุ่มการแปรสภาพ และข้อมูลจากลักษณะการแปรสภาพของแร่ชนิดต่างๆเพื่อระบุช่วงอุณหภูมิ

2.5.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง พิจารณาลักษณะทางกายภาพภายในหินโผล่เพื่อหาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง พิจารณาความสัมพันธ์กันระหว่างลักษณะต่างๆว่ามีระบบหลักอยู่ในระบบธรณีโครงสร้างแบบใด อาทิเช่น ชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อน เป็นต้น และมีระบบย่อยๆประกอบด้วยอะไรบ้าง ทำการวัดค่าการวางตัวของลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง อันได้แก่ ริวขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้นการยืด (Stretching Lineation) ระบายแกนชั้นหินคดโค้ง (Fold axial plan) แกนชั้นหินคดโค้ง (Fold axis) แนวแตก (Joint) และการลักษณะความสัมพันธ์ของหินชนิดต่างๆภายในพื้นที่ จากนั้นถ่ายภาพลักษณะหินโผล่และธรณีวิทยาโครงสร้างที่ปรากฏชัดเจน



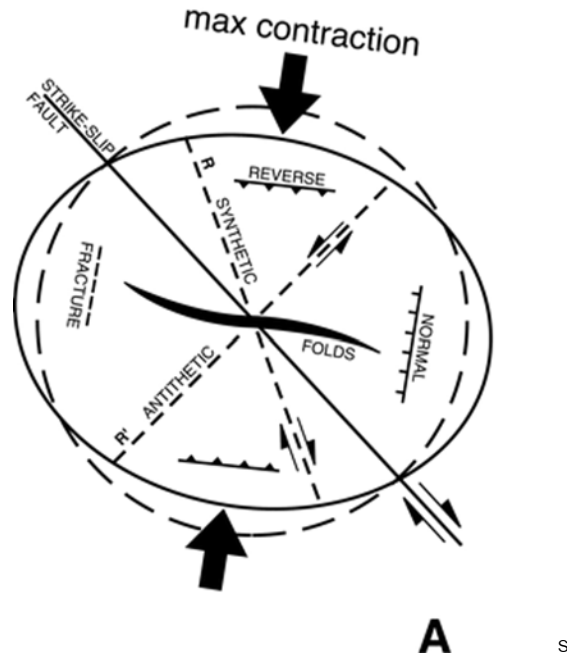
เป็นการศึกษาลักษณะเนื้อผิว (Texture) ของหินและแร่ ที่บ่งชี้ถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น การยืดของเม็ดแร่ การแตกของแร่อย่างเป็นระบบ รวมถึงระดับและสภาวะการแปรสภาพของหิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (Polarizing microscope) โดยอาศัยลักษณะที่ปรากฏออกมาของแร่ที่เกิดจากการตอบสนองต่อการแปรสภาพที่อุณหภูมิที่ต่างกันของแร่ ควอตซ์ และเฟลด์สปาร์ ลักษณะภายในเนื้อหินที่บ่งชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของเนื้อหิน ซึ่งในขั้นตอนการทำแผ่นหินบาง (Thin section) เพื่อให้แสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ที่ชัดเจนและถูกต้องมากที่สุด มีลำดับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1. ตัวอย่างระบุตำแหน่ง (Orientated sample) พิจารณาแนวการวางตัวของริ้วขนาน (Foliation) โครงสร้างแนวเส้นการยืด (Stretching Lineation) จากนั้นวางแผนการตัดให้ตั้งฉากกับริ้วขนาน และขนานกับแนวเส้นการยืด ดังแสดงในรูป 2.1 เพื่อดูลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่เกิดจากแนวแรงมากที่สุด (maximum stress) ที่กระทำต่อหินในพื้นที่

2. พิจารณาแบ่งลักษณะเนื้อหินเลือกบริเวณที่ต้องการโดยอาศัยลักษณะเนื้อหิน แนวรอยต่อระหว่างเนื้อหิน และลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้าง ตัดแผ่นหินให้ได้ขนาดเหมาะสมกับแผ่นกระจกใส โดยใช้ด้านตะวันตกของตัวอย่างติดกับแผ่นกระจกใสที่ทำเครื่องหมายระบุทิศเหนือและด้านบนของหินตัวอย่าง

### 2.5.3 ทิศทางความเค้น อาศัยการกำหนดตำแหน่งค่าการวางตัวของลักษณะทางธรณีวิทยา

โครงสร้างที่ได้จากการศึกษาในภาคสนามลงบนโรสไดอะแกรม เช่น ริ้วขนาน แนวเส้นการยืด และแนวแตก เพื่อนำการกระจายตัวของข้อมูลในภาพสนามมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลอง แรงที่ให้กับระบบแทนด้วยรูปวงรีที่ถูกแรงบีบอัด เรียกว่า อีลิปซอย แรงจากทิศทางที่แตกต่างกันแสดงโดยอีลิปซอยที่วางตัวแตกต่างกัน ทำให้เกิดลักษณะต่างๆที่แตกต่างตอบสนองต่อแรงประกอบด้วย แนวรอยแตก และการเคลื่อนที่ ที่มีทิศทางการวางตัวแตกต่างกัน



รูปที่ 2.2 อิลลิปซอย แสดงแรงที่กระทำในแนวประมาณ เหนือ-ใต้ ที่ทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งและ รอยเลื่อน ใน อุคมคติ (Law R D et al., 2001)

**2.6สรุปผลการศึกษา** จากการแปลความหมายและอภิปรายผล จะสามารถสรุปผลการศึกษาออกเป็นด้านต่างๆ อันได้แก่ สภาวะอุณหภูมิกการแปรสภาพระดับการแปรสภาพ ธรณีวิทยาโครงสร้างภายในพื้นที่ที่ส่งผลต่อการเกิดลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในพื้นที่ศึกษา ทิศทางของความเค้น และช่วงเวลาทางธรณีวิทยาที่มีเหตุการณ์ทางธรณีแปรสัณฐาน สอดคล้องกับลักษณะ และ ทิศทางของความเค้นในพื้นที่ศึกษา

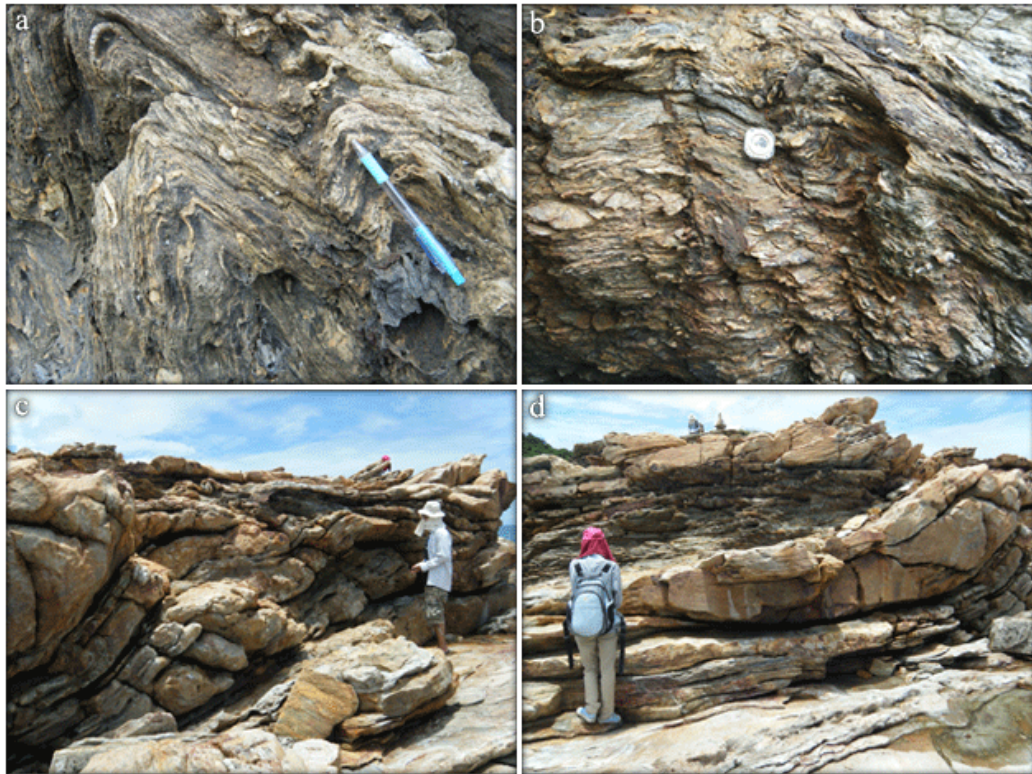
### บทที่ 3

#### 3.1 ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

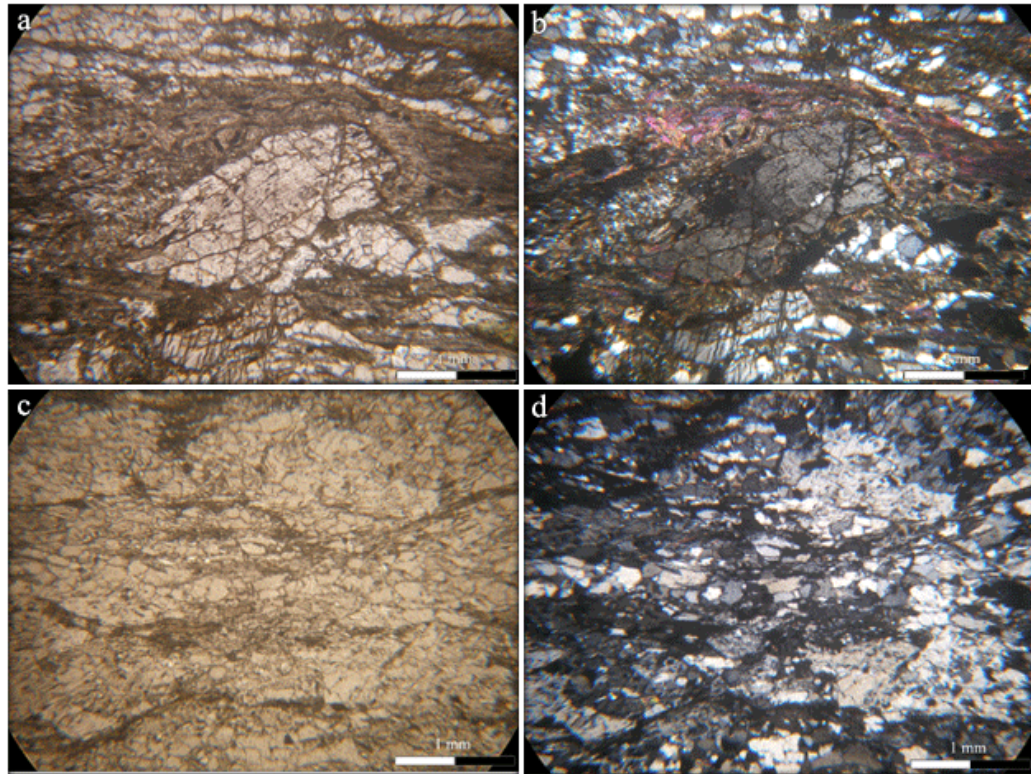
หินในพื้นที่ศึกษาเขาแหลมหญ้าประกอบด้วยหินแปรกรดต่ำประเภทหินชีสต์ มีลักษณะเนื้อหินที่แตกต่างกัน แบ่งได้เป็นสองชนิดคือ ชนิดที่มีปริมาณแร่แผ่นสูง และชนิดที่มีแร่แผ่นต่ำ ลักษณะความแตกต่างของหินทั้งสองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในภาคสนาม ตั้งแต่ชายหาดด้านในของแหลมหญ้าที่หินมีแร่แผ่นจำนวนมากแสดงลักษณะการโค้งพับเป็นชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กอย่างชัดเจน ลิ่มควอตซ์ภายในเนื้อหินรูปยาวคล้ายตาแทรกกระจายอยู่ในเนื้อหินขนานกับแนววิวขนาน ตอนกลางของแหลมหญ้าถัดจากท่าเรือลงมาทางทิศใต้ เนื้อหินมีปริมาณของแร่แผ่นใกล้เคียงกับบริเวณแหลมหญ้าด้านใน แต่ไม่แสดงลักษณะการคดพับของชั้นหินคดโค้งขนาดเล็ก ถัดลงมาทางใต้เป็นบริเวณที่พบหินที่มีปริมาณของแร่แผ่นน้อยแสดงลักษณะการทนทานต่อการผุกร่อนสูงกว่าอย่างชัดเจน แสดงการคดโค้งของชั้นหินไม่มา มีลักษณะคล้ายลอนคลื่น และบริเวณปลายสุดของแหลมทางทิศใต้ บริเวณปลายของแหลมหญ้า พบลักษณะที่มีการสลับชั้นกันของหินปริมาณแร่แผ่นสูง และปริมาณแร่แผ่นต่ำ ขนานไปกับแนววิวขนาน

ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ หินในพื้นที่ศึกษามีองค์ประกอบทางแร่วิทยาใกล้เคียงกันทั้งพื้นที่ประกอบด้วย ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ มัสโคไวท์ คลอไรท์ และไบโอไทต์ที่ยังไม่พัฒนาผลึกเต็มที่มีลักษณะที่แตกต่างกันของหินสองชนิดเกิดจากปริมาณแร่แผ่นจำพวก มัสโคไวท์ คลอไรท์ และไบโอไทต์ ในเนื้อหินที่แตกต่างกัน

ลักษณะการแปรสภาพของแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ พบลักษณะต่างๆดังนี้ แร่เฟลด์สปาร์ ส่วนใหญ่แสดงลักษณะการแปรสภาพแบบแตกเปาะเป็นสำคัญ โดยเฉพาะเม็ดแร่ที่อยู่ในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นจำนวนมาก มีเพียงบางส่วนที่แสดงลักษณะ รูปผลึกแฝดบิดเบี้ยว(deformed twin) ผลึกแฝดแบบตีบหาย(taper twin) อันดูโลส เอ็กติงชัน(undulose extinction)(รูป 3.1.3) ส่วนในแร่ควอตซ์การแปรสภาพจะแสดงให้เห็นมากกว่าเนื่องจากเป็นแต่ที่มีอุณหภูมิการแปรสภาพต่ำกว่า ส่วนใหญ่การแปรสภาพแบบอ่อนนุ่มมากกว่าแบบแตกเปาะ ลักษณะที่แสดงต่อการแปรสภาพที่พบใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ ได้แก่ อันดูโลส เอ็กติงชัน (undulose extinction) ผลึกแร่ย่อย(sub grain) ขอบผลึกแร่ที่ถูกัน(basal glide)หรือจนเกิดการตกผลึกใหม่เป็นผลึกเล็กๆบริเวณขอบผลึกแร่(bulging) และการตกผลึกใหม่ที่แสดงโดยการเกิดผลึกเล็กๆตัดเข้ามาในแร่เฟลด์สปาร์ที่พบอยู่เฉพาะภายในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ต่างๆแร่ต่างชนิดที่พบภายในเนื้อหิน แสดงโดยรูป 3.1.5 (c) และ 3.1.5 (d)

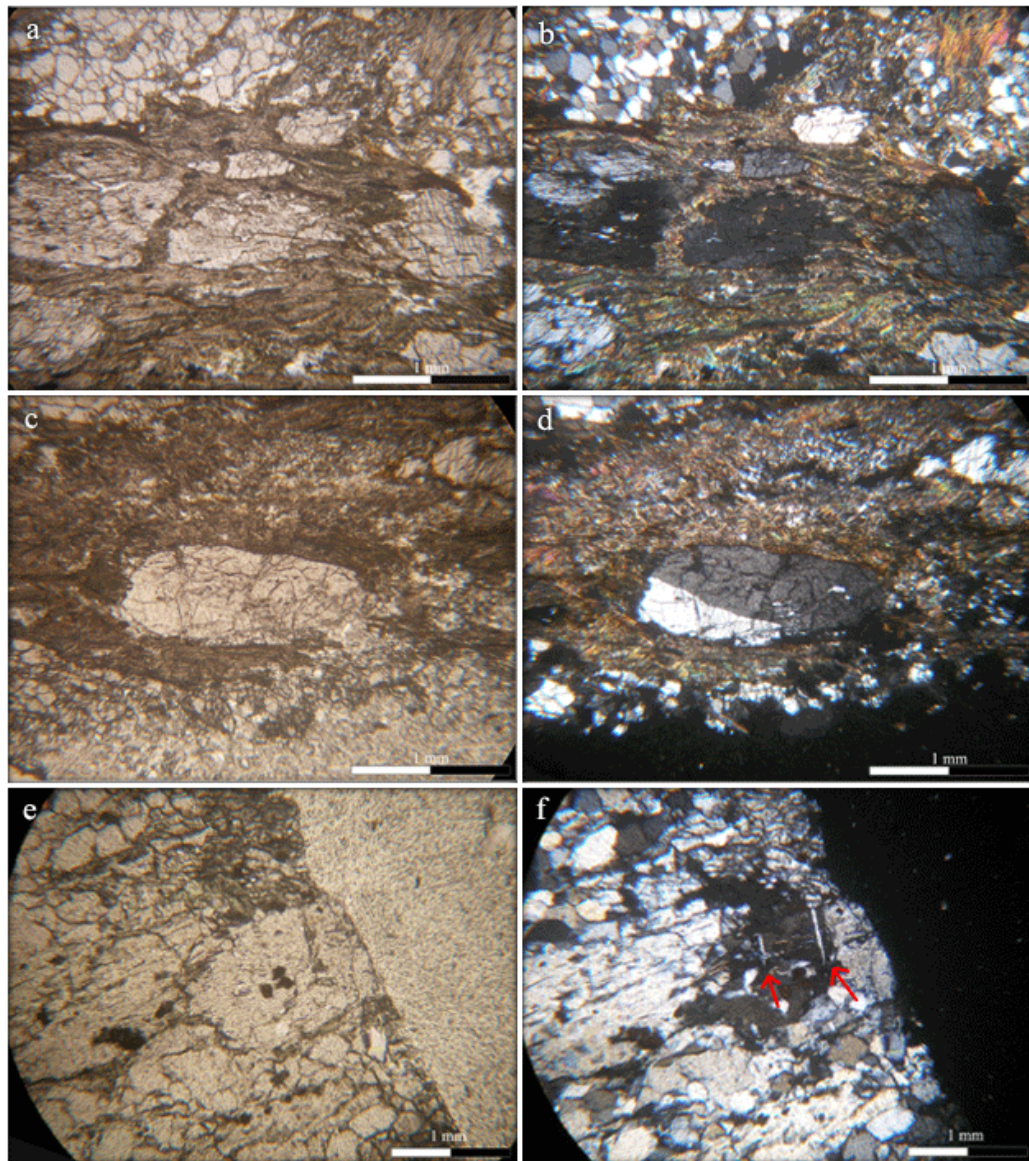


รูปที่ 3.1.1 แสดงหินที่พบในพื้นที่ศึกษา (a) หินบริเวณชายหาดแหลมหญ้าด้านใน มีปริมาณแร่แผ่นสูงและแสดงชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กพียงอไปทางทิศตะวันตกเล็กน้อย (b) หินบริเวณตอนกลางของแหลมหญ้า มีปริมาณแร่แผ่นสูง ไม่แสดงชั้นหินคดโค้ง แต่แสดงลักษณะการเฉือนในแนวระดับ (c) หินบริเวณปลายแหลมหญ้า หินสีขาวเหลืองในภาพเป็นหินชนิดที่มีแร่แผ่นต่ำ แสดงลักษณะของการทนต่อการผุพังค่อนข้างชัดเจน เมื่อเทียบกับชั้นหินแร่แผ่นสูงบางๆที่แทรกสลับด้วยกัน (บริเวณที่เป็นร่องลึกเข้าไปในเนื้อหิน) (d) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหินชนิดแร่แผ่นสูง และแร่แผ่นต่ำที่มีการเปลี่ยนชนิดหินขนานกับแนวริ้วขนาน

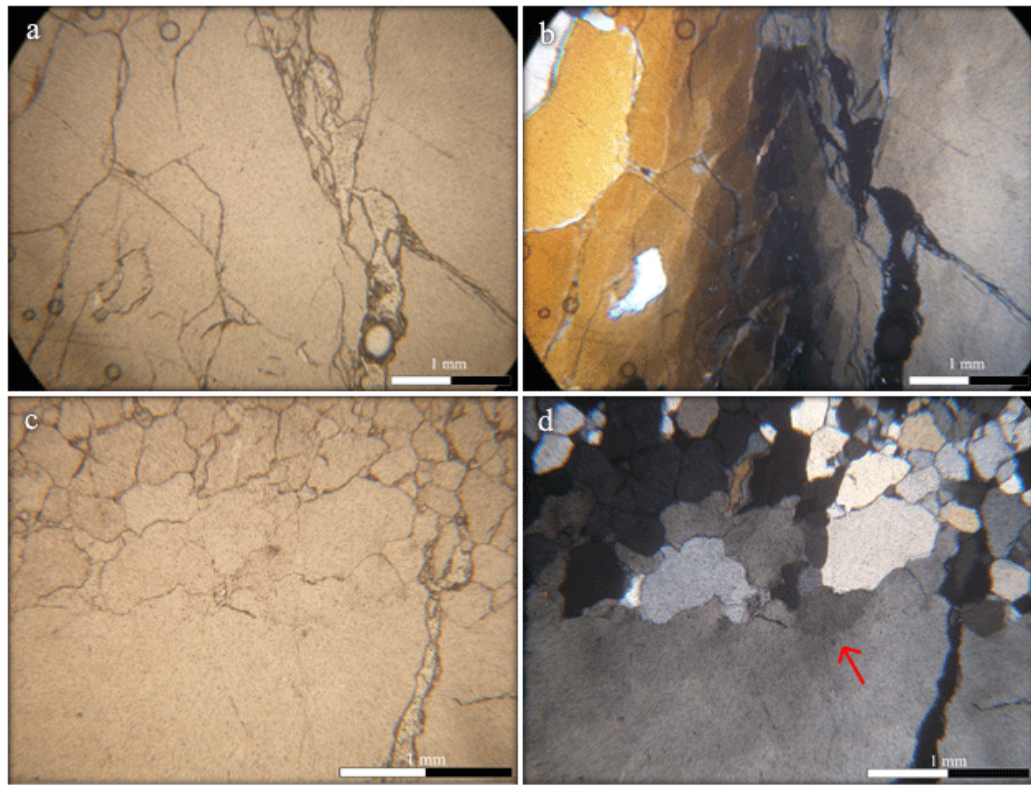


รูปที่ 3.1.2 เปรียบเทียบลักษณะที่ต่างกันของเนื้อหินทั้งสองชนิดในพื้นที่ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะเนื้อหินที่มีปริมาณแร่แผ่นสูง (c) ภาพได้ PPL และ (d) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะเนื้อหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ

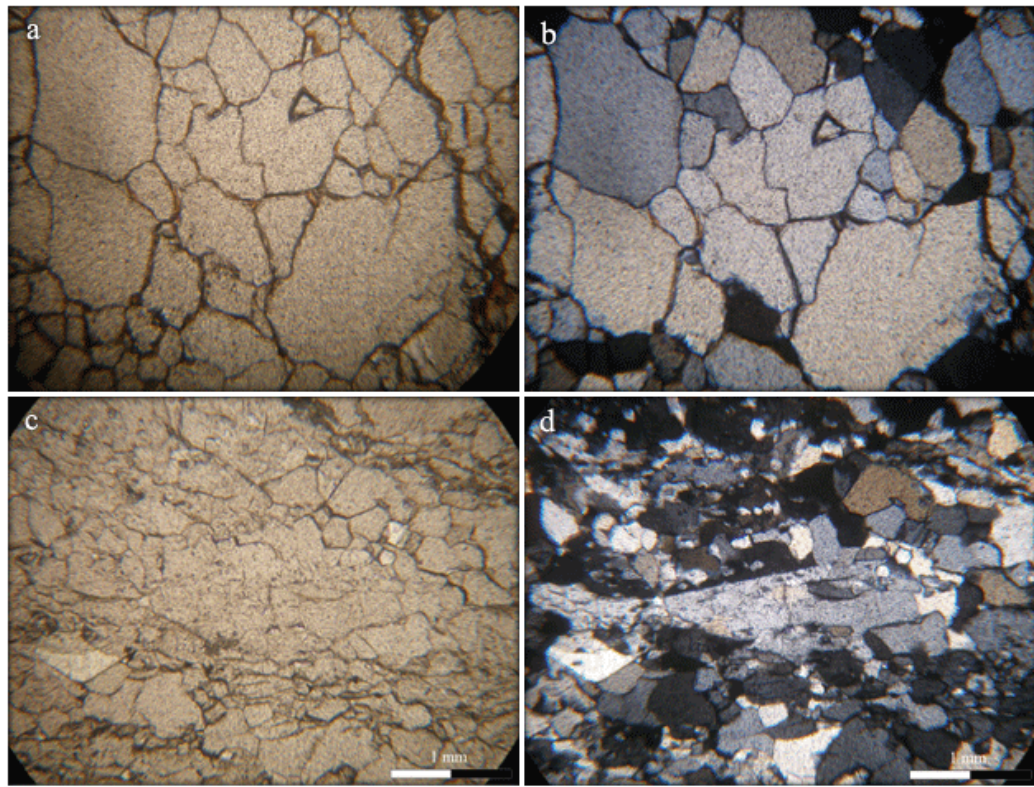
ลักษณะการแปรสภาพของแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ พบลักษณะต่างๆดังนี้ แร่เฟลด์สปาร์ ส่วนใหญ่แสดงลักษณะการแปรสภาพแบบแตกเปาะเป็นสำคัญ โดยเฉพาะเม็ดแร่ที่อยู่ในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นจำนวนมาก มีเพียงบางส่วนที่แสดงลักษณะ รูปผลึกแฝดบิดเบี้ยว(deformed twin) ผลึกแฝดแบบตีบหาย(taper twin) อันดูโลส เอ็กติงชัน(undulose extinction)(รูป 3.1.3) ส่วนในแร่ควอตซ์การแปรสภาพจะแสดงให้เห็นมากกว่าเนื่องจากเป็นแร่ที่มีอุณหภูมิการแปรสภาพต่ำกว่า ส่วนใหญ่การแปรสภาพแบบอ่อนนุ่มมากกว่าแบบแตกเปาะ ลักษณะที่แสดงต่อการแปรสภาพที่พบใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ ได้แก่ อันดูโลส เอ็กติงชัน (undulose extinction) ผลึกแร่ย่อย(sub grain) ขอบผลึกแร่ที่ถูกัน(basal glide)หรือจนเกิดการตกผลึกใหม่เป็นผลึกเล็กๆบริเวณขอบผลึกแร่(bulging) และการตกผลึกใหม่ที่แสดงโดยการเกิดผลึกเล็กๆตัดเข้ามาในแร่เฟลด์สปาร์ที่พบอยู่เฉพาะภายในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ต่างๆแร่ต่างชนิดที่พบภายในเนื้อหิน แสดงโดยรูป 3.1.5 (c) และ 3.1.5 (d)



**รูปที่ 3.1.3** แสดงลักษณะการแปรสภาพของแร่เฟลด์สปาร์ (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะที่พบโดยทั่วไปของแร่เฟลด์สปาร์ในพื้นที่ศึกษาที่โดนดึง บิด แตกออกมาเป็นชิ้นๆ (c) ภาพได้ PPL และ (d) ภาพได้ XPL ผลึกผลัดของแร่เฟลด์สปาร์โดนการแปรสภาพทำให้มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (e) ภาพได้ PPL และ (f) ภาพได้ XPL แนวผลึกผลัดตีบหายไป



รูปที่ 3.1.4 แสดงลักษณะการแปรสภาพภายในผลึกแร่ควอตซ์ (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะอันดูโลส เอ็กติงชัน (c) ภาพได้ PPL และ (d) ภาพได้ XPL ลักษณะของการเริ่มเกิดผลึกแร่ย่อยสังเกตได้ชัดบริเวณกลางภาพ ที่มีลักษณะของขอบผลึกใหม่เกิดขึ้นจางๆ และลักษณะที่ขอบผลึกชัดเจนขึ้นจากล่างขึ้นบน อันเนื่องมาจากการขัดถูกับระหว่างผลึกควอตซ์

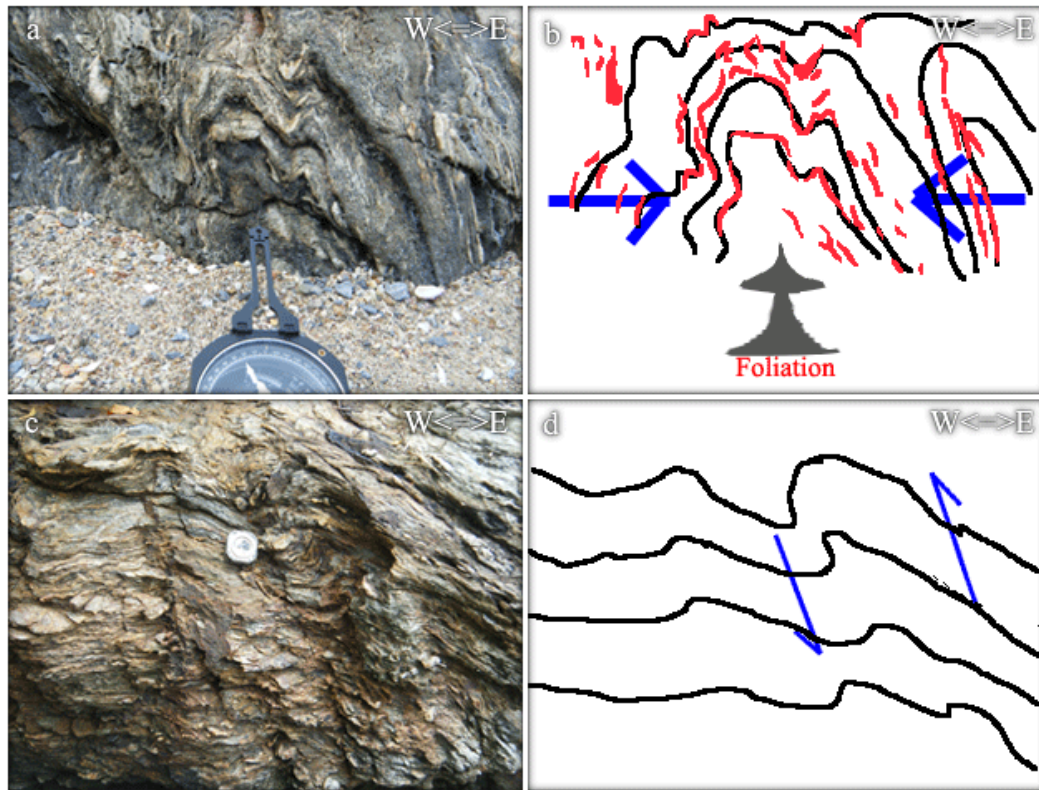


**รูปที่ 3.1.5** แสดงลักษณะการแปรสภาพระหว่างผลึกแร่ควอตซ์ กับแร่ข้างเคียง(a) ภาพได้ PPL และ (a) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะการรูดกันของของผลึกแร่ควอตซ์ สังเกตได้จากคราบสีดำบริเวณขอบผลึก(Basal Glide) บางส่วนเกิดการตกผลึกใหม่ เป็นผลึกเล็กๆระหว่างผลึกแร่ ที่เรียกว่า Bulging (c) ภาพได้ PPL และ (d) ภาพได้ XPL แสดงการเกิดผลึกใหม่ของแร่ควอตซ์ตัดเข้าไปในผลึกแร่เฟลด์สปาร์เดิม

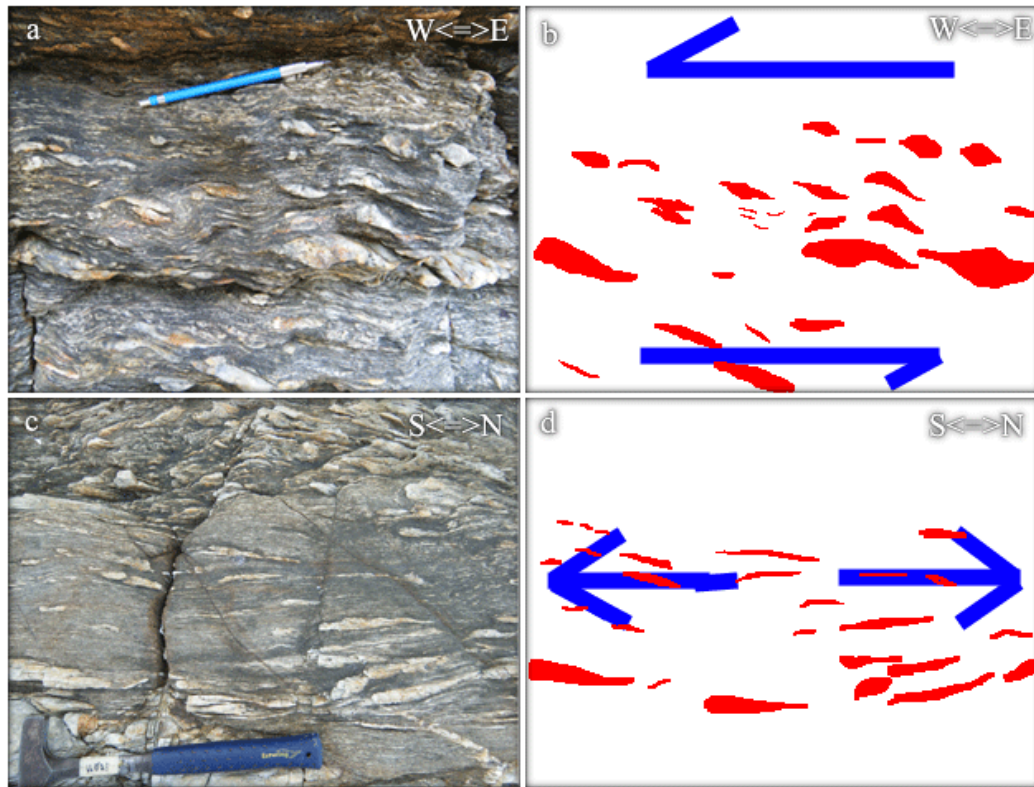
### 3.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

ภายในเนื้อหินชนิดที่มีปริมาณแร่แผ่นสูงที่พบในภาคสนามพบ ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างได้แก่ ชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กจำนวนมากที่แสดงโดยเนื้อหินปริมาณแร่แผ่นสูง(รูป3.2.1 (a)) และลักษณะการยึดและลักษณะการเฉือน ภายในเนื้อหินที่แสดงให้เห็นโดยริ้วขนาน และควอตซ์ ซึ่งลักษณะการเฉือนดังกล่าวมีความแตกต่างกันเมื่อสังเกตเนื้อหินในสองแนว คือ เมื่อสังเกตในแนวเหนือ-ใต้ จะสามารถสังเกตเห็นได้ทั้งลักษณะการยึดและการเฉือนในเนื้อหิน แต่ลักษณะของการเฉือนในเนื้อหินจะเด่นกว่าการยึด แต่เมื่อสังเกตในแนว ตะวันออก-ตะวันตก ลักษณะการยึดจะเด่นกว่า และแสดงลักษณะการเฉือนเพียงเล็กน้อย ลักษณะทั้งสองที่กล่าวมาจะสามารถสังเกตเห็นได้เฉพาะในบริเวณเนื้อหินชนิดที่มีแร่แผ่นอยู่ในปริมาณสูง ดังที่แสดงในรูป 3.2.1



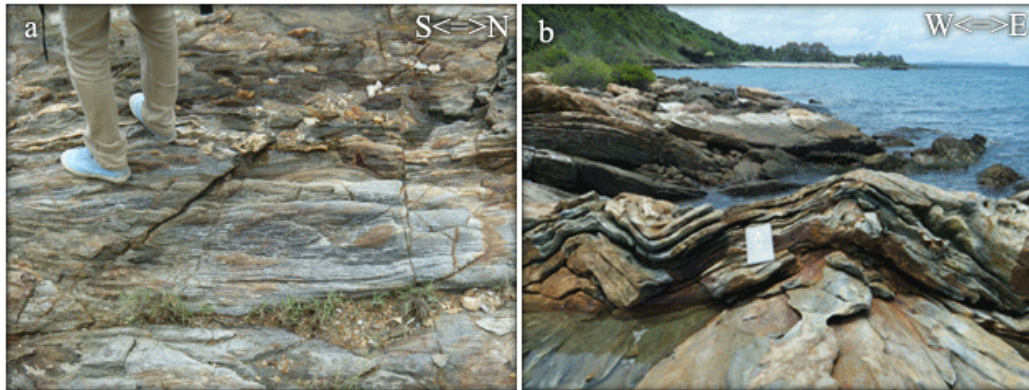


รูปที่ 3.2.1 แสดงลักษณะการโค้งของแนวริ้วขนาด ที่สังเกตได้จากภาคสนาม (a) ภาพถ่ายภาคสนาม ลักษณะชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กที่อยู่บริเวณชายหาดแหลมหน้าตอนใน (b) ภาพวาดแสดงลักษณะที่ปรากฏอยู่ใน (a) เส้นสีดำใช้แทนริ้วขนาน สีแดงใช้แทนลิ่มควอตซ์ สีเทาระบุทิศทางแนวเส้นการยืด และสีน้ำเงินแสดงแรงเฉือนในแนวระดับเป็นแรงองค์ประกอบนอกเหนือจากแรงบีบอัดที่ทำให้เกิดชั้นหินคดโค้ง (c) ภาพถ่ายภาคสนาม แสดงลักษณะการเฉือนในแนวระดับภายในเนื้อหิน (d) ภาพวาดแสดงลักษณะเนื้อหินถูกเฉือน เส้นสีดำใช้แทนแนวระนาบริ้วขนานที่โค้งงอจากแรงเฉือนที่มีทิศทางตามลูกศรสีน้ำเงิน



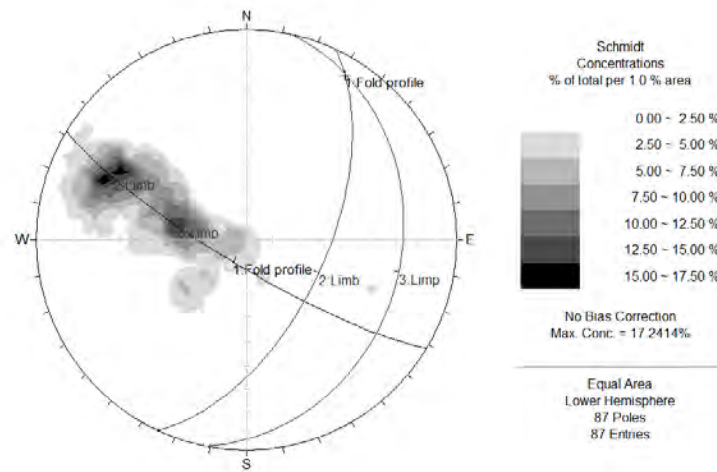
รูปที่ 3.2.2 ลักษณะของลิ่มควอตซ์ในเนื้อหินที่สามารถใช้บอกการเคลื่อนที่ของเนื้อหินและลักษณะของแรงที่กระทำได้ (a) ลิ่มควอตซ์รูปตา ที่เกิดจากการดึงยึดออก แสดงการเฉือนในแนวระดับ (b) ภาพวาดจากรูป (a) แสดงให้เห็นลักษณะของลิ่มควอตซ์ซึ่งแทนด้วยสีแดง และทิศทางการเฉือนแสดงด้วยลูกศรสีน้ำเงิน (c) ลิ่มควอตซ์โดนยึดเป็นริ้วยาว (d) ภาพวาดจากรูป (c) แทนลักษณะลิ่มควอตซ์ที่ถูกยึดด้วยสีแดง ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อแรงที่มากกระทำแทนด้วยลูกศรสีฟ้า

ลักษณะที่สังเกตในเนื้อหินชนิดที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำที่พบ ในภาคสนามลักษณะทางธรณีวิทยา โครงสร้าง แสดงให้เห็นริ้วขนาน และแนวเส้นการยึดอยู่บนชั้นหินคดโค้งเป็นลอนเล็กน้อย ที่สามารถสังเกตได้ บริเวณที่หินชนิดที่มีปริมาณแร่แผ่นน้อย สลับกับหินชนิดที่มีปริมาณแร่แผ่นสูงบริเวณใกล้กับปลายสุดของแหลมหญ้า ดังที่แสดงในรูป 3.2.2

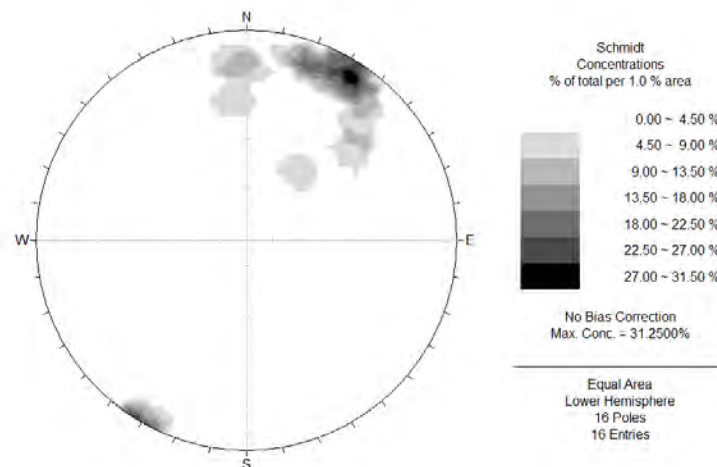


**รูปที่ 3.2.3** แสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในภาคสนาม ในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ (a) แนวเส้นการยัดในแนวทิศเหนือ-ใต้ (b) ชั้นหินคดโค้งเป็นลอนคลื่นเล็กน้อยบริเวณปลายแหลมหญ้า บริเวณมุมล่างขวาของภาพแสดงแนวเส้นการยัดอยู่ในทิศเหนือ-ใต้

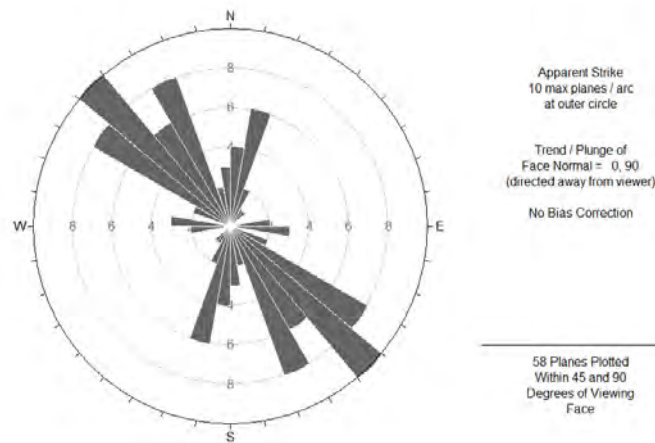
พื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยหินแปรจึงมีลักษณะระนาบของริ้วขนาน แนวเส้นการยัด เป็นลักษณะที่สามารถพบได้ชัดเจนตลอดทั่วทั้งบริเวณพื้นที่เขาแหลมหญ้า ทั้งในหินที่มีปริมาณแร่แผ่นต่ำ และหินที่มีปริมาณแร่แผ่นสูง ริ้วขนาดของหินในพื้นที่สามารถสังเกตได้ค่อนข้างชัดเจนเป็นระนาบที่วางตัวในแนวเกือบจะอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และมีมุมเอียงเทไปทางตะวันออกด้วยมุมต่ำ ซึ่งข้อมูลจากภาคสนามเมื่อนำมาพล็อตลงไปในสเตอริโอเน็ตจะเห็นความสัมพันธ์กัน ค่าการวางตัวของริ้วขนานกระจายตัวเห็นเป็นแนวโค้งต่อเนื่องกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในสเตอริโอเน็ตตามรูป 3.3.1 แนวเส้นการยัดวางตัวอยู่ในแนวเดียวกับระนาบริ้วขนาน ซึ่งแสดงในสเตอริโอเน็ตตามรูป 3.3.2



รูป 3.3.1 สเตอริโอเน็ตครึ่งทรงกลมล่าง แสดงการกระจายตัวของข้อมูลการวางตัวของริ้วขนาน (foliation) ข้อมูลกระจายตัวหนาแน่นแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม วางตัวอยู่บนระนาบ 210/80 เดียวกัน การวางตัวของระนาบกลุ่มข้อมูลดังกล่าวคือ ระนาบหมายเลข 2 วางตัว 115/59 ระนาบหมายเลข 3 วางตัว 109/27 ระนาบทั้งสองตัดกันที่ 030/10 ซึ่งเป็นแกนของระนาบ 210/80



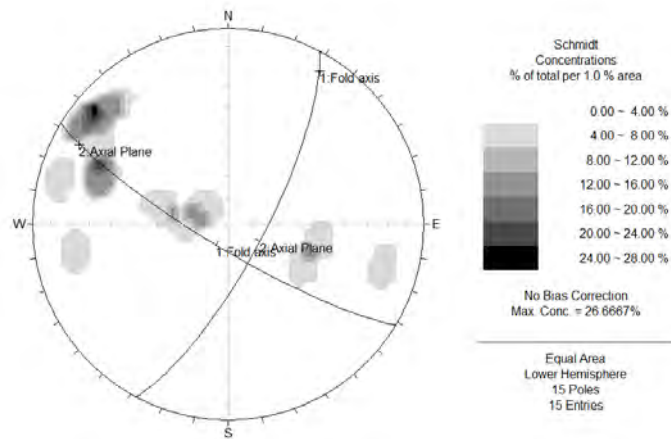
รูป 3.3.2 สเตอริโอเน็ตครึ่งทรงกลมล่างแสดงการกระจายตัวของข้อมูลการวางตัวของแนวเส้นการยืด (Stretching Lineation) ส่วนใหญ่การกระจายตัวอยู่ในบริเวณ 032/9



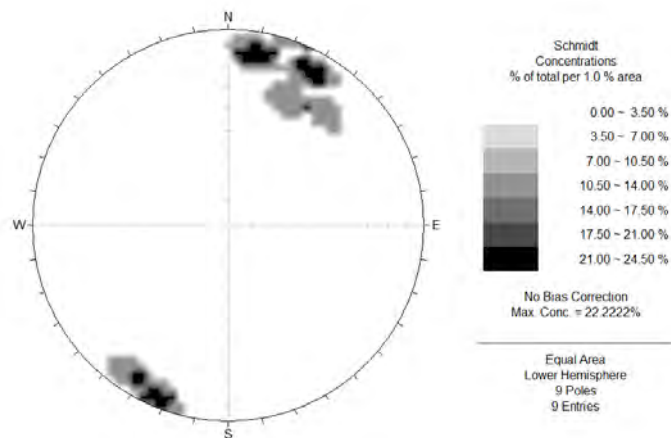
รูป 3.3.3 โรสไดอะแกรม แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแนวรอยแตกมีระบบ ประกอบด้วยแนวโน้มหลักสองแนว คือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และแนวเกือบเหนือใต้

แนวแตกเมื่อดูจากภาคสนามแล้วนั้น สามารถแบ่งออกเป็นแนวได้ 3 แนว เมื่อวัดค่าการวางตัวของแนวทั้งสามแนว โดยความถี่ของข้อมูลตามปริมาณความถี่ของแนวแตก สามารถพล็อตลงไปในสเตอริโอเน็ต ได้ดังแสดงในสเตอริโอเน็ตตามรูป 3.3.3 แนวแตกหลักวางตัวในแนว NW-SE ที่มีมุมค่อนข้างมีการแกว่งของค่าทิศทางการวางตัว แนวที่สองคือแนว NNE-SSW ซึ่งขนานไปกับแนวเส้นการยึด และแนวที่สามซึ่งพบเจอได้น้อยวางตัวในแนว E-W

ชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กในเนื้อหินบริเวณชายหาดตอนในของแหลมหญ้าพับซ้อนกันไปมาที่สามารถสังเกตในภาคสนามได้ว่าขนานกันในแนวเกือบจะเหนือใต้ เมื่อวัดค่าระนาบแนวชั้นหินคดโค้งและ แกนของชั้นหินคดโค้ง นำมาพล็อตในสเตอริโอเน็ต จะได้แนวการวางตัวได้ในแนวชั้นหินคดโค้ง NNW-SSE และมีมุมเอียงเทมุมสูงเอียงไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ดังแสดงในสเตอริโอเน็ตดังรูปที่ 3.3.4 และแกนชั้นหินคดโค้งที่พุ่งไปทางทิศเหนือเบนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเล็กน้อย และมีมุมตกลงมาประมาณ 10 องศา ดังแสดงในสเตอริโอเน็ตดังรูปที่ 3.3.5 แต่เนื่องจากลักษณะการโค้งพับของชั้นหินคดโค้งนั้นสามารถสังเกตได้เฉพาะในบริเวณชายหาดด้านในของแหลมหญ้าข้อมูลในส่วนนี้จึงใช้เป็นส่วนเสริม



รูปที่ 3.3.4 แสดงการกระจายตัวการวางตัวของระนาบแนวชั้นหินคดโค้ง (Axial plane) มีระนาบ 118/75 เป็นระนาบการวางตัวหลักของชั้นหินคดโค้งในพื้นที่ศึกษา



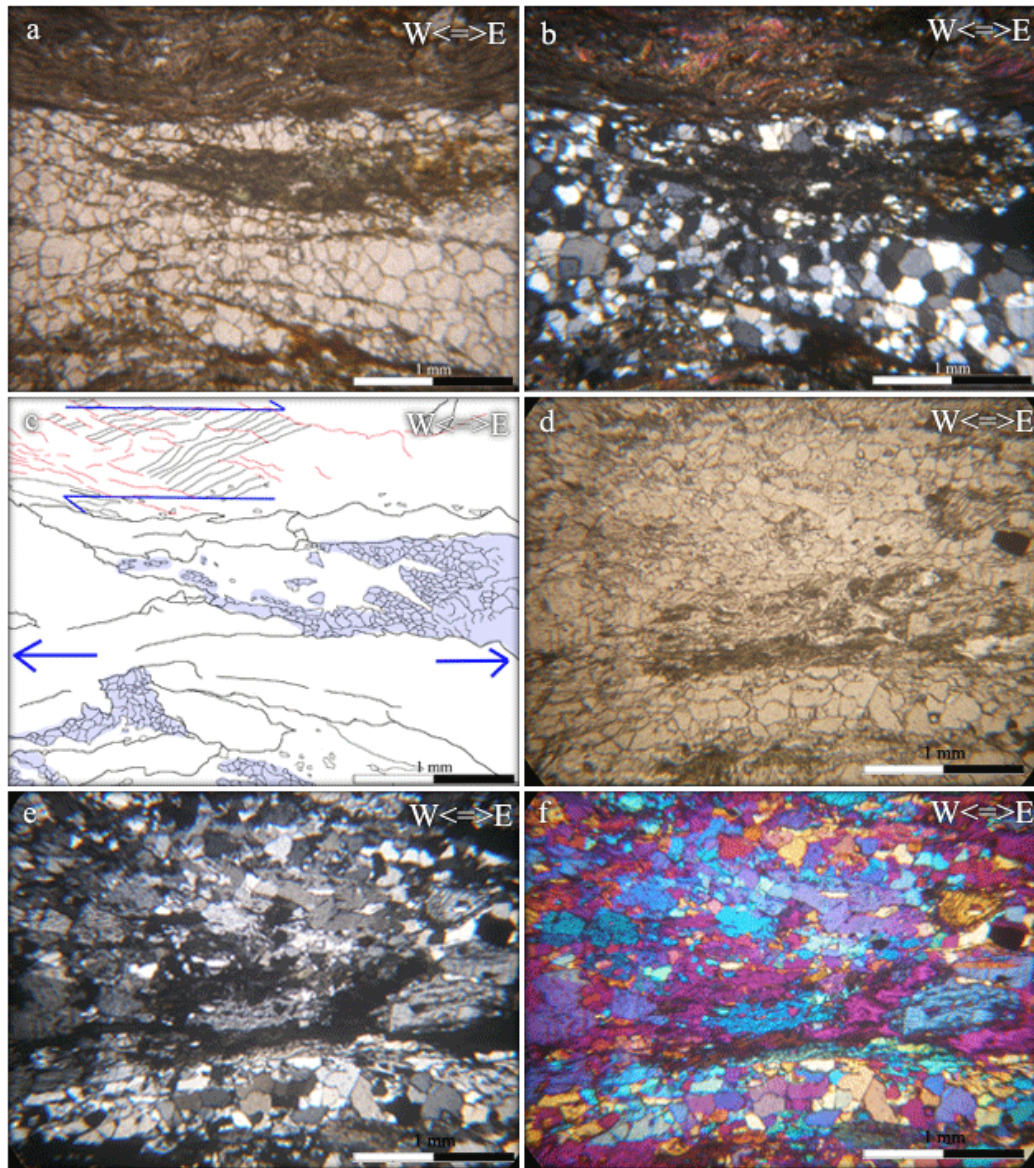
รูปที่ 3.3.5 แสดงการกระจายตัวข้อมูลแนวแกนของชั้นหินคดโค้ง (fold axis) แบ่งการกระจายตัวหลักออกเป็นสามแนว คือ 008/12, 029/11 และ 202/6

### 3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้างจุลภาค

ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่บอกถึงการเคลื่อนที่ของเนื้อหินภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ มีทั้งลักษณะที่มีทั้งแบบเปราะ และแบบอ่อนนุ่ม ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ แร่แผ่นแสดงลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างแบบยึด ทั้งลักษณะแบบเอส-ซี (S-C) ลักษณะเอส-ซีพาม (S-C') แสดงทิศทางการเฉือนทั้งตามแนวแรงหลัก ละแรงย่อยในระบบ และยังแสดงลักษณะของชั้นหินคดโค้งขนาดเล็ก แร่ควอตซ์แสดงลักษณะการ

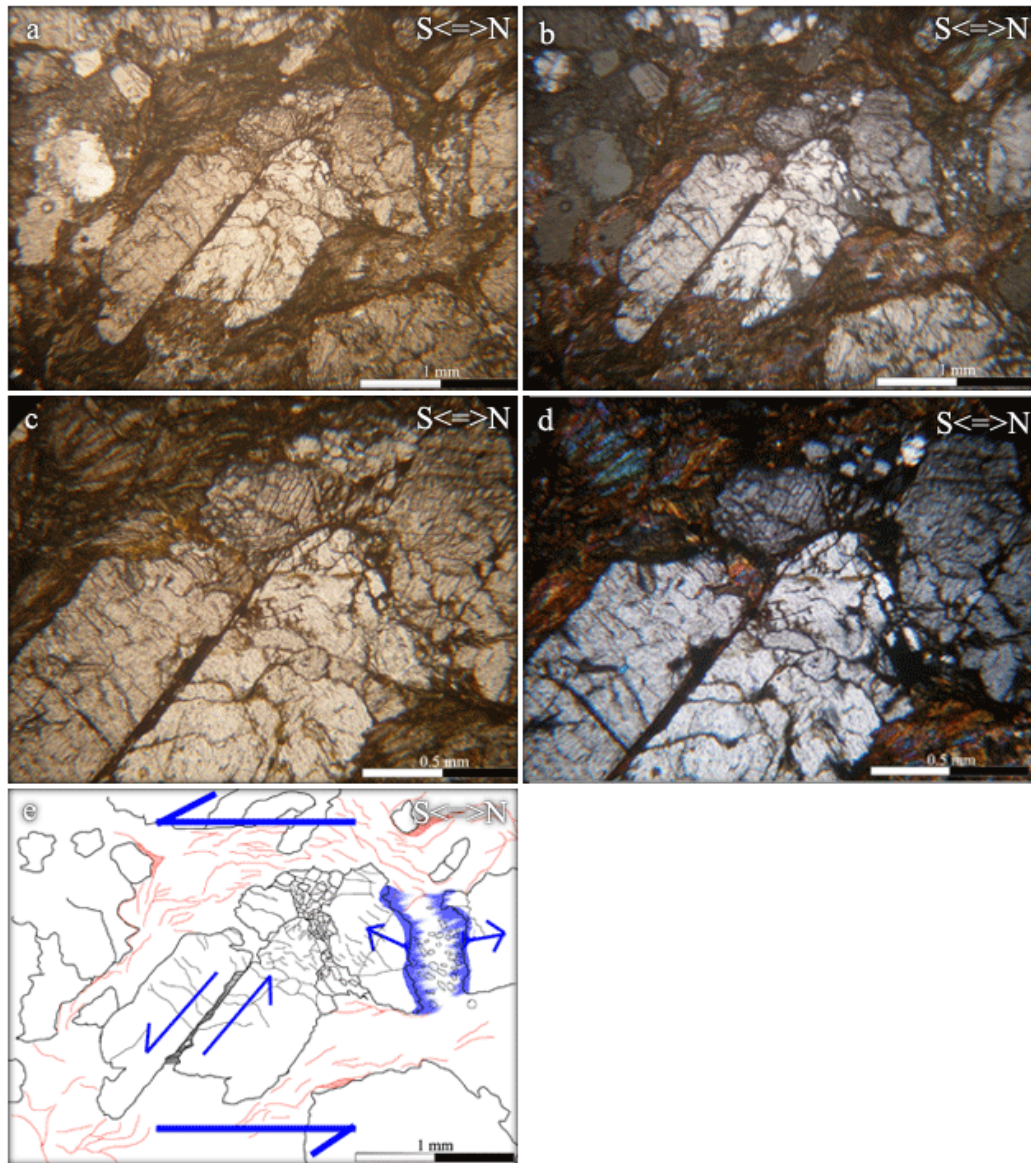
ยึดเป็นสำคัญ แดกเปราะเล็กน้อย (รูป 3.2.3(a) และ (b)) และมีบางส่วนที่มีการเรียงตัวของแกนแสงไปในทิศทางเดียวกัน ดังที่แสดงในรูป 3.2.3(f) ซึ่งเป็นผลึกควอตซ์ที่เกิดขึ้นมาใหม่ระหว่างการแปรสภาพ และแร่เฟลด์สปาร์ที่แสดงลักษณะที่เกิดจากการแตกเปราะทั้งหมด ได้แก่การแตกแยกออกเป็นชิ้นๆ ที่สามารถตีความการเคลื่อนที่ในเนื้อหินได้ (รูป 3.2.4 )

นอกจากนั้นยังมีลักษณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ที่แสดงโดยปฏิสัมพันธ์ของแร่ที่ต่างชนิดกันในเนื้อหิน ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์หมุนตัวในแถบแร่แผ่น แถบแร่ควอตซ์บิดตัวเคลื่อนที่บิดแร่แผ่น แร่เฟลด์สปาร์ถูกกดให้จมตัวลงไปในกลุ่มแร่ควอตซ์ ดังที่แสดงในรูป 3.2.4

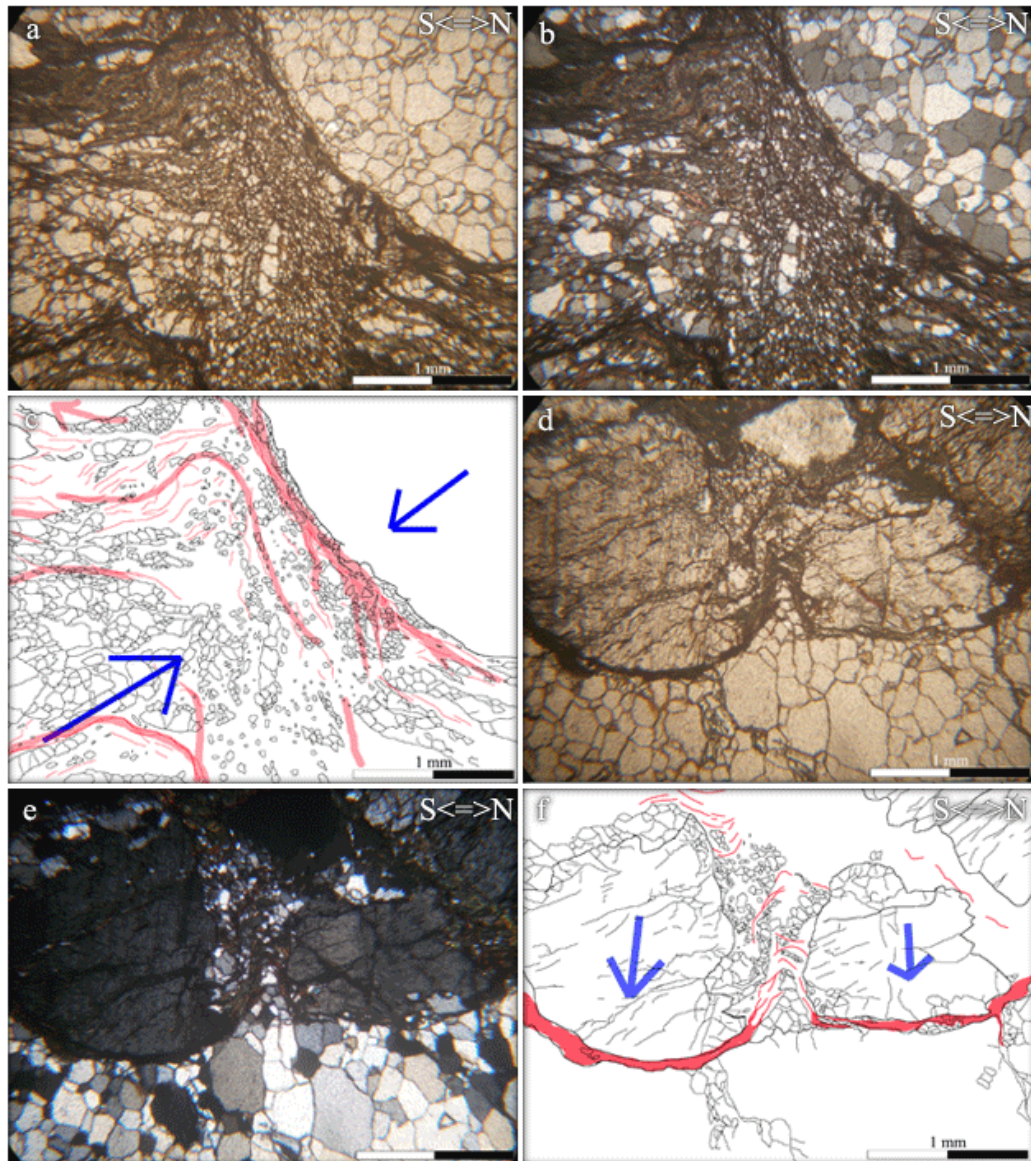


รูปที่ 3.2.4 แสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่บ่งบอกการเคลื่อนที่ในเนื้อหิน (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL บริเวณกลางภาพแสดงลักษณะที่ลิ้มควอตซ์ยึดออกมีบางส่วนที่แยกป็นออกไปในบริเวณที่มีแร่แผ่น และ บริเวณด้านบนของภาพ แสดงลักษณะการเรียงตัวของแร่แผ่นเป็นลักษณะแบบ S-C' (c) ภาพวาดแสดงลักษณะที่พบในรูป (a) และ (b) พร้อมทั้งแสดงทิศทางของแรงที่ส่งผลต่อการเกิดลักษณะดังกล่าวด้วยลูกศรสีน้ำเงิน บริเวณที่แร่งาเป็นสีน้ำเงินอ่อน เป็นบริเวณที่ควอตซ์โดยเฉือนแตกออกไปปนในกลุ่มแร่แผ่น (d) ภาพได้ PPL และ (e) ภาพได้ XPL บริเวณกลางภาพแสดงลักษณะของแร่ควอตซ์เกิดใหม่ตัดเข้าไปในเนื้อหินเดิมมีลักษณะเป็นเส้นเล็ก มีลักษณะคล้ายสายแร่ที่ขอบไม่เป็นเส้นตรง (f) ภาพได้ XPL เมื่อใส่แผ่นยิปซัม แสดงลักษณะของสายแร่ควอตซ์เกิดใหม่ที่ผลึกส่วนใหญ่แสดงลักษณะที่แผ่นยิปซัมเสริมความยาวคลื่น





รูปที่ 3.2.5 (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะรอยเลื่อนเล็กๆของแร่เฟลด์สปาร์ในเนื้อหิน (c) ภาพได้ PPL และ (d)ภาพได้ XPL ภาพขยายจากรูป (a) และ (b) แสดงบริเวณด้านบนของภาพที่แร่เฟลด์สปาร์สองผลึกชน เบียดกันจนผลึกด้านบนแตกออก (e) ภาพวาดแสดงลักษณะที่พบในรูป (a) และ (b) พร้อมทั้งแสดงทิศทางของแรงที่กระทำให้เกิดลักษณะต่างๆโดยลูกศรสีน้ำเงิน บริเวณแถบแรงเงาสีน้ำเงินแสดงถึงบริเวณที่แร่เฟลด์สปาร์ถูกดึงให้แตกแยกออกจากกัน เส้นสีแดงหมายถึงแนวแตกเรียบ(cleavage) ลูกศรสีน้ำเงินขนาดเล็กแสดงการเคลื่อนที่ในเนื้อหิน และลูกศรสีน้ำเงินอันใหญ่แสดงแนวการเฉือนที่ทำให้เกิดลักษณะภายในเนื้อหิน



รูปที่ 3.2.6 แสดงลักษณะของแร่ในหินที่บ่งบอกการเคลื่อนที่ของเนื้อหิน (a) ภาพได้ PPL และ (b) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อหินอันเนื่องมาจากแรงเฉือน สังเกตการเคลื่อนที่ได้จากแนวแตกเรียบ ตามแนวมุมซ้ายบนของภาพไปยังมุมขวาล่างของภาพ (c) ภาพวาดแสดงลักษณะภายในรูป (a) และ (b) แสดงแนวแตกเรียบด้วยเส้นสีแดง แนวแตกเรียบเกิดจากแรงบีบอัดที่เป็นแรงองค์ประกอบของการเฉือนแสดงโดยลูกศรสีน้ำเงินอ่อน (d) ภาพได้ PPL และ (e) ภาพได้ XPL แสดงลักษณะเม็ดแร่เฟลด์สปาร์ต้นตัวเข้ามาในกลุ่มแร่ควอตซ์ เห็นเป็นแนวแตกเรียบที่เกิดจากการละลายของแร่อย่างชัดเจน (f) ภาพวาดลักษณะที่พบเห็นในรูป (d) และ (e) แสดงการแตกบริเวณที่ผลึกแร่บดขยี้กัน แนวแตกเรียบแทนด้วยเส้นสีแดง แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ และการเฉือนโดยลูกศรสีน้ำเงิน

## บทที่ 4

### 4.1 ธรณีวิทยา และสภาวะการแปรสภาพ

ลักษณะหินที่แสดงความแตกต่างของปริมาณแร่แผ่นปรากฏเป็นขอบเขตที่ชัดเจนขนานกับริ้วขนาน เป็นผลมาจากองค์ประกอบของหินตั้งต้นก่อนการแปรสภาพมีความแตกต่างกันทางด้านองค์ประกอบ ลักษณะที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันเป็นชั้น คูคล้ายกับลักษณะของหินจำพวกหินตะกอน ประกอบด้วยแร่ภายในเนื้อหิน เป็นแร่ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ มัสโคไวท์ ยังเป็นแร่ที่มักพบในหินตะกอนเนื้อเม็ด จากขนาดของแร่เฟลด์สปาร์ที่ไม่มีการโดนแปรสภาพขนาดอยู่ในช่วง ขนาด 1-3 มิลลิเมตร จึงคาดว่าหินต้นกำเนิดของหินในพื้นที่ศึกษาเป็นหินทราย

หินต้นกำเนิดเป็นพวกหินตะกอน ประกอบด้วยแร่ที่พบในหินอันได้แก่ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ มัสโคไวท์ และคลอไรท์ เมื่อนำมาพิจารณาตามตาราง 4.1 แร่ในหินแปรที่แปรมาจากพวกหินตะกอน ถ้ามีแร่พวกมัสโคไวท์ และคลอไรท์ เด่น จะอยู่ในกลุ่มการแปรสภาพระดับกรีนชีทต์ และกลุ่มดังกล่าวยังสามารถพบไบโอไทต์ ในเนื้อหินได้บ้างอีกด้วย ซึ่งในหินตัวอย่างพบแร่ไบโอไทต์ ที่ยังไม่สร้างผลึกสมบูรณ์

การแปรสภาพของแร่ชนิดต่างๆเพื่อระบุสภาวะอุณหภูมิการแปรสภาพ โดยทำการศึกษาลักษณะภายในแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์ แร่สองชนิดที่ที่แร่หลักของหินแปรในพื้นที่ ได้ว่า ในแร่ควอตซ์ลักษณะการแปรสภาพภายในผลึกแร่ที่พบได้แก่ อันดูลอส เอ็กติงชัน(undulose extinction) ผลึกย่อย(sub grain) และลักษณะการแปรสภาพระหว่างผลึกแร่ ได้แก่ ลักษณะการขจัดที่ผิวผลึก(basal glide) การเกิดเป็นผลึกเล็กๆกินเข้าไปในแร่อื่น(bulging) ลักษณะของการแปรสภาพแบบแตกเปราะพบได้น้อย อยู่ในวงจำกัดเฉพาะหินบริเวณที่มีปริมาณแร่แผ่นสูงเท่านั้น เนื่องจากบริเวณนี้มีหินมีความอ่อนนิ่มจึงทำให้การเคลื่อนที่ในเนื้อหินตอบสนองต่อแรงมากตามไปด้วย ลักษณะดังกล่าวสามารถระบุได้ว่าแร่ควอตซ์ในพื้นที่ศึกษาแปรสภาพในสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า 300 °C แร่ควอตซ์ที่พบแสดงลักษณะของการตกผลึกใหม่ที่ไม่ชัดเจนอุณหภูมิจึงไม่เกิน 400 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ลักษณะของการตกผลึกใหม่ของแร่ควอตซ์กลายเป็นลักษณะเด่น

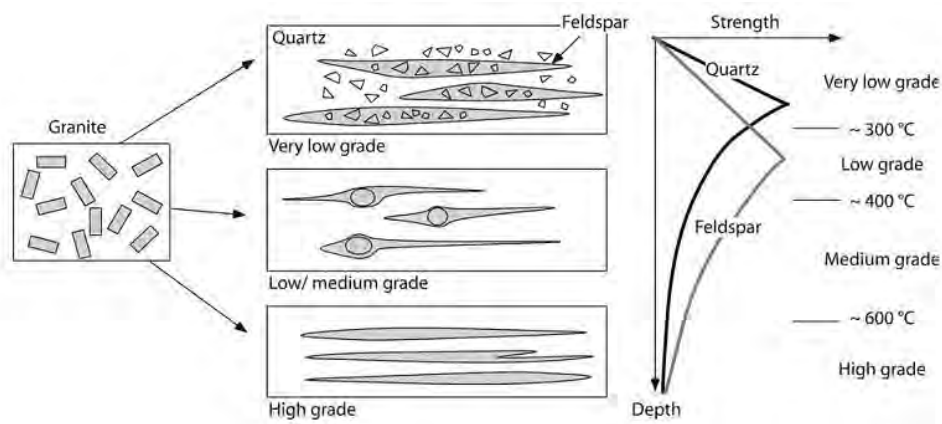
ตารางที่ 4.1 จำแนกกลุ่มการแปรสภาพโดยอาศัยแรงสำคัญจากหินต้นกำเนิดแต่ละชนิด โดยอิงจากกลุ่มขององค์ประกอบทางเคมีของหิน ครอบคลุมในตารางแสดงบริเวณที่ตัวบ่งชี้สอดคล้องกับหินในพื้นที่ (after Best, 2003)

FACIES	MAFIC ROCKS (ALL ASSEMBLAGES ± Fe-Ti OXIDES)	PELITIC ROCKS (ALL ASSEMBLAGES ± QUARTZ ± Fe-Ti OXIDES)	QUARTZ-FELDSPATHIC ROCKS (ALL ASSEMBLAGES ± QUARTZ ± Fe-Ti OXIDES)	CALCAREOUS AND CALC-SILICATE ROCKS
Zeolite	Laumontite; heulandite	Mixed-layer clays		Calcite, dolomite, quartz, talc, clays
Prehnite-pumpellyite	Prehnite + pumpellyite ± chlorite ± albite ± epidote; actinolite takes place of prehnite at higher <i>T</i> ; lawsonite + albite + chlorite occurs at higher <i>P</i>	White mica/illite + chlorite + albite ± stilpnomelane	Heulandite + analcite and laumontite + albite (wairakite may occur in lieu of heulandite; some rocks contain chlorite) Albite + chlorite ± pumpellyite ± prehnite ± stilpnomelane ± white mica ± titanite ± epidote ± carbonate; actinolite takes place of prehnite at higher <i>T</i> ; lawsonite is stable at higher <i>P</i>	Calcite, prehnite, albite, quartz, chlorite
Greenschist	Albite + chlorite + actinolite + epidote + titanite ± quartz ± white mica ± calcite; stilpnomelane is widespread at lower <i>T</i> and biotite at higher <i>T</i> where hornblende also occurs	Muscovite + chlorite ± albite ± paragonite ± graphite ± rutile ± magnetite ± hematite ± carbonate ± epidote ± K-feldspar ± Fe-Ti oxides ± stilpnomelane (low Al) ± pyrophyllite ± chloritoid (the latter two in high-Al rocks); + biotite in the biotite zone; + almandine-rich garnet in the garnet zone	Albite + epidote ± muscovite + chlorite ± titanite ± stilpnomelane ± actinolite; biotite is stable at higher <i>T</i>	Calcite, dolomite, quartz, muscovite, albite, K-feldspar, chlorite, zoisite
Amphibolite	Hornblende + oligoclase ± epidote ± almandine-rich garnet ± titanite ± biotite ± chlorite ± quartz	Biotite ± muscovite ± plagioclase ± almandine-rich garnet ± cordierite ± aluminosilicate ± chlorite ± alkali feldspar ± magnetite ± graphite; + staurolite in the staurolite zone; + kyanite in the kyanite zone; + sillimanite in the sillimanite zone	Plagioclase + alkali feldspar + biotite ± muscovite ± hornblende	Calcite, dolomite, quartz, diopside, tremolite, forsterite, grossular, anorthite, hornblende, clinzoisite
Granulite	Plagioclase + clinopyroxene + orthopyroxene ± hornblende ± olivine (low <i>P</i> ); Plagioclase + clinopyroxene + orthopyroxene + garnet ± hornblende (medium <i>P</i> ); Plagioclase + clinopyroxene + garnet ± quartz ± hornblende (high <i>P</i> )	Alkali feldspar ± plagioclase ± scapolite ± cordierite ± garnet ± rutile ± ilmenite ± magnetite ± graphite ± olivine ± corundum ± spinel ± kyanite (high <i>P</i> ) ± sillimanite (moderate <i>P</i> ); Orthopyroxene + sapphirine (high <i>T</i> )	Alkali feldspar + plagioclase + garnet ± kyanite ± orthopyroxene ± clinopyroxene ± hornblende ± magnetite ± ilmenite	Calcite, dolomite, quartz, diopside, scapolite, anorthite, forsterite, wollastonite, graphite
Blueschist	Glaucophane + lawsonite ± aragonite ± jadeitic clinopyroxene ± chlorite ± albite ± titanite ± pumpellyite ± actinolite or hornblende ± stilpnomelane ± epidote ± garnet	Glaucophane + lawsonite ± albite ± phengite ± paragonite ± garnet ± chlorite ± epidote ± kyanite ± chloritoid ± titanite	Jadeitic clinopyroxene + lawsonite + muscovite + chlorite + titanite ± glaucophane	Aragonite, calcite
Eclogite	Omphacite + pyrope-rich garnet ± kyanite ± rutile ± quartz or coesite	Pyrope-rich garnet + carpholite + phengite + chloritoid + chlorite + kyanite ± coesite	Essentially as granulite facies	Essentially as granulite facies ± vesuvianite ± wollastonite
Pyroxene hornfels	Essentially as granulite facies	Essentially as granulite facies but andalusite is typical aluminosilicate; cordierite + biotite tends to be more stable than almandine garnet, except where Fe <sup>2+</sup> /Mg is high; silica deficient rocks contain spinel, corundum, and alkali feldspar in lieu of an aluminosilicate		
Sanidinite	Near subsolidus basalt assemblage	Sanidine, tridymite, cordierite, mullite (3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O), glass, clinopyroxene, spinel, corundum (in silica-poor rocks)	Sanidine, tridymite, cordierite, glass, clinopyroxene	Anorthite + wollastonite ± diopside in silica-rich rocks; calcite, wollastonite, melilitite (Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ), larnite (Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ), merwinite (Ca <sub>3</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ), monicellite in silica-poor rocks

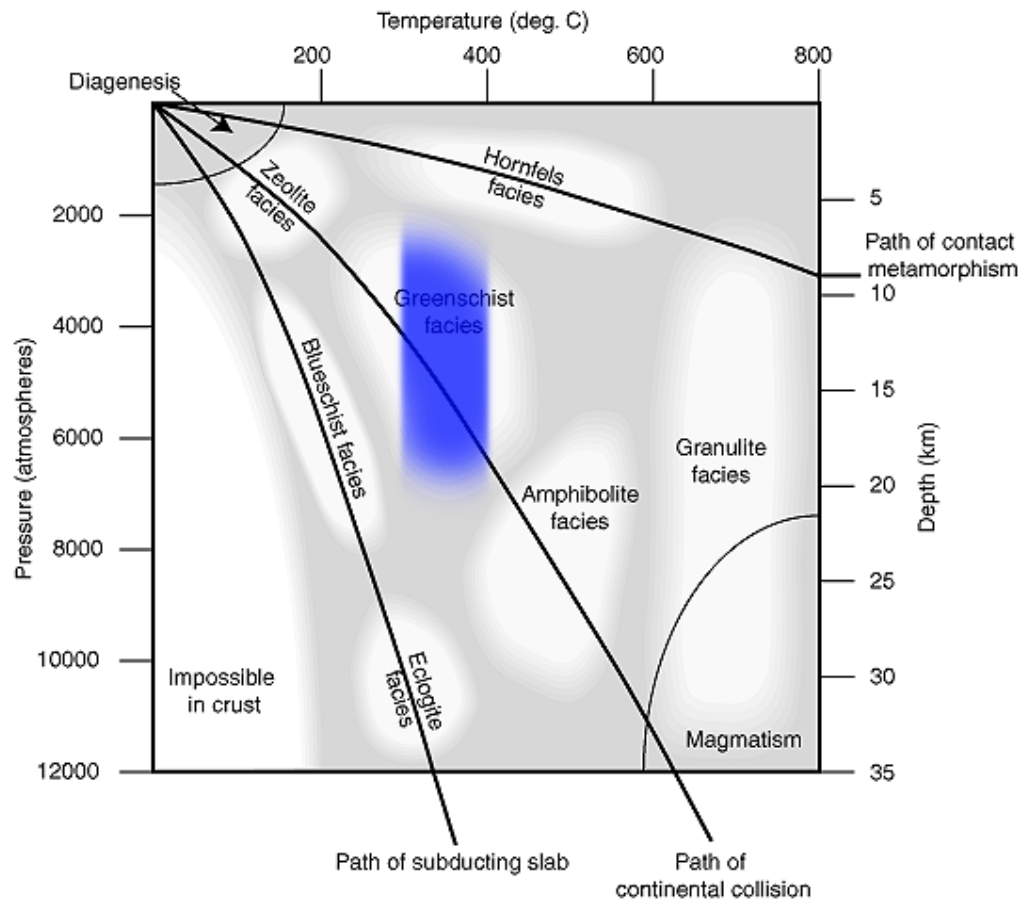
From Turner (1981), Yardley (1989), and Blatt and Tracy (1996). Stable diagnostic mineral assemblages are denoted by \*; \* in listing, possible additional stable phases in assemblage by ±; otherwise the list only indicates likely minerals. Quartz-feldspathic rocks include siliceous magmatic rock protoliths as well as feldspathic/feltic sandstones and are related volcanoclastic deposits.

\*Plagioclase is usually more calcic than about An<sub>74</sub> but a stably coexisting albite (An<sub>25</sub>) has also been reported because of the existence of a narrow solvus in sodic plagioclases.

การศึกษาลักษณะการแปรสภาพของแร่ควอตซ์ และแร่เฟลด์สปาร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ เพื่อบ่งชี้สภาวะอุณหภูมิของการแปรสภาพ ในเรื่องการให้ลักษณะของ เฟลด์สปาร์มีแสดงลักษณะที่แสดงให้เห็น ส่วนใหญ่เป็นการแปรสภาพแบบแตกเปราะ แสดงลักษณะการแปรสภาพภายในผลึกเฟลด์สปาร์ที่พบ ได้แก่ ผลึกแฝดที่โดนแปรสภาพเป็นเส้นโค้ง (deformation twin) ผลึกแฝดที่มีลักษณะตีบหายไป (taper twin) และอันคูโลส เอ็กติงชันซัน (undulose extinction) จากลักษณะของการแปรสภาพดังกล่าวของแร่เฟลด์สปาร์จะสามารถบอกอุณหภูมิของการแปรแต่ว่า เกิดการแปรที่อุณหภูมิต่ำ ประมาณ ไม่เกิน 400 °C และจากที่เริ่มมีลักษณะของการแปรสภาพภายในผลึกเฟลด์สปาร์ แสดงว่าระบบการแปรสภาพนี้อยู่บริเวณใกล้ๆ อุณหภูมิ 400 °C ในการศึกษาลักษณะการแปรสภาพเพื่อระบุสภาวะอุณหภูมิการแปรสภาพของแร่แผ่น พวกมัสโคไวท์ คลอไรต์ หรือไบโอไทต์ เนื่องจากเป็นกลุ่มแร่ที่มีอุณหภูมิของการแปรสภาพที่ต่ำ จากการศึกษาในแร่ควอตซ์ และ เฟลด์สปาร์ พบว่าอุณหภูมಿಯู่ในช่วง 300 °C-400 °C ซึ่งพื้นที่ช่วงที่แร่แสดงการแปรสภาพตอบสนองต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน แร่แผ่นพวกนี้แสดงลักษณะการแปรสภาพที่ค่อนข้างสมบูรณ์หมดแล้ว จึงไม่สามารถใช้ระบุสภาวะอุณหภูมิการแปรสภาพในพื้นที่ศึกษาได้



**รูปที่ 4.1.1** แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่พบในแร่ควอตซ์ และ เฟลด์สปาร์ ที่ระดับความลึกต่างๆ กราฟทางขวามือ เป็นกราฟที่แสดงการตอบสนองของแร่ระหว่าง ความลึก กับแรงที่กระทำ แทนบริเวณการแปรสภาพแบบเปราะด้วยเส้นตรง และแทนการแปรสภาพแบบอ่อนนุ่มด้วยเส้นโค้ง (Passchier and Trouw, 2005)



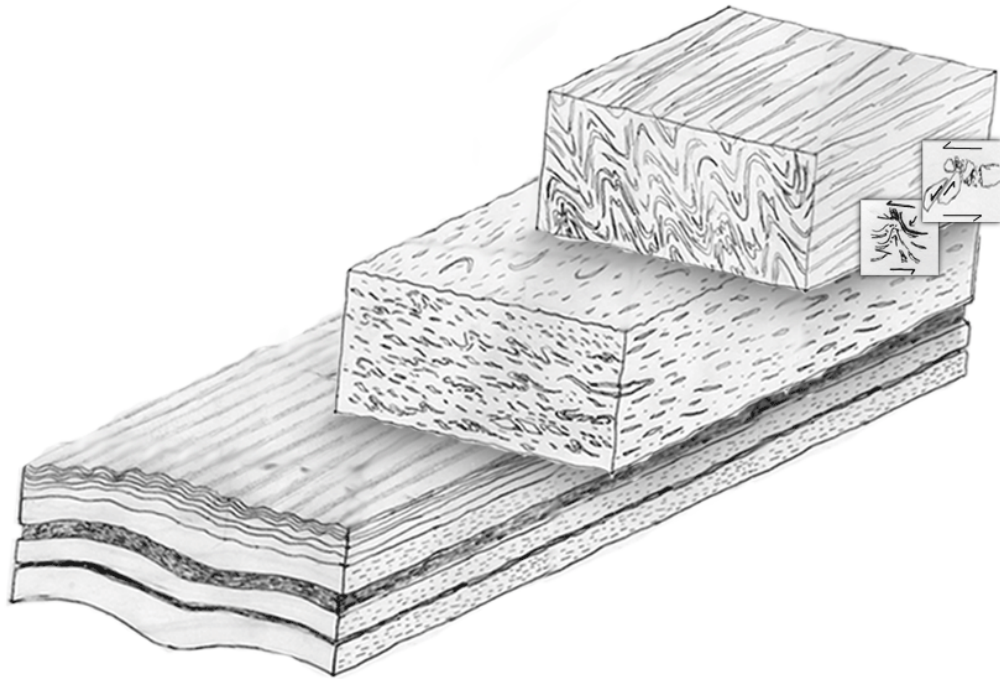
รูปที่ 4.1.2 แสดงระดับการแปรสภาพของหินในพื้นที่ ๆ อยู่ในกลุ่มการแปรสภาพแบบก्रीทซีต์ อุณหภูมิระหว่าง 300°C-400°C (after Patterson, 2010)

## 4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง และการวิวัฒนาการ

จากหลักฐานทั้งในภาคสนาม และจากการศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่โดยมากเป็นแบบอ่อนนิ่ม มีริ้วขนานอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ วางตัวอยู่ระหว่าง 115/59 ถึง 109/27 แกนระนาบเรียงตัวกันเป็นแนว 210/80 มีแนวเส้นการยึดอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ ประมาณ 032/9

การพิจารณาลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่เขาแหลมหญ้า แบ่งการพิจารณาลักษณะออกเป็นสองทิศทาง คือ ตั้งฉากกับริ้วขนาดและตั้งฉากแนวเส้นการยึด(ทิศทางมองไปยังทิศเหนือ) และตั้งฉากกับริ้วขนาดและขนานแนวเส้นการยึด(ทิศทางมองไปยังทิศตะวันตก) จากการพิจารณาทิศทางมองไปยังทิศเหนือ นั้น ลักษณะที่สามารถเห็นในภาคสนามคือ ระบายริ้วขนาน เอียงเทไปทางทิศตะวันออกด้วยมุมต่ำ ในหินบริเวณที่มีแร่แผ่นสูงตอนกลางของแหลมหญ้า แสดงลักษณะของการพับของริ้วขนานคล้ายมีการเชื่อมแนวระดับในเนื้อหิน ดังรูป 3.2.1(c) และลักษณะแนวคอคอดที่แสดงการเชื่อมแนวระดับเช่นกัน ดังแสดงในรูป 3.2.2 (a) แสดงว่านอกจากการบีบอัดจากด้านทิศตะวันออก - ตะวันตกแล้ว เนื้อหินยังเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ด้านบนไหลไปทางทิศตะวันตกส่วนด้านล่างไหลไปยังทิศตะวันออกทำให้เกิดการเชื่อมในแนวระดับเกิดขึ้น ซึ่งจะสามารถใช้อธิบายการเกิดลักษณะชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กที่พับเอนไปในทิศตะวันตกที่พบในบริเวณหาดด้านในแหลมที่มีประมาณแร่แผ่นสูงได้เช่นกัน นอกจากการเชื่อมแล้วเนื้อหินยังแสดงลักษณะของการยึดออกในแนวตะวันออกและตะวันตก เมื่อสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ ดังแสดงในรูป 3.2.4 (a) ลักษณะของการยึดนี้ขนานไปกับแนวริ้วขนาน จากการพิจารณาการเกิดของลักษณะในเนื้อหินเมื่อพิจารณาในทิศมองไปยังทิศเหนือแล้วสามารถวาดภาพจำลองลักษณะที่ปรากฏและการเกิดของลักษณะต่างๆได้ดังรูป 4.1.1

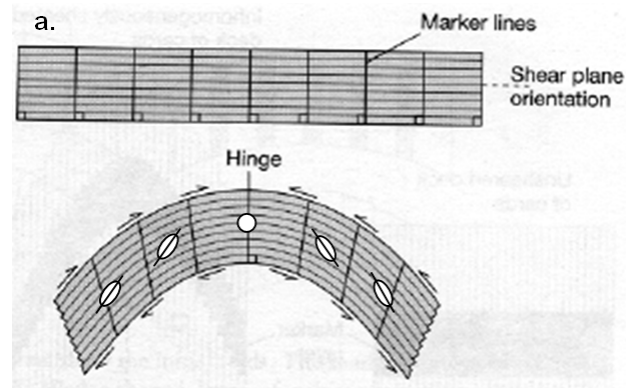
ลักษณะที่พบเมื่อพิจารณาในทิศมองไปยังทิศตะวันตกโดยมากแสดงให้เห็นโดยลักษณะของการยึดเกิดเป็นแนวเส้นการยึดที่ว่าตัวอยู่ในแนวเกือบจะเหนือ-ใต้ ตีบ (รูปที่ 3.2.3 (a)) และลักษณะแนวคอคอดโดนยึดจนมีลักษณะเป็นสายแร่ปลายตีบ (รูปที่ 3.2.2 (c)) ลักษณะเหล่านี้บ่งชี้ว่าในมีการยึดอย่างมากในทิศทางเหนือและใต้ แต่อย่างไรก็ตามจากลักษณะภายใต้กล้อง เนื้อหินแสดงการเชื่อมกันในรูปแบบที่ด้านล่างเนื้อหินเคลื่อนไปทางทิศเหนือ และด้านบนเนื้อหินเคลื่อนตัวไปทางทิศใต้ ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากรูป 3.2.5 และ 3.2.6 ลักษณะที่พบในการมองพิจารณาไปทางทิศตะวันตกนี้มีลักษณะการเกิดของลักษณะต่างๆดังรูป รูป 4.1.1



**รูป 4.2.1** ภาพวาดแสดงลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษาเขาแหลมหญ้า แสดงเป็นสามชั้นแบ่งตามลักษณะเด่นที่เห็นในภาคสนาม ได้แก่ ชั้นหินคดโค้งขนาดเล็กพับบิดไปมาในเนื้อหิน แร่ควอตซ์ที่ถูกยัด และริ้วขนานแสดงการเฉือนในแนวระดับ และหินชนิดแร่แผ่นต่ำและแร่แผ่นสูงสลับกัน แสดงแนวชั้นหินคดโค้งแบบเป็นลอนคลื่น

จากลักษณะของธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ที่แสดงให้เห็นเป็นแบบอ่อนนุ่มเกือบทั้งหมด ตอบสนองต่อแรงที่มากระทำในแนว ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ธรณีวิทยาโครงสร้างหลักของพื้นที่ควรจะอยู่ระบบ ชั้นหินคดโค้ง อีกทั้งลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบการเฉือนในระดับในลักษณะที่ด้านล่างเคลื่อนที่ไปทางตะวันออกและด้านบนเคลื่อนที่ไปทางตะวันตก สัมพันธ์กับลักษณะที่เกิดในการเฉือนในระบบชั้นหินคดโค้ง



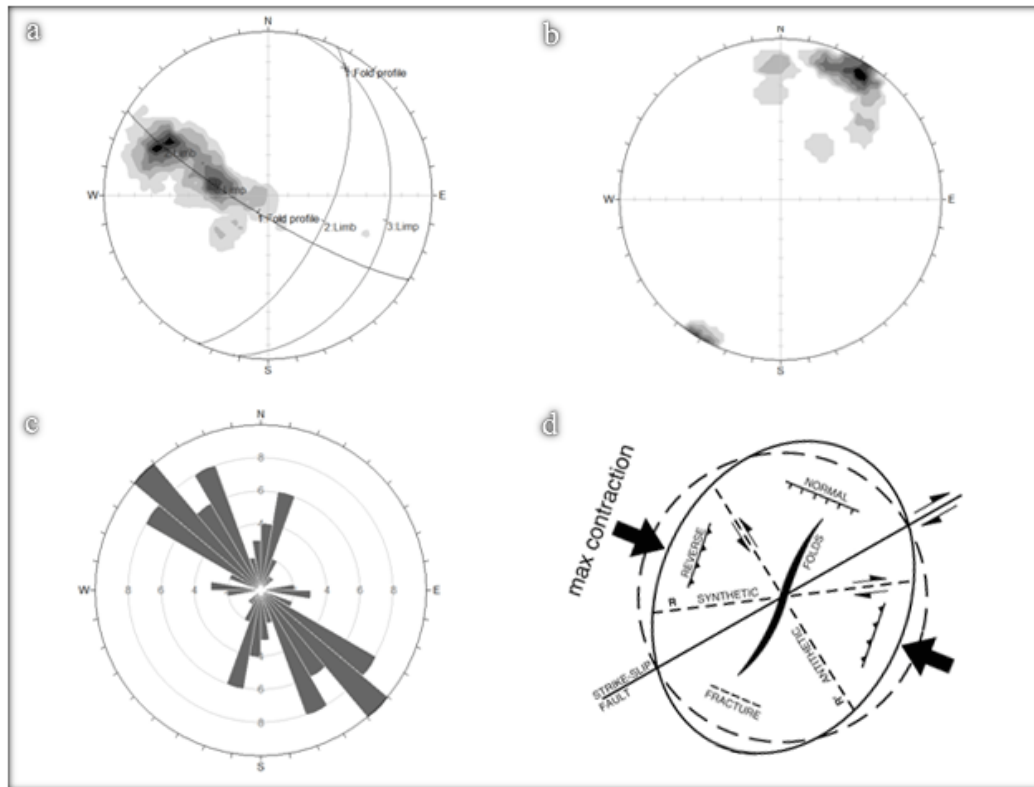


รูปที่ 4.2.2 แสดงแบบจำลองในอุดมคติของการเฉือนแนวระดับที่เกิดขึ้นที่หน้าคดโค้ง (Twiss and Moores, 1992)

จากลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างที่พบในพื้นที่ศึกษาเขาแหลมหญ้า ลักษณะเกือบทั้งหมดแสดงให้เห็นเป็นการแปรสภาพแบบอ่อนนุ่ม ซึ่งคาดว่า การแปรสภาพนี้น่าจะอยู่ในในช่วงมัชฌิมกาล และทิศทางของแรงที่กระทำในพื้นที่ยังสอดคล้องกับทิศทางเหตุการณ์หลักที่เกิดขึ้นในช่วงมัชฌิมกาล คือแผ่นจุลทวีปชานไทย ชนกับแผ่นจุลทวีปอินโดจีน ซึ่งทำให้เกิดแรงในทิศทาง ตะวันออกขตะวันตก

#### 4.2 ความเค้นโบราณ

จากลักษณะการวางตัวของโครงสร้างต่างๆภายในพื้นที่เขาแหลมหญ้า ที่เป็นชั้นหินคดโค้งวางแนวแกนอยู่ในทิศทางแนว เหนือ – ใต้ เช่นเดียวลักษณะแนวเส้นการยัด หลักรูปร่างเหล่านี้สอดคล้องและสามารถใช้บ่งชี้ว่าความเค้นที่มากระทำต่อหินในพื้นที่อยู่ในทิศตะวันออก – ตะวันตก ดังที่แสดงในรูป 4.2



รูปที่ 4.2.3 การกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากการพล็อตค่าลงบนสเตอริโอเน็ต ซึ่งเกิดจากการตอบสนองต่อแรงในทิศทาง ตะวันออก - ตะวันตก (a) การวางตัวของระนาบรีขขนาด (b) การวางตัวของแนวเส้นการยึด (c) การวางตัวของแนวแตก (d) แสดงทิศทางของแรงที่มักกระทำ และลักษณะต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ตอบสนองต่อแรงในทิศนั้นๆ (after Law et al., 2001)

## บทที่ 5

ผลจากการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างเขาแหลมหญ้า ด้วยการศึกษภาคสนาม และศึกษาได้ทดลอง จุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ นำมาวิเคราะห์ ประมวลผล ในด้านของ ลักษณะการแปรสภาพ ระบบธรณีวิทยา โครงสร้าง ทิศทางความเค้นโบราณ และการวิวัฒนาการของธรณีวิทยาโครงสร้าง สามารถสรุปผลออกมาได้ดังนี้

- หินในพื้นที่เป็นหินแปรเกรดต่ำ จัดอยู่ในกลุ่มการแปรสภาพแบบกรีนชีต อุนทรูมิการแปรสภาพอยู่ ประมาณระหว่าง 300°C-400°C
- ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่เขาแหลมหญ้าเป็นลักษณะที่เกิดจากการแปรสภาพแบบอ่อนนืด และเกิดจากแรงเฉือนในแนวระดับ ขนานกับระนาบรีพซัน
- ลักษณะทางธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่เขาแหลมหญ้า เกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลเนื้อหินระหว่างการเกิดลักษณะชั้นหินคดโค้ง ซึ่งมีการวางตัวมีแกนอยู่ในทิศทาง 30/20
- แนวแรงที่มากระทำในพื้นที่เขาแหลมหญ้า เป็นความเค้นบีบอัดอยู่ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก จากการวางตัวของชั้นหินคดโค้งในพื้นที่
- ช่วงเวลาที่เป็นช่วงที่ธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่น่าจะพัฒนาขึ้นมาอยู่ในช่วงมีซีมิคาล จากเหตุการณ์ที่แผ่นจตุทวีปซันไทยชนกับแผ่นจตุทวีปอินโดจีน

## เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. *ธรณีวิทยาประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. *แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดระยอง มาตราส่วน 1:50000*. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, เครือวัลย์ จันทร์แก้ว, ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์ และ อัครนิวัธ ชะบางบอน. 2552. *เอกสารประกอบการสอนสำหรับธรณีวิทยาภาคสนาม ธรณีทัศน์ 1*. ภาควิชาธรณีวิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปัญญา จารุศิริ และคณะ. 2545. *วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย: การประมวลและการวิเคราะห์แนวใหม่*. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T)*. ปีที่ 1. ฉบับที่ 1.
- Best, M.G., 2003. *Igneous and metamorphic petrology, 2<sup>nd</sup> edition*. Blackwell science Ltd. 729 p.
- Charusiri, P., Daorerk, V., Archibald, D., Hisada, K., and Ampaiwan, T., 2002. Geotectonic Evolution of Thailand: A New Synthesis. *Journal of the Geological Society, Thailand*, 1, 1-20 pp.
- Dheeradilok, F., and Lumjuan, A. 1983. On the metamorphic and pre-Cambrian rocks of Thailand, Conference of Geological Mineral Resource, Thailand: 7p. Department of Mineral Resources, Thailand.
- Hall, R. 1996. Reconstructing Cenozoic SE Asia. *Tectonic Evolution of SE Asia*. Edited by R. Hall and D. J. Blundell. Geological Society of London Special Publication No.106. p. 153-184.
- Morley, C. K., 2002. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia. *Tectonophysics*, V. 347, p. 189-215.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. *Microtectonics, 2<sup>nd</sup> edition*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Patterson, J.M., 2010, Metamorphic rocks II, *Introduction to physical geology* lecture, Spring class University of Maryland.
- Twiss, Robert J. and Moores, Eldridge M., 1992, Structural Geology W. H. Freeman and Company, 37-126.
- Tuan, N.Q, 2010. Structure Style and Palaeo-stress History of the Khao Thalai Area, Chanthaburi, Thailand. *Bulletin of Earth Sciences of Thailand*, V. 3, No. 2, p. 59-62.