

RDG4530030

การสำรวจรอยเลื่อนมีพลัง (active Fault) ในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่

ปัญญา จารุศิริ^{1,3}, วิโรจน์ ดาวฤกษ์¹, มนต์รี ชวงษ์¹, นกตล ม่วงน้อยเจริญ¹,
กฤษณ์ วันอินทร์¹, อภิชาติ ลำจวน², สุวิทย์ โคสุวรรณ², ปรีชา สายทอง², ปิยธิดา โทนรัตน์²
¹ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ² กรมทรัพยากรธรณี,
³ cpunya@chula.ac.th

กันยายน 2545 – กันยายน 2547

บทคัดย่อ

การศึกษาการเคลื่อนที่มีพลัง (ปีที่ 1) ในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่ ทางภาคเหนือของประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบตำแหน่งและลักษณะของกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่ รวมทั้งขนาดของแผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดขึ้นในอดีตจากการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนเถินและกลุ่มรอยเลื่อนแพร่ และอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนเหล่านี้

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้อาศัยข้อมูลจากการแปลความหมายทางโทรสัมผัส ผสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเอกสาร และข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหว เพื่อกำหนดแนวรอยเลื่อนมีพลังตลอดจนทิศทางการวางตัว และทิศการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน หลังจากนั้น ได้ออกทำการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบหลักฐานทางภูมิประเทศและได้กำหนดพื้นที่ขุดร่องสำรวจ จำนวน 6 ร่อง เพื่อหาทิศทางการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนมีพลัง และได้เก็บตัวอย่างตะกอนที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนเพื่อหาอายุของการเคลื่อนตัวครั้งสุดท้ายตลอดจนอัตราการเคลื่อนตัวต่อปีของรอยเลื่อน

ผลการศึกษาวิจัย พบว่า กลุ่มรอยเลื่อนในเขตพื้นที่จังหวัดลำปางและจังหวัดแพร่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และสามารถจัดแบ่งรอยเลื่อนในพื้นที่จังหวัดลำปาง ออกเป็น 4 รอยเลื่อนย่อย ได้แก่ 1.รอยเลื่อนเถิน 2.รอยเลื่อนสบปราบ 3.รอยเลื่อนบ้านมาน และ 4.รอยเลื่อนตันจูน ส่วนกลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญของจังหวัดแพร่ประกอบด้วยรอยเลื่อนทั้งแถบตะวันตกและแถบตะวันออกที่ขนานทั้งสองข้างของแอ่งแพร่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เน้นเฉพาะรอยเลื่อนแม่มาทางทิศตะวันออก โดยเราได้แบ่งรอยเลื่อนออกเป็น 3 รอยเลื่อนย่อย คือ (1) รอยเลื่อนบ้านทุ่งเจริญ (2) รอยเลื่อนบ้านแก้ว และ (3) รอยเลื่อนบ้านป่าแดง โดยทั้งสองกลุ่มรอยเลื่อนพบลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญ ได้แก่ ผาสามเหลี่ยม ผารอยเลื่อนลำธารหักงอ และสันปิดกั้นทางน้ำ

จากการศึกษาวิจัยอายุตะกอนที่สัมพันธ์กับรอยเลื่อนจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยวิธีการเรืองแสงความร้อน(TL-dating) และหาอายุอินทรีย์วัตถุ(C-14 AMS) จำนวน 4 ตัวอย่าง พบว่าได้เคยมีแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีตทั้งในเขตพื้นที่จังหวัดลำปางขนาดความรุนแรงได้ประมาณ 7 ริกเตอร์ และได้เคยเกิดแผ่นดินไหวขึ้นครั้งหลังสุดอย่างน้อย 3 ครั้ง คือ เมื่อประมาณ 4,000 ปี(รอยเลื่อนบ้านมา) 3,000 ปี(รอยเลื่อนตันจูน) และ 2,000 ปี(รอยเลื่อนสบปราบ) มีอัตราการเคลื่อนตัวโดยเฉลี่ยประมาณ 0.15 ถึง 0.83 มมต่อปี ส่วนในเขตพื้นที่จังหวัดแพร่ด้านทิศตะวันออก พบว่าได้เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีตเมื่อประมาณ 1 ล้านปี และ

ประมาณ 5 หมื่นปีมาแล้ว(รอยเลื่อนแม่มาโน) เปรียบเทียบขนาดความรุนแรงได้ประมาณ 7 ริคเตอร์ มีอัตราการเคลื่อนตัวโดยเฉลี่ยประมาณ 0.06 มมต่อปี

เนื่องจากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในเขตชุมชนที่อยู่ในระยะรอยเลื่อน พบว่าพื้นที่สำคัญได้แก่ อำเภอเถิน อำเภอ สบปราบ อำเภอแม่ทะ และอำเภอลอง ในจังหวัดลำปาง และอำเภอสูงเม่น อำเภอเด่นชัย อำเภอวังชิ้น และอำเภอเมืองในจังหวัดแพร่ อาจได้รับอันตรายจากแผ่นดินไหวได้ในอนาคต

คำหลัก : จังหวัดลำปาง-แพร่, กลุ่มรอยเลื่อนเถิน, กลุ่มรอยเลื่อนแพร่, การหาอายุด้วยวิธีการเรืองแสงความร้อน (TL dating), การหาอายุอินทรีย์วัตถุ (C-14 AMS), ลักษณะธรณีสัณฐาน, แผ่นดินไหวในอดีต

RDG4530030

The study on the investigations of active faults in Changwat Lampang-Phrae area, northern
Thailand

Punya Charusiri^{1,3}, Veerote Daorerk¹, Montri Choowoing¹, Nopadon Muangnoicharoen¹,
Krit Won-in¹, Apichard Lumjuan, Suwith Kosuwan², Preecha Saithong², and Piyathida Thonnarat²

¹Faculty of Science, Chulalongkorn University ²Department of Mineral Resources ²

³ email:cpunya@chula.ac.th

September 2002 - September 2004

Abstract

This research is focused on the invasion of active faults in Lampang-Phrae area, northern Thailand in the first year. The main objective determine the active fault segments particularly their orientation and movement history. The research study includes four steps of methodology, viz. (a) data compilation and remote-sensing and interpretations, (b) field investigation, (c) data interpretation and dating investigation, and (d) discussion and conclusion.

Results from integrated data indicate that the Thoen-Phrae fault zone in the studied region is the southeast-northwest trending fault zone with oblique-slip movement. In Lampang, 4 fault segments are recognized, (1) Thoen segment (2) Sop Prap segment (3) Ban Mai segment and (4) Ton Ngun segment. In Phrae two fault zones bound. The Cenozoic basin, and only the eastern part of fault system in the Phrae basin is well-studied and is herein called the Mae Man fault. The fault is subdivided into 3 segments, 1) Thung Charoen segment, (2) Ban Kwang segment, and (3) Ban Pa Daeng segment. The studied fault orients in the north-northwest trend and is about 20 km long. Evidence of tectonic geomorphology along the fault zone includes shutter ridges, triangular facets and offset stream channels with field evidence of normal faulting along the minor faults, along with focal mechanism data, indicate a lateral movement in a sinistral sense with small amount of a vertically normal sense component.

Results on thermoluminescence dating of fault-related sediments and C-14 AMS dating for charcoals from trench and quarry sites in the study area indicate several large paleoearthquakes with an average magnitude (Mw) of 7. In Lampang three paleoearthquakes were identified during 4,000 years (Ban Mai segment), 3,000 years (Ton Ngun segment) and 2,000 years (Sop Prap segment) with a range of maximum slip rates about 0.15-0.83 mm/yr. Along the Mae Man fault in the eastern of Phrae basin both two paleoearthquakes, during 1.1 Ma and 0.05 Ma. The maximum

slip rate is estimated about 0.06 mm/yr. These lines of evidence together with the analysis on contemporaneous stress orientation indicate that the tectonic stress of extensional and compressional axes have performed continuously in the E-W and N-S trends, respectively since Quaternary to present-day times.

Our results with the GIS application reveal that there are 7 densely populated district areas which are seismically risked, including Wangchin, Thoen, Sop Prap, Long Muang Phrae, Sung Men, and Denchai district areas. Therefore, we infer that among the most densely populated areas, Long (Phrae) and Sop Prap(Lampang) districts are regarded the more risk areas for fault-induced earthquakes.

KEYWORDS: Active faults, Lampang, Phrae, northern Thailand thermoluminescence dating, C-14 AMS dating, Pleoearthquake, neotectonics

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG 4530030 คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. Isao Takashima จากมหาวิทยาลัย Akita ประเทศญี่ปุ่น ที่ได้ให้คำปรึกษาด้านการหาอายุตะกอนดินและตลอดจนให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ Thermoluminescence ในการหาอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน และ รองศาสตราจารย์ ดร.Brady Rhodes จากมหาวิทยาลัย California State ประเทศสหรัฐอเมริกา ให้คำแนะนำในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ตลอดจนแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี, อธิการบดีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย, คณบดีคณะวิทยาศาสตร์, รองคณบดีฝ่ายวิจัย และหัวหน้าภาควิชาธรณีวิทยา ที่ให้การสนับสนุนบุคลากรทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาธรณีวิทยา ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาในเรื่องต่างๆ และนิสิตทุกท่าน ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนามด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ นางสาววิยะดา ละมูล, นางสาวจิระภา โหมสีก, นางสาวเสาวรส ชินวร, นางสาวพรทิพา จัตุรงค์ธาริณี, นางสาวพันธทิพา ไช้โย และนายสุริยะ โชคเหมาะ ที่ช่วยดูแลงานด้านการจัดพิมพ์รายงาน คู่มือแบบประมาณ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ด้วยดีตลอดมา

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 1) โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย เป็นหัวหน้าโครงการ ซึ่งประกอบไปด้วย 5 โครงการย่อย คือ โครงการย่อยที่ 1 การสำรวจรอยเลื่อนมีพลังในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและลำปาง-แพร่ โครงการย่อยที่ 2 การสร้างฐานข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยเครือข่ายสถานีวัด โครงการย่อยที่ 3 การตรวจวัดและศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ (Dynamic Properties) ของอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร โครงการย่อยที่ 4 การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารในกรุงเทพมหานครและศึกษาวิธีการปรับปรุงอาคารที่อ่อนแอให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม และโครงการย่อยที่ 5 การศึกษาการเพิ่มความรุนแรงของแผ่นดินไหวเนื่องจากสภาพดิน (Soil Amplification) ในบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดเชียงราย โดยโครงการเริ่มตั้งแต่ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2545 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2547 รวมระยะเวลาทำการศึกษาวิจัย 2 ปี สำหรับโครงการย่อยที่ 1 นั้น ในปีแรกได้ทำการศึกษาในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่ ผลการศึกษาวิจัยดังกล่าวปรากฏในรายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่ม 1) ส่วนรายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่ม 2) เป็นผลการศึกษาวิจัยปีที่ 2 พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี

อนึ่ง ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นผลสรุปเพียงเบื้องต้น ยังไม่ครอบคลุมรอยเลื่อนย่อยต่างๆ ได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยแต่ละรอยเลื่อนย่อยอย่างละเอียด เพื่อการประเมินคาบการเกิดแผ่นดินไหวได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการสำรวจธรณีวิทยาแผ่นดินไหวในประเทศไทยให้ครอบคลุมทุกกลุ่มรอยเลื่อนของประเทศไทยต่อไป

สารบัญ

หน้า

บทสรุปโครงการ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ณ
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ญ
กิตติกรรมประกาศ	ฐ
คำนำ	ท
สารบัญ	ฒ
สารบัญรูป	ด
สารบัญตาราง	ฝ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	7
1.3 พื้นที่ศึกษา	8
1.4 ระเบียบวิธีและขอบเขตของการวิจัย	8
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ (ในปีแรก)	11
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
บทที่ 2 การวิเคราะห์แนวรอยเลื่อนมีพลังด้วยภาพจากดาวเทียม	13
2.1 บทนำ	13
2.2 วัตถุประสงค์	13
2.3 ข้อมูล	13
2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์	13
2.5 ผลการศึกษาแนวเส้น โครงสร้าง	14
บทที่ 3 แนวคิดธรณีฐานเชิงแปรสัณฐาน(Tectonic Geomorphology)	29
3.1 บทนำ	29
3.2 แนวคิดด้านธรณีฐาน	30
3.3 วิวัฒนาการภูมิทัศน์(Landscape Evolution)	30
3.4 ธรณีฐานกับการแปรสัณฐานมีพลัง	31
3.5 ลักษณะภูมิลักษณะที่ปรากฏในพื้นที่รอยเลื่อนเดิน	32
3.6 การตรวจวัดธรณีฐาน(Morphometry)	32

3.7	แนวทางการวิเคราะห์ความมีพลังเชิงธรณีฐานดัชนีความลาดยาวทางน้ำ (Stream Length Gradient Index)	33
3.8	ดัชนีความคดโค้งเชิงเขา(Mountain front sinuosity)	36
3.9	ดัชนีความคดโค้งเชิงเขาของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่	37
3.10	ลำดับความมีพลังของกลุ่มรอยเลื่อนเถิน	37
บทที่ 4	ธรณีวิทยาทั่วไปของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่	41
4.1	บทนำ	41
4.2	ธรณีวิทยารอยเลื่อนแม่มา	41
4.3	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนแพร่	44
4.4	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนลอง	44
4.5	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนวังจั่น	44
4.6	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนบ้านมา	45
4.7	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนต้นจุ่น	46
4.8	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนสบปราบ	46
4.9	ธรณีวิทยาของรอยเลื่อนลำปาง-แพร่	47
บทที่ 5	การหาอายุของชั้นตะกอนดินด้วยวิธีการเรืองแสงด้วยความร้อน	49
5.1	บทนำ	49
5.2	หลักการของการเรืองแสงความร้อน(TL)กับการหาอายุชั้นตะกอนดิน	49
5.3	เครื่องมือวัดการเรืองแสงความร้อน	54
5.4	การเก็บและคัดเลือกตัวอย่างดินตะกอน	55
5.5	การเตรียมตัวอย่างตะกอนและการหาค่า Glow curve จากตัวอย่าง	57
5.6	ลักษณะสัญญาณการเรืองแสงความร้อนของเม็ดแร่ในตะกอนดิน	61
5.7	การประเมินค่าความเข้มการเรืองแสงทั้งหมด(Paleodose)ในชั้นตะกอนดิน	62
5.8	ข้อจำกัดในการหาช่วงอายุของชั้นตะกอน	65
5.9	ความถูกต้องแม่นยำของการหาอายุตะกอนด้วยวิธีการเรืองแสงด้วยความร้อน	65
5.10	ผลการหาอายุชั้นดินด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน(TL-dating results)	66
5.11	กลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-เถิน	68
5.11.1	รอยเลื่อนบ้านมา	69
5.11.2	รอยเลื่อนต้นจุ่น	73

5.11.3 รอยเลื่อนสบปราบ	81
5.11.4 รอยเลื่อนลอง	85
5.11.5 รอยเลื่อนแม่मान	89
5.11.6 รอยเลื่อนแพร่	102
บทที่ 6 แผนที่การกระจายตัวของชุมชนและรอยเลื่อนมีพลัง	105
6.1 คำนำ	105
6.2 วัตถุประสงค์และเป้าหมาย	105
6.3 พื้นที่ศึกษา	105
6.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	105
6.5 หลักการแปลความหมายข้อมูลภาพจากดาวเทียม	107
6.5.1 หลักการเบื้องต้นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม	107
6.5.2 ขั้นตอนการแปลความหมายข้อมูลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	107
6.5.3 หลักการแปลและวิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลภาพดาวเทียม	108
6.6 การกระจายตัวของชุมชนจากข้อมูลภาพดาวเทียม	114
6.6.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	114
6.7 สรุปและเสนอแนะ	122
บทที่ 7 การอภิปรายผลและสรุป	130
7.1 ลักษณะปรากฏของการแปรสัณฐานยุคใหม่(Neotectonic features)	130
7.2 สนามแรงเครียดแปรสัณฐาน(Tectonic stress field)	131
7.3 จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีต(Earthquake event reconstruction)	133
7.4 ลักษณะเฉพาะของรอยเลื่อนมีพลัง(Characteristic of active fault)	133
7.4 สรุปผล	135
เอกสารอ้างอิง	137
ภาคผนวก	141

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1.1	แผนที่ประเทศไทยแสดงพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ จ.ลำปาง-แพร่(กรอบ A ในปี 1) และจังหวัดกาญจนบุรี(กรอบ B ในปี 2)	9
รูป 1.2	แผนที่ทางหลวงแสดงขอบเขตของพื้นที่ศึกษาลำปาง-แพร่และลักษณะภูมิประเทศอย่างง่าย	10
รูป 2.1ก	ภาพจากดาวเทียม Landsat 5 แสดงพื้นที่ศึกษาแนวรอยเลื่อนหลัก และรอยเลื่อนย่อยในพื้นที่ศึกษาจังหวัดลำปาง และพื้นที่วิเคราะห์แนวเส้น(lineament)ในรายละเอียด(ในกรอบสี่เหลี่ยม)	16
รูป 2.1ข	แบบจำลองแอ่งแพร่และพื้นที่ข้างเคียงที่มีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนตามแนวระดับของกลุ่มรอยเลื่อนเถิน-แพร่(จาก Srisuwan และคณะ, 2000)	17
รูป 2.1ค	ผลการตีความข้อมูลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนบริเวณส่วนใต้ของแอ่งแพร่โดยพบรอยเลื่อนบริเวณขอบแอ่งทั้งสองข้างและมีกลุ่มรอยเลื่อนบริเวณกลางแอ่งปกคลุมโดยตะกอนอายุควอเทอร์นารี	18
รูป 2.2	ภาพจากดาวเทียม Landsat 5 TM (ซ้าย) แสดงแนวเส้นจากการแปลภาพ (ขวา) ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนย่อยเถิน(Theon fault segment) และวงกลม แสดงพื้นที่ศึกษาที่จะเกิดแนวรอยเลื่อนมีพลัง(active fault)	19
รูป 2.3	Rosette diagram แสดงทิศการวางตัว(strike)ของแนวเส้นในบริเวณแนวรอยเลื่อนย่อยเถิน(Theon fault segment)	20
รูป 2.4	ภาพจากดาวเทียม Landsat TM 5 (บน) แสดงแนวเส้นจากการแปลภาพ (ล่าง) ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนย่อยสบปราบ (Sop Prab segment) สี่เหลี่ยมและวงกลมแสดงพื้นที่ศึกษาที่อาจเกิดแนวรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ที่ตัดผ่านตะกอนยุคควอเทอร์นารี	21
รูป 2.5	Rosette diagram แสดงทิศทางการวางตัว (strike) ของแนวเส้นในบริเวณแนวรอยเลื่อนย่อยสบปราบ(Sop prab fault segment)	22
รูป 2.6	ภาพดาวเทียม Landsat TM 5 (บน) แสดงแนวเส้นจากการแปลภาพ (ล่าง) ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนย่อยต้นจูน (Ton Ngon fault segment) และวงกลมแสดงพื้นที่ศึกษาที่จะเกิดแนวรอยเลื่อนมีพลัง(active fault) ที่ตัดผ่านตะกอนยุคควอเทอร์นารี	23
รูป 2.7	Rosette diagram แสดงทิศทางการวางตัว (strike) ของแนวเส้นในบริเวณแนวรอยเลื่อนย่อยต้นจูน (Ton Ngon fault segment)	24

รูป 2.8	ภาพถ่ายเทียม Landsat TM 5 (บน) แสดงแนวเส้นจากการแปลภาพ (ล่าง) ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนย่อยบ้านมาย (Ban Mai fault segment) และวงกลมแสดงพื้นที่ศึกษาที่จะเกิดแนวรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ที่ตัดผ่านตะกอนยุคควอเตอร์เทอร์นารี	25
รูป 2.9	Rosette diagram แสดงทิศทางการวางตัว (strike) ของแนวเส้น ในบริเวณแนวรอยเลื่อนย่อยบ้านมาย (Ban Mai fault segment)	26
รูป 2.10	ภาพตัดขวาง และแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างธรณีฐานกับรูปแบบการสะสมตัวของตะกอนควอเตอร์นารี และแนวรอยเลื่อนในพื้นที่ต่างๆ จากการวิเคราะห์และแปลภาพถ่ายเทียม Landsat TM 5 แบนด์ 4 5 และ 7	27
รูป 3.1	การหาค่าดัชนีความลาดยาวทางน้ำในพื้นที่รองรับน้ำ(catchment area)	34
รูป 3.2	แผนที่แสดงดัชนีความลาดยาวทางน้ำของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่	35
รูป 3.3	การหาค่าดัชนีความคดโค้งเชิงเขา (จาก Keller และคณะ, 1996)	36
รูป 3.4	แผนที่แสดงดัชนีความคดโค้งเชิงเขา บริเวณกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่	38
รูป 4.1ก	แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณรอยเลื่อนมีพลังของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่ (ดัดแปลงจาก Charoenprawat และคณะ, 1994 และกรมทรัพยากรธรณี, 2541)	42
รูป 4.1ข	คำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยาบริเวณรอยเลื่อนมีพลังของกลุ่มรอยเลื่อนเถิน-แพร่	43
รูป 5.1	แผนภาพอย่างง่ายแสดงโครงข่ายผลึกที่มีประจุ(ionic crystal) อย่างง่าย ที่เกิดจากความผิดปกติโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่(negative-ion vacancy) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง(negative-ion interstitial) และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์(substitutional impurity center)(จาก Aitken, 1985)	51
รูป 5.2	แผนภาพแสดงบริเวณระดับพลังงานที่เกิดการเรืองแสงความร้อน (จาก Aitken, 1985)	52
รูป 5.3	กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการเรืองแสงด้วยความร้อนกับอุณหภูมิ (ที่เรียกกราฟเส้นสว่าง glow-curve) กราฟ (a) แสดงค่าปริมาณการเรืองแสงด้วยความร้อนที่วัดได้ครั้งแรกและกราฟ (b) แสดงค่าปริมาณการเรืองแสงด้วยความร้อนที่วัดได้ครั้งที่สองจากตัวอย่างเดิม (จาก Aitken, 1985)	53
รูป 5.4	ค่าความเข้มของสัญญาณการเรืองแสงความร้อนสูงสุด(peak) ในแต่ละครั้งของการอบแดงของตัวอย่างดินลมหอบจากประเทศฝรั่งเศส โดยการอบ แดงเทียมในห้องปฏิบัติการ (จาก Aitken, 1985)	53

รูป 5.5	แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดปริมาณแสง (จาก Aitken, 1985)	54
รูป 5.6	เครื่อง Portable gamma spectrometer ที่ใช้วัดหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีคือ U, Th และ K ของชั้นตะกอนอายุใหม่ๆ ในสนาม (จาก http://www.users.globalnet.co.uk~qtls/)	56
รูป 5.7	อิทธิพลการดูดซับของน้ำภายในช่องว่างระหว่างชั้นส่วนเครื่องปั้นดินเผาหนา (a) ถ้าช่องว่างหนาเพียง 0.02 ไมครอน มีน้ำอยู่เดิม น้ำจะไม่ยอมให้อนุภาคอัลฟาที่ออกจากนิวเคลียสของเรดอนผ่านได้ (b) แต่ถ้าช่องว่างนั้นเป็นอากาศ อากาศจะยอมให้อนุภาคอัลฟาสามารถผ่านได้ในช่องว่างที่ไม่มีน้ำอยู่นั้นได้ (จาก Aitken, 1985)	56
รูป 5.8	แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อหาอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนในการศึกษาครั้งนี้ (ดัดแปลงจาก Takashima, 1991)	60
รูป 5.9	กราฟเส้นสว่างของตัวอย่างตะกอนละเอียด เมื่อเส้น N เป็นค่าเส้นสว่างปกติ (Natural glow curve) ที่ประกอบด้วยผลรวมของความเข้มของสัญญาณ A และ B ส่วนเส้นกราฟ T แสดงถึงการสูญเสียสัญญาณการเรืองแสง (TL) จากการปลดปล่อยความร้อนในแต่ละช่วงอุณหภูมิ (เมื่อ $C_A = A/N$) ซึ่งทำให้สามารถคัดเลือกช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหาอายุได้ที่ $290 - 300^{\circ} \text{C}$	61
รูป 5.10	วิธีเพิ่มค่ารังสี (additive dose หรือ first glows) เพื่อหาค่าความเข้มการเรืองแสง (Q) ในตัวอย่างตะกอนดินด้วยการนำตัวอย่างตะกอนที่ให้ปริมาณสัญญาณธรรมชาติ (N) มาอบรังสีเบต้า (หรือแกมมา) โดยเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ เช่นครั้งละ 100 เกรย์ 200, 300 ฯลฯ ($N+1\beta$, $N+2\beta$ +.....) ส่วน G_0 เป็นค่าคงเหลืออยู่ในดิน (จาก Aitken, 1985)	63
รูป 5.11	วิธีสร้างสัญญาณใหม่(regeneration) ซึ่งทำได้โดยให้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแดดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาอบรังสีเพิ่มเป็นทวีคูณ โดยใช้จุดเริ่มต้นของกราฟที่จุดค่าคงเหลืออยู่ (G_0) ดังนั้นเมื่อทราบค่าความเข้มการเรืองแสง(TL) ในธรรมชาติ(G_N) ก็สามารถหาค่าความเข้มการเรืองแสง(Paleodose หรือ P) ของตัวอย่างตะกอนดินได้ (จาก Aitken, 1985)	63
รูป 5.12	วิธีลบล้างสัญญาณบางส่วน(partial bleach) ทำได้โดยการนำตัวอย่างดินไปอบแดดเพียง 1-2 ชั่วโมงแล้วนำมาอบรังสีเพิ่มทวีคูณเป็นช่วงๆ แล้วลากกราฟเส้นตรง โดยนำมาเทียบเคียงกับวิธีเพิ่มค่ารังสี (additive dose) ในกราฟบนก็จะได้ค่า Paleodose(Q) โดยที่ไม่ต้องหาค่าคงเหลืออยู่ในดิน	64

รูป 5.13	กราฟเส้นสว่าง (glow curves) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณการเรืองแสง(TL)กับอุณหภูมิของตัวอย่างตะกอนละเอียด โดยแสดงถึงสัญญาณการเรืองแสงธรรมชาติ(N) สัญญาณคงเหลืออยู่(R) ซึ่งได้จากการนำตัวอย่างธรรมชาติไปอบแดดเป็นเวลานาน แล้วนำไปอบรังสีที่ความเข้ม 15, 30, 60 และ 120 Gy โดยเลือกใช้ช่วงอุณหภูมิประมาณ 290° ถึง 300°ซ (จากรูป 5.9)	64
รูป 5.14	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการหาค่าการเรืองแสงทั้งหมด (Paleodose) ด้วยวิธีเพิ่มค่ารังสี (First glows หรือ additive dose) กับที่ได้จากวิธีการสร้างสัญญาณใหม่หมด (Regenerated glows) โดยที่ให้ผลเท่ากันคือ 40 Gy	65
รูป 5.15	แนวกลุ่มรอยเลื่อนเถิน-แพร่ ในพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่ และตำแหน่งร่องสำรวจบ้านมาย บ้านบอม และบ้านสมัย	70
รูป 5.16ก,	ตะกอนไม่จับแน่น (unconsolidated deposit) ที่โผล่ให้เห็นเนื่องจากถนนตัดผ่าน	72
รูป 5.16ข	(road-cut exposure) ณ หลักกิโลเมตรที่ 28+600 ถนนลำปาง-ลอง ที่แสดงแนวรอยเลื่อนปกติ ซึ่งตัดผ่านชั้นกรวดและชั้นดินเหนียวจนทำให้เกิดการเลื่อนตัวในแนวตั้ง 1.5 เมตร โดยมีชั้นกรวดอายุอ่อนปิดทับรอยเลื่อน และ (ข) อายุชั้นดินเหนียวที่วัดด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน ณ หลักกิโลเมตรที่ 28+000 ถนนลำปาง-ลอง ซึ่งหาอายุได้ประมาณ 50,000 ปี (ชั้นล่าง) และ 39,000 ปี (ชั้นบน)	
รูป 5.17	สภาพภูมิประเทศบริเวณบ้านมาย(ภาพล่าง,ส่วนหน้า) ที่รอยเลื่อนบ้านมายพาดผ่านในส่วนหน้าของเขา จนเกิดความแตกต่างของพื้นที่แนวตั้ง 6 เมตร เส้นปะในภาพบนขวาคือแนวรอยเลื่อนที่ลากบนแผนที่ภูมิประเทศ	74
รูป 5.18	สภาพภูมิประเทศบริเวณเชิงเขาบ้านมายแสดงร่องสำรวจบ้านมาย 1 ได้แนวหน้าผารอยเลื่อน	75
รูป 5.19	แผนที่ภูมิประเทศรายละเอียดบริเวณโดยรอบร่องสำรวจบ้านมาย 1 และบ้านมาย 2 รวมทั้งแสดงลักษณะทางน้ำหักงอในแบบเหลี่ยมซ้าย จุดวงกลมในรูปเล็กคือพื้นที่การสำรวจในครั้งนี้	76
รูป 5.20ก	ลำดับชั้นดินพร้อมอายุที่หาได้ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน(TL) และแนวรอยเลื่อนที่ปรากฏบนผนังด้านใต้ของร่องสำรวจบ้านมาย 1	77
รูป 5.20ข	ภาพถ่ายของลำดับชั้นดินผนังด้านใต้ของร่องสำรวจบ้านมาย 1	78
รูป 5.21	แนวรอยเลื่อนตื้นๆ ที่มีลักษณะกึ่งโค้งที่ปรากฏบนแผนที่ภูมิประเทศ	79
รูป 5.22ก	หน้าผาสามเหลี่ยมหน้าผาที่ลาดลงอ่างเก็บน้ำห้วยไผ่ หน้าผาดังกล่าวเกิดจากการกระทำของรอยเลื่อนตื้นๆด้านทิศเหนือของคอยตื้นๆ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง	80

รูป 5.22 ข	พื้นที่เชิงเขาของคอยดันงูน ใกล้บ้านบอมหลวง ที่เป็นตำแหน่งของร่องสำรวจบ้านบอม	81
รูป 5.23	แผนที่ภูมิประเทศรายละเอียดโดยรอบร่องสำรวจบ้านบอม แสดงลักษณะการวางตัวของรอยเลื่อนและทางน้ำหักงอเหลื่อมซ้ายเป็นระยะทาง 12 เมตร วงกลมแสดงพื้นที่ทำการศึกษารั้งนี้	82
รูป 5.24 ก	ลำดับชั้นตะกอนดินในร่องสำรวจบ้านบอมของผนังด้านตะวันตก แสดงอายุของตะกอนที่หาได้ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน และรอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นตะกอน	83
รูป 5.24 ข	ภาพถ่ายชั้นดินผนังด้านตะวันตกของร่องสำรวจบ้านบอม อ. แม่ทะ จ. ลำปาง	84
รูป 5.25	หน้าผาสามเหลี่ยมหลายระดับที่พบตามไหล่เขาปากห้วยสระ บ้านสมัย อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง เส้นปะคือแนวรอยเลื่อนในรูปถ่าย ส่วนตำแหน่งแนวรอยเลื่อนได้แสดงในแผนที่ในรูปบน	86
รูป 5.26	แผนที่ภูมิประเทศรายละเอียดโดยรอบร่องสำรวจบ้านสมัย อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง แสดงตำแหน่งของรอยเลื่อนสบปราบ และรอยเลื่อนสาขา โดยวงกลมแสดงตำแหน่งพื้นที่ศึกษารั้งนี้	87
รูป 5.27 ก	ลำดับชั้นดินพร้อมอายุที่หาได้ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL) และแนวรอยเลื่อนที่ปรากฏในร่องสำรวจบ้านสมัยของผนังด้านตะวันออก	88
รูป 5.27 ข	ลำดับชั้นตะกอนยุคใหม่ไม่จับตัวแข็งที่สะสมตัวตามไหล่เขาและดินชั้นบนบริเวณผนังด้านตะวันออกของร่องสำรวจบ้านสมัย	89
รูป 5.28	ภาพ Stereonet diagram ของข้อมูลระนาบรอยไถล (Slickensided surfaces) ที่ปรากฏตามแนวรอยเลื่อนลงในพื้นที่ที่รอบสี่เหลี่ยมภาพซ้ายมือ จำนวน 8 ค่า และจุดวงกลมค่าเล็กเป็นค่า Slickenlines ที่บ่งบอกถึงการเคลื่อนตัวไปด้านซ้ายของรอยเลื่อน	90
รูป 5.29	ระนาบรอยไถลของรอยเลื่อนลง ที่พบในหินทฟไฟเนื้อไรโอไลต์ บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 54+000 ของทางหลวงหมายเลข 1023 ช่วงอำเภอวังชิ้น-อำเภอลอง	90
รูป 5.30	หน้าผาสามเหลี่ยมหลายระดับที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนลง บริเวณอ่างเก็บน้ำบ้านแม่จอก อำเภอลอง จังหวัดแพร่	91
รูป 5.31	ผลการแปลภาพถ่ายทางอากาศของรอยเลื่อนแม่มาน บริเวณด้านตะวันออกเฉียงใต้ของเมืองแพร่	93
รูป 5.32	ลักษณะธรณีสัณฐานของรอยเลื่อนมีพลังรอยเลื่อนแม่มาน พบบริเวณทิวเขาตะวันออกของแอ่งแพร่	94

รูป 5.33	ภาพถ่ายหน้าตัดชั้นตะกอน(ภาพบน)และภาพการแปลความหมายบ่อนดินที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นกรวดบริเวณบ้านทุ่งเจริญ และผลการหาอายุชั้นตะกอนดิน	95
รูป 5.34	ภาพถ่ายหน้าตัดชั้นตะกอนยุคใหม่ผนังบ่อนดิน(ภาพบน)และภาพการแปลความหมาย(ขวาล่าง) รอยเลื่อนตัดผ่านชั้นกรวดบริเวณพระธาตุจอมแจ้ง1 และผลการหาอายุชั้นตะกอน	97
รูป 5.35	ภาพถ่ายหน้าตัดชั้นตะกอนยุคใหม่ผนังบ่อนดิน CC2(ภาพบน)และภาพการแปลความหมาย(ขวาล่าง) ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านชั้นกรวดบริเวณพระธาตุจอมแจ้ง2 และผลการหาอายุชั้นตะกอน	98
รูป 5.36	ภาพถ่ายหน้าตัดชั้นตะกอนทะเลสาบยุคใหม่ผนังบ่อนดินและภาพการแปลความหมาย(ขวาล่าง)รอยเลื่อนที่ตัดผ่านชั้นกรวดบริเวณบ้านป่าแดง1 ด้านซ้ายและผลการหาอายุชั้นตะกอน	99
รูป 5.37	ภาพถ่ายหน้าตัดชั้นตะกอนยุคใหม่ผนังบ่อนดิน G2(รูปบน)และภาพการแปลความหมาย(ขวาล่าง)ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านบริเวณที่ทิ้งขยะบ้านป่าแดงและผลการหาอายุชั้นตะกอน	101
รูป 6.1	แผนที่ภูมิประเทศ ย่อจากมาตราส่วน 1:250,000 แสดงขอบเขตของพื้นที่ศึกษาและลักษณะภูมิประเทศอย่างง่าย	106
รูป 6.2	แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการศึกษานี้	109
รูป 6.3	ดัชนีภาพถ่ายดาวเทียม Landsat บริเวณประเทศไทยแสดง path และrow ของแนวการบินสำรวจ และ กรอบสี่เหลี่ยมแสดงพื้นที่ศึกษาที่ครอบคลุมเส้นทางการบินสำรวจ (path/row)	111
รูป 6.4	ก) กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้วิธีการปรับค่าสีเทา (gray scale adjustment) ข) ภาพจากดาวเทียมที่ยังไม่ผ่านการปรับค่าสีเทา และ ค) ภาพจากดาวเทียมที่ผ่านการปรับค่าสีเทาแล้ว ซึ่งเห็นลักษณะภาพที่คมชัดขึ้น ในภาพเป็นบริเวณ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง	112
รูป 6.5	ภาพจากดาวเทียมที่เน้นด้วยวิธีการกรองภาพเชิงระยะและทิศทาง (Spatial and directional filtering) แสดงความคมชัดของแนวเส้น (lineament) สภาพภูมิประเทศ (landscape) และสิ่งปลูกสร้าง (man-made objects) ในแถบแอ่งตะกอนสบปราบ (สีฟ้าอมเขียวทางซ้ายมือ)	113

รูป 6.6	ภาพจากดาวเทียมแสดงลักษณะสีผสม ก) ภาพสีผสมเท็จของช่วงคลื่นที่4(แดง),5(เขียว) และ 7(น้ำเงิน) บริเวณคอก ขุนแม่ถอด จ.ลำปาง ข) ภาพสีผสมจริง ช่วงคลื่นที่ 3(แดง), 2(เขียว) และ 1(น้ำเงิน)ในพื้นที่เดียวกัน	116
รูป 6.7	ภาพจากดาวเทียมที่ผ่านการผสมสีเท็จ(false-colored) แสดงผลการจัดกลุ่มข้อมูล ตามค่าทางสถิติด้วยวิธีจำแนกด้วยคอมพิวเตอร์ (Unsupervised classification) ของ บริเวณจังหวัดตาก	116
รูป 6.8	พื้นที่ที่กำหนดข้อมูลตัวอย่าง สีชมพู = พื้นที่ชุมชนที่อยู่ร่วมกับสวนผลไม้, สีเหลือง = พื้นที่ว่างไม่มีสิ่งปกคลุม, สีฟ้า = ชุมชนเมือง และสีเขียว, สีน้ำเงินและสีม่วง = ป่า ไม้ที่มีความหนาแน่นในระดับต่างๆ (รูปเดียวกับรูป 6.7)	118
รูป 6.9	ภาพจากดาวเทียมที่ผ่านการผสมสีเท็จซึ่งแสดงผลการจัดกลุ่มข้อมูลตามค่าทางสถิติ วิธีจำแนกด้วยคอมพิวเตอร์ (Supervised classification) (รูปเดียวกับรูป 6.7)	118
รูป 6.10	แสดงค่าการสะท้อนสัญญาณของพื้นที่ชุมชนระดับจังหวัด ก) รูปตาราง และ ข) ในรูปกราฟ	119
รูป 6.11	พื้นที่ชุมชนระดับจังหวัด ในภาพคือพื้นที่จังหวัดตาก (รูปเดียวกับรูป 6.7) ก) แสดงลักษณะข้อมูลภาพที่ได้จากจากดาวเทียม ข) ผลการแปลความหมาย สีเขียวแสดงถึงพื้นที่ชุมชนระดับจังหวัด และสีม่วง แสดงถึงพื้นที่ชุมชนอื่นๆ	119
รูป 6.12	ค่าการสะท้อนสัญญาณของพื้นที่ชุมชนระดับอำเภอ ก) รูปตาราง และ ข) ใน รูปกราฟ	120
รูป 6.13	พื้นที่ชุมชนระดับอำเภอ ในภาพคือพื้นที่แอ่งตะกอนในเขตอำเภอลอง จังหวัดแพร่ ก) ลักษณะข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียม ข) ผลการแปลความหมายสีเขียวแสดงถึงพื้นที่ชุมชนระดับอำเภอ และสีม่วงแสดง ถึงพื้นที่ชุมชนอื่นๆ	120
รูป 6.14	ค่าการสะท้อนสัญญาณของพื้นที่ชุมชนระดับหมู่บ้าน ก) รูปตาราง และ ข) ใน รูปกราฟ	121

รูป 6.15	พื้นที่ชุมชนระดับหมู่บ้าน บริเวณอำเภอศรีสำโรง และอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ก) ลักษณะข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียม ข) ผลการแปลความหมายสีเขียวแสดงถึงพื้นที่ชุมชนระดับหมู่บ้าน และสีม่วงแสดงถึงพื้นที่ชุมชนอื่นๆ	121
รูป 6.16	พื้นที่ชุมชนระดับนิคมสร้างตนเอง บริเวณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่มาะ จังหวัดลำปาง ก) แสดงลักษณะข้อมูลภาพจากดาวเทียม ข) แสดงผลการแปลความหมาย	124
รูป 6.17	ค่าการสะท้อนสัญญาณของแหล่งน้ำ	124
รูป 6.18	พื้นที่แหล่งน้ำ บริเวณอำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่ ก) ลักษณะข้อมูลภาพจากดาวเทียม ข) แสดงผลการแปลความหมาย	124
รูป 6.19	แผนที่แสดงเส้นโครงข่ายถนน ซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งที่แสดงถึงความหนาแน่นของประชากร โดยแปลผลจากข้อมูลภาพดาวเทียม	125
รูป 6.20	การซ้อนทับผลการแปลความหมายภาพจากดาวเทียมด้วยโปรแกรม Arc View version 3.2	126
รูป 6.21	แผนที่แสดงรอยเลื่อนในเขตจังหวัดลำปาง – แพร่ และการกระจายตัวของเขตชุมชนในบริเวณที่ศึกษาและใกล้เคียง	127
รูป 7.1	รูปจำลองอย่างง่ายของส่วนใต้ของแอ่งแพร่ แสดงรอยเลื่อน 3 กลุ่ม ได้แก่ รอยเลื่อนบริเวณขอบด้านตะวันออก รอยเลื่อนบริเวณขอบด้านตะวันตก และกลุ่มรอยเลื่อนบริเวณกลางแอ่ง บริเวณขอบด้านตะวันออกจะพบรอยเลื่อนขนาดเล็ก(minor fault) ตัดเข้ามาเชื่อมกับรอยเลื่อนขนาดใหญ่(major fault) แม่น้ำยมไหลผ่านแอ่งใกล้เคียงแอ่งด้านตะวันตกสัมพันธ์กับระดับของพื้นผิวแอ่ง	130
รูป 7.2	แบบจำลองความเค้นรูปไข่อย่างง่ายของพื้นที่ศึกษา ในยุคก่อนและหลังการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดียและเอเชีย(45 ล้านปี) σ_1 คือแนวแกนของแรงอัดสูงสุด σ_3 คือแนวแกนของแรงอัดต่ำสุด	132
รูป 7.3	หลักฐานการพิจารณาจำนวนครั้งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พบด้านขอบตะวันออกของแอ่งแพร่ ภาพ A และ B เป็นหลักฐาน	134

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการปีที่ 1 (กลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่, จังหวัดลำปาง-แพร่)
ตาราง 3.1	ลำดับความมีพลังของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง
ตาราง 4.1	ผลการวิเคราะห์ทิศทางการขยายออกของพื้นที่ศึกษาจังหวัดแพร่
ตาราง 5.1	การนำ TL ไปใช้ประโยชน์ในวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ (Thermoluminescence applications)
ตาราง 5.2	ปริมาณความเข้มของรังสีอัลฟา รังสีเบต้า และรังสีแกมมา ที่เกิดจากการแผ่กัมมันตภาพรังสีของธาตุกัมมันตรังสี ในเวลา 1 ปี มีหน่วยเป็น ไมโครเกรย์ต่อปี
ตาราง 5.3ก	ผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนจากร่องสำรวจบ้านบอม (BB) บ้านสมัย (HS) และบ้านมาย (Mai) รวมแหล่งดินโผล่ข้างถนน (LP) ในจังหวัดลำปางด้วยวิธีเรืองแสงด้วยความร้อน
ตาราง 5.3ข	ผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนจากจังหวัดแพร่ด้วยวิธีเรืองแสงด้วยความร้อน
ตาราง 7.1	อัตราการเคลื่อนตัวต่อปี (slip rate) ของรอยเลื่อนและขนาดกำลังแรงแผ่นดินไหวในอดีต (Mw)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การศึกษาแผ่นดินไหวและรอยเลื่อนในประเทศไทยไม่ได้ทำอย่างจริงจังมากนัก การศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในภาพรวมบริเวณกว้างๆ และเป็นผลงานที่ศึกษาไว้ค่อนข้างนานแล้วในอดีต ทั้งนี้เนื่องจากมาจากความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีที่มีอยู่ค่อนข้างจำกัดกว่าในปัจจุบัน วิธีการศึกษารอยเลื่อนรอยเลื่อนที่นิยมในปัจจุบันมักใช้วิธีการศึกษาธรณีวิทยาแผ่นดินไหวโบราณ(Paleoseismology) ซึ่งเป็นการศึกษาที่มุ่งเน้นการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนซึ่งเชื่อว่าจะก่อให้เกิดแผ่นดินไหว ผลที่ได้ทำให้ทราบถึงลักษณะการเคลื่อนตัวในอดีตของรอยเลื่อนขนาดของแผ่นดินไหวและช่วงเวลาที่เกิด ทำให้ทราบว่ารอยเลื่อนที่ศึกษาน่าจะมีศักยภาพในการเคลื่อนตัวอีกหรือไม่ เพื่อประโยชน์ในการวางแผนป้องกันและรับมือกับภัยที่อาจเกิดขึ้นต่อไป

ประเทศไทยไม่อาจจัดอยู่ในเขตที่ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว ทั้งนี้เนื่องจากหลักฐานการบันทึกประวัติศาสตร์ (historical earthquake data) จดหมายเหตุ ศิลาจารึกและพงศาวดารได้ ระบุว่าประเทศไทยเคยได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวทั้งขนาดปานกลางจนถึงขนาดใหญ่มาแล้วหลายครั้งและยังความเสียหายให้กับพื้นที่ในหลายภูมิภาคของประเทศ โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันตก แผ่นดินไหวครั้งสำคัญเมื่อ พ.ศ. 2478 ตรวจพบมีศูนย์กลางอยู่ที่ จ.น่าน มีขนาดถึง 6.5 ริคเตอร์ แผ่นดินไหวเข้าตรูของวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2526 บริเวณเขื่อนวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี มีขนาด 5.9 ริคเตอร์ รู้สึกได้ทั่วทั้งภาคกลางและภาคเหนือ อาคารในกรุงเทพมหานครเสียหายเล็กน้อย และแผ่นดินไหวเกิดที่อำเภอพาน จ.เชียงราย เมื่อ วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2537 มีขนาด 5.1 ริคเตอร์ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโรงพยาบาลพาน จ.เชียงราย นอกจากนี้ยังมี แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วมีศูนย์กลางอยู่บริเวณประเทศเพื่อนบ้านแล้วมีผลสืบเนื่องมาถึงประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือ ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้(instrumental earthquake data)โดยกรมอุตุนิยมวิทยาทำให้ทราบว่า แผ่นดินไหวมีศูนย์กลาง(epicenter) มีการกระจายตัวในแถบพรมแดนไทย-พม่า เมียนมาร์ ไทย-ลาว, จีน-เมียนมาร์ หรือในทะเลอันดามัน และยังสามารถตรวจวัดได้เป็นประจำ จึงแสดงให้เห็นชัดว่าเปลือกโลกในบริเวณแถบดังกล่าวยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่(dynamic) จากข้อมูลโดยทั่วไปทางธรณีวิทยา ทำให้เชื่อว่าแผ่นดินไหวน่าจะมีส่วนสัมพันธ์ไม่มากนักกับลักษณะ โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญ เช่น แนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่(major faults) และแนวการคดโค้งโค้งงอใหญ่ๆ (major folds) จากข้อมูลธรณีวิทยาแปรสัณฐานเชิงการไหวสะเทือน(seismotectonics) ในภูมิภาคแถบนี้ พบเห็นอย่างชัดเจนในแถบบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศและยังครอบคลุมบางส่วนของลาว ส่วนใหญ่ของประเทศเมียนมาร์และตอนใต้ของจีน (ปัญญา จารุศิริและคณะ, 2543) นักธรณีวิทยาหลายท่าน (Hinthong, 1997, Nutalaya และคณะ 1985) เชื่อว่าเป็นผลกระทบที่เกิดจากขบวนการแปรสัณฐาน(tectonic process) อันเป็นผลสืบ

เนื่องมาจากการชนกัน(collision) ระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย(Indian lithospheric plate)กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย(Eurasian lithospheric plate) นับตั้งแต่ 35-45 ล้านปีมาแล้ว ซึ่งยังผลให้บางส่วนแผ่นอินเดียมุดตัว(subduction)ลงไปได้แผ่นยูเรเชียและการมุดตัวยังคงดำเนินมาจนถึงปัจจุบัน

สำหรับการศึกษาทางด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว(earthquake geology)ในประเทศไทยผู้ที่ทำการศึกษาเป็นคณะแรกๆ คือ Nutalaya และคณะ (1985) โดยได้กำหนดแหล่งกำเนิดคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศไทย-เมียนมาร์และอินโดจีน สามารถแบ่งได้ 12 เขต ในส่วนของประเทศไทยนั้นอยู่ใน Zone F (Tenassarim Range) และ Zone G (Northern Thailand) ซึ่ง Zone F นั้นประกอบไปด้วยรอยเลื่อนที่อยู่ในประเทศเมียนมาร์คือรอยเลื่อนตองยี รอยเลื่อนพานหลวง ในประเทศไทยประกอบด้วย 3 กลุ่มรอยเลื่อนคือ รอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ มีลักษณะการเคลื่อนตัวทางขวา ส่วน Zone G ครอบคลุมกลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนเถิน และรอยเลื่อนแพร่

Siribhakdi (1987) กล่าวถึงรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ว่าเป็นรอยเลื่อนที่มีทิศทางการวางตัวตามแนวแม่น้ำแควใหญ่ ส่วนปลายทางทิศใต้ของรอยเลื่อนนี้ดูเหมือนจะเป็นส่วนหนึ่งที่ยื่นเข้าไปในรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 15 และ 22 เมษายน 2526 น่าจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับรอยเลื่อนนี้ จากการศึกษาภาคสนามพบว่ารอยเลื่อนศรีสวัสดิ์น่าจะเป็นรอยเลื่อนมุมต่ำมีมุมเอียงเททางด้านตะวันออก (East dipping Fault) ซึ่งจากโครงสร้างของทั้งรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ที่พบชี้บ่งว่ามีแรงอัด(Compression) มากระทำจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ แรงเหล่านี้อาจมีต้นกำเนิดมาจาก spreading ridge และเขตมุดตัว(Subduction zone) ในทะเลอันดามัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Shrestha (1987) ที่กล่าวว่าแผ่นดินไหวครั้งใหญ่เมื่อวันที่ 15 และ 22 เมษายน 2526 เกิดขึ้นตามแนวของรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ และแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ครั้งนี้เป็นแผ่นดินไหวในระดับตื้น นอกจากนี้ได้อ้างถึงงานของ Le Dain และ คณะ, 1984 ซึ่งได้จัดทำ focal plane solution ของแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 เมษายน แสดงให้เห็นว่าแผ่นดินไหวครั้งนี้เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในแนวระนาบทางขวา ในส่วนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเอง สุวรรณ คล้ายพงษ์พันธุ์ และปลิว ชิตตระกูล (1987) ได้รายงานผลปรากฏที่เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวทำการศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นบริเวณปลายเขื่อนศรีนครินทร์วันที่ 15 และ 22 เมษายน 2526 ว่าแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นวันที่ 15 เมษายน 2526 นั้นมีขนาด 5.3 Mb และตามมาด้วย Main shock ขนาด 5.9 ริคเตอร์ ในวันที่ 22 เมษายน 2526 นั้น ปรากฏหลักฐานดังนี้คือ พบหินร่วบริเวณฝั่งซ้ายของห้วยแม่พลู ซึ่งเป็นหน้าผาหรือ hanging wall ของหินปูนชุดทุ่งสอง และพบหน้าดินพังทลายบริเวณจุดบรรจบของลำน้ำแควใหญ่และห้วยขาแข้ง โดยเฉพาะหน้าดินของหินบ้านเจ้าแฉกรวดตซัไซต์ นอกจากนี้ยังพบรอยแตกบริเวณทางทิศใต้ของขอบอ่างเก็บน้ำศรีนครินทร์ด้านลำห้วยแม่พลูมีทิศทางประมาณ $N75-80^{\circ}W$ และมีทิศทางไม่ต่อเนื่องประมาณ 3-4 กม รอยแตกนี้ส่วนใหญ่จะวิ่งขนานหรือปรากฏบนรอยแตกเดิมซึ่งมีแนวอยู่ประมาณ $N80^{\circ}W$ ถึงตะวันออก-ตะวันตก และเอียงเทไปทางทิศเหนือด้วยมุมประมาณ 65 องศา ถึง 70 องศา และจากการตรวจวัดจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน 2526 โดยกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่ามียูถึง 143 เหตุการณ์ด้วยกัน

ในปีต่อมา แสงอาทิตย์ เชื้อวโรจน์ (2534) ได้รวบรวมข้อมูลและบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐานประเทศไทย พอสรุปได้ดังนี้คือ ธรณีแปรสัณฐานแบ่งธรณีวิทยาโครงสร้างของประเทศไทยตามแนวเหนือ-ใต้ ออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ หินฐานธรณีฐานไทย, หินฐานธรณีอินโดจีน และกลุ่มแนวชั้นหินคดโค้ง สุโขทัย-กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งที่อยู่ระหว่างกลางของหินฐานทั้งสอง นอกจากนี้ยังจัดกลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญ 3 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มแรกวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่กลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง กลุ่มรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์และกลุ่มรอยเลื่อนแกลง โดยกลุ่มรอยเลื่อนเหล่านี้เป็นรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางขวา กลุ่มรอยเลื่อนที่สองวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ กลุ่มรอยเลื่อนเชียงแสน กลุ่มรอยเลื่อนแพร่ กลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ กลุ่มรอยเลื่อนระนองและกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุย ซึ่งเป็นกลุ่มรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างเช่นกัน แต่มีการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย กลุ่มรอยเลื่อนที่สาม เป็นกลุ่มรอยเลื่อนปกติที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ได้แก่กลุ่มรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา กลุ่มรอยเลื่อนเพชรบูรณ์ และกลุ่มรอยเลื่อนปัตตานี

ชัยยันต์ หินทอง (1991) ทำการศึกษารอยเลื่อนที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร โดยกล่าวถึงรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ว่าเป็นรอยเลื่อนที่พาดผ่านด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย แยกมาจากรอยเลื่อนพานหลวงในประเทศเมียนมาร์ มีแนวพาดผ่านตามทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ก่อนข้างขนานกับรอยเลื่อนเมย-อุทัยธานีโดยประมาณ แต่อยู่ถัดลงมาทางใต้ ผ่านอำเภอศรีสวัสดิ์ และบ่อพลอยจังหวัดกาญจนบุรี วางตัวตามลำแม่น้ำแควใหญ่ถึงจังหวัดกาญจนบุรี เมื่อพ้นพรมแดนประเทศไทยออกไปทางตะวันตกแล้ว แนวค่อนข้างจะเบี่ยงไปทางเหนือเล็กน้อยบรรจบกับรอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี และรอยเลื่อนพานหลวง ตัดผ่านชั้นหินตั้งแต่มหายุคพาเลโอโซอิกถึงมหายุคมีโซโซอิก และน่าจะต่อเลยเข้ามาในแอ่งที่ราบภาคกลางตอนล่างผ่านกรุงเทพมหานครมีประวัติและธรรมชาติเป็นรอยเลื่อนตามแนวระนาบทางซ้ายในช่วงอายุเทอร์เชียรี ต่อมาในสมัยควอเทอร์นารีการเคลื่อนไหวกลับทิศทางกันจากเดิม กลายเป็นรอยเลื่อนตามแนวระนาบทางขวา เนื่องจากทวีปอินเดียมีการเคลื่อนเข้าหาและไปชนกับทวีปเอเชียทางด้านประเทศทิเบต ในราว 45-50 ล้านปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ต่อมาในปี 1992 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาด้านแผ่นดินไหว จึงได้ขอความร่วมมือไปยังกรมทรัพยากรธรณี ร่วมทำการสำรวจและศึกษาด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว และแหล่งแร่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการก่อสร้างเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำยมและน้ำเงา จังหวัดฮ่องสอน ผลการศึกษาด้านแผ่นดินไหวพบว่า กลุ่มรอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี มีการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีการเลื่อนตัวในอึดแบบซ้ายเข้า(sinistral) และได้เปลี่ยนการเลื่อนตัวเป็นแบบขวาเข้า(dextral) ในช่วงโอลิโกซีน-ไมโอซีน พบว่าเข้ากับผลการหาอายุด้วยวิธีเทอร์ลูมินีสเซนส์ ได้หาอายุการเลื่อนตัวเมื่อ 0.16 , 0.49 และ 1.17 ล้านปีมาแล้ว ส่วนกลุ่มรอยเลื่อนแม่สะเรียง-แม่ฮ่องสอน มีการวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ มีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนปกติเป็นลักษณะเด่น ผลการอายุด้วยวิธีเทอร์ลูมินีสเซนส์ สามารถบอกได้ว่าการเลื่อนตัวมากกว่า 4 ครั้งคือเมื่อ 0.57-0.61 , 0.82-0.91 , 1.57 และ 4.81 ล้านปีมาแล้ว และในพื้นที่เดียวกันนี้ ในปี 1994 Sarapirome & Khundee ได้ทำการศึกษาธรณีแปรสัณฐานใหม่บริเวณแม่ฮ่องสอน-ขุนยวม โดยใช้การแปลความหมายแนวเส้นโครงสร้างจากดาวเทียม Landsat และภาพถ่าย

ทางอากาศ พบรอยเลื่อนที่พาดผ่านในตะกอนยุคควอเตอร์นารีด้วย ผนวกเข้ากับข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหว และตำแหน่งน้ำพุร้อนแล้วจึงเชื่อได้ว่าเป็นพื้นที่ที่ยังมีการเคลื่อนตัวอยู่ Hinthong (1995, 1997) ได้มีความพยายามที่จะจัดจำแนกรอยเลื่อนต่างๆ โดยกล่าวไว้ว่า รอยเลื่อนต่างๆ นั้น สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ที่มีพลัง (active or alive) คือรอยเลื่อนที่มีประวัติการเคลื่อนตัวในช่วงเวลาธรณีกาลสมัยโฮโลซีน หรือประมาณ 11,000 ปี และที่ตายแล้ว(dead) ทั้งนี้ได้ใช้ ข้อมูลธรณีวิทยา, ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแผ่นดินไหว สามารถจำแนกรอยเลื่อนออกได้เป็น 1) รอยเลื่อนประเภทที่มีแนวโน้มอาจเคลื่อนตัวได้ในอนาคต (Potentially active)จำนวน 5 รอยเลื่อน 2) รอยเลื่อนประเภทที่มีประวัติการเคลื่อนตัวในช่วงเวลาประวัติศาสตร์ และเกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหว(Historically and Seismologically active)จำนวน 2 รอยเลื่อน 3)รอยเลื่อนประเภทที่เคลื่อนตัวจากการแปรสัณฐานยุคใหม่(Neotectonically active)จำนวน 8 รอยเลื่อน และ 4) รอยเลื่อนประเภทที่คาดไว้พลาถก่อนว่ามีพลัง(Tentatively active)จำนวน 7 รอยเลื่อน

Charusiri และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นในการ ประยุกต์เทคนิคโทรสัมผัสกับโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สัมพันธ์กับแผ่นดินไหว และบริเวณที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน โดยพยายามประมวลข้อมูลภาพเชิงตัวเลขมาประยุกต์กับการตีความโครงสร้างบริเวณกว้าง โดยเฉพาะแนวเส้น ทั้งนี้อาศัยการแปลภาพจากดาวเทียมชนิดเลนแซต 5 และสปอทดี้ ประกอบกับภาพถ่ายทางอากาศในการวิเคราะห์ธรณีวิทยาโครงสร้างทั้งมาตราส่วนเล็กและใหญ่ จัดทำเป็นแผนที่แนวเส้นโครงสร้างทางภาคเหนือของประเทศไทย และประมวลผลข้อมูลเข้ากับข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหว เสนอบริเวณแหล่งก่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้นใหม่ ในประเทศเมียนมาร์ 7 เขต ในประเทศไทย 6 เขต ในทะเลอันดามัน 5 เขต ในลาวและเวียดนาม 2 เขตโดยใช้ข้อมูลการแปลความหมายโทรสัมผัส, tectonic setting, ข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหวและโครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งแตกต่างไปจากเขตกำเนิดแผ่นดินไหวของ Nutalaya และคณะ (1985) เป็นอย่างมาก

ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น กรมชลประทานมีโครงการก่อสร้างเขื่อนแก่งเสือเต้น เพื่อการชลประทานและการป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านธรณีวิทยา (กทช, 2539) ในโครงการก่อสร้างแก่งเสือเต้น จังหวัดแพร่ Bott และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหวบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยพบว่า เกิดมีแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดถึง MM VI จำนวน 17 ครั้งในพื้นที่โครงการ เหตุการณ์ครั้งสำคัญคือ วันที่ 11 ก.ย. 2537 ที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และในระหว่าง ปี 1905 ถึง2539 มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น 288 ครั้ง และ Fenton และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ พบว่าแอ่งสะสมตะกอนทางภาคเหนือวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และใช้ลักษณะธรณีสัณฐานอาทิเช่น ฝารูปสามเหลี่ยม, ทางน้ำหักงอ, หุบเขารูปแก้ว, ฝารอยเลื่อน และสันปิดกั้น เป็นตัวบ่งชี้ถึงความมีพลังของรอยเลื่อน โดยได้รายงานไว้ว่าพบแนวรอยเลื่อนที่สำคัญ 7 แนวรอยเลื่อน โดยรอบบริเวณที่ตั้งเขื่อน ประกอบไปด้วย รอยเลื่อนแอ่งแพร่ รอยเลื่อนแพร่ รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนลอง รอยเลื่อนปัว รอยเลื่อนน้ำปาด และรอยเลื่อนพะเยา

ในช่วงระยะเวลาต่อมา มีผู้ทำการศึกษาธรณีวิทยาแผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้น หนึ่งในนั้นคือกรมทรัพยากรธรณีในฐานะผู้ทำการสำรวจธรณีวิทยาแผ่นดินไหวตั้งแต่เริ่มต้น ได้ทำการคัดเลือกพื้นที่จังหวัดเชียงรายโดย

สุวิทย์ โคสุวรรณ และอภิชาติ ลำจวน (2541) ทำการศึกษารณีแปรสัณฐานยุคใหม่ของรอยเลื่อนแม่จัน ผลจากการศึกษาพบแนวแตกบนพื้นดินอยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออก ซึ่งมีทั้งแนวรอยเลื่อนหลักและแนวรอยเลื่อนย่อย สามารถแบ่งย่อยเป็น 5 รอยเลื่อนย่อยคือ รอยเลื่อนย่อยฝาง, รอยเลื่อนย่อยเม่อาย, รอยเลื่อนย่อยแม่จัน, รอยเลื่อนย่อยคงสุวรรณและรอยเลื่อนย่อยเชียงของ นอกจากนี้ยังพบลักษณะของธรณีสัณฐานที่แปรเปลี่ยนไปเนื่องจากพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในลักษณะซ้ายเข้า ซึ่งได้แก่ ลักษณะทางน้ำหักงอ ทะเลสาบ ผา รอยเลื่อน เนินเขาปิดกั้นทางน้ำ และตะพักชั้นบันได ในการศึกษารายละเอียดได้เลือกพื้นที่เหมาะสมและทำการขุดร่องสำรวจจำนวน 4 ร่อง ได้ทำการเก็บตัวอย่างของชั้นดินตะกอน ตัวอย่างผงรอยเลื่อนจากร่องสำรวจ และตัวอย่างผงรอยเลื่อนจากหินโพลีในบริเวณที่รอยเลื่อนปรากฏตามแนวของการเคลื่อนตัวในบริเวณใกล้เคียง ทำการหาอายุของตัวอย่างดินตะกอนที่มีอินทรีย์วัตถุด้วยวิธีการคาร์บอนกัมมันตรังสี (^{14}C) และใช้วิธีการเรืองแสงความร้อนสำหรับตัวอย่างดินตะกอนที่ไม่มีอินทรีย์วัตถุและตัวอย่างผงรอยเลื่อน ผลการศึกษาสรุปได้ว่ารอยเลื่อนแม่จันเป็นรอยเลื่อนที่มีศักยภาพในการเคลื่อนตัวได้อีกหรือเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง (active fault) โดยมีแนวการวางตัวเกือบตะวันตก-ตะวันออกมีการเคลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า รอยเลื่อนใหญ่มีการเอียงตัวไปทางทิศเหนือ และรอยเลื่อนย่อยมีการเอียงตัวไปทางทิศใต้ เข้าหารอยเลื่อนใหญ่ มุมเอียงเทประมาณ 45 องศา มีการขยับตัวของรอยเลื่อนใหญ่และย่อย ทำให้เกิดแผ่นดินไหวเมื่อประมาณ 92,000 ปี 67,000 ปี 48,000 ปี 25,000 ปี และ 1,600 ปี ที่ผ่านมานในพื้นที่บริเวณบ้านโป่งขมและบ้านคอนแก้ว และเหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณบ้านโป่งขมที่เกิดขึ้นในอดีตเมื่อประมาณ 1,600 ปีที่ผ่านมามีขนาดไม่น้อยกว่า 7 ริกเตอร์ ต่อมา สุวิทย์ โคสุวรรณ และคณะ (2546) ได้ทำการสำรวจเพิ่มเติมบริเวณบ้านหาดชมพู จังหวัดเชียงใหม่ ในส่วนของรอยเลื่อนย่อยเม่อาย โดยได้ทำการขุดร่องสำรวจ 9 ร่องสำรวจด้วยกัน ขุดผ่านชั้นตะกอนน้ำพา ตะกอนเศษหินเชิงเขา และตะกอนน้ำพารูปพัดของยุคไพลสโตซีนและโฮโลซีน พบว่ามีอัตราการเคลื่อนตัวในลักษณะเหลื่อมซ้ายในแนบราบและเลื่อนย้อนในแนวตั้ง ในทิศ $\text{N}50^{\circ}\text{--}80^{\circ}\text{E}$ และเอียงตัวจากแนบราบ $65^{\circ}\text{--}85^{\circ}$ ไปทางเหนือ ในบริเวณตำแหน่งร่องสำรวจและใกล้เคียงมีหลักฐานทางธรณีสัณฐานที่เกิดจากรอยเลื่อนมากระทำ ได้แก่ ลักษณะลำธารหักเลี้ยว ผา รอยเลื่อน ผลการศึกษาชั้นรายละเอียดในร่องสำรวจพบว่ารอยเลื่อนได้ตัดผ่านชั้นเนินตะกอนน้ำพารูปพัด 3 ลำดับชั้น ชั้นตะกอนต่างๆที่ถูกรอยเลื่อนตัดผ่านนี้ขยับเคลื่อนออกจากกันในแนบราบ 2.7 เมตร ในแนวตั้ง 0.60 เมตร และนำไปประเมินได้ว่าสามารถก่อให้เกิดแผ่นดินไหวไม่น้อยกว่า 7 ริกเตอร์ ผลจากการหาอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนและคาร์บอน 14 พบว่าเคยเกิดแผ่นดินไหวเมื่อ 8,100 ปี 4,000 ปี และ 1,500 ปีล่วงมาแล้ว และอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนย่อยแม่จันมีอัตราการเคลื่อนตัวประมาณ 0.70 มม ต่อปี ส่วนกลุ่มรอยเลื่อนเมย-แม่ปิง จังหวัดตากนั้น ปรีชา สายทอง (2541) ได้ทำการศึกษาดังธรณีสัณฐานวิทยาของรอยเลื่อนมีพลังเมย-แม่ปิง ครอบคลุมแผนที่ภูมิประเทศระหว่างบ้านปางส้าน, ระหว่างจังหวัดตากและระหว่างบ้านนาโบสถ์ ได้ทำการแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศที่แสดงถึงลักษณะธรณีสัณฐานของรอยเลื่อนต่างๆ ผลที่ได้จากการแปลความหมายและทำการตรวจสอบภาคสนาม ได้แผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาของรอยเลื่อนแม่ปิงซึ่งรอยเลื่อนแบ่งออกเป็น 22 รอยเลื่อนย่อย โดยส่วนใหญ่วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เป็นรอยเลื่อนปกติและมีลักษณะเลื่อนไปทางขวา ต่อมา Hongjaisee (1999) จึงได้ทำการศึกษาในส่วนการประเมินภัยจากการ

เกิดแผ่นดินไหว โดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหวร่วมกับผลการศึกษารอยเลื่อนมีพลัง แสดงในรูปแบบแผนที่ขอบเขตภัยจากการเกิดแผ่นดินไหว พบว่าที่โอกาสร้อยละ 37 ของการเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงเกินค่าใดๆ พบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของพื้นดินบริเวณด้านตะวันตกของประเทศ มีค่าประมาณ 100 แกล โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ชายแดนไทย-เมียนมาร์ มีค่าความเร่งของพื้นดิน 120-150 แกล สำหรับที่โอกาสร้อยละ 10 ของการเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงเกินค่าใดๆ ในช่วงเวลา 100 ปี ค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน(GPA) ในพื้นที่จังหวัดแพร่ พะเยา เชียงรายและเชียงใหม่ มีค่าประมาณ 0.08 g จังหวัดแม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปางและน่าน มีค่าประมาณ 0.04 g และพบว่าเขื่อนแม่กวงมีศักยภาพเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวสูง เขื่อนสิริกิติ์มีศักยภาพต่ำ นอกจากนี้ยังรายงานถึงการประเมินอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนแม่จันที่ 0.1-3.7 มิลลิเมตรต่อปี รอยเลื่อนวังเหนือ ที่ 0.8-3.5 มิลลิเมตรต่อปี รอยเลื่อนเงินกับรอยเลื่อนแพร่ อัตราการเคลื่อนตัว 0.01-0.1 มิลลิเมตรต่อปีด้วย

การศึกษารอยเลื่อนทางภาคตะวันตกของประเทศไทย Won-in (1999) ทำการศึกษารอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ พบว่ารอยเลื่อนนี้มีลักษณะการเลื่อนตามแนวเฉียง มีความยาวรวม 222 กิโลเมตร มีแนวรอยเลื่อนจากทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศเมียนมาร์ทอดยาวเข้ามาในประเทศไทยทางทิศตะวันตกไปสู่ภาคกลางของประเทศไทย หลักฐานจากธรณีสัณฐานวิทยาบ่งชี้ว่ารอยเลื่อนเจดีย์สามองค์เป็นรอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนตัวมาไม่นาน คือ ลำธารหักงอ, ผารอยเลื่อน, สันปัดกัน, สันแนวยาวและลำธารแย่งน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 รอยเลื่อนย่อย ได้แก่ รอยเลื่อนย่อยสังขละบุรี, รอยเลื่อนกาญจนบุรี, รอยเลื่อนทองภูกามู, รอยเลื่อนแม่น้ำน้อย, และรอยเลื่อนแควใหญ่ เมื่อนำเอาผารอยเลื่อนและตะกอนพัดพาที่เกี่ยวข้องกับรอยเลื่อนไปหาอายุ พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวทั้งหมดอย่างน้อย 5 ครั้งด้วยกัน ได้แก่อายุในช่วง 1 -0.97 ล้านปี, 0.58-0.46 ล้านปี, 0.18 ล้านปี, 0.14-0.145 ล้านปี และ 0.02 ล้านปี

ในปี 2543 ปัญญา จารุศิริ และคณะ ได้ทำการศึกษาแผ่นดินไหวในประเทศไทย และพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการศึกษาธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและข้างเคียง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นดินไหวกับธรณีวิทยาโครงสร้าง และทำการตรวจสอบโครงสร้างลักษณะใดที่มีความโน้มเอียงที่จะเกิดแผ่นดินไหว โดยมุ่งเน้นถึงสาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหว โดยอาศัยข้อมูลโทรสัมผัสข้อมูลจากภาคสนาม ข้อมูลจากการหาอายุหินและตะกอนที่ได้จากรอยเลื่อน ซึ่งพบว่าประเทศไทยและพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เคยมีแผ่นดินไหวใหญ่บ่อยครั้งมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นมักมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับรอยเลื่อนมีพลังเท่านั้น จากการศึกษาข้อมูลด้านธรณีสัณฐานวิทยา ธรณีกาลเวลา ผนวกกับข้อมูลแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนต่างๆ ในพื้นที่อื่นของประเทศ สามารถจำแนกรอยเลื่อนมีพลังได้ 15 รอยเลื่อนคือ 1) รอยเลื่อนแม่จัน 2) รอยเลื่อนแม่ทານ 3) รอยเลื่อนเงิน-ลอง-แพร่ 4) รอยเลื่อนน้ำปาด 5) รอยเลื่อนปัว 6) รอยเลื่อนพะเยา 7) รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน 8) รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ 9) รอยเลื่อนแม่ปิง 10) รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ 11) รอยเลื่อนระนอง 12) รอยเลื่อนคลองมะรุย-คลองท่อม 13) รอยเลื่อนโคกโพธิ์-สะบ้าย้อย-ยะลา-เบตง 14) รอยเลื่อนเลย-เพชรบูรณ์ 15) รอยเลื่อนระยอง-แกลง ส่วนนอกประเทศมีกลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญ อีก 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มรอยเลื่อนอินโด-พม่า 2) กลุ่มรอยเลื่อนสะเทีย-ตองยี-พานหลวง 3) กลุ่มรอยเลื่อนนานติง-เปาซาน-เชียงราย และ 4) กลุ่มรอยเลื่อนแม่น้ำแดง-แม่น้ำมา-แม่น้ำดา

การศึกษาชั้นรายละเอียดของรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์นั้น รัชช นัทธี (2544) และ Songmuang (2001) ได้ทำการศึกษาความปลอดภัยเกี่ยวกับแผ่นดินไหวของเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนเขาแหลมจากรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์พบว่ารอยเลื่อนศรีสวัสดิ์นี้พาดผ่านจากด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศเมียนมาร์เข้ายังภาคตะวันตกของไทย มีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือก่อนไปทางทิศเหนือ และเป็นรอยเลื่อนตามแนวเฉียง ผลการศึกษาพบว่ารอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ส่วนใหญ่ มีการเคลื่อนตัวในแนวระดับแบบย้อนกลับ มีระยะการเคลื่อนตัวในแนวระดับประมาณ 125 เมตร มีการเลื่อนตัวอย่างน้อย 4 ครั้งในอดีตที่ผ่านมา อัตราการเคลื่อนตัวมีค่าเท่ากับ 2.865 มิลลิเมตรต่อปี เมื่อนำค่ารอยแตกบนพื้นผิวพบว่ามีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดได้ 6.3 ริคเตอร์ ในพื้นที่เดียวกันนี้ Danphaiboonphon (2001) ยังได้นำเอาเครื่องมือสำรวจธรณีฟิสิกส์คือ Resistivity survey, Magnetic survey และ VLF-EM เข้ามาหาแนวของรอยเลื่อน ผลการศึกษาพบว่าบริเวณที่เป็นแนวของรอยเลื่อนจะแสดงค่า high resistivity lower magnetic และแนวของรอยเลื่อนหลักวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เอียงเทไปทางตะวันตกเฉียงใต้ แนวของรอยเลื่อนรองวางตัวในแนวเดียวกันแต่เอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่ยังมีการเคลื่อนตัวอยู่

บริเวณจังหวัดแพร่ นั้น Udchachon (2002) ได้ทำการศึกษาธรณีสัณฐานใหม่ของส่วนตะวันออกเฉียงใต้ของรอยเลื่อนแพร่ พบว่ารอยเลื่อนตะวันตกเฉียงใต้ของระบบรอยเลื่อนแพร่ เป็นรอยเลื่อนที่มีศักยภาพการเคลื่อนตัวปรากฏตรงบริเวณขอบด้านตะวันออกเฉียงใต้ของแอ่งแพร่ มีความยาวประมาณ 20 กิโลเมตร หลักฐานการแปรสัณฐานตามแนวรอยเลื่อนที่ปรากฏได้แก่ สันปัดกัน ผาสามเหลี่ยมและลำธารหักมุม เมื่อผนวกข้อมูลการหาอายุตะกอน ข้อมูลการศึกษาภาคพื้นดินไหว เข้าด้วยกัน พบว่าส่วนรอยเลื่อนนี้มีการเคลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าประกอบกับแบบปกติด้วยอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุด 0.06 มิลลิเมตรต่อปี และแผ่นดินไหวในอดีตพบว่าพื้นที่นี้เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (ประมาณ 7 ริคเตอร์) ส่วนในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ นั้น Brady Rhodes และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษารอยเลื่อนแม่กก พบลักษณะธรณีสัณฐานที่สำคัญคือ สันเขาปัดกันทางน้ำหักงอ สันเขาปัดกัน แสดงลักษณะการเลื่อนทางซ้าย (left-lateral movement) อัตราการเลื่อนของรอยเลื่อนแม่กกอยู่ที่ 0.175-0.7 มิลลิเมตรต่อปี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในการศึกษาในปีแรกนี้ได้เน้นหนักเฉพาะกลุ่มรอยเลื่อนในเขตจังหวัดลำปาง-แพร่ (รูป 1.1) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ทราบตำแหน่งและลักษณะของกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่
2. ทราบขนาดของแผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดขึ้นในอดีตจากการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนรอยเลื่อนเถินและรอยเลื่อนแพร่ และ
3. ทราบอัตราเฉลี่ยของการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนเหล่านี้

1.3 พื้นที่ศึกษา

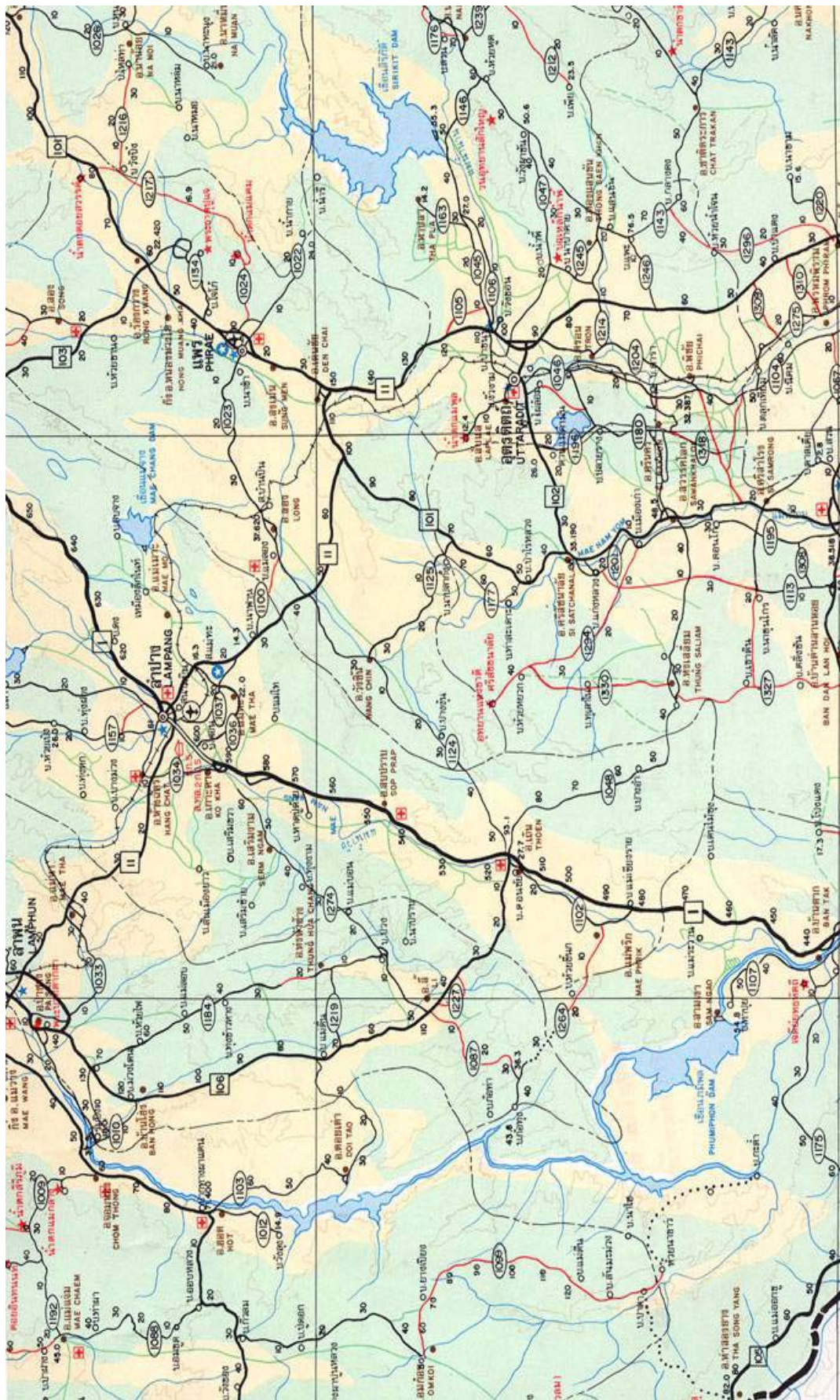
สำหรับพื้นที่ศึกษาในปีแรก คณะผู้วิจัยได้เลือกศึกษาเฉพาะในเขตจังหวัดลำปาง-แพร่ ในภาคเหนือของประเทศไทย รูป 1.2 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา

1.4 ระเบียบวิธีและขอบเขตของการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลเก่าที่มีอยู่เดิม เพื่อหาแนวทางการวิจัยที่เน้นหนักเรื่องรอยเลื่อนมีพลัง ทั้งจากกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมทรัพยากรธรณี โดยเฉพาะตำแหน่งที่ตั้งของรอยเลื่อนและแผ่นดินไหว
2. ศึกษาภาพจากดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศ มาตรฐาน 1:50,000 และ 1:15,000 เพื่อดูลักษณะการวางตัวของแนวรอยเลื่อน และหลักฐานที่แสดงถึงความใหม่ของรอยเลื่อน และข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเพื่อดูแนวรอยเลื่อนที่ถูกปิดทับด้วยตะกอนดิน
3. รวบรวมหลักฐานการเกิดแผ่นดินไหวในอดีต(historical earthquake) ก่อนมีเครื่องตรวจวัด เช่น จากตำนาน ศิลาจารึก พงศาวดาร จดหมายเหตุ ทั้งของไทยในประเทศและต่างประเทศ เพื่อสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีต
4. รวบรวมหลักฐานจากข้อ 1,2 และ 3 เพื่อทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของรอยเลื่อนมีพลังของประเทศ
5. สำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบผลจากการแปลความหมายจากข้อมูลโทรสัมผัสโดยเน้นหนักด้านการศึกษาลำรางและรังวัดสภาพภูมิประเทศ ด้วยกล้องสำรวจ(Theodolite) โดยรอบบริเวณจุดร่องสำรวจ (Trenching) อันเป็นผลจากการเกิดแผ่นดินไหวในมาตรฐาน 1:1,000
6. สำรวจและจัดทำบันทึกลำดับชั้นตะกอนและแนวรอยเลื่อนในร่องสำรวจ (trench logging) เก็บตัวอย่างดินและผงรอยเลื่อนจากร่องสำรวจ



รูป 1.1 แผนที่ประเทศไทยแสดงพื้นที่ศึกษาในเขตพื้นที่ จ.ลำปาง-แพร่(กรอบ A ในปีที่ 1 และ จังหวัดกาญจนบุรี (กรอบ B ในปีที่ 2)



รูป 1.2 แผนที่ทางหลวงแสดงขอบเขตของพื้นที่ศึกษาลำปาง - แพร่และลักษณะภูมิประเทศอย่างง่าย

7. ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยเฉพาะการแยกแร่ (เช่น แร่ควอตซ์ และแร่แคลไซต์) ให้บริสุทธิ์ เพื่อนำมาหาอายุโดยวิธีเรืองแสงความร้อน(thermoluminescence dating หรือ TL) นอกจากนั้นถ้าตัวอย่างมีอินทรีย์วัตถุจะทำการหาอายุโดยวิธี C-14 ซึ่งต้องนำส่งวิเคราะห์ต่างประเทศ (ที่อเมริกาหรือญี่ปุ่น โดยการช่วยเหลือและแนะนำของ Dr. Brady Rhodes และ Prof. Isao Takashima)

8. นำตัวอย่างที่แยกแร่แล้วไปวัดหาอายุด้วยเครื่องมือเรืองแสงความร้อน(thermoluminescence)ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. จัดทำแผนที่แสดงตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลังในมาตราส่วน 1:50,000 และระบุค่าของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอดีต พร้อมอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ (ในปีแรก)

ปีที่ 1 (กลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่, จังหวัดลำปาง-แพร่)

กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. รวบรวมข้อมูลเก่า - ด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหว - ด้านข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหว	—											
2. แปลภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ และจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาฐานที่เกี่ยวเนื่องกับรอยเลื่อนมีพลัง		—										
3. สำรวจภาคสนาม - ตรวจสอบผลการแปลข้อมูลโทรสัมผัส - ทำการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศ รายละเอียดบริเวณจุดร่องสำรวจ - จุดร่องสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน			—	—								
4. เตรียมตัวอย่างโดยแยกแร่ให้บริสุทธิ์							—					
5. วัดหาอายุชั้นดินด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนและวิธี C-14								—				
6. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์									—	—	—	—

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย ทำให้ทราบว่าได้เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีตหรือไม่ และถ้าเคยเกิดจริง ก็สามารถบอกตำแหน่งที่เคยเกิดได้ค่อนข้างแน่นอน ตลอดจนสามารถบอกอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-แพร่ (หรือเถิน-แพร่) ได้ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบฐานรากอาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำเพื่อต้านแรงสั่นจากแผ่นดินไหว พร้อมทั้งยังได้แผนที่สำคัญในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงอันตรายต่อแผ่นดินไหวของภาคตะวันตกและบางส่วนของภาคเหนือของประเทศไทย

การศึกษานี้ นับว่าเป็นประโยชน์สำคัญต่อกรมทรัพยากรธรณีซึ่งเป็นหน่วยงานวิจัยถึงแหล่งต้นกำเนิดของแผ่นดินไหวอันเกี่ยวเนื่องกับรอยเลื่อนมีพลัง และทำให้มหาวิทยาลัยเป็นศูนย์กลางของการเรียนด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหวของนิสิต นักศึกษา สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ทั้งต่อการเรียนและการวิจัยได้เป็นอย่างดีอันเป็นการเตรียมความพร้อมไปสู่ความเป็นเลิศทางด้านธรณีวิทยาแผ่นดินไหวและการแปรสัณฐานของประเทศสืบไป

บทที่ 2

การวิเคราะห์แนวรอยเลื่อนมีพลังด้วยภาพจากดาวเทียม

2.1 บทนำ

ลักษณะแนวเส้น(lineament pattern) ที่คาดว่าเกิดจากแนวรอยเลื่อนสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลรีโมทเซนซิง(remote-sensing)หรือโทรสัมผัสนี้โดยเฉพาะภาพจากดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ โดยภาพจากดาวเทียมให้ข้อมูลที่แสดงโครงสร้างในภาพรวมของแนวเส้นที่พบในพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ในการแปลผลครั้งนี้ได้มีข้อควรระวังในการแปลแนวเส้นที่เกิดจากแนวรอยเลื่อน คือ ได้พิจารณาลักษณะแนวเส้นที่นอกเหนือจากแนวรอยเลื่อนที่อาจจะปรากฏให้เห็นในภาพได้ อาทิ แนวการวางตัวของชั้นหิน(bedding trace) และสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เช่น ถนน อ่างเก็บน้ำ แนวสายไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ซึ่งลักษณะแนวเส้นที่ไม่ได้เกิดจากแนวรอยเลื่อนดังกล่าวบางครั้งอาจมองเห็นเป็นแนวรอยเลื่อนได้ นอกจากนี้การวิเคราะห์แนวเส้นที่คาดว่าจะเป็แนวรอยเลื่อนใหม่หรือไม่ จำเป็นต้องพิจารณาถึงธรณีสัณฐานของพื้นผิวโลกที่ปรากฏให้เห็นด้วย เช่น ชนิดของธรณิทัศน์(landforms) รูปแบบทางน้ำ(drainage pattern) ความต่างระดับของพื้นที่(relief) ลักษณะพืชพรรณ(vegetation) และลักษณะทางธรณีวิทยา เช่น ชนิดหิน(rock type) และโครงสร้างหิน(rock structure) เป็นต้น

2.2 วัตถุประสงค์

เพื่อ

- ศึกษาทิศทางแนวแรงของรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) จากข้อมูลโทรสัมผัส โดยเฉพาะภาพจากดาวเทียม
- ประเมินพื้นที่ศักยภาพของแนวรอยเลื่อนมีพลังจากการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียม

2.3 ข้อมูล

ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT TM 5 Band 4 5 และ 7 มาตรฐาน 1:100,000 ถ่ายเมื่อวันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2541 ของพื้นที่บริเวณอำเภอแม่ทาน อำเภอเถิน และอำเภอสบปราบ โดยมุ่งเน้นพื้นที่แนวรอยเลื่อนเถิน (Thoen Fault) ในจังหวัดลำปาง และวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 สำหรับรอยเลื่อนในจังหวัดแพร่

2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- แปลลักษณะแนวเส้นที่คาดว่าจะเป็แนวรอยเลื่อนหรือแนวเส้นโครงสร้าง (lineament) ด้วยสายตาจากภาพดาวเทียม

2. วัดทิศทางแนวการวางตัว(strike) ของแนวเส้นที่ปรากฏจากภาพดาวเทียมพร้อมกับคำนวณหาความยาวของแนวเส้น
3. วิเคราะห์แนวการวางตัวของแนวเส้น โดยแสดงค่าด้วยโปรแกรม DIP
4. สร้างแบบจำลองแสดงผลจากการแปลภาพดาวเทียมที่บ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างรอยเลื่อนและลักษณะธรณีสัณฐาน เช่น ทางน้ำ หรือตะกอน
5. สร้างแบบจำลองแสดงภาพตัดขวางในพื้นที่ที่คาดว่าจะมีรอยเลื่อนมีพลัง

2.5 ผลการศึกษาแนวเส้นโครงสร้าง

ในส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะห์แนวการวางตัวของแนวกลุ่มรอยเลื่อนลำปางหรือในที่นี้เรียกรอยเลื่อนเถิน (Thoen Fault) เป็นหลัก โดยได้ทำการแปลภาพดาวเทียมในมาตราส่วน 1: 100,000 ประกอบกับข้อมูลรายงานการสำรวจแผนที่ธรณีวิทยาโดยกรมทรัพยากรธรณี ข้อมูลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือน(Udchachon, 2002) และได้พบว่าในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงมีแนวการวางตัวของรอยเลื่อนขนาดใหญ่ในทิศทางเดียวกัน (รูป 2.1ก, 2.1ข และ 2.1ค) โดยเฉพาะรอยเลื่อนเถินมีการวางตัวโดยประมาณในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งจากการศึกษาเก่าที่ผ่านมา เช่น Fenton และคณะ (1997) ได้แบ่งแนวรอยเลื่อนเถินออกเป็นหลายแนวย่อย อย่างไรก็ตาม ในรายงานฉบับนี้ได้มุ่งเน้นที่แนวรอยเลื่อนย่อย 4 แนว คือ แนวรอยเลื่อนย่อยเถิน (Thoen segment) (รูป 2.2) แนวรอยเลื่อนย่อยสบปราบ (Sop Prab segment) (รูป 2.4) แนวรอยเลื่อนย่อยตันจูน (Ton Ngoun segment) (รูป 2.6) และแนวรอยเลื่อนย่อยบ้านมาย (Ban Mai segment) (รูป 2.8) ซึ่งทั้ง 4 แนวเป็นแนวรอยเลื่อนย่อยที่ทางโครงการได้ให้ความสนใจเป็นพิเศษอยู่ ส่วนแนวรอยเลื่อนย่อยอื่นๆ เช่น แนวรอยเลื่อนย่อยแม่ปวน (Mae Puan segment) และแนวรอยเลื่อนย่อยที่อยู่ทางด้านตะวันออกของแนวรอยเลื่อนเถินจะได้ทำการศึกษาในรายละเอียดต่อไปในอนาคต

จากการวิเคราะห์และแปลผลจากภาพดาวเทียม และนำผลที่ได้จากการวัดทิศทางของแนวเส้น (lineaments) จำนวน 785 แนวใน 4 แนวรอยเลื่อนย่อยนี้พบว่ารอยเลื่อนทั้งหมดรวมความยาวได้มากกว่า 785 กิโลเมตร มาแสดงผลในกราฟเพื่อแสดงทิศทางแนวการวางตัวของแนวรอยเลื่อน โดยแบ่งการวิเคราะห์ทิศทางแนวแรงโดยละเอียดตามพื้นที่ย่อยในแต่ละรอยเลื่อนย่อยได้ดังนี้

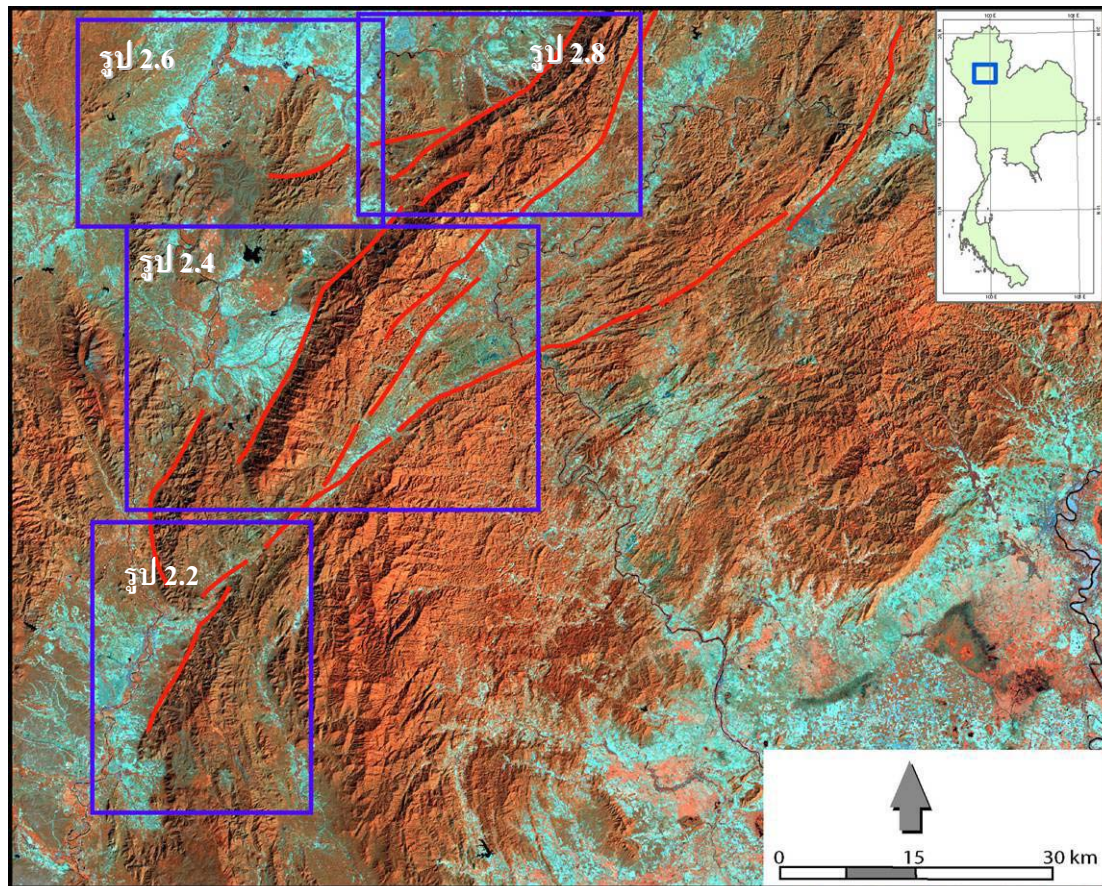
แนวรอยเลื่อนย่อยเถิน (Thoen segment) ได้ทิศทางหลักของแนวเส้น 2 แนว ที่ 35 และ 165 องศาจากทิศเหนือ และแนวทิศทางรองลงมาในทิศทาง 5 และ 65 องศา (รูป 2.3)

แนวรอยเลื่อนย่อยสบปราบ (Sop Prab segment) ได้ทิศทางหลักของแนวเส้นคือ ที่ 35 องศาจากทิศเหนือ และทิศทางรองลงมาที่ 70 และ 100 องศา (รูป 2.5)

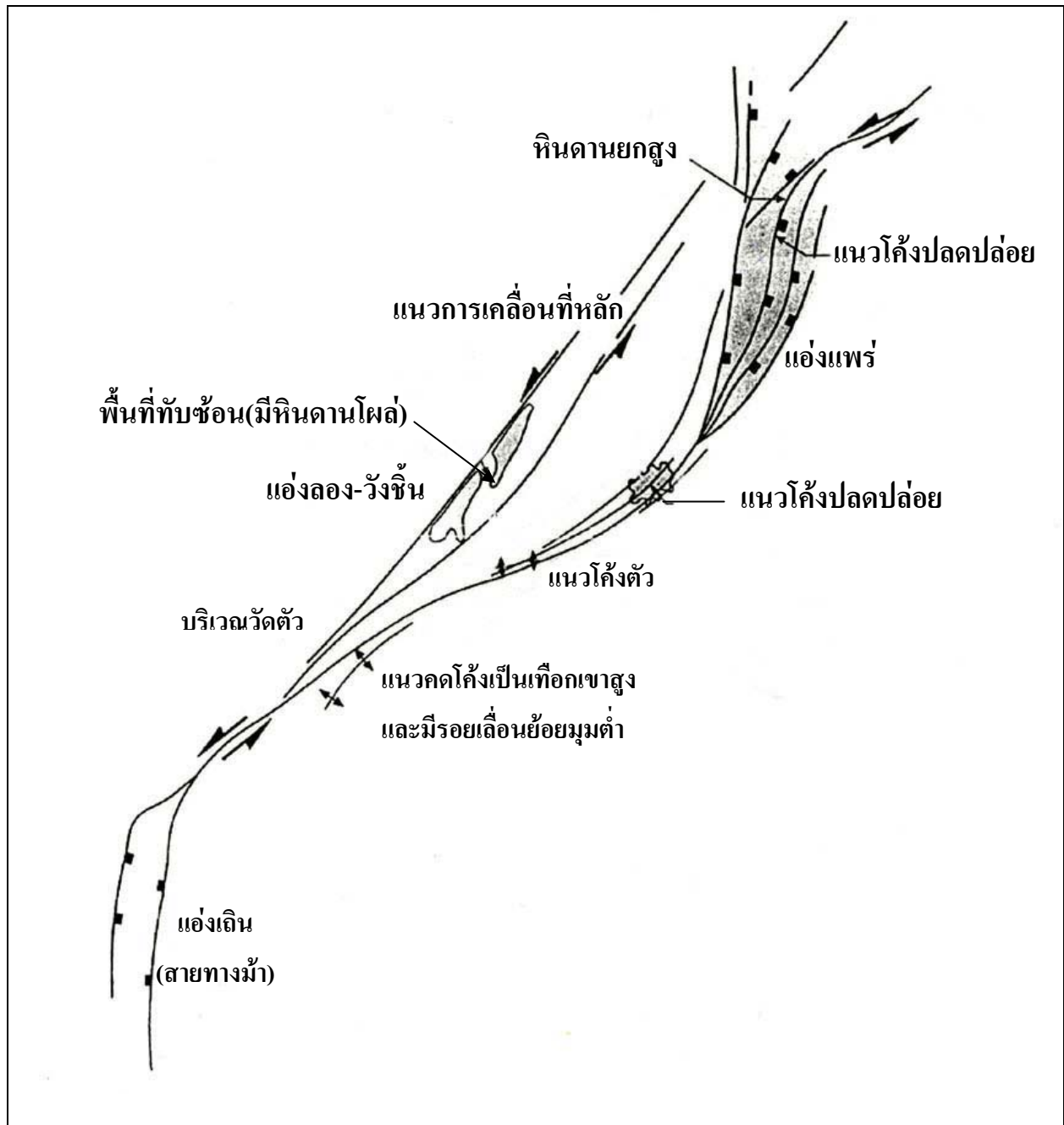
แนวรอยเลื่อนย่อยคอยตันจูน (Ton Ngon segment) ได้ทิศทางหลักของแนวเส้นที่ 25 องศาจากทิศเหนือ และทิศทางรองลงมาที่ 50 45 และ 55 องศา (รูป 2.7)

แนวรอยเลื่อนย่อยบ้านมาย (Ban Mai segment) ได้ทิศทางหลักของแนวเส้นที่ 15 องศาจากทิศเหนือ และทิศทางรองลงมาที่ 55 และ 45 องศา (รูป 2.9)

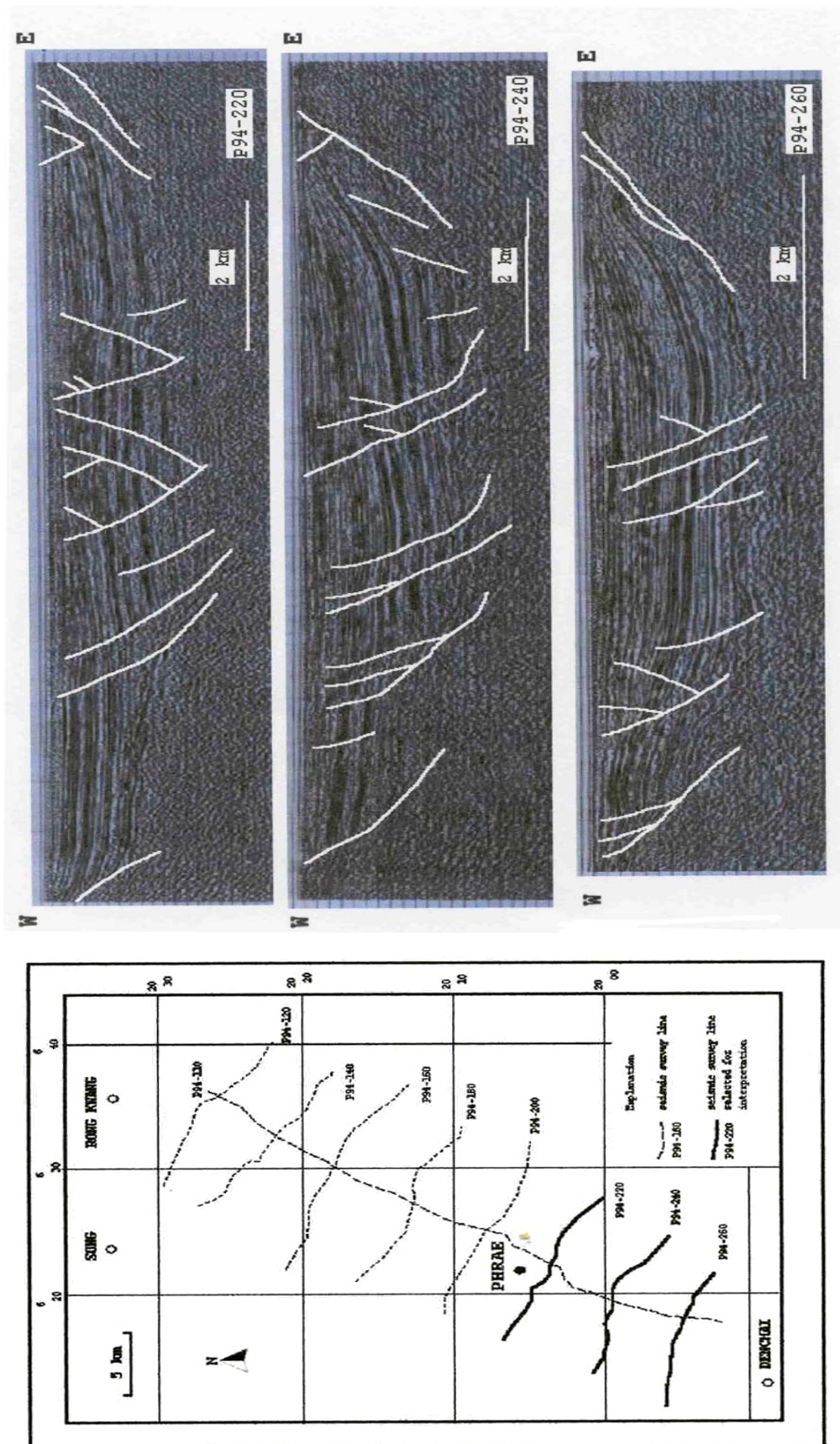
จากการสังเกตในเบื้องต้นพบว่า แนวรอยเลื่อนย่อยเหล่านี้บางแนวที่ได้พาดผ่านชั้นตะกอนยุคควอเทอร์นารี ดังเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่แนวรอยเลื่อนย่อยแม่ตาน และแนวรอยเลื่อนย่อยคอยดันงูน (ดังแสดงในวงกลมรูป 2.2, 2.4 และ 2.8) ซึ่งจากแนวการพาดผ่านชั้นตะกอนยุคใหม่นี้เองทำให้สันนิษฐานได้ในเบื้องต้นว่า รอยเลื่อนย่อยเหล่านี้อาจมีอายุค่อนข้างใหม่ คือมีอายุแก่กว่าตะกอนยุคควอเทอร์นารีนั่นเอง เมื่อพิจารณาธรณีสัณฐานและแบบรูปทางน้ำในบริเวณที่แนวรอยเลื่อนตัดผ่านตะกอนยุคใหม่นี้ทำให้ทราบว่า ในพื้นที่ดังกล่าวมีสภาพธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนอยู่ด้วย เช่น หน้าผาสองเหลี่ยม(triangular facet), ทางน้ำหักงอ(offset stream) และการทิศทางของทางน้ำที่ค่อนข้างตรง ซึ่งจากหลักฐานทางธรณีสัณฐานที่พบดังกล่าว สามารถนำมาสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างธรณีสัณฐานกับการเกิดแนวรอยเลื่อนได้ และแบบจำลองแสดงภาพตัดขวางของพื้นที่ได้ (รูป 2.10)



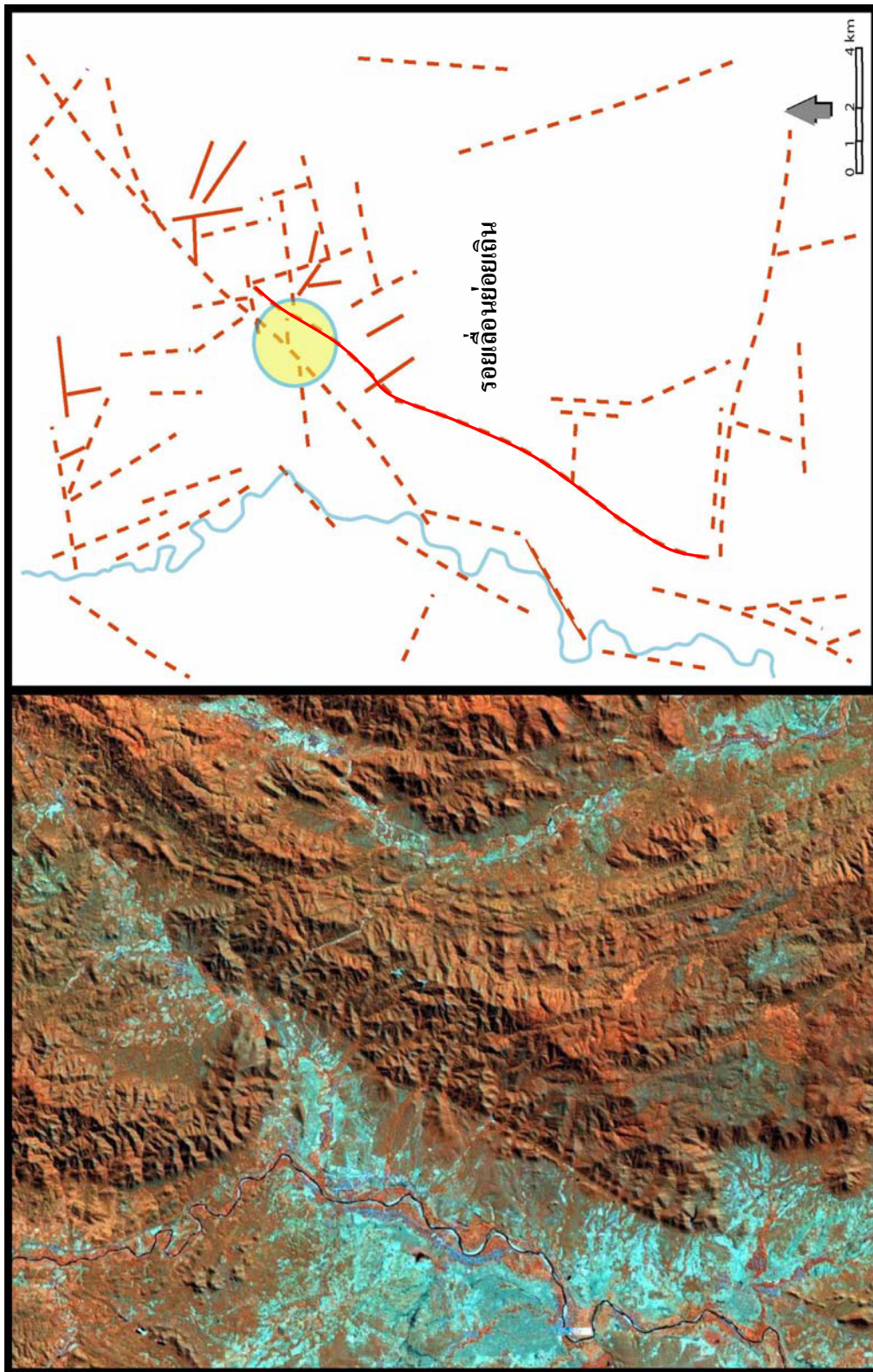
รูป 2.1 ก ภาพจากดาวเทียม Landsat 5 แสดงพื้นที่ศึกษา แนวรอยเลื่อนหลัก และรอยเลื่อนย่อยในพื้นที่
ศึกษาจังหวัดลำปาง และพื้นที่วิเคราะห์แนวเส้น (lineament) ในรายละเอียด(ในกรอบสี่เหลี่ยม)



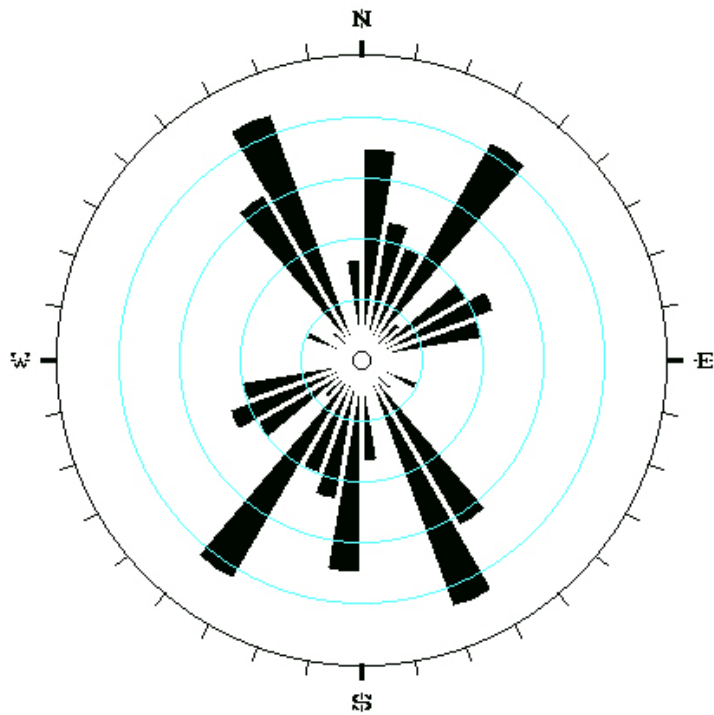
รูป 2.1ข แบบจำลองแอ่งแพร่และพื้นที่ข้างเคียงที่มีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนตามแนวระดับของกลุ่มรอยเลื่อน เถิน-แพร่(จาก Srisuwan และคณะ, 2000)



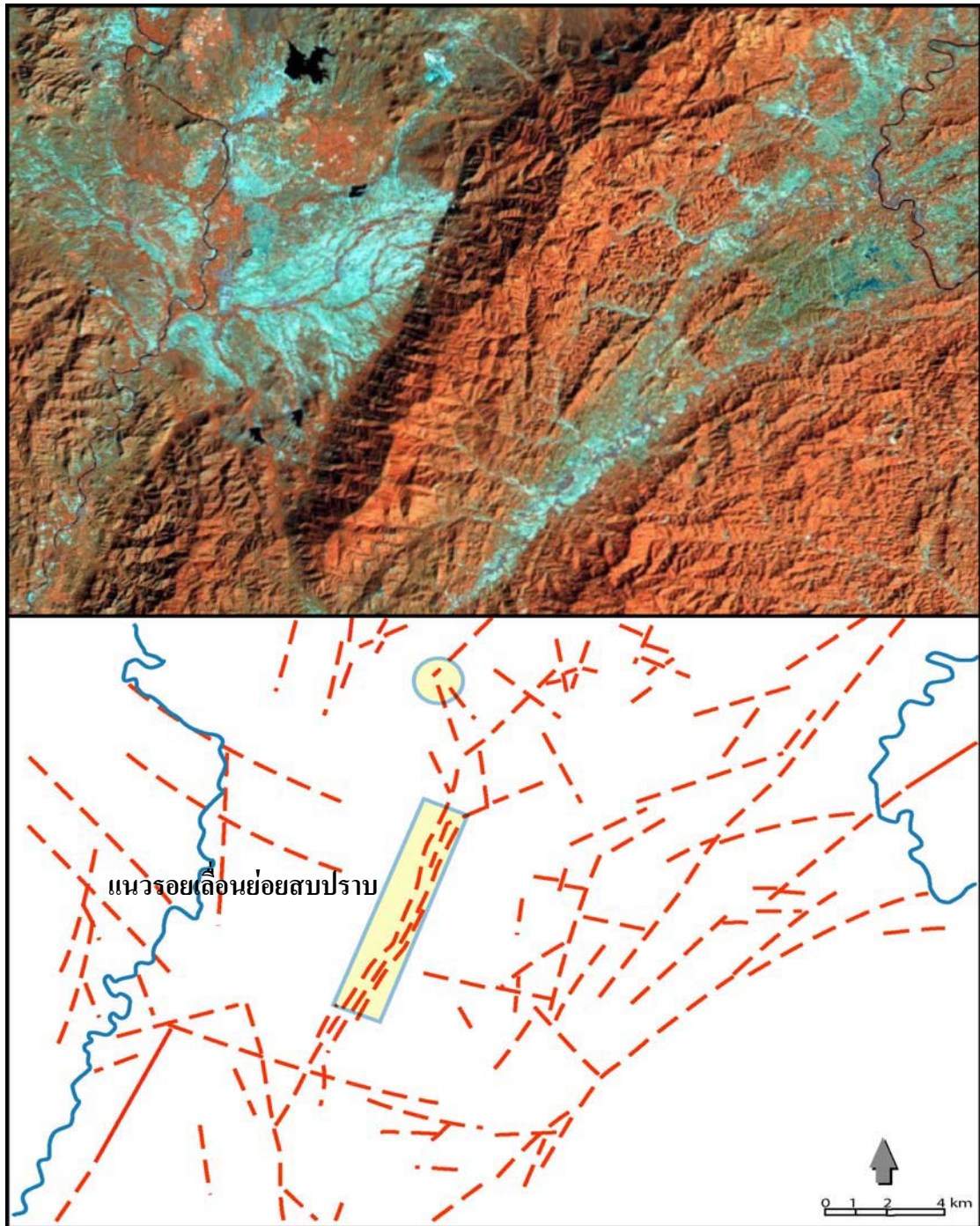
รูป 2.1ค ผลการตีความข้อมูลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนบริเวณส่วนใต้ของแอ่งแพร่ โดยพบรอยเลื่อนบริเวณขอบแอ่งทั้งสองข้างและมีกลุ่มรอยเลื่อนบริเวณกลางแอ่งปกคลุมโดยตะกอนอายุควอเตอร์นารี



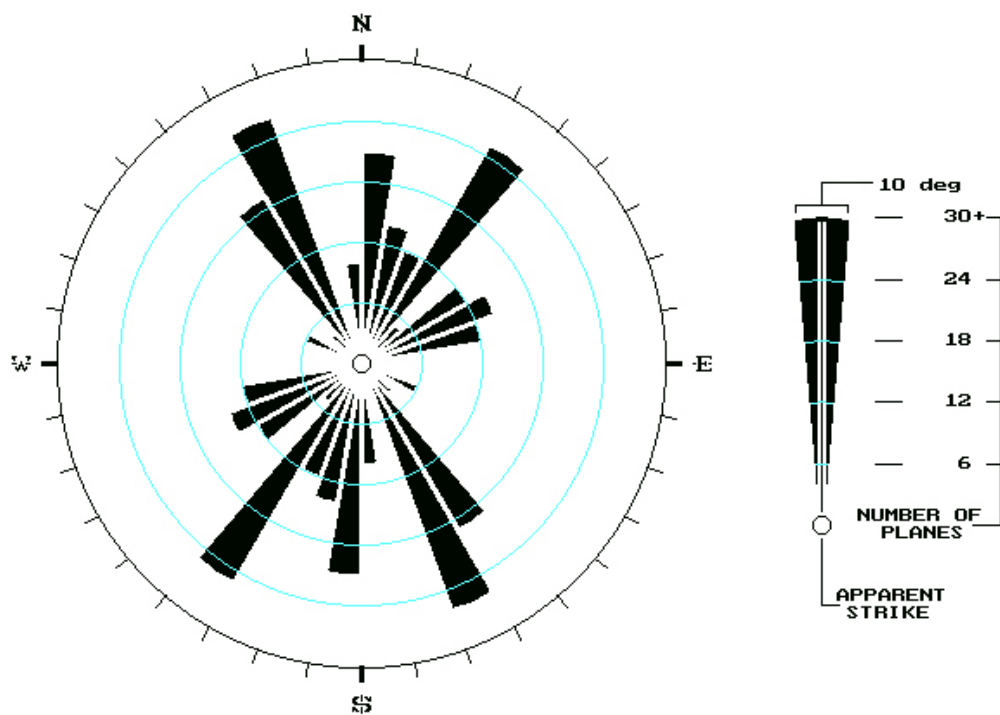
รูป 2.2 ภาพจากดาวเทียม Landsat 5 TM (ซ้าย) แสดงแนวเส้นจากการแปลภาพ (ขวา) ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนยอเถิน (Theon fault segment) และวงกลม แสดงพื้นที่ศึกษาที่จะเกิดแนวรอยเลื่อนมีพลัง (active fault)



รูป 2.3 Rosette diagram แสดงทิศการวางตัว (strike) ของแนวเส้น ในบริเวณแนวรอยเลื่อนย่อยเถิน (Theon fault segment)



รูป 2.4 ภาพจากดาวเทียม Landsat TM 5 (บน) แสดงแนวเส้นจากการแปลภาพ (ล่าง) ในพื้นที่แนวรอยเลื่อนย่อยสบปราบ (Sop Prab segment) สีเหลืองและวงกลมแสดงพื้นที่ศึกษาที่อาจเกิดแนวรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ที่ตัดผ่านตะกอนยุคควอเตอร์เทอร์นารี



รูป 2.5 Rosette diagram แสดงทิศการวางตัว (strike) ของแนวเส้นในบริเวณแนวรอยเลื่อนย่อยสบปราบ (Sop Prab fault segment)