

ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ตามแนวระบบรอยเลื่อน
ตามแนวระดับ ชายแดนประเทศไทย-พม่า
นายภูริณัฐ พิพัฒน์เจริญกุล

ธรณีวิทยา

2557

ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ตามแนวระบบรอยเลื่อน ตามแนวระดับ
ชายแดนประเทศไทย-พม่า

นายภูริณัฐ พิพัฒน์เจริญกุล

เลขประจำตัวนิต 543 27290 23

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557

Region-Time-Length Algorithm along the Strike-slip Fault System, Thailand-Myanmar

Border

Mr. Phurinat Pipattanajaroenkul

Student ID: 543 27290 23

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2014

วันที่ส่ง

____/____/____

วันที่อนุมัติ

____/____/____

ลงชื่อ _____

(_____)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย: ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ตามแนวระบรอยเลื่อนตามแนวระดับ ชายแดนประเทศไทย-พม่า

นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายภูริณัฐ พิพัฒน์เจริญกุล

ภาควิชา: ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

ปีการศึกษา: 2557

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายในประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต ตามระบบรอยเลื่อนตามแนวระดับ บริเวณชายแดนประเทศไทย-พม่า โดยวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ในการศึกษาจะใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว 3 ชนิด ได้แก่ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), The Global Centroid Moment Tensor (CMT) และกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD) ซึ่งข้อมูลจะอยู่ในช่วงปี ค.ศ.1964-2015 ซึ่งหลังจากปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 1,706 เหตุการณ์และมีขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ตั้งแต่ 4.8 ริกเตอร์ขึ้นไป ที่มีความสมบูรณ์และสื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีฐานอย่างแท้จริง และทำการคัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด 6.0 ริกเตอร์ขึ้นไป มาเป็นกรณีศึกษาจำนวน 14 เหตุการณ์ แล้วทำการทดสอบย้อนกลับ เพื่อหาค่าตัวแปรอิสระต่างๆที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมแล้ว จึงนำมาคำนวณกับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้จนถึงปัจจุบัน เพื่อสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของภาวะเงียบสงบของพื้นที่ศึกษา พบว่าบริเวณที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตมี 2 บริเวณคือ ทางตอนเหนือซึ่งครอบคลุมพื้นที่รอยเลื่อนพานหลวงและรอยเลื่อนเมย-ตองยี และทางตอนใต้ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รอยเลื่อนทวาย รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์

คำสำคัญ: การทดสอบย้อนกลับ, ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว, ภาวะเงียบสงบ, ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน

Project title: Region-Time-Length Algorithm along the Strike-slip Fault System,
Thailand-Myanmar Border
Researcher: Mr. Phurinat Pipattanajaroenkul
Department: Geology
Advisor: Professor Assistant Dr. Santi Pailoplee
Academic Year: 2014

ABSTRACT

In this study, the prospective areas of the upcoming moderate-to-large earthquake were evaluated along the Strike-slip Fault System, Thailand-Myanmar Border. In order to investigate the precursory seismic quiescence of earthquake, a statistical method, called the Region-Time-Length (RTL) algorithm were used in this study. The main dataset are the completeness earthquake catalogue occupied by 3 data sources, i.e., i) Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), ii) The Global Centroid Moment Tensor (CMT) and iii) Thai Meteorological Department (TMD). After improving the earthquake catalogue, i.e., homogenizing the earthquake magnitude, earthquake declustering of foreshock and aftershock, including eliminating the man-made seismicity, 1,706 events with $M_w > 4.8$ reported during 1964-2015 were defined as the completeness data meaningful for any seismicity investigation.

Then, 14 available events of the $M_w > 4.8$ earthquakes were considered for the retrospective test. After the retrospective test, it is found that $r_0 = 170$ km and $t_0 = 3.5$ years are appropriate characteristic parameter for the Strike-slip Fault System. As a result, this study gives me a Seismic quiescence map of study area. It shows that there are 2 prospective areas might be risk for the upcoming moderate-large earthquakes are the Northern part and Southern part of the Strike-slip Fault System, Thailand-Myanmar Border.

KEYWORDS: Earthquake Catalogue, Seismicity Rate Change, Precursor, the Strike-slip Fault System, Thailand-Myanmar Border

กิตติกรรมประกาศ

(ACKNOWLEDGEMENT)

การทำโครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดแนวทาง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอด จนโครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมทั้ง บุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคคลต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

สารบัญ
(CONTENT)

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ(ACKNOWLEDGEMENT) | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ(FIGURE CONTENT) | ช |
| สารบัญตาราง (TABLE CONTENT) | ญ |
| สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT) | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION) | |
| 1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background) | 1 |
| 1.2. วัตถุประสงค์ (Objective) | 1 |
| 1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area) | 1 |
| 1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of study) | 1 |
| 1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results) | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY) | |
| 2.1. ทฤษฎีแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน | 3 |
| 2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews) | 4 |
| 2.3. ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology) | 7 |
| บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS) | |
| 3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination) | 9 |
| 3.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion) | 15 |
| 3.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering) | 23 |
| 3.4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity) | 26 |
| 3.5. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness) | 27 |

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 ผลการศึกษา (RESULT) | |
| 4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test) | 29 |
| 4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area) | 35 |
| บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION) | |
| 5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด (Earthquake Catalogue) | 36 |
| 5.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion) | 36 |
| 5.3. การจัดกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Declustering) | 37 |
| 5.4. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness) | 38 |
| 5.5. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test) | 39 |
| 5.6. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area) | 40 |
| เอกสารอ้างอิง (REFERENCES) | 41 |

สารบัญญรูปภาพ
(FIGURE CONTENT)

| | | หน้า |
|----------|--|------|
| รูป 1.1. | แสดงพื้นที่ศึกษาครอบคลุมกลุ่มรอยเลื่อนเหลี่ยมข้าง ชายแดนไทย-พม่า | 2 |
| รูป 2.1. | แสดงการทดลองการก่ดแท่งหินของ Sobolev (1995) | 4 |
| รูป 2.2. | แผนที่แสดงการกระจายตัวของภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหว บริเวณอ่าวเนมุโระ ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1996 (Huang และ Sobolev, 2002) | 5 |
| รูป 2.3. | แผนที่แสดงการกระจายตัวของภาวะกระตุ้น (seismic activation) บริเวณอ่าวเนมุโระ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหว ระหว่างเดือนตุลาคม ปี ค.ศ. 1996 ถึง เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1997 (Huang และ Sobolev, 2002) | 5 |
| รูป 2.4. | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2000 (Huang, 2004) | 6 |
| รูป 2.5. | แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1999 (Chen และ Wu, 2006) | 6 |
| รูป 2.6. | แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา | 8 |
| รูป 3.1. | แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล IRIS ซึ่งมีกระจายค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษา | 9 |
| รูป 3.2. | ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1964 มีจำนวน 33,662 เหตุการณ์ | 10 |
| รูป 3.3. | แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS กับตัวแปรต่างๆ | 10 |
| รูป 3.4. | แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวฐานข้อมูล CMT ซึ่งมีข้อมูลน้อยและไม่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา | 11 |
| รูป 3.5. | ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1977 มีจำนวน 486 เหตุการณ์ | 12 |
| รูป 3.6. | แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว CMT กับตัวแปรต่างๆ | 12 |
| รูป 3.7. | แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล TMD ซึ่งกระจายค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษา | 13 |

| | หน้า |
|--|------|
| รูป 3.8. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว TMD บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1998 มีจำนวน 14,185 เหตุการณ์ | 14 |
| รูป 3.9. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว TMD กับตัวแปรต่างๆ | 14 |
| รูป 3.10. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่เกิดจากการรวมกันของฐานข้อมูลย่อยทั้ง 3 ชนิด | 15 |
| รูป 3.11. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว ML ในพื้นที่ศึกษา | 16 |
| รูป 3.12. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MB ในพื้นที่ศึกษา | 16 |
| รูป 3.13. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MS ในพื้นที่ศึกษา | 17 |
| รูป 3.14. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS ในพื้นที่ศึกษา | 18 |
| รูป 3.15. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT ในพื้นที่ศึกษา | 18 |
| รูป 3.16. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว TMD ในพื้นที่ศึกษา | 19 |
| รูป 3.17. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MX ในพื้นที่ศึกษา | 19 |
| รูป 3.18. แสดงค่าความถี่ตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ MW (Kagan และ Knopoff, 1980b) | 20 |
| รูป 3.19. แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้ | 20 |
| รูป 3.20. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MS เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน | 21 |
| รูป 3.21. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MB เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน | 22 |
| รูป 3.22. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MB-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน | 22 |
| รูป 3.23. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MS-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน | 23 |
| รูป 3.24. หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) | 24 |

| | | |
|-----------|---|----|
| รูป 3.25. | การคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจากข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) | 24 |
| รูป 3.26. | กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 44,810 เหตุการณ์ (ซ้าย) และหลังการเตรียมข้อมูลเหลือ 2,909 เหตุการณ์ (ขวา) | 25 |
| รูป 3.27. | กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 2,909 เหตุการณ์ (ซ้าย) และหลังการเตรียมข้อมูลเหลือ 1,706 เหตุการณ์ (ขวา) | 26 |
| รูป 3.28. | กราฟแสดงแนวโน้มของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ | 27 |
| รูป 3.29. | แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c=4.8$ | 28 |
| รูป 4.1. | แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้เป็นกรณีศึกษา | 30 |
| รูป 4.2. | แผนที่แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของเหตุการณ์ที่ 1, 9 และ 13 ของทั้ง 2 เงื่อนไข | 34 |
| รูป 4.3. | แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติที่ได้จากเงื่อนไขที่กำหนด | 35 |
| รูป 5.1. | แสดงการหาระดับแผ่นดินไหวสมบูรณ์ สู่ถึงความมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูล และประสิทธิภาพของข้อมูลที่จะนำไปศึกษาต่อ | 39 |

สารบัญตาราง
(TABLE CONTENT)

| | | หน้า |
|------------|---|------|
| ตาราง 4.1. | แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษาจำนวน 14 เหตุการณ์ | 29 |
| ตาราง 4.2. | แสดงตัวอย่างเงื่อนไขค่า R_{max} และ T_{max} กรณีต่างๆ | 31 |
| ตาราง 4.3. | แสดงรายละเอียดข้อมูลของ 2 เงื่อนไขที่สนใจ | 32 |
| ตาราง 4.4. | แสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 1 | 33 |
| ตาราง 5.1. | แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ | 36 |
| ตาราง 5.2. | แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว | 37 |
| ตาราง 5.3. | แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว และหลักการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์ | 38 |
| ตาราง 5.4. | แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว หลังการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมถึงหลังจากคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ | 38 |
| ตาราง 5.5. | แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษาจำนวน 14 เหตุการณ์ | 39 |
| ตาราง 5.6. | แสดงข้อมูลของเงื่อนไขค่า R_{max} และ T_{max} ทั้ง 2 เงื่อนไข | 40 |

สารบัญสมการ
(EQUATION CONTENT)

| | หน้า |
|---|------|
| สมการ 2.1. พังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา | 3 |
| สมการ 2.2. พังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่จะพิจารณา | 3 |
| สมการ 2.3. พังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน | 3 |
| สมการ 2.4. สมการของ Wells และ Coppersmith (1994) | 4 |
| สมการ 3.1. ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS | 21 |
| สมการ 3.2. ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB | 21 |
| สมการ 3.3. ความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW | 22 |
| สมการ 3.4. ความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW | 22 |
| สมการ 4.1. พังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา | 30 |
| สมการ 4.2. พังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่จะพิจารณา | 30 |
| สมการ 4.3. พังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน | 30 |

บทที่ 1

บทนำ (INTRODUCTION)

1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

บริเวณพื้นที่ตามแนวชายแดนไทย-พม่าเป็นบริเวณที่ประกอบไปด้วยกลุ่มรอยเลื่อนจำนวนมาก ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ที่มีลักษณะเป็นรอยเลื่อนเหลี่ยมข้าง (strike-slip fault) โดยมีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนสะแกียง (sagaing fault) ที่อยู่ในประเทศพม่า จากการสืบค้นข้อมูลในอดีตพบว่าบริเวณนี้เคยเกิดแผ่นดินไหวครั้งสำคัญอย่างน้อย 2 ครั้ง ได้แก่ แผ่นดินไหวขนาด 5.9 ริกเตอร์ บริเวณรอยเลื่อนเยม (ค.ศ. 1975) และแผ่นดินไหวขนาด 5.6 ริกเตอร์บริเวณรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ (ค.ศ. 1983) (Klaipongphan และคณะ, 1991) ถึงแม้ว่าแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ตามแนวชายแดนไทย-พม่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อบริเวณกว้าง แต่ก็ทำให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินกับบุคคลที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว ดังนั้นการศึกษาลักษณะการเกิดแผ่นดินไหวและการประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตบริเวณพื้นที่ตามแนวชายแดนไทย-พม่าจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวางแผนรับมือแผ่นดินไหวในอนาคต

1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

บริเวณพื้นที่แนวกลุ่มรอยเลื่อนเหลี่ยมข้าง ชายแดนไทย-พม่าครอบคลุมพื้นที่พิกัดลองจิจูด 95.25E-100.67E ละติจูด 12.33N-22.96N ดังรูป 1.1

1.3. วัตถุประสงค์ (Objectives)

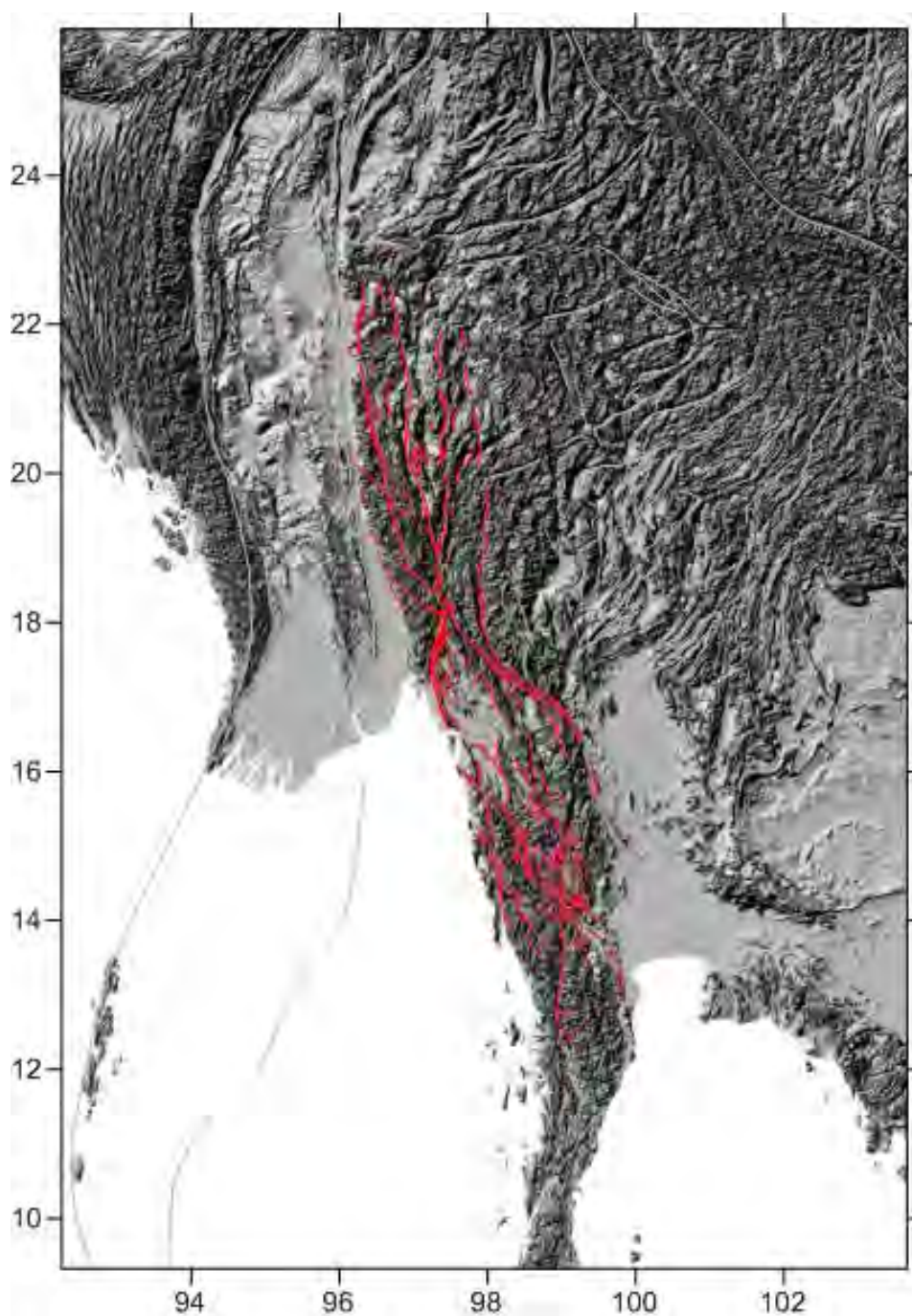
เพื่อประเมินโอกาสในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต ตามแนวกลุ่มรอยเลื่อนเหลี่ยมข้าง ชายแดนไทย-พม่า ด้วยขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm) และนำเสนอแผนที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว

1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Work)

ครอบคลุมพื้นที่พิกัดลองจิจูด 95.25E-100.67E ละติจูด 12.33N-22.96N ด้วยขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm) โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS, TMD และ CMT

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของภาวะเงียบสงบตามแนวกลุ่มรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง บริเวณชายแดนไทย-พม่า จากแนวคิดระเบียบชั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาว รอยเลื่อน



รูป 1.1. แสดงพื้นที่ศึกษาครอบคลุมกลุ่มรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง ชายแดนไทย-พม่า

บทที่ 2

ทฤษฎีและขั้นตอนการดำเนินงาน (Theory and Methodology)

2.1. ทฤษฎีแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm, RTL)

ปัจจุบันมีวิธีการทางสถิติมากมายที่ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อประเมินลักษณะการเกิดแผ่นดินไหวและประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหว ในที่นี้จะกล่าวถึงการประเมินระเบียบวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm, RTL) ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ตรวจจับพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหว โดยพบว่าก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาดกลางขึ้นไปจนถึงขนาดใหญ่ จะมีการลดลงของการไหวสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญที่เรียกว่าภาวะเงียบสงบ (Seismic quiescence) จากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของการไหวสะเทือนที่เรียกว่าภาวะกระตุ้น (Seismic activation) ซึ่งสามารถใช้เป็นกลางบอกเหตุที่สำคัญก่อนการเกิดแผ่นดินไหวได้ (Tyupkin และ Sobolev, 1997) โดยจะพิจารณาจากตัวแปรในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว 3 ตัวแปร คือ พื้นที่ เวลาและความยาวของรอยเลื่อน ดังสมการ (2.1) – (2.3)

$$R(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (2.1.)}$$

$$T(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (2.2.)}$$

$$L(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (2.3.)}$$

จากสมการ (2.1.) - (2.3.) สามารถอธิบายตัวแปรในแต่ละฟังก์ชันได้ดังนี้

| | |
|----------------------|--|
| R | คือ ฟังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา |
| T | คือ ฟังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่จะพิจารณา |
| L | คือ ฟังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน |
| r_i | คือ ระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่พิจารณาถึงจุดศึกษา |
| t_i | คือ เวลาของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง |
| l_i | คือ ความยาวของรอยเลื่อน |

| | |
|--------------------------|---|
| t | คือ ช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณา |
| r_o, t_o | คือ ค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จากการเปรียบเทียบในพื้นที่ศึกษา |
| n | คือ จำนวนเหตุการณ์ |
| R_{bg}, T_{bg}, L_{bg} | คือ แนวโน้มของ R, T, L ตามลำดับ |

โดยค่า I_i หาได้จากสมการของ Wells และ Coppersmith (1994) ดังสมการ (2.4.)

$$\log(SRL) = a + b * M \quad \text{สมการ (2.4.)}$$

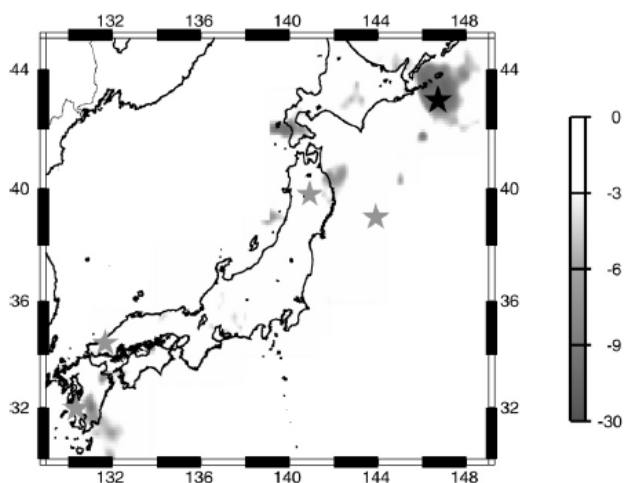
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

Sobolev (1995) ได้ทำการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวขึ้น โดยทำการทดลองกดอัดแท่งหินและใช้อุปกรณ์ในการวัดพลังงานเสียงจากการปริแตกของหินพบว่าเมื่อเริ่มทำการบีบอัด จะเริ่มมีสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากแตกเล็กๆของแท่งหิน และเมื่อทำการบีบอัดไปเรื่อยๆ สัญญาณเสียงจะเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ก่อนที่แท่งหินจะเกิดการแตกหักและเปลี่ยนรูปร่างไป โดยจากการทดลองจะทำให้ทราบว่า ก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จะมีการลดลงของอัตราการไหวสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญ เรียกว่า ภาวะสงบเงียบ (Seismic quiescence) และหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหวสะเทือน (Seismic activation) ตามมา ดังรูป 2.1

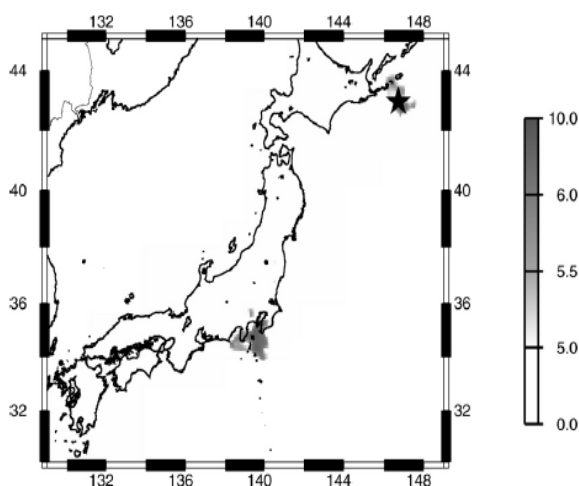


รูป 2.1. แสดงการทดลองการกดแท่งหินของ Sobolev (1995)

Huang และ Sobolev (2002) ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน เพื่อประเมินพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณอ่าวเนมุโระ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจากการศึกษา พบความผิดปกติประมาณปี ค.ศ. 1996 และหลังจากนั้นอีก 4 ปี เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.8 ริกเตอร์ ในบริเวณที่เคยแสดงค่าความผิดปกติใน ปี ค.ศ. 2000 ดังรูป 2.2-2.3

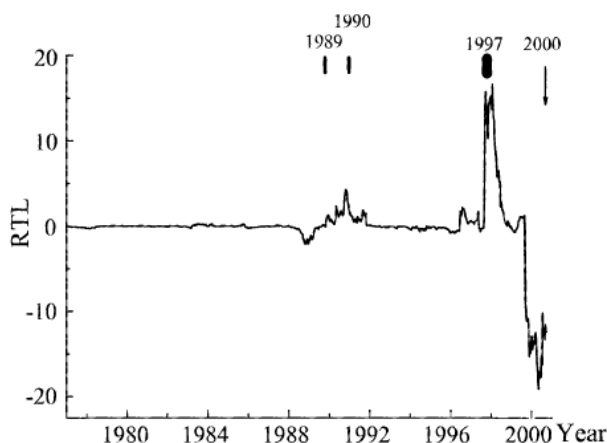


รูป 2.2. แผนที่แสดงการกระจายตัวของภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหว บริเวณอ่าวเนมุโระ ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1996 (Huang และ Sobolev, 2002)



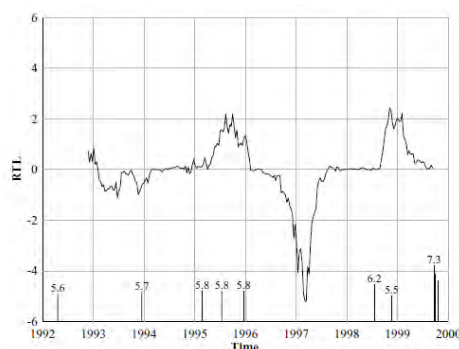
รูป 2.3. แผนที่แสดงการกระจายตัวของภาวะกระตุ้น (seismic activation) บริเวณอ่าวเนมุโระ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหว ระหว่างเดือนตุลาคม ปี ค.ศ. 1996 ถึง เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1997 (Huang และ Sobolev, 2002)

Huang (2004) ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน เพื่อประเมินพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวในเมืองต็อตโตริ (Tottori) ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 ริกเตอร์ พบค่าผิดปกติเริ่มแสดงให้เห็นในช่วงปลายปี ค.ศ. 1999 และเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ตามมาในปี ค.ศ. 2000 ดังรูป 2.4



รูป 2.4. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2000 (Huang, 2004)

Chen และ Wu (2006) พบว่าขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน สามารถตรวจจับสภาวะเงียบสงบ และสภาวะกระตุ้นก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.6 ริกเตอร์ ที่เมืองชี่ชี่ (Chi-Chi) ประเทศไต้หวันได้ โดยจากการศึกษาพบว่าสภาวะเงียบสงบเกิดขึ้นในพื้นที่เมื่อปี ค.ศ. 1996 ตามด้วย สภาวะกระตุ้นเมื่อปี ค.ศ. 1997 ก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1999 ดังรูป 2.5

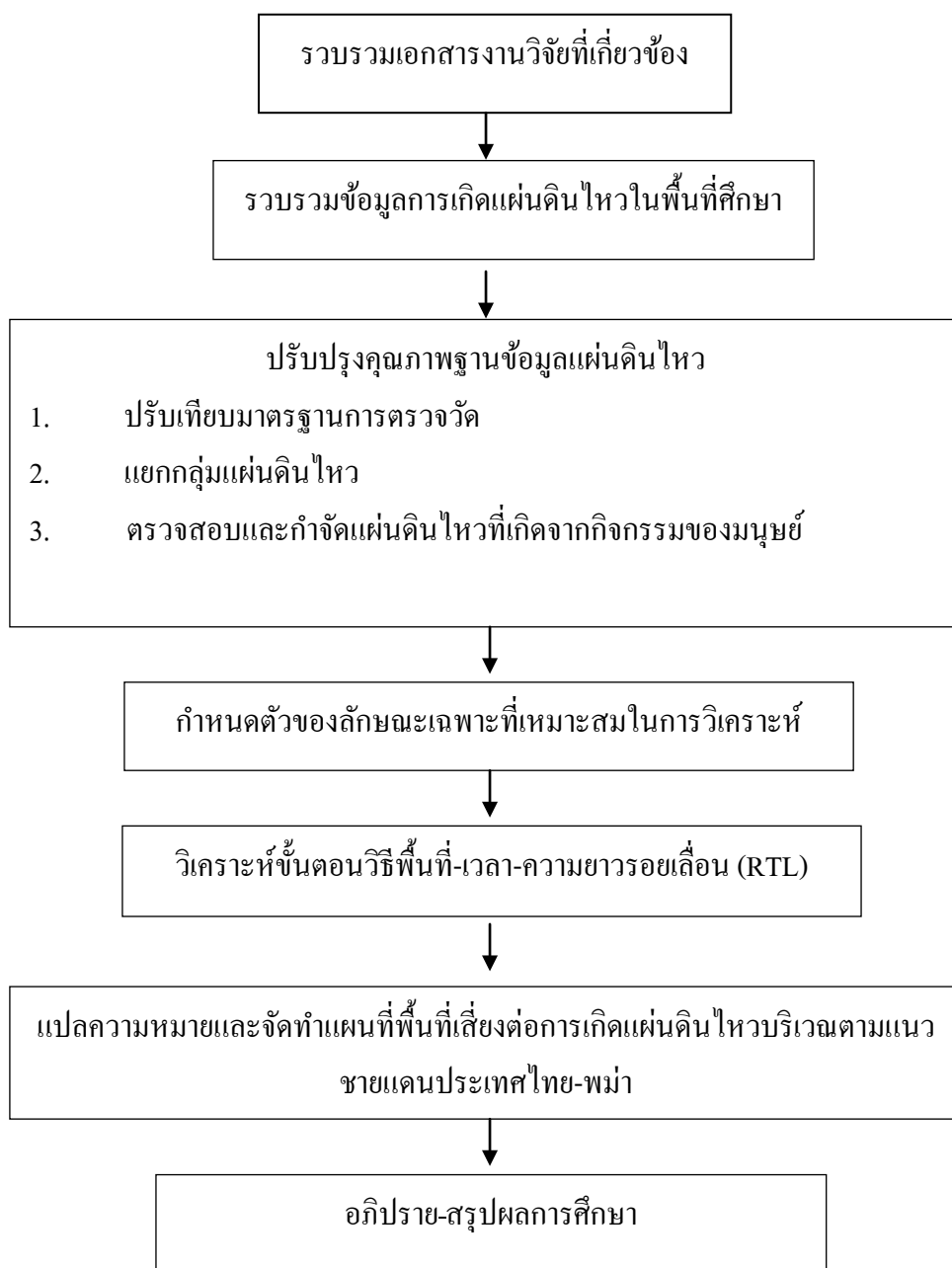


รูป 2.5. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1999 (Chen และ Wu, 2006)

จากที่กล่าวมาข้างต้นประกอบกับการสืบค้นข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยในอดีตพบว่าการประเมินระเบียบวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm, RTL) เป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษาลักษณะการเกิดแผ่นดินไหวและการประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต บริเวณพื้นที่ตามแนวชายแดนไทย-พม่า

2.3. ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

1. รวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 2. รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาที่มีการบันทึกไว้จากแหล่งต่างๆ เช่น ฐานข้อมูล IRIS, ฐานข้อมูล CMT และฐานข้อมูล TMD
 3. ปรับปรุงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนจะนำไปวิเคราะห์ด้วย 3 วิธีดังต่อไปนี้
 - การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)
 - การแยกกลุ่มแผ่นดินไหว (Earthquake Declustering)
 - กำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)
 4. กำหนดตัวแปรของลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ เช่น รัศมีในการพิจารณาข้อมูลในตำแหน่งวิเคราะห์ใดๆ (space window) และกรอบเวลาของการเลือกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการวิเคราะห์ใดๆ (time window)
 5. วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีพื้นที่ด้วยวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm, RTL) ในแต่ละพื้นที่ย่อยและแต่ละช่วงเวลา
 6. แปลความความผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm, RTL) และนำเสนอแผนที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว
 7. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา
- ซึ่งแผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาแสดงดังรูป 2.6



รูป 2.6. แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 3

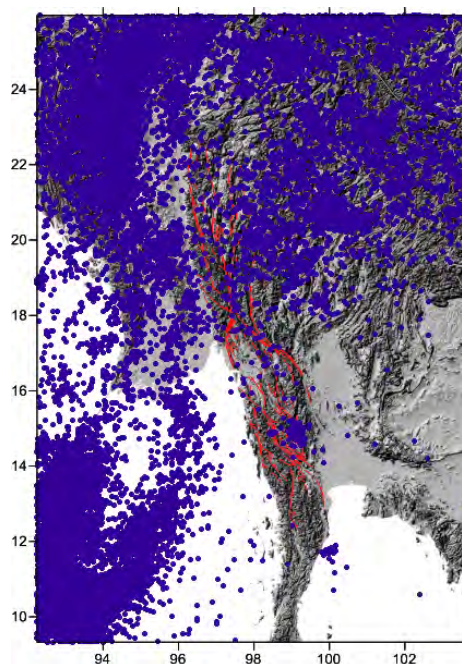
การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS)

3.1. การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว (Collecting Data)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษารวบรวมจาก 3 ฐานข้อมูล ดังนี้

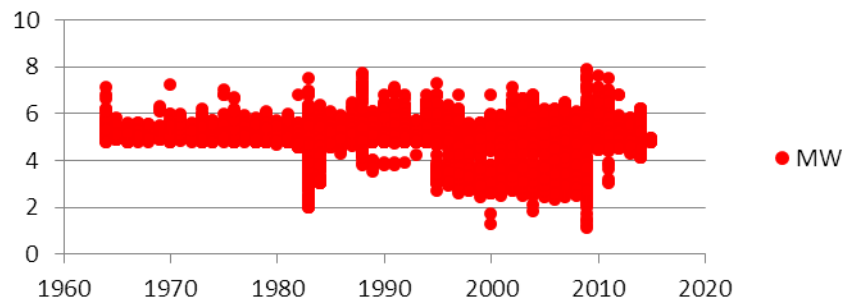
3.1.1. ฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) เป็นฐานข้อมูลที่มีจำนวนข้อมูลมากที่สุด รายงานได้รวดเร็วที่สุดเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละครั้ง จุดประสงค์คือการเน้นการรายงานให้ทราบแต่ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลจะน้อย ถึงแม้ว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS จะมีความถูกต้องน้อย แต่ก็จำเป็นที่จะต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากว่าการวิเคราะห์เชิงสถิติที่จำนวนของข้อมูลก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ออกมามีความน่าเชื่อถือ จากข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวกระจายค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษาดังรูป 3.1 มีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 30,139 ข้อมูล ดังรูป 3.2 มีขนาดของแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.1-8.5 ความลึกตั้งแต่ 0-750 เมตร มีการตรวจวัดแผ่นดินไหวในช่วงปี 1964.0403-2015.1085 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลในหนึ่งวันตั้งแต่ 00.00-23.59 น. ดังรูป 3.3 (ก)-(ง)



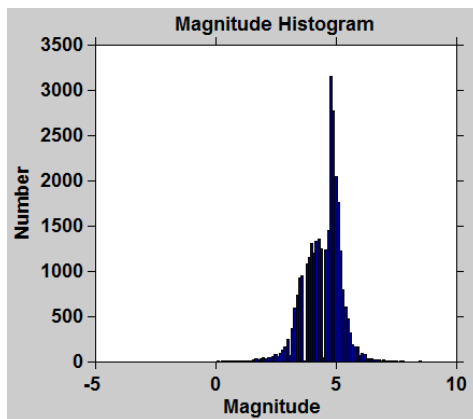
รูป 3.1. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล IRIS ซึ่งมีกระจายค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

IRIS Catalogue

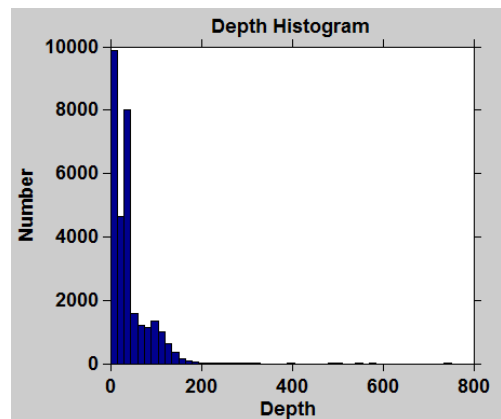


รูป 3.2.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1964 มีจำนวน 33,662 เหตุการณ์

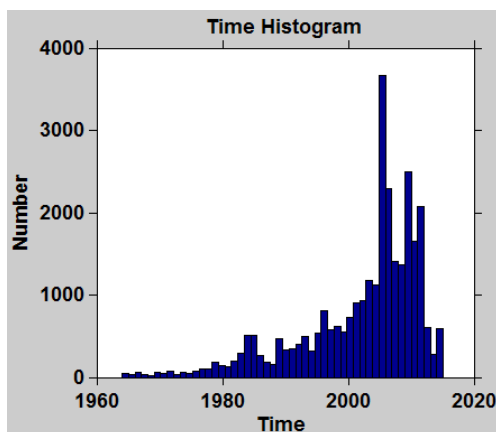
(ก) จำนวนแผ่นดินไหว-ขนาด



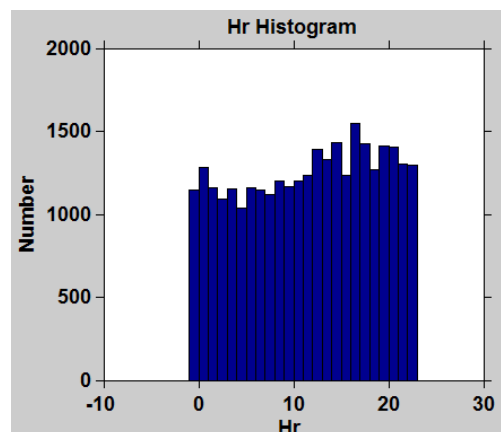
(ข) จำนวนแผ่นดินไหว-ความลึก



(ค) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ปี)



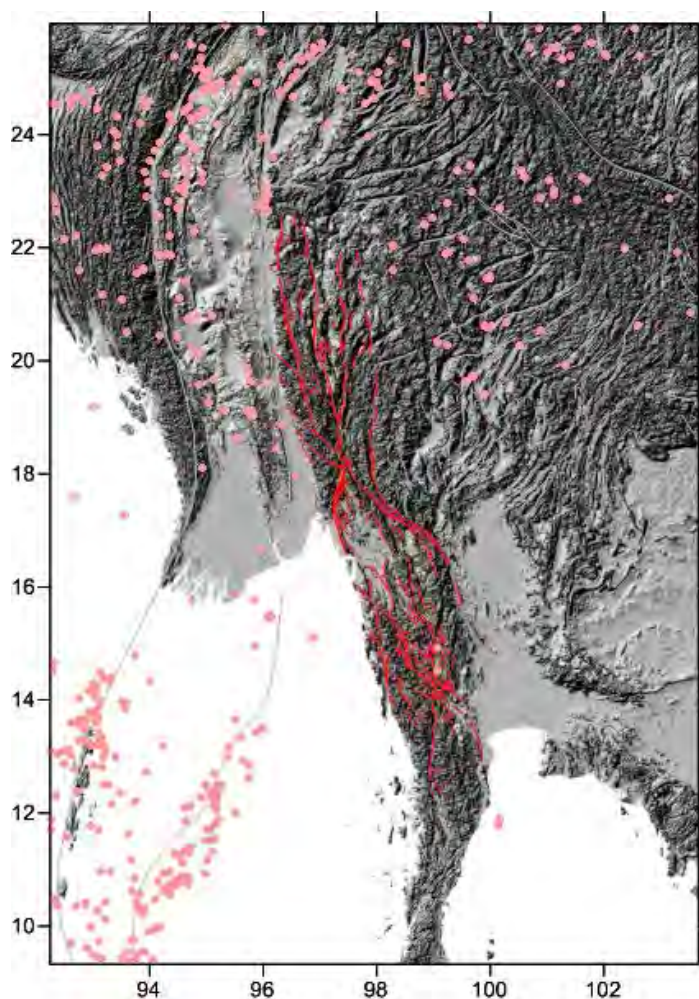
(ง) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ชั่วโมง)



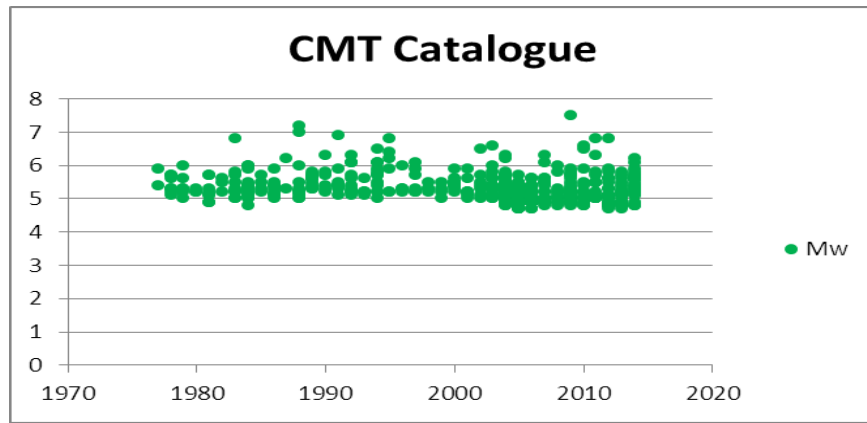
รูป 3.3. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS กับตัวแปรต่างๆ

3.1.2. ฐานข้อมูล Global Centroid Moment Tensor (CMT)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The Global Centroid Moment Tensor (CMT) มีหน้าที่หลักในการวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (Centroid moment tensor, CMT) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.5 ริกเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีความละเอียดสูงรวมทั้งยังสามารถวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว(Focal Mechanism)ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาแผ่นดินไหวในเชิงลึก จากข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวน้อยและกระจายไม่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาดังรูป 3.4 มีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 486 ข้อมูล ดังรูป 3.5 มีขนาดของแผ่นดินไหวตั้งแต่ 4.7-7.5 ความลึกตั้งแต่ 10-156.7 เมตร มีการตรวจวัดแผ่นดินไหวในช่วงปี 1977.3503-2014.9299 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลในหนึ่งวันตั้งแต่ 00.00-23.59 น. ดังรูป 3.6 (ก)-(ง)

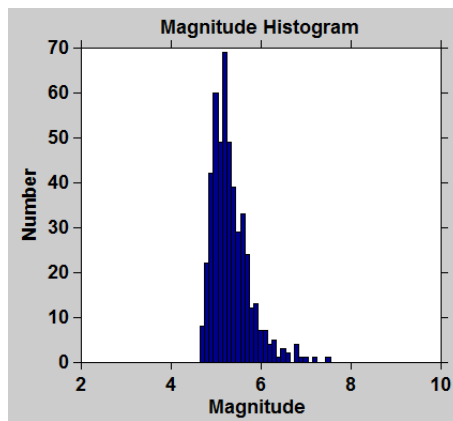


รูป 3.4. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวฐานข้อมูล CMT ซึ่งมีข้อมูลน้อยและไม่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

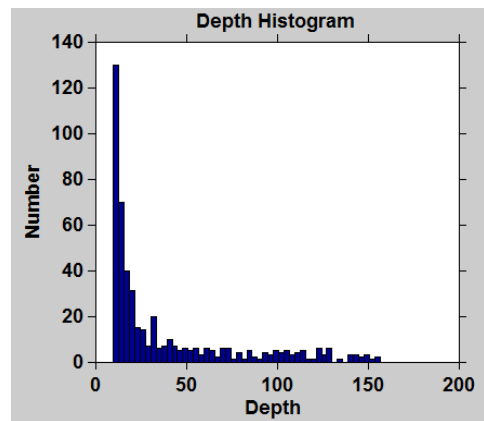


รูป 3.5.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1977 มีจำนวน 486 เหตุการณ์

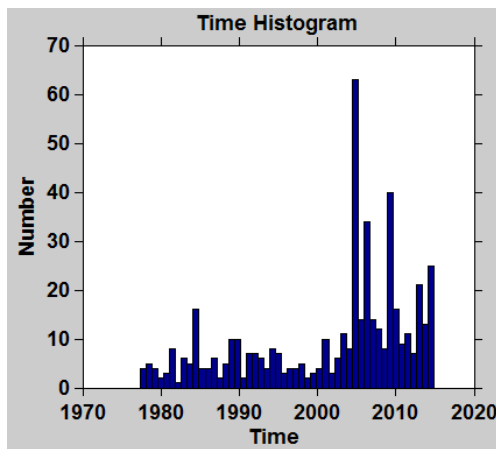
(ก) จำนวนแผ่นดินไหว-ขนาด



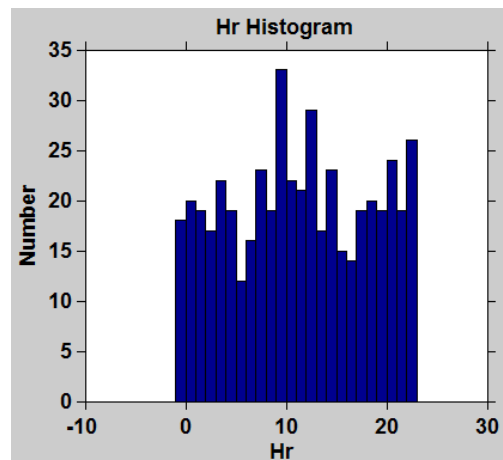
(ข) จำนวนแผ่นดินไหว-ความลึก



(ค) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ปี)



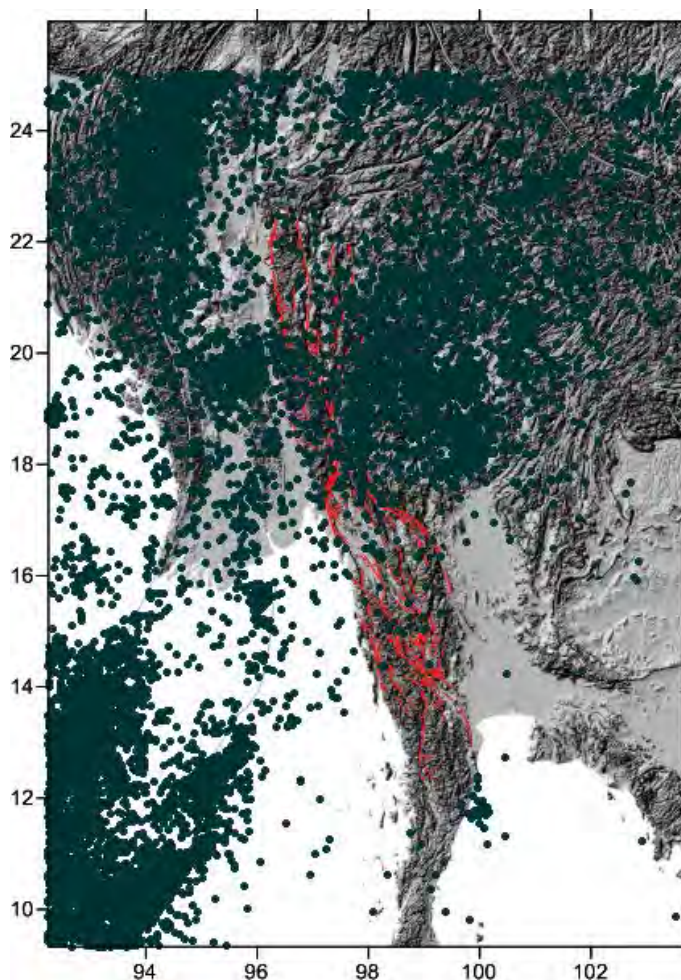
(ง) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ชั่วโมง)



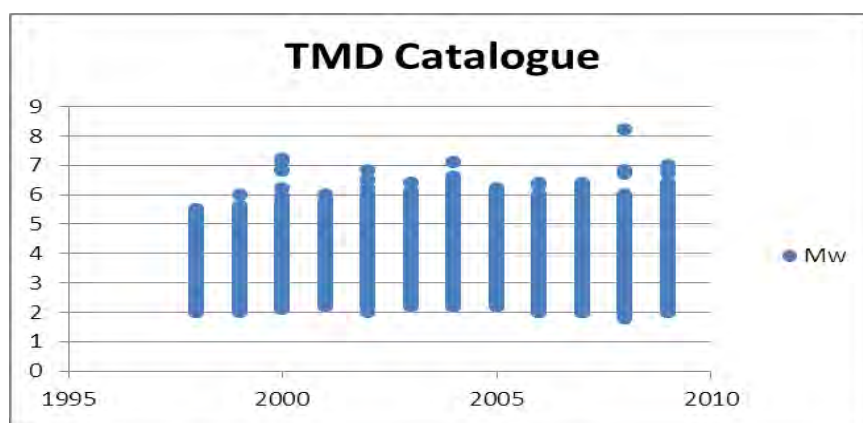
รูป 3.6. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว CMT กับตัวแปรต่างๆ

3.1.3. ฐานข้อมูล Thai Meteorological Department (TMD)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Thai Meteorological Department (TMD) บริหารและจัดการโดย สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย เป็นฐานข้อมูลที่ตรวจวัดแผ่นดินไหวในพื้นที่ประเทศไทยและใกล้เคียงเป็นหลัก จากข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว TMD พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวกระจายค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษาดังรูป 3.7 มีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 14,185 ข้อมูล ดังรูป 3.8 มีขนาดของแผ่นดินไหวตั้งแต่ 1.8-8.2 ความลึกตั้งแต่ 10-588 เมตร มีการตรวจวัดแผ่นดินไหวในช่วงปี 1998.0023-2009.9973 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลในหนึ่งวันตั้งแต่ 00.00-23.59 น. ดังรูป 3.9 (ก)-(ง) เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้ง 3 ชนิด เข้าด้วยกัน จะได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีข้อมูลแผ่นดินไหวกระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 44810 ข้อมูล ดังรูป 3.10

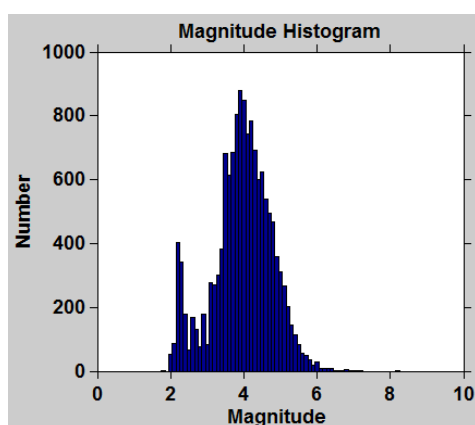


รูป 3.7. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล TMD ซึ่งกระจายค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

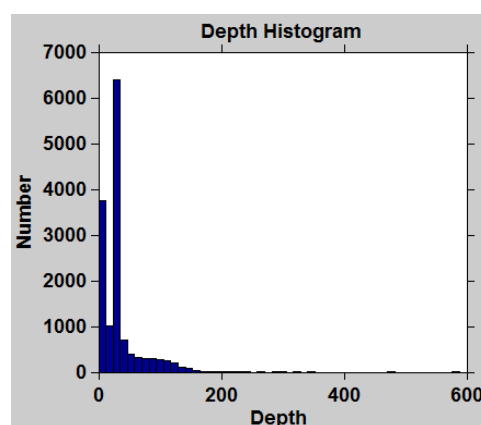


รูป 3.8.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว TMD บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1998 มีจำนวน 14,185 เหตุการณ์

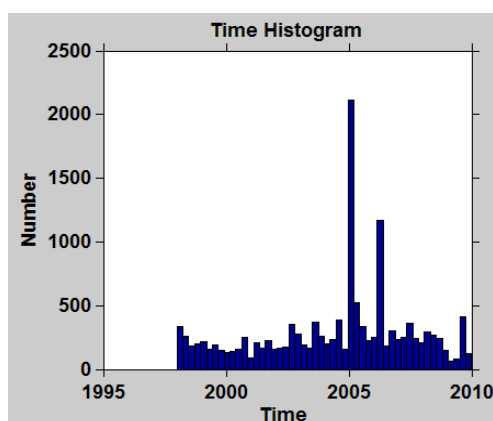
(ก) จำนวนแผ่นดินไหว-ขนาด



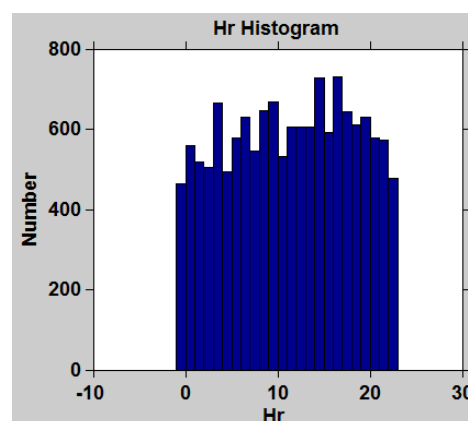
(ข) จำนวนแผ่นดินไหว-ความลึก



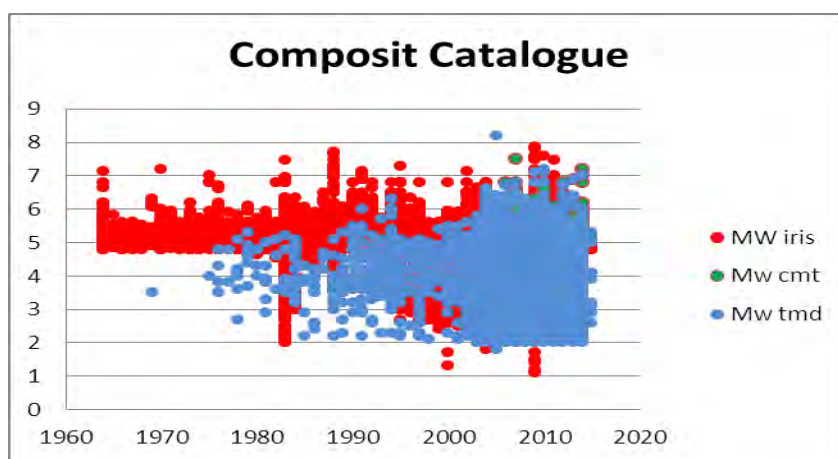
(ค) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ปี)



(ง) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ชั่วโมง)



รูป 3.9. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว TMD กับตัวแปรต่างๆ



รูป 3.10.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่เกิดจากการรวมกันของฐานข้อมูลย่อยทั้ง 3 ชนิด

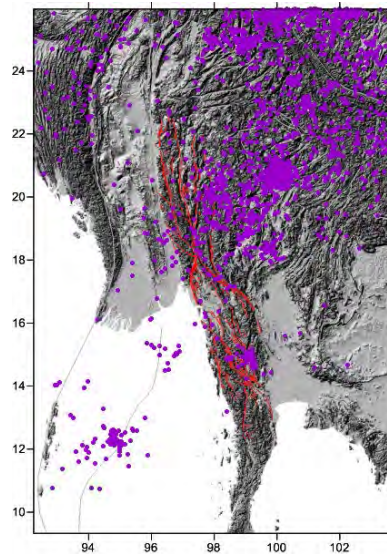
ซึ่งข้อมูลที่รายงานโดยฐานข้อมูลต่างๆที่มีความจำเป็นในการนำไปวิเคราะห์และประเมินผล มีดังนี้

1. Coordinate แสดงเป็นระบบ Latitude/Longitude ของจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (Epicenter)
2. Date วันที่มีการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว จะรายงานมาเป็น Year, Month, Day
3. Time เวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว จะรายงานเป็น Hour, Min และ second
4. Magnitude Type คือชนิดมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหว
5. Magnitude คือขนาดของแผ่นดินไหว

3.2. การปรับเทียบมาตรฐานตรวจวัดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

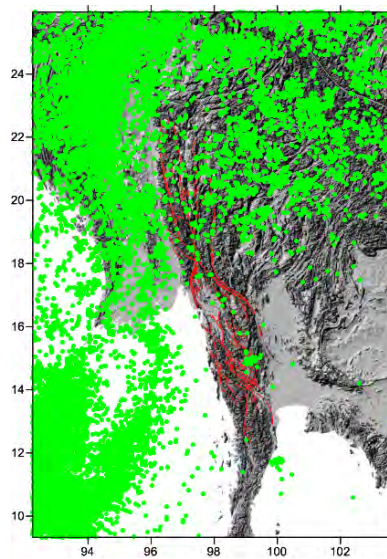
หลังจากการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆจะพบว่าแผ่นดินไหวแต่ละเหตุการณ์มักจะรายงานขนาดแผ่นดินไหวด้วยหน่วยที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพการณ์ของการตรวจวัด ซึ่งมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่สามารถพบได้ทั่วไปมีดังนี้

- ML (Local Magnitude) เป็นมาตรวัดที่ใช้วัดขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดในที่ท้องถิ่น ความแม่นยำจะลดลงตามระยะทางที่ทำการวัดจากบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้นเช่นเหมือง เขื่อน อาคารสูง ดังรูป 3.11



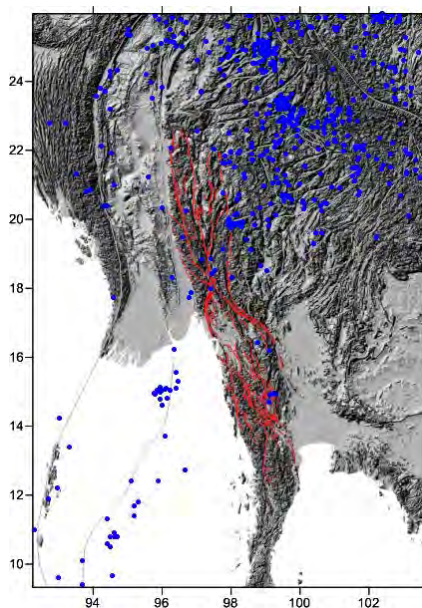
รูป 3.11. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว ML ในพื้นที่ศึกษา

- MB (Body-Wave Magnitude) ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้สองแบบคือคลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) มาตรฐานวัดแผ่นดินไหวหน่วย MB จะวัดขนาดของแผ่นดินไหวโดยอาศัยความสูงของแอมพลิจูดคลื่นปฐมภูมิ ซึ่งจะเหมาะกับการวัดขนาดแผ่นดินไหวในระดับลึก ดังรูป 3.12.



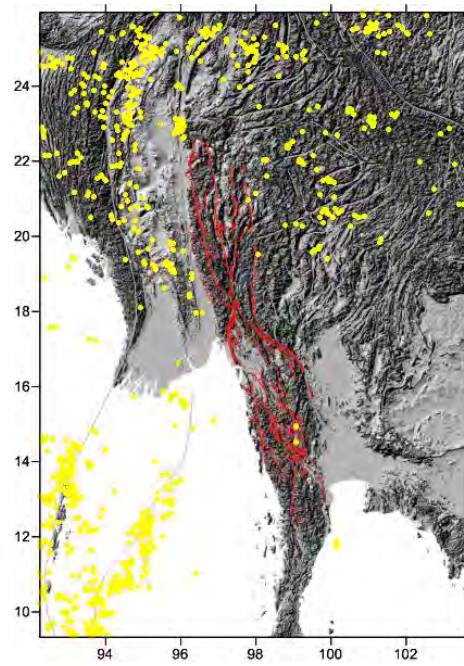
รูป 3.12. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MB ในพื้นที่ศึกษา

- MS (Surface-Wave Magnitude) จะเหมาะสำหรับการวัดขนาดแผ่นดินไหวในบริเวณกว้าง(Regional Scale) โดยจะอาศัยการวัดความสูงของแอมพลิจูดคลื่นผิวโลก เพราะว่าการวัดขนาดแผ่นดินไหวระยะไกลจะสามารถตรวจวัดคลื่นผิวโลกได้ดีกว่าคลื่นชนิดอื่น ดังรูป 3.13.

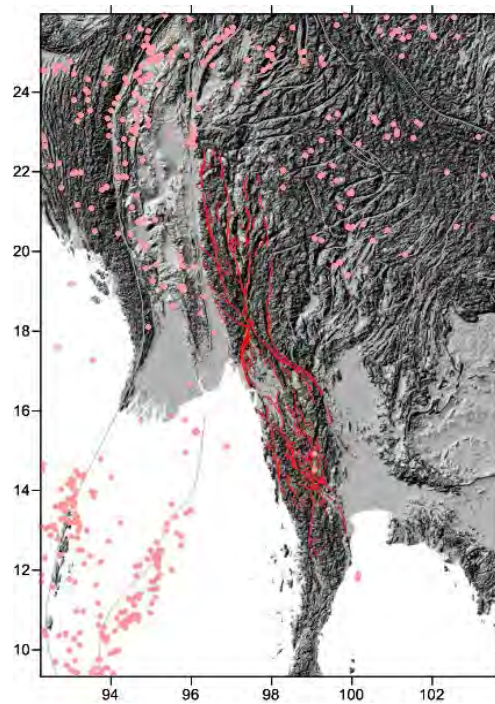


รูป 3.13. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MS ในพื้นที่ศึกษา

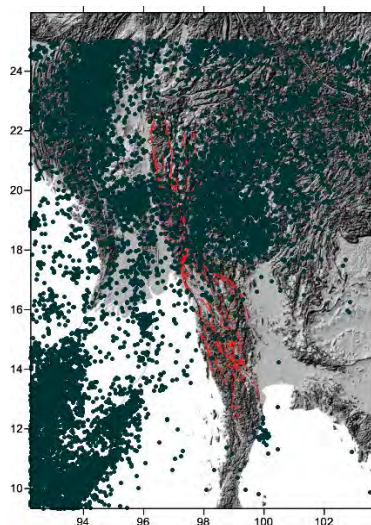
- MW (Moment Magnitude) เป็นมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่อาศัยการวัดจากพื้นที่การปริแตกและการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน ซึ่งเป็นการวัดขนาดแผ่นดินไหวจากตัวแปรที่แสดงถึงพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว จึงแตกต่างจากมาตรวัดขนาดชนิดอื่นที่จะทำการวัดขนาดของแผ่นดินไหวโดยอาศัยความสูงของแอมพลิจูดคลื่นเป็นหลัก ซึ่งมาตรวัดแผ่นดินไหวชนิด MW จะนิยมนำมาใช้มากที่สุด ดังรูป 3.14. – 3.16.



รูป 3.14. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS ในพื้นที่ศึกษา

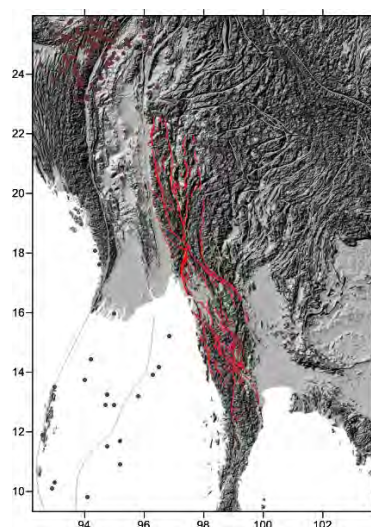


รูป 3.15. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT ในพื้นที่ศึกษา



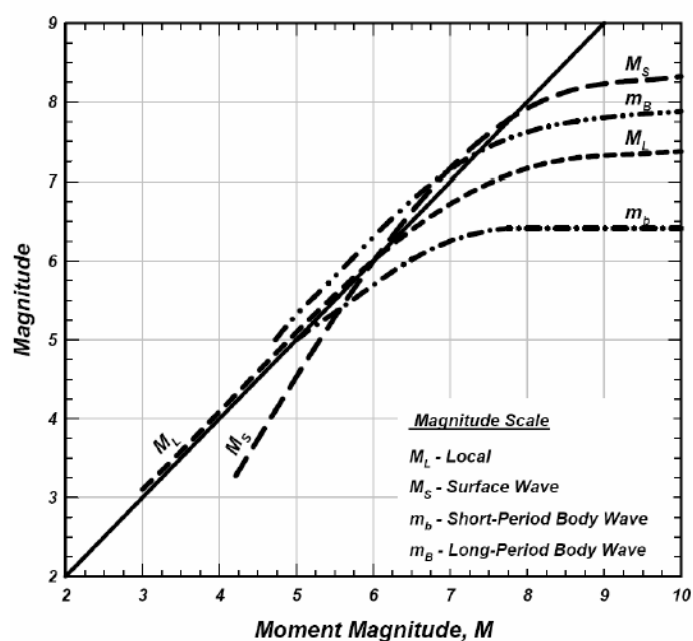
รูป 3.16. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว TMD ในพื้นที่ศึกษา

- นอกจากนี้ยังมีชนิดของขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่นๆที่สามารถตรวจได้แทนด้วย MX เป็นข้อมูลที่ทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่ได้ระบุชนิด ทำให้ไม่สามารถระบุได้ แต่ด้วยจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ยังสามารถมาเติมเต็มกับข้อมูลแผ่นดินไหวได้ และจะกำหนดให้แผ่นดินไหวที่ไม่ทราบชนิดของขนาดแผ่นดินไหวนี้เป็นแบบ MW ดังรูป 3.17.

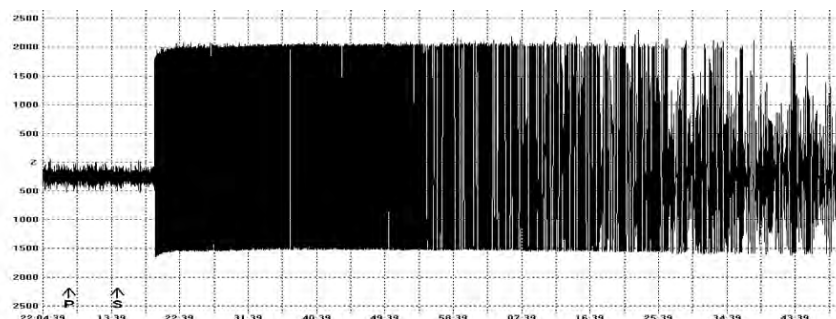


รูป 3.17. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MX ในพื้นที่ศึกษา

มาตรวัดแต่ละชนิดข้างต้นนั้นอ้างอิงมาจากสมมติฐานและวิธีการคำนวณที่ต่างกัน ทำให้แม้จะวัดเหตุการณ์เดียวกัน แต่ก็อาจจะได้ค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่างกัน ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างที่สำคัญที่ทำให้การนำฐานข้อมูลไปใช้นั้นคาดเคลื่อนคือปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation of earthquake magnitude) ดังรูป 3.18 โดยเฉพาะในกรณีของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และมีแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินขีดจำกัดของเครื่องมือตรวจวัดที่กำหนดไว้ ดังรูป 3.19



รูป 3.18. แสดงค่าความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ MW (Kagan และ Knopoff, 1980b)



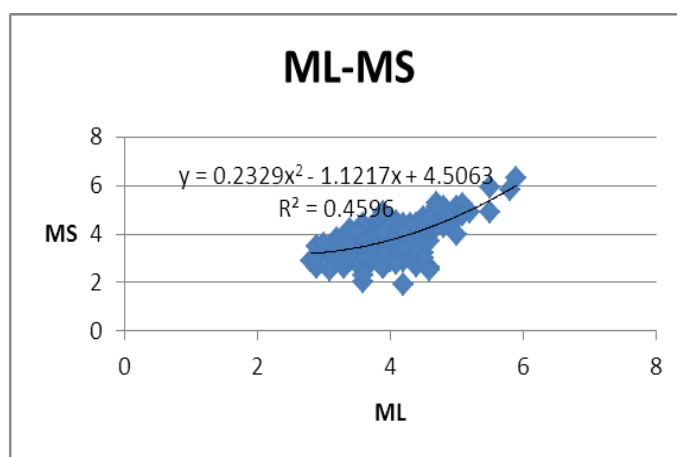
รูป 3.19. แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้

ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปใช้ในการวิเคราะห์ในทางสถิติด้วยวิธีต่างๆ เราจึงจำเป็นต้องมีการเทียบเคียงความสัมพันธ์ระหว่างมาตราตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้จะมีความเฉพาะและแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และทำการปรับเปลี่ยนมาตราการตรวจวัดแผ่นดินไหวให้เป็นหน่วยมาตรฐานเดียวกัน

ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อเป็นการขจัดปัญหาการอิมิตัวของมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวและเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา จึงทำการปรับเทียบขนาดมาตราวัดแผ่นดินไหวให้อยู่ในรูปของ MW (Moment Magnitude) ทั้งหมด โดยการปรับเทียบขนาดมาตราวัดแผ่นดินไหวจะอาศัยความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ดังนี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS ดังสมการ (3.1) และรูป 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB MS ดังสมการ (3.2) และรูป 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW MS ดังสมการ (3.3) และรูป 3.22 และความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW MS ดังสมการ (3.4) และรูป 3.23 โดยที่ความสัมพันธ์ทั้งหมดจะเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นค่าเฉพาะของพื้นที่นั้นๆ ไม่สามารถนำไปใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ของพื้นที่อื่นได้

- ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS

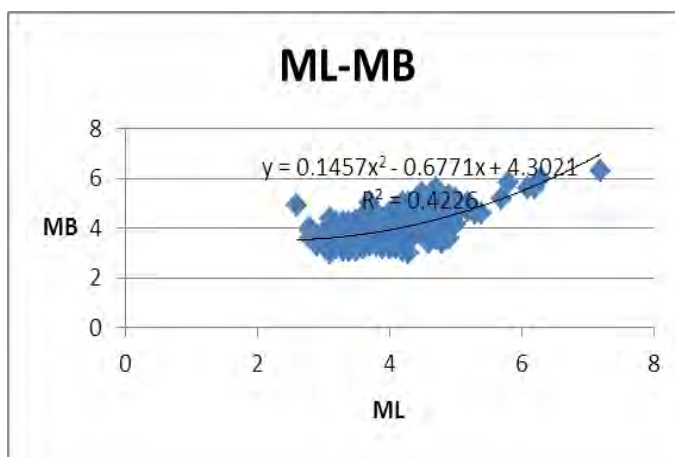
$$MS = 0.2329(ML)^2 - 1.1217(ML) + 4.5603 \quad \text{สมการ(3.1)}$$



รูป 3.20. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MS เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

- ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB

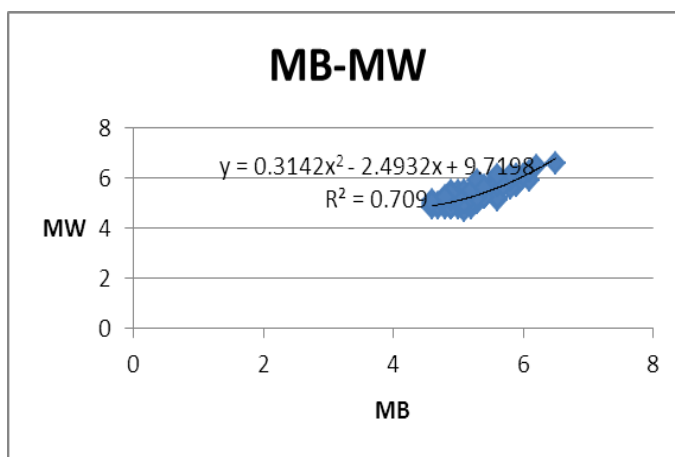
$$MB = 0.1457(ML)^2 - 0.6771(ML) + 4.3021 \quad \text{สมการ (3.2)}$$



รูป 3.21. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MB เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

- ความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW

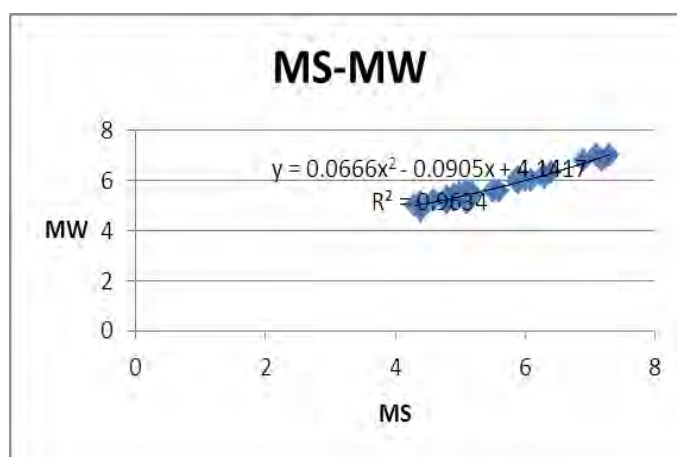
$$MW = 0.3142(MB)^2 - 2.4932(MB) + 9.7198 \quad \text{สมการ (3.3)}$$



รูป 3.22. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MB-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

- ความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW

$$MW = 0.0666(MB)^2 - 0.0905(MB) + 4.1417 \quad \text{สมการ (3.4)}$$



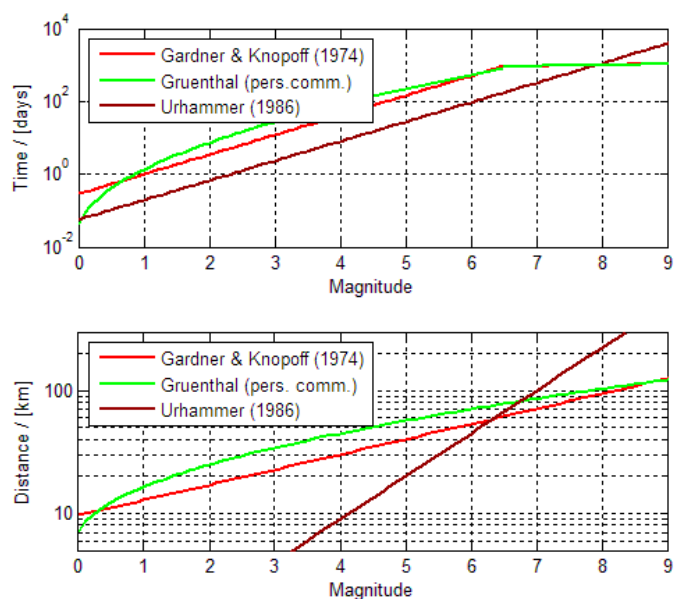
รูป 3.23. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MS-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

3.3. การจัดกลุ่มและการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจะพบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกในแต่ละฐานข้อมูลนั้นจะประกอบด้วยข้อมูลแผ่นดินไหว 3 ประเภท คือแผ่นดินไหวนำ (Foreshock) แผ่นดินไหวหลัก (Main shock) ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องถึงพฤติกรรมทางธรณีฐานโดยตรง และแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) ดังนั้นในการนำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไปวิเคราะห์ในเชิงสถิติถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง จึงจำเป็นต้องมีการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวโดยการคัดเลือกเฉพาะแผ่นดินไหวหลักประกอบกับการนำเอาแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากข้อมูลแผ่นดินไหว ซึ่งจะมีหลักการจำแนกแผ่นดินไหวหลักออกจากข้อมูลแผ่นดินไหวดังนี้

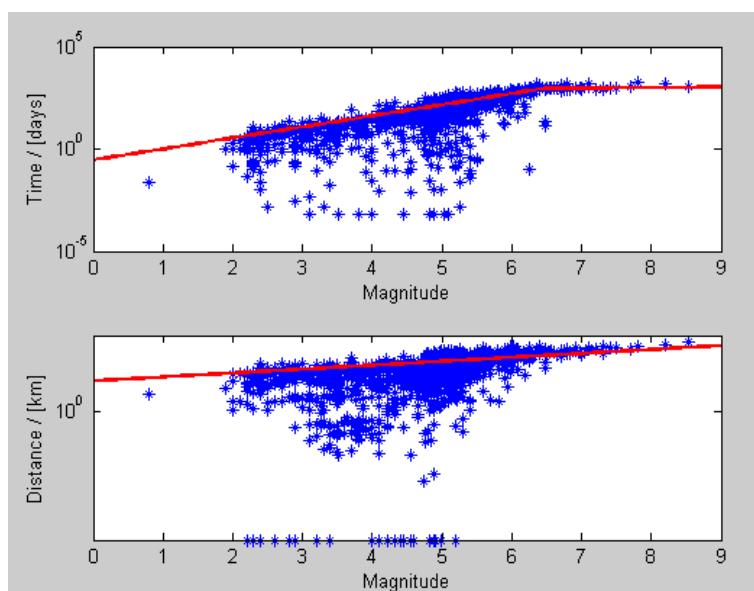
1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา และ
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามของ Gardner และ Knopoff (1974) ดังรูป 3.24 ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดในงานวิจัยแผ่นดินไหวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



รูป 3.24. หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)

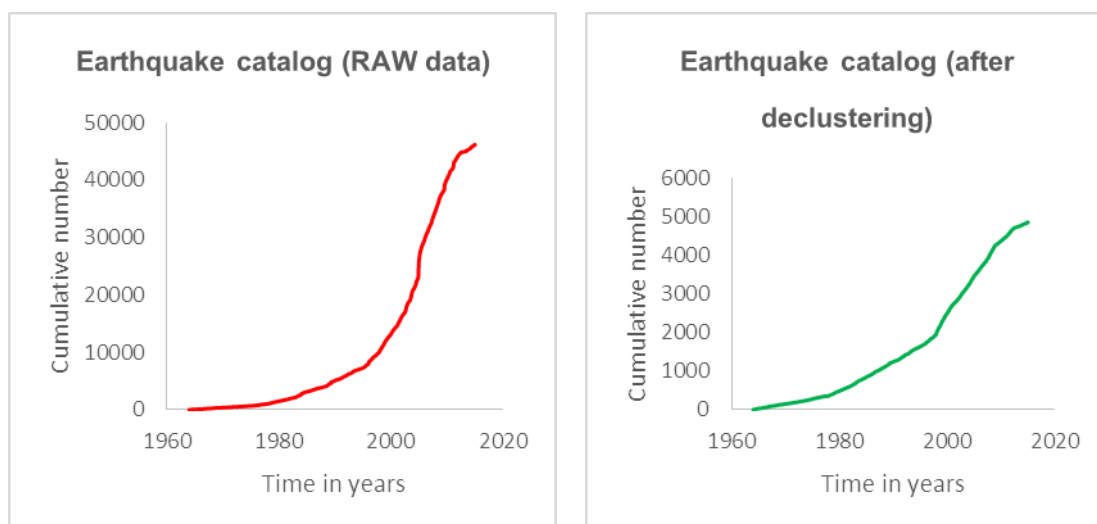
จากการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) จะได้ผลดังรูป 3.25



รูป 3.25. การคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจากข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)

จากรูป 3.25 เส้นสีแดงคือกรอบระยะเวลาและเวลาที่แสดงว่าหากพิจารณาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดใดๆ เหตุการณ์แผ่นดินไหวอื่นๆ ที่มีระยะเวลาใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเส้นสีแดงของกราฟระยะเวลา และมีระยะเวลาของการเกิดขึ้นภายในหรือต่ำกว่าเส้นสีแดงของกราฟระยะเวลาถือว่าเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวกลุ่มเดียวกัน ซึ่งหลังจากจัดกลุ่มแผ่นดินไหวทั้งหมด แผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในแต่ละกลุ่มจะถูกเลือกเป็นแผ่นดินไหวหลัก (Main shock) ซึ่งหลังจากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวพบว่าสามารถจัดกลุ่มของแผ่นดินไหวได้ 1,727 กลุ่มแผ่นดินไหว (Earthquake cluster) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 41,901 เหตุการณ์ (ซึ่งคิดเป็น 93.5% จากเหตุการณ์ทั้งหมด 44,810 เหตุการณ์) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 2,909 เหตุการณ์ ซึ่งเหตุการณ์ทั้งหมดอยู่ในระหว่างปี 1964 ถึงปี 2015 และขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude) ตั้งแต่ 0.1-8.5

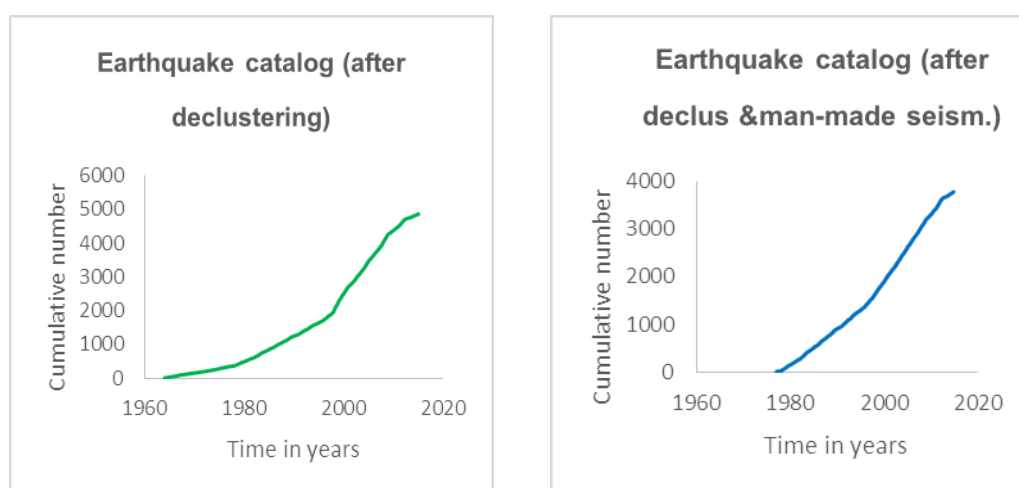
เมื่อทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม (cumulative number of earthquake) หลังจากการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหว พบว่ามีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นตามรูป 3.26 สู่ถึงพฤติกรรมทางทฤษฎีแปรสัณฐานที่เป็นต้นเหตุของแผ่นดินไหวได้ค่าใกล้เคียงมากกว่าชุดข้อมูลก่อนที่จะทำการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหว



รูป 3.26. กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 44,810 เหตุการณ์ (ซ้าย) และหลังการเตรียมข้อมูลเหลือ 2,909 เหตุการณ์ (ขวา)

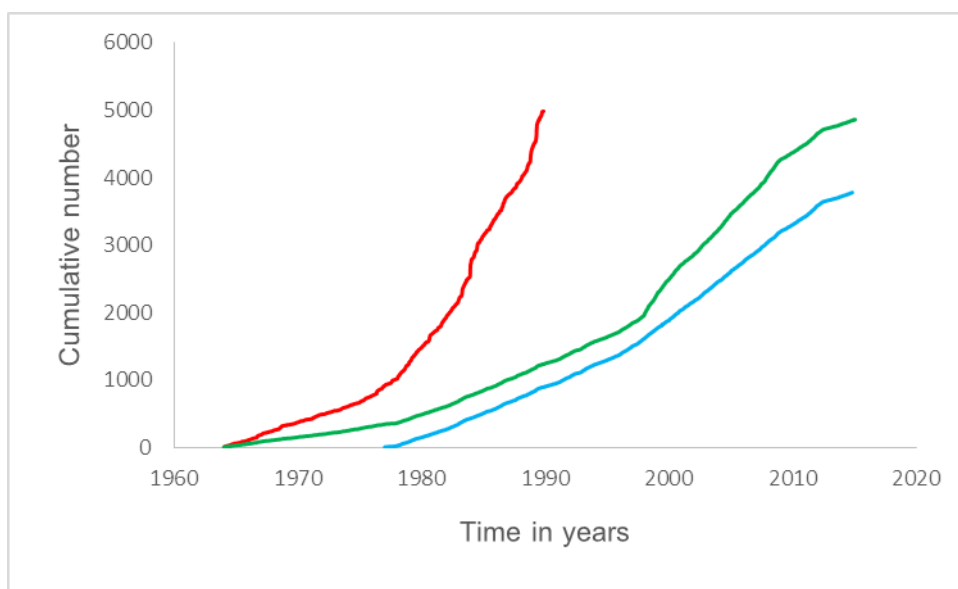
3.4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

ในทางทฤษฎี นักแผ่นดินไหวเชื่อว่ากระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเป็นกลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวนั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปี ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวสะสม (Cumulative number of earthquake) ตามเวลาของการบันทึกนั้นควรจะเป็นเส้นตรงแต่กราฟแผ่นดินไหวสะสมที่ได้มีลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ดังรูป 3.27. จึงคาดว่าอาจจะจะมีปัจจัยด้านอื่นๆ ที่ทำให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้นั้นยังไม่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง ในความเป็นจริงนั้นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ๆนั้นมักได้รับผลกระทบต่างๆ จากกระบวนการตรวจวัดของมนุษย์ เช่น การเพิ่ม/ลด สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเครือข่ายตรวจวัด ซึ่งจะส่งผลให้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวมากขึ้น/น้อยลง กว่าปกติ (Kanamori, 1981; Habermann และ Wyss, 1984; Wyss, 1991) การเปลี่ยนแปลงระเบียบวิธีหรือซอฟต์แวร์ในการประมวลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งทำให้การรายงานขนาดแผ่นดินไหวนั้นเปลี่ยนแปลงไปทั้งระบบ (Wyss และ Habermann, 1988b) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดหรือคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984; Habermann, 1987) เป็นต้น



รูป 3.27. กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 2,909 เหตุการณ์ (ซ้าย) และหลังการเตรียมข้อมูลเหลือ 1,706 เหตุการณ์ (ขวา)

หลังจากที่ผ่านการกำจัดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์พบว่ากราฟที่ได้มีความเป็นเส้นตรงมากยิ่งขึ้น และเมื่อนำกราฟจำนวนแผ่นดินไหวสะสมที่ผ่านแต่ละขั้นตอนตั้งแต่รวมข้อมูล ขั้นตอนการจำแนกแผ่นดินไหว และขั้นตอนกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำมนุษย์นั้นจะได้ผลดังรูป 3.28.



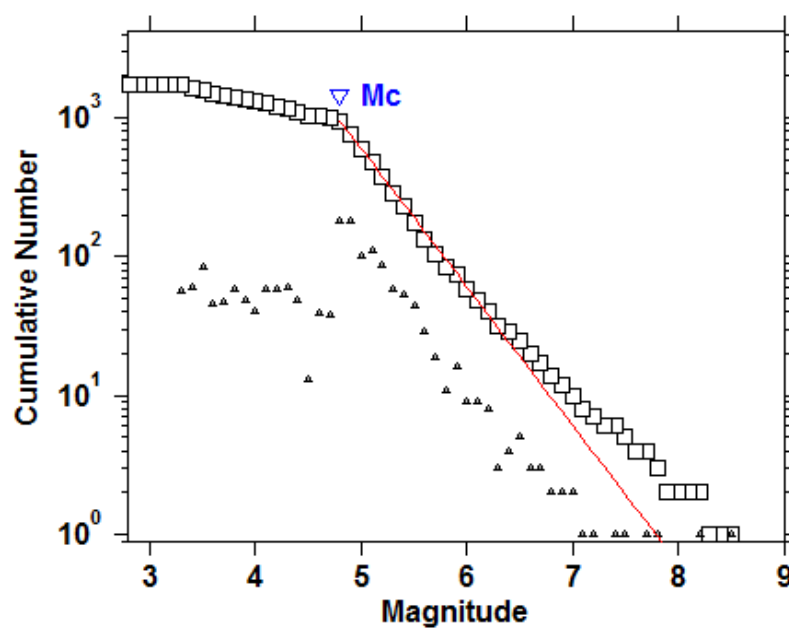
รูป 3.28. กราฟแสดงแนวโน้มของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ

เส้นที่แดงคือแนวโน้มของข้อมูลรวมที่ยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนต่างๆ เส้นสีเขียวคือแนวโน้มของข้อมูลที่ผ่านการจำแนกแผ่นดินไหวแล้ว เส้นสีฟ้าคือแนวโน้มของข้อมูลที่ผ่านการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าแนวโน้มของข้อมูลที่ได้มีความเป็นเส้นตรงมากยิ่งขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นในทางสถิติ

3.5. คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากงานวิจัยในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาสรุปว่าเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องมือตรวจวัด เช่นในกรณีของแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็กแรงสั่นสะเทือนบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือและไม่ปรากฏในฐานข้อมูลการตรวจวัด ทั้งที่ได้เกิดแผ่นดินไหวจริง โดยขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดได้จากเครื่องมือ เราเรียกขนาดแผ่นดินไหวนี้ว่า Magnitude of completeness หรือ M_c (Woessner และ Wiemer, 2005) โดยค่า M_c หมายถึง

ระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า M_c นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการกำหนดค่า M_c ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์ ดังรูป 3.29.



รูป 3.29. แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c=4.8$

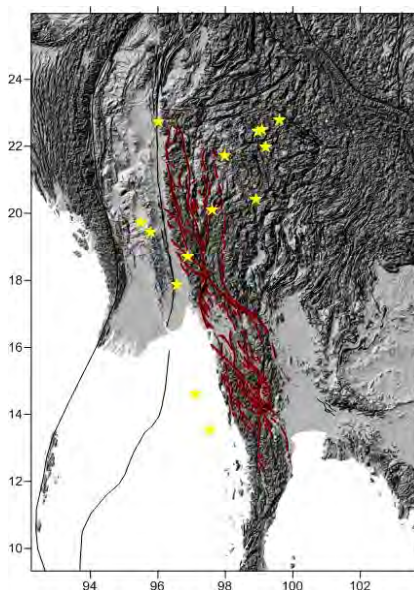
บทที่ 4 ผลการศึกษา (RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

หลังจากได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูลแล้ว ได้ทำการพิจารณาและเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวที่น่าสนใจมาเป็นกรณีศึกษา ซึ่งได้เลือกข้อมูลแผ่นดินไหวมาเป็นกรณีศึกษาทั้งหมด 14 เหตุการณ์ ดังตาราง 4.1 กระจายตัวตามกลุ่มรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างบริเวณชายแดนไทย-พม่า ทางฝั่งตะวันตก ดังรูป 4.1 โดยจะมีหลักการในการเลือกคือเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดของแผ่นดินไหวตั้งแต่ 6 ขึ้นไปในมาตราวัดขนาดชนิด MW และเลือกเหตุการณ์ที่อยู่ในขอบเขตที่ไม่ไกลจากกลุ่มรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษาจนเกินไป

ตาราง 4.1. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษาจำนวน 14 เหตุการณ์

| LONG | LAT | YEAR | MONTH | DAY | MAG | DEPTH | HOUR | MIN |
|--------|--------|------|-------|-----|-----|-------|------|-----|
| 99.611 | 22.789 | 1988 | 11 | 6 | 7.7 | 15.0 | 13 | 3 |
| 97.990 | 21.720 | 1989 | 3 | 1 | 6.0 | 32.0 | 3 | 25 |
| 98.910 | 20.430 | 1989 | 9 | 28 | 6.2 | 10.0 | 21 | 52 |
| 97.600 | 20.100 | 1992 | 4 | 15 | 6.1 | 33.0 | 1 | 31 |
| 98.970 | 22.440 | 1992 | 4 | 23 | 6.7 | 32.0 | 15 | 32 |
| 99.070 | 22.490 | 1992 | 4 | 23 | 6.5 | 30.0 | 14 | 18 |
| 96.560 | 17.880 | 1995 | 5 | 16 | 6.3 | 20.0 | 21 | 48 |
| 99.196 | 21.966 | 1995 | 7 | 11 | 7.1 | 12.5 | 21 | 46 |
| 96.900 | 18.700 | 1999 | 8 | 15 | 6.0 | 33.0 | 16 | 18 |
| 97.130 | 14.600 | 2000 | 6 | 18 | 7.2 | 10.0 | 14 | 44 |
| 95.510 | 19.720 | 2003 | 9 | 21 | 6.9 | 23.0 | 18 | 16 |
| 95.780 | 19.430 | 2007 | 7 | 30 | 6.4 | 33.0 | 22 | 42 |
| 97.560 | 13.530 | 2009 | 3 | 18 | 7.5 | 10.0 | 12 | 21 |
| 96.030 | 22.730 | 2012 | 11 | 11 | 6.8 | 16.8 | 1 | 12 |



รูป 4.1. แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

การทดสอบย้อนกลับ เป็นวิธีการที่มีจุดประสงค์ในการหาค่าตัวแปร รัศมี (R_{max}) และ ระยะเวลา (T_{max}) ที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จาก ขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (RTL-algorithm) โดยการพิจารณาตัวแปรในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว 3 ตัวแปรคือ พื้นที่, เวลา และ ความยาวของรอยเลื่อน ดังสมการ (4.1) - (4.3)

$$R(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (4.1.)}$$

$$T(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (4.2.)}$$

$$L(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (4.3.)}$$

โดยกำหนดค่า R_{max} เริ่มตั้งแต่ 50 – 250 กิโลเมตร และขยับไปทุกๆ 10 กิโลเมตร ส่วนค่า T_{max} เริ่มตั้งแต่ 1 – 5 ปี และขยับไปทุกๆ 0.5 ปี ซึ่งจากการกำหนดค่าดังกล่าว ทำให้ได้เงื่อนไขของค่า R_{max} และ T_{max} หลากหลายกรณี แสดงตัวอย่างดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2. แสดงตัวอย่างเงื่อนไขค่า Rmax และTmax กรณีต่างๆ

| เงื่อนไข | Rmax (กม.) | Tmax (ปี) | จำนวนเหตุการณ์ที่พบ |
|----------|------------|-----------|---------------------|
| 1 | 100 | 1 | 1 เหตุการณ์ |
| 2 | 110 | 1.5 | 3 เหตุการณ์ |
| 2 | 120 | 1.5 | 3 เหตุการณ์ |
| 3 | 130 | 1.5 | 4 เหตุการณ์ |
| 4 | 130 | 3.5 | 4 เหตุการณ์ |
| 5 | 140 | 2.5 | 4 เหตุการณ์ |
| 6 | 140 | 3.5 | 4 เหตุการณ์ |
| 7 | 150 | 2.5 | 6 เหตุการณ์ |
| 8 | 150 | 3 | 6 เหตุการณ์ |
| 9 | 160 | 3 | 8 เหตุการณ์ |
| 10 | 160 | 3.5 | 7 เหตุการณ์ |
| 11 | 160 | 4 | 7 เหตุการณ์ |
| 12 | 170 | 1.5 | 9 เหตุการณ์ |
| 13 | 170 | 3 | 10 เหตุการณ์ |
| 14 | 170 | 3.5 | 11 เหตุการณ์ |
| 15 | 180 | 2 | 10 เหตุการณ์ |
| 16 | 180 | 2.5 | 11 เหตุการณ์ |
| 17 | 180 | 3.5 | 10 เหตุการณ์ |
| 18 | 190 | 1.5 | 12 เหตุการณ์ |
| 19 | 190 | 2.5 | 12 เหตุการณ์ |
| 20 | 200 | 1.5 | 12 เหตุการณ์ |

จากกรณีต่างๆของค่า Rmax และTmax ที่ยกตัวอย่างมาข้างต้น ได้ทำการเลือกมาทั้งหมด 2 เงื่อนไข แสดงดังตาราง 4.3. โดยมีหลักในการเลือกคือ เลือกเงื่อนไขที่มีค่า Rmax และ Tmax ที่ไม่มากและไม่น้อยเกินไป โดยจะต้องเป็นเงื่อนไขที่พบเหตุการณ์มากที่สุดจาก 14 เหตุการณ์ โดยพบว่า ค่า Rmax ที่เลือกมานั้นอยู่ในช่วง 170 – 190 กิโลเมตร และค่า Tmax อยู่ในช่วง 1.5 – 3.5 ปี จึงนำมาเป็นเงื่อนไขเพื่อใช้ในการทดสอบย้อนกลับ

ตาราง 4.3. แสดงรายละเอียดข้อมูลของ 2 เจริญไซที่สนใจ

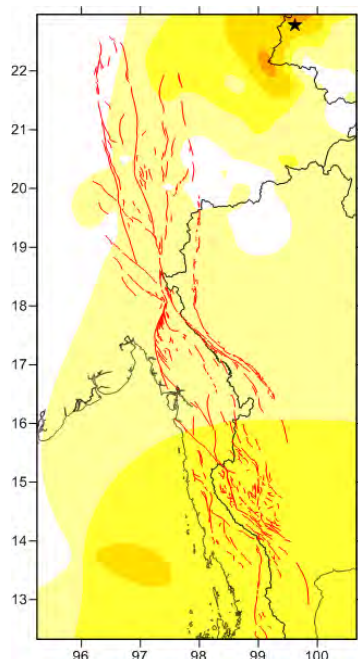
| เจริญไซ | Rmax (km) | Tmax (year) | เหตุการณ์ | Lon | Lat | Year | Mag |
|---------|-----------|-------------|-----------|--------|--------|---------|-----|
| 1 | 170 | 3.5 | 1 | 98.91 | 20.43 | 1989.74 | 6.2 |
| | | | 2 | 97.6 | 20.1 | 1992.29 | 6.1 |
| | | | 3 | 99.07 | 22.49 | 1992.31 | 6.5 |
| | | | 4 | 98.97 | 22.44 | 1992.31 | 6.7 |
| | | | 5 | 96.56 | 17.88 | 1995.37 | 6.3 |
| | | | 6 | 99.196 | 21.966 | 1995.53 | 7.1 |
| | | | 7 | 96.9 | 18.7 | 1999.62 | 6 |
| | | | 8 | 97.13 | 14.6 | 2000.46 | 7.2 |
| | | | 9 | 95.51 | 19.72 | 2003.72 | 6.9 |
| | | | 10 | 95.78 | 19.43 | 2007.58 | 6.4 |
| | | | 11 | 97.56 | 13.53 | 2009.21 | 7.5 |
| 2 | 190 | 1.5 | 1 | 99.611 | 22.789 | 1988.85 | 7.7 |
| | | | 2 | 97.99 | 21.72 | 1989.16 | 6 |
| | | | 3 | 98.91 | 20.43 | 1989.74 | 6.2 |
| | | | 4 | 97.6 | 20.1 | 1992.29 | 6.1 |
| | | | 5 | 99.07 | 22.49 | 1992.31 | 6.5 |
| | | | 6 | 98.97 | 22.44 | 1992.31 | 6.7 |
| | | | 7 | 99.196 | 21.966 | 1995.53 | 7.1 |
| | | | 8 | 96.9 | 18.7 | 1999.62 | 6 |
| | | | 9 | 97.13 | 14.6 | 2000.46 | 7.2 |
| | | | 10 | 95.51 | 19.72 | 2003.72 | 6.9 |
| | | | 11 | 95.78 | 19.43 | 2007.58 | 6.4 |
| | | | 12 | 97.56 | 13.53 | 2009.21 | 7.5 |

หลังจากได้เลือกเงื่อนไขจำนวน 2 เงื่อนไขเพื่อใช้ในการทำการทดสอบย้อนกลับ ได้ทำการสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในทุกกรณีศึกษาของแต่ละเงื่อนไข เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของทั้ง 2 เงื่อนไข ซึ่งจะยกตัวอย่างโดยการใช้เหตุการณ์ที่ 1, 9 และ 13 ของทั้ง 2 เงื่อนไข ดังรูปที่ 4.2 และเนื่องจากการกระจายตัวของค่าความผิดปกติมีลักษณะที่ไม่ต่างกันมากจึงเลือกใช้เงื่อนไขที่ 1 ที่มีค่า $R_{max} = 170$ กิโลเมตร และ $T_{max} = 3.5$ ปี ซึ่งเป็นค่า R_{max} และ T_{max} ที่มีความเหมาะสม โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 1 ดังตาราง 4.4

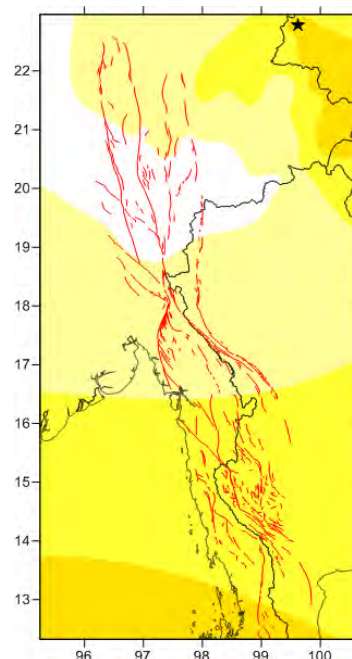
ตาราง 4.4. แสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 1

| Rmax | Tmax | ระยะห่างของการตีช่องกริดย่อย | จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ |
|--------------|--------|------------------------------|------------------------------|
| 170 กิโลเมตร | 3.5 ปี | 0.05x0.05 องศา | 11 เหตุการณ์ |

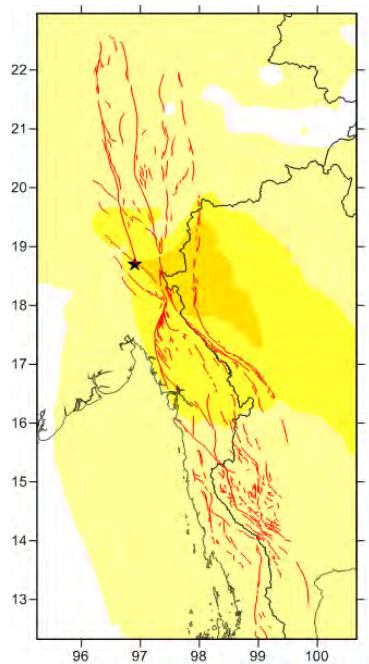
เหตุการณ์ที่ 1 เงื่อนไขที่ 1



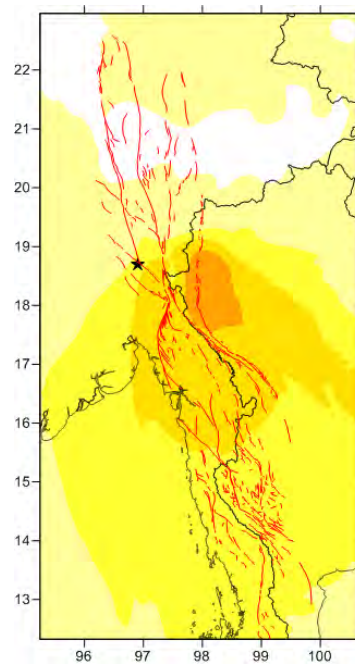
เหตุการณ์ที่ 1 เงื่อนไขที่ 2



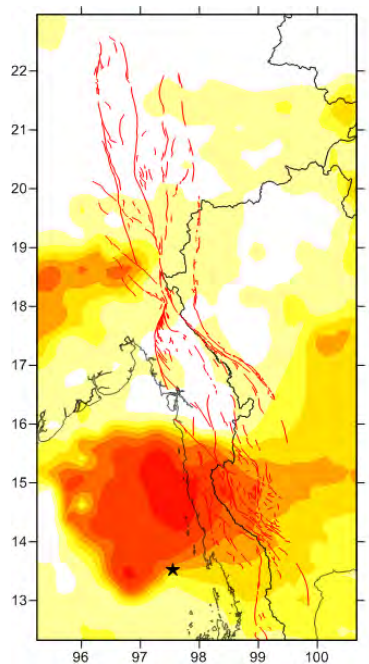
เหตุการณ์ที่ 9 เส้นไขที่ 1



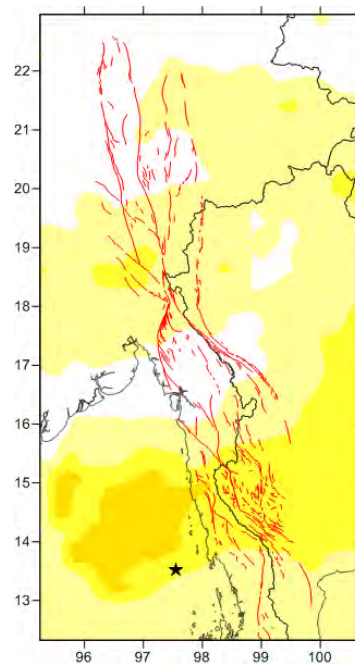
เหตุการณ์ที่ 9 เส้นไขที่ 2



เหตุการณ์ที่ 13 เส้นไขที่ 1



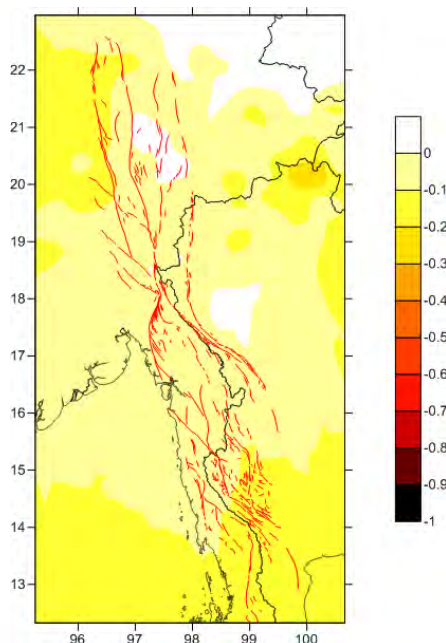
เหตุการณ์ที่ 13 เส้นไขที่ 2



รูป 4.2. แผนที่แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของเหตุการณ์ที่ 1, 9 และ 13 ของทั้ง 2 เส้นไข

4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

จากการคำนวณค่าต่างๆตามเงื่อนไขที่ได้เลือกไว้แล้ว ทำให้ได้แผนที่แสดงค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ดังรูป 4.3 ซึ่งสามารถนำมาใช้ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้



รูป 4.3. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติที่ได้จากเงื่อนไขที่กำหนด

จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ ซึ่งจะกำหนดโทนสีเทียบกับค่า RTL ดังนี้ ถ้าโทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อย หรือ มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย ถ้าโทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามาก หรือ มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าพื้นที่ที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อยนั้นมีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้ในอนาคต ถือเป็นพื้นที่เสี่ยงเนื่องจากกำลังอยู่ในช่วงที่มีการสะสมพลังงานเอาไว้เพื่อรอการปลดปล่อยพลังงานออกมา เมื่อทำการแปลผลจากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่า บริเวณที่มีค่า RTL สูง จะอยู่ในบริเวณทางตอนกลางและตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา ส่วนบริเวณที่มีค่า RTL ต่ำจะอยู่ในบริเวณทางตอนเหนือบางส่วนและทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งแสดงด้วยสีเหลือง โดยอยู่ในช่วงละติจูดที่ 96-97 องศา ลองจิจูดที่ 20-22 องศา และอยู่ในช่วงละติจูดที่ 96-100 องศา ลองจิจูดที่ 13-15 องศา ดังรูปที่ 4.10. ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวขึ้นได้ในอนาคตและอาจจะส่งผลกระทบต่อประเทศไทย

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด (Earthquake Catalogue)

จากการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ IRIS, CMT และ TMD ทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีรายละเอียดดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ

| ฐานข้อมูล | ข้อมูล | ช่วงเวลา(ปี) | ขนาดแผ่นดินไหว | ความลึก(เมตร) |
|-----------|--------|-------------------------|----------------|---------------|
| IRIS | 30,139 | 1964.0403- 2015.1085 | 0.1-8.5 | 0-750 |
| GCMT | 486 | 1977.3503- 2014.9299 | 4.7-7 | 10-156.7 |
| TMD | 14,185 | 1998.0023- 2009.9973 | 1.8-8.2 | 0-588 |
| TOTAL | 44,810 | 1964.0403- 2015.1085 | 0.1-8.5 | 0-750 |

5.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหวในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการปรับเทียบข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS เท่านั้น เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกขนาดของแผ่นดินไหวในหลายมาตรวัด ส่วนข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT และ TMD นั้นไม่จำเป็นต้องมีการปรับเทียบขนาดเพราะว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้จาก 2 ฐานข้อมูลนี้มีการบันทึกขนาดที่อยู่ในมาตรวัดเดียวกันอยู่แล้ว สำหรับข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหวจะทำโดยแปลงจาก มาตรวัดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (ML) ไปเป็น มาตรวัดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (MS) หรือ มาตรวัดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (MB) หลังจากนั้นแปลงจาก มาตรวัดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (MS) หรือ มาตรวัดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (MB) ไปเป็น มาตรวัดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (MW) โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ดังนี้

- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS

$$-MS = 0.2329(ML)^2 - 1.1217(ML) + 4.5603$$
- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB

$$-MB = 0.1457(ML)^2 - 0.6771(ML) + 4.3021$$
- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW

$$-MW = 0.3142(MS)^2 - 2.4932(MS) + 9.7198$$
- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW

$$-MW = 0.0666(MB)^2 - 0.0905(MB) + 4.1417$$

5.3. การจัดกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Declustering)

หลังจากที่นำแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) มาใช้ในการคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก กำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม รวมถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีการรายงานซ้ำซ้อนในพื้นที่ศึกษา ทำให้สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกันได้ทั้งหมด 1,727 กลุ่ม ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 41,901 เหตุการณ์ (ซึ่งคิดเป็น 93.5% จากเหตุการณ์ทั้งหมด 44,810 เหตุการณ์) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลัก 2,909 เหตุการณ์ จากนั้นเมื่อนำแนวคิดของ Habermann (1983; 1987) มาใช้ในการกำจัดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ และขั้นสุดท้ายคือการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Woessner และ Wiemer, 2005) ทำยที่สุดแล้วจะเหลือเหตุการณ์แผ่นดินไหว 1,706 เหตุการณ์ ดังตาราง 5.2-5.4

ตาราง 5.2. แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว

| ข้อมูลแผ่นดินไหว | ก่อนการคัดเลือกข้อมูล | หลังการคัดเลือกข้อมูล |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| แผ่นดินไหว(เหตุการณ์) | 44,810 | 2909 |
| ช่วงเวลาเริ่มต้นของข้อมูล(ปี) | 1964.04 | 1964.04 |
| ช่วงเวลาดิ้นสุดของข้อมูล | 2015.1 | 2015.1 |
| ขนาดของแผ่นดินไหว | 0.1-8.5 | 0.1-8.5 |
| ความลึก(เมตร) | 0-750 | 0-588 |

ตาราง 5.3. แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว และ หลักการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์

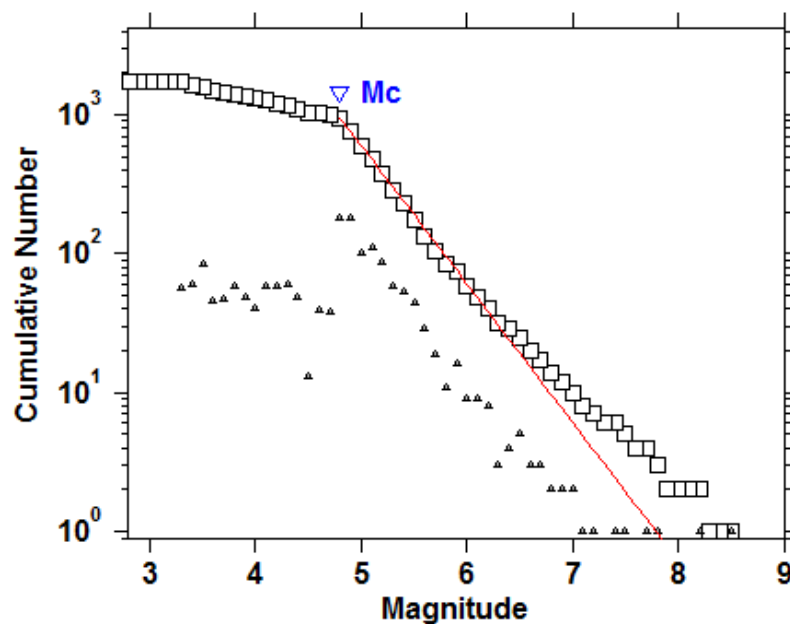
| ข้อมูลแผ่นดินไหว | ก่อนการคัดเลือก ข้อมูล | หลังการคัดเลือก ข้อมูล | หลังการกำจัดผล จากกิจกรรมของ มนุษย์ |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| แผ่นดินไหว(เหตุการณ์) | 44,810 | 2,909 | 1,706 |
| เวลาเริ่มต้นของข้อมูล(ปี) | 1964.04 | 1964.04 | 1977.78 |
| เวลาสิ้นสุดของข้อมูล(ปี) | 2015.1 | 2015.1 | 2012.99 |
| ขนาดของแผ่นดินไหว | 0.1-8.5 | 0.1-8.5 | 3.3-8.5 |
| ช่วงความลึก(เมตร) | 0-750 | 0-588 | 0-50 |

ตาราง 5.4. แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว หลัง การกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมถึงหลังจากคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่ มีความสมบูรณ์

| ข้อมูลแผ่นดินไหว | ก่อนคัดเลือก ข้อมูล | หลังคัดเลือก ข้อมูล | หลังการกำจัด ผลจากกิจกรรม ของมนุษย์ | หลังจาก คัดเลือกระดับ แผ่นดินไหวที่มี ความสมบูรณ์ |
|---------------------------|------------------------|------------------------|---|--|
| แผ่นดินไหว(เหตุการณ์) | 44,810 | 2,909 | 1706 | 950 |
| เวลาเริ่มต้นของข้อมูล(ปี) | 1964.04 | 1964.04 | 1977.78 | 1977.78 |
| เวลาสิ้นสุดของข้อมูล(ปี) | 2015.1 | 2015.1 | 2012.99 | 2012.99 |
| ขนาดของแผ่นดินไหว | 0.1-8.5 | 0.1-8.5 | 3.3-8.5 | 4.8-8.5 |
| ช่วงความลึก(เมตร) | 0-750 | 0-588 | 0-50 | 0-50 |

5.4. คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า Mc นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้แสดง พบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $Mc = 4.8$ ดังรูป 5.1.



รูป 5.1. แสดงการหาระดับแผ่นดินไหวสมบูรณ์ สื่อถึงความมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูล และประสิทธิภาพของข้อมูลที่จะนำไปศึกษาต่อ

5.6. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

เพื่อที่จะทำการทดสอบย้อนกลับ ได้คัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จะใช้เป็นกรณีศึกษา มาทั้งหมด 14 เหตุการณ์ โดยเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวตั้งแต่ขนาด 6 ขึ้นไป ที่อยู่ในบริเวณ ใกล้เคียงกับกลุ่มรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา ดังตาราง 5.5

ตาราง 5.5. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษาจำนวน 14 เหตุการณ์

| LONG | LAT | YEAR | MONTH | DAY | MAG | DEPTH | HOUR | MIN |
|--------|--------|------|-------|-----|-----|-------|------|-----|
| 99.611 | 22.789 | 1988 | 11 | 6 | 7.7 | 15.0 | 13 | 3 |
| 97.990 | 21.720 | 1989 | 3 | 1 | 6.0 | 32.0 | 3 | 25 |
| 98.910 | 20.430 | 1989 | 9 | 28 | 6.2 | 10.0 | 21 | 52 |
| 97.600 | 20.100 | 1992 | 4 | 15 | 6.1 | 33.0 | 1 | 31 |
| 98.970 | 22.440 | 1992 | 4 | 23 | 6.7 | 32.0 | 15 | 32 |
| 99.070 | 22.490 | 1992 | 4 | 23 | 6.5 | 30.0 | 14 | 18 |
| 96.560 | 17.880 | 1995 | 5 | 16 | 6.3 | 20.0 | 21 | 48 |

| | | | | | | | | |
|--------|--------|------|----|----|-----|------|----|----|
| 99.196 | 21.966 | 1995 | 7 | 11 | 7.1 | 12.5 | 21 | 46 |
| 96.900 | 18.700 | 1999 | 8 | 15 | 6.0 | 33.0 | 16 | 18 |
| 97.130 | 14.600 | 2000 | 6 | 18 | 7.2 | 10.0 | 14 | 44 |
| 95.510 | 19.720 | 2003 | 9 | 21 | 6.9 | 23.0 | 18 | 16 |
| 95.780 | 19.430 | 2007 | 7 | 30 | 6.4 | 33.0 | 22 | 42 |
| 97.560 | 13.530 | 2009 | 3 | 18 | 7.5 | 10.0 | 12 | 21 |
| 96.030 | 22.730 | 2012 | 11 | 11 | 6.8 | 16.8 | 1 | 12 |

และได้เลือกเงื่อนไข Rmax และ Tmax โดยมีหลักในการเลือกคือ เลือกเงื่อนไขที่มีค่า Rmax และ Tmax ที่ไม่มากและไม่น้อยเกินไป ซึ่งได้เงื่อนไขมาทั้งหมด 2 เงื่อนไข ดังตาราง 5.6

ตาราง 5.6. แสดงข้อมูลของเงื่อนไขค่า Rmax และ Tmax ทั้ง 2 เงื่อนไข

| เงื่อนไข | Rmax (กม.) | Tmax (ปี) | จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ |
|----------|------------|-----------|------------------------------|
| 1 | 170 | 3.5 | 11 เหตุการณ์ |
| 2 | 190 | 1.5 | 12 เหตุการณ์ |

สำหรับเงื่อนไขที่เป็นตัวแทนในการศึกษาพื้นที่เสี่ยงนั้น ได้เลือกเงื่อนไขที่ 1 ซึ่งมีค่า Rmax = 170 กิโลเมตร และมีค่า Tmax = 3.5 ปี ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสม

5.7. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว

จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติบริเวณกลุ่มรอยเลื่อน ตามแนวชายแดนไทย-พม่า พบว่าบริเวณทางตอนเหนือและทางตอนกลางของกลุ่มรอยเลื่อนมีค่า RTL ที่สูง แสดงถึงการมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก ส่วนบริเวณทางตอนเหนือบางส่วนซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของรอยเลื่อนพานหลวงและรอยเลื่อนเมย-ตองยี และทางตอนใต้ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของรอยเลื่อนทะวาย, รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ มีค่า RTL ที่ต่ำ แสดงถึงการมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต

เอกสารอ้างอิง
(REFERENCES)

- Chen, C. and Wu, Y. 2006. An improved region-time-length algorithm applied to the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. *Geophysical Journal International* 166: 1144-1147.
- Gardner, J.K., and Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian. *Bulletin of the Seismological Society of America* 64(1): pp.363–367.
- Habermann, R. E. 1987. Man-made changes of Seismicity rates. *Bulletin of the Seismological Society of America* 77: pp.141-159.
- Habermann, R. E. and Wyss, M. 1984. Earthquake triggering during preparation for great earthquakes. *Geophysical Research Letters* 11(4): 291-294.
- Habermann, R.E., and Wyss, M. 1988. Precursory seismic quiescence. *Pure and Applied Geophysics* 126: 319-332.
- Huang, Q. and Sobolev, G. 2002. Precursory seismicity changes associated with the Nemuro Peninsula earthquake, January 28, 2000. *Journal of Asian Earth Science* 21: 135-146.
- Huang, Q. 2004. Seismicity Pattern Changes Prior to Large Earthquakes-An approach of the RTL algorithm. *IAQ* 15: 461-491.
- Kanamori, H. 1981. The nature of seismicity patterns before large earthquakes, in *Earthquake Prediction*. Maurice Ewing Series. AGU, Washington D.C. IV: 1–19.
- Klaipongphan S, Chakramanont V, Pinrode J, Chittrakarn P (1991) Geological and seismicity evaluation. *Proceedings of the Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, St. Louis, Missouri, pp 1357–1363.
- Pailoplee, S. 2014 . Earthquake Activities Along the Strike-Slip Fault System on the Thailand-Myanmar Border. *Terr . Atmos . Ocean . Sci .*, Vol . 25 , No. 4 : 483-490

- Perez, O. J. and Scholz, C. H. 1984. Heterogeneities of the instrumental seismicity catalog (1904-1980) for strong shallow earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Amer. 74: 669-686
- Sobolev, G.A., 1995. Fundamental of Earthquake Prediction. Moscow: Electromagnetic Research Centre :162p.
- Sobolev, G.A., and Tyupkin, Y.S. 1997. Low-seismicity precursors of large earthquake in Kamchatka. Volcanology and Seismology 18: 433-446.
- Well, D. L., and Coppersmith, K. J. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America 84: pp.974-1002.