

การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ตามแนวเขตรอยเลื่อนสะกาย
ตอนกลางประเทศพม่า
นายสุรสาร ปัญญาทิพย์

ธรณีวิทยา

2557

การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวเขตรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางประเทศพม่า

นายสุรสาร ปัญญาทิพย์

เลขประจำตัวนิต 543 27386 23

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE SAGAING FAULT ZONE,
CENTRAL MYANMAR

Mr. Surasan Panyatip

Student ID: 543 27386 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: การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ตามแนวเขตรอยเลื่อนสะกาย
ตอนกลางประเทศพม่า
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายสุรสาร ปัญญาทิพย์
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้
ปีการศึกษา: 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ตามมาในภายหลัง บริเวณรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางประเทศพม่า โดยใช้เทคนิคค่า Z ซึ่งหลังจากปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีอยู่ พบว่าในบริเวณพื้นที่ศึกษามีเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด > 3.5 ริกเตอร์ จำนวน 3,781 เหตุการณ์ ที่มีความสมบูรณ์และสื่อถึงกิจกรรมแผ่นดินไหวจากธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง และเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z และแผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดตามมา ผู้วิจัยได้คัดเลือกแผ่นดินไหวขนาด > 6.0 ริกเตอร์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีตจากรอยเลื่อนสะกาย จำนวน 8 เหตุการณ์เป็นกรณีศึกษาในการปรับเทียบตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา

ผลการทดสอบบ่งชี้ว่าหากใช้ตัวแปรจำนวนแผ่นดินไหว 25 เหตุการณ์ และช่วงเวลาในการพิจารณา 2 ปี มักจะพบค่า Z ที่สูงอย่างมีนัยสำคัญก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ดังกล่าว และจากการประยุกต์ใช้ตัวแปรอิสระที่สรุปข้างต้นกับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีอยู่จนถึงปัจจุบัน พบว่ารอยเลื่อนสะกายมีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว 2 พื้นที่ ได้แก่ตอนเหนือใกล้เมือง มิตจีนา ($Z=8.0$) และทางตอนกลางของรอยเลื่อนสะกายบริเวณเมือง เนปิดอร์ ($Z=9.0$)

คำสำคัญ: ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว, การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว, สัญญาณบอกเหตุ, รอยเลื่อนสะกาย, พม่า

Project title: SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE SAGAING FAULT ZONE,
CENTRAL MYANMAR
Researcher: Mr. Surasan Panyatip
Department: Geology
Advisor: Professor Assistant Dr. Santi Pailoplee
Academic Year: 2014

ABSTRACT

In this study, the seismicity rate changes implying the earthquake precursor were investigated along the Sagaing Fault (SF), Central of Myanmar using the Z-value technique. After statistical improvement of the existing seismicity data, i.e., instrumental earthquake records, it is revealed that 3,781 events of earthquake with $M_w > 3.5$ are represent directly the seismotectonic activities of the SF. In order to find out the characteristic parameters suitable specifically for the SF, 8 events of the $M_w > 6.0$ earthquakes were recognized and test retrospectively. As a result, utilizing the conditions of 25 events of considering earthquakes and 2 year time window, the significant high of Z value follow by the large earthquake. Therefore in order to evaluate the prospective areas of the upcoming earthquake, the suitable parameters mentioned above were applied with the most up-to-date seismicity data. The results illustrated that the SF along Myitkyina ($Z=8.0$) and Naypidaw ($Z=9.0$) cities might be posed by the large earthquake in the future.

KEYWORDS: Earthquake Catalogue, Seismicity Rate Change, Precursor, Sagaing Fault, Myanmar.

กิตติกรรมประกาศ
(ACKNOWLEDGEMENT)

การทำโครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัย ได้วางแผนการทำงานที่เป็นขั้นเป็นตอน รวมถึงปฏิทินการทำงานที่ชัดเจนและเป็นไปตามเวลาที่คาดหวังไว้ คอยแก้ปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นตลอดการทำงานจนโครงการวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณนายสัตวแพทย์ สุธงษ์ และนายประโยชน์ ปวงจักร์ท่า รุ่งฟ้าปริญญาโทที่คอยสอน ให้คำแนะนำ และตรวจสอบความถูกต้อง เหมือนเป็นอาจารย์คนที่สองที่คอยช่วยเหลือในเวลาที่อาจารย์ที่ปรึกษาไม่สะดวก ตั้งแต่เริ่มโครงการจนแล้วเสร็จ

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์และบุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึงบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ
(CONTENTS)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญ (CONTENTS)	ช
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENTS)	ฅ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENTS)	ฉ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENTS)	ฐ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)	2
1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)	3
1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)	3
1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	
2.1. ทฤษฎีแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน	4
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	5
2.3. ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	8
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS)	
3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	10
3.1.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)	10
3.1.2. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Global Centroid Moment Tensor (CMT)	13
3.1.3. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Thai Meteorological Department (TMD)	16

3.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	20
3.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	31
3.4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	35
3.5. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	37
บทที่ 4 ผลการศึกษา (RESULT)	
4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	39
4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	46
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	
5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	48
5.2. ความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวแต่ละชนิดและสมการแสดงความสัมพันธ์ (Relations of Magnitude and Equations)	48
5.3. การจัดกลุ่มการคัดเลือกแผ่นดินไหว (Earthquake Declustering)	49
5.4. คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	50
5.5. กรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Conditions for Retrospective Test)	50
5.6. การประเมินพื้นที่เสี่ยง (Evaluation of Prospective Area)	53
5.7. ข้อเสนอแนะในการเลือกตัวแปร (Parameter Recommendations)	55
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	56

สารบัญรูปภาพ
(FIGURE CONTENTS)

	หน้า
รูป 1.1. แผนที่แสดงรอยเลื่อนสะกาย	2
รูป 2.1. พื้นที่ที่เกิดภาวะเจ็บสงบจากงานวิจัยของ Murru (1999)	5
รูป 2.2. พื้นที่ภาวะเจ็บสงบเกิดขึ้นสองเวลาจากงานวิจัยของ Katsumata (2011a)	6
รูป 2.3. ภาวะเจ็บสงบสองเหตุการณ์จากงานวิจัยของ Katsumata (2011b)	7
รูป 2.4. แผนผังขั้นตอนการทำงานของโครงการ	8
รูป 3.1. ความหนาแน่นจากตำแหน่งของข้อมูล IRIS	11
รูป 3.2. ความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS กับตัวแปรต่างๆ	12
รูป 3.3. ความหนาแน่นของการเก็บข้อมูล IRIS	13
รูป 3.4. ความหนาแน่นจากตำแหน่งของข้อมูล CMT	14
รูป 3.5. ความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว CMT กับตัวแปรต่างๆ	15
รูป 3.6. ความหนาแน่นของการเก็บข้อมูล CMT	16
รูป 3.7. ความหนาแน่นจากตำแหน่งของข้อมูล TMD	17
รูป 3.8. ความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว TMD กับตัวแปรต่างๆ	18
รูป 3.9. ความหนาแน่นของการเก็บข้อมูล TMD	19
รูป 3.10. ฐานข้อมูลรวม มีเหตุการณ์ทั้งสิ้น 46,135 เหตุการณ์	19
รูป 3.11. การกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว ML	22
รูป 3.12. การกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MB	23
รูป 3.13. การกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MS	24
รูป 3.14. การกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW	25
รูป 3.15. การกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MX	26
รูป 3.16. ค่าความถี่ตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ MW (Kagan และ Knopoff, 1980b)	27
รูป 3.17. ตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้	28
รูป 3.18. กราฟความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MS เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน	30

รูป 3.19.	กราฟความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MB เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน	30
รูป 3.20.	กราฟความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MS-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน	31
รูป 3.21.	กราฟความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MB-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน	31
รูป 3.22.	หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานต่างๆ ในโครงการนี้จะใช้ของ Gardner และ Knopoff (1974)	33
รูป 3.23.	หลักการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีการรายงานซ้ำกัน จะใช้แนวคิดหรือสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	34
รูป 3.24.	กราฟข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 46,135 เหตุการณ์ (ซ้ำ) และหลังการเตรียมข้อมูลเหลือ 4,863 เหตุการณ์ (ขวา) ด้วยการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก, การคัดเลือกแผ่นดินไหวที่ซ้ำกัน	35
รูป 3.25.	(ซ้ำ) กราฟข้อมูลแผ่นดินไหวขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 4,863 เหตุการณ์ และ(ขวา) หลังการแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เหลือ 3,781 เหตุการณ์ ทำเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม	36
รูป 3.26.	กราฟแนวโน้มของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ	37
รูป 3.27.	การคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c=4.3$	38
รูป 4.1.	ตำแหน่งกรณีศึกษาแผ่นดินไหวที่เลือกมา 8 เหตุการณ์	39
รูป 4.2.	การเปรียบเทียบแผนที่ที่มาจากเงื่อนไขแต่ละเงื่อนไขกับกรณีศึกษาที่ 1	42
รูป 4.3.	แผนที่ค่า Z คำนวณโดยใช้เงื่อนไขที่ 3; Num=25, Tw=2.0, Radius=150	44
รูป 4.4.	ความสัมพันธ์ของจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ค่า Z และปี โดยคำนวณตามตัวแปรเงื่อนไขที่ 3	45

รูป 4.5.	แผนที่ที่ได้จากเงื่อนไขหลังการทำทดสอบย้อนกลับที่ปรับเกลใหม่	46
รูป 5.1.	การหาระดับแผ่นดินไหวสมบูรณ์ สื่อถึงควมมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูล และประสิทธิภาพของข้อมูลที่จะนำไปศึกษาต่อ	50
รูป 5.2.	แผนที่ค่า Z ประกอบพื้นที่เสี่ยง 2 บริเวณคือทางตอนเหนือของประเทศพม่า ทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะกาย และบริเวณทางตอนกลางของประเทศพม่า	53
รูป 5.3.	แผนที่จากงานวิจัยของ Pailoplee (2013) ค่า b-value ซึ่งค่า b ที่น้อยแสดงโดยสีฟ้าจะมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวมากสัมพันธ์กับงานวิจัยนี้ที่บริเวณตอนกลางของรอยเลื่อนสะกาย	54

สารบัญตาราง
(TABLE CONTENTS)

	หน้า
ตาราง 4.1. ข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา	40
ตาราง 4.2. เงื่อนไขที่จะนำมาทดสอบย้อนกลับ ตัวแปรที่กำหนดจะประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, ครอบคลุมเวลา, รัศมีและจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	40
ตาราง 4.3. เงื่อนไขที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ	46
ตาราง 5.1. ตารางแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ	48
ตาราง 5.2. การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวต่างๆ	49
ตาราง 5.3. กรณีศึกษาทั้งหมด 8 กรณีที่จะนำไปทดสอบย้อนกลับเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สามารถแสดงพื้นที่เสี่ยงให้ตรงกับตำแหน่งที่เกิดแผ่นดินไหว	51
ตาราง 5.4. เงื่อนไขต่างๆที่จะนำมาทดสอบย้อนกลับทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขที่ 1 และ 2 สามารถแสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวตรงกับกรณีศึกษาทั้ง 8 กรณี เงื่อนไขที่ 3 และ 4 แสดงพื้นที่เสี่ยงของกรณีศึกษาได้ 6 และ 7	51
ตาราง 5.5. เงื่อนไขสุดท้ายหลังจากทำการทดสอบย้อนกลับ	53

สารบัญสมการ
(EQUATION CONTENTS)

	หน้า
สมการ 2.1. สมการคำนวณอัตราการผลิตแผ่นดินไหว	4
สมการ 3.1. สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS	29
สมการ 3.2. สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB	29
สมการ 3.3. สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW	29
สมการ 3.4. สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW	29

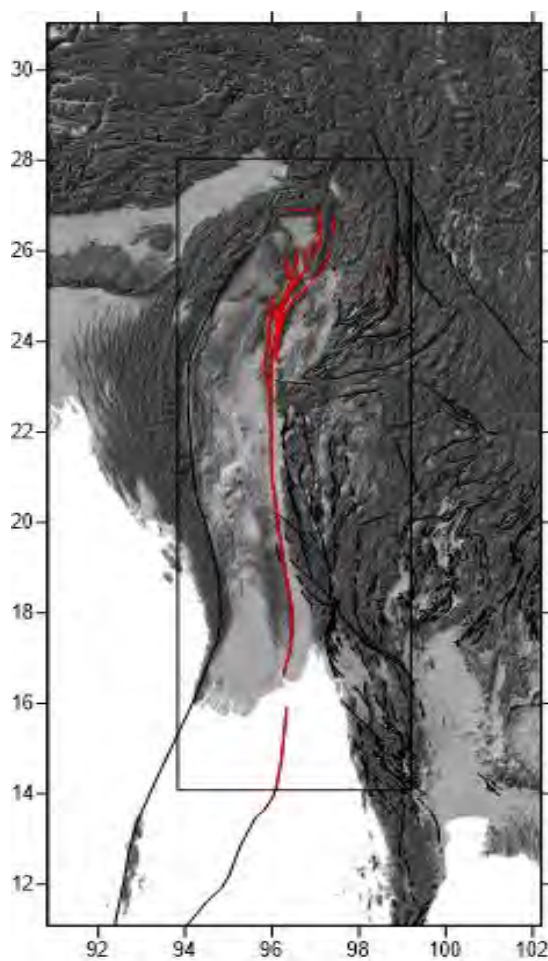
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)

1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

รอยเลื่อนสะกายเป็นหนึ่งในกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีขนาดใหญ่เท่ากับรอยเลื่อน ซานแอนเดรียส (San Andreas) ที่สหรัฐอเมริกา รอยเลื่อนสะกายตั้งอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ของประเทศพม่า ตัดผ่านเมืองสำคัญอย่างมัณฑะเลย์ เมืองหลวงเนปิดอว์ จากบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีต พบว่ารอยเลื่อนสะกายเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดมากกว่า 7.0 ริกเตอร์มาแล้วไม่น้อยกว่า 6 ครั้งในรอบ 50 ปีที่ผ่านมา มีผลกระทบต่อทั้งประเทศพม่าและประเทศไทยด้วย จะเป็นการดีถ้าหากเราสามารถทำนายการเกิดแผ่นดินไหวได้ก่อนที่จะเกิดจริงตามมาหรืออย่างน้อยที่สุดสังเกตจากเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีตเราสามารถบอกได้ว่าบริเวณไหนมีความเป็นไปได้ของการเกิดแผ่นดินไหว จากอดีตที่มีการสังเกตเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหวจะสามารถทำนายการเกิดแผ่นดินไหวได้จากการบันทึกของคนรุ่นก่อนๆที่มีการบันทึกไว้ ซึ่งนั่นเป็นการคาดเดาการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้าแบบระยะยาว กินเวลาหลายร้อยปีว่าจะเกิดแต่ละครั้ง หรือจากการสังเกตพฤติกรรมของสัตว์ที่เลี้ยงไว้ มีพฤติกรรมที่แปลกไปอย่างเห็นได้ชัดแล้วเกิดแผ่นดินไหวตามมา ก็คือการคาดเดาล่วงหน้าในระยะสั้นอาจใช้เวลาแค่วันหรืออาทิตย์ ปัจจุบันมีการพยายามที่จะทำนายการเกิดแผ่นดินไหวในระยะเวลาที่มนุษย์สามารถเตรียมตัวรับมือกับการเกิดแผ่นดินไหวได้ซึ่งก็มีหลายวิธีการ และวิธีการที่เลือกมาคือการใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวทางสถิติ (statistical seismology) เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว โดยอาศัยข้อมูลเชิงสถิติมาประกอบกับเครื่องมือการคำนวณ การวิเคราะห์และการประเมินจะสามารถทำนายการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้าได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ถึงแม้ว่าปัจจุบันเทคโนโลยียังไม่ก้าวหน้าล้ำยุคจนถึงขั้นบอกได้อย่างแม่นยำแบบไม่มีข้อผิดพลาดแต่ก็ยังถือเป็นหนทางที่ดีกว่าเราไม่ทราบอะไรเลยเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหวเนื่องจากแผ่นดินไหวเป็นสิ่งที่เราไม่สามารถต่อต้านหรือยับยั้งไม่ให้นันเกิดได้แต่อย่างน้อยการคาดเดาแผ่นดินไหวล่วงหน้าก็สามารถเตือนเราให้มีการเตรียมพร้อมที่จะรับมือได้

1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

พื้นที่ศึกษาคือพื้นที่ส่วนกลางของประเทศไทยที่รอยเลื่อนสะกายพาดผ่านในแนวเหนือ-ใต้ กรอบของพื้นที่ศึกษาคือละติจูดที่ 14.08 – 28.03 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 93.83 – 99.20 องศาตะวันออก แสดงในรูป 1.1.



รูป 1.1. แผนที่รอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางประเทศไทย แสดงในรูปด้วยเส้นสีแดง กรอบสี่เหลี่ยมด้านในคือพื้นที่ศึกษา

1.3. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต โดยใช้วิธีการการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ตามแนวรอยเลื่อนสะกาย บริเวณตอนกลางของประเทศพม่า

1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Work)

วิเคราะห์ห้ระเบียบวิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ตามแนวกลุ่มรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางประเทศพม่า โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records)

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)

แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตามแนวรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางประเทศพม่า ซึ่งแปลความจากการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว

บทที่ 2 ทฤษฎีและวิธีดำเนินงาน (THEORY AND METHODOLOGY)

2.1. ทฤษฎี (Theory)

Sobolev (1995) ได้ทดลองการเกิดแผ่นดินไหวด้วยการกดอัดแท่งหินและได้ใช้อุปกรณ์วัดพลังงานเสียง (acoustic energy) จากการปริแตกของหิน พบว่าเมื่อเริ่มบีบอัดแท่งหินจะมีสัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ เกิดขึ้น และเมื่อออกแรงอัดแท่งหินเพิ่มขึ้นสัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ นั้นจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นก่อนที่แท่งหินจะแตกหักจนสูญเสียรูปไป ซึ่ง Sobolev สรุปผลการทดลองว่าก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ จะมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญเรียกว่าภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) และหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (seismic activation) ตามมาอีกครั้ง

Wiemer (2001) จึงนำเสนอวิธีทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหว โดยกำหนดกรอบเวลาและเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลา (R_w) กับอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา (R_{bg}) ซึ่งค่าที่ได้เรียกว่าค่า Z ดังสมการ (2.1)

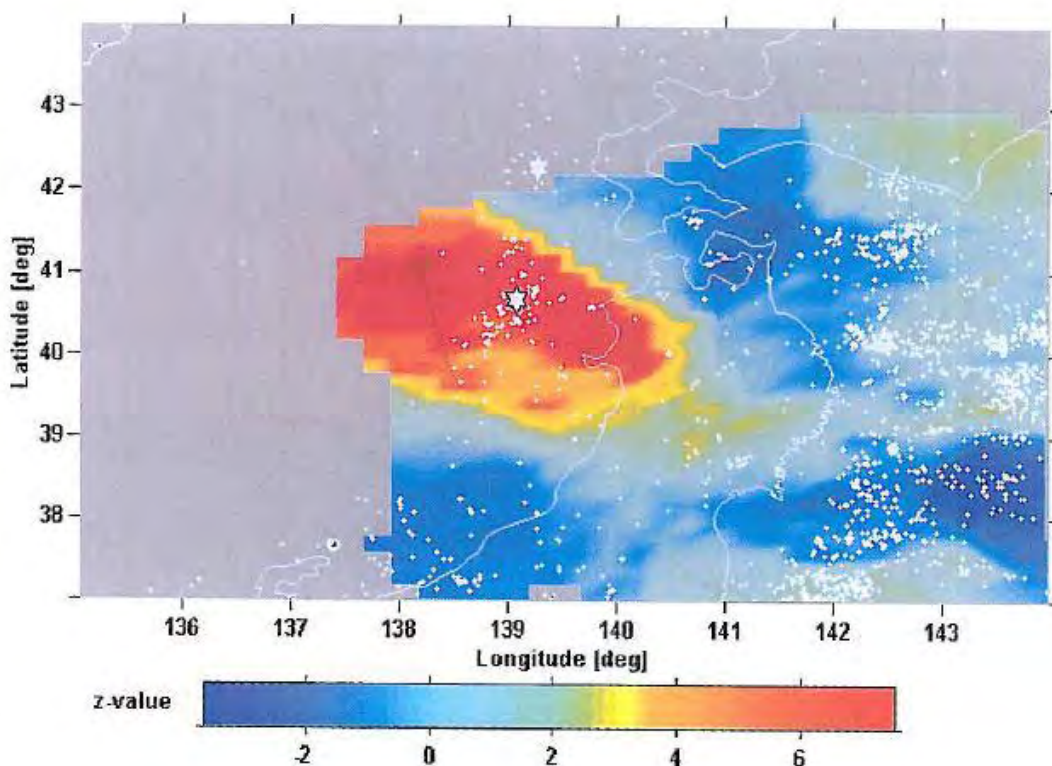
$$Z = \frac{R_{bg} - R_w}{\sqrt{\frac{S_{bg}}{n_{bg}} + \frac{S_w}{n_w}}} \quad \text{สมการ (2.1)}$$

โดย S หมายถึง ความแปรปรวนของข้อมูล และ n หมายถึง จำนวนข้อมูล โดยค่า Z เป็นบวกแสดงถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลาที่กำหนดน้อยกว่านอกกรอบเวลา และยิ่งค่า Z มีค่าสูงแสดงว่าแผ่นดินไหวในช่วงกรอบเวลานั้นลดน้อยลงหรือเกิดภาวะเงียบสงบ ซึ่งมักจะพบก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

งานวิจัยของ Murru (1999)

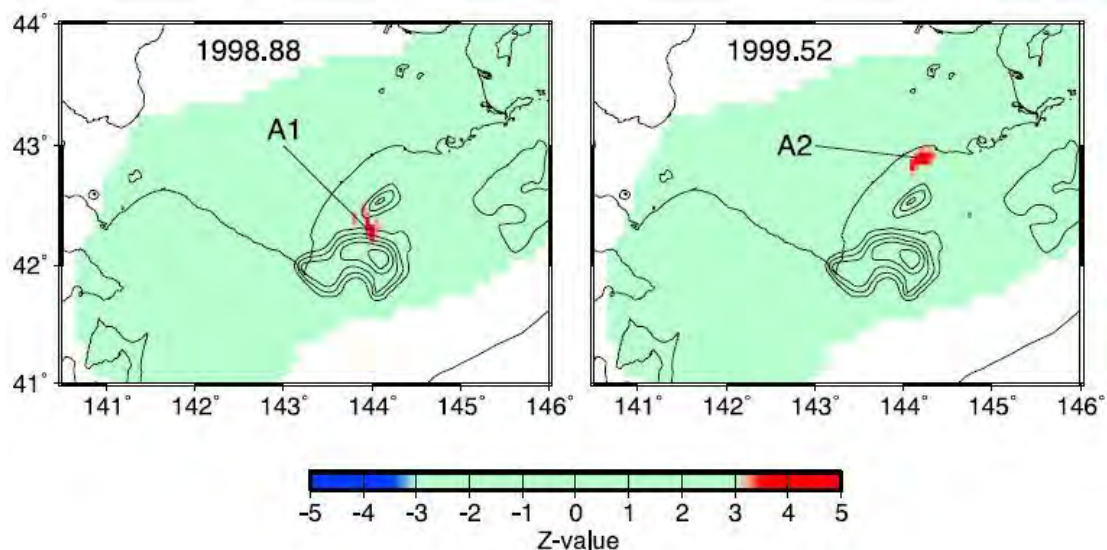
Murru (1999) ศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวนิฮอนไค บริเวณตอนเหนือของเกาะฮอนชู-ฮอกไกโด มีขนาด 7.7 เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 1983 โดยเก็บรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก (declustering) แล้วจาก Japan Meteorological Agency (JMA) ช่วงเวลาระหว่างเดือนมกราคม ปี 1970 ถึงเดือนธันวาคม ปี 1994 และเลือกวิเคราะห์กรณีศึกษาเฉพาะแผ่นดินไหวที่เกิดจากแผ่นดินไหวหลัก (main shock) ที่มีขนาดมากกว่า 7.0 จำนวน 16 เหตุการณ์ ตัวแปรที่ Murru พิจารณาคือกรอบเวลาในระยะเวลา 3 ปี ความห่างของข้อกริดที่ตี้อยู่เท่ากับ 0.25° ขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่พิจารณาอยู่ที่ 3.8 พบว่ามีภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) ก่อนเกิดแผ่นดินไหว 3.5 ปี

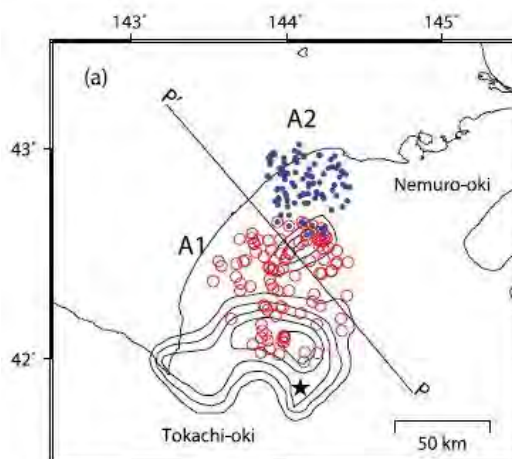


รูป 2.1. แสดงพื้นที่ที่เกิดภาวะเจ็บบอบแสดงด้วยสีแดงซึ่งมีค่า $Z=7.4$ โดยเริ่มตั้งแต่ปี 1979 ก่อนเกิดแผ่นดินไหว Nihonkai-Chubu ขนาด 7.7 ในปี 1983

งานวิจัยของ Katsumata (2011a)

Katsumata (2011a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโทคาชิ-โอกิ บริเวณชายฝั่งด้านทะเลแปซิฟิกของเกาะฮอกไกโด มีขนาด 8.3 ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 26 กันยายน 2003 หลังจากนำข้อมูลทางสถิติที่ได้มาคำนวณโดยวิธีการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (z -value) กำหนดกรอบเวลา 4 ปี จำนวนแผ่นดินไหวที่นำมาใช้คำนวณในแต่ละจุดศึกษาคือ 100 เหตุการณ์ อาศัยข้อมูลตั้งแต่ปี 1994 ถึง 2003 พบว่ามีการเกิดภาวะเจ็บบอบขึ้นเริ่มจากปี 1999 และคงอยู่นาน 5 ปีซึ่งค่า $Z = +3.9$ และ $+4.0$ ผลที่ได้จึงสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญสองเหตุการณ์นี้เกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น

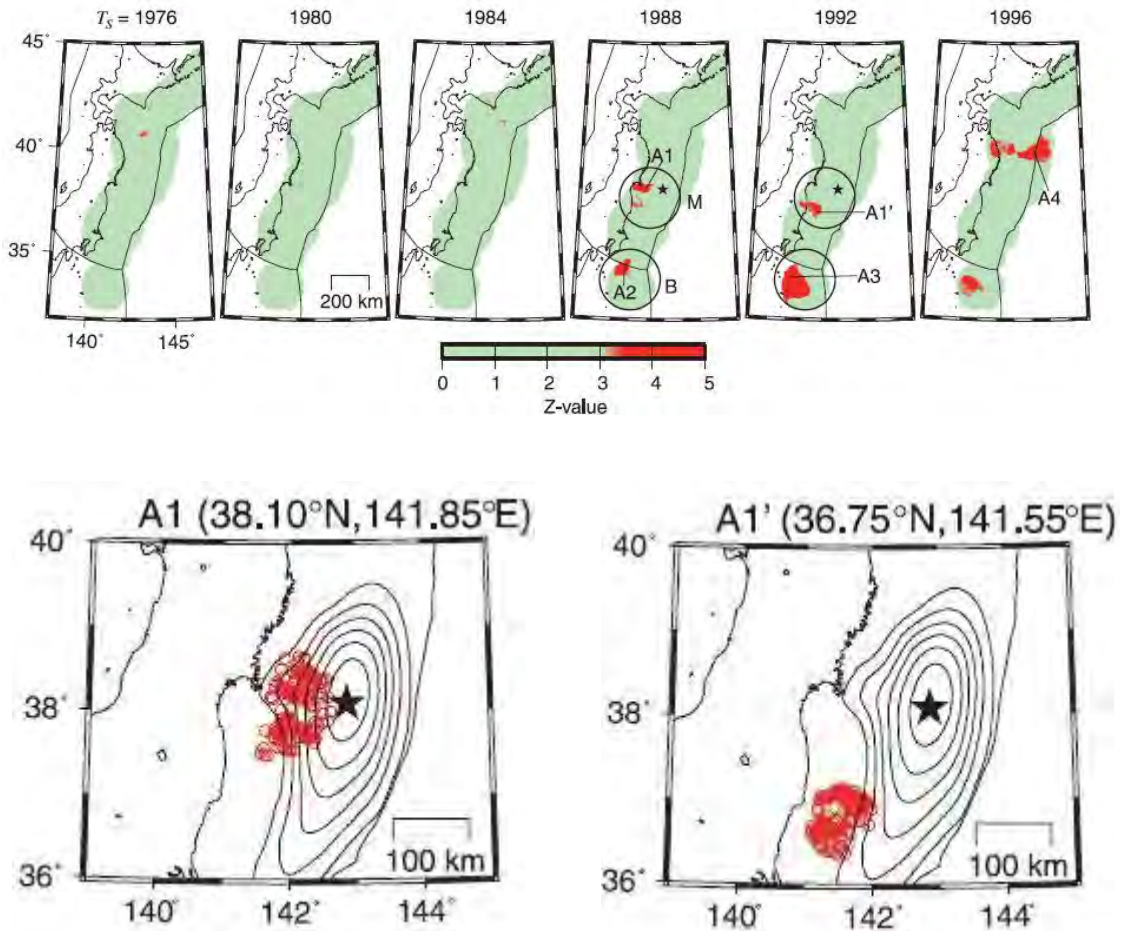




รูป 2.2. แสดงพื้นที่ภาวะเงียบสงบเกิดขึ้นสองเวลาและ Katsumata (2011a) สรุปรว่าเป็นภาวะเงียบสงบที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 8.3 ในปี 2003 ณ ตำแหน่งรูปดาว (เส้นชั้นความสูงแสดงพื้นที่ความเสียหายจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน 1 ชั้นเท่ากับ 1 เมตร)

งานวิจัยของ Katsumata (2011b)

Katsumata (2011b) ศึกษาการลดลงของอัตราการผลิตแผ่นดินไหวบริเวณชายฝั่งแปซิฟิกของประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีขนาด 9.0 ในปี 2011 โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจาก Japan Meteorological Agency (JMA) บันทึกและรวบรวมไว้ตั้งแต่ปี 1965-2010 มาคำนวณด้วยวิธีค่า Z พบภาวะเงียบสงบของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี 1987 โดยกำหนดกรอบเวลาในการศึกษาที่ 15 ปี สังเกตจากค่า Z มีค่าสูงสุดคือ +4.9 และหลังจากนั้น 23.4 ปีก็เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

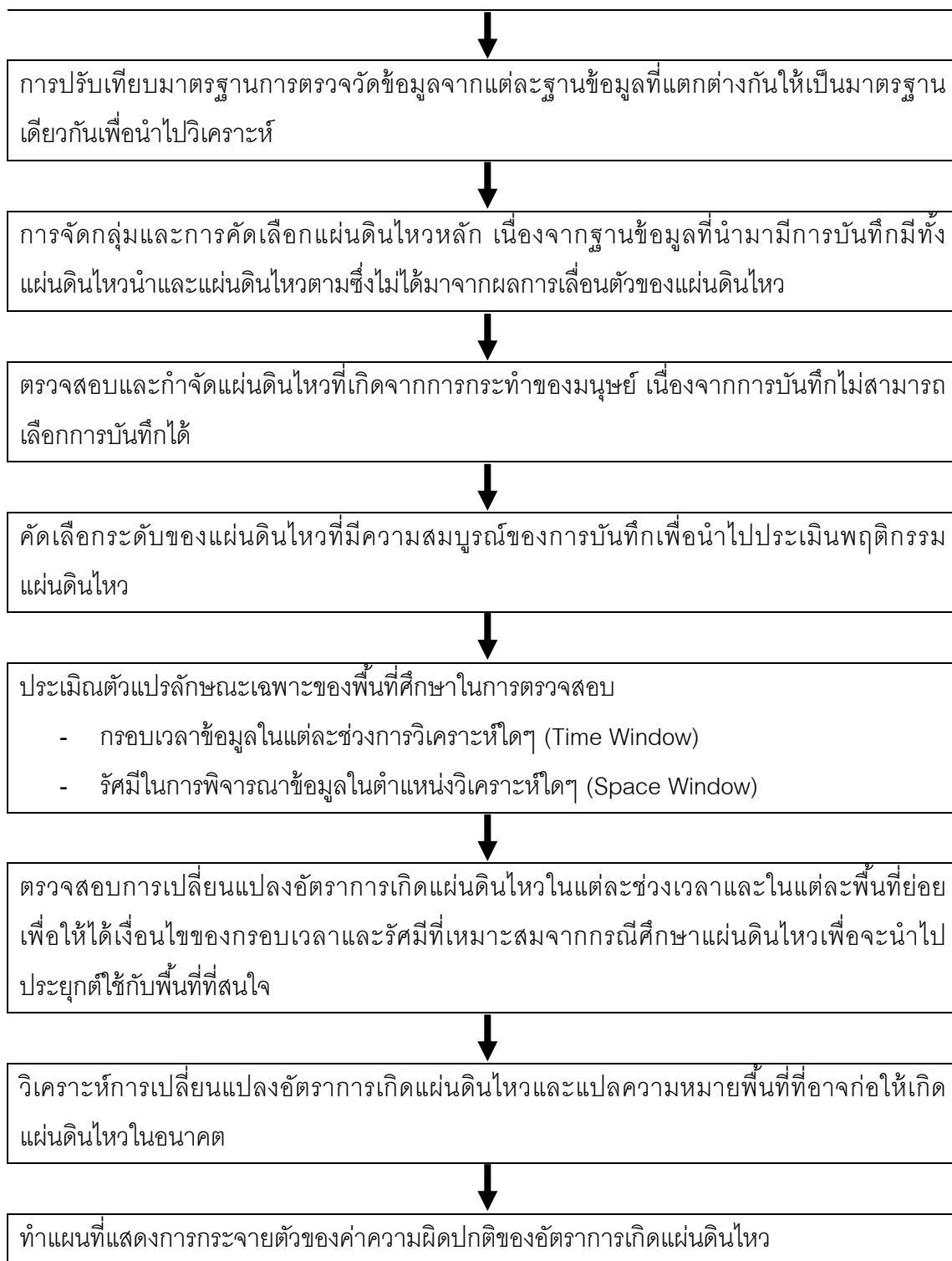


รูป 2.3. แสดงภาวะเงียบสงบสองเหตุการณ์คือ A1(ปี 1988) และ A1'(ปี 1992) ต่างอยู่ในพื้นที่เดียวกันคือวงกลม M (Miyagi quiescence), ดาวแสดงจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ในปี 2011 ระบุตำแหน่งโดย JMA (เส้นชั้นความสูงหมายถึงพื้นที่ที่ความเสียหายที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของรอยเลื่อน 1 ชั้นเท่ากับ 4 เมตร)

2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

ระยะเวลาการทำงานเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม ปี 2014 สิ้นสุดเดือนพฤษภาคม ปี 2015 ซึ่งมีขั้นตอนดังรูป 2.4.

เก็บรวบรวมข้อมูล โดยคัดลอกเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่ต้องการจากฐานข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย ฐานข้อมูล IRIS, ฐานข้อมูล CMT และฐานข้อมูล TMD



รูป 2.4. แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของโครงการตั้งแต่ขั้นรวบรวมข้อมูล, เตรียมข้อมูล, การทดสอบ, การประเมินผล และวิธีการในการนำเสนอเป็นรูปแบบแผนที่

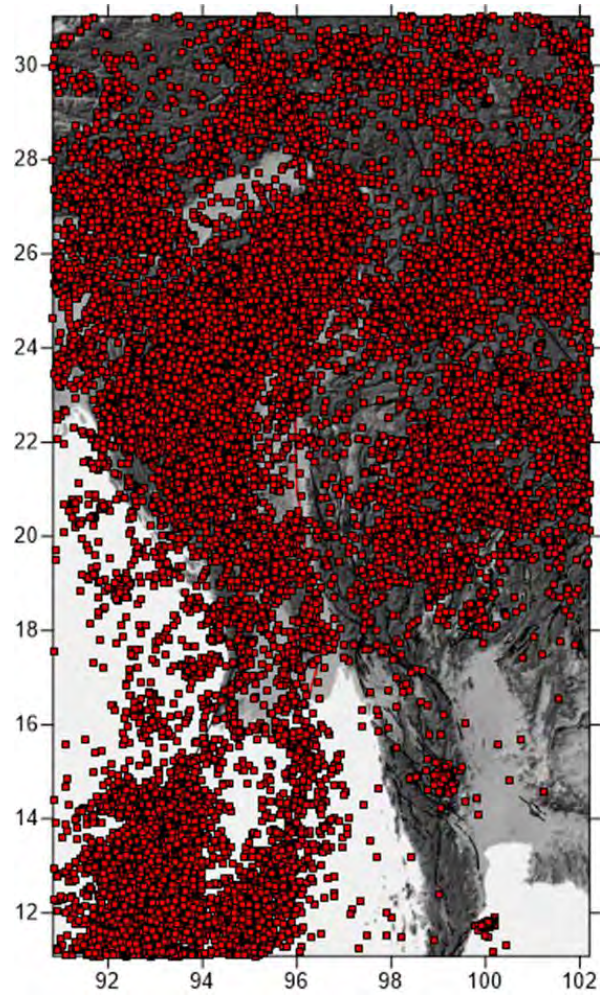
บทที่ 3 การปรับฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS)

3.1. การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว (Collecting Data)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาใช้ในการประเมินมาจาก 3 แหล่งที่มาที่สามารถเปิดให้ประชาชนที่มีความสนใจสามารถเข้าไปใช้บริการหรือขอข้อมูลได้ฟรี ซึ่งฐานข้อมูลที่นำมาใช้ในโครงการมีดังนี้

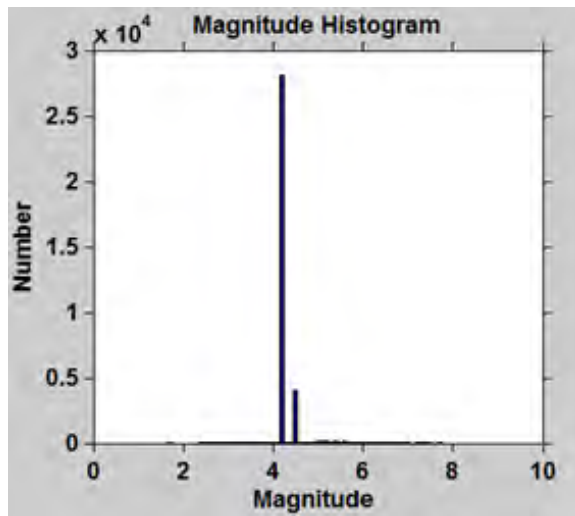
3.1.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology(IRIS)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) เป็นฐานข้อมูลที่มีเยอะที่สุด รายงานได้รวดเร็วที่สุดหลังจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละครั้ง จุดประสงค์คือการเน้นการรายงานให้ทราบแต่ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลอาจจะมีแค่ระดับหนึ่ง เหตุผลที่ต้องใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก IRIS เพราะการทำงานในเชิงสถิตินั้น นอกจากความถูกต้องของข้อมูลแล้ว จำนวนของข้อมูลก็เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้สิ่งที่วิเคราะห์ออกมานั้นมีความน่าเชื่อถือตามรูป 3.1. ยิ่งหากนำข้อมูลไปปรับแก้ตามขั้นตอนต่อไปแล้วยังลดทอนจำนวนข้อมูลลง ดังนั้นฐานข้อมูลจาก IRIS ถือว่ามีความสำคัญมากและมีรายละเอียดต่างๆได้แก่ ขนาดของแผ่นดินไหวได้ตั้งแต่ 1.7-7.7 ความลึกตั้งแต่ 0-750 เมตร การตรวจวัดแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี 1964.0169-2015.0706 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลในหนึ่งวันตั้งแต่ 00.00-23.59 น. ดังแสดงในรูป 3.2.(ก)-(ง) จำนวนแผ่นดินไหวทั้งหมด 33662 เหตุการณ์ดังรูป 3.3.

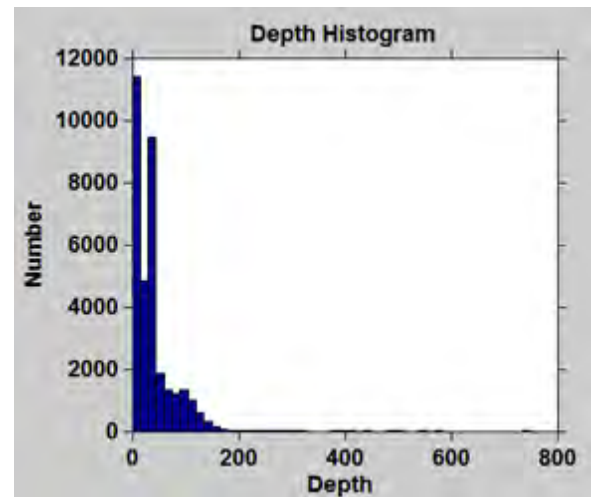


รูป 3.1.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ IRIS จากตำแหน่งของแผ่นดินไหวจะครอบคลุมทั้งพื้นที่ของพื้นที่ศึกษา และหนาแน่นเป็นกระจุก และจากจำนวนก็มีมากที่ทำให้ความเชื่อถือทางด้านสถิติมากขึ้นไปด้วย

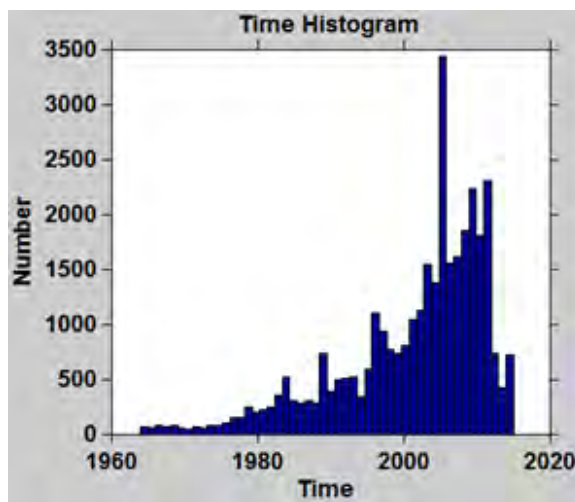
(ก) จำนวนแผ่นดินไหว-ขนาด



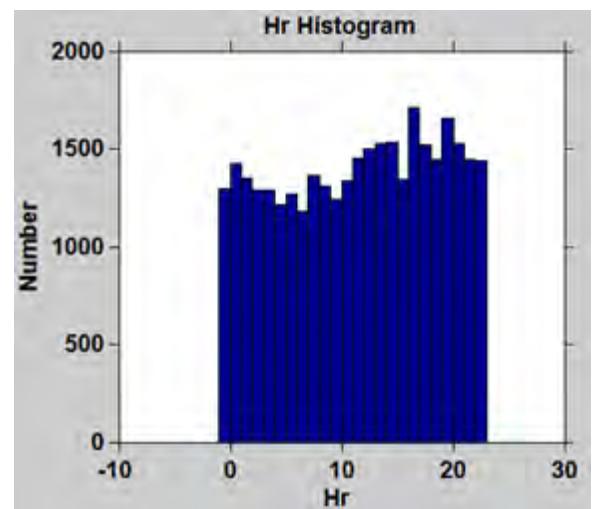
(ข) จำนวนแผ่นดินไหว-ความลึก



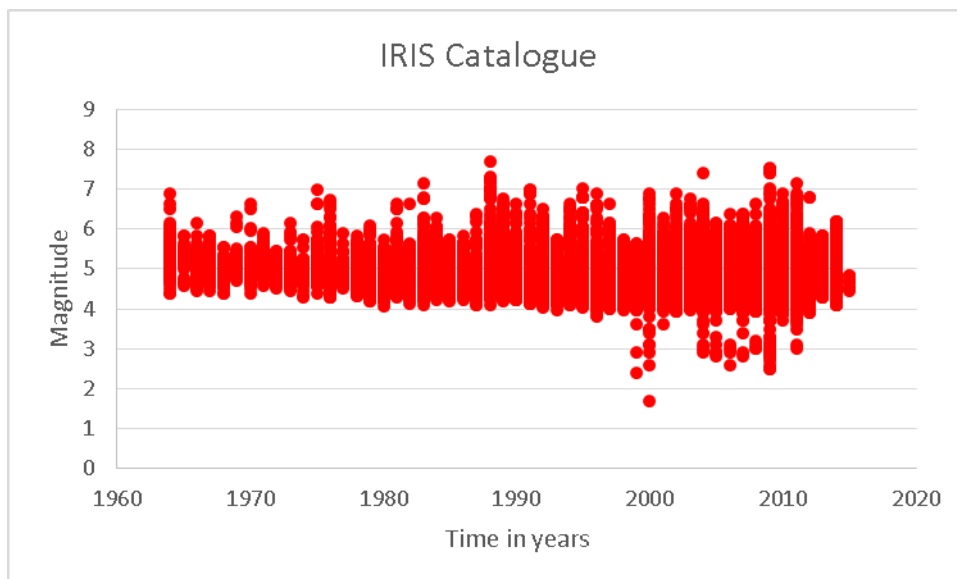
(ค) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ปี)



(ง) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ชั่วโมง)



รูป 3.2. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS กับตัวแปรต่างๆ

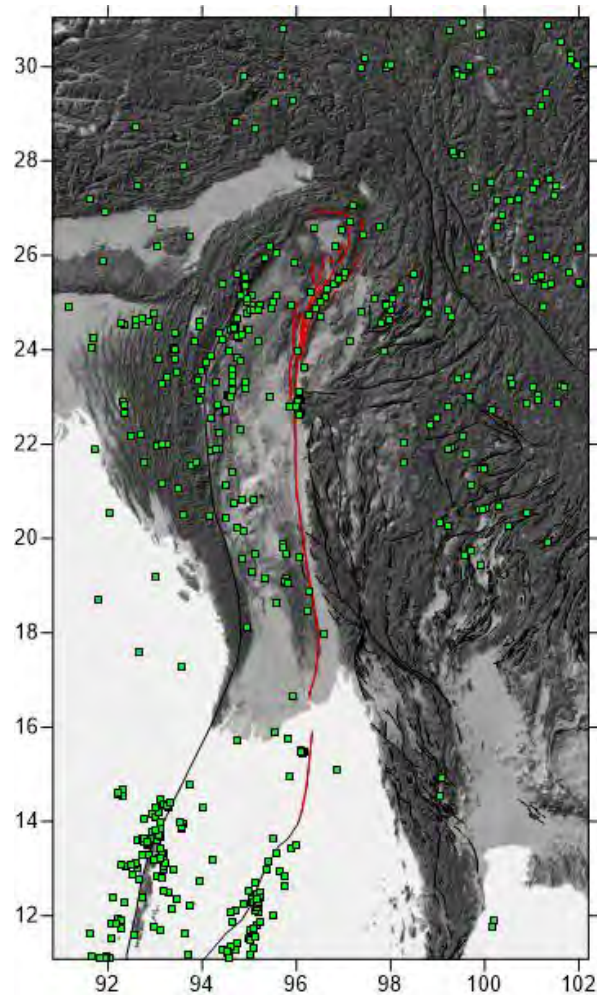


รูป 3.3. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว IRIS บันทึกข้อมูลตั้งแต่ช่วงปี 1964 มีจำนวน 33,662 เหตุการณ์ และแสดงความหนาแน่นของข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวอยู่ในช่วง 4.0-6.5

3.1.2. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Global Centroid Moment Tensor (CMT)

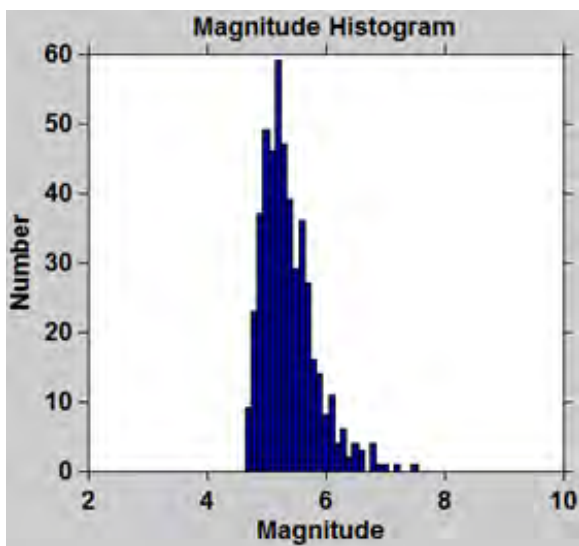
ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The Global Centroid Moment Tensor (CMT) ในอดีตนั้นเป็นที่รู้จักในเครือข่ายการทำงานวิจัยด้านแผ่นดินไหวในนามของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว the Harvard CMT (HRV) โดยมีภารกิจหลักในการวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (Centroid moment tensor, CMT) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.5 ริกเตอร์ นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 (Dziewonski และคณะ, 1981; Ekström และคณะ, 2005) ซึ่งความละเอียดของตัวแปรของข้อมูลแผ่นดินไหวนั้นจะมีความแม่นยำค่อนข้างสูงเพราะผ่านการนำไปคำนวณเชิงลึกมาแล้ว ซึ่งทำให้ความถี่ในรายงานแผ่นดินไหวนั้นจะทิ้งช่วงในการรายงานค่อนข้างนาน และจะช้าหากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวแล้ว CMT จะรายงานทีหลัง IRIS เสมอ แต่ข้อดีคือการที่ผ่านการคำนวณมาแล้วนั้นผู้ที่ต้องการนำข้อมูลไปทำงานต่อย่อมสามารถทำได้ง่ายและถูกต้องแม่นยำ ในทางเดียวกันกับการที่นำข้อมูลไปคำนวณเชิงลึกนั้นทำให้จำนวนข้อมูลของ CMT ก็มีไม่มากตามไปด้วยตามรูป 3.4. ข้อดีของการนำฐานข้อมูล CMT มาใช้ในโครงการนี้เพราะว่าความถูกต้องของการวัดแผ่นดินไหวมีความแม่นยำสูงที่สุด รายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหว CMT ต่างๆ ได้แก่ ขนาดของแผ่นดินไหวได้ตั้งแต่ 4.7-7.5 ความลึกตั้งแต่ 10-156 เมตร การตรวจวัดแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี

1977.3603-2014.9299 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลในหนึ่งวันตั้งแต่ 00.00-23.59 น. ดังแสดงในรูป 3.5.
 (ก)-(ง) จำนวนแผ่นดินไหวทั้งหมด 477 เหตุการณ์ดังรูป 3.6.

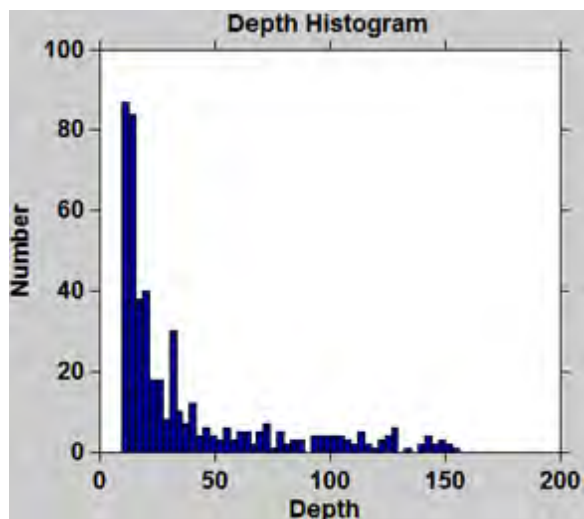


รูป 3.4. จำนวนข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ CMT มีการรายงานที่น้อย ผลจากการคำนวณเชิงลึกที่นานทำให้เรื่องของจำนวนข้อมูลค่อนข้างเป็นปัญหา แต่การกระจายของข้อมูลก็ยังถือว่าดี และคุณภาพของข้อมูลก็สามารถนำไปใช้ได้ทันที

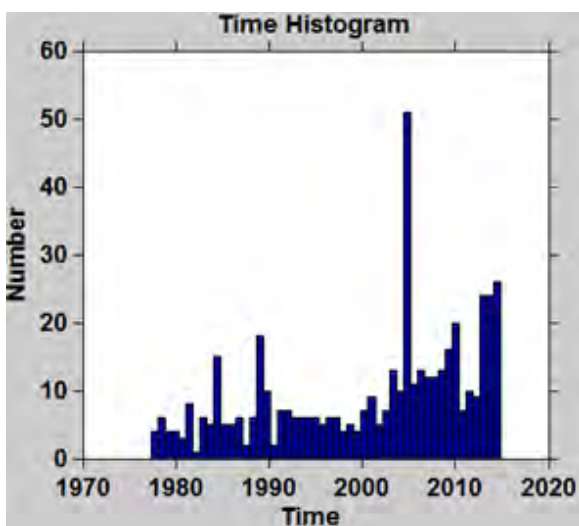
(ก) จำนวนแผ่นดินไหว-ขนาด



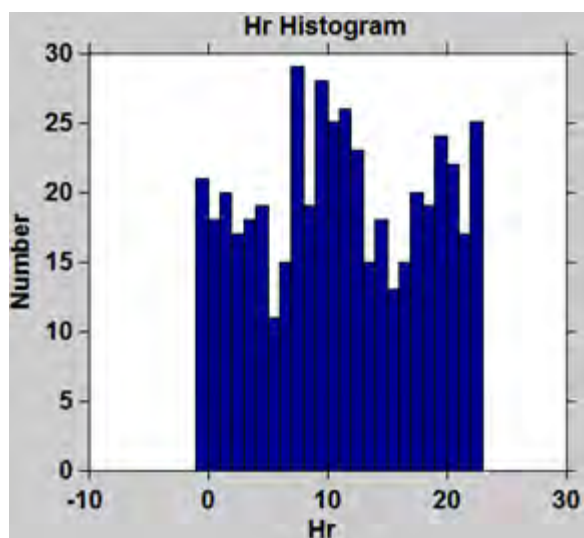
(ข) จำนวนแผ่นดินไหว-ความลึก



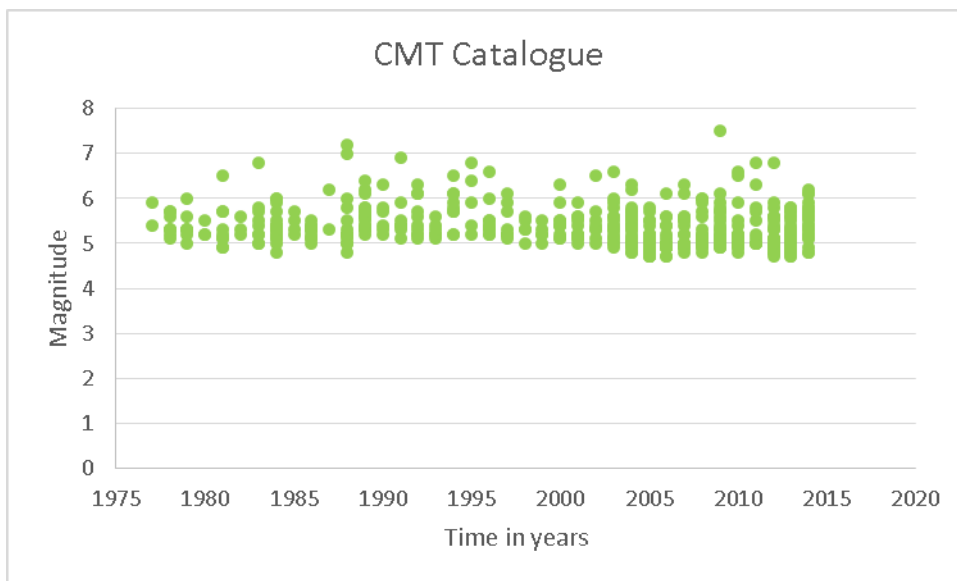
(ค) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ปี)



(ง) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ชั่วโมง)



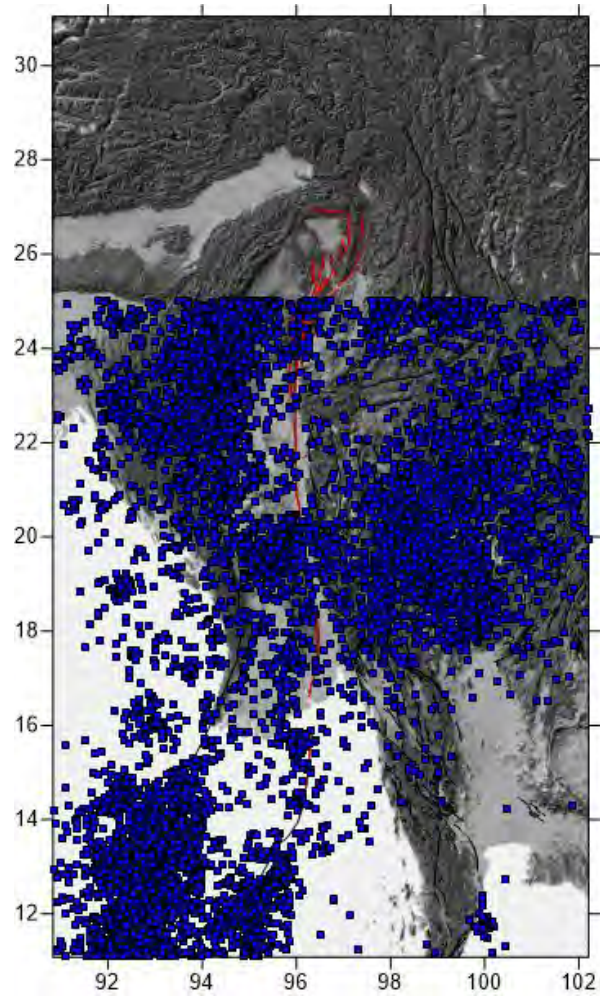
รูป 3.5. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว CMT กับตัวแปรต่างๆ



รูป 3.6.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว CMT เริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่ 1977 มีข้อมูลแผ่นดินไหว 477 เหตุการณ์ ขนาดแผ่นดินไหวกระจายอยู่ในช่วง 4.6-6.0

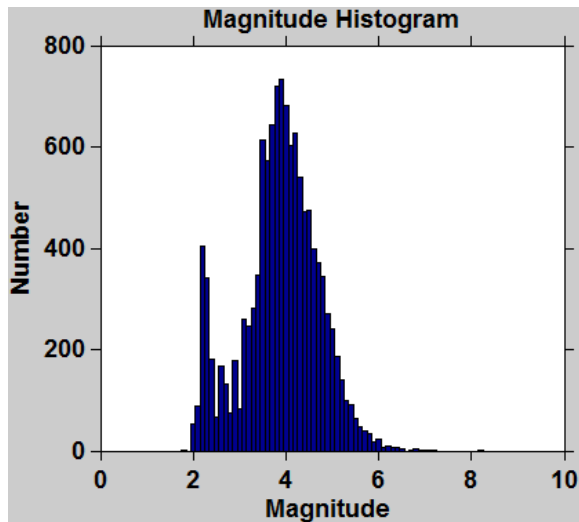
3.1.3. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Thai Meteorological Department (TMD)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Thai Meteorological Department (TMD) นั้นออกจะเป็นฐานข้อมูลที่รายงานแผ่นดินไหวในความกว้างขนาดเฉพาะพื้นที่ (local) เพราะความหนาแน่นของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวในประเทศไทยมีค่อนข้างหนาแน่น ทำให้สามารถตรวจจับแผ่นดินไหวบริเวณใกล้เคียงและรายงานผลออกมาค่อนข้างแน่นอนตามรูป 3.7. เรื่องของความถูกต้องและจำนวนข้อมูลถือว่าดีระดับหนึ่ง จำนวนอาจจะยังไม่เทียบเท่ากับ IRIS และความถูกต้องในระดับทั่วโลก (global) อาจจะยังไม่แม่นยำเหมือน CMT แต่หากในระดับท้องถิ่นแล้วถือว่ามีความแม่นยำสูง รายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหว TMD ต่างๆ ได้แก่ ขนาดของแผ่นดินไหวได้ตั้งแต่ 1.8-8.2 ความลึกตั้งแต่ 0-588 เมตร การตรวจวัดแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี 1998.0023-2009.9973 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลในหนึ่งวันตั้งแต่ 00.00-23.59 น. ดังแสดงในรูป 3.8.(ก)-(ง) จำนวนแผ่นดินไหวทั้งหมด 11996 เหตุการณ์ดังรูป 3.9. และหลังจากรวมข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกันก็จะมีจำนวนแผ่นดินไหวรวมเท่ากับ 46135 เหตุการณ์ดังรูป 3.10.

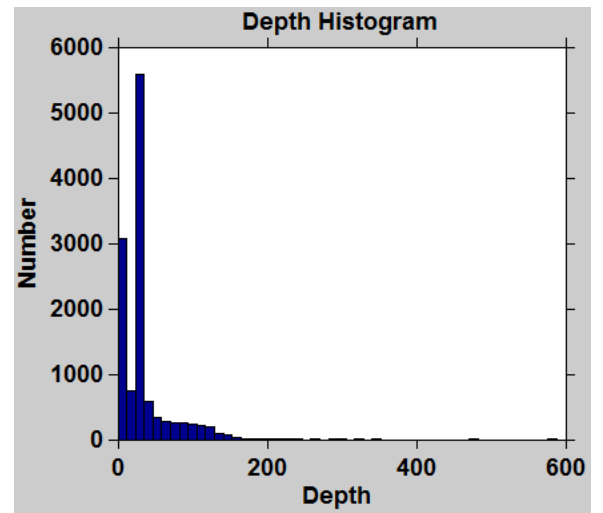


รูป 3.7.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ TMD มีการรวมกลุ่มของข้อมูลที่ดี และจำนวนมากหนาแน่นทั่วพื้นที่โดยเฉพาะประเทศไทย หากแต่ด้วยความจำกัดของจำนวนสถานีตรวจวัดในประเทศไทย ทำให้ขอบเขตการตรวจวัดข้อมูลได้ถึงแค่ละติจูดที่ 25

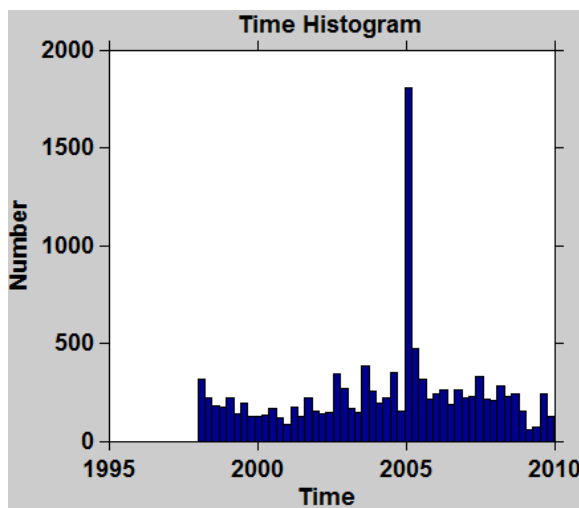
(ก) จำนวนแผ่นดินไหว-ขนาด



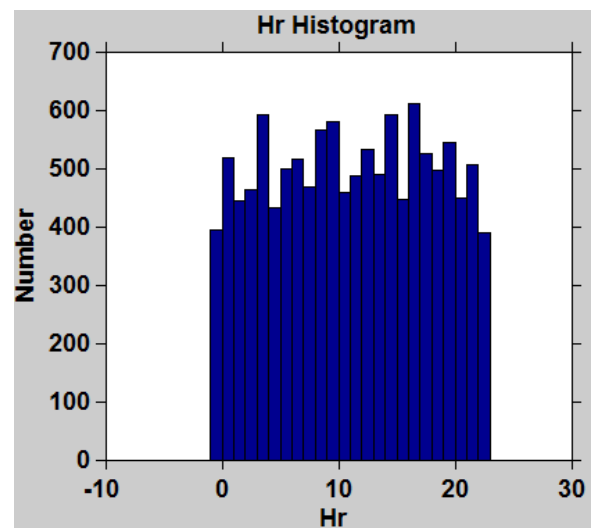
(ข) จำนวนแผ่นดินไหว-ความลึก



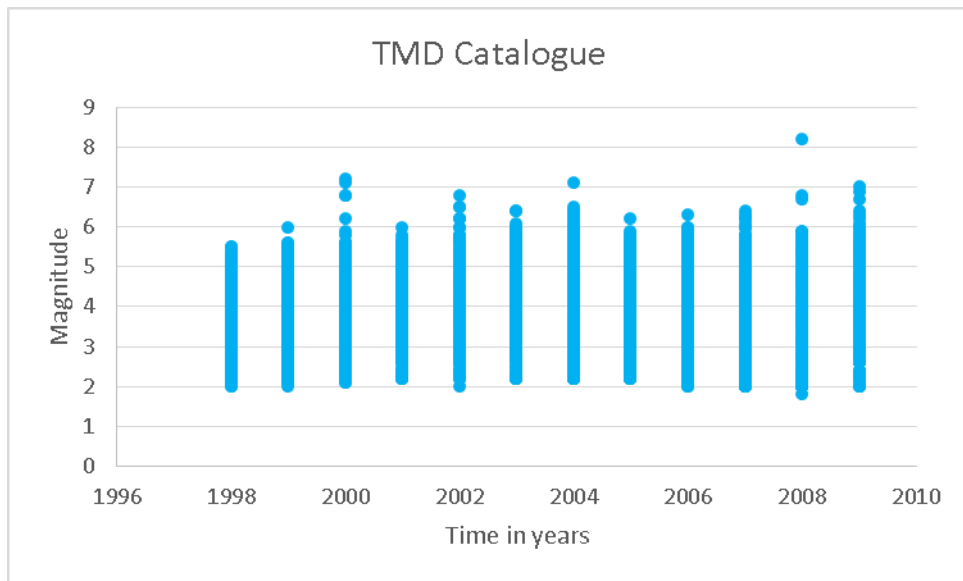
(ค) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ปี)



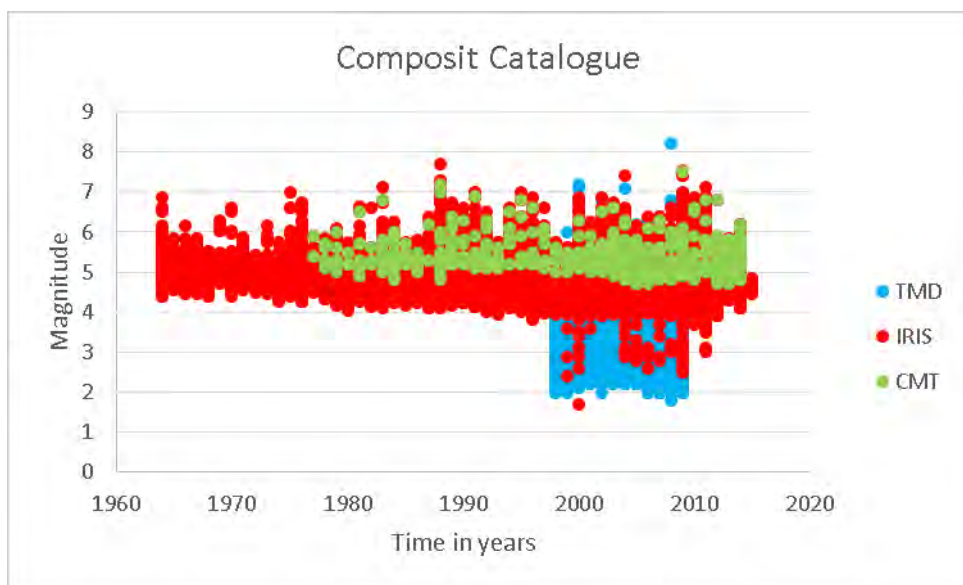
(ง) จำนวนแผ่นดินไหว-ช่วงเวลา(ชั่วโมง)



รูป 3.8. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว TMD กับตัวแปรต่างๆ



รูป 3.9.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว TMD มีการรายงานข้อมูลปีเว้นปีตั้งแต่ปี 1998 จำนวนแผ่นดินไหว 11,996 เหตุการณ์ ขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.0-6.0



รูป 3.10.ฐานข้อมูลรวม มีเหตุการณ์ทั้งสิ้น 46,135 เหตุการณ์

ประเภทของข้อมูลที่จะรายงานโดยฐานข้อมูลต่างๆที่มีความจำเป็นในการนำไปวิเคราะห์ และประเมินผล มีดังนี้

1. ระบบพิกัดแสดงเป็นระบบ Latitude/Longitude ของจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (epicenter)
2. วันที่ของเหตุการณ์แผ่นดินไหว จะรายงานมาเป็น Year, Month, Day
3. เวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานเป็น Hour, Min อาจจะมีละเอียดถึง Second ก็ได้
4. ชนิดของขนาดแผ่นดินไหว ตัวแปรที่บ่งบอกว่าเครื่องตรวจรับแผ่นดินไหวนั้นตรวจรับคลื่นแผ่นดินไหวประเภทไหนเพราะเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นสามารถวัดประเภทของคลื่นได้มากกว่าหนึ่งประเภท ซึ่งจะมีข้อมูลของแต่ละคลื่นในหัวข้องการเปรียบเทียบมาตรฐานการตรวจวัดแผ่นดินไหว (magnitude conversion) ต่อไป
5. ขนาดแผ่นดินไหว

3.2. การเปรียบเทียบมาตรฐานตรวจวัดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

หลังจากผ่านการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวแล้วดูประเภทข้อมูลจะพบว่า การตรวจวัดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะสามารถให้ค่าขนาดแผ่นดินไหวได้หลายค่าแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของคลื่นที่ตรวจวัดซึ่งจะสามารถอธิบายได้ว่ามีกี่ประเภทและแตกต่างกันดังนี้

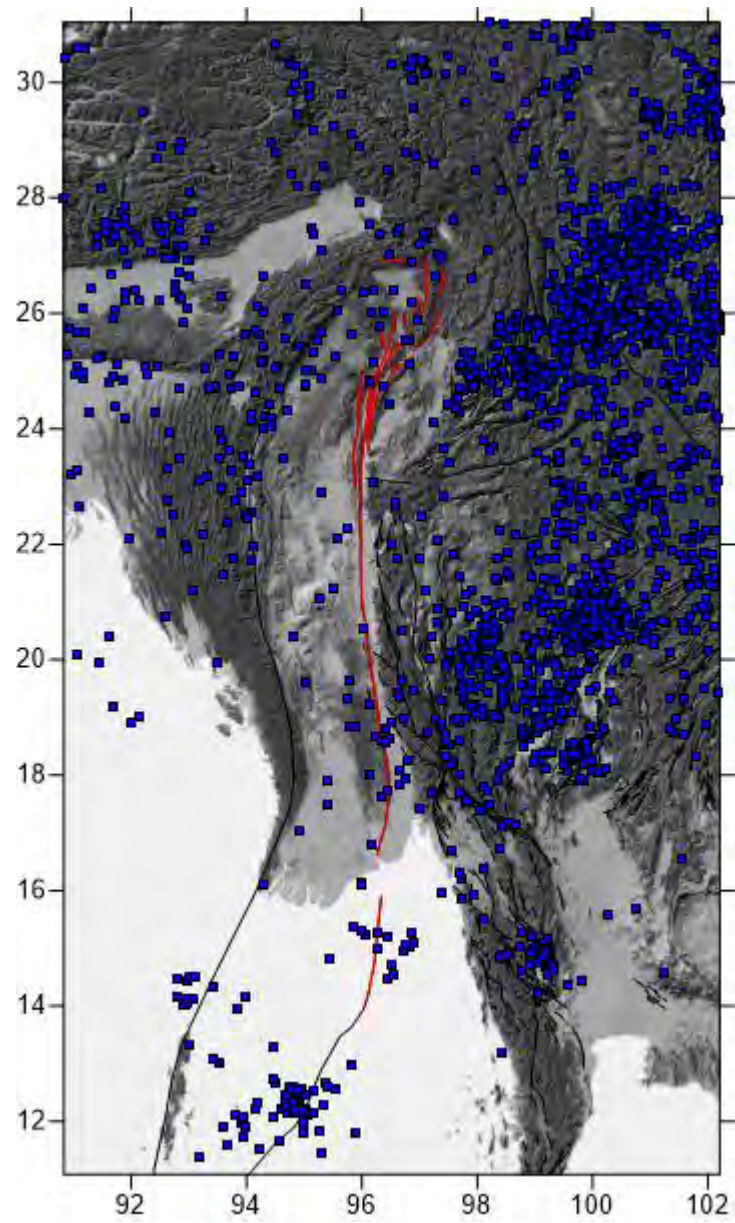
- ML (Local Magnitude) คือการรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดในที่ท้องถิ่น มีความแม่นยำมากหากวัดภายในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว แต่หากตรวจวัดในระยะทางที่ไกลออกไปจะทำให้ความถูกต้องของข้อมูลแผ่นดินไหวลดน้อยลง นิยมวัดแผ่นดินไหวในหน่วย ML ในกรณีประเมินแผ่นดินไหวเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้นเช่นเหมืองเขื่อน อาคารสูง ใช้ได้เฉพาะแผ่นดินไหวในระยะไม่เกิน 650 กิโลเมตรดังรูป 3.11.

- MB (Body-Wave Magnitude) เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลก สามารถแบ่งคลื่นเนื้อโลกได้สองแบบคือคลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) การเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งคลื่นที่จะเกิดมาพร้อมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเสมอคือคลื่นเนื้อโลกนี้ จำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าชนิดของขนาดแผ่นดินไหวอื่นๆดังรูป 3.12. ในการวัดแผ่นดินไหวระดับลึกจะอาศัยวัดจากความสูงแอมพลิจูดของ P-Wave การวัดโดยใช้หน่วย MB จะมีความถูกต้องมากกว่า

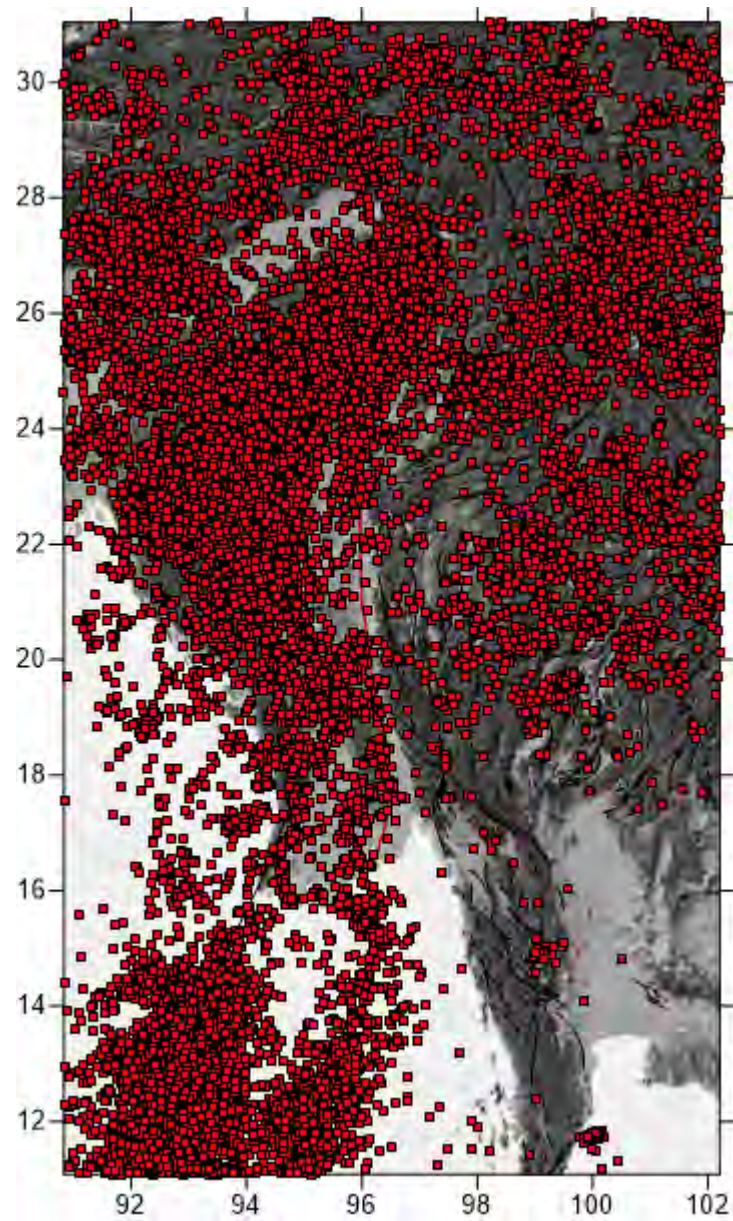
- MS (Surface-Wave Magnitude) คือคลื่นที่เกิดมาหลังจากคลื่นเนื้อโลกเคลื่อนที่มาถึงผิวโลกแล้ว ก็จะทำให้กำเนิดคลื่นผิวโลกตามมา โดยทั่วไปของการตรวจวัดในระดับทั่วโลก (global scale) ในการที่จะวัดคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลหรือแผ่นดินไหวที่มีขนาดรุนแรงจะวัดความสูงแอมพลิจูดของคลื่นผิวโลก ความสมบูรณ์ของข้อมูลจะมีความสมบูรณ์กว่าจึงนิยมวัดคลื่นในหน่วย MS จำนวนที่สามารถวัดได้ก็จะน้อยกว่า MB ดังรูป 3.13.

- MW (Moment Magnitude) เป็นการวัดแผ่นดินไหวจากโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่คิดจากจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน พื้นที่การเคลื่อนตัวตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่ ขนาดแผ่นดินไหวชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัด ถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุด การตรวจวัดสามารถวัดได้ตามพื้นที่ดังรูป 3.14.

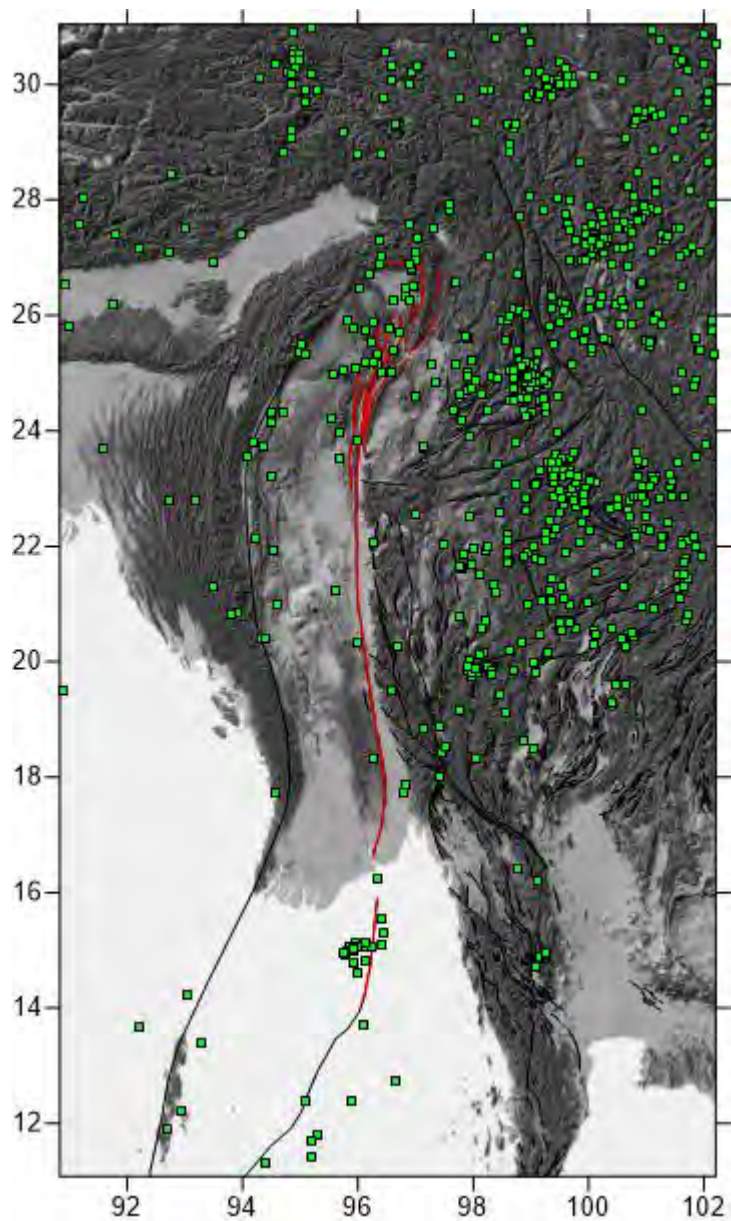
- นอกนั้นดังรูป 3.15. จะยังมีชนิดของขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่น ๆ ที่สามารถตรวจได้แทนด้วย MX เป็นข้อมูลที่ทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่ได้ระบุชนิด ทำให้ไม่สามารถระบุได้ แต่ด้วยจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ยังสามารถมาเติมเต็มกับข้อมูลแผ่นดินไหวได้ และจะกำหนดให้แผ่นดินไหวที่ไม่ทราบชนิดของขนาดแผ่นดินไหวนี้เป็นแบบ MW



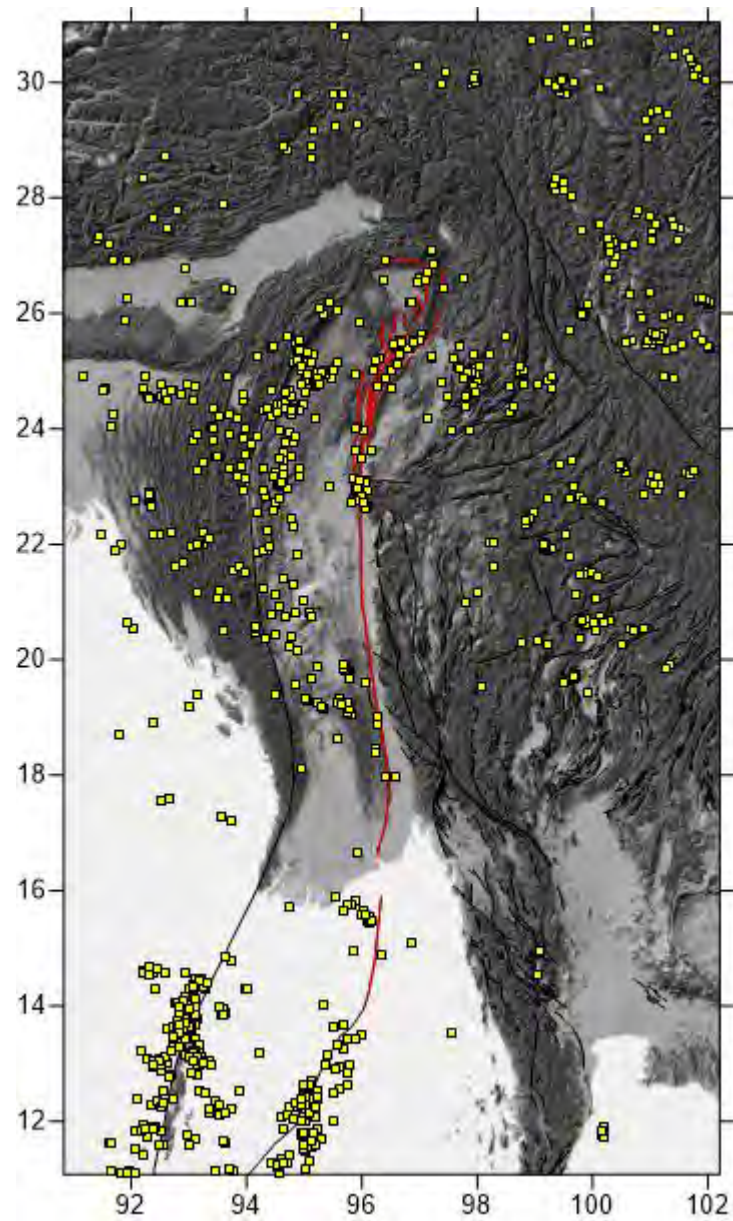
รูป 3.11. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว ML วัดจากแผ่นดินไหวที่ระยะห่าง
ไม่เกิน 650 กิโลเมตร



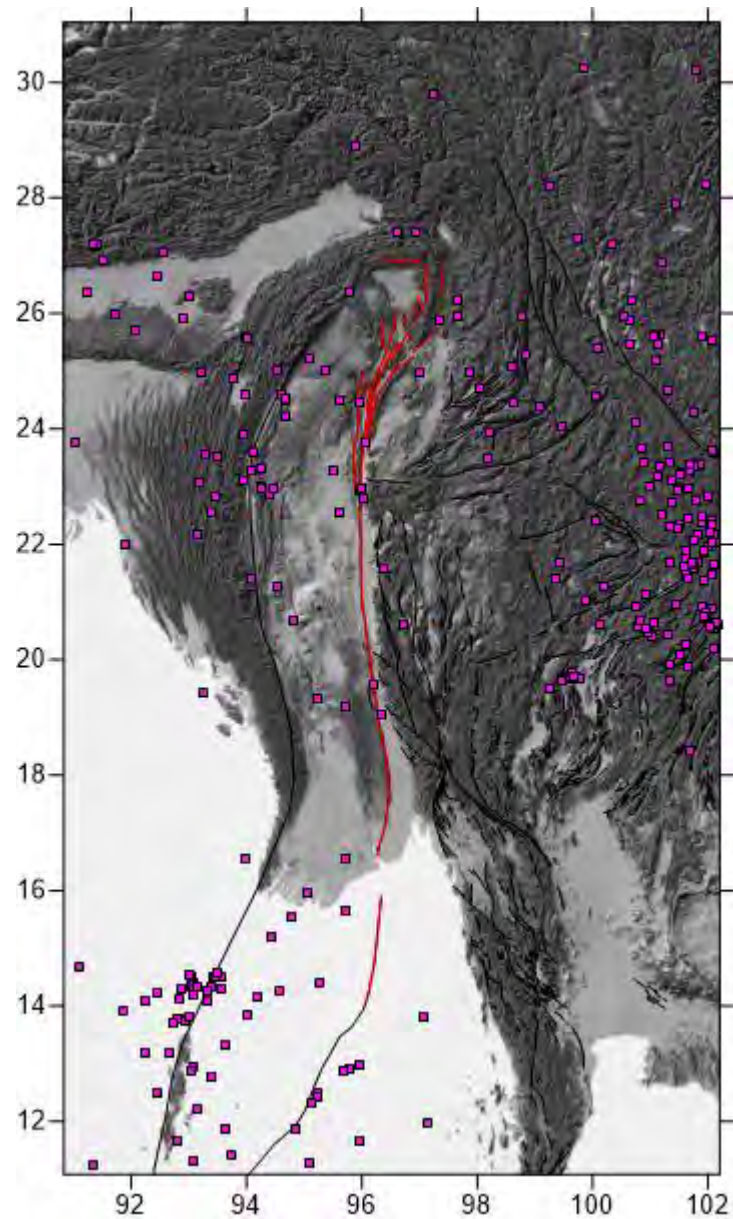
รูป 3.12. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MB ที่วัดจากคลื่นเนื้อโลกแบบปฐมภูมิ ซึ่งเป็นคลื่นที่เกิดมาหลักจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว



รูป 3.13. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MS ที่วัดจากคลื่นพื้นผิว เป็นคลื่นที่
สร้างความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างบนพื้นดิน



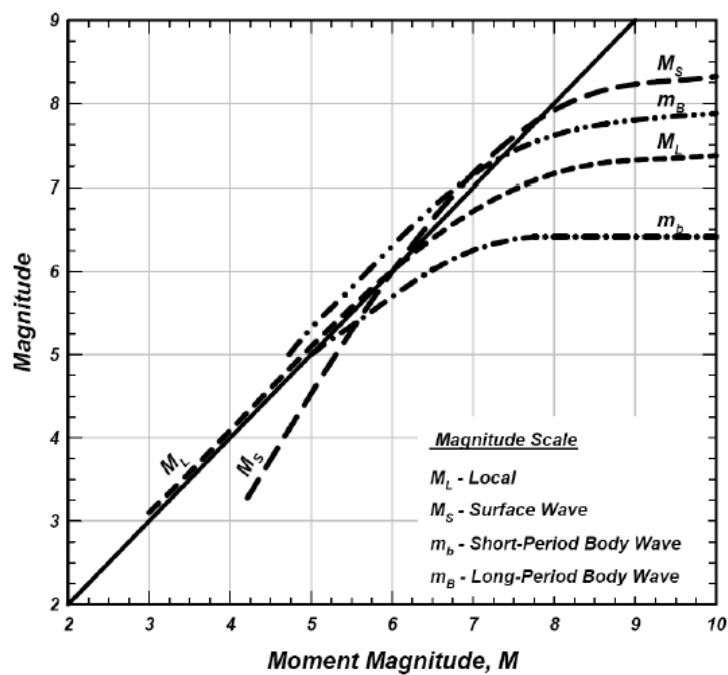
รูป 3.14. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MW วัดจากโมเมนต์แผ่นดินไหวที่เกิดจากการเลื่อนของรอยเลื่อน อาศัยตัวแปรต่างๆที่มีความซับซ้อน และเป็นชนิดที่ดีที่สุด โดยไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัดแผ่นดินไหว



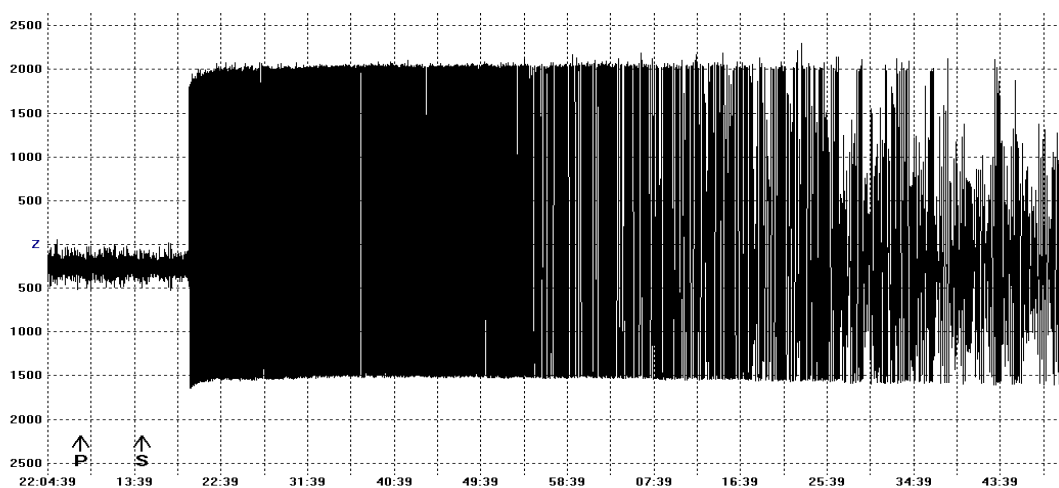
รูป 3.15. แสดงการกระจายตัวของชนิดข้อมูลแผ่นดินไหว MX แผ่นดินไหวที่กำหนดให้เป็น MW เพราะทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลไม่สามารถระบุได้ว่าวัดแผ่นดินไหวจากตัวแปรใด

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาจากหลายแหล่งข้อมูลจะมีขนาดการวัดแผ่นดินไหวที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับเครื่องวัดแผ่นดินไหว พบว่าหากใช้ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นในการวิเคราะห์จะเกิดความผิดพลาดมากโดยเฉพาะแผ่นดินไหวที่มาจากระยะไกล หรือการใช้คลื่นแผ่นดินไหวคนละแบบที่แตกต่างกันทั้งที่มาจากคลื่นเนื้อโลกหรือคลื่นผิวโลกจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและได้ผลไม่

เหมือนกันถึงแม้จะเป็นแผ่นดินไหวที่เป็นเหตุการณ์เดียวกันก็ตาม สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันนั้นอาจมาจากคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีข้อจำกัดในการวัดขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแบบหรือแต่ละคลื่น เช่นคลื่นเนื้อโลกและคลื่นผิวโลกต่างก็จะมีจุดความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว (saturation of earthquake magnitude) ตามรูป 3.16. ข้อจำกัดที่ว่านั้นอาจจะเป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินไปจนทำให้ขนาดที่สูงเกินไปไม่สามารถวัดและทำการบันทึกได้ตามรูป 3.17.



รูป 3.16. รูปแสดงค่าความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ MW (Kagan และ Knopoff, 1980b)



รูป 3.17. รูปแสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการอิ่มตัวของมาตรตรวจวัดแผ่นดินไหว ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาหรือให้ความสนใจกับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เป็นหลัก เนื่องจากมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในแนวตั้งได้มากกว่าก่อให้เกิดพิบัติภัยสึนามิ จึงประเมินว่าการใช้หน่วยขนาดแผ่นดินไหว MW จึงเหมาะสมกับงานศึกษานี้ ดังนั้นหลังจากการปรับมาตรฐานของชนิดแผ่นดินไหวทั้งหมดจะอยู่ในรูปของ MW เริ่มต้นจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการตรวจวัด ซึ่งความสัมพันธ์จะมีค่าเฉพาะที่แตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ จากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการรายงานชนิดขนาดแผ่นดินไหว ทั้ง MS MB หรือแบบอื่นๆ เป็นคู่ความสัมพันธ์ในเวลาเดียวกัน โดยความสัมพันธ์ที่ได้ถือเป็นมาตรฐานในการที่จะเปลี่ยนจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่งตามสมการ (3.1, 3.2, 3.3, และ 3.4)

อีกสิ่งหนึ่งที่จะได้มาคือค่าความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยนั่นคือค่า R^2 ซึ่งสามารถบอกได้ว่าคู่ความสัมพันธ์ใดที่มีความน่าเชื่อถือสูง จากรูป 3.18-3.21. เห็นว่าคู่ความสัมพันธ์ที่สามารถเลือกเส้นทางการเปลี่ยนมาตรฐานได้คือ ML ที่สามารถเลือกได้ว่าจะเปลี่ยนเป็น MS หรือ MB แต่หากมองค่าความน่าเชื่อถือ R^2 แล้วเห็นว่าสมควรกำหนดให้ ML ปรับเปลี่ยนเป็น MS มีค่าเท่ากับ 0.9262 ซึ่งมากกว่า MB ที่เท่ากับ 0.6947 เพราะมองขั้นตอนต่อไปที่ต้องเปลี่ยนเป็น MW นั้น ความสัมพันธ์ของ MS และ MW มีความน่าเชื่อถือมากกว่า

- ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS

$$MS = 0.1066(ML)^2 - 0.1447(ML) + 2.7314 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

- ความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB

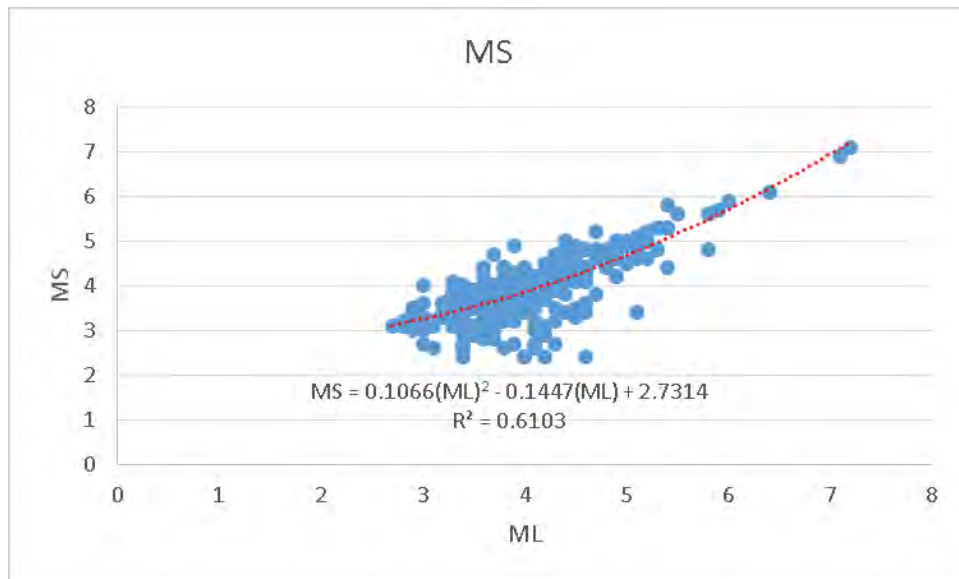
$$MB = 0.1316(ML)^2 - 0.4529(ML) + 3.6774 \quad \text{สมการ (3.2)}$$

- ความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW

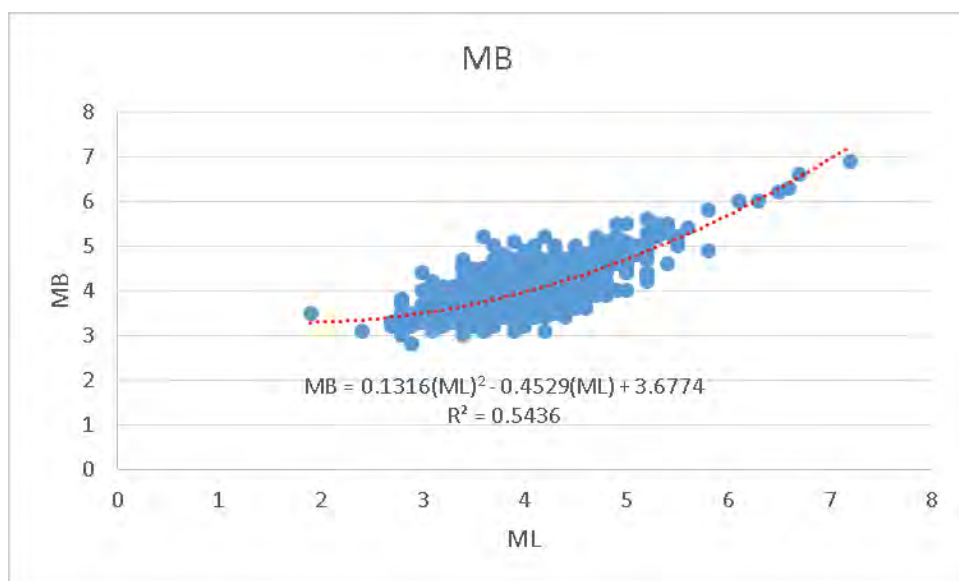
$$MW = 0.0757(MB)^2 - 0.1927(MB) + 4.4547 \quad \text{สมการ (3.3)}$$

- ความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW

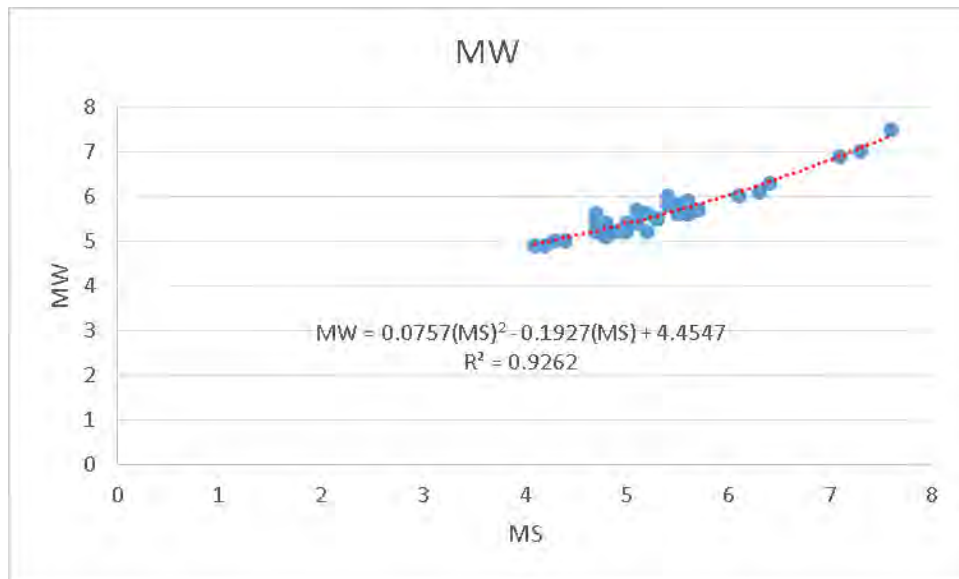
$$MW = 0.1326(MS)^2 - 0.4963(MS) + 4.2489 \quad \text{สมการ (3.4)}$$



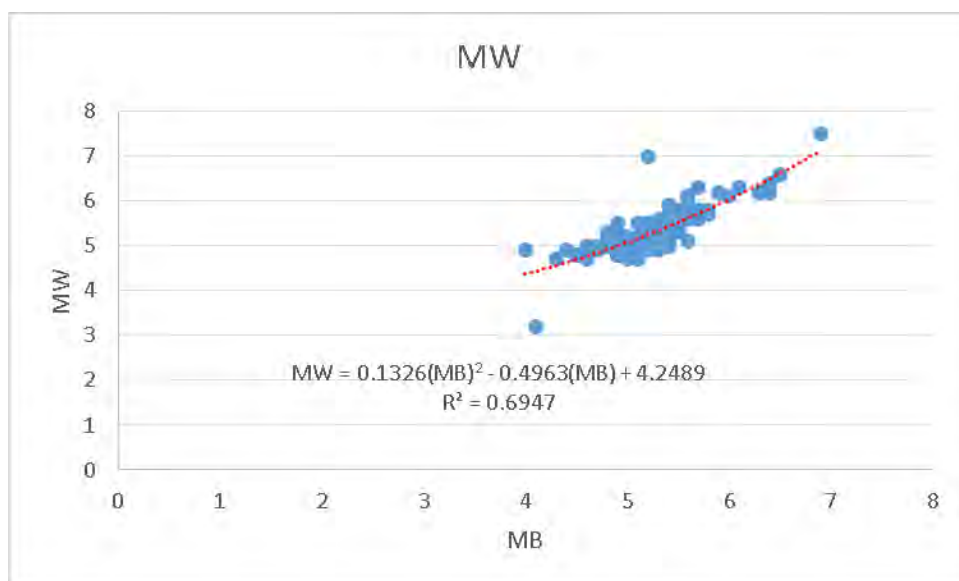
รูป 3.18. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MS เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน



รูป 3.19. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด ML-MB เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน



รูป 3.20. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MS-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน



รูป 3.21. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวชนิด MB-MW เพื่อใช้ในการปรับมาตรฐานให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

3.3. การจัดกลุ่มและการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

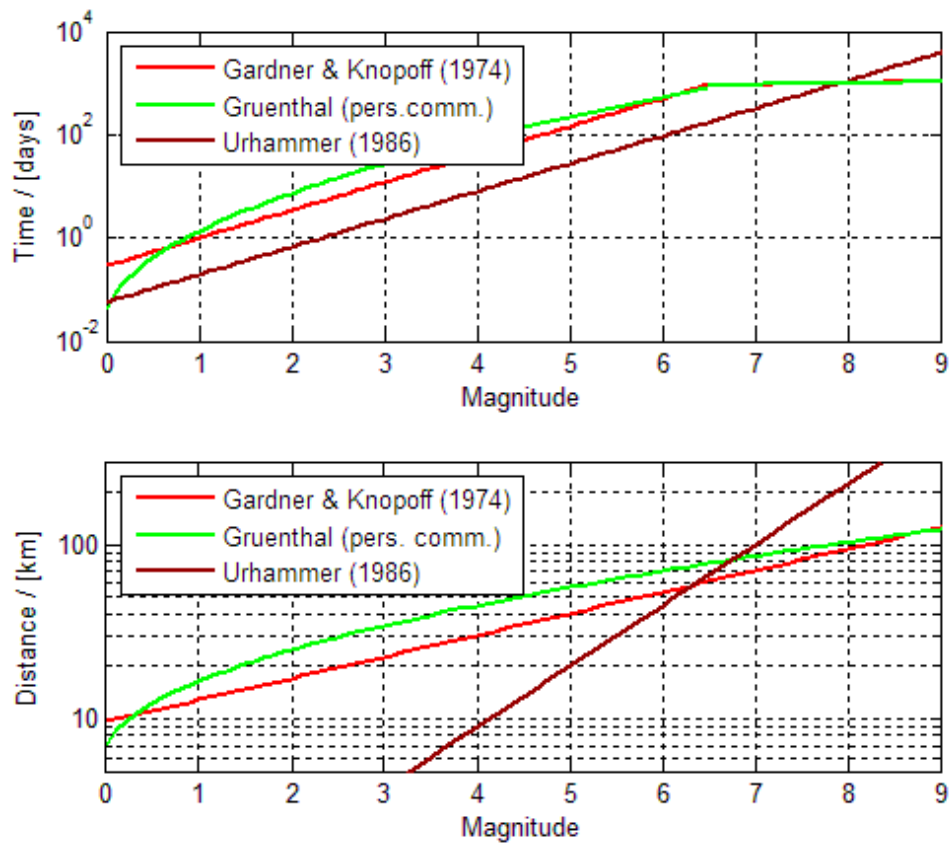
โดยปกติการเกิดแผ่นดินไหวครั้งหนึ่งนั้นจะประกอบไปด้วยแผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์ย่อยๆด้วยกันคือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock) แผ่นดินไหวหลัก (main shock) และ แผ่นดินไหวตาม (aftershock) โดยแผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (stress) อันเนื่องมาจากการกระทำทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง ในขณะที่แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามนั้นเกิดจากแรงเครียด (strain) อันเนื่องมาจากระบวนการเกิดแผ่นดินไหวหลักในแต่ละเหตุการณ์ โดยแผ่นดินไหวนำเกิดจากการเตรียมตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวหลัก ในขณะที่แผ่นดินไหวตามเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลัก เป็นการปรับสภาพให้พื้นที่รอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ในสภาวะสมดุลที่สุด

จะเห็นว่าหากต้องการประเมินแผ่นดินไหวนั้น เหตุการณ์ที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวโดยแท้จริงที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐานเลยก็คือเหตุการณ์ของแผ่นดินไหวหลัก แต่จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการบันทึกทั้งแผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม ขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวนี้จึงมีขึ้นเพื่อตัดแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตาม ที่ไม่ได้เกิดจากกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานออกไป

หลักการจำแนกแผ่นดินไหวหลักนั้นจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง

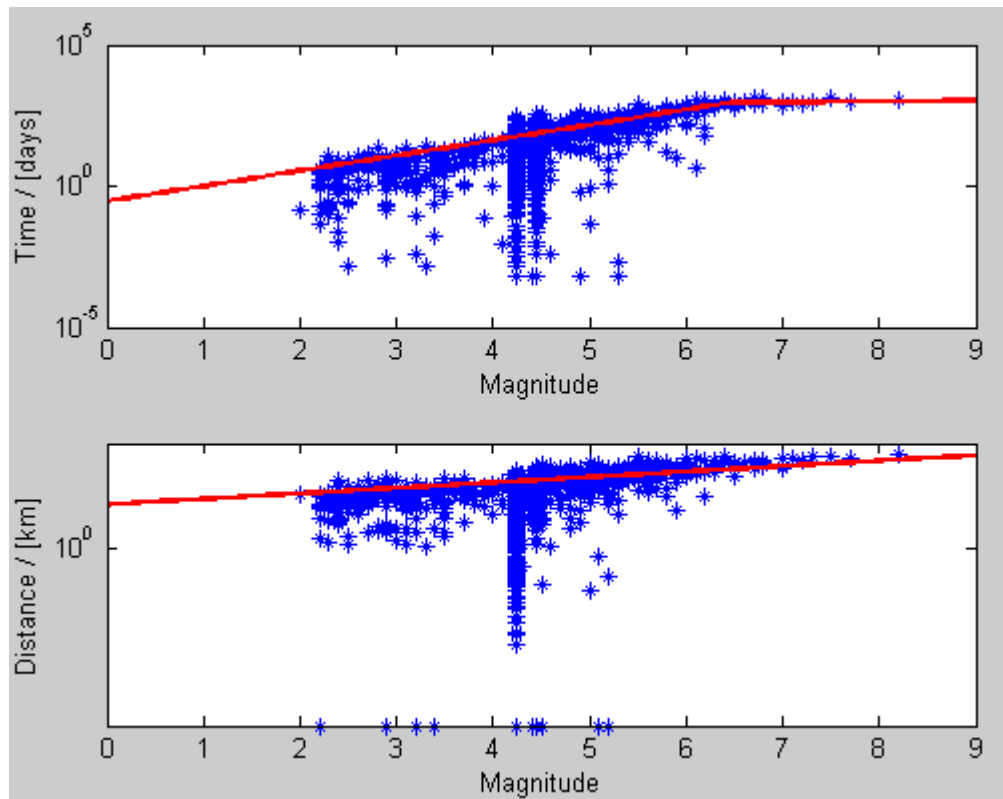
1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา และ
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

จากรูป 3.22. แสดงวิธีการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่เคยถูกนำเสนอในอดีต โครงการนี้จะใช้หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวตามแนวทางของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือครอบคลุมพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามนั้นก็สั้น ในทางเดียวกันกับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้น ระยะเวลาของการปรับตัวของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้นเพราะว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเลื่อนของแผ่นดินไหวมีพื้นที่ที่กว้าง ต้องใช้เวลาในการปรับให้เข้าสู่สมดุลนาน



รูป 3.22. หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตาม สมมติฐานต่างๆ ในโครงการนี้จะใช้ของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเป็นวิธีการ ที่นิยมใช้มากที่สุดในงานวิจัยแผ่นดินไหวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

นอกจากนี้การบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละครั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวคนละ สถานีอาจทำให้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวในเหตุการณ์เดียวกัน ก็จำเป็นจะต้องกำจัดข้อมูล แผ่นดินไหวที่ซ้ำกันออกตามแนวทางของ Gardner และ Knopoff (1974) แสดงในรูป 3.23.

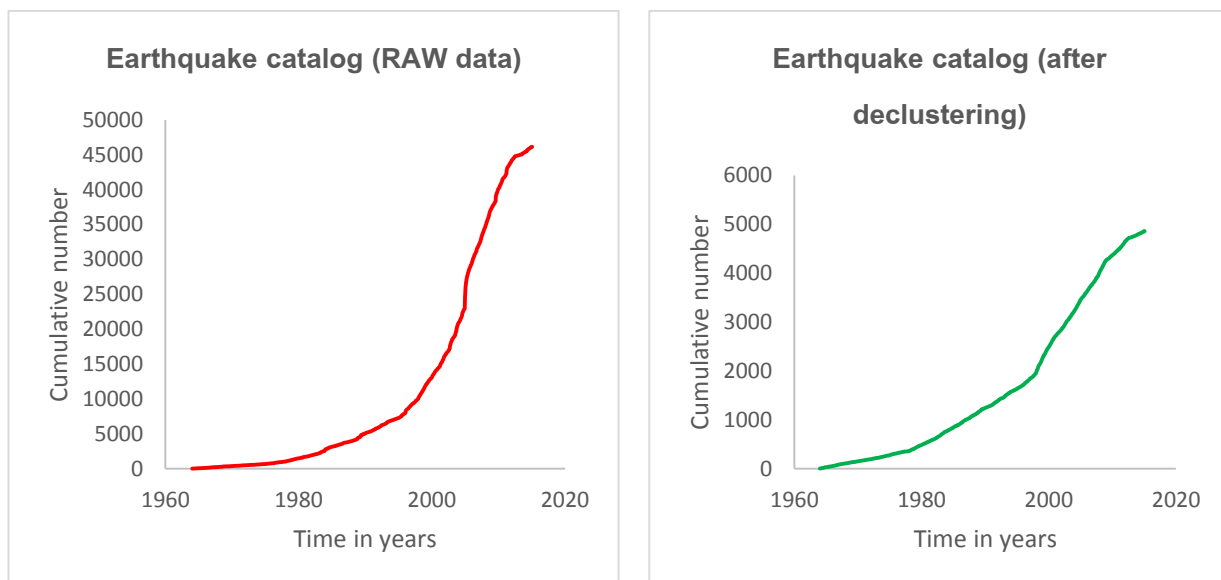


รูป 3.23. หลักการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีการรายงานซ้ำกัน จะใช้แนวคิดหรือสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) เส้นสีแดงคือกรอบระยะทาง และเวลาของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ขนาดใดๆ เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีระยะทางใกล้ (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะทาง) และระยะเวลาของการเกิดแผ่นดินไหวเกิดภายใน (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะเวลา) จะถือเป็นแผ่นดินไหวเหตุการณ์เดียวกัน

ที่ปรึกษาสามารถจัดกลุ่มของแผ่นดินไหวได้ 3,135 กลุ่มแผ่นดินไหว (earthquake cluster) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 41,272 เหตุการณ์ (คิดเป็น 89% จากเหตุการณ์ทั้งหมด 46,135 เหตุการณ์) และจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 4,863 เหตุการณ์ โดยข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดอยู่ในระหว่างปี 1964 ถึงปี 2015 และขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.0-8.2

มาจัดทำเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม (cumulative number of earthquake) ในแกนตั้งและปีของการตรวจวัดในแกนนอน พบว่ามีความ

เป็นเส้นตรงมากขึ้นตามรูป 3.24. สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานที่เป็นต้นเหตุของแผ่นดินไหวได้ค่าใกล้เคียงมากกว่าชุดข้อมูลก่อนการเตรียมข้อมูล

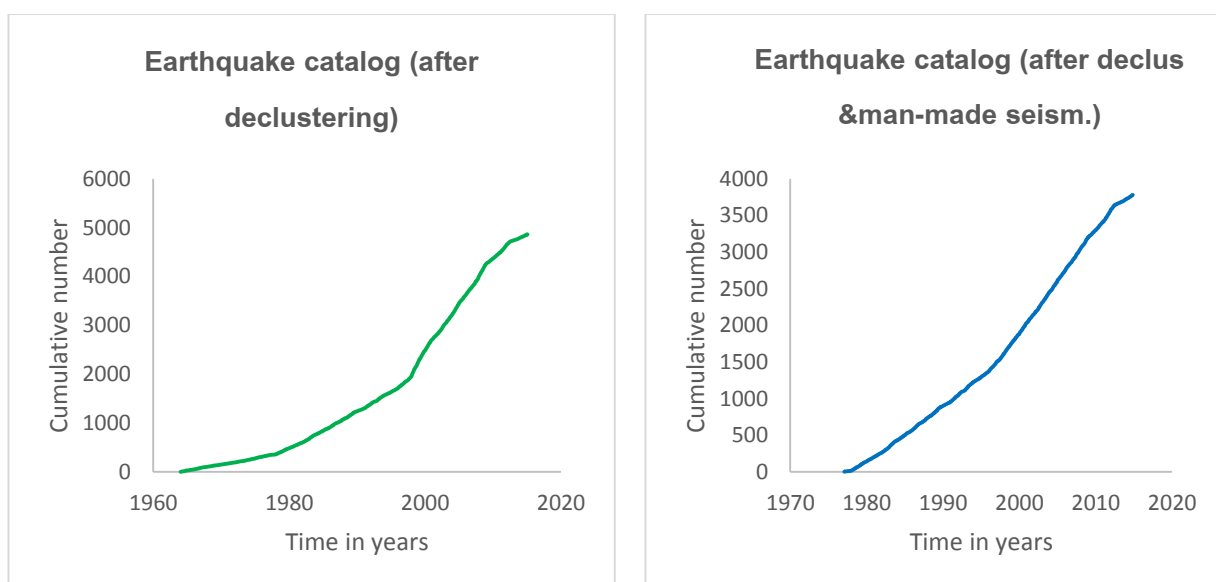


รูป 3.24. กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 46,135 เหตุการณ์ (ซ้าย) และ หลัง การ เตรียม ข้อมูล เหลือ 4,863 เหตุการณ์ (ขวา) ด้วยการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก, การคัดเลือกแผ่นดินไหวที่ซ้ำกัน

3.4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

ในทางทฤษฎี นักแผ่นดินไหวเชื่อว่ากระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเป็นกลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวนั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลานานสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปี ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวตามเวลาของการบันทึกนั้นควรจะเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามจำนวนแผ่นดินไหวสะสมจากข้อมูลหลังการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงอย่างสมบูรณ์ตามรูป 3.25. นักแผ่นดินไหววิทยาจึงคาดว่าอาจจะมีปัจจัย

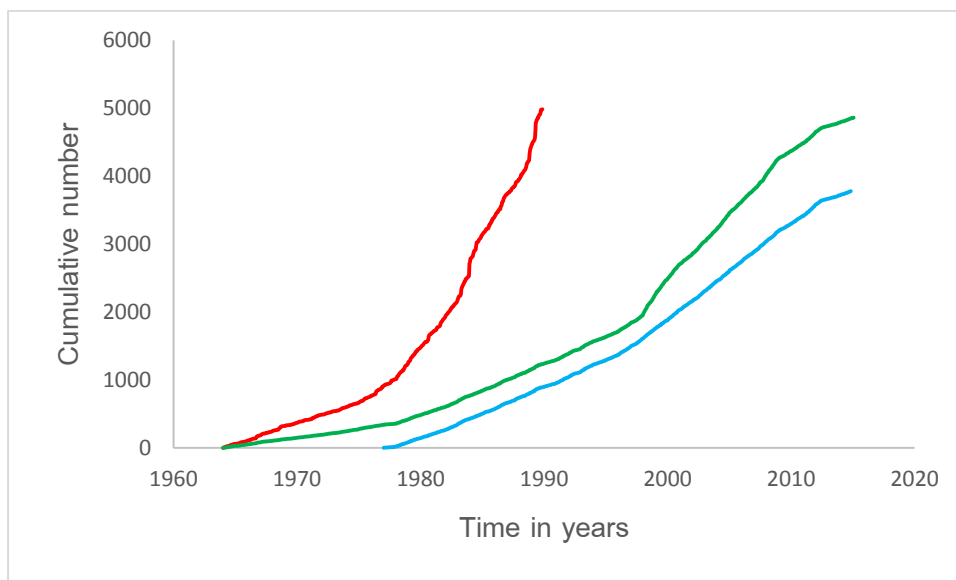
ด้านอื่นๆ ที่ทำให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้นั้นยังไม่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ๆ นั้นมักได้รับผลกระทบต่างๆ จากกระบวนการตรวจวัดของมนุษย์ เช่น การเพิ่ม/ลด สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเครือข่ายตรวจวัด ซึ่งจะส่งผลให้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวมากขึ้น/น้อยลง กว่าปกติ (Kanamori, 1981; Habermann และ Wyss, 1984; Wyss, 1991) การเปลี่ยนแปลงระเบียบวิธีหรือซอฟต์แวร์ในการประมวลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งทำให้การรายงานขนาดแผ่นดินไหวนั้นเปลี่ยนแปลงไปทั้งระบบ (Wyss และ Habermann, 1988b) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดหรือคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984; Habermann, 1987) เป็นต้น



รูป 3.25. (ซ้าย) กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 4,863 เหตุการณ์ และ(ขวา) หลังการแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เหลือ 3,781 เหตุการณ์ ทำเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม

ในแกนตั้งและปีของการตรวจวัดในแกนนอน พบว่ามีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นอีกซึ่งยิ่งทำให้มองได้ชัดขึ้นไปอีกคือ นำความเปลี่ยนแปลงของกราฟจำนวนแผ่นดินไหวสะสมที่ผ่านแต่ละ

ขั้นตอนตั้งแต่รวมข้อมูล ขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหว และขั้นตอนกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากมนุษย์นั้นจะเห็นดังรูป 3.26.



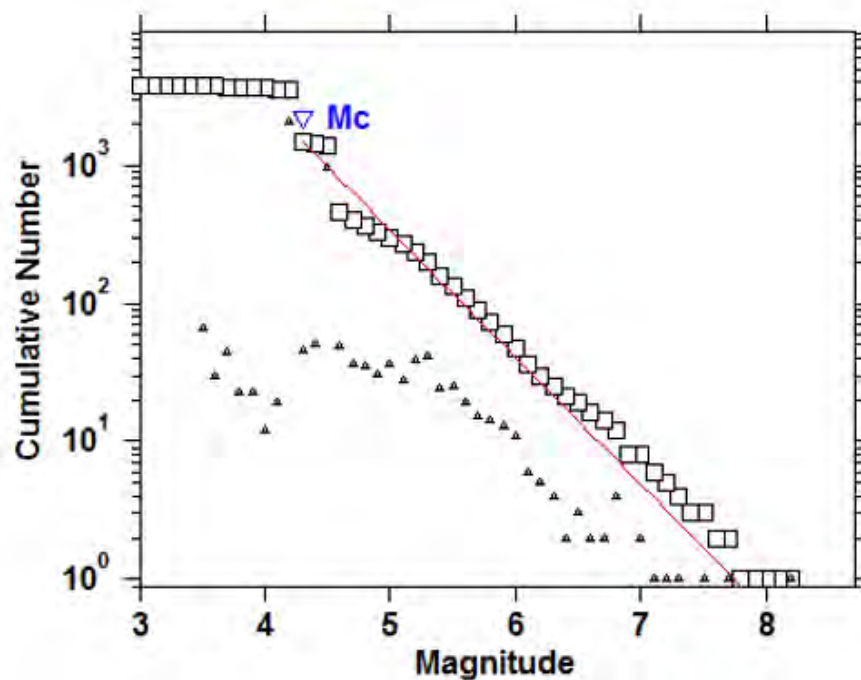
รูป 3.26. กราฟแสดงแนวโน้มของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ

เส้นสีแดงคือข้อมูลรวมที่ยังไม่ได้ปรับปรุง เมื่อผ่านการปรับปรุงข้อมูลโดยการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักแล้วแนวโน้มของข้อมูลแสดงโดยเส้นสีเขียว หลังจากนั้นผ่านการตัดข้อมูลแผ่นดินไหวจากการกระทำของมนุษย์จะได้เส้นสีฟ้า ทางสถิติถือว่าแนวโน้มของข้อมูลที่เข้าใกล้เส้นตรงยิ่งมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมาก

3.5. คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากงานวิจัยในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาสรุปว่าเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องมือตรวจวัด เช่นในกรณีของแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็กแรงสั่นสะเทือนบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือและไม่ปรากฏในฐานข้อมูลการตรวจวัด ทั้งที่ได้เกิดแผ่นดินไหวจริง โดยขนาด

แผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดได้จากเครื่องมือ เราเรียกขนาดแผ่นดินไหวนี้ว่า Magnitude of completeness หรือ M_c (Woessner และ Wiemer, 2005) โดยค่า M_c หมายถึงระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า M_c นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการกำหนดค่า M_c ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์ตามรูป 3.27.



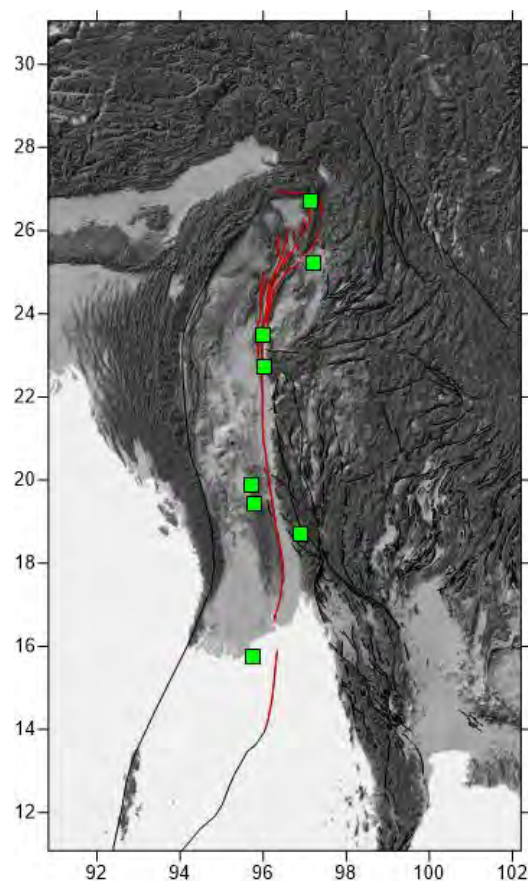
รูป 3.27. แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c=4.3$

บทที่ 4 ผลการประเมิน (RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

เป็นวิธีการจำลองจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตโดยเลือกเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆมาวิเคราะห์ ทำซ้ำหลายครั้ง จำได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์แผ่นดินไหวและนำเงื่อนไขนั้นมาประยุกต์ใช้กับระยะเวลาปัจจุบันเพื่อหาสิ่งที่สามารถทำนาย (forecast) เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่กำลังจะเกิดขึ้นได้

หลังจากเตรียมข้อมูลเสร็จแล้ว ขั้นแรกจะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษาจำนวนหนึ่งดังรูป 4.1.



รูป 4.1. แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาแผ่นดินไหวที่เลือกมา 8 เหตุการณ์และเพื่อตรวจสอบว่าเป็นสาเหตุมาจากรอยเลื่อนสะกายจึงเลือกให้อยู่บริเวณรอยเลื่อนด้วย

ตาราง 4.1. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	MW	Depth	Hour	Min
95.98	23.48	1991	1	5	7	20	14	57
95.738	15.746	1991	4	1	6	15	3	53
97.22	25.2	1994	1	11	6.1	33	0	51
96.9	18.7	1999	8	15	6	33	16	18
97.15	26.7	2000	6	7	6.3	37	21	46
95.72	19.86	2003	9	21	6.6	15.8	18	16
95.78	19.43	2007	7	30	6.4	33	22	42
96.03	22.73	2012	11	11	6.8	16.8	1	12

จากนั้นนำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหลือ มาคัดเลือกเงื่อนไขที่คาดว่าจะเหมาะสม ตัวแปรที่ต้องกำหนดคือรัศมี, ระยะเวลา, จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา จากโครงการนี้เลือกไว้ 4 เงื่อนไขดังตาราง 4.2.

ตาราง 4.2. เงื่อนไขที่จะนำมาทดสอบย้อนกลับ ตัวแปรที่กำหนดจะประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, ระยะเวลา, รัศมีและจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา

1. จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
ระยะเวลา	0.5 ปี
รัศมี	150 กม.
จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	8 เหตุการณ์

2.	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	1 ปี
	รัศมี	150 กม.
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	8 เหตุการณ์
3.	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	2 ปี
	รัศมี	150 กม.
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	6 เหตุการณ์
4.	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	100 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	0.5 ปี
	รัศมี	250 กม.
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	7 เหตุการณ์

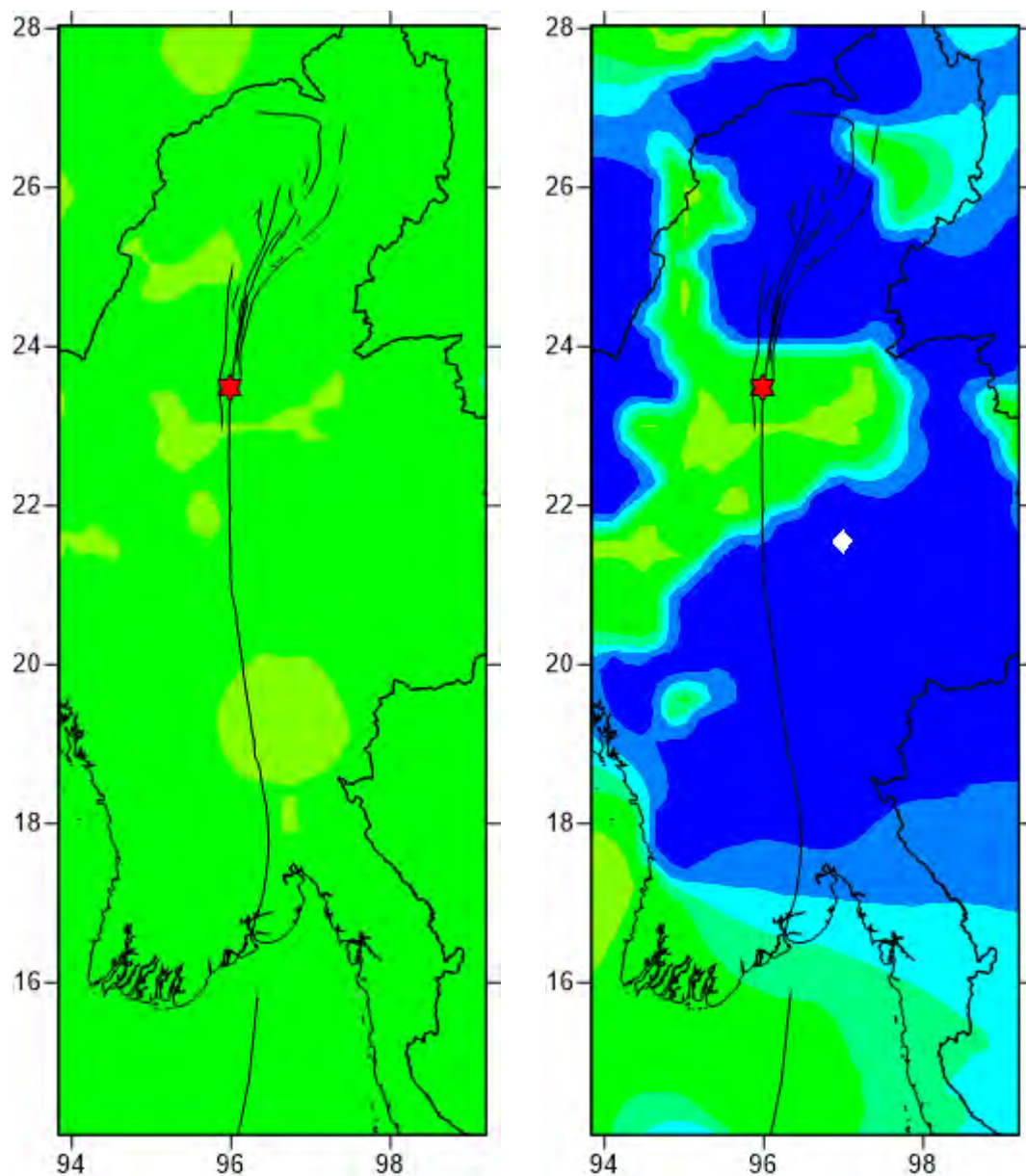
เริ่มทำการทดสอบย้อนกลับของกรณีศึกษาที่ละกรณีโดยคัดเลือกเหตุการณ์ของกรณีศึกษามา 1 เหตุการณ์และนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่ในกรอบศึกษาและเลือกเฉพาะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นก่อนเหตุการณ์ของกรณีศึกษาที่นำมาพิจารณา เช่นเหตุการณ์ที่ 1 จากตาราง 4.1. คือ

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	MW	Depth	Hour	Min
95.98	23.48	1991	1	5	7	20	14	57

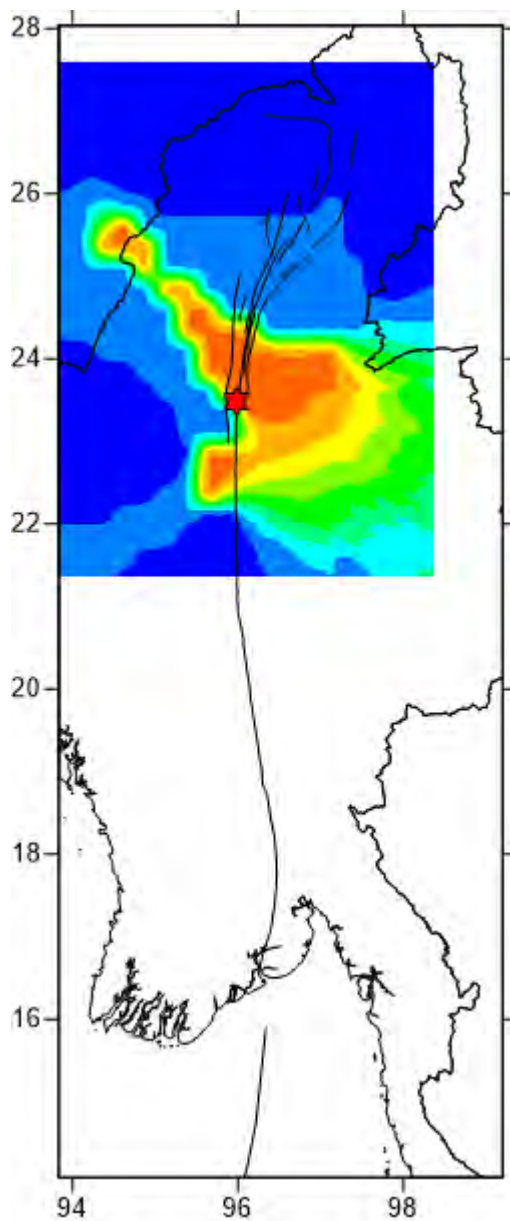
เหตุการณ์แผ่นดินไหวของกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นวันที่ 5 เดือน 1 ปี 1991 เพราะฉะนั้นเราก็จะนำข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ช่วงเวลานี้ทั้งหมดมาศึกษาและต้องเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ในกรอบศึกษามาพิจารณาโดยใช้สมการหาอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (ค่า Z) ตามเงื่อนไขที่ 1 ดังตาราง 4.2. ที่กล่าวไปคือ

1. จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
กรอบเวลา	0.5 ปี
รัศมี	150 กม.
จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	8 เหตุการณ์

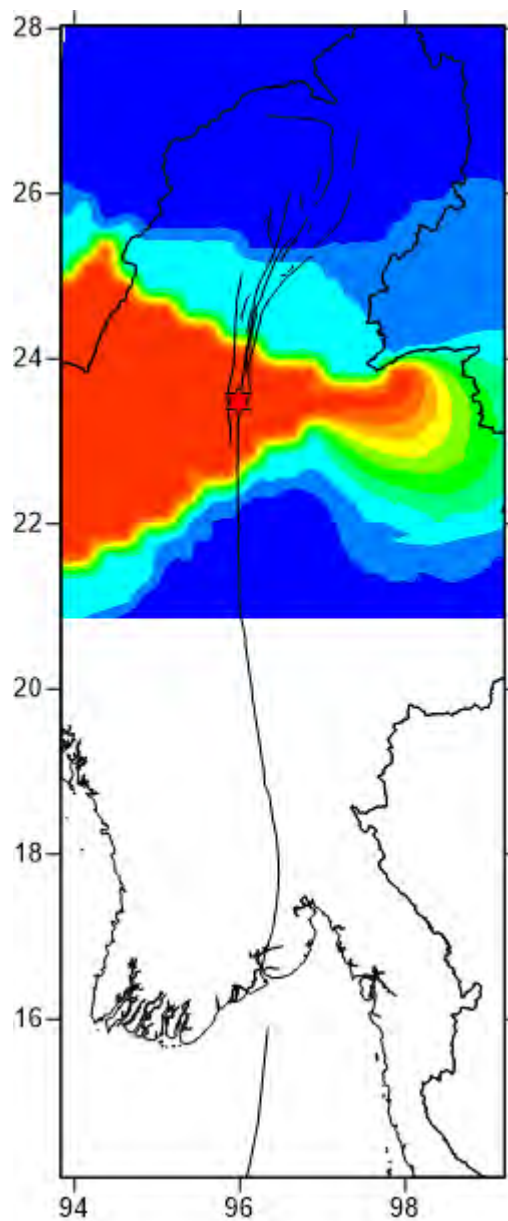
ทำวิธีเดียวกันกับทุกกรณีศึกษาแต่ละกรณีด้วยเงื่อนไขเดียวกันจากนั้นใช้เงื่อนไขที่ 2 มาพิจารณากรณีศึกษาต่อ ทั้งหมดจะได้ 30 กรณี ซึ่งนำมาทำแผนที่จะได้ 30 แผนที่ ยกตัวอย่างการทดสอบย้อนกลับเฉพาะกรณีศึกษาที่ 1 ดังรูป 4.2. นี้



กรณีศึกษาที่ 1 เงื่อนไขที่ 1



กรณีศึกษาที่ 1 เงื่อนไขที่ 2



กรณีศึกษาที่ 1 เงื่อนไขที่ 3

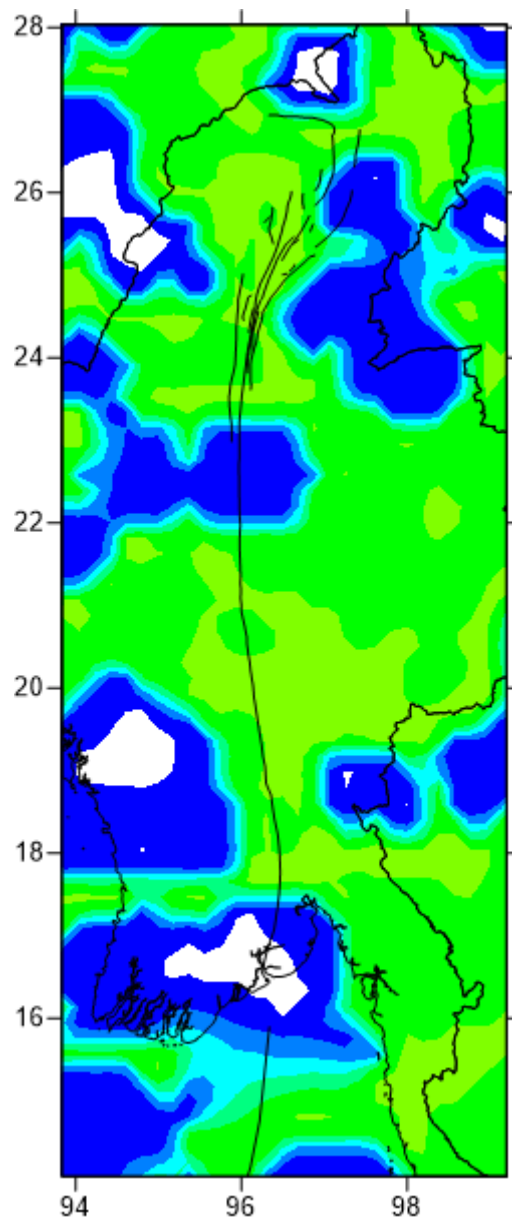
กรณีศึกษาที่ 1 เงื่อนไขที่ 4

รูป 4.2. แสดงการเปรียบเทียบแผนที่ที่มาจากเงื่อนไขแต่ละเงื่อนไขกับกรณีศึกษาที่ 1

ท้ายสุดจะสามารถเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมได้จากแผนที่การทดสอบย้อนกลับ จะได้เงื่อนไขที่เหมาะสม 2 เงื่อนไขคือ เงื่อนไขที่ 3 และ 4 หากใช้ข้อมูลทางสถิติของเงื่อนไขเข้าช่วยจะ

สามารถตัดสินใจได้ว่าเงื่อนไขที่ 3 เหมาะสมกว่าจากตัวแปรค่ารัศมีของเงื่อนไขที่ 3 เท่ากับ 150 กม. ซึ่งน้อยกว่าเงื่อนไขที่ 4 ที่ 250 กม. ทำให้ความละเอียดในการตีวงรัศมีเวลาพิจารณาพื้นที่จะละเอียดกว่าและสามารถเจาะจงพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ชัดเจนกว่า

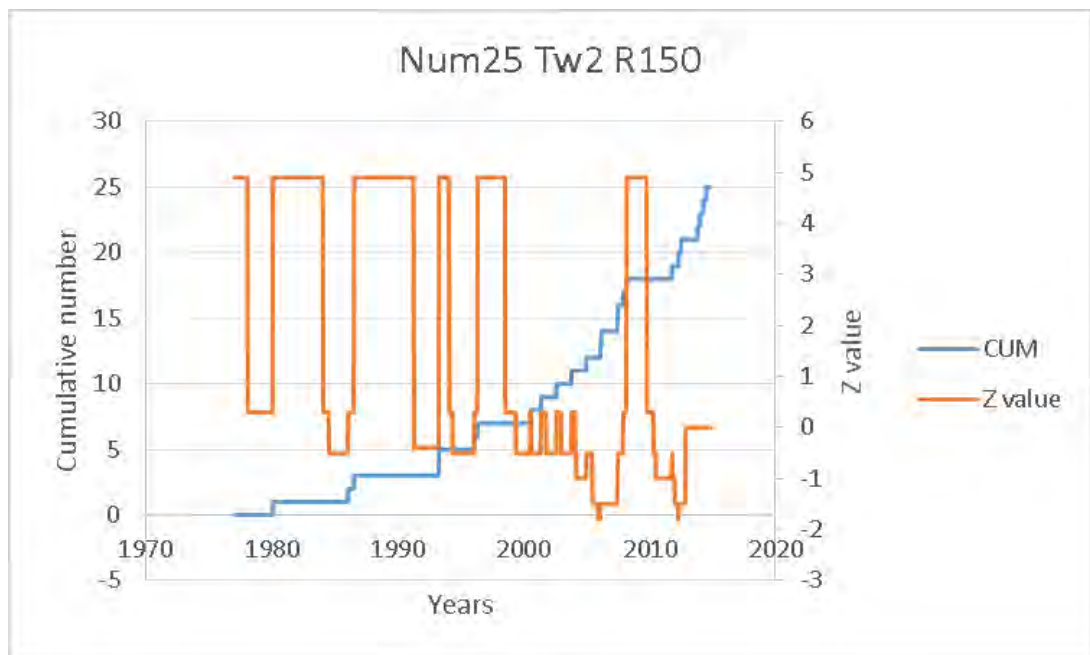
หลังจากได้เงื่อนไขแล้วนำมาคำนวณกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดตั้งแต่ต้นจะได้แผนที่ค่า Z ที่แสดงความผิดปกติให้เห็นดังรูป 4.3.



รูป 4.3. แผนที่แสดงค่า Z คำนวณโดยใช้เงื่อนไขที่ 3; Num=25, Tw=2, Radius=150

จะเห็นความผิดปกติเกิดขึ้นบริเวณลองติจูดที่ 97 ละติจูดที่ 20 และอีกตำแหน่งคือลองติจูดที่ 96 ละติจูดที่ 26

จัดทำกราฟความสัมพันธ์โดยมีแกนหลักสองแกนประกอบด้วยแกนตั้งหลักแสดงค่าจำนวนแผ่นดินไหวสะสม แกนนอนแสดงปี และแกนตั้งเป็นแกนรองอีกหนึ่งแกนแสดงค่า Z ดังรูป 4.4.



รูป 4.4. แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ค่า Z และปี โดยคำนวณตามตัวแปรเงื่อนไขที่ 3

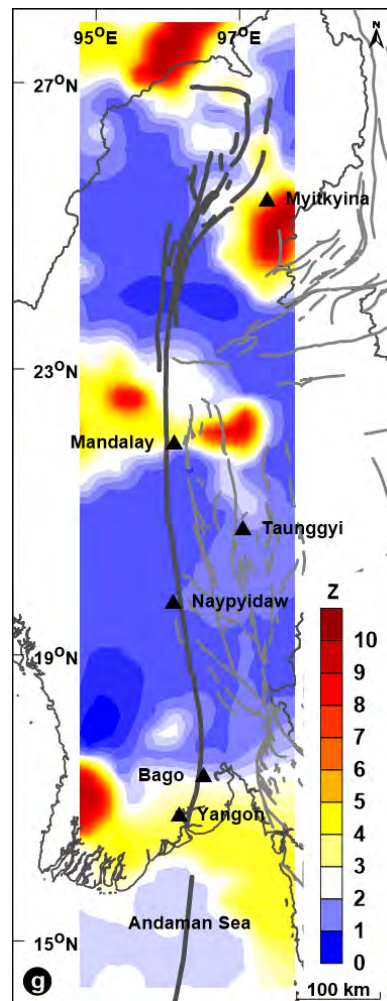
สรุปเงื่อนไขที่ได้จากการทำการทดสอบย้อนกลับแสดงดังตาราง 4.3. และจะนำแผนที่ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ตัวแปรจากเงื่อนไขไปประเมินพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวต่อไป

ตาราง 4.3. แสดงเงื่อนไขที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ

จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	รัศมี	กรอบเวลา	ระยะห่างของการตีช่องกริดย่อย
25 เหตุการณ์	150 กิโลเมตร	2 ปี	0.25 องศา

4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยง (Evaluation of Prospective Area)

จากการคำนวณโดยใช้ตัวแปรที่มีค่าตามเงื่อนไขแล้วจะได้แผนที่แสดงค่า Z ดังรูป 4.5. และจะให้ป็นรูปในการประเมินพื้นที่เสี่ยง



รูป 4.5. แผนที่ที่ได้จากเงื่อนไขหลังการทำทดสอบย้อนกลับ หลังจากปรับสเกลให้เหมาะสม

จากแผนที่ที่แสดงค่า Z โดยสีโทนร้อนจะหมายถึงค่า Z มาก นั่นคืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวของพื้นที่นั้นมีน้อยเมื่อเทียบกับสีโทนเย็นที่แสดงค่า Z น้อย พื้นที่ที่อัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อยนั้นบ่งบอกว่ากำลังอยู่ในช่วงเก็บสะสมพลังงานเพื่อที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต ในรูป 4.5. มีพื้นที่ที่ค่า Z มากๆอยู่ 2 บริเวณใหญ่ๆ คือบริเวณส่วนบนและส่วนกลางของรอยเลื่อน โดยสีเขียวอ่อนที่เห็นเป็นพื้นที่เสี่ยงนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 5.0-5.9 ซึ่งบริเวณตอนกลางของรอยเลื่อนสะกายอาจจะส่งผลถึงบริเวณทางตอนเหนือของประเทศไทยด้วยซึ่งมีรอยเลื่อนแม่ปิงที่วางตัวแนว NW-SE พาดผ่านประเทศไทย

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาประเมินมาจาก 3 ฐานข้อมูลได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The Global Centroid Moment Tensor (CMT) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Thai Meteorological Department (TMD) รายละเอียดของฐานข้อมูลต่างๆแสดงดังตาราง 5.1.

ตาราง 5.1. ตารางแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ

ฐานข้อมูล	เหตุการณ์	ช่วงเวลา(ปี)	ขนาดแผ่นดินไหว	ความลึก(เมตร)
IRIS	33,662	1964.0169- 2015.0706	1.7-7.7	0-750
GCMT	477	1977.3603- 2014.9299	4.7-7.5	10-156
TMD	11,996	1998.0023- 2009.9973	1.8-8.2	0-588
TOTAL	46,135	1964.0169- 2015.0706	1.7-8.2	0-750

5.2. ความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวแต่ละชนิดและสมการแสดงความสัมพันธ์ (Relations of Magnitude and Equations)

- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MS

$$MS = 0.1066(ML)^2 - 0.1447(ML) + 2.7314$$

- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ML และ MB

$$MB = 0.1316(ML)^2 - 0.4529(ML) + 3.6774$$

- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MS และ MW

$$MW = 0.0757(MS)^2 - 0.1927(MS) + 4.4547$$

- สมการความสัมพันธ์ระหว่าง MB และ MW

$$MW = 0.1326(MB)^2 - 0.4963(MB) + 4.2489$$

5.3. การจัดกลุ่มการคัดเลือกแผ่นดินไหว (Earthquake Declustering)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มาไม่สามารถจะใช้ได้ทันทีเนื่องจากหลายปัจจัย ต้องนำมาผ่านการคัดเลือกแผ่นดินไหวโดยมีขั้นตอนต่างๆคือ การตัดแผ่นดินไหวที่ซ้ำกันเนื่องจากการบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันจากต่างสถานีตรวจวัด การตัดแผ่นดินไหวที่ไม่ได้เกิดจากจากเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแต่เป็นการเตรียมตัวสำหรับการเกิดแผ่นดินไหวหลัก การตัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากมนุษย์ และเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวเฉพาะข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ของการเก็บข้อมูล การเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวและรายละเอียดข้อมูลต่างๆแสดงในตาราง 5.2.

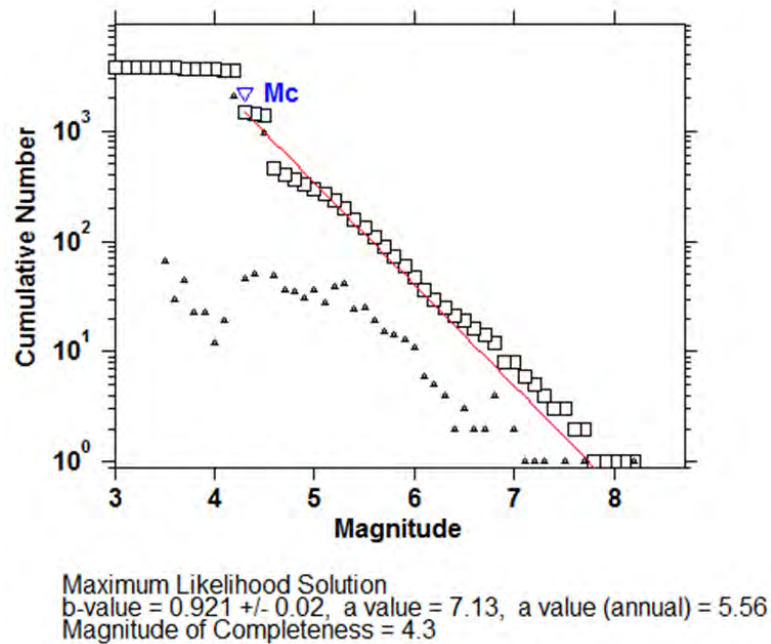
ตาราง 5.2. แสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวต่างๆ

	Collecting data	Earthquake declustering	Man-made seismicity	Magnitude of completeness
จำนวนข้อมูล	46135	4863	3781	1490
ช่วงเวลาเริ่มต้น	1964	1964	1977	1977
ช่วงเวลาสิ้นสุด	2015	2015	2014	2014
ขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุด	1.7	2.0	3.5	4.3

ขนาด	8.2	8.2	8.2	8.2
แผ่นดินไหว				
สูงสุด				

5.4. คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

ระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า M_c นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้แสดงดังรูป 5.1.



รูป 5.1. แสดงการหาระดับแผ่นดินไหวสมบูรณ์ สืบถึงความมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูล และประสิทธิภาพของข้อมูลที่จะนำไปศึกษาต่อ

5.5. กรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Conditions for Retrospective Test)

กำหนดกรณีศึกษา 8 กรณีดังตาราง 5.3. และเงื่อนไข 4 เงื่อนไข ดังตาราง 5.4.

ตาราง 5.3. แสดงกรณีศึกษาทั้งหมด 8 กรณีที่จะนำไปทดสอบย้อนกลับเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สามารถแสดงพื้นที่เสี่ยงให้ตรงกับตำแหน่งที่เกิดแผ่นดินไหว

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	MW	Depth	Hour	Min
95.98	23.48	1991	1	5	7	20	14	57
95.738	15.746	1991	4	1	6	15	3	53
97.22	25.2	1994	1	11	6.1	33	0	51
96.9	18.7	1999	8	15	6	33	16	18
97.15	26.7	2000	6	7	6.3	37	21	46
95.72	19.86	2003	9	21	6.6	15.8	18	16
95.78	19.43	2007	7	30	6.4	33	22	42
96.03	22.73	2012	11	11	6.8	16.8	1	12

ตาราง 5.4. แสดงเงื่อนไขต่างๆที่จะนำมาทดสอบย้อนกลับทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขที่ 1 และ 2 สามารถแสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวตรงกับกรณีศึกษาทั้ง 8 กรณี เงื่อนไขที่ 3 และ 4 แสดงพื้นที่เสี่ยงของกรณีศึกษาได้ 6 และ 7 กรณีตามลำดับ

Num Events	Tw (year)	Lon	Lat	Year	Mag	Radius (km)	Ts (year)	Zmax	Detection of Quiescence (year)
25	0.5	95.98	23.48	1991.01	7	110.95	1989.51	4.8	1.5
25	0.5	95.738	15.746	1991.25	6	149.12	1989.97	4.2	1.3
25	0.5	97.22	25.2	1994.03	6.1	72.33	1992.46	4.8	1.6
25	0.5	96.9	18.7	1999.62	6	76.45	1993.5	5.1	6.1
25	0.5	97.15	26.7	2000.43	6.3	69.75	1999.06	4.7	1.4
25	0.5	95.72	19.86	2003.72	6.6	82.02	2003.05	5.1	0.7
25	0.5	95.78	19.43	2007.58	6.4	75.9	2006.54	4.9	1
25	0.5	96.03	22.73	2012.86	6.8	68.56	2011.79	4.9	1.1

25	1	95.98	23.48	1991.01	7	110.95	1989.51	4.8	1.5
25	1	95.738	15.746	1991.25	6	149.12	1989.97	4.2	1.3
25	1	97.22	25.2	1994.03	6.1	72.33	1992.46	4.8	1.6
25	1	96.9	18.7	1999.62	6	76.45	1993.5	5.1	6.1
25	1	97.15	26.7	2000.43	6.3	69.75	1997.91	4.7	2.5
25	1	95.72	19.86	2003.72	6.6	82.02	1999.4	5.1	4.3
25	1	95.78	19.43	2007.58	6.4	75.9	2003.93	4.9	3.6
25	1	96.03	22.73	2012.86	6.8	68.56	2011.79	4.9	1.1
25	2	95.98	23.48	1991.01	7	110.95	1987.74	2.3	3.3
25	2	97.22	25.2	1994.03	6.1	72.33	1986.86	4.8	7.2
25	2	96.9	18.7	1999.62	6	76.45	1993.5	5.1	6.1
25	2	97.15	26.7	2000.43	6.3	69.75	1994.68	4.7	5.7
25	2	95.78	19.43	2007.58	6.4	75.9	2003.93	4.9	3.6
25	2	96.03	22.73	2012.86	6.8	68.56	2008.11	4.9	4.8
100	0.5	95.98	23.48	1991.01	7	202.32	1989.55	9.7	1.5
100	0.5	97.22	25.2	1994.03	6.1	176.74	1992.46	8.4	1.6
100	0.5	96.9	18.7	1999.62	6	189.96	1997.06	9.7	2.6
100	0.5	97.15	26.7	2000.43	6.3	151.72	1998.02	9.4	2.4
100	0.5	95.72	19.86	2003.72	6.6	174.57	2000.59	8.9	3.1
100	0.5	95.78	19.43	2007.58	6.4	151.63	2006.54	9.6	1
100	0.5	96.03	22.73	2012.86	6.8	156.4	2009.87	9.7	3

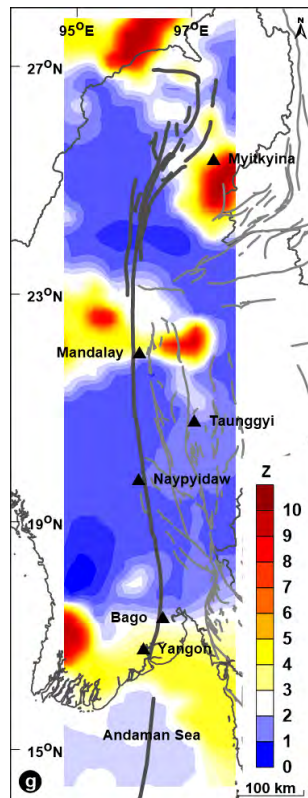
หลังจากผ่านการทดสอบย้อนกลับแล้ว เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือเงื่อนไขที่ 3 โดยมีค่าตัวแปร
ต่างๆดังตาราง 5.5. นี้

ตาราง 5.5. เงื่อนไขสุดท้ายหลังจากทำการทดสอบย้อนกลับ

Number of events	Radius(km)	Tw(year)	Grid spacing
25	150	2	0.05°x0.05°

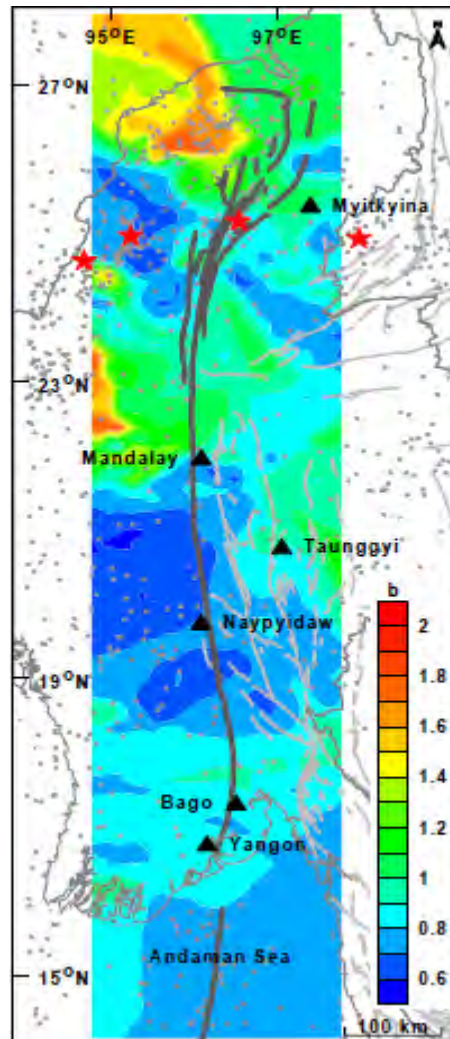
5.6. การประเมินพื้นที่เสี่ยง (Evaluation of Prospective Area)

จากผลการคำนวณและทำแผนที่แสดงค่า Z ได้บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวดังรูป 5.2.



รูป 5.2. แผนที่แสดงค่า Z ประกอบด้วยพื้นที่เสี่ยง 2 บริเวณคือทางตอนเหนือของประเทศพม่า ทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะกาย และบริเวณทางตอนกลางของประเทศพม่า

หลังจากปรึกษากับที่ปรึกษาแล้วมีความเห็นว่าแผนที่ที่มีพื้นที่เสี่ยงในบริเวณที่ใกล้เคียงกันคือตอนกลางของรอยเลื่อนสะกายเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Pailoplee (2013) โดยได้ใช้ประเมินแผ่นดินไหวจากค่า b-value ในพื้นที่เดียวกันดังรูป 5.3.



รูป 5.3. แสดงแผนที่จากงานวิจัยของ Pailoplee (2013) ค่า b-value ซึ่งค่า b ที่น้อยแสดงโดยสีฟ้า จะมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวมากสัมพันธ์กับงานวิจัยนี้ที่บริเวณตอนกลางของรอยเลื่อนสะกาย

5.7. ข้อเสนอแนะในการเลือกตัวแปร (Parameters Recommendations)

วิธีการในการเลือกตัวแปรหลักจากที่ได้ทำการทดสอบย้อนกลับแล้วนั้น เห็นว่ามีตัวแปรบางค่าที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อให้ได้การแสดงผลที่ดีและมีความถูกต้องมากขึ้น และเหตุผลในการเลือกค่าตัวแปรบางค่าอธิบายได้ดังนี้

Radius(R)	ความกว้างของรัศมี ควรตั้งเงื่อนไขโดยกำหนดให้รัศมีสามารถครอบคลุมจำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาให้ได้มากที่สุด แต่จะต้องพิจารณาไม่ให้รัศมีกว้างมากเกินไป จะทำให้การแสดงผลค่าความผิดปกติมีความกว้าง
Grid Spacing	หากใช้ grid spacing ที่มีความละเอียดมากๆจะทำให้ได้ความละเอียดของแผนที่สูง แต่จะใช้เวลาสร้างแผนที่ค่อนข้างนาน จากการศึกษา งานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ 0.25°
Time Window(Tw)	ช่วงเวลาในรอบเวลา จากการทดสอบย้อนกลับเมื่อได้กราฟแสดงความถี่สะสมของจำนวนแผ่นดินไหวและค่า Z แล้วนั้นหากค่า Z สูงสุด Z_{max} มีหลาย peak ใน 1 กราฟแสดงว่ารอบเวลาสั้นเกินไป หากมีเวลาในการทำวิจัยจะย้อนมากำหนดค่า Tw ใหม่ให้มีค่าที่มากขึ้น

REFERENCES

- Dziewonski, A. M., T.-A. Chou and Woodhouse, J. H. 1981. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *J. Geophys. Res.* 86: 2825-2852.
- Ekström, G., Dziewonski, A. M., Maternovskaya, N. N. and Nettles, M. 2005. Global seismicity of 2003: centroid-moment-tensor solutions for 1087 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.* 148: 327-351.
- 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.
- Kagan, Y. Y. and L. Knopoff 1980b. Dependence of seismicity on depth. *Bull. Seism. Soc. Am.* 70: 1811-1822.
- Kanamori, H. 1981. The nature of seismicity patterns before large earthquakes, in *Earthquake Prediction. Maurice Ewing Series. AGU, Washington D.C. IV: 1–19.*
- Katsumata, K. 2011a. Precursory seismic quiescence before the $M_w = 8.3$ Tokachi-oki, Japan, earthquake on 26 September 2003 revealed by a re-examined earthquake catalog. *Journal of Geophysical Research* 116: B10307.
- Katsumata, K. 2011b. A long-term seismic quiescence started 23 years before the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake ($M = 9.0$). *Earth Planets Space.* 63: pp. 709-712.

- Murru, M. 1999. Seismic quiescence precursor to the 1983 Nihonkai-Chubu (M7.7) earthquake, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 42(5).
- Pailoplee, S. 2013. Mapping asperities along the Sagaing Fault Zone, Myanmar using b-value anomalies. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 7(5): 12 pages.
- 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*, Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161.
- Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters* 72(3): 373-382.
- Woessner, J., and Wiemer, S. 2005. Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95: pp.684-698.
- Wyss, M. 1991. *Evaluation of Proposed Earthquake Precursors*. AGU Monograph, Washington D.C. pp 94.