



## โครงการ

# การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ      การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะท้อนบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์  
และพื้นที่ใกล้เคียง

ชื่อนิสิต          นายณัฐพล ธนาวุฒิ

ภาควิชา            ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา        2558

คณะวิทยาศาสตร์      จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะเทือนบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง

นายณัฐพล ธนาวุฒิ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

SEISMICITY RATE CHANGE IN THE PHILIPPINES ISLANDS AND THE ADJACENT AREAS

MR.NUTTAPON THANAWUT

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 2015

วันที่ส่ง

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

วันที่อนุมัติ

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

( \_\_\_\_\_ )

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย: การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือนบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง  
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายณัฐพล ธนาวุฒิ  
ภาควิชา: ธรณีวิทยา  
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้  
ปีการศึกษา: 2558

---

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายที่จะทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต โดยวิธี การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือนบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง โดยอาศัยฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก 3 แหล่ง ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The National Earthquake Information (NEIC) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The International Seismological Center (ISC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The Global CMT Catalogue (GCMT) โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ละติจูดที่  $-4.10$  องศาใต้ –  $26.10$  องศาเหนือ ลองจิจูดที่  $109.99$  –  $132.22$  องศาตะวันออก หลังจากผ่านการปรับปรุงข้อมูลแผ่นดินไหวแล้วยังคงเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 4,925 เหตุการณ์ที่มีความสมบูรณ์และสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง และทำการคัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด 5.0 ริกเตอร์ขึ้นไป กำหนดเป็นกรณีศึกษาจำนวน 34 เหตุการณ์ จากนั้นทำการทดสอบย้อนกลับโดยเลือกเงื่อนไขที่ค่า  $N = 25$  และค่า  $T_w = 2.0$  สามารถตรวจพบค่าความผิดปกติที่สัมพันธ์กันทั้งในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ทั้งหมด 29 เหตุการณ์จากทั้งหมด 34 เหตุการณ์ จึงนำมาคำนวณหาค่าภาวะเจียบสงบ (Z-value) เพื่อสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z และจากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีบริเวณที่มีความผิดปกติของค่า Z และมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต 3 บริเวณได้แก่พื้นที่ทางทิศตะวันออกเฉียงของเมืองบันดาร์ เสรี เบกาวัน พื้นที่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงมะนิลาและพื้นที่ทางตะวันตกของเมืองดาเวา

**คำสำคัญ:** ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว, การทดสอบย้อนกลับ, ภาวะเงียบสงบ, การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว

Project title: Seismicity Rate Change in the Philippines islands and the adjacent areas

Researcher: Mr.Nuttapon Thanawut

Department: Geology

Advisor: Professor Assistant Dr. Santi Pailoplee

Academic Year: 2015

---

### ABSTRACT

This study aims mainly to analyze the seismicity rate change for detecting seismic quiescence in the Philippines islands and the adjacent areas by using earthquake catalogues from the National Earthquake Information (NEIC), the International Seismological Center (ISC) and the Global CMT Catalogue (GCMT). The study area was covered Latitude of  $4.10^{\circ}\text{S}$  - $26.10^{\circ}\text{N}$  and Longitude of  $109.99$  - $132.22^{\circ}\text{E}$ . After improving the earthquake catalogue process, we chose earthquake events that possibly refer to seismotectonic setting to represent our case study for 34 events ( $M_w > 7.0$ ). Then, prove retrospective tests with reasonable conditions,  $N = 25$  events and  $T_w = 2.0$  years.

After the retrospective test, we were found three quiescence-anomalous areas, might be risk for the upcoming moderate-to-large earthquakes in present day map consist of eastern of Bandar Seri Begawan, eastern of Manila and western Davao.

**KEYWORDS:** Earthquake Catalogue, Retrospective Test, Seismicity Rate Change, Seismic Quiescence, Philippines islands

## กิตติกรรมประกาศ

### (Acknowledgement)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้ ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัย ได้วางแผนการทำงานที่เป็นขั้นเป็นตอน รวมถึงปฏิทินการทำงานที่ชัดเจนและเป็นไปตามเวลาที่คาดหวังไว้ คอยแก้ปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ตลอดการทำงานจนโครงการวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้คอยให้ คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่บุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา ผู้ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และ สถานที่ภายในภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณนายสันต์วัฒน์ สุขรังษี รุ่นพี่ปริญญาโทที่คอยสอน ให้คำแนะนำ เหมือนเป็นอาจารย์ คนที่สองที่คอยช่วยเหลือในขั้นตอนต่างๆเป็นอย่างดีรวมถึงการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณนางสาวเพชร เจนพนัสและเพื่อนๆ ที่คอยสอบถามความคืบหน้าและช่วยเหลือด้าน ต่างๆในงานศึกษาครั้งนี้

**สารบัญ**  
**(CONTENT)**

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ญ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฎ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ฐ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.3. วัตถุประสงค์ (Objectives)	3
1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	3
1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	4
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)	4
2.1.1. ภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence)	4
2.1.2. วิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาภาวะเงียบสงบ	4
2.2. งานศึกษาในอดีต (Literature Reviews)	5
2.2.1. งานศึกษาของ Murru (1999)	5
2.2.2. งานศึกษาของ Katsumata (2011a)	6
2.2.3. งานศึกษาของ Katsumata (2011b)	7
2.2.4. งานศึกษาของ Sorbi และคณะ (2012)	8
2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	9



	หน้า
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)	10
3.1.การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	10
3.1.1. ฐานข้อมูล NEIC	11
3.1.2. ฐานข้อมูล ISC	12
3.1.3. ฐานข้อมูล GCMT	12
3.1.4. ฐานข้อมูลรวม	13
3.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	14
3.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	20
3.4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	24
3.5. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	26
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)	27
4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	27
4.1.1. การคัดเลือกกรณีศึกษา	27
4.1.2. การคัดเลือกเงื่อนไข	29
4.1.3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสม ช่วงเวลา และค่า Z	34
4.1.4. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z	43
4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	53
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	54
5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	54
5.2. การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)	54
5.3. กำหนดกรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ	55

	หน้า
5.4. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว ( Evaluation of Prospective Area)	58
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	59

**สารบัญรูปร่างภาพ**  
**(FIGURE CONTENT)**

	หน้า	
รูป 1.1	แผนที่พื้นที่ศึกษาแสดงการกระจายตัวและการวางตัวของกลุ่มรอยเลื่อน รวมถึงแนวการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกซึ่งแสดงด้วยเส้นสีเทาบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง	2
รูป 2.1	แผนที่แสดงพื้นที่ที่เกิดภาวะเจียบสงบ (Murru, 1999)	5
รูป 2.2	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในปี 1998.88 และในปี 1999.52 (Katsumata, 2011a)	6
รูป 2.3	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในปี 1988 (A1) และปี 1992 (A2) (Katsumata, 2011b)	7
รูป 2.4	แผนที่พื้นที่ศึกษาแสดงพื้นที่ภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1 ม.ค. 2005 ถึง 9 ก.ย.2008	8
รูป 2.5	ระเบียบวิธีการวิจัย	9
รูป 3.1	แสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลรวม กับ (ก) ขนาดแผ่นดินไหว (ข) ความลึก (ค) ช่วงปี และ (ง) ข้อมูลสรุปรวมข้อมูลรวมในการศึกษา	13
รูป 3.2	รูปแสดงค่าความอิมตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ $M_w$ (Kagan และ Knopoff,1980b)	15
รูป 3.3	รูปแสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้	16
รูป 3.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )	17
รูป 3.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก( $M_s$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )	18
รูป 3.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ )	19
รูป 3.7	หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	21

		หน้า
รูป 3.8	แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974)	22
รูป 3.9	กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและหลังการเตรียมข้อมูลด้วยการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก	23
รูป 3.10	กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและหลังการตรวจสอบแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์	25
รูป 3.11	แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c = 5$	26
รูป 4.1	แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 34 เหตุการณ์	27
รูป 4.2	กราฟแสดงค่า $Z$ สูงสุดในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาทั้ง 34 เหตุการณ์	34-42
รูป 4.3	แสดงแผนที่การกระจายตัวของค่า $Z$	43-52
รูป 4.4	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า $Z$ และบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ	53
รูป 5.1	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า $Z$ โดยพื้นที่สีแดงแสดงถึงบริเวณที่มีค่า $Z$ สูง โดยวงกลมสีดำแสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ	58

**สารบัญตาราง**  
**(TABLE CONTENT)**

	หน้า
ตาราง 3.1. ตารางแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	10
ตาราง 4.1. แสดงข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา	28
ตาราง 4.2. แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลแผ่นดินไหว	30
ตาราง 4.3. แสดงข้อมูลตัวอย่าง 12 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ	31
ตาราง 4.4. แสดงรายละเอียดตัวอย่างเหตุการณ์ที่ 1	33
ตาราง 4.5. แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ	33
ตาราง 5.1. แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้	56

**สารบัญสมการ**  
**(EQUATION CONTENT)**

	หน้า	
สมการ 2.1	สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว $Z$	4
สมการ 3.1	สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )	17
สมการ 3.2	สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )	18
สมการ 3.3	สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ )	19

**บทที่ 1**  
**บทนำ**  
**(INTRODUCTION)**

**1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)**

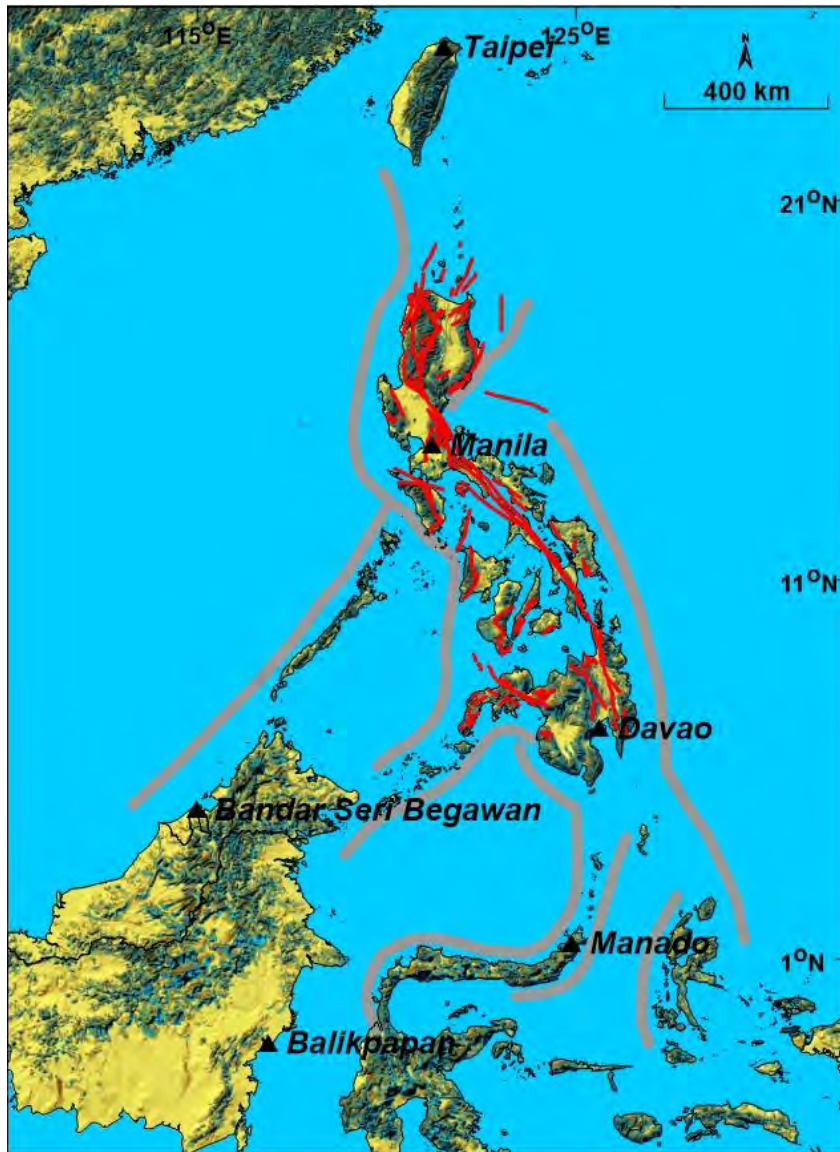
ปัจจุบันจะเห็นได้ชัดว่าการเกิดแผ่นดินไหวได้สร้างความเสียหายให้แก่ทรัพย์สิน อาคารบ้านเรือน และชีวิตผู้คนมากมายในประเทศไทยและพื้นที่บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งภัยพิบัตินี้เกิดจากการเคลื่อนที่บริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกทำให้ชั้นหินใต้ผิวดินเกิดการเคลื่อนที่ไปด้วย จึงเกิดการโอนถ่ายพลังงานออกมาในรูปการไหวสะเทือน เพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ ซึ่งจากงานวิจัยของ Pailoplee และ Booncharuay (accepted) ได้ทำการศึกษาฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกไว้ในช่วงระยะเวลา 55 ปีที่ผ่านมาในช่วงปี ค.ศ. 1960-2015 พบว่าเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 7.0 ริกเตอร์อย่างน้อย 95 ครั้ง นอกจากนี้นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1509 เป็นต้นมาหรือประมาณ 500 ปีที่ผ่านมา หน่วยงาน NOAA ได้บันทึกรายงานบริเวณที่เคยได้รับผลกระทบจากพิบัติภัยสึนามิ ประมาณ 280 ตำแหน่ง ดังนั้นจึงเป็นที่ยืนยันว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในแถบหมู่เกาะฟิลิปปินส์นั้นมีพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่รุนแรงและเป็นพิบัติภัย

การศึกษาของ Ha และคณะ (2009) และ Ruangrassamee และ Saelem (2009) ได้ประเมินสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุดของการเกิดสึนามิในทะเลจีนใต้รวมทั้งอ่าวไทย โดยสมมติว่าหากแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ ในบริเวณร่องลึกมหาสมุทรมะนิลา จะส่งผลกระทบด้านพิบัติภัยสึนามิรุนแรงที่สุดกับประเทศฟิลิปปินส์ เวียดนามและชายฝั่งทางตอนใต้ของประเทศจีน ในขณะที่เดียวกันสำหรับอ่าวไทย คลื่นสึนามิจะใช้เวลาในการเดินทางจากร่องลึกมหาสมุทรมะนิลาประมาณ 13 ชั่วโมง และจะมีความสูงของคลื่นสูงสุดประมาณ 0.65 เมตรเมื่อมาถึงชายฝั่งของอ่าวไทย (Ruangrassamee และ Saelem 2009)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียงเพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณทะเลจีนใต้และประเทศไทย

## 1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

พื้นที่ศึกษาบริเวณบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ ละติจูดที่ -4.10 องศาใต้ – 26.10 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 109.99 – 132.22 องศาตะวันออก



รูป 1.1 แผนที่พื้นที่ศึกษาแสดงการกระจายตัวและการวางตัวของกลุ่มรอยเลื่อน แสดงในรูปด้วยเส้นสีแดงรวมถึงแนวการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกซึ่งแสดงด้วยเส้นสีเทาบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง



### 1.3. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง โดยใช้วิธีการการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว

### 1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

ทำการศึกษาวิจัยโดยการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records) ด้วยวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ ละติจูดที่  $-4.10$  องศาใต้ –  $26.10$  องศาเหนือ ลองจิจูดที่  $109.99$  –  $132.22$  องศาตะวันออก

### 1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Outputs)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง

บทที่ 2  
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  
(THEORY AND LITERATURE REVIEW)

2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)

Sobolev (1995) ได้ทำการทดลองโดยจำลองการเกิดแผ่นดินไหวด้วยการกดอัดแท่งหินและใช้อุปกรณ์วัดพลังงานเสียง (acoustic energy) จากการปริแตกของหิน พบว่าเมื่อเริ่มบีบอัดแท่งหินจะมีสัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ เกิดขึ้น และเมื่อออกแรงอัดแท่งหินเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่ง สัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ นั้นจะลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้น ก่อนที่แท่งหินจะแตกหักจนสูญเสียรูปไป จากการทดลองดังกล่าวทำให้ Sobolev สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จะมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ เรียกว่า ภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) และหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของการเกิดแผ่นดินไหว (seismic activation) ตามมา

Wiemer (2001) ได้นำเสนอวิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหว โดยกำหนดกรอบเวลาและทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลากับอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา ซึ่งค่าที่ได้เรียกว่าค่า Z (Z value) ดังสมการ 2.1

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

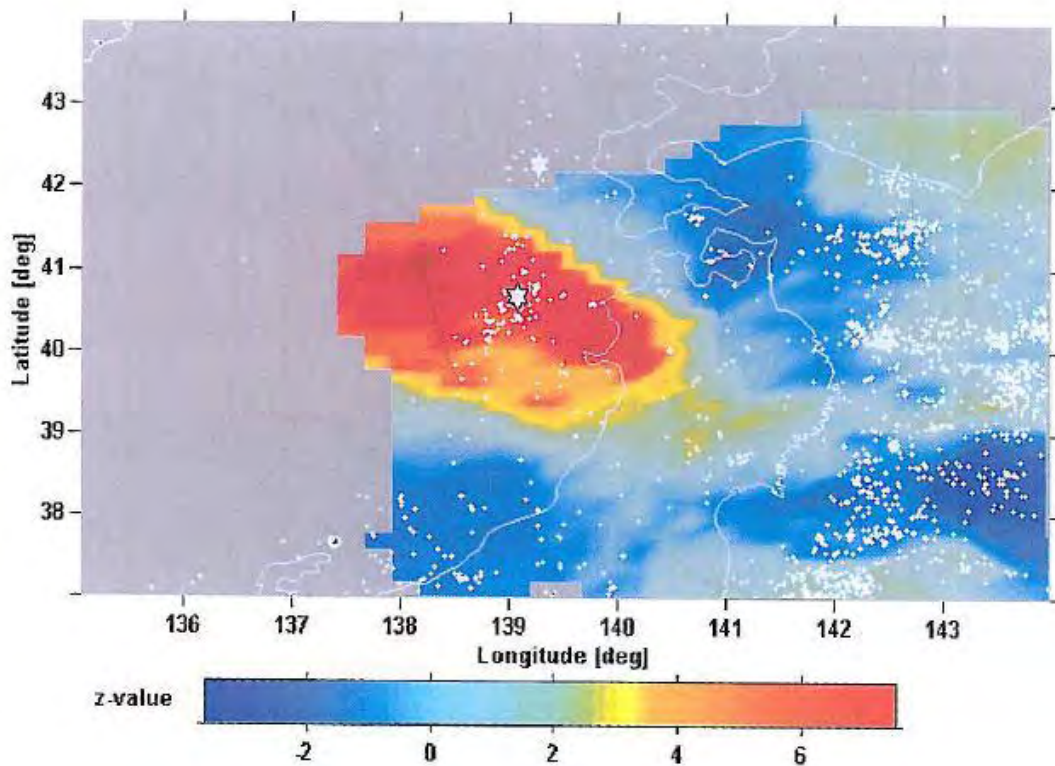
โดยกำหนดให้

Z	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหว
$R_w$	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลา
$R_{bg}$	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา
S	หมายถึง ความแปรปรวนของข้อมูล
n	หมายถึง จำนวนข้อมูล

ซึ่งเราสามารถแปลความหมายของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจากค่า Z ได้ดังนี้ค่า Z ที่มากกว่าศูนย์ แสดงถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลาที่กำหนดน้อยกว่านอกกรอบเวลา และถ้าหากค่า Z มีค่าสูงมากแสดงว่าแผ่นดินไหวในช่วงกรอบเวลานั้นลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งมักจะพบก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

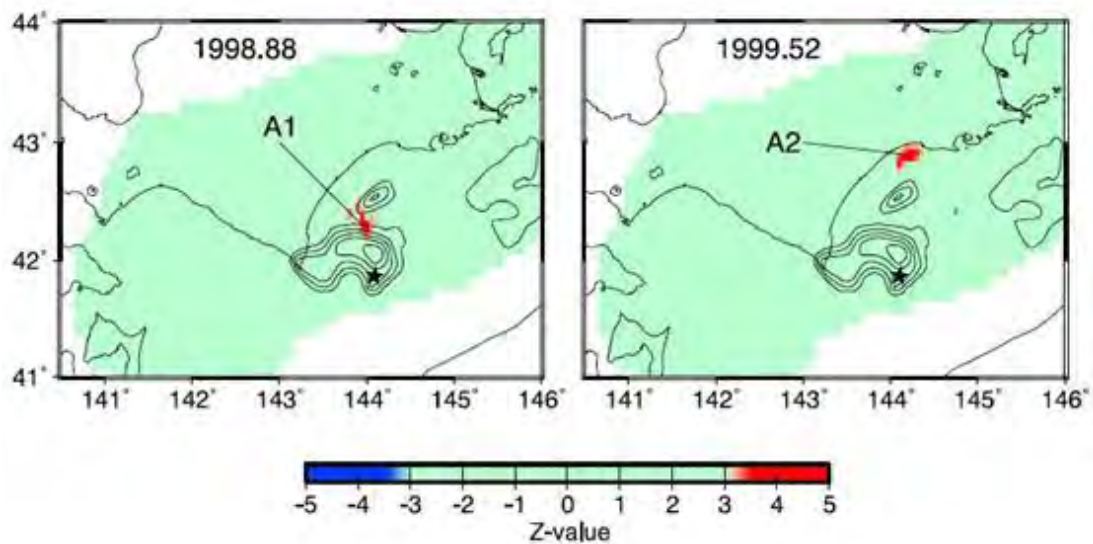
## 2.2.งานศึกษาในอดีต (Literature Review)

Murru (1999) ได้ทำการศึกษาแผ่นดินไหวนิฮอนไคขนาด 7.7 ริกเตอร์ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 1983 บริเวณตอนเหนือของเกาะฮอนชู-ฮอกไกโด โดยใช้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมจาก Japan Meteorological Agency (JMA) และผ่านกระบวนการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก (declustering) แล้ว ในช่วงระยะเวลาระหว่างเดือนมกราคม ปี 1970 ถึงเดือนธันวาคม ปี 1994 และเลือกวิเคราะห์กรณีศึกษาเฉพาะแผ่นดินไหวที่เกิดจากแผ่นดินไหวหลัก (main shock) ที่มีขนาดมากกว่า 7.0 จำนวน 16 เหตุการณ์ Murru ได้เลือกพิจารณาตัวแปร ในกรอบระยะเวลา 3 ปี ความห่างของช่องกริดที่ติดต่อกันเท่ากับ  $0.25^{\circ}$  ขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่พิจารณาอยู่ที่ 3.8 พบว่ามีภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) ก่อนเกิดแผ่นดินไหว 3.5 ปี ดังรูป 2.1



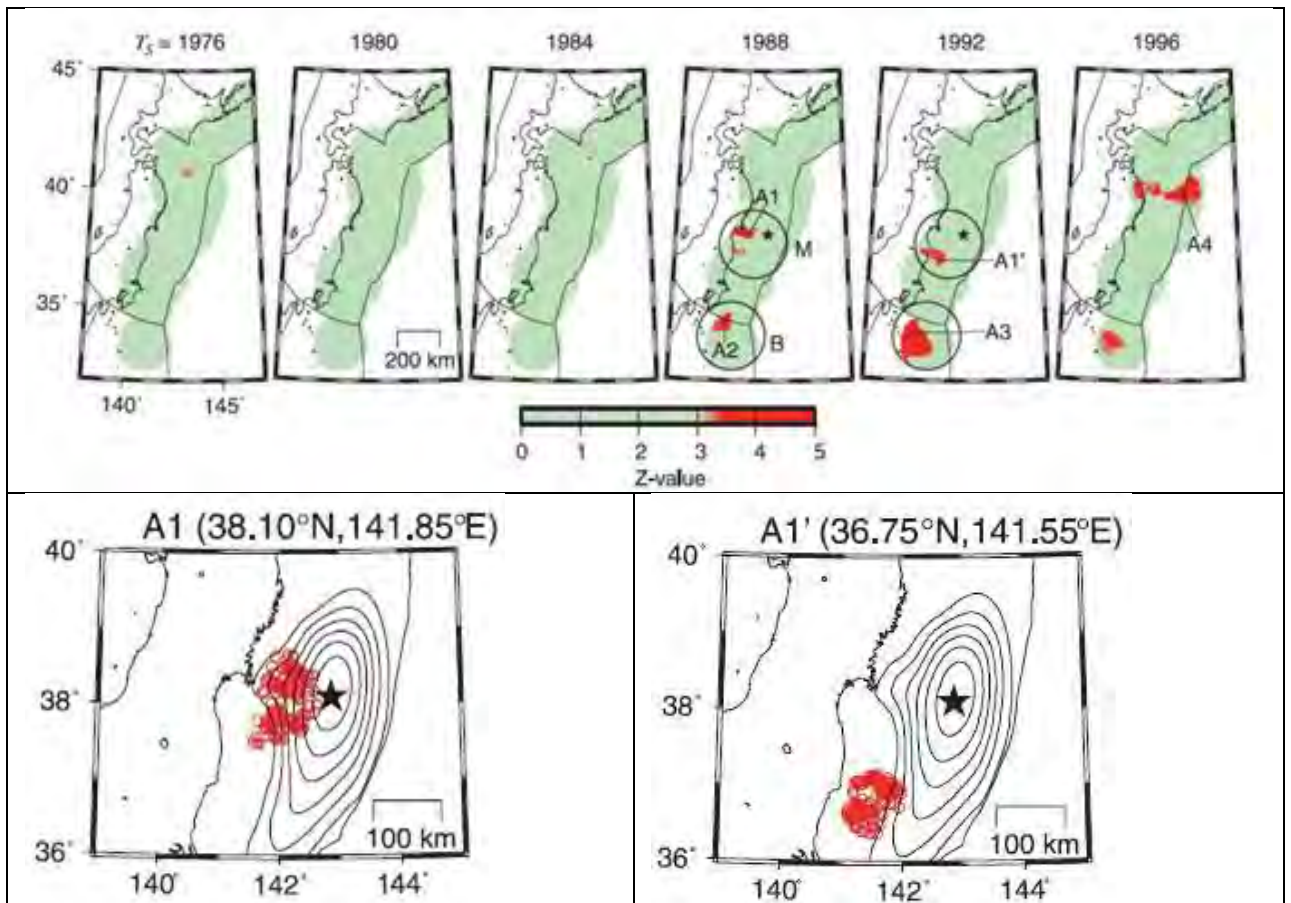
รูป 2.1. แผนที่แสดงพื้นที่ที่เกิดภาวะเงียบสงบแสดงด้วยสีแดงซึ่งมีค่า  $Z=7.4$  โดยเริ่มตั้งแต่ปี 1979 ก่อนเกิดแผ่นดินไหว Nihonkai-Chubu ขนาด 7.7 ในปี 1983

Katsumata (2011a) ทำศึกษาการลดลงของอัตราการผลิตแผ่นดินไหวก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 8.3 ริกเตอร์ บริเวณเมืองโทคาชิ โอกิ ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี ค.ศ. 2003 โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจำนวน 2,000 เหตุการณ์ ที่บันทึกไว้ในช่วงปี ค.ศ. 1994-2003 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีค่า Z พบว่าเริ่มมีการลดลงของอัตราการผลิตแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ 2 บริเวณซึ่งใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 โดยสังเกตจากค่า Z มีค่าสูงสุดคือ +3.9 และ +4.0 และเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ตามมาหลังจากตรวจพบค่าที่สูงสุดเป็นเวลาประมาณ 5 ปี ในบริเวณดังกล่าวดังที่แสดงในรูป 2.2



รูป 2.2 แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี 1998.88 และในปี 1999.52 (Katsumata, 2011a) และดาวแสดงจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวขนาด 8.3 ในปี 2003

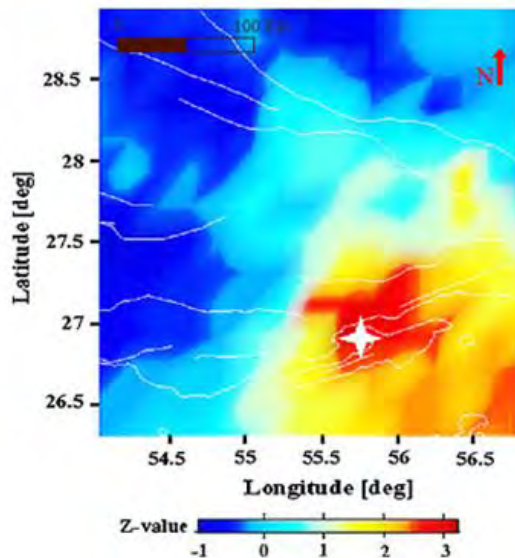
Katsumata (2011b) ศึกษาการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริคเตอร์ บริเวณชายฝั่งแปซิฟิกของประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี ค.ศ. 2011 โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจำนวน 5,770 เหตุการณ์ที่บันทึกไว้ในช่วงปี ค.ศ. 1965-2010 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีค่า Z พบว่าเริ่มมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 โดยสังเกตจากค่า Z มีค่าสูงสุดคือ +4.9 และเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่หลังจากนั้น 23.4 ปีแสดงให้เห็นในรูป 2.3



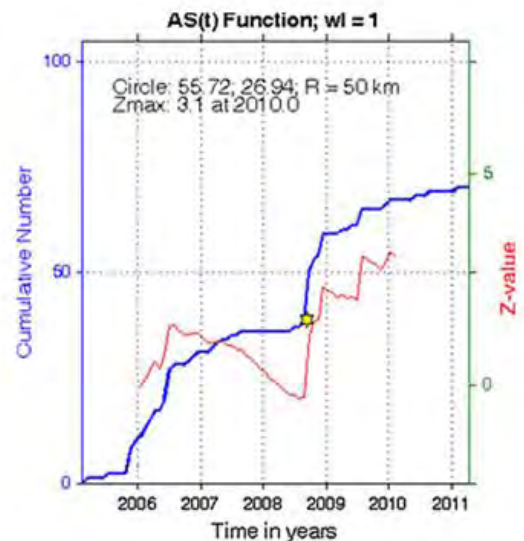
รูป 2.3 แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี 1988 (A1) และปี 1992 (A2) (Katsumata, 2011b) ต่างอยู่ในพื้นที่เดียวกันคือวงกลม M (Miyagi quiescence) และดาวแสดงจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ในปี 2011 ระบุตำแหน่งโดย JMA

Sorbi และคณะ (2012) การศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.1 ริกเตอร์ บริเวณทางตอนใต้ของประเทศอิหร่าน เมื่อปี ค.ศ. 2008 โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล USGS และ IIEES ที่บันทึกไว้ในช่วงปี ค.ศ. 2005 - 2011 มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีค่า  $Z$  พบว่าเริ่มมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 โดยสังเกตจากค่า  $Z$  มีค่าสูงสุดคือ +3.0 ดังที่แสดงในรูป 2.4 และเมื่อตรวจสอบทางสถิติด้วยวิธีค่า  $b$  จากความสัมพันธ์ของกุกเต็นเบิร์ก-ริกเตอร์ (Gutenberg-Richter Relationship) (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า  $b$  ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเช่นเดียวกัน หลังจากเกิดความผิดปกติทั้งสองอย่างนี้พร้อมกันประมาณ 1 ปีก็เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ตามมาในบริเวณดังกล่าว

ก)



ข)



รูป 2.4 (ก) แผนที่พื้นที่ที่ศึกษาแสดงพื้นที่ภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1 ม.ค. 2005 ถึง 9 ก.ย.2008,ดาวสีขาวแสดงจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว Qeshm ขนาด 6.1 ริกเตอร์ ในปี 2008

(ข) กราฟความถี่สะสม(สีฟ้า)แสดงภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1 ม.ค. 2005 ถึง 9 ก.ย. 2008 ดาวสีเหลืองแสดงช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว Qeshm ขนาด 6.1 ริกเตอร์ ในปี 2008

### 2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้ได้จัดแบ่งระเบียบวิธีวิจัยเป็น 9 ขั้นตอนดังรูป 2.5



รูป 2.5 แผนผังสรุปขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย

### บทที่ 3

#### การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

#### (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)

##### 3.1.การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

จากการศึกษาข้อมูล พบว่าในปัจจุบันหน่วยงานทางวิชาการต่างๆมีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นทั่วโลกอย่างต่อเนื่อง และเก็บรวบรวมไว้ในรูปแบบฐานข้อมูลแผ่นดินไหวซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงตัวเลขที่วิเคราะห์มาได้จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยรายงานทั้งจุดศูนย์กลาง ลองจิจูด ละติจูด ความลึก เวลาเกิด และขนาดแผ่นดินไหวแต่ยังคงไม่เป็นระบบเดียวกัน ดังนั้นเมื่อทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต้องการมาได้แล้ว จึงมีความจำเป็นต้องจัดเรียงข้อมูลแผ่นดินไหวของแต่ละฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยเรียงตามลำดับดังนี้ ละติจูด ลองจิจูด ปี เดือน วัน ขนาดของแผ่นดินไหวในหน่วยต่างๆ ความลึก ชั่วโมง นาที และวินาที ดังตารางด้านล่าง

ตาราง 3.1 ตารางแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว(Earthquake Catalogue)

Lon	Lat	Year	Month	Day	M <sub>w</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>b</sub>	M <sub>L</sub>	Depth (Km)	Hour	Minute	Second
126.4	6.14	2011	2	1	5.6	5.1	5.5	-	21.8	13	39	47
106.9	20.97	2009	1	28	5.1	4.8	5.2	-	35.0	20	29	56
107.0	25.16	2007	7	30	5.6	5.5	6.0	-	14.2	22	42	5
128.3	28.7	2007	6	2	6.1	6.3	5.7	-	5.0	21	34	57
128.6	28.2	2007	5	16	6.3	6.4	5.7	-	23.8	8	56	16
107.0	44.03	2007	1	7	4.8	4.4	4.8	-	10.0	10	47	6
128.6	-6.34	2006	10	7	5.0	4.3	4.9	-	10.0	21	12	26



ประเภทของข้อมูลที่จะรายงานโดยฐานข้อมูลต่างๆที่มีความจำเป็นในการนำไปวิเคราะห์และประเมินผล มีดังนี้

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

โดยงานศึกษาครั้งนี้อาศัยข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลจาก 3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยกันคือ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The National Earthquake Information (NEIC) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The International Seismological Center (ISC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The Global CMT Catalogue (GCMT) โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ใกล้เคียง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูดที่ -4.10 องศาใต้ – 26.10 องศาเหนือลองจิจูดที่ 109.99 – 132.22 องศาตะวันออก ขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต้องการตั้งแต่ 0.1-10.0 ริกเตอร์ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหว ตั้งแต่ 0-1,000 เมตร และระยะเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1962-2015 (สิ้นสุดที่เดือนตุลาคม)

### 3.1.1.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The National Earthquake Information (NEIC)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The National Earthquake Information (NEIC) จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1940 ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของกรมทรัพยากรธรณี สหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) โดยเป็นเครือข่ายตรวจวัดแบบอัตโนมัติ และสามารถรายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้อย่างทันทีทันใดหลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบ้างเล็กน้อยจากกระบวนการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอื่นๆ ฐานข้อมูล NEIC ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุด ณ ปัจจุบัน

### 3.1.2.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The International Seismological Center (ISC)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The International Seismological Center (ISC) เป็นอีกหนึ่งฐานข้อมูลที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงาน USGS โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งฐานข้อมูล ISC เกิดจากการนำฐานข้อมูล NEIC มาคำนวณใหม่อีกครั้ง (International Seismological Centre, 2001) เพื่อความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล ตลอดจนรายงานข้อมูลในเชิงลึกอื่นๆ ที่อาจจำเป็นต่อการวิจัยในเชิงลึกด้านแผ่นดินไหววิทยา โดยบางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นล่าสุด ฐานข้อมูล ISC จะยังไม่มีกรรายงาน แต่ถือว่าโดยภาพรวมของข้อมูลจะมีความถูกต้องมากกว่าฐานข้อมูล NEIC

### 3.1.2.ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ The Global CMT Catalogue (GCMT)

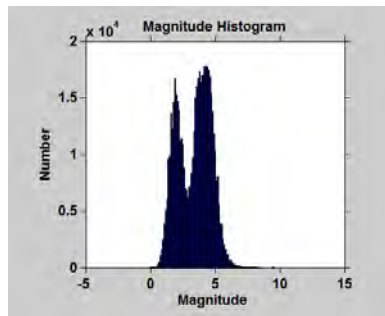
ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The Global CMT Catalogue (GCMT) หรือที่ในอดีตเรียกว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The Harvard CMT (HRV) มีภารกิจหลักในการวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (centroid moment tensor) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.5 ริกเตอร์ นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 (Ekström และคณะ, 2005) โดยฐานข้อมูลนี้จะวิเคราะห์ตัวแปรด้านแผ่นดินไหวต่างๆ อย่างละเอียด ตลอดจนรายงานผลการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) เพื่อให้ นักแผ่นดินไหววิทยานำไปใช้ในการศึกษาวิจัยกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงลึก อย่างไรก็ตามสืบเนื่อง จากเป็นฐานข้อมูลที่มีรายละเอียดมาก ดังนั้นในแต่ละเหตุการณ์แผ่นดินไหวจึงต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ ผลนานกว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหวอื่นๆ ข้างต้น ซึ่งบางครั้งอาจใช้เวลา 3-4 เดือนหลังจากเกิดแผ่นดินไหว

### 3.1.3 ฐานข้อมูลรวม

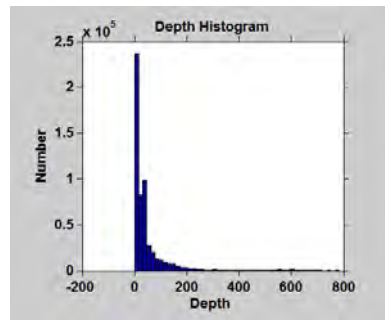
เนื่องจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละเครือข่ายการตรวจวัดมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ ก่อนเริ่มกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติจำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ให้เป็นระบบเดียวกันเสียก่อน โดยทำการรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครือข่ายการตรวจวัดต่างๆหลังจากนั้นจะได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีระยะเวลายาวนานขึ้นและมีการกระจายตัวที่ครอบคลุมมากขึ้น

จากการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่พบว่ามีความถี่ของเหตุการณ์ทั้งหมด 542,726 เหตุการณ์ ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1962 - วันที่ 19 ตุลาคม ค.ศ. 2015 มีขนาดแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด  $M_w$  0.1-10 ริคเตอร์ และมีความลึกตั้งแต่ 0-782.3 เมตร

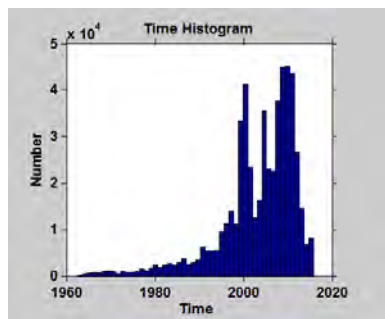
(ก) ขนาด-จำนวนแผ่นดินไหว



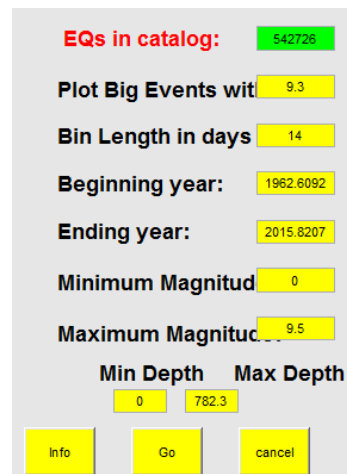
(ข) ความลึก(เมตร)-จำนวนแผ่นดินไหว



(ค) เวลา(ปี)-จำนวนแผ่นดินไหว



(ง)ฐานข้อมูลรวมในการศึกษา



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลรวม กับ (ก) ขนาดแผ่นดินไหว (ข) ความลึก (ค) ช่วงปี และ (ง) ข้อมูลสรุปฐานข้อมูลรวมในการศึกษา

### 3.2 การเปรียบเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

หลังจากผ่านการรวบรวมและปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแล้วพบว่าหน่วยงานต่างๆมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยมาตราวัดที่แตกต่างกันไป เช่น ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Moment Magnitude;  $M_w$ ) ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Body-wave Magnitude;  $M_b$ ) ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (Local Magnitude;  $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Surface-wave Magnitude;  $M_s$ ) เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่ในมาตรวัดมาตรฐานเดียวกัน จึงจำเป็นต้องปรับข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาให้อยู่ในมาตรวัดเดียวกันก่อนแล้วจึงนำฐานข้อมูลไปดำเนินการต่อไปได้ ซึ่งในปัจจุบัน

พบว่านักแผ่นดินไหววิทยามักรายงานขนาดแผ่นดินไหวด้วยมาตราตรวจวัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการตรวจวัดและประเภทของคลื่นไหวสะเทือนที่สามารถตรวจวัดได้โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

$M_L$  (Local Magnitude) คือ การรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในท้องถิ่น มีความแม่นยำมากหากวัดภายในบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว แต่หากตรวจวัดในระยะทางที่ไกลออกไปจะทำให้ความถูกต้องของข้อมูลแผ่นดินไหวลดน้อยลง มักนิยมใช้หน่วย  $M_L$  ในการประเมินแผ่นดินไหวเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้นเช่นเหมือง เขื่อน อาคารสูง ใช้ได้เฉพาะแผ่นดินไหวในระยะไม่เกิน 650 กิโลเมตร

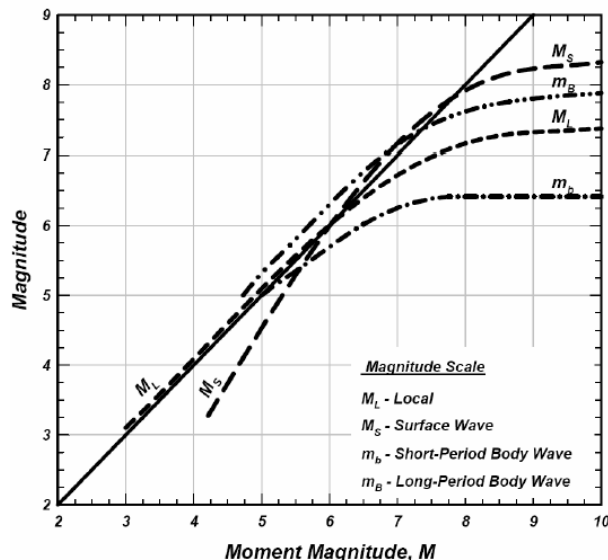
$M_b$  (Body-Wave Magnitude) คือ การรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในระดับลึกซึ่งคลื่นแผ่นดินไหวเดินทางอยู่ในเนื้อโลกเป็นหลัก แผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้จึงรายงานมาตราขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก มักนิยมใช้มาตราวัด  $M_b$  ในการวัดแผ่นดินไหวระดับลึกโดยอาศัยการวัดความสูงแอมพลิจูดของ P-Wave การวัดโดยใช้หน่วย  $M_b$  จะมีความถูกต้องมากกว่า

$M_s$  (Surface-Wave Magnitude) คือ การรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในระดับโลก (global scale) หรือระดับภูมิภาค (regional scale) เนื่องจากมีระยะทางการเคลื่อนที่ของคลื่นไกลมาก คลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้มักแสดงเป็นคลื่นเนื้อโลก (body wave) ไม่ชัดเจน ทำให้ขนาดแผ่นดินไหวส่วนใหญ่จึงวิเคราะห์มาจากคลื่นผิวโลก (surface wave) และรายงานในมาตราขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก

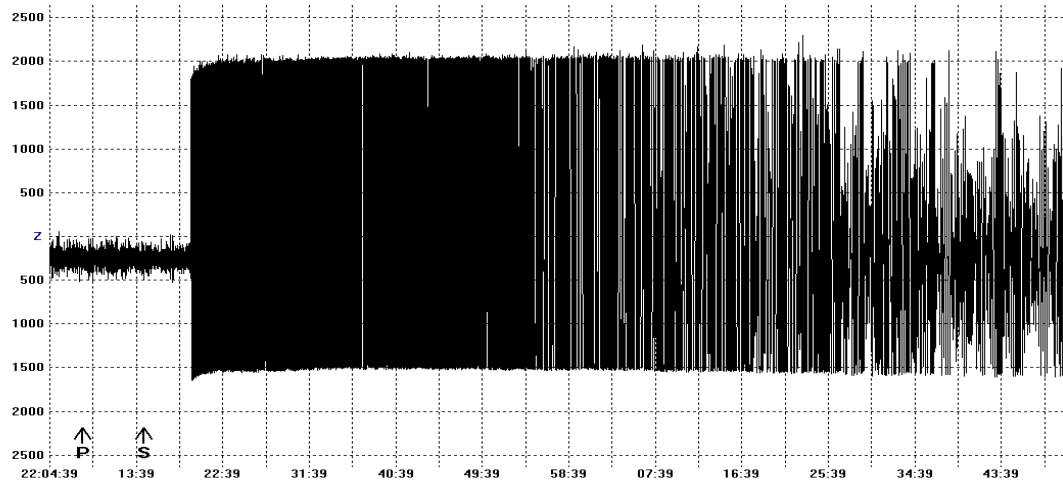
$M_w$  (Moment Magnitude) คือ การวัดแผ่นดินไหวจากโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่คิดจากจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน พื้นที่การเคลื่อนตัวตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่นั้นๆ มาตรการวัดแผ่นดินไหวชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัด ถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุด

ในการศึกษาพบว่าหากใช้ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นในการวิเคราะห์จะเกิดความผิดพลาดมาก โดยเฉพาะแผ่นดินไหวที่มาจากระยะไกล หรือการใช้ขนาดแผ่นดินไหวที่มาจากคลื่นเนื้อโลกหรือคลื่นผิวโลกจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและได้ผลต่างกันถึงแม้จะเป็นแผ่นดินไหวที่เป็นเหตุการณ์เดียวกันก็ตาม สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันนั้นอาจมาจากคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีข้อจำกัดในการวัดขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแบบหรือแต่ละคลื่น เช่นคลื่นเนื้อโลกและคลื่นผิวโลกต่างก็จะมีจุดความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว (saturation of earthquake magnitude) ตามรูป 3.2 ข้อจำกัดที่ว่านั้นอาจจะเป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินไปจนทำให้ขนาดที่สูงเกินไปไม่สามารถวัดได้

ดังนั้นหน่วยมาตรการวัดที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด คือ มาตรการวัดขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) เนื่องจากหน่วยวัดนี้ไม่มีการเกิดการอิ่มตัวของสัญญาณเหมือนกับหน่วยมาตรการวัดแผ่นดินไหวอื่นๆ



รูป 3.2 รูปแสดงค่าความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ  $M_w$  (Kagan และ Knopoff, 1980b)

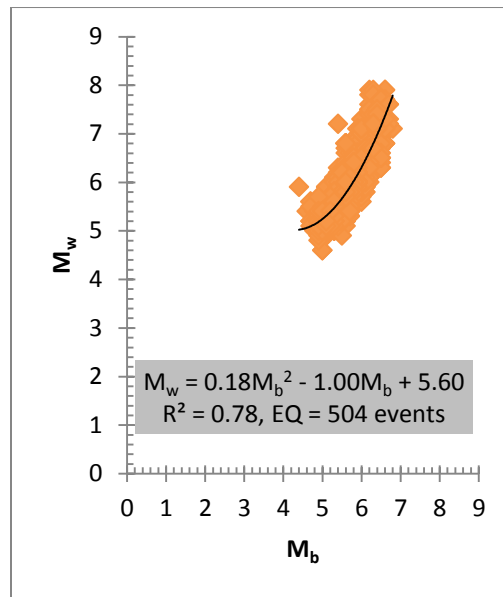


รูป 3.3 รูปแสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการอิ่มตัวของมาตรวัดแผ่นดินไหว ซึ่งให้ความสนใจกับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เป็นหลัก จึงประเมินว่าการใช้หน่วยขนาดแผ่นดินไหว  $M_w$  จึงเหมาะสมกับงานศึกษานี้มากที่สุด ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการปรับมาตรวัดแผ่นดินไหวทั้งหมดให้อยู่ในมาตรวัด  $M_w$  การแปลงข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวนั้น เริ่มต้นจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างมาตรวัดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์จะมีค่าเฉพาะตัวและแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่

โดยความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันที่นำมาใช้ในการแปลงมาตรวัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ความสัมพันธ์ดังนี้

### 3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )



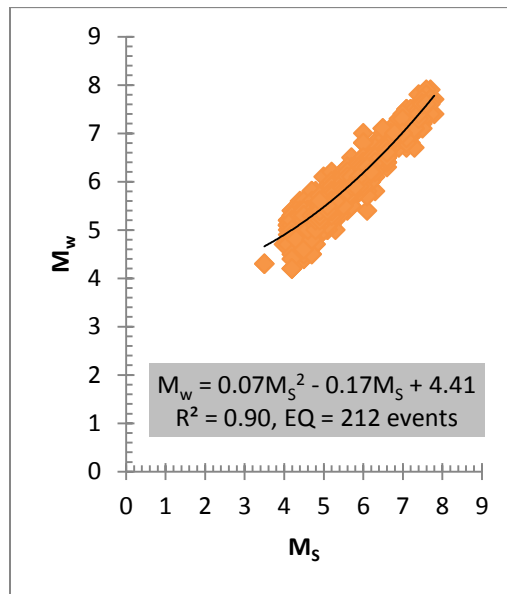
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) เป็นดังสมการ 3.1

$$M_w = 0.18M_b^2 - 1.00M_b + 5.60$$

สมการ (3.1)

### 3.2.2 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_S$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_W$ )



รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก( $M_S$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_W$ )

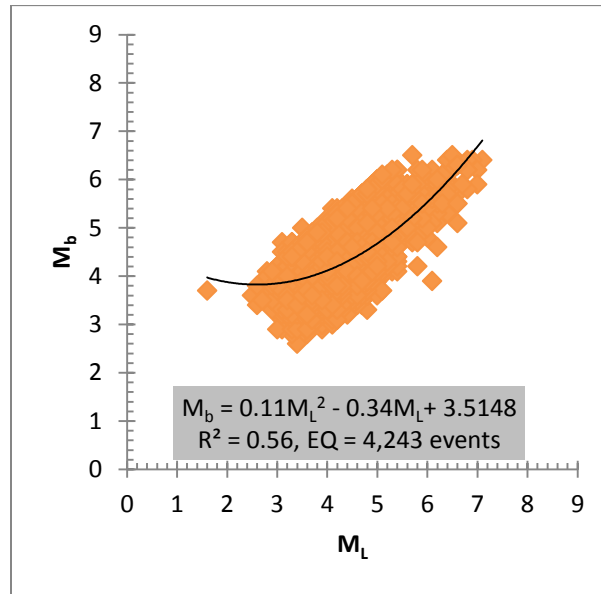
สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก( $M_S$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_W$ )  
เป็นดังสมการ 3.2

$$M_W = 0.07M_S^2 - 0.17M_S + 4.41$$

สมการ (3.2)



### 3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ )



รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ )

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) เป็นดังสมการ 3.3

$$M_b = 0.11M_L^2 - 0.34M_L + 3.5148$$

สมการ (3.3)

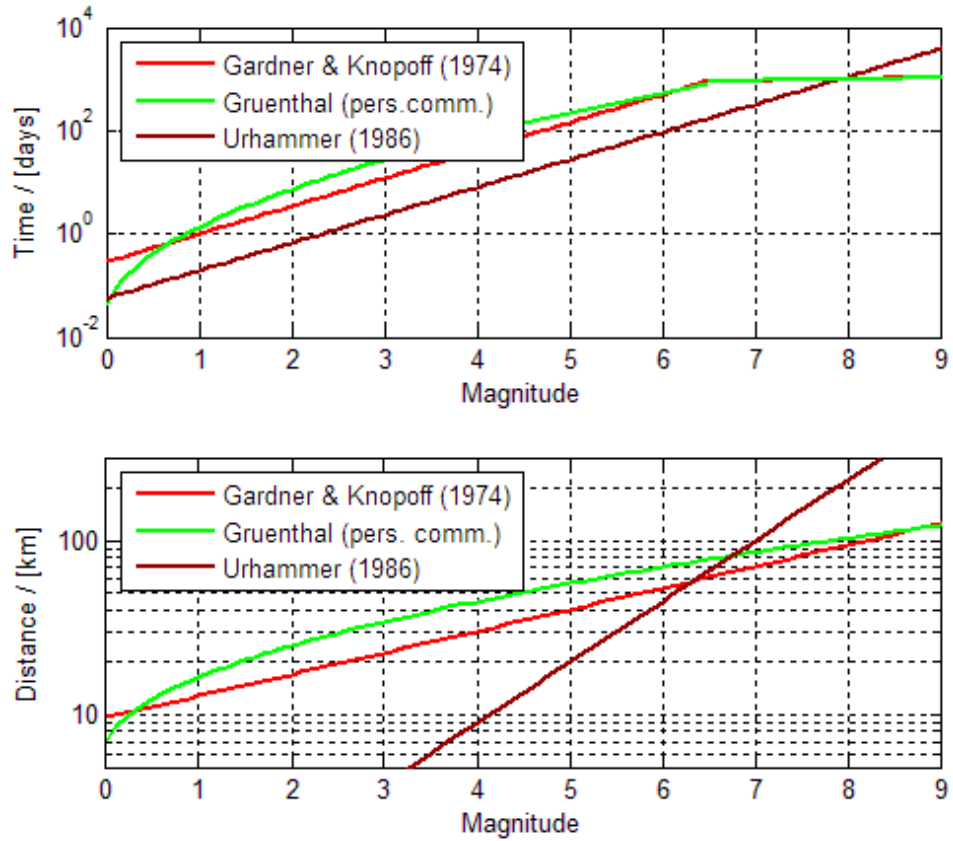
### 3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากการศึกษาฐานข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่าในการเกิดแผ่นดินไหวเหตุการณ์หนึ่งๆจะประกอบไปด้วยแผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์ย่อยๆด้วยกัน โดยสามารถจำแนกตามลำดับและกลไกการเกิดออกเป็น 3 ประเภท คือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock) แผ่นดินไหวหลัก (main shock) และ แผ่นดินไหวตาม (aftershock) โดยแผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้นอันเนื่องมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง ในขณะที่แผ่นดินไหวนำเกิดจากการเตรียมตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวหลัก ส่วนแผ่นดินไหวตามนั้นเกิดจากแรงเครียด (strain) ที่ถ่ายเทมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลักในแต่ละเหตุการณ์เพื่อปรับสภาพพื้นที่ให้อยู่ในสภาวะสมดุลมากที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐานนั้น ข้อมูลที่จะนำมาใช้จึงมีเพียงแผ่นดินไหวหลักเท่านั้นเนื่องจากหากใช้แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามมารวมในการวิเคราะห์จะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์นั้นแสดงถึงพฤติกรรมที่รุนแรงเกินความเป็นจริง นอกจากนี้จากการที่มีสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวกระจายตัวในหลายพื้นที่ ในการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละครั้งอาจทำให้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวซ้ำกัน

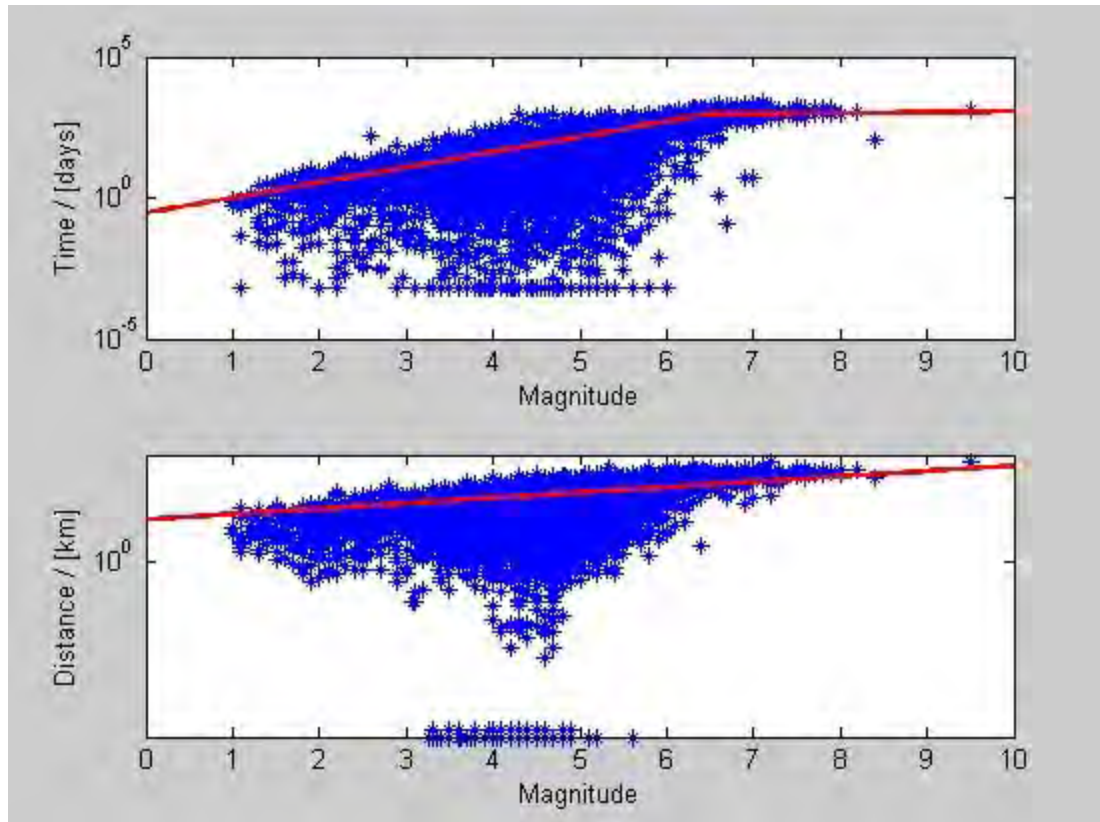
ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักและกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออก เพื่อให้เหลือเพียงข้อมูลแผ่นดินไหวที่แสดงถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่าง

- 1.ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
- 2.ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา
- 3.ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

การศึกษานี้จะใช้หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวตามแนวทางของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือครอบคลุมพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามนั้นก็สั้นในทางเดียวกันกับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้น ระยะเวลาของการปรับตัวของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้นเพราะว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเลื่อนของแผ่นดินไหวมีพื้นที่ที่กว้าง ต้องใช้เวลาในการปรับให้เข้าสู่สมดุลนานดังรูปที่ 3.7

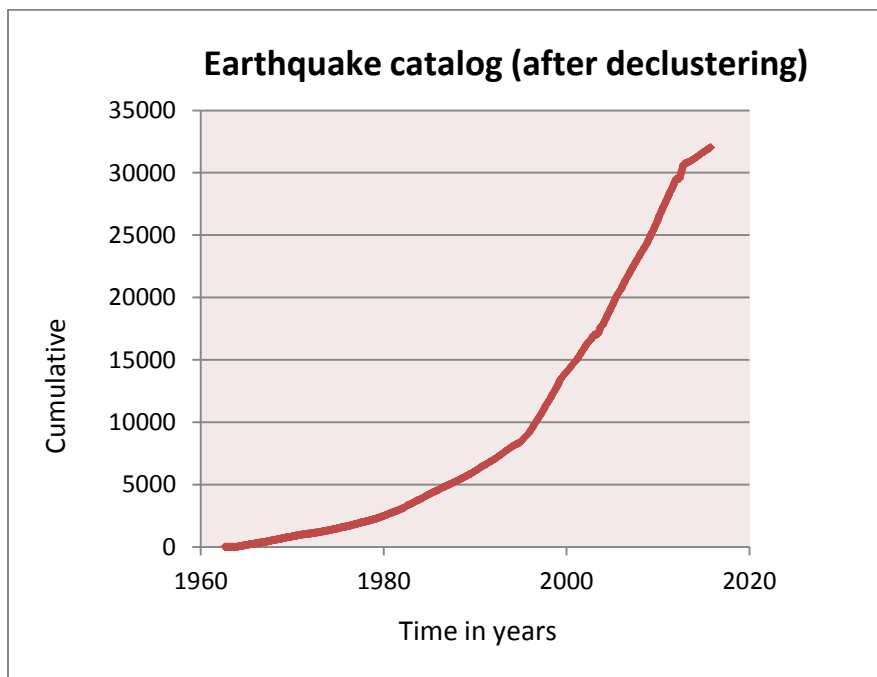
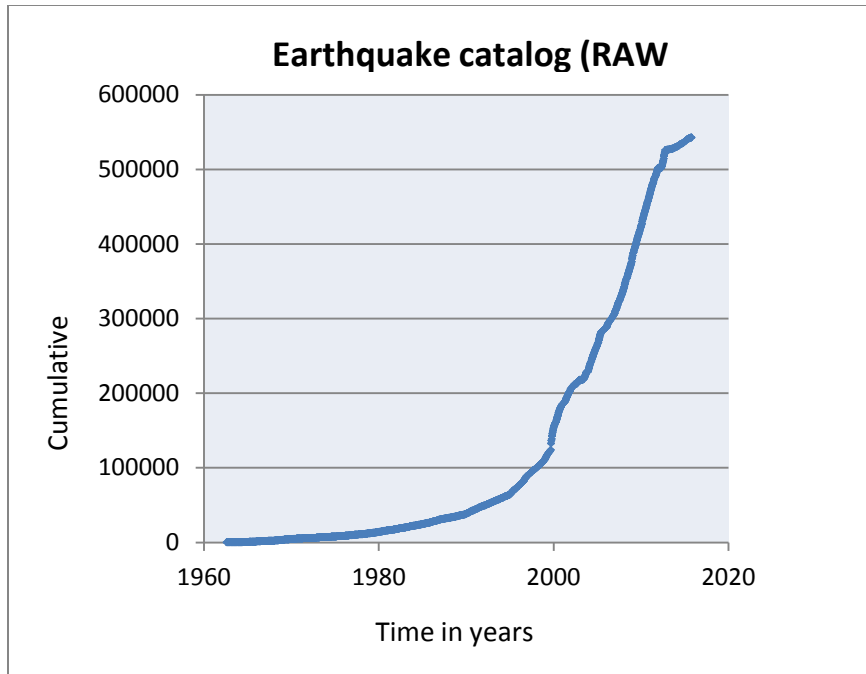


รูป 3.7 หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ตาม สมมติฐานต่างๆ ในโครงการนี้จะใช้ของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเป็นวิธีการที่ นิยมใช้มากที่สุดในงานวิจัยแผ่นดินไหวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ 3.8 แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเส้นสีแดงแสดงถึงกรอบของเวลา (ด้านบน) และกรอบของระยะทาง (ด้านล่าง) โดยข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นสีแดง คือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

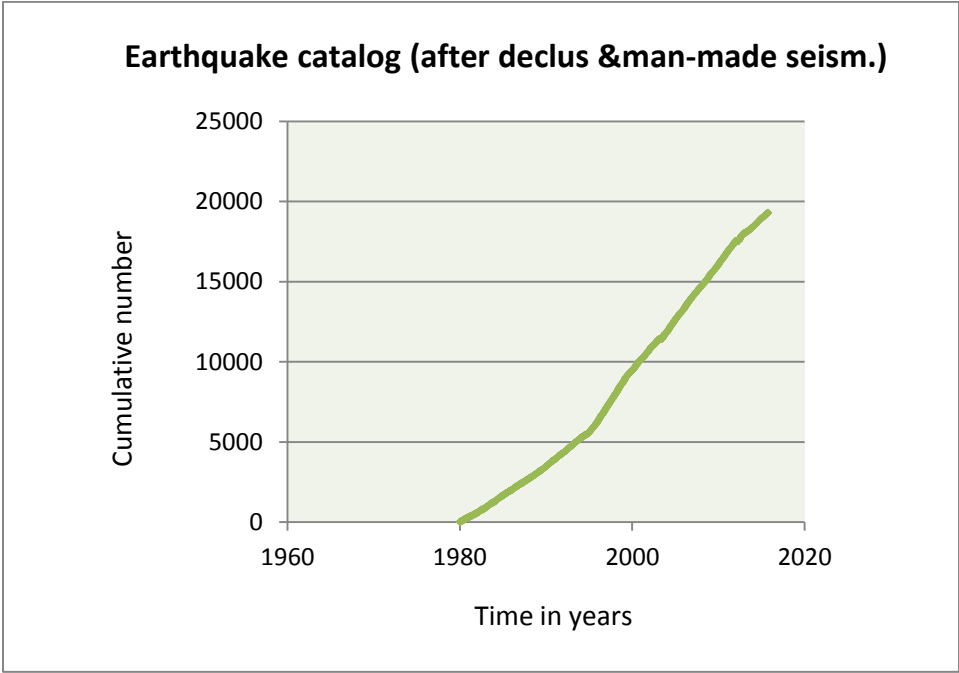
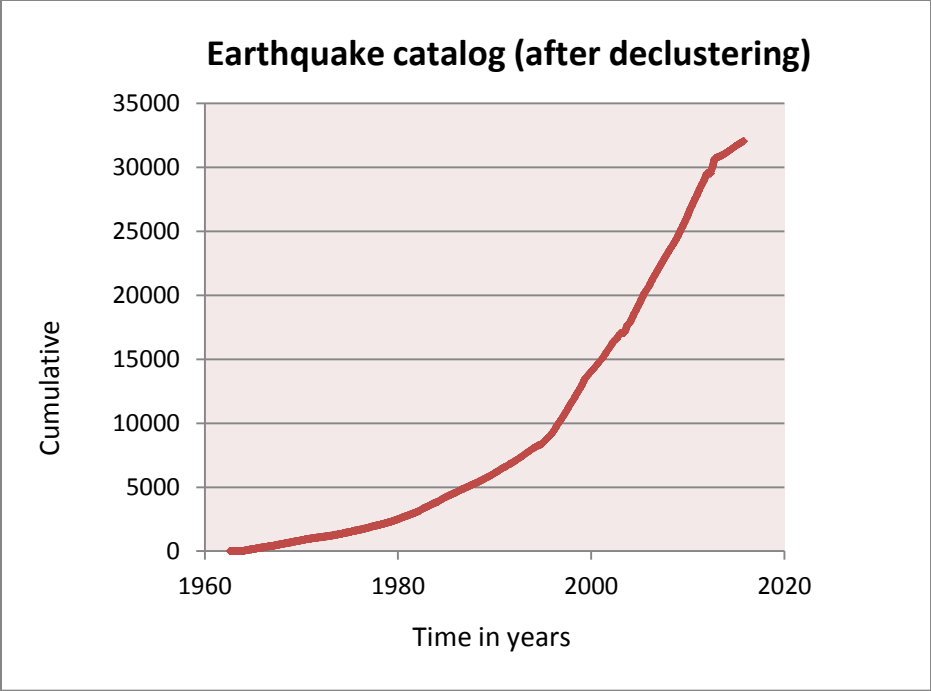
จากการศึกษานี้สามารถจัดกลุ่มของแผ่นดินไหวได้ 18,061 กลุ่มแผ่นดินไหว (earthquake cluster) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 510,705 เหตุการณ์ (คิดเป็น 94.1% จากเหตุการณ์ทั้งหมด 542,726 เหตุการณ์) และจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 32,021 เหตุการณ์ โดยข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดอยู่ในระหว่างปี 1962 ถึงปี 2015 และขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-9.5 จากนั้นสามารถนำข้อมูลมาทำเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม (cumulative number of earthquake) ในแกนตั้งและปีของการตรวจวัดในแกนนอน พบว่ามีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นตามรูป 3.9 สืบถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานที่เป็นต้นเหตุของแผ่นดินไหวได้ค่าใกล้เคียงมากกว่าชุดข้อมูลก่อนการเตรียมข้อมูล



รูป 3.9 กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนเข้าขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 542,726 เหตุการณ์ (บน)และหลังการเตรียมข้อมูลเหลือ 32,021 เหตุการณ์ (ล่าง) ด้วยการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก,การคัดเลือกแผ่นดินไหวที่ซ้ำกัน

### 3.4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

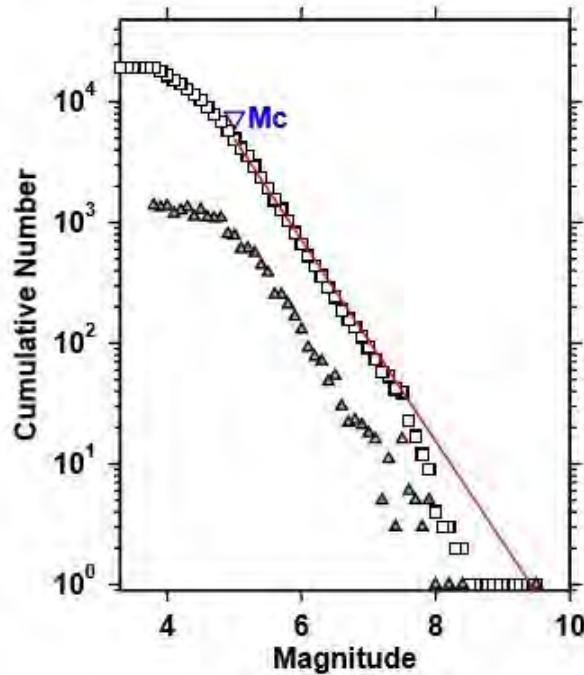
ในทางทฤษฎี นักแผ่นดินไหวเชื่อว่ากระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเป็นกลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวนั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลาดังนั้น อัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปี ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวตามเวลาของการบันทึกนั้นควรจะเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามจำนวนแผ่นดินไหวสะสมจากข้อมูลหลังการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงอย่างสมบูรณ์ตามรูป 3.10 นักแผ่นดินไหววิทยาจึงคาดว่าอาจจะมีการปรับแก้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้นั้นยังไม่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ที่มักได้รับผลกระทบต่างๆ 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 3.10 (บน) กราฟแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมี 32,021 เหตุการณ์ และ (ล่าง) หลังการตรวจสอบแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เหลือ 19,296 เหตุการณ์ ทำเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม

### 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  $M_c$  ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์ตามรูป 3.11



รูป 3.11 แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพพอสามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ  $M_c = 5$



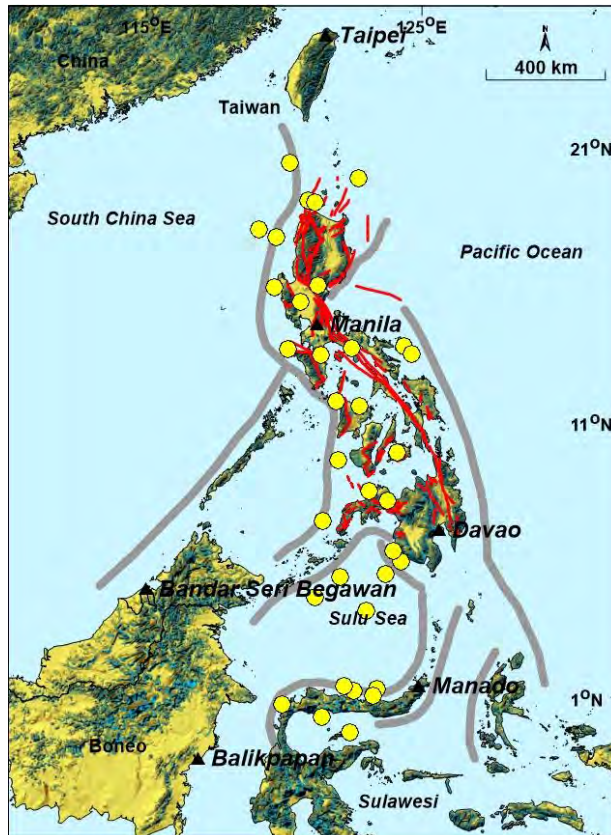
บทที่ 4  
การวิเคราะห์และผลการศึกษา  
(ANALYSIS AND RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

เป็นวิธีการจำลองจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตโดยเลือกเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆมาวิเคราะห์ ทำซ้ำหลายครั้ง จนได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์แผ่นดินไหวและนำเงื่อนไขนั้นมาประยุกต์ใช้กับระยะเวลาปัจจุบันเพื่อหาสิ่งที่สามารถทำนาย (forecast) เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่กำลังจะเกิดขึ้นได้

4.1.1. คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)

ขั้นตอนแรกหลังจากเตรียมข้อมูลเสร็จแล้ว จะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษาซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้มีกรณีศึกษารวมทั้งสิ้น 34 เหตุการณ์ ดังรูป 4.1 และตาราง 4.1



รูป 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 34 เหตุการณ์ ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีเหลือง

ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา รวมทั้งสิ้น 34 เหตุการณ์

Events	Longitude	Latitude	Year	Month	day	Magnitude ( $M_w$ )	Depth (km)	Hour	Minute
1	124.358	13.752	1982	1	11	7.2	19.0	6	10
2	123.762	8.147	1984	3	5	7.3	651.0	3	33
3	121.400	7.400	1984	3	5	7.2	33.0	3	32
4	122.380	-0.290	1984	8	6	7.4	252.8	12	2
5	119.700	17.700	1985	4	23	7.3	189.0	16	15
6	120.610	15.344	1985	4	23	7.0	191.0	16	15
7	124.616	13.477	1988	2	24	7.2	37.0	3	52
8	123.350	1.310	1990	4	18	7.6	33.2	13	39
9	121.899	11.760	1990	6	14	7.0	20.0	7	40
10	121.230	15.970	1990	7	16	7.7	15.0	7	26
11	123.230	1.040	1991	6	20	7.5	15.0	5	19
12	122.700	19.860	1993	5	18	7.1	189.0	10	19
13	121.320	13.440	1994	11	14	7.1	15.0	19	15
14	119.930	0.740	1996	1	1	7.9	15.0	8	5
15	122.536	1.241	1997	11	25	7.0	18.0	12	14
16	122.030	5.380	1999	3	4	7.1	18.0	8	52
17	121.350	0.300	1999	3	18	7.3	0.0	1	58
18	119.640	15.870	1999	12	11	7.3	35.1	18	3
19	124.250	5.920	2002	3	5	7.5	28.7	21	16
20	121.134	4.644	2002	3	5	7.2	18.2	21	16
21	123.670	5.470	2005	2	5	7.1	530.6	12	23
22	121.950	9.624	2006	2	15	7.9	2.0	18	29
23	122.727	11.571	2006	2	15	7.4	96.0	10	10

24	123.086	8.472	2006	2	26	7.8	31.0	22	31
25	120.148	13.640	2006	3	3	7.0	36.0	14	41
26	120.217	20.393	2006	5	26	8.2	4.0	15	57
27	120.884	19.054	2006	6	1	8.4	13.0	18	57
28	119.075	17.992	2006	6	5	8.0	124.0	0	50
29	121.117	18.974	2006	10	9	9.5	11.0	19	6
30	122.440	13.660	2007	5	21	7.5	0.0	16	55
31	122.190	1.390	2008	11	16	7.5	36.0	17	2
32	123.980	6.324	2010	7	23	7.9	520.5	22	51
33	122.981	4.137	2011	2	10	7.0	346.3	14	41
34	124.117	9.880	2013	10	15	7.1	19.0	0	12

#### 4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of Condition)

โดยอาศัยวิธีการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นแล้วในอดีต โดยสร้างเงื่อนไขและกำหนดตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ซ้ำๆ ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยวิธีการทางสถิติของ Wiemer (2001) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือที่สุดในการนำมาใช้วิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวในระยะเวลาปัจจุบัน โดยตัวแปรที่ต้องกำหนดคือ กรอบเวลาที่สนใจ, จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี โดยใช้สมการ (2.1)

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

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้สมการ (2.1) จะได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดแผ่นดินไหว (Z value) ก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ที่เคยมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นแล้ว จากนั้นเลือกเฉพาะเงื่อนไขที่ให้ค่า Z สูงสุดในแต่ละพื้นที่ แล้วนำมาจัดกลุ่มโดยใช้กรอบเวลาและจำนวนเหตุการณ์ในการจัดกลุ่ม ซึ่งจะได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในเบื้องต้น ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลของแผ่นดินไหวด้วยสมการ (2.1)

Num Events	Tw (year)	Lon	Lat	Year	$M_w$	Radius (km)	Ts (year)	Zmax	Detection of Quiescence (year)
25	1.5	121.117	18.974	2006.77	9.5	34.05	2001.02	4.9	5.7
25	1.5	122.981	4.137	2011.11	7.0	39.61	2009.50	5.1	1.6
25	2.0	121.117	18.974	2006.77	9.5	34.05	2001.02	4.9	5.7
25	2.0	122.981	4.137	2011.11	7.0	39.61	2002.48	5.1	8.6
25	2.5	123.350	1.310	1990.30	7.6	87.00	1985.18	1.8	5.1
25	2.5	123.230	1.040	1991.47	7.5	97.09	1985.18	2.3	6.3
25	3.0	121.320	13.440	1994.87	7.1	64.36	1991.47	1.2	3.4
25	3.5	124.616	13.477	1988.15	7.2	131.97	1982.58	2.5	5.6
25	4.5	121.899	11.760	1990.45	7.0	118.15	1984.80	1.3	5.7
25	4.5	120.610	15.344	1985.31	7.0	121.43	1980.01	0.5	5.3
50	2.0	119.700	17.700	1985.31	7.3	238.75	1981.04	0.6	4.3
50	2.5	123.980	6.324	2010.56	7.9	57.62	2002.29	6.9	8.3
50	3.0	122.440	13.660	2007.39	7.5	83.32	1997.80	3.8	9.6
50	3.0	122.536	1.241	1997.90	7.0	87.31	1989.79	3.7	8.1
75	1.5	120.148	13.640	2006.17	7.0	77.99	2002.90	3.0	3.3
75	1.5	124.117	9.880	2013.79	7.1	80.33	2011.69	7.9	2.1
100	1.5	121.350	0.300	1999.21	7.3	118.72	1993.78	3.7	5.4
100	1.5	121.320	13.440	1994.87	7.1	151.38	1991.55	1.7	3.3
100	1.5	123.230	1.040	1991.47	7.5	180.22	1985.34	2.0	6.1
125	1.5	121.320	13.440	1994.87	7.1	187.38	1988.48	2.6	6.4
125	1.5	123.230	1.040	1991.47	7.5	201.47	1985.34	3.0	6.1
125	1.5	123.350	1.310	1990.30	7.6	210.30	1985.53	2.5	4.8

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในเบื้องต้นแล้ว เราจะนำมาพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี, ระยะเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา จากโครงการวิจัยนี้จะพิจารณา 48 เงื่อนไขด้วยกัน ซึ่งจะแสดงตัวอย่างเงื่อนไขดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงข้อมูลตัวอย่าง 12 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ โดยตัวแปรที่กำหนดประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, ระยะเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา

เงื่อนไขที่ 1	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	1.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	30 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 2	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	26 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 3	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	19 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 4	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	3.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	20 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 5	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	3.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	14 เหตุการณ์

<b>เงื่อนไขที่ 6</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	4.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	12 เหตุการณ์
<b>เงื่อนไขที่ 7</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	4.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	12 เหตุการณ์
<b>เงื่อนไขที่ 8</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	5.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	10 เหตุการณ์
<b>เงื่อนไขที่ 9</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	50 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	1.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	21 เหตุการณ์
<b>เงื่อนไขที่ 10</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	50 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	17 เหตุการณ์
<b>เงื่อนไขที่ 11</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	50 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	2.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	14 เหตุการณ์
<b>เงื่อนไขที่ 12</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	50 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	3.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	13 เหตุการณ์

เริ่มทำการทดสอบย้อนกลับของกรณีศึกษาที่ละกรณีโดยคัดเลือกเหตุการณ์ของกรณีศึกษา มา 1 เหตุการณ์และเลือกเฉพาะข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นก่อนเหตุการณ์ของกรณีศึกษาที่นำมาพิจารณา แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวด้วยสมการ (2.1) เช่น เหตุการณ์ที่ 1 จากตาราง 4.1 ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 แสดงรายละเอียดตัวอย่างเหตุการณ์ที่ 1

Events	Longitude	Latitude	Year	Month	day	Magnitude ( $M_w$ )	Depth (km)	Hour	Minute
1	124.358	13.752	1982	1	11	7.2	19.0	6	10

เหตุการณ์แผ่นดินไหวของกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นวันที่ 11 มกราคม ปี ค.ศ. 1982 ดังนั้นจะต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ที่มีการบันทึกจนถึงช่วงเวลานี้มาศึกษา โดยใช้สมการ (2.1) ในการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อหาค่า  $Z$  ตามเงื่อนไขที่ 1 จากตาราง 4.3 ทำวิธีเดียวกันกับทุกกรณีศึกษาด้วยเงื่อนไขเดียวกัน จากนั้นจึงเริ่มใช้เงื่อนไขที่ 2 มาวิเคราะห์ต่อ ทำเช่นนี้ไปจนครบทั้ง 48 เงื่อนไขดังตาราง 4.3 สุดท้ายจะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของทั้งพื้นที่ในช่วงเวลาของเหตุการณ์ของกรณีศึกษา แล้วนำไปทำแผนที่เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเงื่อนไขต่างๆ

เมื่อได้แผนที่การทดสอบย้อนกลับและทำการพิจารณาความเหมาะสมครบทุกเงื่อนไขแล้ว พบว่าเงื่อนไขที่ 2 ที่มีจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี 25 เหตุการณ์ ในรอบเวลา 2 ปี รัศมี 300 กิโลเมตร จัดเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสม เนื่องจากเงื่อนไขนี้มีจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา ที่สามารถตรวจพบค่าความผิดปกติก่อนการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จำนวน 26 เหตุการณ์ จากจำนวนทั้งหมด 34 เหตุการณ์ ในระยะเวลา 1-10 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำนาย (forecast) เหตุการณ์แผ่นดินไหว ในช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term) นอกจากนี้พบว่าค่า  $Z$  ส่วนอยู่ในช่วง 0.4-5.1 ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดปกติที่ตรวจพบมีความชัดเจนค่อนข้างสูง ดังรูป 4.2

ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับโครงการวิจัยนี้ คือ เงื่อนไขที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ

<b>เงื่อนไขที่ 2</b>	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	รอบเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	26 เหตุการณ์

### 4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสม ช่วงเวลา และค่า Z

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมแล้ว ต้องนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงค่า Z เชิงเวลา (Temporal) โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ปรับปรุงฐานข้อมูลแล้ว ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ต้นจนถึงข้อมูลปัจจุบัน ด้วยสมการ (2.1) เพื่อเป็นการพิจารณาค่า Z และระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่านกราฟความสัมพันธ์ซึ่งมีแกนตั้งสองแกนประกอบด้วยแกนแสดงข้อมูลจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและแกนแสดงค่า Z และแกนนอนแสดงระยะเวลาปี โดยปรากฏผลการวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 4.2

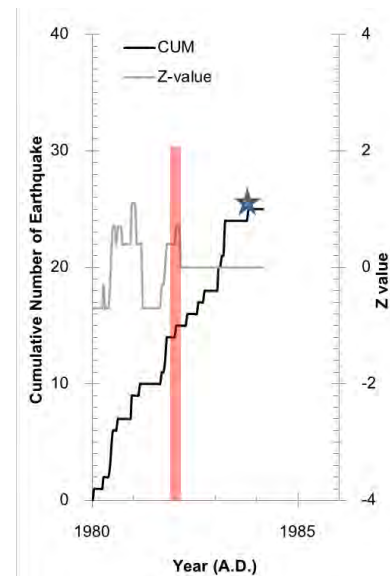
1) Magnitude: 7.2 Mw

Date: 11/01/1982

N/A

2) Magnitude: 7.3 Mw

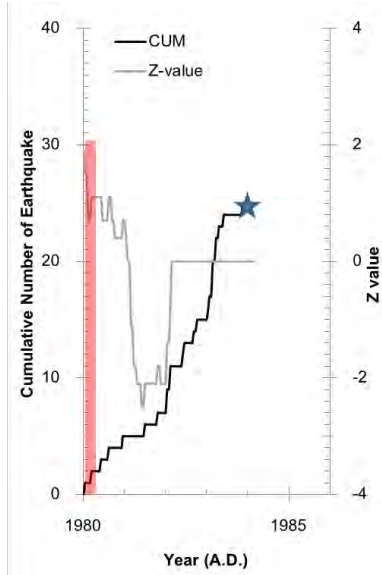
Date: 5/03/1984





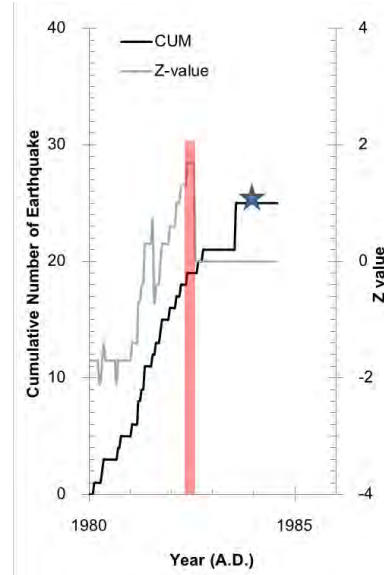
**3) Magnitude: 7.2 Mw**

**Date: 5/03/1984**



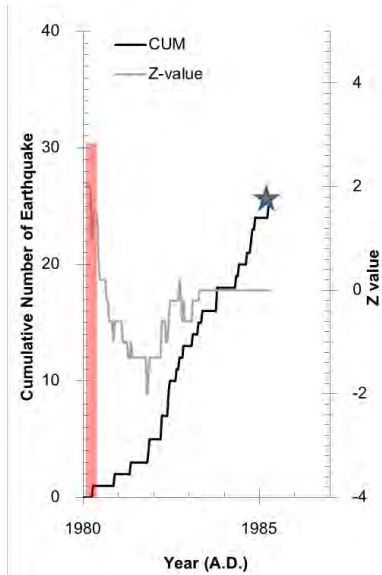
**4) Magnitude: 7.4 Mw**

**Date: 6/08/1984**



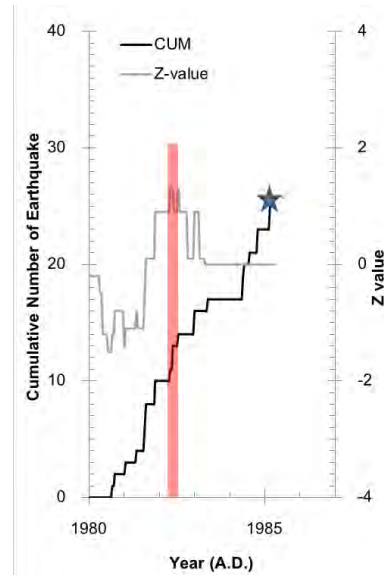
**5) Magnitude: 7.3 Mw**

**Date: 23/04/1985**



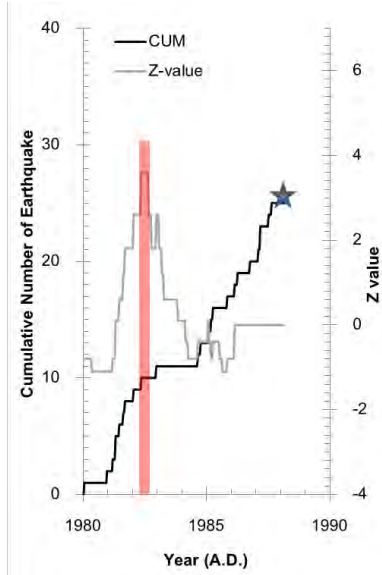
**6) Magnitude: 7.0 Mw**

**Date: 23/04/1985**



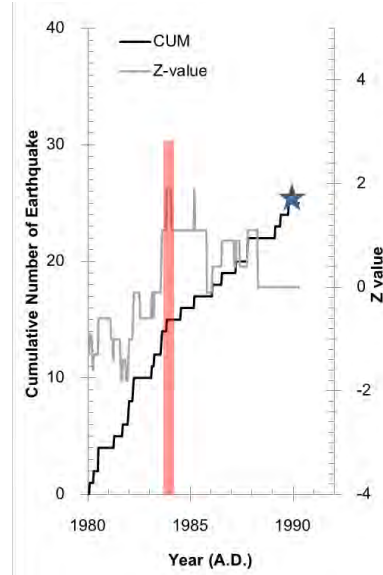
**7) Magnitude: 7.2 Mw**

**Date: 24/02/1988**



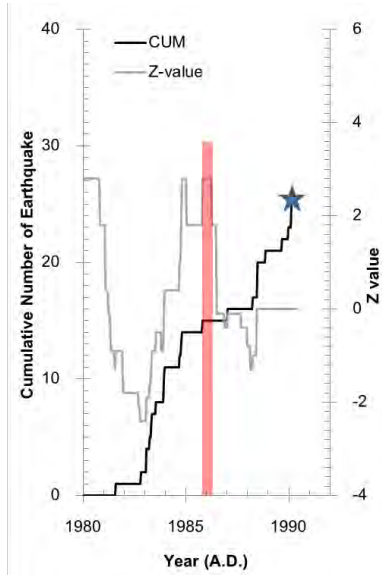
**8) Magnitude: 7.6 Mw**

**Date: 18/04/1990**



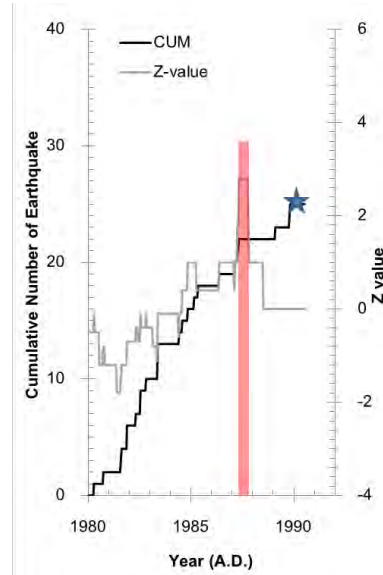
**9) Magnitude: 7.0 Mw**

**Date: 14/06/1990**



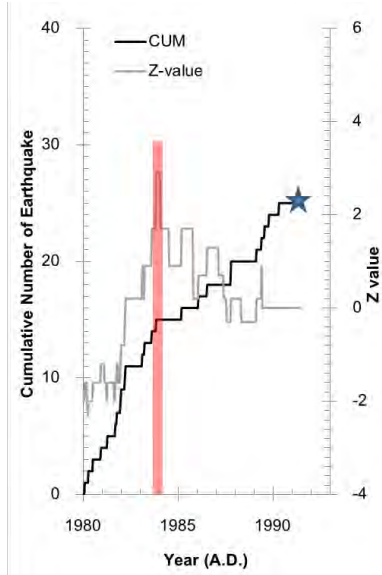
**10) Magnitude: 7.7 Mw**

**Date: 16/07/1990**



**11) Magnitude: 7.5 Mw**

**Date: 20/06/1991**



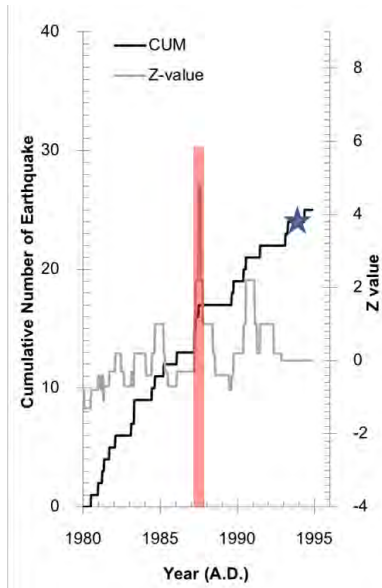
**12) Magnitude: 7.1 Mw**

**Date: 18/05/1993**

N/A

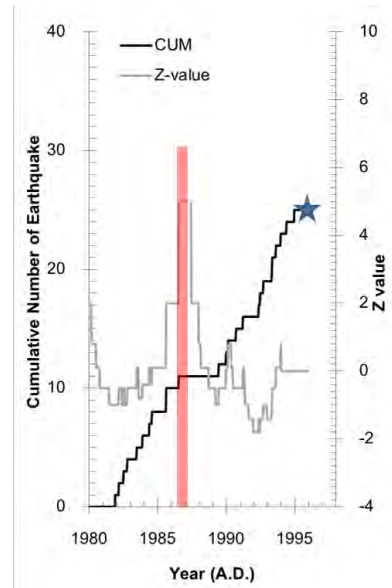
**13) Magnitude: 7.1 Mw**

**Date: 14/11/1994**



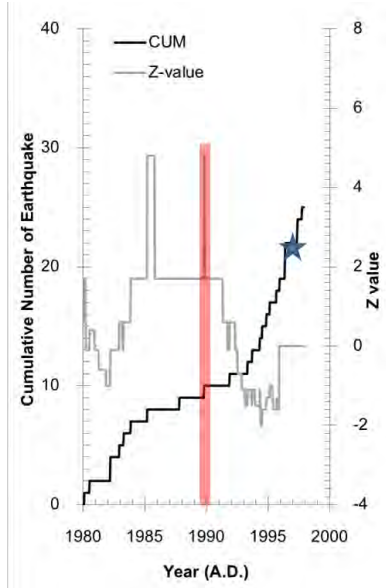
**14) Magnitude: 7.9 Mw**

**Date: 1/01/1996**



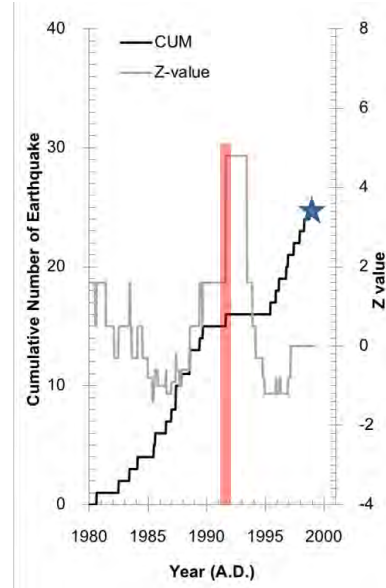
**15) Magnitude: 7.0 Mw**

**Date: 25/11/1997**



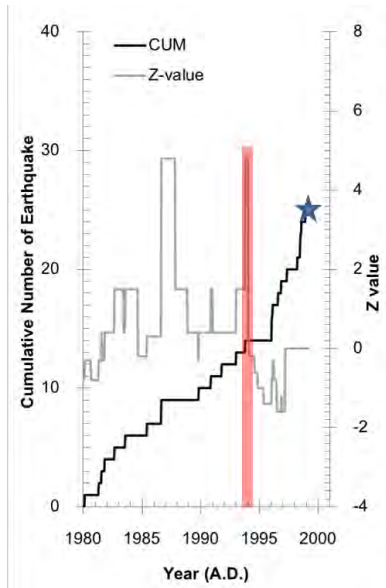
**16) Magnitude: 7.1 Mw**

**Date: 4/03/1999**



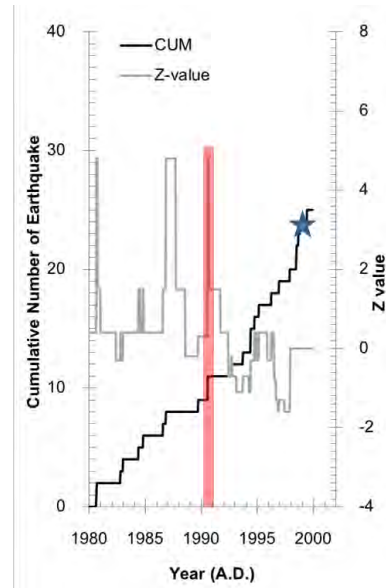
**17) Magnitude: 7.3 Mw**

**Date: 18/03/1999**



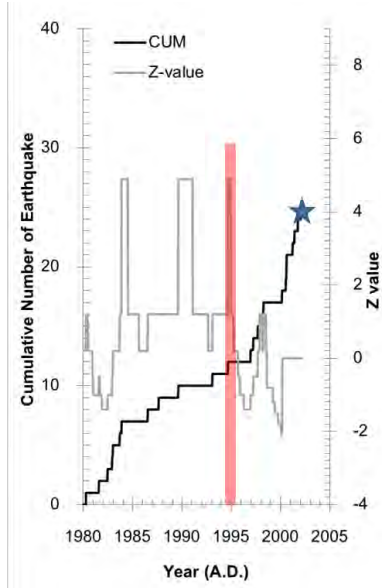
**18) Magnitude: 7.3 Mw**

**Date: 11/12/1999**



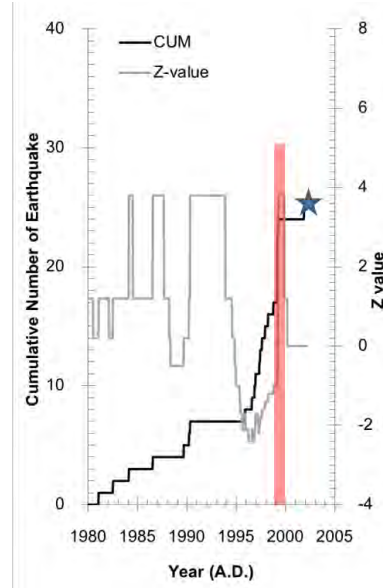
**19) Magnitude: 7.5 Mw**

**Date: 5/03/2002**



**20) Magnitude: 7.2 Mw**

**Date: 5/03/2002**



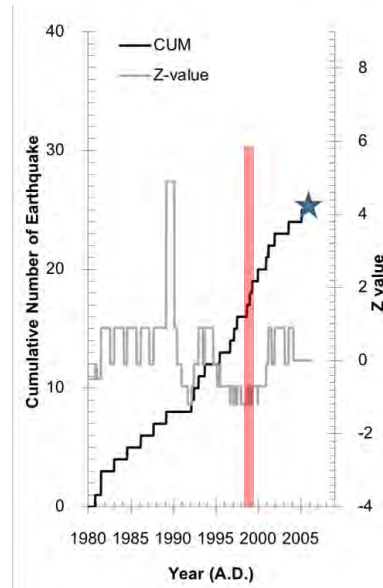
**21) Magnitude: 7.1 Mw**

**Date: 5/02/2005**

N/A

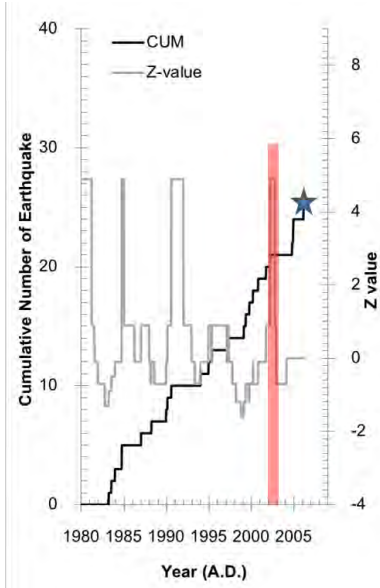
**22) Magnitude: 7.9 Mw**

**Date: 15/02/2006**



**23) Magnitude: 7.4 Mw**

**Date: 15/02/2006**



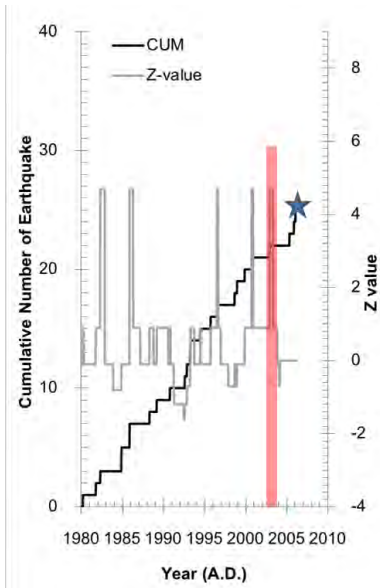
**24) Magnitude: 7.8 Mw**

**Date: 26/02/2006**

N/A

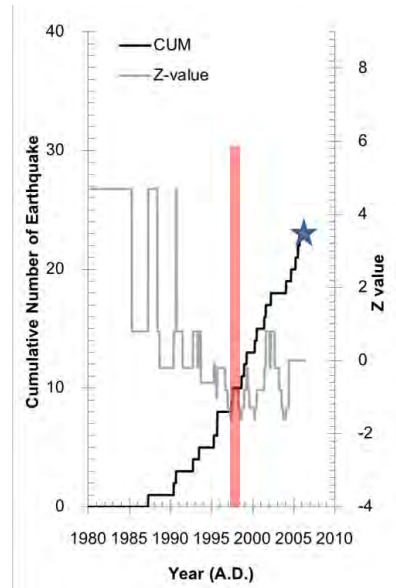
**25) Magnitude: 7.0 Mw**

**Date: 3/03/2006**



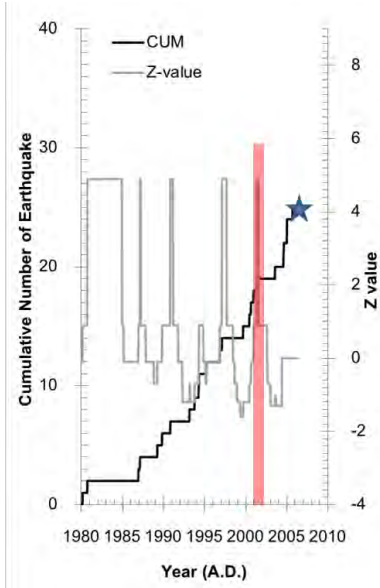
**26) Magnitude: 8.2 Mw**

**Date: 26/05/2006**



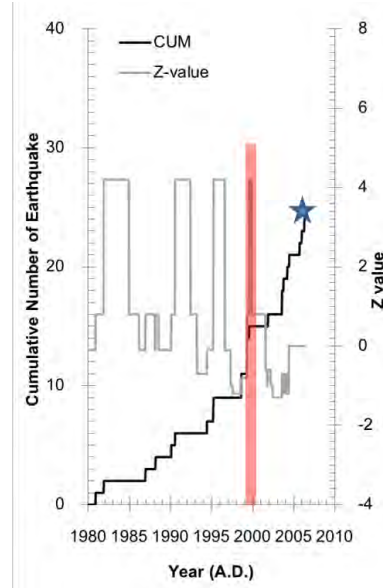
**27) Magnitude: 8.4 Mw**

**Date: 1/06/2006**



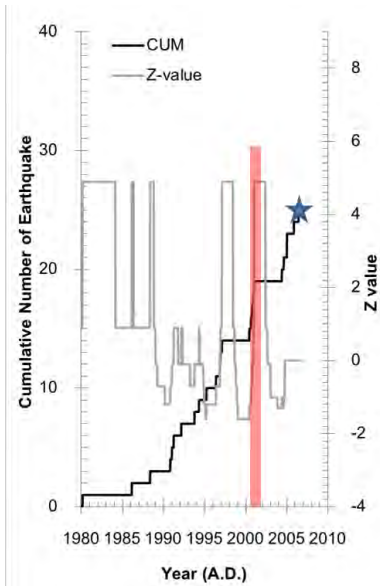
**28) Magnitude: 8.0 Mw**

**Date: 5/06/2006**



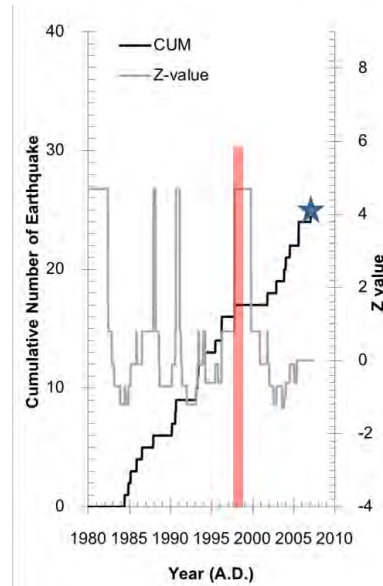
**29) Magnitude: 9.5 Mw**

**Date: 9/10/2006**



**30) Magnitude: 7.5 Mw**

**Date: 21/05/2007**



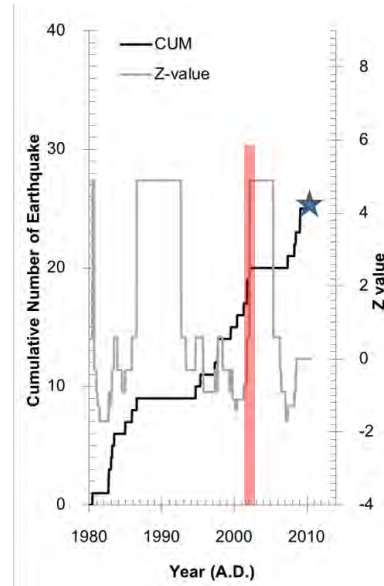
31) Magnitude: 7.5 Mw

Date: 16/11/2008

N/A

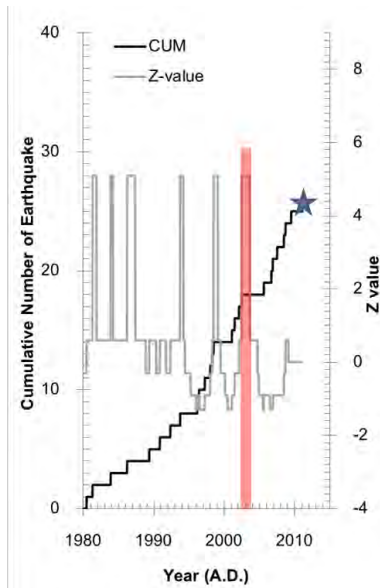
32) Magnitude: 7.9 Mw

Date: 23/07/2010



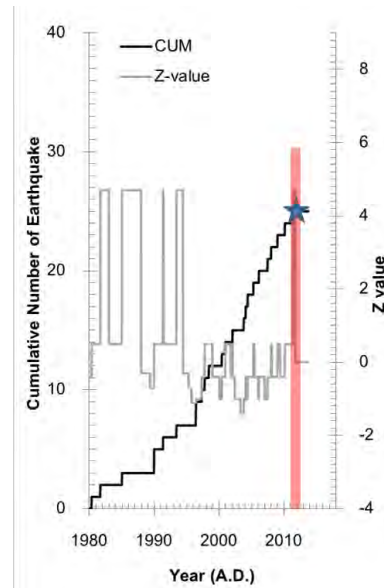
33) Magnitude: 7.0 Mw

Date: 10/02/2011



34) Magnitude: 7.1 Mw

Date: 15/10/2013



รูป 4.2 กราฟแสดงค่า Z สูงสุด แทนด้วยแท่งสีแดงในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาทั้ง 34 เหตุการณ์โดยดาวสีแดง แทนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นและ N/A แทนข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ในการใช้วิเคราะห์



#### 4.1.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z value)

เมื่อได้พิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวจากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้นแล้ว จะนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ เพื่อที่จะแสดงค่าความผิดปกติ หรือค่า Z สูงสุดในแต่ละเหตุการณ์การศึกษา โดยจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (spatial distribution of Z value) ด้วยโปรแกรม Surfer v.11 ซึ่งต้องพิจารณาแผนที่ดังกล่าวในแต่ละเหตุการณ์การศึกษาเพื่อหาเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยจะต้องแสดงค่าผิดปกติของค่า Z อย่างชัดเจนและต้องสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของแผนที่ดังกล่าวแล้ว พบว่าเหตุการณ์การศึกษาส่วนใหญ่แสดงค่าผิดปกติของค่า Z ที่ทั้งสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่และมีบางส่วนที่ไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริง โดยแสดงตัวอย่างในแผนที่ ดังรูป 4.3

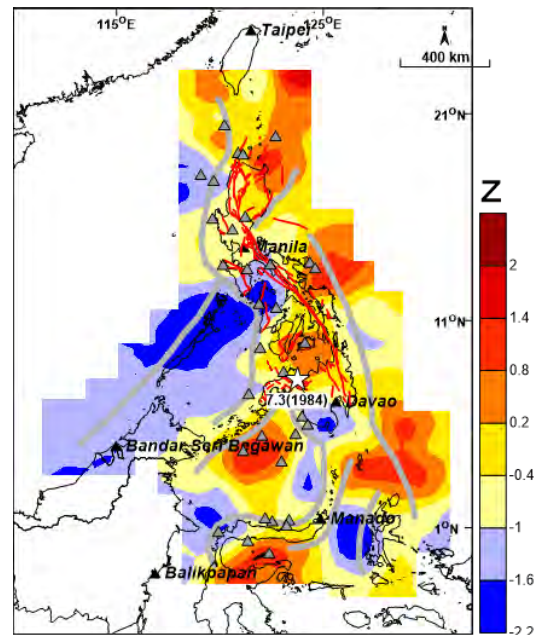
1) Magnitude: 7.2 Mw

Date: 11/01/1982

N/A

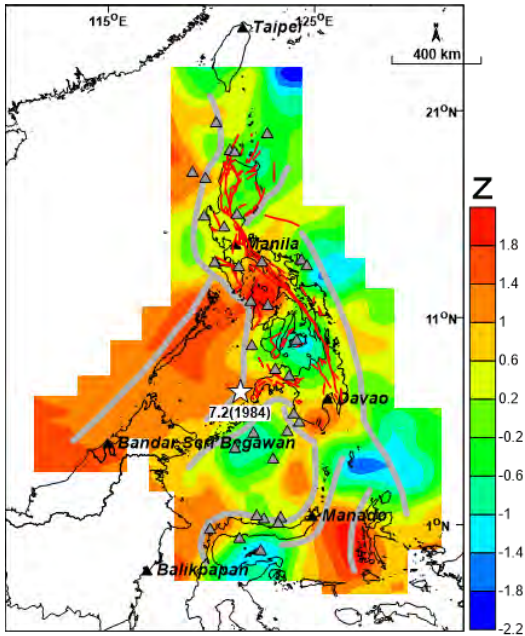
2) Magnitude: 7.3 Mw

Date: 5/03/1984



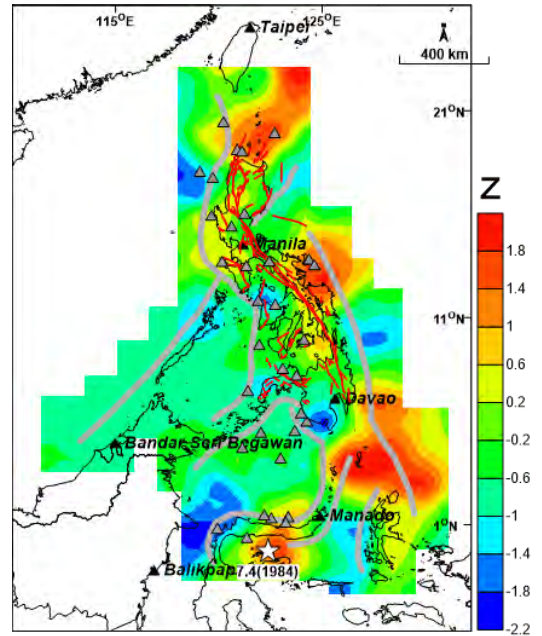
3) Magnitude: 7.2 Mw

Date: 5/03/1984



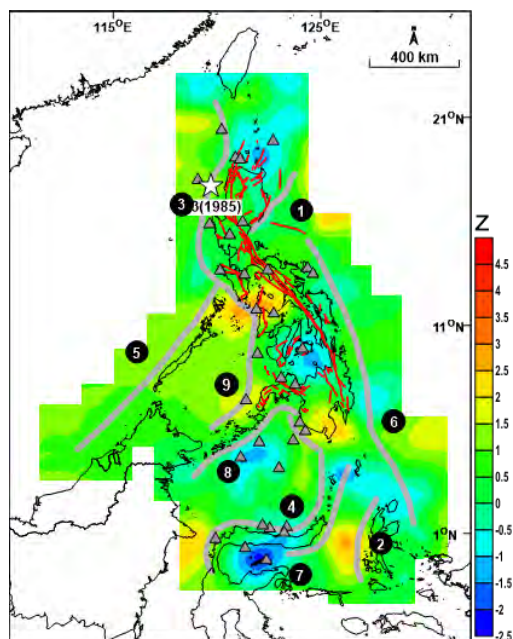
4) Magnitude: 7.4 Mw

Date: 6/08/1984



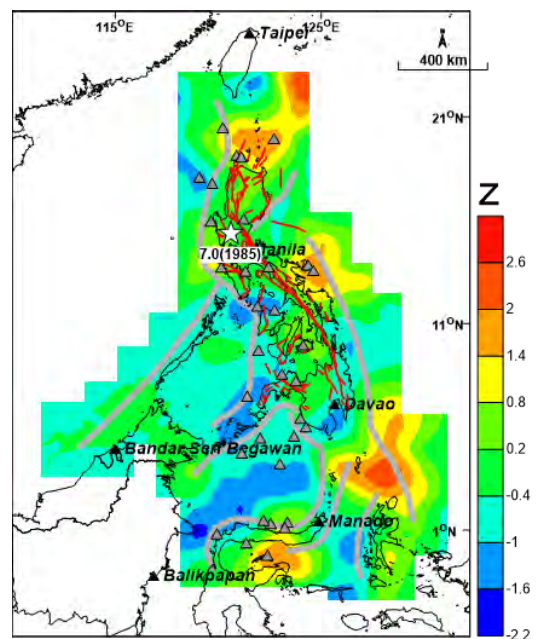
5) Magnitude: 7.3 Mw

Date: 23/04/1985



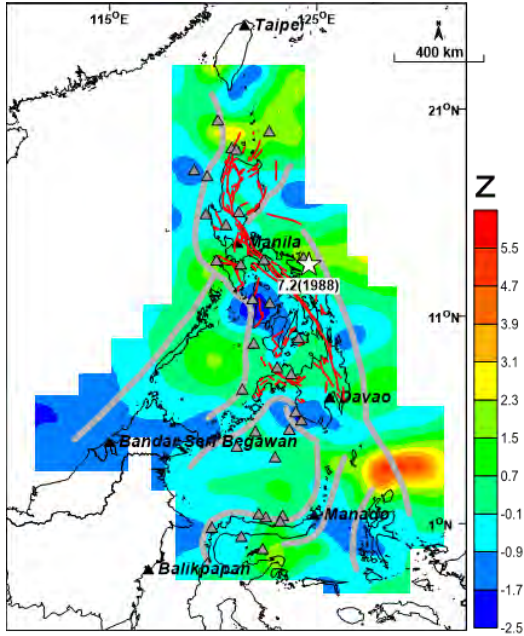
6) Magnitude: 7.0 Mw

Date: 23/04/1985



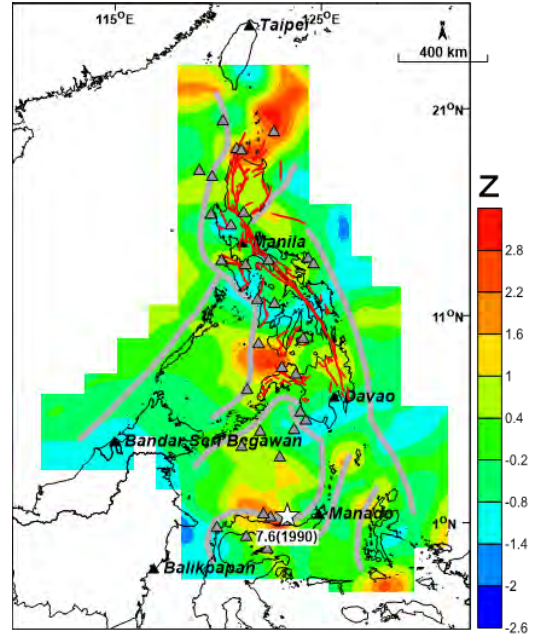
7) Magnitude: 7.2 Mw

Date: 24/02/1988



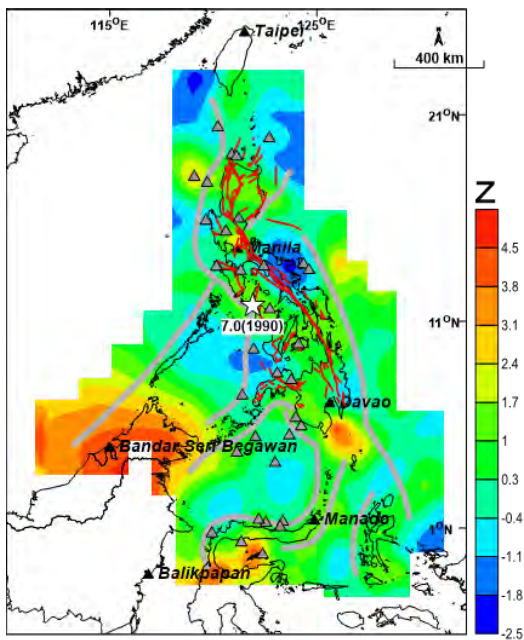
8) Magnitude: 7.6 Mw

Date: 18/04/1990



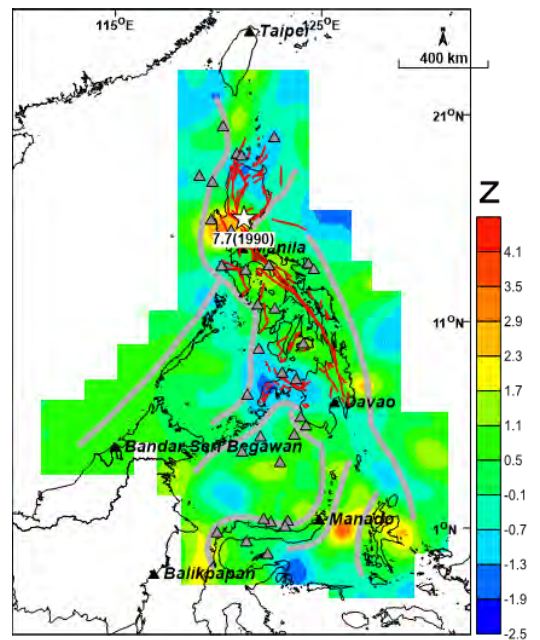
9) Magnitude: 7.0 Mw

Date: 14/06/1990



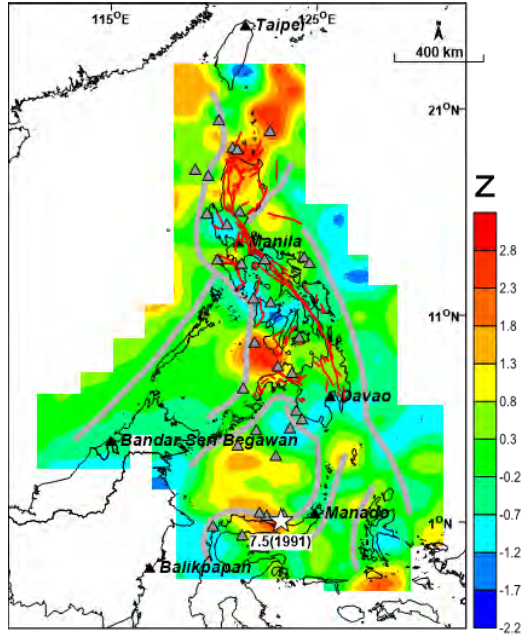
10) Magnitude: 7.7 Mw

Date: 16/07/1990



11) Magnitude: 7.5 Mw

Date: 20/06/1991



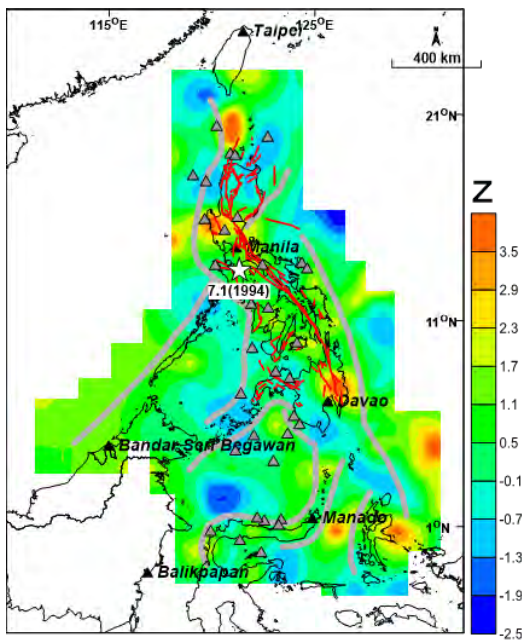
12) Magnitude: 7.1 Mw

Date: 18/05/1993

N/A

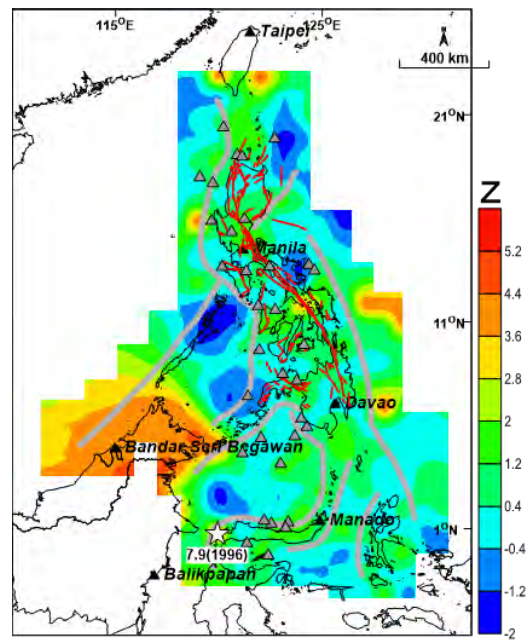
13) Magnitude: 7.1 Mw

Date: 14/11/1994



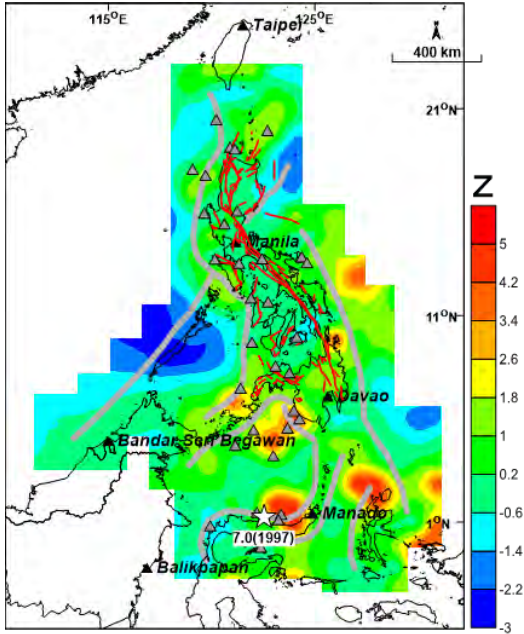
14) Magnitude: 7.9 Mw

Date: 1/01/1996



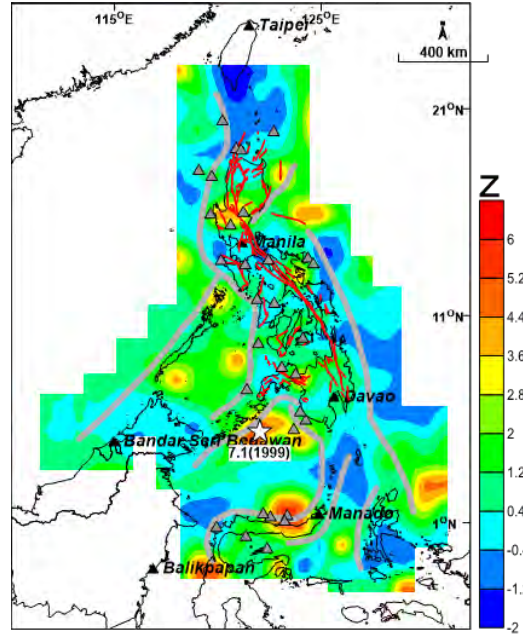
15) Magnitude: 7.0 Mw

Date: 25/11/1997



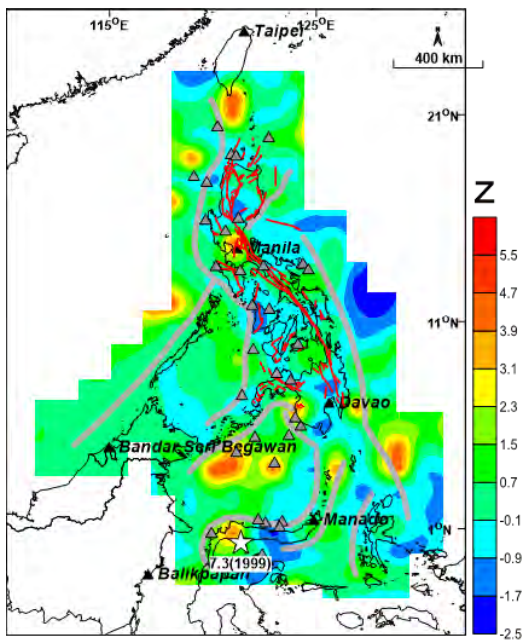
16) Magnitude: 7.1 Mw

Date: 4/03/1999



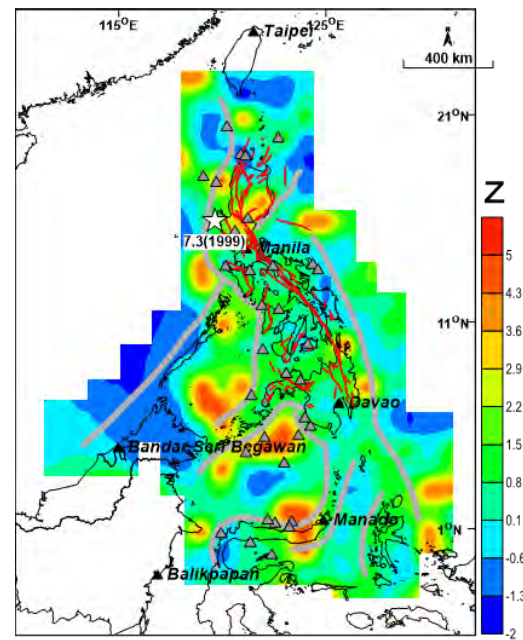
17) Magnitude: 7.3 Mw

Date: 18/03/1999



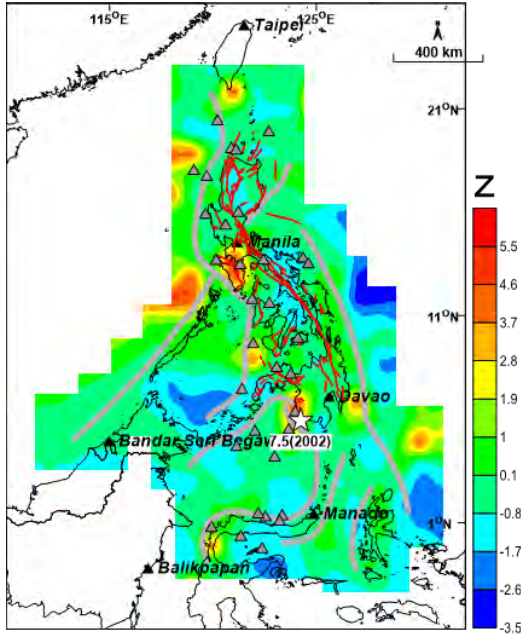
18) Magnitude: 7.3 Mw

Date: 11/12/1999



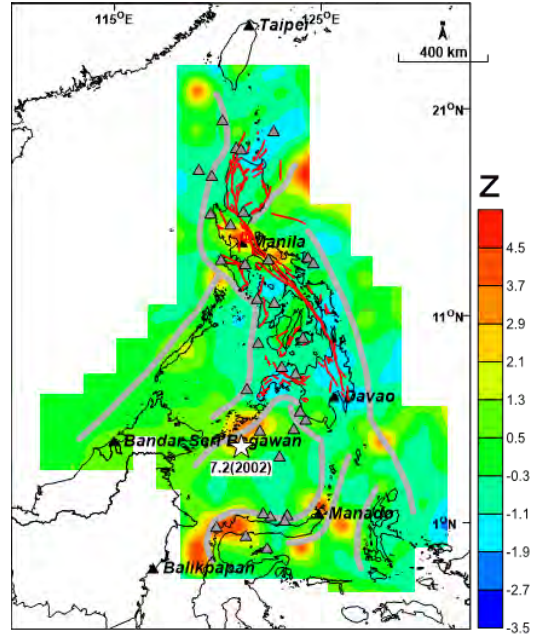
19) Magnitude: 7.5 Mw

Date: 5/03/2002



20) Magnitude: 7.2 Mw

Date: 5/03/2002



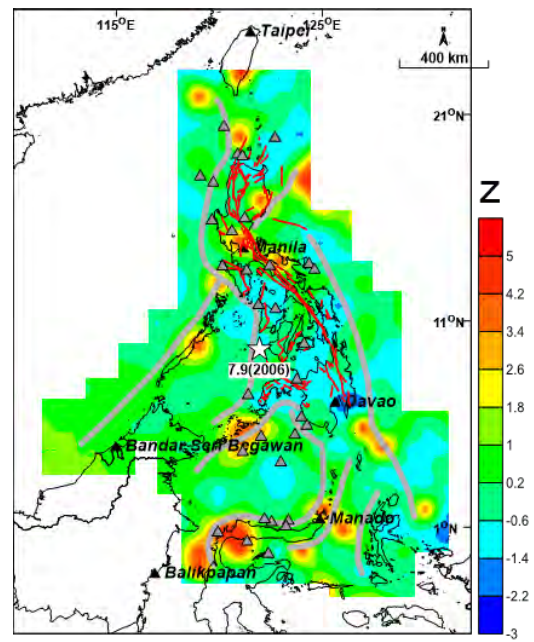
21) Magnitude: 7.1 Mw

Date: 5/02/2005

N/A

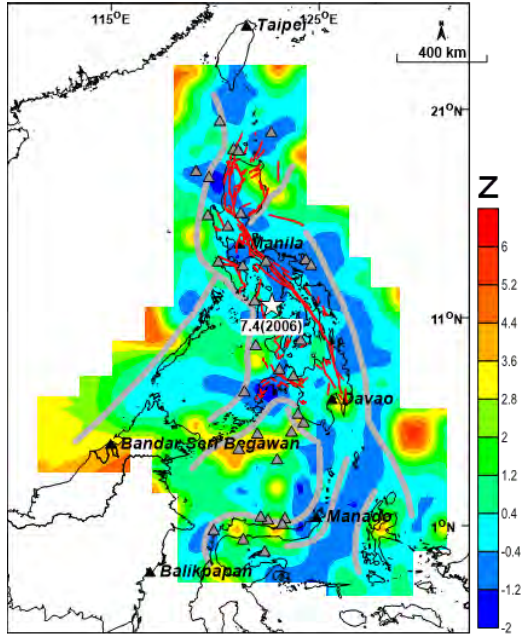
22) Magnitude: 7.9 Mw

Date: 15/02/2006



23) Magnitude: 7.4 Mw

Date: 15/02/2006



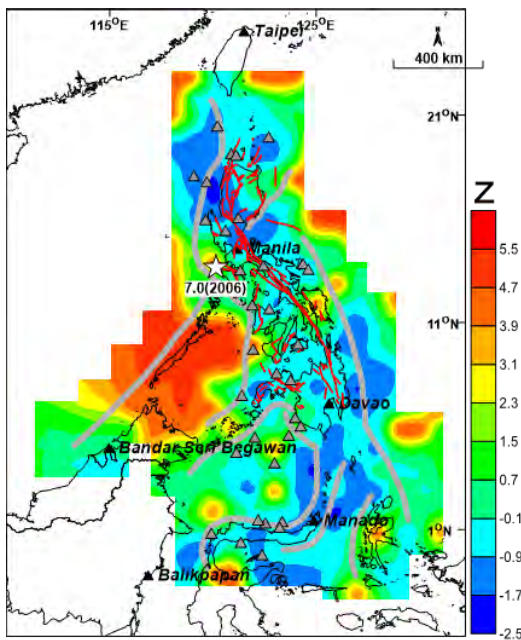
24) Magnitude: 7.8 Mw

Date: 26/02/2006

N/A

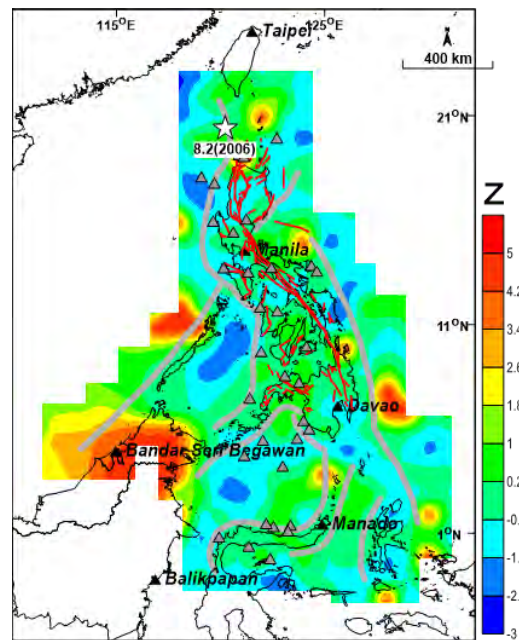
25) Magnitude: 7.0 Mw

Date: 3/03/2006



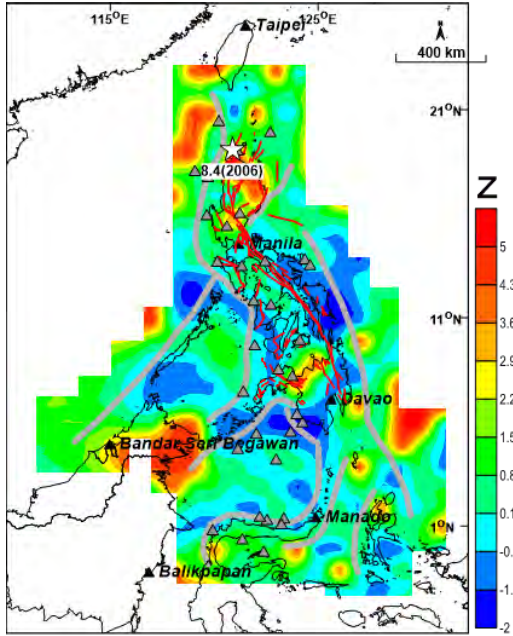
26) Magnitude: 8.2 Mw

Date: 26/05/2006



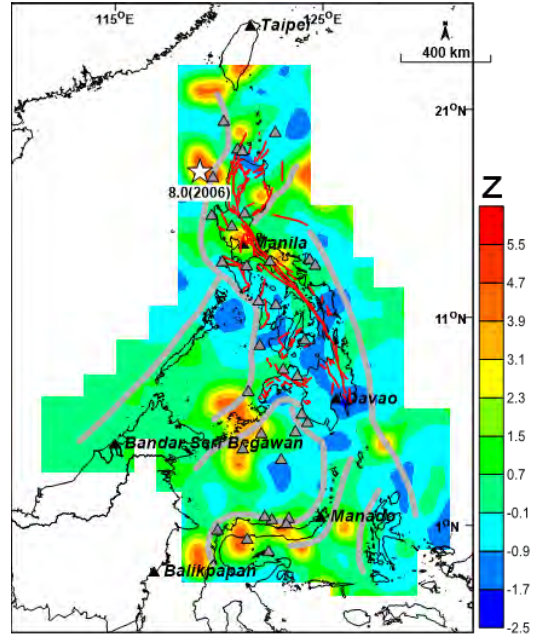
27) Magnitude: 8.4 Mw

Date: 1/06/2006



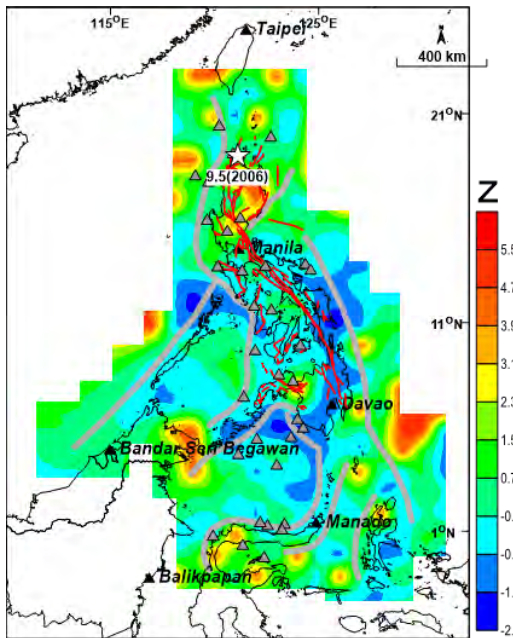
28) Magnitude: 8.0 Mw

Date: 5/06/2006



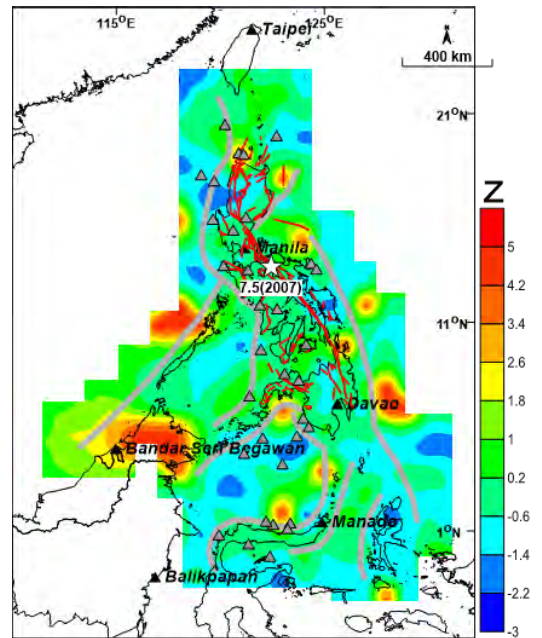
29) Magnitude: 9.5 Mw

Date: 9/10/2006



30) Magnitude: 7.5 Mw

Date: 21/05/2007





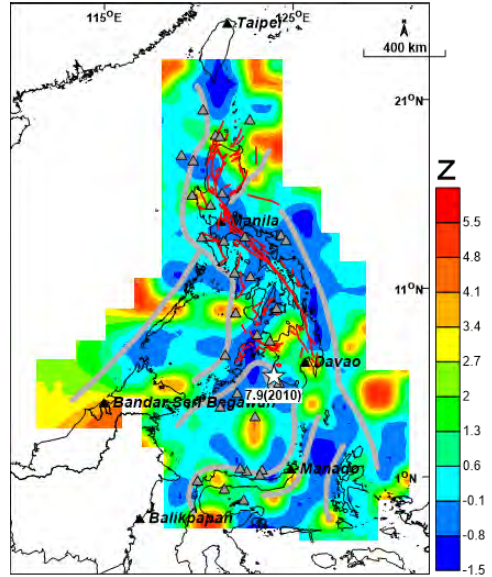
31) Magnitude: 7.5 Mw

Date: 16/11/2008

N/A

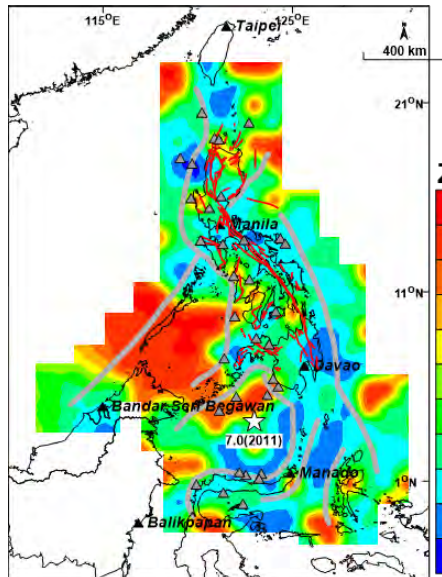
32) Magnitude: 7.9 Mw

Date: 23/07/2010



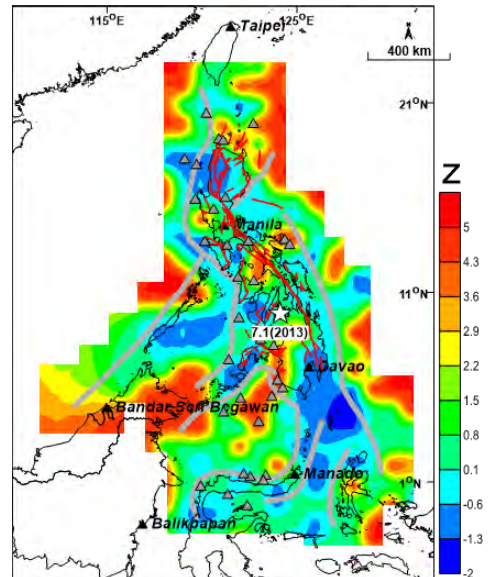
33) Magnitude: 7.0 Mw

Date: 10/02/2011



34) Magnitude: 7.1 Mw

Date: 15/10/2013

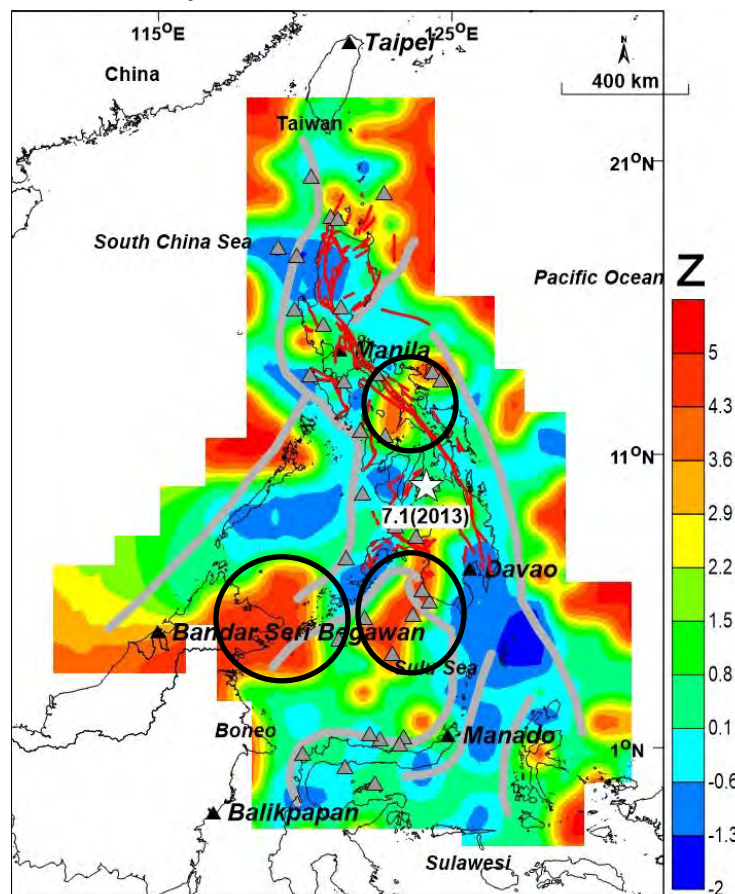


รูป 4.3 แสดงแผนที่การกระจายตัวของค่า Z โดยพื้นที่สีโทนร้อนแทนบริเวณที่มีความผิดปกติด้วยค่า Z สูงสุด และดาวสีขาวแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

#### 4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีต พบว่าสำหรับการประเมินพื้นที่เสี่ยงด้วยวิธีการศึกษาค่าผิดปกติจากค่า  $Z$  นั้นจะมีความแม่นยำมากที่สุดตามช่วงเวลาที่พบค่าผิดปกติของค่า  $Z$  ถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ซึ่งพบว่าอยู่ในช่วง 1-10 ปีก่อนปัจจุบันหรือในกรอบช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term) ผู้วิจัยจึงกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาแผนที่การกระจายตัวของค่า  $Z$  ให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006-2015 เมื่อใช้เงื่อนไขข้างต้นเป็นกรอบในการพิจารณา ทำให้ได้แผนที่การกระจายตัวของค่า  $Z$  ที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวมากที่สุดในการนำมาประเมินพื้นที่เสี่ยงจำนวน 1 แผนที่ ดังรูป 4.4

เมื่อนำแผนที่มาประเมินหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว พบตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติของค่า  $Z$  ในช่วง 4.7-5.1 ซึ่งแสดงด้วยสีแดง ซึ่งหมายถึงบริเวณดังกล่าวนั้นถือเป็นพื้นที่เสี่ยงที่อาจจะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้นั่นเอง ดังรูป 4.4



รูป 4.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า  $Z$  โดยพื้นที่สีแดงแสดงถึงบริเวณที่มีค่า  $Z$  สูง โดยวงกลมสีดำแสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ

**บทที่ 5**  
**อภิปรายและสรุปผล**  
**(DISCUSSION AND CONCLUSION)**

**5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)**

การศึกษานี้ใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก 3 ฐานข้อมูล ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย International Seismological Center (ISC) ซึ่งเมื่อทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด พบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 542,726 เหตุการณ์ ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1962 – วันที่ 19 ตุลาคม ค.ศ. 2015 มีขนาดแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด  $M_w$  0.1-10 ริกเตอร์ และมีความลึกตั้งแต่ 0-782.3 เมตร

**5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)**

เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมานั้นเกิดจากการวัดคลื่นแผ่นดินไหวด้วยเครื่องมือตรวจวัดโดยมนุษย์ทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์และความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มานั้นไม่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานได้อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดยมีขั้นตอนดังนี้

**5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)**

สมการแสดงความสัมพันธ์ของมาตรวัดแผ่นดินไหวมีดังนี้

- ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ )

$$M_w = 0.18M_b^2 - 1.00M_b + 5.60$$

- ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ )

$$M_w = 0.07M_s^2 - 0.17M_s + 4.41$$

- ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ )

$$M_b = 0.11M_L^2 - 0.34M_L + 3.5148$$

### 5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักจำนวน 32,021 เหตุการณ์ อยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1962 ถึงปี ค.ศ. 2015 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-9.5  $M_w$

### 5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

เมื่อทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 19,296 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1980-2015 มีขนาดตั้งแต่ 4.0-9.0  $M_w$

### 5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้อย่างสมบูรณ์ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น คือแผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.0  $M_w$  ขึ้นไป หรือ มีค่า  $M_c = 5.0$  โดยแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็กกว่าค่า  $M_c$  นั้นบางเครือข่ายอาจไม่สามารถตรวจวัดได้ เมื่อทำการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น พบว่าเหลือจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวจำนวนทั้งสิ้น 4,925 เหตุการณ์

## 5.3 กำหนดกรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Conditions for Retrospective Test)

โครงการวิจัยนี้ได้เลือกกรณีศึกษาทั้งหมด 34 เหตุการณ์ (ตาราง 4.1) เมื่อทำการทดสอบย้อนกลับ พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดคือเงื่อนไขที่ 2 (ตาราง 4.4)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวตามเงื่อนไขข้างต้น ทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ที่สุดซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ได้ดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้

Order	Long	Lat	D/M/Y	Mag	Depth (km)	Radius (km)	T <sub>s</sub> (year)	Zmax	Detection of Quiescence (year)
1	124.358	13.752	11/1/1982	7.2	19.0	-	-	-	-
2	123.762	8.147	5/3/1984	7.3	651.0	191.94	1982.04	0.4	2.1
3	121.400	7.400	5/3/1984	7.2	33.0	286.75	1980.04	1.5	4.1
4	122.380	-0.290	6/8/1984	7.4	252.8	150.71	1982.38	1.7	2.2
5	119.700	17.700	23/4/1985	7.3	189.0	134.48	1980.01	2	5.3
6	120.610	15.344	23/4/1985	7.0	191.0	121.43	1982.31	1.3	3
7	124.616	13.477	24/2/1988	7.2	37.0	131.97	1982.58	2.6	5.6
8	123.350	1.310	18/4/1990	7.6	33.2	87	1983.84	1.9	6.5
9	121.899	11.760	14/6/1990	7.0	20.0	118.15	1985.8	2.8	4.7
10	121.230	15.970	16/7/1990	7.7	15.0	108.51	1987.33	2.8	3.2
11	123.230	1.040	20/6/1991	7.5	15.0	97.09	1983.84	2.9	7.6
12	122.700	19.860	18/5/1993	7.1	189.0	-	-	-	-
13	121.320	13.440	14/11/1994	7.1	15.0	64.36	1987.48	4.8	7.4
14	119.930	0.740	1/1/1996	7.9	15.0	75.65	1986.53	5	9.5
15	122.536	1.241	25/11/1997	7.0	18.0	64.01	1989.79	4.8	8.1
16	122.030	5.380	4/3/1999	7.1	18.0	105.23	1991.63	4.8	7.5
17	121.350	0.300	18/3/1999	7.3	0.0	51.17	1993.78	4.8	5.4
18	119.640	15.870	11/2/1999	7.3	35.1	57.78	1990.55	4.8	9.4

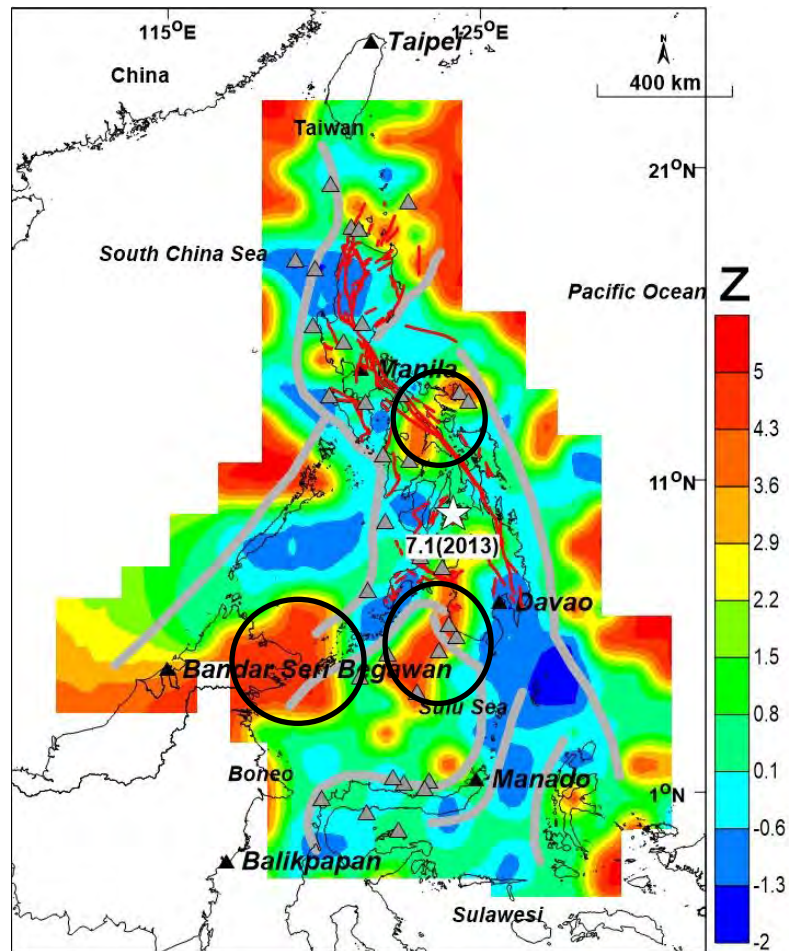
19	124.250	5.920	5/3/2002	7.5	28.7	40.67	1994.66	4.9	7.5
20	121.134	4.644	5/3/2002	7.2	18.2	150.29	1999.26	3.8	2.9
21	123.670	5.470	5/2/2005	7.1	530.6	-	-	-	-
22	121.950	9.624	15/2/2006	7.9	2.0	52.14	1999.3	5.1	2.9
23	122.727	11.571	15/2/2006	7.4	96.0	68.26	2002.21	4.9	3.9
24	123.086	8.472	26/2/2006	7.8	31.0	-	-	-	-
25	120.148	13.640	3/3/2006	7.0	36.0	39.63	2002.9	4.7	3.3
26	120.217	20.393	26/5/2006	8.2	4.0	32.01	1998.19	5.1	8.8
27	120.884	19.054	1/6/2006	8.4	13.0	39.7	2001.33	4.9	5.1
28	119.075	17.992	5/6/2006	8.0	124.0	63.27	1999.57	4.2	6.9
29	121.117	18.974	9/10/2006	7.6	11.0	34.05	2001.02	4.9	5.7
30	122.440	13.660	21/5/2007	7.0	0.0	53.52	1997.8	4.7	9.6
31	122.190	1.390	16/11/2008	7.7	36.0	-	-	-	-
32	123.980	6.324	23/7/2010	7.2	520.5	42.88	2002.1	4.9	8.5
33	122.981	4.137	10/2/2011	7.8	346.3	39.61	2002.48	5.1	8.6
34	124.117	9.880	15/10/2013	8.5	19.0	49.98	2011.38	4.7	2.4

หมายเหตุ: เครื่องหมาย “-“ หมายถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ไม่ความสมบูรณ์ของข้อมูลทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของค่า Z ได้

#### 5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

เมื่อนำแผนที่มาประเมินหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว พบตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติของค่า  $Z$  ในช่วง 4.7-5.1 ซึ่งแสดงด้วยสีแดง ซึ่งหมายถึงบริเวณดังกล่าวนั้นถือเป็นพื้นที่เสี่ยงที่อาจจะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้นั่นเอง ดังรูป 5.1 โดยพื้นที่เสี่ยงดังกล่าว ได้แก่

1. พื้นที่ทางทิศตะวันออกเฉียงออกของเมืองบันดาร์ เสรี เบกาวัน
2. พื้นที่ทางตะวันตกของเมืองดาเวา
3. พื้นที่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงมะนิลา



รูป 5.1 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า  $Z$  โดยพื้นที่สีแดงแสดงถึงบริเวณที่มีค่า  $Z$  สูง โดยวงกลมสีดำแสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ

## เอกสารอ้างอิง

### (REFERENCES)

Choullaras, G. 2009. Seismicity anomalies prior to 8 June 2008, Mw = 6.4 earthquake in Western Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 9: 327-335.

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. (1983). Teleseismic detection in the Aleutian Island arc. *J. Geophys. Res.* 88: 5056-5064.

Katsumata, K. 2011a. Precursory seismic quiescence before the Mw = 8.3 Tokachi-oki, Japan, earthquake on 26 September 2003 revealed by a re-examined earthquake catalogue. *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: 709-712.

Krabbenhoft, A., Weinrebe, R. W., Kopp, H., Flueh, E. R., Ladage, S., Papenberg, C., Planert, L. and Djajadihardja, Y. [2010] “Bathymetry of the Indonesian S. Sunda margin-relating morphological features of the upper plate slopes to the location and extent of the seismogenic zone,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 1899–1911.

Pailoplee, S. and Boonchaluyay, N. Earthquake activities in the Philippines Islands and the adjacent areas. *Geoscience Journal*, In press

Panyatip, S. (n.d.). SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE SAGAING FAULT ZONE, CENTRAL MYANMAR.



Rudolf-Navarro, A. H., Munoz-Diosdado, A. and Angulo-Brown, F. 2010. Seismic quiescence patterns as possible precursors of great earthquakes in Mexico. *International Journal of the Physical Science* 5(6): pp. 651-670.

Sobolev, G.A., 1995. *Fundamental of Earthquake Prediction*, Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161.

Sorbi, R., Nilfouroushan, F., and Zamani, A. 2012. Seismicity patterns associated with the September 10<sup>th</sup>, 2008 Qeshm earthquake, South Iran. *International Journal of Earth Sciences*. Vol. 101: 2215-2223.

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*, Vol. 95: 684-698.