



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะท้อนตามแนวหมู่เกาะประเทศ
อินโดนีเซีย

ชื่อนิสิต นางสาวเพชร เจนพนัส

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะท้อนตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

นางสาวเพชร เจนพนัส

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE INDONESIAN ISLANDS

Miss Phatchara Janephanut

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: การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือนตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นางสาวพร เจนพนัส
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้
ปีการศึกษา: 2558

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อกา รเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตาม แนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย ด้วยวิธีคำนวณ การเปลี่ยนแปลง อัตราการไหว สะเทือน โดยใช้ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูล แผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ถูกบันทึก ตั้งแต่ปี ค.ศ 1964-2015 ในกรอบพื้นที่ศึกษา ละติจูดที่ -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก ครอบคลุมแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 4,982 เหตุการณ์ ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวในช่วง $5.0-9.0 M_w$ ที่มีความสมบูรณ์และ สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว อย่างแท้จริง ทำการ กำหนดกรณีศึกษาทั้งหมด 41 เหตุการณ์ โดยคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีขนาด $7.0 M_w$ ขึ้นไป เมื่อทำ การทดสอบย้อนกลับพบว่าจำนวนเหตุการณ์ 25 เหตุการณ์ ที่มีกรอบเวลา 2 ปี ในรัศมีการพิจารณา ข้อมูล 300 กิโลเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำแผนที่การกระจายตัว ของค่า Z เพื่อตรวจสอบบริเวณที่พบภาวะเสียบสงบ ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าว ผลการศึกษาสามารถ ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ 3 บริเวณ ได้แก่ 1) บริเวณเมืองปาดัง (Padang) 2) บริเวณเมืองจาการ์ตา (Jakarta) และ 3) บริเวณเมืองยอร์กยาคาร์ตา (Yogyakarta) ตลอดจนเมืองพรายา (Praya)

คำสำคัญ: พื้นที่เสี่ยง; แนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย; การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว; การทดสอบย้อนกลับ; ภาวะเสียบสงบ

Project title: SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE INDONESIAN ISLANDS
Researcher: Miss Phatchara Janephanut
Department: Geology
Advisor: Professor Assistant Dr. Santi Pailoplee
Academic Year: 2015

ABSTRACT

This research aims to study prospective areas of the upcoming moderate to large earthquake were evaluated along the Indonesian Islands by using statistical method that investigates the seismicity rate change for detect seismic quiescence. The earthquake catalogues come from Global CMT Catalogue (GCMT), National Earthquake Information (NEIC) and International Seismological Center (ISC) those were reported between 1964- 2015 at latitude of $-15.10-1.61^{\circ}\text{N}$ longitude of $96.09-135.47^{\circ}\text{E}$ covering the Indonesian Islands. After improving the earthquake catalogue process, the dataset left 4,982 events with 5.0-9.0 M_w . We chose earthquake events that represent our case study for 41 events which the M_w more than 7.0 Richter. After the retrospective test, we found 3 quiescence-anomaly areas for $N = 25$ events and $T_w = 2.0$ years are appropriate characteristic parameter to analyse the spatial distribution of Z value maps. Consequently based mainly on the obtained suitable parameter of N and T_w and the most up-to-date seismicity data, the seismic quiescence maps reveal that there are 3 prospective areas might be risk for the upcoming moderate-large earthquakes, i.e., Padang, Jakarta and Yogyakarta to Praya.

KEYWORDS: Prospective Area; the Indonesian Islands; Seismicity Rate Change; Earthquake Catalogue; Retrospective Test; Seismic Quiescence

กิตติกรรมประกาศ
(ACKNOWLEDGEMENT)

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย เป็นอย่างสูงที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำโครงงานวิจัยนี้ตั้งแต่แรกเริ่ม ขอบพระคุณที่เปิดรับแนวความคิดและมีการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็นกับลูกศิษย์ด้วยความเมตตากรุณา และความเป็นเหตุเป็นผล ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งที่ได้มอบความรู้ ความเข้าใจ ตลอดจนประทับใจและปลอบใจลูกศิษย์แม้ในยามที่พบเจอปัญหาต่างๆมากมายตลอดการทำโครงงานวิจัยเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์แบบ ทั้งในด้านความรู้ ความเข้าใจ และทักษะในการทำงานวิจัย ตลอดจนพัฒนาลูกศิษย์ให้ มีศักยภาพในการทำงานเชิงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณพี่สันทวัฒน์ สุขรังสี เป็นอย่างยิ่งที่มีส่วนสำคัญในการช่วยเหลือในหลายๆขั้นตอน การทำโครงงานวิจัยเล่มนี้ ขอขอบคุณที่ได้มอบความรู้ ความเข้าใจในหลักการงาน และเทคนิคในการวิจัยต่างๆ จนโครงงานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์และบุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน รวมไปถึงบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงงานวิจัยเล่มนี้ทั้งหมด ที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ
(CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ช
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฌ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ญ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.3 วัตถุประสงค์ (Objective)	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	4
2.2.1 งานวิจัยของ Ozturk and Bayrak (2009)	4
2.2.2 งานวิจัยของ Katsumata (2011a)	5
2.2.3 งานวิจัยของ Katsumata (2011b)	6
2.2.4 งานวิจัยของ Sorbi และคณะ (2012)	7
2.3 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	8
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)	
3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	9
3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT)	10
3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)	10
3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)	10
3.1.4 ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	11
3.2 การปรับเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	12
3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)	15
3.2.2 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	15

3.2.3 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)	16
3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	17
3.4 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	20
3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	22
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)	
4.1 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	24
4.1.1 การคัดเลือกกรณีศึกษา (Case study)	24
4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of condition)	26
4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ช่วงเวลา และค่า Z	29
4.1.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z value)	35
4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	38
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	
5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	40
5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)	40
5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude conversion)	40
5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering)	41
5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made seismicity)	41
5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of completeness)	41
5.3 กรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Condition for Retrospective Test)	41
5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	43
5.5 การเปรียบเทียบผลศึกษากับงานวิจัยในอดีต (Comparison of Result and Past Research)	45
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	47

สารบัญรูปร่างภาพ
(FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1	แผนที่แสดงกรอบพื้นที่ศึกษาบริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย	2
รูป 2.1	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1998 เหตุการณ์แผ่นดินไหว Bingol ประเทศตุรกี ขนาด 6.4 M_w ปี ค.ศ. 2003 (Ozturk and Bayrak, 2009)	4
รูป 2.2	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1998 และปี ค.ศ. 1999 เหตุการณ์แผ่นดินไหว โทคาชิ-โอกิ ขนาด 8.3 M_w ปี 2003 (Katsumata, 2011a)	5
รูป 2.3	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1988 และปี ค.ศ. 1992 เหตุการณ์แผ่นดินไหว โทโฮกุ ขนาด 9.0 M_w ปี 2011 (Katsumata, 2011b)	6
รูป 2.4	แผนที่ (ก) และกราฟความถี่สะสม (ข) แสดงภาวะเจียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2005 ถึงปี ค.ศ. 2008 เหตุการณ์แผ่นดินไหว Qeshm ขนาด 6.1 M_w ปี ค.ศ. 2008 (Sorbi et al., 2012)	7
รูป 2.5	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน	8
รูป 3.1	แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้ง 3 แหล่งข้อมูล	11
รูป 3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวรวมกับ (ก) ขนาดแผ่นดินไหว (ข) ความลึก และ (ค) เวลา (ปี)	12
รูป 3.3	แสดงค่าความอึดตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ M_w (Kagan และ Knopoff, 1980)	14
รูป 3.4	แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดมีค่าสูงเกินกว่าขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดสามารถบันทึกได้	14
รูป 3.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)	15
รูป 3.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	16
รูป 3.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)	16
รูป 3.8	แสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและ	18

	แผ่นดินไหวตาม	
รูป 3.9	แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	18
รูป 3.10	แสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	19
รูป 3.11	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	20
รูป 3.12	แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยขั้นตอนการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์	22
รูป 3.13	แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) หลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์	22
รูป 3.14	แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว	23
รูป 4.1	แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 41 เหตุการณ์	24
รูป 4.2	กราฟแสดงค่า Z สูงสุด และระยะเวลาของภาวะเจ็บบสงบก่อนการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษา ทั้ง 41 เหตุการณ์	30
รูป 4.3	แสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (spatial distribution of Z value)	35
รูป 4.4	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ในช่วงเวลาต่างๆ	38
รูป 5.1	แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว 4 บริเวณ	44
รูป 5.2	แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในขนาดระหว่าง (ก) งานศึกษาปัจจุบัน และ (ข) งานวิจัยของ Pailoplee (2014)	45

สารบัญตาราง
(TABLE CONTENT)

	หน้า	
ตาราง 3.1	แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	9
ตาราง 4.1	แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 41 เหตุการณ์	24
ตาราง 4.2	แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลของแผ่นดินไหว	26
ตาราง 4.3	แสดงข้อมูล 8 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ	27
ตาราง 4.4	แสดงรายละเอียดตัวอย่างเหตุการณ์ที่ 1	28
ตาราง 4.5	แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ	29
ตาราง 5.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอน การปรับปรุงข้อมูลต่างๆ	41
ตาราง 5.2	แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตรา การเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้บางส่วน	42

สารบัญสมการ
(EQUATION CONTENT)

	หน้า	
สมการ 2.1	สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Wiemer, 2001)	3
สมการ 3.1	สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)	15
สมการ 3.2	สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	15
สมการ 3.3	สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)	16
สมการ 3.4	สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Z) Habermann (1983; 1987)	21

บทที่ 1

บทนำ

(INTRODUCTION)

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

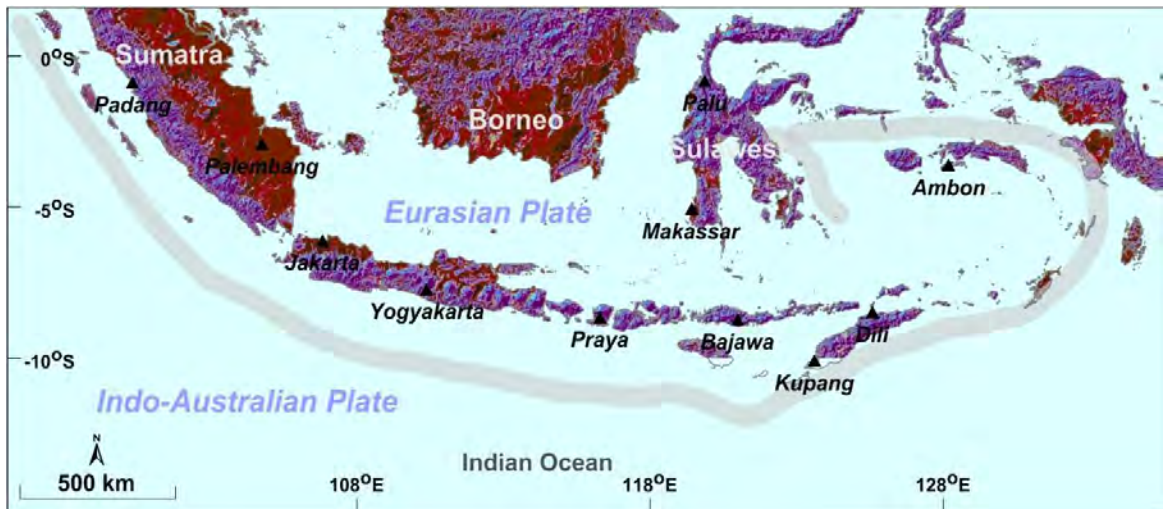
พื้นที่บริเวณแนวหมู่เกาะอินโดนีเซีย (Indonesian Islands) เป็นแนวหมู่เกาะที่อยู่ใกล้กับตอนล่างของประเทศไทย โดยวางตัวอยู่บนบริเวณแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียและยูเรเชีย ซึ่งแผ่นเปลือกโลกทั้งสองมีการเคลื่อนที่ชนกันเป็นผลให้เกิดแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ที่เรียกว่า ขอบทวีปซุนดาอินโดนีเซีย (Indonesian Sunda Margin หรือ ISM) ปรากฏเป็นแนวยาวตั้งแต่ฝั่งตะวันตกตลอดจนฝั่งตะวันออกของแนวหมู่เกาะอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นบริเวณที่ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวและสึนามิอยู่บ่อยครั้ง (Krabbenhoft และคณะ, 2010) ในปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกทั้งสองยังคงมีการเคลื่อนที่ชนกัน โดยพบว่าในบริเวณแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกดังกล่าวมักจะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่มากกว่า $7.0 M_w$ ดังเช่นเหตุการณ์ในปี ค.ศ. 1938 ที่ทะเลบันดา (Banda Sea) และในปี ค.ศ. 2007 ที่เกาะสุมาตราตอนใต้ เกิดแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงถึง $8.5 M_w$ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างรุนแรง (Okal และ Reymond, 2003)

Pailoplee (2014) จึงได้ทำการประเมินแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคตบริเวณพื้นที่แนวหมู่เกาะอินโดนีเซียดังกล่าว โดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า b (b value) ซึ่งผลของข้อมูลได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Nuannin และคณะ (2005) ปรากฏว่าสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงได้อีก 6 พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในระดับลักษณะใหญ่ได้ในอนาคต

ดังนั้นพื้นที่ในแนวหมู่เกาะอินโดนีเซีย จึงเป็นบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ และอาจก่อให้เกิดสึนามิ ซึ่งอาจสร้างความเสียหายต่อตอนล่างของประเทศไทย ได้ในอนาคต จึงเป็นเหตุผลให้งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะประเมินพื้นที่เสี่ยงดังกล่าว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกับงานวิจัยเก่ามากขึ้น เพื่อเป็นการตรวจสอบผลการวิจัย หรือ สนับสนุนความถูกต้องของข้อมูลให้มากยิ่งขึ้น ด้วยการวิเคราะห์เชิงสถิติโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (seismic rate change) โดยใช้ค่า Z (Z value) (Habermann, 1983) ในการวิเคราะห์

1.2 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

พื้นที่ศึกษารอบคลุมแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย วางตัวในแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก ในกรอบละติจูดที่ -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก มีพื้นที่ ตั้งแต่เมืองปาดัง (Padang) บริเวณ สุมาตราตอนล่าง ตลอดจนถึง เมือง ดิลี (Dilli) และเมืองอัมบอน (Ambon) โดยเป็นแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียและยูเรเชีย ดังรูป 1.1



รูป 1.1 แผนที่แสดงกรอบพื้นที่ศึกษาบริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย ครอบคลุมละติจูดที่ -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก

1.3 วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้วิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจากค่า Z

1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

วิเคราะห์ขั้นตอนวิธีประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวหมู่เกาะ ประเทศอินโดนีเซีย ครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ -15.10 องศาใต้ ถึง 1.61 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 96.09 องศาตะวันออก ถึง 135.47 องศาตะวันออก โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว ในอนาคตตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(THEORY AND LITERATURE REVIEW)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)

Habermann และ Wyss (1984) ได้สังเกตพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวหลายเหตุการณ์ พบว่าก่อนเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ในแต่ละครั้งจะมีการลดลงของการเกิดแผ่นดินไหวอยู่เสมอ จึงสรุปในเบื้องต้นว่าการลดลงของการเกิดแผ่นดินไหวสามารถใช้เป็นสัญญาณบอกเหตุในการประเมินการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตได้

Sobolev (1995) ได้จำลองการเกิดแผ่นดินไหวด้วยการกดอัดแท่งหินและใช้อุปกรณ์วัดพลังงานเสียง (acoustic energy) จากการปริแตกของหิน พบว่าเมื่อเริ่มบีบอัดแท่งหินจะมีสัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ เกิดขึ้น และเมื่อออกแรงอัดแท่งหินเพิ่มมากขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่ง สัญญาณเสียงจากการแตกจะลดลงอย่างชัดเจน หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นก่อนที่แท่งหินจะแตกหักจนสูญเสียรูปไป จึงสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่จะมีการลดลงของการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญเรียกว่า ภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) และหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของการเกิดแผ่นดินไหว (seismic activation) ตามมาอีกครั้ง

Wiemer (2001) จึงใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์ลักษณะการลดลงของอัตราการไหวสะเทือนหรือภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหว โดยกำหนดกรอบเวลาและทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลาและอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา ซึ่งค่าที่ได้เรียกว่าค่า Z ดังสมการ (2.1)

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

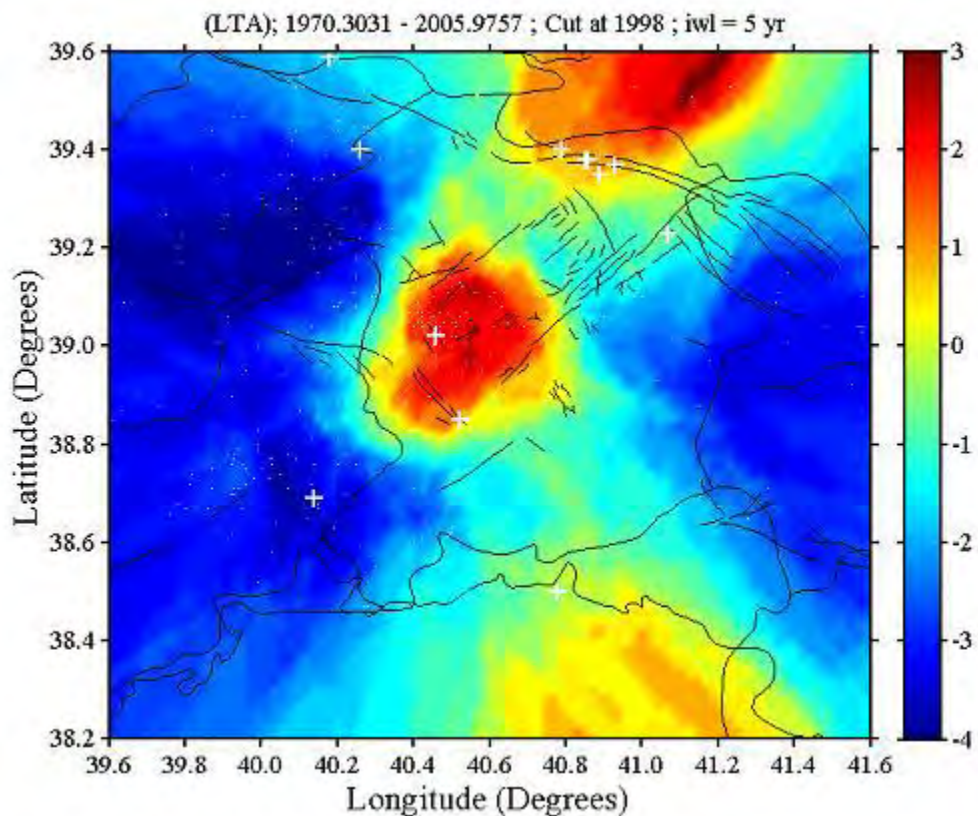
กำหนดให้ Z คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว , R_w คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลา, R_{bg} คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา, S คือ ความแปรปรวนของข้อมูล และ n คือ จำนวนของข้อมูล

โดยค่า Z ที่มีค่ามากกว่าศูนย์แสดงถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลาที่กำหนดน้อยกว่านอกกรอบเวลา และถ้าค่า Z มีค่าสูงมากแสดงว่าแผ่นดินไหวในช่วงกรอบเวลานั้นลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญหรือเกิดภาวะเงียบสงบ ซึ่งมักจะพบก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่นั้นเอง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.2.1 งานวิจัยของ Ozturk และ Bayrak (2009)

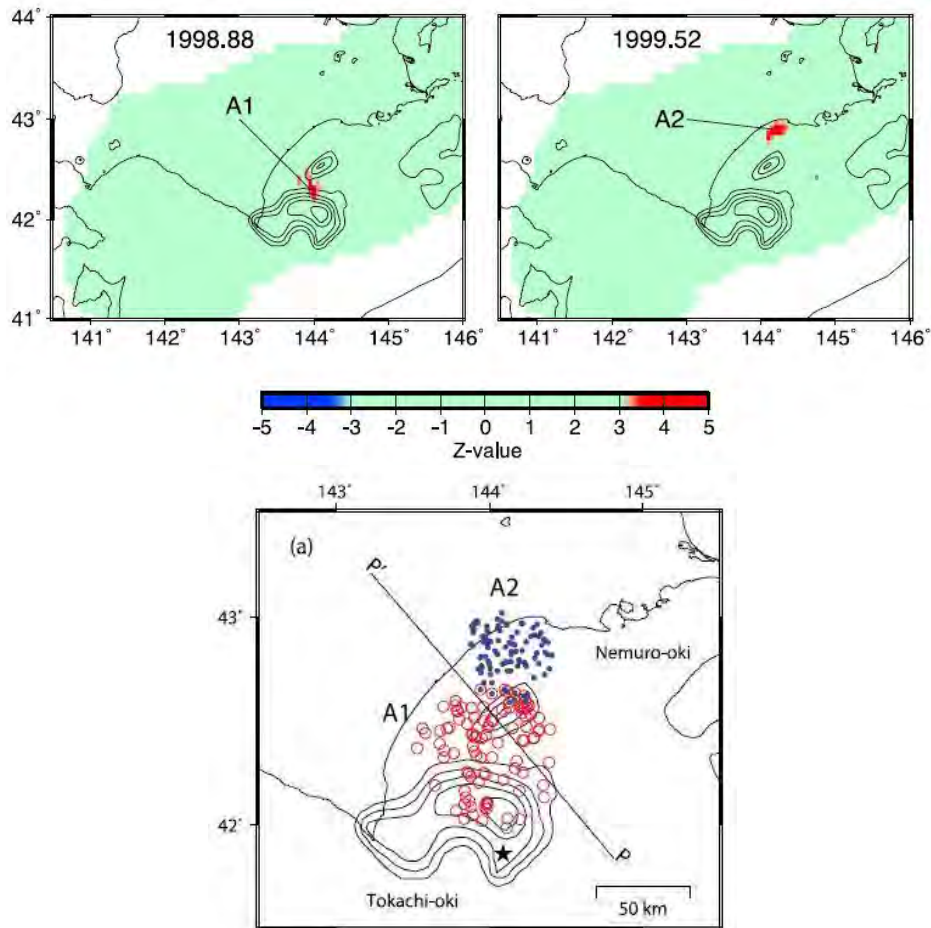
Ozturk และ Bayrak (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตรา การเกิดแผ่นดินไหวของ เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $6.4 M_w$ ที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2003 ณ เมือง Bingol บริเวณตะวันออกเฉียง ประเทศตุรกี โดยนำมาคำนวณด้วยวิธีค่า Z ซึ่งพบภาวะเสียบสงบของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้ จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค .ศ. 1998 จากค่า $Z_{max} = 2.5$ เป็นเวลา 5 ปี จึงเกิดเหตุการณ์ แผ่นดินไหวใหญ่ดังกล่าว ดังรูป 2.3



รูป 2.1 แผนที่แสดงบริเวณที่พบความผิดปกติของค่า Z ในช่วงปี ค.ศ. 1998 ทางตะวันออกเฉียง ประเทศตุรกี ซึ่งแสดงด้วยพื้นที่สีแดง โดยเครื่องหมาย “+” แสดงถึงจุดศูนย์กลาง แผ่นดินไหวของแผ่นดินไหวหลักด้วย $MD \geq 5.0$ ที่เกิดขึ้นจริง

2.2.2 งานวิจัยของ Katsumata (2011a)

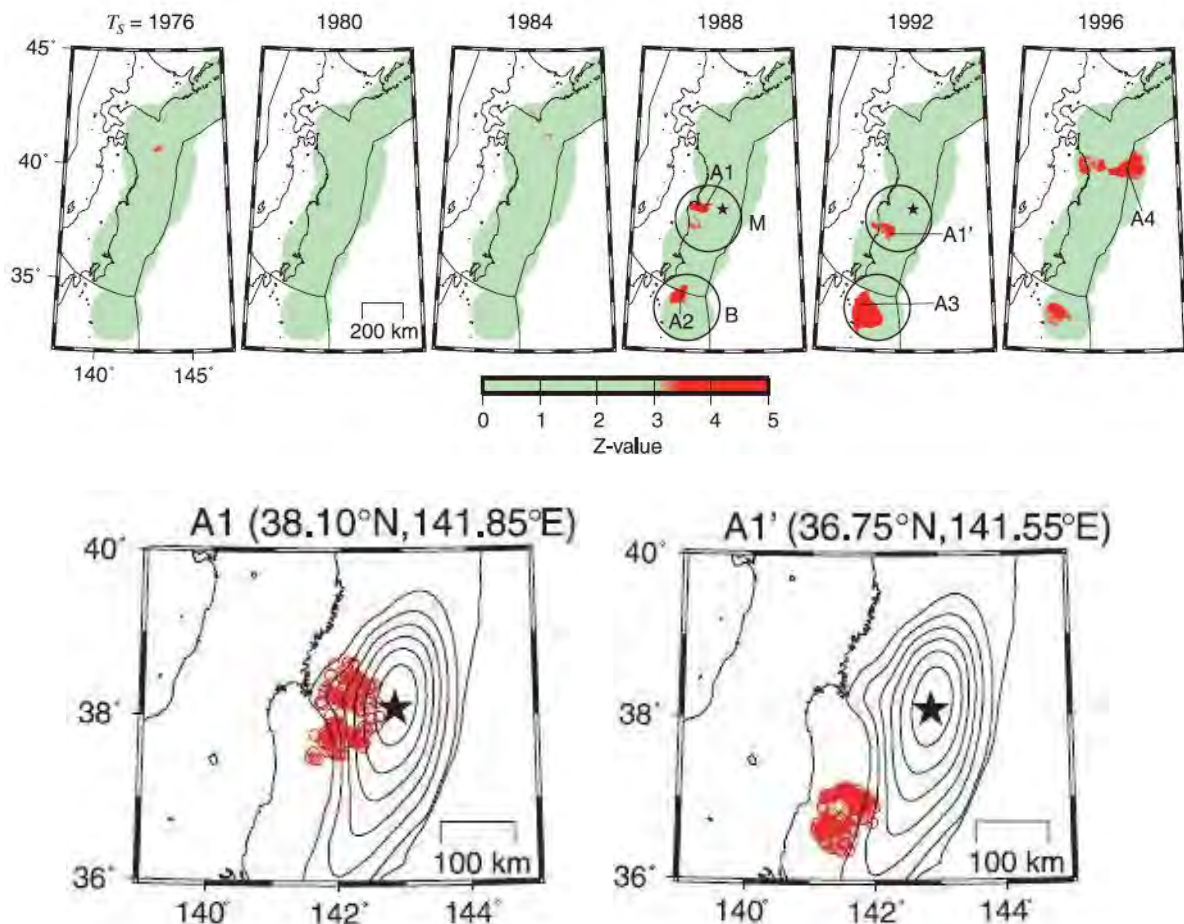
Katsumata (2011a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 8.3 M_w เมื่อวันที่ 26 กันยายน ค.ศ. 2003 ที่โทคาชิ-โอกิ บริเวณชายฝั่งด้านทะเลแปซิฟิกของเกาะ ฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งหลังจากนำข้อมูลทางสถิติที่ได้มาคำนวณโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994-2003 กำหนดกรอบเวลา 4 ปี มีจำนวนแผ่นดินไหว 100 เหตุการณ์ ที่นำมาใช้คำนวณในแต่ละจุดศึกษา พบว่ามีการเกิดภาวะเงียบสงบขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 และคงอยู่เป็นเวลา 5 ปี จากค่า $Z_{max} = +3.9$ และ $+4.0$ จากนั้นในปี ค.ศ. 2003 จึงเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ดังกล่าว ดังรูป 2.1



รูป 2.2 แผนที่แสดงบริเวณที่มีค่าผิดปกติ 2 บริเวณใกล้เคียงกัน ได้แก่ บริเวณ A1 แทนด้วยวงกลมสีแดง มีค่า $Z_{max} = +3.9$ และบริเวณ A2 แทนด้วยจุดสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่า $Z_{max} = +4.0$ ซึ่งทั้งสองบริเวณแสดงถึงภาวะเงียบสงบก่อนจะเกิดแผ่นดินไหวจริง ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน แทนด้วยเครื่องหมายดาวสีดำ (เส้นชั้นความสูงแสดงพื้นที่ความเสียหายจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน 1 ชั้น = 1 เมตร)

2.2.3 งานวิจัยของ Katsumata (2011b)

Katsumata (2011b) ศึกษาการลดลงของอัตรา การเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวขนาด 9.0 M_w ในปี ค.ศ. 2011 ที่โทโฮกุ ชายฝั่งแปซิฟิกของประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ข้อมูล แผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965-2010 จาก Japan Meteorological Agency (JMA) มาคำนวณด้วย วิธีค่า Z พบภาวะเสียบสงบของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้ จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 โดยกำหนดกรอบเวลาในการศึกษา 15 ปี สังเกตจากค่า Z มีค่าสูงสุดคือ +4.9 และหลังจากนั้น 23.4 ปีจึงเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ดังกล่าวขึ้น ดังรูป 2.2

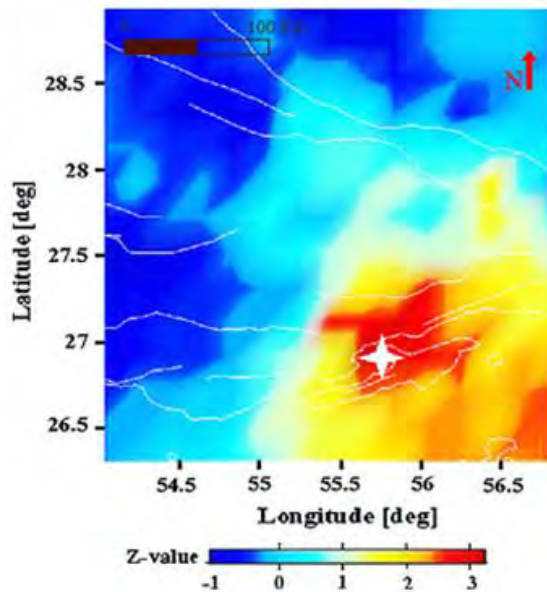


รูป 2.3 แผนที่ด้านบนแสดงตำแหน่งค่า Z ในช่วงปี ค.ศ. 1976–1996 โดยวงกลมสีแดงแสดงภาวะเสียบสงบ จากค่า Z ที่มีค่าสูง ซึ่งพบว่ามีสองเหตุการณ์คือ A1 (ปี ค.ศ. 1988) และ A1' (ปี ค.ศ. 1992) ที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันกับตำแหน่งที่เกิดแผ่นดินไหวจริง ซึ่งแทนด้วย เครื่องหมายดาวสีดำ (เส้นชั้นความสูงหมายถึงพื้นที่ความเสียหายที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของรอยเลื่อน 1 ชั้น = 4 เมตร)

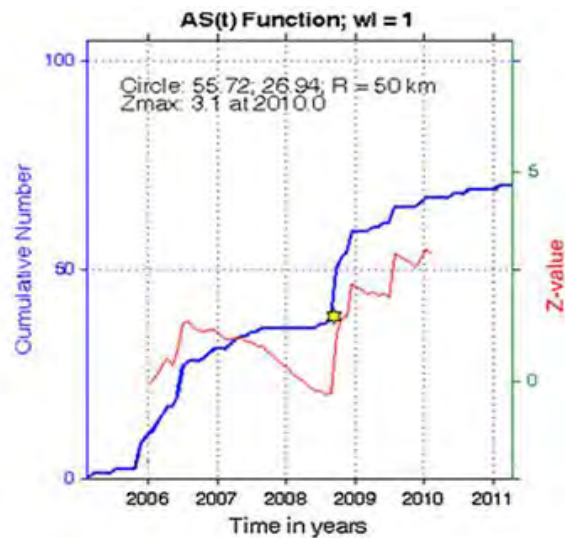
2.2.4 งานวิจัยของ Sorbi และคณะ (2012)

Sorbi และคณะ (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตรา การเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวขนาด 6.1 M_w ที่ Qeshm ทางตอนใต้ของประเทศอิหร่าน เมื่อวันที่ 10 กันยายน ค.ศ. 2008 ด้วยวิธีค่า Z โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก USGS และ IIEES ที่บันทึกไว้ในช่วงปี ค.ศ. 2005-2011 พบว่าเริ่มมีการลดลงของอัตราการไหวสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุด ศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 โดยสังเกตจากค่า Z มีค่าสูงสุดคือ +3.0 ดังที่แสดงในรูป 2.4 และเมื่อตรวจสอบทางสถิติด้วยวิธีค่า b จากความสัมพันธ์ของกุกเต็นเบิร์ก -ริกเตอร์ (Gutenberg-Richter Relationship) (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า b ลดต่ำลงอย่าง มีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเช่นเดียวกัน หลังจากเกิดความผิดปกติทั้งสองอย่าง นี้พร้อมกันประมาณ 1 ปี ก็เกิดแผ่นดินไหวดังกล่าวตามมา

(ก)



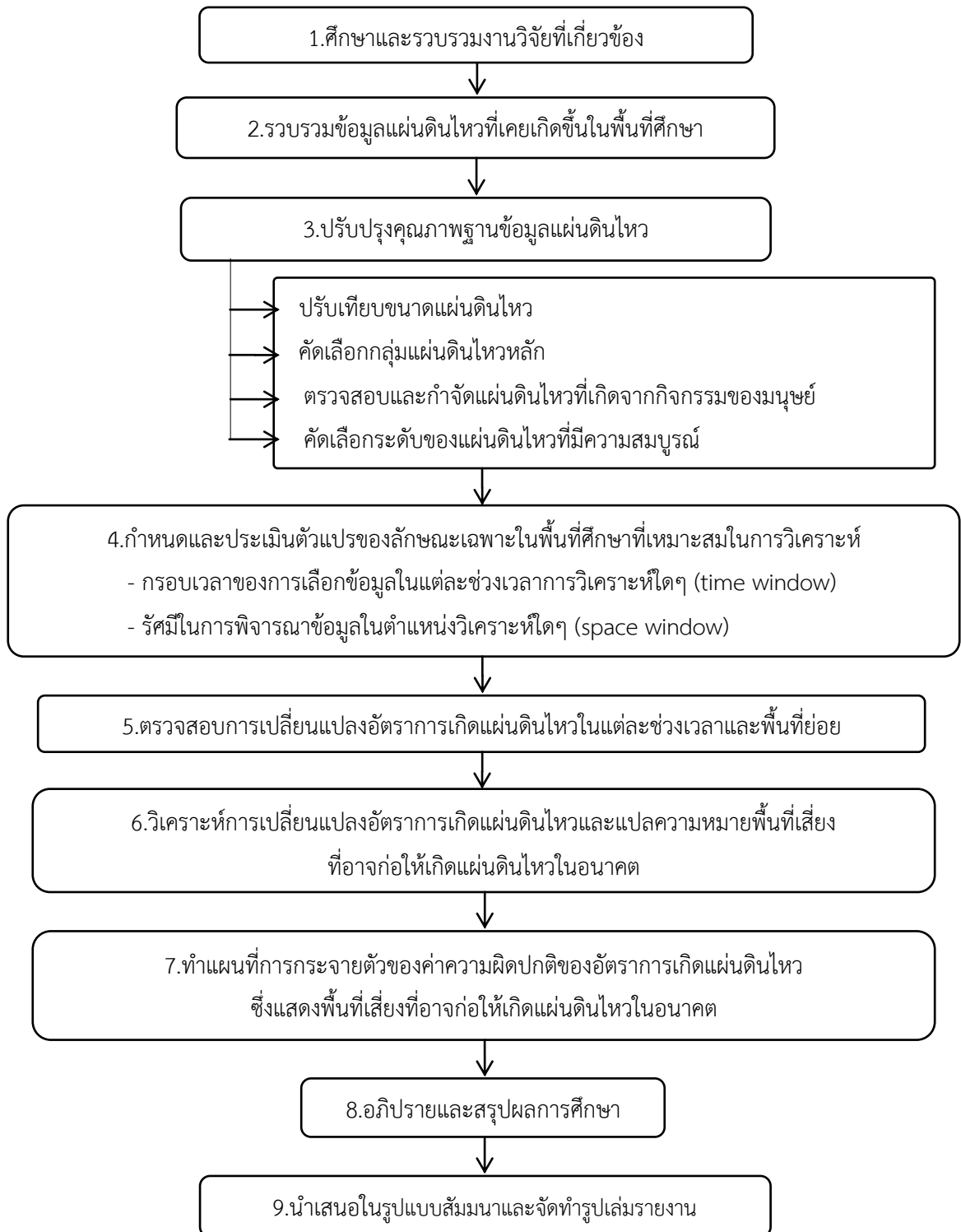
(ข)



รูป 2.4 (ก) แผนที่แสดงภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2005 ถึงปี ค.ศ. 2008 จากค่า $Z_{max} = +3.0$ แทนด้วยพื้นที่สีแดง ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริงที่เกิดขึ้น โดยแทนด้วยเครื่องหมายดาวสีขาว (ข) กราฟความถี่สะสม แทนด้วยเส้นสีน้ำเงิน แสดงภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในช่วง วันที่ 1 ม.ค. 2005 ถึง 9 ก.ย. 2008 โดยดาวสีเหลืองแสดง ช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว Qeshm ขนาด 6.1 M_w ในปี ค.ศ. 2008

2.3 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ โครงการวิจัยนี้จัดแบ่งระเบียบวิธีวิจัยเป็น 9 ขั้นตอน ดังรูป 2.5



รูป 2.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน

บทที่ 3

การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)

3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั่วโลกในปัจจุบัน ถูกควบคุมและ ดูแลโดยหลากหลายหน่วยงาน ซึ่งมีการเผยแพร่ข้อมูลแผ่นดินไหวอย่างสาธารณะบนฐานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ จะถูกบันทึกด้วยรายละเอียด ดังต่อไปนี้และ แสดงตัว อย่างรายละเอียดการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหว ดังตาราง 3.1

1. ระบบพิกัดแสดงเป็นระบบ Latitude/Longitude ของจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (epicenter)
2. วันที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ Year, Month, Day
3. เวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงาน ในระบบ Hour, Min อาจละเอียดถึง Second
4. ขนาดและมาตราตรวจวัดขนาด แผ่นดินไหว (magnitude and magnitude scale) ตัวแปรที่บ่งบอกว่าเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวประเภทไหน เพราะเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นสามารถวัดประเภทของคลื่นได้มากกว่าหนึ่งประเภท ซึ่งจะมีข้อมูลของแต่ละคลื่นในหัวข้อการเปรียบเทียบ มาตราฐานการตรวจวัดแผ่นดินไหว (magnitude conversion) ต่อไป

ตาราง 3.1 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

Long	Lat	Year	Month	Day	M _w	M _s	m _b	M _L	Depth (Km)	Hour	Minute	Second
94.10	10.62	2011	2	1	5.6	5.1	5.5	-	21.8	13	39	47
92.81	13.72	2009	1	28	5.1	4.8	5.2	-	35.0	20	29	56
95.61	19.31	2007	7	30	5.6	5.5	6.0	-	14.2	22	42	5
101.0	23.02	2007	6	2	6.1	6.3	5.7	-	5.0	21	34	57
100.7	20.50	2007	5	16	6.3	6.4	5.7	-	23.8	8	56	16
98.20	22.02	2007	1	7	4.8	4.4	4.8	-	10.0	10	47	6
100.1	11.74	2006	10	7	5.0	4.3	4.9	-	10.0	21	12	26

โดยโครงการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจาก 3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย International Seismological Center (ISC) โดยมีการกำหนดข้อมูลในการคัดลอกฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ดังนี้

- กรอบละติจูดที่ -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก ขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย
- ขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 0.1-10.0 ริกเตอร์ ความลึกของการเกิด แผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-1,000 เมตร และระยะเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964-2015

3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT)

ฐานข้อมูล Global CMT Catalogue (GCMT) ในอดีตนั้นเป็นที่รู้จักในเครือข่ายการทำงานวิจัยด้านแผ่นดินไหวในนามของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว the Harvard CMT (HRV) โดยมีการกิจหลักในการวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (Centroid moment tensor, CMT) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.5 ริกเตอร์ นับตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1976 (Dziewonski และคณะ, 1981; Ekström และคณะ, 2005) ซึ่งความละเอียดของตัวแปร จะมีความแม่นยำค่อนข้างสูง เพราะผ่านการคำนวณเชิงลึกแล้ว ซึ่งจะมีการรายงานแผ่นดินไหวค่อนข้างนาน แต่สามารถนำข้อมูลไปต่อยอดได้ง่าย

3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)

จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1940 ซึ่งอยู่ในกา รกำกับดูแล ของ กรมทรัพยากรธรณี สหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) โดยเป็นเครือข่ายตรวจวัดแบบอัตโนมัติ และสามารถรายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้อย่างทันทีทันใด หลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบ้าง เล็กน้อยจากกระบวนการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอื่นๆ ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุด ณ ปัจจุบัน

3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

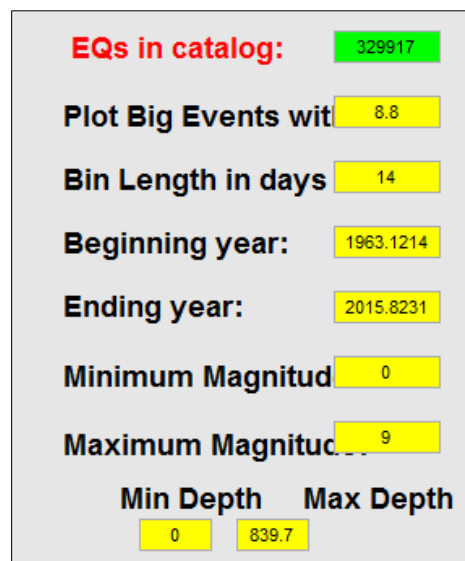
เป็นอีกหนึ่งฐานข้อมูลที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงาน USGS โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อจัดทำฐานข้อมูล แผ่นดินไหว ที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งฐานข้อมูล ISC เกิดจากการนำฐานข้อมูล NEIC มาคำนวณใหม่อีกครั้ง (International Seismological Centre, 2001) เพื่อความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล ตลอดจนรายงานข้อมูลในเชิงลึกอื่นๆ ที่อาจจำเป็นต่อการวิจัยในเชิงลึกด้านแผ่นดินไหววิทยา โดยบางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นล่าสุด ฐานข้อมูล ISC จะยังไม่มีกรายงาน แต่ถือว่าโดยภาพรวมข้อมูลจะมีความถูกต้องมากกว่าฐานข้อมูล NEIC

3.1.4 ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

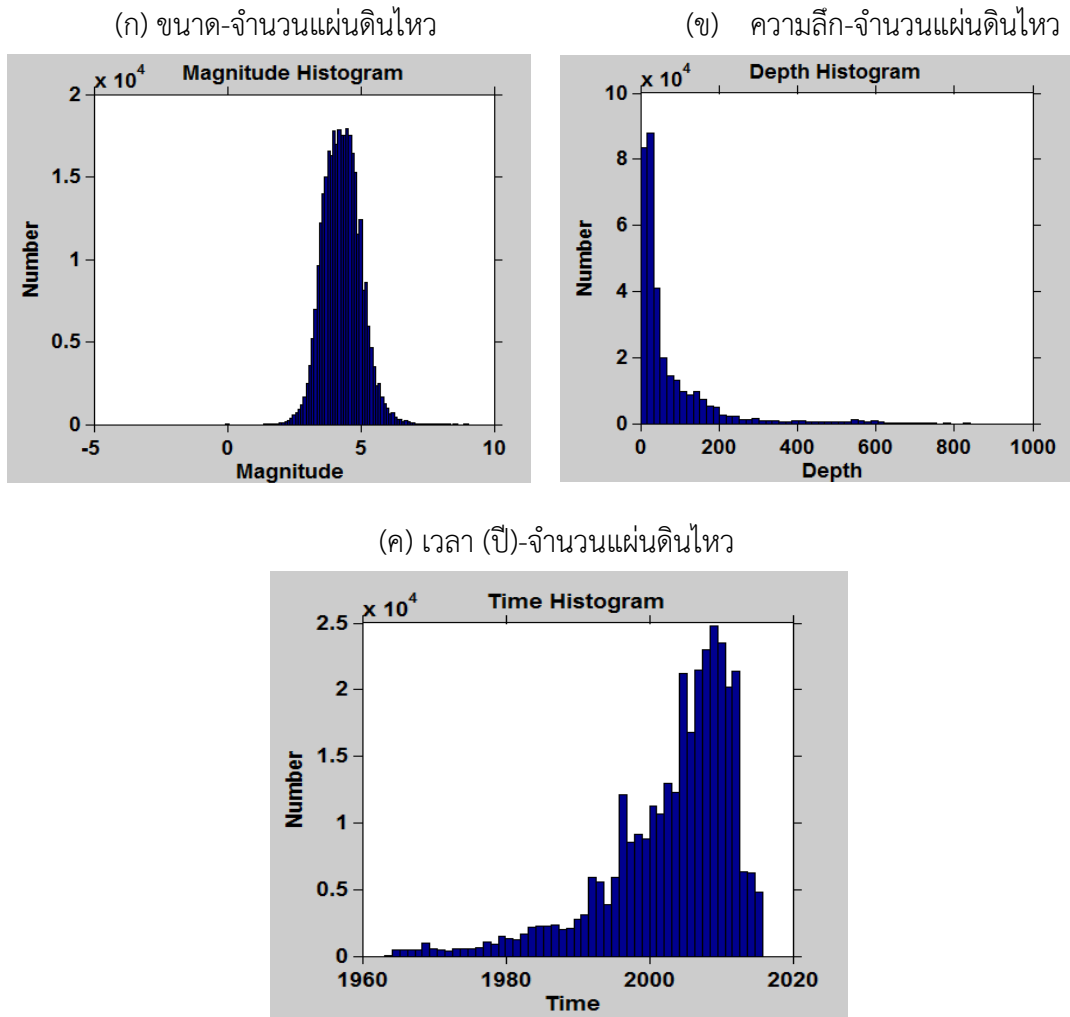
เนื่องจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละ เครือข่ายการตรวจวัดมีข้อดี -ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ถึงแม้เครือข่ายการตรวจวัดจากต่างประเทศนั้นมีระบบการจัดการที่ดี มีการตรวจวัดต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า แต่เนื่องจากเครือข่ายการตรวจวัดกระจายอยู่ทั่วโลกอย่างห่างๆ ทำให้ตรวจวัดได้เฉพาะขนาดแผ่นดินไหวระดับ ปานกลาง ($> 4.0-5.0$ ริกเตอร์) ขึ้นไป แต่เครือข่ายการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยานั้นถึงแม้ว่าจะไม่มีการตรวจวัดอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องมากนักเมื่อเทียบกับเครือข่ายจากต่างประเทศแต่เนื่องจากมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดที่หนาแน่นครอบคลุมประเทศไทยและ ประเทศเพื่อนบ้านจึงทำให้เป็นเครือข่าย ที่มีศักยภาพมากกว่าสำหรับแผ่นดินไหวขนาดเล็ก

ด้วยเหตุนี้ก่อนเริ่มกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติจำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่โดย รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครือข่ายการตรวจวัดต่างๆ ทำให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีการกระจายตัวครอบคลุมมากขึ้น

เมื่อรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูล พบว่ามีจำนวนข้อมูล แผ่นดินไหวทั้งหมด 329,917 เหตุการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1964-2015 ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหว ตั้งแต่ $0.1-9.0 M_w$ และมีความลึกตั้งแต่ $0-839.7$ กิโลเมตร ดังรูป 3.1 โดยสามารถสรุปเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด -จำนวนแผ่นดินไหว ความลึก -จำนวนแผ่นดินไหว และระยะเวลา (ปี)-จำนวนแผ่นดินไหว ได้ดังรูป 3.2



รูป 3.1 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวจากการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้ง 3 แหล่งข้อมูลเข้าด้วยกัน



รูป 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับ (ก) ขนาด (ข) ความลึก และ (ค) เวลา (ปี)

3.2 การเปรียบเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

หลังจากผ่านการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่าการรวบรวมข้อมูล จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต่างกันจะมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่ง การตรวจวัดแผ่นดินไหวแต่ละครั้ง สามารถให้ค่าขนาดแผ่นดินไหวได้หลาย หน่วย แตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทของคลื่นที่ตรวจวัด โดยหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวมีดังนี้

- M_L (Local Magnitude) คือ การรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดในท้องถิ่น มีความแม่นยำมากหากวัดภายในบริเวณที่ใกล้จุดเกิดแผ่นดินไหว แต่หากตรวจวัดในระยะทางที่ไกลออกไปจะให้ความถูกต้องของข้อมูลแผ่นดินไหวลดน้อยลง นิยมวัดแผ่นดินไหวในหน่วย M_L ในกรณีประเมินแผ่นดินไหวเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้น เช่น เหมือง เขื่อน อาคารสูง ใช้ได้เฉพาะแผ่นดินไหวในระยะไม่เกิน 650 กิโลเมตร

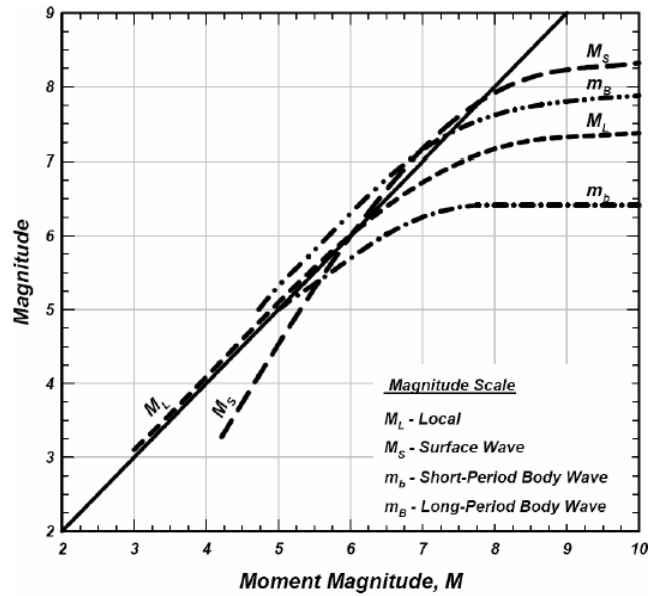
- m_b (Body-Wave Magnitude) เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลก สามารถแบ่งคลื่นเนื้อโลกได้สองแบบคือ คลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) ในการเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งคลื่นที่จะเกิด พร้อมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเสมอคือคลื่นเนื้อโลก จำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าชนิดของขนาดแผ่นดินไหวอื่นๆ ในการวัดแผ่นดินไหวระดับลึกจะอาศัยวัดจากความสูงแอมพลิจูดของ P-Wave การวัดโดยใช้หน่วย m_b จะมีความถูกต้องมากกว่า

- M_s (Surface-Wave Magnitude) คือ คลื่นที่เกิดหลังจากคลื่นเนื้อโลกเคลื่อนที่มาถึงผิวโลก จะให้กำเนิดคลื่นผิวโลกตามมา โดยทั่วไปของการตรวจวัดในระดับทั่วโลก (global scale) ในการที่จะวัดคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลหรือแผ่นดินไหวที่มีขนาดรุนแรงจะวัดความสูงแอมพลิจูดของคลื่นผิวโลก ข้อมูลจึงมีความสมบูรณ์มากกว่า ซึ่งจำนวนที่สามารถวัดได้จะน้อยกว่า m_b

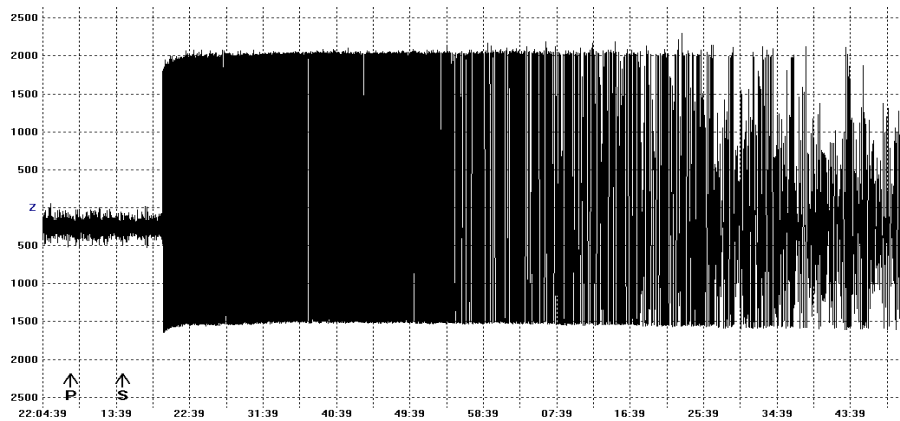
- M_w (Moment Magnitude) เป็นการวัดแผ่นดินไหวจากโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่คิดจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน พื้นที่การเคลื่อนตัวตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่ ขนาดแผ่นดินไหว ชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัด ถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่นๆ ที่สามารถตรวจวัดได้ ซึ่งแทนด้วย M_x เป็นข้อมูลที่ทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่ได้ระบุชนิดของแผ่นดินไหว แต่ด้วยจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ยังสามารถเติมเต็มกับข้อมูลแผ่นดินไหวอื่นๆ ได้และจะกำหนดให้แผ่นดินไหวที่ไม่ทราบชนิดของขนาดแผ่นดินไหวนี้เป็น M_w

ดังนั้นข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาจากหลายแหล่งข้อมูลจะมีขนาดการวัดแผ่นดินไหวที่ต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องวัดแผ่นดินไหว พบว่าหากใช้ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นในการวิเคราะห์จะเกิดความผิดพลาดมากโดยเฉพาะแผ่นดินไหวที่มาจากระยะไกล หรือการใช้คลื่นแผ่นดินไหวคนละแบบที่แตกต่างกันทั้งที่มาจากคลื่นเนื้อโลกหรือคลื่นผิวโลกจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและได้ผลไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะเป็นแผ่นดินไหวที่เป็นเหตุการณ์เดียวกันก็ตาม สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันนี้อาจมาจากคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ที่มีข้อจำกัดในการวัดขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแบบหรือแต่ละคลื่น เช่น คลื่นเนื้อโลกและคลื่นผิวโลกมีจุดความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว (saturation of earthquake magnitude) ดังรูป 3.3 ข้อจำกัดที่ว่ำนั้นอาจจะเป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินไปจนทำให้ขนาดที่สูงเกินไปไม่สามารถวัดและทำการบันทึกได้ ดังรูป 3.4



รูป 3.3 แสดงค่าความอิมตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ M_W (Kagan และ Knopoff, 1980)



รูป 3.4 แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึกได้

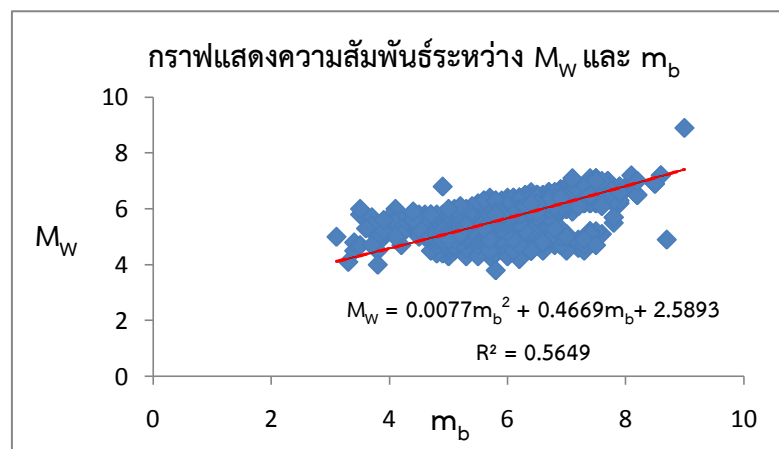
เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลในแต่ละที่นั้นจะมีการรายงานชนิดของขนาดแผ่นดินไหวหลากหลาย มาตรฐานวัด ทั้ง m_b , M_S , M_W หรือ M_L เพื่อความสะดวกและความเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องปรับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาให้อยู่ใน หน่วยเดียวกันทั้งหมดก่อนจะนำไปดำเนินการต่อไป ซึ่งในปัจจุบันหน่วย มาตรฐานวัดที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ ข้อมูลเชิงสถิติและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด คือ มาตรฐานวัดขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) ซึ่งโครงการวิจัยนี้ให้ความสนใจกับแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เป็นหลัก เนื่องจากมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในแนวตั้ง และก่อให้เกิดผลกระทบได้มากกว่า จึงประเมินว่า มาตรฐานวัดขนาดแผ่นดินไหวในหน่วย M_W มีความเหมาะสมมากที่สุด

โดยเริ่มต้นจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง มาตรฐานวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์จะมีค่าเฉพาะตัวและแตกต่างกัน ออกไปตามพื้นที่ จากนั้นจะต้องเลือกคู่สมการ ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้แปลงหน่วยฐานข้อมูล โดยจะทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่ในการแปลงมาตรฐานวัด โดยความเหมาะสมของสมการสามารถพิจารณา จากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือ ของความสัมพันธ์ โดย หากค่า R^2 ยังมีค่าใกล้เคียง 1 หมายถึงสมการดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งในที่นี้สามารถเลือกคู่ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมได้ 3 ความสัมพันธ์ดังนี้

3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) ดังสมการ (3.1) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.5

$$M_w = 0.0077m_b^2 + 0.4669m_b + 2.5893 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

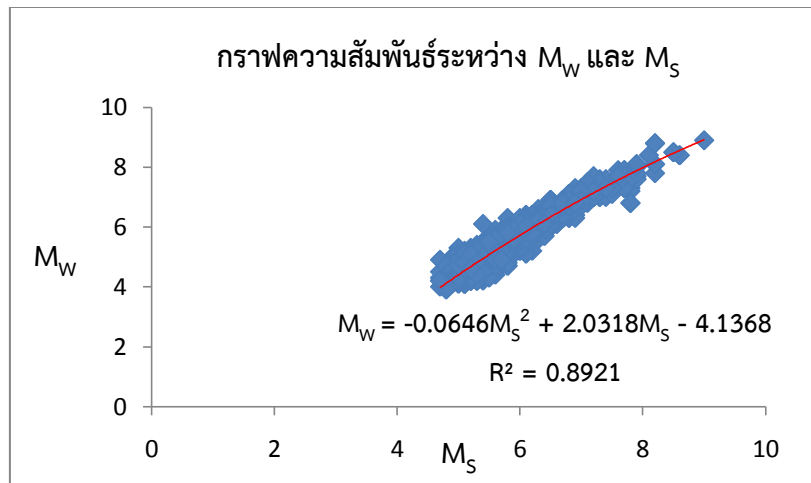


รูป 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตรฐานวัด m_b และ M_w

3.2.2 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ดังสมการ (3.2) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.6

$$M_w = -0.0646M_s^2 + 2.0318M_s - 4.1368 \quad \text{สมการ (3.2)}$$

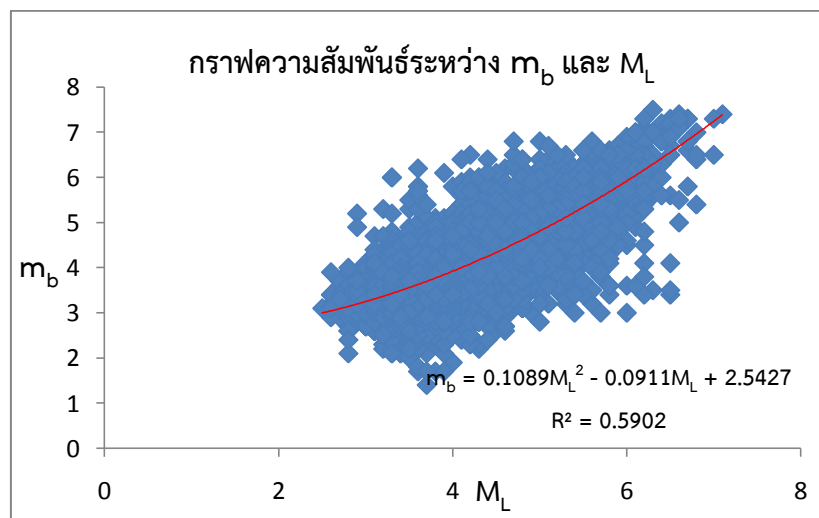


รูป 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_S) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด M_W และ M_S

3.2.3 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L) เป็นดังสมการ (3.3) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ห่อออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.7

$$m_b = 0.1089M_L^2 - 0.0911M_L + 2.5427 \quad \text{สมการ (3.3)}$$



รูป 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด m_b และ M_L

เดิมเรามีจุดประสงค์ที่จะแปลงหน่วยทุกหน่วยให้เป็น M_W แต่จะเห็นว่ามียังมีสองคู่สมการที่สามารถแปลงมาตราวัดในหน่วย m_b และ M_S ให้เป็น M_W ได้โดยตรง ดังสมการ (3.1) และสมการ

(3.2) ตามลำดับ เหลือเพียงหน่วย M_L ที่ไม่สามารถแปลงเป็น M_W ได้โดยตรง ซึ่งจากสมการ (3.3) จะเห็นว่าเราต้องแปลง หน่วย M_L เป็น m_b ก่อน จากนั้นจึงทำการแปลงหน่วย m_b ที่ได้ไปเป็นหน่วย มาตราวัด M_W ด้วยสมการ (3.1) อีกครั้ง ถือเป็นอันสิ้นสุดกระบวนการ

3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

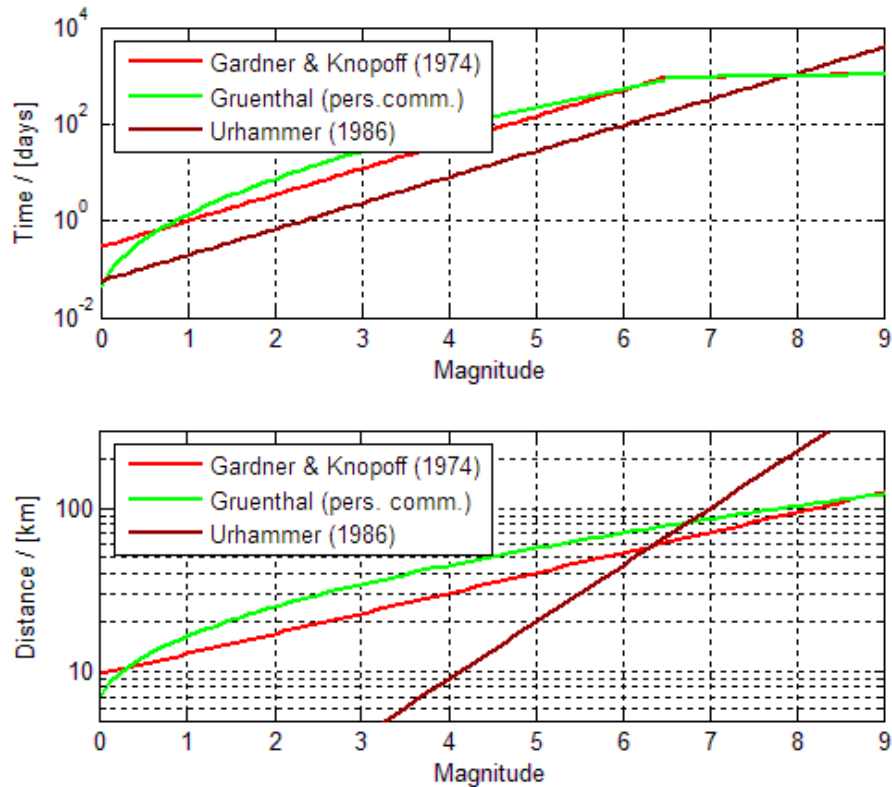
โดยปกติการเกิดแผ่นดินไหวครั้งหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยแผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์ย่อยๆ ด้วยกันคือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock), แผ่นดินไหวหลัก (main shock) และแผ่นดินไหวตาม (aftershock) โดยแผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (stress) อันเนื่องมาจากการกระทำทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง ในขณะที่แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามนั้นเกิดจากแรงเครียด (strain) อันเนื่องมาจากการกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวหลักในแต่ละเหตุการณ์ โดยแผ่นดินไหวนำเกิดจากการเตรียมตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวหลัก ในขณะที่แผ่นดินไหวตามเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้นเพื่อปรับสภาพให้พื้นที่รอยเลื่อนกลับสู่สภาวะสมดุลที่สุด ดเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลัก

ดังนั้นหากต้องการเหตุการณ์ที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวโดยแท้จริงที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐาน จะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก แต่จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการบันทึกทั้งแผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม ดังนั้น ขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวนี้จึงมีขึ้นเพื่อตัด แผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตามออกไป โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่าง

1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

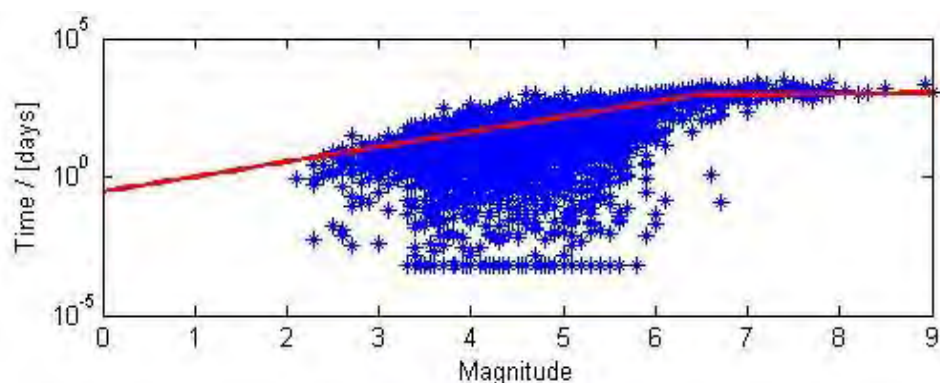
โดยวิธีการคัดเลือกแผ่นดินไหวถูกนำเสนอด้วยกัน 3 แนวคิด ได้แก่ Gardner และ Knopoff (1974) Grunenthal (ติดต่อส่วนตัว) และ Urhammer (1986) ดังรูป 3.8 ซึ่งในโครงการนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยมีใจความสำคัญของแนวคิดว่าหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือจะครอบคลุมเพียงพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามนั้นก็สั้น ในทางตรงกันข้ามการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้น ระยะเวลาของการปรับตัวของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้น เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวมีพื้นที่ กว้างขึ้น จึงต้องใช้เวลาในการปรับให้เข้าสู่สมดุลเป็นเวลานานมากขึ้นนั่นเอง

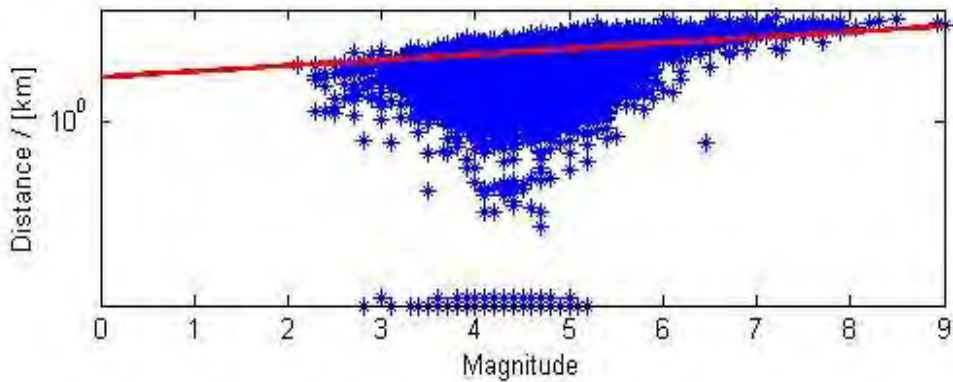
ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยต่างๆในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน จึงเป็น หนึ่งในเหตุผลในการเลือกแนวคิดดังกล่าว



รูป 3.8 แสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม

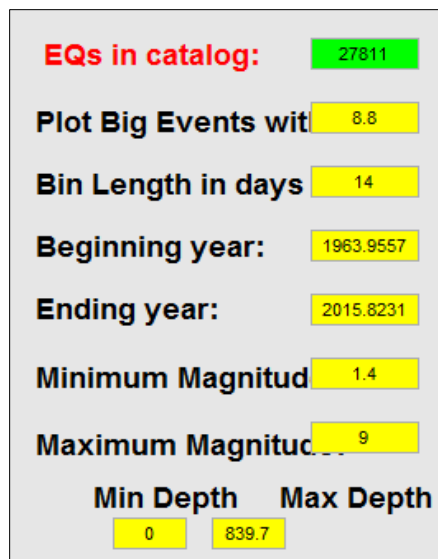
นอกจากนี้การบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งในแต่ละสถานีตรวจวัดอาจ มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวซ้ำกัน ก็จำเป็นจะต้องกำจัดข้อมูลแผ่นดินไหวที่ซ้ำซ้อนกันออกตามแนวทางของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว เวลาที่เกิด และระยะทางหรือความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังรูป 3.9





รูป 3.9 แสดงผลวิเคราะห์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) เส้นสีแดงคือกรอบระยะทาง และเวลาของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ขนาดใดๆ เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีระยะทางใกล้ (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะทาง) และระยะเวลาของการเกิดแผ่นดินไหวเกิดภายใน (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะเวลา) ถือเป็นแผ่นดินไหวเหตุการณ์เดียวกัน

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 16,052 กลุ่มแผ่นดินไหว (earthquake cluster) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 302,106 เหตุการณ์จากทั้งหมด 329,917 เหตุการณ์ (ซึ่งคิดเป็น 91.57% จากเหตุการณ์ทั้งหมด) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 27,811 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1964-2015 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 1.4-9.0 M_w ด้วยความลึก 0-839.7 กิโลเมตร ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ ดังรูป 3.10

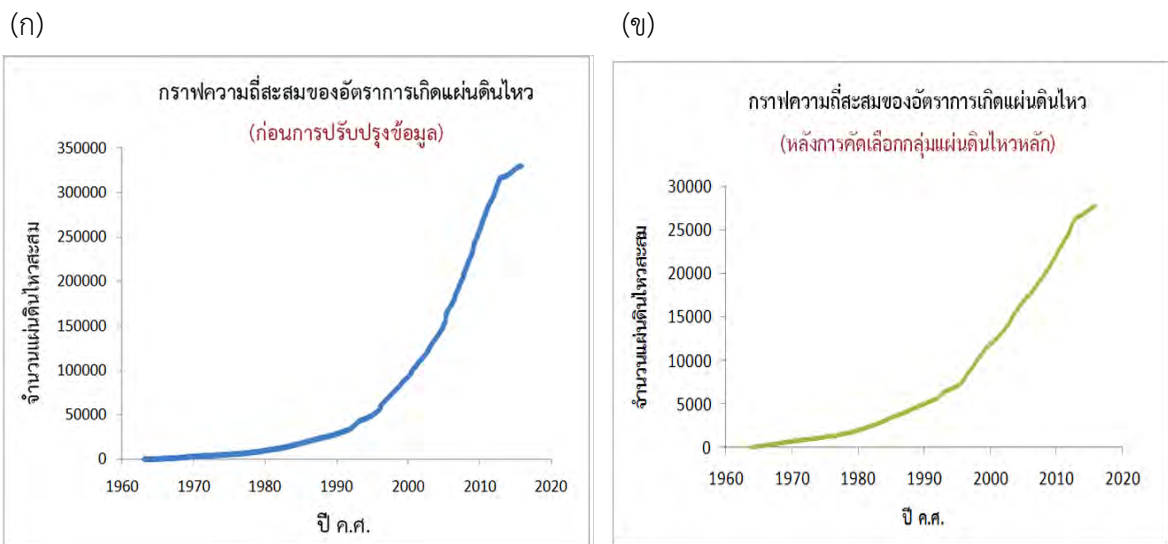


รูป 3.10 แสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

3.4 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

ในทางทฤษฎี นักแผ่นดินไหววิทยาเชื่อว่ากลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวของกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปีของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวตามเวลาของการบันทึกในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ควรให้ผลเป็นกราฟเส้นตรง

ดังนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้หลังจากการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering) มาพิจารณาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ข้างต้น ผลปรากฏดังรูป 3.11 ซึ่งพบว่ากราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก มีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นกว่าข้อมูลแผ่นดินไหวเดิมที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงข้อมูล แต่ก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตามหลักการ จึงเป็นผลว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักนี้ ก็ยังไม่สมบูรณ์ 100% จึงต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปปรับปรุงคุณภาพอีกในขั้นตอนถัดไป



รูป 3.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุง ฐานข้อมูล และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลัง ผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

นักแผ่นดินไหววิทยาจึงคาดว่าอาจจะมียุคสมัยด้านอื่นๆ ที่ทำให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้นั้นยังไม่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง จากการศึกษาของงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา พบว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ที่มักได้รับผล กระทบต่างๆ จากกระบวนการตรวจวัดของ

มนุษย์ เช่น การเพิ่ม /ลด สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเครือข่ายตรวจวัด ซึ่งจะส่งผลให้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวมากขึ้น /น้อยลงกว่าปกติ (Kanamori, 1981; Habermann และ Wyss, 1984; Wyss, 1991) การเปลี่ยนแปลงระเบียบวิธีหรือซอฟต์แวร์ในการประมวลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งทำให้การรายงานขนาดแผ่นดินไหวนั้นเปลี่ยนแปลงไปทั้งระบบ (Wyss และ Habermann, 1988) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดหรือคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984; Habermann, 1987) เป็นต้น

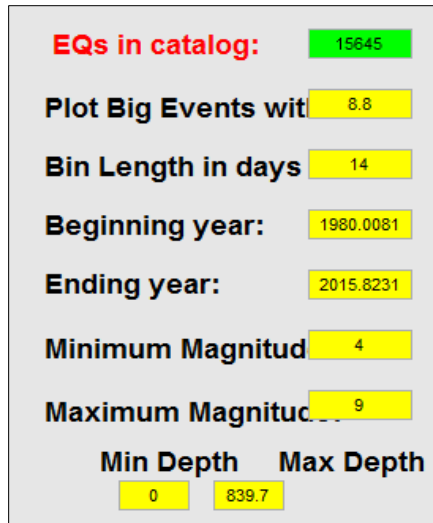
ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับ ปูรฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเพื่อให้การวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวมีความแม่นยำสูงสุด ในโครงการวิจัยชิ้นนี้จึงใช้หลักการของ Habermann (1983; 1987) ซึ่งได้นำเสนอหลักการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหวและเสนอสมการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบันทึกและขนาดแผ่นดินไหว ดังสมการ (3.4) นำมาปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

$$Z = \frac{M1 - M2}{\sqrt{\frac{S1^2}{N1} + \frac{S2^2}{N2}}} \quad \text{สมการ (3.4)}$$

กำหนดให้

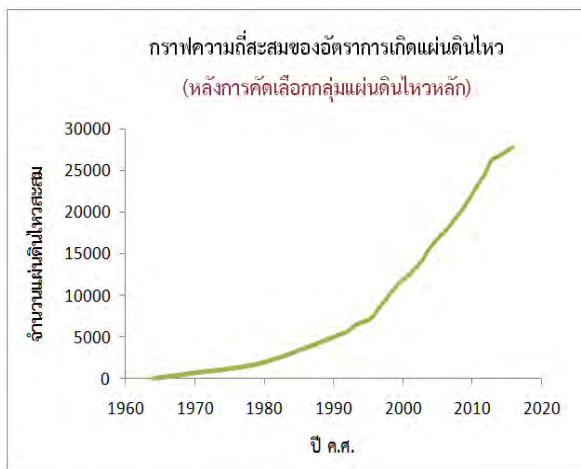
- Z คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดและในแต่ละช่วงเวลา
- M1 และ M2 คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา
- S1 และ S2 คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- N1 และ N2 คือ จำนวนของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 15,645 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1980-2015 มีขนาดตั้งแต่ 4.0-9.0 M_w ดังข้อมูลที่แสดงในรูป 3.12 จากนั้นนำ มาตราตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น พบว่ากราฟความถี่สะสมมี ลักษณะเป็นเส้นตรงมากยิ่งขึ้น ดังรูป 3.13 แสดงถึงข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์มากขึ้นนั่นเอง

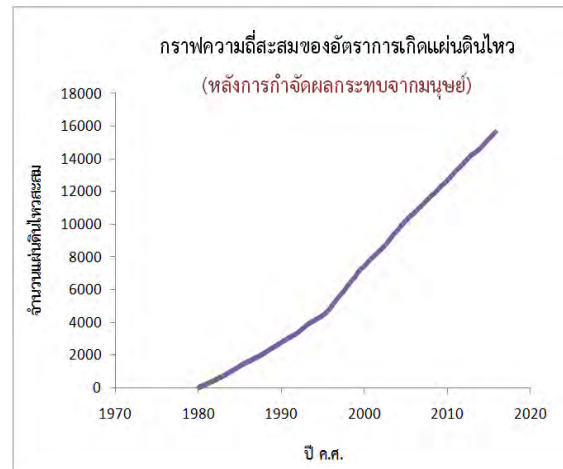


รูป 3.12 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยขั้นตอนการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์

(ก)



(ข)



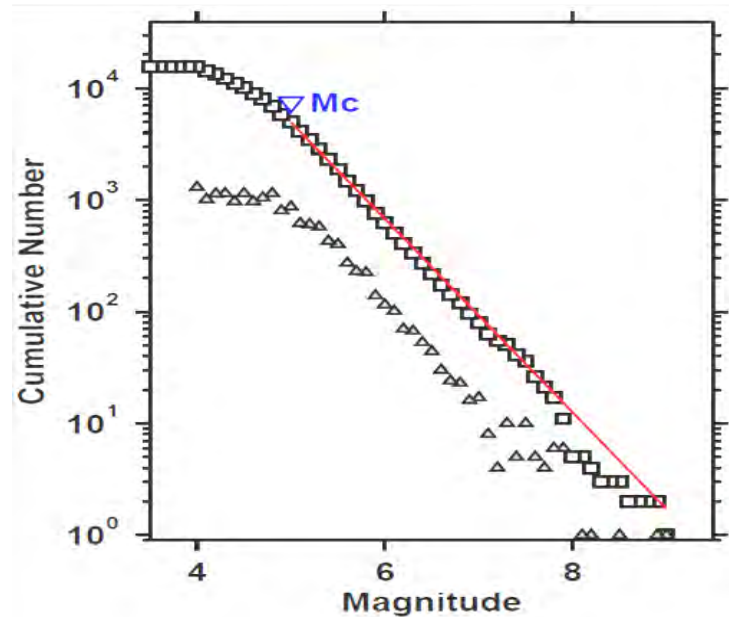
รูป 3.13 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) หลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์

3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากการศึกษาในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาพบว่ามีความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องมือตรวจวัด เช่นในกรณีแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็ก แรงสั่นสะเทือนบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือทั้งที่มีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นจริง

ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือ เรียกว่าขนาดแผ่นดินไหวนี้ว่า Magnitude of completeness หรือ M_c (Woessner และ Wiemer, 2005) โดยค่า M_c หมายถึง ระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า M_c นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการกำหนดค่า M_c ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหว จึงมีการกำหนดค่า $M_c = 5.0$ ดังรูป 3.14 ซึ่งหมายความว่า ข้อมูลแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์คือแผ่นดินไหวที่มีขนาด $5.0 M_w$ ขึ้นไป



รูป 3.14 แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว พบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c = 5.0$ (จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหวจะเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตั้งแต่ $M_c = 5.0$ ขึ้นไป ดังเส้นกราฟสีแดง)

หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวผ่านกระบวนการทางสถิติทั้งหมดข้างต้น ถือว่าฐานข้อมูลที่ได้นั้นมีคุณภาพและมีความสมบูรณ์มากพอที่สามารถนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวสุทธิที่ได้ มีจำนวนทั้งหมด 4,982 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1980-2015 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ $5.0-9.0 M_w$ ขึ้นไป

บทที่ 4

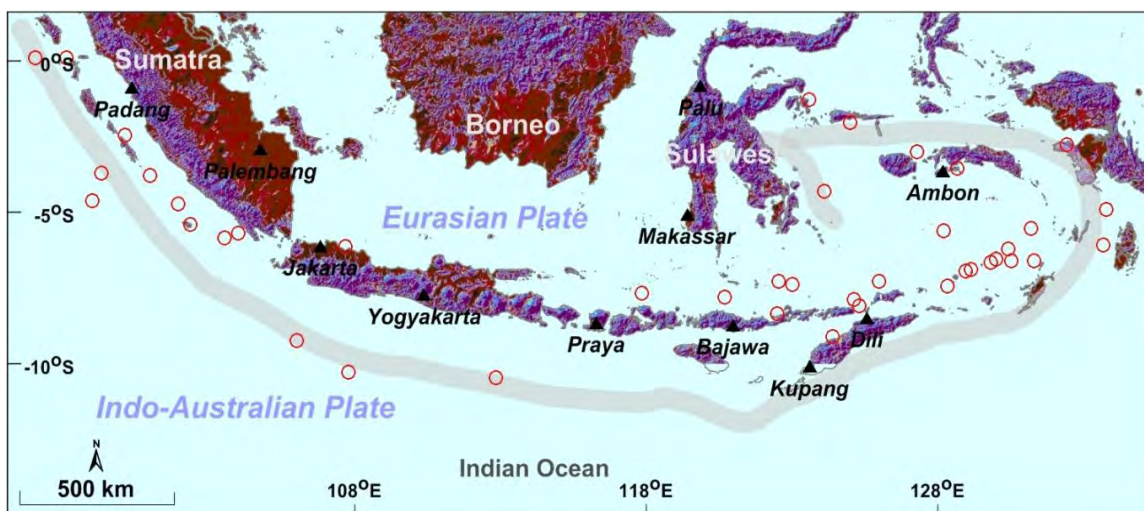
การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

เป็นวิธีการจำลองจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแล้วในอดีต โดยเลือกเงื่อนไข และตัวแปรต่างๆมาวิเคราะห์ ทำซ้ำหลายครั้ง จะได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์แผ่นดินไหวและนำเงื่อนไขนั้นมาประยุกต์ใช้กับระยะเวลาปัจจุบันเพื่อหาสิ่งที่สามารถทำนาย (forecast) เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่กำลังจะเกิดขึ้นได้

4.1.1. คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)

ขั้นแรกจะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษา ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยให้ความสนใจกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 7.0 M_w ขึ้นไป เนื่องจากต้องการศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างแท้จริง ซึ่ง มีกรณีศึกษาทั้งหมด 41 เหตุการณ์ ดังรูป 4.1 ซึ่งมีข้อมูลแต่ละเหตุการณ์ดังตาราง 4.1



รูป 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 41 เหตุการณ์ ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง

ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 41 เหตุการณ์

Events	Longitude	Latitude	Year	Month	day	Magnitude (M_w)	Depth (km)	Hour	Minute
1	125.300	-8.100	1982	6	22	7.5	33.0	4	18
2	125.990	-7.280	1982	6	22	7.4	473.4	4	18
3	128.320	-7.440	1983	11	24	7.4	157.1	5	30
4	98.100	0.100	1984	11	17	7.2	34.0	6	49

5	104.000	-5.700	1985	12	27	7.0	25.0	5	38
6	131.200	-5.530	1987	6	17	7.1	75.4	1	32
7	124.400	-9.100	1988	5	30	7.3	33.0	21	11
8	131.300	-6.600	1988	7	25	7.3	33.0	6	46
9	133.667	-6.081	1988	7	25	7.0	31.0	6	46
10	120.700	-7.800	1990	5	24	7.1	580.0	20	9
11	122.490	-8.340	1992	12	12	7.7	20.4	5	29
12	130.520	-6.600	1992	12	20	7.2	69.7	20	53
13	112.835	-10.477	1994	6	2	7.8	6.0	18	17
14	129.151	-6.903	1995	12	25	7.0	158.0	4	43
15	123.020	-7.380	1996	6	17	7.8	584.2	11	22
16	128.950	-6.940	1998	11	9	7.0	24.6	5	38
17	125.000	-2.030	1998	11	29	7.7	16.4	14	10
18	123.590	-1.290	2000	5	4	7.6	18.6	4	21
19	101.940	-4.730	2000	6	4	7.9	43.9	16	28
20	98.990	-4.624	2000	6	4	7.4	33.0	16	28
21	103.527	-5.859	2000	6	4	7.2	33.0	16	28
22	102.360	-5.400	2001	2	13	7.4	21.2	19	28
23	124.110	-4.310	2001	10	19	7.5	18.8	3	28
24	128.669	-3.563	2002	10	10	7.0	10.0	10	50
25	117.860	-7.671	2003	3	25	7.3	15.0	2	53
26	127.280	-2.995	2003	5	26	7.0	15.5	19	23
27	125.120	-7.870	2004	11	11	7.5	17.0	21	26
28	129.990	-6.540	2005	3	2	7.1	196.1	10	42
29	128.200	-5.610	2006	1	27	7.6	397.4	16	58
30	97.050	0.093	2006	5	16	7.0	12.0	15	28
31	107.780	-10.280	2006	7	17	7.7	20.0	8	19
32	106.000	-9.230	2006	7	17	7.2	33.0	8	19
33	107.680	-6.130	2007	8	8	7.8	284.0	17	4
34	100.990	-3.780	2007	9	12	8.5	24.4	11	10
35	100.130	-2.460	2007	9	12	7.9	43.1	23	49
36	132.430	-2.770	2009	1	3	7.6	33.0	19	43
37	130.430	-6.210	2009	10	24	7.1	149.0	14	40
38	133.780	-4.920	2010	9	29	7.0	17.7	17	11
39	99.320	-3.710	2010	10	25	7.8	12.0	14	42
40	129.830	-6.650	2012	12	10	7.1	159.2	16	53
41	122.534	-7.277	2015	2	27	7.0	547.0	13	45

4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of Condition)

โดยอาศัยวิธีการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นแล้วในอดีต โดยสร้างเงื่อนไขและกำหนดตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ซ้ำๆ ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดย วิธีการทางสถิติ ของ Wiemer (2001) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือที่สุดในการนำมาใช้วิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวในระยะเวลาปัจจุบัน โดยตัวแปรที่ต้องกำหนดคือ กรอบเวลาที่สนใจ, จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี โดยใช้สมการ (2.1) จะได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดแผ่นดินไหว (Z value) ก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ที่เคยเกิด จากนั้นเลือกเฉพาะเงื่อนไขที่ให้ค่า Z สูงสุดในแต่ละพื้นที่ แล้วนำมาจัดกลุ่มโดยใช้กรอบเวลาและจำนวนเหตุการณ์ ซึ่งเงื่อนไขบางส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 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	2.0	129.830	-6.650	2012.94	7.1	38.91	2005.17	5.1	7.8
25	2.0	129.990	-6.540	2005.17	7.1	42.97	1997.96	4.7	7.2
25	2.0	130.430	-6.210	2009.81	7.1	44.38	2004.79	5.1	5.0
25	2.0	128.669	-3.563	2002.78	7.0	44.82	1999.45	5.1	3.3
25	2.0	128.200	-5.610	2006.07	7.6	46.84	1998.92	4.9	7.2
25	2.0	127.280	-2.995	2003.40	7.0	50.52	1995.04	5.1	8.4
25	2.0	122.534	-7.277	2015.16	7.0	51.26	2011.61	4.9	3.5
25	2.0	129.151	-6.903	1995.98	7.0	53.72	1993.66	2.0	2.3
25	2.0	130.520	-6.600	1992.97	7.2	65.52	1988.72	2.5	4.3
25	2.0	123.020	-7.380	1996.46	7.8	68.82	1990.82	5.0	5.6
25	2.0	106.000	-9.230	2006.54	7.2	69.48	1998.76	4.9	7.8
25	2.0	102.360	-5.400	2001.12	7.4	74.64	1997.92	4.4	3.2
25	2.0	120.700	-7.800	1990.39	7.1	75.40	1987.99	1.9	2.4
25	2.0	107.680	-6.130	2007.60	7.8	75.64	2004.25	4.7	3.4
25	2.0	103.527	-5.859	2000.42	7.2	82.57	1992.82	5.1	7.6
25	2.0	131.200	-5.530	1987.46	7.1	89.72	1985.34	1.4	2.1
25	2.0	131.300	-6.600	1988.56	7.3	90.01	1981.73	1.7	6.8
25	2.0	124.400	-9.100	1988.41	7.3	92.14	1985.19	1.7	3.2
25	2.0	112.835	-10.477	1994.42	7.8	94.44	1987.76	4.6	6.7
25	2.0	100.990	-3.780	2007.70	8.5	100.58	1999.15	4.9	8.6
25	2.0	125.000	-2.030	1998.91	7.7	106.15	1990.10	4.5	8.8

25	2.0	97.050	0.093	2006.37	7.0	119.05	2003.06	4.9	3.3
25	2.0	128.320	-7.440	1983.90	7.4	146.86	1981.50	1.0	2.4
25	2.0	99.320	-3.710	2010.82	7.8	150.39	2008.16	4.7	2.7
25	2.0	133.667	-6.081	1988.56	7.0	151.32	1984.23	1.7	4.3
25	2.0	104.000	-5.700	1985.99	7.0	173.60	1983.35	1.6	2.6
25	2.0	98.990	-4.624	2000.42	7.4	203.41	1995.81	5.1	4.6
25	2.0	125.300	-8.100	1982.47	7.5	224.66	1980.35	0.8	2.1
25	2.0	98.100	0.100	1984.88	7.2	228.83	1981.04	1.8	3.8

เมื่อได้เงื่อนไขในเบื้องต้นแล้ว เราจะนำมาพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี, ระยะเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา จากโครงการวิจัยนี้เลือกพิจารณา 8 เงื่อนไขด้วยกัน ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงข้อมูลทั้ง 8 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ โดยตัวแปรที่กำหนดประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, ระยะเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา

เงื่อนไขที่ 1	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	1.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	38 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 2	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	29 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 3	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	24 เหตุการณ์
	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	3.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	25 เหตุการณ์

เงื่อนไซท์ที่ 5	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี กรอบเวลา รัศมี	25 เหตุการณ์ 3.5 ปี 300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	20 เหตุการณ์
เงื่อนไซท์ที่ 6	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี กรอบเวลา รัศมี	25 เหตุการณ์ 4.0 ปี 300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	15 เหตุการณ์
เงื่อนไซท์ที่ 7	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี กรอบเวลา รัศมี	25 เหตุการณ์ 4.5 ปี 300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	15 เหตุการณ์
เงื่อนไซท์ที่ 8	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี กรอบเวลา รัศมี	25 เหตุการณ์ 5.0 ปี 300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	12 เหตุการณ์

เริ่มทำการทดสอบย้อนกลับของกรณีศึกษาที่ละกรณีโดยคัดเลือกเหตุการณ์ของกรณีศึกษามา 1 เหตุการณ์และเลือกเฉพาะข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นก่อนเหตุการณ์ของกรณีศึกษาที่นำมาพิจารณา แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวด้วยสมการ (2.1) เช่น เหตุการณ์ที่ 1 จากตาราง 4.1 ดังตาราง 4.4 คือ

ตาราง 4.4 แสดงรายละเอียดตัวอย่างเหตุการณ์ที่ 1

Events	Longitude	Latitude	Year	Month	day	Magnitude (M_w)	Depth (km)	Hour	Minute
1	125.300	-8.100	1982	6	22	7.5	33.0	4	18

เหตุการณ์แผ่นดินไหวของกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นวันที่ 22 มิถุนายน ปี ค.ศ. 1988 ดังนั้นจะต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ที่มีการบันทึกจนถึงช่วงเวลานี้มาศึกษา โดยใช้สมการ (2.1) ในการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อหาค่า Z ตามเงื่อนไซท์ที่ 1 จากตาราง 4.3 ทำวิธีเดียวกันกับทุกกรณีศึกษาด้วยเงื่อนไซท์เดียวกัน จากนั้นจึงเริ่มใช้เงื่อนไซท์ที่ 2 มาวิเคราะห์ต่อ ทำเช่นนี้ไปจนครบทั้ง 8 เงื่อนไซท์ดังตาราง 4.3 สุดท้ายจะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของทั้งพื้นที่ใน

ช่วงเวลาของเหตุการณ์ของกรณีศึกษา แล้วนำไปทำแผนที่เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเงื่อนไขต่างๆ

เมื่อได้แผนที่การทดสอบย้อนกลับและทำการพิจารณาความเหมาะสมครบทุกเงื่อนไขแล้วพบว่าเงื่อนไขที่ 2 ที่มีจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี 25 เหตุการณ์ ในกรอบเวลา 2 ปี รัศมี 300 กิโลเมตร จัดเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสม เนื่องจากเงื่อนไขนี้มีจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา ที่สามารถตรวจพบค่าความผิดปกติก่อนการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จำนวน 29 เหตุการณ์ จากจำนวนทั้งหมด 41 เหตุการณ์ ในระยะเวลา 1-8 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำนายเหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term) นอกจากนี้พบว่าค่า Z ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4.0-6.0 ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดปกติที่ตรวจพบมีความชัดเจนค่อนข้างสูง ดังรูป 4.2

ดังนั้นเงื่อนไขที่ 2 จึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับโครงการวิจัยนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ

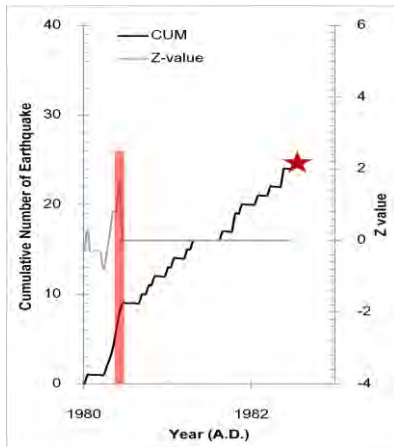
เงื่อนไขที่ 2	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	29 เหตุการณ์

4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ช่วงเวลา และค่า Z

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมแล้ว ต้องนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี การเปลี่ยนแปลงค่า Z เชิงเวลา (Temporal) โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ปรับปรุงฐานข้อมูลแล้ว ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ต้นจนถึงข้อมูลปัจจุบัน ด้วยสมการ (2.1) เพื่อเป็นการพิจารณาค่า Z และระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่านกราฟความสัมพันธ์ ซึ่งมีแกนตั้งสองแกนประกอบด้วยแกนแสดงข้อมูลจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและแกนแสดงค่า Z และแกนนอนแสดงระยะเวลาปี โดยปรากฏผลการวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 4.2

1) Magnitude: 7.3 M_w

Date: 20/02/2008



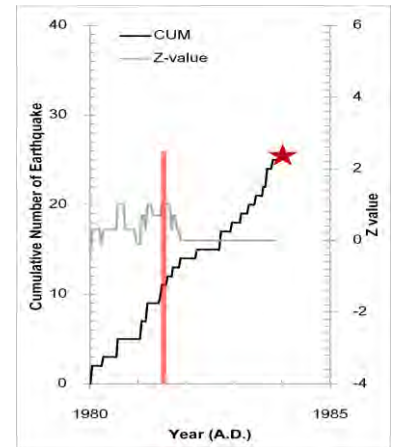
2) Magnitude: 7.4 M_w

Date: 22/6/1982

N/A

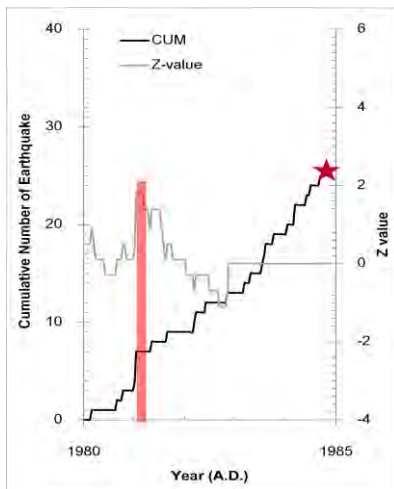
3) Magnitude: 7.4 M_w

Date: 24/11/1983



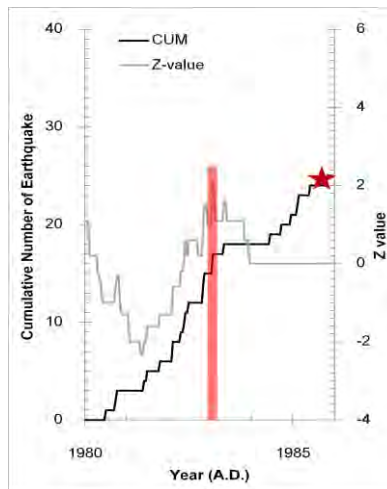
4) Magnitude: 7.2 M_w

Date: 17/11/1984



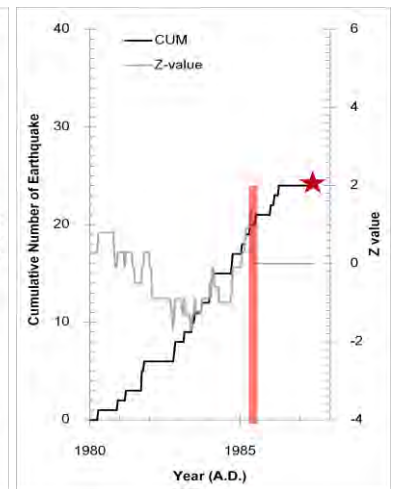
5) Magnitude: 7.0 M_w

Date: 27/12/1985



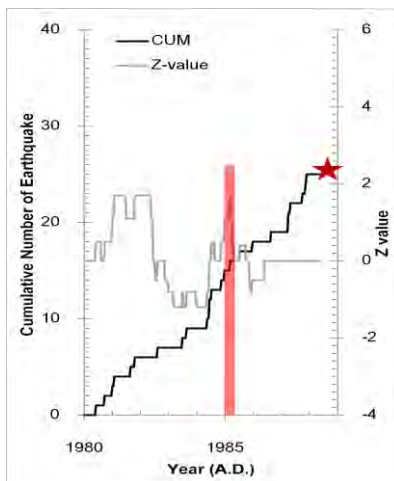
6) Magnitude: 7.1 M_w

Date: 17/6/1987



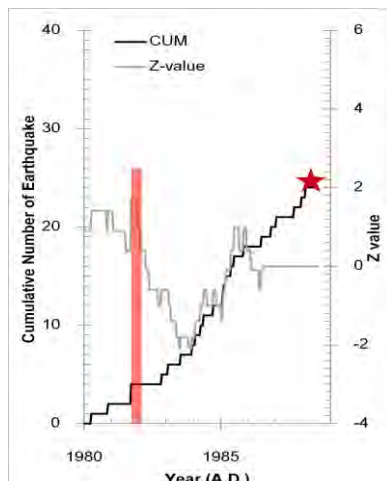
7) Magnitude: 7.3 M_w

Date: 30/5/1988



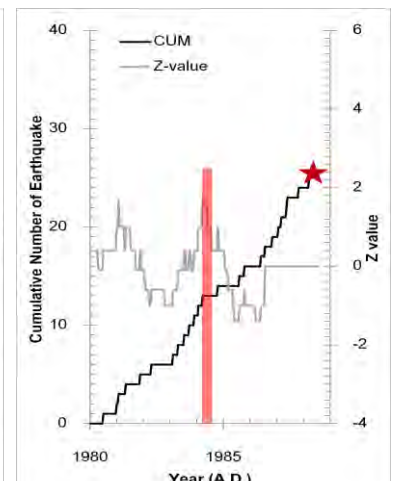
8) Magnitude: 7.3 M_w

Date: 25/7/1988



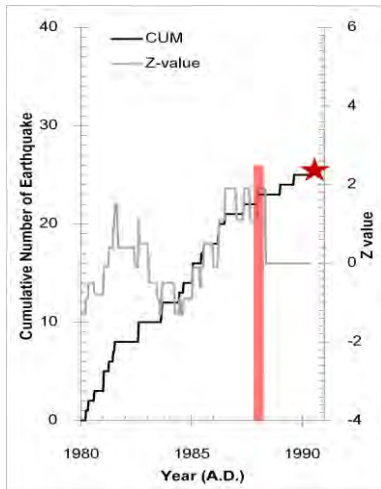
9) Magnitude: 7.0 M_w

Date: 25/7/1988



10) Magnitude: 7.1 M_w

Date: 24/5/1990



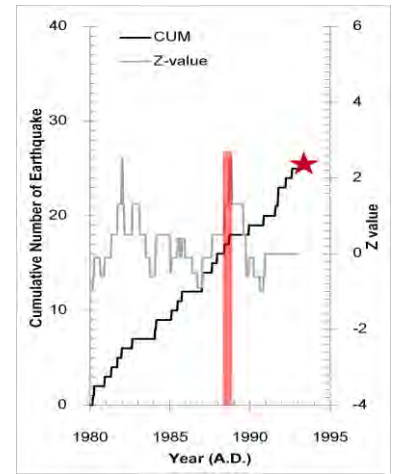
11) Magnitude: 7.7 M_w

Date: 12/12/1992

N/A

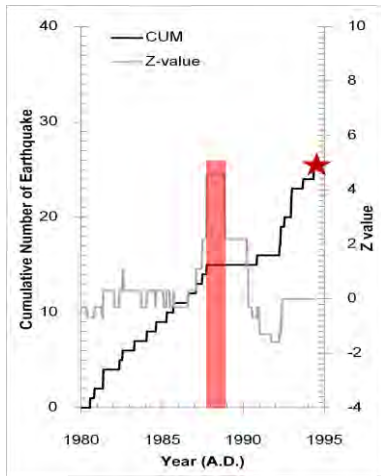
12) Magnitude: 7.2 M_w

Date: 20/12/1992



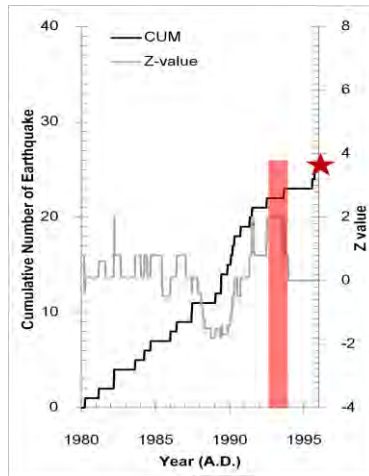
13) Magnitude: 7.8 M_w

Date: 2/6/1994



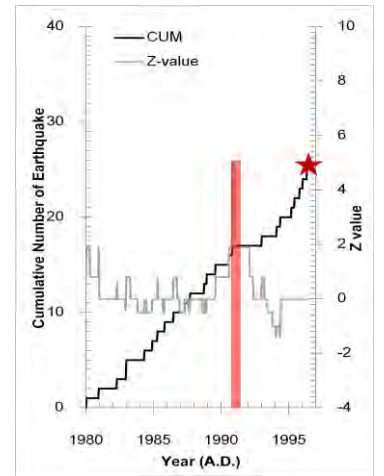
14) Magnitude: 7.0 M_w

Date: 25/12/1995



15) Magnitude: 7.8 M_w

Date: 17/6/1996



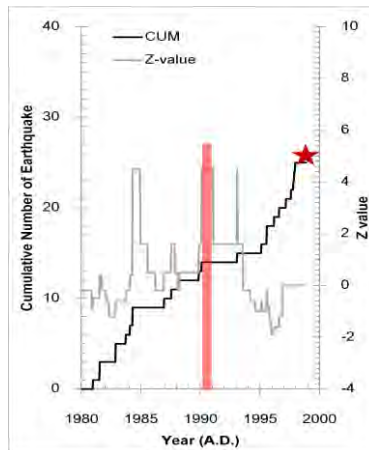
16) Magnitude: 7.0 M_w

Date: 9/11/1998

N/A

17) Magnitude: 7.7 M_w

Date: 29/11/1998



18) Magnitude: 7.6 M_w

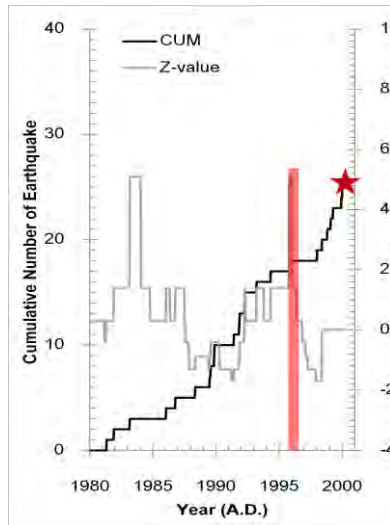
Date: 4/5/2000

N/A

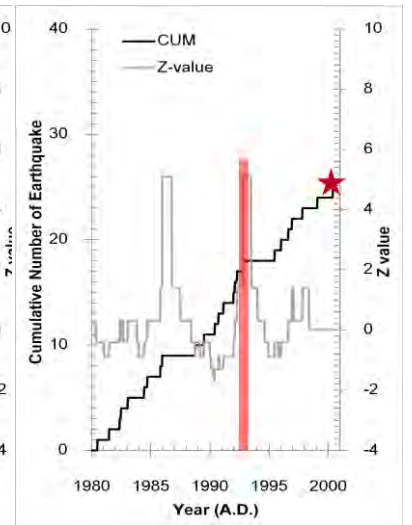
19) Magnitude: 7.9 M_w
Date: 4/6/2000

N/A

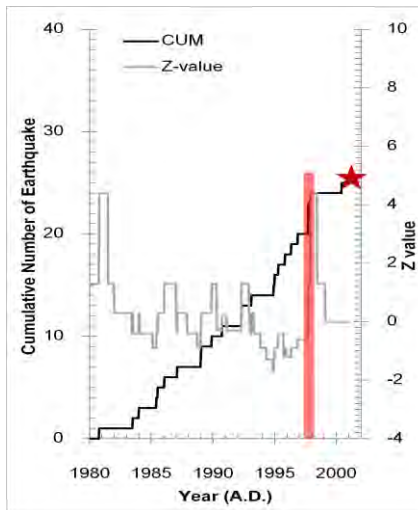
20) Magnitude: 7.4 M_w
Date: 4/6/2000



21) Magnitude: 7.2 M_w
Date: 4/6/2000



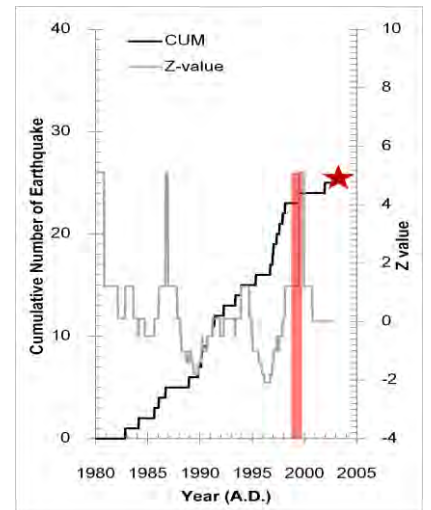
22) Magnitude: 7.4 M_w
Date: 13/2/2001



23) Magnitude: 7.5 M_w
Date: 19/10/2001

N/A

24) Magnitude: 7.0 M_w
Date: 10/10/2002



25) Magnitude: 7.3 M_w
Date: 25/3/2003

N/A

26) Magnitude: 7.0 M_w
Date: 26/5/2003

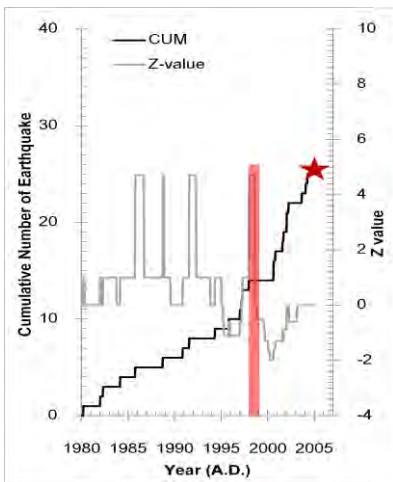
N/A

27) Magnitude: 7.5 M_w
Date: 11/11/2004

N/A

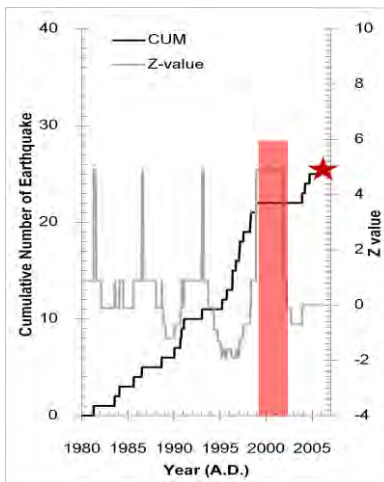
28) Magnitude: 7.1 M_w

Date: 2/3/2005



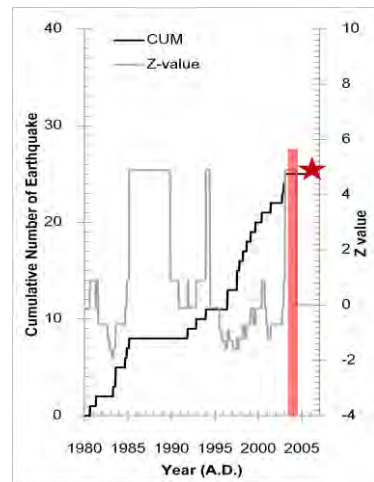
29) Magnitude: 7.6 M_w

Date: 27/1/2006



30) Magnitude: 7.0 M_w

Date: 16/5/2006



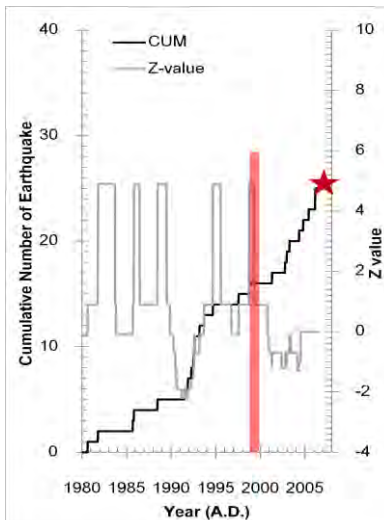
31) Magnitude: 7.7 M_w

Date: 17/7/2006

N/A

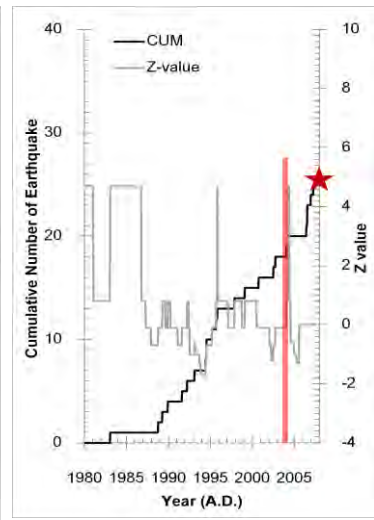
32) Magnitude: 7.2 M_w

Date: 17/7/2006



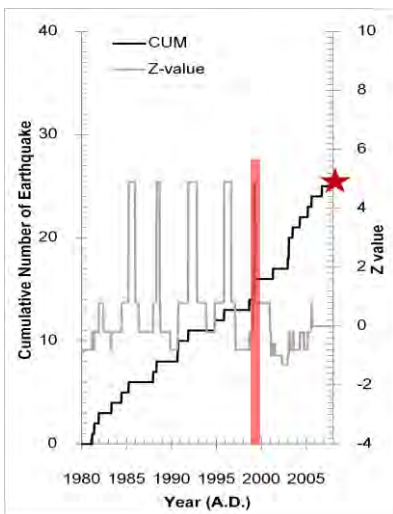
33) Magnitude: 7.8 M_w

Date: 8/8/2007



34) Magnitude: 8.5 M_w

Date: 12/9/2007



35) Magnitude: 7.9 M_w

Date: 12/9/2007

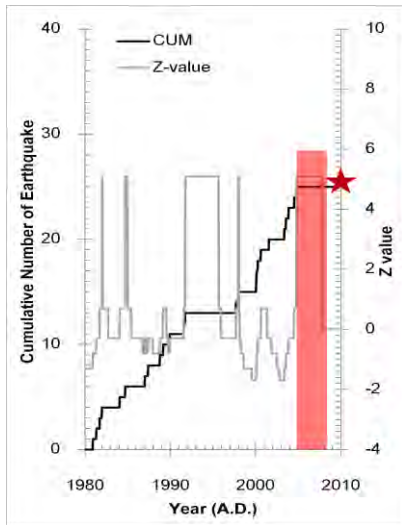
N/A

36) Magnitude: 7.6 M_w

Date: 3/1/2009

N/A

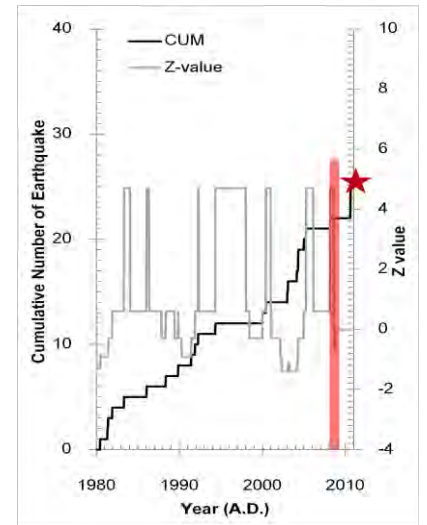
37) Magnitude: 7.1 M_w
Date: 24/10/2009



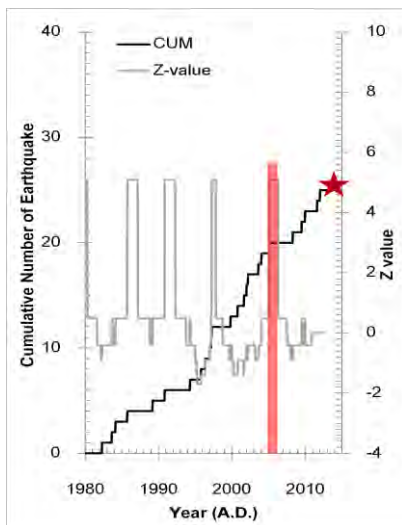
38) Magnitude: 7.0 M_w
Date: 29/9/2010

N/A

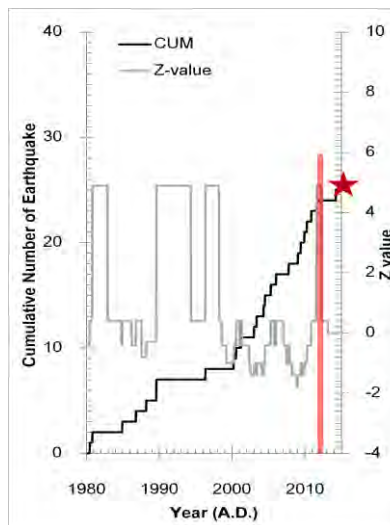
39) Magnitude: 7.8 M_w
Date: 25/10/2010



40) Magnitude: 7.1 M_w
Date: 10/12/2012



41) Magnitude: 7.0 M_w
Date: 27/2/2015



รูป 4.2 กราฟแสดงค่า Z สูงสุด แทนด้วยแท่งสีแดง และระยะเวลาของภาวะเงียบสงบก่อนการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาทั้ง 41 เหตุการณ์ โดยดาวสีแดงแทนเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดขึ้น และ N/A แสดงถึงข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์

จากกราฟความสัมพันธ์ส่วนใหญ่ พบว่ามีช่วงเวลาของภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) ส่วนใหญ่อยู่ที่ 1-3 ปี มีค่า Z สูงสุดอยู่ในช่วง 4.0-6.0 ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดปกติที่ตรวจพบมีความชัดเจนค่อนข้างสูง และมีระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ อยู่ในช่วง 1-8 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำนาย เหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term)

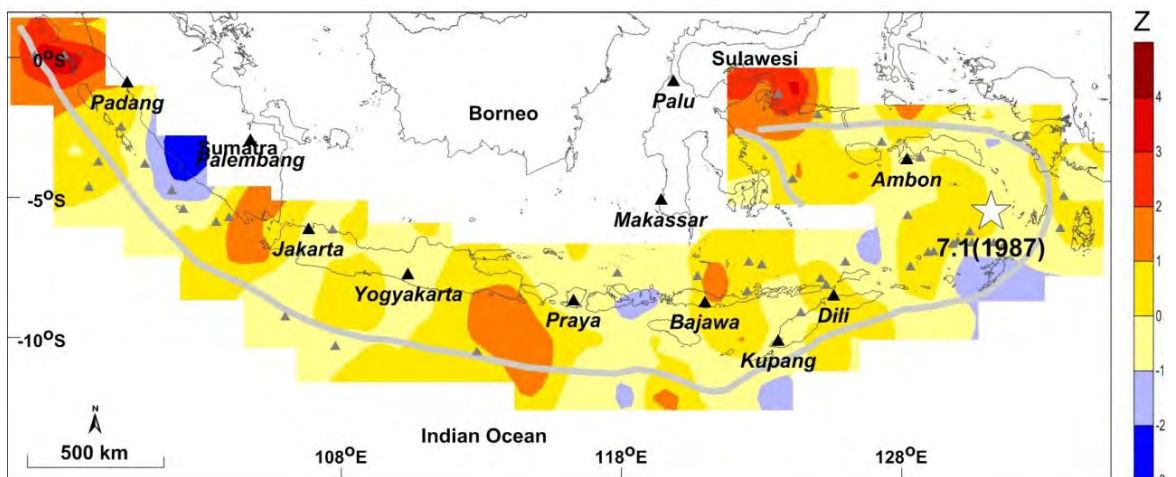
นอกจากนี้พบว่าค่า Z สูงสุดในแต่ละกราฟ ปรากฏในหลายช่วงเวลา ซึ่งความผิดปกติดังกล่าว มีสาเหตุมาจาก 1) ข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในพื้นที่ศึกษามีจำนวนค่อนข้างน้อย 2) จำนวนแผ่นดินไหวในรัศมีมีจำนวนน้อยเกินไป 3) ระยะเวลา (T_w) ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีช่วงที่สั้นเกินไป

นอกจากนี้จะมีจำนวน 13 เหตุการณ์ จาก 41 เหตุการณ์กรณีศึกษาทั้งหมด ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลออกมาจัดทำกราฟความสัมพันธ์ ดังกล่าวได้ เนื่องจากเหตุการณ์นั้นๆ ไม่สามารถวิเคราะห์ค่า Z สูงสุดออกมาได้ จึงทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่มีความเหมาะสมและสมบูรณ์พอที่จะนำมาวิเคราะห์ต่อได้ ดังนั้นทำให้เหลือจำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาเพียง 28 เหตุการณ์ ดังรูป 4.2

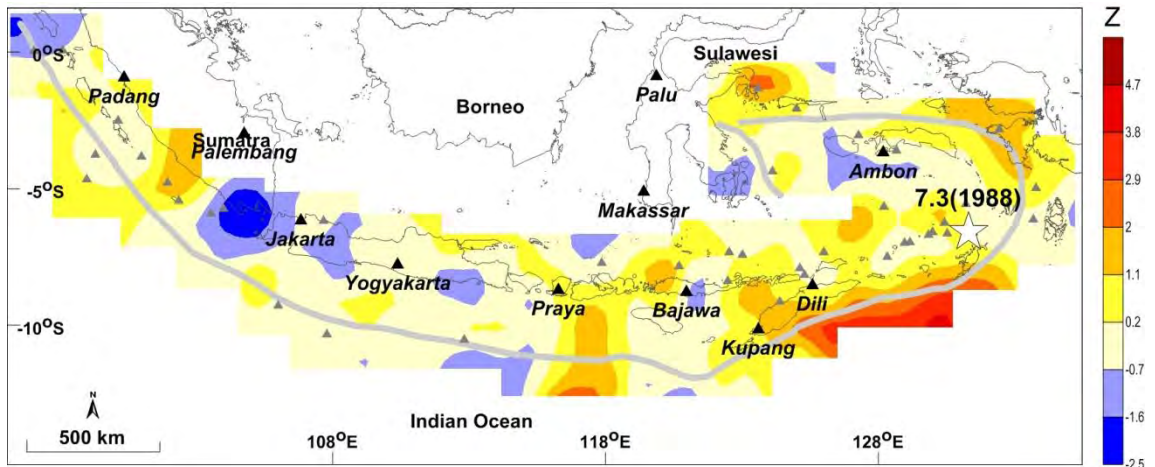
4.1.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z value)

หลังจากพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูล แผ่นดินไหว จากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้นแล้ว ต้องเข้าสู่ขั้นตอนการ วิเคราะห์ด้วยวิธี การวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ (spatial) เพื่อหาดำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติ หรือค่า Z สูงสุด ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษา โดยนำมาทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (spatial distribution of Z value) ด้วยโปรแกรม Surfer v.11 ซึ่งต้องพิจารณาแผนที่ดังกล่าวในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาเพื่อหาเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะต้องแสดงค่าผิดปกติของค่า Z อย่างชัดเจนสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง โดยหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของแผนที่ดังกล่าว พบว่ามีเหตุการณ์ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า Z ที่ทั้งสอดคล้องและไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริงอย่างหลากหลาย โดยแสดงตัวอย่างแผนที่ ดังรูป 4.3

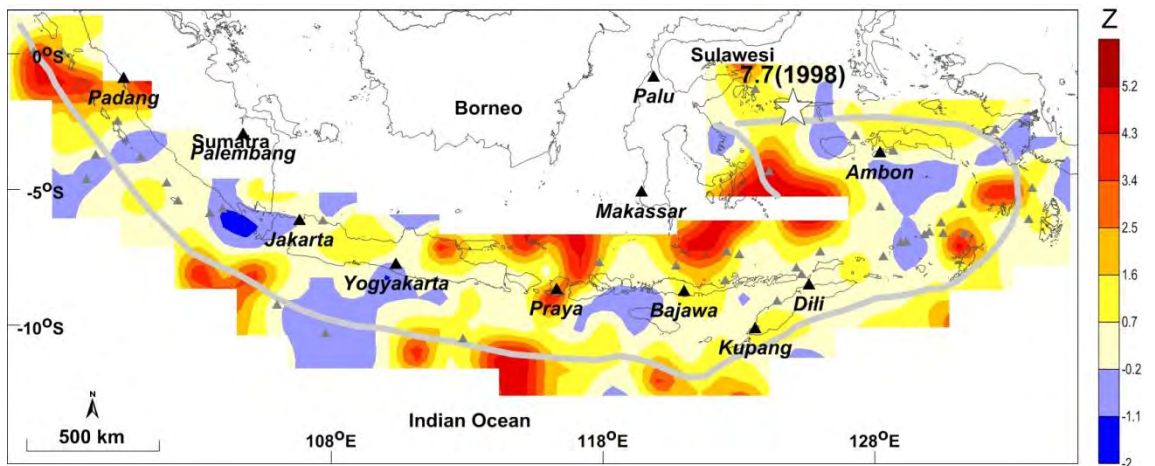
(ก) เหตุการณ์กรณีศึกษา 6: ขนาดแผ่นดินไหว 7.1 M_w ปี ค.ศ. 1987 มีค่า $Z_{max} = 1.4$



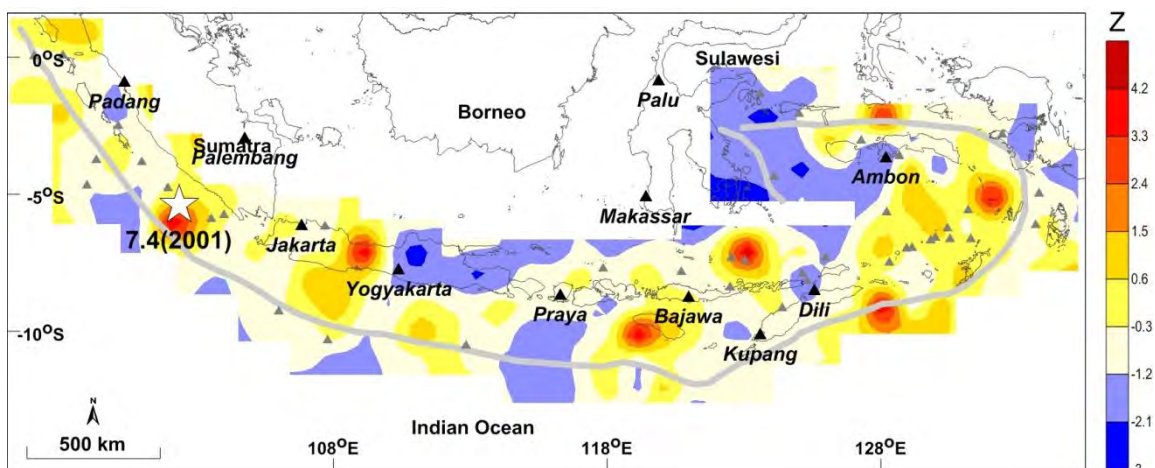
(ข) เหตุการณ์กรณีสึกษา 8: ขนาดแผ่นดินไหว 7.3 M_w ปี ค.ศ. 1988 มีค่า $Z_{max} = 1.4$



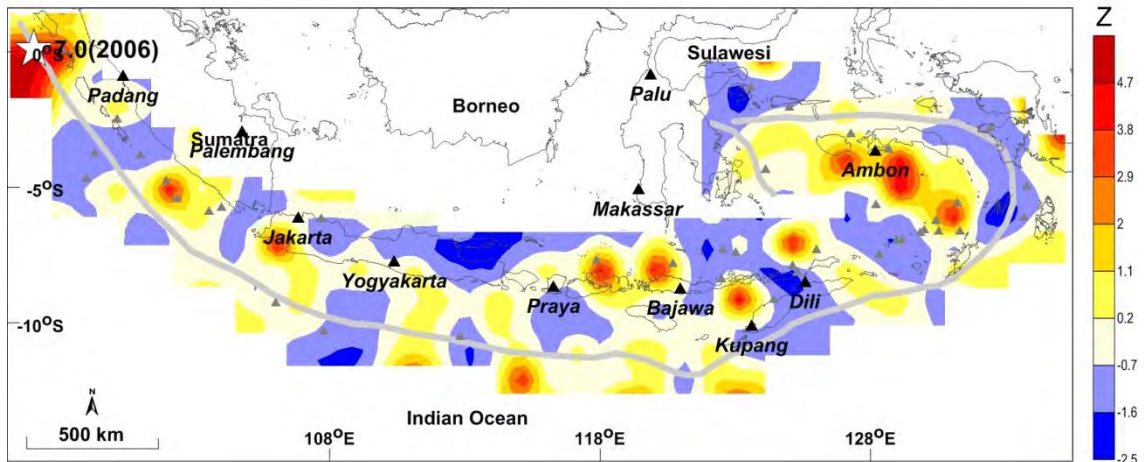
(ค) เหตุการณ์กรณีสึกษา 17: ขนาดแผ่นดินไหว 7.7 M_w ปี ค.ศ. 1998 มีค่า $Z_{max} = 4.5$



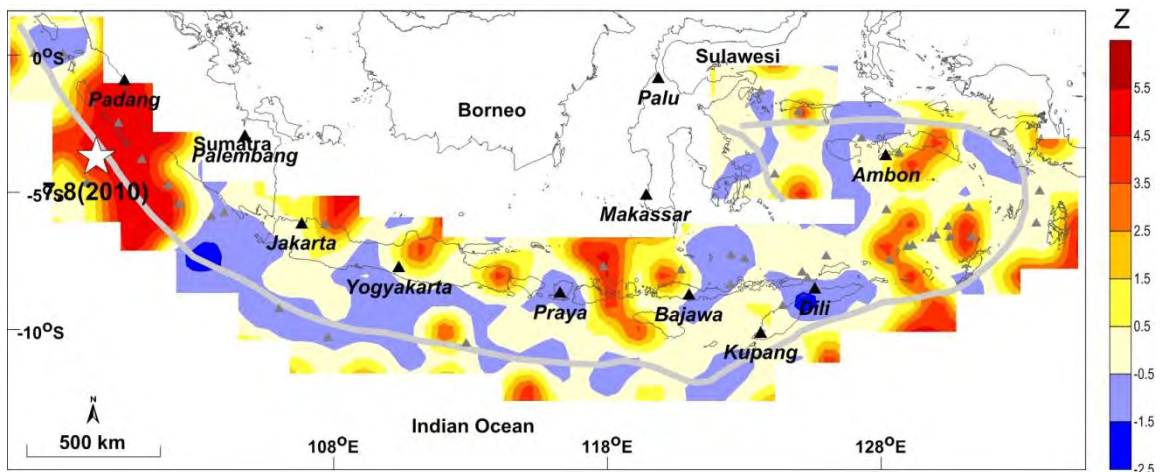
(ง) เหตุการณ์กรณีสึกษา 22: ขนาดแผ่นดินไหว 7.4 M_w ปี ค.ศ. 2001 มีค่า $Z_{max} = 4.4$



(จ) เหตุการณ์กรณีสึกษา 30: ขนาดแผ่นดินไหว 7.0 M_w ปี ค.ศ. 2006 มีค่า $Z_{max} = 4.9$



(ฉ) เหตุการณ์กรณีสึกษา 39: ขนาดแผ่นดินไหว 7.8 M_w ปี ค.ศ. 2010 มีค่า $Z_{max} = 4.7$



รูป 4.3 แสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (spatial distribution of Z value) โดยพื้นที่สีแดงแทนบริเวณที่มีความผิดปกติด้วยค่า Z สูงสุด และเครื่องหมายดาวสีขาวแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่

จากตัวอย่างแผนที่ที่นำมาแสดง พบว่ามีเหตุการณ์ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า Z ทั้งสอดคล้องและไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง ดังแผนที่ในรูป 4.3 (ก) (ข) และ (ค) แสดงบริเวณความผิดปกติไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดขึ้นจริง (พื้นที่สีแดงมีตำแหน่งไม่ตรงกับเครื่องหมายดาวสีขาว) แต่แผนที่ในรูป 4.3 (ง) (จ) และ (ฉ) แสดงบริเวณความผิดปกติสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดขึ้นจริงอย่างชัดเจน (พื้นที่สีแดงมีตำแหน่งตรงกับเครื่องหมายดาวสีขาว)

ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาแผนที่การกระจายตัวของค่า Z ที่ได้ทั้งหมด เพื่อหาแผนที่ที่มีความสมบูรณ์และถูกต้องมากที่สุดเพื่อนำมาทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในขั้นตอนสุดท้าย

4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

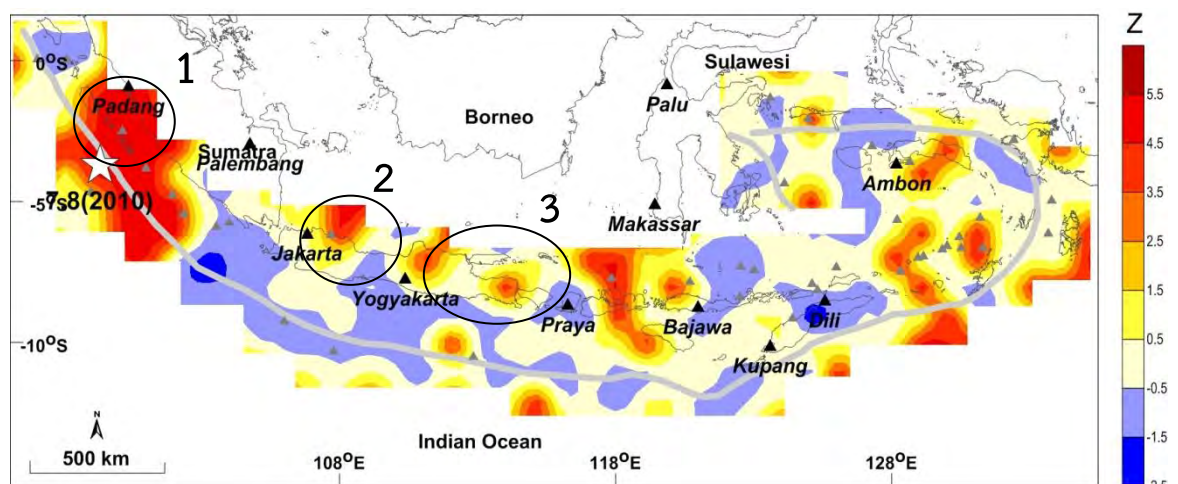
ผู้วิจัยกำหนดเงื่อนไขในการประเมินพื้นที่เสี่ยง จากการพิจารณาแผนที่การกระจายตัวของค่า Z ในกรอบช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term) คือ 1-10 ปีก่อนปัจจุบัน เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาที่วิธีการประเมินพื้นที่เสี่ยงด้วยการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวหรือวิธีค่า Z ให้ผลอย่างแม่นยำ ประกอบกับแผนที่การกระจายของค่า Z ที่วิเคราะห์ได้มีช่วงเวลาที่พบค่าความผิดปกติที่บ่งบอกภาวะเงียบสงบก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ (Detection of quiescence) อยู่ในช่วง 1-8 ปี ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลในการพิจารณาแผนที่การกระจายตัวของค่า Z ที่พบภาวะเงียบสงบก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในระยะเวลา 8 ปี ก่อนปัจจุบัน กล่าวคือ ทำการเลือกเฉพาะแผนที่ที่มีเวลาที่พบภาวะเงียบสงบ (Ts) ในช่วงปี ค.ศ. 2008-2015 เมื่อพิจารณาด้วย เหตุผลดังกล่าว จึงได้แผนที่การกระจายตัวของค่า Z ที่สามารถนำมาประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้ทั้งหมด 2 ชุดแผนที่ ซึ่งมีช่วงเวลาที่พบภาวะเงียบสงบ (Ts) ในปี ค.ศ. 2008.16 และ 2011.61 ตามลำดับ ดังรูป 4.4

เมื่อนำแผนที่ทั้ง 2 ชุดแผนที่ มาประเมินหาพื้นที่ ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวร่วมกัน พบตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติของค่า Z ซึ่งแสดงด้วยพื้นที่สีแดงตรงกันทั้งหมด 3 บริเวณ แสดงด้วยวงกลมสีดำพร้อมกำกับด้วยตัวเลข 1-3 ตามลำดับ ดังรูป 4.4 ซึ่งหมายถึงบริเวณดังกล่าวนั้นถือเป็นพื้นที่เสี่ยงที่อาจจะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้นั่นเอง โดยพื้นที่เสี่ยงดังกล่าว ได้แก่

1. บริเวณเมืองปาดัง (Padang)
2. บริเวณเมืองจาการ์ตา (Jakarta)
3. บริเวณเมืองยอร์กการ์กาตา (Yogyakarta) ตลอดจนเมืองพรายา (Praya)

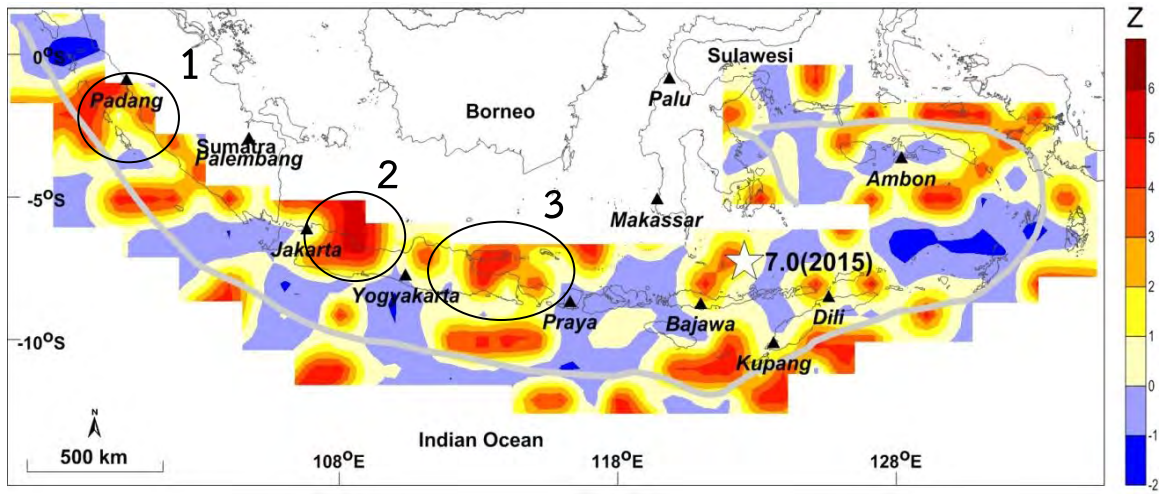
(ก) แผนที่แสดงเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาด $7.8 M_w$ ในปี ค.ศ. 2010

Ts=2008.16, Detection of Quiescence=2.7 yr, Zmax=4.7



(ข) แผนที่แสดงเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาด $7.0 M_w$ ในปี ค.ศ. 2015 Zmax = 4.9

Ts=20011.61, Detection of quiescence=3.5 yr, Zmax=4.9



รูป 4.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ในช่วงเวลาต่างๆ โดยพื้นที่สีแดงแสดงถึงบริเวณที่มีค่า Z สูง โดยวงกลมสีดำแสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 บริเวณ

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

(DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาประเมินมาจาก 3 ฐานข้อมูล ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งเมื่อทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด พบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 329,912 เหตุการณ์ โดยทำการบันทึกตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1964 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 2015 มีขนาดแผ่นดินไหวในช่วง 0.1-9.0 ริกเตอร์ และมีความลึก 0-839.7 กิโลเมตร

5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้ข้อมูลแผ่นดินไหวมีความไม่สมบูรณ์และถูกต้องมากนัก จึงไม่สามารถนำ ข้อมูลมาวิเคราะห์ทันทีเพราะ จะไม่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานได้อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดยมีขั้นตอนดังนี้

5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

เนื่องจาก ข้อมูลแผ่นดินไหว แต่ละแหล่งที่มาที่มีการบันทึกด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันออกไป เช่น M_w m_b M_S และ M_L เป็นต้น จึงต้องทำการปรับมาตรวัดของทุกข้อมูลแผ่นดินไหวให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์จาก

- ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)

$$M_w = 0.0077m_b^2 + 0.4669 m_b + 2.5893$$

- ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_S)

$$M_w = -0.0646M_S^2 + 2.0318M_S - 4.1368$$

- ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)

$$m_b = 0.1089M_L^2 - 0.0911M_L + 2.5427$$

5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 27,811 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1964-2015 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 1.4-9.0 M_w ด้วยความลึก 0-839.7 กิโลเมตร

5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

เมื่อทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 15,645 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1980-2015 มีขนาดตั้งแต่ 4.0-9.0 M_w

5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ อย่างสมบูรณ์ ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น คือแผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.0 M_w ขึ้นไป หรือ มีค่า $M_c = 5.0$ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 4,982 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1980-2015 มีขนาดตั้งแต่ 5.0-9.0 M_w

เมื่อทำการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นครบทุกขั้นตอน สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวและรายละเอียดข้อมูลต่างๆแสดงดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลต่างๆ

ข้อมูลแผ่นดินไหว	จำนวน (เหตุการณ์)	ช่วงเวลาที่เกิด (ปี)	ขนาด (M_w)	ความลึก (กิโลเมตร)
1) ข้อมูลหลังปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว	329,917	1963-2015	0.1-9.0	
2) หลังคัดเลือกกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก	27,811	1963-2015	1.4-9.0	
3) หลังการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์	15,645	1980-2015	4.0-9.0	0-839.7
4) หลังจากคัดเลือก M_c	4,982	1980-2015	5.0-9.0	

5.3 กำหนดกรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Conditions for Retrospective Test)

โครงการวิจัยนี้ได้เลือกกรณีศึกษาทั้งหมด 41 เหตุการณ์ (ตาราง 4.1) เมื่อเข้าสู่กระบวนการทดสอบย้อนกลับพบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดคือเงื่อนไขที่ 2 (ตาราง 4.5)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวตามเงื่อนไขข้างต้น ทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ที่สุดซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ได้ดังตาราง 5.2

ตาราง 5.2 แสดงรายละเอียด ภูมิศึกษาและ ผลข้อมูล การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ที่วิเคราะห์ได้

Order	Long	Lat	D/M/Y	Mag	Depth (km)	Radius (km)	T _s (year)	Zmax	Detection of Quiescence (year)
1	125.3	-8.1	22/6/1982	7.5	33	224.66	1980.35	0.8	2.1
2	126.0	-7.3	22/6/1982	7.4	473	-	-	-	-
3	128.3	-7.4	24/11/1983	7.4	157	146.86	1981.5	1	2.4
4	98.1	0.1	17/11/1984	7.2	34	228.83	1981.04	1.8	3.8
5	104.0	-5.7	27/12/1985	7.0	25	173.6	1983.35	1.6	2.6
6	131.2	-5.5	17/6/1987	7.1	75	89.72	1985.34	1.4	2.1
7	124.4	-9.1	30/5/1988	7.3	33	92.14	1985.19	1.7	3.2
8	131.3	-6.6	25/7/1988	7.3	33	90.01	1981.73	1.7	6.8
9	133.7	-6.1	25/7/1988	7.0	31	151.32	1984.23	1.7	4.3
10	120.7	-7.8	24/5/1990	7.1	580	75.4	1987.99	1.9	2.4
11	122.5	-8.3	12/12/1992	7.7	20	-	-	-	-
12	130.5	-6.6	20/12/1992	7.2	70	65.52	1988.72	2.5	4.3
13	112.8	-10.5	2/6/1994	7.8	6	94.44	1987.76	4.6	6.7
14	129.2	-6.9	25/12/1995	7.0	158	53.72	1993.66	2	2.3
15	123.0	-7.4	17/6/1996	7.8	584	68.82	1990.82	5	5.6
16	129.0	-6.9	9/11/1998	7.0	25	-	-	-	-
17	125.0	-2.0	29/11/1998	7.7	16	106.15	1990.1	4.5	8.8
18	123.6	-1.3	4/5/2000	7.6	19	-	-	-	-
19	101.9	-4.7	4/6/2000	7.9	44	-	-	-	-
20	99.0	-4.6	4/6/2000	7.4	33	203.41	1995.81	5.1	4.6
21	103.5	-5.9	4/6/2000	7.2	33	82.57	1992.82	5.1	7.6
22	102.4	-5.4	13/2/2001	7.4	21	74.64	1997.92	4.4	3.2
23	124.1	-4.3	19/10/2001	7.5	19	-	-	-	-
24	128.7	-3.6	10/10/2002	7.0	10	44.82	1999.45	5.1	3.3
25	117.9	-7.7	25/3/2003	7.3	15	-	-	-	-
26	127.3	-3.0	26/5/2003	7.0	16	50.52	1995.04	5.1	8.4
27	125.1	-7.9	11/11/2004	7.5	17	-	-	-	-
28	130.0	-6.5	2/3/2005	7.1	196	42.97	1997.96	4.7	7.2
29	128.2	-5.6	27/1/2006	7.6	397	46.84	1998.92	4.9	7.2
30	97.1	0.1	16/5/2006	7.0	12	119.05	2003.06	4.9	3.3

31	107.8	10.3	17/7/2006	7.7	20	-	-	-	-
32	106.0	-9.2	17/7/2006	7.2	33	69.48	1998.76	4.9	7.8
33	107.7	-6.1	8/8/2007	7.8	284	75.64	2004.25	4.7	3.4
34	101.0	-3.8	12/9/2007	8.5	24	100.58	1999.15	4.9	8.6
35	100.1	-2.5	12/9/2007	7.9	43	-	-	-	-
36	132.4	-2.8	3/1/2009	7.6	33	-	-	-	-
37	130.4	-6.2	24/10/2009	7.1	149	44.38	2004.79	5.1	5
38	133.8	-4.9	29/9/2010	7.0	18	-	-	-	-
39	99.3	-3.7	25/10/2010	7.8	12	150.39	2008.16	4.7	2.7
40	129.8	-6.7	10/12/2012	7.1	159	38.91	2005.17	5.1	7.8
41	122.5	-7.3	27/2/2015	7.0	547	51.26	2011.61	4.9	3.5

หมายเหตุ: เครื่องหมาย “-“ หมายถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ไม่ความสมบูรณ์ของข้อมูลทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของค่า Z ได้

จากผลการวิเคราะห์พบว่าในเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 41 เหตุการณ์ ที่มีขนาด 7.0-9.0 M_w ที่เกิดขึ้นระหว่าง ปี ค.ศ. 1982-2015 ในช่วงความลึก 6-584 กิโลเมตร พบว่ามีค่าความผิดปกติ (Z_{max}) ค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4.0-5.1 โดยช่วงเวลาที่พบค่าความผิดปกติ (T_z) คือตั้งแต่ปี 1980-2012 ซึ่งระยะเวลาที่พบค่าความผิดปกติจนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ (detection of quiescence) อยู่ในช่วง 2.1-8.8 ปี โดยมีรัศมีการกระจายตัวของการเก็บข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 40-228 กิโลเมตร

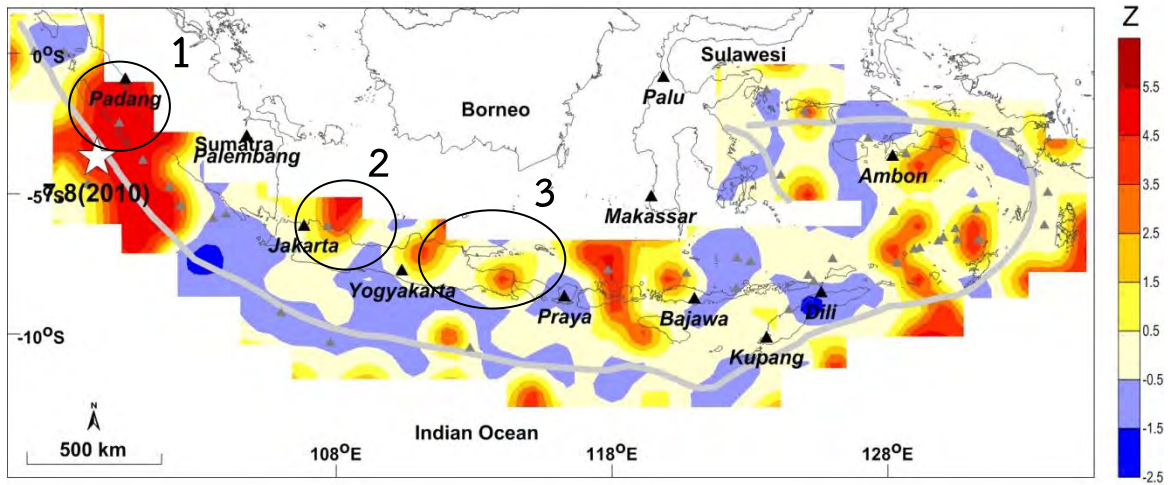
5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

เมื่อนำเงื่อนไขที่เหมาะสมมาวิเคราะห์และจัดทำแผนที่การกระจายตัวของค่า Z จากนั้นทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงจากบริเวณที่มีค่า Z สูงซึ่งแสดงด้วยพื้นที่สีแดงที่ การกระจายตัวใน ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชุดแผนที่ เมื่อทำการพิจารณาพบบริเวณที่มีค่าผิดปกติ ใกล้เคียงกันอย่างเห็นได้ชัดทั้งหมด 3 บริเวณ กล่าวคือ บริเวณดังกล่าวมีภาวะเสถียรสงบเกิดขึ้น โดยอาจ เป็นพื้นที่เสี่ยงที่ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้นั่นเอง ดังรูป 5.1

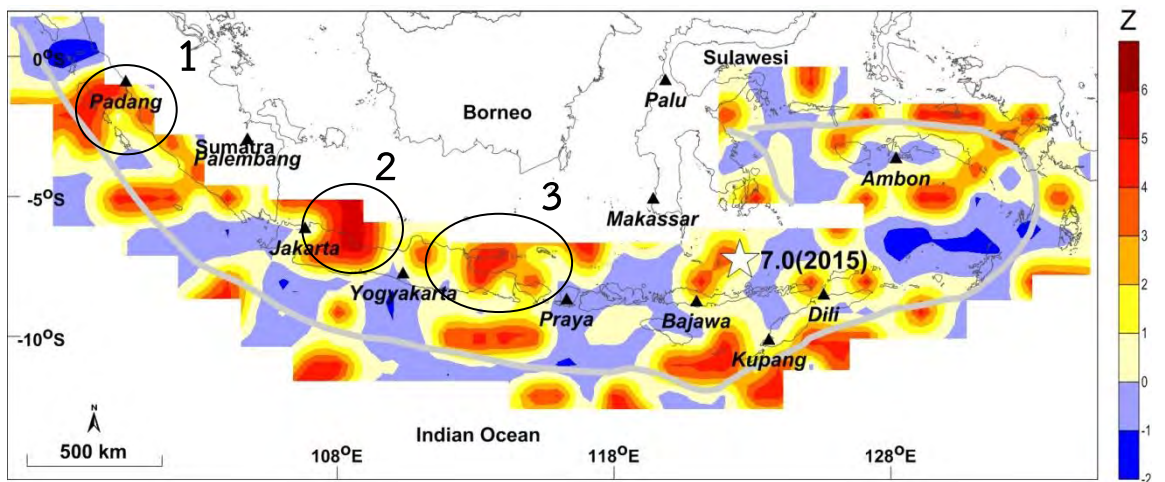
โดยพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวดังกล่าว ได้แก่

4. บริเวณเมืองปาตัง (Padang)
5. บริเวณเมืองจาการ์ตา (Jakarta)
6. บริเวณเมืองยอร์กยาคาร์ตา (Yogyakarta) ตลอดจนเมืองพรายา (Praya)

(ค) แผนที่แสดงเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.8 M_w ในปี ค.ศ. 2010 $Z_{max} = 4.7$
 $T_s=2008.16$, Detection of Quiescence= 2.7 yr, $Z_{max}=4.7$



(ง) แผนที่แสดงเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.0 M_w ในปี ค.ศ. 2015 $Z_{max} = 4.9$
 $T_s=20011.61$, Detection of quiescence= 3.5 yr, $Z_{max}=4.9$



รูป 5.1 แผนที่แสดง พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว 3 พื้นที่บริเวณวงกลมสีดำซึ่งกำกับด้วยหมายเลข 1-3 ตามลำดับ เครื่องหมายดาวสีขาวแสดงถึงจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวใหญ่ที่เกิดขึ้น

5.5 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยในอดีต (Comparison of Result and Past Research)

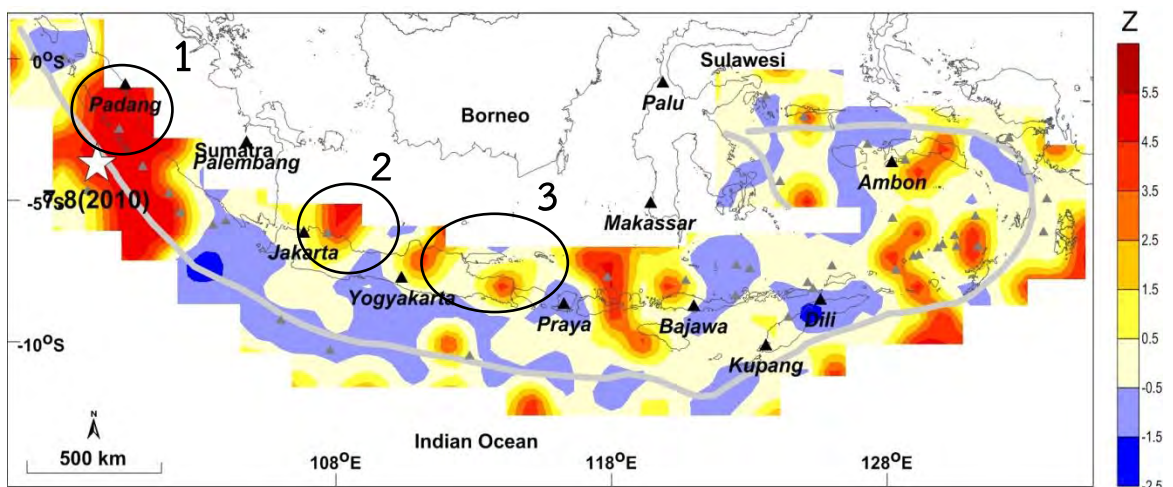
เมื่อได้ผลประเมินพื้นที่เสี่ยง จากการศึกษา ด้วยวิธีค่า Z (Z value) จึงได้นำมาทำการเปรียบเทียบกับงานศึกษา ในบริเวณพื้นที่ศึกษาเดียวกันซึ่งได้ ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยง ในการเกิดแผ่นดินไหวด้วยวิธีค่า b (b value) โดย Pailoplee (2014)

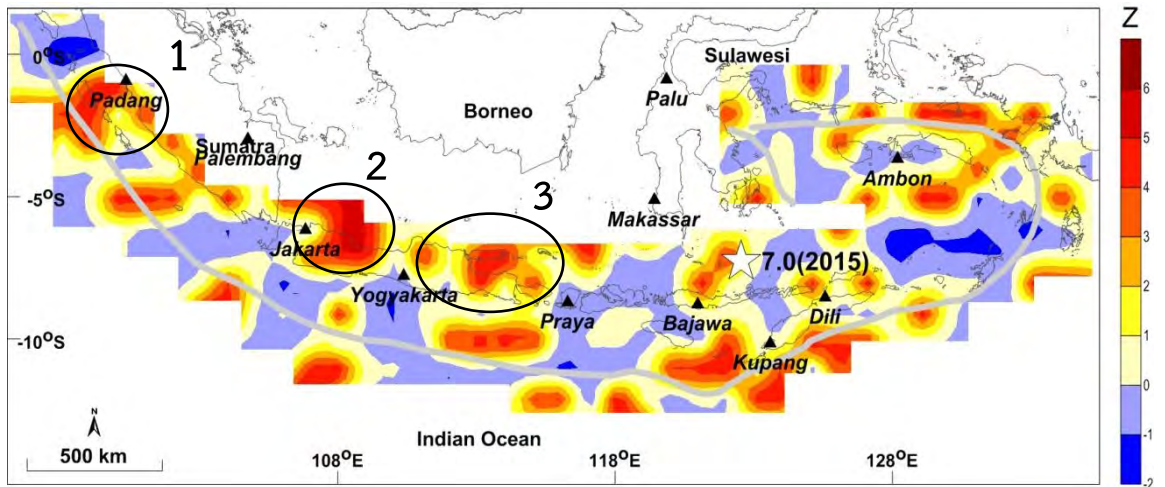
ในการประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตามแนวหมู่เกาะอินโดนีเซีย Pailoplee (2014) ได้ประยุกต์ใช้สมมติฐานของ Nuannin และคณะ (2005) มาวิเคราะห์การกระจายตัวของค่า b กับชุดข้อมูล แผ่นดินไหว ที่บันทึกในช่วง ปี ค.ศ. 1980-2010 จากการศึกษา Pailoplee (2014) ได้ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตไว้ 6 พื้นที่ จากตำแหน่งที่แสดงค่า b ต่ำซึ่งแทนด้วยบริเวณที่น้ำเงิน ได้แก่ ส่วนที่อยู่ใต้เมือง จาการ์ตา (Jakarta) ภาคเหนือและภาคใต้ของ เมืองยอร์กจาการ์ตา (Yogyakarta) รวมถึงภาคเหนือของเมืองบาจาวา (Bajawa) โดยในช่วงปี ค.ศ. 2010-2013 เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ 2 เหตุการณ์ในพื้นที่ b ต่ำใกล้กับทางตอนเหนือของเมืองเดลี (Dili) และเมืองอัมบอน (Ambon) ดังรูป 5.2 (ข)

เมื่อทำการ เปรียบเทียบ ผลการศึกษา กับงานวิจัย ของ Pailoplee (2014) พบว่าสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตในบริเวณที่ตรงกันถึง 3 บริเวณ ดังรูป 5.2 ได้แก่

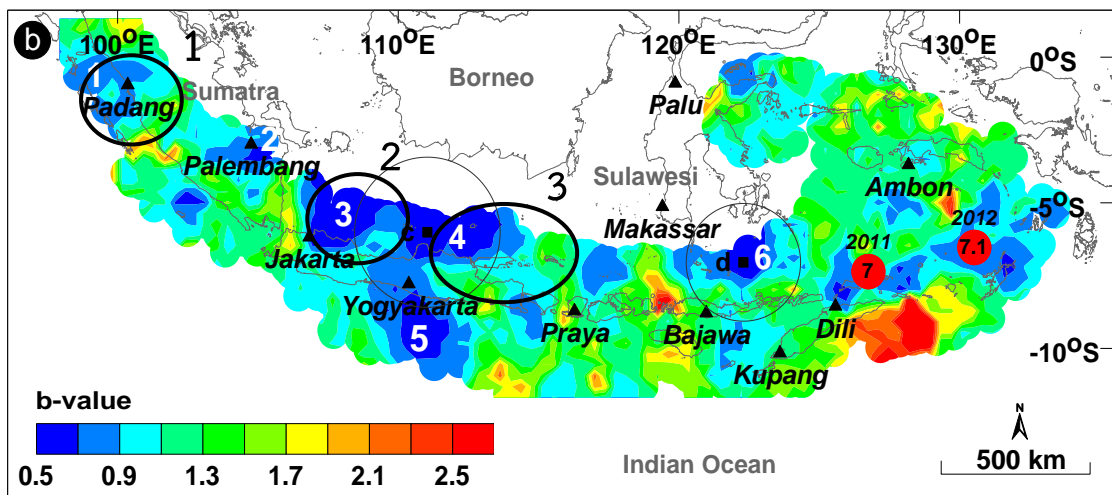
1. บริเวณเมืองปาดัง (Padang)
2. บริเวณเมืองจาการ์ตา (Jakarta)
3. บริเวณเมืองยอร์กจาการ์ตา (Yogyakarta) ตลอดจนเมืองพรายา (Praya)

(ก)





(ข)



รูป 5.2 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตระหว่าง (ก) งานศึกษาปัจจุบัน และ (ข) งานวิจัยของ Pailoplee (2014) ซึ่งพบว่าสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้ ตรงกัน 3 บริเวณ แสดงด้วยบริเวณ ที่วงกลมสีดำซึ่งกำกับด้วยหมายเลข 1-3 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

(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. (1983). Teleseismic detection in the Aleutian Island arc. *J. Geophys. Res.* 88: 5056-5064.
- Habermann, R.E. and Wyss, M. 1984. Earthquake triggering during preparation for great earthquakes. *Geophysical Research Letters.* 11(4): 291-294.
- 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 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 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.

Nuannin, P., Kulhánek, O. and Persson, L. [2005] “Spatial and temporal *b*-value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004,” *Geophys. Res. Lett.* 32, L11307.

Okal, E. A. and Reymond, D. [2003] “The mechanism of great Banda Sea earthquake of 01 February 1983, applying the method of preliminary determination of focal mechanism to a historical event,” *Earth Planetary Sci. Lett.* 216, 1–15.

Ozturk, S., and bayrak, Y. 2009. Precursory seismic quiescence before 1 May 2003 Bingol

(Turkey) earthquake: A statistical evaluation. *Journal of Applied Functional Analysis*. Vol. 4: 600-610.

Pailoplee, S. 2014. Mapping b-Value Anomalies along the Indonesian Island Chain: Implications for Upcoming Earthquakes. *J. Earthquake and Tsunami Journal of Earthquake and Tsunami*, 1450010-1 -1450010-11.

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 10th, 2008 Qeshm earthquake, South Iran. *International Journal of Earth Sciences*. Vol. 101: 2215-2223.

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*, Vol. 95: 684-698.

Wyss, M. 1991. Evaluation of Proposed Earthquake Precursors. AGU Monograph, Washington D.C. 94.