

ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน  
ตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย  
ไรวินรณ์ กิติรัตน์ตระการ

ธรณีวิทยา

2558



ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

นางสาวไรวินรมน์ กิติรัตน์ตระการ  
เลขประจำตัวนิสิต 553 27203 23

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2558

# REGION-TIME-LENGTH ALGORITHM ALONG THE INDONESIAN ISLANDS

Miss Rywinrome Kitirattrakarn

ID 553 27203 23

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology  
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Academic Year 2015

วันที่ส่ง

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

วันที่อนุมัติ

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

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย: ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

นิสิตผู้ทำการวิจัย: นางสาวไรวินธมน กิติรัตน์ตระการ

ภาควิชา: ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

ปีการศึกษา: 2558

---

### บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย โดยวิธีทางสถิติที่เรียกว่า ขั้นตอนบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ซึ่งวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือและใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศเพื่อประเมินหาภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ โดยในการประเมินใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจาก 3 ฐานข้อมูลคือ National Earthquake Information Center (NEIC), International Seismological Center (ISC) และ Global Centroid Moment Tensor (GCMT) ได้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ.1963 - 2015 หลังจากปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแล้วได้ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 4,982 เหตุการณ์และมีขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ตั้งแต่ 5.0 – 9.0 ริคเตอร์ พื้นที่ศึกษาครอบคลุมตั้งแต่ละติจูดที่ -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก โดยทำการคัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สำคัญมีขนาด 7.0 ริคเตอร์ขึ้นไป เพื่อหาเงื่อนไขเฉพาะที่เหมาะสมต่อพื้นที่ศึกษาในเชิงเวลาและพื้นที่นั่นก็คือ  $R_{MAX}=130$  กิโลเมตร และ  $T_{MAX}=2.5$  ปี ซึ่งเหมาะสมต่อการประเมินภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาสามารถประเมินได้ 34 เหตุการณ์ จากทั้งหมด 41 เหตุการณ์พบว่าบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียมี 3 บริเวณคือ เมืองจาการ์ตา (Jakarta) เมืองยอร์กจาการ์ตา (Yogyakarta) และเมืองบาจาว่า (Bajawa)

**คำสำคัญ:** ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน; ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว; การทดสอบย้อนกลับ; ภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหว

Project title: REGION-TIME-LENGTH ALGORITHM ALONG THE INDONESIAN ISLANDS

Researcher: Miss Rywinrome Kitirattrakarn

Department: Geology

Advisor: Professor Assistant Dr. Santi Pailoplee

Academic Year: 2558

---

### ABSTRACT

In this study, the prospective areas of the upcoming large earthquake were evaluated along the Indonesian Islands. Using a statistical method called the Region-Time-Length algorithm (RTL), this method is reliable and widely used in many countries to assess conditions for seismic quiescence of earthquake before the earthquake. In evaluating the seismic data from three databases are National Earthquake Information Center (NEIC), International Seismological Center (ISC) and Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Information during 1963 - 2015 to update the database after earthquake catalogue improvement of 4,982 events, moment magnitude from 5.0 to 9.0 Richter, areas covered range from -15.10 to 1.61 degrees northern latitude and longitude from 96.09 to 135.47 degrees eastern. Selection earthquake from 7.0 magnitude or higher for appropriate to the specific conditions in space window and time window of the study area, that are  $R_{MAX} = 130$  km. and  $T_{MAX} = 2.5$  years. According to the suitable characteristic parameters and the present seismicity data that three areas risk of major earthquakes along the Indonesian Islands are Jakarta, Yogyakarta and Bajawa.

**KEYWORDS:** region-time-length algorithm (RTL), earthquake catalogue, retrospective test, seismic quiescence of earthquake

## กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

โครงการวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้ ให้ทั้งความรู้คำแนะนำคอยชี้แจงข้อบกพร่อง ช่วยคิดและร่วมแก้ปัญหาในการทำงานตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ รุ่นพี่ปริญญาโทที่คอยให้คำแนะนำรวมถึงการช่วยเหลือทางด้านข้อมูล คณาจารย์และบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อนในกลุ่มโครงการที่ให้ข้อเสนอแนะและช่วยกันคิดแก้ไขปัญหา พี่ๆเพื่อนๆตลอดจนครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเรื่อยมา และสุดท้ายขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาจาก ชมรมผู้ปกครองและคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนอุดหนุนการศึกษาจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนอุดหนุนการศึกษาจากรองศาสตราจารย์ไสว สุนทโรวิทและศิษย์ ทุนการศึกษาจากศิษย์เก่าท่านหนึ่งของภาควิชาธรณีวิทยา ทุนการศึกษาจากบริษัทเอสโซ่ (ประเทศไทย) ทุนการศึกษาจากบริษัท สุมิตโตโม และสุดท้ายกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย



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

		หน้า
รูป 1.1	แผนที่พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย	2
รูป 2.1	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณรอบจุดศูนย์กลาง การเกิดแผ่นดินไหวใน ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)	5
รูป 2.2	กราฟความสัมพันธ์ของค่า RTL และ เวลา แสดงภาวะเงียบสงบและภาวะ กระตุ้นก่อนเกิดแผ่นดินไหวใน ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)	5
รูป 2.3	แผนที่แสดงการกระจายตัวของการไหวสะเทือนในพื้นที่ใกล้เคียงกับจุดที่เกิด แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)	6
รูป 2.4	กราฟความสัมพันธ์ของค่า RTL และ เวลา (Shashidhar และคณะ, 2010)	7
รูป 2.5	กราฟความสัมพันธ์ของค่า RTL และ เวลา พบภาวะเงียบสงบก่อนเกิด แผ่นดินไหววันที่ 16 กันยายน ค.ศ. 2008 (Shashidhar et al., 2010)	7
รูป 2.6	แผนที่แสดงการกระจายตัวของการไหวสะเทือนตั้งแต่ สิงหาคม ค.ศ. 1999 ถึงธันวาคม ค.ศ. 2011 ในพื้นที่ใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหว ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	8
รูป 2.7	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณใกล้เคียงกับจุด ที่เกิดแผ่นดินไหวใน ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	9
รูป 2.8	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา ของเหตุการณ์แผ่นดินไหว ในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	9
รูป 2.9	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน	10
รูป 3.1	ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด	14
รูป 3.2	กราฟข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดแสดงขนาด ( $M_w$ ) - จำนวนแผ่นดินไหว	15
รูป 3.3	ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดแสดงความลึก (เมตร) - จำนวนแผ่นดินไหว	15
รูป 3.4	ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดแสดงเวลา (ปี) - จำนวนแผ่นดินไหว	15

รูป 3.5	ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่เกินขอบเขตการตรวจวัดของเครื่องมือ (Kagan และ Knopoff, 1980)	16
รูป 3.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูล แผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด $M_b$ และ $M_w$	18
รูป 3.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูล แผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด $M_s$ และ $M_w$	19
รูป 3.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูล แผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด $M_b$ และ $M_L$	20
รูป 3.9	แบบจำลองการเกิดกลุ่มแผ่นดินไหว (earthquake cluster) (Pailoplee, 2014)	21
รูป 3.10	แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ (Gardner และ Knopoff, 1974)	22
รูป 3.11	ข้อมูลผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักโดย โปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001)	23
รูป 3.12	ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	24
รูป 3.13	ข้อมูลการปรับปรุงคุณภาพด้วยการกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์	26
รูป 3.14	ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์	27
รูป 3.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ โดยที่มีขนาด แผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์สามารถนำไปวิเคราะห์ได้คือ $M_c = 5.0$	28
รูป 4.1	กรณีศึกษา 34 เหตุการณ์ กระจายตัวตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย	32
รูป 4.2	กราฟแสดงค่าความผิดปกติของค่า RTL จาก 39 เหตุการณ์	41
รูป 4.3	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL	42
รูป 4.4	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL ไม่สอดคล้องกับการเกิดแผ่นดินไหว	44
รูป 4.5	แผนที่บริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต	45
รูป 5.1	เปรียบเทียบผลจากวิธี RTL ที่ทำวิจัยกับงานวิจัยของ Pailoplee (2014)	53

**สารบัญตาราง**  
(TABLE CONTENT)

		หน้า
ตาราง 3.1	ตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	12
ตาราง 4.1	รายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา	30
ตาราง 4.2	เงื่อนไขค่า Rmax และTmax	33
ตาราง 4.3	ข้อมูลเงื่อนไขที่พบเหตุการณ์ในกรณีศึกษามากที่สุด	35
ตาราง 4.4	ข้อมูลของเงื่อนไขที่ 10	35
ตาราง 4.5	ข้อมูล 34 เหตุการณ์ที่เลือกมาทำแผนที่แสดงค่าความผิดปกติ ของแผ่นดินไหว	36
ตาราง 5.1	สมการปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหวแต่ละประเภท	46
ตาราง 5.2	ข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว	47
ตาราง 5.3	ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์	48
ตาราง 5.4	ตารางข้อมูลแผ่นดินไหวเมื่อผ่านการปรับปรุงข้อมูลต่างๆ	49

**สารบัญสมการ**  
(EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1	3
สมการ 2.2	3
สมการ 2.3	3
สมการ 2.4	4
สมการ 2.5	4
สมการ 2.6	4
สมการ 3.1	18
สมการ 3.2	19
สมการ 3.3	20
สมการ 3.4	25

## สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ(ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ(FIGURE CONTENT)	ณ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ญ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ฎ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)	1
1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)	2
บทที่ 2 ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ ระเบียบวิธีวิจัย (THEORY LITERATURE REVIEW AND METHODOLOGY)	
2.1 ทฤษฎี (Theory)	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	5
2.3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	10
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)	
3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	12
3.2 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	16
3.3 การคัดเลือกรวมแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	21

	หน้า
3.4 การตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	25
3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	28
บทที่ 4 ผลการศึกษา (RESULT)	
4.1 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	30
4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	36
4.3 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	45
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	
5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด (Earthquake Catalogue)	46
5.2 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)	46
5.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	47
5.4 การตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	48
5.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	49
5.6 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	50
5.7 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	52
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	54

# บทที่ 1

## บทนำ

### (INTRODUCTION)

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

บริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย (Indonesian Islands) เป็นแนวมุดตัว (subduction zone) ของแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียที่เรียกว่าขอบทวีปซุนดาอินโดนีเซีย (Indonesian Sunda Margin หรือ ISM) และปัจจุบันยังมีการมุดตัวอยู่อย่างต่อเนื่องโดยเห็นได้จากการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆของภูเขาไฟ ซึ่งบริเวณนี้มักเกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้งแม้ไม่ใหญ่มากเท่าแถบสุมาตรา-อันดามันแต่มีก่อให้เกิดสึนามิตามมาได้ซึ่งสร้างความเสียหายมากมายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน

ดังนั้นจึงควรมีมาตรการป้องกันและบรรเทาความเสียหายที่จะเกิดขึ้นของแต่ละพื้นที่ในขนาดเช่น แผนอพยพ แผนการปฏิบัติตัว การเสริมการป้องกันของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ เพื่อให้รองรับแรงสั่นสะเทือนได้มากขึ้น ซึ่งแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียมีพื้นที่ที่กว้างมากหากจะทำการเสริมการป้องกันทั้งหมดจะสิ้นเปลืองและอาจไม่ทันต่อเหตุการณ์จึงเป็นเหตุให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นประเมินพื้นที่เสี่ยงและช่วงเวลาเกิดแผ่นดินไหวที่สร้างความเสียหายขึ้น

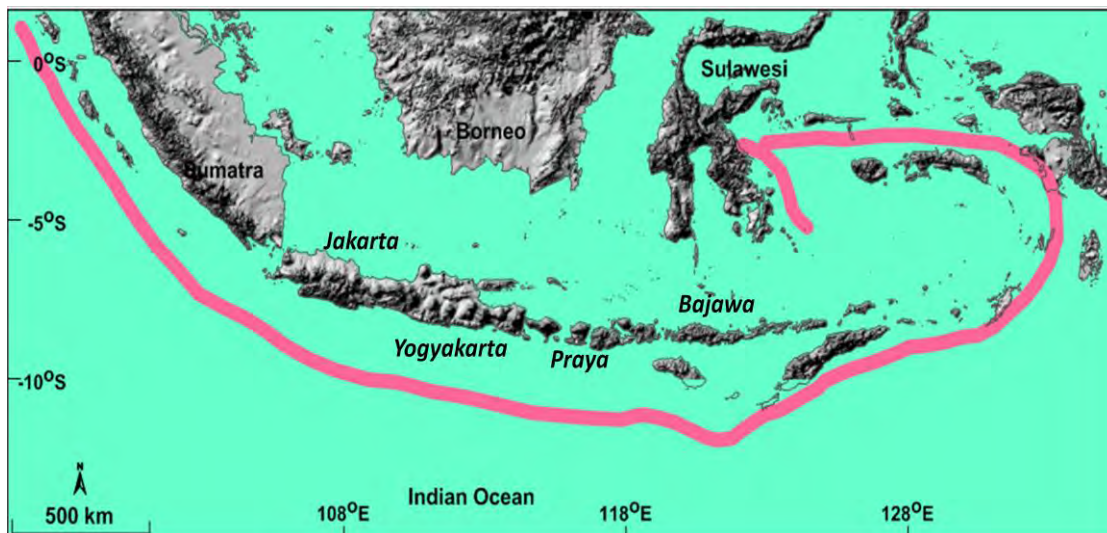
Pailoplee (2014) ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในแนวหมู่เกาะอินโดนีเซียจากการวิเคราะห์ค่า  $b$  ( $b$  value) ซึ่งผลของข้อมูลสอดคล้องกับการศึกษาของ Nuannin และคณะ (2005) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า  $b$  สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงพื้นที่และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า  $b$  เพื่อเป็นสัญญาณบอกเหตุก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกับงานวิจัยเก่าเพื่อเป็นการสนับสนุนความถูกต้องของข้อมูลให้แม่นยำมากยิ่งขึ้นด้วยการวิเคราะห์แผ่นดินไหวเชิงสถิติ (Statistical seismology) ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length, RTL; Huang และคณะ, 2001)

#### 1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)

ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ในอนาคตตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย เพื่อสร้างมาตรการป้องกันและการบรรเทาความเสียหายต่างๆ

### 1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

บริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียครอบคลุมพื้นที่ละติจูด -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก ดังรูป 1.1



รูป 1.1 แผนที่พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)

วิเคราะห์ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records)

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของภาวะเฉียบสงบตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย จากขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน



## บทที่ 2

### ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ ระเบียบวิธีวิจัย

#### (THEORY LITERATURE REVIEWS AND METHODOLOGY)

##### 2.1 ทฤษฎี (Theory)

Sobolev (1995) จำลองการเกิดแผ่นดินไหวโดยการทดลองกดอัดแท่งหินและนำอุปกรณ์มาวัดพลังงานเสียงจากการปริแตกของหินพบว่าเมื่อทำการบีบอัดจะมีสัญญาณเสียงเกิดขึ้นและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีช่วงเวลานิ่งสัญญาณเสียงจะค่อยๆลดลงหลังจากนั้นอาจจะมีสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ก่อนแท่งหินจะแตกหักและเปลี่ยนรูปร่างไป จากการทดลองคาดได้ว่าก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่จะมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญเรียกว่าภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหว (seismic quiescence) และหลังจากนั้นอาจจะมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวตามมาเรียกว่าภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหว (seismic activation)

Sobolev และ Tyupkin (1997) ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ขึ้น ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (Huang, 2004) โดยคำนึงถึงตัวแปรระหว่างการเกิดแผ่นดินไหว 3 ตัวแปรดังนี้ บริเวณพื้นที่ โดยรอบ (region) เวลา (time) และ ความยาวรอยเลื่อน (length) ดังสมการ 2.1 - 2.3

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

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

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

จากสมการสามารถอธิบายตัวแปรในแต่ละฟังก์ชันได้ดังนี้

$R$	คือ	ฟังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา
$T$	คือ	ฟังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่จะพิจารณา
$L$	คือ	ฟังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน
$r_i$	คือ	ระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่พิจารณาถึงจุดศึกษา
$t_i$	คือ	เวลาของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง
$l_i$	คือ	ความยาวของรอยเลื่อน
$t$	คือ	ช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณา
$r_o, t_o$	คือ	ค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จากการเปรียบเทียบในพื้นที่ศึกษา
$n$	คือ	จำนวนเหตุการณ์
$R_{bg}, T_{bg}, L_{bg}$	คือ	แนวโน้มของ $R, T, L$ ตามลำดับ

โดยค่า  $l_i$  หาได้จากสมการ 2.4 ของ Wells และ Coppersmith (1994)

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

ซึ่งตัวแปร  $M$  คือ ขนาดของแผ่นดินไหว (Magnitude) โดยค่าที่ได้จากสมการในแต่ละพื้นที่จะมีค่าที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของพื้นที่นั้นๆ

Huang (2004) แสดงค่าความผิดปกติของภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวและภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่โดยใช้ดังสมการ 2.5 – 2.6

ภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหว (seismic quiescence) หรือ  $Q$ -parameter

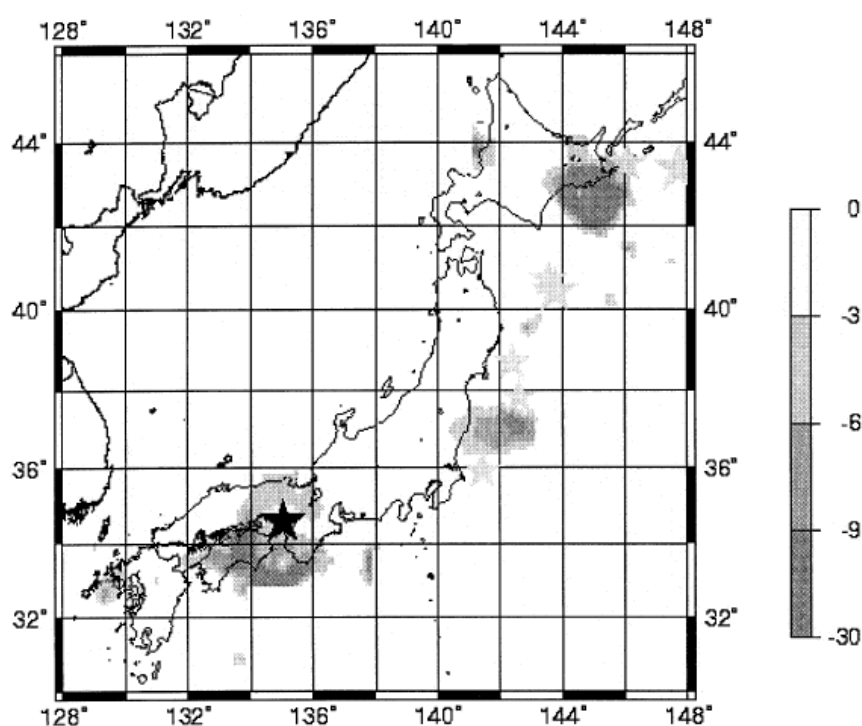
$$Q(x, y, z, t_1, t_2) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m RTL(x, y, z, t_i) \quad \text{สมการ 2.5}$$

ภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหว (seismic activation) หรือ  $S$ -parameter

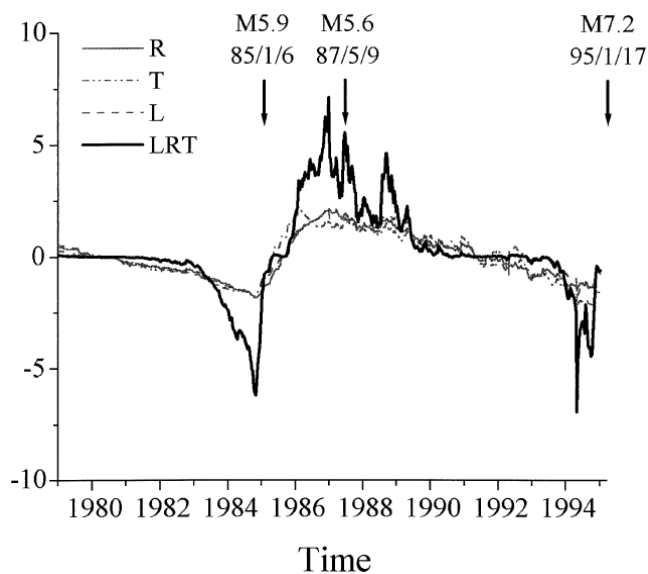
$$S_{eff} = \frac{1}{\Delta T} \sum_i \frac{S_i}{S_{ref}} = \frac{1}{\Delta T} \sum_i 10^{(M_i - M_{ref})} \quad \text{สมการ 2.6}$$

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

Huang และคณะ (2001) วิเคราะห์แผ่นดินไหววิทยาโดยใช้วิธีทางสถิติคือ ขั้นตอนวิธี บริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน นำมาประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวโดยใช้ข้อมูลขนาดแผ่นดินไหว เวลาและบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว สํารวจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของผิวเปลือกโลกก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.2 ริกเตอร์ ที่เมืองโกเบ (Kobe) ประเทศญี่ปุ่น ในปีค.ศ. 1995 จากการศึกษาพบว่าในช่วงปี ค.ศ.1993-1994 มีค่าผิดปกติเกิดขึ้นบริเวณรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว (รูป 2.1) คือ ภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวในเดือนพฤษภาคม ค.ศ.1993 ถึงพฤษภาคม ค.ศ.1994 ก่อนเข้าสู่ภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหวในเดือนพฤษภาคม ค.ศ.1994 ถึงธันวาคม ค.ศ.1994 (รูป 2.2) จึงสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนสามารถใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้

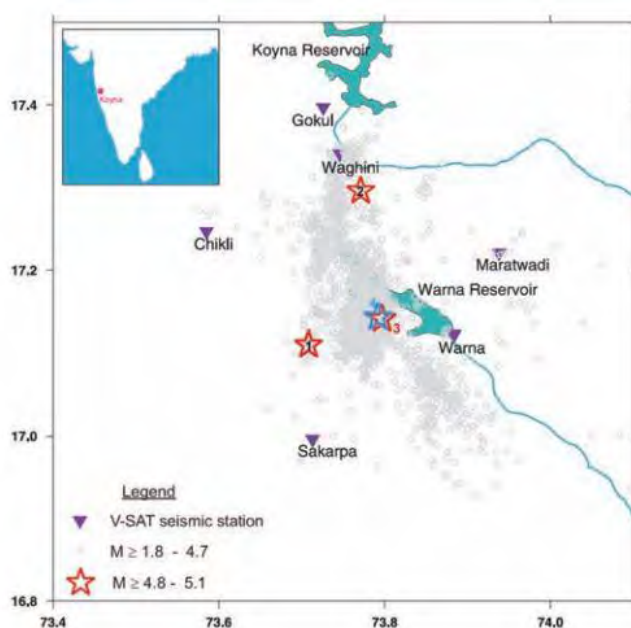


รูป 2.1 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณรอบจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวใน ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)

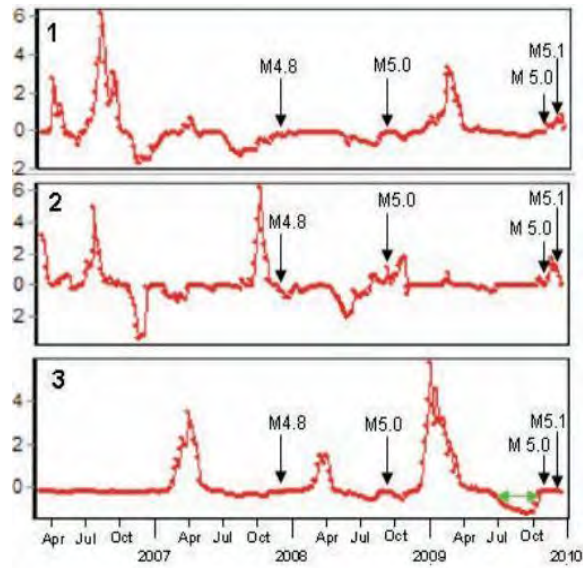


รูป 2.2 กราฟความสัมพันธ์ของค่า RTL และ เวลา แสดงภาวะเงียบสงบและภาวะกระตุ้นก่อนเกิดแผ่นดินไหวใน ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)

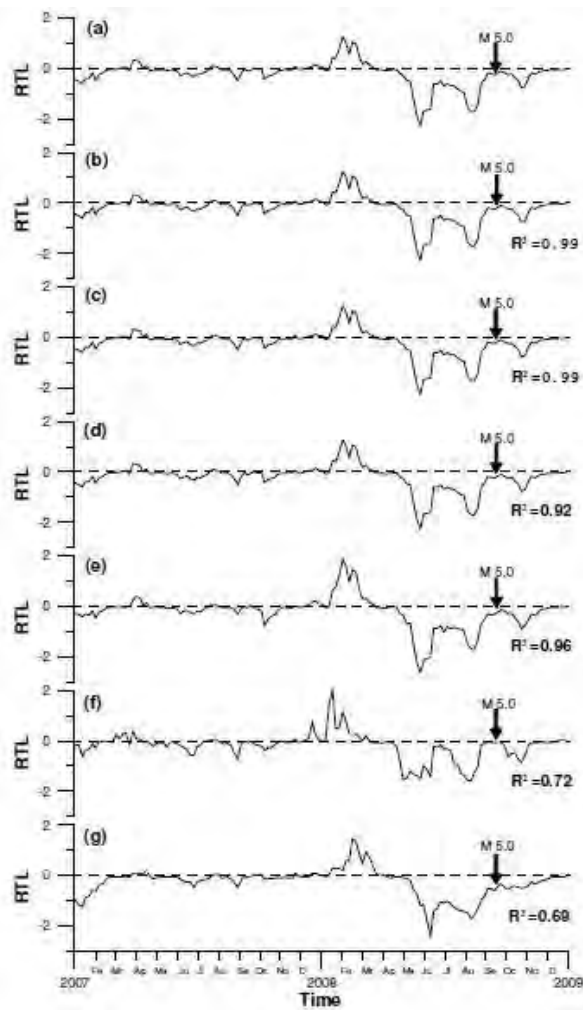
Shashidhar และคณะ (2010) ใช้ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนวิเคราะห์พฤติกรรมแผ่นดินไหวบริเวณทางตะวันตกของประเทศอินเดียซึ่งมีการไหวสะเทือนกระจายตัวดังรูป 2.3 พบภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวและภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวขึ้นในวันที่ 16 กันยายน ค.ศ. 2008 ขนาดตั้งแต่ 5 ริกเตอร์ขึ้นไปดังรูป 2.4 และ 2.5 จึงเสนอว่าขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงเกิดแผ่นดินไหวระดับปานกลาง (5.0 - 6.0 ริกเตอร์) ได้เช่นกัน



รูป 2.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของการไหวสะเทือนในพื้นที่ใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)

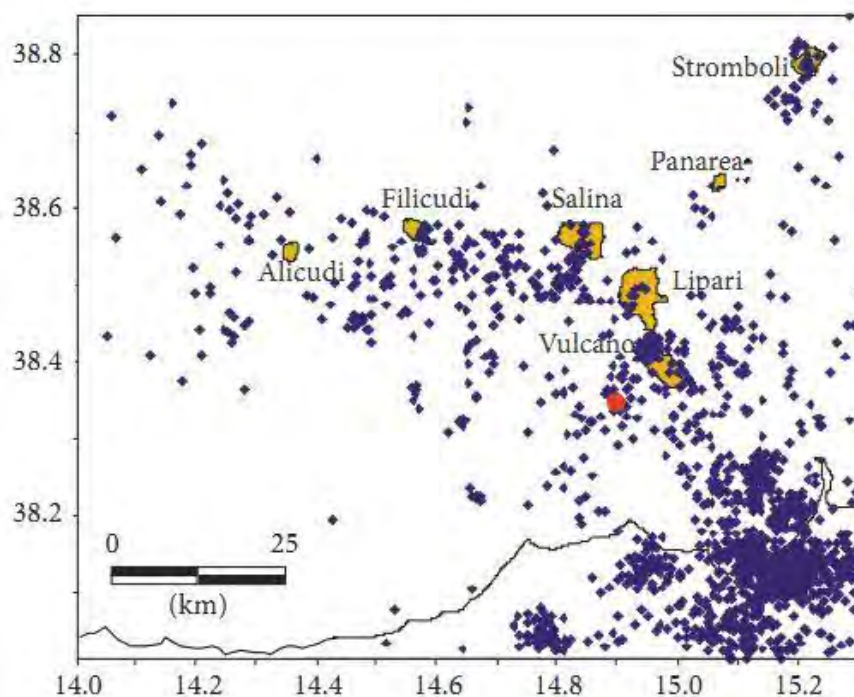


รูป 2.4 กราฟความสัมพันธ์ของค่า RTL และ เวลา (Shashidhar และคณะ, 2010)

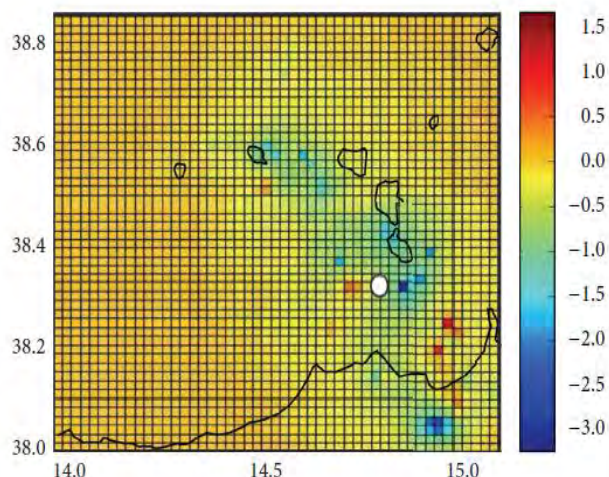


รูป 2.5 กราฟความสัมพันธ์ของค่า RTL และ เวลา พบภาวะเงียบสงบก่อนเกิดแผ่นดินไหว วันที่ 16 กันยายน ค.ศ. 2008 (Shashidhar et al., 2010)

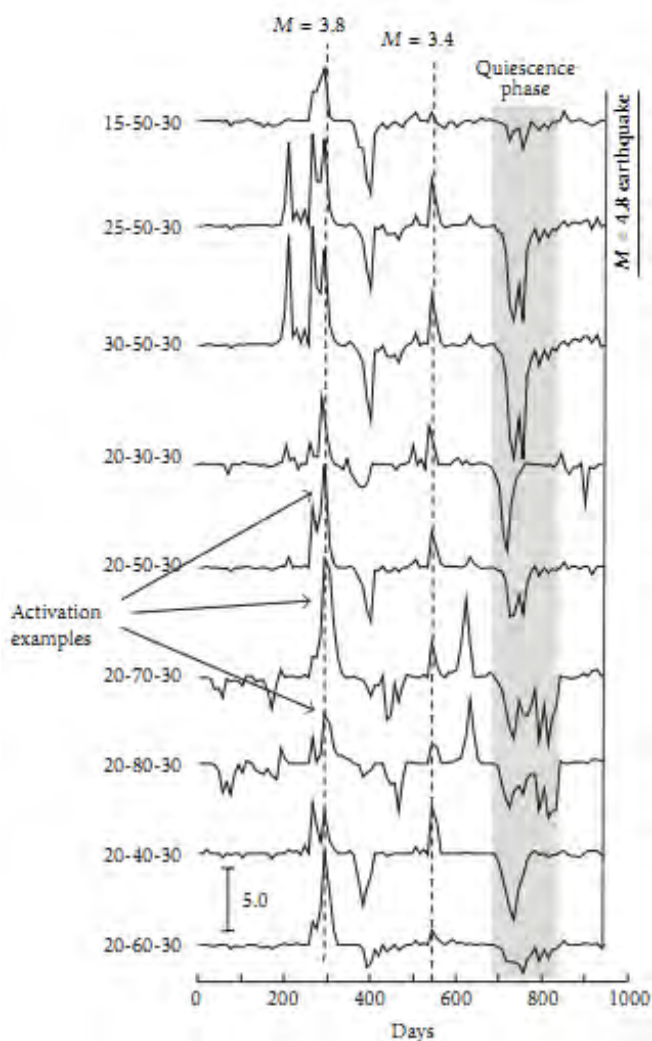
Gambino และคณะ (2014) ใช้ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนวิเคราะห์พฤติกรรมเกิดการแผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มเกาะเอโอเลียนทางตอนใต้ของภูเขาไฟในทะเลไทรเรเนียน ประเทศอิตาลี ซึ่งมีการไหวสะเทือนกระจายตัวดังรูป 2.6 พบค่าผิดปกติเกิดขึ้นบริเวณรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวดังรูป 2.7 คือภาวะเียบสงบแผ่นดินไหวในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม ค.ศ. 2009 ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 4.8 ริกเตอร์ ในวันที่ 16 สิงหาคม 2010 (รูป 2.8) จึงสรุปว่า ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมเกิดการแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวระดับปานกลางได้และยังใช้วิเคราะห์แผ่นดินไหวที่เกิดจากภูเขาไฟได้เช่นกัน



รูป 2.6 แผนที่แสดงการกระจายตัวของการไหวสะเทือนตั้งแต่ สิงหาคม ค.ศ. 1999 ถึงธันวาคม ค.ศ. 2011 ในพื้นที่ใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหว ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)



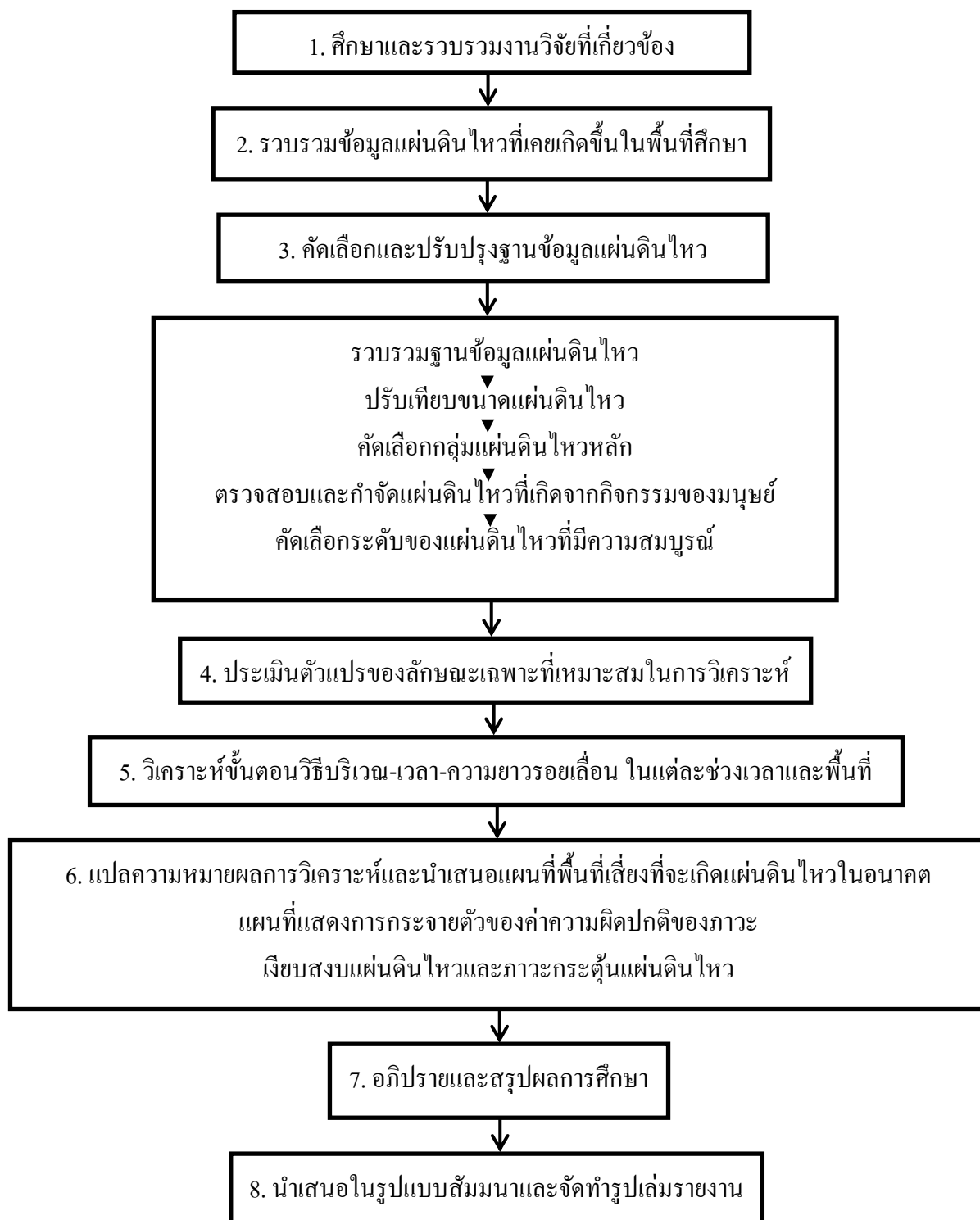
รูป 2.7 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวใน ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)



รูป 2.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)

### 2.3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ในการวิจัยได้จัดแบ่งระเบียบวิธีวิจัยเป็น 8 ขั้นตอนดังรูป 2.9



รูป 2.9 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน



### 2.3.1 ศึกษางานวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษารวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีและพื้นที่ศึกษา
- รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาที่มีการบันทึกได้จากแหล่งข้อมูลต่างๆที่มีการบันทึกย้อนหลังไปตั้งแต่ช่วง ค.ศ.1964 – 2015 (สิ้นสุดเดือนสิงหาคม) เช่น
  - ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information Center (NEIC)
  - ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)
  - ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT)
- ลงโปรแกรมและเตรียมซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
  - ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผล คือ ZMAP (Wiemer, 2001)
  - Golden Software Surfer 11

### 2.3.2 คัดเลือกและปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

- รวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue combination)
- ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (earthquake magnitude conversion)
- คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (earthquake declustering)
- ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (man-made seismicity)
- คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (magnitude of completeness)

### 2.3.3 กำหนดและประเมินตัวแปรเฉพาะที่เหมาะสมของพื้นที่ศึกษาเพื่อนำไปวิเคราะห์

- รัศมีในการพิจารณาข้อมูลในตำแหน่งวิเคราะห์ใดๆ (space window)
- กรอบเวลาการเลือกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการวิเคราะห์ใดๆ (time window)
- ประเมินความเหมาะสมของตัวแปรที่กำหนดจากข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

### 2.3.4 วิเคราะห์ขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ย่อย

- ตัวแปรลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมในแต่ละบริเวณ

### 2.3.5 แปลความจากผลวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแผนที่

- แสดงพื้นที่เสี่ยงภัยจากการกระจายตั้งของค่าความผิดปกติ(ภาวะเสียบสงบแผ่นดินไหว)

### 2.3.6 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

### 2.3.7 นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

### บทที่ 3

## การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)

ปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนนำไปวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในช่วงที่สื่อถึงพฤติกรรมธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activities) ของพื้นที่ศึกษาอย่างแท้จริง

### 3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาที่นำมาวิเคราะห์รวบรวมคัดลอกมาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ทางอินเทอร์เน็ต โดยที่งานวิจัยนี้จะรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวมาจากฐานข้อมูลหลักดังนี้ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information Center (NEIC), ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) แต่ละฐานข้อมูลสามารถนำเข้าจากอินเทอร์เน็ตโดยเลือกขอบเขตละติจูดลองจิจูดของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา (Latitude, Longitude) ขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) และช่วงวันเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว (Year, Month, Day, Hour, Min, Second) เมื่อได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต้องการแล้ว จัดเรียงข้อมูลแผ่นดินไหวของแต่ละฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันโดยเรียงตามลำดับดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตารางแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Mw	Mb	Ms	ML	Depth	Hour	Minute	Second
119.901	0.495	2002	6	16	5.8	5.7	5.5	5.3	34.8	0	0	25
127.4	-3.12	2004	1	28	6.7	6	6.5	6.7	17.4	22	15	30
100.79	-3.03	2007	11	29	5.1	6	-	5.8	51	0	5	49
117.71	-8.6	2007	11	28	3.1	-	-	4.3	37	20	37	37
127.47	2.38	2007	11	28	4.9	5.5	-	4.7	60	9	32	18
96.41	3.46	2007	11	27	3.9	-	-	4.3	30	11	25	20
100.43	-2.05	2007	11	26	3.9	5	-	4.6	0	17	10	12
128.11	-2.67	2010	3	5	-	5.6	-	3.5	30	8	15	37

ในการวิจัยนำข้อมูลจาก 3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยกำหนดขอบเขตเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963-2015 (สิ้นสุดที่เดือนสิงหาคม) ขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่  $-15.10$  ถึง  $1.61$  องศาเหนือและลองจิจูดที่  $96.09$  ถึง  $135.47$  องศาตะวันออก ขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่  $0.1-10.0 M_w$  และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่  $0-1,000$  เมตร จากการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1963 ถึง 31 สิงหาคม ค.ศ. 2015 มีข้อมูลทั้งหมด 329,917 เหตุการณ์

### 3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information Center (NEIC)

ฐานข้อมูลในการดูแลของกรมทรัพยากรธรณีสหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) เป็นการประมวลผลแบบอัตโนมัติทำให้รายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้ทันทีหลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ซึ่งทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบ้างแต่ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลที่รวดเร็วที่สุด ณ ปัจจุบัน

### 3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

ฐานข้อมูลในการดูแลของกรมทรัพยากรธรณีสหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) เช่นกันโดยนำฐานข้อมูล NEIC ที่ได้มาคำนวณใหม่ให้ได้ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น (International Seismological Centre, 2001) และรายงานข้อมูลในเชิงลึกที่จำเป็นต่อการวิจัยด้านแผ่นดินไหววิทยาจึงทำให้มีความล่าช้าไม่สามารถรายงานเหตุการณ์ล่าสุดได้ในทันที

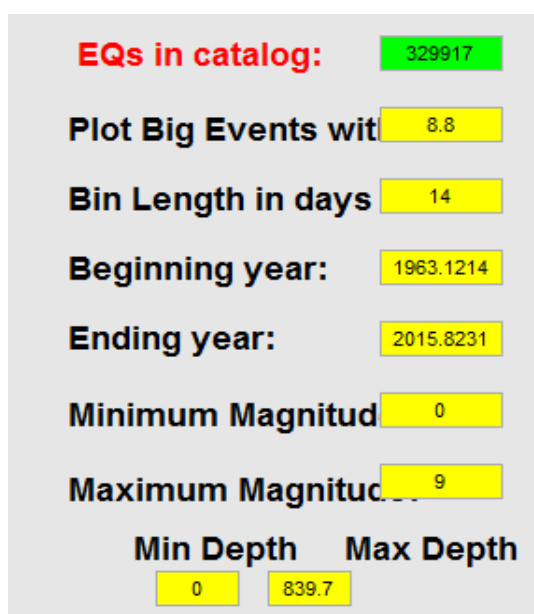
### 3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The Harvard Centroid Moment Tensor (HRV) มีการวิเคราะห์ตัวแปรด้านแผ่นดินไหวอย่างละเอียดในเชิงลึกจึงใช้เวลานานกว่าฐานข้อมูลอื่นๆ รายงานผลช้าที่สุดแต่ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำที่สุดเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป

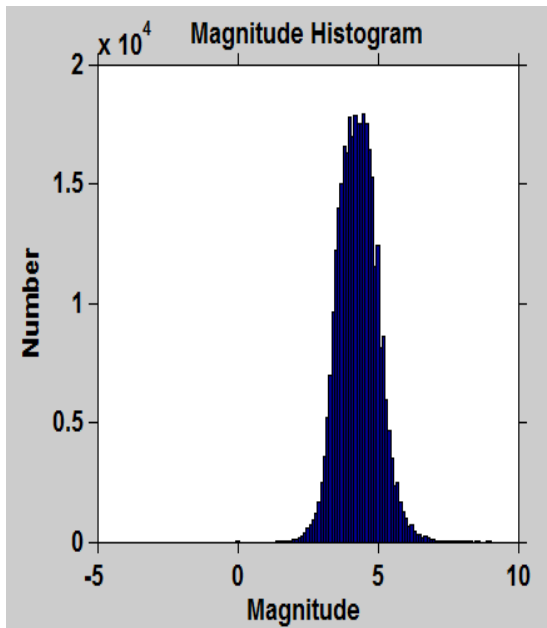
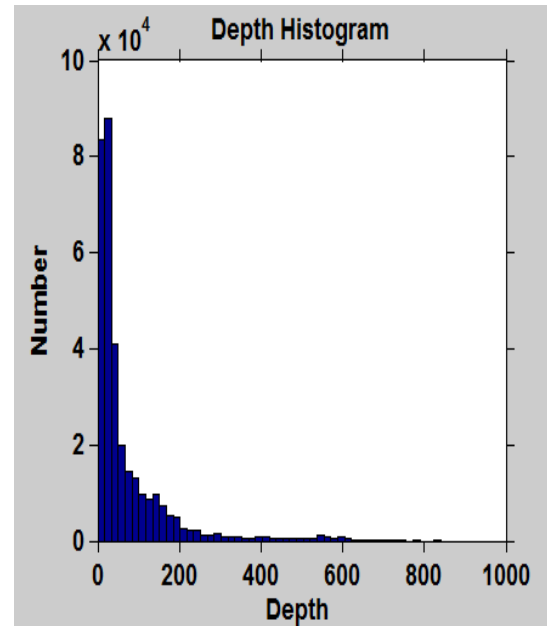
ซึ่งแต่ละฐานข้อมูลนั้นก็ยังมีประโยชน์ข้อดีข้อด้อยต่างกันไปอย่างไรก็ตามในกรณีของเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย จะเห็นได้ว่าทุกเครือข่ายสามารถตรวจวัดเหตุการณ์แผ่นดินไหวได้ แต่เครือข่ายจากต่างประเทศจะมีความหนาแน่นของข้อมูลมากกว่าเพื่อให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณดังนั้นในขั้นตอนแรกของการปรับปรุง

ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติในพื้นที่ใดๆควรมีการสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ โดยการรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการรายงานไว้ในฐานข้อมูลต่างๆให้มากที่สุด และในกรณีที่มีการตรวจวัดแผ่นดินไหวซ้ำกันในแต่ละฐานข้อมูล ให้คัดเลือกเพียงฐานข้อมูลเดียวที่น่าเชื่อถือที่สุดมาเป็นตัวแทนของแผ่นดินไหวในแต่ละเหตุการณ์ (Suckale และ Grünthal, 2009) จะได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ซึ่งมีระยะเวลาในการตรวจวัดยาวนานขึ้นและการกระจายตัวของขนาดแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้กว้างขึ้น

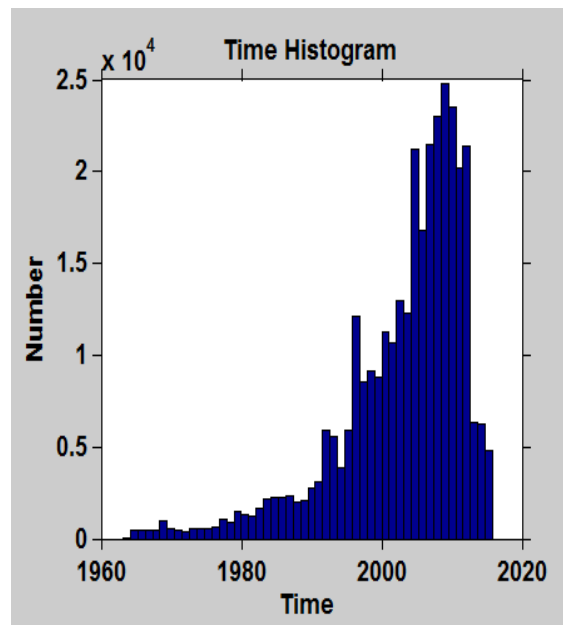
ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จาก 3 แหล่งข้อมูลโดยกำหนดขอบเขตระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1963–31 สิงหาคม ค.ศ. 2015 ได้ข้อมูลทั้งสิ้น 329,917 เหตุการณ์ขนาดแผ่นดินไหว ตั้งแต่ 0.1-9.0  $M_w$  และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-839.7 เมตร (รูป 3.1) และแสดงความสัมพันธ์ต่างๆเป็นกราฟได้ดังนี้ Magnitude Histogram คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและจำนวนการเกิดแผ่นดินไหว (รูป 3.2), Depth Histogram คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวและจำนวนการเกิดแผ่นดินไหว (รูป 3.3), Time Histogram คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) และจำนวนการเกิดแผ่นดินไหว (รูป 3.4) จากนั้นทำการจัดเรียงข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่และเนื่องจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละเครือข่ายมีหน่วยมาตรวัดต่างกันเป็นผลมาจากเครื่องมือตรวจวัด จึงต้องปรับข้อมูลแผ่นดินไหวทุกเครือข่ายให้เป็นมาตรวัดเดียวกันก่อนนำไปวิเคราะห์



รูป 3.1 ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด

รูป 3.2 ขนาด ( $M_w$ ) - จำนวนแผ่นดินไหว

รูป 3.3 ความลึก (เมตร) - จำนวนแผ่นดินไหว



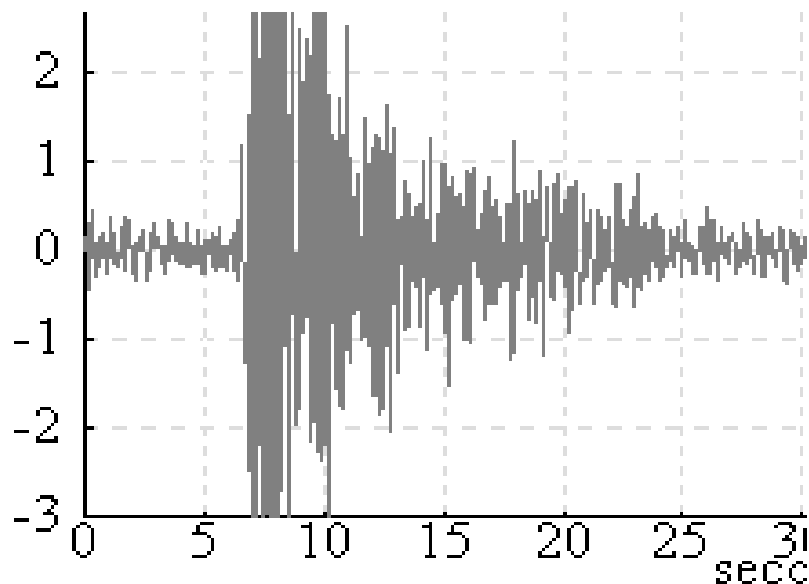
รูป 3.4 เวลา (ปี) - จำนวนแผ่นดินไหว

### 3.2 การเปรียบเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

แผ่นดินไหวแต่ละเหตุการณ์มักจะรายงานขนาดแผ่นดินไหวด้วยมาตราตรวจวัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพการณ์การตรวจวัดตัวอย่างเช่น

- การตรวจวัดแผ่นดินไหวในระดับโลก (global scale) หรือระดับภูมิภาค (regional scale) คลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้มักแสดงคลื่นเนื้อโลก (body-wave magnitude,  $M_b$ ) คลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลกประกอบด้วยคลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) จำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่น ๆ แต่ไม่ชัดเจน จึงนิยมวิเคราะห์จากคลื่นพื้นผิว (surface wave magnitude,  $M_s$ ) เป็นคลื่นเกิดหลังจากคลื่นเนื้อโลกเคลื่อนที่มาถึงผิวแล้วโดยวัดขนาดรุนแรงจากความสูงแอมพลิจูดของคลื่นพื้นผิว ซึ่งได้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากกว่าและจำนวนน้อยกว่า

- การตรวจวัดแผ่นดินไหวในระดับท้องถิ่น (local scale) เช่น แผ่นดินไหวจากการระเบิดเหมืองหรือแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกักเก็บน้ำในเขื่อน นิยมใช้มาตราขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (local magnitude,  $M_L$ ) มีความแม่นยำมากหากเครื่องวัดอยู่ใกล้จุดเกิดแผ่นดินไหว ไกลออกไปจะให้ความถูกต้องของข้อมูลลดน้อยลง นิยมวัดแผ่นดินไหวในหน่วยมักใช้วิเคราะห์เพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดกับสิ่งก่อสร้างบริเวณนั้น



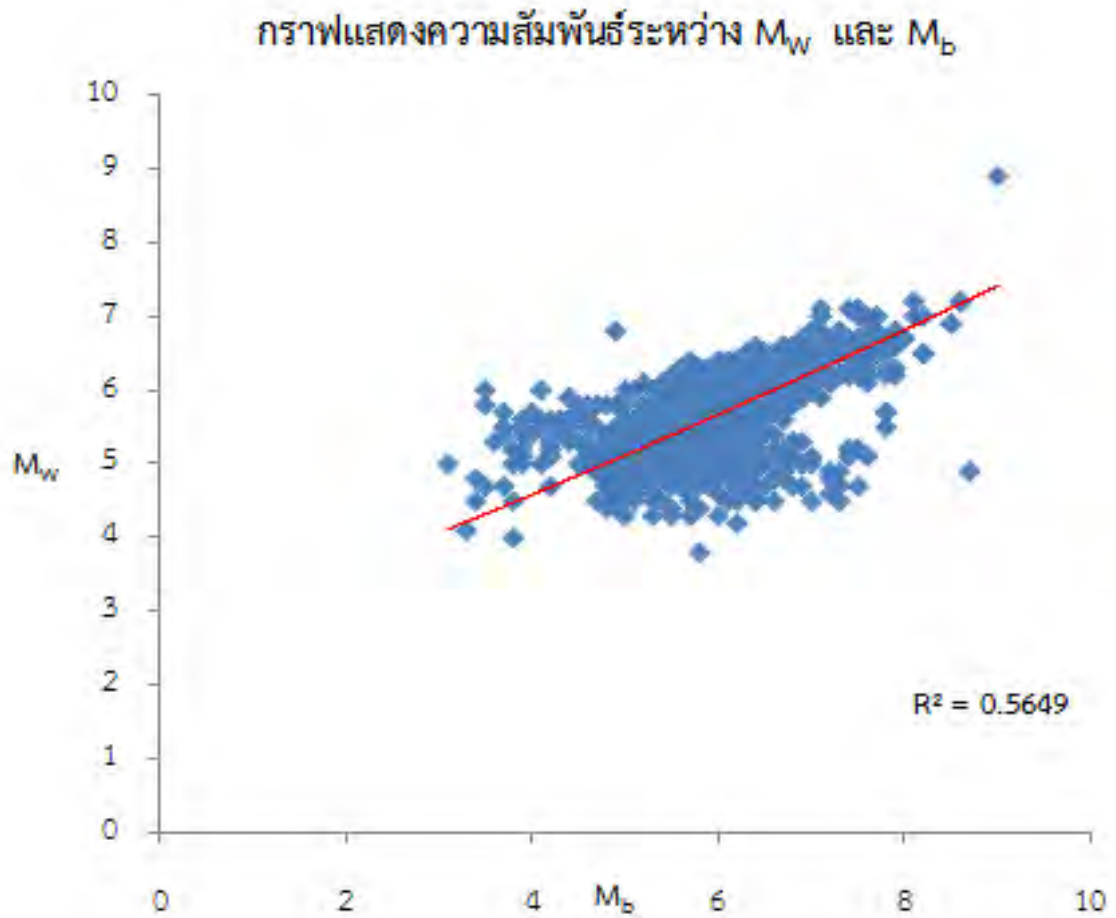
รูป 3.5 ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่เกินขอบเขตการตรวจวัดของเครื่องมือ โดยเฉพาะคลื่นพื้นผิว ซึ่งจะมีแอมพลิจูดสูงกว่าคลื่นเนื้อโลก (Kagan และ Knopoff, 1980)

มาตราที่นิยมใช้ในการรายงานขนาดแผ่นดินไหวคือ **มาตราขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (moment magnitude,  $M_w$ )** เนื่องจากไม่มีการเกิดการอิ่มตัวของสัญญาณและวัดแผ่นดินไหวจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน ตลอดจนการแปรแตกของหินในพื้นที่ จึงถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดที่สื่อถึงพฤติกรรมของแผ่นดินไหวโดยตรงจากการศึกษาของ Kagan และ Knopoff (1980) พบว่าในการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวใหญ่ซึ่งมีแอมพลิจูดของคลื่นสูงเกินขีดจำกัดของเครื่องมือตรวจวัดที่กำหนดไว้ (รูป 3.5) มักจะรายงานมาตรา  $M_b$ ,  $M_s$  และ  $M_L$  ต่ำกว่าความเป็นจริง เรียกว่า “การอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว” (saturation of earthquake magnitude) ซึ่งแต่ละมาตราจะมีระดับการอิ่มตัวที่แตกต่างกัน เช่น  $M_s$  จะอิ่มตัวที่ประมาณ 7.0-8.0 ริคเตอร์ ในขณะที่  $M_b$  จะอิ่มตัวเมื่อแผ่นดินไหวมีขนาด 6.5 ริคเตอร์ขึ้นไป ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการปรับข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ให้เป็นมาตรวัดมาตรฐานเดียวกันคือ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Moment Magnitude;  $M_w$ ) โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันซึ่งมีความเฉพาะและแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ดังนี้

(1) ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ )

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) เป็นดังสมการ 3.1 ซึ่งวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.6

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



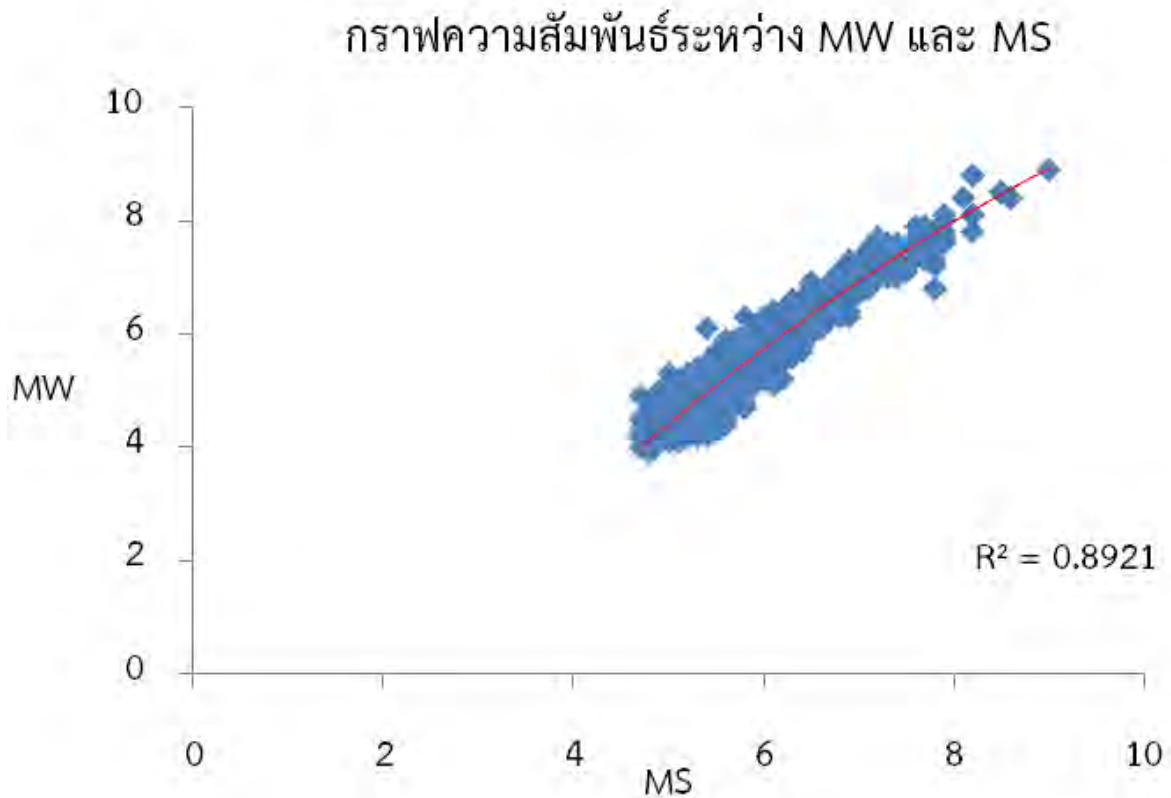
รูป 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด  $M_b$  และ  $M_w$



(2) ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_S$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_W$ )

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_S$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_W$ ) เป็นดังสมการ 3.2 ซึ่งวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.7

$$M_W = -0.0646M_S^2 + 2.0318M_S - 4.1368 \quad \text{สมการ 3.2}$$

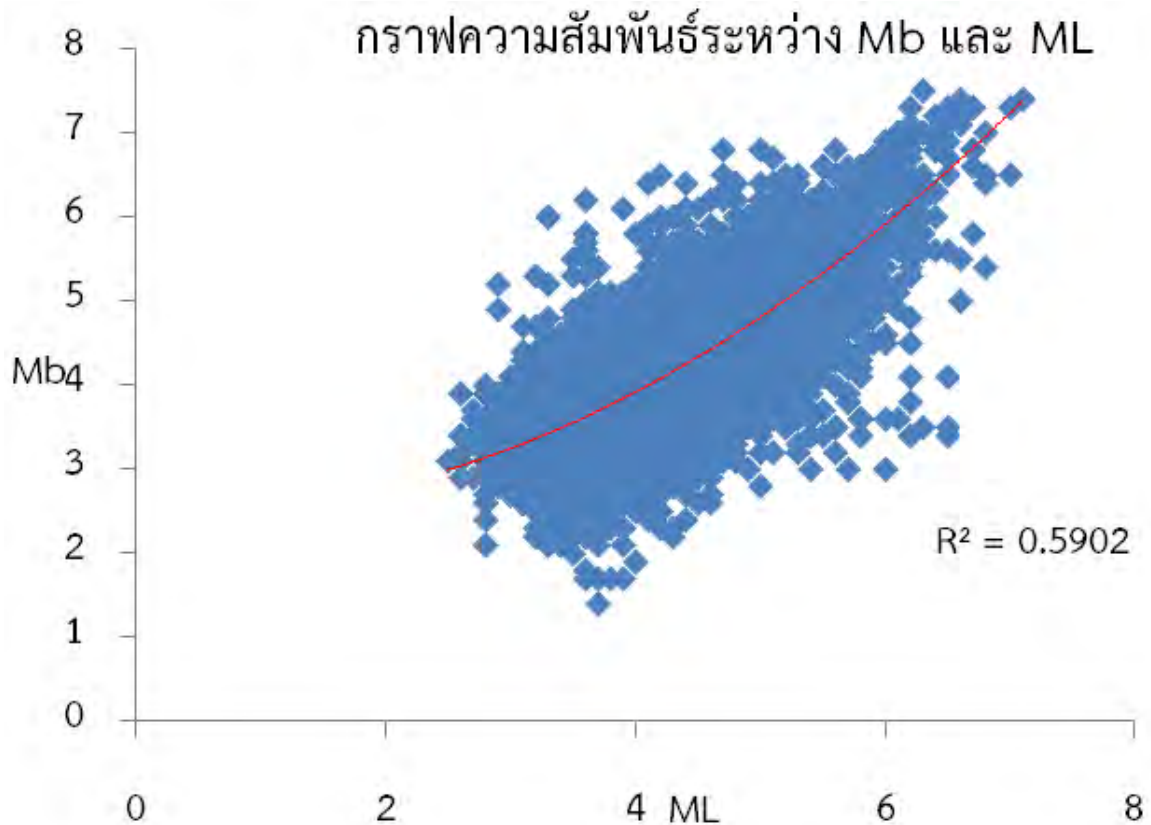


รูป 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด  $M_S$  และ  $M_W$

(3) ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ )

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) เป็นดังสมการ 3.3 ซึ่งวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.8

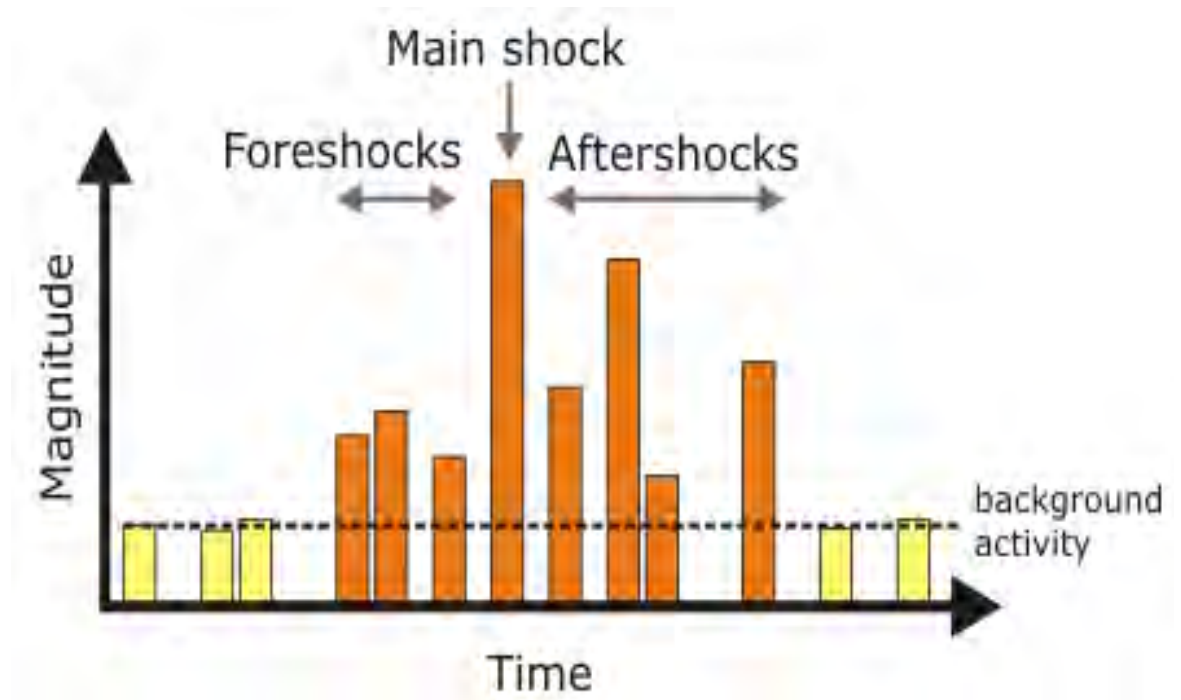
$$M_b = 0.1089M_L^2 - 0.0911M_L + 2.5427 \quad \text{สมการ 3.3}$$



รูป 3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด  $M_b$  และ  $M_L$

### 3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งจากฐานข้อมูลระดับโลก (Aki, 1956) และระดับท้องถิ่น (Knopoff, 1964) พบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ถูกบันทึกไว้ในแต่ละฐานข้อมูลนั้นสามารถจำแนกตามกลไกและลำดับการเกิดออกเป็น 3 ประเภท คือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock) เกิดจากการเริ่มปลดปล่อยพลังงานจากแรงเครียด (strain) ก่อนเกิดแผ่นดินไหวหลัก (main shock) เกิดจากแรงเค้น (stress) อันเนื่องมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรงและแผ่นดินไหวตาม (aftershock) เกิดจากแรงเครียด (strain) ที่ถ่ายทอดมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลักเพื่อปรับเข้าสู่สมดุลในแต่ละเหตุการณ์ (รูป 3.9) ดังนั้นจึงต้องกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกเพื่อให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่แสดงถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรงไม่รุนแรงเกินความจริง โดยใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันมากที่สุดในการศึกษางานวิจัยต่างๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

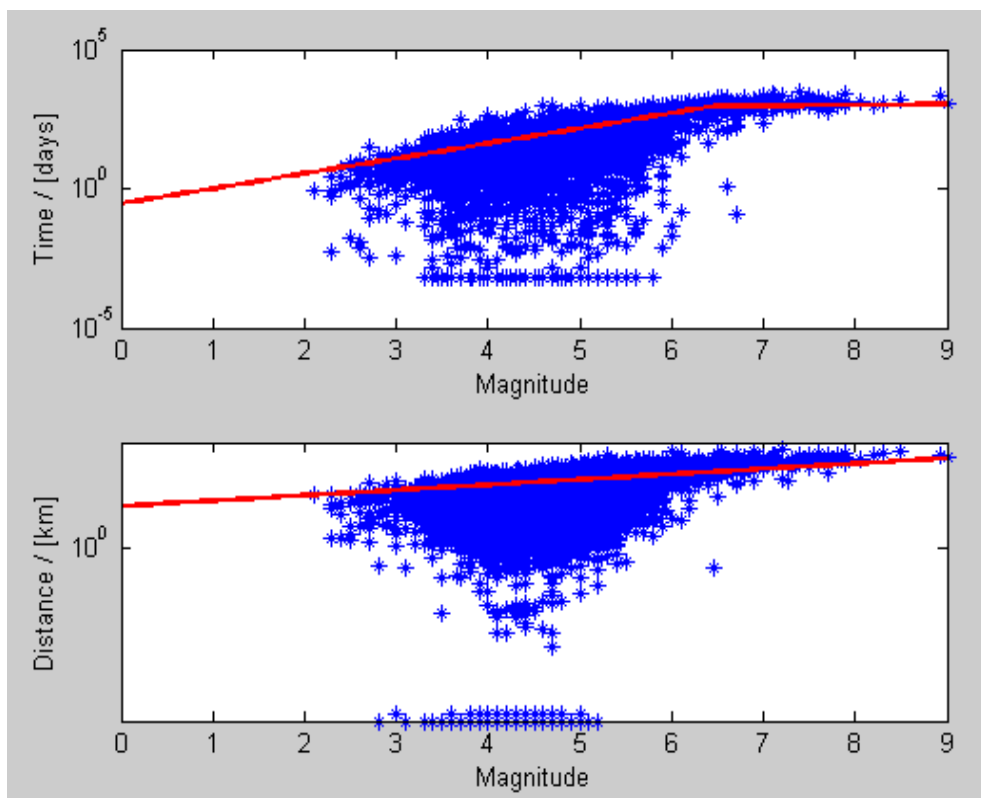


รูป 3.9 แบบจำลองการเกิดกลุ่มแผ่นดินไหว (earthquake cluster) (Pailoplee, 2014)

อาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณาและช่วงเวลาที่เกิดขึ้นคือ

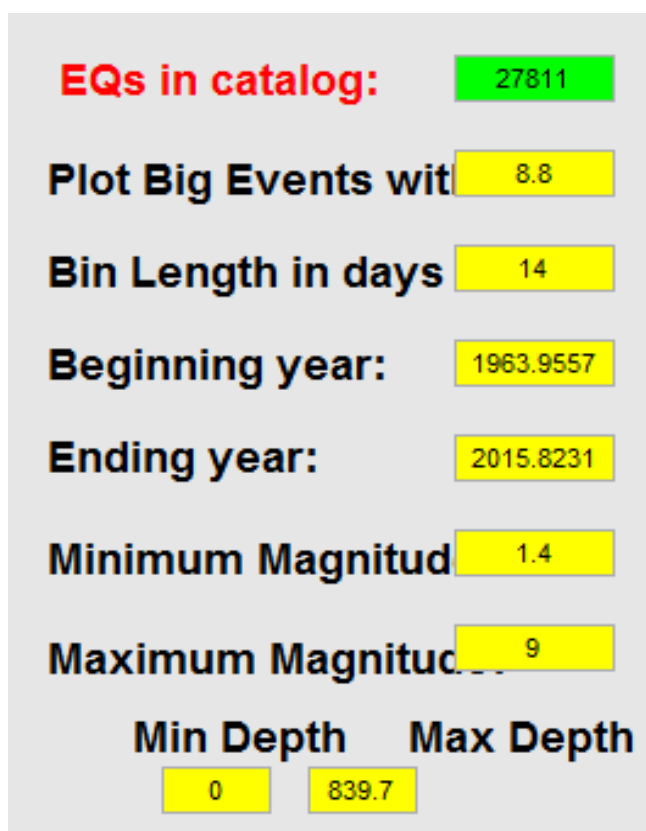
- หากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างครอบคลุมเพียงพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามจะสั้น
- ในทางตรงกันข้ามหากเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้นรวมไปถึงระยะเวลาของการปรับตัวเข้าสู่สมดุลของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้น

จากนั้นคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลักกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวหลักโดยใช้โปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) เปิดผ่านโปรแกรม MATLAB ในการทำงานโดยแสดงในรูปของกรอบของเวลา (time window) และกรอบของระยะทาง (space window) จะได้กลุ่มของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามที่กำลังออกได้เส้นสีแดง ดังรูป 3.10



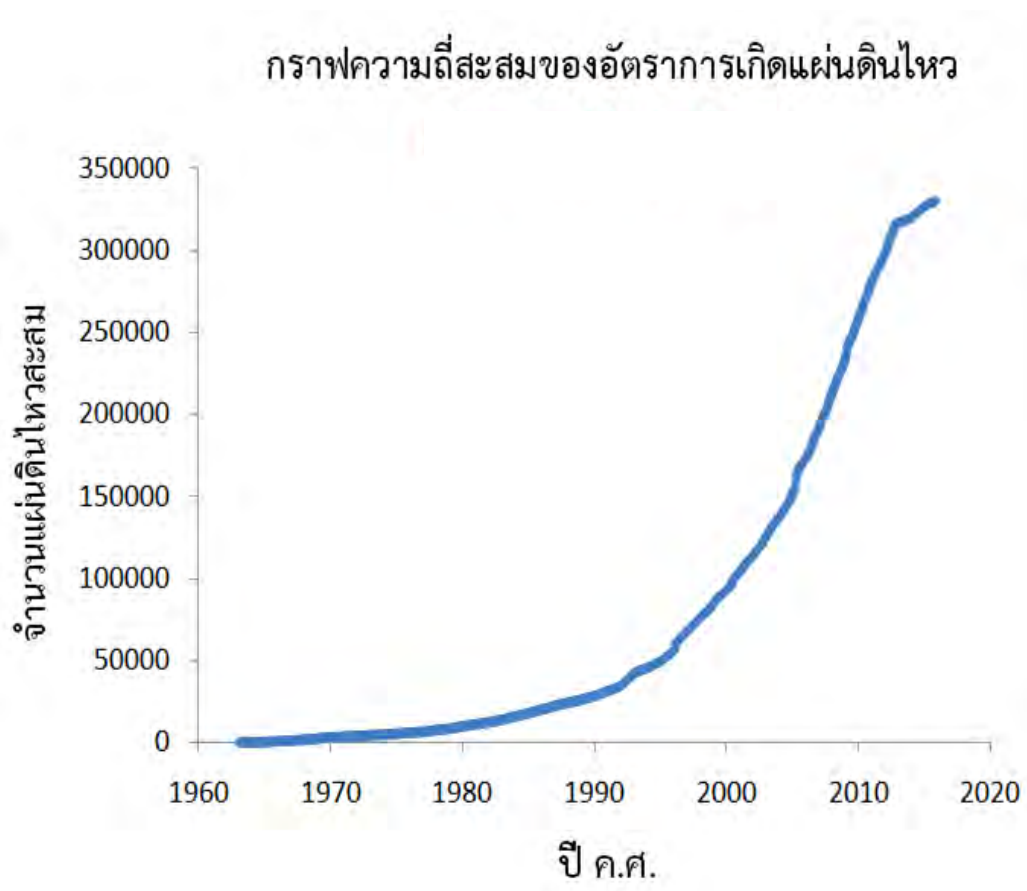
รูป 3.10 แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเส้นสีแดงแสดงถึงกรอบของเวลา(ด้านบน) และกรอบของระยะทาง(ด้านล่าง) โดยข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นสีแดงคือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) พบว่าสามารถจัดกลุ่มของแผ่นดินไหวให้อยู่ในกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกัน (earthquake cluster) ได้กลุ่มแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 329,917 เหตุการณ์ เป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม 302,106 เหตุการณ์ ซึ่งคิดเป็น 91.57% ของเหตุการณ์ทั้งหมด จากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักได้ทั้งสิ้น 27,811 เหตุการณ์ ในระยะเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 1963 – 2015 ได้ข้อมูลทั้งสิ้น ขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 1.4 - 9.0  $M_w$  และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0 - 839.7 เมตร ดังรูป 3.11



รูป 3.11 ข้อมูลผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักโดยโปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001)

จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (cumulative number of earthquake) และช่วงเวลาในแต่ละปี (time) ดังรูป 3.12 ลักษณะของกราฟไม่เป็นเส้นตรงสมบูรณ์ อาจยังมีปัจจัยอื่นทำให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ไม่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง เช่น การรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)



รูป 3.12 ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

### 3.4 การตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

การเกิดแผ่นดินไหวเป็นกระบวนการทางธรรมชาติเกิดจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก การชนกัน เคลื่อนที่ผ่านกัน ซึ่งไม่ได้เกิดในเวลาอันรวดเร็ว แบบเป็นปัจจุบัน มีการค่อยๆสะสมพลังงานค่อยๆปล่อยพลังงานซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วในเวลาไม่นาน ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่าอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในปัจจุบันช่วงระยะเวลา 100 ปี ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวควรมีอัตราการเกิดอย่างสม่ำเสมอ หากแสดงผลเป็นกราฟจำนวนแผ่นดินไหวควรเพิ่มขึ้นตามเวลาเรื่อยๆอย่างสม่ำเสมอจนได้รูปแบบของกราฟความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งจากกราฟที่ได้หลังจากคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักยังไม่เป็นเส้นตรงสมบูรณ์ คาดว่ายังมีการรบกวนในทางอื่นนั่นก็คือผลกระทบมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น เพิ่มหรือลดของจำนวนสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเครือข่ายตรวจวัด (detection change) ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ไม่คงที่ (Wyss, 1991) การเปลี่ยนแปลงการรายงาน (report change) การเปลี่ยนแปลงระเบียบวิธีการคำนวณขนาดแผ่นดินไหว (magnitude change) การเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์ในการประมวลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละช่วงเวลา (Wyss และ Habermann, 1988) จะทำให้มีการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เปลี่ยนไปจากเดิม (Habermann และ Wyss, 1984) ตลอดจนการทดลองระเบิดนิวเคลียร์หรือการระเบิดจากการทำเหมือง

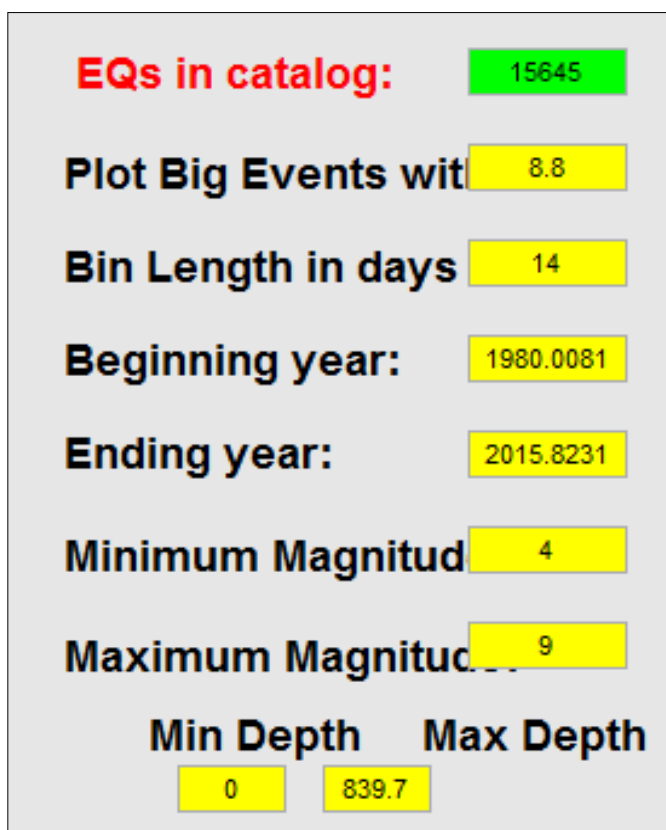
ประยุกต์หลักการของ Habermann (1983; 1987) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละช่วงขนาดแผ่นดินไหวและช่วงเวลาย่อยของการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหว ปรับปรุงคุณภาพข้อมูลให้ดียิ่งขึ้น จากสมการ 3.4

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

จากสมการสามารถอธิบายตัวแปรได้ดังนี้

$Z$	คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดและในแต่ละช่วงเวลา
$M1, M2$	คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา
$S1, S2$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$N1, N2$	คือ จำนวนของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

ผลจากการตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์ได้กลุ่มแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 15,645 เหตุการณ์ ในระยะเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 1980 – 2015 ขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 4.0 - 9.0  $M_w$  และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-839.7 เมตร ดังรูป 3.13

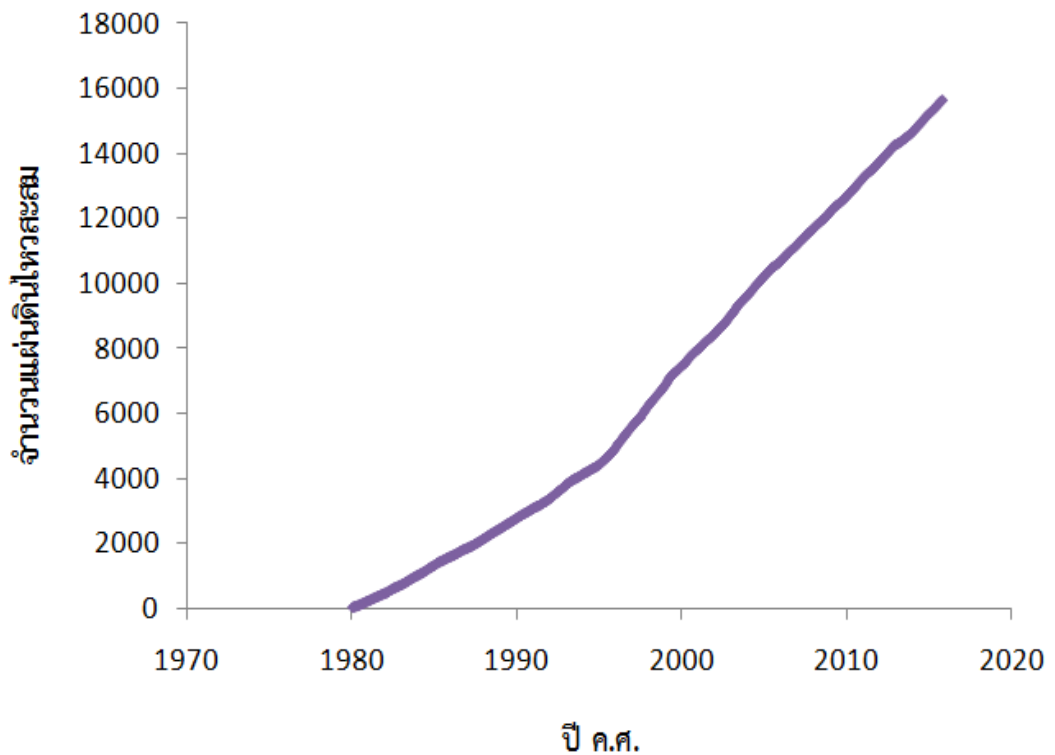


รูป 3.13 ข้อมูลผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์



ผลที่ได้เมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (cumulative number of earthquake) และช่วงเวลาในแต่ละปี (time) พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากยิ่งขึ้น ดังรูป 3.14 แสดงถึงข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น

### กราฟความถี่สะสมของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว

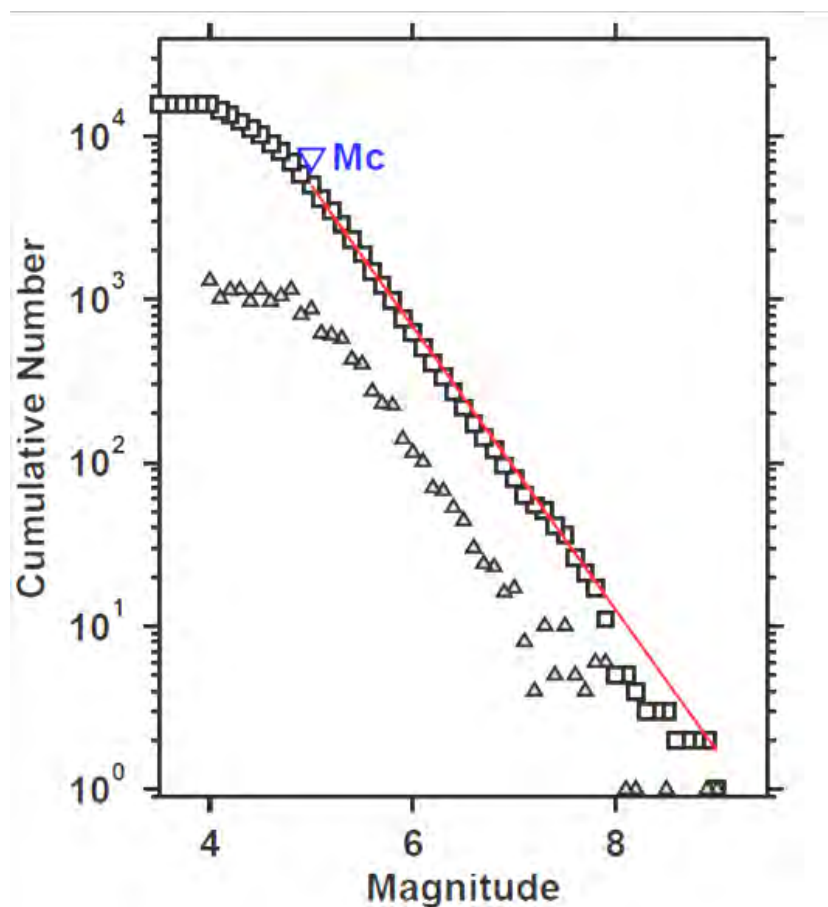


รูป 3.14 ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์

### 3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

เนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหว ความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวรวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ทำให้มีผลกระทบต่อข้อมูล เช่น แผ่นดินไหวขนาดเล็กเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวบางเครื่องอาจไม่สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลแผ่นดินไหวได้ จึงได้กำหนดค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ โดยเรียกว่า Magnitude of completeness ( $M_c$ ) (Woessner และ Wiemer, 2005) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้อง

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (cumulative number of earthquake) และขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) เพื่อคัดเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตั้งแต่  $M_c = 5.0$  ขึ้นไป ตามเส้นกราฟสีแดงดังรูป 3.15 แสดงถึงข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ตั้งแต่ขนาด  $5 M_w$  ขึ้นไป



รูป 3.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ โดยที่มีขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์สามารถนำไปวิเคราะห์ที่ได้คือ  $M_c = 5.0$

จากการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์คือ 5.0 ทำให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสุทธิที่จะนำมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวมีทั้งสิ้น 4,982 เหตุการณ์ในระยะเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 1980 – 2015 ขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 4.0 - 9.0  $M_w$  และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-839.7 เมตร

**บทที่ 4**  
**ผลการศึกษา**  
**(RESULT)**

**4.1 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)**

นำข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงฐานข้อมูลมาคัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สนใจ เพื่อเป็นกรณีศึกษาโดยได้ทำการคัดเลือกมาทั้งหมด 41 เหตุการณ์ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา

ORDER	LONG	LAT	YEAR	MONTH	DAY	MAG	DEPTH	HOUR	MIN
1	125.30	-8.10	1982	6	22	7.5	33	4	18
2	125.99	-7.28	1982	6	22	7.4	473	4	18
3	128.32	-7.44	1983	11	24	7.4	157	5	30
4	98.10	0.10	1984	11	17	7.2	34	6	49
5	104.00	-5.70	1985	12	27	7.0	25	5	38
6	131.20	-5.53	1987	6	17	7.1	75	1	32
7	124.40	-9.10	1988	5	30	7.3	33	21	11
8	131.30	-6.60	1988	7	25	7.3	33	6	46
9	133.67	-6.08	1988	7	25	7.0	31	6	46
10	120.70	-7.80	1990	5	24	7.1	580	20	9
11	122.49	-8.34	1992	12	12	7.7	20	5	29
12	130.52	-6.60	1992	12	20	7.2	70	20	53
13	112.834	-10.48	1994	6	2	7.8	6	18	17
14	129.15	-6.90	1995	12	25	7.0	158	4	43
15	123.02	-7.38	1996	6	17	7.8	584	11	22
16	128.95	-6.94	1998	11	9	7.0	24	5	38
17	125.00	-2.03	1998	11	29	7.7	16	14	10

18	123.59	-1.29	2000	5	4	7.6	18	4	21
19	101.94	-4.73	2000	6	4	7.9	44	16	28
20	98.99	-4.62	2000	6	4	7.4	33	16	28
21	103.53	-5.86	2000	6	4	7.2	33	16	28
22	102.36	-5.40	2001	2	13	7.4	21	19	28
23	124.11	-4.31	2001	10	19	7.5	19	3	28
24	128.67	-3.56	2002	10	10	7.0	10	10	50
25	117.86	-7.67	2003	3	25	7.3	15	2	53
26	127.28	-3.00	2003	5	26	7.0	16	19	23
27	125.12	-7.87	2004	11	11	7.5	17	21	26
28	129.99	-6.54	2005	3	2	7.1	196	10	42
29	128.20	-5.61	2006	1	27	7.6	397	16	58
30	97.050	0.09	2006	5	16	7.0	12	15	28
31	107.78	-10.28	2006	7	17	7.7	20	8	19
32	106.00	-9.23	2006	7	17	7.2	33	8	19
33	107.68	-6.13	2007	8	8	7.8	284	17	4
34	100.99	-3.78	2007	9	12	8.5	24	11	10
35	100.13	-2.46	2007	9	12	7.9	43	23	49
36	132.43	-2.77	2009	1	3	7.6	33	19	43
37	130.43	-6.21	2009	10	24	7.1	149	14	40
38	133.78	-4.92	2010	9	29	7.0	18	17	11
39	99.32	-3.71	2010	10	25	7.8	12	14	42
40	129.83	-6.65	2012	12	10	7.1	159	16	53
41	122.53	-7.28	2015	2	27	7.0	547	13	45

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา คัดเลือกมาจากเหตุการณ์ที่แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 1980 – 2015 ที่มีขนาดแผ่นดินไหวในมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ  $7.0 M_w$  ขึ้นไป โดยพิจารณาบริเวณแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียเลือกเหตุการณ์ที่อยู่ใกล้เขตระยะการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก จากการคัดเลือกทำให้ได้เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาทั้งสิ้น 34 เหตุการณ์ จากเหตุการณ์ทั้งหมด 41 เหตุการณ์ ซึ่งแสดงการกระจายตัวของกรณีศึกษาตามแนวการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ดังรูป 4.1



รูป 4.1 กรณีศึกษา 34 เหตุการณ์ กระจายตัวในเขตการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

ทดสอบย้อนกลับเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมได้แก่ รัศมี ( $R_{max}$ ) และกรอบเวลา ( $T_{max}$ ) หากจากขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length algorithm; RTL) โดยคำนึงถึงตัวแปรในการเกิดแผ่นดินไหว 3 ตัวแปรดังนี้ บริเวณ เวลา และความยาวรอยเลื่อนนำมาหาค่าได้จากสมการ 2.1 - 2.3

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

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

$$L(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{l_i}{l_0}\right) \right] - L_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ 2.3}$$

กำหนดค่า Rmax เริ่มตั้งแต่ 50 – 200 กิโลเมตร และขยับไปทุกๆ 10 กิโลเมตร กำหนดค่า Tmax เริ่มตั้งแต่ 1.0 – 3.5 ปี และขยับไปทุกๆ 0.5 ปี จากการกำหนดค่าดังกล่าวทำให้ได้เงื่อนไขของค่า Rmax และ Tmax มาหลายกรณี ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2. ตารางเงื่อนไขค่า Rmax และTmax

เงื่อนไข	Rmax (กม.)	Tmax (ปี)	จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ
1	120	1.0	1 เหตุการณ์
2	120	1.5	3 เหตุการณ์
3	120	2.0	5 เหตุการณ์
4	120	2.5	7 เหตุการณ์
5	120	3.0	4 เหตุการณ์
6	120	3.5	5 เหตุการณ์
7	130	1.0	1 เหตุการณ์
8	130	1.5	4 เหตุการณ์
9	130	2.0	6 เหตุการณ์
10	130	2.5	10 เหตุการณ์
11	130	3.0	6 เหตุการณ์
12	130	3.5	5 เหตุการณ์
13	140	1.0	2 เหตุการณ์
14	140	1.5	5 เหตุการณ์
15	140	2.0	6 เหตุการณ์
16	140	2.5	9 เหตุการณ์
17	140	3.0	5 เหตุการณ์
18	140	3.5	7 เหตุการณ์
19	150	1.0	1 เหตุการณ์
20	150	1.5	2 เหตุการณ์
21	150	2.0	5 เหตุการณ์
22	150	2.5	7 เหตุการณ์

23	150	3.0	5 เหตุการณ์
24	150	3.5	7 เหตุการณ์
25	160	1.0	1 เหตุการณ์
26	160	1.5	3 เหตุการณ์
27	160	2.0	5 เหตุการณ์
28	160	2.5	7 เหตุการณ์
29	160	3.0	5 เหตุการณ์
30	160	3.5	5 เหตุการณ์
31	170	1.0	1 เหตุการณ์
32	170	1.5	3 เหตุการณ์
33	170	2.0	3 เหตุการณ์
34	170	2.5	7 เหตุการณ์
35	170	3.0	5 เหตุการณ์
36	170	3.5	7 เหตุการณ์



จากเงื่อนไขของค่า Rmax และค่า Tmax หลากหลายกรณี ที่แสดงดังตาราง 4.2 ทำการคัดเลือกมา 1 เงื่อนไข แสดงดังตาราง 4.3 คัดเลือกโดยเลือกค่า Rmax, Tmax ที่ไม่มากเกินไปและต้องพบเหตุการณ์กรณีศึกษามากที่สุดได้มา 1 กรณีคือ เงื่อนไขที่ 10 Rmax 130 กิโลเมตร และ Tmax 2.5 ปี นำมาใช้ทดสอบย้อนกลับ

ตาราง 4.3 ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลเงื่อนไขที่พบเหตุการณ์ในกรณีศึกษามากที่สุด

เงื่อนไข	Rmax (กม.)	Tmax (ปี)	เหตุการณ์	Lon	Lat	Year	M <sub>w</sub>	RTL <sub>time</sub>	RTL <sub>min</sub>	DETECTION Time
10	130	2.5	1	131.20	-5.53	1987.46	7.1	1982.73	-0.95	4.7
			2	124.40	-9.10	1988.41	7.3	1984.34	-0.93	4.1
			3	103.53	-5.86	2000.42	7.2	1988.56	-0.70	11.9
			4	131.30	-6.60	1988.56	7.3	1982.77	-0.72	5.8
			5	122.49	-8.34	1992.95	7.7	1982.88	-0.55	10.1
			6	120.70	-7.80	1990.39	7.1	1986.18	-0.81	4.2
			7	123.02	-7.38	1996.46	7.8	1992.09	-0.57	4.4
			8	130.52	-6.60	1992.97	7.2	1991.44	-0.60	1.5
			9	117.86	-7.67	2003.23	7.3	1992.01	-0.54	11.2
			10	129.99	-6.54	2005.17	7.1	1995.54	-0.84	9.6

ค่า Rmax= 130 กิโลเมตร และ Tmax= 2.5 ปี เป็นค่าน้อยที่สุดเหมาะสมที่สุดที่ทำให้รายละเอียดในการตีวงรัศมีและเวลาที่พิจารณาในพื้นที่แสดงได้ละเอียด มาเป็นตัวแทนในการศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อไป โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 10 ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ตารางรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 10

Rmax	Tmax	ระยะห่างของการตีช่องกริดย่อย	จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ
130 กิโลเมตร	2.5 ปี	0.05 x 0.05 องศา	10 เหตุการณ์

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

จากการคำนวณค่าต่างๆตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้วทำให้ได้กราฟแสดงค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษามีข้อมูลจำนวน 34 เหตุการณ์จากจำนวนทั้งหมด 41 เหตุการณ์ ดังตารางที่ 4.5 และกราฟดังรูป 4.2

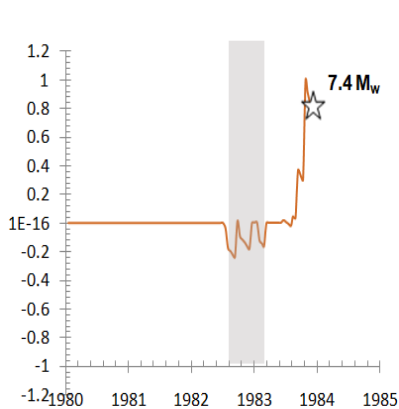
ตาราง 4.5 ตารางข้อมูล 34 เหตุการณ์ที่เลือกมาทำแผนที่แสดงค่าความผิดปกติของแผ่นดินไหว

ORDER	LONG	LAT	YEAR	MONTH	DAY	MAG	DEPTH	HOUR	MIN
3	128.32	-7.44	1983	11	24	7.4	157	5	30
4	98.10	0.10	1984	11	17	7.2	34	6	49
5	104.00	-5.70	1985	12	27	7.0	25	5	38
6	131.20	-5.53	1987	6	17	7.1	75	1	32
7	124.40	-9.10	1988	5	30	7.3	33	21	11
8	131.30	-6.60	1988	7	25	7.3	33	6	46
9	133.67	-6.08	1988	7	25	7.0	31	6	46
11	122.49	-8.34	1992	12	12	7.7	20	5	29
12	130.52	-6.60	1992	12	20	7.2	70	20	53
13	112.83	-10.48	1994	6	2	7.8	6	18	17
14	129.15	-6.90	1995	12	25	7.0	158	4	43
15	123.02	-7.38	1996	6	17	7.8	584	11	22
16	128.95	-6.94	1998	11	9	7.0	24	5	38
17	125.00	-2.03	1998	11	29	7.7	16	14	10
18	123.59	-1.29	2000	5	4	7.6	18	4	21
20	98.99	-4.62	2000	6	4	7.4	33	16	28
21	103.53	-5.86	2000	6	4	7.2	33	16	28
22	102.36	-5.40	2001	2	13	7.4	21	19	28
24	128.67	-3.56	2002	10	10	7.0	10	10	50
25	117.86	-7.67	2003	3	25	7.3	15	2	53
26	127.28	-3.00	2003	5	26	7.0	16	19	23
27	125.12	-7.87	2004	11	11	7.5	17	21	26
28	129.99	-6.54	2005	3	2	7.1	196	10	42
29	128.20	-5.61	2006	1	27	7.6	397	16	58

30	97.050	0.09	2006	5	16	7.0	12	15	28
31	107.78	-10.28	2006	7	17	7.7	20	8	19
32	106.00	-9.23	2006	7	17	7.2	33	8	19
33	107.68	-6.13	2007	8	8	7.8	284	17	4
34	100.99	-3.78	2007	9	12	8.5	24	11	10
35	100.13	-2.46	2007	9	12	7.9	43	23	49
37	130.43	-6.21	2009	10	24	7.1	149	14	40
38	133.78	-4.92	2010	9	29	7.0	18	17	11
40	129.83	-6.65	2012	12	10	7.1	159	16	53
41	122.53	-7.28	2015	2	27	7.0	547	13	45

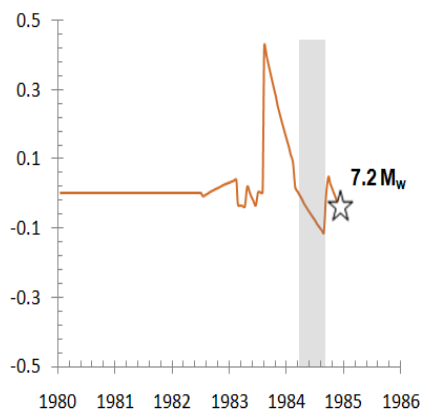
## เหตุการณ์ที่ 3

$M_w = 7.4$ , Date = 24/11/1983  
 QD = 0.61 y (1983.19–1982.58)



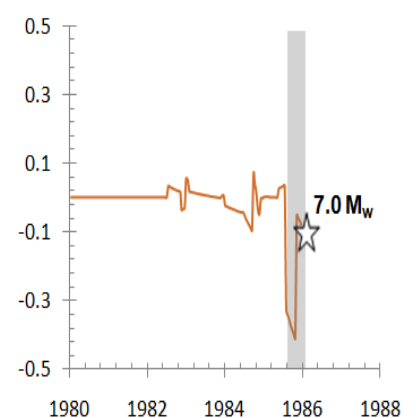
## เหตุการณ์ที่ 4

$M_w = 7.2$ , Date = 17/11/1984  
 QD = 0.48 y (1984.67–1984.19)



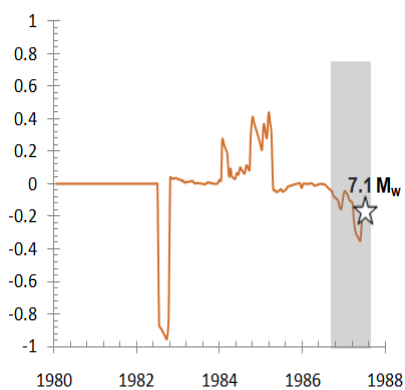
## เหตุการณ์ที่ 5

$M_w = 7.0$ , Date = 27/12/1985  
 QD = 0.46 y (1985.84–1985.38)



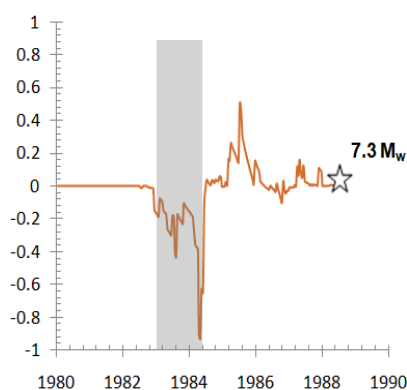
## เหตุการณ์ที่ 6

$M_w = 7.1$ , Date = 17/06/1987  
 QD = 0.92 y (1987.41–1986.49)



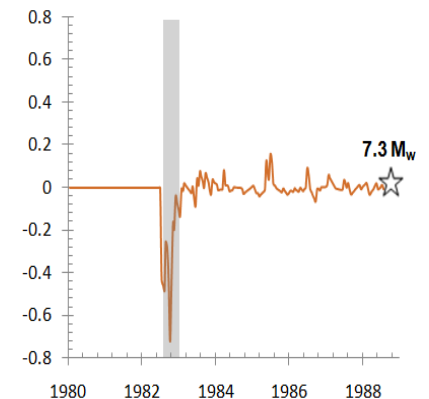
## เหตุการณ์ที่ 7

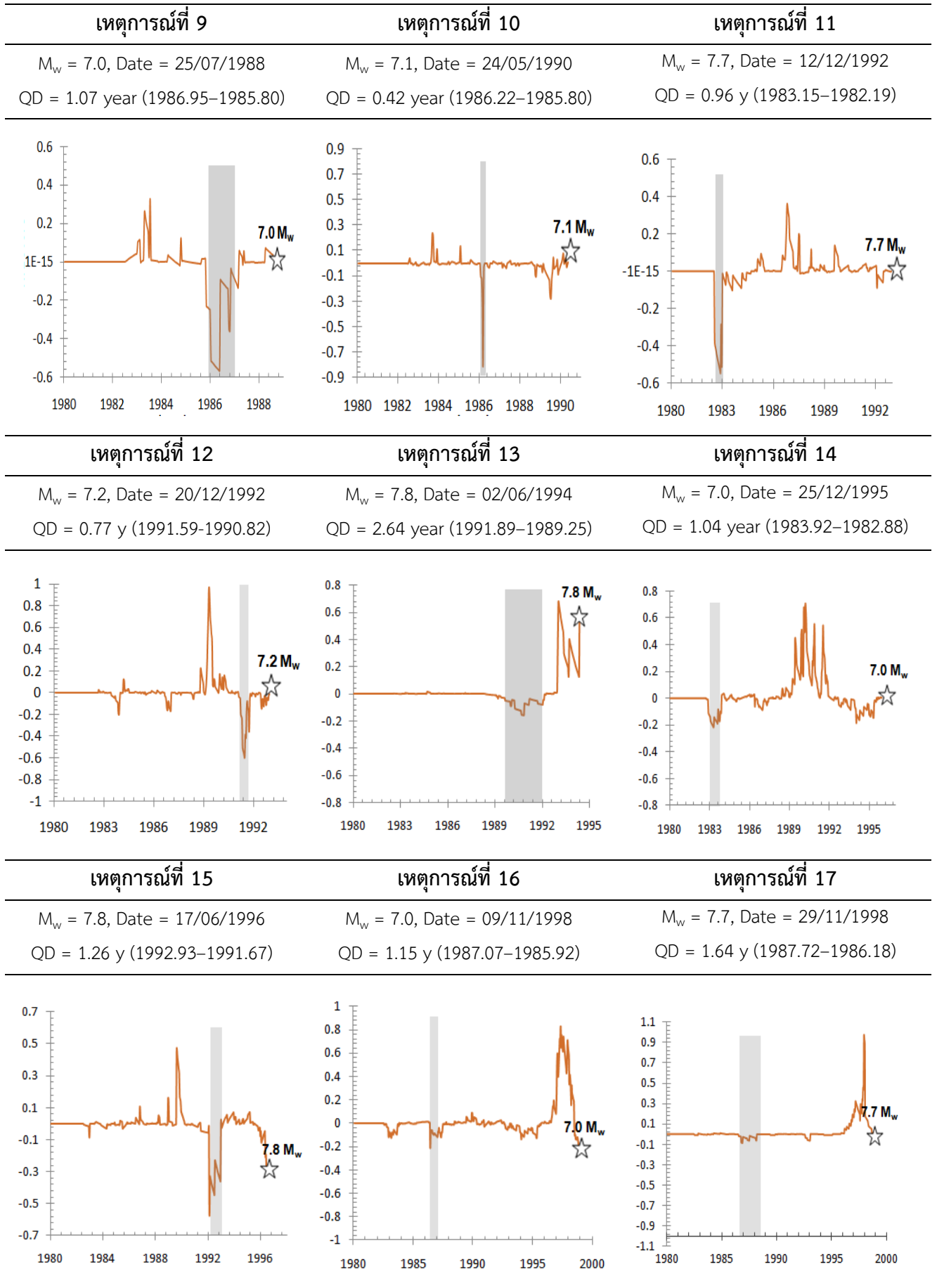
$M_w = 7.3$ , Date = 30/05/1988  
 QD = 1.50 y (1984.42–1982.92)



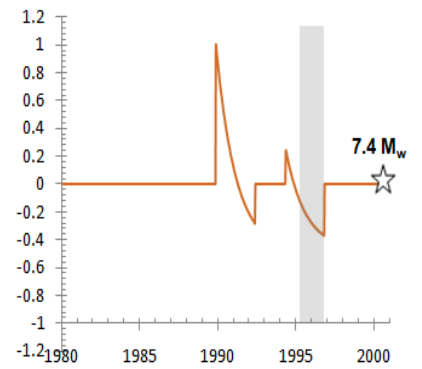
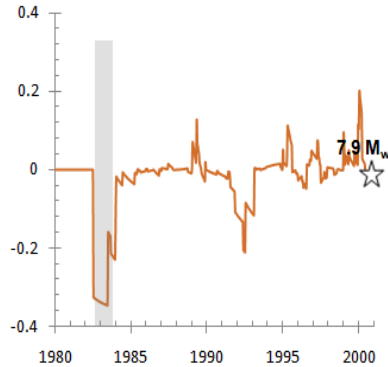
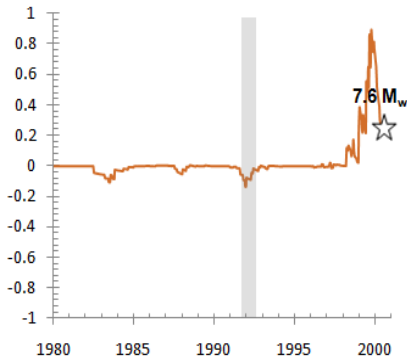
## เหตุการณ์ที่ 8

$M_w = 7.3$ , Date = 25/07/1988  
 QD = 0.38 y (1982.92–1982.54)

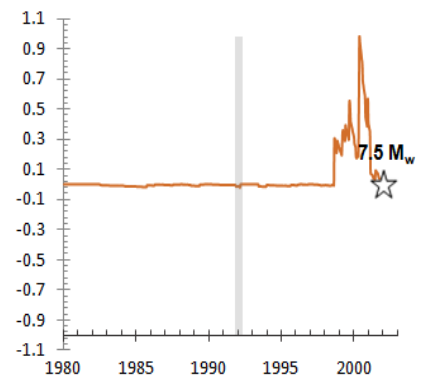
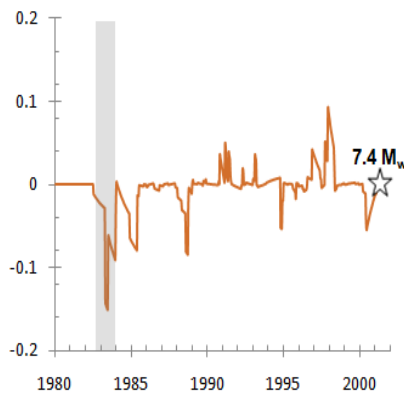
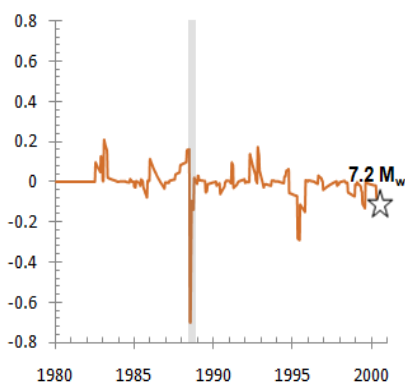




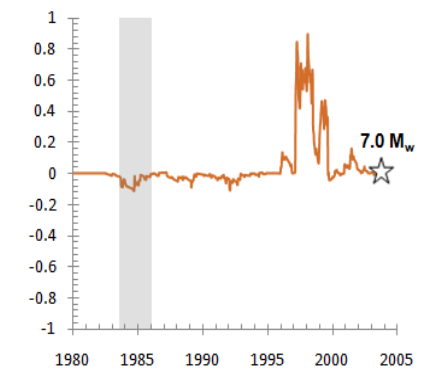
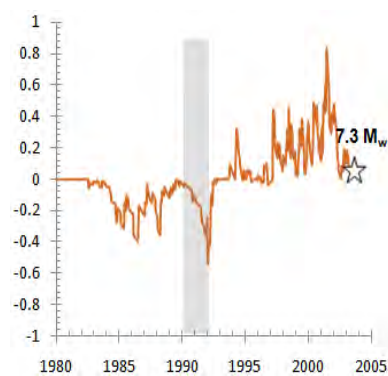
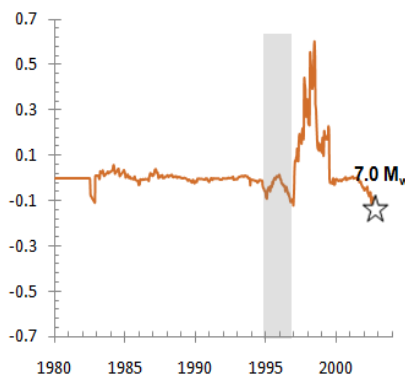
เหตุการณ์ที่ 18	เหตุการณ์ที่ 19	เหตุการณ์ที่ 20
$M_w = 7.6$ , Date = 04/05/2000	$M_w = 7.9$ , Date = 04/06/2000	$M_w = 7.4$ , Date = 04/06/2000
QD = 1.23 y (1992.32–1991.09)	QD = 1.84 y (1984.34–1982.5)	QD = 2.00 y (1996.85–1994.85)



เหตุการณ์ที่ 21	เหตุการณ์ที่ 22	เหตุการณ์ที่ 23
$M_w = 7.2$ , Date = 04/06/2000	$M_w = 7.4$ , Date = 13/02/2001	$M_w = 7.5$ , Date = 19/10/2001
QD = 0.50 year (1988.79–1988.29)	QD = 1.46 year (1984.00–1982.54)	QD = 0.31 y (1991.94–1991.63)

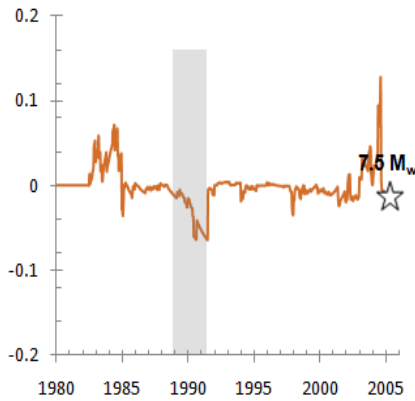


เหตุการณ์ที่ 24	เหตุการณ์ที่ 25	เหตุการณ์ที่ 26
$M_w = 7.0$ , Date = 10/10/2002	$M_w = 7.3$ , Date = 25/03/2003	$M_w = 7.0$ , Date = 26/05/2003
QD = 2.80 y (1997.00–1994.20)	QD = 2.0 year (1992.21–1990.21)	QD = 2.76 year (1985.72–1982.96)



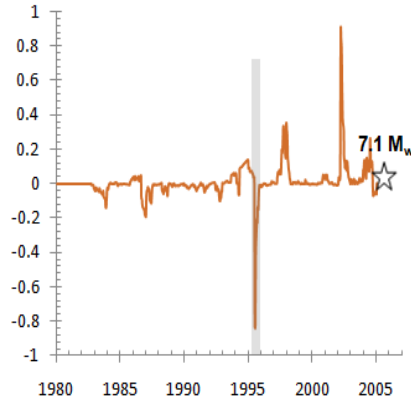
## เหตุการณ์ที่ 27

$M_w = 7.5$ , Date = 11/11/2004  
 QD = 3.23 y (1991.48–1988.25)



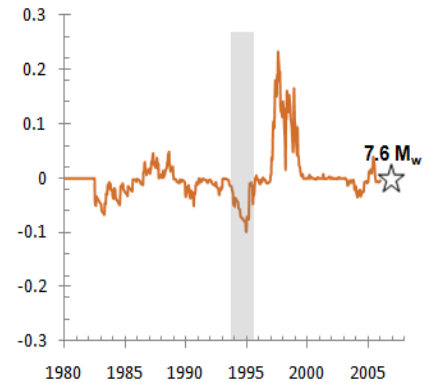
## เหตุการณ์ที่ 28

$M_w = 7.1$ , Date = 02/03/2005  
 QD = 0.34 y (1995.81–1995.47)



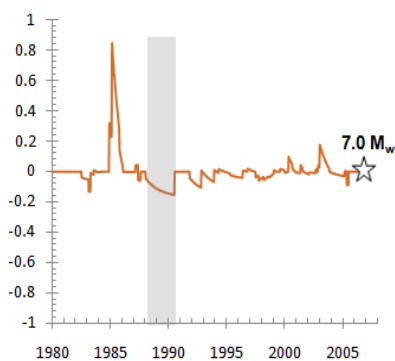
## เหตุการณ์ที่ 29

$M_w = 7.6$ , Date = 27/01/2006  
 QD = 2.26 y (1995.27–1993.01)



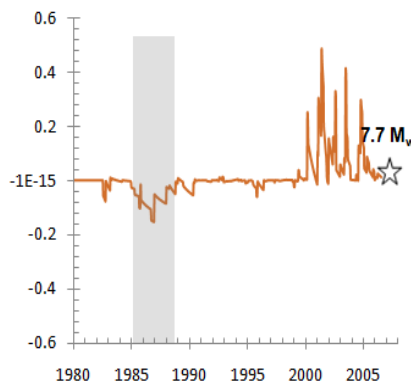
## เหตุการณ์ที่ 30

$M_w = 7.0$ , Date = 16/05/2006  
 QD = 2.96 y (1990.52–1987.56)



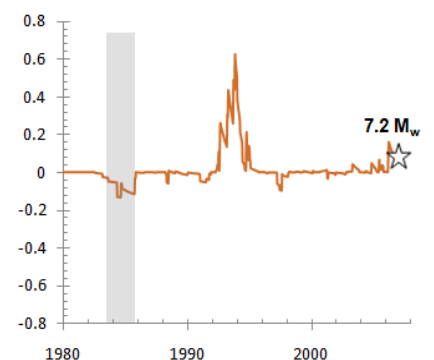
## เหตุการณ์ที่ 31

$M_w = 7.7$ , Date = 17/07/2006  
 QD = 3.79 y (1988.29–1984.50)



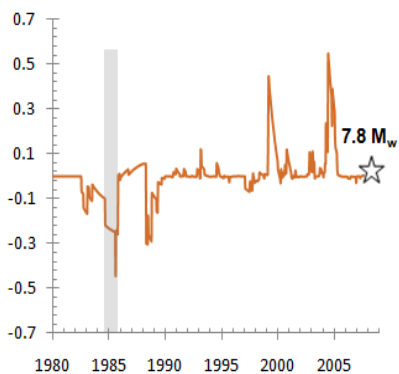
## เหตุการณ์ที่ 32

$M_w = 7.2$ , Date = 17/07/2006  
 QD = 2.87 y (1985.72–1982.85)



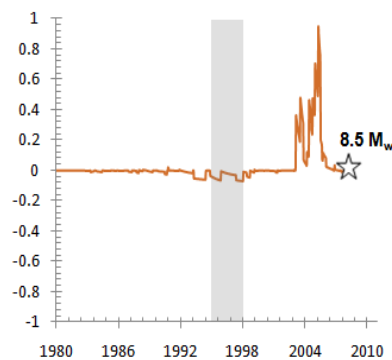
## เหตุการณ์ที่ 33

$M_w = 7.8$ , Date = 08/08/2007  
 QD = 1.05 year (1985.76–1984.61)



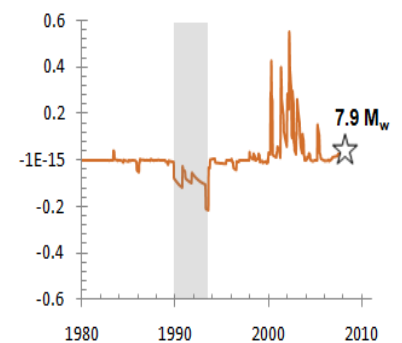
## เหตุการณ์ที่ 34

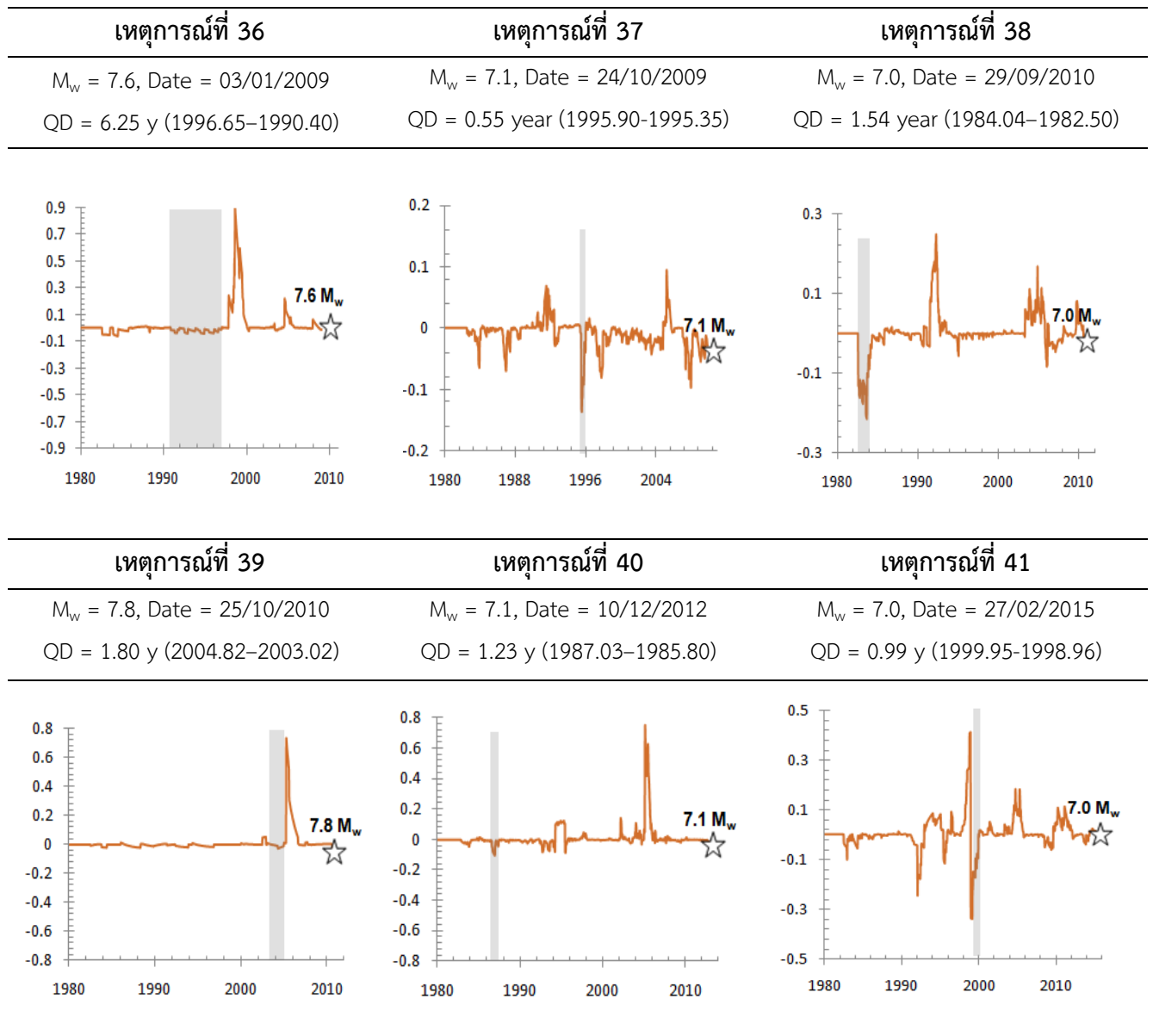
$M_w = 8.5$ , Date = 12/09/2007  
 QD = 3.57 year (1998.00–1994.43)



## เหตุการณ์ที่ 35

$M_w = 7.9$ , Date = 12/9/2007  
 QD = 4.38 y (1993.59–1989.21)

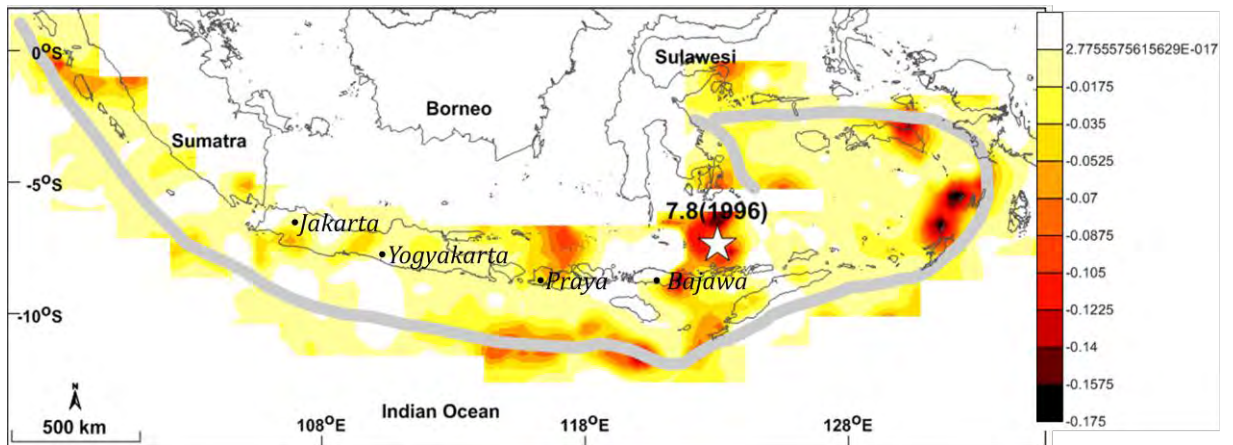




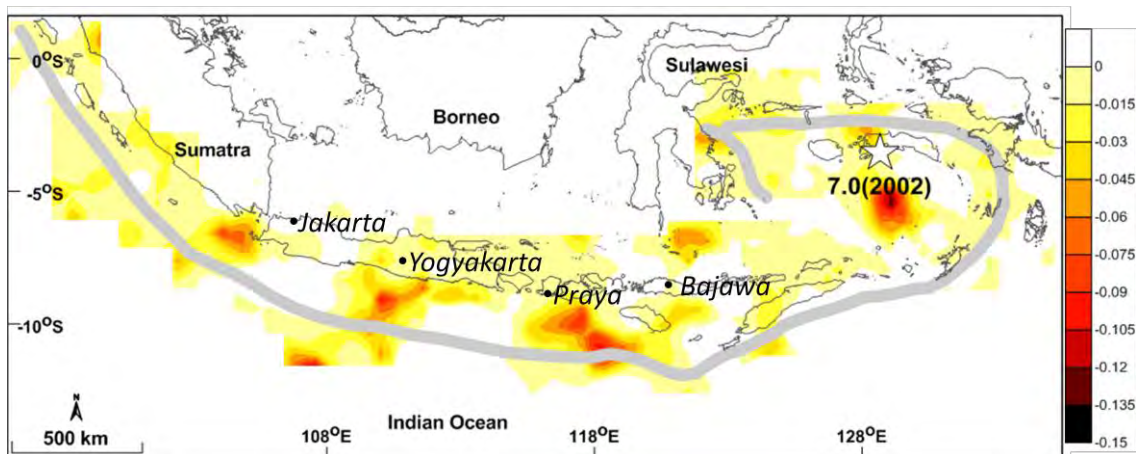
รูป 4.2 กราฟแสดงค่าความผิดปกติของค่า RTL ที่ได้จากเงื่อนไขที่ 10 ทั้ง 39 เหตุการณ์

พิจารณาจากกราฟแสดงค่าความผิดปกติในผลการศึกษากราฟ RTL พบภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวทั้งหมด 34 เหตุการณ์จาก 41 เหตุการณ์เนื่องจากบางเหตุการณ์มีข้อมูลไม่เพียงพอหรือไม่พบค่าความผิดปกติของกราฟที่แสดงภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหว คือ เหตุการณ์ที่ 1, เหตุการณ์ที่ 2, เหตุการณ์ที่ 10, เหตุการณ์ที่ 19, เหตุการณ์ที่ 23, เหตุการณ์ที่ 36 และเหตุการณ์ที่ 39 จึงเป็นเหตุให้ผู้ศึกษาคัดเลือกกรณีศึกษาที่สมบูรณ์ที่สุด 34 เหตุการณ์มาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของเหตุการณ์ในระยะเวลา 1 - 27 ปี ตัวอย่างดังรูป 4.3

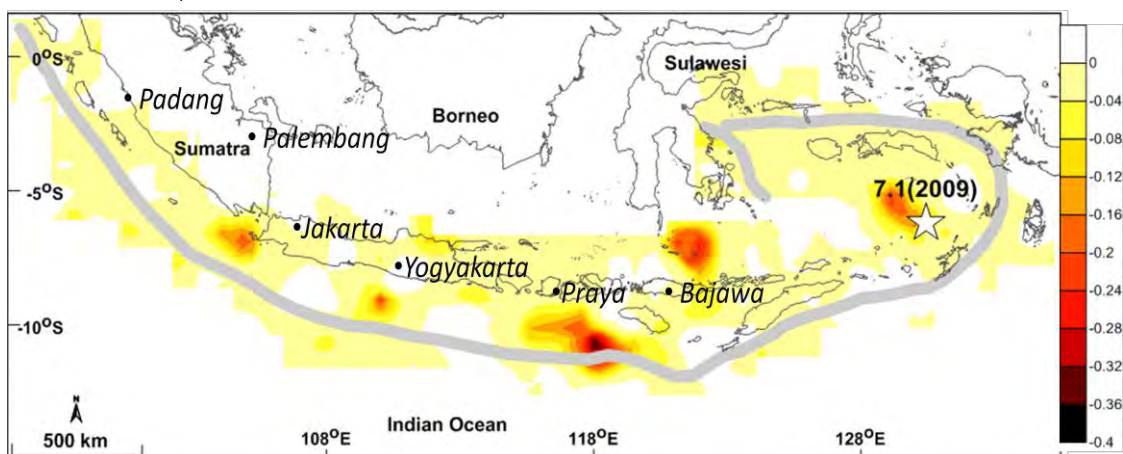
(ก) เหตุการณ์กรณีสึกษาที่ 15 ปี ค.ศ. 1996 ขนาดแผ่นดินไหว  $7.8 M_w$  ค่า  $RTL = -0.6$



(ข) เหตุการณ์กรณีสึกษาที่ 24 ปี ค.ศ. 2002 ขนาดแผ่นดินไหว  $7.0 M_w$  มีค่า  $RTL = -0.12$



(ค) เหตุการณ์กรณีสึกษาที่ 37 ปี ค.ศ. 2009 ขนาดแผ่นดินไหว  $7.1 M_w$  ค่า  $RTL = -0.15$



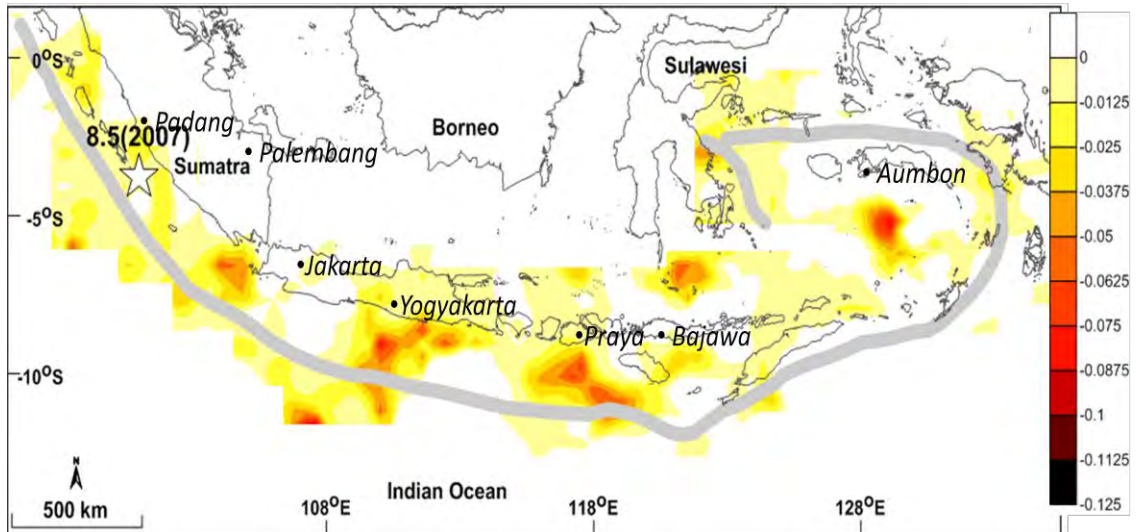
รูป 4.3 (ก) (ข) และ (ค) ตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL โดยพื้นที่สีแดงแทนบริเวณที่มีความผิดปกติด้วยค่า RTL ต่ำสุดและเครื่องหมายดาวสีขาวแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่



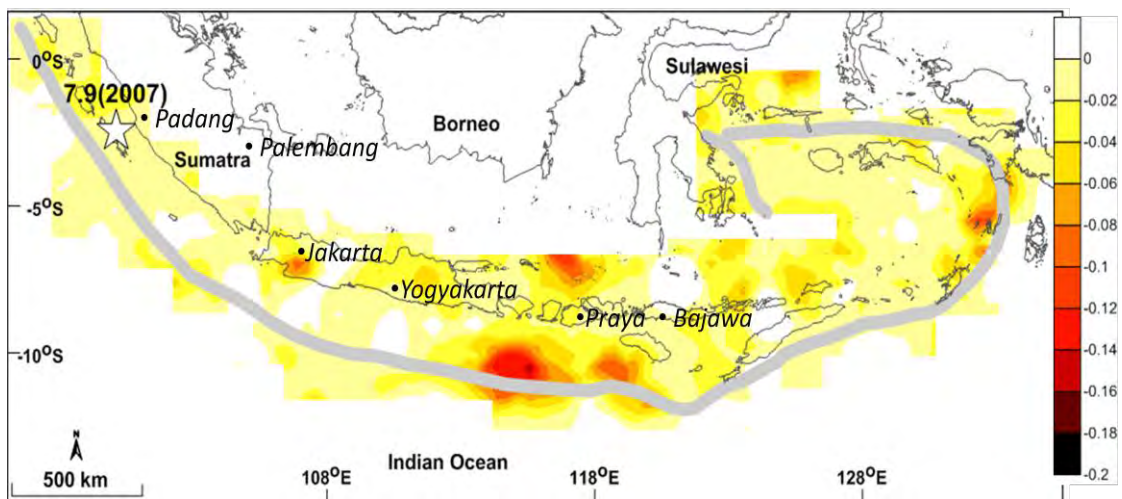
จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ โดยกำหนดโทนสีเทียบกับค่า RTL ดังนี้ โทนสีเข้มแสดงถึง RTL ที่มีค่าน้อยคือมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อยเนื่องจากเป็นช่วงสะสมพลังงานเอาไว้ซึ่งสามารถเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ค่า และโทนสีอ่อนแสดงถึง RTL มีค่ามากพื้นที่ที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวหรือมีการปลดปล่อยพลังงาน ซึ่งจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีค่า RTL ต่ำมาก ๆ อยู่ ซึ่งจะแสดงในโทนของสีส้มเข้มไปจนถึงสีแดงและสีดำคือบริเวณตอนกลางและตะวันออกของแนวการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก เมื่อทำการแปลผลจากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่า มีบริเวณที่มีค่า RTL ต่ำมาก ซึ่งจะแสดงในโทนของสีส้มเข้มไปจนถึงสีแดงและสีดำ ทั้งหมด 9 เหตุการณ์ที่พบภาวะเจ็บสงบแผ่นดินไหว คือ เหตุการณ์ที่ 12, เหตุการณ์ที่ 13, เหตุการณ์ที่ 15, เหตุการณ์ที่ 24, เหตุการณ์ที่ 25, เหตุการณ์ที่ 29, เหตุการณ์ที่ 31, เหตุการณ์ที่ 37 และเหตุการณ์ที่ 41 ซึ่งบริเวณที่พบภาวะเจ็บสงบนั้นอยู่ทางตะวันตกของกรุงจาการ์ตา (Jakarta) ทางตอนใต้ของยอร์กยาการ์ตา (Yogyakarta) ทางตอนใต้ของเมืองปรายา (Praya) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวขึ้นได้ในอนาคตและอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ ส่วนทางตอนเหนือของเมืองบาจาว่า (Bajawa) ก็แสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวเช่นกันและได้เกิดแผ่นดินไหวขึ้นจริงในปี 2015

แต่อย่างไรก็ตามยังมีหลายเหตุการณ์ที่ภาวะเจ็บสงบแผ่นดินไหวไม่สอดคล้องกับการเกิดแผ่นดินไหวเช่น เหตุการณ์ที่ 4, เหตุการณ์ที่ 5, เหตุการณ์ที่ 6, เหตุการณ์ที่ 16, เหตุการณ์ที่ 17, เหตุการณ์ที่ 18, เหตุการณ์ที่ 20, เหตุการณ์ที่ 26, เหตุการณ์ที่ 27, เหตุการณ์ที่ 28, เหตุการณ์ที่ 30, เหตุการณ์ที่ 34, เหตุการณ์ที่ 35 และเหตุการณ์ที่ 40 ตัวอย่างดังรูป 4.4

(ง) เหตุการณ์กรณีสึกที่ 34 ปี ค.ศ. 2007 ขนาดแผ่นดินไหว  $8.5 M_w$  ค่า  $RTL = -0.15$



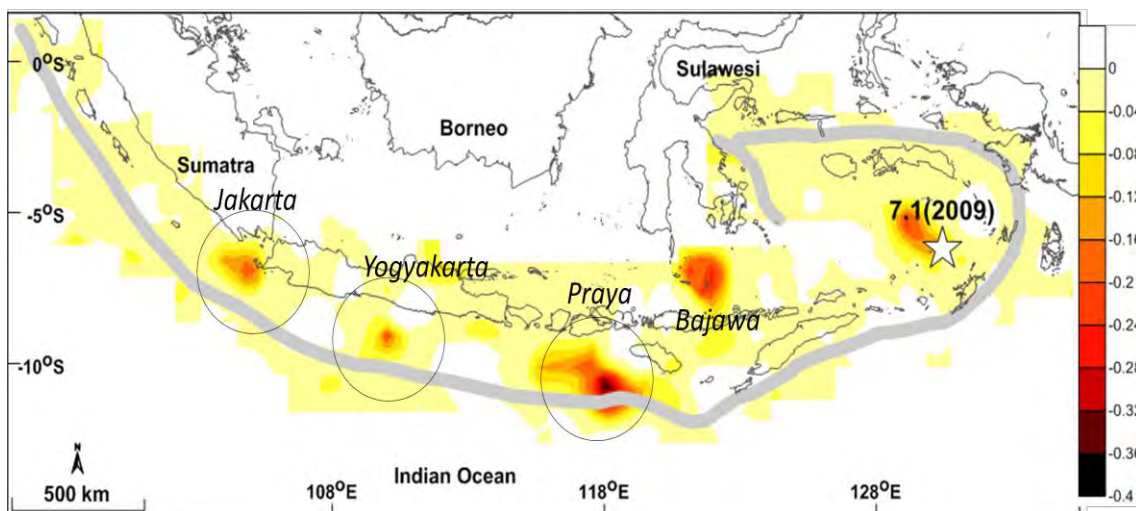
(จ) เหตุการณ์กรณีสึกที่ 35 ปี ค.ศ. 2007 ขนาดแผ่นดินไหว  $7.9 M_w$  ค่า  $RTL = -0.23$



รูป 4.4 (ง) และ (จ) ตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า  $RTL$  หรือภาวะเงียบวงบนแผ่นดินไหวไม่สอดคล้องกับการเกิดแผ่นดินไหว (ง) บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวอยู่ทางด้านตะวันตกของเมืองปาดัง (Padang) แต่ภาวะเงียบสงบพบอยู่บริเวณทางใต้ของเมืองอัมบอน (Aumbon), ทางใต้ของเมืองปรายา (Praya) และ ยอร์กยาคาร์ตา (Yogyakarta) (จ) บริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวอยู่ทางด้านตะวันตกของเมืองปาดัง (Padang) แต่ภาวะเงียบสงบพบอยู่ตรงบริเวณทางใต้ของเมืองปรายา (Praya)

### 4.3 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

เงื่อนไขในการพิจารณาแผนที่การกระจายตัวของค่า RTL อยู่ในกรอบช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term) คือ 1-27 ปีก่อนปัจจุบันได้แก่ปี ค.ศ. 1990 - 2015 เมื่อใช้เงื่อนไขข้างต้นในการพิจารณากรอบเวลาจึงได้แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ RTL หรือภาวะเจ็บสงบแผ่นดินไหวที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวมาก ดังรูป 4.5



รูป 4.5 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL วงกลมสีดำแสดงบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต

ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียพบตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติของค่า RTL หรือภาวะเจ็บสงบแผ่นดินไหวในช่วง -0.12 ถึง -0.40 ซึ่งแสดงด้วยสีส้ม, สีแดงและสีดำทั้งหมด 4 บริเวณดังรูป 4.5 เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตซึ่งบริเวณเมืองบาจาวา (Bajawa) ได้เกิดแผ่นดินไหวแล้วในปี ค.ศ. 2015

พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียในอนาคตมีดังนี้

1. บริเวณเมืองจาการ์ตา (Jakarta)
2. บริเวณเมืองยอร์กจาการ์ตา (Yogyakarta)
3. บริเวณเมืองปรายา (Praya)

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล

#### (DISCUSSION AND CONCLUSION)

##### 5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด (Earthquake Catalogue)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาประเมินรวบรวมจาก 3 ฐานข้อมูลได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information Center (NEIC), ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT) พบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดมีทั้งสิ้น 329,917 เหตุการณ์โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1963 – 31 สิงหาคม ค.ศ. 2015 ซึ่งมีขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.0 – 9.0 ริกเตอร์ และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหว 0 - 839.7 เมตร

##### 5.2 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information Center (NEIC) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT) มีมาตรวัดที่ต่างกันจึงต้องปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหวให้เป็นหน่วยเดียวกันก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยแปลงจากมาตรวัดแผ่นดินไหวท้องถิ่น ( $M_L$ ) เป็นมาตรวัดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) หลังจากนั้นแปลงมาตรวัดแผ่นดินไหวคลื่นผิวโลก ( $M_S$ ) และมาตรวัดแผ่นดินไหวคลื่นเนื้อโลก ( $M_b$ ) เป็นมาตรวัดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_W$ ) โดยสมการดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ตารางสมการปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหวแต่ละประเภท

$M_b - M_W$	$M_W = 0.18(M_b)^2 - 1.00(M_b) + 5.60$
$M_S - M_W$	$M_W = 0.07(M_S)^2 - 0.17(M_S) + 4.41$
$M_L - M_b$	$M_b = 0.11(M_L)^2 - 0.34(M_L) + 3.5148$
$M_L - M_S$	$M_S = 0.1066(M_L)^2 - 0.1447(M_L) + 2.7314$

### 5.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

ใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ในการคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลักโดยกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามรวมไปถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีการรายงานซ้ำซ้อนในพื้นที่ที่ศึกษา สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกันได้ทั้งสิ้น 27,811 กลุ่มแผ่นดินไหวประกอบด้วยข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 329,917 เหตุการณ์เป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม 302,106 เหตุการณ์ ซึ่งคิดเป็น 91.57% ของเหตุการณ์ทั้งหมดจากการวิเคราะห์ดังกล่าวจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลัก 27,811 เหตุการณ์ดังตาราง 5.2

ตาราง 5.2 ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว

ข้อมูลแผ่นดินไหว	ก่อนการคัดเลือกข้อมูล	หลังการคัดเลือกข้อมูล
แผ่นดินไหว (เหตุการณ์)	329,917	27,811
ช่วงเวลาเริ่มต้นของข้อมูล (ปี)	1963.1214	1963.9557
ช่วงเวลาสิ้นสุดของข้อมูล	2015.8231	2015.8231
ขนาดของแผ่นดินไหว	0.0 - 9.0	1.4 - 9.0
ช่วงความลึก (เมตร)	0.0 - 839.7	0 - 839.7

#### 5.4 การตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

ใช้แนวคิดของ Habermann (1983; 1987) ในการกำจัดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยคัดเลือกช่วงของข้อมูลแผ่นดินไหวจากสมการ 3.4 ในช่วงปี ค.ศ. 1980 - 2015 ซึ่งตรวจวัดด้วยอัตราเดียวกันอย่างต่อเนื่องมาเป็นตัวแทนของพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวที่ผ่านการกำจัดแล้วทั้งสิ้น 15,645 เหตุการณ์ จาก 27,811 เหตุการณ์ โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวในตาราง 5.3

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

ตาราง 5.3 ตารางข้อมูลแผ่นดินไหวก่อน-หลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวและหลังการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์

ข้อมูลแผ่นดินไหว	ก่อน การคัดเลือกข้อมูล	หลัง การคัดเลือกข้อมูล	หลังการกำจัดผลจาก กิจกรรมของมนุษย์
แผ่นดินไหว(เหตุการณ์)	329,917	27,811	15,645
เวลาเริ่มต้นของข้อมูล(ปี)	1963.1214	1963.9557	1980.0081
เวลาสิ้นสุดของข้อมูล(ปี)	2015.8231	2015.8231	2015.8231
ขนาดของแผ่นดินไหว	0.0 - 9.0	1.4 - 9.0	4.0 - 9.0
ช่วงความลึก(เมตร)	0.0 - 839.7	0 - 839.7	0 - 839.7

### 5.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากการกำหนดค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ หรือ Magnitude of completeness ( $M_c$ ) (Woessner และ Wiemer, 2005) ได้  $M_c$  มีค่าอยู่ที่ 5.0  $M_w$  และหลังจากผ่านการคัดเลือกทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวสุทธิ 4,982 เหตุการณ์ โดยรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวแสดงดังตาราง 5.4

ตาราง 5.4 ตารางข้อมูลแผ่นดินไหวเมื่อผ่านการปรับปรุงข้อมูลต่างๆ

ข้อมูลแผ่นดินไหว	ก่อน คัดเลือกข้อมูล	หลัง คัดเลือกข้อมูล	หลังการกำจัด ผลจากกิจกรรม ของมนุษย์	หลังจากคัดเลือกระดับ ของแผ่นดินไหวที่มี ความสมบูรณ์
แผ่นดินไหว(เหตุการณ์)	329,917	27,811	15,645	4,982
เวลาเริ่มต้นของข้อมูล(ปี)	1963.1214	1963.9557	1980.0081	1980.0081
เวลาสิ้นสุดของข้อมูล(ปี)	2015.8231	2015.8231	2015.8231	2015.8231
ขนาดของแผ่นดินไหว	0.0 - 9.0	1.4 - 9.0	4.0 - 9.0	4.0 - 9.0
ช่วงความลึก(เมตร)	0.0 - 839.7	0 - 839.7	0 - 839.7	0 - 839.7

## 5.6 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

คัดเลือกเหตุการณ์นำมาใช้เป็นกรณีศึกษา 41 เหตุการณ์ โดยมีขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ 7.0 ริกเตอร์ขึ้นไปแสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา

ORDER	LONG	LAT	YEAR	MONTH	DAY	MAG	DEPTH	HOUR	MIN
1	125.30	-8.10	1982	6	22	7.5	33	4	18
2	125.99	-7.28	1982	6	22	7.4	473	4	18
3	128.32	-7.44	1983	11	24	7.4	157	5	30
4	98.10	0.10	1984	11	17	7.2	34	6	49
5	104.00	-5.70	1985	12	27	7.0	25	5	38
6	131.20	-5.53	1987	6	17	7.1	75	1	32
7	124.40	-9.10	1988	5	30	7.3	33	21	11
8	131.30	-6.60	1988	7	25	7.3	33	6	46
9	133.67	-6.08	1988	7	25	7.0	31	6	46
10	120.70	-7.80	1990	5	24	7.1	580	20	9
11	122.49	-8.34	1992	12	12	7.7	20	5	29
12	130.52	-6.60	1992	12	20	7.2	70	20	53
13	112.834	-10.48	1994	6	2	7.8	6	18	17
14	129.15	-6.90	1995	12	25	7.0	158	4	43
15	123.02	-7.38	1996	6	17	7.8	584	11	22
16	128.95	-6.94	1998	11	9	7.0	24	5	38
17	125.00	-2.03	1998	11	29	7.7	16	14	10
18	123.59	-1.29	2000	5	4	7.6	18	4	21
19	101.94	-4.73	2000	6	4	7.9	44	16	28
20	98.99	-4.62	2000	6	4	7.4	33	16	28
21	103.53	-5.86	2000	6	4	7.2	33	16	28



22	102.36	-5.40	2001	2	13	7.4	21	19	28
23	124.11	-4.31	2001	10	19	7.5	19	3	28
24	128.67	-3.56	2002	10	10	7.0	10	10	50
25	117.86	-7.67	2003	3	25	7.3	15	2	53
26	127.28	-3.00	2003	5	26	7.0	16	19	23
27	125.12	-7.87	2004	11	11	7.5	17	21	26
28	129.99	-6.54	2005	3	2	7.1	196	10	42
29	128.20	-5.61	2006	1	27	7.6	397	16	58
30	97.050	0.09	2006	5	16	7.0	12	15	28
31	107.78	-10.28	2006	7	17	7.7	20	8	19
32	106.00	-9.23	2006	7	17	7.2	33	8	19
33	107.68	-6.13	2007	8	8	7.8	284	17	4
34	100.99	-3.78	2007	9	12	8.5	24	11	10
35	100.13	-2.46	2007	9	12	7.9	43	23	49
36	132.43	-2.77	2009	1	3	7.6	33	19	43
37	130.43	-6.21	2009	10	24	7.1	149	14	40
38	133.78	-4.92	2010	9	29	7.0	18	17	11
39	99.32	-3.71	2010	10	25	7.8	12	14	42
40	129.83	-6.65	2012	12	10	7.1	159	16	53
41	122.53	-7.28	2015	2	27	7.0	547	13	45

กำหนดค่า Rmax และ Tmax โดยคัดเลือกจากกรณีศึกษาทั้งหมดมา 1 เงื่อนไขเพื่อทดสอบ  
ย้อนกลับดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ตารางแสดงเงื่อนไข ค่า Rmax และค่า Tmax และเหตุการณ์กรณีศึกษาที่สนใจ

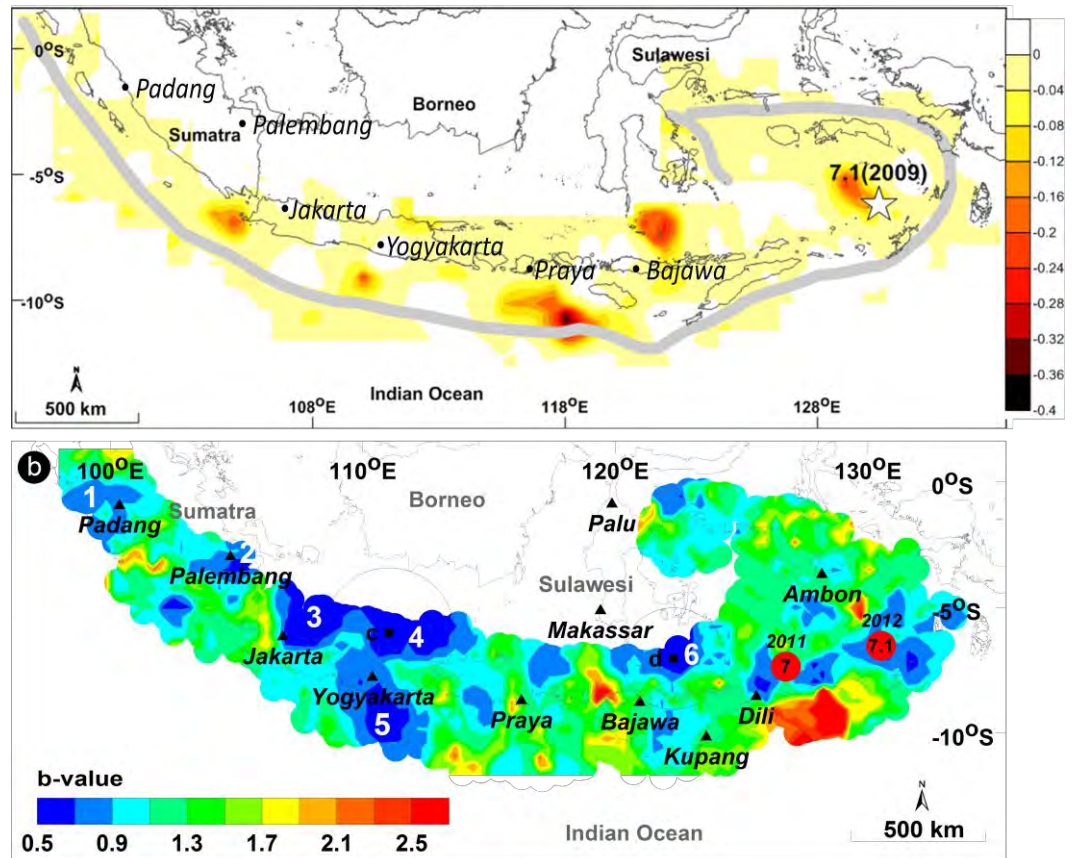
เงื่อนไข	Rmax	Tmax	จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ
10	130 กิโลเมตร	2.5 ปี	10 เหตุการณ์

## 5.7 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่วิเคราะห์ด้วยวิธีขั้นตอนวิธีบริเวณ-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน จากชุดข้อมูลแผ่นดินไหว 27 ปีล่าสุด โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990-2015 ดังรูป 4.5 พบว่ามีบริเวณที่มีค่า RTL ต่ำมากหรือภาวะเจ็บสงบแผ่นดินไหวที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวแสดงในโทนของสีส้มเข้มจนถึงสีแดงและสีดำ ทางตอนใต้ของเมืองจาการ์ตา (Jakarta) ทางตอนใต้ของเมืองยอร์กจาการ์ตา (Yogyakarta) ทางตอนใต้ของเมืองปรายา (Praya) ของประเทศอินโดนีเซียซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ได้ในอนาคตจึงควรมีมาตรการในการรับมือและบรรเทาความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามการประเมินแผ่นดินไหววิทยานี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ทำนายการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตโดยวิธีทางสถิติซึ่งจำเป็นต้องมีการทำหลายครั้งหรือหลายวิธีเพื่อสนับสนุนข้อมูลเพื่อความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการทำแผนที่แสดงภาวะเจ็บสงบของแผ่นดินไหวในทุกๆครั้งปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 - 2015 เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่า RTL และนำมาวิเคราะห์ให้ได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น หรือประเมินวิธีอื่นเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากขึ้นดังรูป 5.1

เปรียบเทียบผลการวิจัยงานนี้คือวิธี RTL กับงานวิจัยของ Pailoplee (2014) ทำการประเมินแผ่นดินไหวตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียจากค่า b-value แสดงดังรูป 5.1 พบว่าบริเวณพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันคือ ตอนใต้ของเมืองจาการ์ตา (Jakarta) ตอนใต้ของเมืองยอร์กจาการ์ตา (Yogyakarta) และตอนเหนือของเมืองบาจาว่า (Bajawa) ซึ่งได้เกิดแผ่นดินไหวแล้วในปี ค.ศ. 2015 แสดงให้เห็นว่าผลการวิจัยในครั้งนี้มีความน่าเชื่อถือและถูกต้องแม่นยำพอสมควร



รูป 5.1 แสดงการเปรียบเทียบแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติตามแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซียจากวิธี *b*-value ในงานวิจัยของ Pailoplee (2014) กับวิธี RTL ที่ทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)

- Gambino, S., Laudani, A., and Mangiagli, S. 2014. Seismicity Pattern Changes before the M=4.8 Aeolian Archipelago (Italy) Earthquake of August 16, 2010. The Scientific World Journal 2014: 8 p.
- Gardner, J.K., and Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. Bulletin of the Seismological Society of America 64(1): pp.363–367.
- Habermann, R. E. 1987. Man-made changes of Seismicity rates. Bulletin of the Seismological Society of America 77: pp.141-159.
- Habermann, R. E. and Wyss, M. 1984. Earthquake triggering during preparation for great earthquakes. Geophysical Research Letters 11: pp.291-294.
- Huang, Q. 2004. Seismicity Pattern Changes Prior to Large Earthquakes-An approach of the RTL algorithm. TAO 15: pp.461-491.
- Huang, Q., Sobolev, G. A., and Nagao, T. 2001. Characteristics of the seismic quiescence and activation patterns before the M = 7.2 Kobe earthquake, January 17, 1995. Tectonophysics 337: pp.99-116.
- Pailoplee, S. 2013. Mapping Asperities along the Sagaing Fault Zone, Myanmar Using b-value anomalies. Journal of Earthquake and Tsunami 7: 12 p.
- Pailoplee, S. 2014. Earthquake activities along the Indonesian Sunda Margin: A Seismicity approach. Geosciences Journal: 12 p.
- Pailoplee, S. 2014. Mapping b-Value anomalies Along the Indonesian Island Chain: Implications for Upcoming Earthquakes. Journal of Earthquake and Tsunami: 12 p.
- Perez, O. J., and Scholz, C. H. 1984. Heterogeneities of the instrumental seismicity catalog (1904-1980) for strong shallow earthquakes . Bulletin of the Seismological Society of America 74: pp.669-686.

- Shashidhar, D., Kumar, N., Mallika, K., and Gupta, H. 2010. Characteristics of seismicity patterns prior to the  $M \sim 5$  earthquakes in the Koyana Region, Western India – application of the RTL algorithm. *Episodes* 33: pp.83 - 89.
- Sobolev, G. A., 1995. *Fundamental of Earthquake Prediction*. Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161 p.
- Sobolev, G. A., and Tyupkin, Y. S. 1997. Low-seismicity precursors of large earthquake in Kamchatka. *Volcanology and Seismology* 18: pp.433-446.
- Well, D. L., and Coppersmith, K. J. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84: pp.974-1002.
- Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters* 72(2): pp.373-382.
- Woessner, J., and Wiemer, S. 2005. Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95: pp.684-698.
- Wyss, M. 1991. Reporting history of the central Aleutians Seismograph network and the quiescence preceding the 1986 Andreanof Island earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America* 81: pp.1231-1254.
- Wyss, M., and Habermann, R. E. 1988. Precursory seismic quiescence. *Pure and Applied Geophysics* 126: pp.319-332.