

พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์

นายธนพรรัช พิเชฐโสภณ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559

EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HAZARD OF NEW ZEALAND

Mister Tanapat Pichetsopon

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology  
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University  
Academic Year 2016

หัวข้อโครงการ

โดย

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์

นายธนพรพรช พิเชฐโสภณ

ธรณีวิทยา

รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้)

นายชนพรพรช พิเชฐโสภณ: พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์  
(EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HAZARD OF NEW ZEALAND) อาจารย์ที่ปรึกษา:  
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 42 หน้า

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศนิวซีแลนด์เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวอยู่บ่อยครั้ง ทำให้ประชาชนตื่นตระหนกถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่สำคัญ เช่น อาคาร ที่อยู่อาศัย ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ทั่วประเทศ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยประเมินพิบัติภัยและลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นขณะเกิดแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ โดยในการประเมินจะใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ซึ่งหลังจากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแล้วพบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 10,650 เหตุการณ์ การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวทำได้โดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด มีหน่วยเป็น moment magnitude (Mw) การหาคาบอุบัติซ้ำของการเกิด มีหน่วยเป็น ปี (Year) และการหาความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในขนาดและช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการของ Yadav และคณะ (2011) และประเมินโดยการหาค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ (Gutenberg และ Richter, 1944) ส่วนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวจะประเมินเชิงปริมาณในรูปของแรงสั่นสะเทือนสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) โดยทำการประเมินด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis) และการประเมินด้วยวิธีความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis)

จากการประเมินพบว่าขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-8.3 Mw ในรอบ 50 ปี และค่าระดับแรงสั่นสะเทือนสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.45g ทั้งนี้พื้นที่ที่มีพิบัติภัยแผ่นดินไหวรุนแรงและต้องเฝ้าสังเกตและระวังพิบัติภัยแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นมีค่าแรงสั่นสะเทือนสูงสุดอยู่ในช่วง 0.39-0.45g ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประเมินความเสี่ยงของพื้นที่และปรับปรุงคุณภาพของสิ่งก่อสร้างให้เหมาะสมเพื่อรับมือกับแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ส่วนที่มีพิบัติภัยต่ำมีค่าแรงสั่นสะเทือนสูงสุด เท่ากับ 0.01g.

ภาควิชา ธรณีวิทยา  
สาขาวิชา ธรณีวิทยา  
ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษา.....

5632714723: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: Earthquake, Earthquake activity, Seismic Hazard Analysis; Earthquake hazard; New Zealand

TANAPAT PICHETSOPON: EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HAZARD OF NEW ZEALAND, ADVISOR: PROFESSOR ASSOCIATE SANTI PAILOPLEE, Ph.D., 42 pp.

### ABSTRACT

New Zealand has many seismic source zone and it make earthquake occurred. Then many people concerned about the impact on construction especially residence. In this study, the assessment of earthquake activity and hazard in New Zealand can help to assess the seismic hazard and reduce effect of earthquake. The main dataset are completeness earthquake catalog occupied by Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). After improving the earthquake catalogue has 10,651 events. Maximum earthquake in moment magnitude ( $M_w$ ) unit, recurrence interval in year and probability of occurrence are used to assess earthquake activity related to Yadav et al. (2011) equation and other method is estimate a and b value from G-R relationship (Gutenberg and Richter, 1944). Thereafter, Peak Ground Acceleration (PGA) was considered in order to assess seismic hazard by Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) and Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). The results of maximum earthquake are between 5.5 and 8.3  $M_w$  in 50 years. And the highest of Peak Ground Acceleration are between 0.01 and 0.45g which is necessary to evaluate risks of the area and properly adjust quality of buildings to reduce damages from earthquake, which may occur in future. And the lowest of PGA from earthquake hazard is revealed that is 0.01g.

Department: Geology

Field of Study: Geology

Academic Year: 2016

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ  
(ACKNOWLEDGEMENT)

การทำโครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งคอยเป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำตลอดจนชี้แจงข้อบกพร่อง และช่วยเสนอแนะวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการวิจัยตั้งแต่เริ่มจนโครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์และบุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึงบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยเล่มนี้และขอขอบใจกำลังใจจากเพื่อนๆ Geo'57 ที่เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โครงการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี มา ณ ที่นี้ด้วย

## สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURECONTENT)	ช
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฅ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ญ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)	2
1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.3 ระเบียบวิธีวิจัย	15
บทที่ 3 พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE ACTIVITY)	
3.1 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Seismicity Data and Completeness)	18
3.2 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake activity)	25
บทที่ 4 พิบัติภัยแผ่นดินไหว (SEISMIC HAZARD)	
4.1 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Earthquake Sources)	35
4.2 ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)	35
4.3 ความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนในรอบ 50 ปี	36
ในแต่ละมาตราเมอร์คัลลีแปลง (Modified Mercalli Intensity Scale, MMI)	
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	40
เอกสารอ้างอิง (REFERENCE)	42

**สารบัญรูปภาพ**  
**(FIGURE CONTENT)**

	หน้า
รูป 1.1 แผนที่ของประเทศไทยที่แสดงลักษณะทางธรณีแปรสัณฐาน	2
รูป 2.1 ตัวแปรสำคัญที่จำเป็นสำหรับการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว	6
รูป 2.2 ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า	7
รูป 2.3 ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น	8
รูป 2.4 กราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง	9
รูป 2.5 แผนที่โอกาส 2% และ 10% ที่จะพบแรงสั่นสะเทือนในช่วงเวลา 50 ปี ของแนวรอยต่อระหว่างประเทศไทย พม่า ลาว	11
รูป 2.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา	15
รูป 3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมาตราขนาดแผ่นดินไหวต่างๆ	20
รูป 3.2 แสดงผลการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ โดยข้อมูลที่อยู่เหนือเส้นสีแดงคือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก	21
รูป 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและช่วงเวลาในแต่ละปี หลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	22
รูป 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นดินไหวสะสม หลังจากการกำจัดความผิดพลาดของหารตรวจวัด	23
รูป 3.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดและบันทึกแผ่นดินไหว	24
รูป 3.6 กราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปีหลังกำจัดแผ่นดินไหวขนาดต่ำกว่า 4	24
รูป 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่	24
รูป 3.8 แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a	31
รูป 3.9 แผนที่แสดงการกระจายตัวและแผนที่ส่วนนี้ยังเบนมาตรฐานของค่า b	31
รูป 3.10 แผนที่แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบปีต่างๆ	32
รูป 3.11 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ	33
รูป 3.12 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ ในรอบ 50 ปี	34
รูป 4.1 แผนที่แสดงระดับแรงสั่นสะเทือนสูงสุดที่เกิดขึ้น	33
รูป 4.2 แผนที่ระดับแรงสั่นสะเทือนจากการประเมินพิบัติภัยด้วยวิธีความน่าจะเป็น	38
รูป 4.3 แผนที่ความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนในมาตราเมอร์คัลลี	39



**สารบัญตาราง**  
**(TABLE CONTENT)**

	หน้า
ตาราง 1.1 รายชื่อแหล่งกำเนิดดินไหวในประเทศนิวซีแลนด์	3
ตาราง 2.1 แสดงตัวแปรต่างๆในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	11
ตาราง 2.2 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี DSHA	11
ตาราง 2.3 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี PSHA	11
ตาราง 2.4 แสดงผลการประเมินพิบัติภัยของเขื่อน 19 เขื่อนรอบแม่น้ำโขง	14
ตาราง 3.1 ตัวอย่างฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว	18
ตาราง 3.2 แสดงตัวอย่างตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว	28
ตาราง 3.3 แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (RI) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE)	29
ตาราง 5.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล	40

สารบัญสมการ  
(EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1 สมการความสัมพันธ์ของ Well และ Coppersmith (1994)	4
สมการ 2.2 สมการ Gutenberg-Richter relationship (G-R relationship)	4
สมการ 2.3 สมการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลา t	5
สมการ 2.4 สมการประเมินคาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหว	5
สมการ 2.5 สมการประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดและปี	5
สมการ 2.6 สมการการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	10
สมการ 2.7 สมการประเมินความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละระดับ	10
สมการ 3.1 สมการความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (mb) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์	19
สมการ 3.2 สมการความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Ms) และ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw)	19
สมการ 3.3 สมการความสัมพันธ์ ของขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (ML) และ ขนาด แผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Mb)	19
สมการ 3.4 สมการการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Z)	21

# บทที่ 1

## บทนำ (Introduction)

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

ประเทศนิวซีแลนด์เป็นส่วนหนึ่งของบริเวณที่เรียกกันว่า “วงแหวนแห่งไฟ” (Ring of Fire) ซึ่งเป็นแนวเส้นที่อยู่ล้อมรอบบริเวณริมมหาสมุทรแปซิฟิกทั้งหมด ในบริเวณนี้มักเกิดแผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิดอยู่บ่อยครั้ง การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศนิวซีแลนด์มีสาเหตุจากการที่ประเทศนิวซีแลนด์ตั้งอยู่บนแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่น ที่เคลื่อนเข้าชนกันอย่างช้า ๆ คือแผ่นมหาสมุทรแปซิฟิก และแผ่นเปลือกโลกออสเตรเลีย

เมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 เวลาประมาณ 00.02 น. ตามเวลาท้องถิ่นของประเทศนิวซีแลนด์ เกิดแผ่นดินไหวขึ้นบริเวณเกาะใต้ ขนาด 7.8 (Mw) (ละติจูด 42.757 องศาใต้ ลองจิจูด 173.077 องศาตะวันออก ที่ระดับความลึก 23 กิโลเมตร USGS) ศูนย์กลางแผ่นดินไหวเกิดในเมืองไคคูรา ส่งผลให้เกิดความเสียหายตามมา หลังจากเกิดแผ่นดินไหวราว 2 ชั่วโมง มีรายงานการมาถึงของคลื่นสึนามิที่มีความสูงประมาณ 2 เมตร พัดเข้ามายังพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของเมืองไคคูรา มีผู้เสียชีวิต 2 ราย (รายงานเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559) จึงทำให้การประเมินพฤติกรรมและกำหนดพิบัติภัยแผ่นดินไหวจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยประเมินพิบัติภัยที่จะเกิดขึ้นในประเทศนิวซีแลนด์

การศึกษาและประเมินพิบัติภัยของประเทศนิวซีแลนด์แบ่งออกเป็น 2 แนวคิด ได้แก่

1. การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Activity)
  - 1.1 Magnitude max
  - 1.2 Recurrence interval
  - 1.3 Probability of occurrence
2. การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Analysis, SHA)
  - 2.1 การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) (Hull และคณะ, 2003)
  - 2.2 การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) Z (Cornell, 1968)

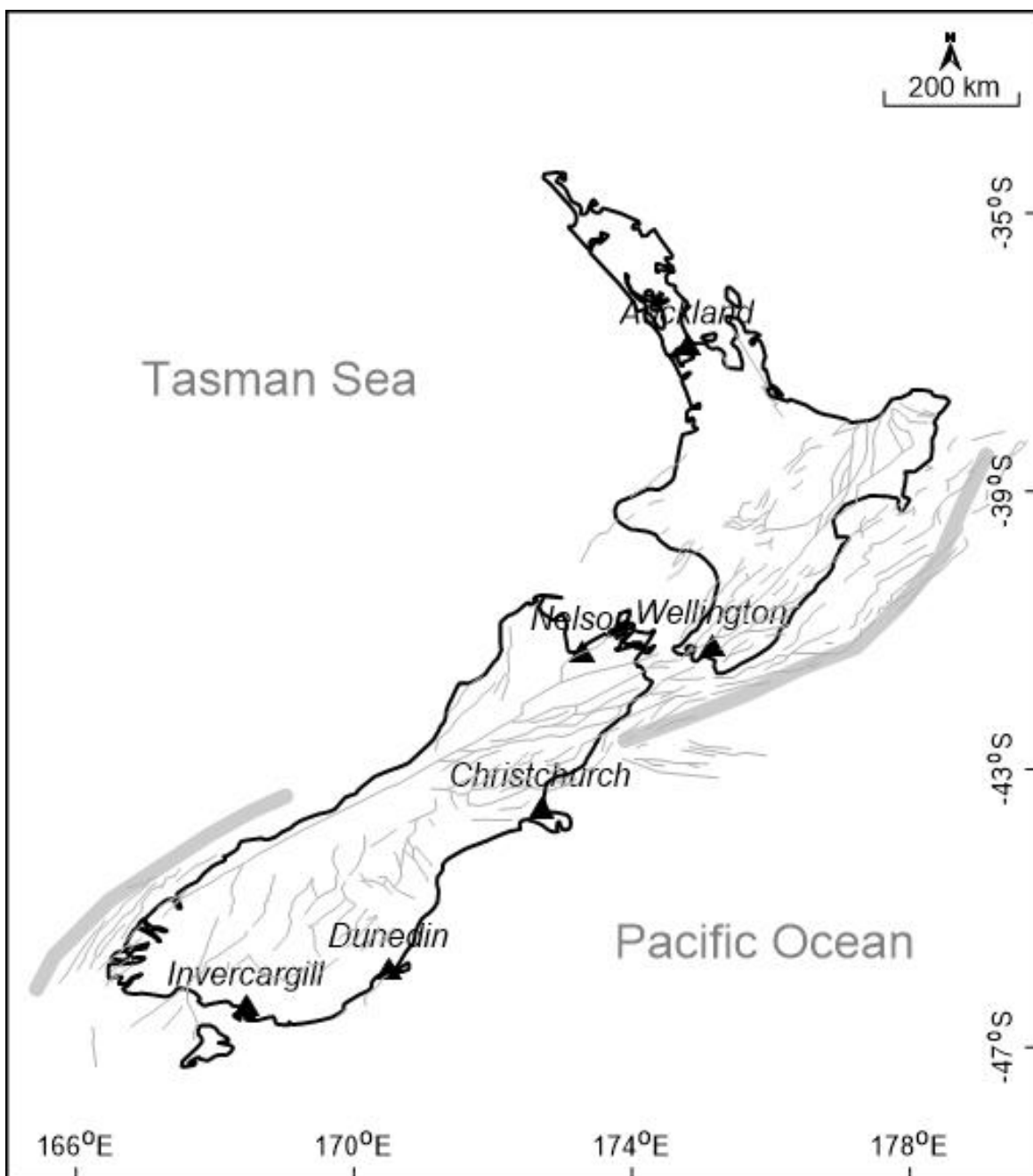
จากการประเมินพฤติกรรมและกำหนดพิบัติภัยแผ่นดินไหว ทำให้ทราบค่าแรงสั่นสะเทือนของพื้นดินที่เกิดขึ้นมักจะแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) โดยมีหน่วยเป็นอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ซึ่ง 1 g มีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$

## 1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อประเมินตัวแปรที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว (Earthquake activity) และพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Seismic hazard) ในประเทศนิวซีแลนด์

## 1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

จากการรวบรวมข้อมูลรายงานเชิงเอกสารต่างๆ สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ได้ทั้งหมด 14 แหล่งแสดงในตาราง 1.1 (รูป 1.1) (stirling และคณะ, 2012)



รูป 1.1 แผนที่ของประเทศนิวซีแลนด์แสดงลักษณะทางธรณีแปรสัณฐาน

ตาราง 1.1 รายชื่อแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในประเทศนิวซีแลนด์

หมายเลข	ชื่อแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว
1	Extensional Western North Island Faults
2	Extensional Havre Trough
3	K-M F
4	North Is Dextral Fault Belt
5	Hikurangi Subduction Margin Forearc
6	Extensional North Mernoo Fault zone
7	Strike - slip MFS
8	Contractional Northwest South Island Faults
9	Contraction North Canterbury Faults
10	Contractional Southern South Island Faults
11	Alpine Fault
12	Western Fiordland Margin Caswell High
13	Subduction 1
14	Subduction 2

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)

1. ตัวแปรด้านแผ่นดินไหว (ขนาดแผ่นดินไหว, คาบอุบัติซ้ำ และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว) ที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหว (Earthquake activity)
2. ระดับพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Earthquake Hazard) ณ ตำแหน่งที่ประเมินจากทั้งแนวคิดกำหนดค่าและแนวคิดความน่าจะเป็น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและประเมินพิบัติภัยของประเทศนิวซีแลนด์แบ่งออกเป็น 2 แนวคิด ได้แก่ การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Activity) และพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ (Seismic Hazard)

2.1.1 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Activity) การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum magnitude) โดยใช้วิธีการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA)

กรณีที่กำหนดเป็นเขตกำเนิดแผ่นดินไหว จะใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยบันทึกได้ว่าเกิดในแต่ละเขตกำเนิดแผ่นดินไหวโดยใช้การตรวจวัดจากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Records)

กรณีที่กำหนดเป็นแนวรอยเลื่อน สามารถประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดได้จากความยาวของรอยเลื่อนและคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของ Well และ Coppersmith (1994)

$$M = a + b \times \log(SRL) \quad \text{สมการ (2.1)}$$

M	=	ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax)
a และ b	=	ค่าคงที่
SRL	=	ความยาวรอยเลื่อน

หรืออาจหาได้จากการคำนวณการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) ด้วยวิธี b value โดยใช้สมการ Gutenberg-Richter relationship (G-R relationship) (Gutenberg และ Richter, 1944) สมการ (2.2)

$$\log N_M = a - bM \quad \text{สมการ (2.2)}$$

N(m)	=	อัตราการเกิดแผ่นดินไหวขนาดเกินกว่า m ใน 1 ปี
M	=	ขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการหาความน่าจะเป็นของการเกิด (หน่วย โมเมนต์ (Mw))
a และ b	=	ค่าคงที่ สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $N_M$ และ M

จากสมการ 2.2 สามารถหาค่า  $a$  และ  $b$  ซึ่งเป็นค่าคงที่และสามารถนำมาหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Maximum magnitude) ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลา  $t$  ที่พิจารณา ในสมการ 2.3 ได้

$$u_t = \frac{\ln(\alpha t)}{\beta} \quad \text{สมการ (2.3)}$$

$u_t$  = ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax)

$\alpha = \exp(a \ln(10))$

$\beta = (10)$

โดยสามารถประเมินคาบอุบัติซ้ำ (Recurrence interval) ของแผ่นดินไหวแต่ละขนาดได้จากสมการ (2.4) (Yadav และคณะ, 2011)

$$T_M = \frac{1}{N_M} = \frac{\exp(\beta M)}{\alpha} \quad \text{สมการ (2.4)}$$

กำหนดให้  $T_M$  คือ คาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด  $M$  ซึ่งเป็นส่วนกลับของจำนวนหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหว  $N_M$  และสามารถประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (Probability of Occurrence) ในแต่ละขนาดและปีที่พิจารณาได้จากค่า  $\alpha$  และ  $\beta$  ดังสมการ (2.5) (Yadav และคณะ, 2011)

$$P_t = 1 - \exp(-\alpha t \cdot \exp(-\beta M)) \quad \text{สมการ (2.5)}$$

$P_t(M)$  คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด  $M$  ในช่วงเวลา  $t$  ปี ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์

### 2.1.2 การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนในประเทศไทย (Seismic Hazard Analysis, SHA)

(Kramer, 1996)

การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวเป็นการประเมินระดับอันตรายแผ่นดินไหว โดยประเมินในเชิงปริมาณของระดับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) โดยเป็นอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA)

หลักการในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวมี 3 ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ (รูป 2.1)

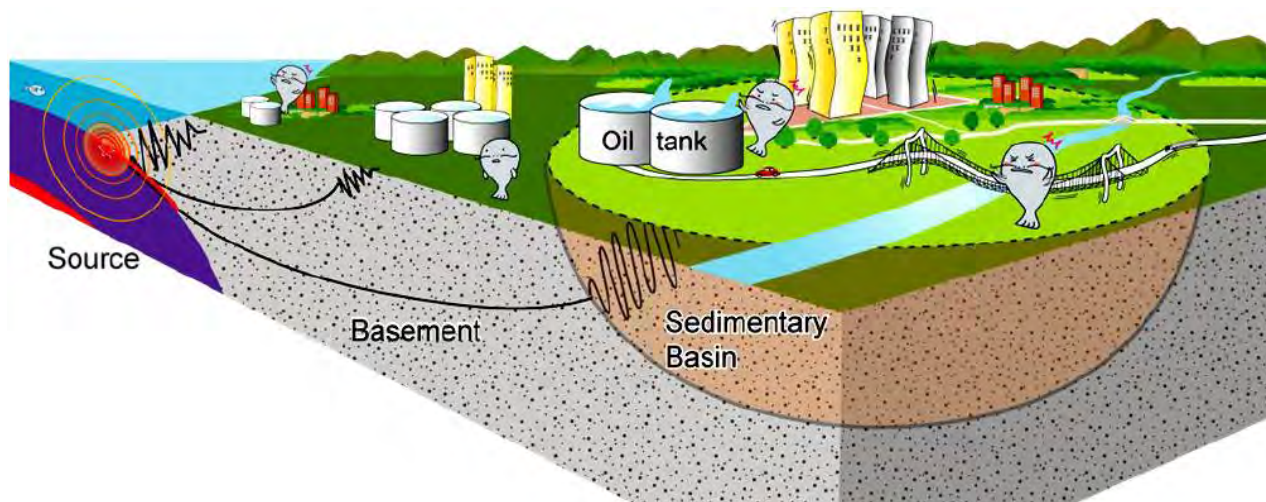
1. แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (earthquake source) โดยพิจารณาทั้งรูปร่างและพฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษาใดๆ นักแผ่นดินไหววิทยาจะต้องขยายพื้นที่กว้างออกไปอย่างน้อย 300 กิโลเมตร (Gupta และคณะ 2002)
2. ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic) ปกติแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว จะลดทอนลงเมื่อเดินทางออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ผ่าน ตัวกลางต่างๆ ด้วยระยะทางที่มากขึ้น ซึ่งการลดทอนของแรงสั่นสะเทือนจะลดลงอย่างรวดเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางธรณีวิทยาใต้ดินของแต่ละพื้นที่
3. การตอบสนองแรงสั่นสะเทือนในพื้นที่ (site respond) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้คลื่นแผ่นดินไหวมีความแปรผันคือ คุณลักษณะต่างๆ ของดินหรือตะกอนที่ปกคลุมในแต่ละพื้นที่

องค์ประกอบในการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว

การประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว ในรูปแบบของแรงสั่นสะเทือนจำเป็นต้องทราบข้อมูล

3 องค์ประกอบต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Earthquake source) ทั้ง รูปร่าง และ นิสัย
2. ลักษณะการลดทอนของแรงไหวสะเทือน (Attenuation characteristic)
3. การตอบสนองแรงสั่นสะเทือนในพื้นที่ (Site respond)



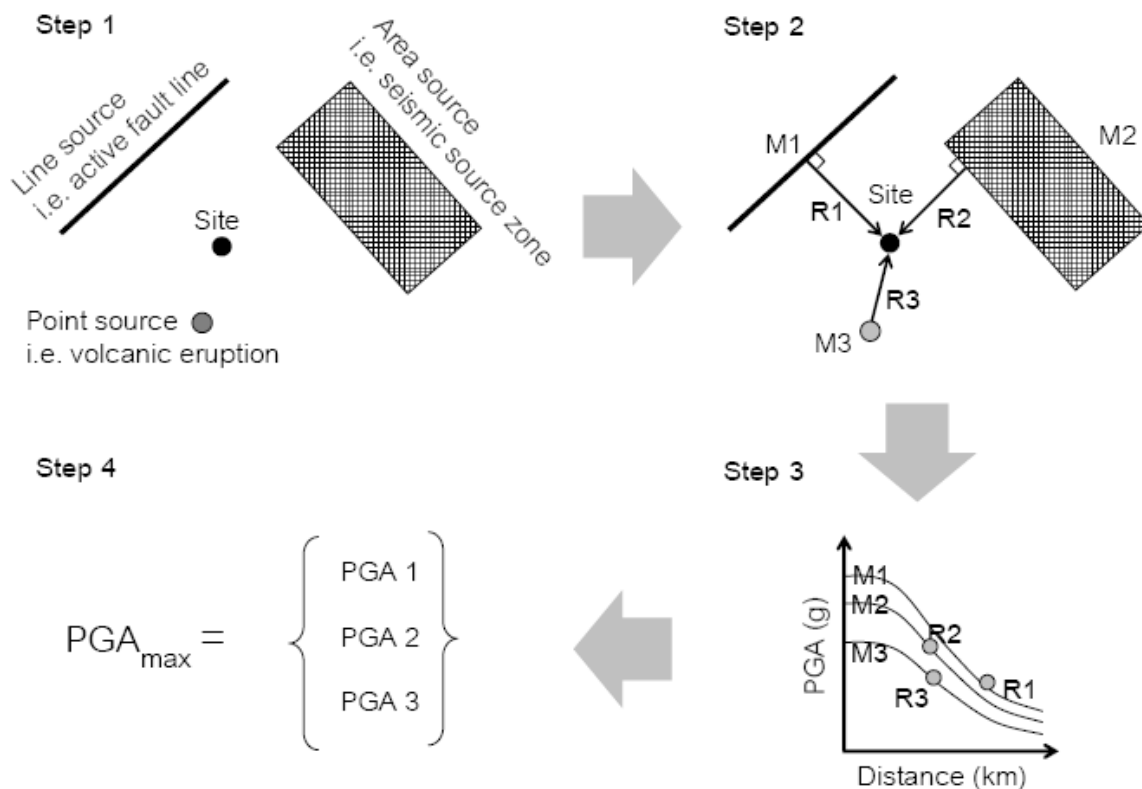
รูป 2.1 ตัวแปรสำคัญที่จำเป็นสำหรับการประเมินพิบัติแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)



ปัจจุบันแนวคิดในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวมี 2 วิธีโดยนำเข้าข้อมูลที่คล้ายกันแต่ต่างกันในกระบวนการคิดและวัตถุประสงค์ในการประเมิน

- การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) (Hull et al., 2003)

เป็นแนวคิดการประเมินอันตรายสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (worst case scenario) โดยพิจารณาจากแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum Credible Earthquake, MCE) และ ระยะใกล้ที่สุดที่สามารถเกิดได้ (Shortest source-to-site distance) ซึ่งแนวคิดนี้เป็นที่นิยมในการประเมินในพื้นที่ที่มีความสำคัญ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เขื่อน หรืออาคารสูง โดยผลการประเมินมักจะแสดงระดับแรงสั่นสะเทือนที่สูงมาก ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่าประกอบด้วย (รูป 2.2)

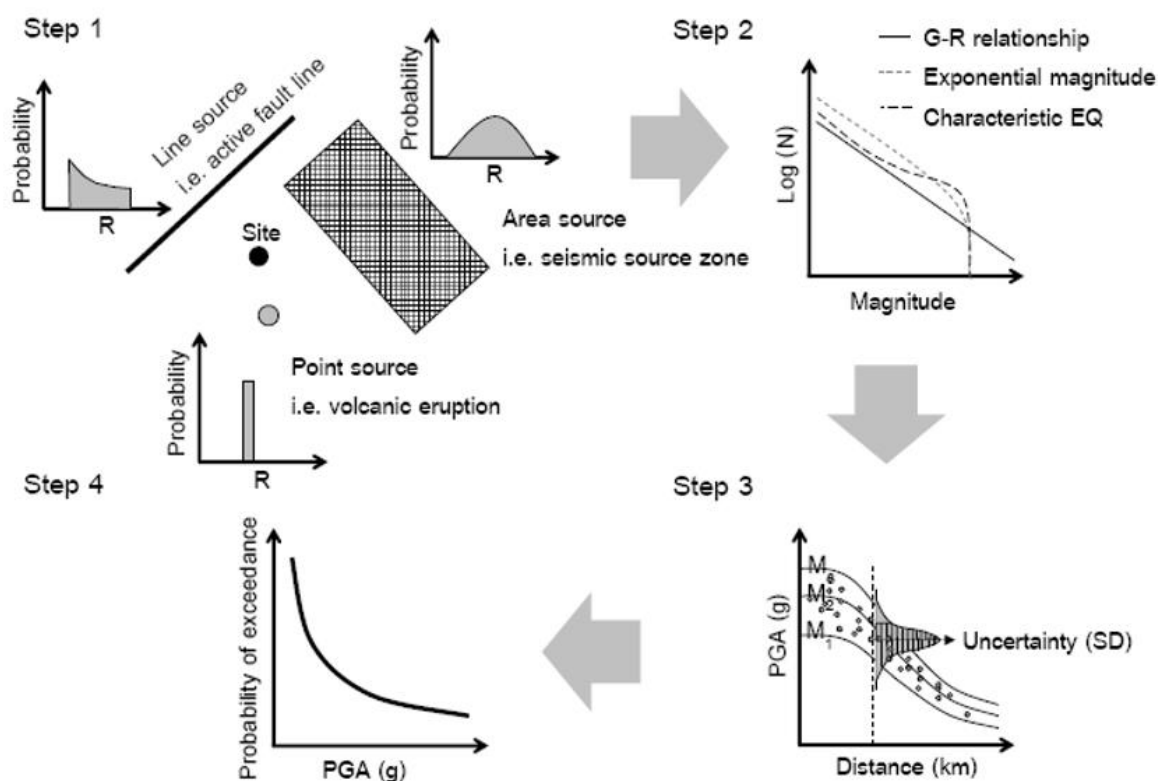


รูป 2.2 ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Hull และคณะ, 2003)

1. กำหนดตำแหน่งและจำแนกรูปร่างของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ตลอดจนประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละแหล่งกำเนิดดังกล่าว
2. ประเมินระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา
3. นำตัวแปร ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้และระยะทางสั้นที่สุดระหว่างแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา มาประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยใช้แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (strong ground-motion attenuation model) ในประเทศนิวซีแลนด์ใช้แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนของ McVerry และคณะ (2006)
4. เปรียบเทียบระดับแรงสั่นสะเทือนที่ประเมินจากจุดศึกษา เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ และคัดเลือกระดับแรงสั่นสะเทือนสูงสุดมาเป็นตัวแทนของแรงสั่นสะเทือนที่จุดศึกษามีโอกาสได้รับผลกระทบ

- การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) (Cornell, 1968)

เป็นการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยใช้แนวคิดของโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นในการวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด ความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษาและความน่าจะเป็นจากความไม่แน่นอนของการลดทอนแรงสั่นสะเทือน โดยวิธีการประเมินประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (รูป 2.4)



รูป 2.3 ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (Kramer, 1996)

1. จำแนกรูปร่างของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและประเมินระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา โดยอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นในแต่ละระยะทาง
2. ประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดโดยใช้สมการ Gutenberg-Richter relationship สมการ (2.2)
3. ประเมินความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละระดับระดับโดยนำค่าระยะทางและขนาดแผ่นดินไหวที่กำหนดไว้ในแต่ละช่วงย่อย โดยใช้สมการ (2.6) ซึ่งจะทำให้ได้ได้ผลของค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย และความน่าจะเป็นที่แรงสั่นสะเทือนจะมีระดับเท่ากับหรือมากกว่าค่าเฉลี่ยระดับต่างๆ

$$P[A(m, r) \geq A_0 | m, r] = 1 - \Phi\left(\frac{\log(A_0) - \log(\overline{PHA})}{\sigma}\right) \quad \text{สมการ (2.6)}$$

$P[A(m, r) \geq A_0   m, r]$	= ความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับ $A_0$
$\Phi$	= การกระจายตัวของความน่าจะเป็นแบบปัวซองก์
$A_0$	= ระดับแรงสั่นสะเทือนที่สนใจ
$\overline{PHA}$	= ค่าเฉลี่ยของระดับแรงสั่นสะเทือน
$\sigma$	= ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความไม่แน่นอนของสมการ การลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

4. สร้างกราฟพิบัติภัย (hazard curve) ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็น (แกนตั้ง) ของการเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับต่างๆ (แกนนอน) ซึ่งประเมินความน่าจะเป็นรวม จากทั้งระยะทาง ขนาดแผ่นดินไหว และความไม่แน่นอนของลักษณะการลดทอน แรงสั่นสะเทือนโดยใช้สมการ (2.7)

$$\lambda(A > A_0) = \sum_{i=1}^{N_s} v_i \int \int f_{Ri}(r) f_{Mi}(m) P[A(r, m) \geq A_0 | r, m] dr dm \quad \text{สมการ (2.7)}$$

$\lambda(A > A_0)$	= ความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนระดับต่างๆ
$f_{Ri}(r)$	= ความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวถึง พื้นที่ศึกษา
$f_{Mi}(m)$	= ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด
$P[A(r, m) \geq A_0   r, m]$	= ความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวขนาดที่เกิดขึ้น โดยห่างจากพื้นที่ศึกษาเป็นระยะทาง ซึ่งประเมินจากลักษณะ การลดทอนแรงสั่นสะเทือนในแต่ละพื้นที่
$v_i$	= อัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมต่อปีของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้งหมด $N_s$ แหล่ง

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yildiz และ Guner (2012) ประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อน Cetin ประเทศตุรกีตามปัจจัยของ ICOLD ได้แก่ MCE OBE และ MDE ด้วยวิธีการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Analysis, SHA) ทั้งการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) และการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) และใช้ ground motion prediction equations (GMPEs) มาคำนวณเป็น PGA มีพื้นที่ศึกษาอยู่ทางตะวันออกเฉียงของจังหวัด Anatolian ประเทศตุรกี รอยเลื่อนที่ทำให้เกิด MCE ที่มีขนาด  $M_w = 6.8$  คือ รอยเลื่อน Damlı-Beşan อยู่ห่างจาก Cetin Dam 12.5 กิโลเมตร ผลการศึกษาพบว่า PGA ของ OBE มีค่าประมาณ 0.10g สำหรับคาบอุบัติซ้ำ 145 ปี คำนวณจาก PSHA สำหรับ PGA ของ MDE มีค่า 0.31g คำนวณจาก DSHA ดังแสดงในตาราง 2.1 2.2 และ 2.3

ตาราง 2.1 แสดงตัวแปรต่างๆ ในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

Sources	a	b	$M_{maks}$	$M_{min}$
A1	3.59	0.91	6.0	4.0
L1	3.59	0.91	6.8	6.0
A2	4.24	0.94	6.8	4.0
A3	4.14	0.88	7.0	4.0
A4	2.48	0.67	7.6	4.0
A5	2.74	0.79	6.0	4.0

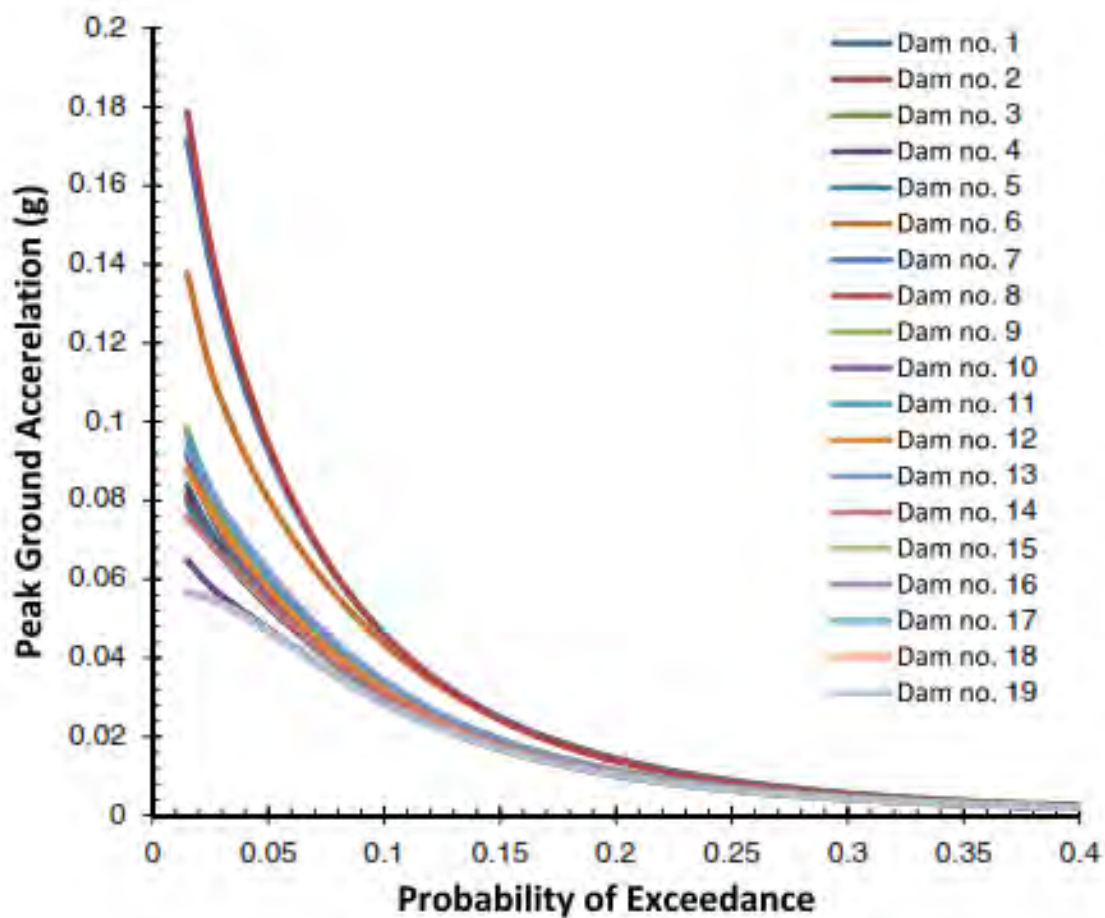
ตาราง 2.2 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี DSHA

	Campbell and Bozorgnia, 2008	Chiou and Youngs, 2008	Boore and Atkinson, 2007	Average
PGA (g) [median]	0.18	0.19	0.17	0.18
PGA (g) [median + $\sigma$ ]	0.30	0.32	0.31	0.31

ตาราง 2.3 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี PSHA

	Camp. & Boz, 2008	Chi. & You., 2008	Bo. & Atk., 2007	Average	Return Period (years)
PGA (g) [median]	0.099	0.079	0.079	<b>0.09</b>	145
PGA(unbound. with $\sigma$ )	0.121	0.091	0.097	<b>0.10</b>	
PGA (g) [median]	0.194	0.163	0.156	<b>0.17</b>	2475
PGA(unbound. with $\sigma$ )	0.316	0.270	0.277	<b>0.29</b>	
PGA (g) [median]	0.239	0.204	0.225	<b>0.22</b>	10000
PGA(unbound. with $\sigma$ )	0.444	0.388	0.405	<b>0.41</b>	

Pailoplee (2014) ประเมินพิบัติภัยของเขื่อนรอบแม่น้ำโขงโดยศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) และ SHA ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยของ ICOLD ผลการศึกษาพบว่า MDE มีค่า 0.09 – 0.44 g โดยเขื่อนหลวงพระบาง เขื่อนไชยะบุรี และ เขื่อนปากลาย มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนมากที่สุด ส่วนเขื่อนบ้านกุ่ม เขื่อนลาดส้ว เขื่อนดอนสะโฮง เขื่อนสตริงตรง และ เขื่อนสมโบร์ปลอดภัยจากพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยรูป 2.5 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง และตาราง 2.4 แสดงผลการศึกษา



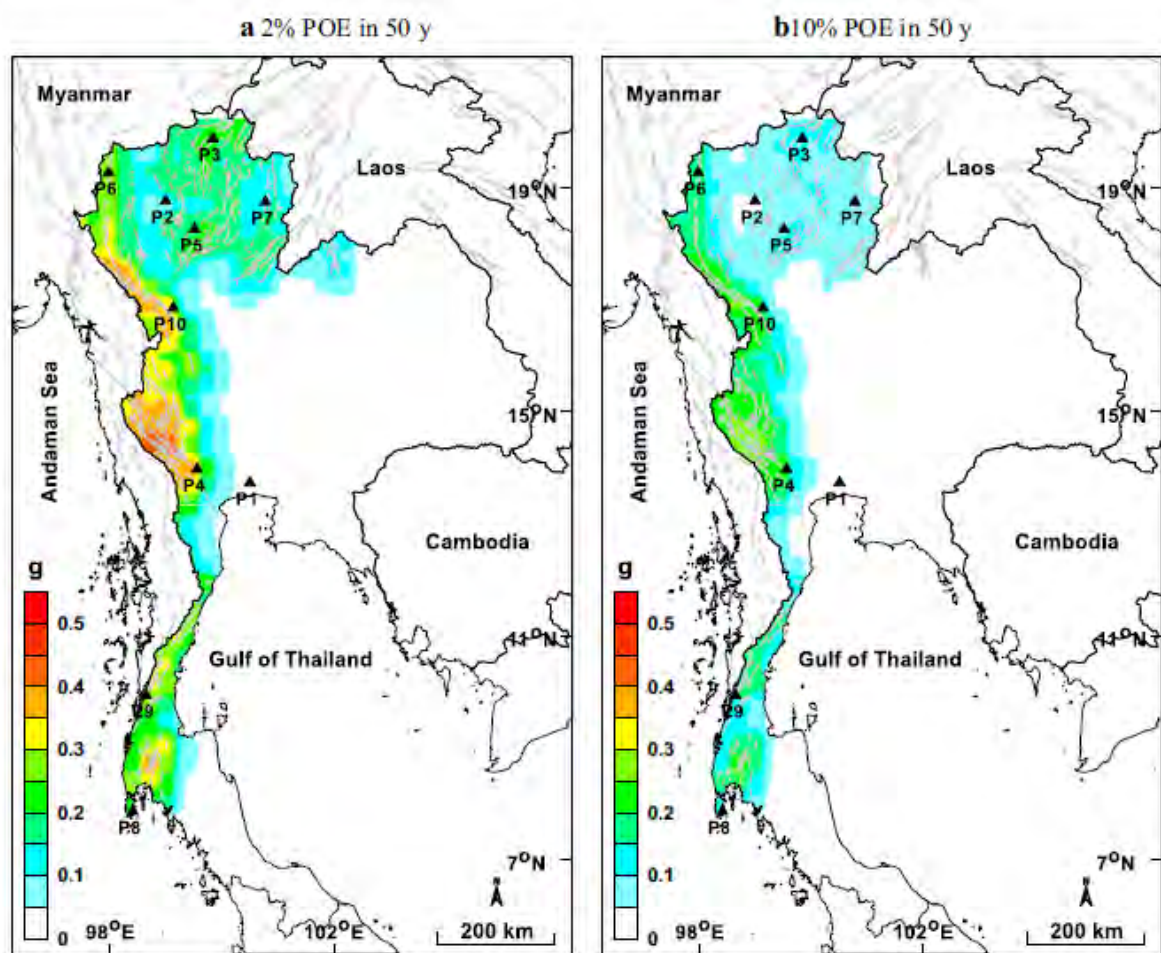
รูป 2.4 แสดงกราฟกับพิบัติแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง

ตาราง 2.4 แสดงผลการประเมินพิบัติภัยของเขื่อน 19 เขื่อนบริเวณรอบแม่น้ำโขง

No.	DSHA (g unit)	PSHA (g unit)							
		50 Yr	100 Yr	500 Yr	1000 Yr	2 % POE50	10 % POE50	2 % POE100	10 % POE100
1.	0.36	0.14	0.21	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.50
2.	0.36	0.14	0.21	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
3.	0.32	0.14	0.21	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
4.	0.16	0.13	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
5.	0.15	0.14	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
6.	0.31	0.17	0.24	0.43	0.53	0.68	0.42	0.81	0.52
7.	0.30	0.17	0.23	0.42	0.52	0.67	0.42	0.81	0.51
8.	0.28	0.17	0.23	0.42	0.52	0.67	0.41	0.80	0.51
9.	0.27	0.15	0.21	0.41	0.51	0.67	0.40	0.81	0.50
10.	0.44	0.15	0.21	0.41	0.51	0.66	0.40	0.80	0.50
11.	0.41	0.14	0.21	0.40	0.51	0.66	0.40	0.80	0.50
12.	0.44	0.14	0.21	0.40	0.51	0.66	0.40	0.80	0.50
13.	0.29	0.14	0.21	0.40	0.51	0.66	0.39	0.80	0.50
14.	0.23	0.14	0.21	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.50
15.	0.09	0.13	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
16.	0.09	0.13	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
17.	0.09	0.13	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
18.	0.09	0.13	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49
19.	0.09	0.13	0.20	0.40	0.50	0.66	0.39	0.80	0.49

50 Yr means in 50 year return period, and 2 % POE50 means 2 % probability of exceedance in 50 year return period

Pailoplee (2016) ประเมินภัยพิบัติของแนวรอยต่อระหว่างประเทศไทย-พม่า-ลาว โดยศึกษาด้วยวิธีการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น (PSHA) เพื่อทำการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ประกอบไปด้วยจังหวัดกรุงเทพฯ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดน่าน จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดตาก ผลการศึกษาพบว่าจังหวัดที่มีโอกาส 2% ใน 50 ปีในข้างหน้าจะพบแรงสั่นสะเทือนมากที่สุด ส่วนจังหวัดที่ไม่ได้กล่าวนั้นได้รับแรงสั่นสะเทือนรองลงมา โดยรูป 2.6 แสดงแผนที่โอกาสที่พบแรงสั่นสะเทือน 2% และ 10% ใน 50 ปีข้างหน้า และตาราง 2.5 แสดงผลการศึกษา

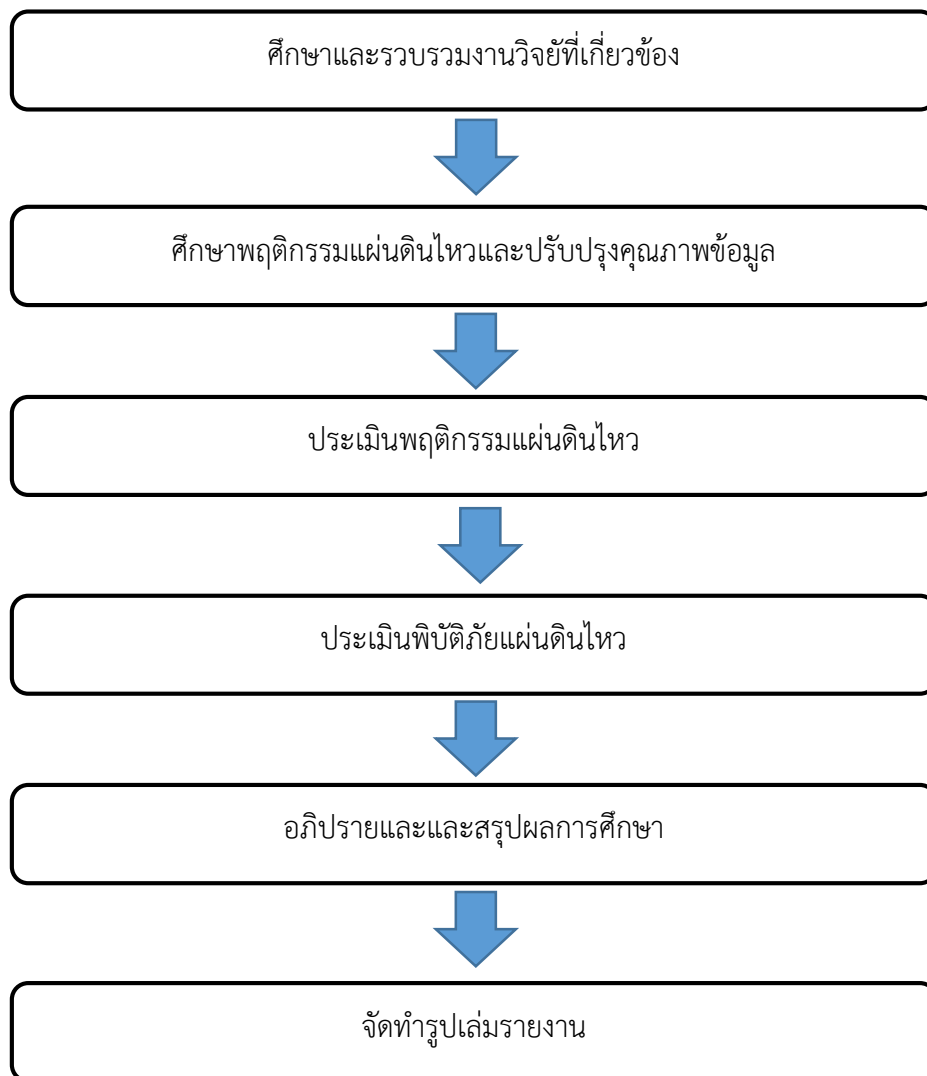


รูป 2.5 แสดงแผนที่โอกาส 2% และ 10% ที่จะพบแรงสั่นสะเทือน ในช่วงเวลา 50 ปี



### 2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังแสดงในแผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา (รูป 2.7)



รูป 2.6 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงาน

1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทางทฤษฎีและพื้นที่ศึกษา
2. ปรับปรุงคุณภาพข้อมูลและศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Characteristic)  
การศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Records) ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นย้อนหลังได้ประมาณ 100 ปี เรียกว่า ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue) ซึ่งในแต่ละพื้นที่อาจวัดได้ค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องมือและมาตรฐานในการตรวจวัด ขั้นตอนการคัดเลือกและปรับปรุงคุณภาพข้อมูลมีดังนี้

#### 2.1 รวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

- ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) และรอยเลื่อนในระยะ 300 กิโลเมตร (Gupta, 2002)

#### 2.2 ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

- การแปลงหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน นิยมใช้เป็น  $M_w$

#### 2.3 คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

- คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรงด้วยแนวคิด Gardner และ Knopoff (1974)

#### 2.4 ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

- ปรับแก้หรือเลือกใช้ฐานข้อมูลที่มีความต่อเนื่องมากที่สุด โดยตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจาก Habermann (1983; 1987)

### 3. ประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวโดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Maximum magnitude)

มีหน่วยเป็น  $M_w$  ซึ่งสามารถหาได้ 2 วิธี

#### 3.1 ประเมินจากความยาวของรอยเลื่อน (Pailoplee, 2009) และคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของ Well และ Coppersmith (1994)

#### 3.2 ประเมินโดยการหาค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ (Gutenberg และ Richter, 1944)

### 4. ประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว ซึ่งจะแสดงในรูป PGA สามารถหาได้ 2 วิธี

#### 4.1 การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี DSHA

เป็นแนวคิดการประเมินอันตรายสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (worst case scenario) โดยพิจารณาจาก MCE และ ระยะใกล้สุดที่สามารถเกิดได้ (Shortest source-to-site distance) ใช้สมการการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Strong ground-motion attenuation Relationship) เพื่อหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

#### 4.2 การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธี PSHA

โดยประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดดังวิธีที่แสดงในขั้นตอนการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็นข้างต้น และใช้สมการ (2.2) (2.6) (2.7)

5. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

6. จัดทำรูปเล่มรายงาน

## บทที่ 3

### พฤติกรรมกำรเกิดแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE ACTIVITY)

#### 3.1 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Seismicity Data and Completeness)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดกรองเฉพาะช่วงข้อมูลที่เกี่ยวข้องถึงพฤติกรรมทางธรณีแปร-  
สัณฐานของพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ซึ่งมีวิธีในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลอย่างละเอียดดังนี้

##### 1. การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) โดยค้นหาข้อมูลที่ตรวจวัดได้ที่ละติจูด  $2.31^{\circ}\text{N} - 24.34^{\circ}\text{E}$  และลองจิจูดที่  $93.25^{\circ}\text{N} - 109.27^{\circ}\text{E}$  ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1900 ถึงวันที่ 20 พฤศจิกายน 2016 พิจารณาขนาดตั้งแต่ 0 – 9.9 magnitude และที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 – 1000 กิโลเมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้จะประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงตัวเลขที่วิเคราะห์มาได้จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยรายงานทั้งจุดศูนย์กลาง (ลองจิจูด ละติจูด และความลึก) เวลาเกิด (ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที) และขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งผลการบันทึกที่รวบรวมอยู่ตลอดเวลา นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทำให้เกิดเป็นชุดข้อมูลที่เรียกว่า ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue) ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตัวอย่างข้อมูลแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Depth	Hour	Min	Sec	Mw	Mb	Ms	ML	M
-177.832	-30.367	1999	8	1	10	8	39	4	6.5	5.7	6.4	-	6.2
-177.832	-30.367	1999	8	1	10	8	39	4	6.2	5.7	-	-	6.2
-178.01	-30.28	1999	7	28	25	10	8	20	6.3	6.1	6	-	-
-178.014	-30.285	1999	7	28	25	10	8	20	6.3	6.1	6	-	6.1
-178.014	-30.285	1999	7	28	25	10	8	20	6.3	6.1	-	-	6.1
-177.52	-28.69	1999	7	28	33	0	16	57	6	5.9	5.7	-	-
-177.523	-28.69	1999	7	28	33	0	16	57	6.1	5.9	5.7	-	5.8
-177.523	-28.69	1999	7	28	33	0	16	57	6.1	5.9	-	-	5.8
-176.56	-33.12	1999	7	19	15	16	45	3	5.5	-	-	-	-
-176.705	-33.58	1999	7	19	33	16	45	3	5.5	5.5	5	-	-

นำข้อมูลทั้งหมดเข้าโปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) ผ่านโปรแกรม MATLAB พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 182,986 ข้อมูล โดยมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรงมากที่สุด 8.1 ริคเตอร์ และน้อยที่สุด 0 ริคเตอร์ เกิดที่ระดับความลึก 871 กิโลเมตร

## 2. ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลจะมีหน่วยวัดขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน เช่น Body-wave magnitude ( $m_b$ ) Surface wave magnitude ( $M_s$ ) Local magnitude ( $M_L$ ) และ Moment magnitude ( $M_w$ ) โดยแต่ละหน่วยอ้างอิงมาจากสมมติฐานและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปลงหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยเดียวกันก่อนนำไปวิเคราะห์ นิยมใช้เป็น  $M_w$  เนื่องจากเป็นหน่วยวัดจากพื้นที่การปริแตกและเลื่อนตัวของรอยเลื่อนโดยตรงและไม่มีปัญหาการอิมิตัวของขนาดแผ่นดินไหว ขั้นตอนในการแปลงหน่วยโดยใช้สมการความสัมพันธ์ มีดังนี้

- นำข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวหน่วย  $M_w$  มาสร้างเป็นกราฟในแนวแกน  $y$  และหน่วยที่ต้องการเปลี่ยน ( $M_s$ ,  $m_b$  และ  $M_L$ ) ในแนวแกน  $x$  (รูป 3.1)

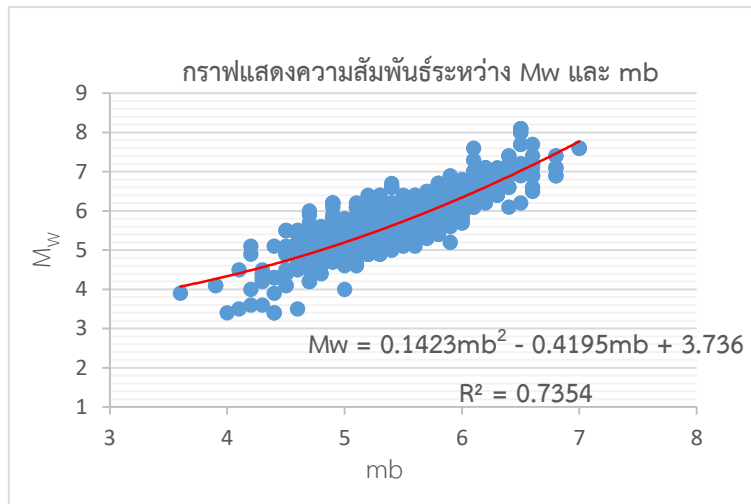
- สร้างเส้นแนวโน้มของสมการ Polynomial และหาสมการความสัมพันธ์ออกมาได้ดังสมการ (3.1) ถึง (3.3)

$$M_w = 0.1423m_b^2 - 0.4195m_b + 3.736 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

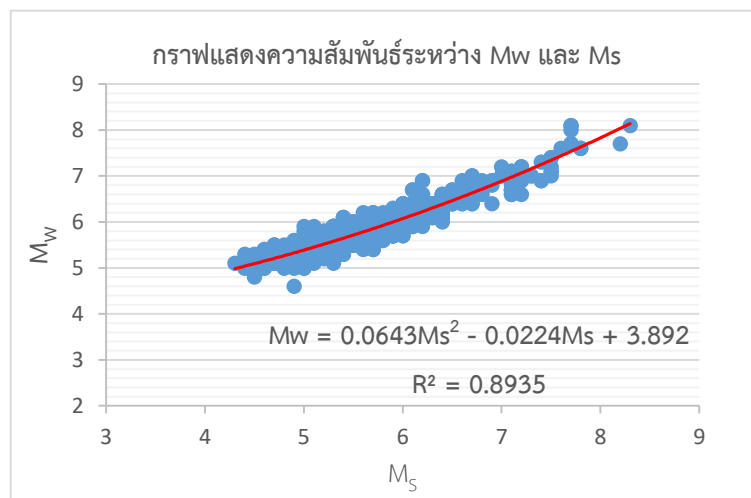
$$M_w = 0.0643M_s^2 - 0.0224M_s + 3.892 \quad \text{สมการ (3.2)}$$

$$M_b = 0.1627m_l^2 - 0.889m_l + 5.0265 \quad \text{สมการ (3.3)}$$

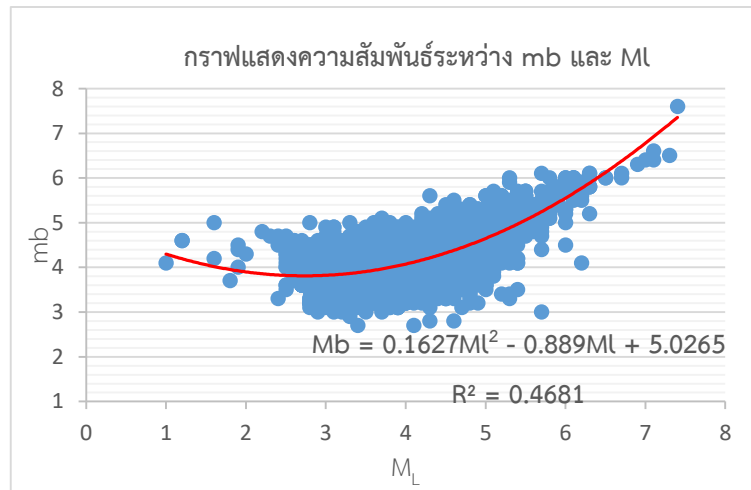
(ก)



(ข)



(ค)



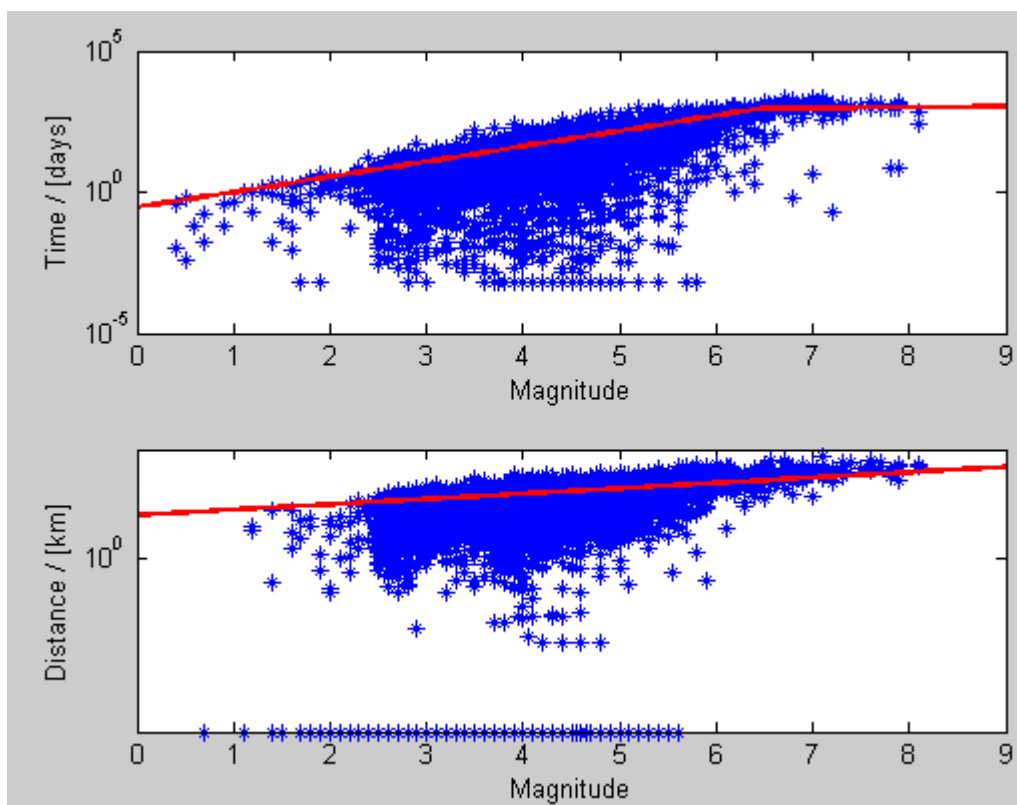
รูป 3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ (ก)  $M_w$  กับ  $m_b$ , (ข)  $M_w$  กับ  $M_s$ , (ค)  $m_b$  กับ  $M_L$

- นำสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดมาเปรียบเทียบข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน

### 3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

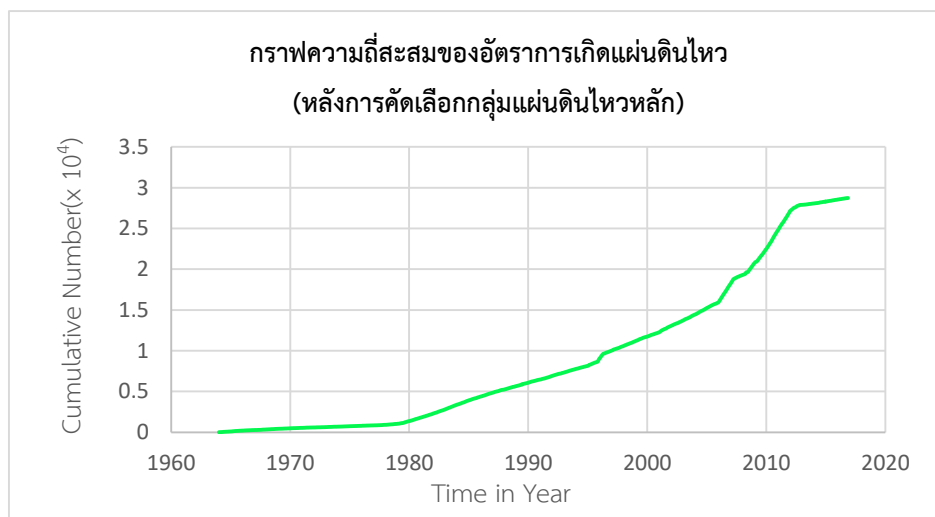
ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ถูกบันทึกสามารถจำแนกตามกลไกการเกิดได้ 3 ประเภท แผ่นดินไหวนำ (foreshock) เกิดจากการเตรียมตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวหลัก แผ่นดินไหวหลัก (main shock) เกิดจากแรงเค้นอันเนื่องมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง และ แผ่นดินไหวตาม (aftershock) เกิดจากแรงเครียด (strain) ที่ถ่ายเทมาจากการการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้น ดังนั้นต้องมีการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวหลักและกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากกลุ่มแผ่นดินไหวเพื่อใช้ประเมินพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง

หลักการจำแนกแผ่นดินไหวหลักออกจากกลุ่มของแผ่นดินไหวนิยมใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ในการจัดกลุ่ม 3 เงื่อนไขคือ 1) ขนาด 2) ระยะทาง และ 3) ช่วงเวลาการเกิด โดยใช้สมมุติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเป็นแนวคิดที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด ทั้งนี้การคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลักสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) เปิดผ่านโปรแกรม MATLAB จากรูป 3.3 แสดงให้เห็นถึงการจัดกลุ่มกันของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ภายใต้กรอบของเวลาและกรอบของระยะทาง ซึ่งได้เส้นสีแดงจะเป็นแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามที่ต้องกำจัดออก



รูป 3.2 แสดงผลการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1994) โดยข้อมูลที่อยู่เหนือเส้นสีแดงคือ ข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

ผลจากการวิเคราะห์บริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 13,500 กลุ่ม ประกอบด้วยแผ่นดินไหว 154,253 เหตุการณ์ (คิดเป็น 84.3% จาก 182,986 เหตุการณ์) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักได้ 28,733 เหตุการณ์ และรูป 3.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและช่วงเวลาในแต่ละปี หลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักแล้ว พบว่ากราฟเริ่มมีความเป็นเส้นตรง



รูป 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมในช่วงเวลาแต่ละปี หลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

#### 4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made seismicity)

นอกเหนือกระบวนการทางธรรมชาติ กิจกรรมบางอย่างของมนุษย์สามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ ตัวอย่างเช่น การทดลองระเบิดนิวเคลียร์หรือการระเบิดเพื่อทำเหมือง นอกจากนี้ฐานข้อมูลส่วนใหญ่ยังได้รับผลกระทบและมักจะมีคลาดเคลื่อนของข้อมูลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงระบบการตรวจวัด ซึ่งมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงจำนวนของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว (detection change) ทำให้การบันทึกข้อมูลไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงการรายงาน (report change) ทำให้การประเมินแผ่นดินไหวเปลี่ยนไปจากเดิม (Habermann และ Wyss, 1984) การเปลี่ยนแปลงของซอฟต์แวร์ในการประมวลผลข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละช่วงเวลา (Wyss และ Habermann, 1988b) และการเปลี่ยนแปลงหน่วยวัดและคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984)

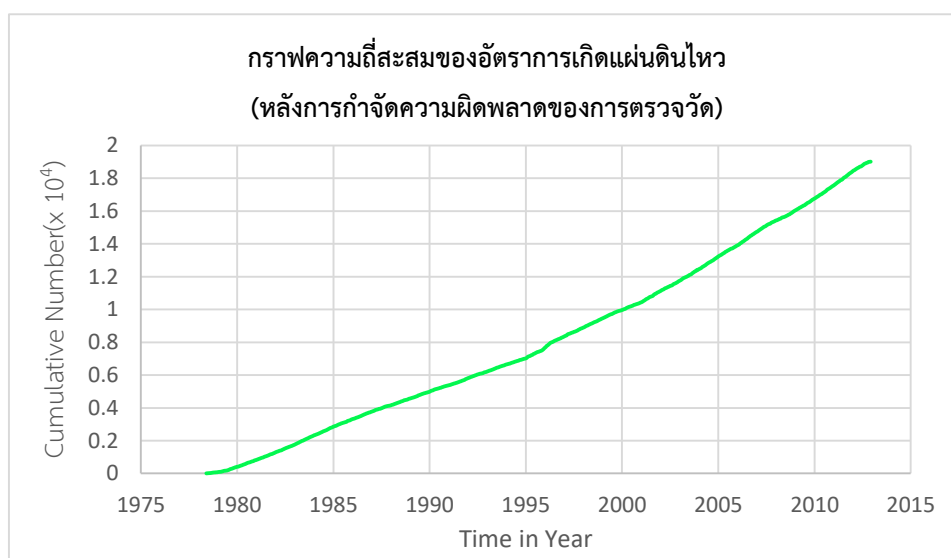
จากการศึกษาในทางทฤษฎีพบว่า กระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานเป็นกลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างกะทันหันทันภายในเวลาอันสั้น ทั้งนี้สาเหตุทั้งหมดอาจจะส่งผลต่อการวิเคราะห์และประเมินผลด้านแผ่นดินไหววิทยาเชิงสถิติมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ดังที่กล่าวมา ทำได้โดยการใช้หลักการวิเคราะห์ของ Habermann (1983; 1987) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Z) โดยหาได้จากสมการ (3.4)



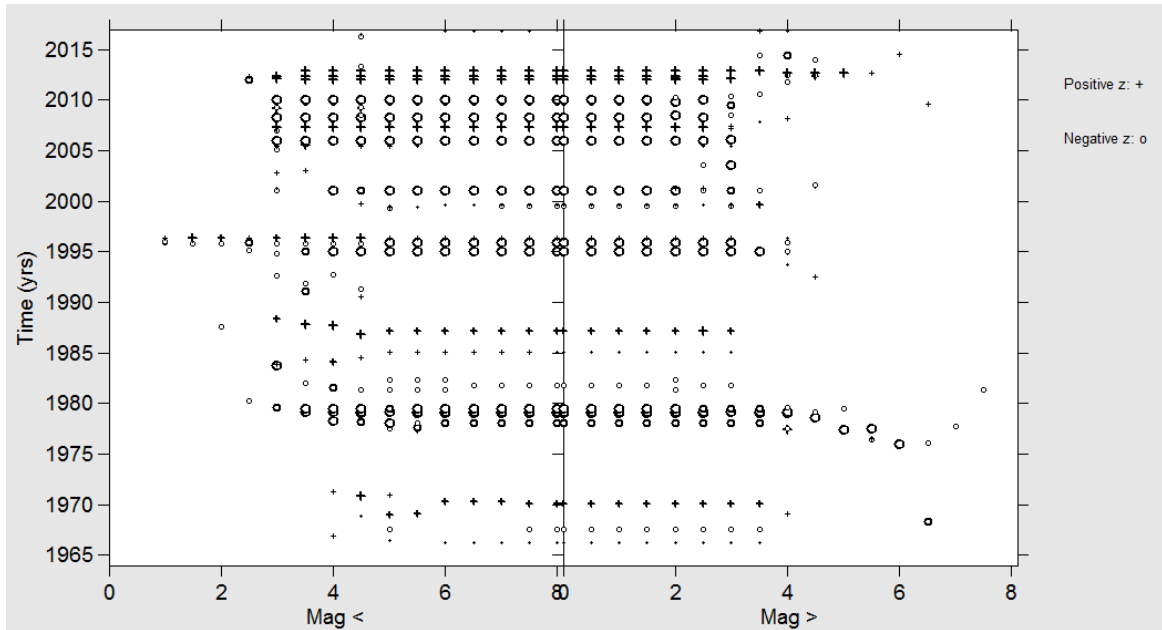
$$Z = \frac{M1 - M2}{\sqrt{\frac{S1^2}{N1} + \frac{S2^2}{N2}}} \quad \text{สมการ (3.4)}$$

- M = ค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา  
 S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 N = จำนวนตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจวัด เลือกตัดในช่วงปี ค.ศ. 1978 - 2012 ด้วยขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 3.3 - 8.1 M ซึ่งมีการตรวจสอบด้วยอัตราเดียวกันอย่างต่อเนื่องมาเป็นตัวแทนของพฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหวได้ (รูป 3.5) หลังจากผ่านกระบวนการกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์ แล้วนั้น จะเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 19,012 เหตุการณ์ จาก 28,733 เหตุการณ์ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Cumulative number of earthquake) และ ช่วงเวลาในแต่ละปีได้ หลังจากกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ จะได้กราฟที่มีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรงมาก(รูป 3.4)

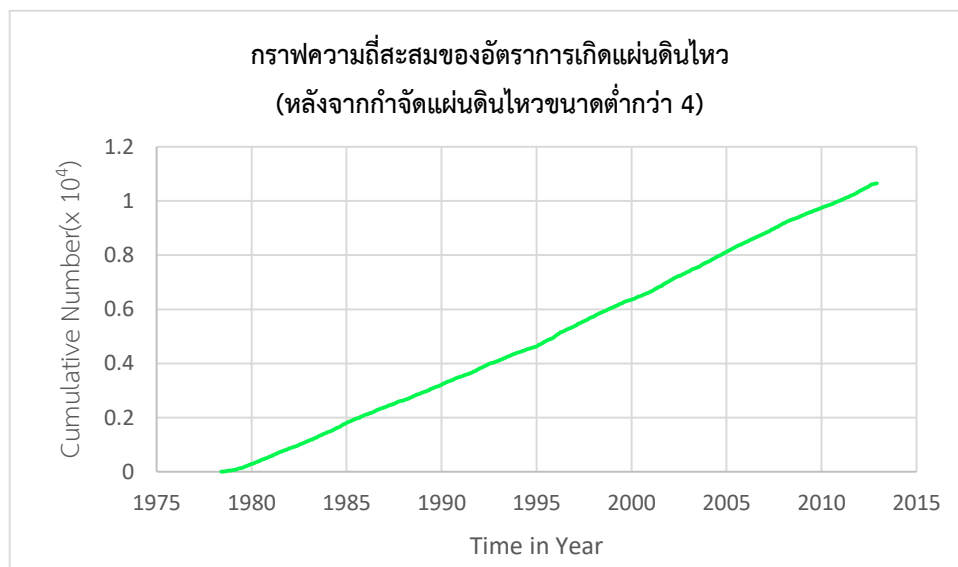


รูป 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมในช่วงเวลาแต่ละปี หลังจากกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจวัด



รูป 3.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดและบันทึกแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Habermann (1983; 1987)

หลังจากการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ต้องเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่จะนำมาคำนวณด้วยขนาด 4 M เนื่องจากแผ่นดินไหวขนาด 4 M ขึ้นไปนั้นสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือนได้ หลังจากปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดแล้วนั้น เหลือข้อมูลแผ่นดินไหว 10,651 เหตุการณ์จาก 19,012 เหตุการณ์ และพบว่ากราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปี จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากที่สุดและเป็นขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการ รูป 3.6

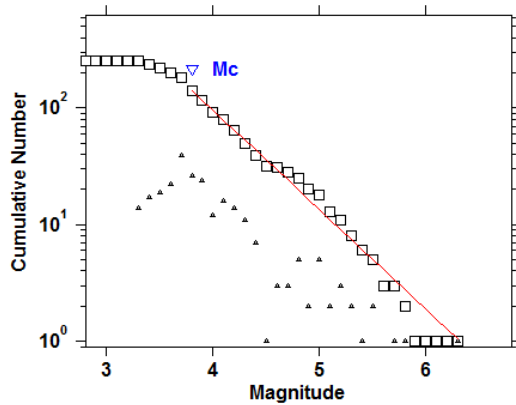


รูป 3.6 กราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปี หลังจากการกำจัดข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีขนาดต่ำกว่า 4 M

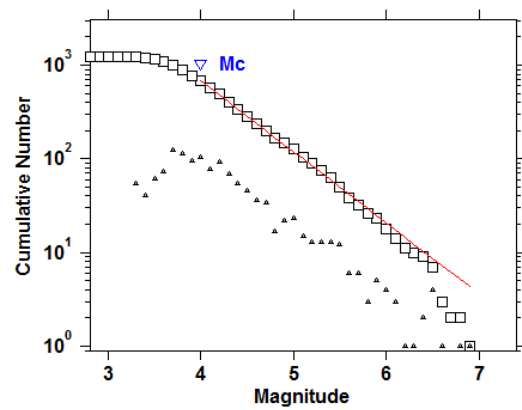
### 3.2 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake activity)

การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้ (Maximum Analysis, DSHA) และการคำนวณการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) ด้วยวิธี b value ทำให้ได้ผลออกมาดังนี้ รูป 3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของแผ่นดินไหว ซึ่งช่วงที่ขนาดแผ่นดินไหวต่ำกว่าค่า  $M_c$  กราฟจะไม่เป็นเส้นตรง จากการวิจัยพบว่าอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหว ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าแผ่นดินไหวต่ำสุดและมีความสมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวมากที่สุดของการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ เรียก Magnitude of completeness ( $M_c$ ) (Woessner และ Wiemer, 2005)

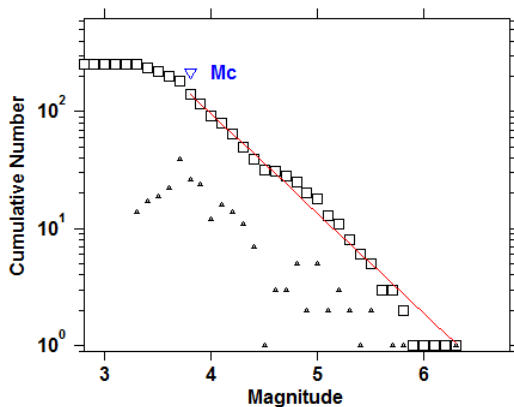
1. Extensional Western North Island Faults



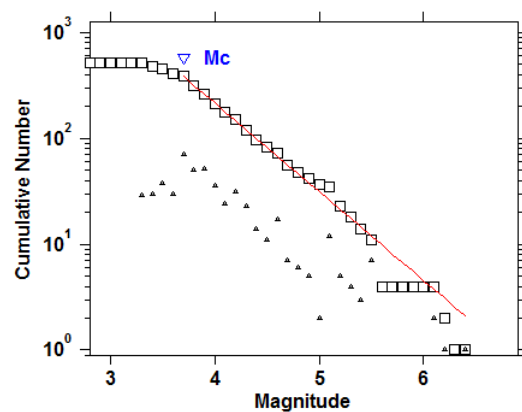
2. Extensional Havre Trough



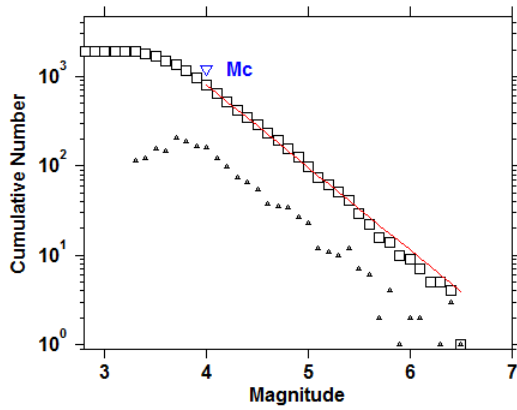
3. K-M F



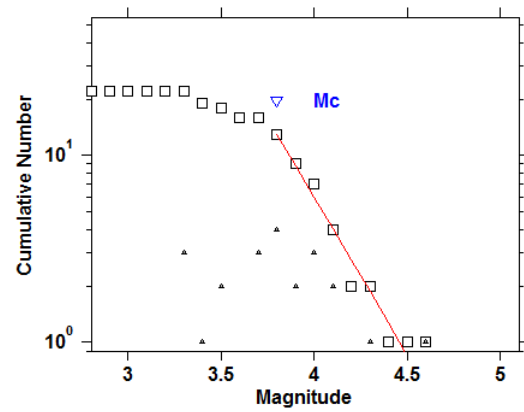
4. North Is Dextral Fault Belt



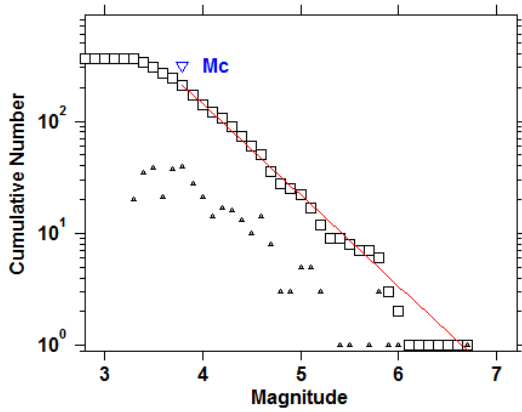
5. Hikurangi Subduction Margin Forearc



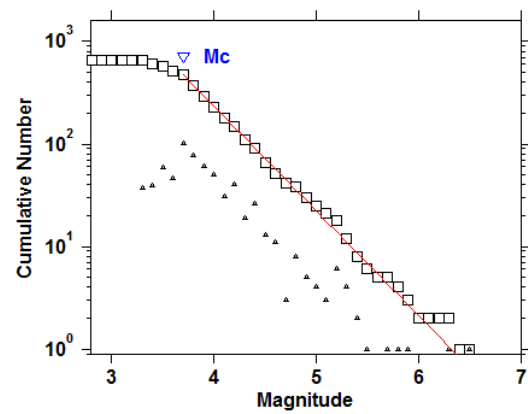
6. Extensional North Mernoo Fault Zone



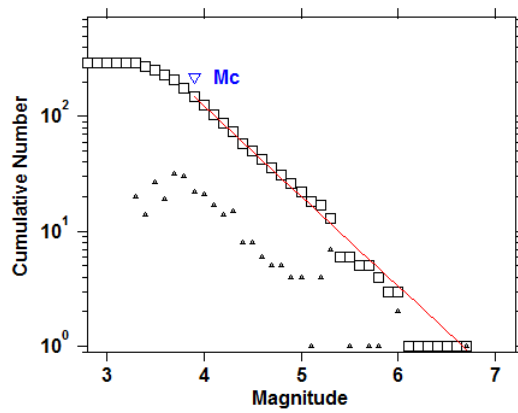
7. Strike - slip MFS



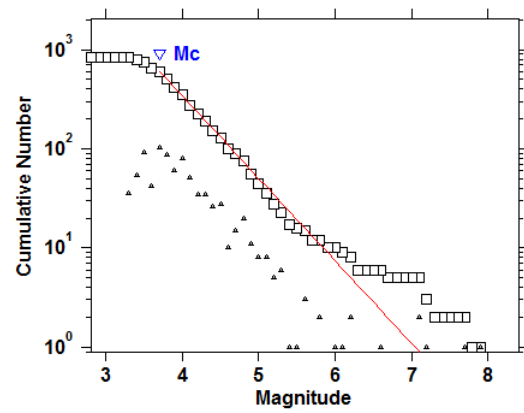
8. Contractional Northwest South Fault



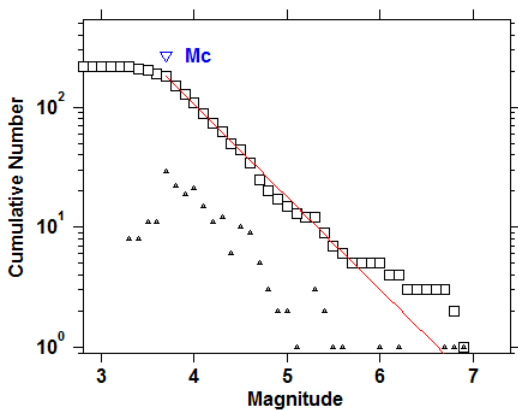
9. Contractional North Canterbury Faults



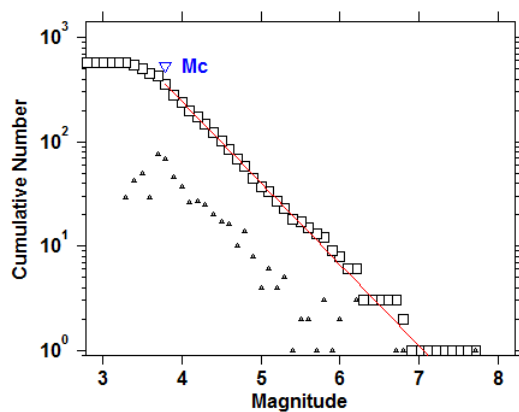
10. Contractional Southern South Island Fault



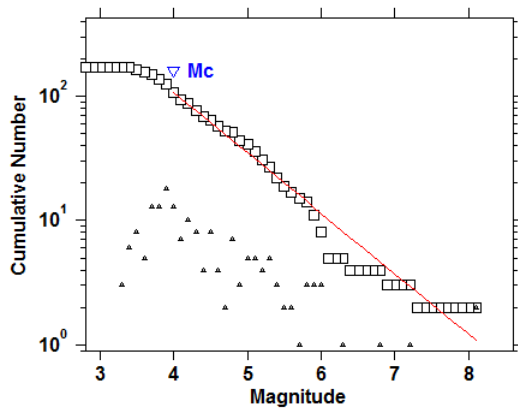
11. Alpine Fault



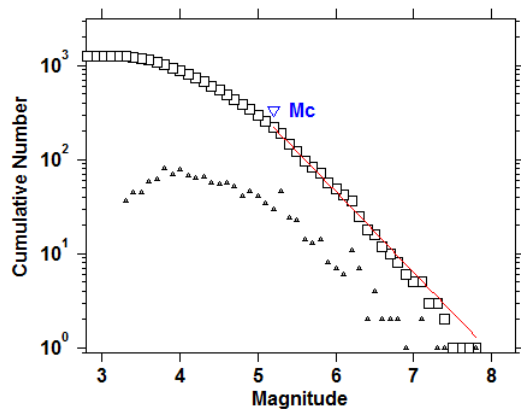
12. Western Fiordland Margin Caswell High



13. Subduction zone 1



14. Subduction zone 2



รูป 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่

ตาราง 3.2 แสดงตัวอย่างตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์

LONG	LAT	A	a (annual)	BSD	B	Alpha	Beta
168.6191	-35.4906	1.80132	0.3054913	0.37644	0.39481	2.021	0.909
168.8691	-35.7406	1.80132	0.3054913	0.37644	0.39481	2.021	0.909
169.6191	-37.9906	2.33924	0.8434113	0.21226	0.45715	6.973	1.053
169.8691	-37.4906	2.33924	0.8434113	0.21226	0.45715	6.973	1.053
166.6191	-36.7406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
166.8691	-36.7406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
166.8691	-36.4906	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
166.8691	-36.2406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
166.8691	-35.9906	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.1191	-36.7406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.1191	-36.4906	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.1191	-36.2406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.1191	-35.9906	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.3691	-36.7406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.3691	-36.4906	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.3691	-36.2406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.3691	-35.9906	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.3691	-35.7406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250
167.6191	-36.7406	2.36393	0.8681013	0.50837	0.54287	7.381	1.250

ตาราง 3.3 แสดงตัวอย่างขนาดแผ่นดินไหว (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (RI) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE) ของประเทศนิวซีแลนด์

LONG	LAT	Mmax in 5 Yr	Mmax in 10 Yr	Mmax in 30 Yr	Mmax in 50 Yr	RI 5	RI 6	RI 7	RI 8	POE 5 in 50 Yr	POE 6 in 50 Yr	POE 7 in 50 Yr	POE 8 in 50 Yr
168.6191	-35.4906	2.5	3.3	4.5	5.0	46	115	287	712	65	35	15	6
168.8691	-35.7406	2.5	3.3	4.5	5.0	46	115	287	712	65	35	15	6
169.6191	-37.9906	3.3	4.0	5.0	5.5	27	79	227	651	83	46	19	7
169.8691	-37.4906	3.3	4.0	5.0	5.5	27	79	227	651	83	46	19	7
166.6191	-36.7406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
166.8691	-36.7406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
166.8691	-36.4906	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
166.8691	-36.2406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
166.8691	-35.9906	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.1191	-36.7406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.1191	-36.4906	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.1191	-36.2406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.1191	-35.9906	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.3691	-36.7406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.3691	-36.4906	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.3691	-36.2406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.3691	-35.9906	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1
167.3691	-35.7406	2.8	3.4	4.3	4.7	70	244	855	2984	50	18	5	1

จากรูป 3.8 แสดงให้เห็นว่าค่า  $a$  มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5 - 6.5 โดยมีค่า  $a$  สูงที่สุดเท่ากับ 6.5 ส่วนค่า  $a$  น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.0 ค่า  $a$  คืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหว ดังนั้นสามารถตีความได้ว่าแหล่งกำเนิดที่มีค่า  $a$  สูงๆ นั้นจะมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหวมากกว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอื่นๆ

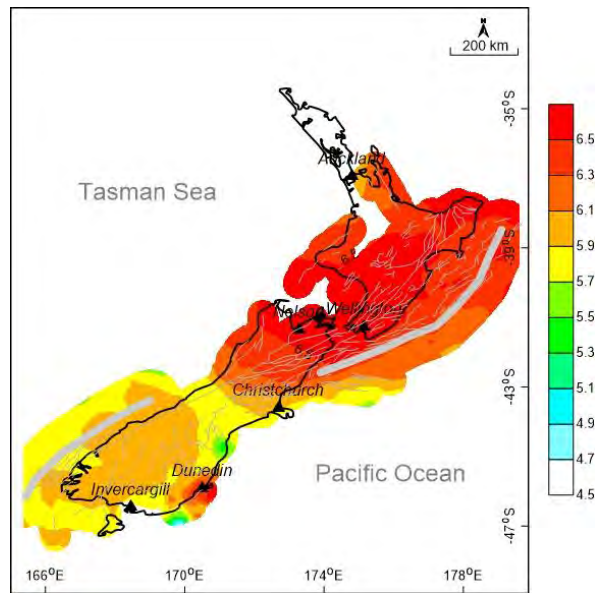
จากรูป 3.9 ค่า  $b$  คือสัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็ก บริเวณที่มีค่า  $b$  สูงแสดงถึงโอกาสการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า  $b$  ต่ำ จากการคำนวณพบว่า  $b$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.6 - 1.3 ค่าที่มากที่สุดของค่า  $b = 1.3 \pm 0.2$  บริเวณเล็กๆ ทางใต้ของเกาะใต้ ส่วนค่า  $b$  ที่ต่ำที่สุดประมาณ  $0.6 \pm 0.02$  บริเวณทางเหนือของเกาะเหนือ

จากรูป 3.10 แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด ( $M_{max}$ ) ในรอบ 5 10 30 และ 50 ปี โดยขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบ 5 ปี จะพบแผ่นดินไหวสูงสุดขนาด 5 (รูป 3.10(ก)) แผ่นดินไหวสูงสุดในรอบ 10 ปี จะพบแผ่นดินไหวสูงสุดขนาด 6 (รูป 3.10(ข)) แผ่นดินไหวสูงสุดในรอบ 30 ปี จะพบแผ่นดินไหวสูงสุดขนาด 6.5 (รูป 3.10(ค)) แผ่นดินไหวสูงสุดในรอบ 100 ปี จะพบแผ่นดินไหวสูงสุดขนาด 7 (รูป 3.10(ง)) ซึ่งพบว่าบริเวณที่จะเกิดแผ่นดินไหวที่กล่าวไปนั้น อยู่บริเวณทางตอนเหนือของเกาะเหนือ

รูป 3.11 แสดงคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (IR) ขนาด 5 6 7 และ 8 สำหรับแผ่นดินไหวขนาด 5 จะมีคาบอุบัติซ้ำมากที่สุดเท่ากับ 23 ปี (รูป 3.11 (ก)) บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะเหนือ แผ่นดินไหวขนาด 6 มีคาบอุบัติซ้ำมากที่สุดเท่ากับ 150 ปี (รูป 3.11(ข)) บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะเหนือ แผ่นดินไหวขนาด 7 มีคาบอุบัติซ้ำมากที่สุดเท่ากับ 1,500 ปี (รูป 3.11(ค)) บริเวณทางใต้ของเกาะเหนือ และแผ่นดินไหวขนาด 8 มีคาบอุบัติซ้ำมากที่สุดเท่ากับ 7,000 ปี บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ ของเกาะเหนือ(รูป 3.11(ง))

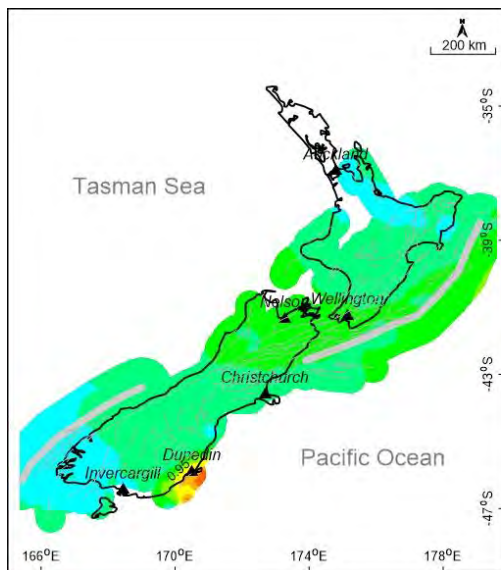
รูป 3.12 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE) ขนาด 5 6 7 และ 8 ในรอบ 50 ปี ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5 มีค่าเท่ากับ 100% (รูป 3.12(ก)) บริเวณตอนกลางของประเทศนิวซีแลนด์ ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6 มีค่าเท่ากับ 99.5% (รูป 3.12(ข)) ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7 มีค่าเท่ากับ 67.5% (รูป 3.12(ค)) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 8 มีค่าเท่ากับ 27% (รูป 3.12(ง)) บริเวณของความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6 7 และ 8 อยู่บริเวณเดียวกันคือ ทางเหนือของ เกาะเหนือ การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวในช่วงระยะเวลา 50 ปี เนื่องจากเวลานี้เป็นช่วงเวลาเฉลี่ยที่มนุษย์มีชีวิตอยู่ และเพื่อลดผลกระทบจากอาคารบ้านเรือนหรือสิ่งก่อสร้างที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์เมื่อเกิดแผ่นดินไหว จึงพิจารณาในช่วงเวลานี้



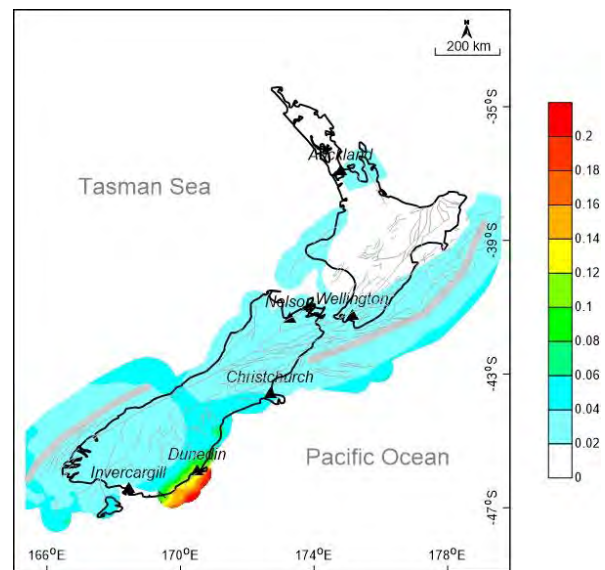


รูป 3.8 แผนที่แสดงค่าการกระจายตัวของค่า a

(ก)

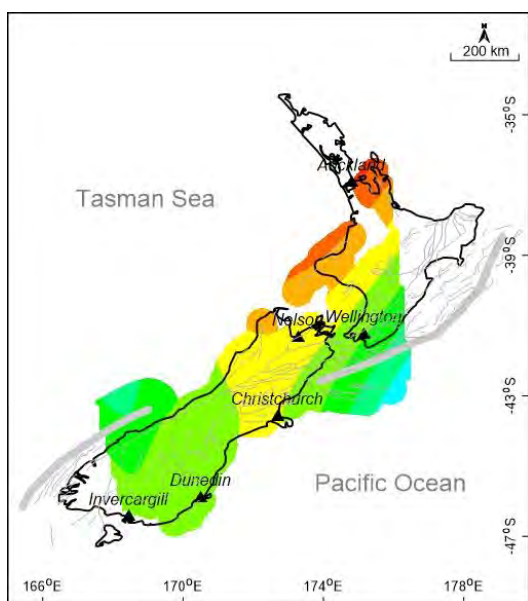


(ข)

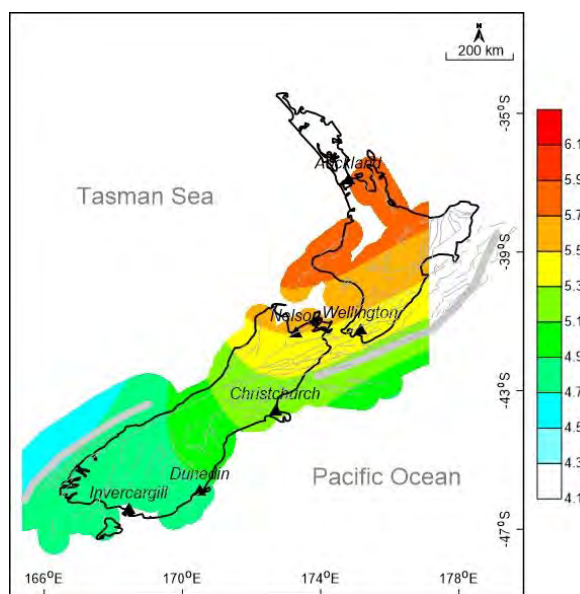


รูป 3.9 (ก) แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตั้งแต่ 0.6 - 1.3, (ข) แผนที่แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (BSD) ของค่า b ตั้งแต่ 0 - 0.2

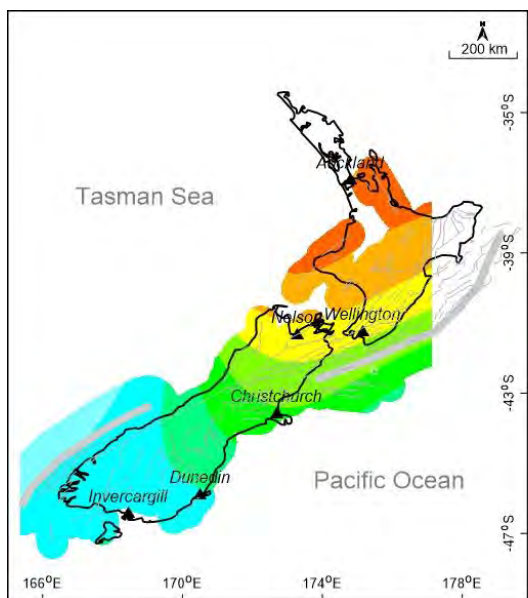
(ก)



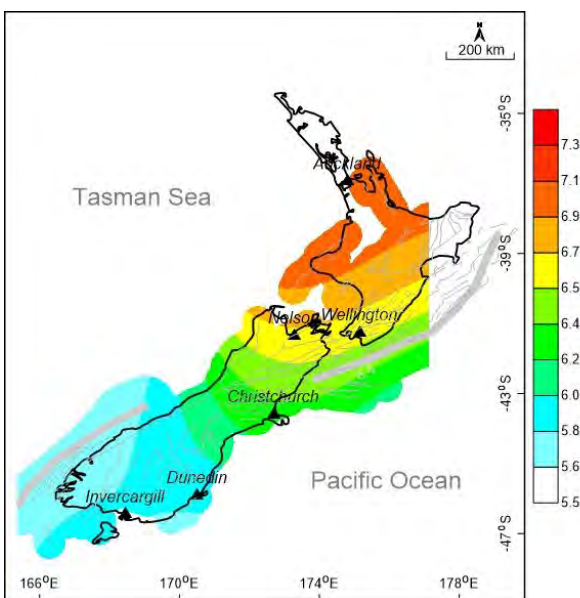
(ข)



(ค)

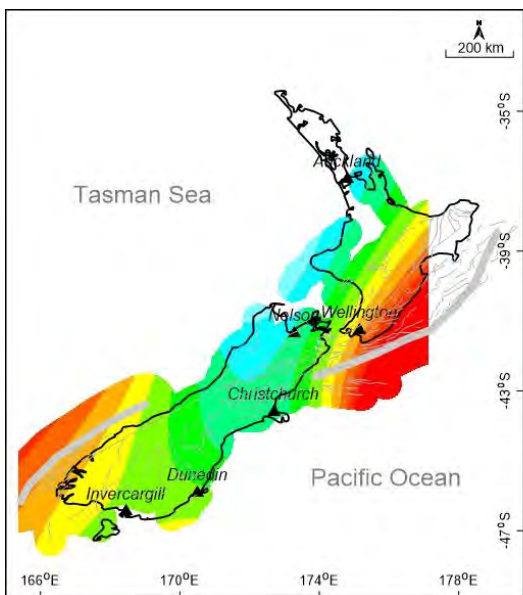


(ง)

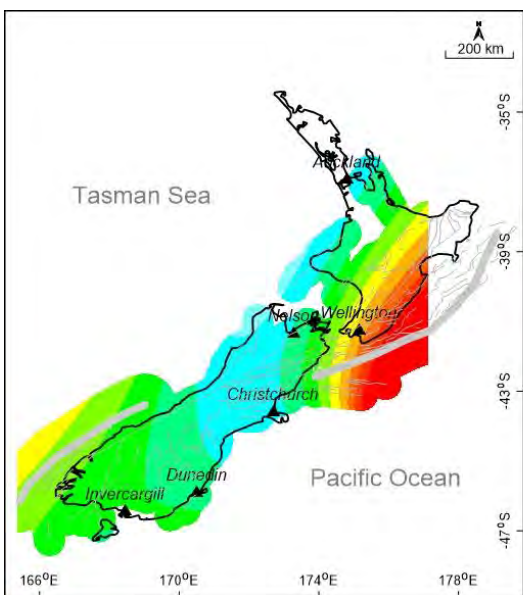


รูป 3.10 แผนที่แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax) ในรอบ (ก) 5 ปี, (ข) 10 ปี, (ค) 30 ปี, (ง) 50 ปี

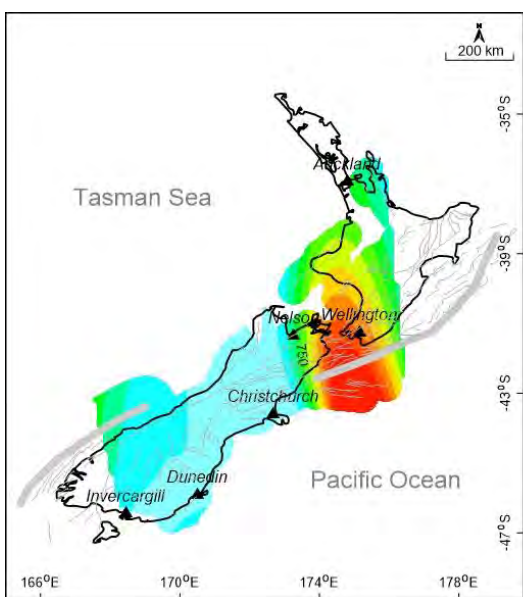
(ก)



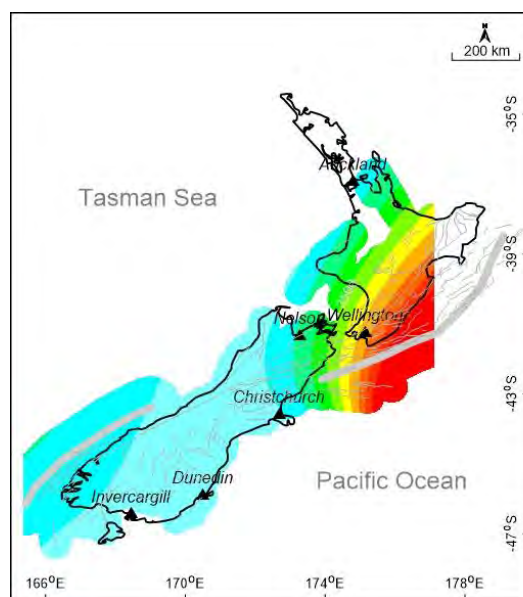
(ข)



(ค)

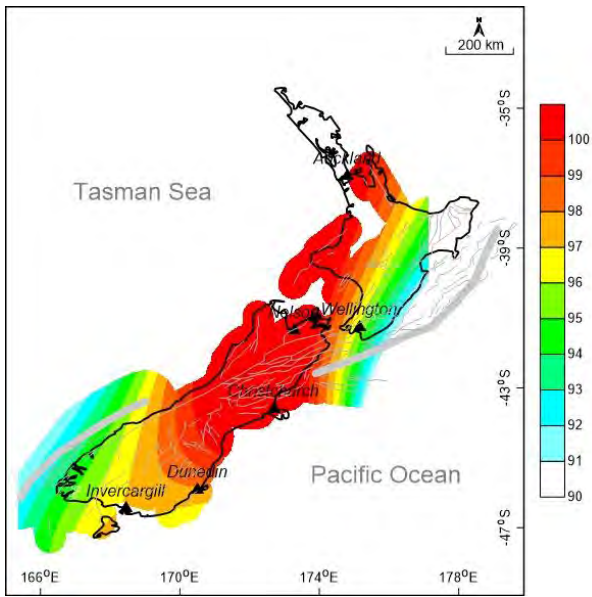


(ง)

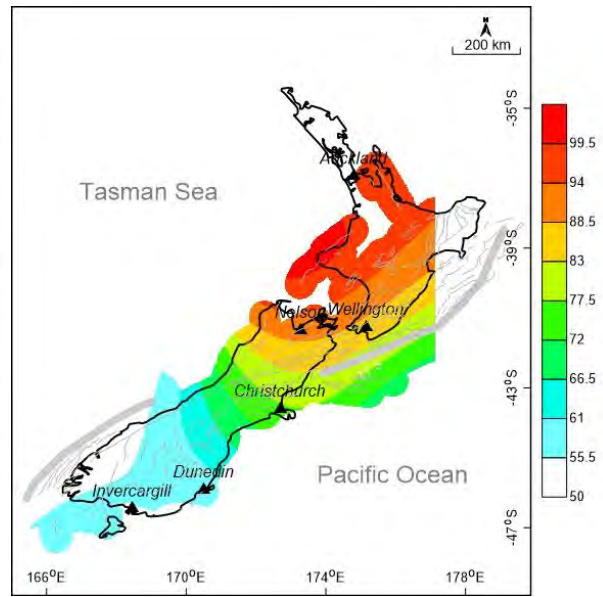


รูป 3.11 แผนที่แสดงคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด Mw = (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7, (ง) 8

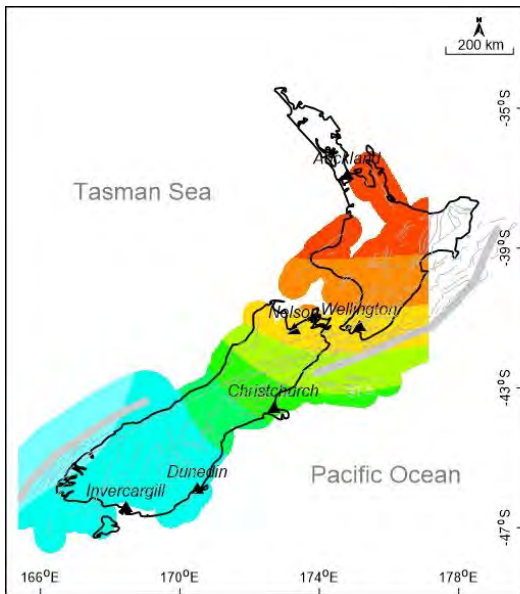
(ก)



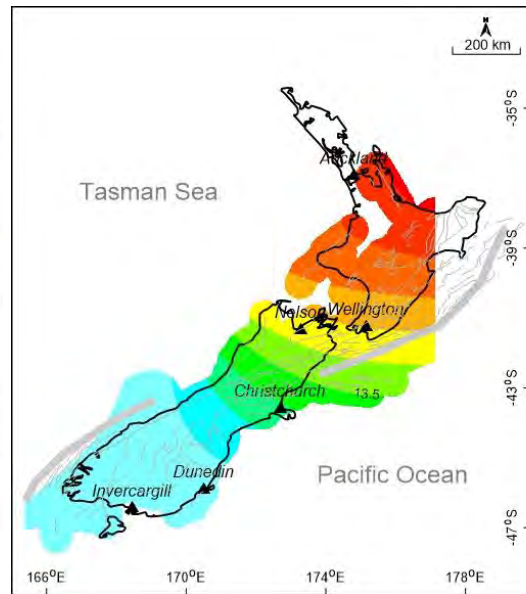
(ข)



(ค)



(ง)



รูป 3.12 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 50 ปีที่มีขนาด (ก) 5, (ข) 6, (ค) 7, (ง) 8

## บทที่ 4 พื้บัตัภัยแผ่นดินไหว (SEISMIC HAZARD)

การประเมินพื้บัตัภัยแผ่นดินไหวเป็นการประเมินระดับอันตรายแผ่นดินไหวโดยประเมินในเชิงปริมาณของระดับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) โดยเป็นอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการประเมินพื้บัตัภัยแผ่นดินไวนิยมใช้กันสองวิธี คือ การประเมินพื้บัตัภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่าและการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น ซึ่งหลักการของทั้งสองวิธีค่อนข้างคล้ายกัน ทั้งนี้หลักการในการประเมินพื้บัตัภัยแผ่นดินไวมมี 3 ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (earthquake source) ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic) และการตอบสนองแรงสั่นสะเทือนในพื้นที่ (site respond)

### 4.1 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Earthquake Sources)

แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกิด ได้แก่ประเภทที่ 1 แผ่นดินไหวที่เกิดจากการปะทุของภูเขาไฟ จะมีตำแหน่งการเกิดแรงสั่นสะเทือนในวงแคบใกล้เคียงกับตำแหน่งภูเขาไฟ จึงถือว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบนี้เป็นแบบจุด (point source) ประเภทที่ 2 หากเกิดในพื้นที่แคบๆ อย่างชัดเจนตามแนวรอยเลื่อนแผ่นดินไหว (earthquake fault) จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบเส้น (line source) ประเภทที่ 3 คือแผ่นดินไหวแบบเชิงพื้นที่ (area source) เรียกว่า เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zone) หมายถึง กรอบพื้นที่ที่เชื่อว่า ภายในกรอบนั้นมีพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวเหมือนหรือคล้ายกันและมีสิทธิ์ที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้ในทุกที่ภายในกรอบหรือเขตกำเนิดแผ่นดินไหวนั้น

### 4.2 ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)

แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะลดทอนลงเมื่อเดินทางออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวผ่านตัวกลางต่างๆ ด้วยระยะทางที่มากขึ้น ซึ่งการลดทอนของแรงสั่นสะเทือนจะลดลงอย่างรวดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางธรณีวิทยาใต้ดินของแต่ละพื้นที่ ซึ่งปัจจุบันมีการนำเสนอสมการหรือแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันมากมายในแต่ละพื้นที่ของโลก สำหรับประเทศไทยแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่เหมาะสมคือแบบจำลองของ McVerry และ คณะ (2006)

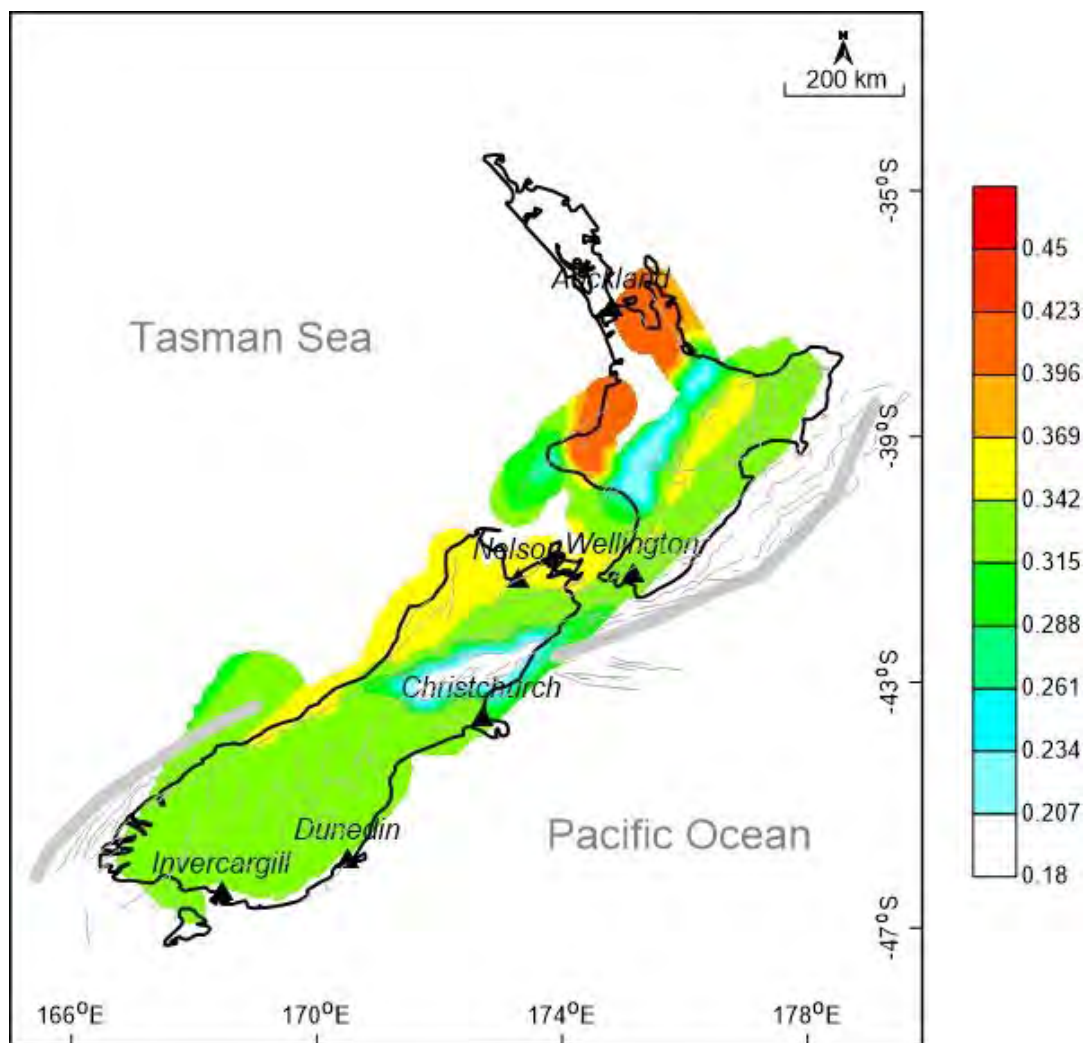
ในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวสามารถทำได้โดยนำข้อมูลทั้งหมดเข้าโปรแกรม CU-PSHA (Pailoplee, 2014) ผ่านโปรแกรม MATLAB และจากการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่าสามารถนำไปประเมินหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 50 ปี รูป 4.1 ส่วนการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็นสามารถนำไปประเมินหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 50 ปี และค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 100 ปี โดยจะกำหนดโอกาสของการเกิดแรงสั่นสะเทือนในรอบปีต่างๆ

รูป 4.2 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 2% ในรอบ 50 ปี 5% ในรอบ 50 ปี 2% ในรอบ 50 ปี 10% ในรอบ 50 ปี ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 2% ในรอบ 50 ปี (รูป 4.2(ก)) มีโอกาสพบแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.24g ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 5% ในรอบ 50 ปี (รูป 4.2(ข)) มีโอกาสพบแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.18g ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 2% ในรอบ 100 ปี (รูป 4.2(ค)) มีโอกาสพบแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.29g ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 10% ในรอบ 100 ปี (รูป 4.2(ง)) มีโอกาสพบแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.18g โดยบริเวณที่มีโอกาสพบมากที่สุดคือ ตอนกลางของเกาะเหนือของประเทศนิวซีแลนด์

#### 4.3 ความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนในรอบ 50 ปี ในแต่ละมาตราเมอร์คัลลีแปลง (Modified Mercalli Intensity Scale, MMI)

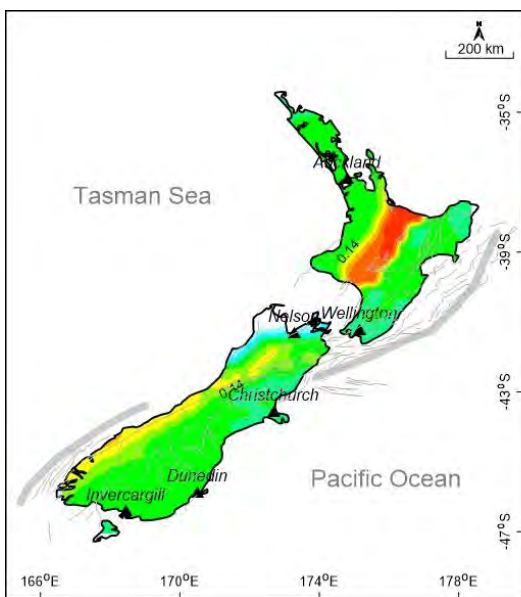
จากรูป 4.3 แสดงความน่าจะเป็นที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนในแต่ละมาตราเมอร์คัลลีแปลง (Modified Mercalli Intensity Scale, MMI) ในรอบ 50 ปี ซึ่งเป็นการจัดลำดับความรุนแรงแสดงตามเลขโรมัน จาก I-XII (1 - 12) โดยแรงสะเทือนระดับ 4 มาตราเมอร์คัลลี มีความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 9% (รูป 4.3(ก)) แรงสะเทือนระดับ 5 มาตราเมอร์คัลลีมีความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.7% (รูป 4.3(ข)) แรงสะเทือนระดับ 6 มาตราเมอร์คัลลีในรอบ 50 ปีมีความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.015% (รูป 4.3(ค)) บริเวณที่มีโอกาสพบแรงสั่นสะเทือนที่กล่าวมาคือ ตอนกลางของเกาะเหนือ

สำหรับแรงสั่นสะเทือนระดับ 7 และ 8 มาตราเมอร์คัลลีนั้นมีความน่าจะเป็นของการเกิดน้อยมากในการคำนวณจึงมีค่าเท่ากับ 0 % จึงไม่สามารถจัดทำเป็นแผนที่เพื่อบอกพื้นที่ที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดมากที่สุดได้ ในการทำแผนที่ความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับ 4 ขึ้นไป ในรอบ 50 ปีนั้น เนื่องจากเมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือน 4 มาตราเมอร์คัลลี จะเริ่มสร้างความเสียหายให้กับอาคาร บ้านเรือน หรือสิ่งก่อสร้างที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ในช่วง 50 ปี ซึ่งเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยของมนุษย์ในการมีชีวิต ทำให้เกิดการประเมินระดับแรงสั่นสะเทือนดังกล่าวทุกๆ 50 ปี เพื่อสร้างความปลอดภัยให้และลดผลกระทบจากแรงสั่นสะเทือนให้มากที่สุด

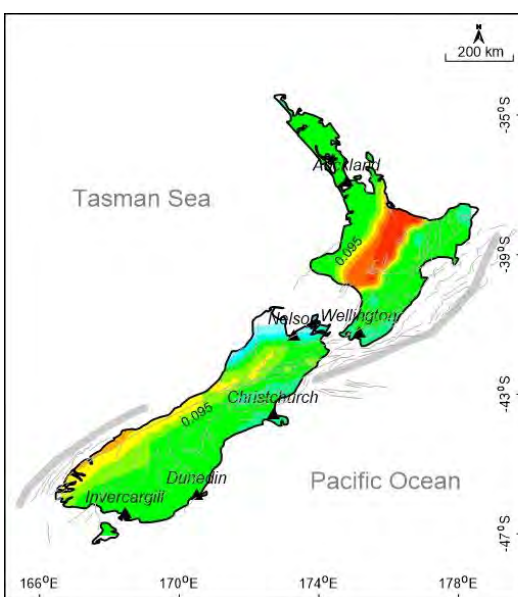


รูป 4.1 แสดงแผนที่ระดับแรงสั่นสะเทือนสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ในแต่ละพื้นที่

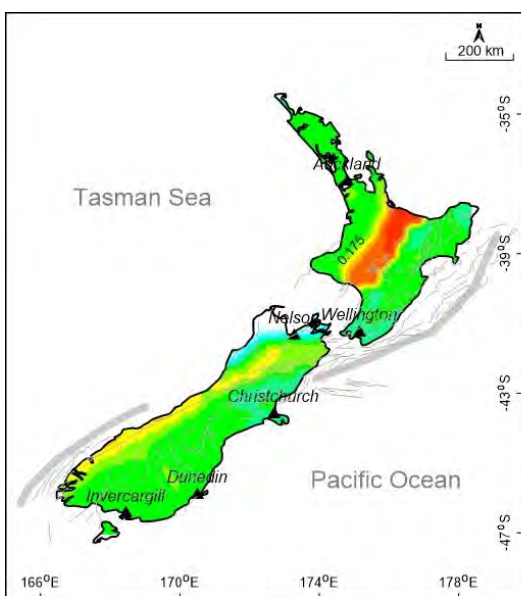
(ก)



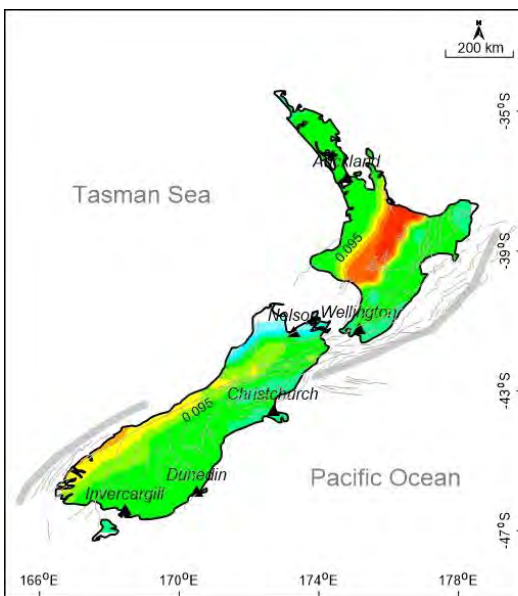
(ข)



(ค)



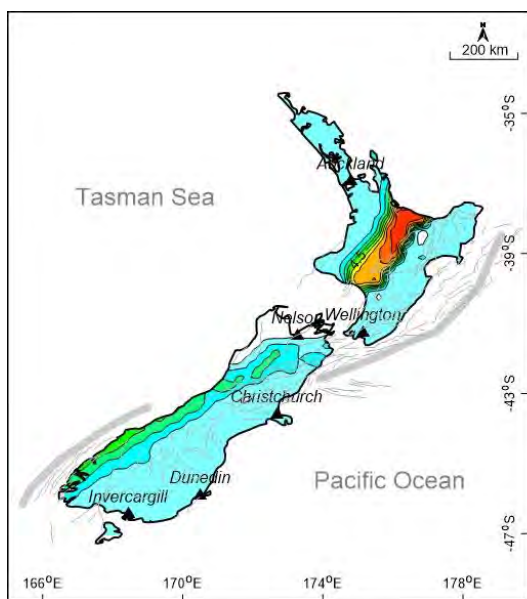
(ง)



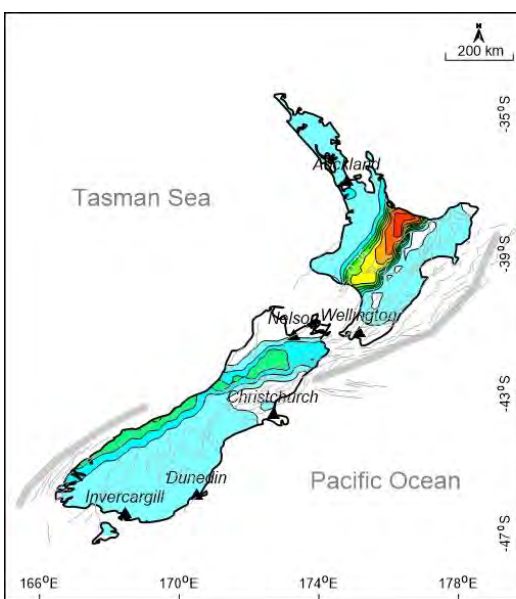
รูป 4.2 แสดงแผนที่ระดับแรงสั่นสะเทือนที่มีความน่าจะเป็นของการเกิด (ก) 2%, (ข) 5% ในรอบ 50 ปี (ค) 2%, (ง) 10% ในรอบ 100 ปี



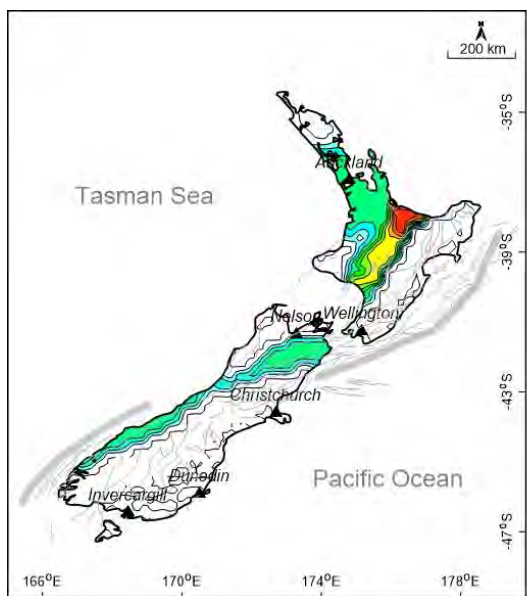
(ก)



(ข)



(ค)



รูป 4.3 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในมาตราเมอร์คัลลี (ก) 4, (ข) 5, (ค) 6 ในรอบ 50 ปี

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล (Discussion and Conclusion)

ในปัจจุบันประเทศนิวซีแลนด์มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อที่อยู่อาศัยหรือสิ่งมีชีวิตได้ เช่น อาคารถล่ม มีผู้เสียชีวิต เป็นต้น จึงต้องมีการประเมินแผ่นดินไหวเพื่อช่วยลดผลกระทบดังกล่าวโดยงานวิจัยนี้จะประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ตามตัวแปรของการประเมินที่กำหนด

จากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ ตั้งแต่การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว การ คัดเลือกแผ่นดินไหวหลัก การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากความผิดพลาดของการตรวจวัด และการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูล พบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มีทั้งหมด 10,651 เหตุการณ์ (ตาราง 5.1)

ตาราง 5.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล

ข้อมูล	จำนวนเหตุการณ์	ช่วงเวลา (ปี)	ขนาดแผ่นดินไหว	ความลึก
ข้อมูลก่อนการปรับปรุง	182,986	1964.0121- 2016.8871	0.1-8.1	0-827
คัดเลือกแผ่นดินไหว	28,733	1964.0121- 2016.8871	0.1-8.1	0-722.5
กำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจาก ความผิดพลาดของการ ตรวจวัด	15,645	1964.0121- 2016.8871	3.3-8.1	0-722.5
คัดเลือกแผ่นดินไหวที่ สมบูรณ์	10,651	1964.0121- 2016.8871	4.0-8.1	0-722.5

จากการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ พบว่าผลการประเมินที่ได้สามารถให้ตัวแปรตามที่กำหนดได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินเฝ้าระวังแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนั้นยังนำไปใช้ในการประเมินในการสร้างอาคารหรือที่อยู่อาศัย ตลอดจนการปรับปรุงเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานต่อไป

การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวโดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Maximum magnitude) คาบอุบัติซ้ำของการเกิด (Recurrence interval) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (Probability of Occurrence) จากการหาค่า a และ b จากสมการของ Gutenberg-Richter relationship (G-R relationship) (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า a คืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวม

ทุกขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 4.5 - 6.5 โดยมีค่า  $a$  สูงสุดอยู่บริเวณเกาะเหนือของประเทศนิวซีแลนด์ ส่วนบริเวณที่มีค่า  $a$  ต่ำที่สุดอยู่ที่ทางใต้ของเกาะใต้ สำหรับค่า  $b$  คือสัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่อแผ่นดินไหวขนาดเล็ก บริเวณที่มีค่า  $b$  สูงแสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า  $b$  ต่ำ จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า  $b$  พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-1.3 และจากสมการ (Yadav และคณะ, 2011) พบว่าสามารถแบ่งพื้นที่ของประเทศนิวซีแลนด์ได้ทั้งหมด 4 บริเวณตามพฤติกรรมของแผ่นดินไหวสูงไปต่ำ ได้แก่ บริเวณทางตอนเหนือของเกาะเหนือ บริเวณทางตอนกลางของประเทศนิวซีแลนด์ บริเวณทางตะวันตกของเกาะใต้ และบริเวณตอนกลางและตอนใต้ของเกาะใต้ ตามลำดับ

การประเมินภัยพิบัติภัยแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการประเมินด้วยวิธีกำหนดค่า (DSHA) เป็นการประเมินแรงสั่นสะเทือนสูงสุดที่สามารถเกิดได้ พบว่าประเทศนิวซีแลนด์สามารถพบแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.45 g บริเวณทางตอนเหนือของเกาะเหนือ และการประเมินด้วยวิธีความน่าจะเป็น (PSHA) เป็นการประเมินโดยกำหนดโอกาสในการเกิดของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบปีต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้ในการประเมินทางด้านวิศวกรรมเพื่อการก่อสร้าง เพื่อช่วยในการวางแผนในการสร้างอาคารที่ทนต่อระดับแรงสั่นสะเทือนในระดับต่างๆ โดยจะกำหนดโอกาสในการเกิดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นและช่วงเวลาคือ โอกาส 2% จะพบแรงสั่นสะเทือนในช่วงเวลา 50 ปี เนื่องจาก 50 ปีจะเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในสิ่งก่อสร้าง จากการประเมินด้วยวิธีความน่าจะเป็นพบว่าทางตอนกลางของเกาะเหนือมีโอกาส 2% ที่จะพบแรงสั่นสะเทือน 0.24 g ในช่วงเวลา 50 ปี

## เอกสารอ้างอิง (REFERENCE)

- Donald L, Wells and Kevin J. Coppersmith. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4 (August 1994): 974-1002.
- 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.
- Gupta, I.D. (2002). The State of the Art in Seismic Hazard Analysis. ISET J. Earthquake Technol. 39(428), 311-346.
- Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1944: Frequency of earthquakes in California. Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188.
- Habermann, R. E. and Wyss, M. 1984. Earthquake triggering during preparation for great earthquakes. Geophysical Research Letters 11: pp.291-294.
- Habermann, R. E. 1987. Man-made changes of Seismicity rates. Bulletin of the Seismological Society of America 77: pp.141-159.
- Idriss, I.M. (1993). Procedures for selecting earthquake ground motions at rock sites. Technical report NIST GCR 93-625, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- Kramer SL (1996) Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall Inc, Upper Saddle River, New Jersey
- Pailoplee S, Sugiyama Y, Charusiri P (2009) Deterministic and probabilistic seismic hazard analyses in Thailand and adjacent areas using active fault data. Earth Planets Space 61:1313–1325
- Pailoplee S, Choowong M (2013) Probabilities of earthquake occurrences in Mainland South East Asia. Arab J Geosci 6:4993–5006
- Pailoplee, S. (2014). Earthquake hazard of dams along the Mekong mainstream. Nat Hazards Natural Hazards: 1813-1827.
- Pailoplee, S, Palasri C. (2014). CU-PSHA: A MATLAB Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Journal of Earthquake and Tsunami: Vol. 8, No. 4 (July 12014)

- 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.
- Soralump, Suttisak et al. Impacts of 2014 Chiangrai Earthquake from Geotechnical Perspectives. EIT-JSCE (2014)
- Stirling et al. (2012). National seismic hazard model for New Zealand. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 102, No. 4, pp. 1514–1542, August 2012, doi: 10.1785/0120110170.
- 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.
- Yadav, R. B. S., J. N. Tripathi, D. Shanker, B. K. Rastogi, M. C. Das, and V. Kumar, 2011: Probabilities for the occurrences of medium to large earthquakes in northeast India and adjoining region. *Nat. Hazards.*, 56, 145-167, doi: 10.1007/s11069-010-9557-y.
- Yıldız, E, Güner, R. (2012). Seismic Hazard Assessment for Çetin Dam. 15 WCEE LISBOA (2012)
- Youngs R, and Coppersmith K. (1985). Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 75, No. 4 (August 1985): 939-964.