

พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทย

นายธนภัทร วงษ์สวัสดิ์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HARZARDS OF PAGODAS IN NORTHERN THAILAND

Mr. Tanapat Wongsawad

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

พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเจดีย์ในภาคเหนือของ  
ประเทศไทย

โดย

นายธนภัทร วงษ์สวัสดิ์

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง

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

วันที่อนุมัติ

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

ลงชื่อ

\_\_\_\_\_

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

นายธนภัทร วงษ์สวัสดิ์ :

พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทย. (EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HARZARDS OF PAGODAS IN NORTHERN THAILAND) อ.ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 43 หน้า

ปัจจุบัน ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมากขึ้น ทั้งอาคารบ้านเรือน และสถาปัตยกรรมต่างๆ เช่น เจดีย์ ดังนั้นโครงการวิทยาศาสตร์นี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยในการประเมินจะใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) และจากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลพบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 1,450 เหตุการณ์ การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวทำได้โดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด มีหน่วยเป็น moment magnitude (Mw) ซึ่งสามารถหาได้จากการประเมินจากความยาวของรอยเลื่อนและคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของ Well และ Coppersmith (1994) และประเมินโดยการหาค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ Gutenberg และ Richter (1944) ส่วนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวจะประเมินเชิงปริมาณในรูปของแรงสั่นสะเทือนสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) โดยทำการประเมินโดยวิธีวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) และจากแนวคิดความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)

จากการประเมินพบว่าขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 6.8-7.1 Mw และในช่วง 50 ปี มีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดขนาด 6 ตามมาตราเมอร์คัลลีแปลง แต่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทยจึงมีโอกาสเสี่ยงภัยต่ำที่จะเกิดการพังทลายจากแผ่นดินไหวในอนาคต

ภาควิชา                      ธรณีวิทยา                      ลายมือชื่อนิสิต \_\_\_\_\_

สาขาวิชา                      ธรณีวิทยา                      ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก \_\_\_\_\_

ปีการศึกษา                      2559

# # 5632715323 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : EARTHQUAKE / EARTHQUAKE HAZARDS / EARTHQUAKE ACTIVITIES

TANAPAT WONGSAWAD : EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HARZARDS OF  
PAGODAS IN NORTHERN THAILAND. ADVISOR : ASSOC.PROF. SANTI PAILOPLEE,  
Ph.D., 43 pp.

Nowadays there are many effects from the earthquake impact to the constructions and architectures for the example the pagodas, hence this senior project is focused the earthquake activities and hazards of pagodas in the northern of Thailand by the earthquake evaluation from Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) database. As a result, the data quality improvement found that there are 1,450 earthquake data.

The evaluation of earthquake activities can do these by finding the maximum earthquake magnitude in the unit of moment magnitude ( $M_w$ ) by using the surface rupture length and calculating form the relation of Wells and Coppersmith (1994) and estimated by using  $a$  and  $b$  from the relation of Gutenberg and Richter (1994) and evaluation of earthquake hazards will represent in term of Peak Ground Acceleration, PGA, estimated by Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA, and the theory of Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA.

From the evaluation found the largest earthquake magnitude is around 6.8 - 7.1  $M_w$  and the period of 50 years, the probability of maximum earthquake is 6 but the probability of occurrence is significantly low, consequently the earthquake hazards probability risk of pagoda in the northern of Thailand is too low to rupture by the future earthquake

Department :            Geology            Student's Signature \_\_\_\_\_

Field of Study :        Geology            Advisor's Signature \_\_\_\_\_

Academic :            2016

## กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

ขอขอบคุณความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำแนะนำเป็นที่ปรึกษาตลอดจนชี้แนะข้อบกพร่อง และช่วยเสนอวิธีการแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงที่ทำโครงการ จนโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ยังขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงการเล่มนี้ ได้แก่คณะอาจารย์ และบุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเพื่อนๆ Geo'57 ที่เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โครงการเล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี มา ณ ที่นี้ด้วย

## สารบัญ

### (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ค
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	จ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฉ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ช
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)	1
1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.3 ระเบียบวิธีวิจัย	15
บทที่ 3 พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE ACTIVITY)	17
3.1 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Seismicity Data and Completeness)	17
3.2 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake activity)	25
บทที่ 4 พบบัติภัยแผ่นดินไหว (SEISMIC HAZARD)	37
4.1 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Earthquake Sources)	37
4.2 ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)	38
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	42
เอกสารอ้างอิง (REFERENCE)	43

## สารบัญรูปภาพ

### (FIGURE CONTENT)

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย	2
รูป 2.1 ตัวแปรสำคัญที่จำเป็นสำหรับการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)	6
รูป 2.2. ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Hull และคณะ, 2003)	7
รูป 2.3 แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Idriss และคณะ, 1993)	8
รูป 2.4 ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (Kramer, 1996)	10
รูป 2.5 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง	13
รูป 2.6 แผนผังขั้นตอนการศึกษาโครงการ	15
รูป 3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมาตราขนาดแผ่นดินไหวต่างๆ	20
รูป 3.2 แสดงผลการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974)	21
รูป 3.3 ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	22
รูป 3.4 ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์	23
รูป 3.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดและบันทึกแผ่นดินไหวตาม แนวคิดของHabermann (1983; 1987)	24
รูป 3.6 กราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการปรับปรุงข้อมูลแล้ว	24
รูป 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่	25
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆในรอบ50 ปี ของเจดีย์ที่ศึกษา	34
รูป 4.1 แผนที่แผ่นดินไหวใหญ่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แสดง รอยเลื่อนแผ่นดินไหว (earthquake fault) ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีตและนำเสนอโดย Pailoplee และคณะ (2009) เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่นำเสนอโดย Pailoplee และ Choowong (2013)	38
รูป 4.2 กราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Earthquake Hazard Curve) ของเจดีย์ใน ประเทศไทย	41



## สารบัญตาราง

### (TABLE CONTENT)

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงตัวแปรต่างๆในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	12
ตาราง 2.2 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี DSHA	12
ตาราง 2.3 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี PSHA	12
ตาราง 2.4 แสดงผลการประเมินพิบัติภัยของเขื่อน 19 เขื่อนรอบแม่น้ำโขง	14
ตาราง 3.1 ตัวอย่างฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว	18
ตาราง 3.2 แสดงตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่สำคัญ	27
ตาราง 3.3 แผ่นดินไหวสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ในรอบปีต่างๆ	30
ตาราง 3.4 คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวในขนาดต่างๆ	31
ตาราง 3.5 ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆในรอบ 50 ปี	32
ตาราง 4.1 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแต่ละมาตราเมอร์คัลลีแปลงในรอบ 50 ปี	39
ตาราง 4.2 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 25 ปีและ 50 ปี ในแต่ละเปอร์เซ็นต์	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 สมการประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด และปี	5
สมการ 2.6 สมการการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	9
สมการ 2.7 สมการประเมินความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละระดับ	10
สมการ 2.8 สมการประเมินความน่าจะเป็นจากระยะทาง ขนาด และความไม่แน่นอนของการลดทอนแรงสั่นสะเทือน	11
สมการ 3.1 สมการความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (mb) และ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์(Mw)	19
สมการ 3.2 สมการความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Ms) และ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw)	19
สมการ 3.3 สมการความสัมพันธ์ ของขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (MI) และ ขนาด แผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Mb)	19
สมการ 3.4 สมการการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว(Z)	23

# บทที่ 1

## บทนำ (INTRODUCTION)

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

ปัจจุบันมีข่าวที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจดีย์ถล่มที่มาควบคู่กับข่าวของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่อยู่บ่อยครั้ง เช่น เจดีย์หลวงจังหวัดเชียงใหม่ที่ถล่มจากแผ่นดินไหวในปีพ.ศ. 2088 วัดร่องขุ่นที่เสียหายจากแผ่นดินไหวปีพ.ศ. 2557 และล่าสุดเมื่อเดือนสิงหาคมปีพ.ศ. 2559 เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่ประเทศพม่าทำให้เจดีย์ที่เมืองพุกาม อายุกว่า 1,000 ปีถล่มลงมา จะเห็นว่าแผ่นดินไหวได้สร้างความเสียหายกับมรดกอันล้ำค่าทางศาสนาและวัฒนธรรมมาหลายครั้ง ข้าพเจ้าจึงสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเจดีย์ในไทย โดยจะศึกษาที่ภาคเหนือของประเทศไทย เพราะเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวสูงที่สุดตาม แผนที่บริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของไทย โดยกรมทรัพยากรธรณี ปีพ.ศ. 2545 อีกทั้งยังเป็นบริเวณที่มีเจดีย์ที่มีความสำคัญอยู่ซึ่งก็คือพระธาตุเจดีย์ โดยข้าพเจ้าหวังว่าข้อมูลส่วนนี้จะสามารถนำไปให้กับกรมศิลปากร หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อวางแผนการสร้างหรือป้องกันโครงสร้างของเจดีย์เพื่อลดผลกระทบจากแผ่นดินไหว

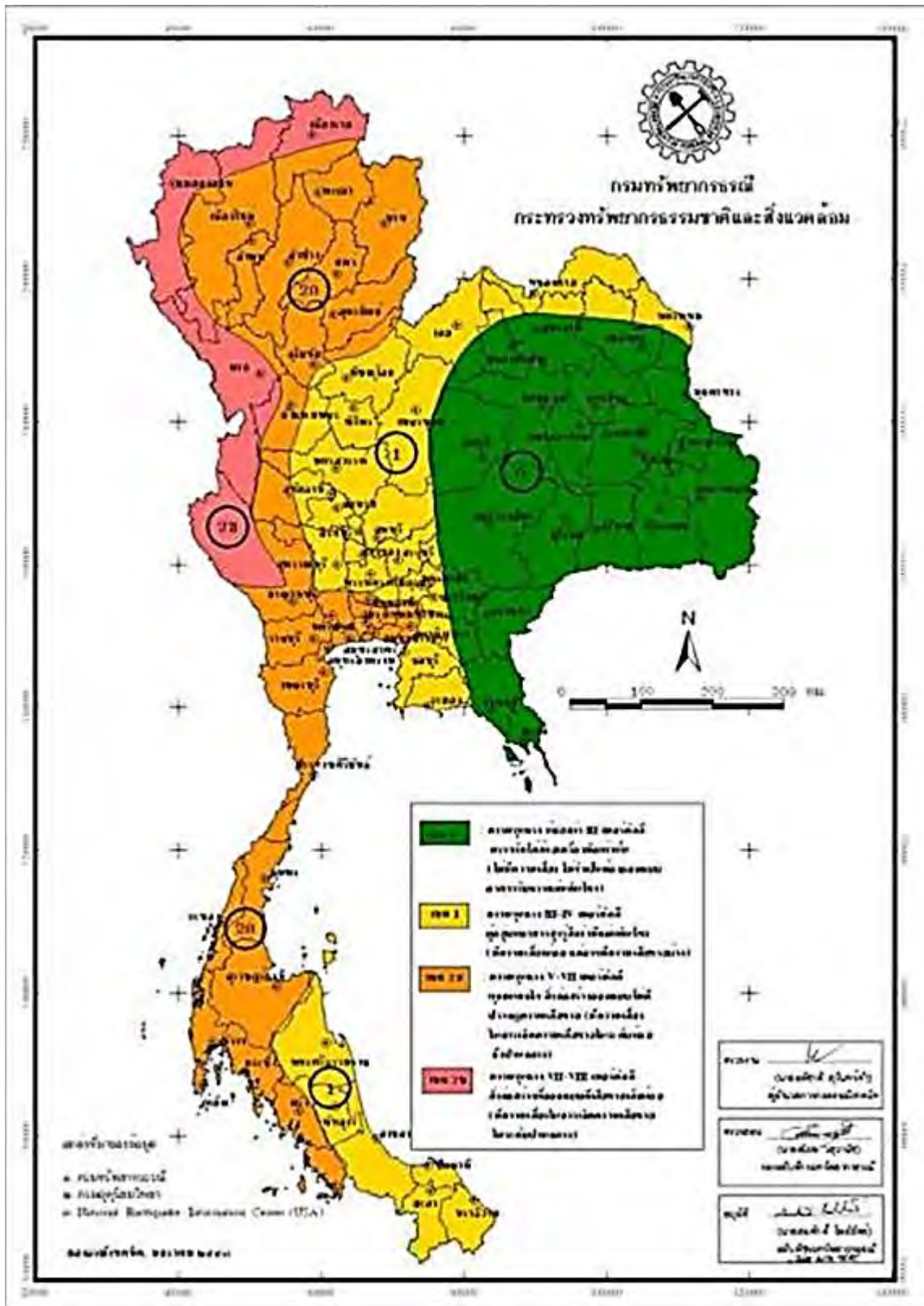
### 1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อประเมินระดับพิบัติภัยของเจดีย์เมื่อเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้วิธีการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหว

### 1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

ศึกษาเจดีย์ที่เป็นพระธาตุเจดีย์ เนื่องจากเป็นเจดีย์ที่มีความสำคัญสูง เพราะสิ่งก่อสร้างบรรจุพระบรมธาตุของพระพุทธเจ้า และเลือกศึกษาในภาคเหนือของประเทศไทยเพราะ มีพระธาตุเจดีย์ที่มีความสำคัญอยู่มาก และมีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวสูงที่สุดในประเทศไทย ตามแผนที่พื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวของกรมทรัพยากรธรณี ปี 2545

([http://img.tnews.co.th/large/tnews\\_1430137258\\_3682.jpg](http://img.tnews.co.th/large/tnews_1430137258_3682.jpg))



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย(กรมทรัพยากรธรณี, 2545)

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)

1. สามารถประเมินแรงสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นกับเจดีย์ ในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหวได้
2. ช่วยให้สามารถวางแผนในการสร้างหรือปรับปรุงพัฒนาเจดีย์เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและประเมินพิบัติภัยของเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 แนวคิดได้แก่ การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Activity) และพิบัติภัยแผ่นดินไหว ของเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทย (Seismic Hazard)

##### 2.1.1 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Activity)

การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum magnitude) โดยใช้วิธีการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA)

กรณีที่กำหนดเป็นเขตกำเนิดแผ่นดินไหว จะใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยบันทึกได้ว่าเกิดในแต่ละเขตกำเนิดแผ่นดินไหวโดยใช้การตรวจวัดจาก เครื่องมือตรวจวัด ( Instrumental Records)

กรณีที่กำหนดเป็นแนวรอยเลื่อน สามารถประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดได้จากความยาวของรอยเลื่อนและคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของ Well และ Coppersmith (1994)

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

M = ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด ( $M_{max}$ )

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 และ  $M$

จากสมการ 2.2 สามารถหาค่า  $a$  และ  $b$  ซึ่งเป็นค่าคงที่และสามารถนำมาใช้เพื่อหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลา  $t$  ที่พิจารณา ในสมการ 2.3 ได้

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

$U_t$  = ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax)

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

$\beta$  =  $b \ln(10)$

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  $N_M$  และสามารถประเมิน ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (Probability of Occurrence) ในแต่ละขนาดและปีที่พิจารณาได้จากค่า  $\alpha$  และ  $\beta$  ดังสมการ (2.5) (Yadav และคณะ, 2011)

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

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

2.1.2 การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Analysis, SHA)  
(Kramer, 1996)

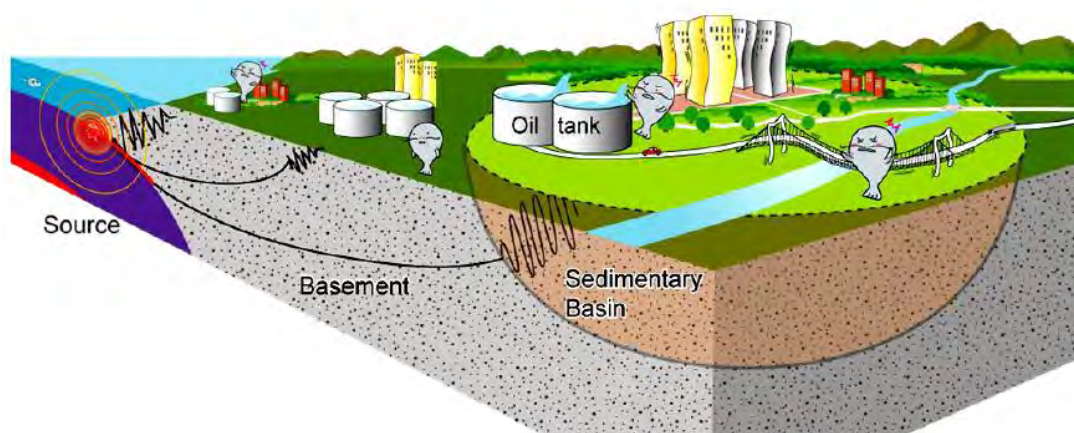
การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวเป็นการประเมินระดับอันตรายแผ่นดินไหว โดยประเมินในเชิงปริมาณของระดับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) โดยเป็นอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA)

หลักการในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวมี 3 ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ (รูป 2.1)

**แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (earthquake source)** โดยพิจารณาทั้งรูปร่างและพฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อาจส่งผลกระทบต่อด้าน แรงสั่นสะเทือนต่อพื้นที่ศึกษาใดๆ นักแผ่นดินไหววิทยาจะต้องขยายพื้นที่กว้างออกไปอย่างน้อย 300 กิโลเมตร (Gupta และคณะ 2002)

**ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)** ปกติแรงสั่นสะเทือน จากแผ่นดินไหว จะลดทอนลงเมื่อเดินทางออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ผ่านตัวกลางต่างๆ ด้วย ระยะทางที่มากขึ้น ซึ่งการลดทอนของแรงสั่นสะเทือนจะลดลงเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะ ทางธรณีวิทยาใต้ดินของแต่ละพื้นที่

**การตอบสนองแรงสั่นสะเทือนในพื้นที่ (site respond)** ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้คลื่น แผ่นดินไหวมีความแปรผันคือ คุณลักษณะต่างๆ ของดินหรือตะกอนที่ปกคลุมในแต่ละพื้นที่



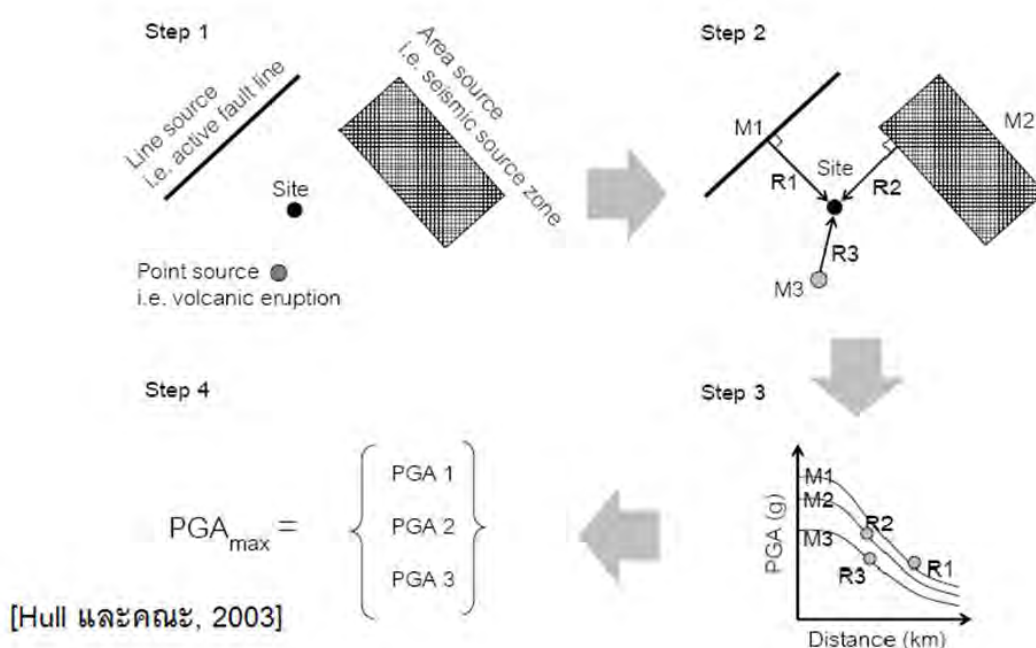
รูป 2.1 ตัวแปรสำคัญที่จำเป็นสำหรับการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)

ปัจจุบันแนวคิดในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวมี 2 วิธีโดยนำเข้าข้อมูลที่คล้ายกันแต่ ต่างกันที่กระบวนการคิดและวัตถุประสงค์ในการประเมิน

- การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) (Hull และคณะ, 2003)



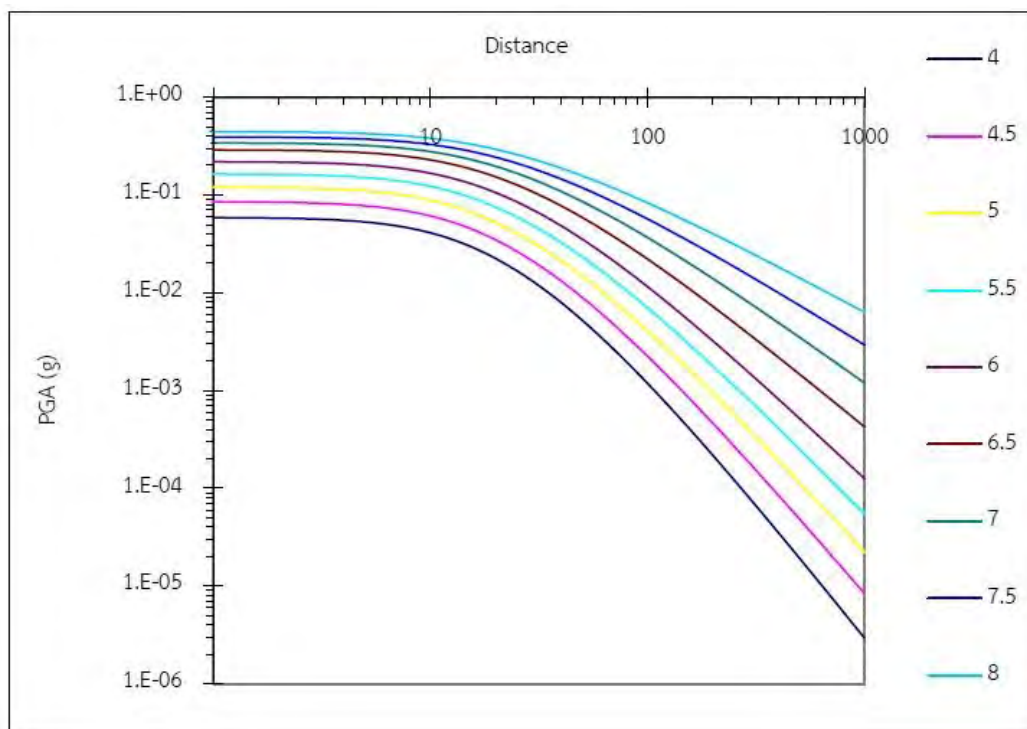
เป็นแนวคิดการประเมินอันตรายสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (worst case scenario) โดยพิจารณาจากแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum Credible Earthquake, MCE) และระยะใกล้ที่สุดที่สามารถเกิดได้ (Shortest source-to-site distance) ซึ่งแนวคิดนี้เป็นที่นิยมในการประเมินในพื้นที่ที่มีความสำคัญ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์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



รูป 2.2. ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Hull และคณะ, 2003)

1. กำหนดตำแหน่งและจำแนกรูปร่างของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ตลอดจนประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละแหล่งกำเนิดดังกล่าว
2. ประเมินระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา
3. นำตัวแปรขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้และระยะทางสั้นที่สุดระหว่างแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา มาประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยใช้แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (strong ground-motion attenuation model)

ในประเทศไทยเลือกใช้แบบจำลองของ Idriss และคณะ (1993) ดังแสดงในรูป 2.3 และใช้สมการ (2.6) เพื่อหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น



รูป 2.3 แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Idriss และคณะ, 1993)

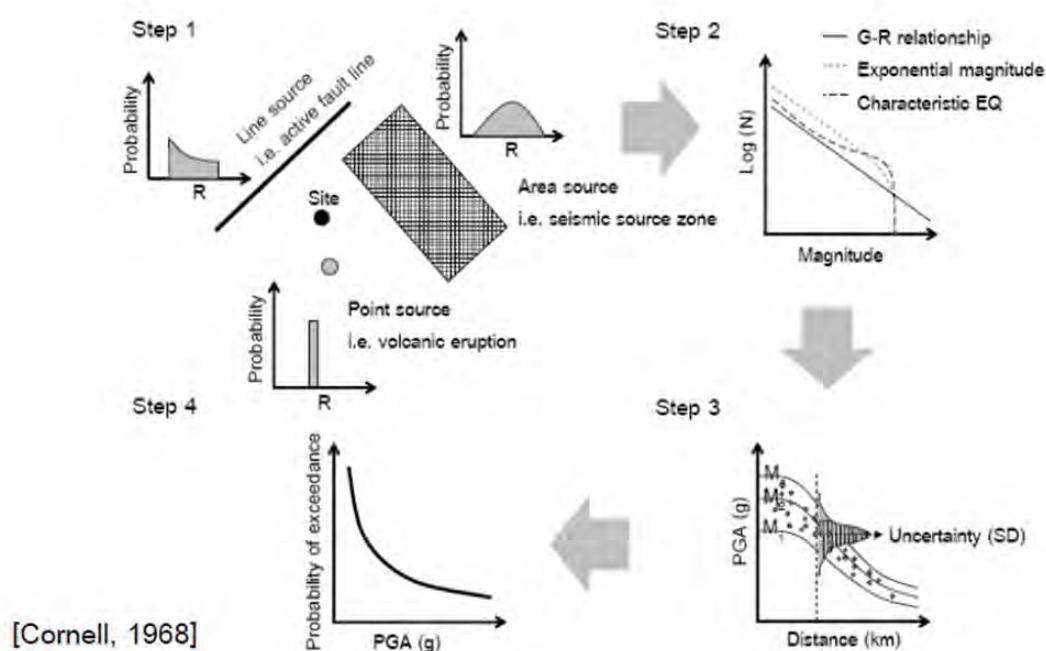
$$\ln y_{driss} = [\alpha_0 + \exp(\alpha_1 + \alpha_2 M)] + [\beta_0 - \exp(\beta_1 + \beta_2 M)] \ln(R + 20) + aF$$

สมการ (2.6)

4. เปรียบเทียบระดับแรงสั่นสะเทือน ที่ประเมินจากจุดศึกษา เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ และคัดเลือกระดับแรงสั่นสะเทือนสูงสุด มาเป็นตัวแทนของแรงสั่นสะเทือนที่จุดศึกษามีโอกาสได้รับผลกระทบ

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

เป็นการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยใช้แนวคิดของโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นในการวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด ความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษาและความน่าจะเป็นจากความไม่แน่นอนของการลดทอนแรงสั่นสะเทือน โดยวิธีการประเมินประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (รูป 2.4)



รูป 2.4 ขั้นตอนการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (Kramer, 1996)

1. จำแนกรูปร่างของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและประเมินระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา โดยอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นในแต่ละระยะทาง

2. ประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดโดยใช้สมการ Gutenberg-Richter relationship สมการ (2.2)

3. ประเมินความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละระดับโดยนำค่าระยะทางและขนาดแผ่นดินไหวที่กำหนดไว้ในแต่ละช่วงย่อย โดยใช้สมการ (2.7) ซึ่งจะทำให้ได้ผลของค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย และความน่าจะเป็นที่แรงสั่นสะเทือนจะมีระดับเท่ากับหรือมากกว่าค่าเฉลี่ยระดับต่างๆ

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

สมการ (2.7)

$P[A(m, r) \geq A_0 | m, r ]$  = ความน่าจะเป็นของการเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับ  $A_0$

$\phi$  = การกระจายตัวของความน่าจะเป็นแบบปัวซองก์

$A_0$  = ระดับแรงสั่นสะเทือนที่สนใจ

$\overline{PHA}$  = ค่าเฉลี่ยของระดับแรงสั่นสะเทือน

$\sigma$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความไม่แน่นอนของ

สมการการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

4. สร้างกราฟพิบัติภัย (hazard curve) ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็น(แกนตั้ง) ของการเกิดแรงสั่นสะเทือนระดับต่างๆ (แกนนอน) ซึ่งประเมินความน่าจะเป็นรวมจากทั้งระยะทาง ขนาดแผ่นดินไหว และความไม่แน่นอนของลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน โดยใช้สมการ (2.8)

$$\lambda(A \geq A_0) = \sum_{i=1}^{Ns} V_i \iint f_{Ri}(r) f_{Mi}(m) P[A(m, r) \geq A_0 | m, r] dr dm$$

สมการ (2.8)

$\lambda(A \geq A_0)$	=	ความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนระดับต่างๆ
$f_{Ri}(r)$	=	ความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา
$f_{Mi}(m)$	=	ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวแต่ละขนาด
$P[A(m, r) \geq A_0   m, r]$	=	ความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวขนาด $m$ ที่เกิดขึ้น โดยห่างจากพื้นที่ศึกษาเป็นระยะทาง $r$ ซึ่งประเมินจากลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือนในแต่ละพื้นที่
$V_i$	=	อัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมต่อปีของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว $i$ จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้งหมด $Ns$ แหล่ง

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yildiz และ Guner (2012) ประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อน Cetin ประเทศตุรกี ตามปัจจัยของ ICOLD 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 มีพื้นที่ศึกษาอยู่ทางตะวันออกของจังหวัด Anatolian ประเทศตุรกี รอยเลื่อนที่ทำให้เกิด MCE ที่มีขนาด  $M_w = 6.8$  คือ รอยเลื่อน Damli-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 แสดงตัวแปรต่างๆในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Yildiz และ Guner, 2012)

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

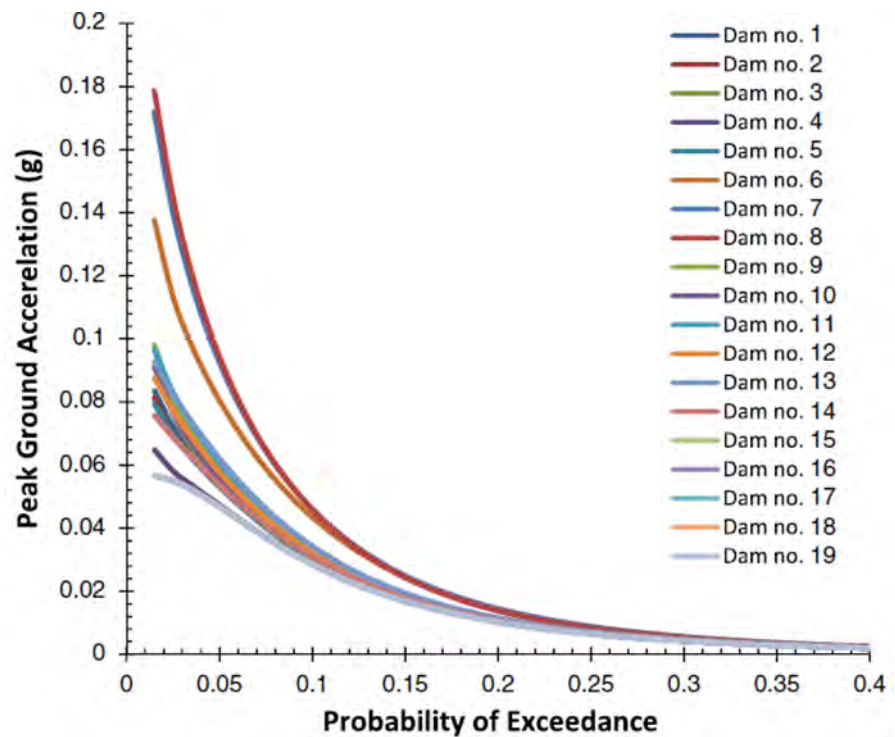
ตาราง 2.2 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี DSHA (Yildiz และ Guner, 2012)

	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 (Yildiz และ Guner, 2012)

	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) ประเมินพิบัติภัยของเขื่อนรอบแม่น้ำโขงซึ่งศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) และ SHA และสอดคล้องกับปัจจัยของ ICOLD ผลการศึกษาพบว่า MDE มีค่า 0.09 – 0.44 g โดยเขื่อนหลวงพระบาง เขื่อนไชยะบุรี และ เขื่อนปากลาย มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนมากที่สุด ส่วนเขื่อนบ้านกุ่ม เขื่อนลาดส้ว เขื่อนดอนสะโฮง เขื่อนสตริงตรง และ เขื่อนสมโบร์ ปลอดภัยจากพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยรูป 2.5 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง และตาราง 2.4 แสดงผลการศึกษา



รูป 2.5 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง (Pailoplee, 2014)

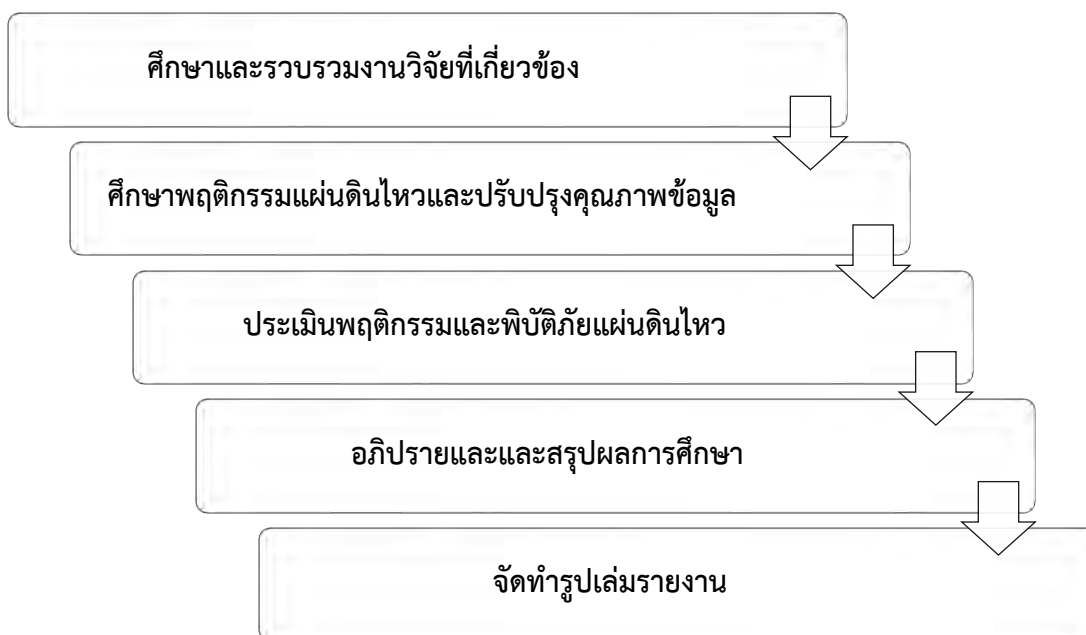
ตาราง 2.4 แสดงผลการประเมินพิบัติภัยของเขื่อน 19 เขื่อนรอบแม่น้ำโขง (Pailoplee, 2014)

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



## 2.3 ระเบียบวิธีวิจัย



รูป 2.6 แผนผังขั้นตอนการศึกษาโครงการ

1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทางทฤษฎีและพื้นที่ศึกษา
2. ปรับปรุงคุณภาพข้อมูลและศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Characteristic)

การศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Records) ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นย้อนหลังได้ถึง 100 ปี เรียกว่า ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue) ซึ่งในแต่ละพื้นที่อาจวัดได้ค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องมือและมาตรฐานในการตรวจวัด ขั้นตอนการคัดเลือกและปรับปรุงคุณภาพข้อมูลมีดังนี้

### 2.1 รวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

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

### 2.2 ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

- แปลงหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน นิยมใช้เป็น  $M_w$

### 2.3 คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

- ใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) เพื่อคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง

### 2.4 ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

- ตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจาก Habermann (1983; 1987) แล้วนำไปปรับแก้ให้ได้ฐานข้อมูลที่มีความต่อเนื่องมากที่สุด

3. ประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวโดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Maximum magnitude) มีหน่วยเป็น Mw 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) โดยพิจารณาจากขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดได้ และ ระยะใกล้ที่สุดที่สามารถเกิดได้ (Shortest source-to-site distance) ใช้สมการการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Strong ground-motion attenuation Relationship) (Idriss และคณะ, 1993) เพื่อหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

#### 4.2 การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธี PSHA

- โดยประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดดังวิธีที่แสดงในขั้นตอนการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็นข้างต้น และใช้สมการ (2.2) (2.8) (2.9)

5. อภิปรายและและสรุปผลการศึกษา

6. จัดทำรูปเล่มรายงาน

## บทที่ 3

### พฤติกรรมการณ์เกิดแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE ACTIVITY)

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

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่จะนำไปใช้ประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดกรองและจำแนกเอาเฉพาะช่วงข้อมูลที่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ซึ่งมีวิธีในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลดังนี้

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

รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) โดยค้นหาข้อมูลที่ตรวจวัดได้ที่ละติจูด  $15.01^{\circ}\text{N} - 25.13^{\circ}\text{E}$  และลองจิจูดที่  $94.15^{\circ}\text{N} - 105.60^{\circ}\text{E}$  ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1900 ถึงวันที่ 1 ธันวาคม 2016 พิจารณาขนาดตั้งแต่ 0 – 9.9 magnitude และที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 – 1000 กิโลเมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้จะประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากกระบวนการเก็บข้อมูลทางคณิตศาสตร์ โดยรายงานทั้งจุดศูนย์กลาง (ลองจิจูด ละติจูด และความลึก) เวลาเกิด (ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที) และขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งผลการบันทึกที่รวบรวมอยู่ตลอดเวลา นับตั้งแต่อดีตจนปัจจุบัน ทำให้เกิดเป็นชุดข้อมูลที่เรียกว่า ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue) ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตัวอย่างฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว

ละจิจูด	ลองจิจูด	ปี	เดือน	วันที่	ความลึก	ชั่วโมง	Mw	Mb	Ms
94.58	20.79	2016	8	24	35	10	6.1	5.6	5.9
94.569	20.922	2016	8	24	35	10	6.1	5.6	6
	8								
94.569	20.922	2016	8	24	30	11	5.2	-	-
	8								
94.569	20.922	2016	8	24	22	13	5.2	-	5
	8								
94.5687	20.922	2016	8	24	27	13	5.5	4.8	5
	4								
94.5687	20.922	2016	8	24	40	15	5.9	4.9	-
	4								
94.69	21.36	2016	7	27	45.9	16	6.1	5.6	-
94.79	23.03	2016	4	13	31.1	16	6.1	5.6	-
94.78	23.02	2016	4	13	29.5	11	5.4	-	5
94.8654	23.094	2016	4	13	43	10	5.4	-	5.1
	4								
94.8654	23.094	2016	4	13	17	10	5.4	-	5.2
	4								
94.8651	23.099	2016	4	13	15	12	6.4	-	-
	1								

หลังจากนำข้อมูลทั้งหมดเข้าโปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) ผ่านโปรแกรม MATLAB พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 12,501 ข้อมูล โดยมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรงมากที่สุด 7.5 แมกนิจูด และน้อยที่สุด 0.1 แมกนิจูด เกิดที่ระดับความลึก 750 กิโลเมตร

## 2. ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลจะมีหน่วยวัดขนาดความรุนแรงที่แตกต่างกัน เช่น Body-wave magnitude (mb) Surface wave magnitude (MS) Local magnitude (ML) และ Moment magnitude (Mw) โดยแต่ละหน่วยอ้างอิงมาจากสมมติฐานและวิธีการคำนวณที่ต่างกันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปลงหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยเดียวกันเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อ โดยนิยมใช้เป็น Mw เนื่องจากเป็นหน่วยวัดพื้นที่การปริแตกและเลื่อนตัวของรอยเลื่อนโดยตรงและไม่มีปัญหาการอ้อมตัวของขนาดแผ่นดินไหว ขั้นตอนในการแปลงหน่วยโดยใช้สมการความสัมพันธ์ มีดังนี้

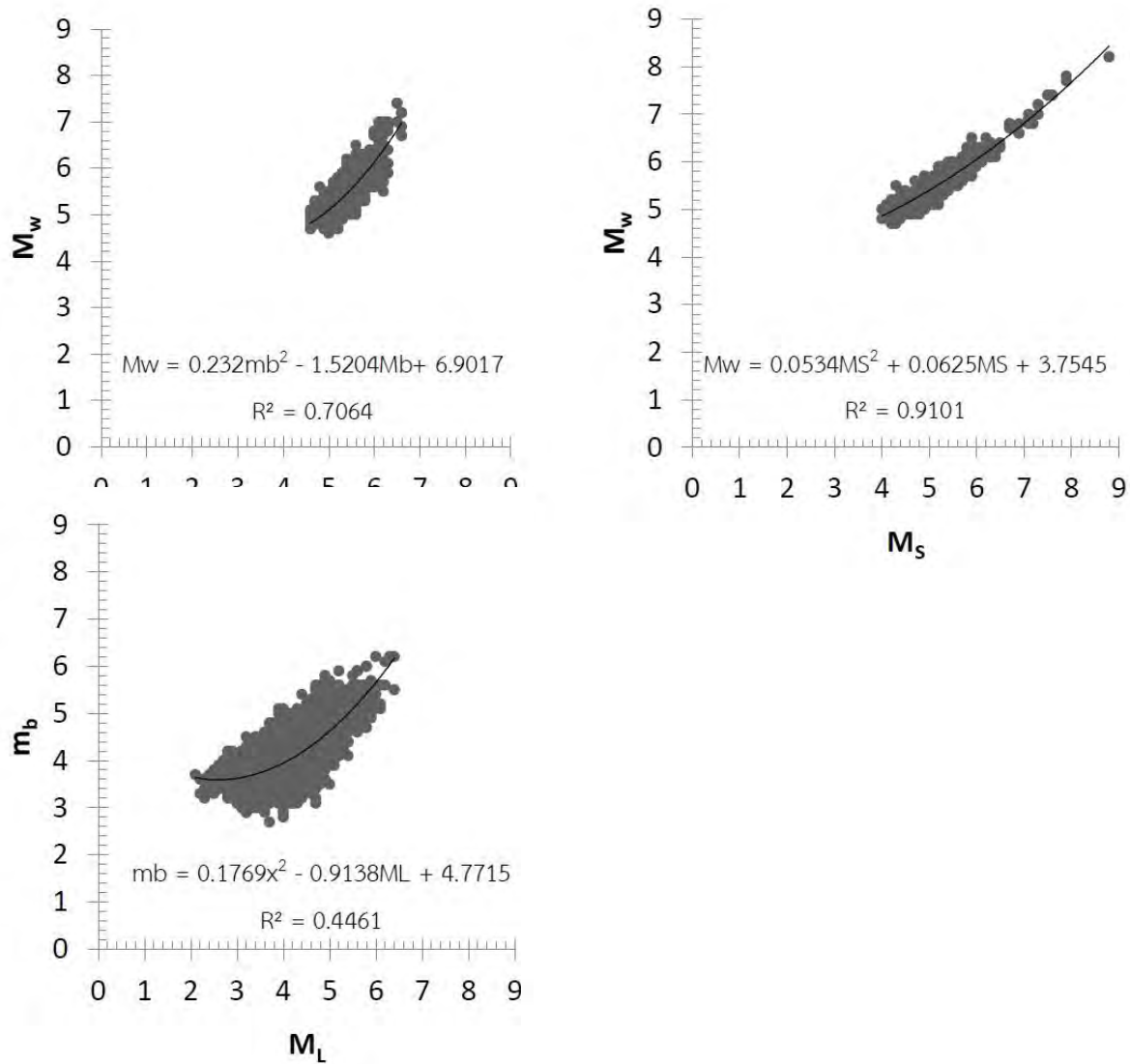
- นำข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวหน่วย Mw มาสร้างเป็นกราฟในแนวแกน y และหน่วยที่ต้องการเปลี่ยน (Ms, mb และ ML) ในแนวแกน x (รูป 3.1)
- สร้างเส้นแนวโน้มของสมการ Polynomial และหาสมการความสัมพันธ์ออกมาได้ดังสมการ (3.1) ถึง (3.3)

$$Mw = 0.232Mb^2 - 1.5204Mb + 6.9017 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

$$Mw = 0.0534 + Ms^2 + 0.0625Ms + 3.7545 \quad \text{สมการ (3.2)}$$

$$mb = 0.1768x^2 - 0.9138ML + 4.7715 \quad \text{สมการ (3.3)}$$

- นำสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดมาปรับเทียบกับข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน

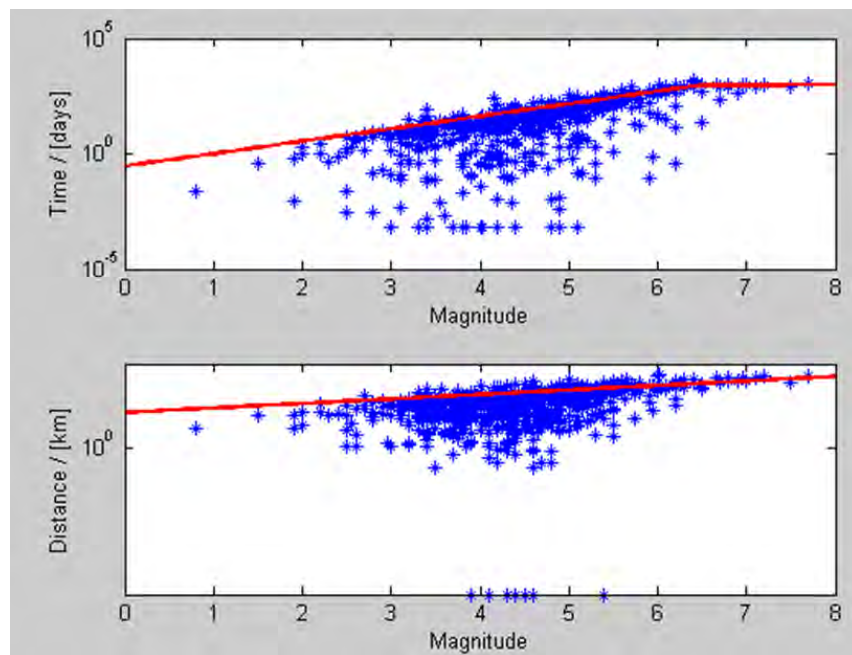


รูป 3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหวต่างๆ

### 3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

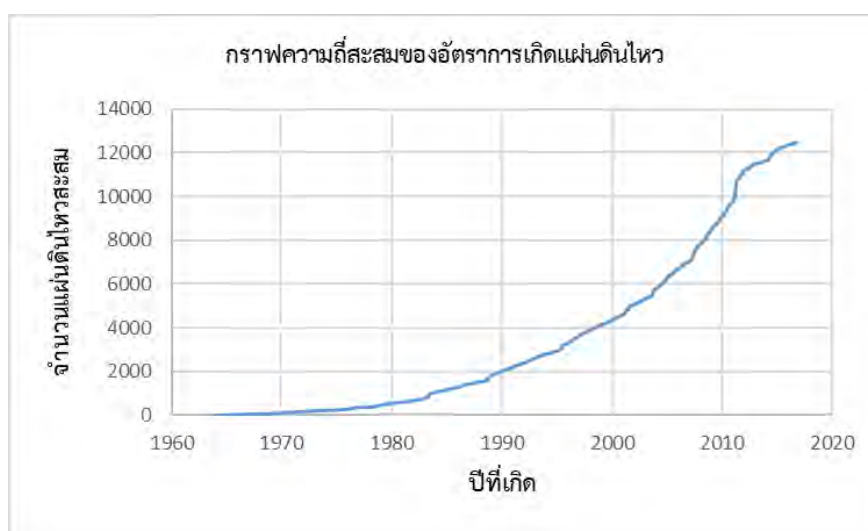
ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดสามารถจำแนกตามกลไกการเกิดได้ 3 ประเภท ได้แก่ แผ่นดินไหวนำ (foreshock) เกิดจากการเตรียมตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวหลัก แผ่นดินไหวหลัก (main shock) เกิดจากแรงเค้นอันเนื่องมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง และ แผ่นดินไหวตาม (aftershock) เกิดจากแรงเครียด (strain) ที่ถ่ายทอดมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นดินหรือรอยเลื่อนบริเวณนั้น ดังนั้นต้องมีการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวหลักและกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากกลุ่มแผ่นดินไหวเพื่อใช้ประเมินพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง

หลักการจำแนกแผ่นดินไหวหลักออกจากกลุ่มของแผ่นดินไหวอีกสองชนิด นิยมใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ในการจัดกลุ่ม 3 เงื่อนไขคือ 1) ขนาด 2) ระยะทาง และ 3) ช่วงเวลาการเกิด โดยใช้สมมุติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเป็นแนวคิดที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด ทั้งนี้การคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลักสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) เปิดผ่านโปรแกรม MATLAB จากรูป 3.3 แสดงให้เห็นถึงการจัดกลุ่มกันของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามภายใต้กรอบของเวลาและกรอบของระยะทาง ซึ่งใต้เส้นสีแดงจะเป็นแผ่นดินไหวที่ต้องกำจัดออกก็คือแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม



รูป 3.2 แสดงผลการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยข้อมูลที่อยู่เหนือเส้นสีแดงคือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

ผลจากการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษาสามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 1,016 กลุ่ม ประกอบด้วยแผ่นดินไหว 10,303 เหตุการณ์ (คิดเป็น 82.42% จาก 12,501 เหตุการณ์) ซึ่งสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักได้ 2,198 เหตุการณ์



รูป 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและช่วงเวลาในแต่ละปี  
หลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

#### 4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

นอกเหนือจากกระบวนการทางธรรมชาติ กิจกรรมบางอย่างของมนุษย์ยังสามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ เช่น ระเบิดจากการทำเหมืองหรือการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ นอกจากนี้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ยังได้รับผลกระทบและมักจะมีคลาดเคลื่อนของข้อมูล อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระบบการตรวจวัด ซึ่งมาจากหลากหลายสาเหตุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว (detection change) จะทำให้การบันทึกข้อมูลไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงการรายงาน (report change) ซึ่งจะทำให้มีการประเมินขนาดแผ่นดินไหวเปลี่ยนไปจากเดิม (Habermann และ Wyss, 1984) การเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์ในการประมวลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละช่วงเวลา (Wyss และ Habermann, 1988b) และการเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดและคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984)



จากการศึกษาในทางทฤษฎีพบว่ากระบวนการทางธรณีแปรสัณฐานเป็นกลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างกะทันหัน ทั้งนี้สาเหตุทั้งหมดอาจส่งผลให้การวิเคราะห์หรือประเมินผลด้านแผ่นดินไหววิทยาเชิงสถิติใดๆ มีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ ทำได้โดยใช้หลักการการวิเคราะห์ของ Habermann (1983;1987) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Z) โดย Z หาได้จากสมการ (3.4)

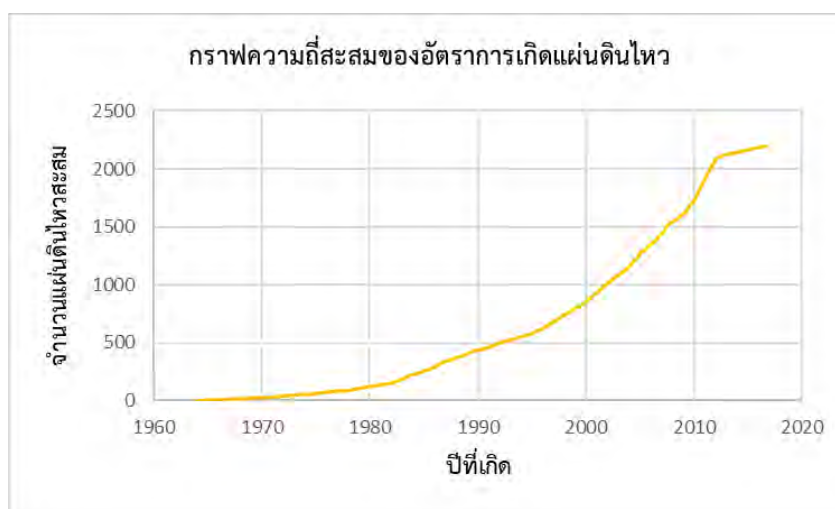
$$Z = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} - \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad \text{สมการ (3.4)}$$

M = ค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา

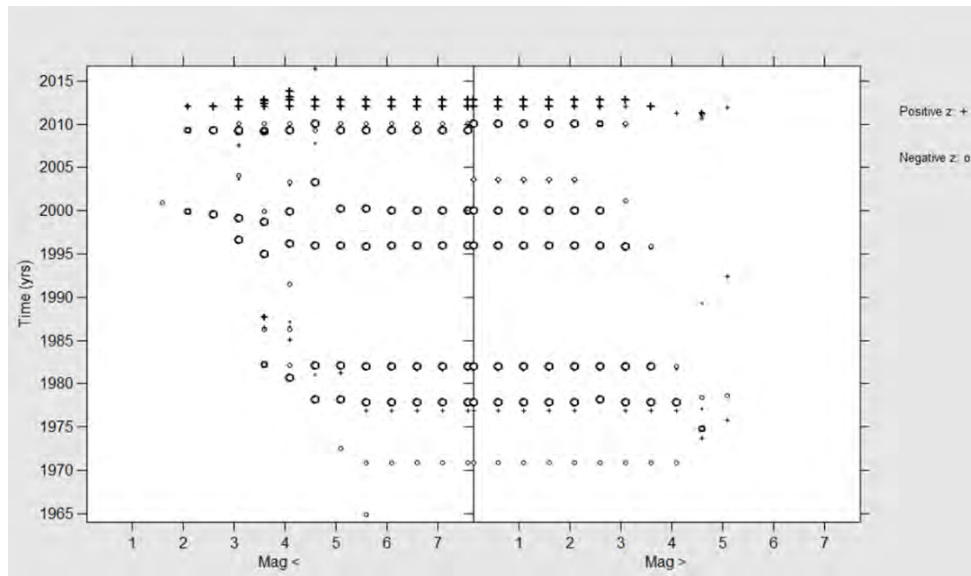
S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = จำนวนตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

การกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์เลือกตัดในช่วงปี ค.ศ. 1980 – 2015 ด้วยขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.0-9.0 ริคเตอร์ ซึ่งมีการตรวจวัดด้วยอัตราเดียวกันอย่างต่อเนื่องมาเป็นตัวแทนของพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้ (รูป 3.4) หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 1,450 เหตุการณ์ จาก 2,198 เหตุการณ์

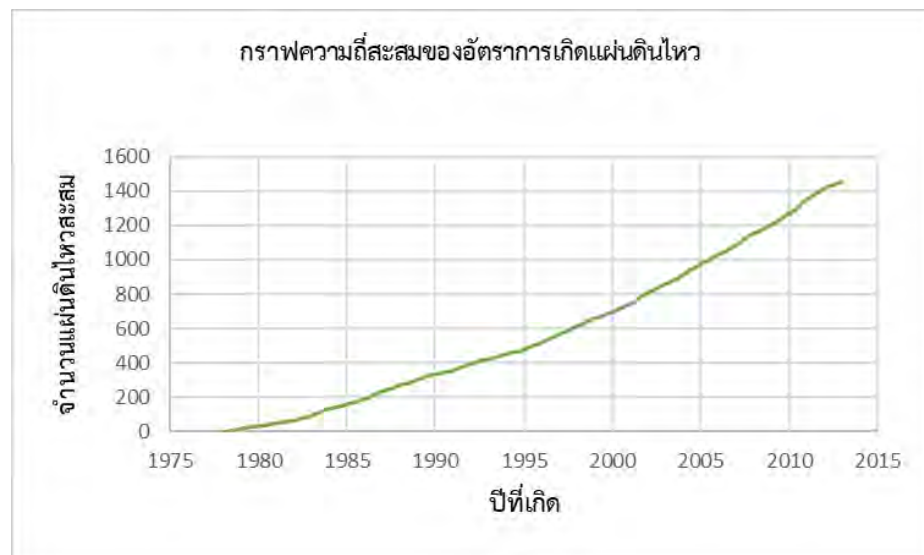


รูป 3.4 ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์



รูป 3.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดและบันทึกแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Habermann (1983; 1987)

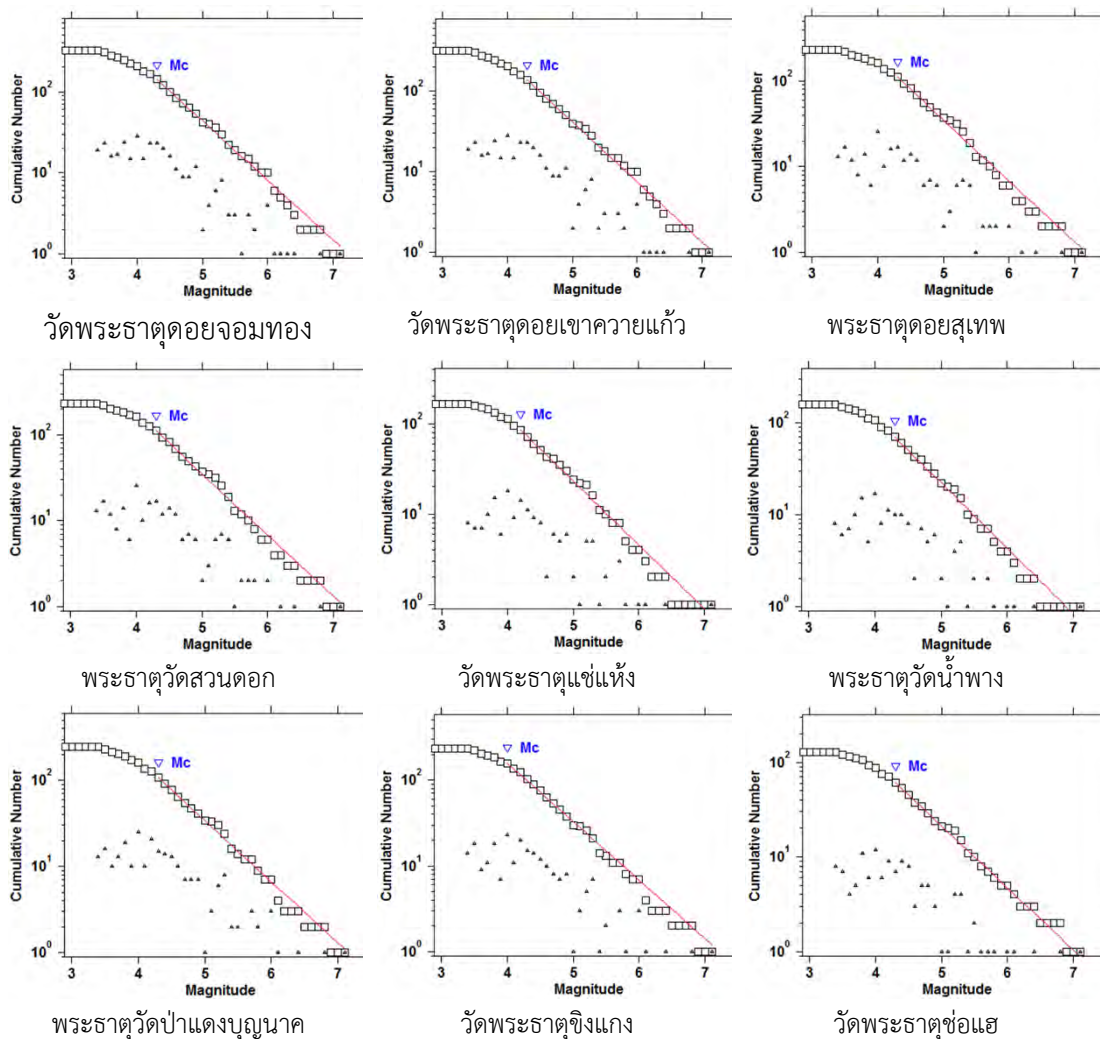
จากการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดจะพบว่ากราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปีจะมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อปรับปรุงเสร็จแล้ว รูป 3.6

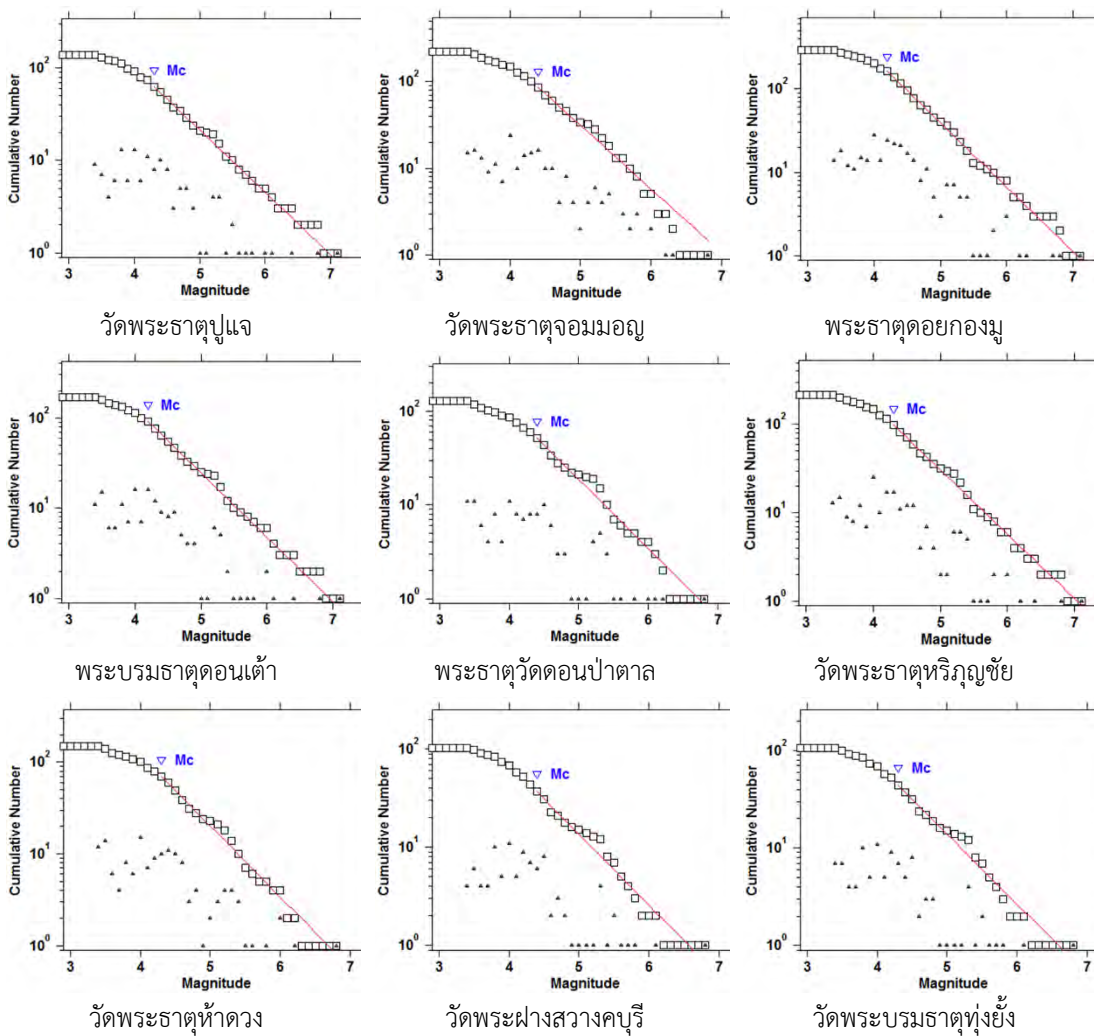


รูป 3.6 กราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปีแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการปรับปรุงข้อมูลแล้ว

### 3.2 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake activity)

การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum Analysis, DSHA) และ การคำนวณการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) ด้วยวิธี b value ทำให้ได้ผลออกมาดังนี้ รูป 3.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งช่วงที่ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าน้อยกว่า  $M_c$  กราฟจะไม่เป็นเส้นตรง จากการวิจัยพบว่าเป็นผลอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหว ดังนั้นจึงมีการกำหนดขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ เรียกว่า Magnitude of completeness ( $M_c$ ) (Woessner และ Wiemer, 2005) โดย  $M_c$  หมายถึงขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายตรวจวัดสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์





รูป 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่

ตาราง 3.2 แสดงตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่สำคัญ

หมายเลข เจดีย์	พิภต ลองจิจูด	พิภต ละติจูด	ชื่อเจดีย์	จังหวัด	จำนวน แผ่นดินไหว ทั้งหมดในรัศมี 300กม.	ขนาด แผ่นดินไหว สูงสุดในรัศมี 300กม.	ค่า a	ค่า a (annual)	ค่า b	Magnitude of Completeness
1	99.82	19.92	วัดพระธาตุดอยจอมทอง (Wat Phra That Doi Chom Thong)	เชียงราย	322.0	7.1	5.30	3.77	0.73±0.06	4.3
2	99.85	19.90	วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว (Wat Phra That Doi Kao Kwai Gaew)		319.0	7.1	5.35	3.81	0.75±0.06	4.5
3	97.95	18.80	พระธาตุดอยสุเทพ (Wat Phra That Doi Suthep)	เชียงใหม่	233.0	7.1	5.10	3.57	0.71±0.06	4.6
4	98.97	18.79	พระธาตุวัดสวนดอก (Phra That Wat Suan Dok)		233.0	7.1	5.10	3.57	0.71±0.06	4.3
5	100.79	18.76	วัดพระธาตุแช่แห้ง (Wat Phra That Chae Haeng)	น่าน	165.0	7.1	4.90	3.37	0.71±0.07	4.2
6	101.04	18.63	พระธาตุวัดน้ำพาง		157.0	7.1	4.91	3.39	0.71±0.08	4.3

			(Phra That Wat Nam Pang)							
7	99.91	19.18	พระธาตุวัดป่าแดงบุญนาค (Phra That Wat Pa Daeng Bun Nak)	พะเยา	244.0	7.1	5.08	3.55	0.71±0.06	4.3
8	100.19	19.29	วัดพระธาตุขิงแกง (Wat Phra That King Kaeng)		235.0	7.1	4.93	3.40	0.68±0.05	4.0
9	100.20	18.09	วัดพระธาตุช่อแฮ (Wat Phra That Cho Hae)	แพร่	129.0	7.1	4.60	3.08	0.66±0.08	4.3
10	100.29	18.20	วัดพระธาตุปูแจ (Wat Phra That Pu Jae)		138.0	7.1	4.69	3.17	0.67±0.08	4.3
11	97.92	18.19	วัดพระธาตุจอมมอญ (Wat Phrathat Chom Mon)	แม่ฮ่องสอน	220.0	6.8	5.17	3.63	0.74±0.07	4.4
12	97.96	19.30	พระธาตุคอกยงมู (Wat Phrathat Doi Kongmu)		288.0	7.1	5.44	3.91	0.77±0.06	4.2
13	99.51	18.30	พระบรมธาตุดอนเต้า (Wat Phra Kaeo Don Tao)	ลำปาง	171.0	6.8	4.97	3.43	0.72±0.07	4.2
14	99.17	17.60	พระธาตุวัดดอนป่าตาล		130.0	7.1	4.96	3.43	0.74±0.10	4.4

			(Phra That Wat Don Pa Tan)							
15	99.01	18.58	วัดพระธาตุหริภุญชัย (Wat Phra That Hariphunchai)	ลำพูน	215.0	7.1	5.13	3.59	0.73±0.07	4.3
16	98.96	17.78	วัดพระธาตุห้าดวง (Wat Phra That Duang Diao)		151.0	6.8	5.17	3.64	0.77±0.09	4.3
17	100.23	17.64	วัดพระฝางสว่างคบุรี (Wat Phra Fang Sawang Ka Bu Ree)	อุตรดิตถ์	102.0	6.8	4.76	3.23	0.73±0.10	4.4
18	100.06	17.60	วัดพระบรมธาตุทุ่งยั้ง (Wat Phra Brommathat Thung Yang)		106.0	6.8	4.73	3.20	0.72±0.10	4.3

---

ตาราง 3.3 แผ่นดินไหวสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ในรอบปีต่างๆ

หมายเลข เจดีย์	ชื่อเจดีย์	ขนาดแผ่นดินไหว สูงสุดในรอบ 5 ปี	ขนาดแผ่นดินไหว สูงสุดในรอบ 10 ปี	ขนาดแผ่นดินไหว สูงสุดในรอบ 30 ปี	ขนาดแผ่นดินไหว สูงสุดในรอบ 50 ปี
1	วัดพระธาตุคุดอยจอมทอง	6.1	6.5	7.2	7.5
2	วัดพระธาตุคุดอยเขาควายแก้ว	6.1	6.5	7.1	7.4
3	พระธาตุคุดอยสุเทพ	6.0	6.4	7.1	7.4
4	พระธาตุวัดสวนดอก	6.0	6.4	7.1	7.4
5	วัดพระธาตุแช่แห้ง	5.8	6.2	6.9	7.2
6	พระธาตุวัดน้ำพาง	5.7	6.1	6.8	7.1
7	พระธาตุวัดป่าแดงบุญนาคนาค	6.0	6.4	7.1	7.4
8	วัดพระธาตุขิงแกง	6.0	6.5	7.2	7.5
9	วัดพระธาตุช่อแฮ	5.8	6.2	7.0	7.3
10	วัดพระธาตุปูแจ	5.7	6.2	6.9	7.2
11	วัดพระธาตุจอมมอญ	5.9	6.3	6.9	7.3
12	พระธาตุคุดอยกองมู	6.0	6.4	7.0	7.3
13	พระบรมธาตุคอนเต้า	5.8	6.2	6.9	7.2
14	พระธาตุวัดคอนปาดาล	5.6	6.0	6.6	6.9
15	วัดพระธาตุหริภุญชัย	5.9	6.3	7.0	7.3
16	วัดพระธาตุห้าดวง	5.6	6.0	6.6	6.9
17	วัดพระฝางสว่างคบุรี	5.4	5.8	6.5	6.8
18	วัดพระบรมธาตุทุ่งยั้ง	5.4	5.8	6.5	6.8



ตาราง 3.4 คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวในขนาดต่างๆ

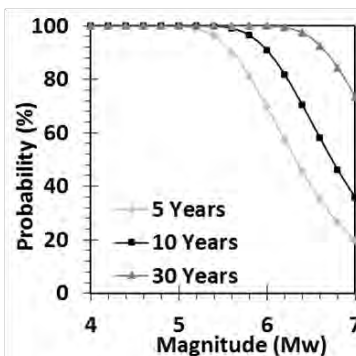
หมายเลข เจดีย์	ชื่อเจดีย์	คาบอุบัติซ้ำของการเกิด แผ่นดินไหวขนาด 4	คาบอุบัติซ้ำของการเกิด แผ่นดินไหวขนาด 5	คาบอุบัติซ้ำของการเกิด แผ่นดินไหวขนาด 6	คาบอุบัติซ้ำของการเกิด แผ่นดินไหวขนาด 7
1	วัดพระธาตุดอยจอมทอง	0	1	4	23
2	วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว	0	1	5	25
3	พระธาตุดอยสุเทพ	0	1	5	26
4	พระธาตุวัดสวนดอก	0	1	5	26
5	วัดพระธาตุแช่แห้ง	0	1	7	38
6	พระธาตุวัดน้ำพาง	0	2	8	41
7	พระธาตุวัดป่าแดงบุญนาคนาค	0	1	5	26
8	วัดพระธาตุขิงแกง	0	1	5	24
9	วัดพระธาตุช่อแฮ	0	2	7	32
10	วัดพระธาตุปูแจ	0	2	7	35
11	วัดพระธาตุจอมมอญ	0	1	6	33
12	พระธาตุดอยกองมู	0	1	5	30
13	พระบรมธาตุดอนเต้า	0	1	7	38
14	พระธาตุวัดดอนป่าตาล	0	2	10	54
15	วัดพระธาตุหริภุญชัย	0	1	6	32
16	วัดพระธาตุห้าดวง	0	2	10	60
17	วัดพระฝางสว่างคบุรี	0	2	13	70
18	วัดพระบรมธาตุทุ่งยั้ง	0	2	13	67

ตาราง 3.5 ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆในรอบ50 ปี

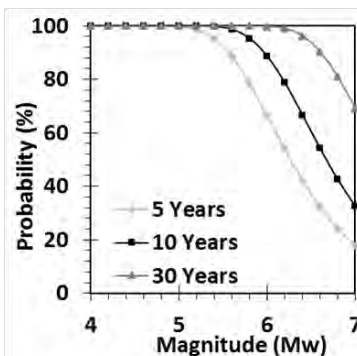
หมายเลข เจดีย์	ชื่อเจดีย์	ความน่าจะเป็นของ การเกิดแผ่นดินไหว ขนาด 4 ในรอบ50 ปี	ความน่าจะเป็นของ การเกิดแผ่นดินไหว ขนาด 5 ในรอบ50 ปี	ความน่าจะเป็นของ การเกิดแผ่นดินไหว ขนาด 6 ในรอบ50 ปี	ความน่าจะเป็นของ การเกิดแผ่นดินไหว ขนาด 7 ในรอบ50 ปี
1	วัดพระธาตุดอยจอมทอง	100	100	100	89
2	วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว	100	100	100	86
3	พระธาตุดอยสุเทพ	100	100	100	85
4	พระธาตุวัดสวนดอก	100	100	100	85
5	วัดพระธาตุแช่แห้ง	100	100	100	73
6	พระธาตุวัดน้ำพาง	100	100	100	71
7	พระธาตุวัดป่าแดงบุญนาคน	100	100	100	85
8	วัดพระธาตุขิงแกง	100	100	100	88
9	วัดพระธาตุซ่อแฮ	100	100	100	79
10	วัดพระธาตุปูแจ	100	100	100	76
11	วัดพระธาตุจอมมอญ	100	100	100	78
12	พระธาตุดอยกองมู	100	100	100	81
13	พระบรมธาตุดอนเต้า	100	100	100	74
14	พระธาตุวัดดอนป่าตาล	100	100	99	60
15	วัดพระธาตุหริภุญชัย	100	100	100	79
16	วัดพระธาตุห้าดวง	100	100	99	57

17	วัดพระฝางสว่างคบุรี	100	100	98	51
18	วัดพระบรมธาตุทุ่งยั้ง	100	100	98	53

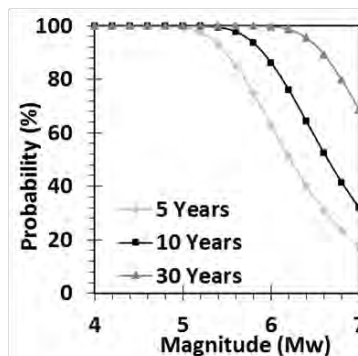
---



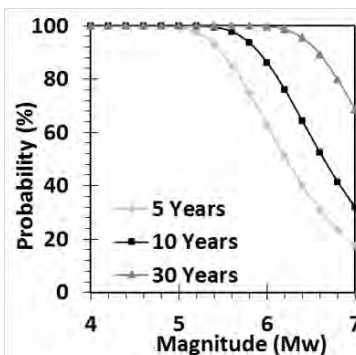
วัดพระธาตุตอดยจอมทอง



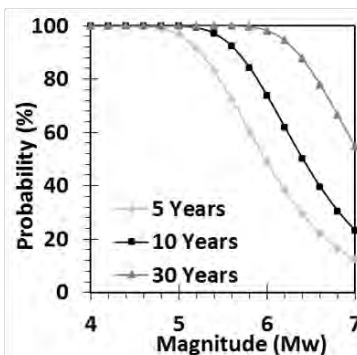
วัดพระธาตุตอดยเขาควายแก้ว



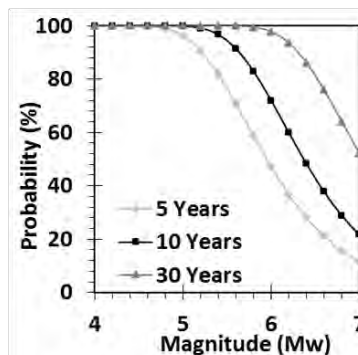
พระธาตุตอดยสุเทพ



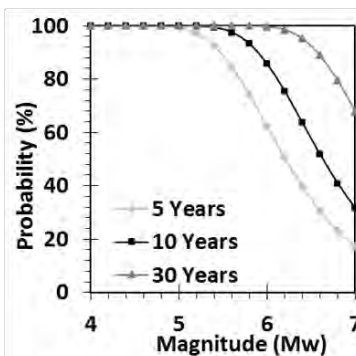
พระธาตุวัดสวนดอก



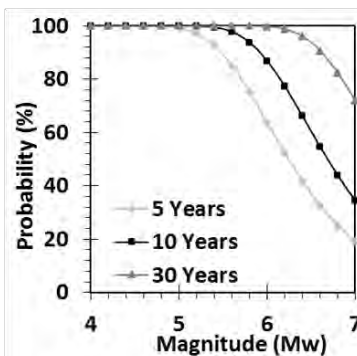
วัดพระธาตุแช่แห้ง



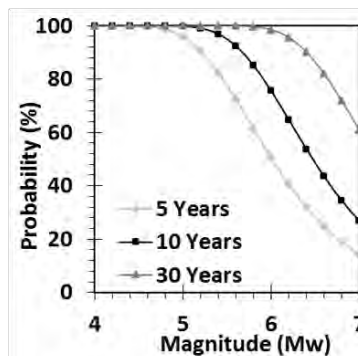
พระธาตุวัดน้ำปาง



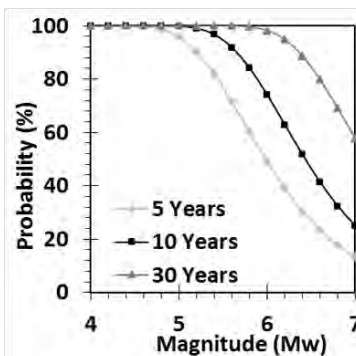
พระธาตุวัดป่าแดงบุญนาคน



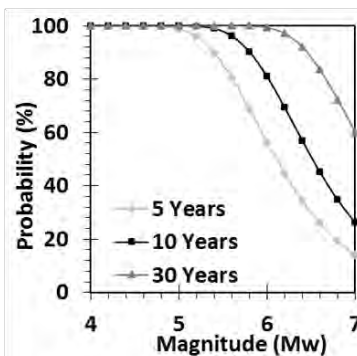
วัดพระธาตุขิงแกง



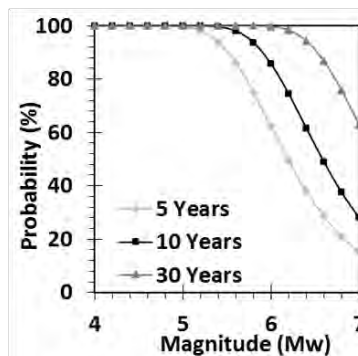
วัดพระธาตุช่อแฮ



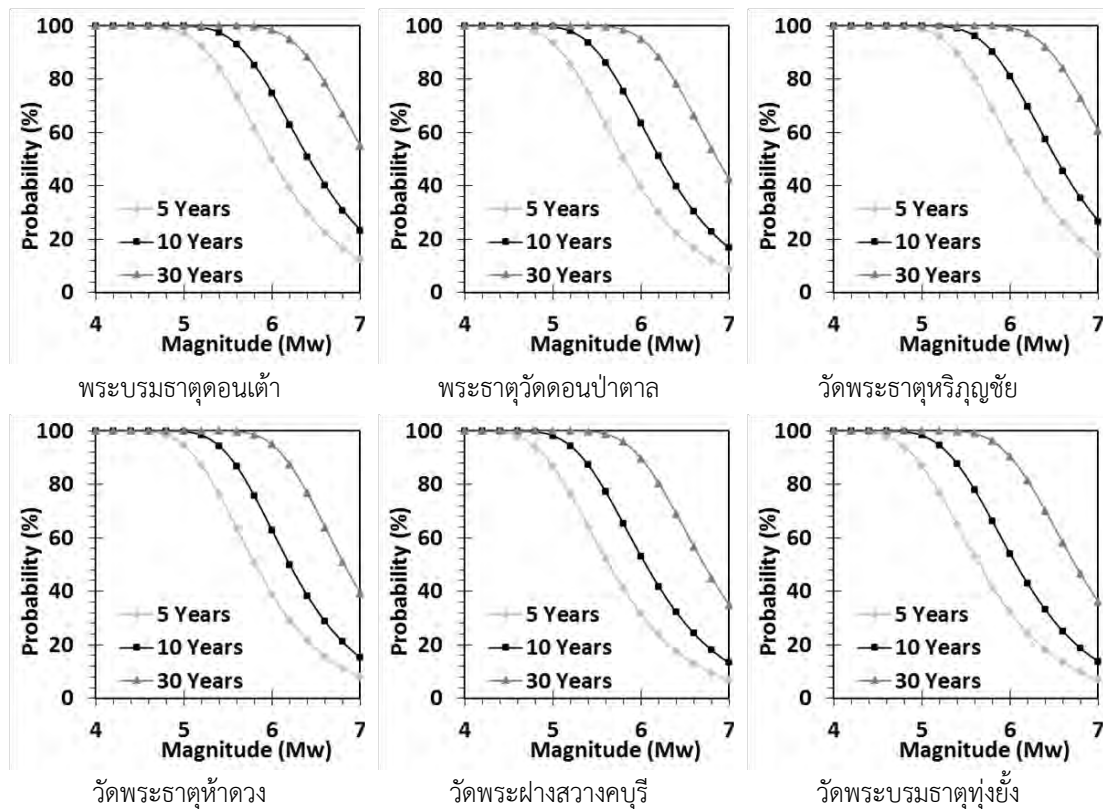
วัดพระธาตุปูแจ



วัดพระธาตุจอมมอญ



พระธาตุตอดยกองมู



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆในรอบ 50 ปีของเจดีย์ที่ศึกษา

จากตาราง 3.2 แสดงให้เห็นว่า  $a$  มีค่าอยู่ระหว่าง 3.08-3.91 โดยเจดีย์หมายเลข 12 มีค่า  $a$  สูงที่สุดเท่ากับ 3.91 ส่วนเจดีย์หมายเลข 9 มีค่า  $a$  ต่ำที่สุดเท่ากับ 3.08 โดยค่า  $a$  คืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหว ดังนั้นสามารถตีความได้ว่าเจดีย์หมายเลข 12 ซึ่งมีค่า  $a$  สูงที่สุดมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหวมากกว่าเจดีย์อื่นๆ

สำหรับค่า  $b$  คือสัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็ก บริเวณที่ค่า  $b$  สูงแสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า  $b$  ต่ำ จากตารางพบว่า  $b$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.66-0.77 โดยเจดีย์หมายเลข 9 มีค่า  $b = 0.66 \pm 0.08$  ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดและเจดีย์หมายเลข 12 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ  $0.77 \pm 0.06$

จากตาราง 3.3 แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด ( $M_{max}$ ) ในรอบ 5 10 30 และ 50 ปี ตาราง 3.4 แสดงคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (RI) ขนาด 4 5 6 และ 7 ริกเตอร์และตาราง 3.5 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE) ขนาด 4 5 6 และ 7 ริกเตอร์ในรอบ 50 ปี ทั้งนี้พบว่าเจดีย์หมายเลข 1 และ 2 มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้สูงถึง 6.1 Mw หากพิจารณาในช่วงเวลา 5 ปี

ส่วนคาบอุบัติซ้ำที่สั้นที่สุดของแผ่นดินไหวขนาด 5.0–7.0 Mw อยู่ที่เจดีย์หมายเลข 1 ประมาณ 1 ปี 4 ปี และ 23 ปีตามลำดับ นอกจากนี้เจดีย์หมายเลข 1 มีโอกาส 89% ที่ในอีก 50 ปีข้างหน้าจะมีแผ่นดินไหวขนาด 7 แมกนิจูดเกิดขึ้นได้

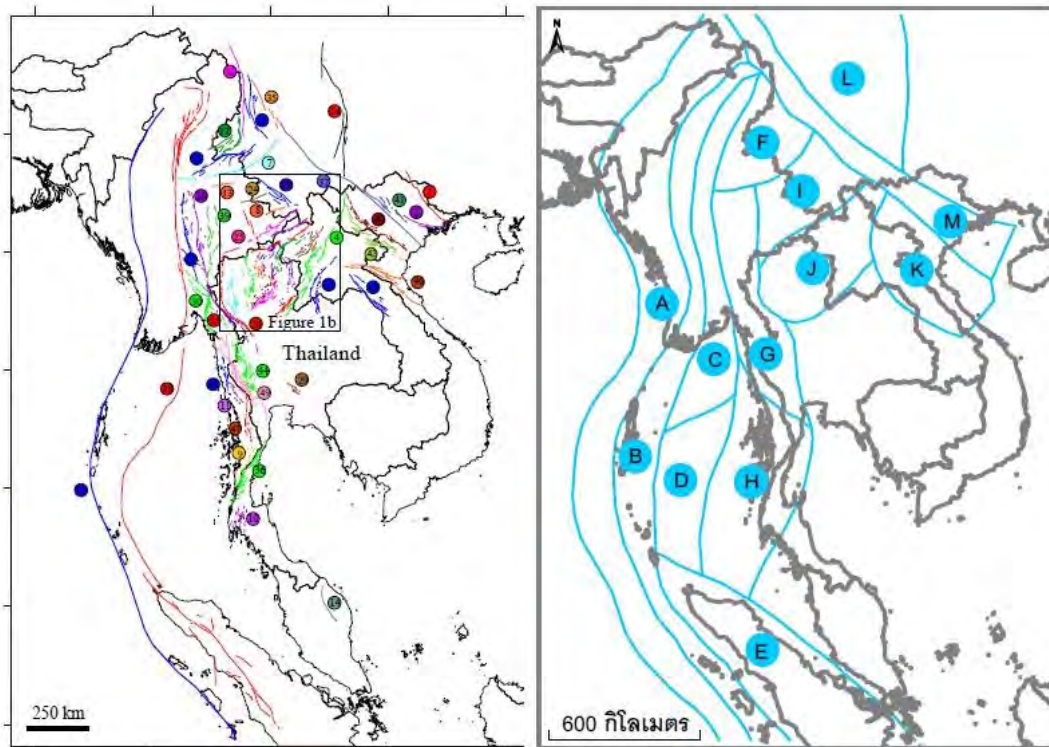
## บทที่ 4

### พิบัติภัยแผ่นดินไหว (SEISMIC HAZARD)

การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวเป็นการประเมินระดับอันตรายแผ่นดินไหว โดยประเมินในเชิงปริมาณของระดับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) โดยเป็นอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวนิยมทำกันสองวิธี คือ การประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่าและการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น ซึ่งหลักการของทั้งสองวิธีค่อนข้างคล้ายกัน ทั้งนี้หลักการในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวมี 3 ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (earthquake source) ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic) และการตอบสนองแรงสั่นสะเทือนในพื้นที่ (site respond)

#### 4.1 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Earthquake Sources)

แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกิด ได้แก่ ประเภทที่ 1 แผ่นดินไหวที่เกิดจากการประทุของภูเขาไฟ จะมีตำแหน่งการเกิดแรงสั่นสะเทือนในวงแคบใกล้กับตำแหน่งภูเขาไฟ จึงถือว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบนี้ เป็นแบบจุด (point source) ประเภทที่ 2 หากเกิดในพื้นที่แคบๆอย่างชัดเจนตามแนวรอยเลื่อนแผ่นดินไหว(earthquake fault) จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบเส้น (line source) ประเภทที่ 3 คือแผ่นดินไหวแบบเชิงพื้นที่ (area source) เรียกว่า เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zone) หมายถึง กรอบพื้นที่ที่เชื่อว่าภายในกรอบนั้นมีพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวเหมือนหรือคล้ายกันและมีสิทธิ์ที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้ในทุกที่ภายในกรอบหรือเขตกำเนิดแผ่นดินไหวนั้น (รูป 4.1)



รูป 4.1 แผนที่แผ่นดินไหวภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แสดง (ซ้าย) รอยเลื่อนแผ่นดินไหว (earthquake fault) ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีตและนำเสนอโดย Pailoplee และคณะ (2009) (ขวา) เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่นำเสนอโดย Pailoplee และ Choowong (2013)

#### 4.2 ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)

แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะลดทอนลงเมื่อเดินทางออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวผ่านตัวกลางต่างๆ ด้วยระยะทางที่มากขึ้น ซึ่งการลดทอนของแรงสั่นสะเทือนจะลดลงอย่างรวดเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางธรณีวิทยาใต้ดินของแต่ละพื้นที่ ซึ่งปัจจุบันมีการนำเสนอสมการหรือแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันมากมายในแต่ละพื้นที่ของโลก สำหรับประเทศไทยแบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่เหมาะสมคือแบบจำลองของ Idriss และคณะ, 1993 (strong ground-motion attenuation model) (รูป 2.3 สมการ (2.6))

ในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวสามารถทำได้โดยนำข้อมูลทั้งหมดเข้าโปรแกรม CU-PSHA (Pailoplee, 2014) ผ่านโปรแกรม MATLAB และจากการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า สามารถนำไปประเมินหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 50 ปี (ตาราง 4.1) ส่วนการ



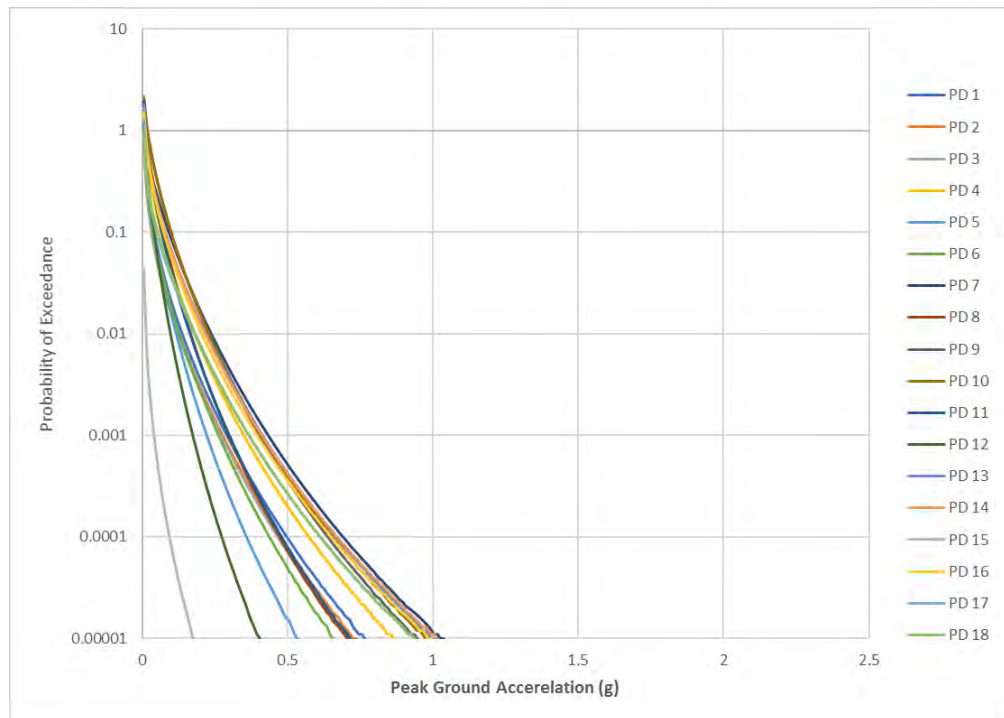
ประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็นสามารถนำไปประเมินหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 25 ปีและ 50 ปี (ตาราง 4.2)

ตาราง 4.1 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแต่ละมาตราเมอร์คัลลีแปลงในรอบ 50 ปี (MMI คือ มาตราเมอร์คัลลีแปลง)

No.	ชื่อเจดีย์	MMI 3	MMI 4	MMI 5	MMI 6	MMI 7
1	วัดพระธาตุคุดอยจอมทอง	90	36	4	0	0
2	วัดพระธาตุคุดอยเขาควาย แก้ว	83	31	3	0	0
3	พระธาตุคุดอยสุเทพ	79	29	3	0	0
4	พระธาตุวัดสวนดอก	99	60	8	0	0
5	วัดพระธาตุแช่แห้ง	87	23	1	0	0
6	พระธาตุวัดน้ำปาง	86	30	3	0	0
7	พระธาตุวัดป่าแดงบุญ นาค	100	86	18	1	0
8	วัดพระธาตุขิงแกง	100	55	4	0	0
9	วัดพระธาตุช่อแฮ	100	87	15	0	0
10	วัดพระธาตุปูแจ	100	87	16	0	0
11	วัดพระธาตุจอมมอญ	99	53	4	0	0
12	พระธาตุคุดอยกองมู	78	11	0	0	0
13	พระบรมธาตุดอนเต้า	100	78	15	1	0
14	พระธาตุวัดดอนป่าตาล	100	78	14	1	0
15	วัดพระธาตุหริภุญชัย	100	73	11	0	0
16	วัดพระธาตุห้าดวง	100	72	12	0	0
17	วัดพระฝางสว่างคบุรี	96	57	9	0	0
18	วัดพระบรมธาตุทุ่งยั้ง	97	59	9	0	0

ตาราง 4.2 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 25 ปีและ 50 ปี ในแต่ละเปอร์เซ็นต์ (POE คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว)

No.	namethAI	POE2% in 25Yr	POE10% in 25Yr	POE50% in 25Yr	POE2% in 50Yr	POE10% in 50Yr	POE50% in 50Yr
1	วัดพระธาตุดอย จอมทอง	0.31	0.19	0.09	0.37	0.24	0.12
2	วัดพระธาตุดอยเขา ควายแก้ว	0.29	0.18	0.08	0.35	0.22	0.11
3	พระธาตุดอยสุเทพ	0.29	0.17	0.07	0.34	0.22	0.10
4	พระธาตุวัดสวนดอก	0.37	0.24	0.12	0.43	0.29	0.16
5	วัดพระธาตุแช่แห้ง	0.23	0.15	0.08	0.27	0.18	0.10
6	พระธาตุวัดน้ำพาง	0.28	0.17	0.08	0.33	0.21	0.11
7	พระธาตุวัดป่าแดงบุญ นาค	0.45	0.30	0.17	0.53	0.36	0.21
8	วัดพระธาตุขิงแกง	0.31	0.21	0.12	0.36	0.25	0.15
9	วัดพระธาตุช่อแฮ	0.42	0.29	0.17	0.49	0.34	0.21
10	วัดพระธาตุปูแจ	0.43	0.29	0.17	0.50	0.35	0.21
11	วัดพระธาตุจอมมอญ	0.31	0.21	0.12	0.36	0.25	0.15
12	พระธาตุดอยกองมู	0.18	0.12	0.07	0.21	0.15	0.09
13	พระบรมธาตุคอนเต้า	0.43	0.29	0.15	0.51	0.34	0.20
14	พระธาตุวัดดอนป่า ตาล	0.43	0.28	0.15	0.50	0.34	0.19
15	วัดพระธาตุหริภุญชัย	0.04	0.02	0.01	0.06	0.03	0.01
16	วัดพระธาตุห้าดวง	0.42	0.27	0.14	0.49	0.33	0.18
17	วัดพระฝางสว่างคูบุรี	0.39	0.24	0.11	0.46	0.30	0.16
18	วัดพระบรมธาตุทุ่งยั้ง	0.39	0.25	0.12	0.46	0.30	0.16



รูป 4.2 กราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Earthquake Hazard Curve) ของเจดีย์ในประเทศไทย

จากรูป 4.2 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของแต่ละเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยบอกความถี่ในการเกิดแรงสั่นสะเทือนขนาดต่างๆของเจดีย์ในภาคเหนือของประเทศไทย เช่นเจดีย์หมายเลข 5 (วัดพระธาตุแช่แห้ง) มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนระดับ 0.5g ในระดับความถี่ 0.00001 ครั้ง/ปี หรือ มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนระดับ 0.5g ในทุกๆ 100,000 ปี เป็นต้น

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)

ประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวโดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Maximum magnitude) จากการหาค่า  $a$  และ  $b$  จากสมการความสัมพันธ์ของ (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า  $a$  คืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.08-3.91 โดยเจดีย์ที่มีค่า  $a$  สูงที่สุดคือเจดีย์หมายเลข 12 (พระธาตุดอยกองมู) มีค่า 3.91 ส่วนเจดีย์ที่มีค่าต่ำที่สุดคือเจดีย์หมายเลข 9 (วัดพระธาตุช่อแฮ) มีค่าเท่ากับ 3.08 สำหรับค่า  $b$  คือสัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็ก บริเวณที่ค่า  $b$  สูงแสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า  $b$  ต่ำ จากตารางพบว่าค่า  $b$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.66-0.77 และเจดีย์หมายเลข 9 (วัดพระธาตุช่อแฮ) มีค่า  $b = 0.66 \pm 0.08$  ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และเจดีย์หมายเลข 12 (พระธาตุดอยกองมู) มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ  $0.77 \pm 0.06$

MCE คือขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดได้ของแต่ละเจดีย์ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.8-7.1 Mw โดยมีเจดีย์หมายเลข 1 (วัดพระธาตุดอยจอมทอง) เจดีย์หมายเลข 2 (วัดพระธาตุดอยเขาควายแก้ว) และ เจดีย์หมายเลข 8 (วัดพระธาตุขิงแกง) เท่านั้นที่มีขนาดต่ำสุดเท่ากับ 6.8 Mw แต่เจดีย์อื่นๆจะมีค่าอยู่ที่ 7.1 Mw ซึ่งเป็นขนาดสูงสุด

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนในแต่ละมาตราเมอร์คัลลีแปลงในรอบ 50 ปีพบว่าความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนในแต่ละขนาดความรุนแรงอยู่ที่เจดีย์หมายเลข 7 (พระธาตุวัดป่าแดงบุญนาคร) เจดีย์หมายเลข 13 (พระบรมธาตุดอนเต้า) และ เจดีย์หมายเลข 14 (พระธาตุวัดดอนป่าตาล)

## เอกสารอ้างอิง

### (REFERENCE)

เอ็มไทยนิวส์. ‘ถิ่น จอ’ ผู้นำพม่า ลงพื้นที่แผ่นดินไหว-เจดีย์พัง ย้ำซ่อมให้เหมือนเดิม. [ออนไลน์].

แหล่งที่มา : <http://news.mthai.com/hot-news/general-news/515240.html> [1

ตุลาคม 2559].

Earthquake Hazards Program. M 6.8 - 26km W of Chauk, Burma. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา

:<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us10006gbf#executive>

[10 เมษายน 2560].

Kázmér, M. et al (2011). ARCHAEOSEISMOLOGY OF THE AD 1545 EARTHQUAKE IN

CHIANG MAI NORTHERN THAILAND. 2nd INQUA-IGCP-567 International

Workshop on ActiveTectonic , Earthquake Geology.

Pailoplee, S. (2012). Relationship between Modified Mercalli Intensity and peak

ground accel eration in Myanmar.

Pailoplee S, Choowong M (2013) Probabilities of earthquake occurrences in Mainland

SouthEast Asia. Arab J Geosci 6:4993–5006

Pailoplee, S. (2014). Earthquake hazard of dams along the Mekong. Nat Hazards

NaturalHazards: 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)