พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนในประเทศไทย

นางสาวชุติมณฑน์ พร้อมสุข
เลขประจำตัวนิสิต 553 27123 23

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558

EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HAZARD OF DAMS IN THAILAND

Miss Chutimon Promsuk
ID 553 27123 23

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

วันที่ส่ง

_____/_____/_____

วันที่อนุมัติ

_____/_____/_____

ลงชื่อ_____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

หัวข้องานวิจัย: พฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนในประเทศไทย
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นางสาวชุติมณฑน์ พร้อมสุข
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้
ปีการศึกษา: 2558

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประชาชนตื่นตระหนกถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่สำคัญ เช่น เขื่อน ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะประเมินพฤติกรรมและกำหนดพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนขนาดใหญ่ 39 เขื่อนทั่วประเทศไทย ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยประเมินพิบัติภัยที่จะเกิดขึ้นกับเขื่อนต่างๆ ในประเทศไทยได้ ในการประเมินจะใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ซึ่งหลังจากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแล้วพบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 2,923 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) โดยทำการประเมินจากวิธีวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) และจากแนวคิดความน่าจะเป็น (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)

จากการประเมินพบว่าขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.5 Mw และค่าระดับแรงสั่นสะเทือนสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.35g ทั้งนี้เขื่อนที่มีพิบัติภัยแผ่นดินไหวรุนแรงและต้องเฝ้าสังเกตและระวังพิบัติภัยแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นมีค่าแรงสั่นสะเทือนสูงสุดอยู่ในช่วง 0.26-0.35g ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประเมินความเสี่ยงของเขื่อนและปรับปรุงคุณภาพเขื่อนให้เหมาะสมเพื่อรับมือกับแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ส่วนเขื่อนที่มีพิบัติภัยต่ำมีค่าแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.01g และถูกจัดให้อยู่ในพื้นที่ปลอดพิบัติภัยแผ่นดินไหว (ICOLD, 1989)

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว; พิบัติภัยแผ่นดินไหว; พฤติกรรมแผ่นดินไหว; เขื่อน; ICOLD

Project title: EARTHQUAKE ACTIVITIES AND HAZARD OF DAMS IN THAILAND
Researcher: Miss Chutimon Promsuk
Department: Geology
Advisor: Professor Assistant Dr. Santi Pailoplee
Academic Year: 2558

ABSTRACT

Thailand has many seismic source zone and it make earthquake occurred. Then many people concerned about the impact on construction especially dams. In this study, the assessment of earthquake activity and hazard of 39 large dams in Thailand can help to assess the seismic hazard that will impact on dams. The main dataset are completeness earthquake catalog occupied by Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). After improving the earthquake catalogue has 2,923 events. Maximum earthquake in moment magnitude (Mw) unit is used to assess earthquake activity by measure surface rupture length which relate to Well and Coppersmith (1994) 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 7.0 and 8.5 Mw. And the highest of Peak Ground Acceleration are between 0.01 and 0.35g. As a result according to the extreme hazard of dams is revealed that located in class 4 and PGA is between 0.26 and 0.35g. And the safety area from earthquake hazard is revealed that PGA is 0.01g. Therefore, the dams in class 4 have to observation or monitoring of future earthquakes. (ICOLD, 1989)

KEYWORDS: Earthquake, Earthquake hazard, Earthquake activity, Dam, ICOLD

กิตติกรรมประกาศ
(ACKNOWLEDGEMENT)

การทำโครงงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งคอยเป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำตลอดจนชี้แจงข้อบกพร่อง และช่วยเสนอแนะวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงงานวิจัยตั้งแต่เริ่มจนโครงงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์และบุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึงบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงงานวิจัยเล่มนี้และขอขอบใจกำลังใจจากเพื่อนๆ Geo'56 ที่เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โครงงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี มา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ
(CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ซ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฌ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ญ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)	1
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)	17
3.2 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake activity)	23
บทที่ 4 พิบัติภัยแผ่นดินไหว (SEISMIC HAZARD)	
4.1 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Earthquake Sources)	32
4.2 ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)	39
4.3 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 10,000 ปี (Maximum Design Earthquake, MDE)	39
4.4 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 145 ปี (Operating Basic Earthquake, OBE)	39
4.5 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 475 ปี (Design Basis Earthquake, DBE)	40
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	46
เอกสารอ้างอิง (REFERENCE)	50

สารบัญรูปภาพ
(FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1	แผนที่ของประเทศไทยแสดงการกระจายตัวของเขื่อนขนาดใหญ่ที่สำคัญ	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)	9
รูป 2.5	ตำแหน่งเขื่อนบนพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว	11
รูป 2.6	แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง	13
รูป 2.7	แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา	15
รูป 3.1	กราฟแสดงการปรับเทียบมาตราขนาดแผ่นดินไหวต่างๆ	19
รูป 3.2	แสดงผลการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยข้อมูลที่อยู่เหนือเส้นสีแดงคือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก	20
รูป 3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและช่วงเวลาในแต่ละปีหลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	21
รูป 3.4	ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์	22
รูป 3.5	ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดและบันทึกแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Habermann (1983; 1987)	22
รูป 3.6	กราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปี	23
รูป 3.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่	24
รูป 4.1	แผนที่แผ่นดินใหญ่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แสดง (ซ้าย) รอยเลื่อนแผ่นดินไหว (earthquake fault) ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีตและนำเสนอโดย Pailoplee และคณะ (2009) (ขวา) เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่นำเสนอโดย Pailoplee และ Choowong (2013)	33
รูป 4.2	กราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Earthquake Hazard Curve) ของเขื่อนในประเทศไทย	45

สารบัญตาราง
(TABLE CONTENT)

หน้า

ตาราง 1.1 รายชื่อเขื่อนขนาดขนาดใหญ่ในประเทศไทย 3

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 ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว 17

ตาราง 3.2 แสดงตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่สำคัญ 28

ตาราง 3.3 แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว(RI) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE) 30

ตาราง 4.1 แสดงรอยเลื่อนที่ส่งผลในระยะ 300 m ของเขื่อนต่างๆ 34

ตาราง 4.2 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 10,000 ปี และค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแต่ละมาตราเมอร์คัลลี่แปลงในรอบ 50 ปี 41

ตาราง 4.3 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 50 ปีในแต่ละเปอร์เซ็นต์ 43

ตาราง 5.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล 46

ตาราง 5.2 แสดงประเภทของเขื่อนตามลำดับพิบัติภัย 48

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	8
สมการ 2.7 สมการประเมินความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละระดับ	10
สมการ 2.8 สมการประเมินความน่าจะเป็นจากระยะทาง ขนาด และความไม่แน่นอนของการลดทอนแรงสั่นสะเทือน	10
สมการ 3.1 สมการความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (mb) และ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์	18
สมการ 3.2 สมการความสัมพันธ์ของขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Ms) และ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw)	18
สมการ 3.3 สมการความสัมพันธ์ ของขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (Ml) และ ขนาด แผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Mb)	18
สมการ 3.4 สมการการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Z)	21

บทที่ 1
บทนำ (INTRODUCTION)

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ขนาด 6.3 ริกเตอร์ (Soralump และคณะ, 2014) ทางตอนเหนือของอำเภอพานจังหวัดเชียงราย ซึ่งเกิดจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนพะเยาได้สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก หรือจากเหตุการณ์ 11 ม.ค. 2558 แผ่นดินไหวเกิดใกล้กับเขื่อนวชิราลงกรณ์และเขื่อนศรีนครินทร์ ถึงแม้ว่าเขื่อนจะไม่ได้รับความเสียหายใดๆ แต่ทำให้ประชาชนตื่นตระหนกและกังวลถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับสถานที่สำคัญๆ ดังนั้นการประเมินพฤติกรรมและกำหนดพิบัติภัยแผ่นดินไหวจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยประเมินพิบัติภัยที่จะเกิดขึ้นกับเขื่อนต่างๆ ในประเทศไทย

ทั้งนี้หน่วยงานที่ดูแลเขื่อนขนาดใหญ่ทั่วโลก คือ International Commission on Large Dams (ICOLD) เป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานของเขื่อนต่างๆ โดยมีปัจจัยหรือตัวแปรด้านแผ่นดินไหว (seismic parameter) ที่ต้องการในแต่ละเขื่อนดังนี้ (Wieland, 2012) ได้แก่

1. Maximum Credible Earthquake (MCE) = ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดได้
2. Operating Basic Earthquake (OBE) = ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 145 ปี
3. Maximum Design Earthquake (MDE) = ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 10,000 ปี
4. Design Basis Earthquake (DBE) = ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 475 ปี
5. Construction Earthquake (CE) = ขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็น 10%

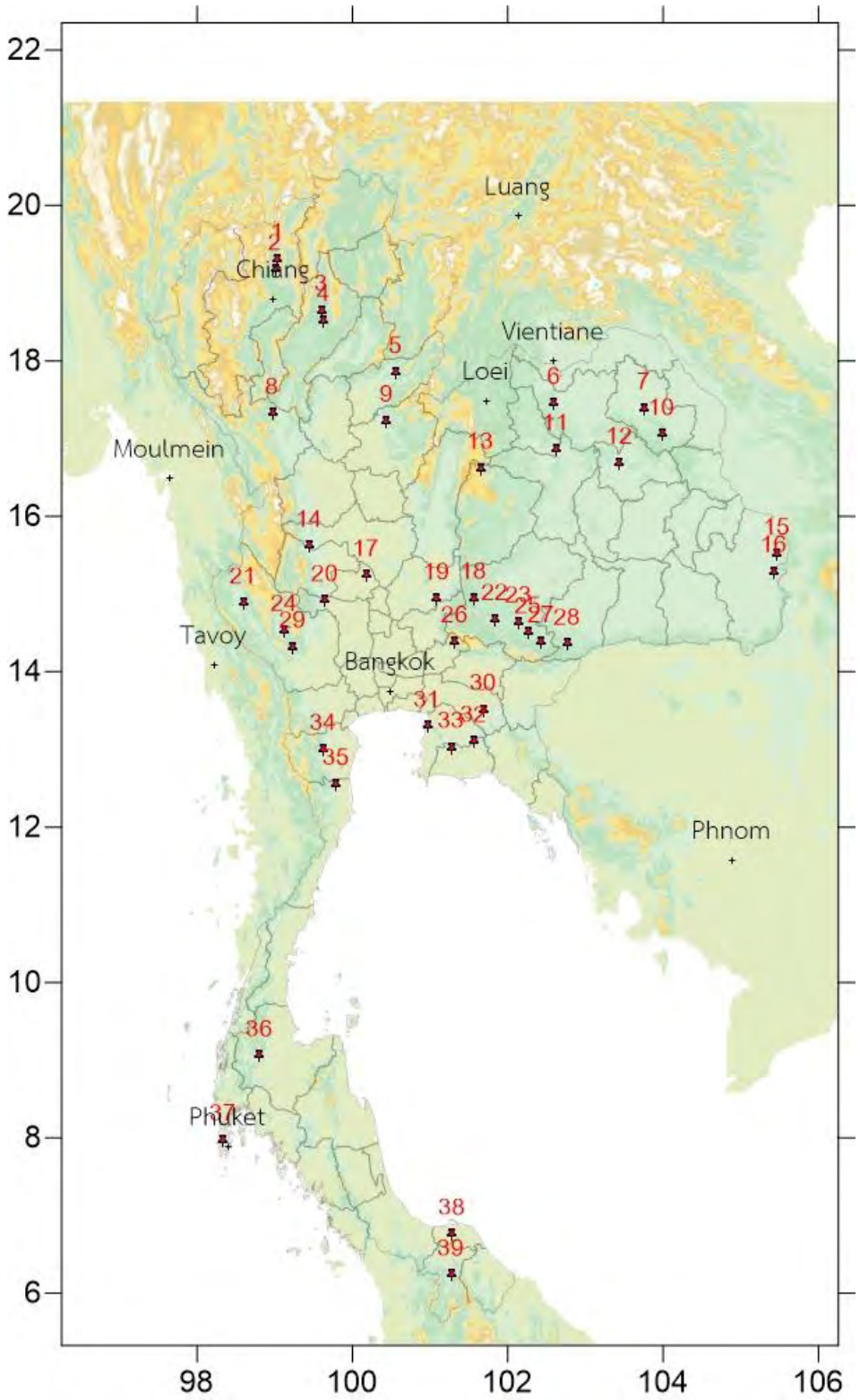
แรงสั่นสะเทือนของพื้นดินที่เกิดขึ้นมักจะแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของอัตราเร่งสูงสุดบนพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) โดยมีหน่วยเป็นอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ซึ่ง 1g มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)

ประเมินตัวแปรที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว (Earthquake activity) และพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Seismic Hazard) ในบริเวณที่ตั้งเขื่อนทั้งหมดในประเทศไทย

1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

จากการรวบรวมข้อมูลรายงานในเชิงเอกสารต่างๆ ประเทศไทยมีเขื่อนที่สำคัญทั้งหมด 39 เขื่อน แสดงในตาราง 1.1 (รูป1.1) (www.water.rid.go.th)



รูป 1.1 แผนที่ของประเทศไทยแสดงการกระจายตัวของเขื่อนขนาดใหญ่ที่สำคัญ

ตาราง 1.1 รายชื่อเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทย

No.	Name	No.	Name
1	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	21	เขื่อนวชิราลงกรณ์
2	เขื่อนแม่กวง	22	เขื่อนลำพระเพลิง
3	เขื่อนกิ่วคอหมา	23	เขื่อนมูลบน
4	เขื่อนกิ่วลม	24	เขื่อนศรีนครินทร์
5	เขื่อนสิริกิติ์	25	เขื่อนลำแซะ
6	เขื่อนห้วยหลวง	26	เขื่อนขุนด่านปราการชล
7	เขื่อนน้ำอูน	27	เขื่อนลำปลายมาศ
8	เขื่อนภูมิพล	28	เขื่อนลานางรอง
9	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน	29	เขื่อนท่าทุ่งนา
10	เขื่อนน้ำพุง	30	เขื่อนคลองสียัด
11	เขื่อนอุบลรัตน์	31	เขื่อนบางพระ
12	เขื่อนลำปาว	32	เขื่อนประแสร์
13	เขื่อนจุฬาภรณ์	33	เขื่อนหนองปลาไหล
14	เขื่อนทับเสลา	34	เขื่อนแก่งกระจาน
15	เขื่อนปากมูล	35	เขื่อนปราณบุรี
16	เขื่อนสิรินธร	36	เขื่อนรัชชประภา
17	เขื่อนเจ้าพระยา	37	เขื่อนบางวาด
18	เขื่อนลำตะคอง	38	เขื่อนปัตตานี
19	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	39	เขื่อนบางลาง
20	เขื่อนกระเสียว		

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)

1 ตัวแปรด้านแผ่นดินไหว (ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ คาบอุบัติซ้ำ และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว) ที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว (Earthquake activity) ในพื้นที่รัศมี 300 กิโลเมตร จากเขื่อนต่างๆ

2 ระดับพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Earthquake Hazard) ณ ตำแหน่งเขื่อนที่ประเมินจากทั้งแนวคิดกำหนดค่าและแนวคิดความน่าจะเป็น

บทที่ 2
ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและประเมินพิบัติภัยของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 แนวคิดได้แก่ การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake Activity) และพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนในประเทศไทย (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)

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

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)

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

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

จากสมการ 2.2 สามารถหาค่า a และ b ซึ่งเป็นค่าคงที่และสามารถนำมาหา ใช้เพื่อหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลา t ที่พิจารณา ในสมการ 2.3 ได้

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

u_t = ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax)

$\alpha = \exp(aln(10))$

$\beta = bln(10)$

โดยสามารถประเมินคาบอุบัติซ้ำ (recurrence interval) ของแผ่นดินไหว แต่ละขนาดได้จากสมการ (2.4) (Yadav และคณะ, 2011)

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

กำหนดให้ T_M คือ คาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด M ซึ่งเป็นส่วนกลับของจำนวนหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหว N_M และสามารถประเมิน ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (Probability of Occurrence) ในแต่ละขนาดและปีที่พิจารณาได้จากค่า α และ β ดังสมการ (2.5) (Yadav และคณะ, 2011)

$$P_t(M) = 1 - \exp(-\alpha t.\exp(-\beta M))$$ สมการ (2.5)

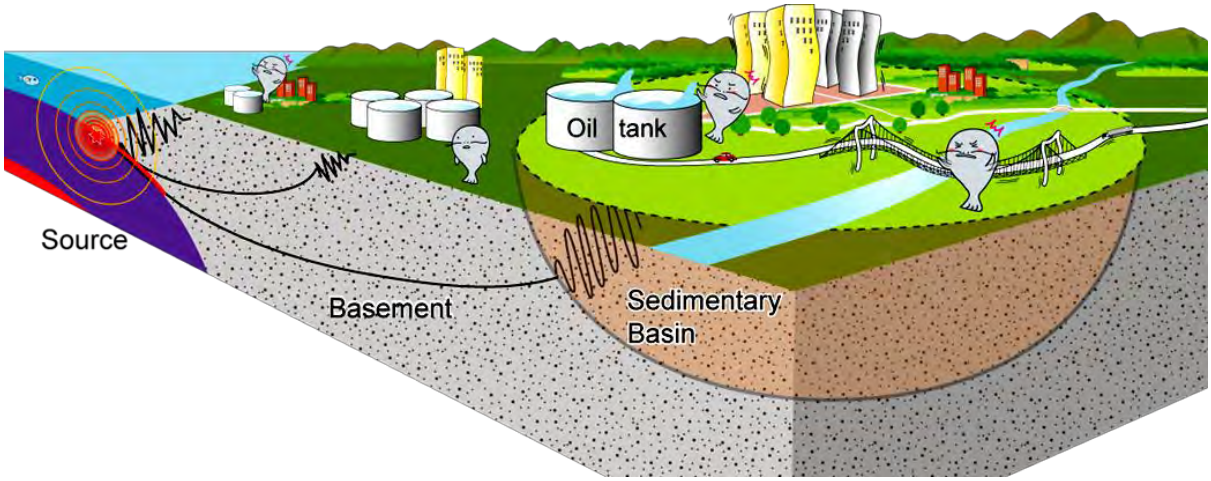
$P_t(M)$ คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด M ในช่วงเวลา t ปี ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์

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)** โดยพิจารณาทั้งรูปร่างและพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อาจส่งผลกระทบด้านแรงสั่นสะเทือนต่อพื้นที่ศึกษาใดๆ นักแผ่นดินไหววิทยาจะต้องขยายพื้นที่กว้างออกไปอย่างน้อย 300 กิโลเมตร (Gupta และคณะ 2002)
2) **ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)** ปกติแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว จะลดทอนลงเมื่อเดินทางออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ผ่านตัวกลางต่างๆ ด้วยระยะทางที่มากขึ้น ซึ่งการลดทอนของแรงสั่นสะเทือนจะลดลงอย่างรวดเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางธรณีวิทยาใต้ดินของแต่ละพื้นที่
3) **การตอบสนองแรงสั่นสะเทือนในพื้นที่ (site respond)** ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้คลื่นแผ่นดินไหวมีความแปรผันคือ คุณลักษณะต่างๆ ของดินหรือตะกอนที่ปกคลุมในแต่ละพื้นที่

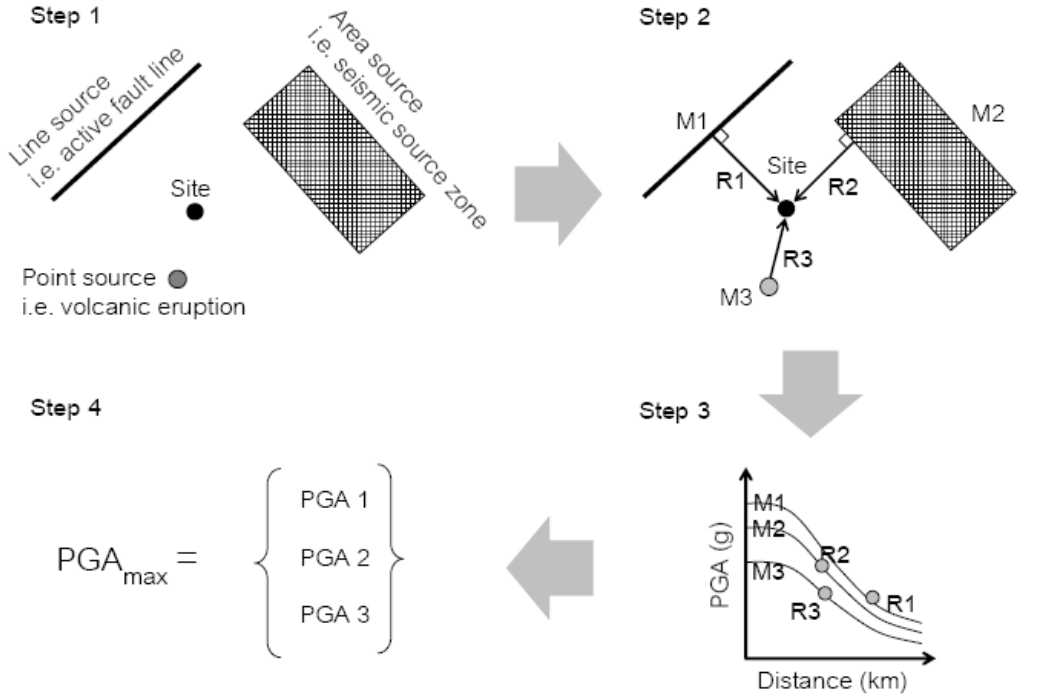


รูป 2.1 ตัวแปรสำคัญที่จำเป็นสำหรับการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)

ปัจจุบันแนวคิดในการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวมี 2 วิธีโดยนำเข้าข้อมูลที่คล้ายกันแต่ต่างกันที่กระบวนการคิดและวัตถุประสงค์ในการประเมิน

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

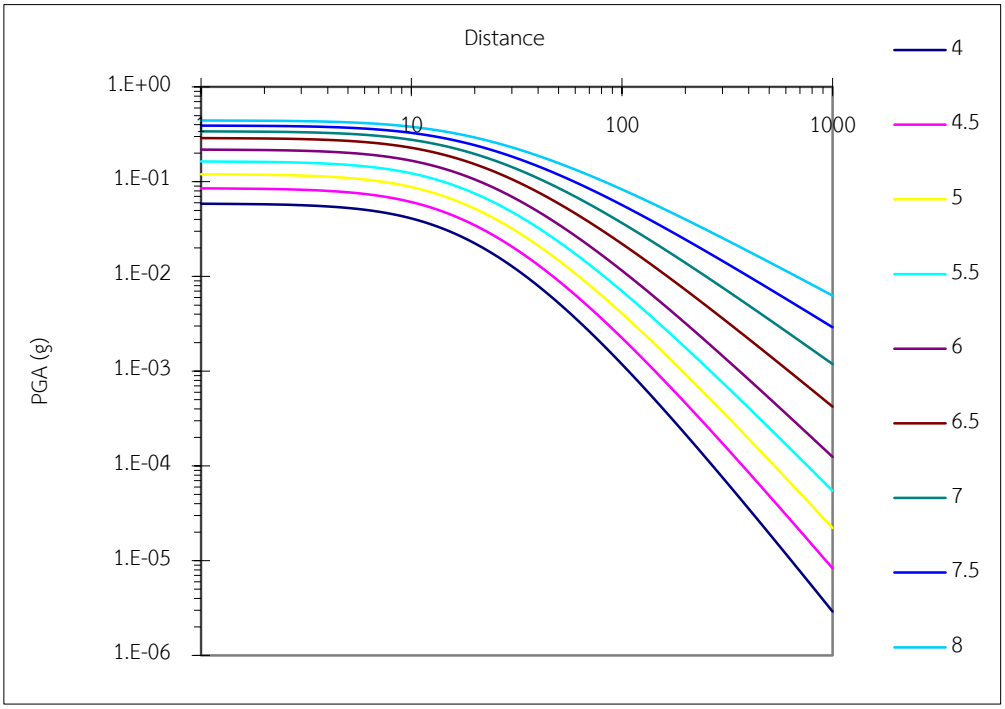
เป็นแนวคิดการประเมินอันตรายสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (worst case scenario) โดยพิจารณาจากแผ่นดินไหวใหญ่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum Credible Earthquake, MCE) และ ระยะใกล้สุดที่สามารถเกิดได้ (Shortest source-to-site distance) ซึ่งแนวคิดนี้เป็นที่นิยมในการประเมินในพื้นที่ที่มีความสำคัญ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 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)

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



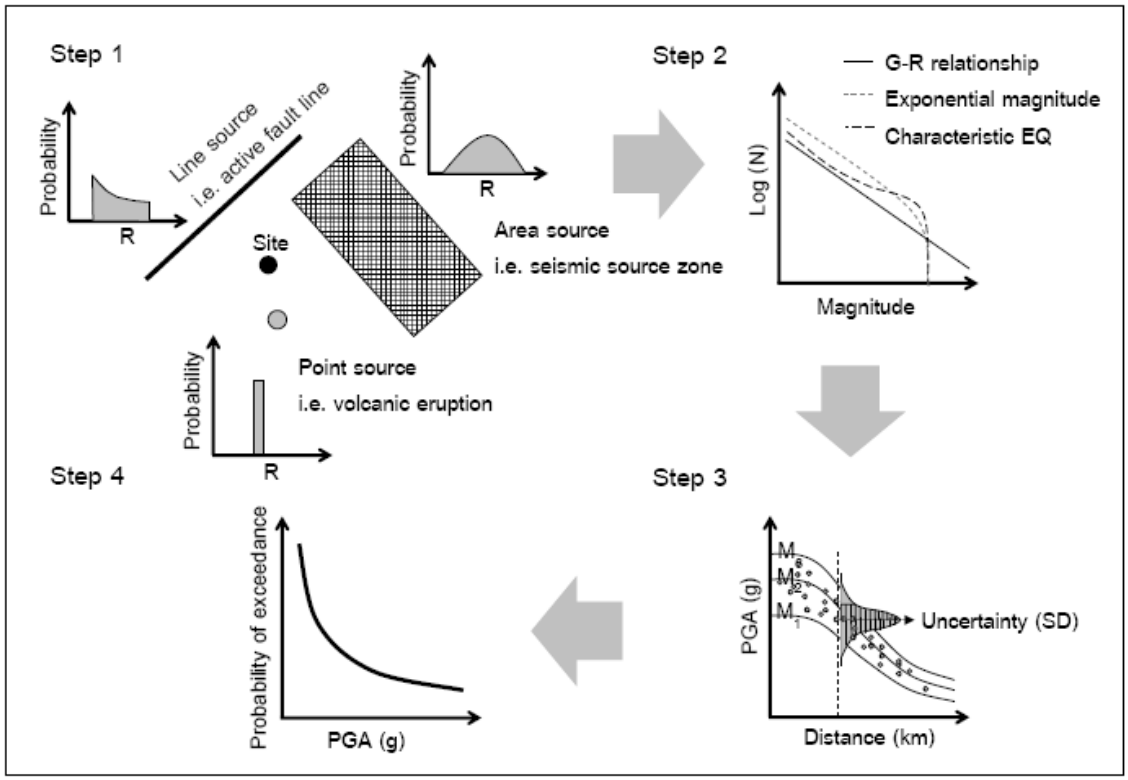
รูป 2.3 แบบจำลองการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Idriss และคณะ, 1993)

$$\ln y_{Idriss}(M,R) = [\alpha_0 + \exp(\alpha_1 + \alpha_2 M)] + [\beta_0 - \exp(\beta_1 + \beta_2 M)]\ln(R+20) + aF \quad \text{สมการ (2.6)}$$

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. ประเมินความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนในแต่ละระดับระดับโดยนำค่าระยะทางและขนาดแผ่นดินไหวที่กำหนดไว้ในแต่ละช่วงย่อย โดยใช้สมการ (2.7) ซึ่งจะทำให้ได้ได้ผลของค่าความเร่งสูงสุดบนพื้นดินซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย และความน่าจะเป็นที่แรงสั่นสะเทือนจะมีระดับเท่ากับหรือมากกว่าค่าเฉลี่ยระดับต่างๆ

$$P[A(m,r) \geq A_0 \mid m,r] = 1 - \Phi\left(\frac{\log(A_0) - \log \overline{PHA}}{\sigma}\right)$$ สมการ (2.7)

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

Φ = การกระจายตัวของความน่าจะเป็นแบบปัวซองก์

A_0 = ระดับแรงสั่นสะเทือนที่สนใจ

$\overline{PHA}$ = ค่าเฉลี่ยของระดับแรงสั่นสะเทือน

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความไม่แน่นอนของสมการการลดทอนแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

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

$$\lambda(A \geq A_0) = \sum_{i=1}^{Ns} \nu_i \iint f_{Ri}(r)\, f_{Mi}(m) P[A(r,m) \geq A_0 \mid r,m]\, dr\, dm$$ สมการ (2.8)

$\lambda(A \geq A_0)$ = ความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนระดับต่างๆ

$f_{Ri}(r)$ = ความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวถึงพื้นที่ศึกษา

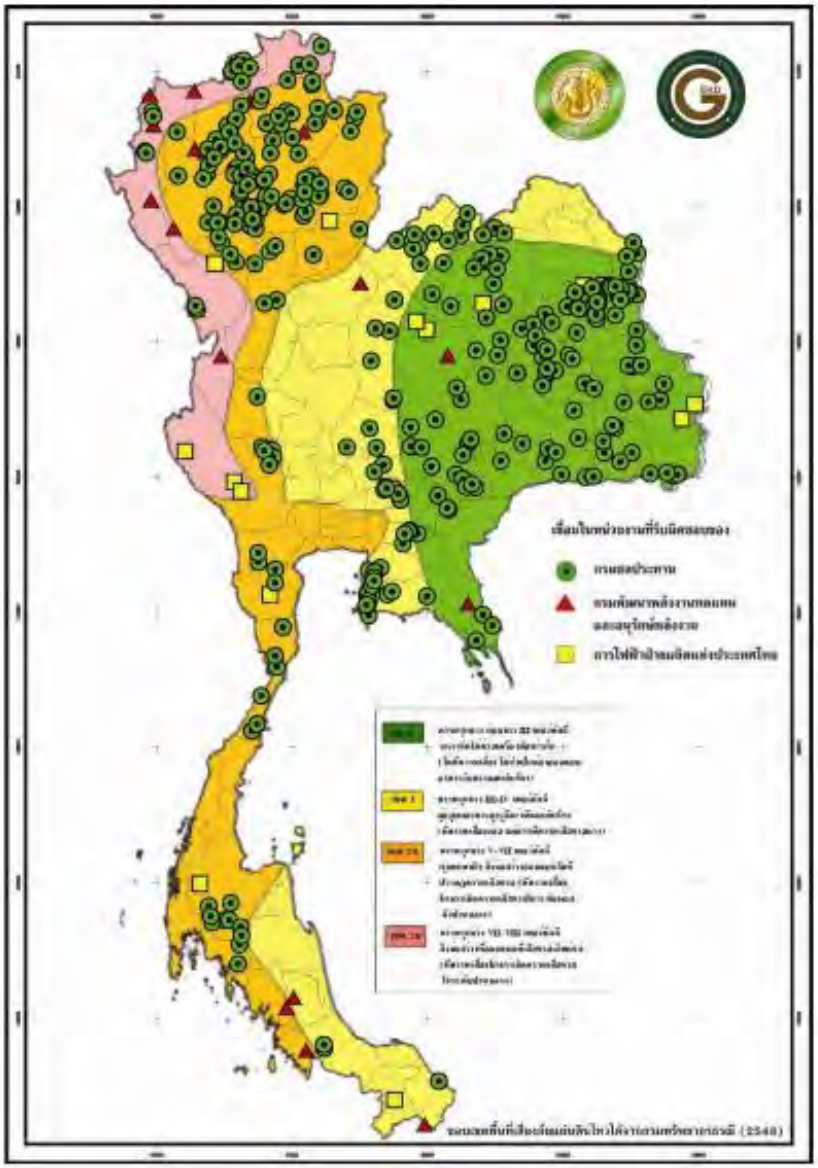
$f_{Mi}(m)$ = ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด

$P[A(m,r) \geq A_0 \mid m,r]$ = ความน่าจะเป็นของแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวขนาด m ที่เกิดขึ้น โดยห่างจากพื้นที่ศึกษาเป็นระยะทาง r ซึ่งประเมินจากลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือนในแต่ละพื้นที่

ν_i = อัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมต่อปีของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว i จากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั้งหมด Ns แหล่ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ (2551) จัดลำดับความเสี่ยงของเขื่อนในประเทศไทยต่อเหตุการณ์แผ่นดินไหว โดยวิเคราะห์และประเมินด้วยวิธีการทางสถิติร่วมกับข้อมูลเชิงโครงสร้างของเขื่อนซึ่งใช้ปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับโอกาสเกิดการพิบัติ ปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับความเสียหาย และปัจจัยที่เกี่ยวกับปริมาณความเสียหาย แต่ไม่ได้หาค่าตัวแปรตามที่ ICOLD ต้องการ (รูป 2.4)



รูป 2.5 ตำแหน่งเขื่อนบนพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

Yıldız และ Guner (2012) ประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อน Cetin ประเทศตุรกี ตามปัจจัยของ ICOLD ได้แก่ MCE OBE และ MDE ด้วยวิธีการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหว (Seismic Hazard Analysis, SHA) ทั้งการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) และ การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น (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 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 แสดงตัวแปรต่างๆในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

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

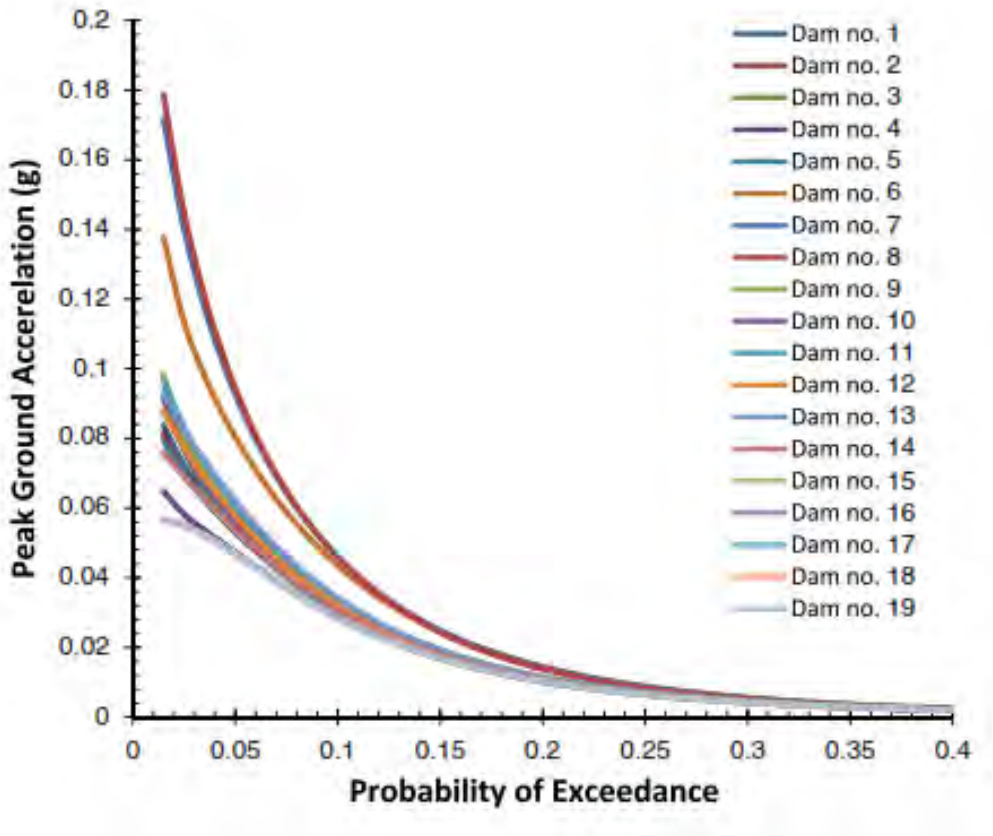
ตาราง 2.2 ผลการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธี DSHA

	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 + σ]	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	**0.09**	145
PGA(unbound. with σ)	0.121	0.091	0.097	**0.10**	
PGA (g) [median]	0.194	0.163	0.156	**0.17**	2475
PGA(unbound. with σ)	0.316	0.270	0.277	**0.29**	
PGA (g) [median]	0.239	0.204	0.225	**0.22**	10000
PGA(unbound. with σ)	0.444	0.388	0.405	**0.41**	

Pailoplee (2014) ประเมินพิบัติภัยของเขื่อนรอบแม่น้ำโขงซึ่งศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) และ SHA และสอดคล้องกับปัจจัยของ ICOLD ผลการศึกษาพบว่า MDE มีค่า 0.09 – 0.44 g โดยเขื่อนหลวงพระบาง เขื่อนไชยะบุรี และ เขื่อนปากลาย มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนมากที่สุด ส่วนเขื่อนบ้านกุ่ม เขื่อนลาดสัว เขื่อนดอนสะโฮง เขื่อนสตรึงเตรง และ เขื่อนสมโบร์ ปลอดภัยจากพิบัติภัยแผ่นดินไหว โดยรูป 2.5 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง และตาราง 2.4 แสดงผลการศึกษา



รูป 2.6 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนรอบแม่น้ำโขง

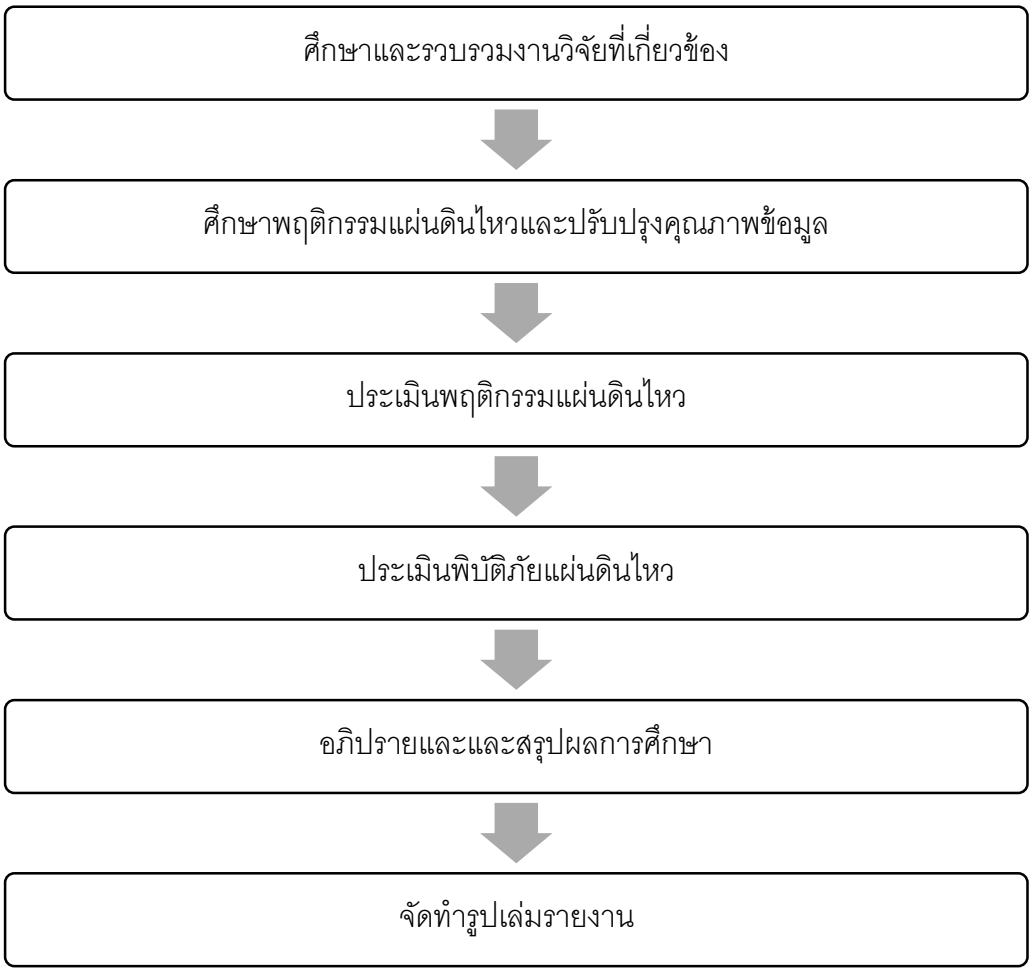
ตาราง 2.4 แสดงผลการประเมินพิบัติภัยของเขื่อน 19 เขื่อนรอบแม่น้ำโขง

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

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังแสดงในแผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา (รูป 2.7)



รูป 2.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

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) ของแต่ละเขื่อน

2.2 ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

- การแปลงหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน นิยมใช้เป็น Mw

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) (Idriss และคณะ, 1993) เพื่อหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

4.2 การประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวด้วยวิธี PSHA

โดยประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดดังวิธีที่แสดงในขั้นตอนการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็นข้างต้น และใช้สมการ (2.2) (2.8) (2.9)

5. อภิปรายและและสรุปผลการศึกษา

6. จัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 3
พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE ACTIVITY)

3.1 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Seismicity Data and Completeness)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหว จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดกรองเฉพาะช่วงข้อมูลที่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ซึ่งมีวิธีในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลอย่างละเอียดดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) โดยค้นหาข้อมูลที่ตรวจวัดได้ที่ละติจูด 2.31^{o}N – 24.34^{o}E และลองจิจูดที่ 93.25 ^{o}N – 109.27 ^{o}E ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1900 ถึงวันที่ 27 ตุลาคม 2015 พิจารณาขนาดตั้งแต่ 0 – 9.9 magnitude และที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 – 1000 กิโลเมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้จะประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงตัวเลขที่วิเคราะห์มาได้จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยรายงานทั้งจุดศูนย์กลาง (ลองติจูด ละติจูด และความลึก) เวลาเกิด (ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที) และขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งผลการบันทึกที่รวบรวมอยู่ตลอดเวลานับตั้งแต่อดีตจนปัจจุบัน ทำให้เกิดเป็นชุดข้อมูลที่เรียกว่า ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue) ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตัวอย่างฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Depth	Hour	Min	Sec	Mw	Mb	Ms
93.93	8.14	1990	12	29	21	13	23	54	6.1	-	-
94.02	8.23	1990	12	29	21	13	23	54	6.1	5.6	5.9
94.061	8.257	1990	12	29	18	13	23	54	6.1	5.6	6
99.611	22.789	1988	11	6	15	13	3	19	7.7	-	-
99.77	22.81	1988	11	6	10	13	3	17	7	6.1	7.3
94.67	20.74	1988	10	23	45.6	11	43	10	5.1	-	-
102.906	22.736	1995	4	24	33	16	13	11	5.2	4.7	5
102.906	22.736	1995	4	24	33	16	13	11	5.2	4.7	
95.63	2.78	1995	3	14	29.4	10	27	33	5.4		
95.845	3.05	1995	3	14	30.1	10	27	30	5.5	5.1	5.2
95.845	3.05	1995	3	14	30.1	10	27	30	5.5	5.1	

นำข้อมูลทั้งหมดเข้าโปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) ผ่านโปรแกรม MATLAB พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 50,378 ข้อมูล โดยมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรงมากที่สุด 8.8 ริกเตอร์ และน้อยที่สุด 0.1 ริกเตอร์ เกิดที่ระดับความลึก 750 กิโลเมตร

2. ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

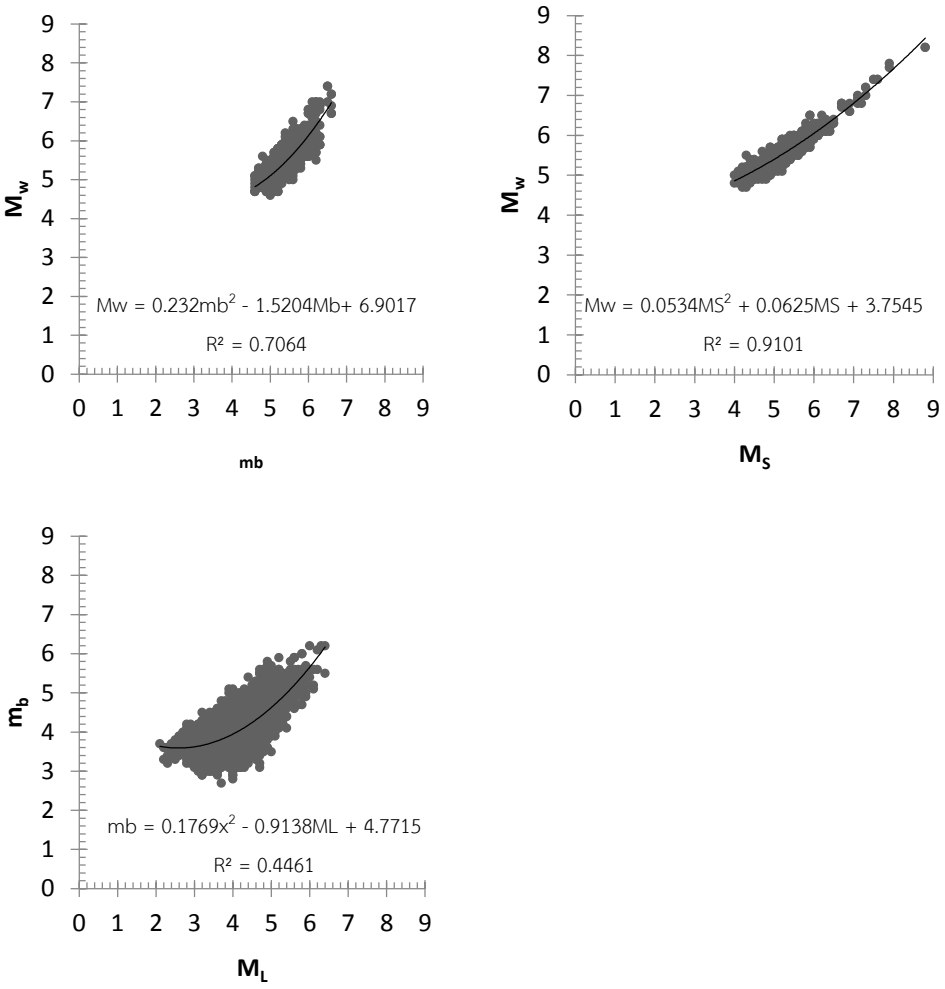
ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลจะมีหน่วยวัดขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน เช่น Body-wave magnitude (mb) Surface wave magnitude (M_S) Local magnitude (M_L) และ Moment magnitude (M_W) โดยแต่ละหน่วยอ้างอิงมาจากสมมติฐานและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปลงหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยเดียวกันก่อนนำไปวิเคราะห์ นิยมใช้เป็น Mw เนื่องจากเป็นหน่วยวัดจากพื้นที่การปริแตกและเลื่อนตัวของรอยเลื่อนโดยตรงและไม่มีปัญหาการอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว ขั้นตอนในการแปลงหน่วยโดยใช้สมการความสัมพันธ์ มีดังนี้

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

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

$$\mathrm{Mw} = 0.0534 + \mathrm{MS}^2 + 0.0625\mathrm{MS} + 3.7545 \qquad \text{สมการ (3.2)}$$

$$m\mathrm{b} = 0.1769\mathrm{x}^2 - 0.9138\mathrm{ML} + 4.7715 \qquad \text{สมการ (3.3)}$$



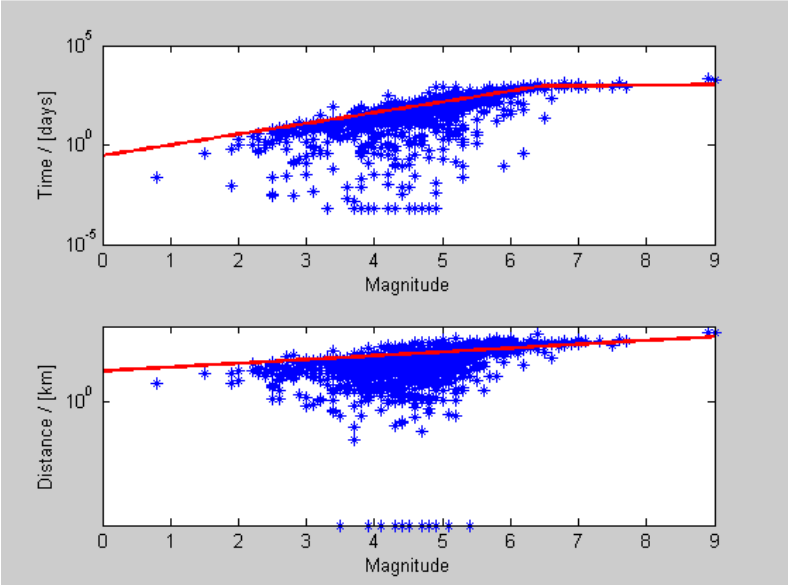
รูป 3.1 กราฟแสดงการปรับเทียบมาตราขนาดแผ่นดินไหวต่างๆ

- นำสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดมาปรับเทียบข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน

3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

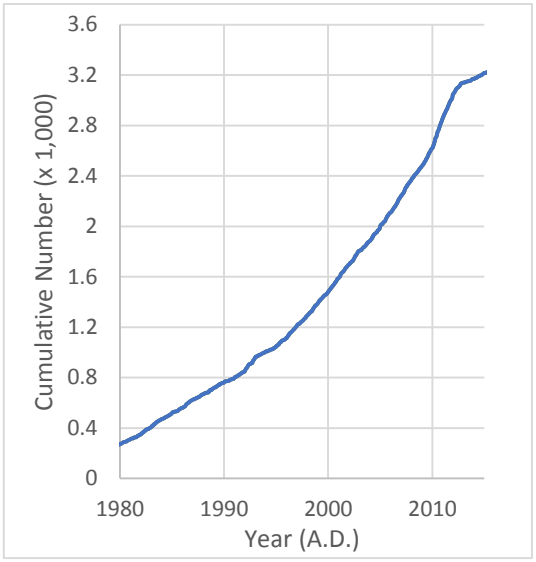
ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ถูกบันทึกสามารถจำแนกตามกลไกการเกิดได้ 3 ประเภท แผ่นดินไหวนำ (foreshock) เกิดจากการเตรียมตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวหลัก แผ่นดินไหวหลัก (main shock) เกิดจากแรงเค้นอันเนื่องมาจากกระบวนทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง และ แผ่นดินไหวตาม (aftershock) เกิดจากแรงเครียด (strain) ที่ถ่ายเทมาจากการการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้น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



รูป 3.2 แสดงผลการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยข้อมูลที่อยู่เหนือเส้นสีแดงคือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

ผลจากการวิเคราะห์บริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 1,688 กลุ่ม ประกอบด้วยแผ่นดินไหว 47,132 เหตุการณ์ (คิดเป็น 93.56% จาก 50,378 เหตุการณ์) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักได้ 3,246 เหตุการณ์ และรูป 3.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและช่วงเวลาในแต่ละปี หลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักแล้ว พบว่ากราฟเริ่มมีความเป็นเส้นตรง



รูป 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและช่วงเวลาในแต่ละปี หลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

4. ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

นอกเหนือจากกระบวนการทางธรรมชาติ กิจกรรมบางอย่างของมนุษย์ยังสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ ตัวอย่างเช่น การทดลองระเบิดนิวเคลียร์หรือการระเบิดจากการทำเหมือง นอกจากนี้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ยังได้รับผลกระทบและมักจะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูล อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระบบการตรวจวัด ซึ่งมาจากหลากหลายสาเหตุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว (detection change) จะทำให้การบันทึกข้อมูลไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงการรายงาน (report change) ซึ่งจะทำให้มีการประเมินขนาดแผ่นดินไหวเปลี่ยนไปจากเดิม (Habermann และ Wyss, 1984) การเปลี่ยนแปลงซอฟแวร์ในการประมวลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละช่วงเวลา (Wyss และ Habermann, 1988b) และการเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดและคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984)

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

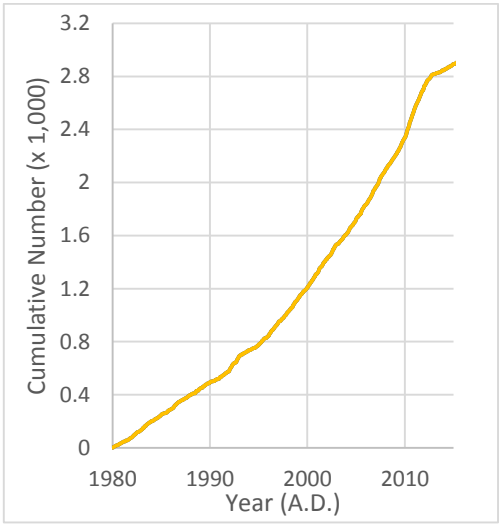
$$Z = \frac{M1 - M2}{\sqrt{\frac{S1^2}{N1} - \frac{S2^2}{N2}}}$$ สมการ (3.4)

M = ค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา

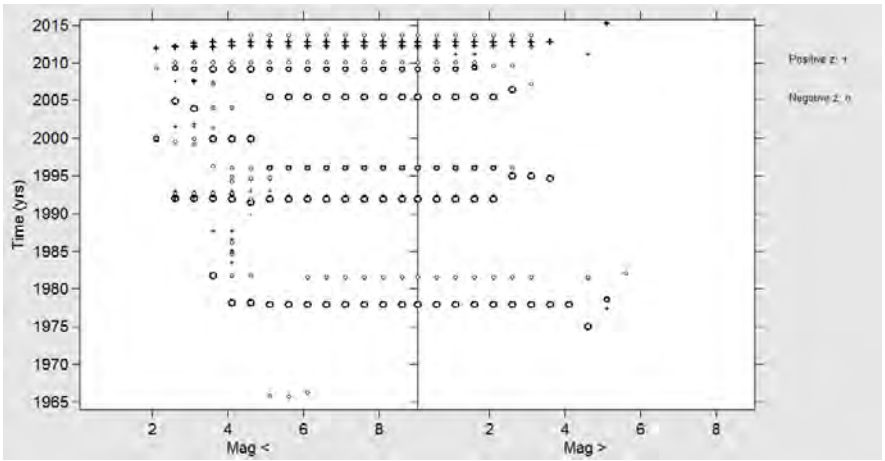
S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = จำนวนตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

การกำจัดแผ่นดินไหวจากกิจกรรมของมนุษย์เลือกตัดในช่วงปี ค.ศ. 1980 – 2015 ด้วยขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.0-9.0 ริกเตอร์ ซึ่งมีการตรวจวัดด้วยอัตราเดียวกันอย่างต่อเนื่องมาเป็นตัวแทนของพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้ (รูป 3.5) หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 2,923 เหตุการณ์ จาก 3,246 เหตุการณ์ ซึ่งสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Cumulative number of earthquake) และช่วงเวลาในแต่ละปี หลังจากที่กำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์แล้วได้ โดยกราฟจะมีลักษณะใกล้เส้นตรงมาก รูป 3.4

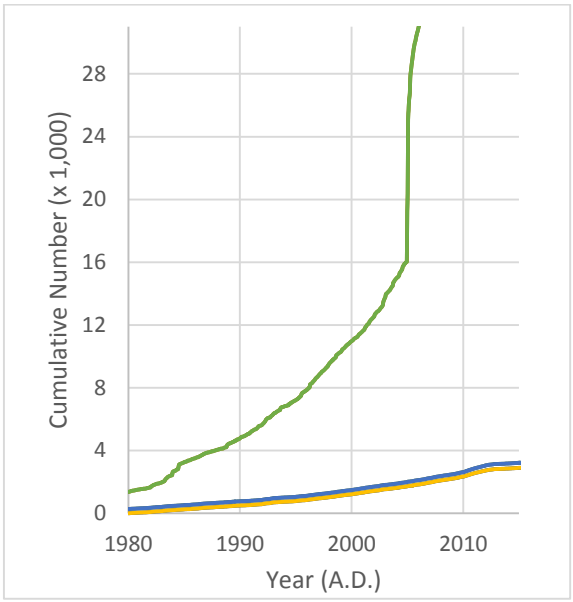


รูป 3.4 ข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์



รูป 3.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดและบันทึกแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Habermann (1983; 1987)

จากการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดจะพบว่ากราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปีจะมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อปรับปรุงเสร็จแล้ว รูป 3.6

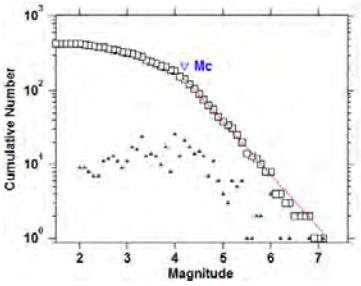


รูป 3.6 กราฟแสดงแผ่นดินไหวสะสมกับจำนวนปี เส้นสีส้มแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการปรับปรุงข้อมูลแล้ว

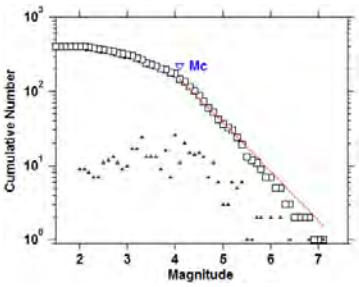
3.2 การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหว (Earthquake activity)

การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวเป็นการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (Maximum Analysis, DSHA) และ การคำนวณการเกิดแผ่นดินไหวในเชิงสถิติ (Earthquake statistics) ด้วยวิธี b value ทำให้ได้ผลออกมาดังนี้ รูป 3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งช่วงที่ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าน้อยกว่า Mc กราฟจะไม่เป็นเส้นตรง จากการวิจัยพบว่าเป็นผลอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหว ดังนั้นจึงมีการกำหนดขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ เรียก Magnitude of completeness (Mc) (Woessner และ Wiemer, 2005) โดย Mc หมายถึงขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายตรวจวัดสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์

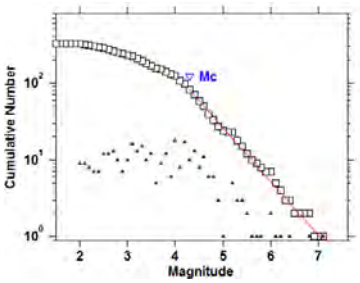
1. เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล (Mae Ngat Somboonchol)



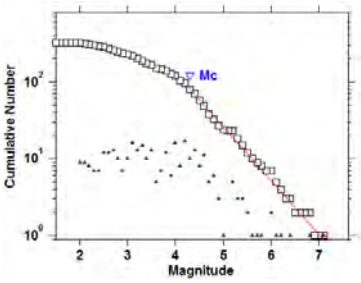
2. เขื่อนแม่กวง (Mae Kuang Udomthara)



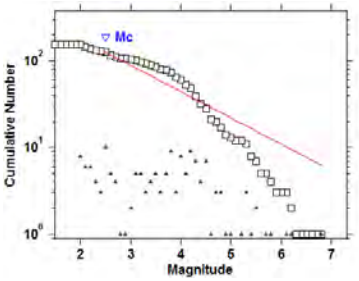
3. เขื่อนกิ่วคอหมา (Kio Kho Ma)



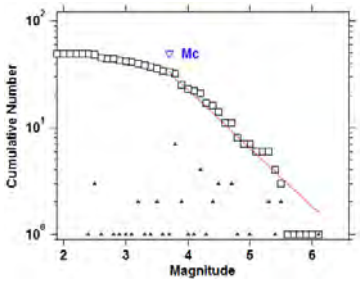
4. เขื่อนกิ่วลม (Kiu Lom)



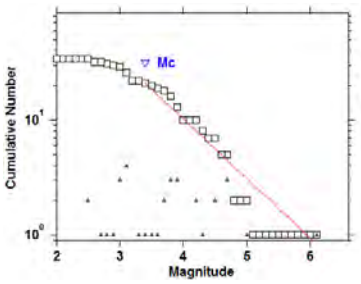
5. เขื่อนสิริกิติ์ (Sirikit)



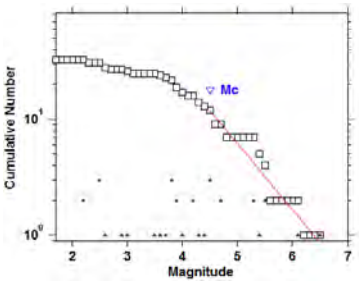
6. เขื่อนห้วยหลวง (Huai Luang)



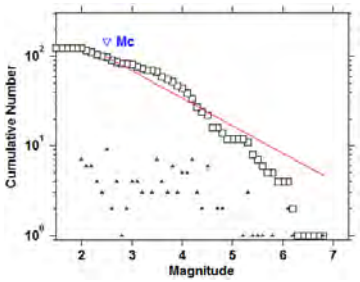
10. เขื่อนน้ำพุง (Nam Phung)



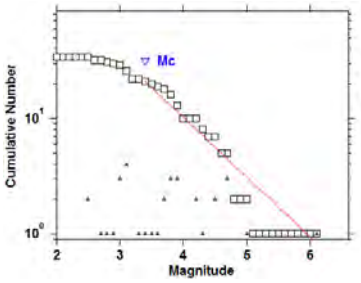
11. เขื่อนอุบลรัตน์ (Ubonrat)



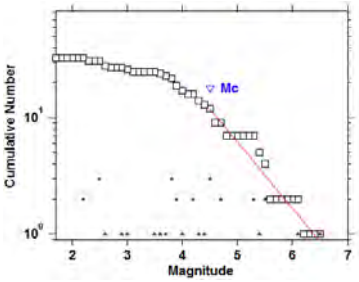
9. เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน (Khaew Noi Bamrung Dan)



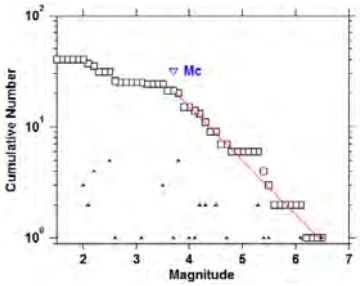
10. เขื่อนน้ำพุง (Nam Phung)



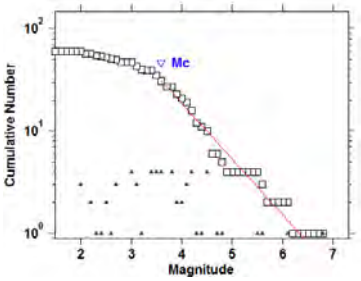
11. เขื่อนอุบลรัตน์ (Ubonrat)



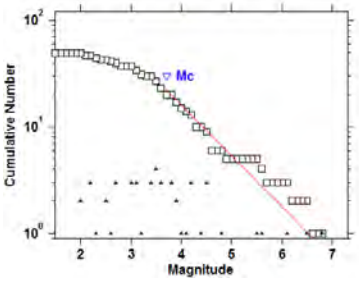
13. เขื่อนจุฬาภรณ์ (Chulabhorn)



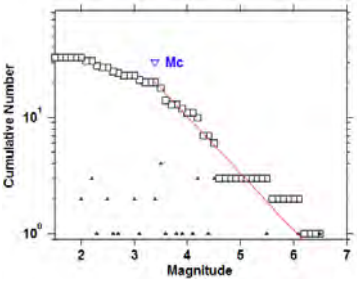
14. เขื่อนทับเสลา (Tab Salao)



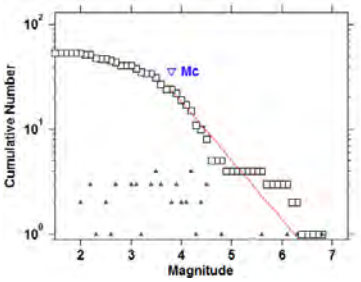
17. เขื่อนเจ้าพระยา (Chao Phraya)



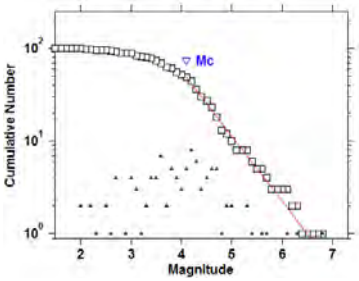
19. เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ (Pasak Chonlasit)



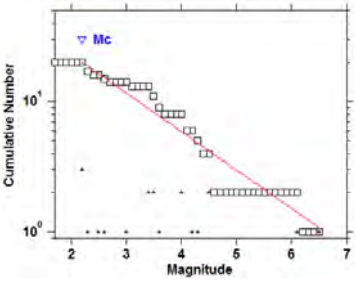
20. เขื่อนกระเสียว (Kra Seaw)



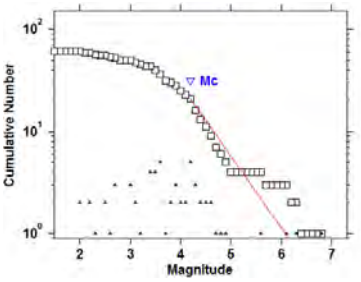
21. เขื่อนวชิราลงกรณ์ (Wachiralongkorn)



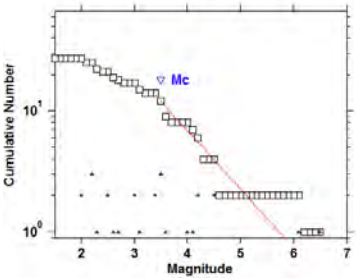
22. เขื่อนลำพระเพลิง (Lam Phra Phloeng)



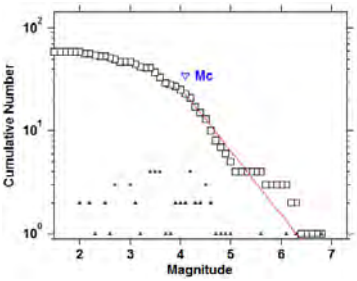
24. เขื่อนศรีนครินทร์ (Srinakarin)



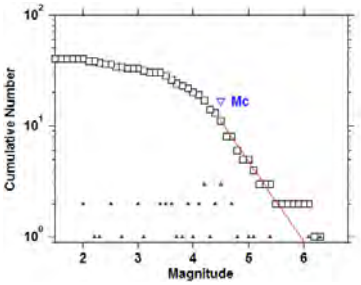
26. เขื่อนขุนด่านปราการชล (Khun Dan Prakarnchon)



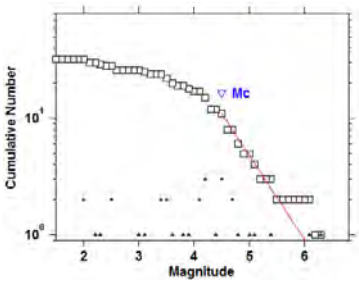
29. เขื่อนท่าทุ่งนา (Tha Thung Na)



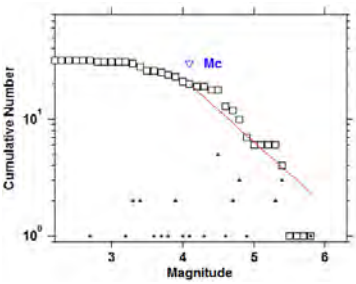
34. เขื่อนแก่งกระจาน (Kaeng Krachan)



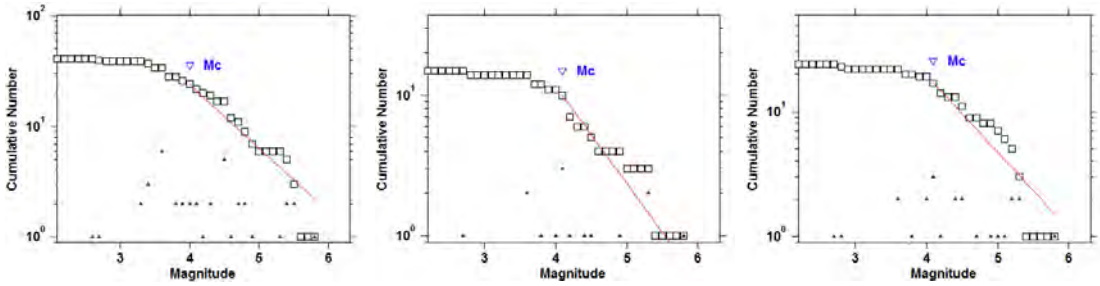
35. เขื่อนปราณบุรี (Pranburi)



36. เขื่อนรัชชประภา (Ratchaprapa)



37. เขื่อนบางวาด (Bang Wad) 38. เขื่อนปัตตานี (Pattani) 39. เขื่อนบางลาง (Bang Lang)



รูป 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ (ในกรณีที่บางเขื่อนไม่สามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ จึงไม่ได้นำมาแสดงในรูป 3.7)

จากตาราง 3.2 แสดงให้เห็นว่า a มีค่าอยู่ระหว่าง 1.95-5.16 โดยเขื่อนหมายเลข 1 มีค่า a สูงที่สุดเท่ากับ 5.16 ส่วนเขื่อนหมายเลข 22 มีค่า a ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.95 และเขื่อนหมายเลข 12, 15, 16, 18, 23, 25, 27, 28 และ 30-32 มีค่า a=0 โดยค่า a คืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหว ดังนั้นสามารถตีความได้ว่าเขื่อนหมายเลข 1 ซึ่งมีค่า a สูงที่สุดมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหวมากกว่าเขื่อนอื่นๆ

สำหรับค่า b คือสัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็ก บริเวณที่ค่า b สูงแสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า b ต่ำ จากตารางพบว่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.29-0.72 โดยเขื่อนหมายเลข 22 (เขื่อนลำพระเพลิง) มีค่า b = 0.29 $\pm$ 0.05 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดและเขื่อนหมายเลข 35 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.72$\pm$0.2

MCE คือขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดได้ของแต่ละเขื่อนโดยประเมินจากความยาวของรอยเลื่อน (Pailoplee, 2009) และคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ของ Well และ Coppersmith (1994) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.5 Mw โดยเขื่อนหมายเลข 1 2 และ 8 มีขนาดสูงสุดเท่ากับ 8.5 Mw และรอยเลื่อนที่ทำให้เกิด MCE คือรอยเลื่อนสะกาย

จากตาราง 3.3 แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax) ในรอบ 5,10,50,100 และ 145 ปี คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว(RI) ขนาด 4,5,6 และ 7 ริกเตอร์และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE) ขนาด 4 5 6 และ 7 ริกเตอร์ในรอบ 50 ปี ทั้งนี้พบว่าเขื่อนหมายเลข 5 และ 9 มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้สูงถึง 6.3-6.7 Mw หากพิจารณาในช่วงเวลา 5 ปี ส่วนคาบอุบัติซ้ำที่สั้นที่สุดของแผ่นดินไหวขนาด5.0–7.0 Mw อยู่ที่เขื่อนหมายเลข 2 ประมาณ 1 ปี 4 ปี และ 19 ปีตามลำดับ นอกจากนี้เขื่อนหมายเลข 5 มีโอกาส 100%ที่ในอีก 50 ปีข้างหน้าจะมีแผ่นดินไหวขนาด 4 5 6 และ 7 ริกเตอร์เกิดขึ้นได้

สำหรับขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็น 10% (Construction Earthquake, CE) สามารถหาได้จากความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหว 10% ในรอบ 50 ปีหรือขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในรอบ 145 ปี พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 6.6-7.0 Mw

เขื่อนสิริกิติ์ เป็นเขื่อนดินขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ตั้งอยู่ทางภาคเหนือที่จังหวัดอุตรดิตถ์ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวและมีรอยเลื่อนมีพลังที่เกิดการเลื่อนตัวอยู่บ่อยครั้ง มีขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบ 5 ปีเท่ากับ 6.7 Mw ส่วนเขื่อนทางภาคตะวันตกที่สำคัญคือเขื่อนวชิราลงกรณ์ เป็นเขื่อนทดน้ำและอยู่ที่จังหวัดกาญจนบุรีมีคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7 ริกเตอร์ ทุกๆ 78 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลานานกว่าการเกิดขนาดแผ่นดินไหวเล็กๆ ส่วนบริเวณภาคกลางมีเขื่อนกระเสียวซึ่งเป็นเขื่อนดินเก็บน้ำ อยู่ที่จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นเขื่อนที่สำคัญ มีความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 5 ริกเตอร์ในรอบ 50 ปี เท่ากับ 100%

ตาราง 3.2 แสดงตัวแปรในการประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่สำคัญ

No.	Dam name	Long	Lat	SD of b	a	a annual	b	MCE	Alpha	Beta
1	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	99.04	19.23	0.06	5.16	3.61	0.72	8.5	4073.80	1.65
2	เขื่อนแม่กวง	99.01	19.10	0.05	4.88	3.33	0.66	8.5	2137.96	1.52
3	เขื่อนกิ่วคอหมา	99.60	18.57	0.08	4.93	3.38	0.70	7.9	2398.83	1.62
4	เขื่อนกิ่วลม	99.63	18.44	0.08	4.92	3.37	0.70	7.9	2344.23	1.61
5	เขื่อนสิริกิติ์	100.56	17.77	0.02	2.86	1.33	0.30	7.9	21.38	0.70
6	เขื่อนห้วยหลวง	102.60	17.37	0.08	3.55	2.01	0.55	7.9	102.33	1.26
7	เขื่อนน้ำอูน	103.75	17.30	0.1	3.65	2.11	0.59	7.9	128.82	1.36
8	เขื่อนภูมิพล	98.97	17.24	0.05	4.1	2.55	0.57	8.5	354.81	1.32
9	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน	100.44	17.14	0.02	2.77	1.23	0.31	7.9	16.98	0.71
10	เขื่อนน้ำพุง	103.98	16.97	0.09	3.09	1.55	0.52	7.9	35.48	1.20
11	เขื่อนอุบลรัตน์	102.62	16.77	0.1	3.66	2.12	0.57	7.9	131.83	1.32
12	เขื่อนลำปาว	103.44	16.60					7.9	1.00	0.00
13	เขื่อนจุฬาภรณ์	101.65	16.54	0.1	3.1	1.61	0.48	7.9	40.74	1.11
14	เขื่อนทับเสลา	99.45	15.54	0.09	3.46	1.92	0.55	7.9	83.18	1.26
15	เขื่อนปากมูล	105.47	15.43					7.9	1.00	0.00
16	เขื่อนสิรินธร	105.43	15.20					7.9	1.00	0.00
17	เขื่อนเจ้าพระยา	100.18	15.16	0.1	3.12	1.6	0.48	7.9	39.81	1.11
18	เขื่อนลำตะคอง	101.56	14.86					7.6	1.00	0.00
19	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	101.08	14.85	0.1	2.96	1.45	0.49	7.9	28.18	1.12

20	เขื่อนกระเสียว	99.65	14.83	0.1	3.52	2	0.56	7.9	100.00	1.30
21	เขื่อนวชิราลงกรณ์	98.60	14.80	0.1	4.57	3.03	0.70	7.9	1071.52	1.62
22	เขื่อนลำพระเพลิง	101.84	14.59	0.05	1.95	0.497	0.29	7.6	3.14	0.68
23	เขื่อนมูลบน	102.15	14.56					7.6	1.00	0.00
24	เขื่อนศรีนครินทร์	99.13	14.45	0.2	4.28	2.76	0.70	7.9	575.44	1.62
25	เขื่อนลำแซะ	102.27	14.42					7.6	1.00	0.00
26	เขื่อนขุนด่านปราการชล	101.32	14.31	0.2	2.77	1.31	0.48	7.6	20.42	1.11
27	เขื่อนลำปลายมาศ	102.44	14.30					7	1.00	0.00
28	เขื่อนลานางรอง	102.77	14.27					7	1.00	0.00
29	เขื่อนท่าทุ่งนา	99.23	14.24	0.1	3.9	2.37	0.62	7.9	234.42	1.42
30	เขื่อนคลองสียัด	101.69	13.43					7.6	1.00	0.00
31	เขื่อนบางพระ	100.96	13.21					7.6	1.00	0.00
32	เขื่อนประแสร์	101.57	13.02					7.6	1.00	0.00
33	เขื่อนหนองปลาไหล	101.27	12.94					7.6	1.00	0.00
34	เขื่อนแก่งกระจาน	99.63	12.92	0.2	4.27	2.75	0.72	7.6	562.34	1.65
35	เขื่อนปราณบุรี	99.79	12.47	0.2	4.27	2.81	0.72	7.6	645.65	1.65
36	เขื่อนรัชชประภา	98.81	8.97	0.07	3.55	2.04	0.55	7	109.65	1.27
37	เขื่อนบางวาด	98.34	7.89	0.08	3.68	2.15	0.58	7	141.25	1.33
38	เขื่อนปัตตานี	101.29	6.68	0.2	3.87	2.44	0.70	7.7	275.42	1.61
39	เขื่อนบางลาง	101.27	6.15	0.1	3.76	2.33	0.62	7.6	213.80	1.42

ตาราง 3.3 แสดงขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Mmax) คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (RI) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว (POE)

No.	Dam name	Long	Lat	Mmax in 5 Yr	Mmax in 10 Yr	Mmax in 50 Yr	Mmax in 100 Yr	Mmax in 145 Yr	RI 4	RI 5	RI 6	RI 7	POE 4 in 50 Yr	POE 5 in 50 Yr	POE 6 in 50 Yr	POE 7 in 50 Yr
1	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	99.04	19.23	6.0	6.4	7.4	7.8	7.0	0	1	5	26	100	100	100	86
2	เขื่อนแม่กวง	99.01	19.10	6.1	6.6	7.6	8.1	7.0	0	1	4	19	100	100	100	92
3	เขื่อนกิ่วคอหมา	99.60	18.57	5.8	6.2	7.2	7.7	7.0	0	1	7	35	100	100	100	76
4	เขื่อนกิ่วลม	99.63	18.44	5.8	6.2	7.2	7.7	7.0	0	1	7	34	100	100	100	77
5	เขื่อนสิริกิติ์	100.56	17.77	6.7	7.7	10.0	11.0	7.0	1	2	3	6	100	100	100	100
6	เขื่อนห้วยหลวง	102.60	17.37	4.9	5.5	6.8	7.3	7.0	2	5	19	67	100	100	93	53
7	เขื่อนน้ำอูน	103.75	17.30	4.7	5.3	6.4	6.9	7.0	2	7	28	108	100	100	84	37
8	เขื่อนภูมิพล	98.97	17.24	5.7	6.2	7.4	7.9	7.0	1	2	8	29	100	100	100	82
9	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน	100.44	17.14	6.3	7.2	9.5	10.5	7.0	1	2	4	8	100	100	100	100
10	เขื่อนน้ำพุง	103.98	16.97	4.3	4.9	6.2	6.8	7.0	3	11	37	123	100	99	74	33
11	เขื่อนอุบลรัตน์	102.62	16.77	4.9	5.4	6.7	7.2	7.0	1	6	21	78	100	100	91	47
12	เขื่อนลำปาว	103.44	16.60						1	1	1	1	100	100	100	100
13	เขื่อนจุฬาภรณ์	101.65	16.54	4.8	5.4	6.9	7.5	7.0	2	6	19	57	100	100	93	58
14	เขื่อนทับเสลา	99.45	15.54	4.8	5.3	6.6	7.2	7.0	2	6	23	80	100	100	89	47
15	เขื่อนปากมูล	105.47	15.43						1	1	1	1	100	100	100	100
16	เขื่อนสิรินธร	105.43	15.20						1	1	1	1	100	100	100	100
17	เขื่อนเจ้าพระยา	100.18	15.16	4.8	5.4	6.9	7.5	7.0	2	6	19	58	100	100	93	58
18	เขื่อนลำตะคอง	101.56	14.86						1	1	1	1	100	100	100	100
19	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	101.08	14.85	4.4	5.0	6.5	7.1	7.0	3	10	30	92	100	99	81	42

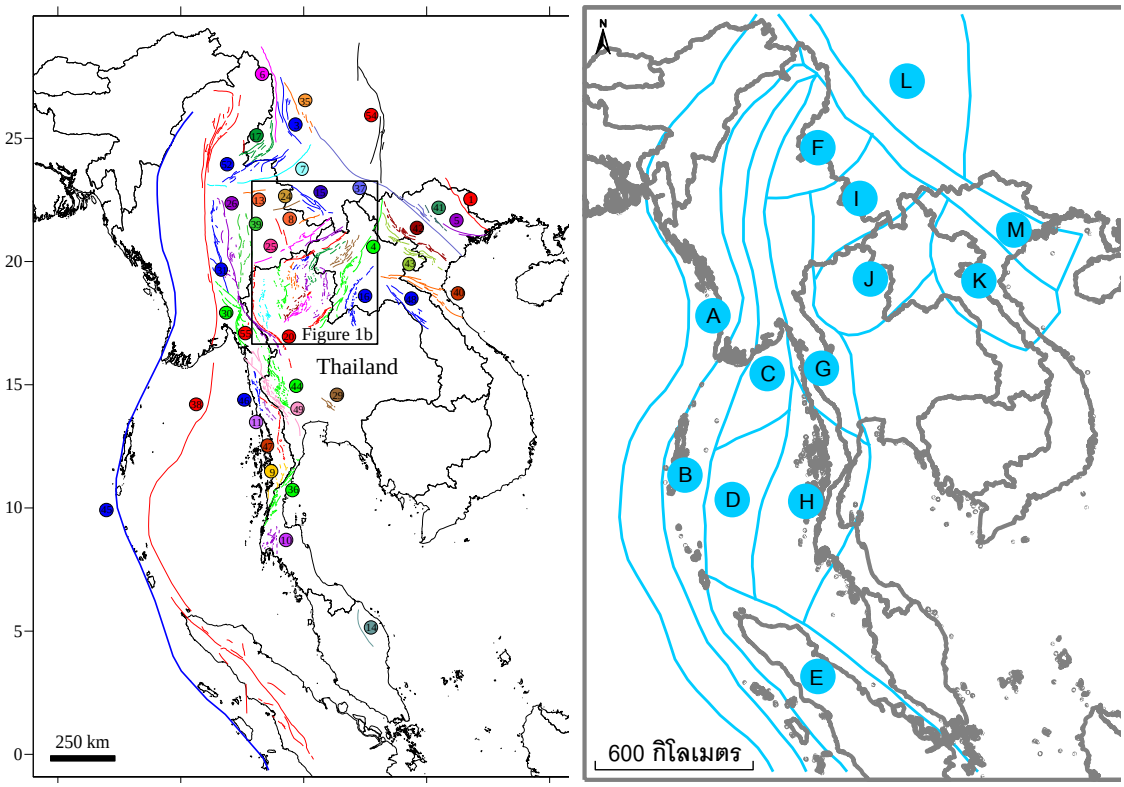
20	เขื่อนกระเสียว	99.65	14.83	4.8	5.3	6.6	7.1	7.0	2	7	24	87	100	100	88	44
21	เขื่อนขิราลงกรณ์	98.60	14.80	5.3	5.7	6.7	7.2	7.0	1	3	15	78	100	100	96	47
22	เขื่อนลำพระเพลิง	101.84	14.59	4.1	5.1	7.5	8.5	7.0	5	9	18	36	100	100	93	75
23	เขื่อนมูลบน	102.15	14.56						1	1	1	1	100	100	100	100
24	เขื่อนศรีนครินทร์	99.13	14.45	4.9	5.3	6.3	6.8	7.0	1	6	29	147	100	100	82	29
25	เขื่อนลำแซะ	102.27	14.42						1	1	1	1	100	100	100	100
26	เขื่อนขุนด่านปราการชล	101.32	14.31	4.2	4.8	6.2	6.9	7.0	4	13	39	118	100	98	73	35
27	เขื่อนลำปลายมาศ	102.44	14.30						1	1	1	1	100	100	100	100
28	เขื่อนลานางรอง	102.77	14.27						1	1	1	1	100	100	100	100
29	เขื่อนท่าทุ่งนา	99.23	14.24	5.0	5.5	6.6	7.1	7.0	1	5	22	90	100	100	90	42
30	เขื่อนคลองสียัด	101.69	13.43						1	1	1	1	100	100	100	100
31	เขื่อนบางพระ	100.96	13.21						1	1	1	1	100	100	100	100
32	เขื่อนประแสร์	101.57	13.02						1	1	1	1	100	100	100	100
33	เขื่อนหนองปลาไหล	101.27	12.94						1	1	1	1	100	100	100	100
34	เขื่อนแก่งกระจาน	99.63	12.92	4.8	5.2	6.2	6.6	6.8	1	7	36	189	100	100	75	23
35	เขื่อนปราณบุรี	99.79	12.47	4.9	5.3	6.3	6.7	6.9	1	6	31	164	100	100	80	26
36	เขื่อนรัชชประภา	98.81	8.97	5.0	5.5	6.8	7.3	7.0	1	5	18	65	100	100	94	54
37	เขื่อนบางวาด	98.34	7.89	4.9	5.5	6.7	7.2	7.0	1	5	20	76	100	100	92	48
38	เขื่อนปัตตานี	101.29	6.68	4.5	4.9	5.9	6.3	6.6	2	11	58	288	100	99	58	16
39	เขื่อนบางลาง	101.27	6.15	4.9	5.4	6.5	7.0	7.0	1	6	24	99	100	100	88	40

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 ได้แก่ประเภทที่ 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 แผนที่แผ่นดินใหญ่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แสดง (ซ้าย) รอยเลื่อนแผ่นดินไหว (earthquake fault) ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีตและนำเสนอโดย Pailoplee และคณะ (2009) (ขวา) เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่นำเสนอโดย Pailoplee และ Choowong (2013)

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าเขื่อนต่างๆมีรอยเลื่อนที่ส่งผลในระยะ 300 m โดยอยู่ในเขตกำเนิดแผ่นดินไหว (Pailoplee, 2013) และความยาวรอยเลื่อน (Pailoplee, 2009) ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงรอยเลื่อนที่ส่งผลในระยะ 300 m ของเขื่อนต่างๆ

Mmax	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	SSZ	J	J	J	J	J			J	J					G						G	G			G					G					H	H	H	H		
	MCE	8.5	8.5	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	8.5	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.6	7.9	7.9	7.9	7.6	7.6	7.9	7.6	7.6	7	7	7.9	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7	7	7.7	7.6
5.9	Hutgyi	●	●	●	●	●			●	●					●																									
6.6	Phayao	●	●	●	●	●			●	●				●																										
6.6	Maeyom	●	●	●	●	●	●		●	●				●																										
6.6	Maecham	●	●	●	●	●			●	●					●			●			●	●																		
6.7	Uttaladith	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●					●	●																			

| | | |

6.9	Mae hong sorn-ta	●	●	●	●	●			●	●				●	●			●	●	●	●	●	●	●	●		●			●										
6.9	Kawt huang																								●					●		●	●	●	●	●	●	●		
7	Tena sserim														●			●	●	●	●	●			●		●			●	●	●	●	●	●	●				
7	Sri sawath	●	●	●	●	●			●	●					●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●				
7	Rano ng																								●					●	●	●	●	●	●	●	●	●		
7	Ongk alak									●				●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
7	Mae tha	●	●	●	●	●			●	●					●																									
7.1	Nam peng	●	●	●	●	●																																		
7.1	Loei-petch abun	●		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●					●	●																				

7.1	Jing hong	●	●																																								
7.2	Wan na-awn	●	●	●	●																																					
7.2	Shan	●	●	●	●				●																																	
7.3	Meng xing	●	●	●	●																																					
7.4	Mae chan	●	●	●	●	●																																				
7.5	Dein bein fu	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●																					
7.6	Three pagoda			●	●	●			●	●					●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●	●					
7.6	Pha pun	●	●	●	●				●						●						●	●			●																●
7.7	Nam ma	●	●	●	●																																					

7.7	Libir																																							●		
7.8	Song ca						●	●			●	●	●			●																										
7.8	Pan luang	●	●	●	●				●																																
7.9	Tha khaek						●	●			●	●	●			●	●																										
7.9	Moei-tong yi	●	●	●	●	●			●	●				●	●			●		●	●	●			●					●												
8.5	Sagia ng	●	●						●													●																				
	Wan ha	●	●																																						

4.2 ลักษณะการลดทอนแรงสั่นสะเทือน (attenuation characteristic)

แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะลดทอนลงเมื่อเดินทางออกจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ผ่านตัวกลางต่างๆ 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 10,000 ปี (Maximum Design Earthquake, MDE) (ตาราง 4.2) ส่วนการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็นสามารถนำไปประเมินหาค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 145 ปี (Operating Basic Earthquake, OBE) และค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 475 ปี (Design Basis Earthquake , DBE) (ตาราง 4.3)

4.3 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 10,000 ปี (Maximum Design Earthquake, MDE)

MDE เป็นแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแผ่นดินไหวที่ก่อให้เกิดความเสียหายสูงสุดกับโครงสร้าง ประเมินได้จากการประเมินพิบัติภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีกำหนดค่า จากตาราง 4.2 พบว่า MDE มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 0.35g โดย เขื่อนที่มี MDE สูงสุดคือเขื่อนหมายเลข 1 และหมายเลข 21 โดยมีค่าแรงสั่นสะเทือนสูงสุดเท่ากับ 0.31g และ 0.35g ตามลำดับ และเขื่อนที่มีค่า MDE ต่ำสุดคือเขื่อนหมายเลข 15 และ 16 โดยมีค่าเท่ากับ 0.01g

4.4 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 145 ปี (Operating Basic Earthquake, OBE)

OBE เป็นแนวคิดที่ตรงข้ามกับ MDE นั่นคือเป็นค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดแล้วไม่ทำให้โครงสร้างเสียหายหรือสามารถซ่อมแซมได้ โอกาสเกิดคือ 50% ในรอบ 100 ปี สามารถประเมินได้จากการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น จากตาราง 4.3 พบว่าค่า OBE มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-0.18g ซึ่งเขื่อนที่มี OBE สูงที่สุดคือเขื่อนหมายเลข 1 7 และ 9 มีค่าประมาณ 0.17-0.18g

4.5 ค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 475 ปี (Design Basis Earthquake, DBE)

DBE เป็นค่าแรงสั่นสะเทือนทีไม่ก่อความเสียหายกับโครงสร้าง โดยมีโอกาส 90% ที่จะไม่เกิดแผ่นดินไหวในรอบ 50 ปี หรือมีความน่าจะเป็น 10% ที่จะเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 50 ปี สามารถประเมินได้จากการประเมินอันตรายจากแผ่นดินไหวจากแนวคิดความน่าจะเป็น จากตาราง 4.3 พบว่าค่า DBE อยู่ในช่วง 0.00-0.27g โดยเขื่อนที่มี DBE สูงที่สุดคือเขื่อนหมายเลข 1 7 และ 9 มีค่าอยู่ในช่วง 0.26–0.27g

จากตาราง 4.2 แสดงความน่าจะเป็นที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนในแต่ละมาตราเมอร์คัลลี่แปลง (Modified Mercalli Intensity Scale, MMI) ในรอบ 50 ปี ซึ่งเป็นการลำดับขั้นความรุนแรงแสดงตามเลขโรมันจาก I-XII (1-12) โดยโอกาสที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือน 5 มาตราเมอร์คัลลี่ ในรอบ 50 ปีมีค่า 99%-100% อยู่ที่เขื่อนหมายเลข 1 7 และ 9 ซึ่งเมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือน 5 มาตราเมอร์คัลลี เกือบทุกคนจะสามารถรู้สึกได้ ถ้วยชามตกแตก ของในบ้านแกว่ง หน้าต่างพัง ของที่ตั้งไม่มั่นคงล้ม นาฬิกาลูกตุ้มหยุดเดิน และสามารถเทียบได้กับ PGA เท่ากับ 0.03g-0.04g

ตาราง 4.2 แสดงค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในรอบ 10,000 ปีและค่าแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในแต่ละมาตราเมอร์คัลลี่แปลงในรอบ 50 ปี

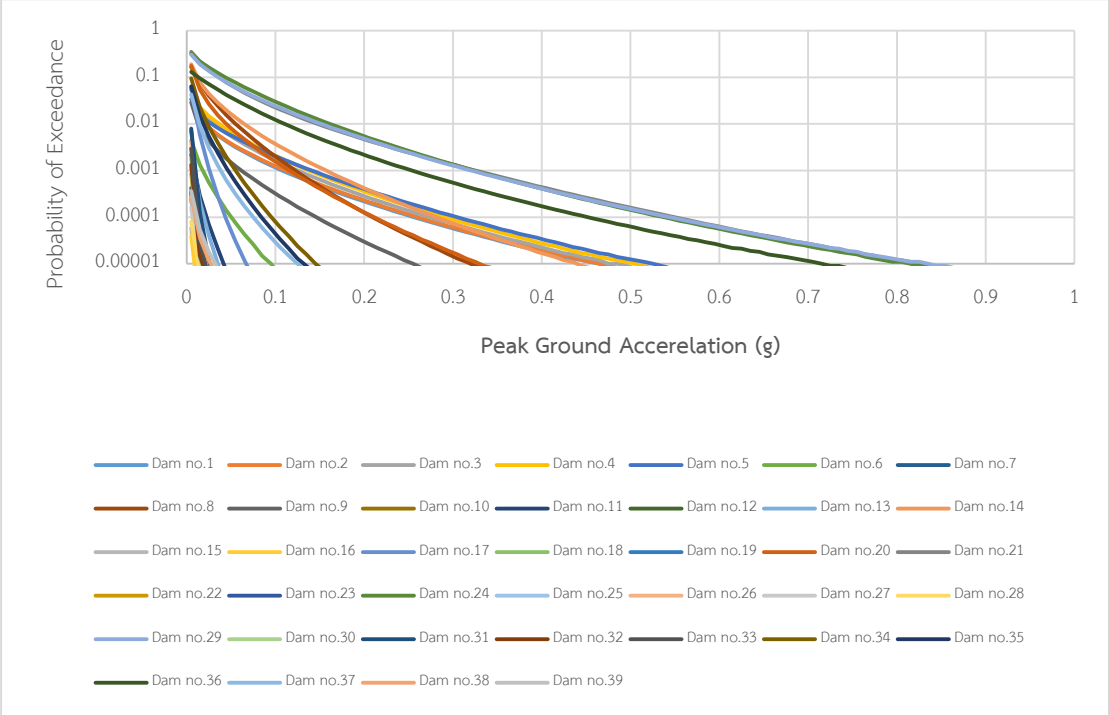
No.	Name	MDE	MMI 4 in 50 Yr	MMI 5 in 50 Yr	MMI 6 in 50 Yr	MMI 7 in 50 Yr	MMI 8 in 50 Yr	MMI 9 in 50 Yr
1	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	0.31	100	99	89	53	16	2
2	เขื่อนแม่กวง	0.29	42	23	11	4	1	0
3	เขื่อนกิ่วคอหมา	0.26	42	24	12	4	1	0
4	เขื่อนกิ่วลม	0.22	47	32	17	7	2	0
5	เขื่อนสิริกิติ์	0.28	94	73	37	10	1	0
6	เขื่อนห้วยหลวง	0.08	55	33	16	5	1	0
7	เขื่อนน้ำอูน	0.02	100	99	90	56	17	2
8	เขื่อนภูมิพล	0.17	98	92	70	33	8	1
9	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน	0.18	100	100	94	63	18	2
10	เขื่อนน้ำพุง	0.02	59	38	19	7	1	0
11	เขื่อนอุบลรัตน์	0.04	24	11	4	1	0	0
12	เขื่อนลำปาว	0.02	93	66	27	5	0	0
13	เขื่อนจุฬาภรณ์	0.03	85	50	19	4	0	0
14	เขื่อนทับเสลา	0.26	4	1	0	0	0	0
15	เขื่อนปากมูล	0.01	51	16	2	0	0	0
16	เขื่อนสิรินธร	0.01	24	5	1	0	0	0
17	เขื่อนเจ้าพระยา	0.05	36	10	1	0	0	0
18	เขื่อนลำตะคอง	0.03	14	1	0	0	0	0
19	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	0.04	0	0	0	0	0	0

20	เขื่อนกระเสียว	0.13	0	0	0	0	0	0
21	เขื่อนวชิราลงกรณ์	0.35	1	0	0	0	0	0
22	เขื่อนลำพระเพลิง	0.03	0	0	0	0	0	0
23	เขื่อนมูลบน	0.03	0	0	0	0	0	0
24	เขื่อนศรีนครินทร์	0.24	0	0	0	0	0	0
25	เขื่อนลำแซะ	0.03	0	0	0	0	0	0
26	เขื่อนขุนด่านปราการชล	0.03	0	0	0	0	0	0
27	เขื่อนลำปลายมาศ	0.02	1	0	0	0	0	0
28	เขื่อนลำนางรอง	0.02	0	0	0	0	0	0
29	เขื่อนท่าทุ่งนา	0.26	0	0	0	0	0	0
30	เขื่อนคลองสียัด	0.03	0	0	0	0	0	0
31	เขื่อนบางพระ	0.04	0	0	0	0	0	0
32	เขื่อนประแสร์	0.03	0	0	0	0	0	0
33	เขื่อนหนองปลาไหล	0.03	0	0	0	0	0	0
34	เขื่อนแก่งกระจาน	0.06	0	0	0	0	0	0
35	เขื่อนปราณบุรี	0.06	0	0	0	0	0	0
36	เขื่อนรัชชประภา	0.25	0	0	0	0	0	0
37	เขื่อนบางวาด	0.06	0	0	0	0	0	0
38	เขื่อนปัตตานี	0.04	0	0	0	0	0	0
39	เขื่อนบางลาง	0.04	0	0	0	0	0	0

ตาราง 4.3 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ 50 ปีในแต่ละเปอร์เซ็นต์

No.	Name	POE2% in 50 Yr	POE10% in 50 Yr	POE50% in 50 Yr	POE2% in 100 Yr	POE10% in 100 Yr	POE50% in 100 Yr
1	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	0.41	0.26	0.13	0.48	0.32	0.17
2	เขื่อนแม่กวง	0.16	0.07	0.02	0.20	0.11	0.03
3	เขื่อนกิ่วคอหมา	0.16	0.07	0.02	0.21	0.11	0.03
4	เขื่อนกิ่วลม	0.20	0.10	0.02	0.25	0.14	0.04
5	เขื่อนสิริกิติ์	0.20	0.12	0.05	0.24	0.15	0.08
6	เขื่อนห้วยหลวง	0.18	0.09	0.02	0.22	0.12	0.04
7	เขื่อนน้ำอูน	0.40	0.26	0.13	0.47	0.32	0.18
8	เขื่อนภูมิพล	0.32	0.20	0.09	0.38	0.25	0.13
9	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน	0.40	0.27	0.14	0.47	0.32	0.18
10	เขื่อนน้ำพุง	0.19	0.10	0.03	0.24	0.14	0.05
11	เขื่อนอุบลรัตน์	0.09	0.04	0.01	0.12	0.06	0.02
12	เขื่อนลำปาว	0.15	0.10	0.05	0.18	0.12	0.06
13	เขื่อนจุฬาภรณ์	0.15	0.09	0.04	0.18	0.11	0.05
14	เขื่อนทับเสลา	0.03	0.01	0.00	0.04	0.02	0.00
15	เขื่อนปากมูล	0.07	0.04	0.02	0.08	0.05	0.03
16	เขื่อนสิรินธร	0.05	0.03	0.01	0.06	0.04	0.02
17	เขื่อนเจ้าพระยา	0.06	0.04	0.02	0.07	0.05	0.02
18	เขื่อนลำตะคอง	0.03	0.02	0.01	0.04	0.03	0.01
19	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

20	เขื่อนกระเสียว	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
21	เขื่อนวชิราลงกรณ์	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00
22	เขื่อนลำพระเพลิง	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
23	เขื่อนมูลบน	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
24	เขื่อนศรีนครินทร์	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
25	เขื่อนลำแซะ	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
26	เขื่อนขุนด่านปราการชล	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
27	เขื่อนลำปลายมาศ	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00
28	เขื่อนลำนางรอง	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
29	เขื่อนท่าทุ่งนา	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
30	เขื่อนคลองสียัด	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
31	เขื่อนบางพระ	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
32	เขื่อนประแสร์	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
33	เขื่อนหนองปลาไหล	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	เขื่อนแก่งกระจาน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	เขื่อนปราณบุรี	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
36	เขื่อนรัชชประภา	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
37	เขื่อนบางวาด	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
38	เขื่อนปัตตานี	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	เขื่อนบางลาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



รูป 4.2 กราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหว (Earthquake Hazard Curve) ของเขื่อนในประเทศไทย

จากรูป 4.1 แสดงกราฟพิบัติภัยแผ่นดินไหวของแต่ละเขื่อนในประเทศไทย โดยบอกความถี่ในการเกิดแรงสั่นสะเทือนขนาดต่างๆของเขื่อนในประเทศไทย เช่นเขื่อนหมายเลข 29 (เขื่อนท่าทุ่งนา) มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนระดับ 0.5g ในระดับความถี่ 0.0001 ครั้ง/ปี หรือ มีโอกาสได้รับแรงสั่นสะเทือนระดับ 0.5g ในทุกๆ 10,000 ปี เป็นต้น

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นและอาจส่งผลต่อสถานที่สำคัญ เช่น เขื่อนขนาดใหญ่ภายในประเทศได้ ซึ่ง ICOLD ได้กำหนดตัวแปรด้านแผ่นดินไหวที่แต่ละเขื่อนควรจะมีให้ตรงตามมาตรฐานไว้ โดยงานวิจัยนี้จะประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยตามตัวแปรที่ ICOLD กำหนด

จากการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลตั้งแต่การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก และตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากพฤติกรรมมนุษย์ พบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้ทั้งหมดมี 2,923 เหตุการณ์ (ตาราง 5.1)

ตาราง 5.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล

ข้อมูล	จำนวนเหตุการณ์	ช่วงเวลา (ปี)	ขนาดแผ่นดินไหว	ความลึก (เมตร)
IRIS	50,378	1964.0592-2015.8051	0.1-9.0	0-750
คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	3,246	1964.0592-2015.8051	0.1-9.0	0-750
กำจัดแผ่นดินไหวจากพฤติกรรมมนุษย์	2,923	1964.0592-2015.8051	0.1-9.0	0-750

จากการประเมินพฤติกรรมและพิบัติภัยแผ่นดินไหวของเขื่อนขนาดใหญ่ 39 เขื่อนในประเทศไทยพบว่าผลที่ได้สามารถให้ตัวแปรตามที่ ICOLD ต้องการซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินในการสร้างเขื่อนตลอดจนการปรับปรุงเขื่อนต่างๆให้ได้ตามมาตรฐานต่อไป

ประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวโดยการหาขนาดแผ่นดินไหวสูงสุด (Maximum magnitude) จากการหาค่า a และ b จากสมการความสัมพันธ์ของ (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า a คืออัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจากทุกๆขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.95-5.16 โดยเขื่อนที่มีค่า a สูงที่สุดคือเขื่อนหมายเลข 1 (เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล) มีค่า 5.16 ส่วนเขื่อนที่มีค่าต่ำที่สุดคือเขื่อนหมายเลข 22 (เขื่อนลำพระเพลิง) มีค่าเท่ากับ 1.95 สำหรับค่า b คือสัดส่วนของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ต่อขนาดเล็ก บริเวณที่ค่า b สูงแสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีน้อยกว่าบริเวณที่มีค่า b ต่ำ จากตารางพบว่าค่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.29-0.72 และเขื่อนหมายเลข 22

(เขื่อนลำพระเพลิง) มีค่า b = 0.29 $\pm$ 0.05 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และเขื่อนหมายเลข 35 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.72$\pm$0.2

MCE คือขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่สามารถเกิดได้ของแต่ละเขื่อนซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.5 Mw โดยเขื่อนหมายเลข 1 (เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล) 2 (เขื่อนแม่กวง) และ 8 (เขื่อนภูมิพล) มีขนาดสูงสุดเท่ากับ 8.5 Mw โดยมีรอยเลื่อนสะกายเป็นรอยเลื่อนที่ทำให้เกิด MCE

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนในแต่ละมาตราเมอร์คัลลี่แปลงในรอบ 50 ปีพบว่าความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนในแต่ละขนาดความรุนแรงอยู่ที่เขื่อนหมายเลข 1 (เขื่อนวชิราลงกรณ์) 7 (เขื่อนท่าทุ่งนา) และ 9 (เขื่อนศรีนครินทร์)

จากการประเมินพิบัติภัยทั้งหมดสามารถแบ่งประเภทของเขื่อนได้ตาม ICOLD (1989) ตั้งแต่มีพิบัติภัยต่ำสุดไปจนสูงสุด โดยใช้ MDE และรอยเลื่อนมีพลังบริเวณใกล้เคียงเป็นตัวแบ่งได้ทั้งหมด 4 ประเภท (ตาราง 5.2)

5.1 ประเภทที่ 1: พิบัติภัยต่ำ (PGA < 0.10 g)

เขื่อนหมายเลข 6 7 10 11 12 13 15 16 17 18 19 22 23 25 26 27 28 30 31 32 33 34 35 37 38 และ 39 ซึ่งตั้งอยู่นอก SSZ และอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวประมาณ 200-460 กิโลเมตร

5.2 ประเภทที่ 2: พิบัติภัยปานกลาง (0.01g $\leq$ PGA $\leq$ 0.25g)

เขื่อนหมายเลข 4 8 9 20 24 และ 36 ถูกจัดให้มีพิบัติภัยปานกลางซึ่งมีค่า MDE อยู่ในช่วง 0.13g-0.25g

5.3 ประเภทที่ 3: พิบัติภัยสูง (PGA > 0.25g และไม่มีรอยเลื่อนมีพลังในระยะ 10 กิโลเมตรจากเขื่อน)

เขื่อนหมายเลข 14 มีค่า MDE เท่ากับ 0.26 และมีรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอนเป็นรอยเลื่อนที่อยู่ใกล้ที่สุด แต่อยู่ในระยะมากกว่า 10 กิโลเมตรจากเขื่อน จึงถูกจัดให้มีพิบัติภัยสูง และจำเป็นต้องเฝ้าระวังแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นบริเวณนี้เป็นระยะๆ

5.4 ประเภทที่ 4: พิบัติภัยรุนแรง (PGA > 0.25g และมีรอยเลื่อนมีพลังในระยะ 10 กิโลเมตรจากเขื่อน)

เขื่อนหมายเลข 1 2 3 5 21 และ 29 ถูกจัดให้มีพิบัติภัยสูง โดยมีค่า MDE อยู่ในช่วง 0.26g-0.35g ซึ่งจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังและประเมินความเสี่ยงของเขื่อนตลอดจนปรับปรุงคุณภาพเขื่อนให้เหมาะสมกับแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดในอนาคต

อย่างไรก็ตามการแบ่งประเภทของเขื่อนตามพิบัติภัยแผ่นดินไหวนั้นต้องนำมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่นๆทางวิศวกรรมร่วมด้วยก่อนที่จะตัดสินใจปรับปรุงหรือสร้างเขื่อน โดยเฉพาะเขื่อนที่

จัดอยู่ในประเภทที่ 3 และ 4 ต้องใช้การพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบ โดยปัจจัยทางธรณีวิทยาที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาร่วม เช่น การศึกษาจากการขุดร่องสำรวจตามแนวรอยเลื่อนมีพลังเพื่อประเมินพฤติกรรมของแผ่นดินไหวลักษณะเฉพาะ (Characteristic Earthquake) (Youngs and Coppersmith, 1985) นอกจากนี้การประเมินพฤติกรรมแผ่นดินไหวของบริเวณที่มีค่า Magnitude มากกว่า 6,7 จะมีความน่าเชื่อถือต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้ปัจจัยอื่นๆมาพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

ตาราง 5.2 แสดงประเภทของเขื่อนตามลำดับพิบัติภัย

No.	Name	Class
1	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	4
2	เขื่อนแม่กวง	4
3	เขื่อนกิ่วคอหมา	4
4	เขื่อนกิ่วลม	2
5	เขื่อนสิริกิติ์	4
6	เขื่อนห้วยหลวง	1
7	เขื่อนน้ำอูน	1
8	เขื่อนภูมิพล	2
9	เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน	2
10	เขื่อนน้ำพุง	1
11	เขื่อนอุบลรัตน์	1
12	เขื่อนลำปาว	1
13	เขื่อนจุฬาภรณ์	1
14	เขื่อนทับเสลา	3
15	เขื่อนปากมูล	1
16	เขื่อนสิรินธร	1
17	เขื่อนเจ้าพระยา	1
18	เขื่อนลำตะคอง	1
19	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	1
20	เขื่อนกระเสียว	2
21	เขื่อนวชิราลงกรณ์	4
22	เขื่อนลำพระเพลิง	1

23	เขื่อนมูลบน	1
24	เขื่อนศรีนครินทร์	2
25	เขื่อนลำแซะ	1
26	เขื่อนขุนด่านปราการชล	1
27	เขื่อนลำปลายมาศ	1
28	เขื่อนลานางรอง	1
29	เขื่อนท่าทุ่งนา	4
30	เขื่อนคลองสียัด	1
31	เขื่อนบางพระ	1
32	เขื่อนประแสร์	1
33	เขื่อนหนองปลาไหล	1
34	เขื่อนแก่งกระจาน	1
35	เขื่อนปราณบุรี	1
36	เขื่อนรัชชประภา	2
37	เขื่อนบางวาด	1
38	เขื่อนปัตตานี	1
39	เขื่อนบางลาง	1

เอกสารอ้างอิง (REFERENCE)

กรมชลประทาน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.water.rid.go.th. [20 กันยายน 2558].

บัญชรี คำมา, สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์. 2551. การจัดลำดับความเสี่ยงของเขื่อนในประเทศไทยต่อเหตุการณ์แผ่นดินไหว. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13* (พฤษภาคม 2551): 192-198.

ไทยรัฐออนไลน์. แผ่นดินไหวธรรมชาติวิปโยค! 'ไทย' เจอเคราะห์ซ้ำ ด้อยเทคโนโลยีเตือนภัย '[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.thairath.co.th/content/421052. [20 กันยายน 2558].

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.

ICOLD (1989) Selecting seismic parameters for large dams. Int Comm Large Dams Bull 72:73

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. Heterogeities 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)

Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. Seismological Research Letters 72(2): pp.373-382.

Wleland, M. 2012. ICOLD's revised seismic design and performance criteria for large storage dams.

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.