ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์

นางสาว ณัฐชนา บุญฉลวย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาคธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROBABILITIES OF EARTHQUAKE OCCURRENCES IN MANILA SUBDUCTION ZONE, PHILIPPINES

Miss Natchana Boonchaluay

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Bachelor of Science

Department of Geology, Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

วันที่ส่ง .....//.....//.....

วันที่อนุมัติ .....//.....//.....

.....

.

(อาจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

หัวข้อ (ภาษาไทย)	ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์
หัวข้อ (ภาษาอังกฤษ)	PROBABILITIES OF EARTHQUAKE OCCURRENCES IN MANILA SUBDUCTION ZONE, PHILIPPINES
ชื่อผู้เสนอโครงการ	นางสาว ณัฐชนา บุญฉลวย รหัสนิสิต 513 27113 23 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วันที่ 26 ธันวาคม ค.ศ. 2004 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.3 ริกเตอร์ บริเวณเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ทำให้เกิดสึนามิ สร้างความเสียหายให้กับหลายประเทศ รวมถึงพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย ซึ่งต่อมาภาครัฐ และเอกชนจึงมีความกังวลและให้ความสนใจว่าบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยนั้นมีโอกาสเกิดสึนามิได้หรือไม่ หลังจากการศึกษาและสร้างแบบจำลองการเดินทางของคลื่นสึนามิพบว่าแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ สามารถส่งผลกระทบด้านสึนามิต่ออ่าวไทยได้ หากเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ และคาบอุบัติซ้ำ ตามแนวมุดตัวมะนิลา โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ งานวิจัยนี้มีพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่างลองจิจูด 112 º - 125 º E และละติจูด 3 º - 23 º N ครอบคลุมพื้นที่ประเทศฟิลิปปินส์และพื้นที่ข้างเคียงที่มีความสำคัญในเชิงธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว มีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 304,257 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่ ค.ศ. 1960 - 2012 โดยบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด mb 0.2 - 7.9 ริกเตอร์ Mw 3.6 - 8.0 ริกเตอร์ MS 0.1 - 8.8 ริกเตอร์ โดยมีความลึกระหว่าง 0 - 830 กิโลเมตร

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวด้วยวิธีการทางสถิติพบว่าค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปีบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีค่าเท่ากับ 6.3 ริกเตอร์ แนวมุดตัวฟิลิปปินส์ 6.4 ริกเตอร์ และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า 6.8 ริกเตอร์ ตามลำดับ ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลามีค่า 36 ปี และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ท่ากับ 70 ปี โดยประมาณ ส่วนบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ มีคาบอุบัติซ้ำของ

การเกิดแผ่นดินไหวขนาด 8.5 ริกเตอร์ ประมาณ 95 ปี ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 95% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 70% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 90% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในประเทศฟิลิปปินส์ และประเมินโอกาสการเกิดสึนามิที่อาจส่งผลกระทบต่ออ่าวไทย อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาใช้เพียงข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือ ซึ่งมีช่วงเวลาในการบันทึกสั้นและอาจจะสั้นกว่าคาบอุบัติซ้ำของเหตุการณ์แผ่นดินไหวบางขนาด โดยเฉพาะขนาดใหญ่ ส่งผลให้การประเมินตัวแปรทางสถิติต่างๆ ที่ได้อาจมีความคาดเคลื่อนอยู่บ้าง การสืบค้นเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ทั้งจากข้อมูลบันทึกทางประวัติศาสตร์ และบันทึกทางธรณีวิทยาที่พบได้จากการเลื่อนตัวของชั้นตะกอน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

Project Title (Thai)	ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์
Project Title (English)	PROBABILITIES OF EARTHQUAKE OCCURRENCES IN MANILA SUBDUCTION ZONE, PHILIPPINES
Researcher	Miss Natchana Boonchaluay ID 513 27113 23 Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Advisor	Dr. Santi Pailoplee
Academic Year	2011

Abstract: After devastation of the 2004 tsunami along the Andaman Sea side of Thailand, Thai's citizen also worries about the situation of tsunami hazard along the Gulf of Thailand. Based on previous study, it is indicated that the Gulf of Thailand have a possibility to be attacked by the tsunami if the earthquake with equal or larger than 9.0 Richter occur in the the Manila Subduction zone, western part of Philippines. However, the return period and the probability of the earthquake occurrence in this earthquake source zone are still myth. This study, therefore, focused on the statistical evaluation of the earthquake occurrence along the Manila Subduction Zone based mainly on the existing earthquake data recorded in the past.

From statistic evaluation, it is indicated that the most probable largest annual magnitudes of the earthquakes have been estimated as 6.3, 6.4 and 6.8 Richter for the Manila and the Philippines Subduction zone including the mainland of Philippines. The return period of the earthquakes with magnitude greater than or equally to 9.0 Richter have been estimated around 40 and 70 years for the Manila trench and the Philippines, respectively. And the return period of the earthquakes with magnitude greater than or equally to 8.5 Richter have been estimated around 95 years for the Philippines Subduction zone. This obtained information also implies the probability of tsunami hazard occurrence in the Gulf of Thailand.

Keywords: Gutenberg-Richter relationship; Probability of earthquake occurrence Manila Trench; Western Philippines

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งกรุณาสละเวลา ให้ความรู้ คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ มากมายตลอดการทำโครงงาน รวมทั้งความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบพระคุณอย่างสูง ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ทำการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา ขอขอบพระคุณภาควิชาธรณีวิทยาที่อนุเคราะห์ในด้านห้องปฏิบัติการและห้องเรียนที่ใช้ในการศึกษาหาความรู้ ขอขอบพระคุณพี่บุคลากรทุกท่าน ขอบคุณเพื่อนๆที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ผู้เป็นที่รักยิ่ง ผู้ให้กำลังใจในยามท้อแท้และให้โอกาสในการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สารบัญสมการ	ฐ
บทที่1 บทนำ (Introduction)	1
1.1.ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2.นิยามปัญหาและสมมติฐาน (Problem Defined and Hypothesis)	1
1.2.1.นิยามปัญหา (Problem Defined)	1
1.2.2.สมมติฐาน (Hypothesis)	1
1.3.วัตถุประสงค์ (Objectives)	2
1.4.พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.5.เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant Research)	2
1.6.ขอบเขตงานวิจัย (Scope of work)	8
1.7.ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (Theory and Methodology)	9
2.1.ทฤษฎี (Theory)	9
2.1.1.สมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ (Magnitude-frequency Relationship)	9
2.1.2.การคำนวณค่าสถิติด้านแผ่นดินไหว	10
2.2.ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	12
2.2.1.การสังเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหว	12
2.2.2.การวิเคราะห์ค่า a และค่า b	16
2.2.3.การวิเคราะห์สถิติด้านแผ่นดินไหว	17
บทที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)	18
3.1.การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Investigation)	18

3.1.1.ฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology 18
3.1.2.ฐานข้อมูล Centroid-Moment Tensor 20
3.1.3.ฐานข้อมูล National Earthquake Information Center 20
3.1.4.ฐานข้อมูล Northern California Earthquake Data Center 21
3.2.การแปลงขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion) 24
3.2.1.Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw) 24
3.2.2.Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw) 25
3.3.การกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake De-clustering) 26
บทที่ 4 การประเมินตัวแปรด้านแผ่นดินไหว (Evaluation of Earthquake Paramters) 28
4.1.การแบ่งข้อมูลแผ่นดินไหวตามธรณีแปรสัณฐาน 28
4.2.การวิเคราะห์ค่า a และค่า b 29
4.2.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) 29
4.2.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) 30
4.2.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ 31
4.3.การวิเคราะห์ค่า α และค่า β 31
4.4.การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี 32
4.4.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) 32
4.4.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) 33
4.4.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ 34
4.5.การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) 35

4.5.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) 35
4.5.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) 35
4.5.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ 35
4.6.การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) 36
4.7.การวิเคราะห์ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m 36
4.8.การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 38
4.8.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) 38
4.8.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) 39
4.8.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ 40
บทที่ 5 อภิปรายและสรุป (Conclusion and Discussion) 41
5.1. อภิปราย (Discussion) 41
5.1.1. การเปรียบเทียบระหว่างบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) และแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) 41
5.1.2. การเปรียบเทียบระหว่างบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) กับบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน (Pailoplee และคณะ, 2010) 42
5.1.3. การเปรียบเทียบระหว่างบริเวณประเทศฟิลิปปินส์กับบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย (Pailoplee และคณะ, 2010) 44
5.1.4. การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นกับ Ruangrassamee และ Saelem (2009) 45
5.2. สรุป (Conclusion) 47
5.2.1. ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) 47

5.2.2. ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) 47
5.2.3. ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m 47
5.2.4. ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 48
รายการอ้างอิง (References) 49

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 1.1	แสดงผลการศึกษาของคาบอุบัติซ้ำของ Ruangrassamee และ Saelem (2009)	3
ตาราง 1.2	แสดงผลการศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่ศึกษา	5
ตาราง 2.1	แสดงตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลแผ่นดินไหว	13
ตาราง 4.1	แสดงผลการศึกษาของค่าเชิงสถิติต่างๆ	31
ตาราง 4.2	แสดงผลการศึกษาความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละช่วงปี ที่มีการพิจารณา (หน่วยริกเตอร์)	36
ตาราง 4.3	แสดงผลการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (หน่วยปี)	36
ตาราง 5.1	แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาของค่าเชิงสถิติต่างๆ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลากับผลการศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) บริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน	44
ตาราง 5.2	แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาของค่าเชิงสถิติต่างๆ บริเวณประเทศฟิลิปปินส์กับผลการศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของไทย	45
ตาราง 5.3	แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาของค่าคาบอุบัติซ้ำ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา เทียบกับผลการศึกษาของ Ruangrassamee และ Saelem (2009)	46

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูป 1.1	(ซ้าย) แสดงพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และกรอบเล็กแสดงพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณทางด้านตะวันออกของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอ่าวไทย (ขวา) แสดงแผนที่ประเทศฟิลิปปินส์และแนวมุดตัวมะนิลา (Manila Trench) ตั้งอยู่บริเวณทางด้านตะวันตกของประเทศฟิลิปปินส์	2
รูป 1.2	แสดงพื้นที่ศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) ครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	4
รูป 1.3	(ซ้าย) แผนที่แสดงความหนาแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ (Dimalanta และ Yumul, 2004) (ขวา) แผนที่แสดงแสดงความหนาของแผ่นเปลือกโลกบริเวณทะเลจีนใต้ (Wu และ Yumul, 2004)	6
รูป 1.4	จากภาพแสดงผลการศึกษาทิศทางและขนาดของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ของ Galgana และคณะ (2007)	7
รูป 1.5	จากภาพแสดงผลการศึกษาทิศทางและขนาดของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ของ Chamot-Rooke และ Pichon (1999)	8
รูป 2.1	สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดแผ่นดินไหว (m) และความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหว (N_m)	10
รูป 2.2	แสดงแผนผังระเบียบวิธีวิจัย	12
รูป 2.3	แสดงตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ในการแปลงมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหว ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)	15
รูป 2.4	แสดงตัวอย่างข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก ตามลำดับ	16
รูป 2.5	แสดงตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ โดยสัญลักษณ์สามเหลี่ยม หมายถึง จำนวนแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละขนาด และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม หมายถึง จำนวนแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละขนาดที่เท่ากับและมากกว่า	16
รูป 3.1	แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล IRIS ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 2005 - 2010 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 0.1 - 5.7 ริกเตอร์	19

รูป 3.2	แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล CMT ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 1976 - 2011 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 4.6 - 8.0 ริกเตอร์	20
รูป 3.3	แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล NEIC ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 1973 - 2011 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 2.0 - 8.0 ริกเตอร์	21
รูป 3.4	แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล Northern California Earthquake Data Center ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 1963 - 2011 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 2.0 - 6.8 ริกเตอร์	22
รูป 3.5	แผนที่ประเทศฟิลิปปินส์แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่คัดลอกจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ	23
รูป 3.6	แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)	24
รูป 3.7	แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw)	25
รูป 3.8	แผนที่ประเทศฟิลิปปินส์แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวก่อนและหลังการสังเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก	27
รูป 4.1	แสดงแนวมุดตัวมะนิลาและแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ ประเทศฟิลิปปินส์ (Dimalanta และ Yumul, 2004)	29
รูป 4.2	แสดงสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียที่มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) โดยมีค่า a มีค่าเท่ากับ 3.7 ค่า b มีค่าเท่ากับ 0.584 และค่า MC เท่ากับ 3.2	30
รูป 4.3	แสดงสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) โดยมีค่า a มีค่าเท่ากับ 5.93 ค่า b มีค่าเท่ากับ 0.93 และค่า MC เท่ากับ 5.5	30

รูป 4.4	แสดงสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ โดยมีค่า a มีค่าเท่ากับ 5.68 ค่า b มีค่าเท่ากับ 0.836 และค่า MC เท่ากับ 5.6	31
รูป 4.5	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)	33
รูป 4.6	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)	34
รูป 4.7	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณประเทศฟิลิปปินส์	35
รูป 4.8	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ของทั้ง 3บริเวณ โดย Zone 1 คือ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา Zone 2 คือ บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ Zone 3 คือ บริเวณพื้นทวีปประเทศฟิลิปปินส์	37
รูป 4.9	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ใน 25, 50 และ 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)	38
รูป 4.10	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ใน 25, 50 และ 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)	39
รูป 4.11	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ใน 25, 50 และ 100 ปี บริเวณประเทศฟิลิปปินส์	40

สารบัญสมการ

		หน้า
สมการ 2.1	อัตราการเกิดแผ่นดินไหวมีความสัมพันธ์กับขนาดแผ่นดินไหว(G-R relationship)	9
สมการ 2.2	ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี	10
สมการ 2.3	ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ)	11
สมการ 2.4	ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t)	11
สมการ 2.5	คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m)	11
สมการ 2.6	ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว ($P_t(m)$)	12
สมการ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)	25
สมการ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw)	26
สมการ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรอยเลื่อนและขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้	32

บทที่1
บทนำ (Introduction)

1.1.ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

วันที่ 26 ธันวาคม ค.ศ. 2004 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.3 ริกเตอร์ (Martin, 2005) มีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวในบริเวณเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ทำให้เกิดสึนามิ สร้างความเสียหายให้กับประเทศต่างๆ ที่อยู่รอบๆ ทะเลอันดามันมากมาย รวมถึงพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยเป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้รับความเสียหายจากการเกิดสึนามิในครั้งนั้น ทำให้ประชาชน ภาครัฐ และเอกชนให้ความสนใจว่าบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยสามารถมีโอกาสเกิดสึนามิได้หรือไม่ หลังจากศึกษาพบบริเวณที่สามารถทำให้เกิดสึนามิบริเวณอ่าวไทย ได้แก่ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ และบริเวณภูเขาไฟกรากะตัว ประเทศอินโดนีเซีย

Ruangrassamee และ Saelem (2009) ศึกษาโดยใช้แบบจำลองสึนามิ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากสึนามิบริเวณอ่าวไทยที่เกิดจากแนวมุดตัวมะนิลา พบว่าถ้าเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา จะเกิดสึนามิขึ้นและมีโอกาสเดินทางถึงบริเวณอ่าวไทย แต่ไม่ได้ศึกษารายละเอียดถึงความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำของแผ่นดินไหวในบริเวณนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ และคาบอุบัติซ้ำ ตามแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ และนำมาวิเคราะห์ในเชิงของสถิติ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวจากแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์

1.2.นิยามปัญหาและสมมติฐาน (Problem Defined and Hypothesis)

1.2.1. นิยามปัญหา (Problem Defined)

พฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ จากแนวมุดตัวมะนิลา (Manila Trench) ประเทศฟิลิปปินส์ มีลักษณะอย่างไร

1.2.2. สมมติฐาน (Hypothesis)

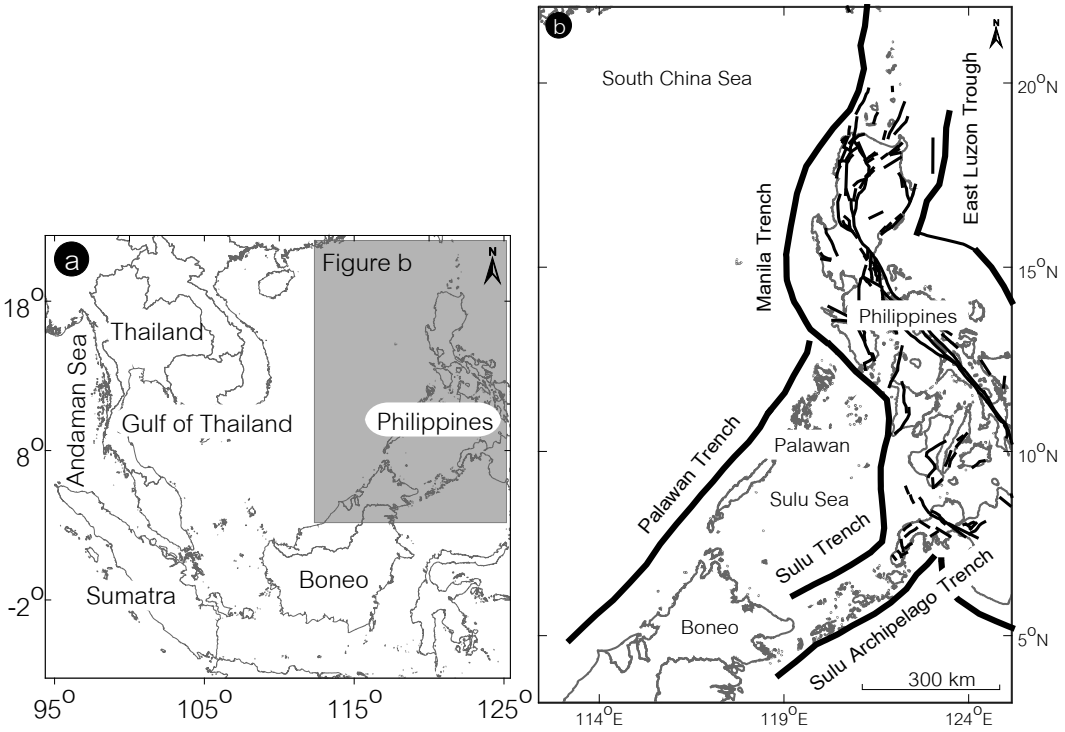
การวิเคราะห์ในเชิงของสถิติโดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ สามารถใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ได้

1.3.**วัตถุประสงค์** (Objectives)

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ จากแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ และนำมาวิเคราะห์ในเชิงของสถิติ

1.4.**พื้นที่ศึกษา** (Study Area)

งานวิจัยนี้มีพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่างลองจิจูด (Longitude) 112 º - 125 º E และละติจูด (Latitude) 3 º - 23 º N ครอบคลุมพื้นที่ประเทศฟิลิปปินส์และพื้นที่ข้างเคียงที่มีความสำคัญในเชิงธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว (Seismotectonics) (รูป 1.1)



รูป 1.1 (ซ้าย) แสดงพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และกรอบเล็กแสดงพื้นที่ศึกษา ตั้งอยู่บริเวณทางด้านตะวันออกของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอ่าวไทย (ขวา) แสดงแผนที่ประเทศฟิลิปปินส์และแนวมุดตัวมะนิลา (Manila Trench) ตั้งอยู่บริเวณทางด้านตะวันตกของประเทศฟิลิปปินส์

1.5.**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** (Relevant Research)

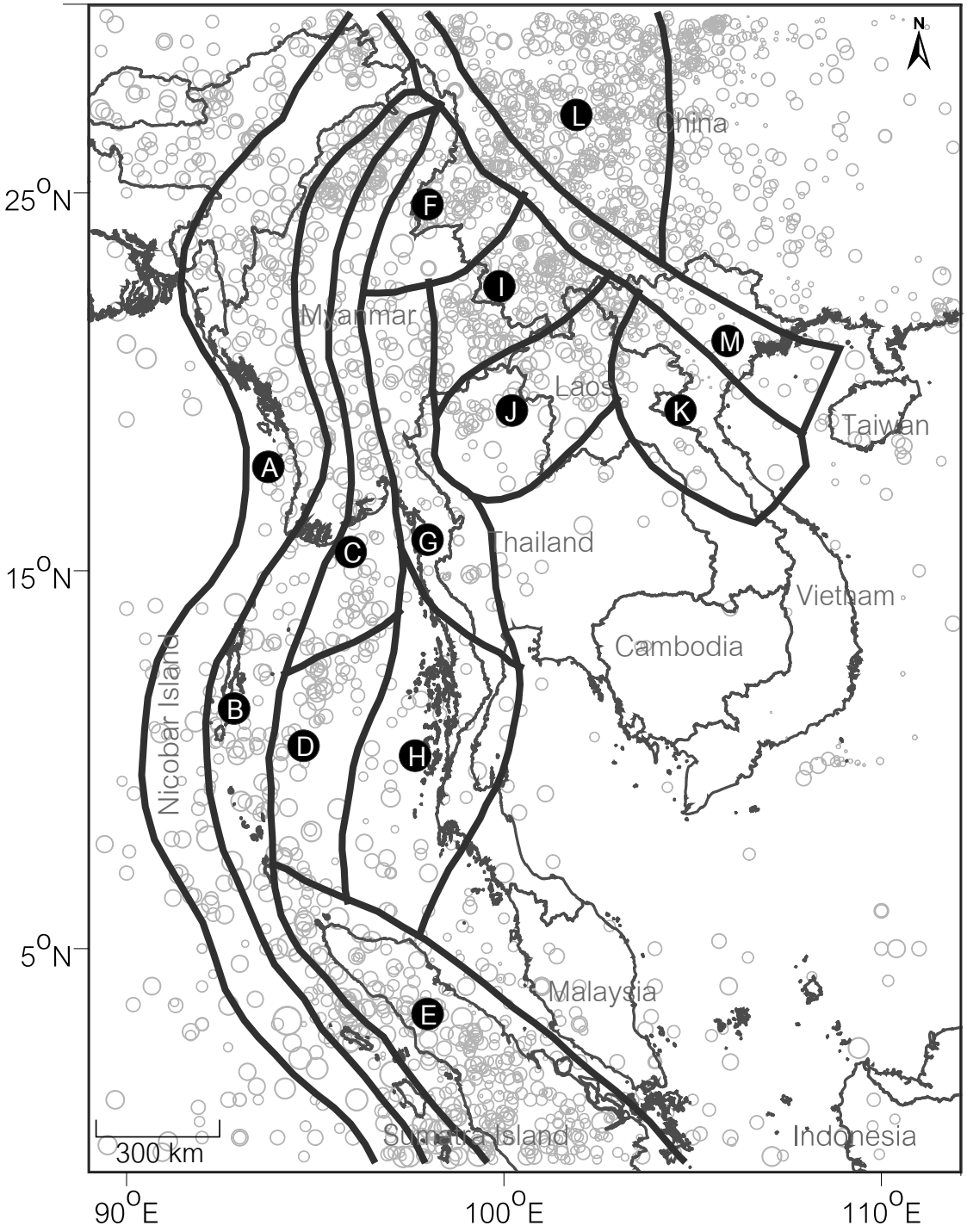
Ruangrassamee และ Saelem (2009) ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากสึนามิบริเวณอ่าวไทยที่เกิดจากแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ โดยใช้แบบจำลองสึนามิในการวิเคราะห์ มีการแบ่ง

การศึกษาแผ่นดินไหว 3 ขนาด ดังนี้ 8.0 ริกเตอร์ 8.5 ริกเตอร์ และ 9.0 ริกเตอร์ จากการศึกษาพบว่าถ้าเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา จะเกิดสึนามิขึ้นและมีความสูงของคลื่นประมาณ 65 เซนติเมตร โดยใช้เวลาเดินทางประมาณ 13 ชั่วโมงถึงบริเวณตะวันออกของอ่าวไทย และใช้เวลาประมาณ 16 ชั่วโมงถึงกรุงเทพมหานคร โดยคลื่นสึนามิจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ในอ่าวไทย ประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที และมีการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจาก Advanced National Seismic System (ANSS) ระหว่างปี ค.ศ. 1963 - 2006 ได้ผลดังนี้ (ตาราง 1.1)

ตาราง 1.1 แสดงผลการศึกษาของคาบอุบัติซ้ำของ Ruangrassamee และ Saelem (2009)

ขนาดแผ่นดินไหว (Mw)	**คาบอุบัติซ้ำ (ปี)**
7.0	6
7.5	19
8.0	63
8.5	205
9.0	667

Pailoplee และคณะ (2010) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ และนำมาวิเคราะห์ในเชิงของสถิติ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดและความถี่เฉพาะจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ ในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ.1964 - 2010 และทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 13 พื้นที่ (โซน A - M) ตามแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (รูป 1.2) ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเกิดแผ่นดินไหวมีความสัมพันธ์กับขนาดแผ่นดินไหว โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ $\log(N) = a - bM$ โดย N คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าแผ่นดินไหวที่มีขนาด M โดยที่ค่า a คือ ค่าที่แสดงหรือบอกเป็นนัยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Seismic activity) โดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหว (log ของจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า M = 0) ในพื้นที่นั้น ส่วนค่า b คือ ค่าที่แสดงถึงอัตราการเกิดของแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรงเมื่อเทียบกับขนาดรอบข้าง ซึ่งจากการศึกษาได้ผลดังนี้ (ตาราง 1.2)



รูป 1.2 แสดงพื้นที่ศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) ครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ตาราง 1.2 แสดงผลการศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่ศึกษา

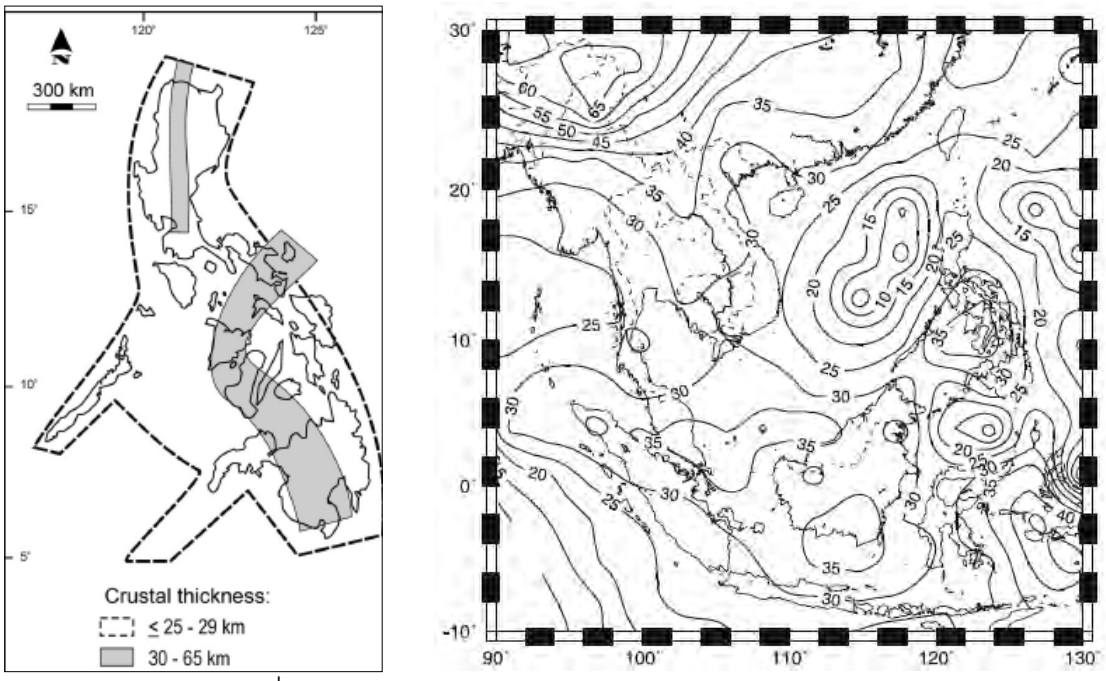
Zone	Name	a	b	u
A	Sumatra-Andaman Inter Plate	3.91	0.61	6.4
B	Sumatra-Andaman Intra Slab	3.10	0.52	5.9
C	Sagiang Fault Zone	4.05	0.72	5.6
D	Andaman Basin	1.80	0.39	4.6
E	Sumatra Fault Zone	4.25	0.75	5.7
F	Hsenwi-Nanting Fault Zone	3.57	0.70	5.1
G	Western Thailand	2.85	0.57	5.0
H	Southern Thailand	3.10	0.66	4.7
I	Jinghong-Mengxing Fault Zones	3.28	0.61	5.4
J	Northern Thailand-Dein Bein Fhu	4.32	0.80	5.4
K	Song Da-Song Ma Fault Zones	3.48	0.74	4.7
L	Xianshuihe Fault Zone	3.58	0.61	5.9
M	Red River Fault Zone	4.32	0.84	5.1
W	Whole Region	4.83	0.66	7.4

กำหนดให้ u คือ ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่มีโอกาสเกิดได้ในทุกๆ ปี (คาบอุบัติซ้ำ 1 ปี)

Dimalanta และ Yumul (2004) ได้ทำการศึกษาความหนาของแผ่นเปลือกโลก บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ โดยใช้ข้อมูลภาคสนาม (Field), ธรณีเคมี (Geochemical), คลื่นไหวสะเทือน (Seismicity), ความเร็วคลื่นเฉือน (Shear wave velocity) และข้อมูลแรงโน้มถ่วง (Gravity data) ผลการศึกษาพบว่าบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์มีความหนาของแผ่นเปลือกโลกประมาณ 25 - 30 กิโลเมตร แต่มี 2 บริเวณที่พบว่ามีความหนาของแผ่นเปลือกโลก 30 - 65 กิโลเมตร คือบริเวณเทือกเขาลูซอน (Luzon) และบริเวณบีโกล เนกรอส ปาไน และตอนกลางของมินดาเนา (Bicol-Negros-Panay-Central Mindanao) (รูป 1.3)

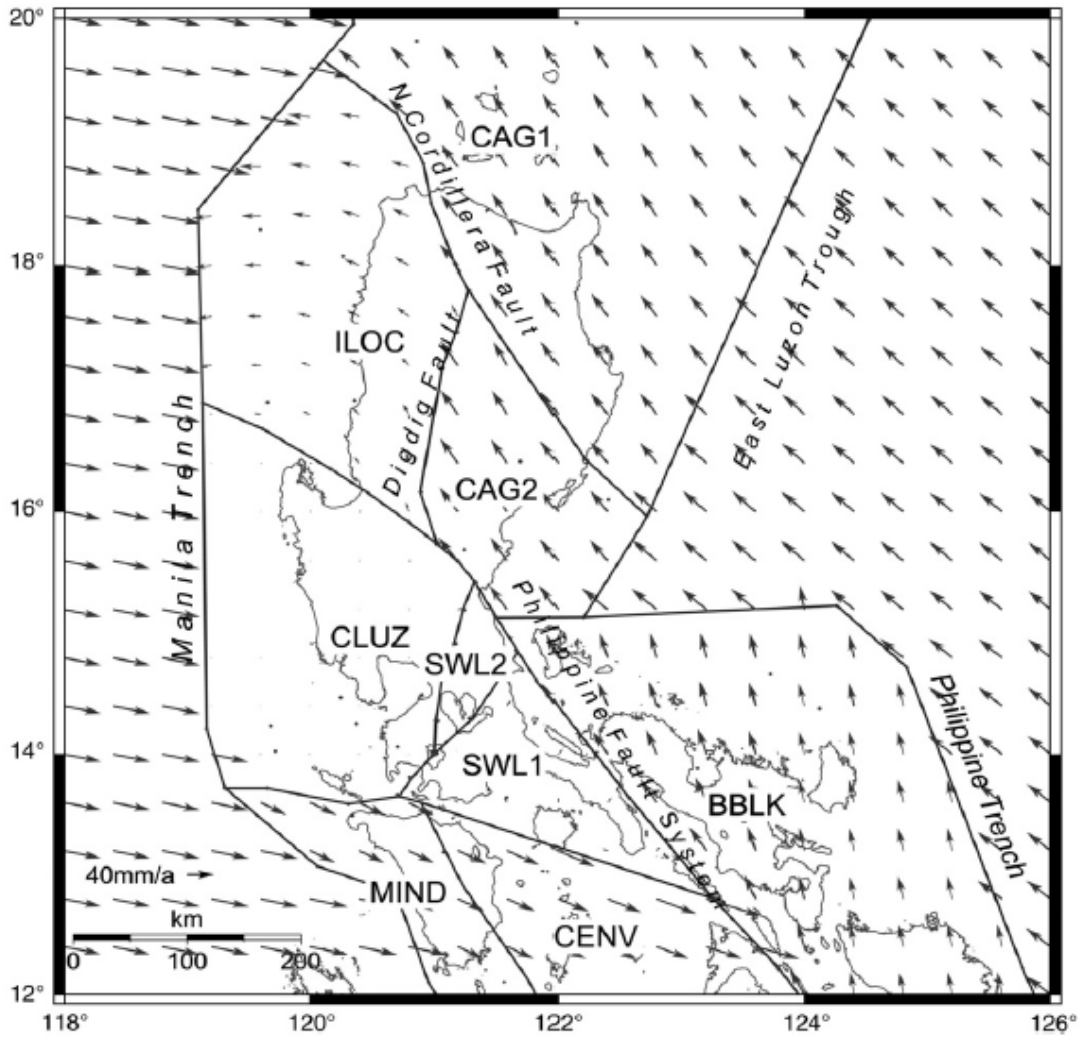
Wu และ Yumul (2004) ได้ศึกษาความหนาของชั้นเปลือกโลกและชั้นแมนเทิลด้านบนบริเวณทะเลจีนใต้ ตั้งแต่ลองจิจูด (Longitude) 80 º - 140 º E และละติจูด (Latitude) 16 º S - 32 º N โดยใช้ความเร็วของคลื่นเฉือน มีคาบความถี่ตั้งแต่ 14 - 120 วินาที ผลการศึกษาพบว่าชั้นของแผ่นเปลือกโลกมีความหนาที่แตกต่างกัน โดยแผ่นเปลือกโลกบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์มีความ

หนาประมาณ 30 - 35 กิโลเมตร และบริเวณทางด้านตะวันตกของแอ่งสะสมตะกอนฟิลิปปินส์มีความหนาของแผ่นเปลือกโลกประมาณ 5 - 10 กิโลเมตร ส่วนความหนาของชั้นแมนเทิลด้านบนบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์มีความหนาประมาณ 55 - 60 กิโลเมตร และด้านตะวันตกของแอ่งสะสมตะกอนฟิลิปปินส์มีความหนาของชั้นแมนเทิลด้านบนประมาณ 50 - 55 กิโลเมตร (รูป 1.3)



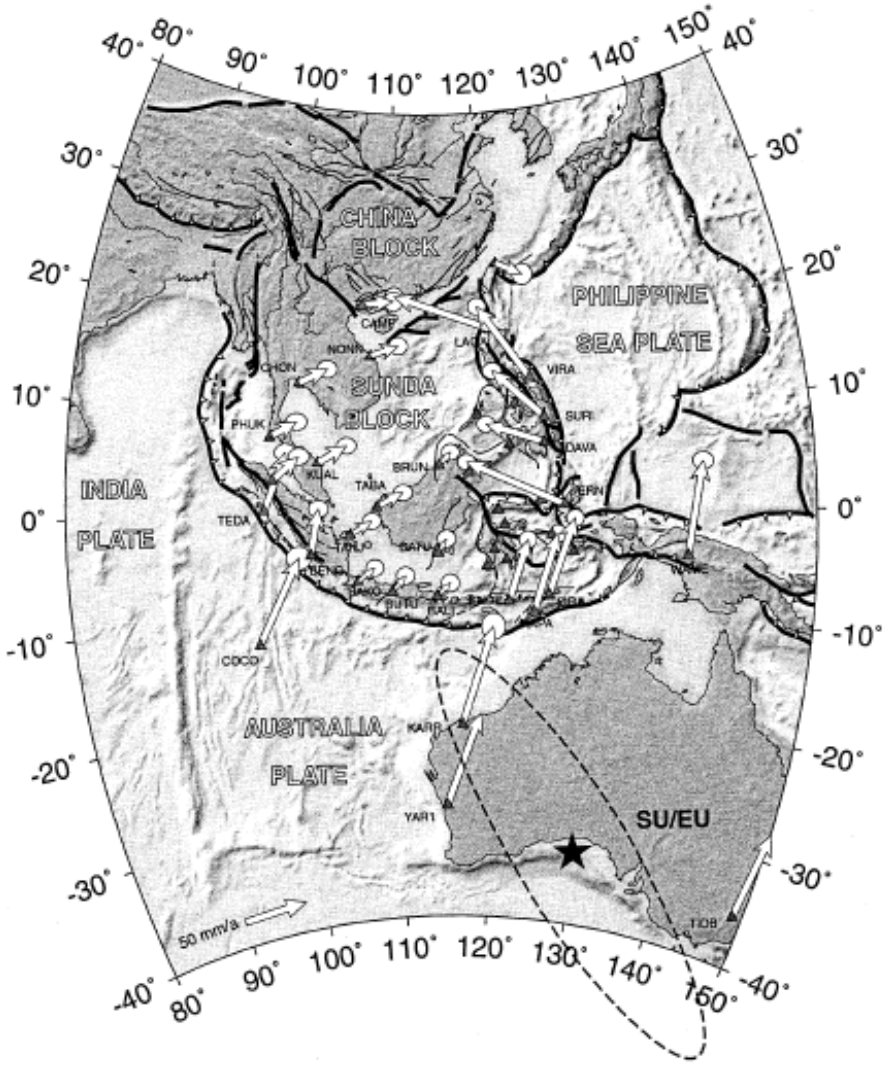
รูป 1.3 (ซ้าย) แผนที่แสดงความหนาแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ (Dimalanta และ Yumul, 2004) (ขวา) แผนที่แสดงแสดงความหนาของแผ่นเปลือกโลกบริเวณทะเลจีนใต้ (Wu และ Yumul, 2004)

Galgana และคณะ (2007) ได้มีการศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกโดยใช้ Global Positioning System (GPS) บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีผลการศึกษาดังนี้ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีการเคลื่อนตัว 20 - 100 มิลลิเมตรต่อปี โดยแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ ทางด้านตะวันออกของเกาะลูซอน มีการเคลื่อนตัว 9 - 15 มิลลิเมตรต่อปี บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ มีการเคลื่อนตัว 29 - 34 มิลลิเมตรต่อปี โดยแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ส่วนบริเวณแนวรอยเลื่อนฟิลิปปินส์ มีการเคลื่อนตัว 20 - 40 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีการเคลื่อนที่ผ่านกัน (รูป 1.4)



รูป 1.4 จากภาพแสดงผลการศึกษาทิศทางและขนาดของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกของ Galgana และคณะ (2007)

Chamot-Rooke และ Pichon (1999) ได้ศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้ Global Positioning System (GPS) ได้ผลการศึกษาดังนี้ บริเวณซันด้า บล็อก มีการเคลื่อนตัว 7 - 10 มิลลิเมตรต่อปี บริเวณเซาธ์ ไชน่า บล็อก มีการเคลื่อนตัว 11 มิลลิเมตรต่อปี และมีการหมุนทวนเข็มนาฬิกาประมาณ 15 - 18 มิลลิเมตรต่อปี บริเวณแนวมุดตัวจาวา มีการเคลื่อนตัวน้อยกว่า 16 มิลลิเมตรต่อปี (รูป 1.5)



รูป 1.5 จากภาพแสดงผลการศึกษาทิศทางและขนาดของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ของ Chamot-Rooke และ Pichon (1999)

1.6.ขอบเขตงานวิจัย (Scope of work)

ศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ และนำมาวิเคราะห์ในเชิงของสถิติ

1.7.ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)

1.โอกาสเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละปี (ขนาดของแผ่นดินไหวสูงสุดที่มีคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี)

2.ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาด

3.คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (ความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหว)

บทที่ 2
ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (Theory and Methodology)

2.1.ทฤษฎี (Theory)

การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ สามารถศึกษาได้โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ในอดีตจากฐานข้อมูลต่างๆ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดแผ่นดินไหว และนำค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ข้างต้นมาวิเคราะห์ในเชิงสถิติ เพื่อประเมินภัยพิบัติของการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา

2.1.1.สมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ (Magnitude-frequency Relationship)

อัตราการเกิดแผ่นดินไหวมีความสัมพันธ์กับขนาดแผ่นดินไหว ดังแสดงในสมการ 2.1 (Ishimoto และ Iida, 1939; Gutenberg และ Richter, 1954) สมการนี้เรียกว่าสมการ magnitude-frequency relationship หรือ Gutenberg-Richter relationship (G-R relationship) (รูป 2.1)

$$\log(N_m) = a - bm \text{ หรือ } \ln(N_m) = \ln\alpha - \beta m \qquad \text{(สมการ 2.1)}$$

กำหนดให้

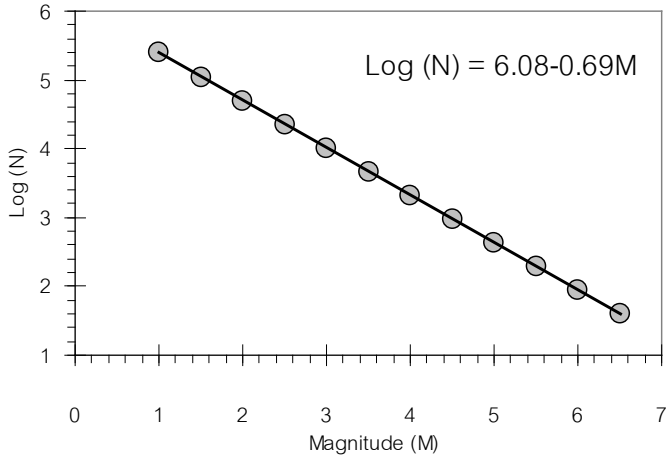
N_m คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าแผ่นดินไหวที่มีขนาด m

a คือ ค่าคงที่ ซึ่งเป็นจำนวนจริงที่มีค่าบวก โดยค่าที่แสดงหรือบอกเป็นนัยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Seismic activity) โดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหว (log ของจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า m =0) ในพื้นที่นั้น

b คือ ค่าคงที่ ซึ่งเป็นจำนวนจริงที่มีค่าบวก โดยค่าที่แสดงถึงอัตราการเกิดของแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรงเมื่อเทียบกับขนาดรอบข้าง ดูจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ (รูป 2.1)

α คือ ค่าคงที่ มีความสัมพันธ์กับค่า a ดังนี้ $\alpha = \exp(a\ln(10))$

β คือ ค่าคงที่ มีความสัมพันธ์กับค่า b ดังนี้ $\beta = b\ln(10)$



รูป 2.1 สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดแผ่นดินไหว (m) และความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหว (N_m)

2.1.2.การคำนวณค่าสถิติด้านแผ่นดินไหว

เป็นการคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดแผ่นดินไหว ค่า α และ β ที่ได้จากสมการ G-R relationship มาวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ

2.1.2.1.ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี ($G(m)$)

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี มีความสัมพันธ์กับค่า α และ β ดังแสดงในสมการ 2.2

$$G(m) = \exp(-\alpha(\exp(-\beta m))) \qquad \text{(สมการ 2.2)}$$

กำหนดให้

$G(m)$ คือ ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี

α , β คือ ค่าคงที่ที่ได้จาก G-R relationship

m คือ ขนาดแผ่นดินไหว

2.1.2.2.ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ)

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) สามารถประมาณได้จากความสัมพันธ์ของค่า α และค่า β ดังแสดงในสมการ 2.3

$$\mu = \frac{\ln \alpha}{\beta} \qquad \text{(สมการ 2.3)}$$

กำหนดให้

μ คือ ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี

α , β คือ ค่าคงที่ที่ได้จาก G-R relationship

2.1.2.3.ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t)

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) มีความสัมพันธ์ของค่า α และค่า β ดังแสดงในสมการ 2.4

$$\mu_t = \frac{\ln(\alpha t)}{\beta} \qquad \text{(สมการ 2.4)}$$

กำหนดให้

μ_t คือ ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี

α , β คือ ค่าคงที่ที่ได้จาก G-R relationship

t คือ เวลา ในหน่วยปี

2.1.2.4.คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m)

คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m มีความสัมพันธ์กับค่า α และค่า β ดังแสดงในสมการ 2.5

$$T_m = \frac{1}{N_m} = \frac{\exp(\beta m)}{\alpha} \qquad \text{(สมการ 2.5)}$$

กำหนดให้

T_m คือ คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว ขนาด m

N_m คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าแผ่นดินไหวที่มีขนาด m

α , β คือ ค่าคงที่ที่ได้จาก G-R relationship

m คือ ขนาดแผ่นดินไหว

2.1.2.5.**ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว** ($P_t(m)$)

ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว ($P_t(m)$) เป็นสมการที่สำคัญที่สุดของงานวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์กับคาบอุบัติซ้ำ t ขนาดของแผ่นดินไหว m ค่า α และ β ดังแสดงในสมการ 2.6

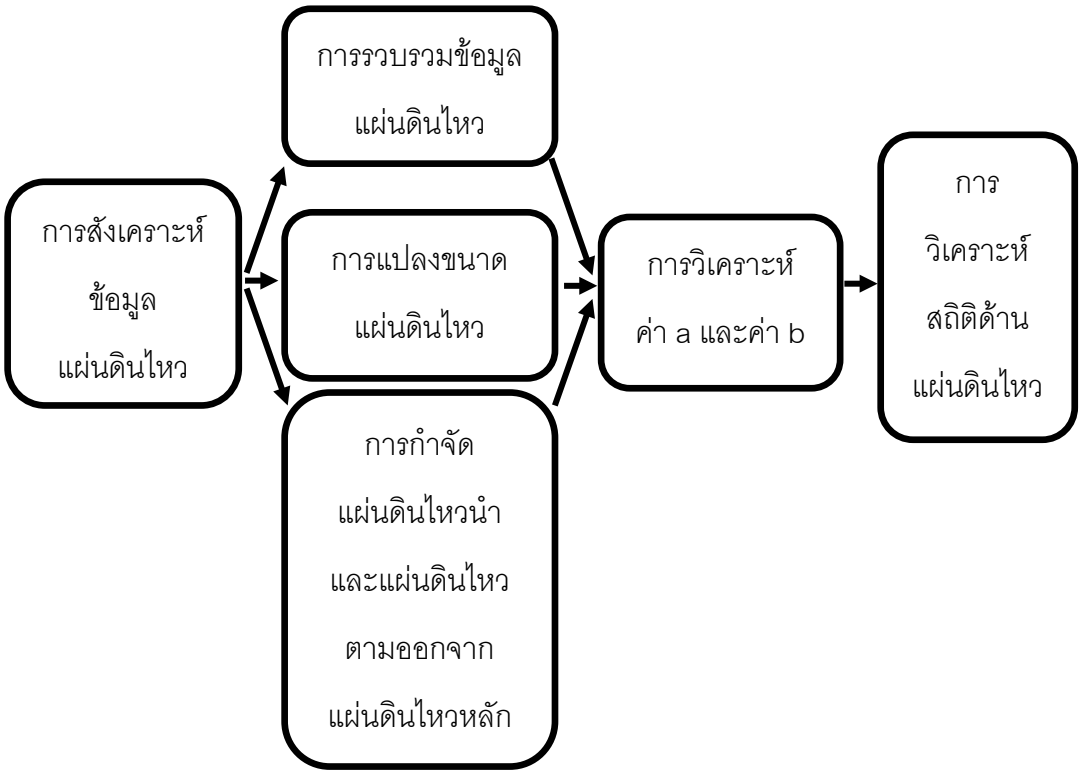
$$P_t(m) = 1 - \exp(-\alpha t \bullet (\exp(-\beta m))) \qquad \text{(สมการ 2.6)}$$

กำหนดให้

$P_t(m)$	คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว ขนาด m
α , β	คือ ค่าคงที่ที่ได้จาก G-R relationship
t	คือ เวลา ในหน่วยปี

2.2.ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

ในการศึกษางานวิจัยนี้ อ้างอิงกระบวนการศึกษาจาก Pailoplee และคณะ (2010) ซึ่งใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวในรูปของความน่าจะเป็นและคาบอุบัติซ้ำขนาดต่างๆ โดยมีกระบวนการศึกษาดังนี้ (รูป 2.2)



รูป 2.2 แสดงแผนผังระเบียบวิธีวิจัย

2.2.1.การสังเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหว

ในการสังเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหว ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักที่สำคัญ ได้แก่ การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว การแปลงขนาดแผ่นดินไหว การกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นต่างมีความสำคัญแตกต่างกันไป ดังนั้นในการทำแต่ละขั้นตอนต้องมีความถูกต้อง เพื่อให้ผลงานวิจัยที่ออกมานั้น มีความถูกต้องและความแม่นยำมากที่สุด

2.2.1.1.การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Investigation)

ในการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว สามารถทำการคัดลอกข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวจากอินเตอร์เน็ต ตัวอย่างเช่น ฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ฐานข้อมูล Centroid-Moment Tensor (CMT) ฐานข้อมูล National Earthquake Information Center (NEIC) ฐานข้อมูล Northern California Earthquake Data Center (NCEDC) เป็นต้น โดยทำการกรอกข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต้องการ ดังนี้ เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของข้อมูลแผ่นดินไหวที่สนใจ ขอบเขตพื้นที่ที่สนใจ ได้แก่ ลองจิจูด (Longitude) และละติจูด (Latitude) ความลึกและขนาดแผ่นดินไหวของการเกิดแผ่นดินไหวที่ต้องการ

เมื่อได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต้องการ นำข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มาจัดเรียงข้อมูลในรูปแบบตารางในโปรแกรม Microsoft Office Excel ดังนี้ ลองจิจูด ละติจูด ปี เดือน วัน ขนาดแผ่นดินไหว ชั่วโมง นาที วินาที ความลึกของแผ่นดินไหว (ตาราง 2.1)

ตาราง 2.1 แสดงตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูลแผ่นดินไหว

ลองจิจูด	ละติจูด	ปี	เดือน	วัน	Mw	mb	MS	ความลึก	ชั่วโมง	นาที	วินาที
126.02	13.12	1976	2	15	6.5	6.1	6.1	15.6	1	54	30
125.07	14.23	1976	6	7	6.5	6.1	6.4	24.4	7	36	0
118.55	5.08	1976	7	26	6.3	5.8	6.2	15	2	56	46
123.75	7.07	1976	8	16	8	6.4	7.9	33	16	11	58
126.1	10.08	1976	8	17	6	6	5.7	47.3	1	11	16
123.01	7.14	1976	8	17	7.1	6.2	6.8	15	4	19	39
124.24	6.61	1976	9	29	5.7	6	5.4	15	21	2	31
126.86	8.35	1976	11	7	6.8	6	6.8	42.1	17	9	13
123.58	7.03	1976	11	22	5.1	6	0	60	4	22	20
120.01	20.78	1977	1	7	5.7	5.7	5.1	10	19	36	48
122.73	15.77	1977	1	8	5.2	5.3	0	13.3	6	41	10
126.06	12.8	1977	1	15	5.5	5.6	4.6	32.9	10	49	8
126.56	5.01	1977	1	19	6.2	5.8	5.9	50.1	13	54	9

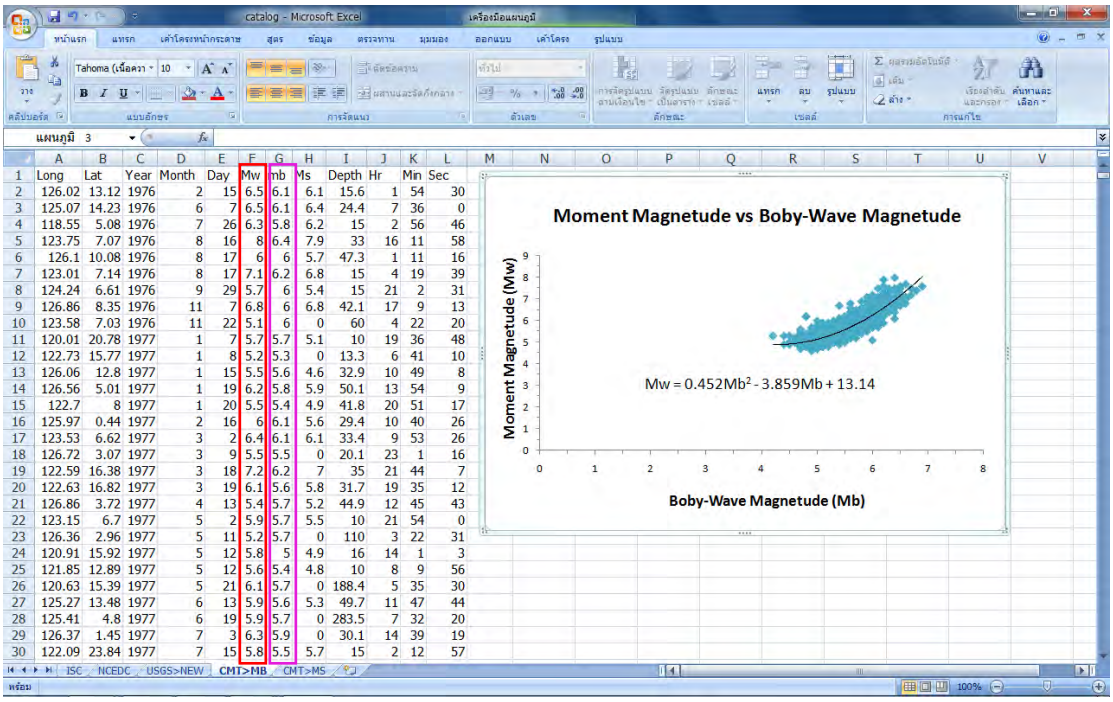
2.2.1.2.การแปลงขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

เป็นการแปลงขนาดข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตราวัดเดียวกัน เนื่องจากแต่ละฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลมีมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวที่ต่างกัน เช่น Body-wave magnitude (mb) Surface-wave magnitude (MS) หรือ Moment magnitude (Mw) ซึ่งในแต่ละมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวนั้นอ้างอิงมาจากสมมุติฐาน วิธีการคำนวณขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ในการวิเคราะห์ค่า b ฐานข้อมูลที่ใช้ควรมีหน่วยการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวที่มีมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด คือมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวที่เป็น Moment magnitude (Mw)

ทำโดยนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีหน่วยวัดเป็น Body-wave magnitude (mb) Surface-wave magnitude (MS) มาปรับค่าให้มีหน่วยวัดเป็น Moment magnitude (Mw) โดยต้องหาความสัมพันธ์ระหว่าง Moment magnitude (Mw) กับมาตราวัดอื่นๆ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างกัน หาได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการตรวจวัดทุกมาตราวัด ซึ่งได้แก่ ฐานข้อมูล CMT ที่มีการวัดมาตรา Body-wave magnitude (mb), Surface-wave magnitude (MS), Moment magnitude (Mw) ในการหาความสัมพันธ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1. Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)
2. Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw)

สามารถทำโดยนำข้อมูลขนาดของแผ่นดินไหวที่มาตราวัดเป็น Moment magnitude (Mw) ใส่ในกราฟที่เป็นแกนตั้ง และนำข้อมูลขนาดของแผ่นดินไหวที่มาตราวัดเป็น Body-wave magnitude (mb) หรือ Surface-wave magnitude (MS) ใส่ในกราฟที่เป็นแกนนอน และปรับค่าเส้นแนวโน้มให้เป็นโพลิโนเมียล จะได้สมการความสัมพันธ์ของค่า Moment magnitude (Mw) และ Body-wave magnitude (mb) หรือ Surface-wave magnitude (MS) (รูป 2.3)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Long	Lat	Year	Month	Day	Mw	mb	Ms	Depth	Hr	Min	Sec
2	126.02	13.12	1976	2	15	6.5	6.1	6.1	15.6	1	54	30
3	125.07	14.23	1976	6	7	6.5	6.1	6.4	24.4	7	36	0
4	118.55	5.08	1976	7	26	6.3	5.8	6.2	15	2	56	46
5	123.75	7.07	1976	8	16	8	6.4	7.9	33	16	11	58
6	126.1	10.08	1976	8	17	6	6	5.7	47.3	1	11	16
7	123.01	7.14	1976	8	17	7.1	6.2	6.8	15	4	19	39
8	124.24	6.61	1976	9	29	5.7	6	5.4	15	21	2	31
9	126.86	8.35	1976	11	7	6.8	6	6.8	42.1	17	9	13
10	123.58	7.03	1976	11	22	5.1	6	0	60	4	22	20
11	120.01	20.78	1977	1	7	5.7	5.7	5.1	10	19	36	48
12	122.73	15.77	1977	1	8	5.2	5.3	0	13.3	6	41	10
13	126.06	12.8	1977	1	15	5.5	5.6	4.6	32.9	10	49	8
14	126.56	5.01	1977	1	19	6.2	5.8	5.9	50.1	13	54	9
15	122.7	8	1977	1	20	5.5	5.4	4.9	41.8	20	51	17
16	125.97	0.44	1977	2	16	6	6.1	5.6	29.4	10	40	26
17	123.53	6.62	1977	3	2	6.4	6.1	6.1	33.4	9	53	26
18	126.72	3.07	1977	3	9	5.5	5.5	0	20.1	23	1	16
19	122.59	16.38	1977	3	18	7.2	6.2	7	35	21	44	7
20	122.63	16.82	1977	3	19	6.1	5.6	5.8	31.7	19	35	12
21	126.86	3.72	1977	4	13	5.4	5.7	5.2	44.9	12	45	43
22	123.15	6.7	1977	5	2	5.9	5.7	5.5	10	21	54	0
23	126.36	2.96	1977	5	11	5.2	5.7	0	110	3	22	31
24	120.91	15.92	1977	5	12	5.8	5	4.9	16	14	1	3
25	121.85	12.89	1977	5	12	5.6	5.4	4.8	10	8	9	56
26	120.63	15.39	1977	5	21	6.1	5.7	0	188.4	5	35	30
27	125.27	13.48	1977	6	13	5.9	5.6	5.3	49.7	11	47	44
28	125.41	4.8	1977	6	19	5.9	5.7	0	283.5	7	32	20
29	126.37	1.45	1977	7	3	6.3	5.9	0	30.1	14	39	19
30	122.09	23.84	1977	7	15	5.8	5.5	5.7	15	2	12	57

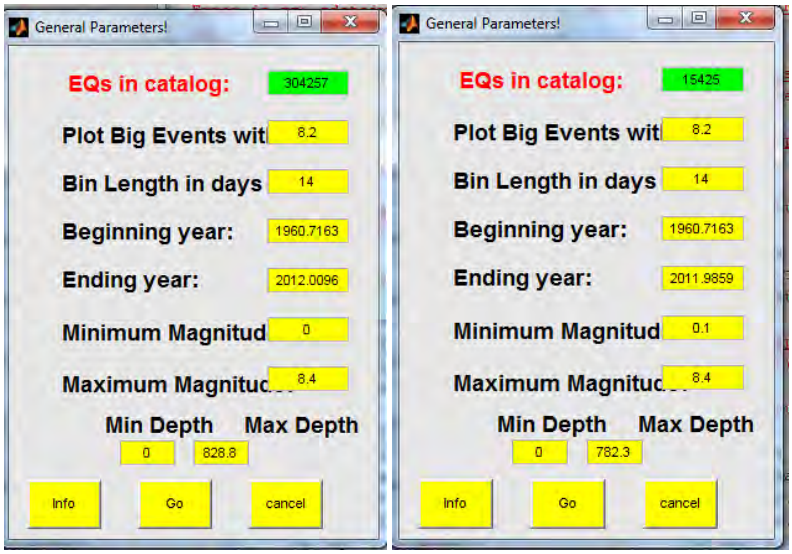
รูป 2.3 แสดงตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ในการแปลงมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหว ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)

2.2.1.3.การกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake De-clustering)

ในการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลักนั้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวจำเป็นต้องใช้ค่าของแผ่นดินไหวหลักเท่านั้น เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (Stress) แรงเครียด (Strain) อันเนื่องมาจากการกระทำทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรงเพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่แสดงถึงพฤติกรรมหรือศักยภาพทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง โดยปกติแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ประกอบด้วยแผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม จึงต้องมีการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก ซึ่งหลักการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักและแผ่นดินไหวตามเป็นไปตามแนวคิดหรือสมมุติฐานของ Gardner และ knopoff (1974)

โปรแกรม Zmap เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลักได้ ตามแนวคิดหรือสมมุติฐานของ Gardner และ knopoff (1974) แต่จำเป็นต้องทำงานผ่านโปรแกรม Matlab ต้องมีการจัดรูปแบบของข้อมูลแผ่นดินไหวในโปรแกรม Microsoft Office Excel ดังนี้ ลองจิจูด ละติจูด ปี เดือน วัน ขนาดแผ่นดินไหว ความลึกของแผ่นดินไหว ชั่วโมง นาที วินาที ตามลำดับ และทำการบันทึกในรูป TXT File นำมาเปิดใน

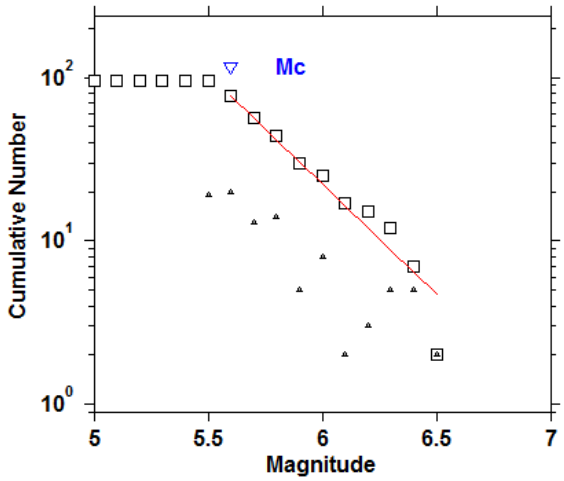
โปรแกรม Zmap และเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดมาทำการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก (รูป 2.4)



รูป 2.4 แสดงตัวอย่างข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก ตามลำดับ

2.2.2.การวิเคราะห์ค่า a และค่า b

ในการวิเคราะห์ค่า a และค่า b นั้น สามารถทำได้โดยนำขนาดแผ่นดินไหวและค่า log ของจำนวนแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดมาพล็อตลงในกราฟ เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ (G-R relationship) ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีสมการที่แตกต่างกัน (รูป 2.5)



รูป 2.5 แสดงตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ โดยสัญลักษณ์สามเหลี่ยม หมายถึง จำนวนแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละขนาด และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม หมายถึง จำนวนแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละขนาดที่เท่ากับและมากกว่า

ค่า a และค่า b ได้จากกราฟเส้นตรง โดยค่า a คือ ค่าคงที่ ซึ่งเป็นจำนวนจริงที่มีค่าบวก โดยค่าที่แสดงหรือบอกเป็นนัยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Seismic activity) โดยรวมจากทุกๆ ขนาดแผ่นดินไหว (log ของจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า m =0) ในพื้นที่นั้น ดูจากค่าคงที่ในสมการเส้นตรง และค่า b คือ ค่าคงที่ ซึ่งเป็นจำนวนจริงที่มีค่าบวก โดยค่าที่แสดงถึงอัตราการเกิดของแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดความรุนแรงเมื่อเทียบกับขนาดรอบข้าง ดูจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ (รูป 2.5)

2.2.3.การวิเคราะห์สถิติด้านแผ่นดินไหว

การวิเคราะห์สถิติด้านแผ่นดินไหวนั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากค่า a และค่า b ในสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ (G-R relationship) โดยนำค่า a และค่า b มาแทนค่าในความสัมพันธ์ $\alpha = \exp(a\ln(10))$ และ $\beta = b\ln(10)$ ตามลำดับ เพื่อใช้ค่า α และ β ในการวิเคราะห์สถิติด้านแผ่นดินไหวต่างๆ ดังต่อไปนี้ ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี ($G(m)$) ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) คาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) และความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว ($P_t(m)$)

บทที่ 3
การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

3.1.การรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Investigation)

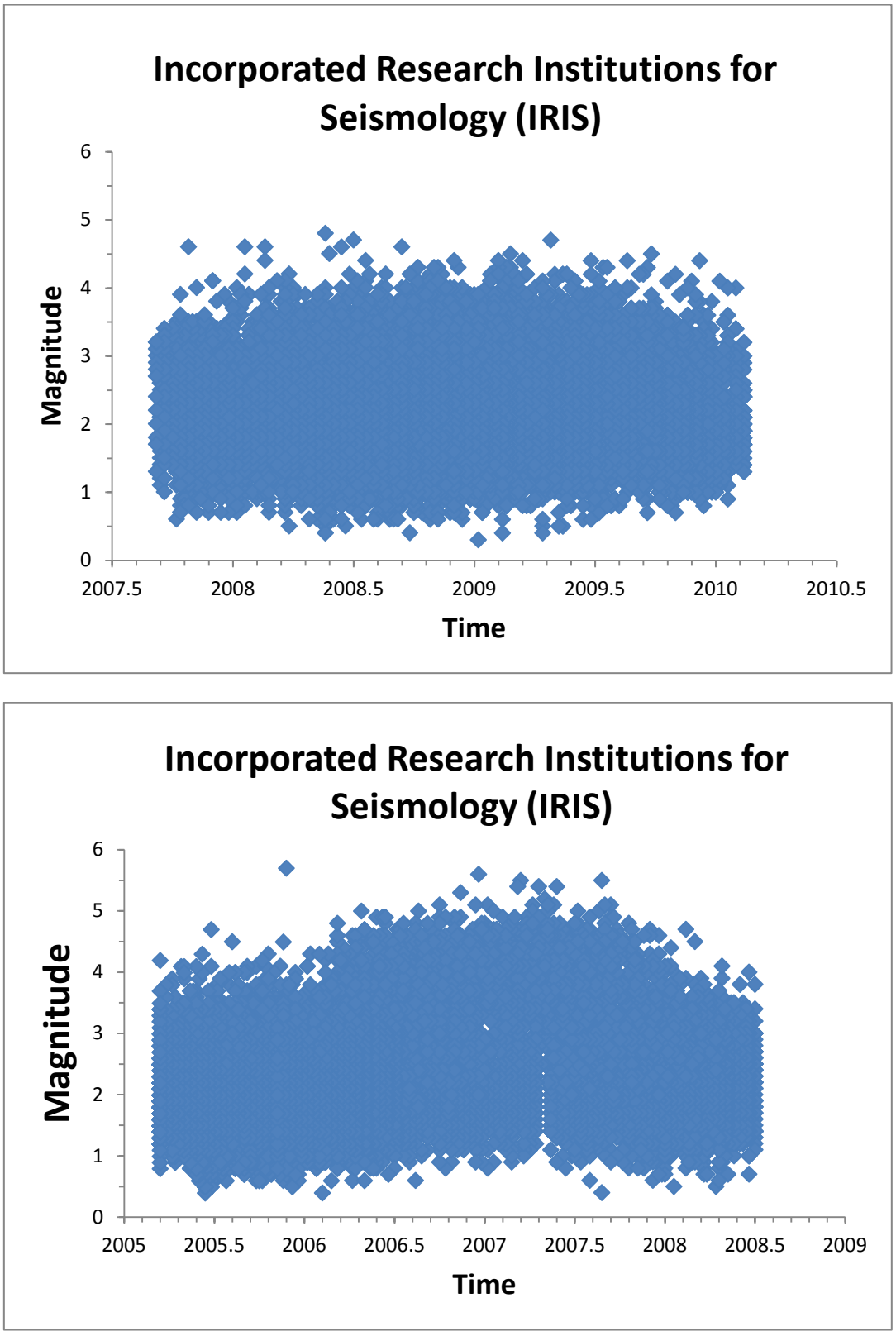
ในการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้ควรเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง และมีจำนวนข้อมูลที่มากนั้นจะทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติข้อมูลมีความถูกต้อง แม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น ในปัจจุบันมีการติดตั้งเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวกระจายอยู่ทั่วโลก จากการสำรวจฐานข้อมูลการตรวจวัดพบว่ามี 4 ฐานข้อมูล ที่สามารถรวบรวมและนำมาวิเคราะห์ได้ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดเป็นฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับทั่วโลก ได้แก่ ฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ฐานข้อมูล Centroid-Moment Tensor (CMT) ฐานข้อมูล National Earthquake Information Center (NEIC) ฐานข้อมูล Northern California Earthquake Data Center (NCEDC) ซึ่งในงานวิจัยนี้ สนใจข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลการตรวจวัดแผ่นดินไหวทั้งหมด เพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อประโยชน์และความแม่นยำสูงสุดในการศึกษาวิจัย

นอกจากนี้ยังได้กำหนดข้อมูลแผ่นดินไหว ที่ใช้เป็นขอบเขตในงานวิจัย ดังนี้ระยะเวลาที่มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหว ตั้งแต่ ค.ศ. 1900 - 2011 ขอบเขตพื้นที่ที่สนใจ ได้แก่ ลองจิจูด (Longitude) 110 º - 127 º E และละติจูด (Latitude) 0 º - 25 º N ความลึกของแผ่นดินไหว ตั้งแต่ 0 - 1,000 เมตร และขนาดแผ่นดินไหวของการเกิดแผ่นดินไหวที่ต้องการ ตั้งแต่ 0 - 9.9 ริกเตอร์ (Richter)

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว มีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 304,257 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 19 เดือน กันยายน ค.ศ. 1960 ถึงวันที่ 4 เดือน มกราคม ค.ศ. 2012 มีขนาดตั้งแต่ mb 0.2 - 7.9 ริกเตอร์ Mw 3.6 - 8.0 ริกเตอร์ MS 0.1 - 8.8 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 0 - 828.8 เมตร มีการบันทึกข้อมูลโดยใช้มาตร mb Mw และ MS ตามลำดับ

3.1.1.ฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology

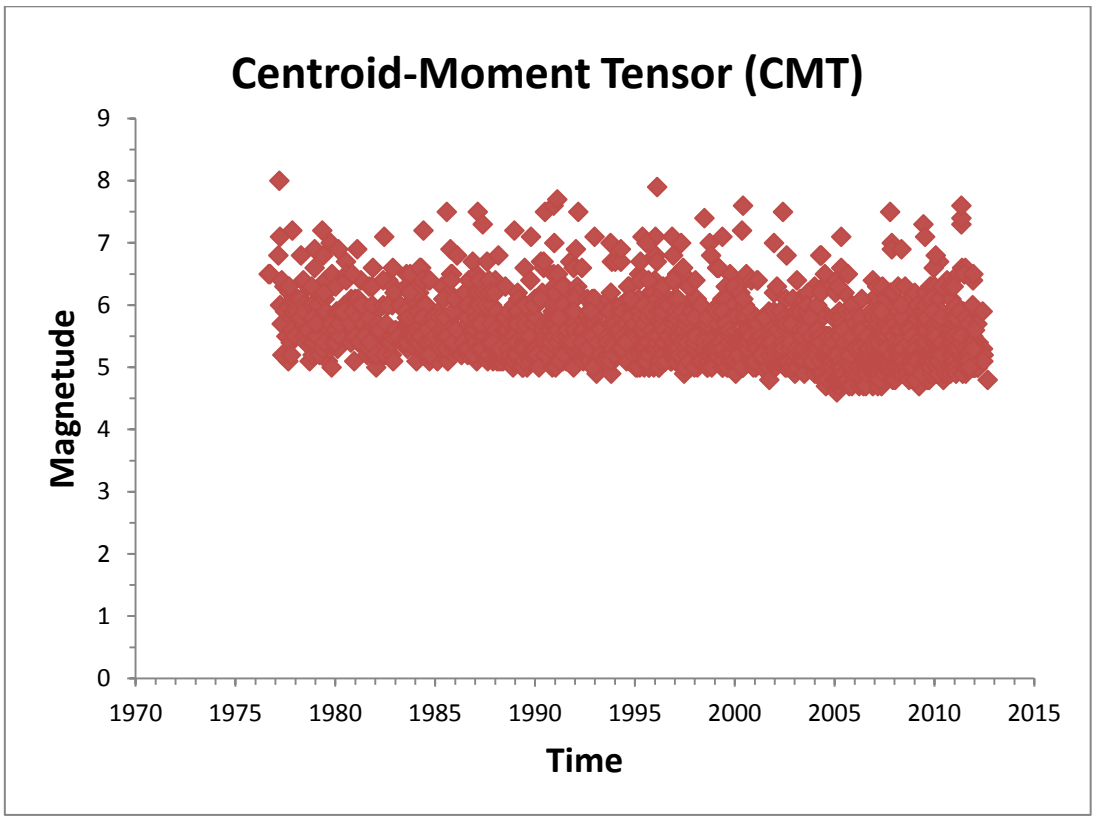
จำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว 252,965 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 19 เดือน กันยายน ค.ศ. 1960 ถึงวันที่ 31 เดือน มกราคม ค.ศ. 2009 มีขนาดตั้งแต่ mb 0.2 - 7.9 ริกเตอร์ Mw 3.7 - 4.1 ริกเตอร์ Ms 0.1 - 9.8 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 0 - 782.3 เมตร มีการบันทึกข้อมูลโดยใช้มาตร mb Mw และ MS (รูป 3.1 และ 3.5)



รูป 3.1 แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล IRIS ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 2005 - 2010 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 0.1-5.7 ริกเตอร์

3.1.2.**ฐานข้อมูล** Centroid-Moment Tensor

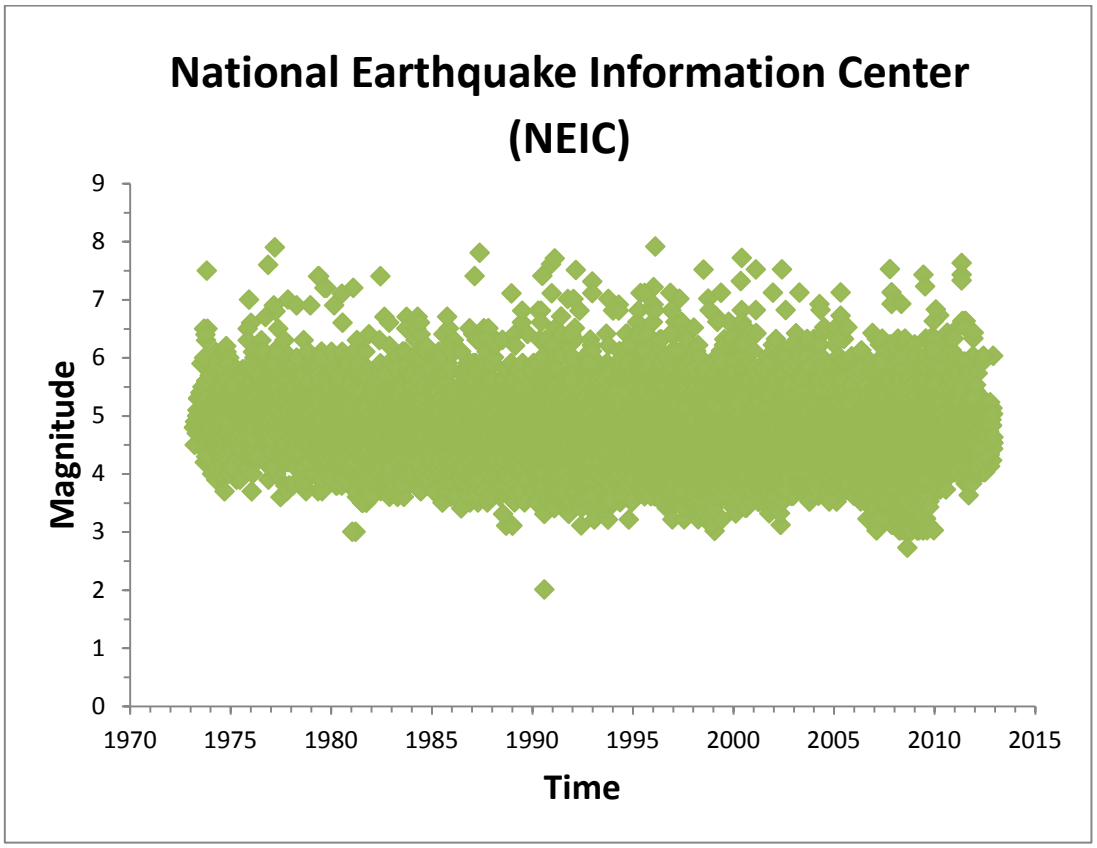
จำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว 2,409 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 15 เดือน กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1976 ถึงวันที่ 1 เดือน พฤศจิกายน ค.ศ. 2011 มีขนาดตั้งแต่ mb 4.2 - 6.9 ริกเตอร์ Mw 4.6 - 8.0 ริกเตอร์ Ms 3.9 - 7.9 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 10 - 828.8 เมตร มีการบันทึกข้อมูลโดยใช้มาตร mb Mw และ MS (รูป 3.2 และ 3.5)



รูป 3.2 แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล CMT ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 1976 - 2011 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 4.6 - 8.0 ริกเตอร์

3.1.3.**ฐานข้อมูล** National Earthquake Information Center

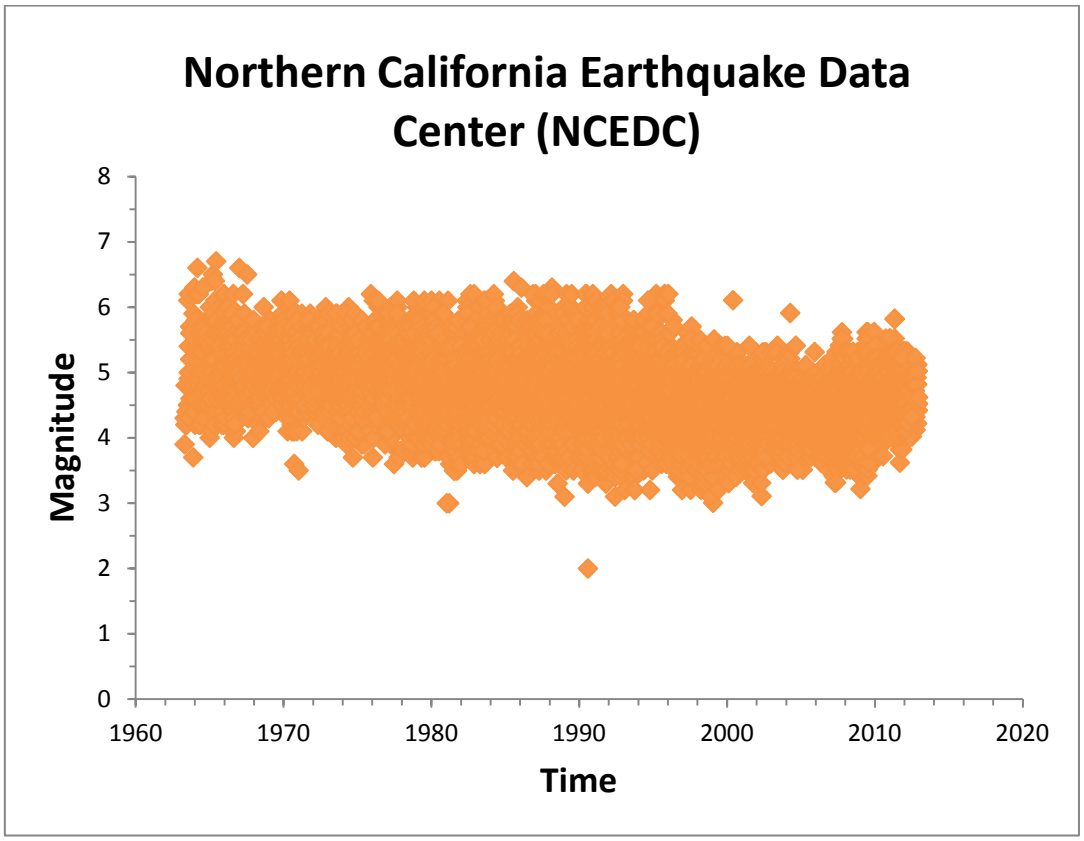
จำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว 23,614 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 2 เดือน มกราคม ค.ศ. 1973 ถึงวันที่ 4 เดือน มกราคม ค.ศ. 2012 มีขนาดตั้งแต่ 2.0 - 8.0 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 0 - 678.0 เมตร (รูป 3.3 และ 3.5)



รูป 3.3 แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล NEIC ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 1973 - 2011 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 2.0 - 8.0 ริกเตอร์

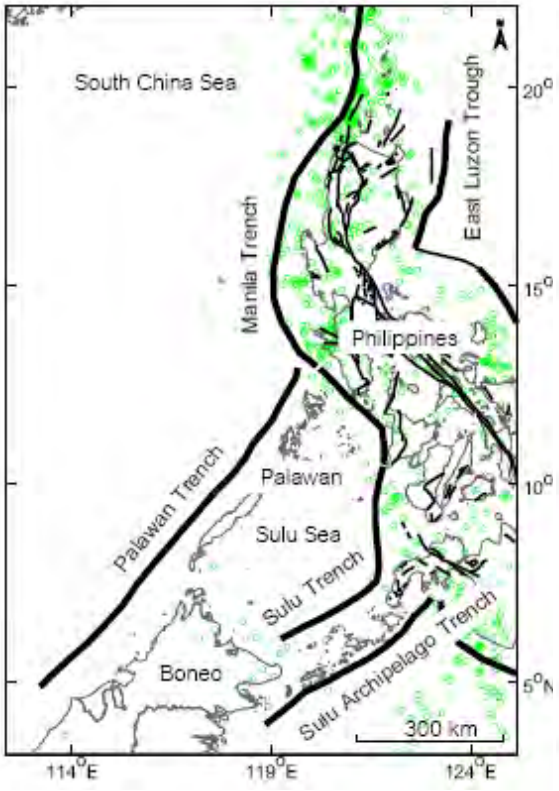
3.1.4.**ฐานข้อมูล** Northern California Earthquake Data Center

จำนวนข้อมูลแผ่นดินไหว 25,522 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 เดือน กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1963 ถึงวันที่ 28 เดือน ธันวาคม ค.ศ. 2011 มีขนาดตั้งแต่ mb 2.0 - 6.7 ริกเตอร์ Mw 3.6 - 7.6 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 0.7 - 678.0 เมตร มีการบันทึกข้อมูลโดยใช้มาตร mb และ Mw (รูป 3.4 และ 3.5)

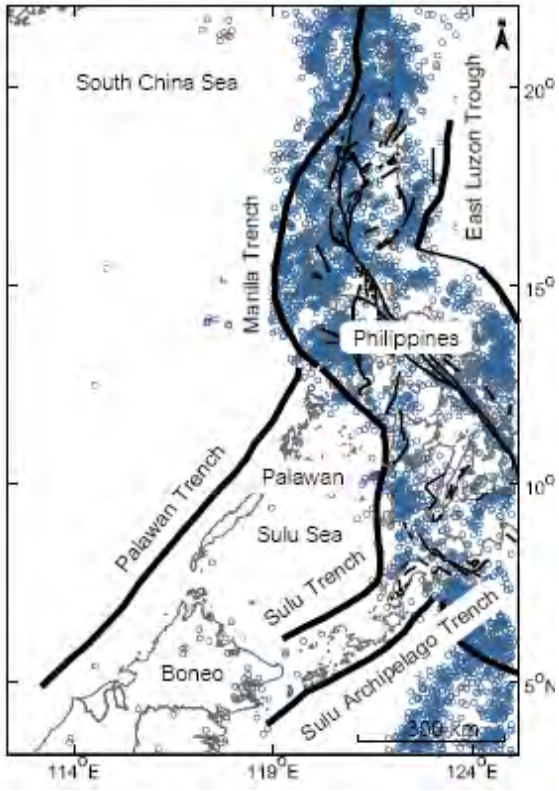


รูป 3.4 แสดงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูล Northern California Earthquake Data Center ที่ทำการบันทึกตั้งแต่ ค.ศ. 1963 - 2011 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 2.0 - 6.8 ริกเตอร์

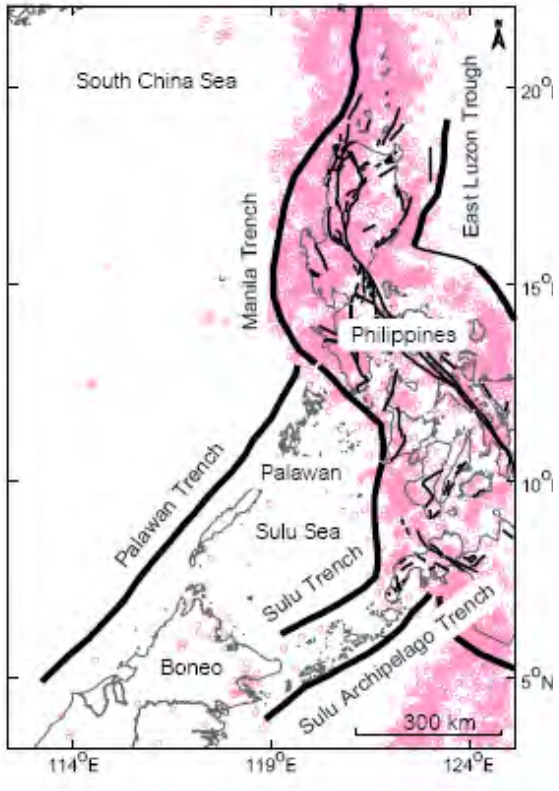
ฐานข้อมูล CMT



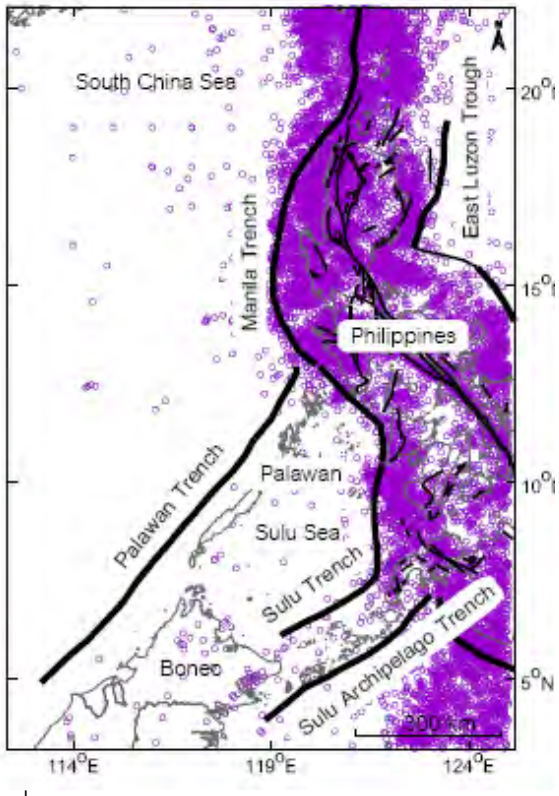
ฐานข้อมูล NEIC



ฐานข้อมูล NCEDC



ฐานข้อมูล IRIS



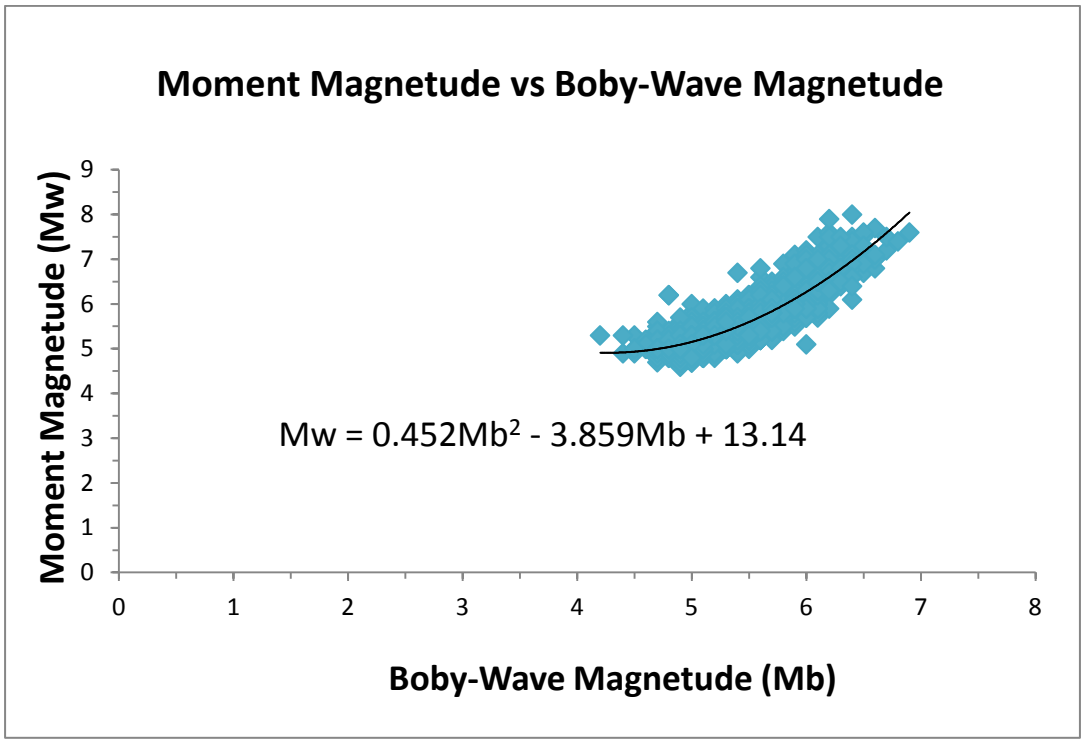
รูป 3.5 แสดงการกระจายตัวแผ่นดินไหวที่คัดลอกจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ

3.2.การแปลงขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

ในการแปลงขนาดแผ่นดินไหวนั้น เป็นการแปลงมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตราวัดเดียวกัน เพื่อให้การวิเคราะห์ในเชิงสถิตินั้นถูกต้องมากที่สุด ทั้งนี้หากใช้ข้อมูลที่มีหน่วยวัดของขนาดแตกต่างกันจะทำให้ผลการประเมินที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งในปัจจุบันในการวิเคราะห์ขนาดแผ่นดินไหวหน่วยที่นิยมใช้คือ Mw ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหน่วยการวัดที่ไม่มีการอิ่มตัวของสัญญาณ และถือได้ว่าเป็นหน่วยขนาดแผ่นดินไหวที่น่าเชื่อถือที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมุ่งเน้นแปลงขนาดแผ่นดินไหวทั้งต่างๆ ให้อยู่ในหน่วย Mw ทั้งหมด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างมาตราวัด Body-wave magnitude (mb) Surface-wave magnitude (MS) Moment magnitude (Mw) ซึ่งนำฐานข้อมูล CMT ที่บันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษา มาใช้ในการแปลงขนาดแผ่นดินไหว เนื่องจากเป็นฐานข้อมูลที่มีการวัดทุกมาตราวัด

3.2.1.Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)

ผลจากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล CMT ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw) ดังนี้ (รูป 3.6)



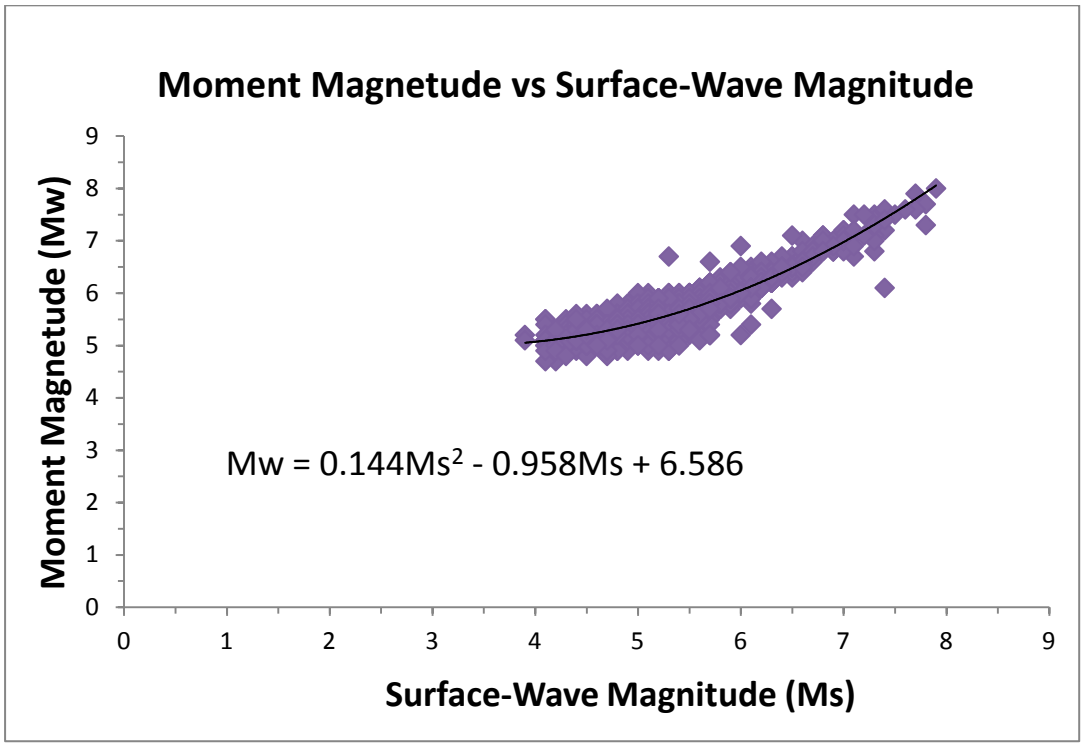
รูป 3.6 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw)

ซึ่งความสัมพันธ์ ระหว่าง Body-wave magnitude (mb) และ Moment magnitude (Mw) สามารถใช้ในการแปลงขนาดแผ่นดินไหวที่มีมาตราวัด Body-wave magnitude (mb) เปลี่ยนเป็นมาตราวัด Moment magnitude (Mw) ในพื้นที่ศึกษาได้ ดังแสดงในสมการ 3.1 นี้

$$Mw = 0.452mb^2 - 3.859mb + 13.14 \qquad \text{(สมการ 3.1)}$$

3.2.2.Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw)

ผลจากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล CMT ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw) ดังนี้ (รูป 3.7)



รูป 3.7 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw)

ซึ่งความสัมพันธ์ ระหว่าง Surface-wave magnitude (MS) และ Moment magnitude (Mw) สามารถใช้ในการแปลงขนาดแผ่นดินไหวที่มีมาตราวัด Surface-wave magnitude (MS) เปลี่ยนเป็นมาตราวัด Moment magnitude (Mw) ในพื้นที่ศึกษาได้ ดังแสดงในสมการ 3.2 นี้

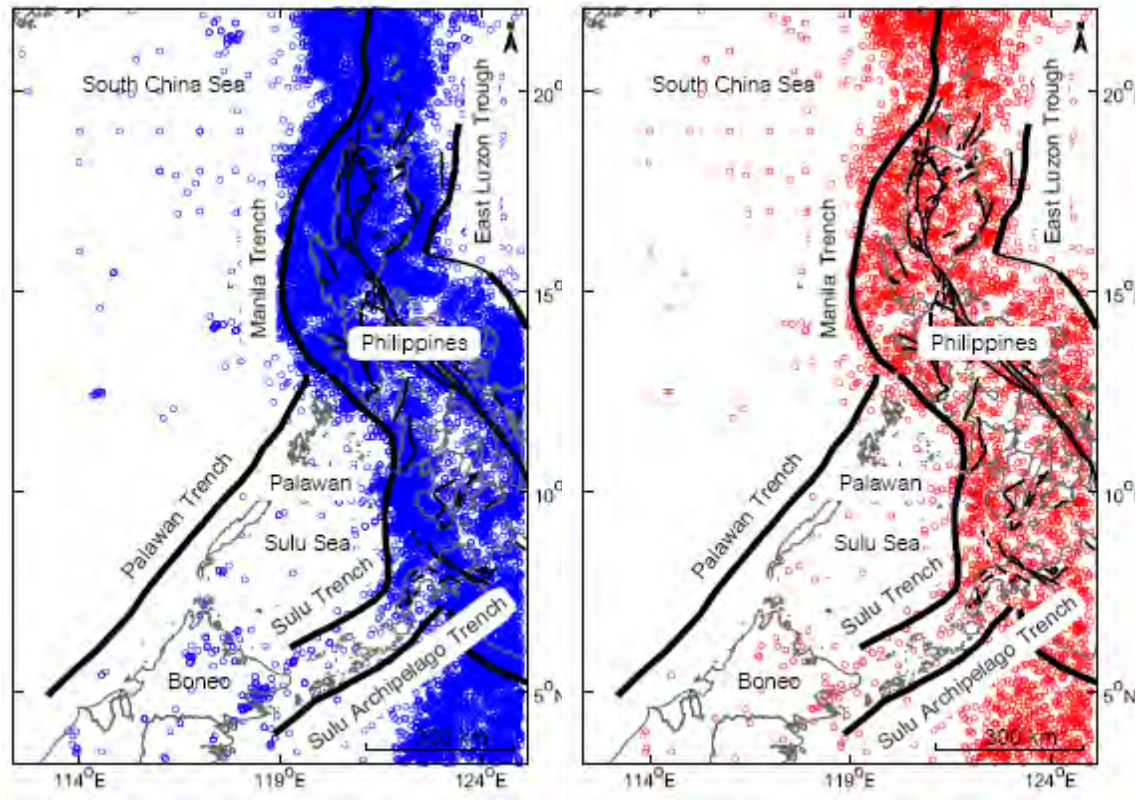
$$Mw = 0.144MS^2 - 0.958MS + 6.586 \quad \text{(สมการ 3.2)}$$

3.3.การกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake De-clustering)

การกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก เนื่องจากในการศึกษาพฤติกรรมของแผ่นดินไหวจำเป็นต้องใช้ค่าแผ่นดินไหวหลักเท่านั้น จึงจำเป็นต้องกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออก ซึ่งในการวิเคราะห์จัดกลุ่มแผ่นดินไหว เพื่อการตัดแผ่นดินไหวนำ (foreshock) และแผ่นดินไหวตาม (aftershock) ออกจากแผ่นดินไหวหลัก (mainshock) ในการศึกษาวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองการจัดกลุ่มจาก Gardner และ Knoff (1974) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นิยมที่สุดในปัจจุบัน

ผลจากการศึกษาและกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวที่จัดให้อยู่เป็นกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกัน (cluster) ทั้งสิ้น 8,588 กลุ่มแผ่นดินไหว (รูป 3.8) ซึ่งในแต่ละกลุ่มแผ่นดินไหวจะประกอบด้วยแผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวตาม และแผ่นดินไหวหลัก ดังนั้นจากผลของการแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหว ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งสิ้น 304,257 เหตุการณ์ ถูกจัดให้เป็นแผ่นดินไหวนำหรือแผ่นดินไหวตามทั้งหมด ตัดออก 288,832 เหตุการณ์ คิดเป็น 94.93% ของข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด ดังนั้นจึงมีข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหลือข้อมูลแผ่นดินไหวหลักทั้งหมด 15,425 เหตุการณ์ (รูป 3.8)

ก่อนสังเคราะห์ หลังสังเคราะห์



รูป 3.8 แผนที่ประเทศฟิลิปปินส์แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหว ก่อนและหลังการสังเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามออกจากแผ่นดินไหวหลัก

บทที่ 4
การประเมินตัวแปรด้านแผ่นดินไหว
(Evaluation of Earthquake Paramters)

4.1.การแบ่งข้อมูลแผ่นดินไหวตามธรณีแปรสัณฐาน

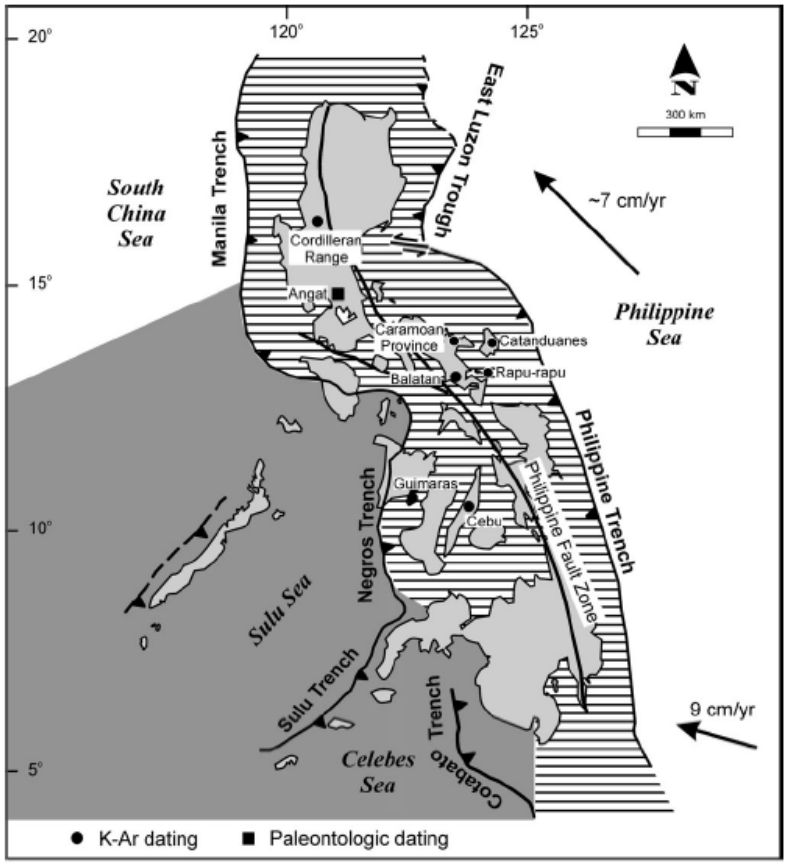
จากงานวิจัยของ Dimalanta และ Yumul (2004) และ Wu และ Yumul (2004) พบว่าความหนาของแผ่นเปลือกโลกบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศฟิลิปปินส์ และแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศฟิลิปปินส์ (รูป 4.1) มีความหนาประมาณ 25 - 30 กิโลเมตร ดังนั้นจึงทำให้มีการแบ่งข้อมูลแผ่นดินไหวออกเป็น 3 บริเวณ ดังนี้

1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) ทางด้านฝั่งตะวันตกของเกาะฟิลิปปินส์ มีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 2,652 เหตุการณ์ มีขนาดตั้งแต่ Mw 0.1 – 8.0 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 30 - 700 เมตร

2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) ทางด้านฝั่งตะวันออกของเกาะฟิลิปปินส์ มีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 2,367 เหตุการณ์ มีขนาดตั้งแต่ Mw 1.4 - 7.8 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 30 - 700 เมตร

3.บริเวณแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปประเทศฟิลิปปินส์ มีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 10,113 เหตุการณ์ มีขนาดตั้งแต่ Mw 0.1 - 8.4 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 0 - 29 เมตร

ในการแบ่งข้อมูลแผ่นดินไหวในข้างต้น เป็นการแบ่งในเชิงพื้นที่ของธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งเป็นไปตามการเกิดของแผ่นดินไหว จะทำให้การศึกษาค่า a และค่า b และค่าในเชิงสถิติต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด



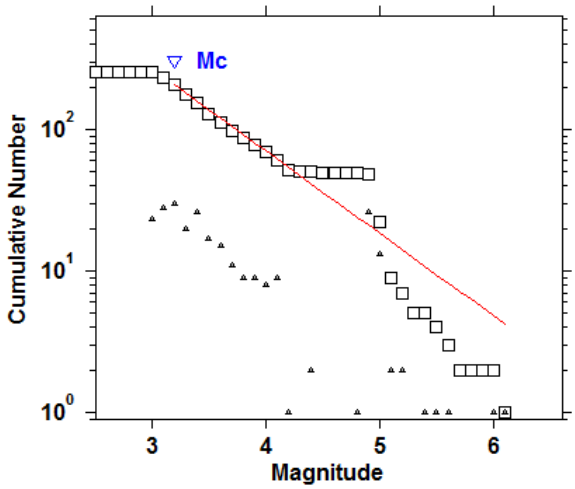
รูป 4.1 แสดงแนวมุดตัวมะนิลาและแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ ประเทศฟิลิปปินส์ (Dimalanta และ Yumul, 2004)

4.2.การวิเคราะห์ค่า a และค่า b

จากการศึกษาพบว่าค่า a และค่า b แต่ละบริเวณในพื้นที่ศึกษามีค่าที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.2.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)

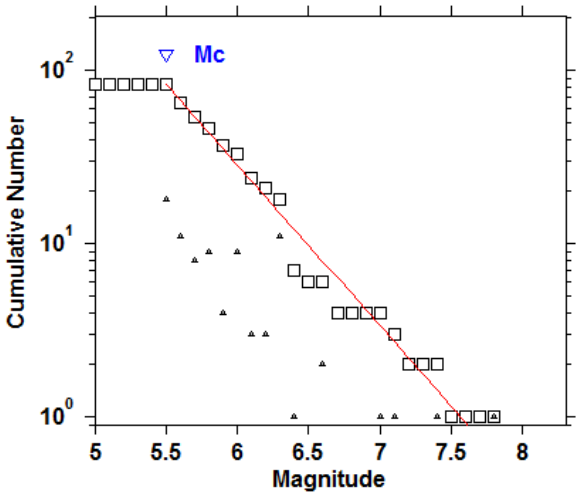
พบว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดแผ่นดินไหว (G-R relationship) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) ได้ค่าดังนี้ ค่า a มีค่าเท่ากับ 3.7 และค่า b มีค่าเท่ากับ 0.584 (รูป 4.2)



รูป 4.2 แสดงสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) โดยมีค่า a มีค่าเท่ากับ 3.7 ค่า b มีค่าเท่ากับ 0.584 และค่า Mc เท่ากับ 3.2

4.2.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

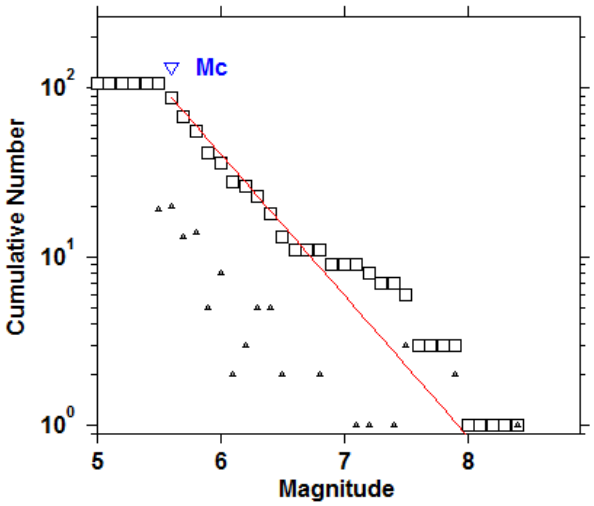
พบว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดแผ่นดินไหว (G-R relationship) บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) ได้ค่าดังนี้ ค่า a มีค่าเท่ากับ 5.93 และค่า b มีค่าเท่ากับ 0.93 (รูป 4.3)



รูป 4.3 แสดงสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) โดยมีค่า a มีค่าเท่ากับ 5.93 ค่า b มีค่าเท่ากับ 0.93 และค่า Mc เท่ากับ 5.5

4.2.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์

พบว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดแผ่นดินไหว (G-R relationship) บริเวณแผ่นเปลือกโลกประเทศฟิลิปปินส์ ได้ค่าดังนี้ ค่า a มีค่าเท่ากับ 5.68 และค่า b มีค่าเท่ากับ 0.836 (รูป 4.4)



รูป 4.4 แสดงสมการความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ โดยมีค่า a มีค่าเท่ากับ 5.68 ค่า b มีค่าเท่ากับ 0.836 และค่า Mc เท่ากับ 5.6

4.3.การวิเคราะห์ค่า α และค่า β

ในการวิเคราะห์ค่า a และค่า b จากความสัมพันธ์ขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ (G-R relationship) ของทั้ง 3 บริเวณในพื้นที่ศึกษา สามารถวิเคราะห์ค่า α และค่า β โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้ ค่า $\alpha = \exp(a\ln(10))$ และค่า $\beta = b\ln(10)$ ซึ่งได้ค่าต่างๆ ดังนี้ (ตาราง 4.1)

ตาราง 4.1 แสดงผลการศึกษาของค่าเชิงสถิติต่างๆ

พื้นที่	a	b	α	β
บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา	3.7	0.584	5,011.872	1.34471
บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์	5.93	0.93	851,138	2.141404
บริเวณพื้นทวีปประเทศฟิลิปปินส์	5.68	0.836	478,630.1	1.924961

ในปัจจุบันการประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดในแต่ละแนวรอยเลื่อน สามารถคำนวณได้จากความยาวของรอยเลื่อน Well และ Coppersmith (1994) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรอยเลื่อนและขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ดังแสดงในสมการ 4.1

$$Mw = 5.08 + 1.16\log(SRL) \qquad \text{(สมการ 4.1)}$$

กำหนดให้

Mw คือ ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มรอยเลื่อนย่อย (หน่วย Mw)

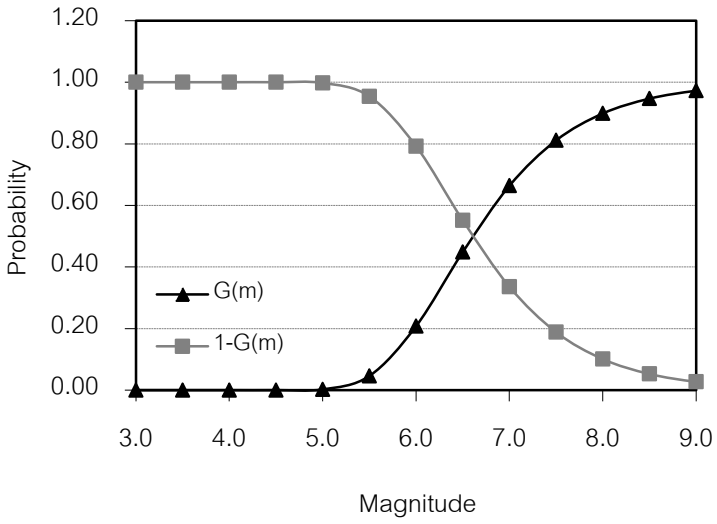
SRL คือ ความยาวของรอยเลื่อน (หน่วย กม.)

ซึ่งจากผลการวัดความยาวรอยเลื่อนบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) และบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) ในพื้นที่ศึกษา (รูป 1.1) พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีความยาวของรอยเลื่อน 2,095 กิโลเมตร ส่วนบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีความยาวของรอยเลื่อน 1,420 กิโลเมตร ซึ่งจากความยาวของรอยเลื่อนทั้งสองแนวมุดตัว สามารถประเมินขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดได้ดังนี้ (สมการ 4.1) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดเท่ากับ 8.9 ริกเตอร์ ส่วนบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดเท่ากับ 8.7 ริกเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงตั้งสมมติฐานว่าขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดในบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดไม่เกิน 9.0 ริกเตอร์ ส่วนบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดไม่เกิน 8.7 ริกเตอร์

4.4.การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี

4.4.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)

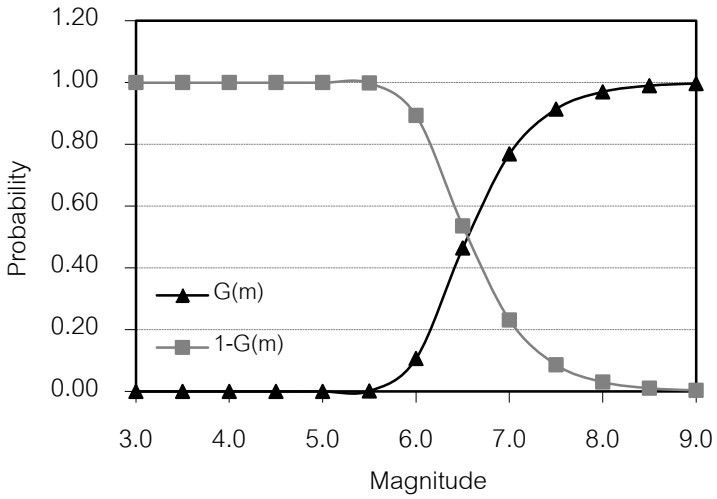
เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) ได้ดังนี้ (รูป 4.5) ตัวอย่างเช่น ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 8.0 ริกเตอร์ ในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี มีค่าประมาณ 10% และมีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดน้อยกว่า 8.0 ริกเตอร์ ในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี มีค่าประมาณ 90% และขนาดแผ่นดินไหวที่มีความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี เท่ากับ 6.6 ริกเตอร์



รูป 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)

4.4.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

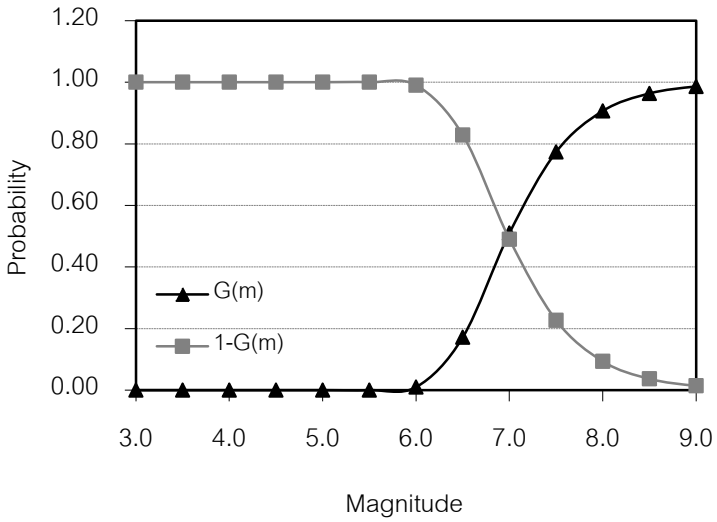
เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) ได้ดังนี้ (รูป 4.6) ตัวอย่างเช่น ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 8.0 ริกเตอร์ ในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี มีค่าประมาณ 5% และมีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดน้อยกว่า 8.0 ริกเตอร์ ในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี มีค่าประมาณ 95% และขนาดแผ่นดินไหวที่มีความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี เท่ากับ 6.5 ริกเตอร์



รูป 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

4.4.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์

เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาด m ใน 1 ปี บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ ได้ดังนี้ (รูป 4.7) ตัวอย่างเช่น ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 8.0 ริกเตอร์ ในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี มีค่าประมาณ 10% และมีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดน้อยกว่า 8.0 ริกเตอร์ ในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี มีค่าประมาณ 90% และขนาดแผ่นดินไหวที่มีความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงสุดในรอบคาบอุบัติซ้ำ 1 ปี เท่ากับ 7.0 ริกเตอร์



รูป 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณประเทศฟิลิปปินส์

4.5.การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ)

4.5.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)

เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) ได้ดังนี้ μ มีค่าเท่ากับ 6.3 ริกเตอร์

4.5.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ)บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) ได้ดังนี้ μ มีค่าเท่ากับ 6.4 ริกเตอร์

4.5.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์

เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ ได้ดังนี้ μ มีค่าเท่ากับ 6.8 ริกเตอร์

4.6.การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t)

เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน 1 ปี (μ) 10 ปี (μ_{10}) และ 50 ปี (μ_{50}) บริเวณพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้ (ตาราง 4.2)

ตาราง 4.2 แสดงผลการศึกษาความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละช่วงปี ที่มีการพิจารณา (หน่วยริกเตอร์)

พื้นที่	μ	μ_{10}	μ_{50}
บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา	6.3	8.0	9.0
บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์	6.4	7.5	8.2
บริเวณพื้นทวีปประเทศฟิลิปปินส์	6.8	8.0	8.7

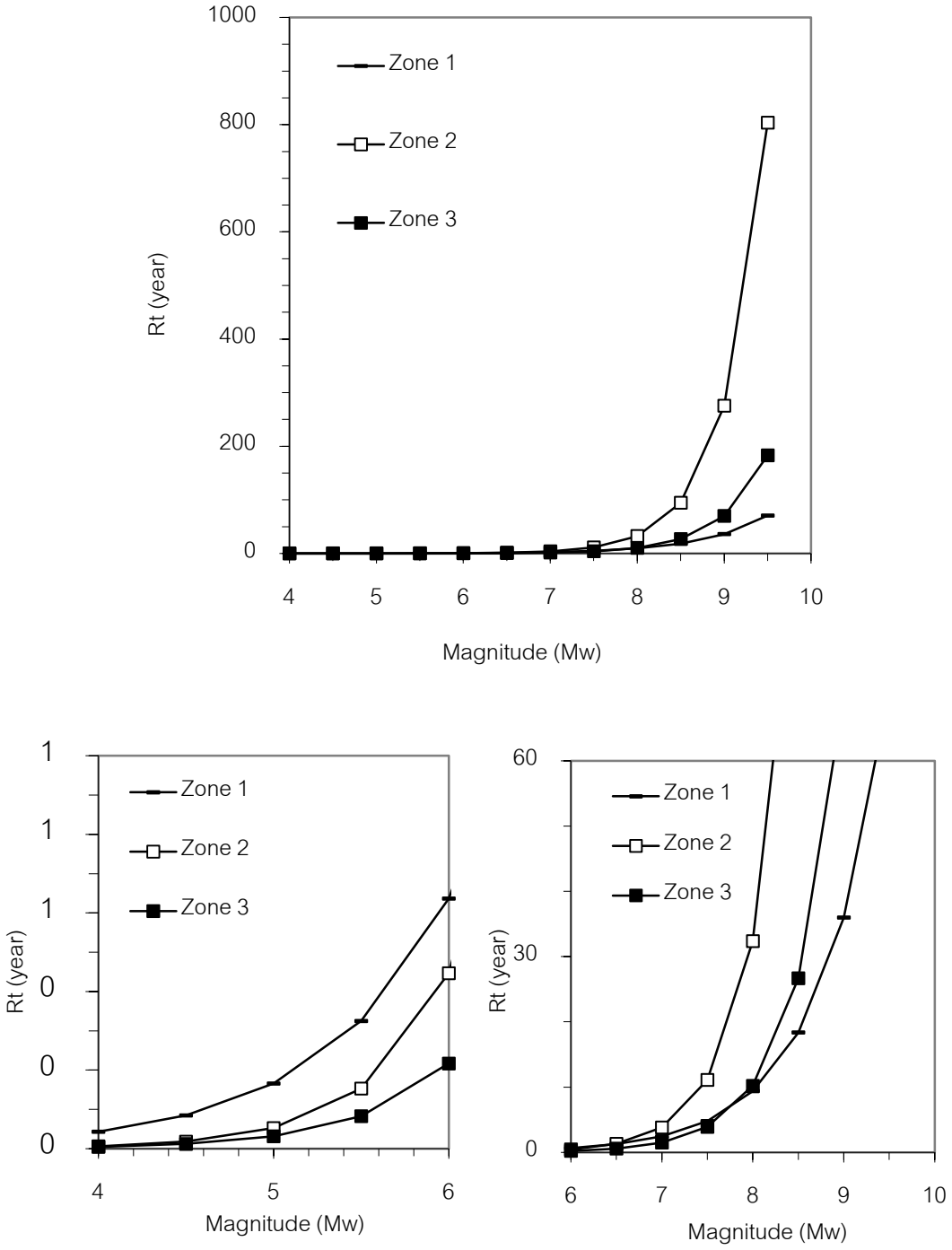
4.7.การวิเคราะห์ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m

จากการวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว 8.0 ริกเตอร์ 8.5 ริกเตอร์ และ 9.0 ริกเตอร์ บริเวณพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้ (ตาราง 4.3)

ตาราง 4.3 แสดงผลการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (หน่วยปี)

พื้นที่	$T_{8.0}$	$T_{8.5}$	$T_{9.0}$
บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา	9.3	18.3	36.0
บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์	32.4	94.4	-
บริเวณพื้นทวีปประเทศฟิลิปปินส์	10.2	26.7	69.8

จากค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m ที่วิเคราะห์ได้จากตาราง 4.3 สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ได้ดังนี้ (รูป 4.8)

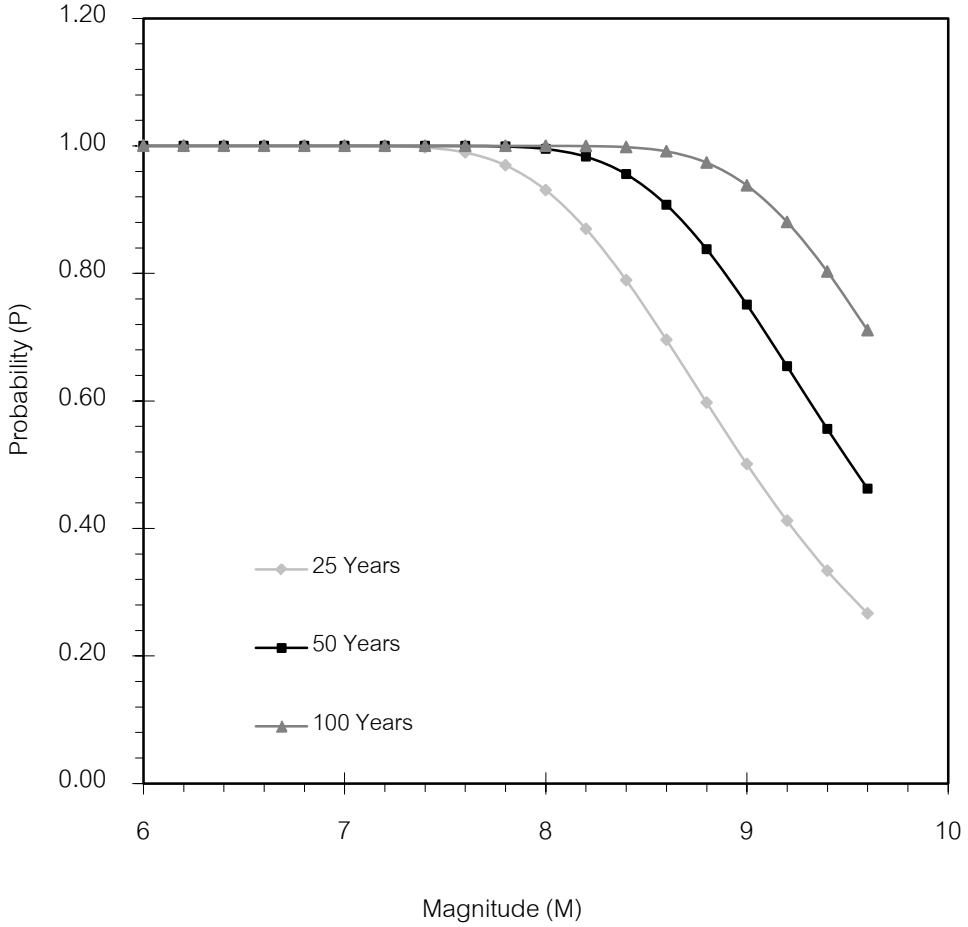


รูป 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ของทั้ง 3 บริเวณ โดย Zone 1 คือ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา Zone 2 คือ บริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ Zone 3 คือ บริเวณพื้นทวีปประเทศฟิลิปปินส์

4.8.การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว

4.8.1.บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)

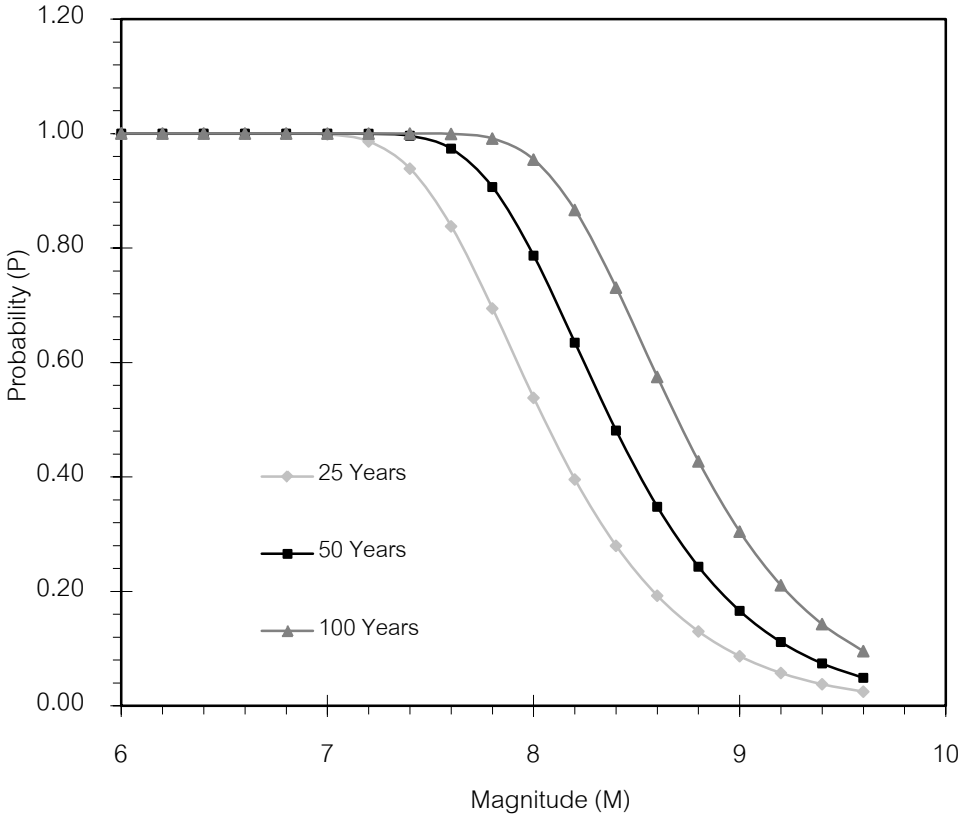
เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหว ใน 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) ได้ดังนี้ (รูป 4.9) ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวขนาด 8.2 ริกเตอร์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 100% ในเวลา 100 ปี และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลงในเวลา 25 ปี 50 ปี ส่วนแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 50% 75% 95% ในเวลา 25 ปี 50 ปี 100 ปี ตามลำดับ



รูป 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ใน 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา)

4.8.2.บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

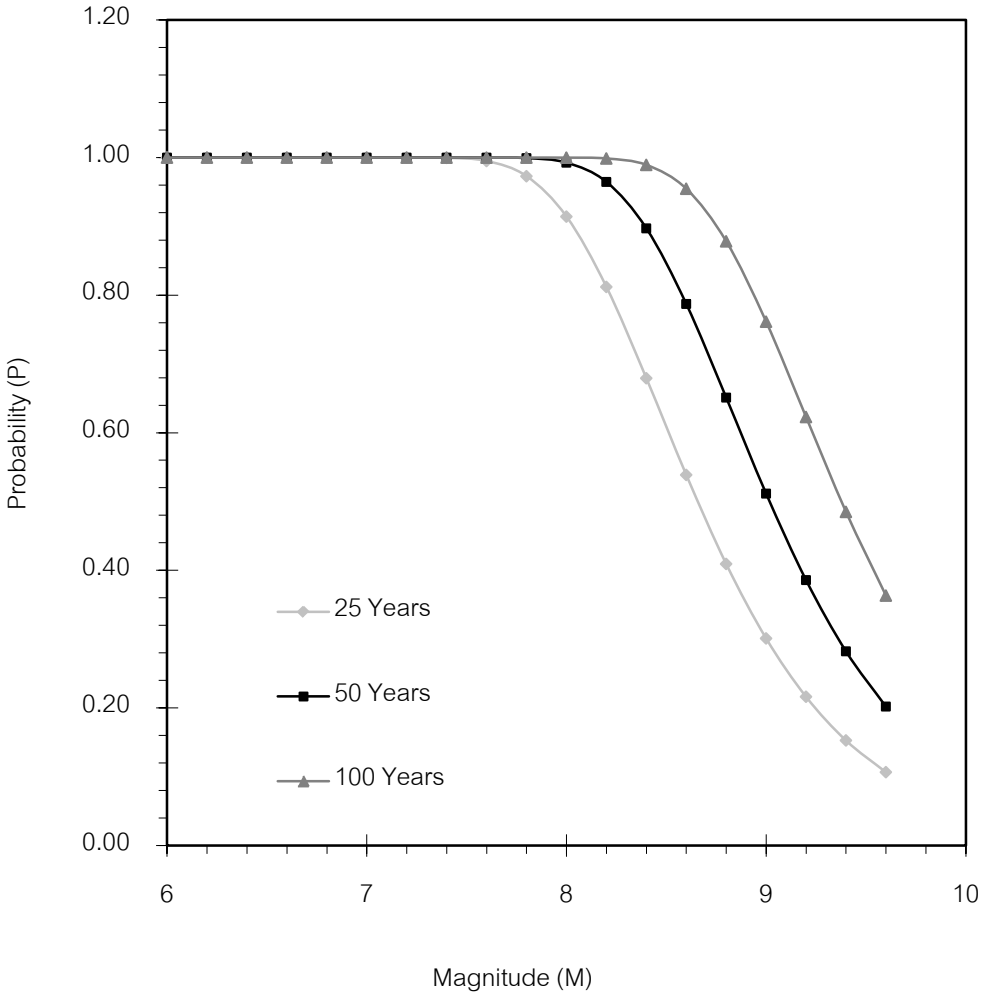
เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหว ใน 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) ได้ดังนี้ (รูป 4.10) ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวขนาด 7.6 ริกเตอร์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 100% ในเวลา 100 ปี และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลง ในเวลา 25 ปี 50 ปี ส่วนแผ่นดินไหวขนาด 8.0 ริกเตอร์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 50% 78% 92% ในเวลา 25 ปี 50 ปี 100 ปี ตามลำดับ



รูป 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ใน 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

4.8.3.บริเวณประเทศฟิลิปปินส์

เมื่อวิเคราะห์ค่า α และค่า β สามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหว ใน 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ ได้ดังนี้ (รูป 4.11) ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวขนาด 8.2 ริกเตอร์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 100% ในเวลา 100 ปี และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลง ในเวลา 25 ปี 50 ปี ส่วนแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 30% 50% 75% ในเวลา 25 ปี 50 ปี 100 ปี ตามลำดับ



รูป 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว ใน 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี บริเวณประเทศฟิลิปปินส์

บทที่ 5
อภิปรายผลและสรุป (Discussion and Conclusion)

5.1.อภิปราย (Discussion)

5.1.1.การเปรียบเทียบระหว่างบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) และแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์)

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า μ เท่ากับ 6.3 ริกเตอร์ และบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่า μ เท่ากับ 6.4 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์นั้น ได้รับแรงเค้นจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทั้งแผ่นแปซิฟิกและแผ่นฟิลิปปินส์ที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (Galgana และคณะ, 2007) จึงทำให้สามารถเกิดแผ่นดินไหวขนาดที่สูงกว่าแนวมุดตัวมะนิลา ที่ได้รับแรงเค้นจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทั้งแผ่นยูเรเชียและแผ่นฟิลิปปินส์ที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากันแต่มีขนาดของแรงน้อยกว่า (Galgana และคณะ, 2007) จึงทำให้สามารถเกิดแผ่นดินไหวขนาดที่ต่ำกว่า

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า μ_{50} เท่ากับ 9.0 ริกเตอร์ และบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่า μ_{50} เท่ากับ 8.2 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 20 - 100 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 50 ปี มีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่า ดังนั้นเมื่อมีการปล่อยความเครียดออกมาจะมีกำลังมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ ทำให้บริเวณแนวมุดตัวมะนิลามีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ ในเวลา 50 ปี

ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 18.3 ปี และบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 94.4 ปี พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัว

ฟิลิปปินส์) มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 29 - 34 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) มีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา จึงทำให้เกิดแรงเค้นน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อมีการสะสมความเครียดน้อยกว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ในระยะเวลาที่เท่ากัน ทำให้มีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 8.5 ริกเตอร์ มีระยะเวลาของการเกิดช้ากว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา

ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 100% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี และบริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 65% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 20-100 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 100 ปี มีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่า และสามารถสะสมความเค้นได้มากกว่า ในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวฟิลิปปินส์ เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี

5.1.2.การเปรียบเทียบระหว่างบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) กับบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน (Pailoplee และคณะ, 2010)

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า μ เท่ากับ 6.3 ริกเตอร์ และบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน มีค่า μ เท่ากับ 6.4 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามันมีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามันนั้น ได้รับแรงเค้นจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณซันด้าบล็อกที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (Chamot-Rooke และ Pichon, 1999) จึงทำให้สามารถเกิดแผ่นดินไหวขนาดที่สูงกว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า μ_{50} เท่ากับ 9.0 ริกเตอร์ และบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน มีค่า μ_{50} เท่ากับ 9.2 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณแนวมุดตัว

บริเวณสุมาตรา-อันดามันมีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามันนั้น ได้รับแรงเค้นจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณซันด้า บล็อกที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (Chamot-Rooke และ Pichon, 1999) จึงทำให้สามารถเกิดแผ่นดินไหวขนาดที่สูงกว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา

ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า $T_{9.0}$ เท่ากับ 36.0 ปี และบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน มีค่า $T_{9.0}$ เท่ากับ 38.0 ปี พบว่าบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณซันด้า บล็อก มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 7-10 มิลลิเมตรต่อปี (Chamot-Rooke และ Pichon, 1999) มีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา จึงทำให้เกิดแรงเค้นน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อมีการสะสมความเครียดน้อยกว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ในระยะเวลาที่เท่ากัน ทำให้มีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ มีระยะเวลาของการเกิดช้ากว่าบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา

ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 95% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี และบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 90% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 20 - 100 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 100 ปี มีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่า และสามารถสะสมความเค้นได้มากกว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงมากกว่าบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 9.0 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี

จากค่าเชิงสถิติต่างๆ ที่นำมาเปรียบเทียบระหว่างบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) กับบริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน (Pailoplee และคณะ, 2010) สามารถสรุปได้ดังนี้ (ตาราง 5.1)

ตาราง 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาของค่าเชิงสถิติต่างๆ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลากับผลการศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) บริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน

พื้นที่	μ	μ_{50}	$T_{9.0}$	$P_{100}(9.0)$
บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา	6.3	9.0	36.0	95%
บริเวณแนวมุดตัวบริเวณสุมาตรา-อันดามัน	6.4	9.2	38.0	90%

5.1.3.การเปรียบเทียบระหว่างบริเวณประเทศฟิลิปปินส์กับบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย (Pailoplee และคณะ, 2010)

ค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) บริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า μ เท่ากับ 6.8 ริกเตอร์ บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย มีค่า μ เท่ากับ 5.0 ริกเตอร์ และบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย มีค่า μ เท่ากับ 5.4 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากบริเวณประเทศฟิลิปปินส์นั้น ได้รับแรงเค้นจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทั้งแผ่นยูเรเชียและแผ่นฟิลิปปินส์ที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (Galgana และคณะ, 2007) จึงทำให้สามารถเกิดแผ่นดินไหวขนาดที่สูงกว่าบริเวณภาคตะวันตกและบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) บริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า μ_{50} เท่ากับ 8.7 ริกเตอร์ บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย มีค่า μ_{50} เท่ากับ 8.0 ริกเตอร์ และบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย มีค่า μ_{50} เท่ากับ 7.6 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 20 -100 มิลลิเมตรต่อปี และแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 29 - 34 มิลลิเมตรต่อปี ที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 50 ปี มีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณซันด้า บล็อก จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่า ดังนั้นเมื่อมีการปล่อยความเครียดออกมาจะมีกำลังมากกว่าบริเวณภาคตะวันตกและบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ทำให้บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงกว่าบริเวณภาคตะวันตกและบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ในเวลา 50 ปี

ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m บริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 26.7 ปี และบริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 93.2 ปี และบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 279.3 ปี พบว่าภาคเหนือของประเทศไทย มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณซันด้า บล็อก มี

อัตราการเคลื่อนตัวขนาด 7 - 10 มิลลิเมตรต่อปี (Chamot-Rooke และ Pichon, 1999) มีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ จึงทำให้เกิดแรงเค้นน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อมีการสะสมความเครียดน้อยกว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ ในระยะเวลาที่เท่ากัน ทำให้มีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 8.5 ริกเตอร์ มีระยะเวลาของการเกิดช้ากว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์

ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 70% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 60% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี และบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 30% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี พบว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่ามากกว่า น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 29 - 34 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 100 ปี มีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณภาคตะวันตกและบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่า และสามารถสะสมความเค้นได้มากกว่า ในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้บริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงมากกว่าบริเวณภาคตะวันตกและบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี

จากค่าเชิงสถิติต่างๆ ที่นำมาเปรียบเทียบระหว่างบริเวณประเทศฟิลิปปินส์กับบริเวณภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย (Pailoplee และคณะ, 2010) สามารถสรุปได้ดังนี้ (ตาราง 5.2)

ตาราง 5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาของค่าเชิงสถิติต่างๆ บริเวณประเทศฟิลิปปินส์กับผลการศึกษาของ Pailoplee และคณะ (2010) บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของไทย

พื้นที่	μ	μ_{100}	$T_{8.5}$	$P_{100}(8.5)$
บริเวณประเทศฟิลิปปินส์	6.8	8.8	26.7	70%
บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย	5.0	8.0	93.2	60%
บริเวณภาคภาคเหนือของประเทศไทย	5.4	7.6	279.3	30%

5.1.4.การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นกับ Ruangrassamee และ Saelem (2009)

ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียที่มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) สามารถสรุปการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นกับ Ruangrassamee และ Saelem (2009) มีค่าดังนี้ (ตาราง 5.3)

ตาราง 5.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาของค่าคาบอุบัติซ้ำ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา เทียบกับผลการศึกษาของ Ruangrassamee และ Saelem (2009)

Magnitude (Mw)	Ruangrassamee และ Saelem (2009)	การศึกษานี้
7.0	6	2
7.5	19	5
8.0	63	9
8.5	205	18
9.0	667	36

การที่ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวมีค่าต่างกัน อาจเกิดเนื่องจากในการศึกษาของ Ruangrassamee และ Saelem (2009) มีการใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล Advanced National Seismic System (ANSS) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963 – 2006 ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูล Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ฐานข้อมูล Centroid-Moment Tensor (CMT) ฐานข้อมูล National Earthquake Information Center (NEIC) ฐานข้อมูล Northern California Earthquake Data Center (NCEDC) มีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 304,257 เหตุการณ์ มีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 19 เดือน กันยายน ค.ศ. 1960 ถึงวันที่ 4 เดือน มกราคม ค.ศ. 2012 มีขนาดตั้งแต่ mb 0.2 - 7.9 ริกเตอร์ Mw 3.6 - 8.0 ริกเตอร์ MS 0.1 - 8.8 ริกเตอร์ มีความลึกตั้งแต่ 0 - 828.8 เมตร มีการบันทึกข้อมูลโดยใช้มาตร mb Mw และ MS ตามลำดับ ซึ่งในการที่ใช้ข้อมูลที่แตกต่างกัน และจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต่างกัน ทำให้ผลของค่าคาบอุบัติซ้ำที่แตกต่างกัน

จากค่าคาบอุบัติซ้ำในเบื้องต้นสามารถวิเคราะห์โอกาสของการเกิดสึนามิบริเวณแนวมุดตัวมะนิลา ซึ่งส่งผลกระทบกับบริเวณอ่าวไทยนั้น พบว่าถ้าเกิดแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ โดยมีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา จะเกิดสึนามิขึ้นและมีโอกาสเดินทางถึงบริเวณอ่าวไทยอ่าวไทยได้ดังนี้ มีโอกาสการเกิดสึนามิบริเวณอ่าวไทยทุกๆ 36 ปี เนื่องจากการเกิดสึนามิบริเวณอ่าวไทยนั้น สามารถเกิดได้เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหวเท่ากับหรือมากกว่า 9 ริกเตอร์ บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา (Ruangrassamee และ Saelem, 2009) แต่ถือว่าโอกาสที่จะเกิดสึนามินั้นน้อยมาก เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรอยเลื่อนและขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ (Well และ Coppersmith, 1994) พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดเพียง 8.9 ริกเตอร์ เท่านั้น

5.2.**สรุป** (Conclusion)

5.2.1.**ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี** (μ)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวหรือความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาดสูงสุดต่อปี (μ) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า μ เท่ากับ 6.3 ริกเตอร์ บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่า μ เท่ากับ 6.4 ริกเตอร์ และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า μ เท่ากับ 6.8 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่ามากที่สุด น่าจะเกิดจากบริเวณประเทศฟิลิปปินส์นั้น ได้รับแรงเค้นจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทั้งแผ่นยูเรเซียและแผ่นฟิลิปปินส์ที่มีการเคลื่อนที่เข้าหากัน (Galgana และคณะ, 2007) จึงทำให้สามารถเกิดแผ่นดินไหวขนาดที่สูงกว่าบริเวณอื่น

5.2.2.**ความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี** (μ_t)

เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ใน t ปี (μ_t) บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า μ_{50} เท่ากับ 9.0 ริกเตอร์ บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่า μ_{50} เท่ากับ 8.2 ริกเตอร์ และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า μ_{50} เท่ากับ 8.8 ริกเตอร์ พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่ามากที่สุด น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 20 - 100 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 50 ปี จะมีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ ดังนั้นเมื่อมีการปล่อยความเครียดออกมาจะมีกำลังมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวขนาดสูงสุด ในเวลา 50 ปี

5.2.3.**ค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว** (T_m) **ขนาดแผ่นดินไหว** m

เมื่อเปรียบเทียบค่าคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหว (T_m) ขนาดแผ่นดินไหว m บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 18.3 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 94.4 ปี และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์มีค่า $T_{8.5}$ เท่ากับ 26.7 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่ามากที่สุด น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 29 - 34 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) จะมีการเคลื่อนตัวน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้เกิด

แรงเค้นน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ ดังนั้นเมื่อมีการสะสมความเครียดน้อยกว่าบริเวณอื่นในระยะเวลาที่เท่ากัน ทำให้มีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 8.5 ริกเตอร์ มีระยะเวลาของการเกิดช้ามากกว่าบริเวณอื่น

5.2.4.ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว

เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 100% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี บริเวณแผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์มุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (แนวมุดตัวฟิลิปปินส์) มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 65% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี และบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหว 98% เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกยูเรเซียมุดตัวใต้แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (แนวมุดตัวมะนิลา) มีค่ามากที่สุด น่าจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย มีอัตราการเคลื่อนตัวขนาด 20 - 100 มิลลิเมตรต่อปี (Galgana และคณะ, 2007) ซึ่งในระยะเวลา 100 ปี จะมีการเคลื่อนตัวมากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้เกิดแรงเค้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ และสามารถสะสมความเค้นได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ ในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้บริเวณแนวมุดตัวมะนิลา มีค่าความน่าจะเป็นของแผ่นดินไหวสูงสุด เมื่อมีขนาดแผ่นดินไหว 8.5 ริกเตอร์ ในเวลา 100 ปี

รายการอ้างอิง (References)

Pailoplee S., Choowong M., Charusiri P., 2010. Probabilities of Earthquake Occurrences in Mainland South East Asia, Elsevier Editorial System(tm) for Journal of Asian Earth Sciences,Submited

Ruangrassamee A., Saelem N, 2009. Effect of Tsunamis generated in the Manila Trench on the Gulf of Thailand. Journal of Asian Earth Sciences 36 (2009): 56-66.

Galgana G., Hamburger M., McCaffrey R., Corpuz E., Chen Q., 2007. Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms Tectonophysics 432(2007), pp 63–87.

Martin S., 2005.Intensity distribution from the 2004 M 9.0 Sumatra-Andaman earthquake. Seismological Research Letters 76, pp 321–330.

Dimalanta C.,Yumul G., 2004. Crustal thickening in an active margin setting (Philippines): The whys and the hows, National Institute of Geological Sciences, 260-264

Wu H., Tsai Y., Lee T., Lo C., Hsieh C., 2004. 3-D shear wave velocity structure of the crust and upper mantlein South China Sea and its surrounding regions by surface wave dispersion analysis, Marine Geophysical Researches (2004) 25: 5–27.

Chamot-Rooke N., Pichona X., 1999. GPS determined eastward Sundaland motion with respect to Eurasia confirmed by earthquakes slip vectors at Sunda and Philippine trenches, Earth and Planetary Science Letters 173 (1999), pp 439–455.

Gardner J.K., 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.

Gutenberg, B., Richter, C.F., 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena.Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Ishimoto, M., Iida, K., 1939. Observations sur les seismes enregistres parle microsismographe construit dernierement. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo 17, 443-478. (in Japanese with French abstract)