



# โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก  
หมู่เกาะฟิลิปปินส์

โดย

นายณัฐวัฒน์ วัตวิเศษ  
เลขประจำตัวนิสิต 5732724023

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและฉบับเต็มของนิสิตปริญญาตรีจะขึ้นชื่อของภาควิชาธรณีวิทยา และจะได้รับการจัดเก็บในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด  
The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก  
หมู่เกาะฟิลิปปินส์

นายณัฐวัฒน์ วัตวิเศษ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2560

FOCAL MECHANISM ALONG THE SUBDUCTION ZONE,  
PHILIPPINES ISLANDS

MR. NATTHAWAT WATWISASE

A project 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 2017

หัวข้อโครงการ

กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก

หมู่เกาะฟิลิปปินส์

โดย

นายณัฐวัฒน์ วัตวิเศษ

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการรศ.ดร. สันติ ภัยหลบลี้

---

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

---

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

## 5732724023 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : กลไกการเกิดแผ่นดินไหว / เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ / แผนภาพลูกบอลขยายหด / ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว / มุมคาย / รอยเลื่อนย้อน

ณัฐวัฒน์ วัตวิเศษ : กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (FOCAL MECHANISM ALONG THE SUBDUCTION ZONE, PHILIPPINES ISLANDS) อ.ที่ปรึกษางานวิจัย : รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 73 หน้า.

หมู่เกาะฟิลิปปินส์ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่เขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกระหว่างแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ ทำให้ธรณีแปรสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์รวมไปถึงพื้นที่ข้างเคียงมีความซับซ้อน และถือเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีพฤติกรรมการเกิดที่รุนแรงและส่งผลด้านพิบัติภัยแก่ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากหน่วยงาน Global Centroid Moment Tensor ซึ่งบันทึกได้ในอดีตจำนวน 3,144 เหตุการณ์ตั้งแต่วันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2519 ถึงวันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2560 มีระดับความลึกของจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในช่วง 5-644 กิโลเมตร ในการศึกษาวิจัยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ตามสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว ได้แก่ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในชั้นเนื้อโลก ซึ่งในแต่ละสภาพแวดล้อม ผู้วิจัยศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของกลไกการเกิดแผ่นดินไหว 3 ตัวแปรคือ 1) ค่าการวางตัว 2) ค่ามุมเท 3) มุมคาย ผลการศึกษาสรุปว่าในกรณีแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก พื้นที่ด้านตะวันตกและตะวันออกมีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนย้อน ส่วนพื้นที่ตอนกลางเป็นการเลื่อนตัวในแนวระดับชนิดซ้ายเข้า รอยเลื่อนและกลุ่มรอยเลื่อนส่วนใหญ่มีค่าการวางตัว 170 ถึง 190 องศา ในแนวเหนือ - ใต้ และมุมเท 45 องศา ซึ่งกลไกการเกิดแผ่นดินไหวสามารถประเมินความเสี่ยงของการเกิดพิบัติภัยสึนามิได้ โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณร่องลึกก้นสมุทรฟิลิปปินส์ ส่วนในกรณีแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก รอยเลื่อนส่วนใหญ่ในพื้นที่ที่มีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนย้อน มีค่าการวางตัว 170 ถึง 180 องศา ในแนวเหนือ - ใต้ มุมเท 40 ถึง 45 องศา โดยผลที่ได้เป็นประโยชน์ในการศึกษาแบบจำลองการเลื่อนตัวของเขตมุดตัว

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

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

ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ 2560 \_\_\_\_\_

## 5732724023: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: FOCAL MECHANISM/ THE SUBDUCTION ZONE, PHILIPPINES ISLANDS/  
BEACH BALL DIAGRAM/ EARTHQUAKE CATALOGUE/ RAKE/ REVERSE FAULT

NATTHAWAT WATWISASE: FOCAL MECHANISM ALONG THE SUBDUCTION ZONE,  
PHILIPPINES ISLANDS. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SANTI PAILOPLEE, 73 pp.

The Philippines is located in the vicinity of tectonic subduction zone between the Eurasian and the Philippine sea plates. Therefore, the tectonics of Philippines as well as neighboring areas, are complex. As a result, it is the source of severe earthquakes and cause catastrophic events in Southeast Asia. The purpose of this study is to evaluate the patterns of faulting mechanism along the subduction zone, Philippine Islands by using 3,144 earthquake events recorded systematically during February 15, 1976 to April 30, 2017 from Global Centroid Moment Tensor. The depth of the epicenter of the earthquakes were 5-644 km. In case study, the obtained earthquake data were divided into two sets, according to seismotectonic setting ; 1) Interplate earthquake 2) Intraslab earthquake. In each focal dataset, spatial distribution of fault plane determination were investigated statistically, i.e., 1) strike 2) dip, including 3) rake. The study concluded that in case of interplate earthquake, the west and east of areas show fault plane dimension of thrust faults. Faulting of central area express left lateral strike-slip faults. Most strike directions are 170 to 190 degrees in the north-south. Dip angles illustrates 45 degree. The earthquake mechanism can detect the risk of a tsunami. The high risk areas is Philippines trench. In the event of intraslab earthquake, most area has many thrust faults. Strike rate has been 170 -180 degree in the north-south direction. Dip angles are 40 – 45 degree. The results are useful in studying the sliding model in intraslab plate.

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

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

Academic Year\_\_\_\_\_ 2017 \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ชี้แจงข้อบกพร่อง และวิธีการ แก้ไขปัญหาตลอดในการทำโครงการวิจัย รวมไปถึงเป็นกำลังใจทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของท่านมา ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณพี่สัณชวัฒน์ สุขรังสี ที่มีส่วนสำคัญในการช่วยเหลือในงานวิจัย ขอขอบคุณที่ได้มอบความรู้ ความเข้าใจในหลักการทำงานด้านแผ่นดินไหว และเทคนิคการใช้โปรแกรมต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

กราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับธรณีวิทยา คำแนะนำ ตลอดจนปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม ให้ผู้วิจัยเป็นบุคคลที่มี ประสิทธิภาพ เป็นบุคลากรที่ดีของประเทศชาติ รวมไปถึงขอบพระคุณพี่บุคลากรประจำภาควิชา ธรณีวิทยาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

กราบขอบพระคุณคุณแม่ คุณแม่และครอบครัว ในการสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา

ขอขอบคุณพี่บุคลากรประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนิน เรื่องวิจัย และการติดต่อธุระในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณนางสาวพัชราพร เพ็ชรดี นางสาวเบญจพร แสนสวาท และเพื่อนร่วมอาจารย์ที่ ปรึกษาโครงการวิจัยสำหรับการสนับสนุนและคำแนะนำในการทำงาน และสุดท้ายขอบคุณเพื่อนร่วม รุ่น ธรณีวิทยา 58 ทุกคนที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและคอยช่วยเหลือกันตลอดมา

## สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	ข
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ค
สารบัญ (CONTENT)	ง
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ช
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฉ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ช
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)	5
1.3 พื้นที่ศึกษา (Study area)	5
1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected results)	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	6
2.1 กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism)	6
2.1.1 ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Theory of focal mechanism)	6
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature reviews)	9



2.2 ธรณีแปรสัณฐาน (Seismotectonic setting)	12
2.2.1 เขตมุดตัวของเปลือกโลก (Subduction zone)	12
2.2.2 ธรณีแปรสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Tectonic setting of Philippine islands)	15
2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature reviews)	19
2.3 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	22
2.3.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและพื้นที่ศึกษา	23
2.3.2 การนำเข้าและปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหว	23
2.3.3 การจัดทำชุดข้อมูลแผ่นดินไหว	23
2.3.4 การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวตามกลไกการเกิด	23
2.3.5 การสร้างแผนภาพลูกบอลชายหาด (Beach ball diagram)	24
2.3.6 การอภิปรายและสรุปผลการศึกษา	24
2.3.7 การนำเสนอในรูปแบบรายงานและสัมมนา	24
บทที่ 3 ชุดข้อมูลและสถิติ (DATA SET AND STATISTIC)	25
3.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวและข้อมูล (Earthquake catalogue and data)	25
3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake catalogue)	25
3.1.2 ข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake data)	27
3.2 การจำแนกกลุ่มแผ่นดินไหวและปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (Earthquake data classification and Improvement)	28
3.3 การกำหนดค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault Plane Determination)	35

3.3.1 แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	35
3.3.2 แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)	37
3.4 การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหว (earthquake segmentation)	41
บทที่ 4 กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (FOCAL MECHANISM OF THE SUBDUCTION, PHILIPPINE ISLANDS)	42
4.1 กลไกการเกิดแผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษา (Focal mechanism of study area)	42
4.2 แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	43
4.3 แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)	53
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา (DISCUSSION AND CONCLUSION)	56
5.1 แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	56
5.1.1 แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก	56
5.1.2 อภิปรายผลการศึกษา (Discussion)	59
5.1.3 ความเสี่ยงของการเกิดคลื่นสึนามิของพื้นที่	62
5.2 5.2. แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquakes)	65
5.2.1 แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก	65
5.2.2 อภิปรายผลการศึกษา (Discussion)	66
5.3 5.3. สรุปผลการศึกษา (Conclusion)	70
บรรณานุกรม (REFERENCES)	72

## สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูปที่ 1.1	เหตุการณ์แผ่นดินไหวในพื้นที่หมู่เกาะฟิลิปปินส์ ซึ่งตั้งอยู่บนแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก	2
รูปที่ 1.2	ภาคตัดขวางบริเวณร่องลึกมะนิลา (Manila trench) Ruangrassamee et al. (2009)	3
รูปที่ 1.3	ภาคตัดขวางบริเวณอ่าวไทย (Gulf of Thailand) Ruangrassamee et al. (2009)	4
รูปที่ 2.1	แสดงสัญลักษณ์ลูกบอลชายหาดกับสัมพันธ์กับชนิดของรอยเลื่อน (Rowan, 2009)	6
รูปที่ 2.2	แบบจำลองของก้าวแรก (first motion) ของคลื่นปฐมภูมิทั้งสองชนิด (Cronin, 2004)	7
รูปที่ 2.3	แผนภาพโครงร่างตาข่ายในการสร้างแผนภาพลูกบอล (Cronin, 2004)	7
รูปที่ 2.4	เหตุการณ์แผ่นดินไหวและตำแหน่งของรอยเลื่อนในประเทศอียิปต์ (Abdelazim et al. 2016)	9
รูปที่ 2.5	กลไกแผ่นการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศอียิปต์ (Abdelazim et al. 2016)	10
รูปที่ 2.6	ผลการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเกิดแผ่นดินไหวในเขตซางอิน ประเทศญี่ปุ่น (Yoshihisa et al. 2017)	11
รูปที่ 2.7	ตำแหน่งของแผ่นดินไหวกับชนิดของแรงที่ตอบสนองต่อสถานีตรวจวัด (Yoshihisa et al. 2017)	11
รูปที่ 2.8	แผนที่โลกแสดงขอบเขตและการกระจายตัวของแผ่นเปลือกโลก (Pailoplee et.al., 2017)	12

รูปที่ 2.9	แผนที่ภูมิภาคอาเซียนแสดงกลุ่มของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อาจส่งผลกระทบต่อ ภัยพิบัติแผ่นดินไหวและสึนามิต่อภูมิภาคอาเซียน (Pailoplee et al., 2016)	14
รูปที่ 2.10	โครงสร้างธรณีแปรสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Perez และ Tsutsumi, 2017)	15
รูปที่ 2.11	แผนที่ภูมิภาคอาเซียนแสดงการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก (เส้นสีเทา) ที่ อาจเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและสึนามิในอนาคต สามเหลี่ยมสีแดง คือ ภูเขาไฟ มีพลัง วงกลมสีเขียว คือ เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิและสามเหลี่ยมสีน้ำ เงิน คือ พื้นที่ซึ่งเคยได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติสึนามิ (Charusiri และ Pailoplee, 2015)	17
รูปที่ 2.12	ภาพตัดขวางบริเวณทางตอนเหนือของหมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงการมุดตัวของแผ่น เปลือกโลกยูเรเชียที่มุดลงไปได้แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Zheng et al. 2013)	18
รูปที่ 2.13	แผนที่เขตมุดตัวของเปลือกโลกและรอยเลื่อนรอบหมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงการกระจาย ตัวเชิงพื้นที่ของค่า $b$ วิเคราะห์จากข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงปี (ก) ค.ศ. 1980-1995 (ข) ค.ศ. 1980-2000 (ค) ค.ศ.1980-2005 (ง) ค.ศ. 1980-2010	19
รูปที่ 2.14	โครงสร้างของพื้นที่เกาะมินดาเนา (Perez et al. 2017)	20
รูปที่ 2.15	การแบ่งพื้นที่ย่อยของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (segment) จากการมุดตัวของทะเลจีนใต้ (Fen et al., 2017)	21
รูปที่ 2.16	แผนผังกระบวนการทำงานวิจัย	22
รูปที่ 3.1	หน้าเว็บไซต์การค้นหาข้อมูลแผ่นดินไหว	26
รูปที่ 3.2	การเลือกรูปแบบการแสดงผลข้อมูลนำเข้า	27

รูปที่ 3.3	ค่าการวางตัว (strike) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	29
รูปที่ 3.4	แบบจำลองแสดงภาคตัดขวางบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Charusiri and Pailoplee, 2015)	29
รูปที่ 3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวกับระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว	31
รูปที่ 3.6	ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงในรูปแบบของแผนภาพลูกบอลชายหาด	32
รูปที่ 3.7	ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	33
รูปที่ 3.8	ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในช่วงชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)	34
รูปที่ 3.9	ค่าการวางตัว (strike) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	35
รูปที่ 3.10	มุมเท (dip) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	36
รูปที่ 3.11	มุมคาย (rake) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	37

รูปที่ 3.12	ค่าการวางตัว (strike) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	38
รูปที่ 3.13	มุมเท (dip) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	39
รูปที่ 3.14	มุมคาย (rake) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์	40
รูปที่ 3.15	พื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก	41
รูปที่ 3.16	พื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก	41
รูปที่ 4.1	แผนภูมิสามแกนแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์ของพื้นที่ศึกษา	42
รูปที่ 4.2	จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดในแกนต่าง ๆ	43
รูปที่ 4.3	ผลการศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก	43
รูปที่ 4.4	ผลการศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก	53
รูปที่ 5.1	แบบจำลองแสดงแนวการวางตัว มุมเท และมุมคาย (Cronin, 2004)	57
รูปที่ 5.2	แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก	58
รูปที่ 5.3	เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Galgana et al., 2007)	59

รูปที่ 5.4	พื้นที่แนวธรณีฐานที่เกิดตามแนวเขตมุดตัวของเปลือกโลกหมู่เกาะฟิลิปปินส์ โดยการศึกษาจากโทรมัสส์และสนามแม่เหล็ก (Fen et al., 2017)	60
รูปที่ 5.5	หน่วยพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก	61
รูปที่ 5.6	แบบจำลองรูปทรงเรขาคณิตบริเวณรอยเลื่อนปกติ (Maher, 2017)	63
รูปที่ 5.7	แผนที่ความเสี่ยงของการเกิดพิบัติภัยสึนามิในพื้นที่เขตมุดตัว	65
รูปที่ 5.8	แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในพื้นที่โลก	66
รูปที่ 5.9	พื้นที่เขตร่องลึกกันสมุทรฟิลิปปินส์ ส่วนที่นำไปสร้างภาคตัดขวางและแบบจำลอง	67
รูปที่ 5.10	ค่าการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษา ลงจุดที่ 122 – 126 องศา	68
รูปที่ 5.11	ภาคตัดขวาง (cross section) ของเขตร่องลึกกันสมุทรฟิลิปปินส์	68
รูปที่ 5.12	แบบจำลองการแปรสัณฐานบริเวณร่องลึกกันสมุทรฟิลิปปินส์ ละติจูดที่ 10 – 12 องศาและลองจิจูดที่ 122 – 125 องศา	69
รูปที่ 5.13	แบบจำลองการเลื่อนตัวของแผ่นแปซิฟิกและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ Holt et al. (2017)	69
รูปที่ 5.14	แผนที่แสดงความเสี่ยงพิบัติภัยแผ่นดินไหวและสึนามิ หมู่เกาะฟิลิปปินส์	71

## สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิดของรอยเลื่อนกับรูปแบบกลไกการเกิดแผ่นดินไหว	8
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างข้อมูลตารางที่ได้จากรูปแบบการนำเข้าแบบ GMT psvelomeca input	27
ตารางที่ 3.2	ตัวอย่างข้อมูลตารางที่ได้จากรูปแบบการนำเข้าแบบ GMT psmecca input	28
ตารางที่ 4.1	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 1-2 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	44
ตารางที่ 4.2	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 3-4 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	45
ตารางที่ 4.3	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 5-6 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	46
ตารางที่ 4.4	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 7-8 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	47
ตารางที่ 4.5	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 9-10 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	48
ตารางที่ 4.6	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 11-12 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	49
ตารางที่ 4.7	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 13-14 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	50
ตารางที่ 4.8	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 15-16 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	51



ตารางที่ 4.9	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 17-18 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก	52
ตารางที่ 4.10	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 1-2 ของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไป ชั้นเนื้อโลก	54
ตารางที่ 4.11	แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 1-2 ของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไป ชั้นเนื้อโลก	55
ตารางที่ 5.1	ชนิดของรอยเลื่อนกับคำมูเมเท (Cronin, 2004)	56
ตารางที่ 5.2	ตัวแปรที่นำมาใช้ในการหาความเสี่ยงของพิบัติภัยสึนามิในพื้นที่	64

**สารบัญสมการ**  
**(EQUATION CONTENT)**

	หน้า
สมการ (1) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวกับการเคลื่อนตัวในแนวราบ (Well and Coppersmith, 1994)	62
สมการ (2) สมการการหาค่ามูเมเท ( $u_d$ )	62
สมการ (3) สมการการหาระยะการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ( $V_s$ )	62
สมการ (4) สมการการหาระยะการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งจากมูเมเท	63

# บทที่ 1

## บทนำ

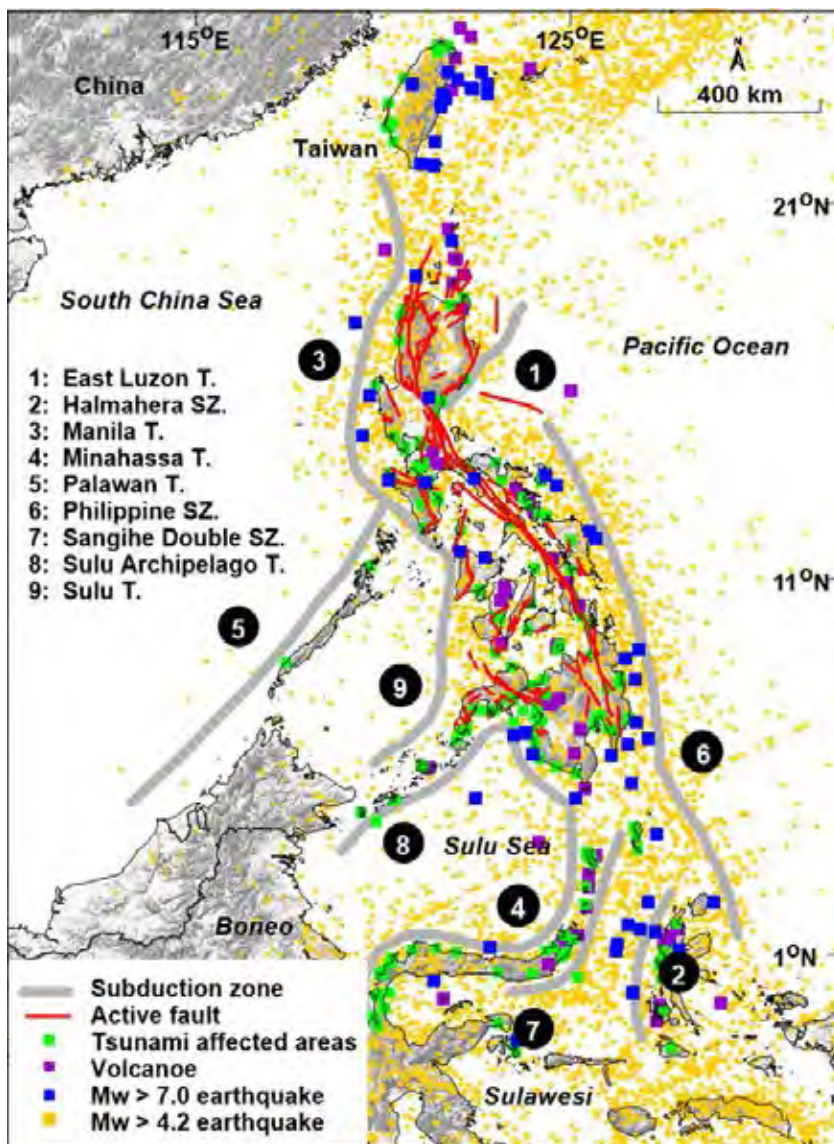
### (INTRODUCTION)

#### 1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่แผ่นดินเกิดการสั่นสะเทือนอย่างฉับพลันและรวดเร็ว ถือเป็นภัยพิบัติภัยที่สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างมากมาย นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาและรวบรวมข้อมูล เพื่อสรุปเป็นทฤษฎีและอธิบายสาเหตุการเกิดของแผ่นดินไหว ในปัจจุบันทฤษฎีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (plate tectonics theory) ได้รับการยอมรับมากที่สุด มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดแผ่นดินไหวทั่วโลก ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยเกี่ยวกับรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ผ่านการสำรวจระยะไกล (remote sensing) การศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา ทั้งนี้การศึกษาถึงกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) จึงมีความสำคัญต่อการศึกษาแผ่นดินไหววิทยาในอนาคต (Cronin, 2004)

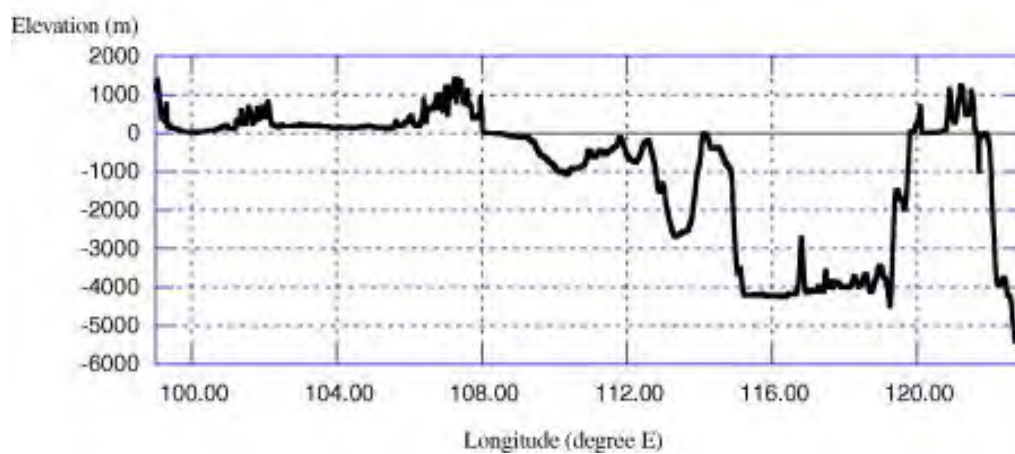
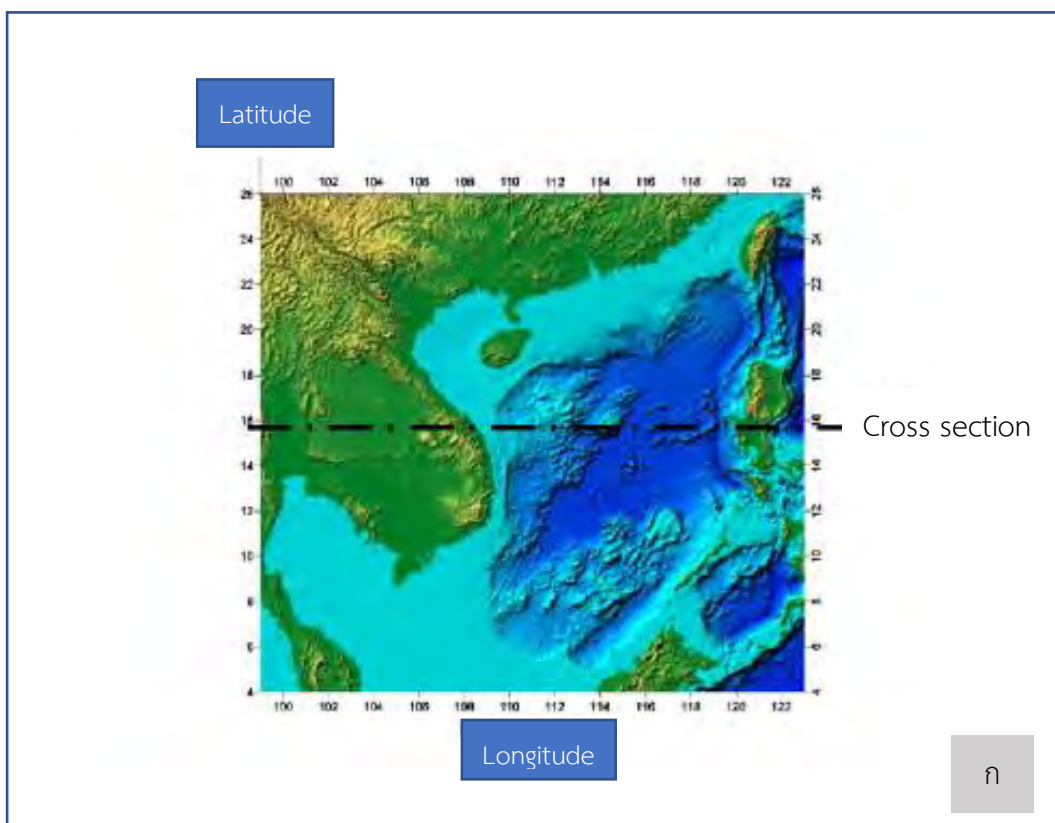
หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Philippine Islands) ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่แนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกระหว่างแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasia plate) และแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Philippine sea plate) ทำให้ธรณีแปรสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์และพื้นที่ข้างเคียงมีความซับซ้อน โดยจากการสำรวจและประมวลผลข้อมูลระบบระบุตำแหน่งพื้นโลกหรือจีพีเอส (Global Positioning System, GPS) พบว่ามีอัตราการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกดังกล่าวประมาณ 5-40 มิลลิเมตร/ปี (Galgana et al., 2007) ทางตอนเหนือของเขตมุดตัว แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดลงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ด้วยมุมการมุดที่สูงชัน ในขณะที่ในทางตอนใต้ แผ่นทะเลฟิลิปปินส์มุดตัวไปทางทิศตะวันตกใต้แผ่นยูเรเชียด้วยมุมการมุดที่ต่ำ ส่งผลให้บริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูงและรุนแรง ดังเช่น วันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2519 ขนาด 8.0 เหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งนี้ก่อให้เกิดสึนามิ ความสูง 4-5 เมตร พบผู้เสียชีวิต 8,000 คน ได้รับบาดเจ็บ 10,000 คน และไร้ที่อยู่อาศัยมากกว่า 90,000 คน นอกจากนี้ Ruangrassamee et al. (2009) ได้ตั้งสมมติฐานถึงผลกระทบของแผ่นดินไหวขนาด 8.0 - 9.0 ในบริเวณร่องลึกก้นสมุทรมะนิลาและประเมินสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุดของการเกิดสึนามิในทะเลจีนใต้และอ่าวไทย ผลกระทบด้านสึนามิจะรุนแรงที่สุดในบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ เวียดนามและชายฝั่งทางตอนใต้ของประเทศจีน ในขณะที่อ่าวไทย คลื่นสึนามิจะใช้เวลาใน

การเดินทางประมาณ 13-19 ชั่วโมง และความสูงของคลื่นสูงสุดประมาณ 65 เซนติเมตร บริเวณชายฝั่งของจังหวัดนราธิวาส (Ruangrassamee and Saelem, 2009) นอกจากนี้ยังมีการสร้างภาคตัดขวาง (cross section) เปรียบเทียบบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์กับอ่าวไทย (ดังรูปที่ 1.2 และ 1.3) พบว่าบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์มีความลึกมากกว่าบริเวณอ่าวไทยและเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้มีการลดทอนพลังงานของคลื่นสึนามิเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาปะทะกับอ่าวไทย แต่อย่างไรก็ตาม แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์จึงถือเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีพฤติกรรมที่เกิดที่รุนแรงและส่งผลด้านพิบัติภัยแก่ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทะเลจีนใต้



รูปที่ 1.1 เหตุการณ์แผ่นดินไหวในพื้นที่หมู่เกาะฟิลิปปินส์ ซึ่งตั้งอยู่บนแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก

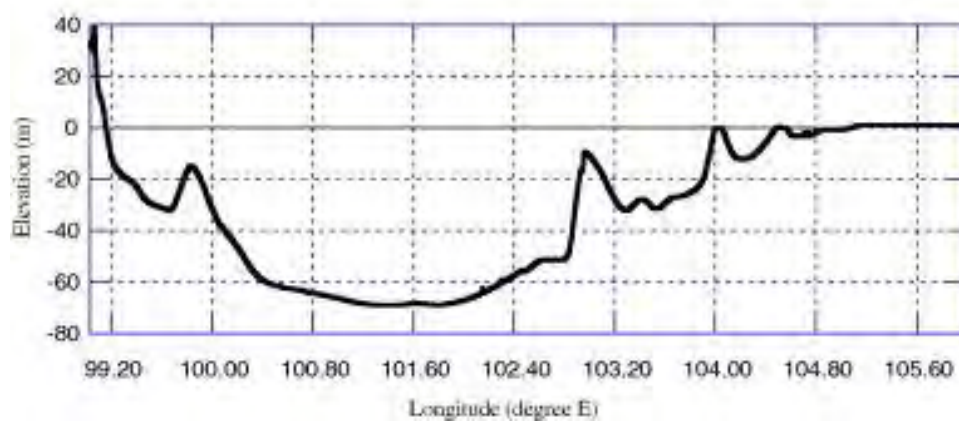
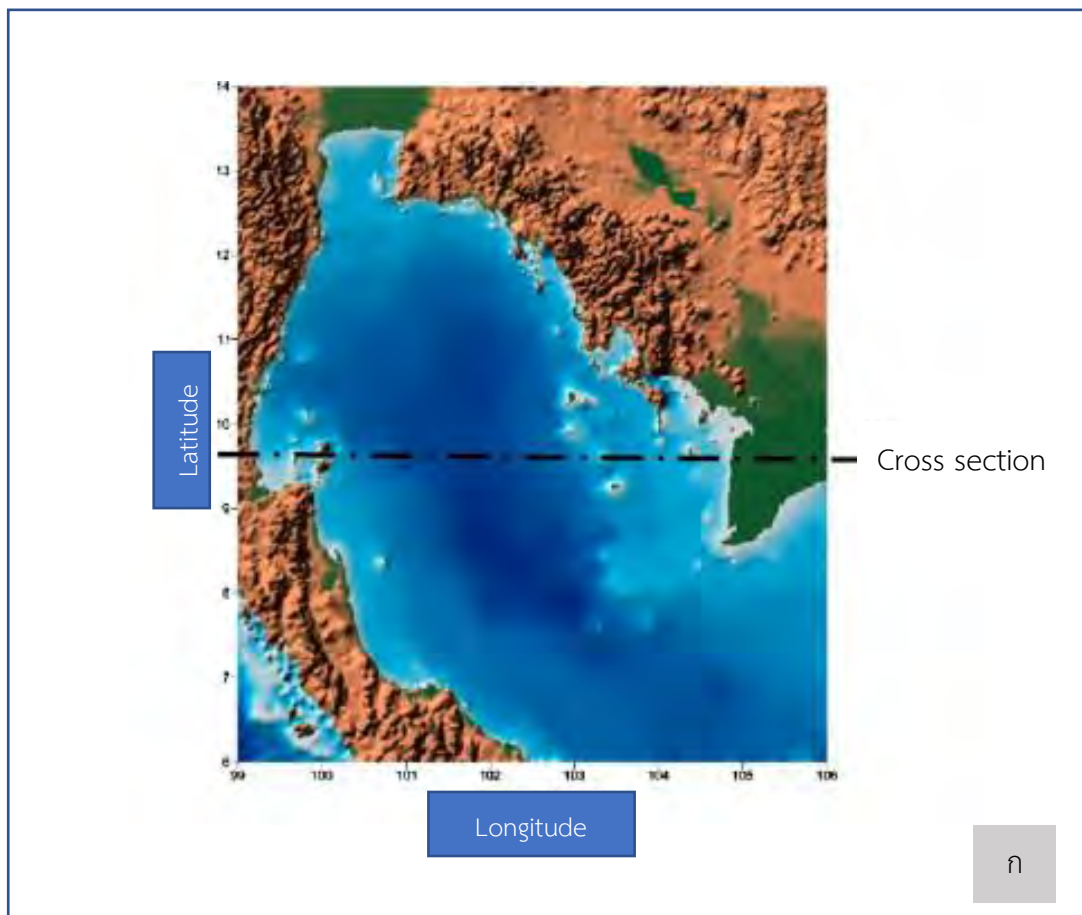
ยูเรเชียและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Charusiri and Pailoplee, 2015)



ข

หมายเหตุ : (ก) แผนที่ภูมิประเทศแสดงภาคตัดขวาง (ข) ภาคตัดขวางของพื้นที่

รูปที่ 1.2 ภาคตัดขวางบริเวณร่องลึกมะนิลา (Manila trench) Ruangrassamee et al. (2009)



ข

หมายเหตุ : (ก) แผนที่ภูมิประเทศแสดงภาคตัดขวาง (ข) ภาคตัดขวางของพื้นที่

รูปที่ 1.3 ภาคตัดขวางบริเวณอ่าวไทย (Gulf of Thailand) Ruangrassamee et al. (2009)

ดังนั้นหมู่เกาะฟิลิปปินส์จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการศึกษาและประเมินหาโอกาสเสี่ยงรูปแบบการเกิด และระยะการเลื่อนตัวในอนาคต โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลสถิติแผ่นดินไหว วิเคราะห์แผนภาพลูกบอล (beach ball diagram) นำเสนอกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) และรูปแบบการเลื่อนตัวของพื้นที่

## 1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อทำการประเมินรูปแบบของการเกิดแผ่นดินไหว โดยวิธีการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) ในพื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

## 1.3. พื้นที่ศึกษา (Study area)

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่บริเวณตอนใต้ของหมู่เกาะไต้หวัน หมู่เกาะฟิลิปปินส์และบางส่วนของประเทศบรูไนดารุสซาลาม ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ระหว่างละติจูด -7.15 องศาใต้ ถึง 29.11 องศาเหนือ และลองจิจูด 106.99 องศาตะวันออก ถึง 135.22 องศาตะวันออก

## 1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)

วิเคราะห์ขั้นตอนกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records) จาก [www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org)

## 1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected results)

แผนที่แสดงตำแหน่งของพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติภัยแผ่นดินไหวและสึนามิตามกลไกการเกิดและแบบจำลองการชนกันของแผ่นเปลือกโลกบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

## บทที่ 2

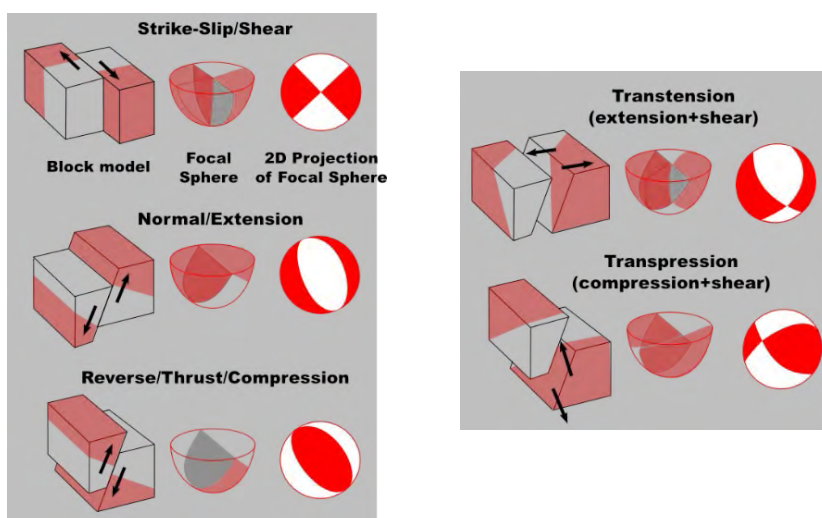
### ทฤษฎีและระเบียบวิธีการวิจัย

#### (THEORY AND METHODOLOGY)

#### 2.1. กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism)

##### 2.1.1. ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Theory of focal mechanism)

กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) คือการใช้สัญลักษณ์คล้ายลูกบอลชายหาด (beach ball) มาอธิบายทิศทางและมุม ในการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนแผ่นดินไหว การวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวทำได้โดยใช้หลักการของ moment tensor ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะของแรงคู่ควบ อันเกิดจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบจุดและนำมาสังเคราะห์สร้างคลื่นแผ่นดินไหวขึ้นมาใหม่ตามทฤษฎีจากค่าพารามิเตอร์ของรอยเลื่อนสมมติ และรูปแบบคลื่นชนิดต่าง ๆ ซึ่งแปรตามระยะทางและตำแหน่งศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว หลังจากนั้นปรับเปรียบเทียบเพื่อให้ได้รูปร่างของคลื่นจากการคำนวณใกล้เคียงที่สุดกับคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจได้จริงที่วัดได้จากสถานี ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจะเป็นพารามิเตอร์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)



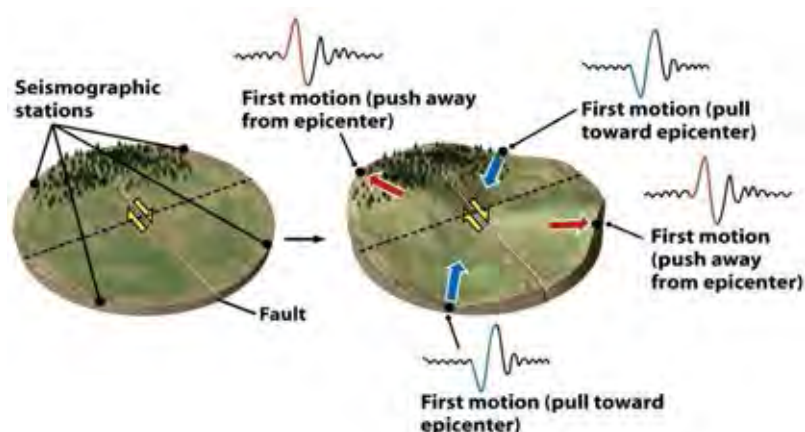
รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ลูกบอลชายหาดกับสัมพันธ์กับชนิดของรอยเลื่อน

(Rowan, 2009)



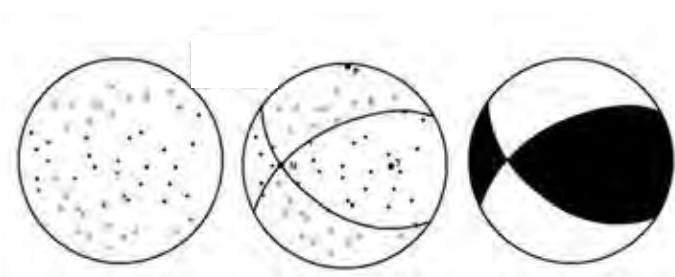
การสร้างแผนภาพลูกบอลที่แสดงกลไกแผ่นดินไหวทำให้โดยการใช้แผนภาพโครงร่างตาข่าย (stereographic projection) ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดจุดสามมิติให้อยู่ในรูปทรงกลมหรือกั้วแรกของคลื่น (first motion) ของแผ่นดินไหว สามารถดูได้จากกราฟคลื่นปฐมภูมิ ถ้าคลื่นชี้ขึ้นหมายถึงเครื่องตรวจวัดถูกผลักหรือรอยเลื่อนเลื่อนมาทางสถานี ถ้าคลื่นชี้ลงหมายถึงเครื่องตรวจวัดถูกดึงหรือรอยเลื่อนเคลื่อนออกจากสถานี

คลื่นทุติยภูมิหรือคลื่นพื้นผิวก็มีนัยถึงการเคลื่อนตัวและทิศทางการวางตัวของรอยเลื่อน และสามารถประเมินแบบคลื่นปฐมภูมิได้แต่ใช้วิธีแตกต่างกัน



รูปที่ 2.2 แบบจำลองของกั้วแรก (first motion) ของคลื่นปฐมภูมิทั้งสองชนิด

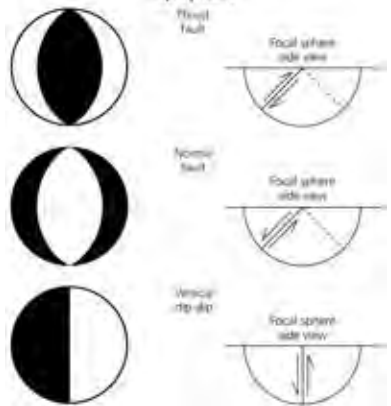
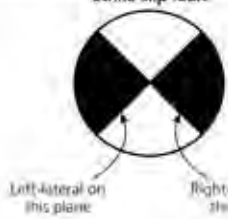

(Cronin, 2004)



รูปที่ 2.3 แผนภาพโครงร่างตาข่ายในการสร้างแผนภาพลูกบอล (Cronin, 2004)

จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 การสร้างแผนภาพลูกบอลจะดูจากก้าวแรกของคลื่น (first motion) ซึ่งจะแสดงลักษณะ 2 แบบคือแรงดึง (dilatation) และแรงอัด (compression) โดยส่วนที่เป็นแรงอัดหรือแรงบีบจะแสดงเป็นจุดสีเข้ม (ส่วนที่แรงเงา) ลูกบอล 1 ลูกจะเป็นตัวแทนของตำแหน่งที่อยู่บนรอยเลื่อนหรือส่วนที่เป็นเขตมุดตัวและทราบถึงชนิดของรอยเลื่อน โดยที่จะต้องนำข้อมูลจากสถานีแผ่นดินไหว ที่ตำแหน่งต่าง ๆ มาพลอต (plot) ลงในกระดาษโครงร่างตาข่าย (stereonet) หากข้อมูลมีมากความถูกต้องแม่นยำมากตามไปด้วย จากนั้นลากระนาบของรอยเลื่อน จะได้ 2 ระนาบ คือ ระนาบของรอยเลื่อนหลัก (fault plane) และ ระนาบของรอยเลื่อนรอง (auxiliary plane) ข้อจำกัดของแผนภาพลูกบอลนี้คือ การที่จะบอกว่าระนาบใดเป็น ระนาบของรอยเลื่อนหลักหรือระนาบของรอยเลื่อนรอง ต้องดูข้อมูลทางธรณีวิทยาประกอบกัน จากนั้นหาแนวระดับและมุมเท (strike/dip) ของรอยเลื่อน

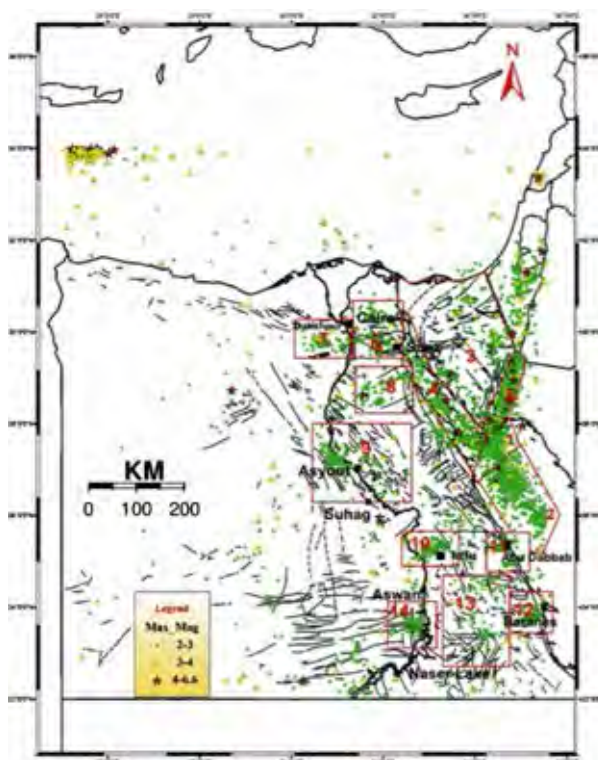
ตารางที่ 2.1 ชนิดของรอยเลื่อนกับรูปแบบกลไกการเกิดแผ่นดินไหว

Dip-slip fault	Strike-slip fault
<p><b>Dip-slip faults</b></p>  <p>Thrust fault</p> <p>Normal fault</p> <p>Vertical strike-slip</p>	<p><b>Figure 4.2-14: Focal mechanisms for various fault mechanisms:</b></p> <p><b>Strike-slip fault</b></p>  <p>Left-lateral on this plane</p> <p>Right-lateral on this plane</p>
<p>Oblique fault</p>	 <p><math>\Delta = 10^\circ</math> - Most strike-slip - some lateral</p> <p><math>\Delta = 40^\circ</math> - Mostly strike-slip - with some thrust</p>

ชนิดของแผนภาพลูกบอลไม่มีลักษณะที่แน่นอนตามอุดมคติเนื่องจากในแต่ละตำแหน่งจะมีระนาบมุมเทที่แตกต่างกัน แต่ลักษณะหลัก ๆ จะแบ่งตามชนิดรอยเลื่อนดังที่แสดงตามตาราง 2.1 นอกจากนี้ผลของแผนภาพลูกบอลยังสามารถนำไปประยุกต์ในการหาแผนภาพกุหลาบ (rose diagram) ได้อีกด้วย

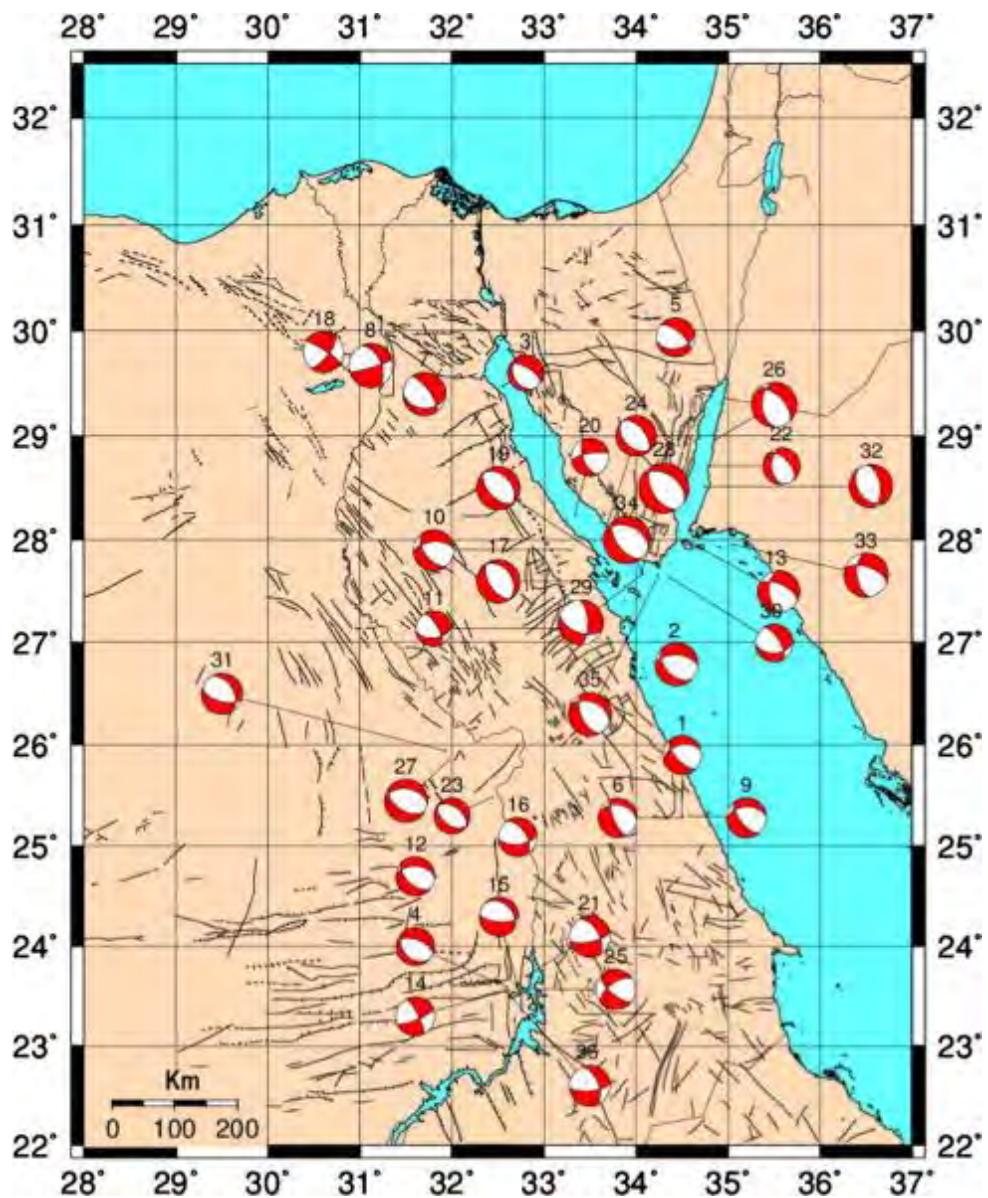
### 2.1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature reviews)

Abdelazim et al. (2009) ได้ศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวปี ค.ศ. 2004 -2011 บริเวณประเทศอียิปต์ พบว่าเหตุการณ์แผ่นดินไหวจำนวน 36 ครั้ง เกิดในคาบเวลาเดียวกัน และผลการศึกษาจากคลื่นปฐมภูมิ คลื่นทุติยภูมิของแต่ละเหตุการณ์ รวมไปถึงอัตราเร็วของคลื่น ทำให้ทราบถึงกลไกแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ โดยบริเวณภาคเหนือกลไกการเกิดแผ่นดินไหวจะเป็นรอยเลื่อนแนวตั้ง (dip - slip) ในขณะที่ตอนใต้ของประเทศอียิปต์จะเป็นรอยเลื่อนแนวระดับ (strike - slip) อันเป็นผลมาจากธรณีแปรสัณฐานภายในแผ่นเปลือกโลก (intraplate tectonic)



รูปที่ 2.4 เหตุการณ์แผ่นดินไหวและตำแหน่งของรอยเลื่อนในประเทศอียิปต์

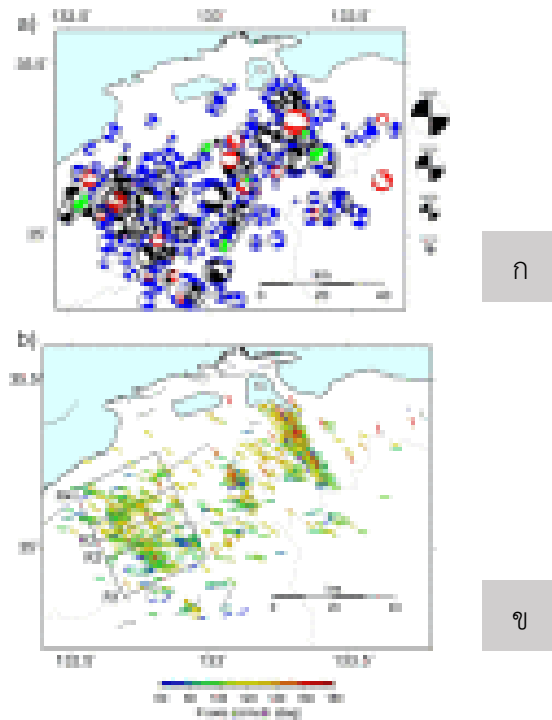
(Abdelazim et al. 2016)



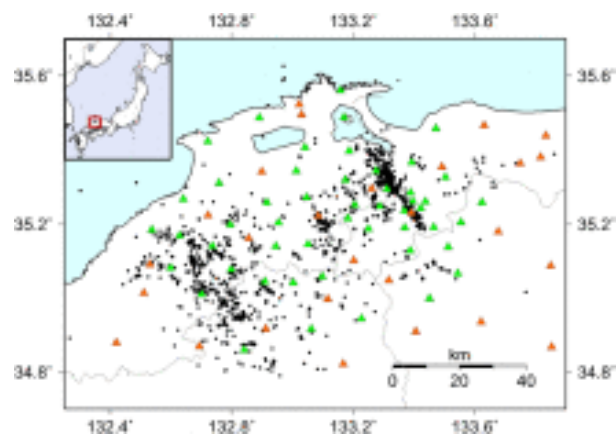
รูปที่ 2.5 กลไกแผ่นการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศอียิปต์

(Abdelazim et al. 2016)

Yoshihisa et al. (2017) ได้ศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวและแรงดันของเหลวในรูพรุนจากคลื่นของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเขตซาฮารา ประเทศอียิปต์ พบว่ากลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายความเค้นของพื้นที่ และทำให้สามารถจัดแบ่งเป็นหน่วยย่อย (section) ตามพื้นที่ได้นอกจากนี้ยังพบว่ากลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) สามารถใช้อธิบายพื้นที่ที่มีความเค้นเฉือนขนาดเล็กได้ และแรงดันของของเหลวในโพรงหรือรูพรุนมีผลต่อแรงเสียดทานของรอยเลื่อน



หมายเหตุ : (ก) แผนภาพลูกบอล (ข) แผนภาพระดับความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่  
 รูปที่ 2.6 ผลการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเกิดแผ่นดินไหวในเขตซางอิน ประเทศญี่ปุ่น  
 (Yoshihisa et al. 2017)

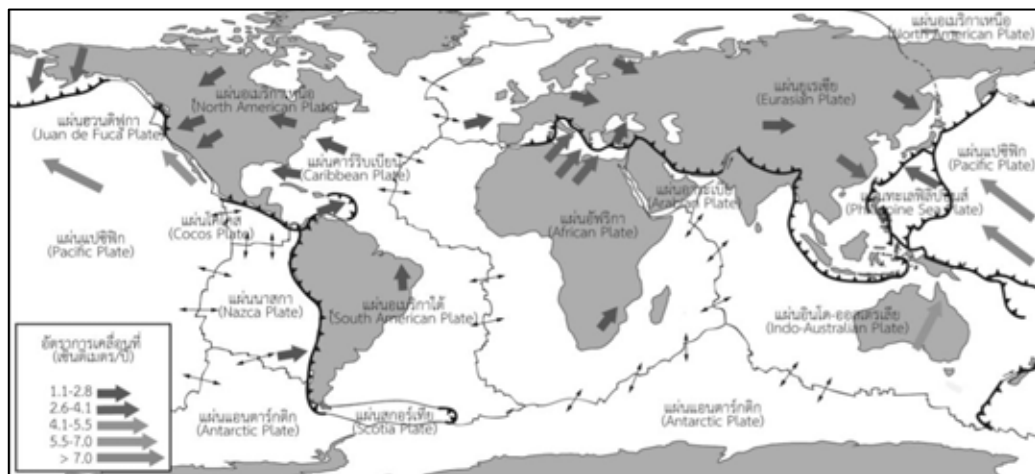


รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของแผ่นดินไหวกับชนิดของแรงที่ตอบสนองต่อสถานีตรวจวัด  
 (Yoshihisa et al. 2017)

## 2.2. ธรณีแปรสัณฐาน (Seismotectonic setting)

### 2.2.1. เขตมุดตัวของเปลือกโลก (Subduction zone)

จากทฤษฎีธรณีแปรสัณฐานทำให้ทราบได้ว่าเปลือกโลก (crust) ซึ่งเป็นชั้นของแข็งที่อยู่นอกสุดมีลักษณะแตกออกเป็นแผ่นย่อยและลอยอยู่บนชั้นเนื้อโลก (mantle) ซึ่งมีลักษณะเป็นของหนืดจากหลักฐานที่แสดงผ่านข้อมูลการกระจายตัวของภูเขาไฟที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ภูเขาไฟมีพลังในปัจจุบัน (active volcanos) ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีตถึงปัจจุบันที่ได้มีการบันทึกไว้และข้อมูลประกอบทางธรณีวิทยา นักธรณีวิทยาจำแนกแผ่นเปลือกโลกออกเป็น 14 แผ่น เช่น แผ่นยูเรเชีย อเมริกาใต้ อินเดีย - ออสเตรเลีย และแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ เป็นต้น



หมายเหตุ : ลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกต่าง ๆ

รูปที่ 2.8 แผนที่โลกแสดงขอบเขตและการกระจายตัวของแผ่นเปลือกโลก

(Pailoplee et.al., 2017)

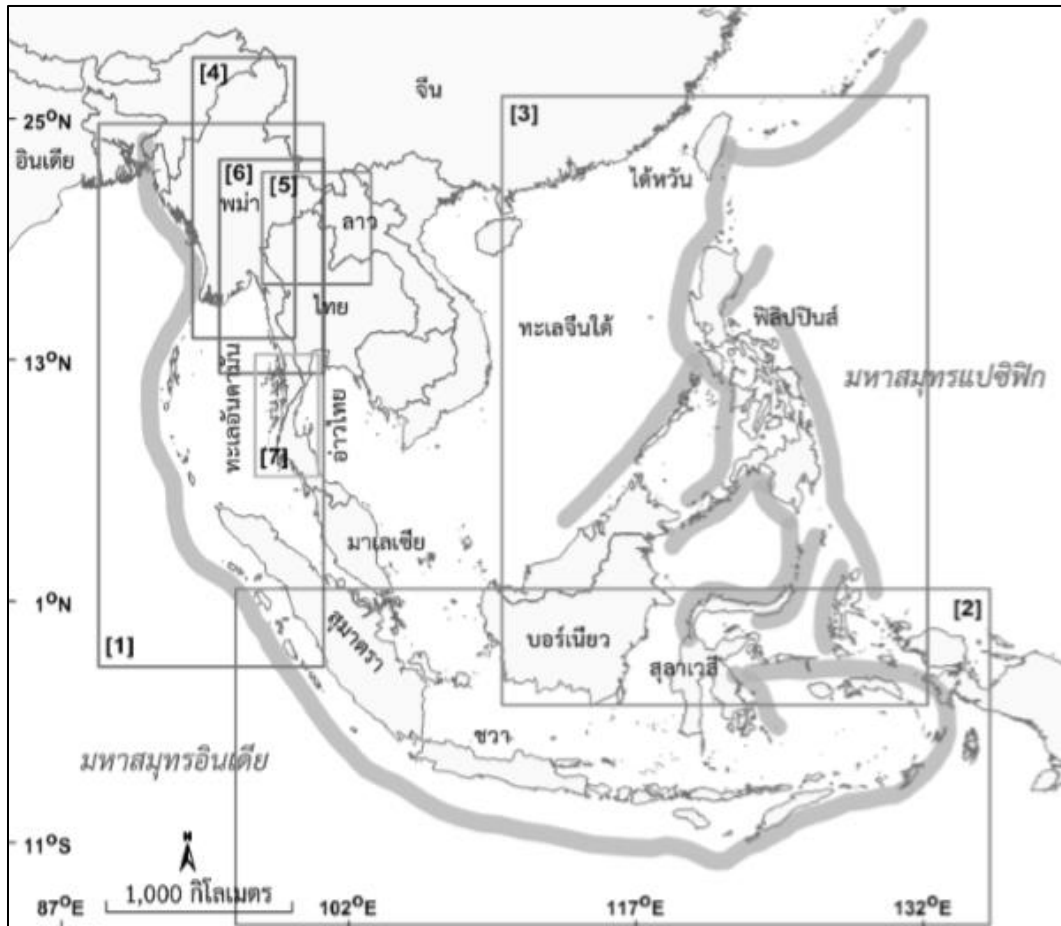
แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาด้วยกระแสพาความร้อน (convection current) ผลจากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ขอบของแผ่นเปลือกโลกมีปฏิสัมพันธ์กัน เกิดเป็นลักษณะของธรณีสัณฐาน (geomorphology) แตกต่างกันไปรวมถึงภัยพิบัติ นักธรณีวิทยาจำแนกปฏิสัมพันธ์ของแผ่นเปลือกโลกจากแนวคิดธรณีแปรสัณฐาน (geotectonic) ออกเป็น 3 ประเภทคือ

- 1) การเคลื่อนที่ออกจากกัน (divergent movement)
- 2) การเคลื่อนที่เข้าหากัน (convergent movement)

### 3) การเคลื่อนที่ผ่านกัน (transform movement)

ปฏิสัมพันธ์ของแผ่นเปลือกโลกที่แตกต่างกันส่งผลให้พฤติกรรมแผ่นดินไหวแต่ละบริเวณไม่เหมือนกัน ในกรณีที่แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เข้าหากันมักจะก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และมีความรุนแรงมาก โดยเฉพาะบริเวณที่มีการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลก จะทำให้เกิดสภาพแวดล้อมการเกิดแผ่นดินไหว 3 รูปแบบคือ **1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)** คือแผ่นดินไหวระดับตื้น ความลึกของแผ่นดินไหวขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเปลือกโลก ประมาณ 12-60 กิโลเมตร เนื่องจากเป็นขอบของแผ่นเปลือกโลกจึงทำให้แผ่นดินไหวมีลักษณะที่รุนแรงและมีโอกาสเกิดสึนามิสูง **2) แผ่นดินไหวที่เกิดภายในแผ่นเปลือกโลก (intraplate earthquake)** คือแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนภายในแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเกิดจากความเค้นทางธรณีแปรสัณฐานที่ถ่ายเทมาในแผ่นเปลือกโลก **3) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)** คือ แผ่นดินไหวระดับลึกที่เกิดในส่วนของแผ่นเปลือกโลกที่มุดตัวลงไปในชั้นเนื้อโลก กลไกการเกิดจากกระแสพาความร้อน (convection current) ดึงแผ่นเปลือกโลกส่วนที่มุดลงไปใน (slab) ขณะเดียวกันส่วนที่ชนกันถูกยึดติดไว้ทำให้ส่วนที่โดนดึงถูกแรงดึงยึดตัวก่อให้เกิดรอยปริแตกและแผ่นดินไหวตามมา

จากการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) อินโดออสเตรเลีย (Indo-Australian plate) และแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Philippine sea plate) ซึ่งผลจากการชนและมุดกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกดังกล่าวทำให้เกิด **เขตมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zone)** ที่เป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่สำคัญ 7 เขตมุดตัวที่ถือเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและสึนามิที่เป็นพิบัติภัยต่อภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งหนึ่งในนั้นเป็น เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์



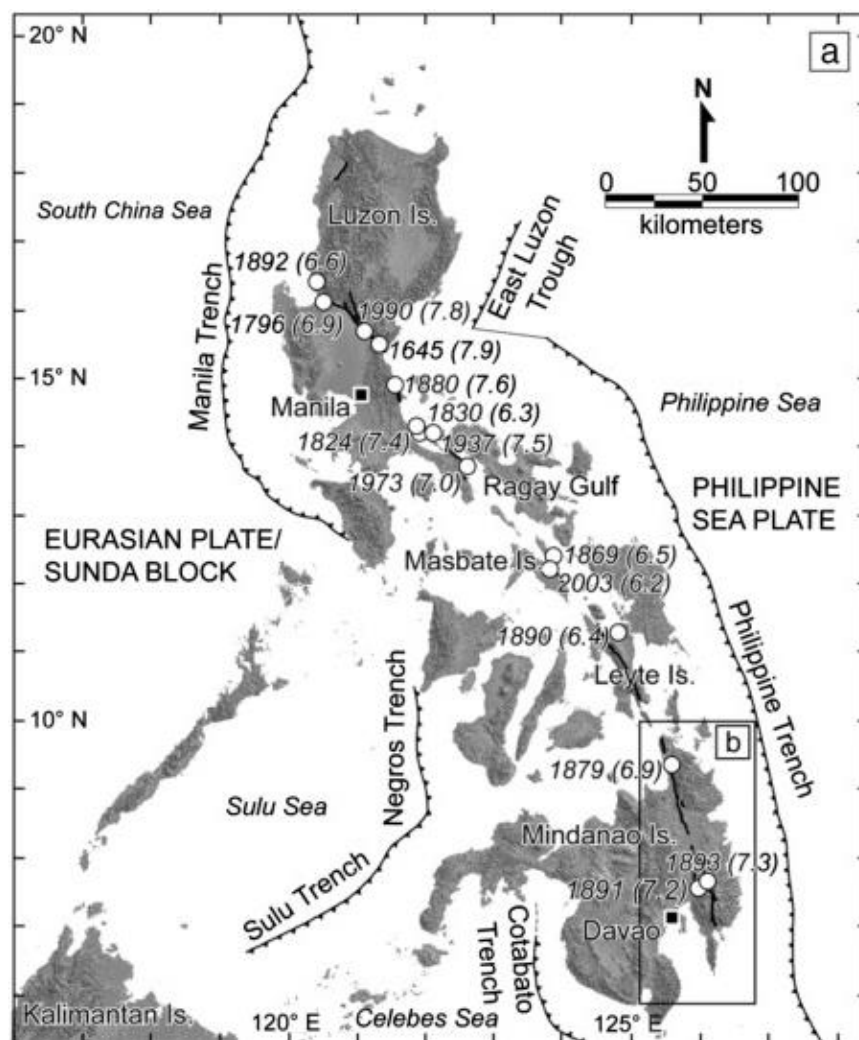
**หมายเหตุ:** [1] เขตมุดตัวของเปลือกโลกสุมาตรา-อันดามัน [2] เขตมุดตัวของเปลือกโลกตามแนวหมู่เกาะอินโดนีเซีย [3] เขตมุดตัวของเปลือกโลกรอบหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Philippines islands) [4] รอยเลื่อนสะกาย (Sagaying fault) ตอนกลางของประเทศพม่า [5] กลุ่มรอยเลื่อนบริเวณชายแดนภาคเหนือของประเทศไทย-ลาว-พม่า [6] กลุ่มรอยเลื่อน บริเวณชายแดนภาคตะวันตกของประเทศไทย-พม่า และ [7] กลุ่มรอยเลื่อนบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย

**รูป 2.9** แผนที่ภูมิภาคอาเซียนแสดงกลุ่มของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อาจส่งผลกระทบต่อภัยพิบัติแผ่นดินไหวและสึนามิต่อภูมิภาคอาเซียน (Pailoplee et al., 2016)



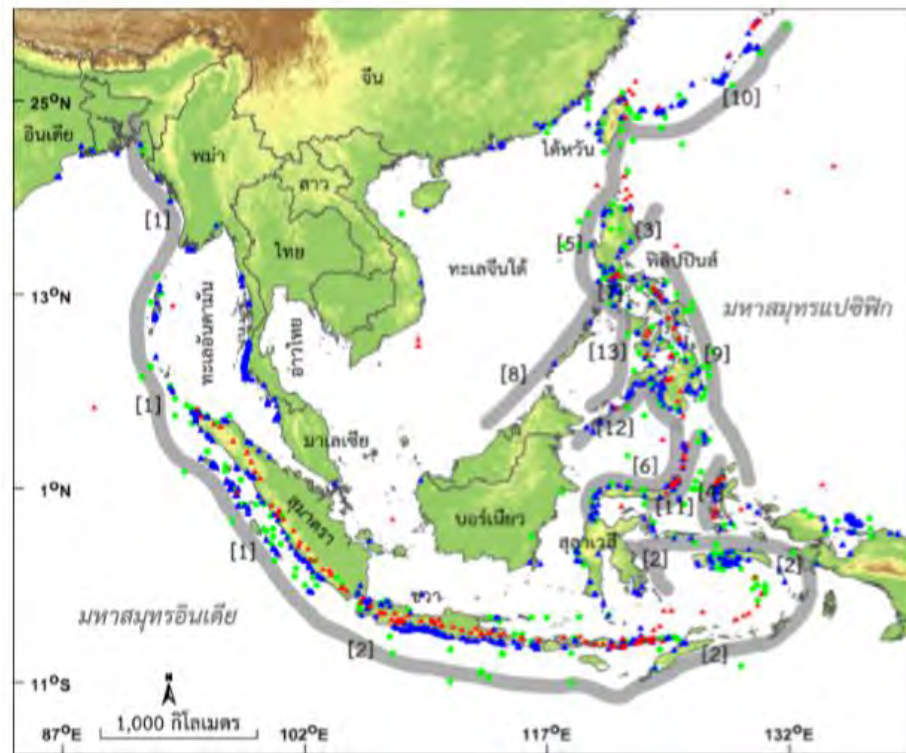
## 2.2.2. ธรณีแปรสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Tectonic setting of Philippine islands)

บริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์เป็นบริเวณที่เป็นการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกรอบหมู่เกาะฟิลิปปินส์ได้แก่ แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ ซึ่งทำให้บริเวณนี้มีความซับซ้อนทางด้านธรณีแปรสัณฐาน ทางตอนเหนือของเขตมุดตัว แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียชนและมุดลงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ด้วยมุมการมุดที่สูงชัน ในขณะที่ในทางตอนใต้ แผ่นทะเลฟิลิปปินส์มุดตัวไปทางทิศตะวันตกใต้แผ่นยูเรเชียด้วยมุมการมุดที่ต่ำ



รูปที่ 2.10 โครงสร้างธรณีแปรสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Perez และ Tsutsumi, 2017)

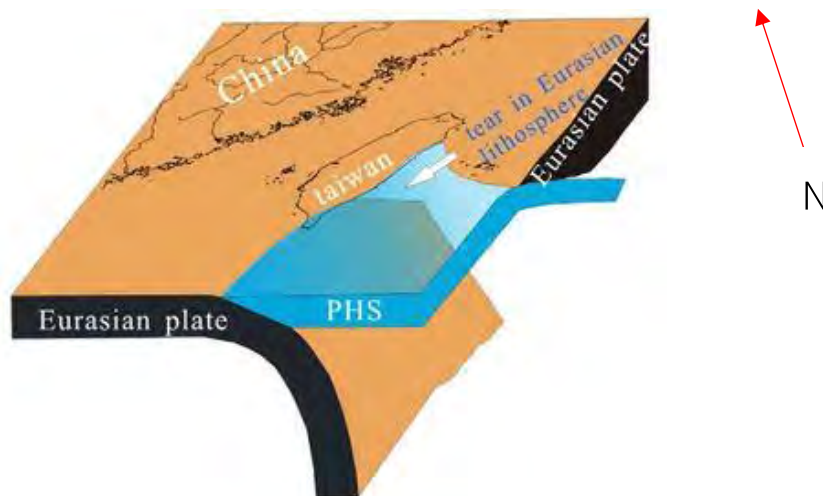
แนวของการชนกันของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ ซึ่งผลของการชนกันดังกล่าวทำให้เกิดลักษณะของธรณีสัณฐานที่สัมพันธ์กับแผ่นดินไหว 2 รูปแบบคือ เขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ร่องลึกก้นสมุทร และรอยเลื่อนภายในทวีป ซึ่งวางตัวในหมู่เกาะฟิลิปปินส์และบริเวณรอบ ๆ โดยประกอบไปด้วยร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา (Manila trench) ร่องลึกก้นสมุทรซูลู (Sulu trench) ร่องลึกก้นสมุทรเนกรอส (Negros trench) และร่องลึกก้นสมุทรปาลาวัน (Palawan trench) ทางทิศตะวันตก ร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซซา (Minahassa Trench) ทางทิศใต้ รอยเลื่อนลูซอนตะวันออก (East Luzon) ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และเขตมุดตัวฟิลิปปินส์ (Philippines subduction) ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และรอยเลื่อนและร่องลึกก้นสมุทรส่วนใหญ่วางตัวในแนวเหนือ - ใต้ตามแนวของแผ่นเปลือกโลก นอกจากนี้ยังพบรอยเลื่อนชนิดผ่านกัน (transform fault) บริเวณใกล้กับหมู่เกาะไต้หวันและร่องลึกฟิลิปปินส์ (Philippines trench) ที่ต่อไปยังแผ่นยูเรเชีย ซึ่งส่งผลให้บริเวณนี้มีการเคลื่อนตัว 80 มิลลิเมตรต่อปี และเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขึ้นบ่อยครั้ง รวมทั้งมีความเสี่ยงของการเกิดสึนามิสูง โดยศตวรรษที่ 20 - 21 มีแผ่นดินไหวขนาด 8 แมกนิจูดขึ้นไป (Smoczyk et al., 2013) ทางตอนเหนือของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ แผ่นยูเรเชียจะมุดลงไปได้แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ เกิดเขตมุดตัวต่าง ๆ บริเวณทะเลจีนใต้ (South China subduction zone)



**หมายเหตุ:** [1] เขตมุดตัวของเปลือกโลกสุมาตรา-อันดามัน (Sumatra-Andaman Subduction Zone) 4,145 กิโลเมตร [2] ร่องลึกก้นสมุทรซุนดา (Sunda Trench) 5,154 กิโลเมตร [3] ร่องลึกก้นสมุทรลูซอนตะวันออก (East Luzon Trench) 379 กิโลเมตร [4] เขตมุดตัวของเปลือกโลกฮัลมาฮีรา (Halmahera Subduction Zone) 452 กิโลเมตร [5] ร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา (Manila Trench) 1,256 กิโลเมตร [6] ร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซซา (Minahassa Trench) 1,372 กิโลเมตร [7] ร่องลึกก้นสมุทรเนกรอส (Negros Trench) 446 กิโลเมตร [8] ร่องลึกก้นสมุทรปาลาวัน (Palawan Trench) 1,141 กิโลเมตร [9] เขตมุดตัวของเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (Philippine Subduction Zone) 1,617 กิโลเมตร [10] ร่องลึกก้นสมุทรริวกิว (Ryukyu Trench) 1,416 กิโลเมตร [11] เขตมุดตัวของเปลือกโลกซันกิลดับเบิล (Sangihe Double Subduction Zone) 620 กิโลเมตร [12] ร่องลึกก้นสมุทรซูลูอาซิเฟลาโก (Sulu Archipelago Trench) 686 กิโลเมตร และ [13] ร่องลึกก้นสมุทรซูลู (Sulu Trench) 527 กิโลเมตร

**รูปที่ 2.11** แผนที่ภูมิภาคอาเซียนแสดงการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก (เส้นสีเทา) ที่อาจเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและสึนามิในอนาคต สามเหลี่ยมสีแดง คือ ภูเขาไฟมีพลัง วงกลมสี

เซียว คือ เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดสึนามิและสามเหลี่ยมสีน้ำเงิน คือ พื้นที่ซึ่งเคยได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติสึนามิ (Charusiri และ Pailoplee, 2015)

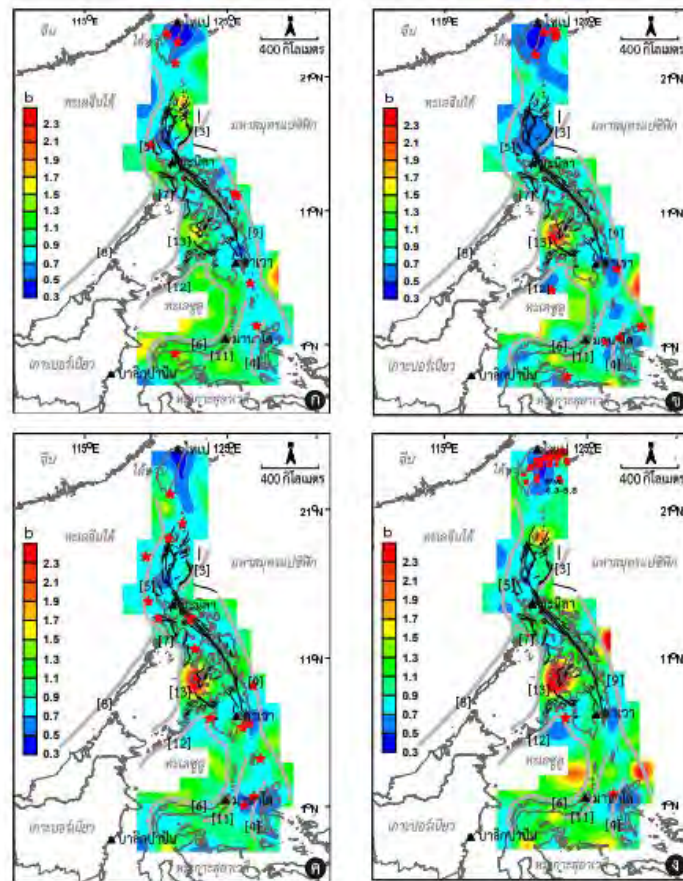


**รูปที่ 2.12** ภาพตัดขวางบริเวณทางตอนเหนือของหมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียที่มุดลงใต้แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Zheng et al. 2013)

ตอนบนของพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณที่ความซับซ้อนของธรณีแปรสัณฐาน โดยแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดลงใต้แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ทางด้านตะวันตก (ดังรูปที่ 2.12) ส่วนด้านตะวันออกติดกับร่องลึกก้นสมุทรรีวกิว (Ryukyu Trench) ซึ่งเป็นบริเวณตอนใต้ของเกาะไต้หวัน ร่องลึกก้นสมุทรรีวกิวเป็นร่องลึกก้นสมุทรที่อยู่ในแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ แต่มีการมุดตัวลงใต้แผ่นยูเรเชีย (ดังรูป 2.13) ทำให้ตรงกลางมีลักษณะถูกแรงดึง จึงเกิดเป็นรอยปริแตกเป็นรอยเลื่อนภายในทวีป

### 2.2.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature reviews)

Pailoplee และ Boonchaluy (2016) ได้แบ่งข้อมูลแผ่นดินไหวออกเป็น 3 ชุด ข้อมูลคือ 1) ค.ศ.1980-1995 2) ค.ศ. 1980-2000 3) ค.ศ.1980-2005 และได้ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $b$  ความสัมพันธ์ของค่า  $b$  และการเกิดแผ่นดินไหวไหวขนาด  $\geq 7.0$  ที่เกิดตามมา

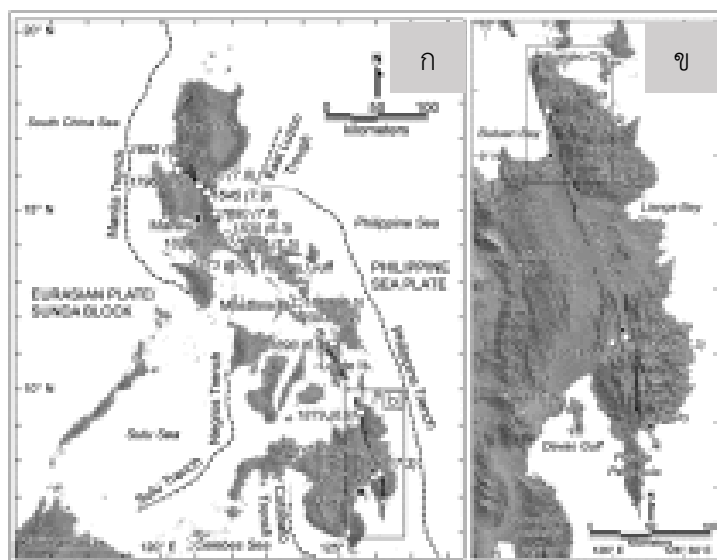


**หมายเหตุ:** ดาวสีแดงคือแผ่นดินไหวขนาด  $\geq 7$  Mw ที่เกิดขึ้นภายใน 5 ปี หลังจากช่วงเวลาของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์

**รูปที่ 2.13** แผนที่เขตมุดตัวของเปลือกโลกและรอยเลื่อนรอบหมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า  $b$  วิเคราะห์จากข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงปี (ก) ค.ศ.1980-1995 (ข) ค.ศ. 1980-2000 (ค) ค.ศ.1980-2005 (ง) ค.ศ. 1980-2010

จากรูปที่ 2.16 Pailoplee and Boonchaluy (2016) ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการประเมิน พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาด  $\geq 7.0$  พื้นที่แสดงค่า b จำนวน 6 พื้นที่ ได้แก่ 1) ทางตะวันออกของประเทศไต้หวัน 2) ทาง ตะวันตกเฉียงเหนือของเมืองมะนิลา 3) ทางตะวันตกของเมืองมะนิลา 4) ทางตะวันตกของเมืองดาเวา 5) ทาง ตะวันออกของเมืองดาเวา และ 6) ทาง ตะวันออกของเมืองมานาโต ประเทศฟิลิปปินส์ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แสดงค่า b ต่ำ และยังไม่เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เหลืออีก 4 พื้นที่ ในบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกและรอยเลื่อนรอบหมู่เกาะฟิลิปปินส์ จึงมีโอกาสเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต

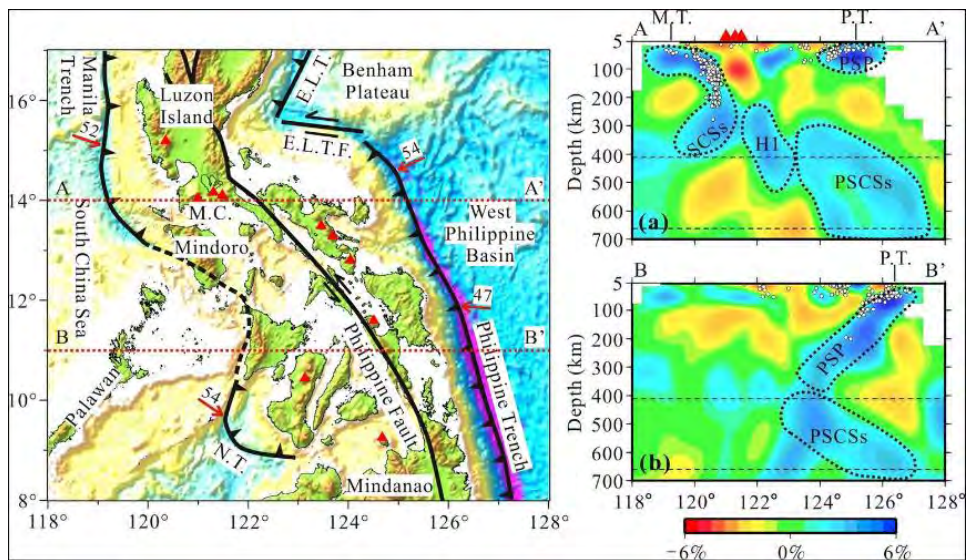
Perez et al. (2017) ได้ศึกษาธรณีแปรสัณฐานและคลื่นบรรพกาล (tectonic geomorphology and paleoseismology) บริเวณเกาะมินดาเนา (Mindanao islands) ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าจากการศึกษาจากโทรสัมผัส (remote sensing) รอยเลื่อนบริเวณนี้เป็นรอยเลื่อนแนวระดับ (strike – slip) มีความยาวมากกว่า 1,250 กิโลเมตร ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวอย่างน้อย 10 จุด ในรอบ 200 ปีที่ผ่านมา และเหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละครั้ง ส่งผลต่อธรณีสัณฐานและแนวปะการังรอบ ๆ เกาะไม่น้อยกว่า 10 กิโลเมตร



**หมายเหตุ:** (ก) ตำแหน่งของแนวเขตมุดตัว (ข) ตำแหน่งของเกาะมินดาเนา

**รูปที่ 2.14** โครงสร้างของพื้นที่เกาะมินดาเนา (Perez et al. 2017)

Fen et al. (2017) ได้ทำการศึกษาคลื่นปฐมภูมิ (P-wave) บริเวณรอบ ๆ พื้นที่ตอนกลางของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ เพื่อวิเคราะห์การแปรสัณฐานของแผ่นเปลือกโลกพบว่า ผลจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกทำให้ตอนบนของพื้นที่ ทะเลจีนใต้มุดตัวลงใต้ร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา (Manila trench) ด้วยมุมที่สูงและชัน ส่วนบริเวณตอนกลางจนถึงตอนใต้เป็นการชนกันของอนุทวีปปาเลาวัน (Palawan microcontinent) และแนวคดโค้งฟิลิปปินส์ (Philippine mobile belt) ทำให้เกิดการมุดตัวที่รุนแรงกว่าตอนบน จากหลักฐานของการเลื่อนตัวของภูเขาไฟ จากแนวคิดดังกล่าวนำมาหาแผ่นทะเลจีนใต้ต้นฉบับ (proto south china sea slab) บริเวณตอนใต้ถึงอัตราการเลื่อนตัว และงานวิจัยนี้ได้แบ่งพื้นที่ย่อย (segment) ของพื้นที่ออกเป็น 2 กลุ่มจากตำแหน่งของการชนกันของอนุทวีปปาเลาวันและแนวคดโค้งฟิลิปปินส์

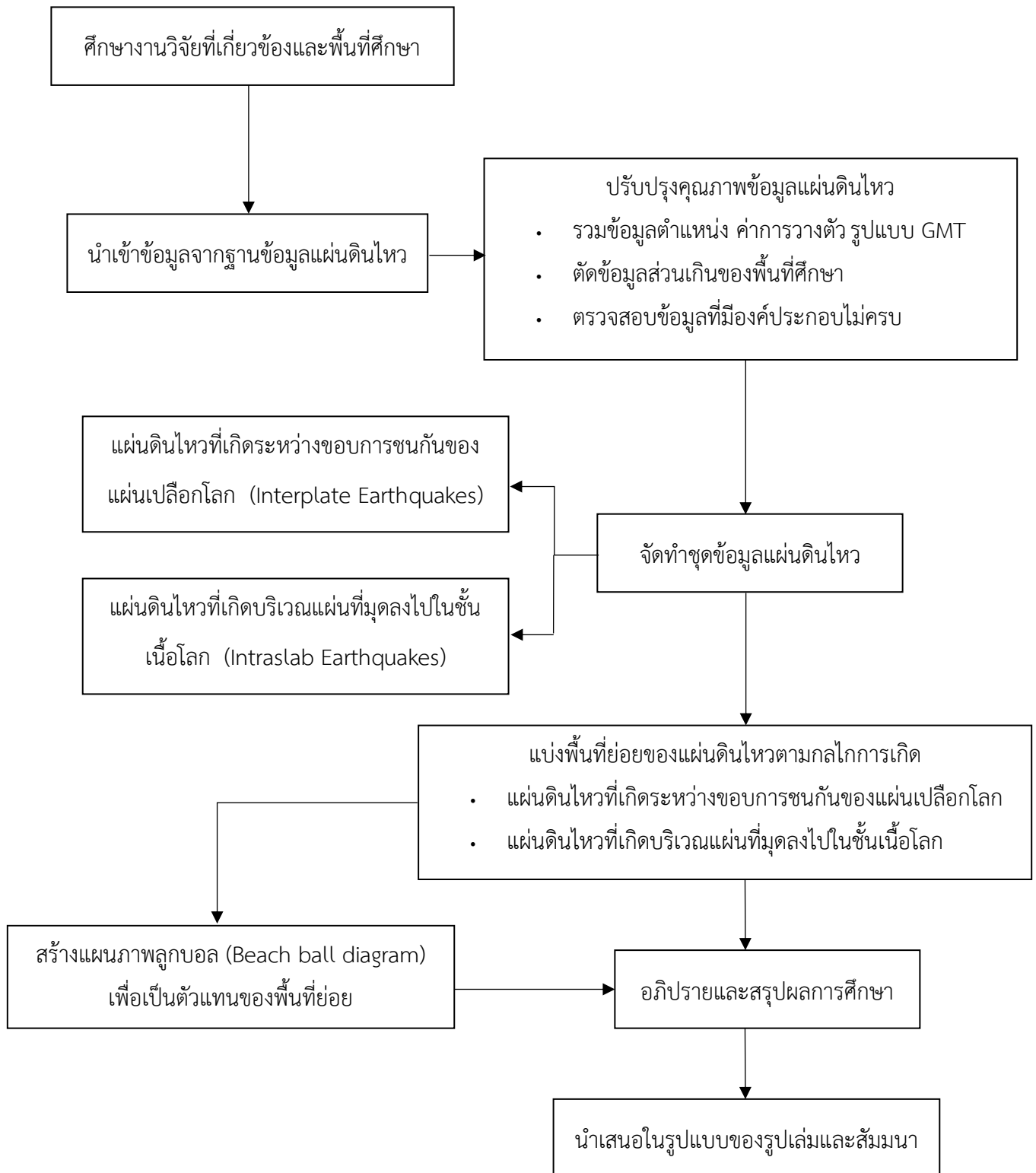


รูปที่ 2.15 การแบ่งพื้นที่ย่อยของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ (segment) จากการมุดตัวของทะเลจีนใต้

(Fen et al., 2017)

### 2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

ในงานวิจัยนี้ขั้นตอนและกระบวนการศึกษาแสดงในรูปของแผนผังในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แผนผังกระบวนการทำงานวิจัย



### 2.3.1. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและพื้นที่ศึกษา

ในขั้นตอนแรกเป็นการพิจารณางานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว เพื่อหาแนวทางและการนำมาปรับใช้กับงานวิจัยนี้ รวมถึงงานวิจัยด้านแผ่นดินไหวที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษา การศึกษากระบวนการทำงาน

### 2.3.2. การนำเข้าและปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหว

การนำเข้าข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Earthquake Records) จาก [www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org) โดยข้อมูลที่นำเข้ามาจะเป็นข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวรูปแบบ GMT psmeca input และ GMT psvelomeca input หรือรูปแบบเต็ม (Full Format) แสดงผลในโปรแกรม Microsoft Exel จากนั้นนำมาปรับปรุงคุณภาพแผ่นดินไหวด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อคัดกรองข้อมูลที่เกี่ยวข้องถึงลักษณะของธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง

**หมายเหตุ:** GMT psmeca input และ GMT psvelomeca input เป็นรูปแบบของข้อมูลตารางของ The Generic Mapping Tools ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแผนที่

### 2.3.3. การจัดทำชุดข้อมูลแผ่นดินไหว

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดทำชุดข้อมูลจากขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อจำแนกชนิดของแผ่นดินไหวออกเป็น 2 ชนิดคือ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake) 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในช่วงเนื้อโลก (Intraslab Earthquake) และแต่ละชนิดของแผ่นดินไหวแบ่งข้อมูลออกเป็นชุด 3 ชุด ได้แก่ 1) ค่าการวางตัว (Strike) 2) มุมเท (Dip) 3) มุมคาย (Rake) ชุดข้อมูลที่ถูกจัดในขั้นตอนนี้จะเป็นฐานข้อมูลและเพื่อนำไปพิจารณาประกอบการแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวต่อไป

### 2.3.4. การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวตามกลไกการเกิด

การแบ่งพื้นที่ย่อยในขั้นตอนนี้ แบ่งจากชุดข้อมูลที่จัดทำในขั้นตอนที่ 2.2.3 โดยอ้างอิงตามค่าระนาบรอยเลื่อนทั้ง 3 แบบคือ 1) ค่าการวางตัว (Strike) 2) มุมเท (Dip) 3) มุมคาย (Rake) เพื่อจัดกลุ่มแผ่นดินไหว จะได้เขต (Zone) หรือพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหว โดยแต่ละเขตหรือพื้นที่ย่อยนั้น ๆ จะมีพฤติกรรมแผ่นดินไหวในลักษณะเดียวกัน

### 2.3.5. การสร้างแผนภาพลูกบอลชายหาด (Beach ball diagram)

เมื่อแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวแล้ว จะทำการสร้างภาพลูกบอลชายหาด (Beach ball) ตามทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal Mechanism) เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ย่อยนั้น ๆ โดยภายในลูกบอลชายหาดที่สร้างจะประกอบไปด้วยส่วนที่แสดงถึงแรงอัดและส่วนที่แสดงถึงแรงดึง เมื่อได้ครบทุกพื้นที่ย่อยแล้วจะนำมาภาพลูกบอลชายหาดที่ได้มาประกอบกันเป็นเป็นแผนที่แสดงแผนภาพลูกบอลชายหาด

### 2.3.6. การอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

การอภิปรายและสรุปผลการศึกษาเป็นการนำเอาผลที่ได้มาตีความประกอบข้อมูลทางธรณีวิทยา โดยอิงตามพื้นฐานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquakes) จะนำไปวิเคราะห์กลไกของเขตมุดมุดและปริมาตรน้ำหากเกิดสึนามิ ส่วนแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปบนชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquake) จะนำไปวิเคราะห์ของแผ่นดินไหวและแบบจำลองการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณที่มุดตัวลงไปบนชั้นเนื้อโลก

### 2.3.7. การนำเสนอในรูปแบบเล่มรายงานและสัมมนา

นำส่วนที่ได้จากการศึกษามาจัดทำเป็นรูปแบบเล่มรายงานและนำเสนอในรูปแบบสัมมนา

## บทที่ 3

### ชุดข้อมูลและสถิติ

#### (DATA SET AND STATISTIC)


สำหรับการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับข้อมูลแผ่นดินไหว เพื่อสร้างแผนภาพลูกบอลชายหาด (beach ball diagram) แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวนั้น มีความจำเป็นต้องนำเข้าข้อมูลและปรับปรุงข้อมูลแผ่นดินไหว เพื่อคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและสื่อพฤติกรรมธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activity) ของพื้นที่ศึกษาได้อย่างแท้จริง

#### 3.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวและข้อมูล (Earthquake catalogue and data)

##### 3.1.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake catalogue)

ในปัจจุบันข้อมูลแผ่นดินไหวมีการบันทึกและเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ผ่านอินเทอร์เน็ต ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวมีหลายประเภทตามหน่วยงานที่บันทึกข้อมูลแผ่นดินไหว เช่น ศูนย์ข้อมูลแผ่นดินไหวนานาชาติ National Earthquake Information (NEC) ภายใต้การดูแลของสำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Geological Survey - USGS) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT) หรือเป็นที่รู้จักในนามของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว the Harvard CMT (HRV) เริ่มเก็บข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 (Dziewonski และคณะ, 1981; Ekström และคณะ, 2005) เป็นฐานข้อมูลที่มีความละเอียดสูง เป็นประโยชน์สำหรับนำข้อมูลไปวิเคราะห์เชิงลึกเนื่องจากฐานข้อมูลชนิดนี้มีการรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (Centroid moment tensor, CMT) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.5 Mw กำหนดข้อมูลในพื้นที่ศึกษาบริเวณหมู่เกาะฟิลิปปินส์ โดยมีขอบเขตของข้อมูลระหว่างละติจูด  $-7.15$  องศาใต้ ถึง  $29.11$  องศาเหนือ และลองจิจูด  $106.99$  องศาตะวันออก ถึง  $135.22$  องศาตะวันออก มีขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่  $0.0 - 8.0$  แมกนิจูด ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่  $0 - 644$  เมตร รวมมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 3,461 เหตุการณ์ พบว่าเริ่มมีการบันทึกตั้งแต่วันที่ 15 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1976 ถึงวันที่ 30 เมษายน ค.ศ. 2017


**Global CMT Catalog Search**

**Search form**

*If you use CMT results in published work, please provide an appropriate citation; see [links](#) for information on how to cite the catalog. Thanks!*

Enter parameters for CMT catalog search. All constraints are 'AND' logic.

**Date constraints:** catalog starts in 1976 and goes through present  
 There are several methods to choose date ranges—use the radio buttons to select which method you want to use

Starting Date:			Ending Date:		
<input checked="" type="radio"/> Year: 1976	Month: 1	Day: 1	<input checked="" type="radio"/> Year: 2017	Month: 5	Day: 30
<input type="radio"/> Year: 1976	Julian Day: 1		<input type="radio"/> Year: 1976	Julian Day: 1	
			<input type="radio"/> Number of days: 1 Including starting day		

**Magnitude constraints:** catalog includes moderate to large earthquakes only  
 (see note on calculation of *m<sub>s</sub>* magnitudes)

Moment magnitude: 0  ≤ *m<sub>w</sub>* ≤ 10

Surface wave magnitude: 0  ≤ *M<sub>s</sub>* ≤ 10

Body wave magnitude: 0  ≤ *m<sub>b</sub>* ≤ 10

**Location constraints:**

Latitude: (degrees) from -7.15  to 29.11  Must be between -90 and 90

Longitude: (degrees) from 106.99  to 135.22  Must be between -180 and 180

Depth: (kilometers) from 0  to 1000

---

**Location constraints:**

Latitude: (degrees) from -7.15  to 29.11  Must be between -90 and 90

Longitude: (degrees) from 106.99  to 135.22  Must be between -180 and 180

Depth: (kilometers) from 0  to 1000

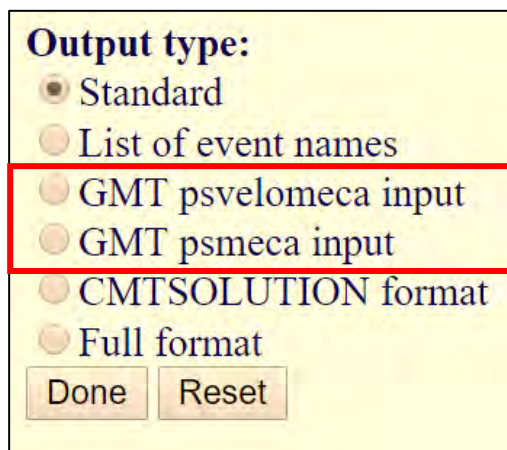
---

Starting Date:			Ending Date:		
<input checked="" type="radio"/> Year: 1976	Month: 1	Day: 1	<input checked="" type="radio"/> Year: 2017	Month: 5	Day: 30
<input type="radio"/> Year: 1976	Julian Day: 1		<input type="radio"/> Year: 1976	Julian Day: 1	
			<input type="radio"/> Number of days: 1 Including starting day		

รูปที่ 3.1 หน้าเว็บไซต์การค้นหาข้อมูลแผ่นดินไหว

การนำเข้าข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT) ต้องเข้าไปยัง [www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org) (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) จากนั้นกรอกข้อมูลวันที่และตำแหน่งของแผ่นดินไหวที่ต้องการค้นหา โดยวันเริ่มต้นและสิ้นสุดของการค้นหาสามารถเลือกค้นหาได้ทั้งแบบปกติและแบบจูเลียนเดย์ (julian Day) ซึ่งจูเลียนคือการนับวันเดือนปีแบบหนึ่ง โดยเริ่มนับวันแรกของปีเป็นวันที่ 1 และวันสุดท้ายของปีคือวันที่ 365

จากนั้นเลือกรูปแบบของข้อมูลที่แสดงออกมา ในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบ GMT psvelomeca input และ GMT psmecca input (ดังรูปที่ 3.2) หรือ full format ข้อมูลที่ได้ออกมาจะเป็นข้อมูล .txt จากนั้นต้องนำมาเปิดใน microsoft excel และปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 3.2 การเลือกรูปแบบการแสดงผลข้อมูลนำเข้า

### 3.1.2. ข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake data)

รูปแบบของการแสดงผลข้อมูลนำเข้าที่แสดงละติจูด (latitude) ลองจิจูด (longitude) ค่าการวางตัว (strike) มุมเท (dip) มุมคาย (rake) ขนาดของแผ่นดินไหวและวันที่รวมทั้งขนาดของโมเมนต์เทนเซอร์ โดยมีข้อมูล 2 ชุด GMT psvelomeca input และ GMT psmecca input ซึ่งจะต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพข้อมูลและจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหวต่อไป

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลตารางที่ได้จากรูปแบบการนำเข้าแบบ GMT psvelomeca input

longitude	latitude	str1	dip1	rake1	str2	dip2	rake2	sc	Date
127.05	3.84	171	29	68	15	64	102	6.881	201601111638A
120.92	23.07	329	46	-70	121	47	-109	3.696	201602180109A
127.46	1.13	148	62	-156	46	69	-31	5.037	201602232047A
121.93	24.71	38	37	-118	252	58	-70	6.781	201605120317A
122.05	24.76	54	39	-100	247	52	-82	3.985	201605120429A

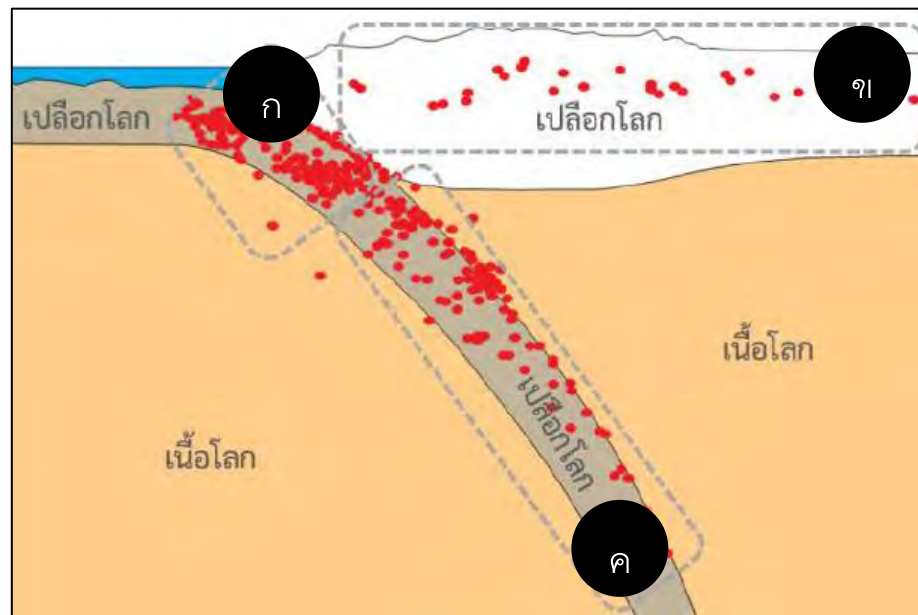
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลตารางที่ได้จากรูปแบบการนำเข้าแบบ GMT psmeca input

longitude	latitude	depth	mrr	mtt	mpp	mrt	mrp	mtp	date
128.54	25.85	23	1.93	-0.93	-1.01	0.5	0.89	-0.79	201601041353A
120.86	19.23	31	-2.89	-0.32	3.21	0.2	3.65	1.73	201601041436A
126.46	10.15	31	2.59	0.6	-3.2	1.54	0.24	-0.45	201601052036A
127.05	3.84	12	5.06	0.9	-5.96	1.49	3.78	-0.51	201601111638A
125.85	12.36	21	4.15	0.08	-4.23	-0.11	4.1	1.55	201601130752A

### 3.2. การจำแนกกลุ่มแผ่นดินไหวและปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (Earthquake data classification and Improvement)

ข้อมูลที่นำเข้ามาจากขั้นตอนของการนำเข้าข้อมูลจะมีข้อมูลประเภทตาราง 2 รูปแบบ การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลนั้นจะต้องนำเอาข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสองรูปแบบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่สมบูรณ์ที่สุด จากนั้นจะต้องจำแนกชนิดของแผ่นดินไหว โดยเกณฑ์การจำแนกชนิดของแผ่นดินไหวนี้แบ่งตามระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวจากคลื่นแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากธรณีแปรสัณฐาน

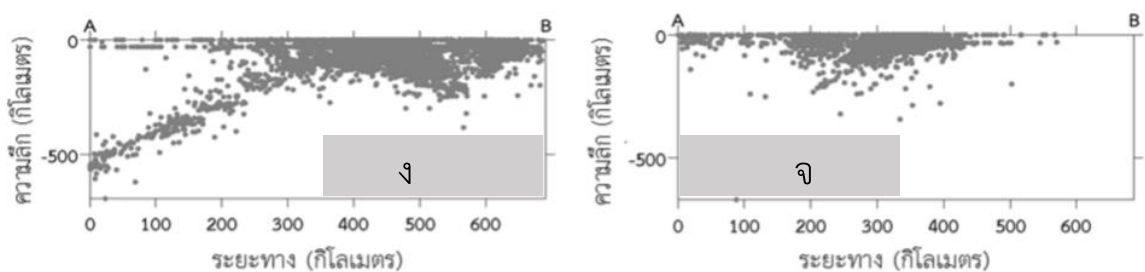
คลื่นแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากธรณีแปรสัณฐาน (seismotectonic wave) เป็นคลื่นยืดหยุ่นเดินทางออกจากตัวกลาง เป็นการปลดปล่อยพลังงานเมื่อชั้นหินกระทบกันทำให้เกิดคลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่ากระบวนการแปรสัณฐาน (geotectonic) เป็นกระบวนการหลักที่ทำให้เปลือกโลกเคลื่อนที่และเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักทั่วโลกซึ่งจะรุนแรงในบริเวณที่เป็นแผ่นเปลือกโลกชนกัน



หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

(ข) แผนภาพกู่หลาบแสดงการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

รูปที่ 3.3 ค่าการวางตัว (strike) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์



หมายเหตุ: (ง) ภาคตัดขวาง (cross section) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณ 1) ร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาสา 2) เขตมุดตัวของเปลือกโลกซันกิลด์บ์เบิล และ 3) เขตมุดตัวของเปลือกโลกฮัลมาฮีราตามลำดับ (จ) ภาคตัดขวางบริเวณร่องลึกก้นสมุทรฟิลิปปินส์

รูปที่ 3.4 แบบจำลองแสดงภาคตัดขวางบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

(Charusiri and Pailoplee, 2015)

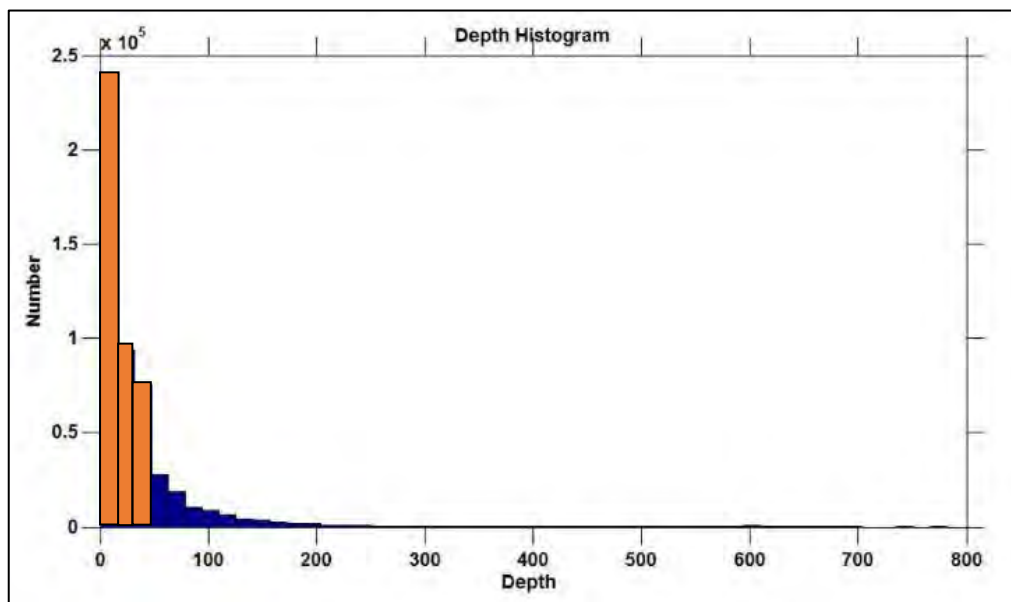
จากรูปที่ 3.3 เป็นแบบจำลองแสดงภาคตัดขวางบริเวณแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นที่มีการชนและมุดกัน แสดงสภาพแวดล้อมการเกิดแผ่นดินไหวกับกระบวนการธรณีแปรสัณฐาน โดย (ก) เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (ข) เกิดภายในแผ่นเปลือกโลก และ (ค) เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใต้อันโลก โดยตำแหน่งที่แตกต่างกันทำให้เกิดพฤติกรรมแผ่นดินไหวที่ไม่เหมือนกัน และรูป 3.4 (ง) แสดงภาคตัดขวาง (cross section) บริเวณ 1) ร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาสสา 2) เขตมุดตัวของเปลือกโลกซันกิลด์บีล และ 3) เขตมุดตัวของเปลือกโลกฮัลมาฮีรา ตามลำดับ ซึ่งการกระจายตัวของแผ่นดินไหวดังกล่าว Charusiri and Pailoplee (2015) วิเคราะห์หาร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาสสาแสดงทิศทางการมุดตัวไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ทำมุมการมุดตัวประมาณ 30 องศา และมุดลงไปถึงความลึก 300 กิโลเมตรใต้พื้นโลก ในขณะที่เขตมุดตัวของเปลือกโลกฮัลมาฮีราแสดงทิศทางการมุดตัวไปทางตะวันตกเฉียงเหนือ โดยเริ่มมุดตัวในช่วงกิโลเมตรที่ 300 ของภาคตัดขวางทำมุมประมาณ 45 องศา และมุดลงไปถึงความลึก 600 กิโลเมตรใต้พื้นโลก แต่เนื่องจากบริเวณกิโลเมตรที่ 600 ไม่พบแนวการมุดตัวของเปลือกโลกอย่างชัดเจน จึงวิเคราะห์ว่าเขตมุดตัวของเปลือกโลกฮัลมาฮีราไม่แสดงแนวการมุดตัวในปัจจุบัน ส่วนรูปที่ 3.4 (จ) แสดงภาคตัดขวาง (cross section) ทางตอนเหนือของเขตมุดตัวของเปลือกโลกฟิลิปปินส์ ซึ่งจากการกระจายตัวของแผ่นดินไหวพบว่าเขตมุดตัวของเปลือกโลกดังกล่าวมีการมุดตัวไปทางตะวันตก แต่เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีจำนวนมากกระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่นทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์มุมการมุดตัวและประเมินความหนาของแผ่นเปลือกโลกในช่วงกิโลเมตรที่ 150 - 400 ของภาคตัดขวางได้อย่างแม่นยำ

จากแนวคิดดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการจำแนกประเภทของแผ่นดินไหวในงานวิจัยนี้ โดยคลื่นแผ่นดินไหวที่เข้ามายังสถานีตรวจวัดจะถูกบันทึกเป็นข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำเข้ามาใช้ในงานวิจัยนี้ จำแนกข้อมูลแผ่นดินไหวได้เป็น 2 ประเภทคือ

- 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)
- 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใต้อันโลก (intraslab earthquake)

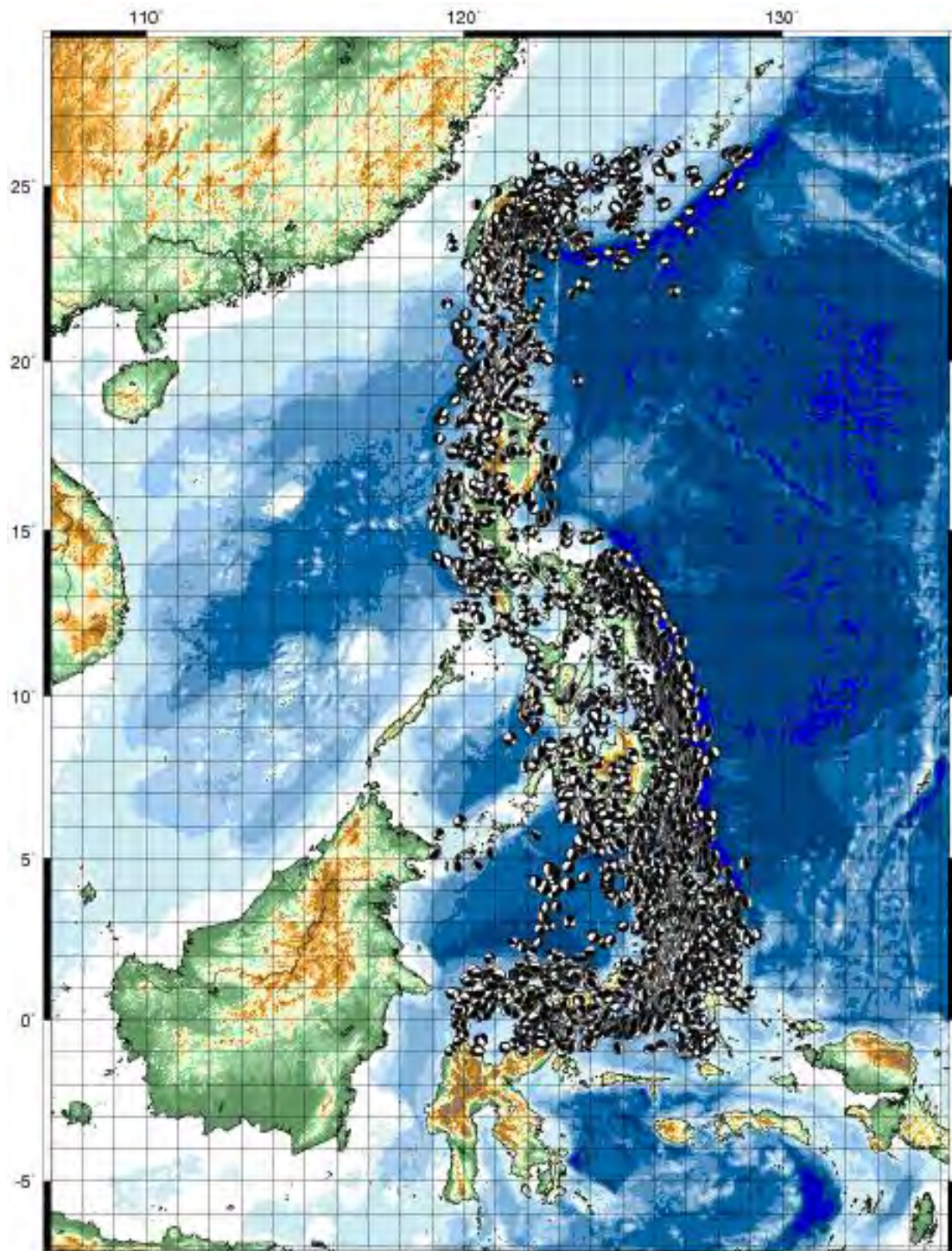
การจำแนกตามระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว (epicenter) โดยการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวและระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว (ดังรูปที่ 3.5) จะเห็นได้ชัดถึงความเปลี่ยนแปลงของจำนวนครั้งของแผ่นดินไหวกับระดับความลึก ช่วงกราฟมีอัตราของจำนวนครั้งของแผ่นดินไหวมากบริเวณที่ความลึกต่ำกว่าระดับ 50 กิโลเมตร ทำให้สามารถแยกกลุ่มของแผ่นดินไหวโดยใช้เกณฑ์ในลักษณะดังกล่าวได้ โดยที่ระดับความลึกต่ำกว่า 50 กิโลเมตรจัดเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) และที่ระดับความลึกมากกว่า 50 กิโลเมตรจัดเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใต้อันโลก (intraslab earthquake)



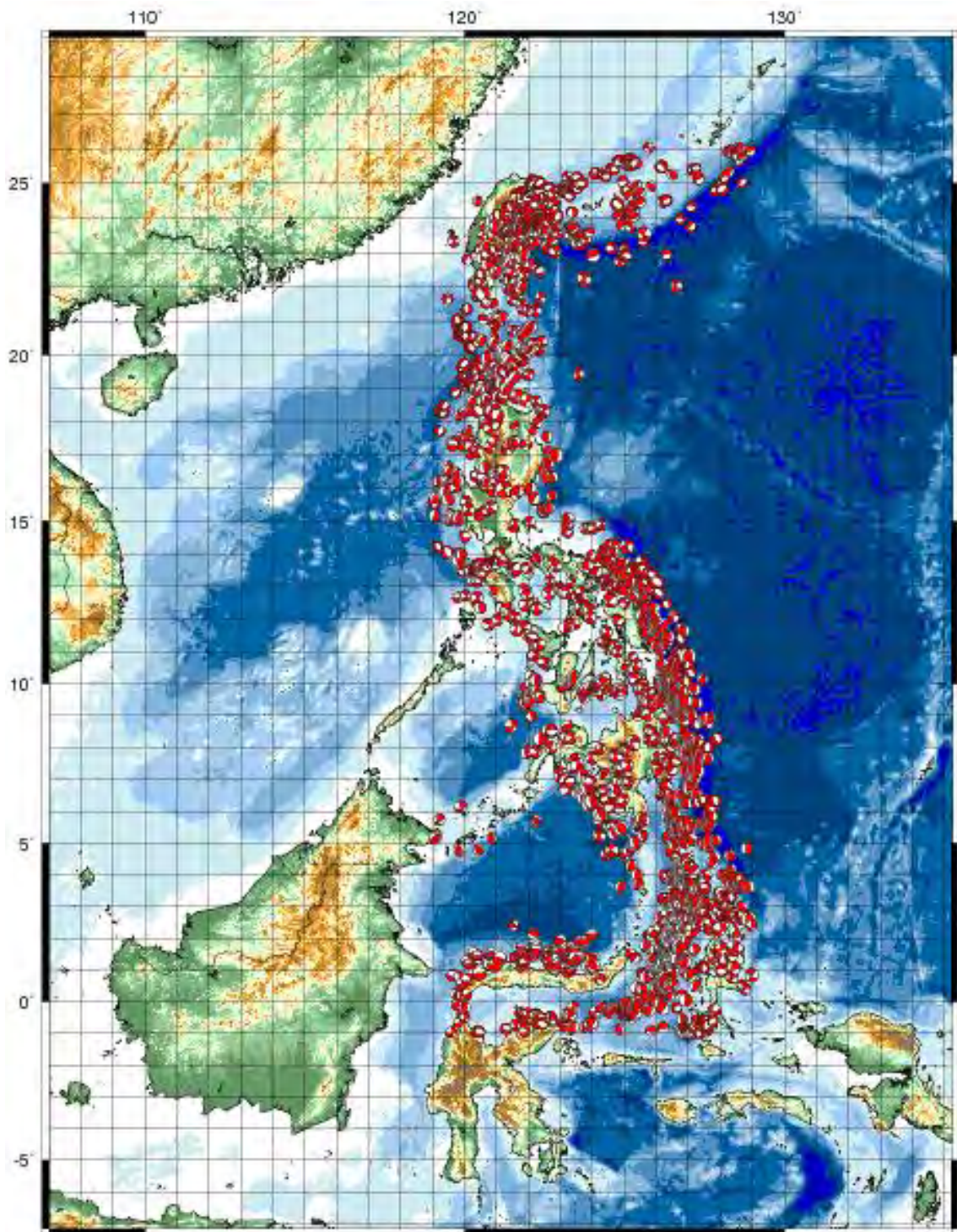


**รูปที่ 3.5** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวกับระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว

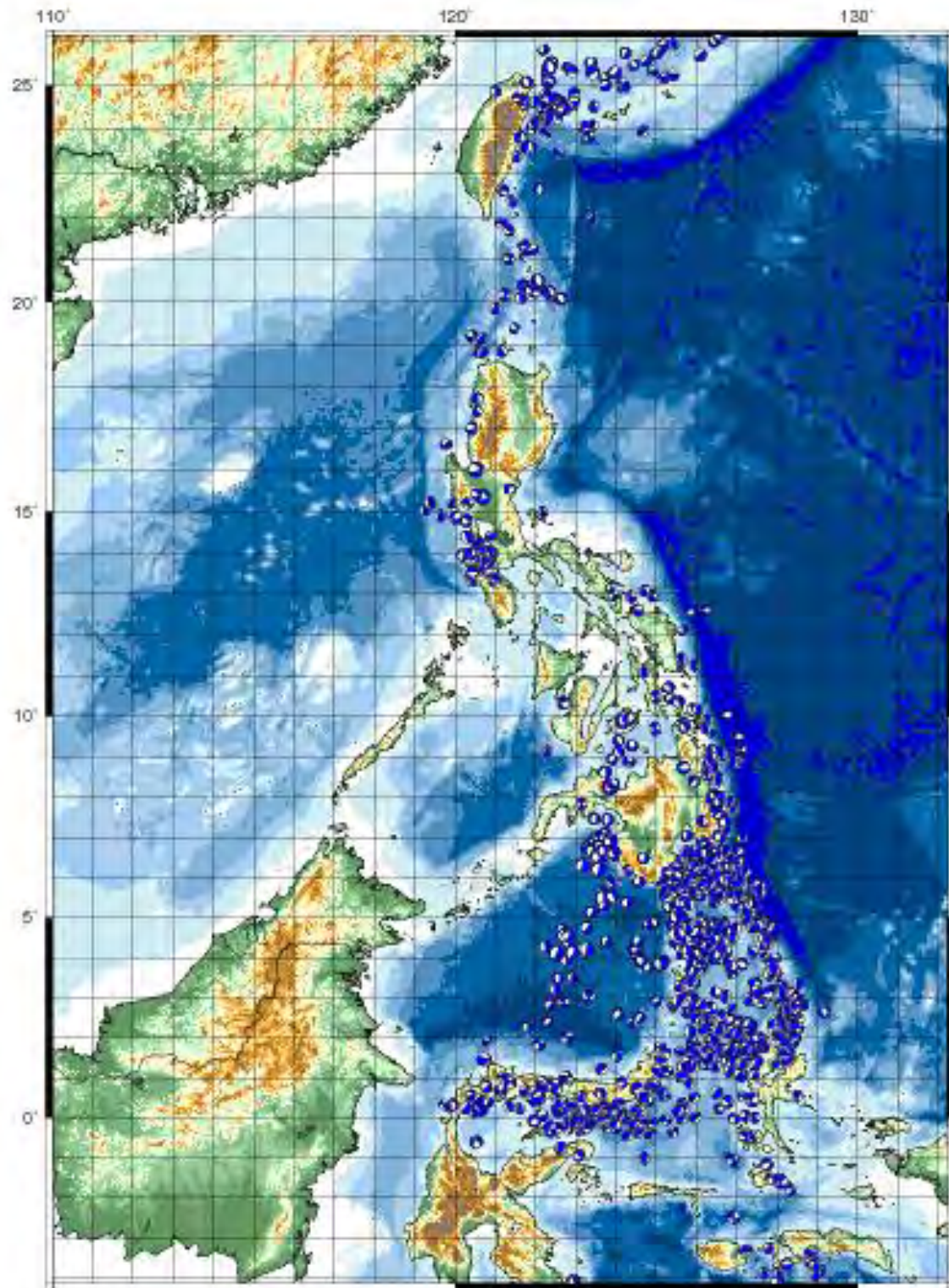
หลังจากจำแนกชนิดของแผ่นดินไหวแล้วก็จะได้กลุ่มของแผ่นดินไหว 2 กลุ่ม จากนั้นจะต้องปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวโดยตัดข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีพฤติกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐานด้วยการส่งออกข้อมูลแผ่นดินไหวบนแผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาเพื่อพิจารณาเหตุการณ์ที่ไม่ได้เกิดขึ้นตามกระบวนการธรณีแปรสัณฐานโดยดูจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ไม่ได้เกิดบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ แล้วตัดข้อมูลแผ่นดินไวนั้นออกไปเพื่อให้เหลือเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดตามเขตมุดตัวอย่างแท้จริง ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนปรับปรุงคุณภาพข้อมูลนั้นมีจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมด 3,461 เหตุการณ์ แบ่งเป็นแผ่นดินไหวเกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) 2,521 เหตุการณ์ และแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) 940 เหตุการณ์ หลังการตัดข้อมูลหรือปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแล้วทำให้เหลือเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับกระบวนการธรณีแปรสัณฐานตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ทั้งหมด 3,144 เหตุการณ์ แบ่งออกเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) 2,225 เหตุการณ์ และแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) 919 เหตุการณ์



รูปที่ 3.6 ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์  
แสดงในรูปแบบของแผนภาพลูกบอลชายหาด



รูปที่ 3.7 ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก  
(interplate earthquake)



รูปที่ 3.8 ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)

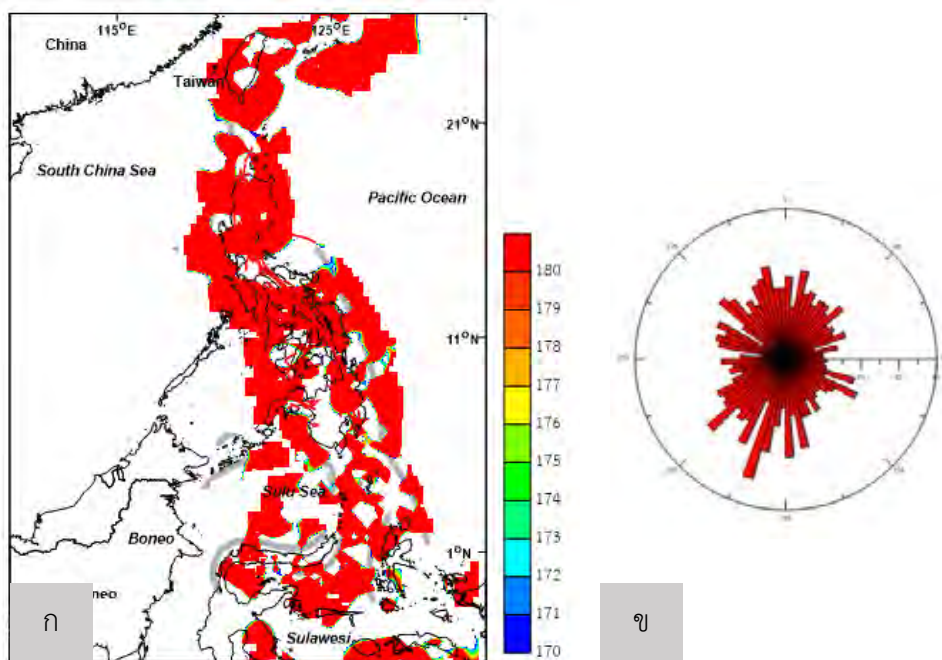
### 3.3. การกำหนดค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault Plane Determination)

การกำหนดค่าระนาบรอยเลื่อนเป็นการนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่จัดกลุ่มและปรับปรุงคุณภาพแล้วมากำหนดและพิจารณาค่าระนาบรอยเลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูลคือ ค่าการวางตัว (strike) มุมเท (dip) และมุมคาย (rake) เพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลในการพิจารณาการแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวก่อนสร้างภาพลูกบอลชายหาด (beach ball diagram)

#### 3.3.1. แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)

- ค่าการวางตัว (strike)

การวางตัวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 180 องศา แสดงให้เห็นว่าแนวเขตมุดตัววางตัวในแนวเหนือใต้ (ดังรูปที่ 3.9 ก) และแผนภาพกุหลาบแสดงค่าการวางตัวของเขตมุดตัวก็พบว่ามีค่ากระจายตัวค่อนข้างมาก ตั้งแต่ 0 – 360 องศา แต่ส่วนมากมีค่าประมาณ 170 – 190 (ดังรูปที่ 3.9 ข) จะเห็นได้ว่าค่าการวางตัว (strike) ทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันคือการวางตัวมีทิศทางในแนวเหนือ - ใต้ ตามแนวเขตมุดตัว



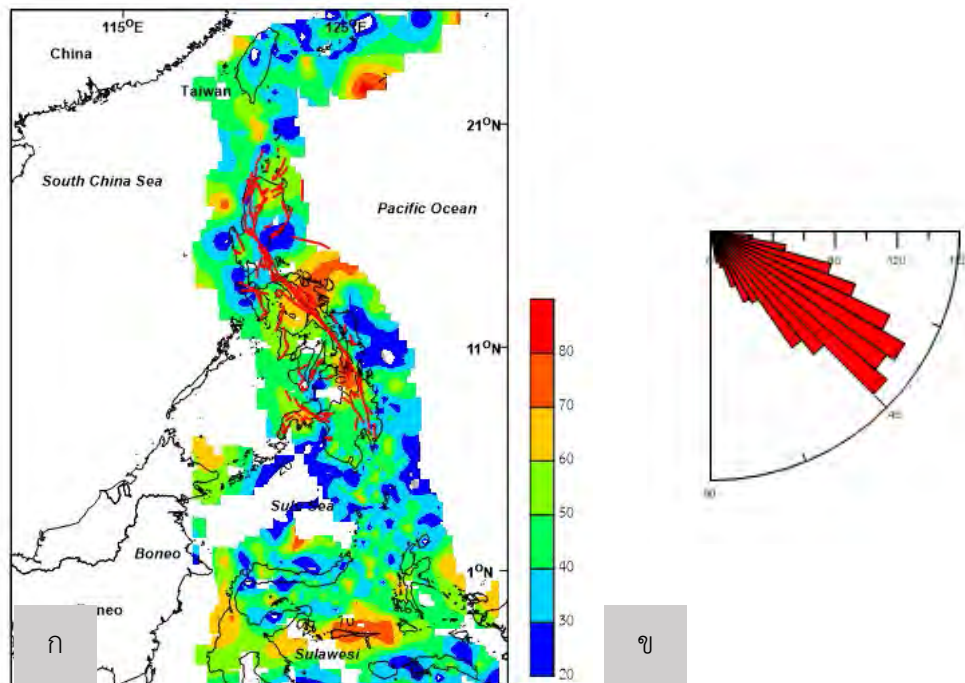
หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

**รูปที่ 3.9** ค่าการวางตัว (strike) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

- มุมเท (dip)

มุมเทมีอยู่ที่ 20 – 80 องศา (ดังรูปที่ 3.10 ก) ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ประมาณ 40-50 องศา บริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่มีมุมเอียงเทค่อนข้างสูงบางด้านทิศตะวันออก ขณะที่บริเวณตอนล่างจะมีมุมเอียงเทที่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับแผนภาพกุหลาบ (ดังรูปที่ 3.10 ข) ที่ค่าของมุมเอียงของพื้นที่อยู่ที่ประมาณ 30 – 60 องศา และค่าเฉลี่ย 45 องศา



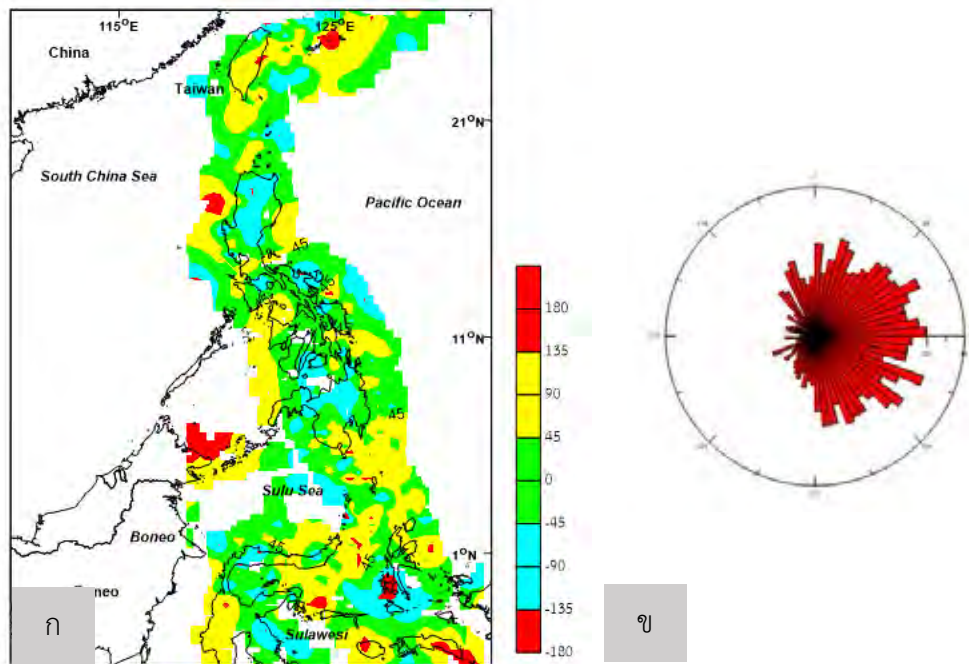
หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงมุมเทของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงมุมเทของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

รูปที่ 3.10 มุมเท (dip) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

- มุมคาย (rake)

มุมคายหรือมุมคายเศษ (rake) คือมุมเศษที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งค่าของมุมคายสามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ ในการเตรียมข้อมูลเกี่ยวกับค่ามุมคายในงานวิจัยนี้มีค่า -180 ถึง 180 องศา



หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงมุมคายของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

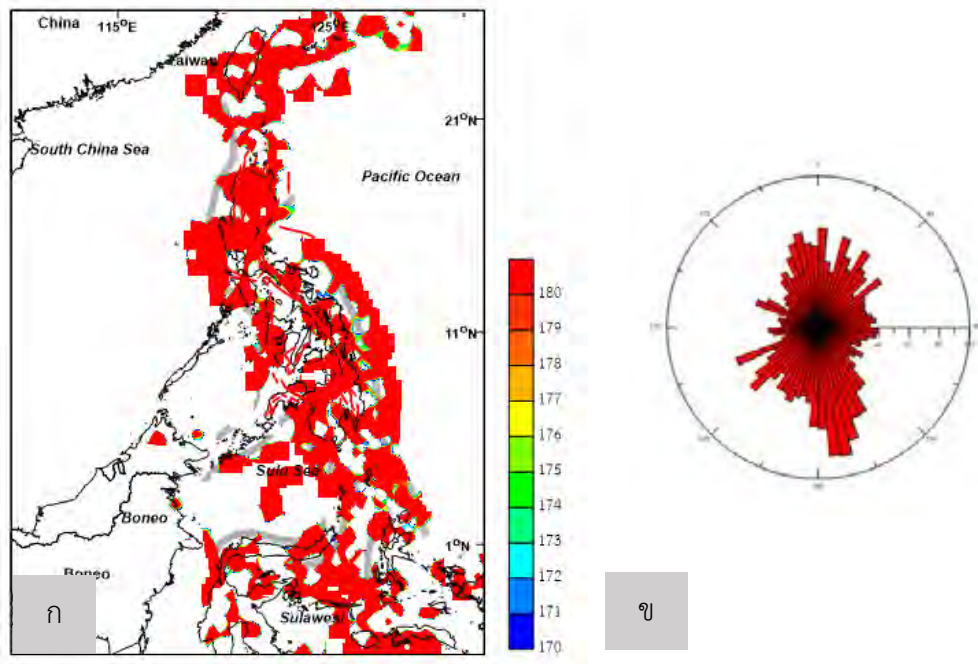
(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงมุมคายของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

**รูปที่ 3.11** มุมคาย (rake) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

### 3.3.2. แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)

- ค่าการวางตัว (strike)

การวางตัวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 180 องศา ตามแนวเขตมุดตัววางตัวในแนวเหนือใต้ (ดังรูปที่ 3.12 ก) และแผนภาพกุหลาบแสดงค่าการวางตัวของเขตมุดตัวก็พบว่ามีการกระจายตัวตั้งแต่ 0 – 360 องศา แต่ส่วนมากมีค่าประมาณ 170 – 180 (ดังรูปที่ 3.12 ข) จะเห็นได้ว่าค่าการวางตัว (strike) มีทิศทางในแนวเหนือ - ใต้ ตามแนวเขตมุดตัวของเปลือกโลกและรอยเลื่อนภายในทวีป



หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

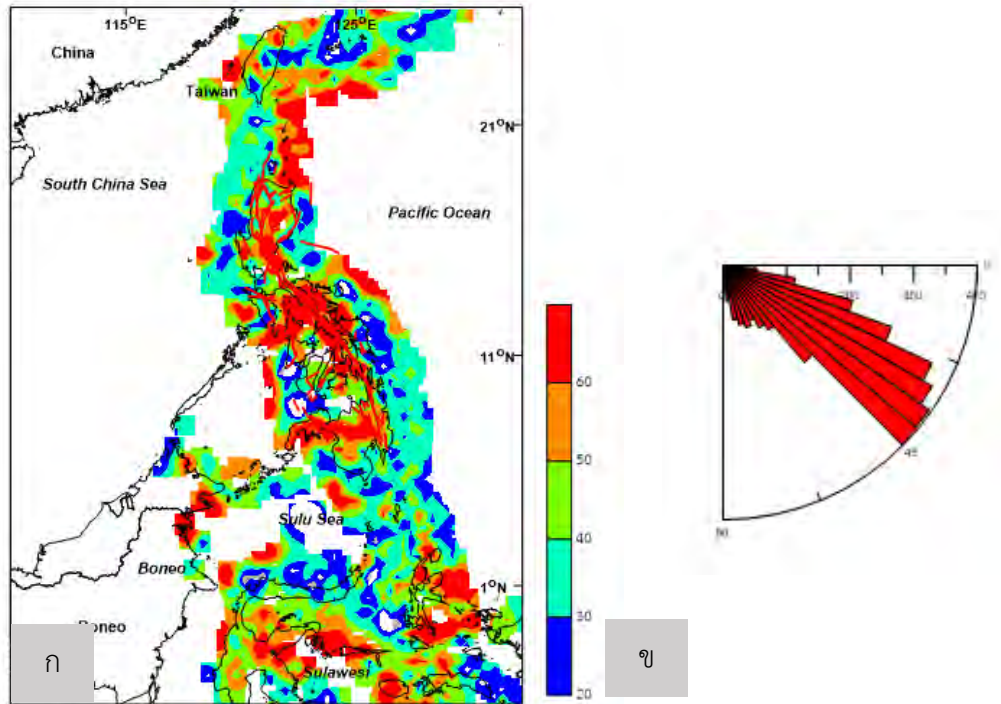
(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงการวางตัวของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

รูปที่ 3.12 ค่าการวางตัว (strike) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

- มุมเท (Dip)

มุมเทมีอยู่ที่ 20 – 60 องศา (ดังรูปที่ 3.13 ก) ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่ประมาณ 40-45 องศา บริเวณตอนบนและตอนล่างของพื้นที่มีมุมเอียงเทค่อนข้างต่ำกว่าตอนกลางของพื้นที่ซึ่งเป็นรอยเลื่อนภายในทวีป ส่วนแผนภาพกุหลาบ (ดังรูปที่ 3.13 ข) ที่ค่าของมุมเอียงของพื้นที่อยู่ที่ประมาณ 30 – 60 องศา และค่าเฉลี่ย 45 องศา





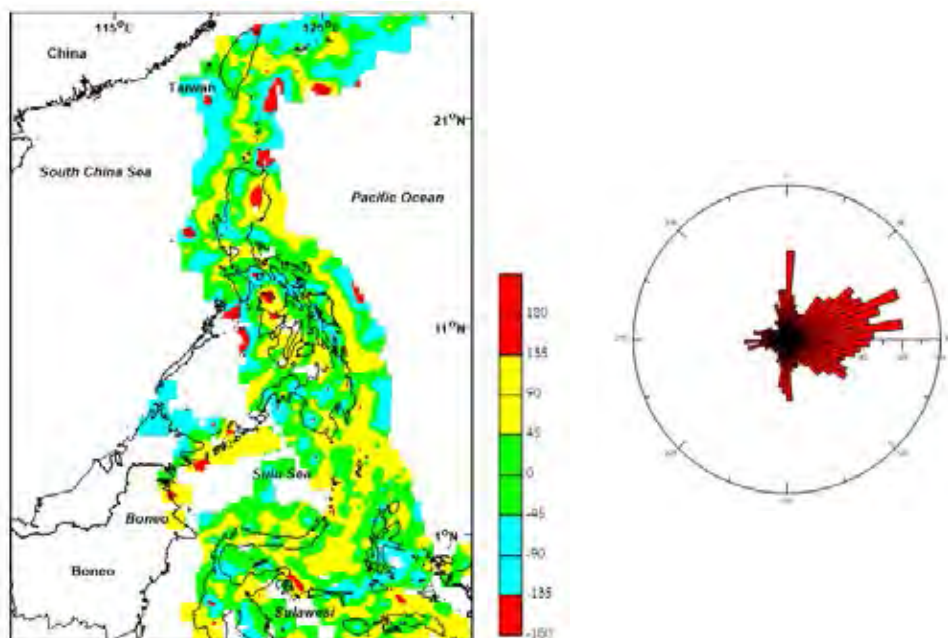
หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงมุมเทของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงมุมเทของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

**รูปที่ 3.13** มุมเท (dip) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

- มุมคาย (rake)

มุมคายหรือมุมคายเศษ (rake) คือมุมเศษที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งค่าของมุมคายสามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบ ในการเตรียมข้อมูลเกี่ยวกับค่ามุมคายในงานวิจัยนี้มีค่า -180 ถึง 180 องศา



หมายเหตุ: (ก) แผนที่แสดงมุมคายของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

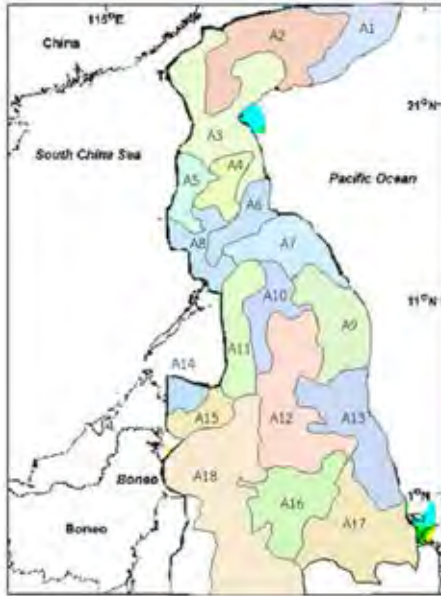
(ข) แผนภาพลูกบอลแสดงมุมคายของเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

**รูปที่ 3.14** มุมคาย (rake) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) พื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

ชุดข้อมูลสถิติต่าง ๆ ที่ได้ในขั้นตอนนี้จะเป็นฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาในกระบวนการแบ่งพื้นที่ย่อย (segmentation) เพื่อสร้างแผนภาพลูกบอลชายหาดเป็นตัวแทนของพื้นที่ย่อยนั้น ๆ และนำมาวิเคราะห์ถึงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวต่อไป

### 3.4. การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหว (earthquake segmentation)

การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวเพื่อจัดกลุ่มหรือบริเวณที่มีพฤติกรรมแผ่นดินไหวแบบเดียวกันเข้าไว้ด้วยกัน ถือเป็นส่วนที่สำคัญมากของงานวิจัยนี้เนื่องจากแบ่งพื้นที่ย่อยเพื่อสร้างแบบจำลองลูกบอลชายหาด (beach ball diagram) หากผิดพลาดจะทำให้การสร้างแบบจำลองลูกบอลชายหาดนั้นมีความคลาดเคลื่อนสูง



หน่วย	พื้นที่ย่อย
A1	เขตมุดตัวริวกิว
A2	หมู่เกาะไต้หวัน
A3	ตอนใต้ของหมู่เกาะไต้หวัน
A4	ตอนเหนือของหมู่เกาะฟิลิปปินส์
A5	ร่องลึกก้นสมุทรมะลีนา
A6	นครหลวงมะนิลา
A7	เขตมุดตัวฟิลิปปินส์
A8	ร่องลึกก้นสมุทรมะลีนา 2
A9	ด้านตะวันออกของเขตมุดตัวฟิลิปปินส์
A10	ร่องลึกก้นสมุทรซูลูอาซิเฟลาโก
A11	ร่องลึกก้นสมุทรปลาวัน
A12	ร่องลึกก้นสมุทรซูลูอาซิเฟลาโก 2
A13	เขตมุดตัวของแผ่นทะเลฟิลิปปินส์
A14	เกาะบอร์เนียวตอนเหนือ
A15	เกาะบอร์เนียว
A16	เขตมุดตัวซันเกิ้ลดับเบิล
A17	เขตมุดตัวฮัลมาฮีรา
A18	สุลาเวสีตอนบน

หมายเหตุ : (ซ้าย) แผนที่แสดงพื้นที่ย่อย (ขวา) ตารางของชื่อพื้นที่ย่อย

รูปที่ 3.15 พื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก



หน่วย	พื้นที่ย่อย
B1	ร่องลึกก้นสมุทรริวกิว
B2	ร่องลึกก้นสมุทรมะลีนา
B3	ร่องลึกก้นสมุทรปลาวัน
B4	ร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซาสา

หมายเหตุ : (ซ้าย) แผนที่แสดงพื้นที่ย่อย (ขวา) ตารางชื่อพื้นที่ย่อย

รูปที่ 3.16 พื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก

## บทที่ 4

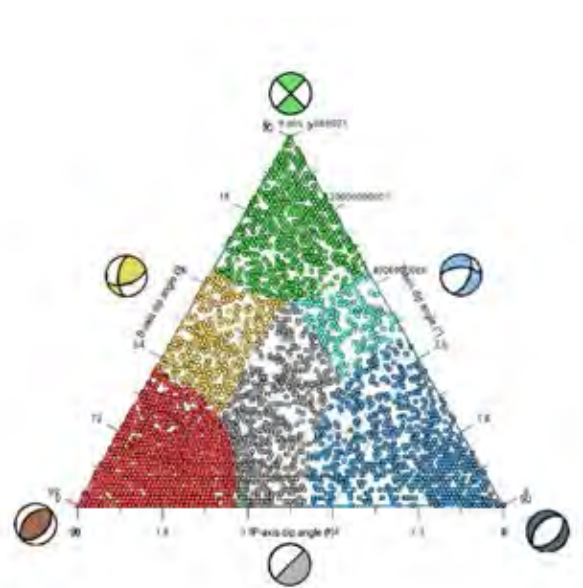
### กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

#### (FOCAL MECHANISM OF THE SUBDUCTION, PHILIPPINE ISLANDS)

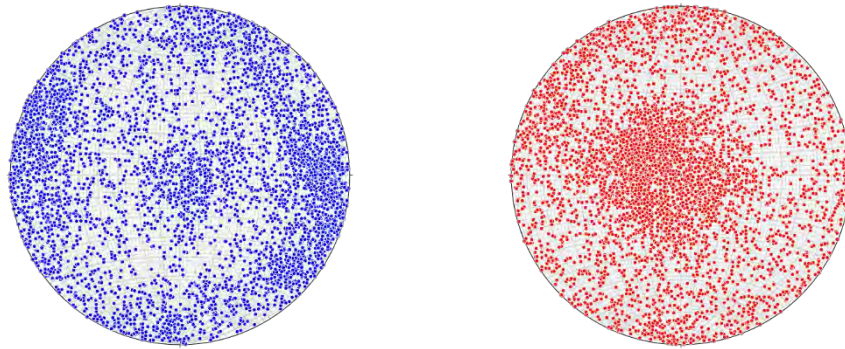
กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ แบ่งพื้นที่ย่อยตามชนิดของแผ่นดินไหว 2 ชนิดคือ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)

#### 4.1. กลไกการเกิดแผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษา (Focal mechanism of study area)

แผนภูมิสามแกน (ternary diagram) แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (ดังรูปที่ 4.1) แผ่นดินไหวส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ซึ่งสอดคล้องกับแนวเขตมุดตัวของเปลือกโลก นอกจากนี้ยังพบรอยเลื่อนผ่านกัน (transform fault) และรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ซึ่งอาจจะเกิดการเหลื่อมกันของแนวมุดตัว เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาพลอตลงแผนภาพโครงร่างตาข่าย (stereo net) แสดงความเค้นของธรณีแปรสัณฐานของพื้นที่ (ดังรูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 แผนภูมิสามแกนแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์ของพื้นที่ศึกษา

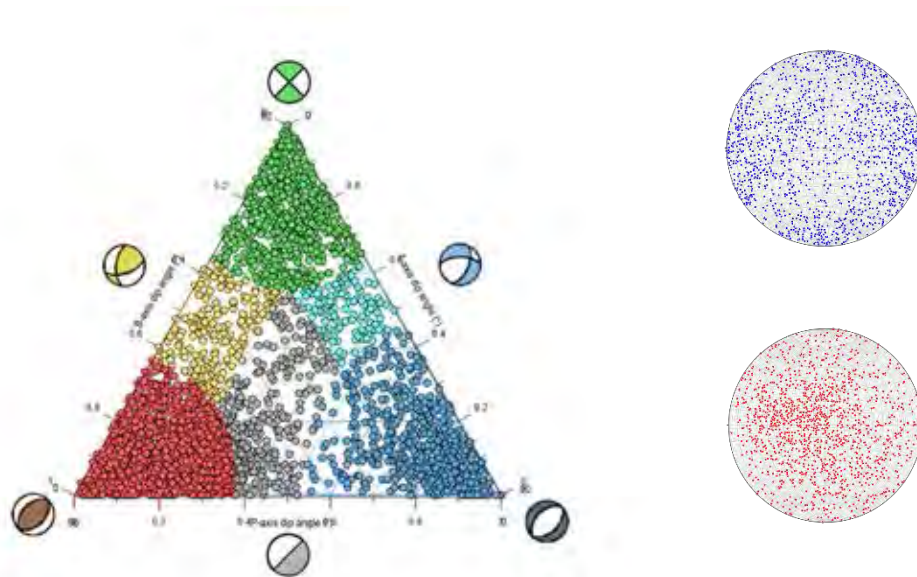


หมายเหตุ : (ก) แกน P (ข) แกน T

รูปที่ 4.2 จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดในแกนต่าง ๆ

#### 4.2. แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)

แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก มีจำนวนเหตุการณ์ 2,225 เหตุการณ์ กลไกที่เกิดส่วนใหญ่เป็นรอยเลื่อนย้อน (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) แบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 18 พื้นที่ นอกจากนี้ยังมีบางส่วนที่แสดงผลเป็นรอยเลื่อนปกติ และรอยเลื่อนแนวระดับ



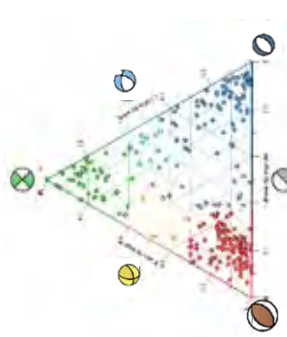
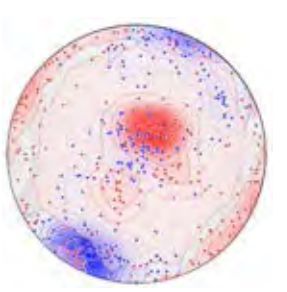
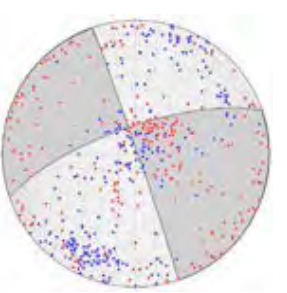
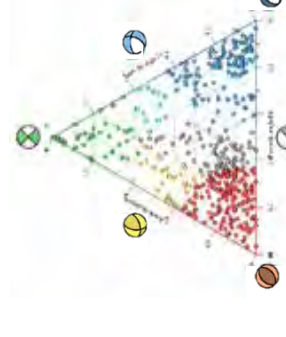
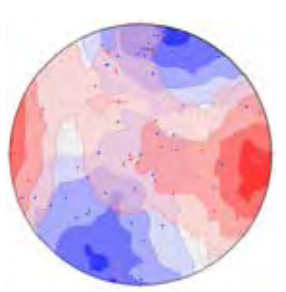
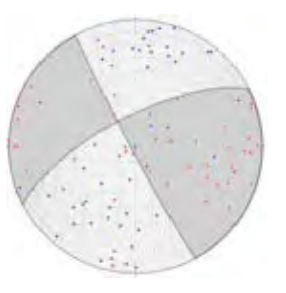
หมายเหตุ : (ก) แผนภาพสามเหลี่ยม (ข) แกน P (ค) แกน T

รูปที่ 4.3 ผลการศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก


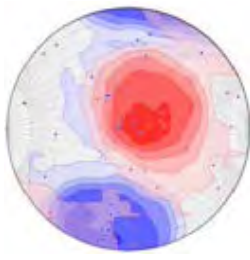
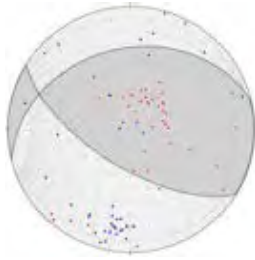
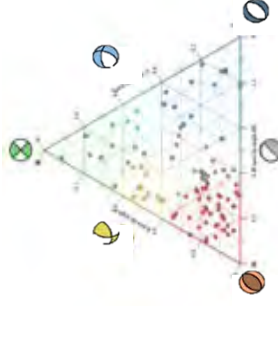

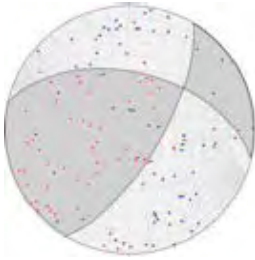
**ตารางที่ 4.1** แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 1-2 ของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายหาค (Beach ball diagram)	คำนวณการรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A1 - เขตมุดตัวริวกิว (Ryukyu trench) 36 เหตุการณ์				1	113.1	10.8	-027.2
				2	229.9	85.7	-080.4
A2 - หมู่เกาะไต้หวัน (Taiwan islands) 36 เหตุการณ์				1	166.4	36.7	023.3
				2	057.3	76.3	124.4

ตารางที่ 4.2 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 3-4 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก


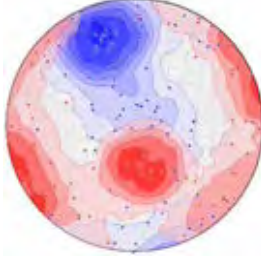
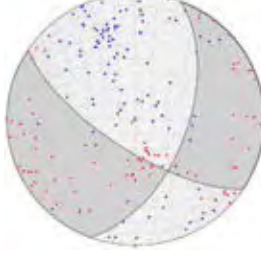
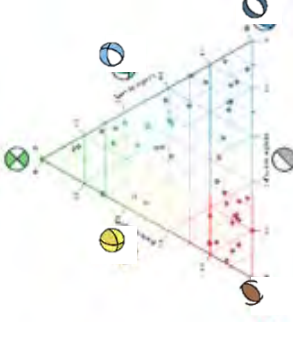
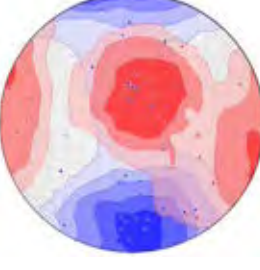

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายหด (Beach ball diagram)	ค่านิยมบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A3 – ตอนใต้ของหมู่ เกาะใต้หัว 275 เขตการณ				1	340.9	73.0	-001.3
				2	071.3	88.8	016.7
A4 – ตอนเหนือของหมู่ เกาะฟิลิปปินส์ 49 เขตการณ				1	332.8	70.4	002.8
				2	241.9	87.4	160.4

ตารางที่ 4.3 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 5-6 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก


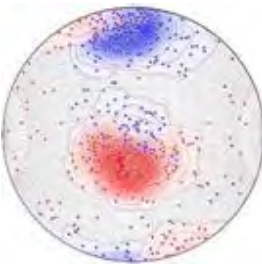
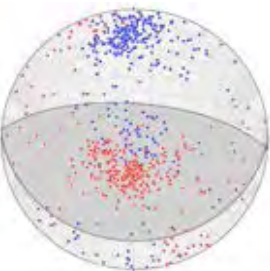
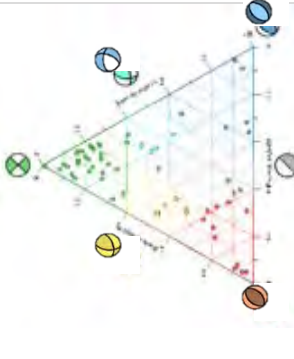
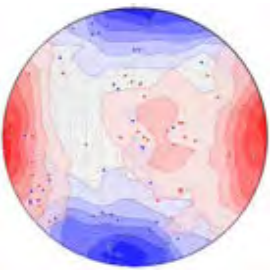
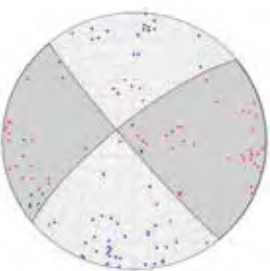
พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลชทายาท (Beach ball diagram)	คำนวณการรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A5 ร่องลึกกันสมุทรเมนิลา 40 เหตุการณ์				1	345.8	33.9	049.2
				2	211.9	55.0	113.7
A6 นครหลวงเมนิลา 64 เหตุการณ์				1	013.2	030.7	153.1
				2	127.3	69.4	041.8




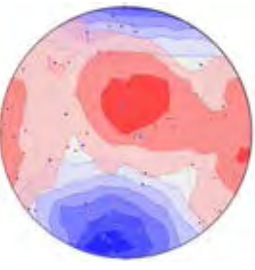
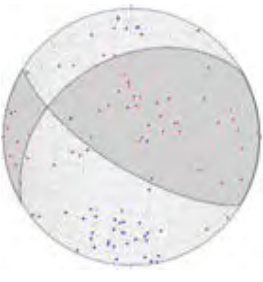
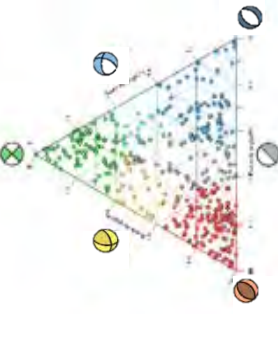
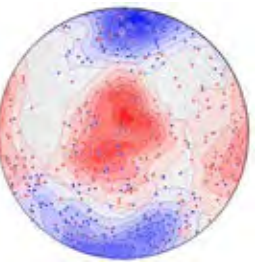
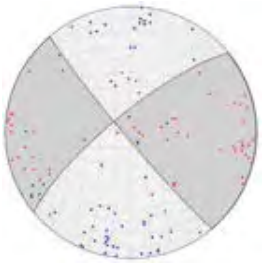
ตารางที่ 4.4 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 7-8 ของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายหด (Beach ball diagram)	คำนวณการรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A7 เขตมุดตัวฟิลิปปินส์ 94 เหตุการณ์				1	110.4	57.0	-023.3
				2	203.6	70.6	035.2
A8 ร่องลึกกับสมุทรมะนิลา 2 เหตุการณ์				1	315.5	51.1	011.3
				2	218.6	81.9	143.6

ตารางที่ 4.5 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 9-10 ของแผ่นดินไหวที่ เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลชยายทาด (Beach ball diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A9 ด้านตะวันออกของ เขตมุดตัวฟิลิปปินส์ 335 เหตุการณ์				1	181.4	085.7	087.4
				2	000.3	091.4	091.1
A10 ร่องลึกก้นสมุทรรูลูอาซี เพลาโก 65 เหตุการณ์				1	320.7	77.5	003.9
				2	229.6	86.2	167.4

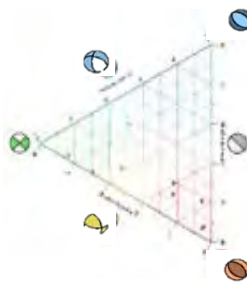

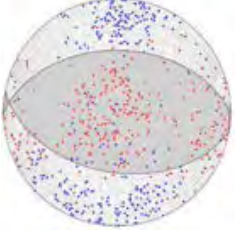
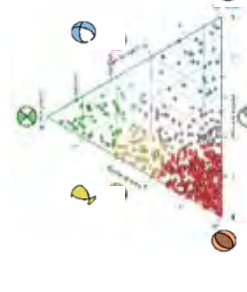
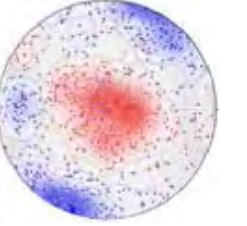
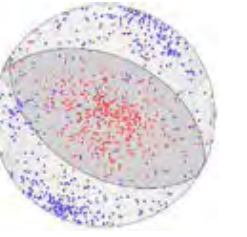
ตารางที่ 4.6 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 11-12 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายขาด (Beach ball diagram)	คำนวณาบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A11 ร่องลึกกันสมุทร ปาลาวัน 48 เหตุการณ์				1	329.2	38.0	033.1
				2	212.1	74.4	132.2
A12 ร่องลึกกันสมุทรซูลาซี เฟลโก้ 312 เหตุการณ์				1	000.1	44.4	082.7
				2	193.0	46.0	091.2


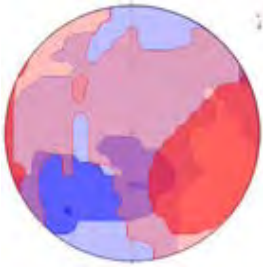

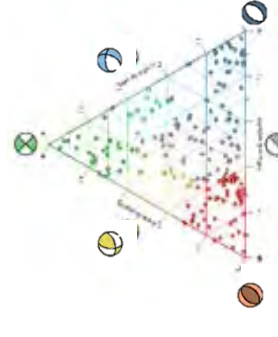
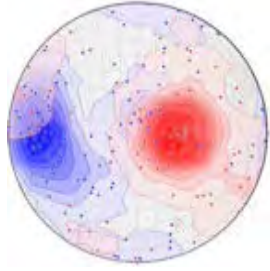
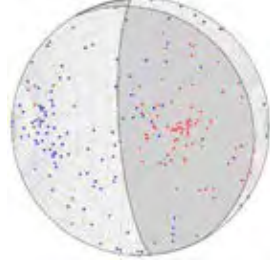
ตารางที่ 4.7 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 13-14 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายทาด (Beach ball diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A13 เขตมุดตัวของ เปลือกโลกฟิลิปปินส์ 312 เหตุการณ์				1	193.4	32.0	94.2
				2	008.5	58.1	81.4
A14 เกาะบอร์เนียว ตอนเหนือ 3 เหตุการณ์				1	069.6	56.2	159.8
				2	171.2	73.2	039.5

**ตารางที่ 4.8** แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 15-16 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

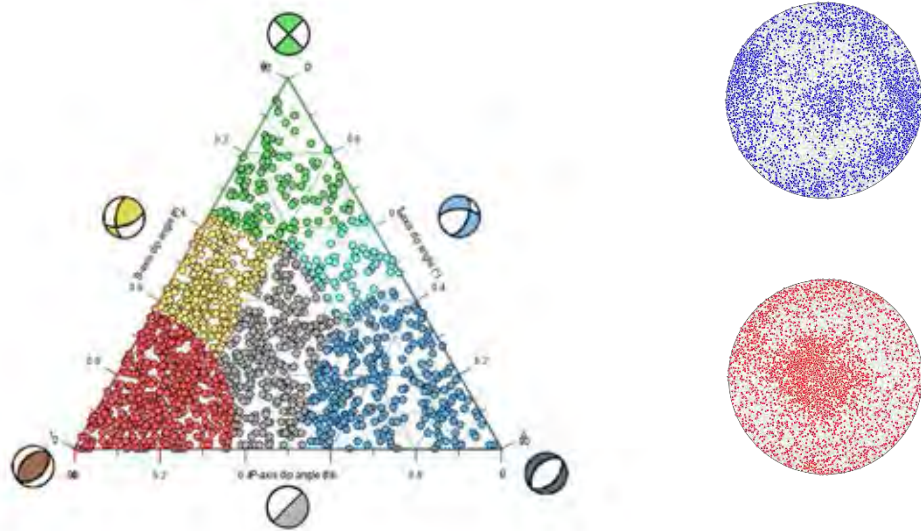
พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายหด (Beach ball diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A15 เกาะบอร์เนียว 5 เหตุการณ์				1	167.2	43.5	097.4
				2	337.0	46.9	083.0
A16 เขตมุดตัวของ เปลือกโลกชั้นกิตต์บีต 503 เหตุการณ์				1	023.9	44.4	083.9
				2	212.4	44.6	095.9

ตารางที่ 4.9 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 17-18 ของแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายหด (Beach ball diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A17 เขตมุดตัวของเปลือกโลก โลกอัลดมาฮีรา 89 เหตุการณ์				1	340.2	51.0	-005.4
				2	073.6	85.8	039.1
A18 สุลาเวสีตอนบน 104 เหตุการณ์				1	060.2	14.8	065.1
				2	265.9	76.6	096.3

#### 4.3. แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในช่วงชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)


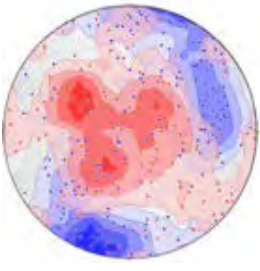
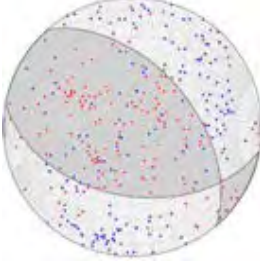
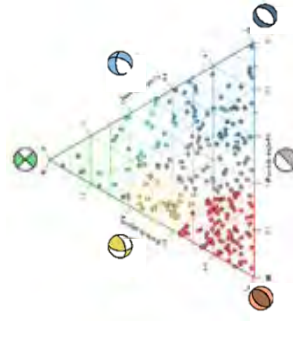
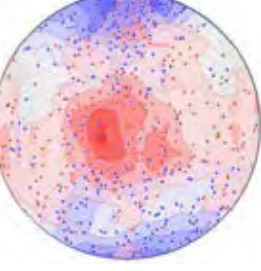
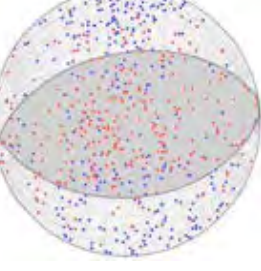
แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในช่วงชั้นเนื้อโลก มีจำนวนเหตุการณ์ 919 เหตุการณ์ กลไกที่เกิดส่วนใหญ่เป็นรอยเลื่อนย้อน (ดังแสดงในรูปที่ 4.4) แบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 4 พื้นที่ นอกจากนี้ยังมีบางส่วนที่แสดงผลเป็นรอยเลื่อนปกติ และรอยเลื่อนแนวระดับ กระจายตัวน้อยลงตามลำดับ



หมายเหตุ : (ก) แผนภาพสามเหลี่ยม (ข) แกน P (ค) แกน T

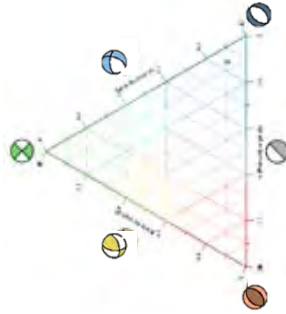
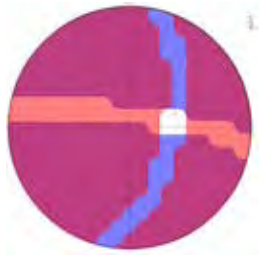

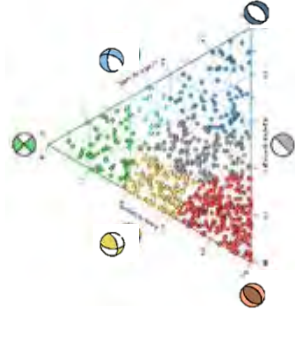
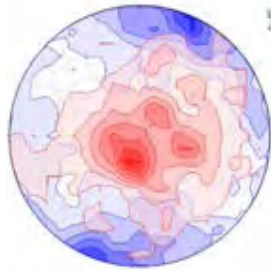
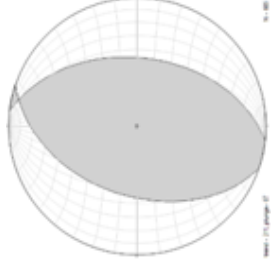
รูปที่ 4.4 ผลการศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในช่วงชั้นเนื้อโลก

ตารางที่ 4.10 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 1-2 ของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใต้มหาสมุทรอินเดีย

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลของสายขาด (Beach ball diagram)	คำนวณบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
B1 ร่องลึกกันสมุทรริวกิว 169 เหตุการณ์				1	190.6	45.6	060.6
				2	049.4	91.5	116.6
B2 ร่องลึกกันสมุทรมะนิลา 298 เหตุการณ์				1	177.8	42.7	96.5
				2	348.9	47.6	84.0



ตารางที่ 4.11 แผนภาพลูกบอลของพื้นที่ย่อยที่ 3-4 ของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มีจุดลงไปใหม่ซึ่งเหนือโลก

พื้นที่ย่อย (Sub-region)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary diagram)	แผนภาพระดับความสูง (Contour diagram)	แผนภาพลูกบอลขยายหด (Beach ball diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault plane solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
B3 ร่องลึกกันสมุทร ปาลาวัน 1 เหตุการณ์				1	052.0	64.0	96.5
				2	148.7	76.5	84.0
B4 ร่องลึกกันสมุทร มินาฮาซาสา 685 เหตุการณ์				1	199.1	45.1	099.0
				2	006.5	45.6	081.1

## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

#### (DISCUSSION AND CONCLUSION)

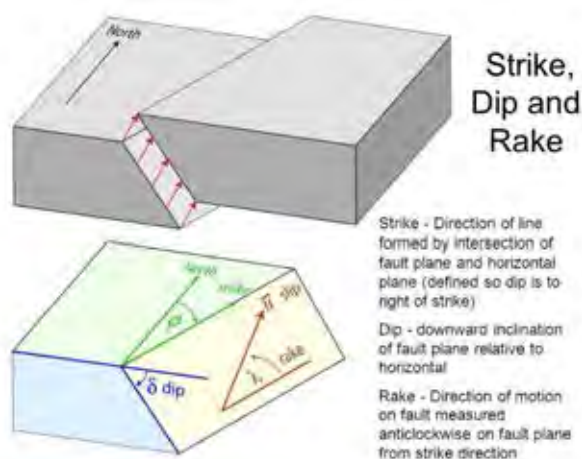
#### 5.1. แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)

##### 5.1.1. แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก

แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลกเป็นแผ่นดินไหวที่มีความสำคัญที่สุดของการศึกษานี้ เนื่องจากใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการเกิดสึนามิของพื้นที่ศึกษา แบ่งเป็น 18 พื้นที่ย่อยตามค่ามุมเทในกระบวนการจัดทำชุดข้อมูล ซึ่งค่ามุมเทเป็นค่าที่นำมาอ้างอิงในการจัดทำแผนภาพลูกบอลชายหาด (ดังตารางที่ 5.1)

ตารางที่ 5.1 ชนิดของรอยเลื่อนกับค่ามุมเท (Cronin, 2004)

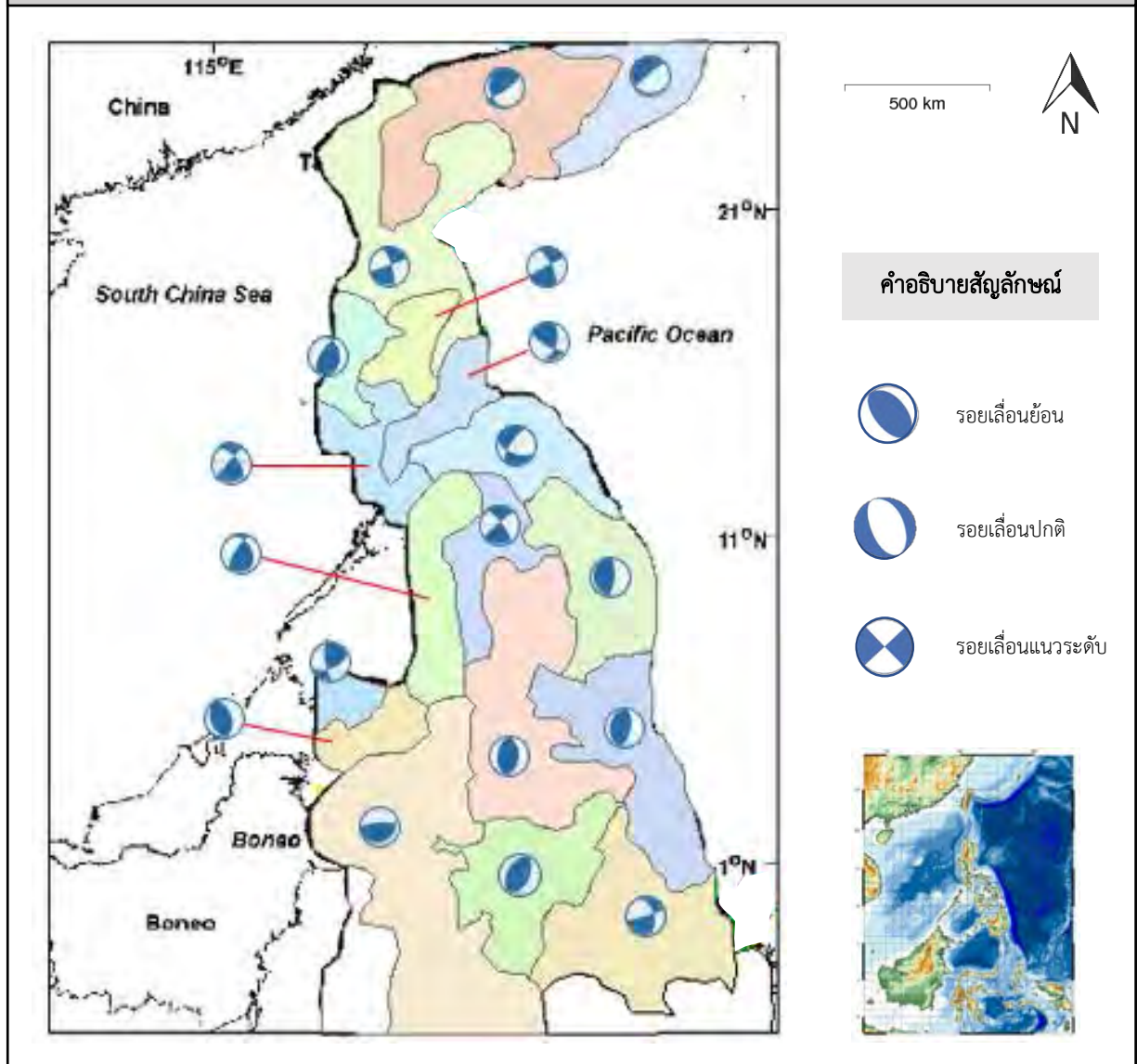
Rake of slip	Fault type
0 or 180	pure strike-slip
90	pure dip-slip reverse
-90	pure dip-slip normal
-20 to 20	left-lateral strike-slip
20 to 70	reverse left-lateral oblique
70 to 110	reverse
110 to 160	reverse right-lateral oblique
-160 to 160	right-lateral strike-slip
-110 to -160	normal right-lateral oblique
-70 to -110	normal
-20 to -70	normal left-lateral oblique



**รูปที่ 5.1** แบบจำลองแสดงแนวการวางตัว มุมเท และมุมคาย (Cronin, 2004)

จากตารางที่ 5.1 แสดงชนิดของรอยเลื่อนกับค่ามุมเท (Cronin, 2004) ทำให้สามารถแบ่งพื้นที่ย่อยของพื้นที่ศึกษาตามกลไกการเกิดแบบคร่าว ๆ ซึ่งการพิจารณาการแบ่งพื้นที่ย่อยนั้น อ้างอิงจากค่าการกระจายตัวทางสถิติเป็นเกณฑ์ในการแบ่งและจัดทำแผนภาพลูกบอลขยายหาคัด และรูปที่ 5.1 ซึ่งอธิบายถึงมุมคาย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวในการศึกษานี้ โดยมุมคายเป็นมุมที่ผนังชั้นหินเพดาน (hanging wall) กระทบกับค่ามุมเท (dip) ในการศึกษาแผ่นดินไหว ค่ามุมคายจะมีความสัมพันธ์กับรูปแบบและอัตราเลื่อนตัวของรอยเลื่อน จากแนวความคิดดังกล่าวทำให้พื้นที่ย่อยของการศึกษานี้ถูกแบ่งออก 18 พื้นที่ย่อย ผลการศึกษาพบว่ารอยเลื่อน กลุ่มรอยเลื่อนที่อยู่บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกเป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) เป็นส่วนมาก บางส่วนเป็นรอยเลื่อนแบบผสม ทั้งแบบชนิดที่มีแรงดึงมากและแรงอัดมาก แนวรอยเลื่อนและกลุ่มรอยเลื่อนมีการวางตัวในแนวเหนือ ใต้ เป็นส่วนใหญ่

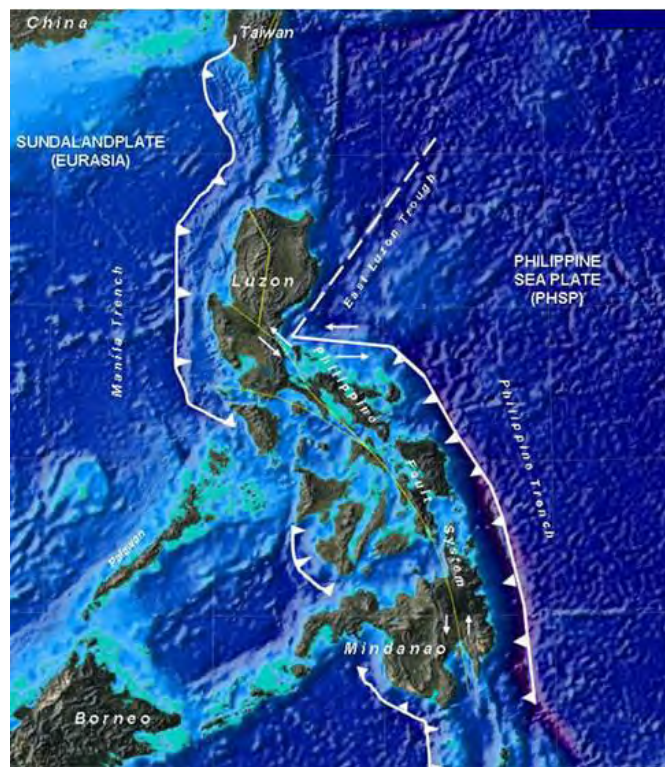
แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์



รูปที่ 5.2 แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก

### 5.1.2. อภิปรายผลการศึกษา (Discussion)

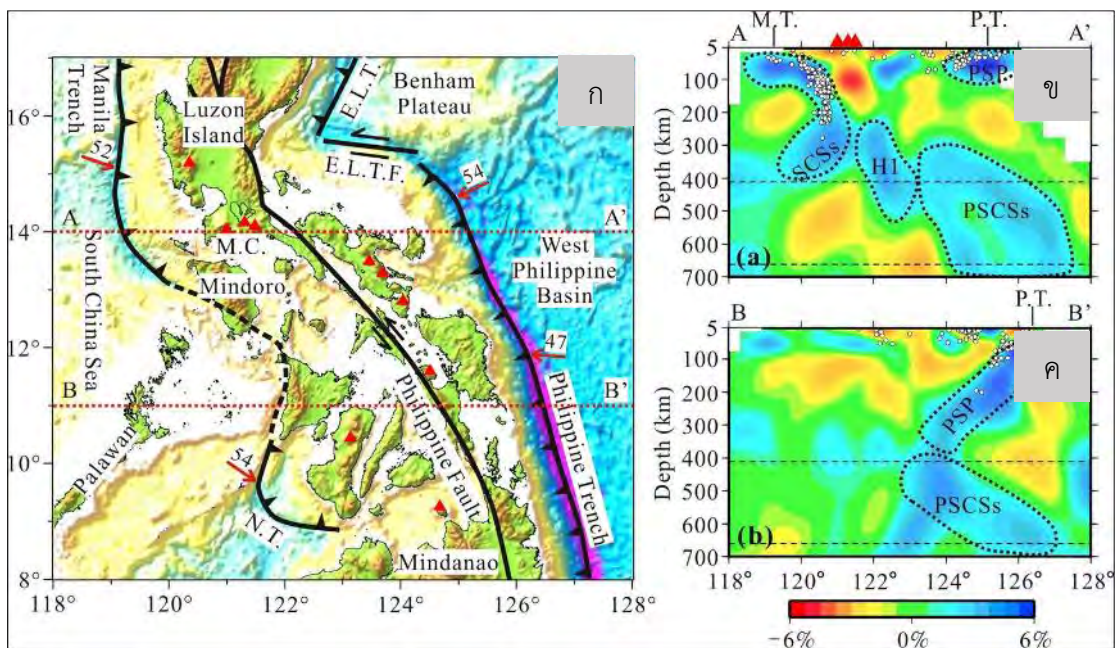
จากการวิจัยของ Galgana et al. (2007) ศึกษาธรณีแปรสัณฐานพื้นที่เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์พบว่าพื้นที่ฟิลิปปินส์เป็นพื้นที่ที่เกิดจากการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลกยูเชียและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ โดยพื้นที่มีซับซ้อนและมีแนวเขตมุดตัวต่าง ๆ จากเหนือ - ใต้ จากรูปที่ 5.3 แนวด้านตะวันตกที่เป็นแนวยาวทอดลงมาจากหมู่เกาะไต้หวันคือ แนวร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา (Manila trench) ด้านทิศใต้เป็น ร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซาสา (Minahassa trench) ด้านตะวันออกเฉียงเหนือคือ แนวร่องลึกลูซอนตะวันออก (East Luzon trench) ถัดมาเป็นร่องลึกก้นสมุทรฟิลิปปินส์ ซึ่งเป็นแนวร่องลึกก้นสมุทรที่ยาวที่สุดของพื้นที่ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำมาอธิบายธรณีสัณฐานของพื้นที่เป็นรอยเลื่อนที่มีลักษณะใด ร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา ร่องลึกก้นสมุทรฟิลิปปินส์ เป็นรอยเลื่อนย้อน ส่วนร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซาสาเป็นรอยเลื่อนที่ไม่เป็นระนาบและมุมเท (oblique – slip fault) ตอนบนของพื้นที่ศึกษาแสดงแนวการมุดตัวที่ชัดเจนทั้งส่วนที่แสดงของแนวแรงและทิศทางการชนกัน ส่วนตอนใต้มีทิศทางแสดงแนวแรงหลายทิศทาง ทำให้จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่าการมุดตัวของสองแผ่นเปลือกโลกไม่ได้มุดเป็นแนวเดียวกันทั้งหมดของเขตมุดตัว



รูปที่ 5.3 เขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ (Galgana et al., 2007)

หากอภิปรายผลการศึกษาร่วมกับงานวิจัยของ Galgana et al. (2007) จะทราบชนิดรอยเลื่อน ลักษณะการเคลื่อนตัวของแนวร่องลึกก้นสมุทรม แต่บางบริเวณของผลการศึกษาไม่ได้อยู่ในแนวร่องลึกก้นสมุทรรหรือแนวธรณีสัณฐานที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว หรือบางบริเวณที่มีความซับซ้อนของกลไกการเกิดแผ่นดินไหว เช่น บริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา จะเป็นบริเวณที่มีความคลุมเครือและไม่ชัดเจน

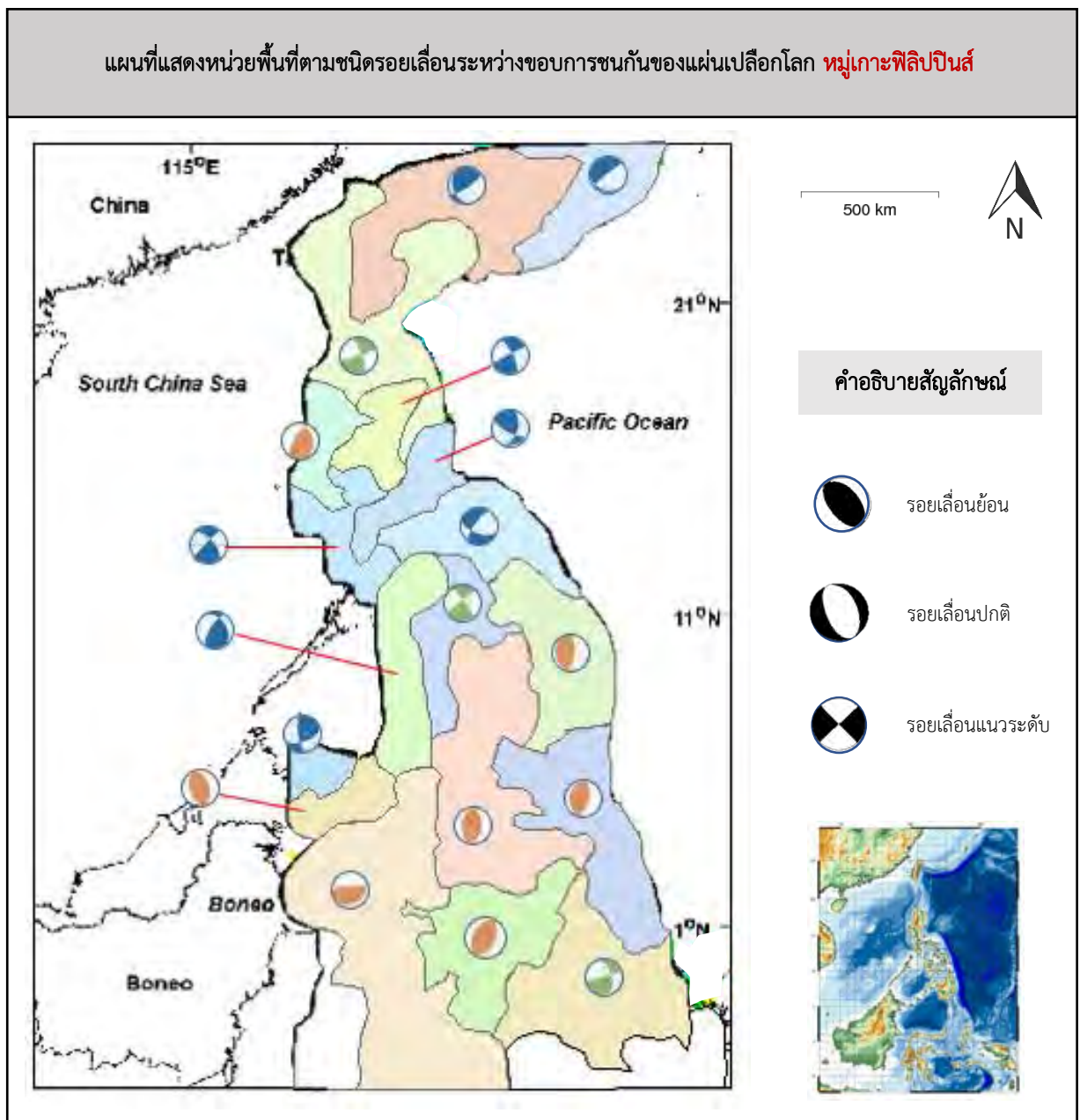
จากการวิจัยของ Fen et al. (2017) ที่ศึกษาถึงการแปรสัณฐานภายใต้พื้นที่หมู่เกาะฟิลิปปินส์ บริเวณภาคพื้นทวีป จากวิธีการทางโทรมสัมพันธ์และสนามเหล็กพบว่าบริเวณตอนกลางของพื้นที่เป็นบริเวณรอยเลื่อนแนวระดับจากตอนเหนือของพื้นที่ซึ่งเป็นรอยต่อกับหมู่เกาะไต้หวัน เมืองมะนิลา ลูซอน มินโดโร จนถึงมินดาเนา บริเวณด้านตะวันออกเป็นร่องลึกก้นสมุทรมฟิลิปปินส์ ตะวันตกเป็นร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา และตอนใต้ของพื้นที่เป็นพื้นที่ที่มีอนุแผ่นทวีปซึ่งใช้ชื่อว่า แผ่นทะเลจีนใต้ (South China block) ชนกับแนวร่องลึกก้นสมุทรมปาลาวัน (Palawan trench) ทำให้เกิดเป็นรูปร่างและแนวเส้นรอยเลื่อนและเกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้ง (ดังรูปที่ 5.4) ทิศทางส่วนใหญ่จึงเป็นไปตามแนวทิศตะวันตก - ตะวันออก รูปร่างของสัณฐานของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ที่เป็นภาคพื้นทวีปจึงเป็นไปตามแนวเขตมุดตัว



หมายเหตุ : (ก) แนวร่องลึกก้นสมุทรม (ข) ภาคตัดขวางที่ 1 (ค) ภาคตัดขวางที่ 2

รูปที่ 5.4 พื้นที่แนวธรณีสัณฐานที่เกิดตามแนวเขตมุดตัวของเปลือกโลกหมู่เกาะฟิลิปปินส์ โดยการศึกษาจากโทรมสัมพันธ์และสนามแม่เหล็ก (Fen et al., 2017)

จากการอภิปรายผลทำให้แบ่งพื้นที่ศึกษาตามกลไกของรอยเลื่อนได้ (ดังรูปที่ 5.5) โดยแบ่งเป็น 4 พื้นที่คือ 1) พื้นที่รอยเลื่อนย้อน (สีแดง) ซึ่งบริเวณนี้จะมีความรุนแรงของพิบัติภัยแผ่นดินไหวสูงที่สุด มีการเลื่อนตัวในแนวตั้ง 2) พื้นที่รอยเลื่อนที่ไม่เป็นแนวตั้งและแนวระนาบ (สีน้ำเงิน) เป็นกลุ่มพื้นที่ที่มีการเลื่อนตัวแบบผสม มีความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวในระดับปานกลาง 3) พื้นที่รอยเลื่อนแนวระดับ (สีเขียว) เป็นพื้นที่ที่มีความรุนแรงของพิบัติภัยแผ่นดินไหวในระดับต่ำ ส่วนมากความเสียหายเกิดจากสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากบริเวณนี้เป็นพื้นที่ที่มีคนอยู่อาศัย



รูปที่ 5.5 หน่วยพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก

### 5.1.3. ความเสี่ยงของการเกิดคลื่นสึนามิของพื้นที่

คลื่นสึนามิส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากบริเวณขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศใต้ทะเลในแนวตั้งอย่างฉับพลัน หรือการเลื่อนตัวในแนวตั้งของรอยเลื่อนกลุ่มรอยเลื่อน และแนวเขตมุดตัวต่าง ๆ และแผ่นดินไหวขนาดมากกว่า 7.0 มีพลังงานที่ก่อให้เกิดคลื่นสึนามิได้ (Levin and Nosov, 2016) แต่ก็ไม่ใช่ว่าทุกเหตุการณ์ เช่น แผ่นดินไหวที่เกิดขนาด 8.0 แต่กลไกการเกิดเป็นรอยเลื่อนแนวระดับ การเกิดแผ่นดินไหวในลักษณะนี้ก็ไม่ก่อให้เกิดคลื่นสึนามิได้ และ Charusiri and Pailoplee (2015) ได้ประเมินชนิดของแผ่นดินไหวที่สามารถทำให้เกิดสึนามิของพื้นที่หมู่เกาะฟิลิปปินส์อยู่ที่ 40 – 60 กิโลเมตร ซึ่งถือว่าเป็นแผ่นดินไหวในระดับตื้น จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้นำผลการศึกษาของข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก มาหาพื้นที่ความเสี่ยงที่จะเกิดสึนามิได้

จากการศึกษาของ Well and Coppersmith (1994) เกี่ยวกับทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวกับการเลื่อนตัวในแนวราบ

$$\log (AD) = -4.80 + 0.69 M \quad (1)$$

โดย M คือระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวในการศึกษานี้ใช้ขนาดของแผ่นดินไหว 7.6 เนื่องจากเป็นขนาดที่ต่ำที่สุดที่ก่อให้เกิดสึนามิได้ (U.S. Geological Survey, 2016) ซึ่งการเลื่อนตัวในแนวราบเท่ากับ 2.78 ระยะการเลื่อนตัวในแนวราบนี้เป็นระยะในแนวระดับของพื้นที่ โดยจะต้องคำนวณหาระยะเลื่อนตัวในแนวตั้ง หรือระยะเลื่อนตัวบนแนวรอยเลื่อนจากค่ามุมเทและค่ามุมคาย และจากรูปที่ 5.6 คือแบบจำลองรูปทรงเรขาคณิตแสดงพื้นที่แผ่นดินไหว การเลื่อนตัวในแนวตั้งของรอยแตกหาได้จาก

$$u_d = AD \times \sin(\lambda) \quad (2)$$

เมื่อ  $u_d$  คือค่ามุมเท  $\lambda$  คือค่ามุมคาย และจากสมการ

$$VS = u_d \times \sin(\delta) \quad (3)$$

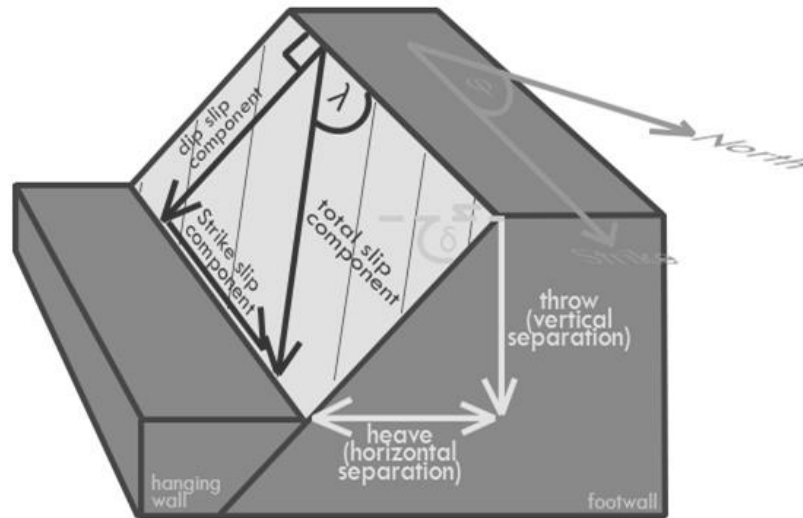
เมื่อ VS คือระยะการเลื่อนตัวในแนวตั้ง  $\delta$  คือค่ามุมเท

จากสมการข้างต้นจะหาค่าระยะการเลื่อนตัวในแนวตั้งได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ (2) และ (3) ซึ่งเป็นไปดังนี้



$$VS = AD \times \sin(\lambda)\sin(\delta) \quad (4)$$

ค่าดังกล่าวมาเทียบถึงระดับความสูงของสึนามิ โดยค่าที่ได้จะแปรผกผันต่อความสูงของคลื่น



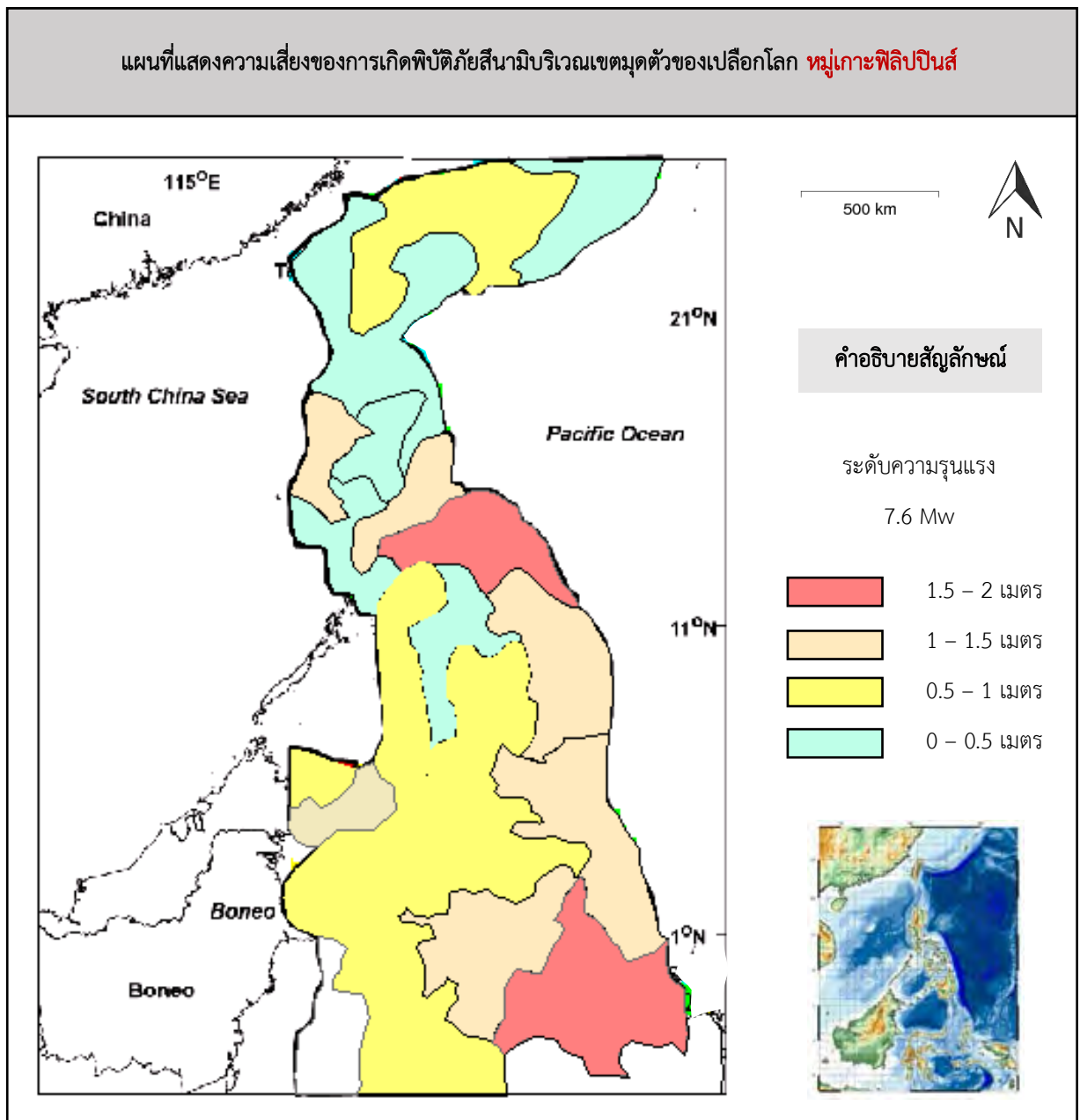
หมายเหตุ :  $\phi$  = ค่าการวางตัว,  $\delta$  = มุมเท  $\lambda$  = มุมคาย

รูปที่ 5.6 แบบจำลองรูปทรงเรขาคณิตบริเวณรอยเลื่อนปกติ (Maher, 2017)

ตารางที่ 5.2 ตัวแปรที่นำมาใช้ในการหาความเสี่ยงของพิบัติภัยสึนามิในพื้นที่

หน่วย	พื้นที่ย่อย	มูมเท	มูมคาย	ระยะการเลื่อนตัว แนวตั้ง
A1	เขตมุดตัวริวกิว	10.8	27.2	0.24
A2	หมู่เกาะใต้หวัน	36.7	23.3	0.65
A3	ตอนใต้ของหมู่เกาะใต้หวัน	73	1.3	0.06
A4	ตอนเหนือของหมู่เกาะฟิลิปปินส์	70.4	2.8	0.13
A5	ร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา	33.9	49.2	1.17
A6	นครหลวงมะนิลา	30.7	153.1	0.64
A7	เขตมุดตัวฟิลิปปินส์	57	-23.3	-0.92
A8	ร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา 2	51.1	11.3	0.42
A9	ด้านตะวันออกของเขตมุดตัวฟิลิปปินส์	85.7	87.4	2.76
A10	ร่องลึกก้นสมุทรซูลูอาซิเฟลาโก	75.5	3.9	0.18
A11	ร่องลึกก้นสมุทรปาลาวัน	38	33.1	0.93
A12	ร่องลึกก้นสมุทรซูลูอาซิเฟลาโก 2	44.4	82.7	1.92
A13	เขตมุดตัวของแผ่นทะเลฟิลิปปินส์	32.2	94.2	1.47
A14	เกาะบอร์เนียวตอนเหนือ	56.2	159.8	0.79
A15	เกาะบอร์เนียว	43.5	97.4	1.89
A16	เขตมุดตัวชั้นกัลตัมเบิ้ล	44.4	83.9	1.93
A17	เขตมุดตัวฮัลมาฮีรา	51.1	-5.4	-0.2
A18	สุลาเวสีตอนบน	14.8	65.1	0.64

เมื่อคำนวณตามสมการเพื่อหาระยะการเลื่อนตัวในแนวตั้งและนำมาเทียบอัตราความสูงพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดพิบัติภัยสึนามิ (ดังรูปที่ 5.7) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงได้แก่พื้นที่บริเวณร่องลึกก้นสมุทรฟิลิปปินส์ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดคลื่นสึนามิสูงตั้งแต่ 1 – 2 เมตรจากระดับน้ำทะเลปกติ (พื้นที่สีแดงและส้มด้านตะวันออกของหมู่เกาะฟิลิปปินส์) ถัดมาเป็นร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา และร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซาสา ระดับคลื่นสูง 1 – 1.5 เมตร พื้นที่ที่มีความปลอดภัยจากคลื่นสึนามิได้แก่ตอนกลางของพื้นที่ ซึ่งเป็นภาคพื้นทวีปและเป็นที่ตั้งหลักของประเทศฟิลิปปินส์



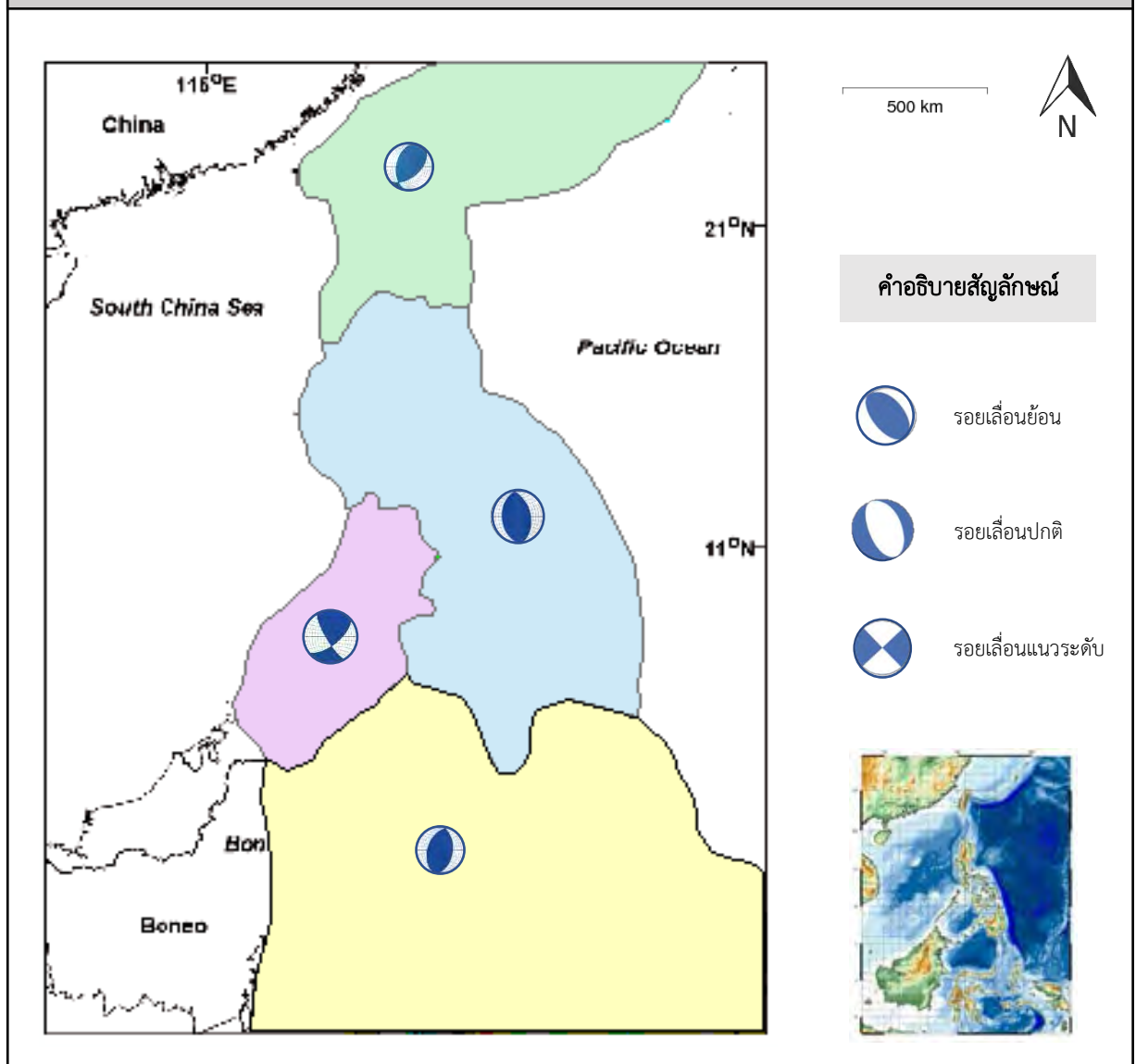
**รูปที่ 5.7** แผนที่ความเสี่ยงของการเกิดพิบัติภัยสึนามิในพื้นที่เขตมุดตัว

## 5.2. แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquakes)

### 5.2.1. แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก

การศึกษาบริเวณนี้เป็นการศึกษาแผ่นเปลือกโลกที่มุดตัวลงไปนชั้นเนื้อโลก โดยในงานวิจัยนี้ใช้เหตุการณ์แผ่นดินไหวมีระดับความลึกมากกว่า 50 กิโลเมตรขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ย่อย

แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวของแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์

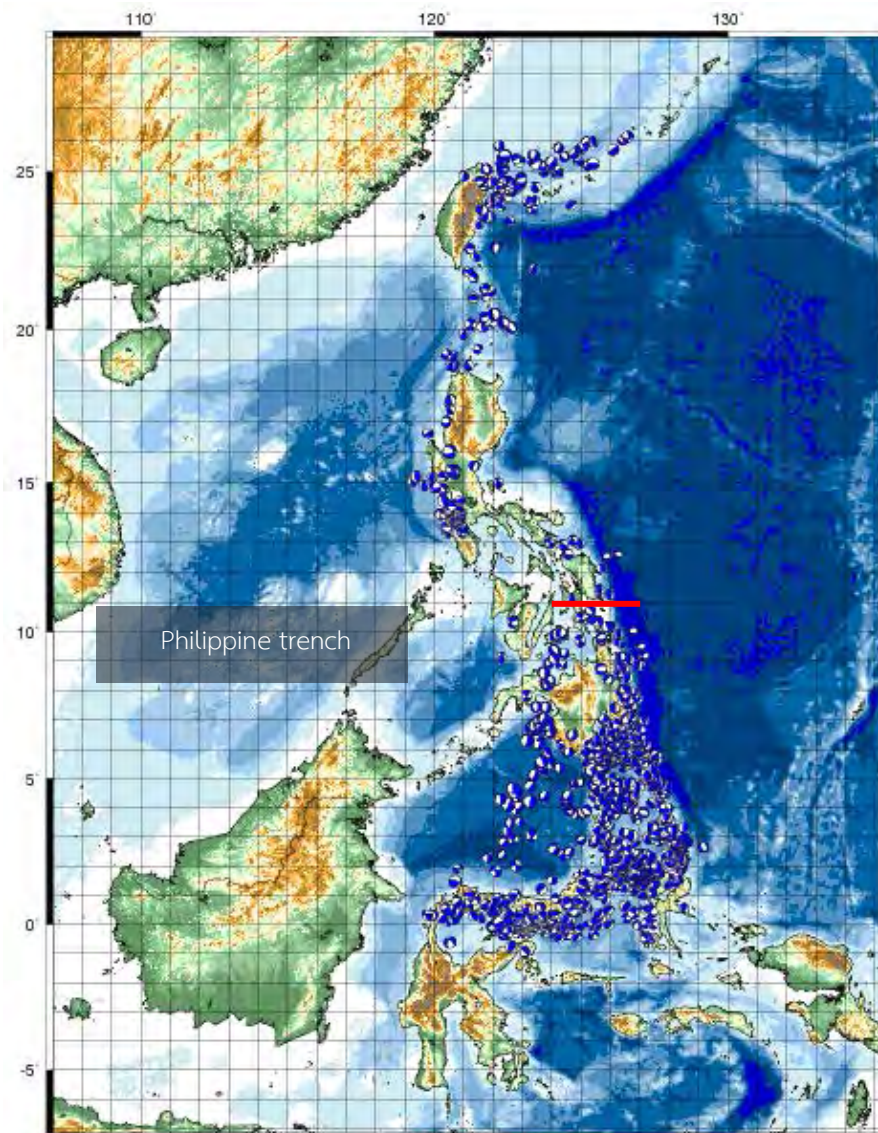


รูปที่ 5.8 แผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก

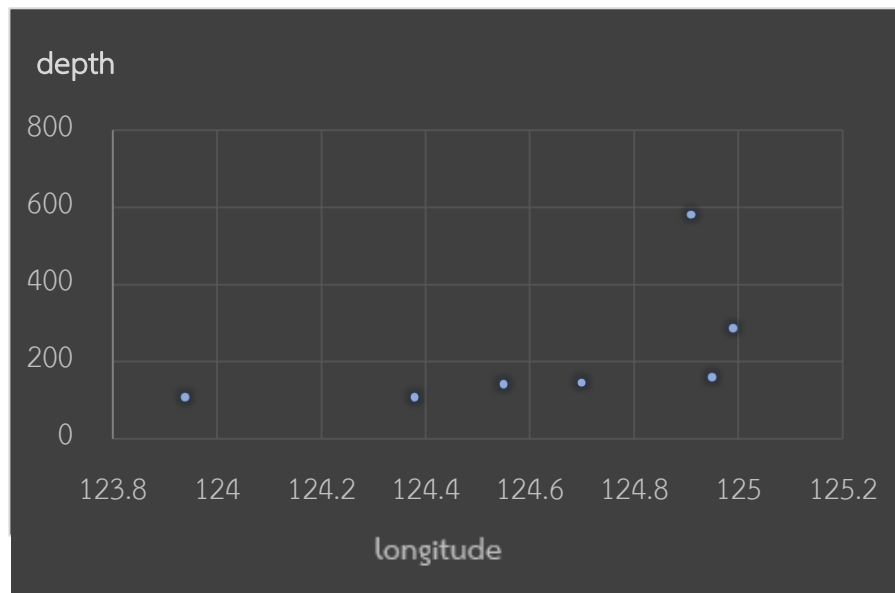
### 5.2.1. อภิปรายผลการศึกษา (Discussion)

จากรูปที่ 5.8 พบว่ารอยเลื่อนส่วนใหญ่บริเวณนี้เป็นรอยเลื่อนชนิดรอยเลื่อนย้อน ซึ่งมีทิศทางขวางตัวตามภูมิศาสตร์ของหมู่เกาะฟิลิปปินส์ ผลที่ได้นำมาเอาไปประยุกต์ในการศึกษาการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ในงานวิจัยนี้ได้ตัดเอาพื้นที่ย่อยบริเวณร่องลึกก้นสมุทรฟิลิปปินส์ในด้าน

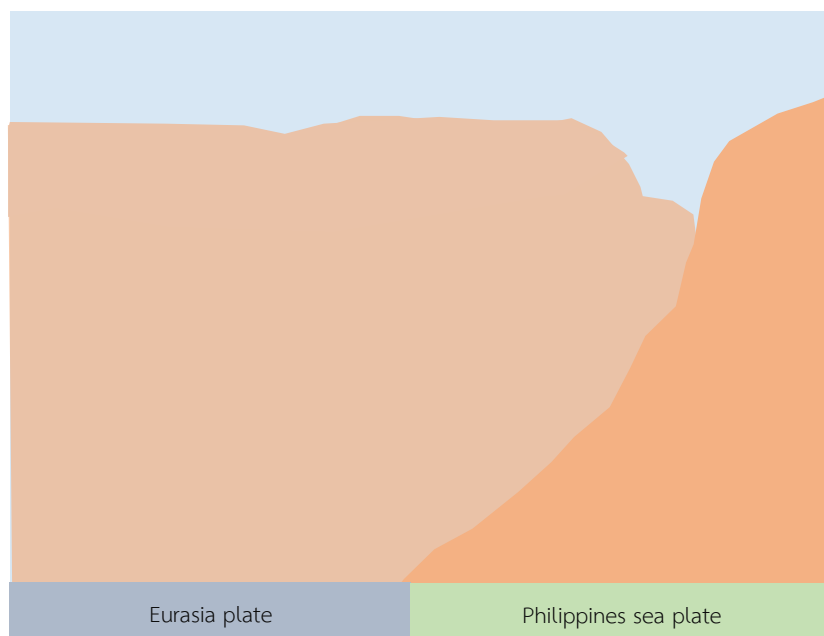
ตะวันออกของพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำไปสร้างภาคตัดขวางของพื้นที่ (ดังรูปที่ 5.11) และแบบจำลอง การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยอ้างอิงจากกลไกแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของ แผ่นเปลือกโลก และแผ่นดินไหวรวมพร้อมด้วย (ดังรูปที่ 5.11) พบว่าจากการนำข้อมูลระหว่าง ลองจิจูด ที่ 122 - 125 มาสร้างกราฟการกระจายตัว และสร้างภาคตัดขวางพบว่ามุมของมุดตัวของบริเวณร่องลึก ฟิลิปปีนส์มีค่าประมาณ 60 องศา และแผ่นเปลือกโลกบริเวณนี้มีการเคลื่อนตัวเป็นรอยเลื่อนย้อนใน ระดับตื้น เมื่อลึกลงไปจะเป็นรอยเลื่อนที่ทำมุมแนวระดับกับระดับรอยเลื่อนและรอยเลื่อนปกติ (ดังรูป ที่ 5.12) ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่ามีแรงจากกระแสพาความร้อน (convection current) ในชั้นเนื้อโลก ดึงเอาส่วนที่เป็นปลายสุดของแผ่นเปลือกโลกลงไป



รูปที่ 5.9 พื้นที่เขตร่องลึกกันสมุทรฟิลิปปินส์ ส่วนที่นำไปสร้างภาคตัดขวางและแบบจำลอง

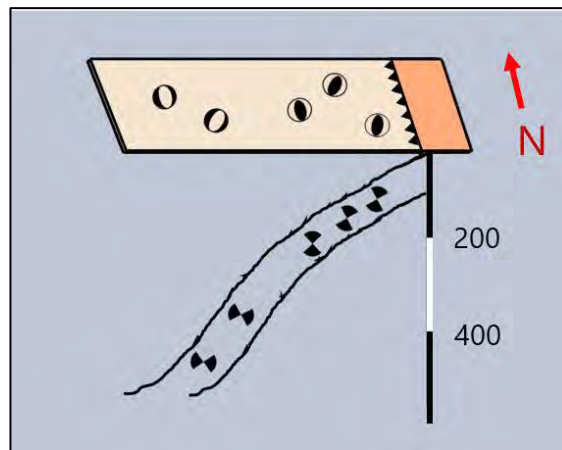


รูปที่ 5.10 ค่าการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวของพื้นที่ศึกษา ลองจิจูดที่ 122 – 126 องศา

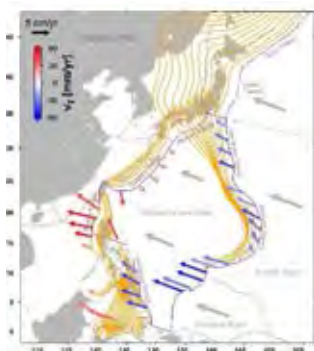


รูปที่ 5.11 ภาคตัดขวาง (cross section) ของเขตร่องลึกกันสมุทรฟิลิปปินส์

การอธิบายผลการศึกษารอบพื้นที่เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ  
 ชั้นเนื้อโลกนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Holt et al. (2017) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของ  
 แผ่นเปลือกโลกบริเวณรอบวงแหวนแห่งไฟ (ring of fire) อธิบายการเคลื่อนที่ของแผ่นทะเลฟิลิปปินส์  
 ซึ่งตรงกับบริเวณที่ศึกษาคือ ร่องลึกก้นสมุทรมุทฟิลิปปินส์ ว่าเป็นการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกสอง  
 แผ่นประกบกันคือแผ่นทะเลฟิลิปปินส์และแผ่นแปซิฟิก โดยแผ่นฟิลิปปินส์อยู่ด้านหน้า ชนและมุดลง  
 ไปใต้แผ่นยูเรเชียด้วยมุมประมาณ 40 องศา (ดังรูปที่ 5.13)



รูปที่ 5.12 แบบจำลองการแปรสัณฐานบริเวณร่องลึกก้นสมุทรมุทฟิลิปปินส์ ละติจูดที่ 10 – 12 องศา  
 และลองจิจูดที่ 122 – 125 องศา



ก



ข

หมายเหตุ : (ก) แผนที่วงแหวนแห่งไฟและทิศทางการเคลื่อนตัว (ข) ภาคตัดขวางของพื้นที่  
 รูปที่ 5.13 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นแปซิฟิกและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ Holt et al. (2017)

### 5.3. สรุปผลการศึกษา (Conclusion)

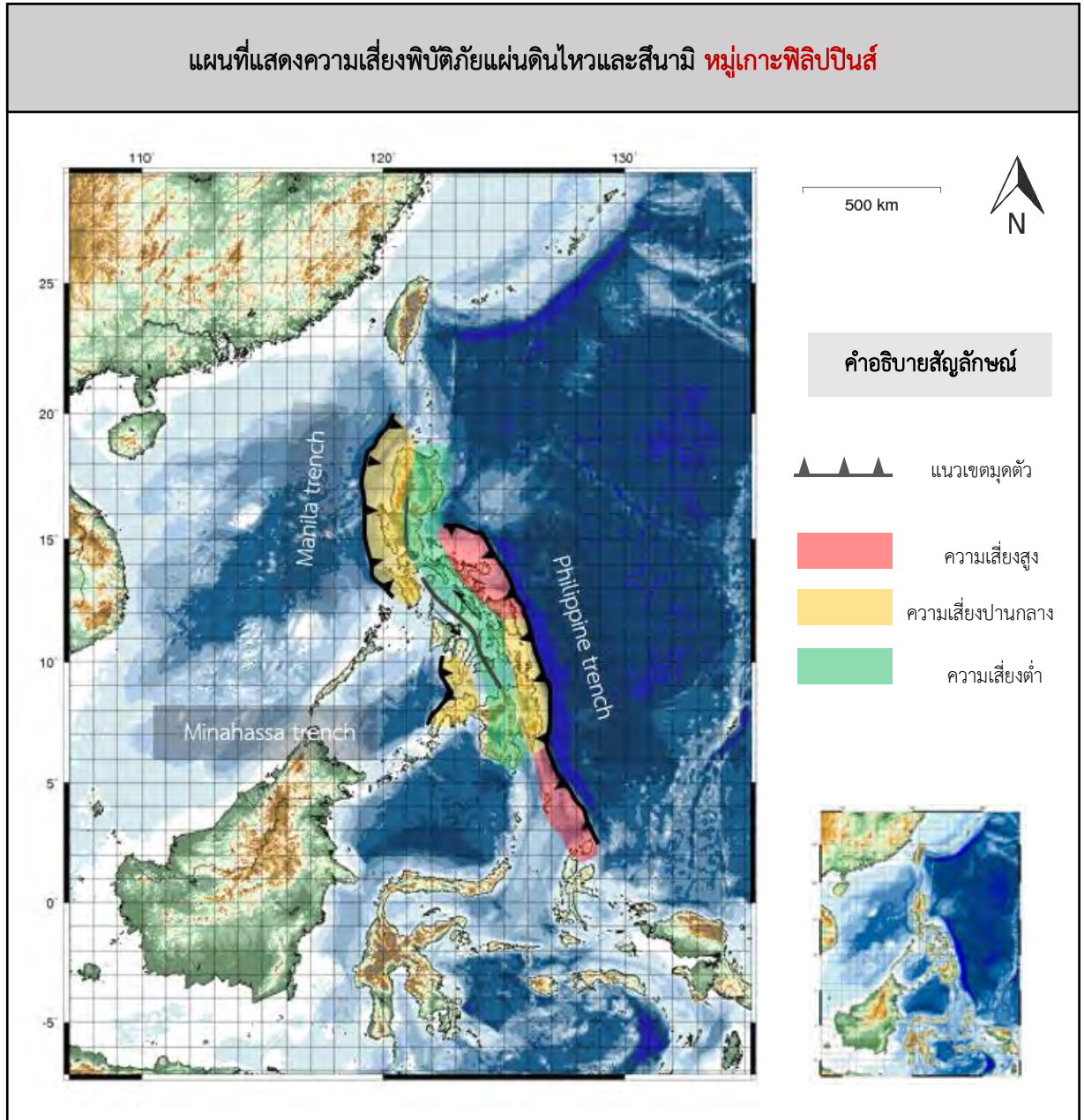
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเกิดแผ่นดินไหวตามเขตมุดตัวของเปลือกโลก หมู่เกาะฟิลิปปินส์ พื้นที่ศึกษามีความสำคัญในแง่ของวิทยาแผ่นดินไหวเนื่องจากการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณพื้นที่ศึกษานี้เกิดจากการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชียและแผ่นทะเลฟิลิปปินส์ โดยตอนบนของพื้นที่แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียมุดลงไปใต้แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ ส่วนตอนใต้ แผ่นทะเลฟิลิปปินส์มุดลงไปใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ทำให้พื้นที่นี้มีความหลากหลายทั้งขนาดและรูปแบบของแผ่นดินไหว เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นมีจำนวน 3,144 เหตุการณ์ จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global CMT จำแนกประเภทของแผ่นดินไหวออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) เป็นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่ระดับระหว่าง 0 – 50 กิโลเมตร และแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) เป็นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่ระดับความลึก 50 กิโลเมตรขึ้นไป

**แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก** สามารถจำแนกได้เป็น 18 พื้นที่ย่อย เกิดจากรอยเลื่อนย้อน 8 พื้นที่ รอยเลื่อนแนวระดับ 3 พื้นที่ รอยเลื่อนปกติ 1 พื้นที่ รอยเลื่อนแบบผสม 6 พื้นที่ กลไกของรอยเลื่อนส่วนใหญ่เป็นรอยเลื่อนย้อน พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดพิบัติภัยแผ่นดินไหวได้แก่บริเวณร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซาสา และบริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา (ดังรูป 5.14) ตอนกลางเป็นรอยเลื่อนชนิดรอยเลื่อนแนวระดับ ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดพิบัติภัยแผ่นดินไหวต่ำ สำหรับความเสี่ยงของการเกิดสึนามิ หากเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.6 สามารถก่อให้เกิดคลื่นสึนามิสูง 0 – 2 เมตรจากระดับน้ำทะเลปกติ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงสุดได้แก่บริเวณร่องลึกก้นสมุทรมินาฮาซาสา ซึ่งทอดตัวยาวขนานระหว่างหมู่เกาะฟิลิปปินส์และแอ่งฟิลิปปินส์ ตรงกับเมืองลูซอน นิโคล ดาเบา พื้นที่เสี่ยงรองลงมาคือ ร่องลึกก้นสมุทรมะนิลา ซึ่งตรงกับเมืองมะนิลา และคาบิอาซายัง

**แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก** จำแนกพื้นที่ย่อยได้ 4 พื้นที่ แสดงรอยเลื่อนย้อน 3 พื้นที่ และรอยเลื่อนแบบผสม 1 พื้นที่ การวางตัวของแนวรอยเลื่อนอยู่ในแนวเหนือ - ใต้ โดยการศึกษาในส่วนนี้จะศึกษาถึงการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลกบริเวณละติจูดที่ 10 – 12 องศา ลองจิจูดที่ 122 – 125 องศา ที่ระดับความลึกต่ำ รอยเลื่อนจะเป็นรอยเลื่อนย้อน เมื่อลึกลงไปจะพบรอยเลื่อนที่เป็นรอยเลื่อนปกติ และการศึกษาพร้อมกับภาคตัดขวางของเหตุการณ์แผ่นดินไหวพบว่ามุมของการชนกันประมาณ 60 องศา มีการเปลี่ยนแปลงความชันที่ระดับ



ความลึกมากกว่า 400 กิโลเมตร โดยความชันจะลดลง กลไกแผ่นดินไหวของพื้นที่นี้เกิดการชนกัน หิน  
เพดานมีการเลื่อนขึ้น เกิดเป็นแนวเขตมุดตัว ส่วนบริเวณระดับความลึกมีค่ามาก มีแรงดึงจากกระแ  
พาความร้อนทำให้เกิดเป็นรอยเลื่อนปกติ



รูปที่ 5.14 แผนที่แสดงความเสี่ยงพิบัติภัยแผ่นดินไหวและสึนามิ หมู่เกาะฟิลิปปินส์

**บรรณานุกรม****(REFERENCE)**

- Abdelazim, M., et al. (2016). "Seismicity and focal mechanisms of earthquakes in Egypt from 2004 to 2011." NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics **5**(2): 393-402.
- Carvalho, J., et al. (2016). "Focal mechanisms and moment magnitudes of micro-earthquakes in central Brazil by waveform inversion with quality assessment and inference of the local stress field." Journal of South American Earth Sciences **71**(Supplement C): 333-343.
- Ekström, G., et al. (2005). "Global seismicity of 2002: centroid-moment-tensor solutions for 1034 earthquakes." Physics of the Earth and Planetary Interiors **148**(2): 303-326.
- Galgana, G., et al. (2007). "Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms." Tectonophysics **432**(1): 63-87.
- Huang, Z., et al. (2013). "Aseismic deep subduction of the Philippine Sea plate and slab window." Journal of Asian Earth Sciences **75**: 82-94.
- Iidaka, T., et al. (2017). "Receiver function images of the distorted Philippine Sea slab contact with the continental crust: Implications for generation of the 1891 Nobi earthquake (Mj 8.0)." Tectonophysics **717**: 41-50.
- Lin, J.-Y. and C.-L. Lo (2013). "Earthquake-induced crustal gravitational potential energy change in the Philippine area." Journal of Asian Earth Sciences **66**: 215-223.
- Lin, J.-Y., et al. (2013). "Strike-slip intraplate earthquakes in the Western Philippine Sea Plate." Tectonophysics **608**: 499-504.

- Obara, K. (2009). "Inhomogeneous distribution of deep slow earthquake activity along the strike of the subducting Philippine Sea Plate." Gondwana Research **16**(3): 526.
- Pailoplee, S. 2014d. Mapping b-Value Anomalies along the Indonesian Island Chain: Implications for Upcoming Earthquakes. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 8(4): 1450010-1-11.
- Perez, J. S. and H. Tsutsumi (2017). "Tectonic geomorphology and paleoseismology of the Surigao segment of the Philippine fault in northeastern Mindanao Island, Philippines." Tectonophysics **699**: 244-257.
- Perez, J. S. and H. Tsutsumi (2017). "Tectonic geomorphology and paleoseismology of the Surigao segment of the Philippine fault in northeastern Mindanao Island, Philippines." Tectonophysics **699**: 244-257
- Ruangrassamee, A. and N. Saelem (2009). "Effect of Tsunamis generated in the Manila Trench on the Gulf of Thailand." Journal of Asian Earth Sciences **36**(1): 56-66.
- Sobolev, G.A., 1995. *Fundamental of Earthquake Prediction*, Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161.
- Zheng, H.-W., et al. (2013). "Collisional tectonics between the Eurasian and Philippine Sea plates from tomography evidences in Southeast China." Tectonophysics **606**: 14-23.
- U.S. Geological Survey. 1996. Focal Mechanisms. [online]. Available from: <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/beachball.php>.

