



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

โดย

นางสาวเบญจพร แสนสวาท
เลขประจำตัวนิสิต 5732733723

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและฉบับเต็มของงานต้นฉบับของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นเพียงชื่อของงานต้นฉบับเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

นางสาวเบญจพร แสนสวาท

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560

FOCAL MECHANISM ALONG THE MAIN CENTRAL THRUST, HIMALAYA

Miss.Benjaporn Sansawat

A project submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
of the Bachelor of Science, Chulalongkorn University Academic

Year 2017

หัวข้องานวิจัย กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย
โดย นางสาวเบญจพร แสนสวาท
สาขาวิชา ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง

...../...../.....

วันที่อนุมัติ

...../...../.....

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย : กลไกการเกิดแผ่นดินไหวตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย
 ผู้จัดทำ : นางสาวเบญจพร แสนสวาท รหัสประจำตัว : 5732733723
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้
 ภาควิชา : ธรณีวิทยา
 ปีการศึกษา : 2560

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษากลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย (The main central thrust, Himalaya) โดยใช้ฐานข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตจากหน่วยงาน Global Centroid Moment Tensor (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>) ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของ GMT format จะมีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตบริเวณพื้นที่ศึกษานี้จำนวน 1580 ข้อมูล บันทึกอยู่ในช่วงปี พ.ศ.2519–พ.ศ.2560 และมีความลึกของจุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหวอยู่ระหว่างตั้งแต่ 10-423 กิโลเมตร ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้จำแนกข้อมูลจากสภาพแวดล้อมทางธรณีแปรสัณฐานที่สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว (seismotectonic setting) ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ 1) แผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลกที่ระดับความลึก 10- 40 กิโลเมตร (interplate earthquake) และ 2) แผ่นดินไหวภายในแผ่นเปลือกโลกที่ระดับความลึกตั้งแต่ 41 กิโลเมตรขึ้นไป (intraslab earthquake) ซึ่งในแต่ละสภาพแวดล้อมผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าระนาบรอยเลื่อน (fault plane determination) ประกอบไปด้วย 1) ค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (strike) 2) ค่ามุมเอียงเท (dip) และ 3) ค่ามุมคาย (rake) จากผลการศึกษาสรุปว่า ในกรณีของแผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) พบว่าพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันออกเฉียงเหนือ และทางตอนเหนือมีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนแนวระดับชนิดขวาเข้า (right-lateral strike-slip fault) ในขณะที่ในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษามีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนปกติแบบขวาเข้า (normal right-lateral oblique fault) และทางด้านตะวันตกของพื้นที่ที่มีการเลื่อนตัวแบบแนวรอยเลื่อนย้อนมุมกลับแบบขวาเข้า (reverse right-lateral oblique fault) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีตพบว่ามีค่าคล้ายคลึงกันซึ่งจะมีช่วงของค่าการวางตัวของรอยเลื่อนอยู่ที่ 30.1 - 353.4 องศา ค่ามุมเอียงเทอยู่ที่ 32.5 - 86.4 องศา และค่ามุมคายอยู่ที่ -64.5 - 178.4 องศา ส่วนกรณีของแผ่นดินไหวภายในแผ่นเปลือกโลก (intraslab earthquake) จะมีค่าการวางตัวของรอยเลื่อนอยู่ที่ 125.0 - 257.5 องศา ค่ามุมเอียงเท 35.7 - 80.0 องศา และค่ามุมคายอยู่ที่ -173.3 - 91.5 องศา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของค่ามุมคายในบริเวณแผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นประโยชน์ต่อการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวตาม (after shock) เมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลัก (mainshock) ขึ้นในอนาคต

Title : Focal Mechanism Along The Main Central Thrust, Himalayan
Present by : Benjaporn Sansawat
ID : 573 27337 23
Advisor : Assistant Professor Dr. Santi Pailoplee

Abstract

In order to clarify characteristic of seismic faulting along the Main Central Thrust, Himalayan, this project studied focal mechanism by using 1580 data recorded systematically during A.D. 1976-2017(<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>). Seismotectonically, all focal data were separated into 2 seismotectonic setting, i.e., It can separate 2 groups by depth between 10 and 423 km. as 1) interplate earthquake data depth 10 - 40 km. and 2) intraslab earthquake data is depth more than 41km. In each focal dataset, spatial distribution of focal parameters were investigated statistically, i.e., 1) strike, 2) angle of dip, and 3) angle of rake. Thereafter, the earthquake source zone along the Main Central Thrust, Himalayan were segmented and clarified all mentioned characteristic parameters. The result reveal that 1) Southeast, Northeast, and Northern of intraplate show right-lateral strike-slip fault, 2) Middle Northeast of intraplate shows normal right-lateral oblique fault, and 3) Western of intraplate illustrates reverse right-lateral oblique fault. Comparing with previous works, they show the direction of fault ranged between 30.1° - 353.4° , angle of dip between 32.5° - 86.4° , and angle of rake between -64.5° - 178.4° . The results of intraslab earthquake show direction of fault ranged between 125° - 257.5° , angle of dip between 35.7° - 80° , and angle of rake between -173.3° - 91.5° . In particularly, the angle of rake of the interplate earthquake can infer the area of high risk after shock when the upcoming mainshock occur in the future

กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษา คำเสนอแนะ แนวคิด ชี้แจงข้อบกพร่อง และวิธีการแก้ปัญหาตลอดระยะเวลาในการทำโครงการวิจัย รวมไปถึงเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้โครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของท่านมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่คอยให้ความรู้เกี่ยวกับทางด้านธรณีวิทยา คำแนะนำ ตลอดจนปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม ให้ผู้วิจัยเป็นบุคคลที่มีประสิทธิภาพ เป็นบุคลากรที่ดีต่อประเทศชาติ รวมไปถึงขอบพระคุณพี่บุคลากรทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ในการสนับสนุนในทุก ๆ ด้านและเป็นกำลังใจที่ดี ที่สุดตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นธรณีวิทยา 58 ทุกคนที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและคอยช่วยเหลือกันเสมอมา

สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	ค
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ง
สารบัญ (CONTENT)	จ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ฉ-ซ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ณ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)	1
1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	2
1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Outputs)	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	3
2.1 ธรณีแปรสัณฐานของเทือกเขาหิมาลัย (Regional Tectonic Setting of Himalaya)	3-7
2.2 ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism)	7-10
2.3. ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	11-12
บทที่ 3 ชุดข้อมูลและสถิติ (Dataset and Statistic)	13
3.1 ข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake data)	13-15
3.2 การจำแนกกลุ่มแผ่นดินไหวและปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (Earthquake Data Classification and Improvement)	16-18
3.3 การกำหนดค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault Plane Determination)	19-22
3.4 การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหว (Earthquake Segmentation)	23-24
บทที่ 4 ผลการศึกษา (Result)	25
4.1 แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)	26-30
4.2 แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใต้อันเนื่องโลก (Intraslab Earthquake)	31-33

สารบัญรูปร่างภาพ (FIGURE CONTENT)

	หน้า
รูปที่ 1.1. แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณรอยเลื่อนย่อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย (Main Central Thrust, Himalaya)	2
รูปที่ 2.1. (ก) แสดงถึงการชนกันของแผ่นเปลือกโลกทวีปสองแผ่นชนกันซึ่งจะทำให้เกิดเทือกเขา และแผ่นเปลือกโลกอื่น ๆ (www.thaiitteacher.no-ip.info.com)	3
รูปที่ 2.1. (ข) แสดงการเคลื่อนตัวไปทางทิศเหนือของแผ่นชมพูทวีป (INDIAN PLATE)	4
รูปที่ 2.2. (ก) แสดงรอยเลื่อนที่สำคัญสองรอยเลื่อนบริเวณเทือกเขาหิมาลัย ได้แก่ รอยเลื่อนหลัก ทางด้านหน้า (MBT), รอยเลื่อนย่อนแนวกลางหลัก (MCT) (www.media.springernature.com)	5
รูปที่ 2.3. (ก) แสดงแผนที่แรเงาภูมิประเทศ (shaded relief map) และรอยเลื่อนที่มีขนาดใหญ่ ภูมิประเทศจากบริเวณหิมาลัย-ทิเบต (Himalayan Tibet orogen) ให้สังเกตรอยเลื่อน การาโกรัม (Karakoram Fault) ซึ่งเป็นรอยเลื่อนเฉือนด้านข้าง (oblique slip fault) แบบขวาเข้าที่ขวางรอยเลื่อนย่อนหลักทางตะวันตกของแนวที่ราบสูงทิเบตซึ่งแนว รอยเลื่อนได้จากการศึกษาของ Yin และ Harrison (2000) (www.eatgru.sc.chula.ac.th)	6
รูปที่ 2.4 แสดงการระบุตำแหน่งของคลื่นปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เพื่อหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (www.commons.wikimedia.com)	8
รูปที่ 2.5. แสดงตัวอย่างการพลอต plane ในสเตอริโอเน็ต	8
รูปที่ 2.6. (ก) แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนต่าง ๆ ที่อยู่บน beachball diagrams (ข) แสดงลักษณะของรอยเลื่อนที่พบและรูปแบบต่าง ๆ ของ beachball diagrams (www.rtrc.in.com)	9
รูปที่ 2.7. แสดงลักษณะรูปแบบต่าง ๆ ของรอยเลื่อนบน beachball diagrams	10
รูปที่ 3.1. แสดงหน้าเว็บไซต์ (http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html) ที่ใช้ในการค้นหา ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต	13
รูปที่ 3.2. แสดงหน้าต่างเว็บไซต์ในส่วนของตัวเองที่ต้องการแสดงข้อมูลออกมา	14
รูปที่ 3.3. แบบจำลองแสดงภาคตัดขวางบริเวณแผ่นเปลือกโลกที่มีการชนกันและมุดกัน (Chabangborn A.)	16
รูปที่ 3.4. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นกับระดับความ ลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว	17

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ) (FIGURE CONTENT)

	หน้า
รูปที่ 3.5. แสดงผลการวิเคราะห์หลักโลกการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความตื้นตั้งแต่ 10-39 กิโลเมตร	18
รูปที่ 3.6. แสดงผลการวิเคราะห์หลักโลกการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความลึกมากกว่า 40 กิโลเมตร	18
รูปที่ 3.7. (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนตามรอยเลื่อนย้อน แนวกลางหลัก แนวที่ 1 (ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่าแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1	19
รูปที่ 3.8. (ก) แผนที่แสดงมุมเอียงเท (Dip) ของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ในบริเวณพื้นที่ตามรอยเลื่อน ย้อนแนวตอนกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย แนวที่ 1 (ข) แผนที่กุหลาบแสดงค่ามุมเอียงเทของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1	20
รูปที่ 3.9. (ก) แผนที่แสดงมุมคาย (rake) ของระนาบรอยเลื่อนบริเวณพื้นที่รอยเลื่อนย้อน แนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยแนวที่ 1 (ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่ามุมคายของระนาบรอยเลื่อนบริเวณพื้นที่รอยเลื่อนย้อน แนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยแนวที่ 1	20
รูปที่ 3.10. (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยแนวที่ 1 (ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่าแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1	21
รูปที่ 3.11. (ก) แผนที่แสดงมุมเอียงเท (dip) ของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ในบริเวณพื้นที่ตามรอย เลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย (ข) แผนที่กุหลาบแสดงค่ามุมเอียงเทของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1	22
รูปที่ 3.12. (ก) แผนที่แสดงมุมคาย (rake) ของระนาบรอยเลื่อนบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย แนวที่ 1 (ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่ามุมคายของระนาบรอยเลื่อนบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลาง หลักเทือกเขาหิมาลัย แนวที่ 1	22
รูปที่ 3.13. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 10 - 40 กิโลเมตร	23
รูปที่ 3.14. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 40 กิโลเมตรขึ้นไป	24

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ) (FIGURE CONTENT)

	หน้า
รูปที่ 4.1. แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวรวมทุกเหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 - ปี 2018	25
รูปที่ 4.2. แสดงระดับความสูงต่ำเหตุการณ์ทั้งหมดตั้งแต่ปี ค.ศ.1976-2017 โดยที่ (ก) P-axis (ข) T-axis	26
รูปที่ 4.3. แสดงแผนภาพลูกบอล (beachball diagram) บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	26
รูปที่ 4.4. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 10 - 40 กิโลเมตร	27
รูปที่ 4.5. แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมดที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) เหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ.1976-2017	28
รูปที่ 4.6. แสดงระดับความสูงต่ำของเหตุการณ์ทั้งหมดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) เหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976-2017 โดยที่ (ก) P-axis (ข) T-axis	28
รูปที่ 4.7. แสดงแผนภาพลูกบอล (beachball diagram) บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)	31
รูปที่ 4.8. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวบริเวณเกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 41 กิโลเมตรเป็นต้นไป	32
รูปที่ 5.1. แสดงลูกบอลชายหาด (beachball diagram) แต่ละกลุ่ม บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	35
รูปที่ 5.2. แสดงลูกบอลชายหาด (beachball diagram) แต่ละกลุ่ม บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)	36
รูปที่ 5.3. แสดงการวิเคราะห์ค่ามุมค้าย (rake)	37
รูปที่ 5.4. แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตาม (aftershock)	38

สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)

	หน้า
ตารางที่ 3.1. แสดงตัวอย่างชุดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแบบ GMT psvelomeca input ที่ใช้ในการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว	15
ตารางที่ 3.2. แสดงตัวอย่างชุดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแบบ GMT psmecca input ที่ใช้ในการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว	15
ตารางที่ 5.1. แสดงค่าระนาบรอยเลื่อนซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าการวางตัวแนวระนาบ (strike), ค่ามุมเอียงเท (dip), ค่ามุมคาย (rake)	34
ตารางที่ 5.2. แสดงค่าระนาบรอยเลื่อนซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าการวางตัวแนวระนาบ (strike), ค่ามุมเอียงเท (dip), ค่ามุมคาย (rake)	36

บทที่ 1

บทนำ (INTRODUCTION)

1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

เทือกเขาหิมาลัยเกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) และแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) ด้วยอัตราการเคลื่อนตัวประมาณ 2 เซนติเมตร/ปี ซึ่งผลจากการเคลื่อนตัวชนกันของแผ่นเปลือกโลกดังกล่าว ทำให้เกิดรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก (The main central thrust) บริเวณเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้ง และเกิดแรงสั่นสะเทือนที่รุนแรง เช่น เมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2559 เกิดแผ่นดินไหวที่ตำบลโซลูคุมบู ห่างไปราว 130 กิโลเมตร ทางตะวันออกเฉียงของกรุงกฐมาณฑุ ประเทศเนปาล วัดขนาดได้ที่ 5.5 แมกนิจูด จุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวลึกลงไป 10 กิโลเมตร บริเวณพื้นที่กรุงกฐมาณฑุและพื้นที่ทางภาคตะวันออกเฉียงของเนปาล สามารถรับรู้ถึงแรงสั่นสะเทือนได้ และเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งนี้เป็นแผ่นดินไหวตาม ครั้งที่ 475 ของเหตุแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่เนปาลเมื่อปี พ.ศ.2558

จากอดีตที่ผ่านมาจะพบว่าแผ่นดินไหวถือเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตมากมายและในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้งจะมีการเกิดแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) ซึ่งเกิดจากแรงเค้นทางธรณีแปรสัณฐานอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวหลัก (Mainshock) แต่กลไกการเกิดแผ่นดินไหวไม่สามารถประเมินเวลาที่แท้จริงได้ (Real time) จึงจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมหรือแนวโน้มโดยภาพรวมจากข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในอดีต เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินกลไกการเกิดเมื่อเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้เพื่อที่จะลดอัตราการเกิดแผ่นดินไหวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว (Sobolev, 1995)

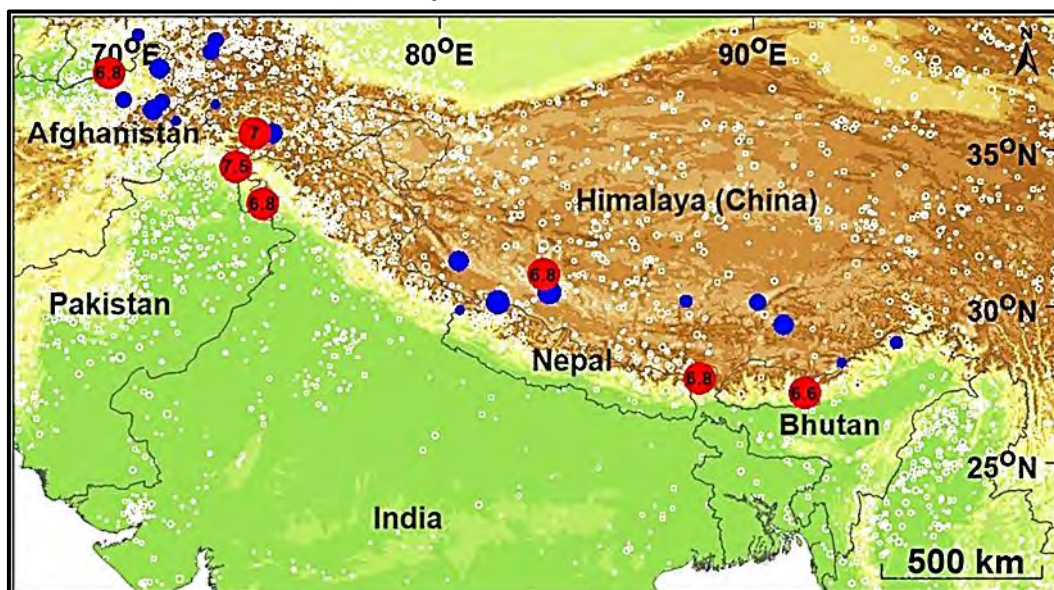
ดังนั้น พื้นที่ตามแนวมุดตัวหลักตอนกลางเทือกเขาหิมาลัย จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่จะหาโอกาสในการเกิดแผ่นดินไหวตามในอนาคต โดยที่งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการจะใช้ข้อมูลสถิติแผ่นดินไหววิเคราะห์แผนภาพลูกบอล (Beach ball diagram) นำเสนอกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism) และรูปแบบการเคลื่อนตัวของพื้นที่ (Artikov, 2014)

1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อทำการประเมินรูปแบบการเกิดแผ่นดินไหว โดยวิธีการวิเคราะห์กลไกแผ่นดินไหว (Focal mechanism) ในบริเวณพื้นที่ตามเขตมุดตัวหลักตอนกลางเทือกเขาหิมาลัย

1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

บริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ ละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก



รูปที่ 1.1. แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย (Main Central Thrust, Himalaya)

1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

วิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวแผ่นดินไหว (Focal mechanism) ในบริเวณพื้นที่ตามเขตมุดตัวหลักตอนกลางเทือกเขาหิมาลัยโดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental earthquake records, Global Centroid Moment Tensor) ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของ GMT format ในชุดข้อมูลที่ได้นี้พื้นที่ศึกษาจะอยู่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก และจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีต ณ พื้นที่ศึกษานี้มีจำนวน 1580 ข้อมูลซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เก็บในช่วง 8 เมษายน พ.ศ.2519 – 28 มิถุนายน พ.ศ.2560

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Outputs)

1.5.1 ได้แผนที่แสดงตำแหน่งของพื้นที่เสี่ยงภัยที่จะเกิดแผ่นดินไหวตาม ซึ่งได้จากการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

1.5.2 สามารถนำเอาองค์ความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากงานวิจัยไปต่อยอดในอนาคตได้

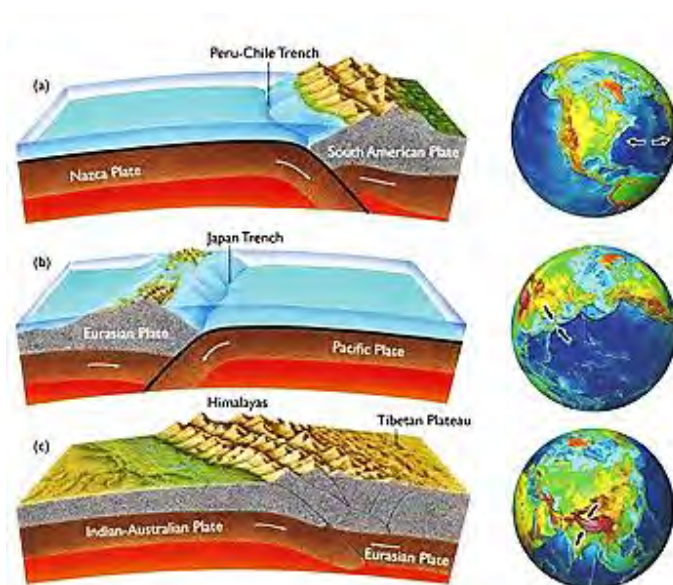
บทที่ 2

ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย

(THEORY AND METHODOLOGY)

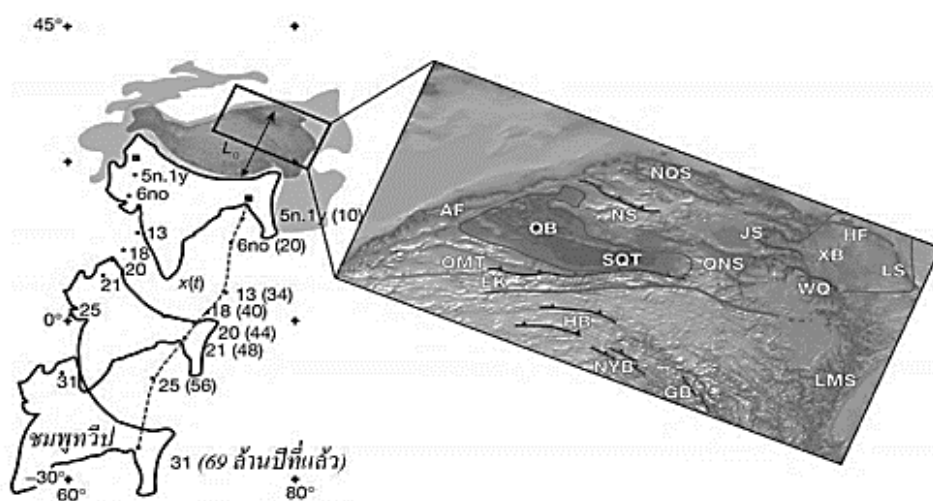
2.1. ธรณีแปรสัณฐานของเทือกเขาหิมาลัย (Regional Tectonic Setting of Himalaya)

เทือกเขาหิมาลัยที่วางตัวจากอัฟกานิสถานทางตะวันตกไปจนถึงพม่ามียาวประมาณ 3,000 กิโลเมตร และกว้างประมาณ 250-350 กิโลเมตร ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นอินเดียจากซีกโลกใต้มาชนกับแผ่นยูเรเชีย มีหน่วยหินและลักษณะธรณีแปรสัณฐานหลากหลายซึ่งจะวางตัว(เกือบ)ขนานกับแนวเขาซึ่งอยู่ประมาณตะวันออก-ตะวันตกซึ่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1 (Molnar, 1984; Windley, 1985; Hodges, 2000 et al.) โดยสภาพทั่วไปจะแสดงหลักฐานเกี่ยวกับจุดหินงูใหญ่ เกาะโค้ง และแนวแกรนิตแบบแอนดิส ดังรูปที่ 2.1(ก)แสดงภาพตัดขวางอย่างง่ายในแนวเหนือใต้ของเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งจะทำให้เห็นถึงการลำดับชั้นหินและรวมถึงโครงสร้างที่สำคัญ เทือกเขาหิมาลัยมีการยกตัวอย่างต่อเนื่องที่อัตราประมาณ 0.5 ถึง 4 มิลลิเมตรต่อปีแต่ในขณะเดียวกันก็เกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็วและเป็นตะกอนสะสมตัวในบริเวณที่ลาดต่ำในทางตอนใต้



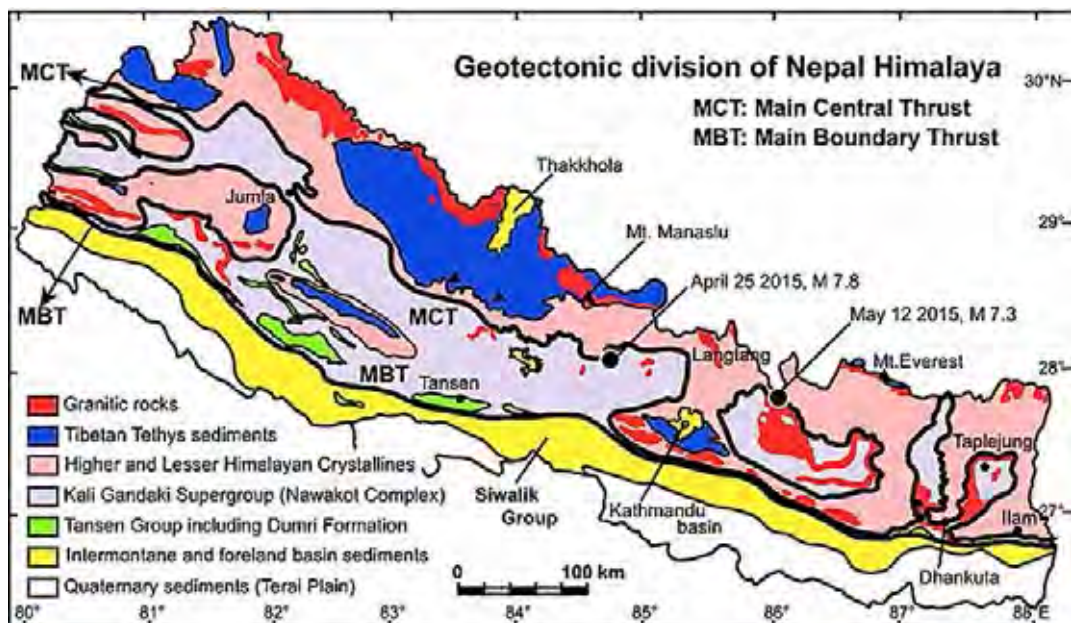
รูปที่ 2.1. (ก) แสดงถึงการชนกันของแผ่นเปลือกโลกทวีปสองแผ่นชนกันซึ่งจะทำให้เกิดเทือกเขาและแผ่นเปลือกโลกอื่น ๆ (www.thaitteacher.no-ip.info.com)

Convergent Boundaries (Subduction)



รูปที่ 2.1. (ข) แสดงการเคลื่อนตัวไปทางทิศเหนือของแผ่นชมพูทวีป (INDIAN PLATE)

ซึ่งจะประกอบด้วยแผ่นอินเดียและแผ่นศรีลังกา(ในอดีต) ตั้งแต่ 71 ล้านปีมาประชิด (juxtaposed) กับแผ่นยูเรเชียหลังจาก 30 ล้านปีและเมื่อผนวกกับแผ่นยูเรเชียซึ่งมีจุลทวีปและแผ่นเล็กอยู่แล้วทำให้พัฒนาเป็นหรือก่อตัวเป็นทวีปเอเชียในยุคปัจจุบัน (Molnar และ Tapponnier, 1975) โดยทั่วไปเทือกเขาหิมาลัยจะประกอบไปด้วยแผ่นหินเลื่อนย้อน (thrust slices) ที่มีขนาดใหญ่อยู่ 4 รอบ ซึ่งรอยเลื่อนเหล่านี้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 250-350 กิโลเมตร และตรงฐานแผ่นหินทางด้านหน้าเป็นรอยเลื่อนย้อนที่อยู่ใต้ดินที่เรียกว่า รอยเลื่อนย้อนหลักด้านหน้า (Main Frontal Thrust หรือ MFT) ซึ่งจะวางตัวในภูมิภาคประเทศทางด้านหน้าของเทือกเขาหิมาลัย (Wesnousky และคณะ, 1999) รอยเลื่อนนี้จัดเป็นรอยเลื่อนที่อายุน้อยแต่มีพลังมาที่สุดของเทือกเขาหิมาลัย



รูปที่ 2.2. (ก) แสดงรอยเลื่อนที่สำคัญสองรอยเลื่อนบริเวณเทือกเขาหิมาลัย ได้แก่รอยเลื่อนหลักทางด้านหน้า(MBT),รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก(MCT) (www.media.springernature.com)

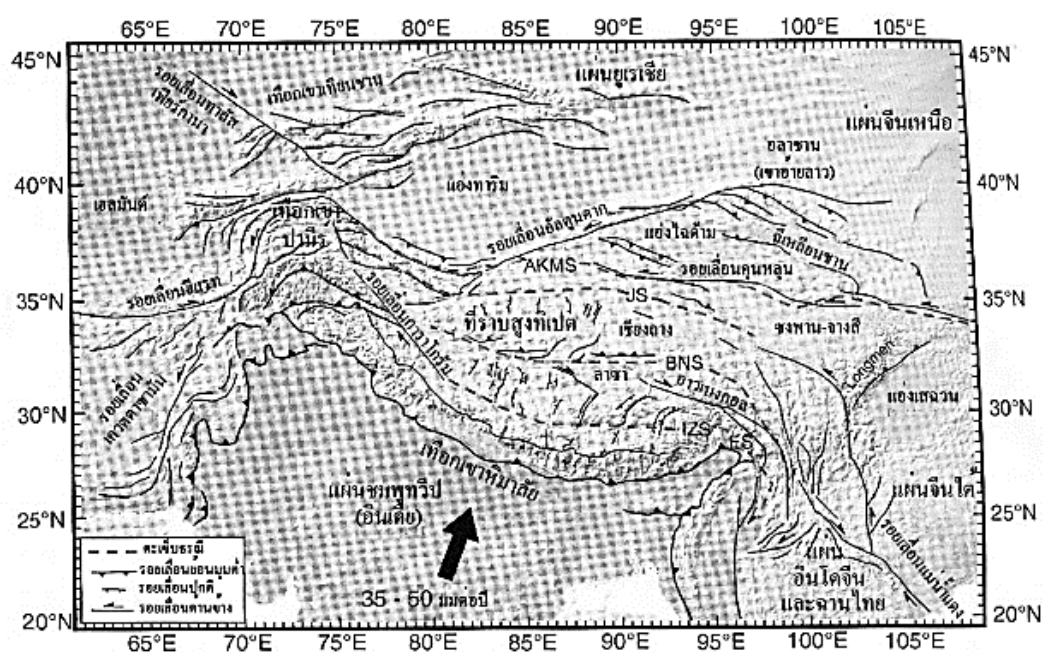
รอยเลื่อนหลักทางด้านหน้าของเทือกเขาในทางทิศเหนือ จะพบรอยเลื่อนอีกรอยที่เรียกว่า รอยเลื่อนติดขอบหลัก (Main Boundary Fault หรือMBT) จะพบระนาบเอียงเทไปทางด้านเหนือ ด้วยมุมที่ต่ำดังรูปที่ 2.2.(ก) ซึ่งจะอยู่บนเขตกึ่งเขาหิมาลัยทางตอนใต้

รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก (Main Central Thrust หรือMCT) (DeCelles และคณะ, 2001) ซึ่งอยู่เลื่อนนี้จะทำให้หินเปลือกโลกหดตัวและสั้นลงมากในช่วงยุคไมโอซีนและไพลโอซีนจึงทำให้ Hodges (2000) ซึ่งเชื่อว่าในปัจจุบันรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักกลางนี้ได้หมดพลังไปแล้ว

บริเวณเทือกเขาหิมาลัยมีความสูงอยู่ที่ระดับประมาณ 8,000 เมตร มีการหดตัวสั้นลงเนื่องจากอิทธิพลของรอยเลื่อนย้อนไปทางใต้เป็นระยะทางมากกว่า 100 กิโลเมตรและอายุของรอยเลื่อนย้อนภายในเทือกเขาหิมาลัยจากทางทิศเหนือไปทางทิศใต้ทำให้เกิดระบบรอยโค้งหรือรอยคดโค้ง และรอยเลื่อนหน้าแผ่นดินไหว (fold และ thrust foreland) ได้ชัดเจน ณ ที่ระดับความลึกของรอยเลื่อนย้อนแต่ละอันจะมีการลู่เข้าหากันเรียกว่า รอยเลื่อนลู่เข้า (decolllement) ซึ่งในพื้นที่บริเวณเทือกเขาหิมาลัยจะเรียกรอยเลื่อนย้อนหิมาลัยหลัก (Main Himalaya Thrust หรือ MHT) และจากผลการสำรวจข้อมูลด้วยคลื่นไหวสะเทือนของ Nelson และคณะ (1991) จะแสดงได้ว่ารอยเลื่อนหลักของเทือกเขาหิมาลัยนี้เริ่มต้นที่บริเวณใต้เขตของเทือกเขาหิมาลัยที่มีความสูงและจากนั้นจะหายไปทางตอนใต้ของทิเบต ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าระบบรอยเลื่อนปกติเป็นตัวปิดกั้นส่วนด้านบน

ของชุดรอยเลื่อนย้อนและเป็นบริเวณที่สะท้อนถึงความเร็วคลื่นต่ำดังนั้นจึงทำให้เกิดระบบรอยเลื่อนปกติโค้งลึกหรือรอยเลื่อนดิแทชเมนต์หรือรอยเลื่อนถึงหินฐานขึ้น (detached fault) (Burchfiel และคณะ, 1992) ซึ่งโดยปกติรอยเลื่อนปกติโค้งลึกนี้มักจะมีระยะห่างที่เอียงเทเล็กน้อยถึงปานกลางไปทางทิศเหนือ

โดยปกติฐานรอยเลื่อนนี้จะก่อให้เกิดการเลื่อนตัวปกติเป็นระยะทางประมาณ 35 – 40 กิโลเมตร ไปทางทิศเหนือในช่วงอนุยุคไมโอซีนไปจนถึงช่วงไพลโอซีน Hodges (2000) ดังนั้นรอยเลื่อนปกติโค้งลึกนี้น่าจะเกิดพร้อมกับการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนย้อนกลางหลัก (MCT) ในบริเวณเทือกเขาหิมาลัยนี้ส่วนมากจะเป็นชุดหินอัคนีบาดาลซึ่งจะเกิดขึ้นตามขอบการเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นมหาสมุทร-แผ่นทวีป เพื่อตอบสนองต่อการมุดตัวของแผ่นมหาสมุทรเททิสลงไปข้างใต้แผ่นยูเรเชียก่อนเกิดการชนกันของแผ่นทวีปต่อแผ่นทวีป



รูปที่ 2.3. (ก) แสดงแผนที่แรเงาภูมิประเทศ (shaded relief map) และรอยเลื่อนที่มีขนาดใหญ่ ภูมิประเทศจากบริเวณหิมาลัย-ทิเบต (Himalayan-Tibet orogen) ให้สังเกตรอยเลื่อนการากอร์ม (Karakoram Fault) ซึ่งเป็นรอยเลื่อนเฉือนด้านข้าง (oblique slip fault) แบบขวาเข้าที่วางรอยเลื่อนย้อนหลักทางตะวันตกของแนวที่ราบสูงทิเบตซึ่งแนวรอยเลื่อนได้จากการศึกษาของ Yin และ Harrison (2000) (www.eatgru.sc.chula.ac.th)

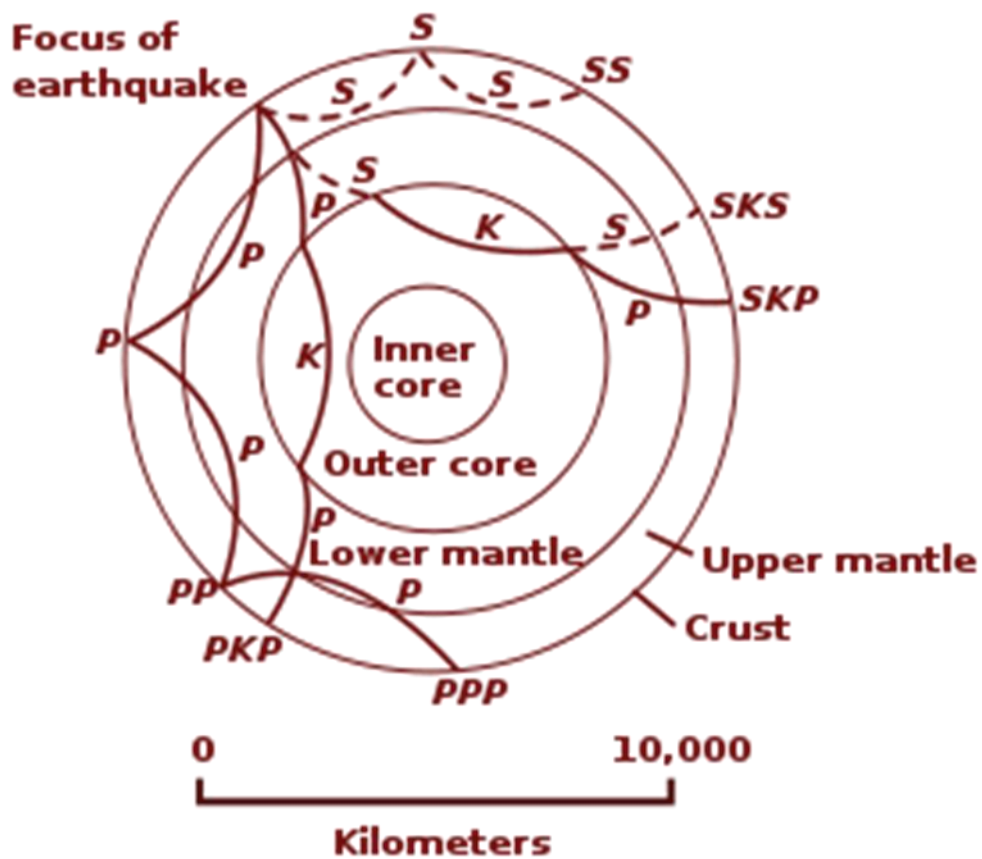
ในบริเวณพื้นที่ระหว่างตะเข้บางอง-นุเจียง และแอ่งไฉต๋าม (Qaidam Basin) (รูป 2.3) จะพบว่าประกอบไปด้วยเขตรอยโค้ง-รอยเลื่อนใหญ่ 3 เขตในช่วงปลายมหายุคนิวซีวิน โดยจะสัมพันธ์กับการเกิดแอ่งตะกอนบริเวณหน้าแผ่นดิน (foreland basin) (Yin และ Harrison, 2000) และ Kearey และคณะ, 2009 มีความเชื่อว่า ทางขอบบริเวณตอนเหนือของทิเบตมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะมีทั้งที่เป็นรอยโค้งและรอยเลื่อนปนกับรอยเลื่อนย้อนหรือรอยเลื่อนด้านข้าง ซึ่งก็คือรอยเลื่อนอัลตินตัก (Altyn Tak Fault) และรอยเลื่อนคุนหลุน (Kunlun Fault) และทำให้เกิดการเคลื่อนตัวแบบซ้ายเข้าตามแนวรอยเลื่อนอัลตินตัก อีกทั้งยังทำให้เกิดการหดย่นเป็นระยะทางประมาณ 270 กิโลเมตร ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

การเคลื่อนตัวในปัจจุบันเกิดอยู่ในบริเวณเขาเทียนชาน (Tien Shan) และเทือกเขาอัลไต (Altai Range) ตอนเหนือของจีนและใต้ของมองโกเลีย จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวยังทำให้เปรียบเทียบได้ว่าพื้นที่บริเวณภูมิภาคแถบนี้ถูกควบคุมด้วยความแกร่งภายในแผ่นยูเรเชียที่ไม่เท่ากันนั่นเอง

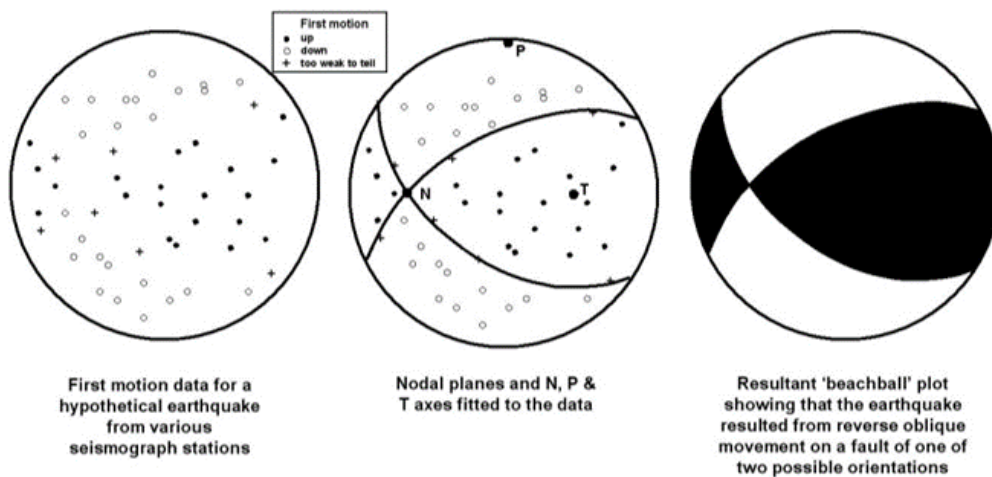
2.2. ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism)

กลไกการเกิดแผ่นดินไหว หรือ Focal Mechanism Solutions หรือเรียกอีกอย่างว่า “beachball diagrams” หรือ “fault plane solutions” ซึ่งจัดเป็นรูปแบบอย่างง่ายที่ใช้ในการอธิบายหรือใช้บอกทิศทางการวางตัวของรอยเลื่อนและการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนซึ่งทำให้เกิดแผ่นดินไหวในแต่ละเหตุการณ์ ซึ่งปกติจะสร้างโดยการใช้ข้อมูลรูปแบบคลื่น (waveform) ที่ได้มาจาก moment tensor แต่โดยทั่วไปมักจะคำนวณโดยใช้การเคลื่อนที่แรกที่ได้จากการตรวจวัดกราฟแผ่นดินไหวตัวอย่าง (first motions)

นับว่าเป็นกราฟที่ช่วยแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เป็นแบบ 3 มิติให้อยู่ในรูป 2 มิติ การสร้างใช้ stereographic projection ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดจุดสามมิติให้อยู่ในรูปทรงกลมด้านล่าง ดังรูปที่ 2.4. และในรูปที่ 2.5. จะแสดงตัวอย่างในการพลอต plane ในเตอร์ริโอเน็ต

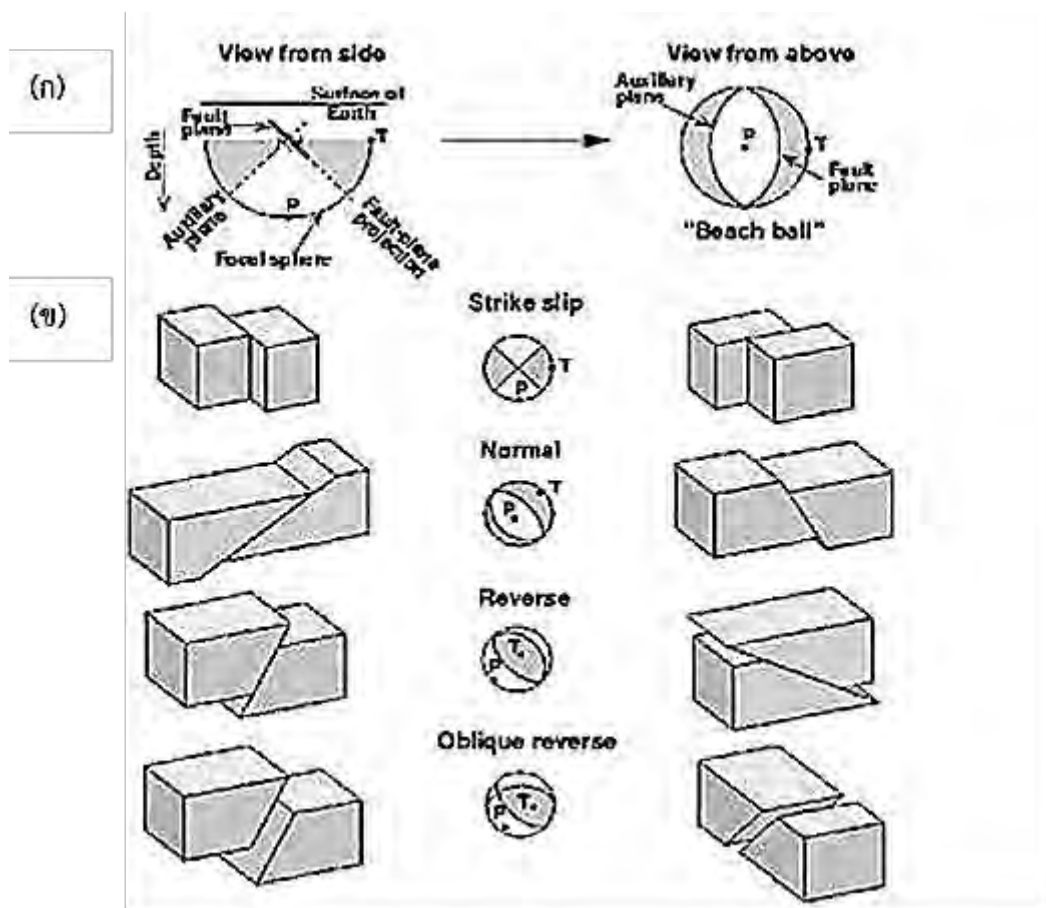


รูปที่ 2.4. แสดงการระบุตำแหน่งของคลื่นปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เพื่อหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหว
(www.commons.wikimedia.com)

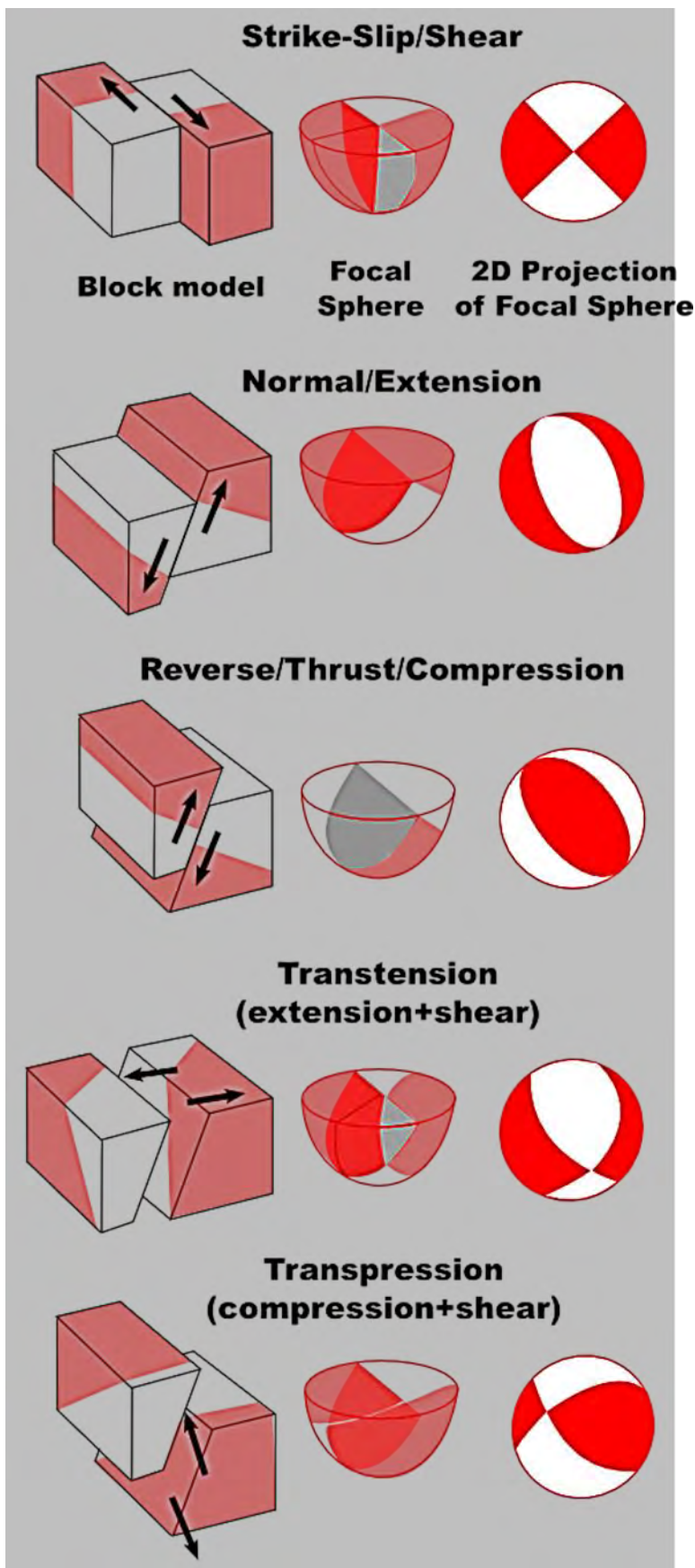


รูปที่ 2.5. แสดงตัวอย่างการพลอต plane ในสเตอริโอเน็ต

ในการวิเคราะห์หา focal mechanism หรือ การวิเคราะห์หา moment tensor จัดเป็นการหาระนาบของรอยเลื่อน และมุมเทของรอยเลื่อนที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหว ลักษณะของ focal และวิธีในการวิเคราะห์ห้อย่างง่ายในการหา คือต้องระบุ (plot) ตำแหน่งใน stereonet โดยการลงลักษณะของคลื่นที่เข้ามาเป็นแบบอัด (compression) หรือ ขยาย (dilatation) โดยที่จะต้องนำข้อมูลจากสถานี แผ่นดินไหวที่วัดได้ ที่ตำแหน่งต่างๆ กระจายอยู่ทั่วโลกมาเขียนลง หรือ plot ลงใน stereonet หากข้อมูลมีมากความแม่นยำมากตามไปด้วย จากนั้นลักษณะนาบของรอยเลื่อน จะได้ 2 ระนาบ คือ ระนาบของรอยเลื่อนหลัก (fault plane) และ ระนาบของรอยเลื่อนรอง (auxiliary plane) การที่จะบอกว่าระนาบใดเป็น ระนาบของรอยเลื่อนหลัก (fault plane) หรือ ระนาบของรอยเลื่อนรอง (auxiliary plane) ดังรูปที่ 2.6. (ก) ต้องดูสภาพพื้นที่ทางธรณีวิทยาประกอบ จากนั้นสามารถหาแนวระดับและมุมเท (strike/dip) ของรอยเลื่อนได้การทำ focal mechanism ถ้าหากทุกคนรู้วิธีการสร้างรูปแบบนี้ และใช้ข้อมูลเดียวกันก็จะสามารถวิเคราะห์ห้ออกมาได้คล้ายคลึงกัน ซึ่งจะนำไปตามรูปที่ 2.6. (ข) และรูปที่ 2.7.



รูปที่ 2.6. (ก) แสดงลักษณะการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนต่าง ๆ ที่อยู่บน beachball diagrams
 (ข) แสดงลักษณะของรอยเลื่อนที่พบและรูปแบบต่าง ๆ ของ beachball diagrams
 (www.rtrc.in.com)



รูปที่ 2.7. แสดงลักษณะรูปแบบต่าง ๆ ของรอยเลื่อนบน beachball diagrams

2.3. ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งทางด้านทฤษฎีต่าง ๆ และพื้นที่ศึกษา

1.2. รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาจากชุดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดและบันทึกจากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Earthquake Records, Global Centroid Moment Tensor) ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของ GMT format ซึ่งข้อมูลของพื้นที่ศึกษานั้นจะอยู่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศา ตะวันออกมีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตบริเวณพื้นที่ศึกษานี้มีจำนวน 1580 ข้อมูลซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เก็บในช่วง 8 เมษายน พ.ศ.2519 – 28 มิถุนายน พ.ศ.2560

2. ปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหว

2.1. คัดแยกข้อมูลแผ่นดินไหวตามระดับความลึกเพื่อคัดแยกชนิดของแผ่นดินไหว

2.2. คัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูล

3. วิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism)

3.1. กำหนดตัวแปรในลักษณะเชิงพื้นที่

3.2. จัดทำแผนที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหว

4. ปรับปรุงแผนที่และข้อมูล

5. วิเคราะห์รูปแบบการเกิดแผ่นดินไหวและความน่าจะเป็น

6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

7. นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงาน

ซึ่งขั้นตอนการศึกษาจะแสดงในรูปแบบของแผนผังขั้นตอนงานวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

3. ปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

4. วิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (Focal mechanism)

5. ปรับปรุงแผนที่และข้อมูล

6. วิเคราะห์รูปแบบของแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้นและความน่าจะเป็น

7. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

8. นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่ม

บทที่ 3

ชุดข้อมูลและสถิติ

(Dataset and Statistic)

3.1. ข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake data)

ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์หลักการเกิดแผ่นดินไหวนี้เป็นชุดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากการตรวจวัดและบันทึกจากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Earthquake Records, Global Centroid Moment Tensor) ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของ GMT format ในชุดข้อมูลที่ได้ในพื้นที่ที่ศึกษาจะอยู่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก และจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีต ณ พื้นที่ศึกษานี้มีจำนวน 1580 ข้อมูล ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วง 8 เมษายน พ.ศ.2519 – 28 มิถุนายน พ.ศ.2560

ข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตที่ได้มานั้นจะประกอบไปด้วย ละติจูด ลองจิจูด ความลึก วันที่ เป็นต้น หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาจำแนกตามระดับความลึกของประเภทของแผ่นดินไหวดังตารางที่ 3.1. สามารถแบ่งจัดได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ 1.) แผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) และ 2.) แผ่นดินไหวภายในแผ่นเปลือกโลก (intraslab earthquake) จากนั้นจะนำไปสร้างเป็นแผนที่ไดอะแกรมลูกบอลชายหาด (beachball diagram) และแผนที่แสดงคาร์เนนาบการวางตัวของรอยเลื่อน (fault plane determination map)

Global CMT Catalog Search

Search form

If you use CMT results in published work, please provide an appropriate citation; see [here](#) 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: 12	Day: 31
<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 magnitudes)

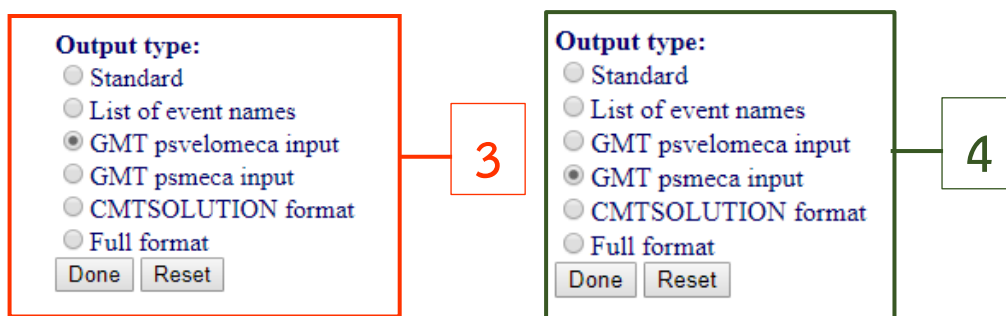
Moment magnitude: 0 <= Mw <= 10
 Surface wave magnitude: 0 <= Ms <= 10
 Body wave magnitude: 0 <= mb <= 10

Location constraints:

Latitude: (degrees) from 17.81 to 42.27 Must be between -90 and 90
 Longitude: (degrees) from 63.39 to 102.72 Must be between -180 and 180
 Depth: (kilometers) from 0 to 8000

รูปที่ 3.1. แสดงหน้าเว็บไซต์ (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>) ที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีต

ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตในลำดับแรกนั้นจะต้องเข้าไปยังเว็บ <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> (ดังรูปที่ 3.1.) จากนั้นกรอกข้อมูลวันที่/เดือน/ปีเริ่มต้นที่ต้องการหาและวันที่/เดือน/ปี ที่สิ้นสุดของจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้น ซึ่งสามารถเลือกได้ทั้งแบบปกติและแบบจูเลียนเดย์ (Julian Day) ซึ่งจูเลียนเดย์คือการนับวันเดือนปีแบบหนึ่ง โดยเริ่มนับวันแรกของปีเป็นวันที่ 1 และวันสุดท้ายของปีคือวันที่ 365 ตามช่องที่ 1 และขั้นตอนต่อมากรอกข้อมูลของพื้นที่ศึกษาที่ต้องการข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตซึ่งจะต้องกรอกทั้งค่าละติจูด ลองจิจูด ตามช่องที่ 2



รูปที่ 3.2. แสดงหน้าต่างเว็บไซต์ในส่วนของการเลือกที่ต้องการแสดงข้อมูลออกมา

จากนั้นเลือกรูปแบบของข้อมูลที่แสดงออกมา ในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบ GMT psvelomeca input ช่องที่ 3 และ GMT psmecca input ช่องที่ 4 (ดังรูปที่ 3.2.) ซึ่งข้อมูลที่ได้ออกมาจะเป็นข้อมูล .txt จากนั้นต้องนำมาเปิดใน Microsoft Excel และปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อไป

GMT psvelomeca input คือเป็นรูปแบบของการแสดงผลข้อมูลนำเข้าที่แสดงผลข้อมูลนำเข้าที่แสดงละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) ค่าการวางตัว (Strike) มุมเท (Dip) มุมคาย (Rake) ขนาดของแผ่นดินไหวและวันที่ดังตารางที่ 3.1.

GMT psmecca input คือ เป็นรูปแบบของการแสดงผลข้อมูลนำเข้าที่แสดงละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) ค่าโมเมนต์เทนเซอร์ และวันที่ดังตารางที่ 3.2.

ตารางที่ 3.1. แสดงตัวอย่างชุดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแบบ GMT psvelomeca input ที่ใช้ในการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว

lon	lat	str1	dip1	rake1	str2	dip2	rake2	sc	iexp	name
63.65	40.41	290	46	108	84	47	72	1.15	26	040876A
63.54	41.48	96	31	130	232	66	69	1.78	25	040876B
63.46	40.42	225	36	85	51	54	93	1.4	26	051776A
98.65	24.39	323	80	-172	232	82	-10	1.22	26	052976A
98.58	24.29	242	88	0	152	90	178	11.2	25	052976B
98.6	24.26	342	72	-169	249	80	-18	1.63	25	053176A
98.57	24.74	338	88	-178	248	88	-2	1.98	25	072176A
71.67	39.27	306	41	-38	66	67	-124	9.55	24	072876C
97.12	26.55	148	45	93	323	45	87	7.99	24	081276A
101.4	27.5	19	66	-6	111	84	-156	3.64	25	110676A

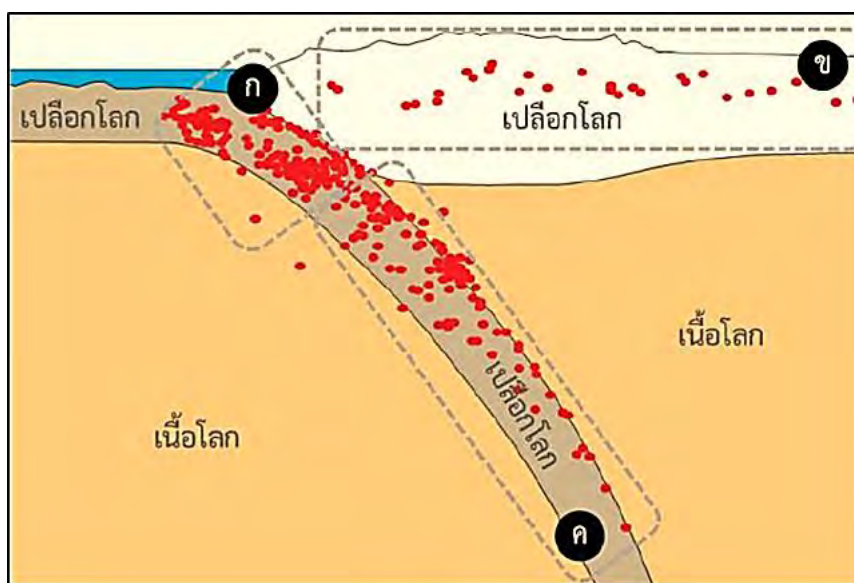
ตารางที่ 3.2. แสดงตัวอย่างชุดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแบบ GMT psmeca input ที่ใช้ในการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว

lon	lat	depth	mrr	mtt	mpp	mrt	mrp	mtp	iexp	date
68.21	36.24	41	3.07	-1.63	-1.44	2.32	-1.43	-3.81	23	102598B
70.45	39	41	0.84	1	-1.84	-1.3	0.28	-1.53	23	201109081946A
94.45	25.4	41	0.11	-0.7	0.59	-0.05	-0.46	0.82	24	201207141955A
93.43	23.8	42	2.92	1.24	-4.16	-3.27	-7.6	0.27	23	073197A
77.46	39.02	42	0.86	-0.84	-0.02	0.35	-0.03	0.04	24	033003G
74.93	39.75	42	0.59	-0.76	0.17	0.23	0.1	-0.27	24	201006100638A
63.54	41.48	43	1.39	-1.23	-0.15	-0.61	-1.12	-0.15	25	040876B
64.33	27.73	43	-1.05	0.64	0.41	1.69	0.53	0.49	24	042880A
96.83	25.37	43	0.19	8.24	-8.43	1.88	-1.25	3.31	24	112194C
81.4	42.02	43	5.49	-5.63	0.14	1.83	-0.27	-1.79	23	092695B
89.05	27.42	44	-0.24	-1.83	2.07	1.51	-1.12	-1.26	25	111980A
71.64	37.51	44	-0.58	-1.63	2.22	-0.19	-0.5	-0.07	24	092588A
93.89	21.62	45	-0.86	-0.23	1.1	0.46	-0.24	-0.2	24	120289C
92.28	24.56	45	0.44	-0.6	0.16	0.57	-0.01	0.5	24	201303020130A
94.67	20.74	46	-3.52	0.61	2.91	2.93	-2.06	-1.86	23	102388C

3.2. การจำแนกกลุ่มแผ่นดินไหวและปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (Earthquake Data Classification and Improvement)

การนำเข้าข้อมูลจะมีข้อมูลที่น่ามาใช้ซึ่งจะมีข้อมูลประเภทตาราง 2 รูปแบบในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลนั้นจะต้องนำเอาข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสองรูปแบบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่สมบูรณ์ที่สุด จากนั้นจะต้องจำแนกชนิดของแผ่นดินไหว โดยเกณฑ์การจำแนกชนิดของแผ่นดินไหวนี้แบ่งตามระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวจากคลื่นแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากการเกิดธรณีแปรสัณฐาน

คลื่นแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากธรณีแปรสัณฐาน (seismotectonic setting) เป็นคลื่นยืดหยุ่น เดินทางออกจากตัวกลาง เป็นการปลดปล่อยพลังงานเมื่อชั้นหินกระทบกันทำให้เกิดคลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่ากระบวนการแปรสัณฐาน (tectonic) เป็นกระบวนการหลักที่ทำให้เปลือกโลกเคลื่อนที่และเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักทั่วโลกซึ่งจะรุนแรงในบริเวณที่เป็นแผ่นเปลือกโลกชนกัน

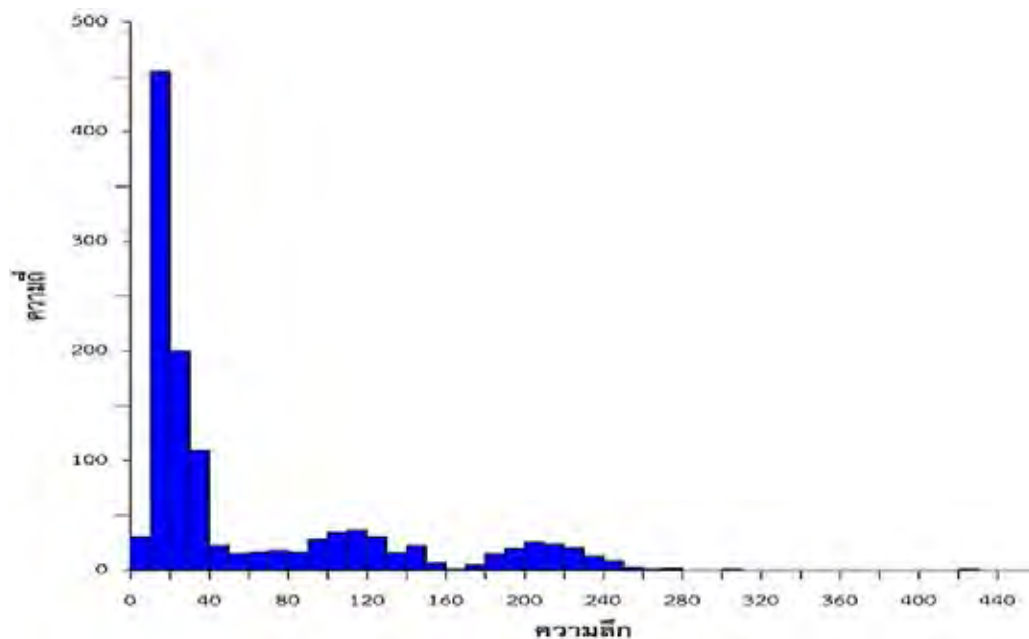


รูปที่ 3.3. แบบจำลองแสดงภาคตัดขวางบริเวณแผ่นเปลือกโลกที่มีการชนกันและมุดกัน (Chabangborn A.)

ในกระบวนการธรณีแปรสัณฐานจะสามารถเกิดได้ตามแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.3. ซึ่งจะแสดงภาพตัดขวางบริเวณแผ่นเปลือกโลกโดยที่บริเวณที่ 1.) จะเกิดการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกด้วยกัน 2.) เกิดภายในแผ่นเปลือกโลก และ 3.) เกิดบริเวณที่มุดตัวลงไปได้เปลือกโลก

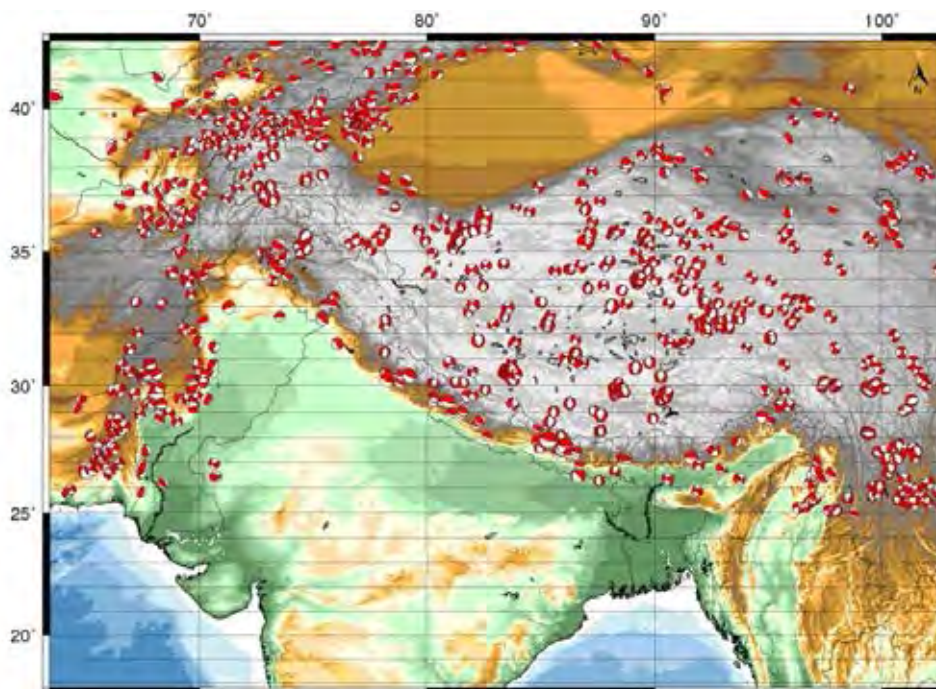
คลื่นแผ่นดินไหวที่เข้ามายังสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจะเข้ามาในรูปแบบของคลื่น และจะถูกบันทึกเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหวได้เป็น 2 ประเภทคือ

- 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)
- 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquake)

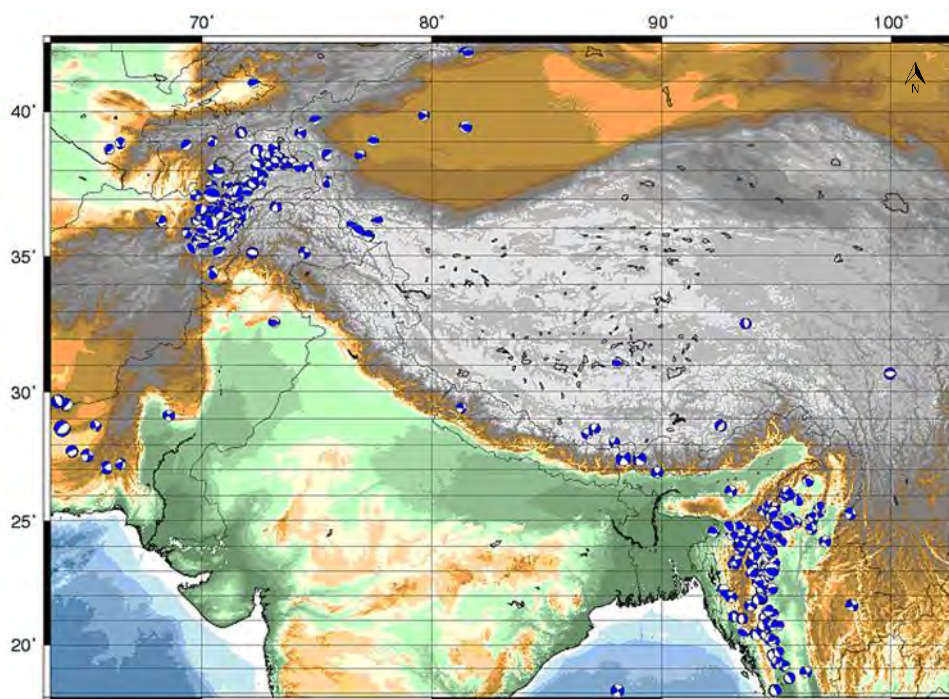


รูปที่ 3.4. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นกับระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ในการจำแนกตามระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว (epicenter) โดยการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของเหตุการณ์แผ่นดินไหวและระดับความลึกของตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว (รูปที่ 3.4.) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนครั้ง/ความถี่ของแผ่นดินไหวกับระดับความลึก ช่วงกราฟมีอัตราของจำนวนครั้งของแผ่นดินไหวมากบริเวณที่ความลึกต่ำกว่าระดับ 40 กิโลเมตร จากข้อมูลที่ได้จากราฟนั้นจะสามารถจำแนกกลุ่มของแผ่นดินไหวโดยใช้เกณฑ์ในลักษณะดังกล่าวได้ โดยที่ระดับความลึกต่ำกว่า 40 กิโลเมตรจะจัดเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ดังรูปที่ 3.5 และที่ระดับความลึกที่ 40 กิโลเมตรขึ้นไปจะจัดเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ในชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5. แสดงผลการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความตื้นตั้งแต่ 10-39 กิโลเมตร



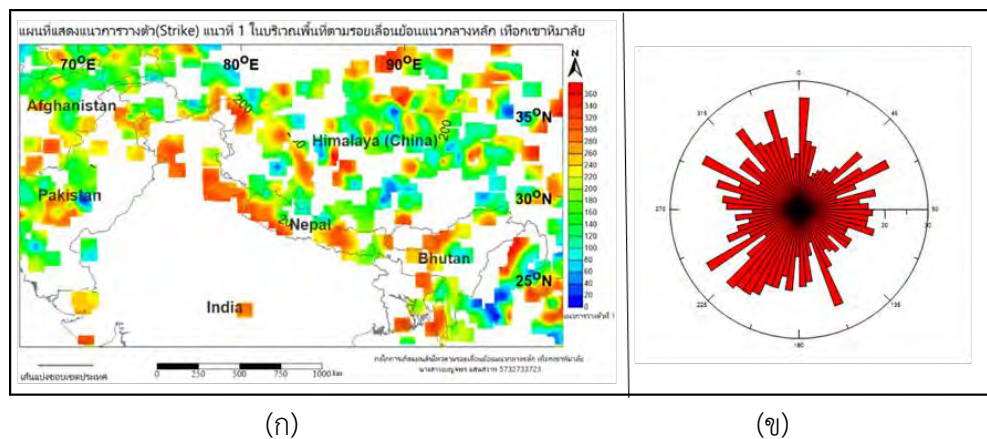
รูปที่ 3.6. แสดงผลการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ที่มีความลึกมากกว่า 40 กิโลเมตร

3.3. การกำหนดค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault Plane Determination)

3.3.1. แผ่นดินไหวภายในแผ่นเปลือกโลก (Intraplate Earthquakes)

แผ่นดินไหวภายในแผ่นเปลือกโลก (intraplate earthquakes) ซึ่งในบริเวณพื้นที่ศึกษาจะอยู่ที่ค่าความลึกประมาณ 10-40 กิโลเมตร และประกอบไปด้วยค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (strike) ค่ามุมเอียงเท (dip) และค่ามุมคาย (rake) ดังนี้

3.3.1.1. ค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (Strike)

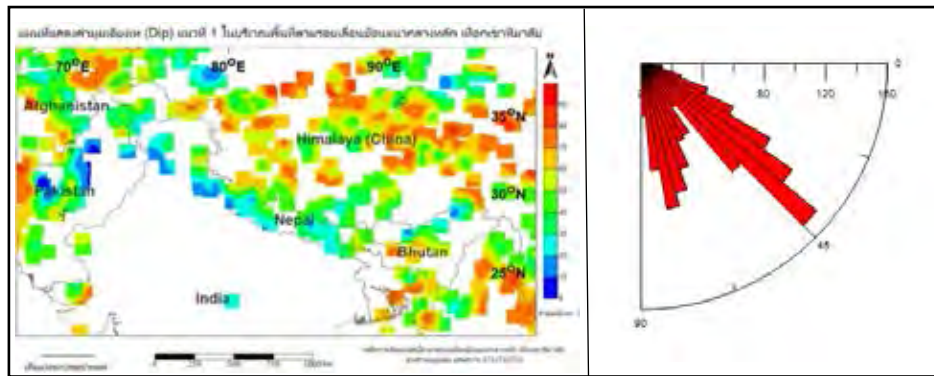


รูปที่ 3.7. (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก แนวที่ 1

(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่าแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1

จากรูปที่ 3.7. (ก) จะเห็นได้ว่า แนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักแนวที่ 1 จะมีค่าอยู่ในช่วง 80-320 องศา โดยส่วนมากจะกระจายตัวอยู่ที่ช่วง 100-240 องศาและจะกระจายตัวอยู่ที่ 90-270 องศาหรือวางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เมื่อพิจารณาจากแผนภาพกุหลาบรูปที่ 3.7. (ข)

3.3.1.2.ค่ามุมเอียงเท (Dip)



(ก)

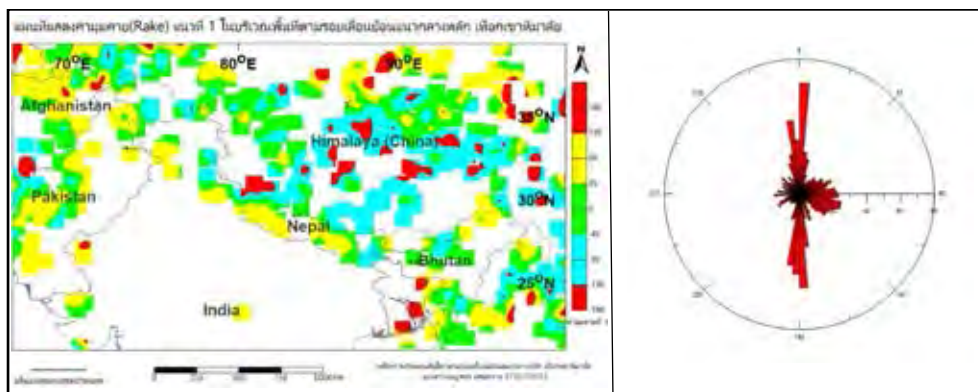
(ข)

รูปที่ 3.8. (ก) แผนที่แสดงมุมเอียงเท (Dip) ของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ในบริเวณพื้นที่ตามรอยเลื่อนย้อนแนวตอนกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย แนวที่ 1

(ข) แผนที่กุหลาบแสดงค่ามุมเอียงเทของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1

ค่ามุมเอียงเท (Dip) ตามระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ดังรูปที่ 3.8. (ก) จะเห็นได้ว่ามีค่าอยู่ที่ 20-90 องศาและจะพบมากในช่วง 70-90 องศาซึ่งจะกระจายตัวอยู่ทางด้านทิศเหนือไปจนถึงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของแผนที่ และจะมีค่าประมาณ 45 องศาเมื่อเทียบกับแผนภาพกุหลาบ (รูปที่ 3.8.(ข))

3.3.1.3.ค่ามุมคาย (Rake)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.9. (ก) แผนที่แสดงมุมคาย (rake) ของระนาบรอยเลื่อนบริเวณพื้นที่รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยแนวที่ 1

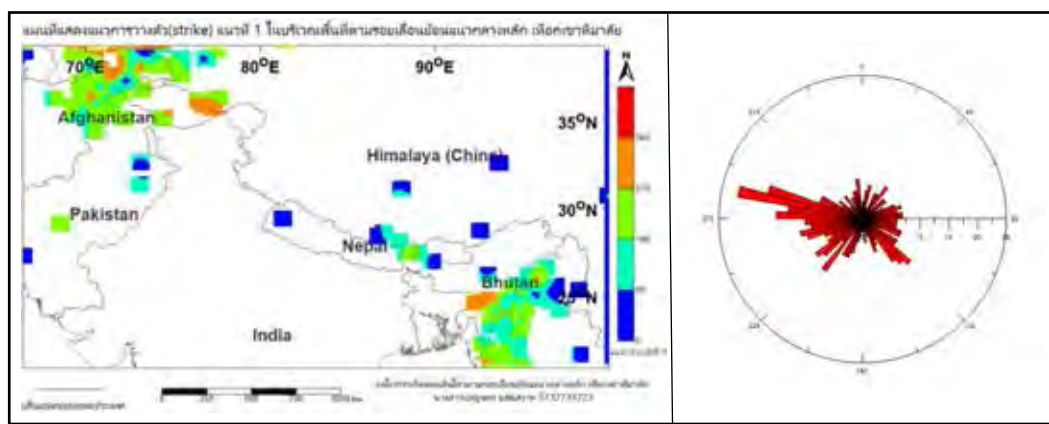
(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่ามุมคายของระนาบรอยเลื่อนบริเวณพื้นที่รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยแนวที่ 1

จากรูปที่ 3.9. (ก) จะเห็นได้ว่าค่ามุมคาย (rake) จะมีค่ากระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ที่ช่วง $-135-90$ องศาทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา และจากแผนภาพกุหลาบจะมีค่าอยู่ที่ช่วง 90 และ 270 องศา ดังภาพที่ 3.9. (ข)

3.3.2. แผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)

แผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquakes) ซึ่งในบริเวณพื้นที่ศึกษานี้ จะอยู่ที่ค่าความลึกประมาณ $41 - 423$ กิโลเมตร และจะประกอบไปด้วยค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (strike) ค่ามุมเอียงเท (dip) และค่ามุมคาย (rake) ดังนี้

3.3.2.1. ค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (Strike)



(ก)

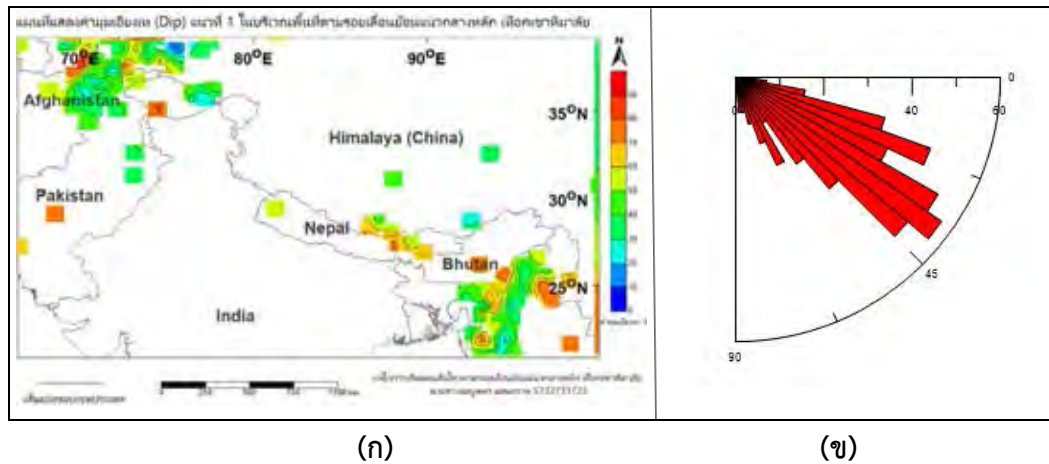
(ข)

รูปที่ 3.10. (ก) แผนที่แสดงแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยแนวที่ 1

(ข) แผนภาพกุหลาบแสดงค่าแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1

จากรูปที่ 3.10. (ก) จะเห็นได้ว่าแนวการวางตัวของระนาบรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก แนวที่ 1 จะมีค่าอยู่ในช่วง $0-270$ องศา โดยส่วนมากจะกระจายตัวอยู่ที่ช่วง $90-180$ องศาและจะกระจายตัวอยู่ที่ $270-315$ องศาเมื่อพิจารณาจากแผนภาพกุหลาบรูปที่ 3.10. (ข)

3.3.2.2. ค่ามุมเอียงเท (Dip)

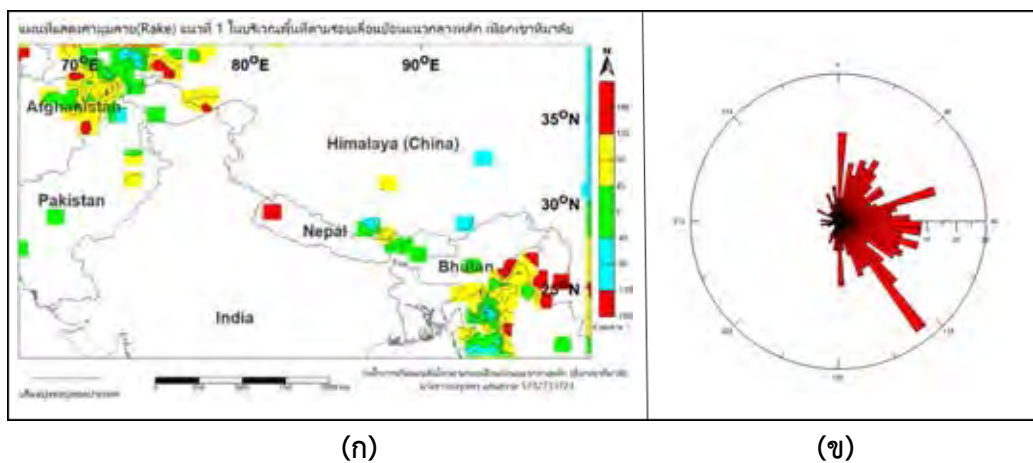


รูปที่ 3.11. (ก) แผนที่แสดงมุมเอียงเท (dip) ของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ในบริเวณพื้นที่ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

(ข) แผนที่กู่กลมแสดงค่ามุมเอียงเทของระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1

ค่ามุมเอียงเท (dip) ตามระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ดังรูปที่ 3.11. (ก) จะเห็นได้ว่ามีค่าอยู่ที่ 30-70 องศาและจะพบมากในช่วง 30-60 องศาซึ่งจะกระจายตัวอยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแผนที่ และจะมีค่ามุมเอียงเทประมาณ 45 องศาเมื่อเทียบกับแผนภาพกู่กลม (รูปที่ 3.11. (ข))

3.3.3.3. ค่ามุมคาย (Rake)



รูปที่ 3.12. (ก) แผนที่แสดงมุมคาย (rake) ของระนาบรอยเลื่อนบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย แนวที่ 1

(ข) แผนภาพกู่กลมแสดงค่ามุมคายของระนาบรอยเลื่อนบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย แนวที่ 1

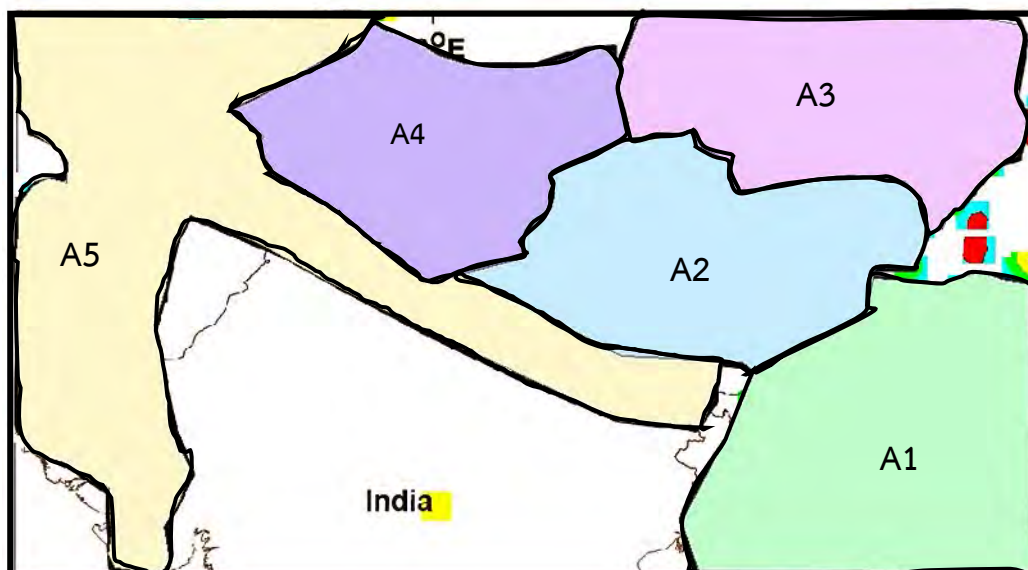
จากรูปที่ 3.12. (ก) จะเห็นได้ว่าค่ามุมคาย (rake) จะมีค่ากระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ที่ช่วง -45-180 องศาทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา และจากแผนภาพหลายๆฉบับจะมีค่าอยู่ที่ช่วง 45-90 องศา ดังภาพที่ 3.12. (ข)

3.4. การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหว (Earthquake Segmentation)

การแบ่งพื้นที่ย่อยของแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มหรือบริเวณที่มีพฤติกรรมแผ่นดินไหวแบบเดียวกันเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญในงานวิจัยในครั้งนี้เพราะในการจัดกลุ่มหรือบริเวณที่มีพฤติกรรมของแผ่นดินไหวแบบเดียวกันไว้ด้วยกันจำเป็นจะต้องนำชุดข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลค่าระนาบรอยเลื่อน ข้อมูลตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวข้างต้น นำมาพิจารณาประกอบกันแล้วแบ่งพื้นที่ย่อยเพื่อสร้างแบบจำลองลูกบอลชายหาด (beach ball diagram) หากผิดพลาดจะทำให้การสร้างแบบจำลองลูกบอลชายหาดนั้นมีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งการแบ่งพื้นที่ย่อยนี้จะแบ่งตามข้อมูลทั้งสองชุดตามชนิดของแผ่นดินไหวที่ได้จำแนกไว้ได้แก่ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใต้น้ำโลก (intraslab earthquake)

3.4.1. แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)

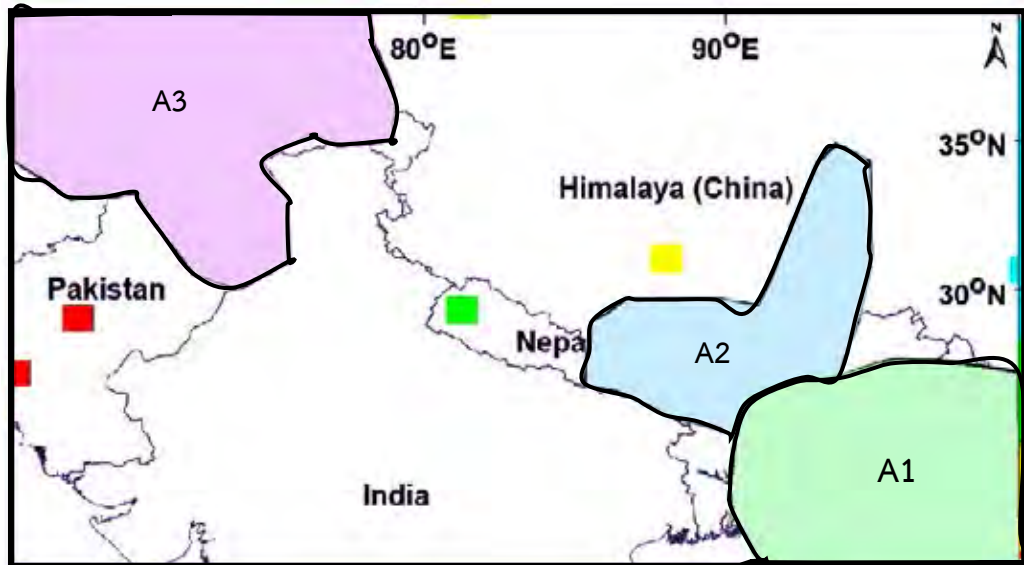
การแบ่งกลุ่มของแผ่นดินไหวย่อยของพื้นที่แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ซึ่งการแบ่งกลุ่มของแผ่นดินไหวย่อยในบริเวณนี้สามารถแบ่งได้ 5 พื้นที่ย่อยตามแนวรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย



รูปที่ 3.13. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 10 - 40 กิโลเมตร

3.4.2. แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquake)

การแบ่งกลุ่มของแผ่นดินไหวย่อยของพื้นที่แผ่นดินไหวที่แผ่นดินไหวที่มุดลงไปใ้ชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) ซึ่งการแบ่งกลุ่มของแผ่นดินไหวย่อยในบริเวณนี้สามารถแบ่งได้ 3 พื้นที่ย่อยตามแนวรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย

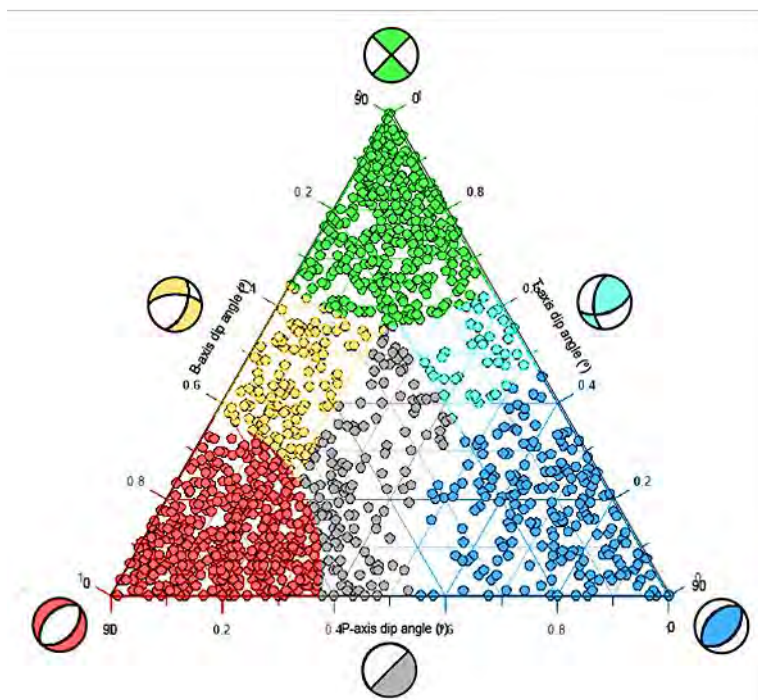


รูปที่ 3.14. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 40 กิโลเมตรขึ้นไป

บทที่ 4

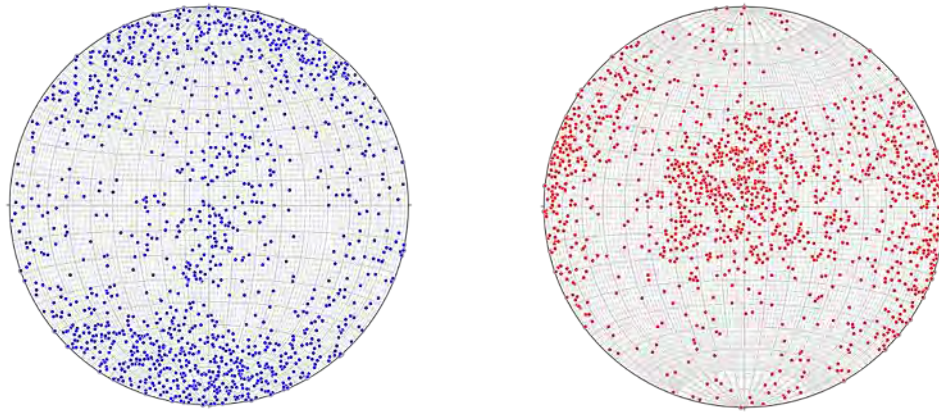
ผลการศึกษา (Result)

เมื่อเราได้ชุดข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์แผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตเราจะสามารถนำชุดข้อมูลนั้นมาทำเป็นแผนภาพลูกบอล (beachball diagram) ซึ่งจะสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) 2) แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปนชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)



รูปที่ 4.1. แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวรวมทุกเหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 - ปี 2018

จากแผนภาพสามเหลี่ยมที่แสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวทุกเหตุการณ์ (รูปที่ 4.1) เหตุการณ์ในการเกิดแผ่นดินไหวนี้จะเป็นแบบรอยเลื่อนปกติ (normal fault) และ รอยเลื่อนเฉียงแนวระดับ (strike-slip fault) เป็นส่วนมากซึ่งมักจะเกิดขึ้นจากกระบวนการธรณีแปรสัณฐาน (tectonic) ในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่แสดงออกมาในรูปแบบของกลไกการเกิดแผ่นดินไหวจะประกอบไปด้วยสองแกนในการแสดงการเลื่อนตัวคือ แกน P หรือ แกนดึงออก (P-axis or compressional) และแกน T หรือ แกนผลักเข้า (T-axis or tensional) ดังรูปที่ 4.2 ที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแกน P และ แกน T



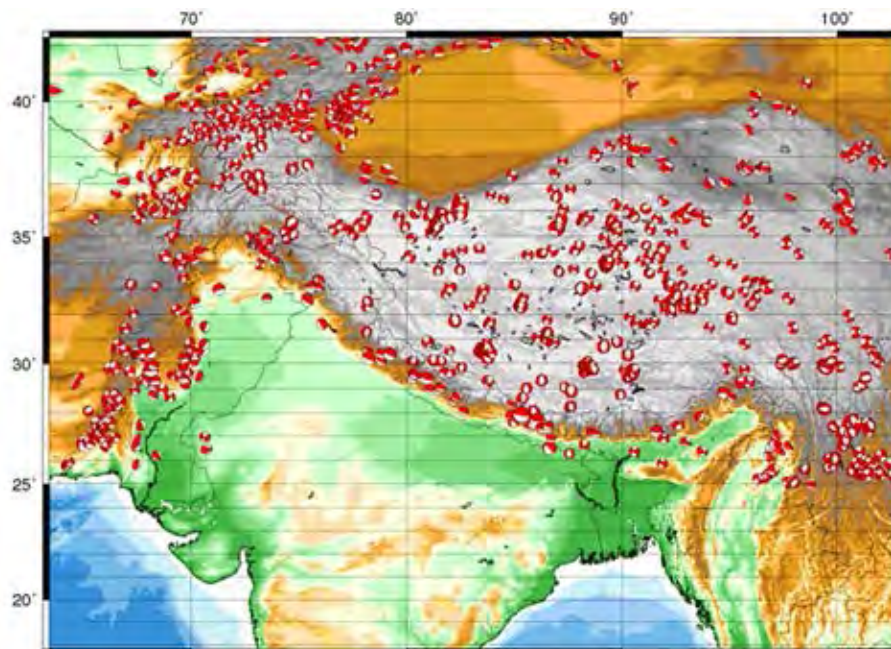
(ก) P-axis

(ข) T-axis

รูปที่ 4.2. แสดงระดับความสูงต่ำเหตุการณ์ทั้งหมดตั้งแต่ปี ค.ศ.1976-2017 โดยที่ (ก) P-axis
(ข) T-axis

4.1. แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)

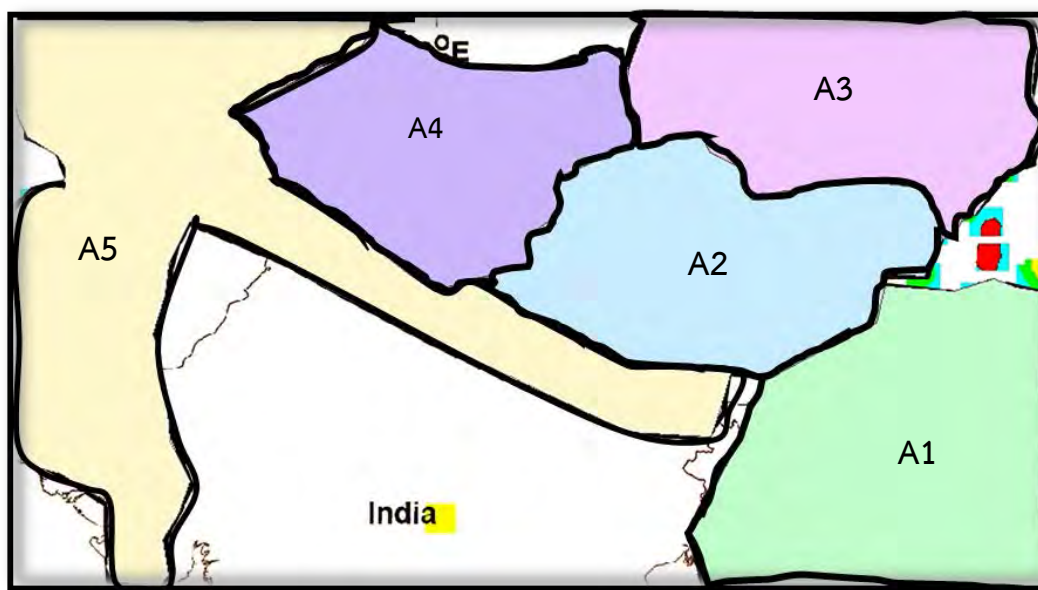
แผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) อยู่ที่ระดับความลึกที่ 10-40 กิโลเมตรซึ่งเมื่อนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาเข้าโปรแกรม ก็จะสามารถพล็อตแผนภาพลูกบอลออกมาได้ดังรูปที่ 4.3.



รูปที่ 4.3. แสดงแผนภาพลูกบอล (beachball diagram) บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)

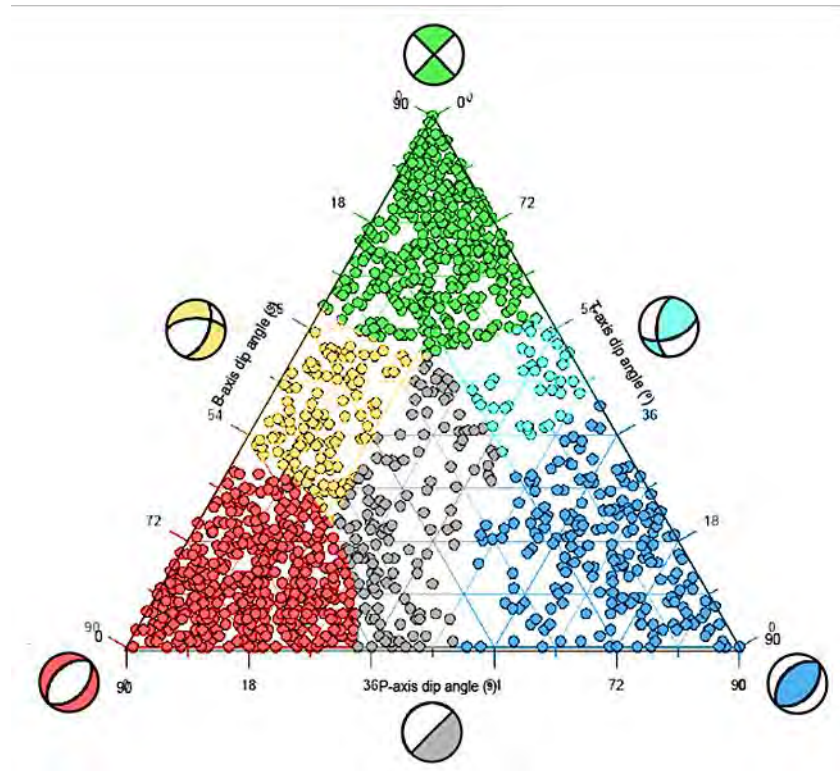
4.1.1. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)

การแบ่งกลุ่มหรือจัดกลุ่มแผ่นดินไหวที่มีเหตุการณ์ในการเกิดแผ่นดินไหวจะจัดเหตุการณ์ที่มีความคล้ายคลึงกันไว้ด้วยกันและการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) จะสามารถจัดจำแนกได้เป็น 5 ส่วนด้วยกันดังรูปที่ 4.4.

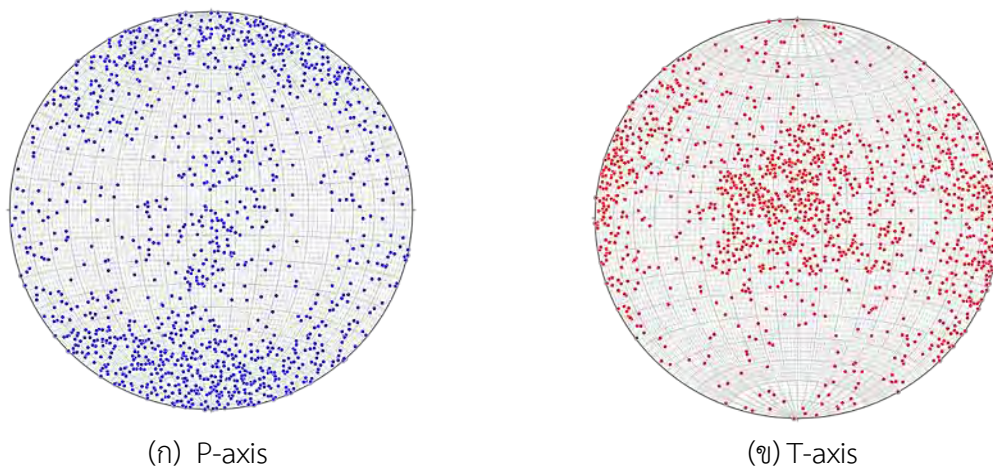


รูปที่ 4.4. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 10 - 40 กิโลเมตร

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) มาทำแผนภาพสามเหลี่ยมจะดังรูปที่ 4.5. จะเห็นได้ว่ากลไกการเกิดแผ่นดินไหวจะแสดงรอยเลื่อนแบบรอยเลื่อนปกติ (normal fault) และรอยเลื่อนแนวเฉียงระดับ (strike-slip fault) และเมื่อนำมาจำแนกเป็นแกนสองแกนหลักคือ แกน P และแกน T (p-axis and t-axis) จะดังรูปที่ 4.6. ในส่วนของกลุ่มแผ่นดินไหวได้จัดจำแนกข้อมูลไว้ดังต่อไปนี้


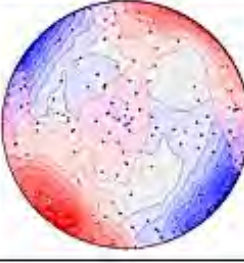


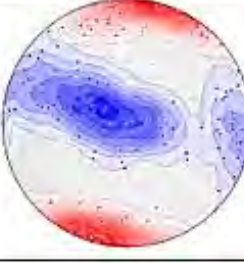
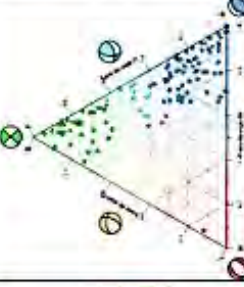
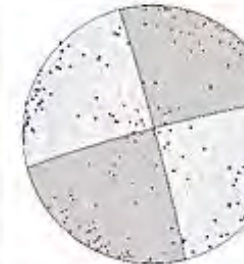
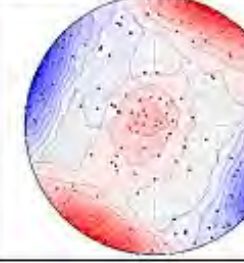
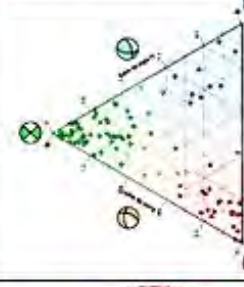


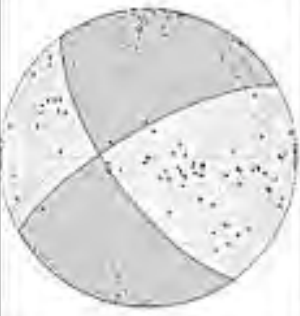
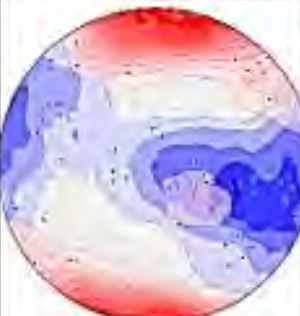

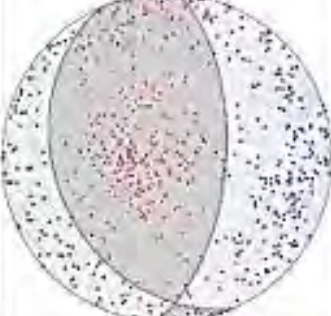
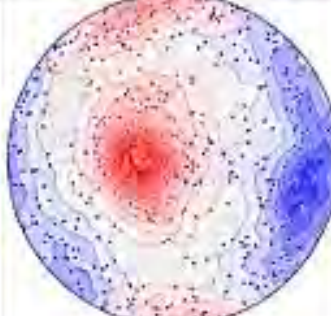
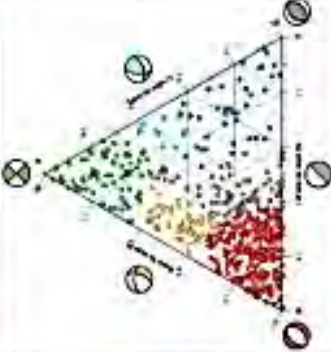
รูปที่ 4.5. แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมดที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) เหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976-2017



รูปที่ 4.6. แสดงระดับความสูงต่ำของเหตุการณ์ทั้งหมดแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) เหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976-2017 โดยที่ (ก) P-axis (ข) T-axis

ในส่วนของกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดระหว่างขอบการชนกันของแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) ได้จัดจำแนกข้อมูลเช่น แผนภาพลูกบอลชายหาด (focal mechanism), ระดับความสูง (contour P-T map), แผนภาพสามเหลี่ยม (ternary diagram) ไว้ดังต่อไปนี้

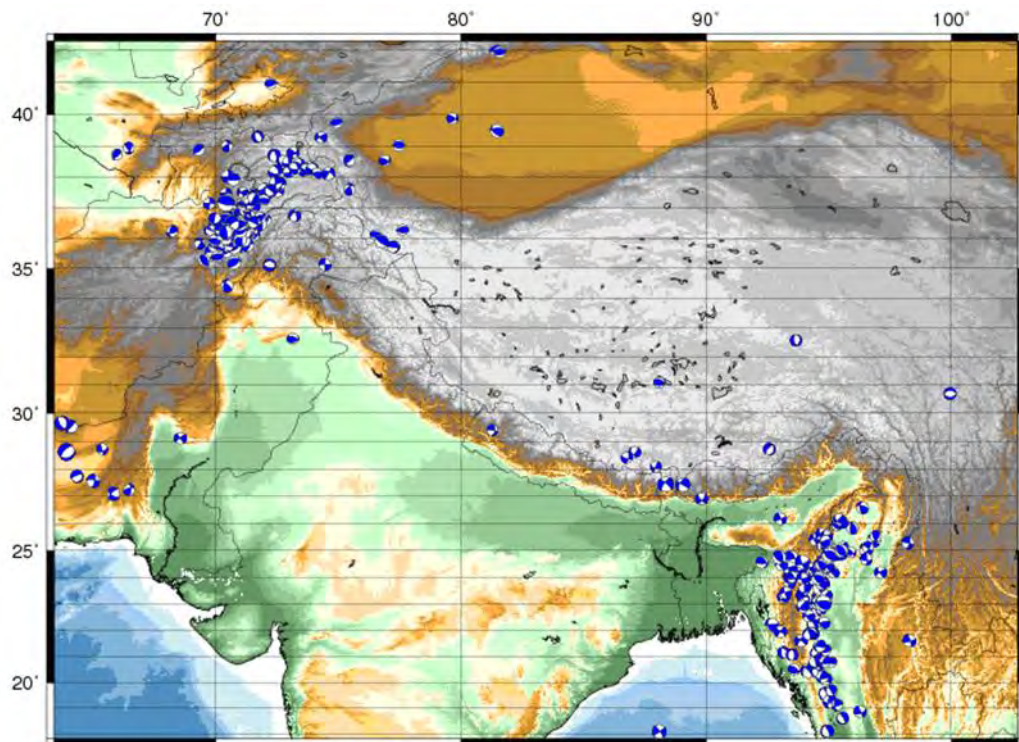
พื้นที่ย่อย (Sub – Region)	แผนภาพลูกบอลชายหาด (Focal Mechanism)	ระดับความสูง (Contour P-T Map)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Diagram)	คำนวณการรอยเลื่อน (Fault Plane Solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมค้ำ
A1				1.	353.4	78.5	178.4
				2.	083.7	88.4	011.5
A2				1.	030.1	45.2	-64.5
				2.	176.0	50.2	066.6
A3				1.	345.1	86.4	178.0
				2.	075.2	88.0	003.6

พื้นที่ย่อย (Sub – Region)	แผนภาพกลูกบอล ชายหัด (Focal Mechanism)	ระดับความสูง (Contour P-T Map)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault Plane Solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมดิ่ง
A4				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมดิ่ง
				1.	234.3	64.8	-016.9
A5				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมดิ่ง
				1.	246.5	32.5	066.3
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมดิ่ง
				2.	094.0	60.5	104.4

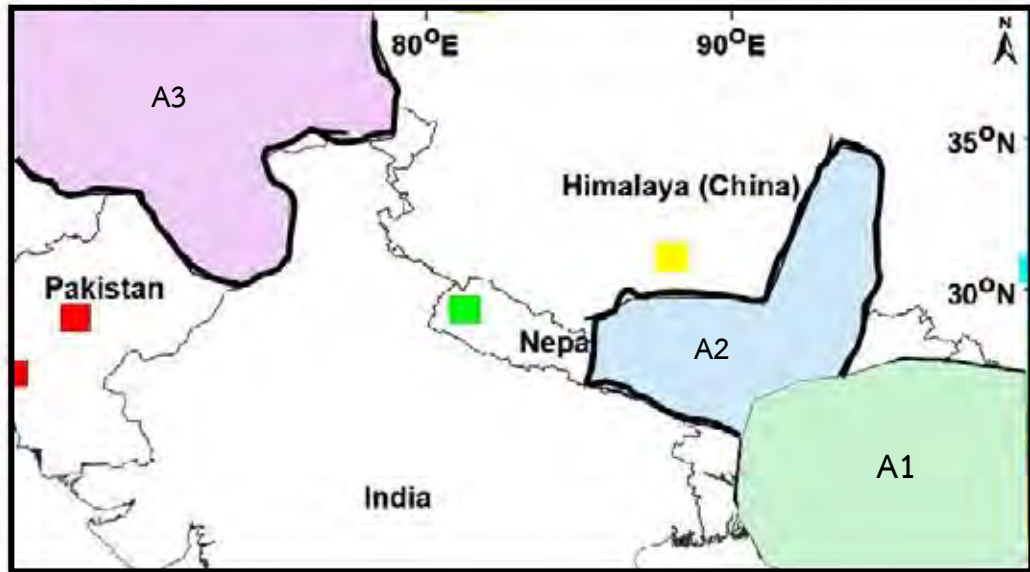
4.1.2. ลูกบอลประจำกลุ่ม

หลังจากที่เราทำการแบ่งกลุ่มของเหตุการณ์แผ่นดินไหวแล้ว จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นั้นไปเข้าโปรแกรมเพื่อที่จะหาค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ เช่นค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (strike) ค่ามุมเอียงเท (dip) และค่ามุมคาย (rake) ซึ่งจะได้ลูกบอลที่แสดงระดับความสูง-ต่ำของพื้นที่ และ รอยเลื่อนของพื้นที่นั้น ดังต่อไปนี้

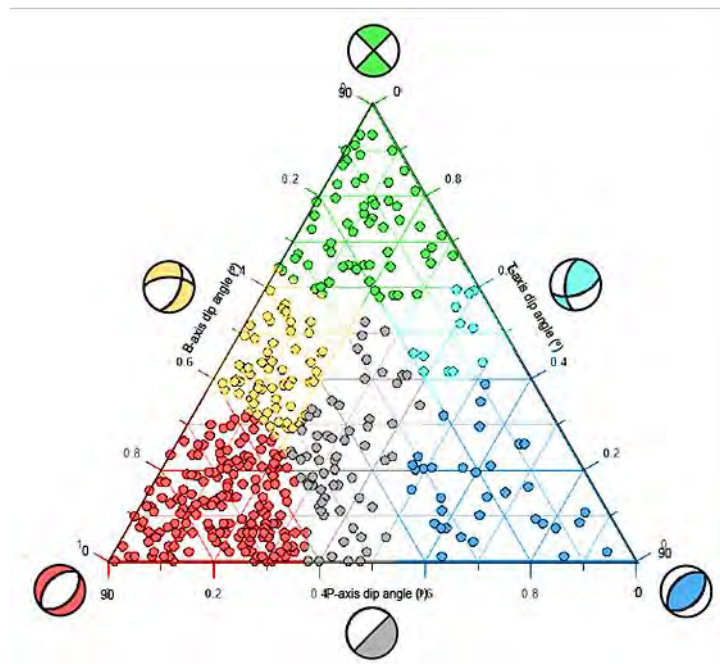
4.2. แผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquake)



รูปที่ 4.7. แสดงแผนภาพลูกบอล (beachball diagram) บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปใ้ชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake)


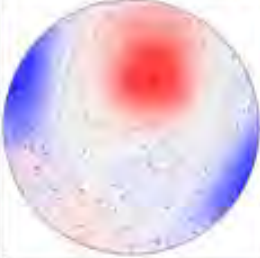




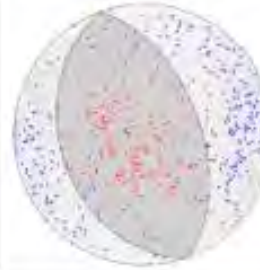
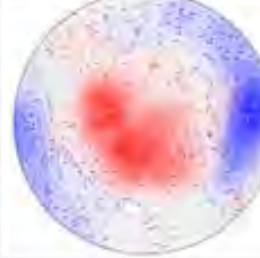
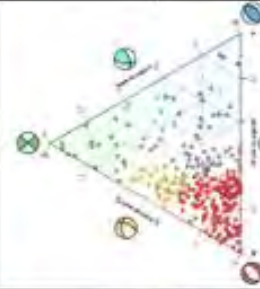


รูปที่ 4.8. การแบ่งกลุ่มแผ่นดินไหวบริเวณเกิดบริเวณแผ่นที่มุดลงไปบนชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) ที่ความลึกตั้งแต่ 41 กิโลเมตรเป็นต้นไป



รูปที่ 4.9. แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงกลไกการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมดแผ่นที่มุดลงไปบนชั้นเนื้อโลก (intraslab earthquake) เหตุการณ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976-2017

ในส่วนของกลุ่มแผ่นดินไหวที่แผ่นที่มุดลงไปในชั้นเนื้อโลก (Intraslab Earthquake) ได้จัดจำแนกข้อมูลเช่น แผนภาพลูกบอลขยายหด (focal mechanism), ระดับความสูง (contour P-T map), แผนภาพสามเหลี่ยม (ternary diagram) ไว้ดังต่อไปนี้

พื้นที่ย่อย (Sub - Region)	แผนภาพลูกบอลขยายหด ขยายหด (Focal Mechanism)	ระดับความสูง (Contour P-T Map)	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Diagram)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (Fault Plane Solution)			
				ลำดับ	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมไถ
A1				1	257.5	57.2	035.7
				2	146.2	60.6	141.5
A2				1	125.0	80.0	-173.3
				2	033.8	83.4	169.9
A3				1	251.7	35.7	091.5
				2	069.9	54.4	066.9

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

(DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)

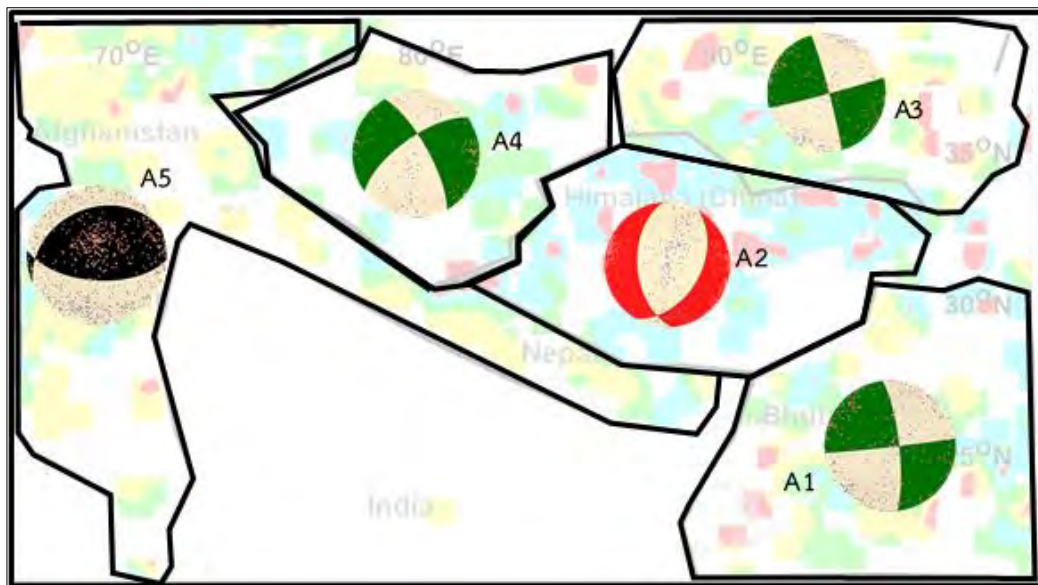
ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการประเมินกลไกการเกิดแผ่นดินไหวในครั้งนี้นำมาจาก 2 ฐานข้อมูลได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global CMT Catalogue (GCMT) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งเมื่อนำข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดมารวมกันจะพบว่ามีจำนวนเหตุการณ์ในการเกิดแผ่นดินไหว ทั้งหมด 2,979 เหตุการณ์ โดยได้ทำการบันทึกตั้งแต่วันที่ 8 เมษายน พ.ศ.2519 – 28 มิถุนายน พ.ศ.2560 ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจำแนกตามระดับความลึกของประเภทของแผ่นดินไหวดังตารางที่ 3.1.1 สามารถแบ่งจัดได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ 1.) แผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate Earthquake) และ 2.) แผ่นดินไหวภายในแผ่นเปลือกโลก (intraslab Earthquake)

5.2. กลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (Interplate Earthquake)

กลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) จะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มโดยจะแบ่งตามค่าระนาบรอยเลื่อนซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าการวางตัวแนวระนาบ (strike), ค่ามุมเอียงเท (dip), ค่ามุมคาย (rake) ดังตารางที่ 5.1.

ตารางที่ 5.1. แสดงค่าระนาบรอยเลื่อนซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าการวางตัวแนวระนาบ (strike), ค่ามุมเอียงเท (dip), ค่ามุมคาย (rake)

พื้นที่ย่อย (sub-region)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (fault plane solution)		
	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A1	353.4	78.5	178.4
A2	030.1	45.2	-64.5
A3	354.1	86.4	178.0
A4	234.3	64.8	-016.9
A5	246.5	32.5	066.3



รูปที่ 5.1. แสดงลูกบอลชายหาด (beachball diagram) แต่ละกลุ่ม บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)

จากรูปที่ 5.1. จะเห็นได้ว่าลูกบอลชายหาดประจำแต่ละกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) จะสามารถสรุปได้ว่า A1 มีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนแนวเฉียงระดับชนิดขวาเข้า (right-lateral strike-slip fault), A2 มีการเลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนปกติแบบขวาเข้า (normal right-lateral strike-slip fault), A3 มีการเลื่อนตัวแบบแนวเฉียงระดับชนิดขวาเข้า (right-lateral strike-slip fault), A4 มีการเลื่อนตัวแบบแนวเฉียงระดับชนิดขวาเข้า (right-lateral strike-slip fault), A5 มีการเลื่อนตัวแบบแนวรอบเลื่อนย้อนมุมกลับแบบขวาเข้า (reverse right-lateral strike-slip fault)

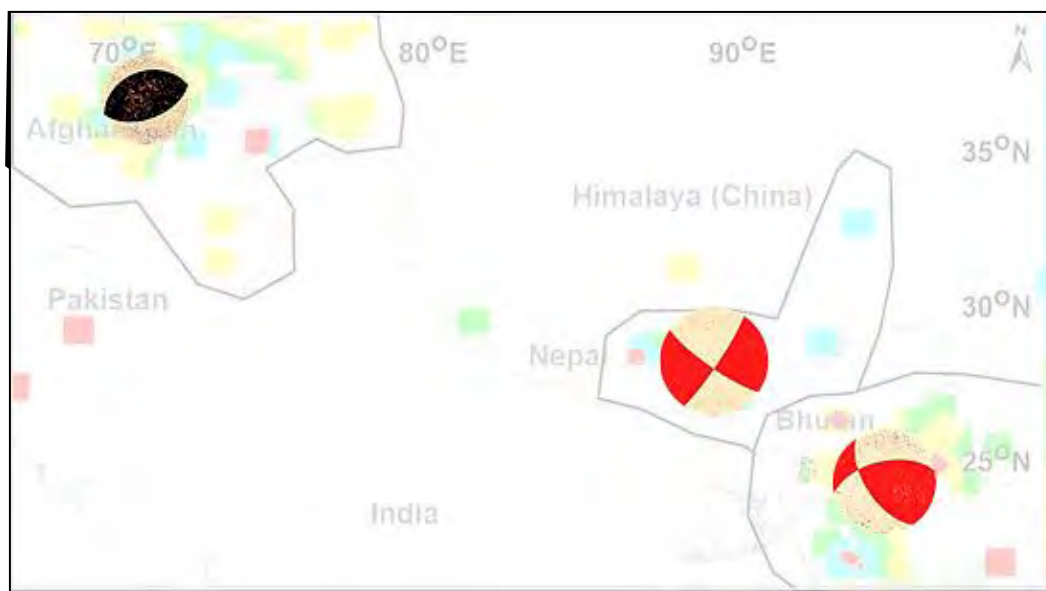
เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต (Ling Bai et al, 2017) จะสามารถบอกได้ว่า ข้อมูล ณ บริเวณพื้นที่แผ่นดินไหวระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) มีความคล้ายคลึงกันซึ่งจะสามารถบอกได้ว่า บริเวณนี้มีการเลื่อนตัวเป็นไปตามการแปรธรณีฐานโดยกล่าวคือแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (INDIA PLATE) มุดตัวลงใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (EURASIA PLATE) จึงทำให้บริเวณนี้มีการเลื่อนตัวและทำให้เกิดแผ่นดินไหวขึ้นซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดแผ่นดินไหวตามได้ในอนาคตได้ (D. Shanker et al, 2011)

5.3. กลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นภายในแผ่นเปลือกโลก (Intraslab Earthquake)

การนำข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นภายในแผ่นเปลือกโลก (intraslab earthquake) มากำหนดค่าระนาบรอยเลื่อนซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าการวางตัวของรอยเลื่อน (strike) ค่ามุมเอียงเท (dip) และค่ามุมคาย (rake) ซึ่งค่าที่ได้จะมีจำนวนสองชุดด้วยกันซึ่งจะเลือกค่าข้อมูลที่ใกล้เคียงกับการเกิดธรณีแปรสัณฐานซึ่ง ณ ที่นี้จะเลือกค่าระนาบรอยเลื่อนแนวที่ 1 ดังตารางที่ 5.2.

ตารางที่ 5.2. แสดงค่าระนาบรอยเลื่อนซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าการวางตัวแนวระนาบ (strike), ค่ามุมเอียงเท (dip), ค่ามุมคาย (rake)

พื้นที่ย่อย (sub-region)	ค่าระนาบรอยเลื่อน (fault plane solution)		
	ค่าการวางตัว	ค่ามุมเท	ค่ามุมคาย
A1	257.5	57.2	035.7
A2	125.0	80.0	-173.3
A3	251.7	35.7	091.5

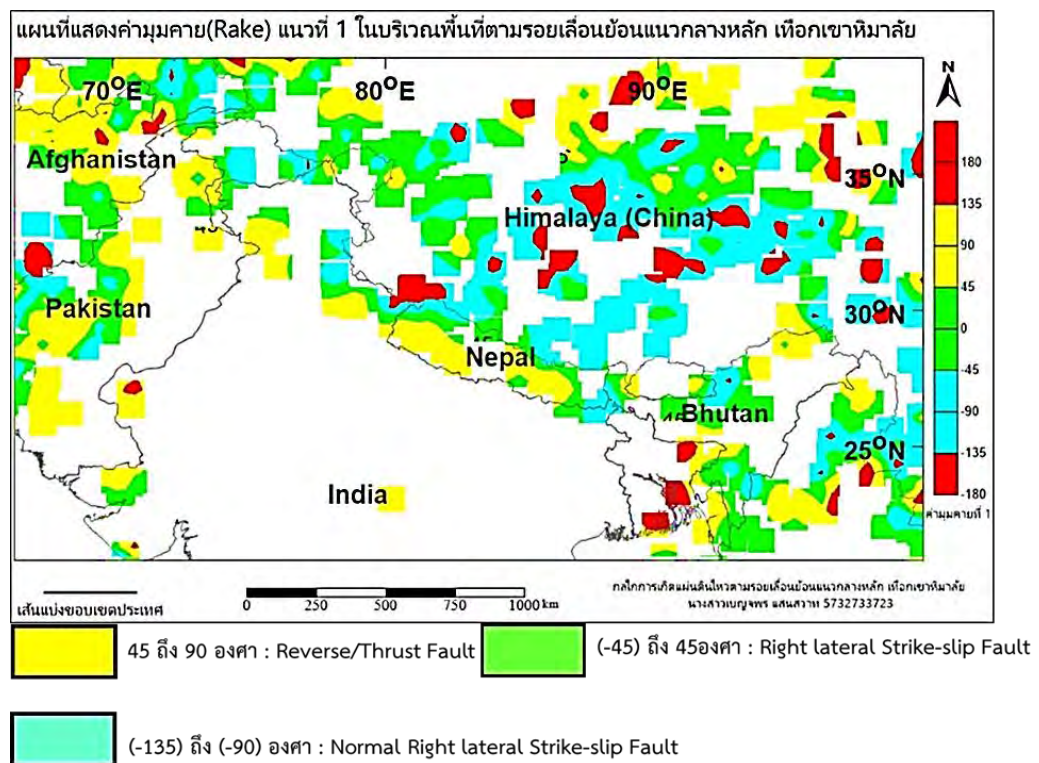


รูปที่ 5.2. แสดงลูกบอลชายหาด (beachball diagram) แต่ละกลุ่ม บริเวณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake)

ซึ่งจากรูปที่ 5.2. จะสามารถสรุปได้ว่า A1 มีการเคลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนย้อนมุมกลับชนิด ขวาเข้า (reverse right-lateral strike-slip fault), A2 มีการเคลื่อนตัวแบบแนวเฉียงระดับชนิด ขวาเข้า (right-lateral strike-slip fault), A3 มีการเคลื่อนตัวแบบรอยเลื่อนย้อนมุมกลับ (reverse fault)

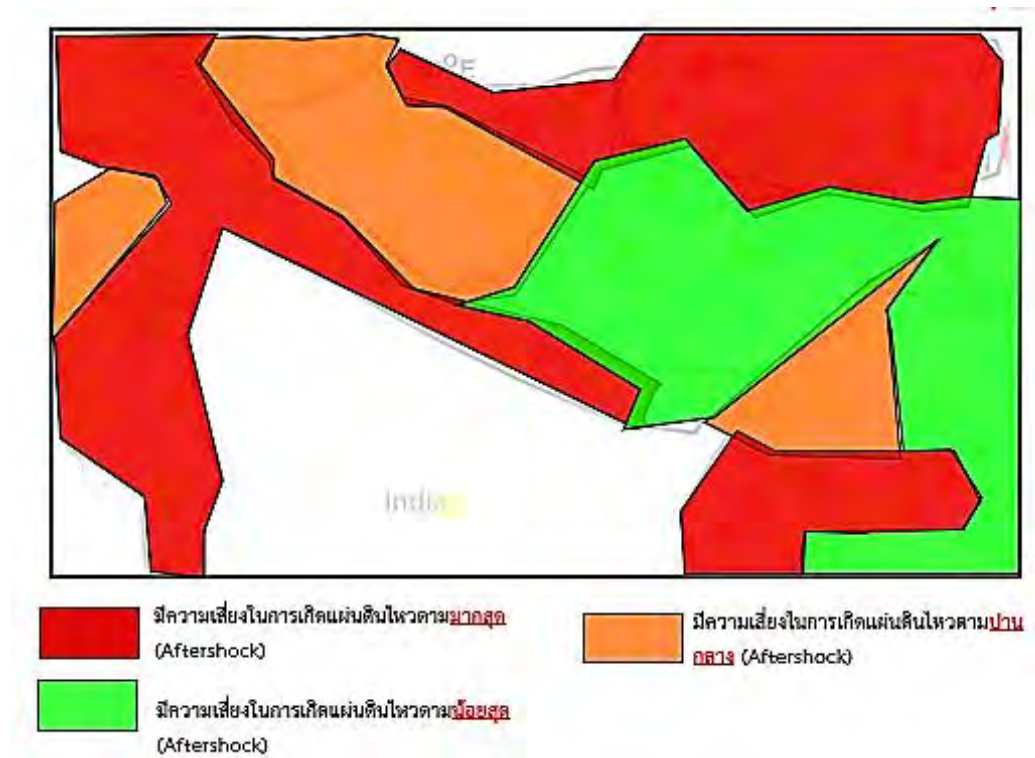
5.4 สรุปผลการทดลอง (Conclusion)

จากการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 2 บริเวณ ได้แก่ 1) กลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเปลือกโลก (interplate earthquake) 2) กลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นภายในแผ่นเปลือกโลก (intraslab earthquake) โดยการนำค่ามุมคาย (rake) จะได้ว่าบริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตาม (after shock) แบ่งได้เป็น 3 บริเวณหลักๆด้วยกันคือ 1)บริเวณพื้นที่สีเหลืองที่มีค่ามุมคาย 45 ถึง 90 องศาจะเป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse/thrust fault) 2) บริเวณพื้นที่สีเขียวที่มีค่ามุมคาย -45 ถึง 45 องศาจะเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) 3) บริเวณพื้นที่สีฟ้าที่มีค่ามุมคาย -135 ถึง -90 องศาจะเป็นรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ดังรูปที่ 5.4.1.



รูปที่ 5.3. แสดงการวิเคราะห์ค่ามุมคาย (rake)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า บริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตามจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับดังรูปที่ 5.4. คือ 1) บริเวณสีแดงจะมีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตามมากที่สุด (aftershock) 2) บริเวณสีส้มจะมีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตาม (aftershock) ปานกลาง 3) บริเวณสีเขียวจะมีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตาม (aftershock) น้อยที่สุด



รูปที่ 5.4.. แสดงบริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวตาม (aftershock)

เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)

- Amante and Eakins, 2009C. Amante, B.W. Eakins ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures,
- Artikov, T. U., et al. (2014). "Compositional change of seismic event sequences in focal zones during preparation of strong earthquakes." *Geodesy and Geodynamics* 5(2): 1-8.
- Bilham, R., Larson, K., Freymuller, J., Project Idylhim members, 1997. GPS measurements of present-day convergence across the Nepal Himalaya. *Nature* 386, 61 – 64
- Data Sources and Analysis NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, National Geophysical Data Center, NOAA (2009), 10.7289/V5C8276M
- Gutenberg, B. and Richter, C.F. 1944. Frequency of Earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34: 185-188.
- Jayangondapermal, R., et al. (2017). "Earthquakes and active tectonics of the Himalayan convergent boundary." *Quaternary International* 462(Supplement C): 1-2.
- 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.
- Sobolev, G.A., 1995. *Fundamental of Earthquake Prediction*, Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161.
- USGS 2010. *Global Seismic Hazard Map*. The Global Seismic Hazard Assessment Program, US Geological Survey, California, U.S.A.
- www.earthquake.usgs.gov [Earthquake Hazards Program, U.S. Geological Survey]
- www.globalcmt.org [The Global Centroid-Moment-Tensor]
- www.isc.ac.uk [International Seismological Centre]
- www.seismology.tmd.go.th [Seismological Bureau, Thai Meteorological Department]

