



# โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือน  
ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก  
เทือกเขาหิมาลัย

โดย

นางสาวปิยวรา มัถการุณ  
เลขประจำตัวนิสิต 5732737223

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ได้มีการในคลังปัญญาจุฬาฯ (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.

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะท้อนตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก  
เทือกเขาหิมาลัย

นางสาวปิยวรา มั่งการุณ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2560

SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE MAIN CENTRAL THRUST,  
HIMALAYA

MISS PEEWARA MAKKAROON

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



## 5732737223 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : พื้นที่เสี่ยง / รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย / การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว / ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว / การทดสอบย้อนกลับ / ภาวะเียบสงบ / การปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

ปิยวรา มัการุณ : การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือนตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย (SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE MAIN CENTRAL THRUST, HIMALAYA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 49 หน้า.

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ด้วยวิธีคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือน (Z value) โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ถูกบันทึกตั้งแต่ปี ค.ศ 1905 ถึง 2014 ในกรอบพื้นที่ศึกษา ละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 11,457 เหตุการณ์ ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวในช่วง 2.4 ถึง 8.6  $m_b$  ที่มีความสมบูรณ์และสามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวอย่างแท้จริง ทำการกำหนดกรณีศึกษาทั้งหมด 15 กรณี โดยคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีขนาด 6.0  $m_b$  ขึ้นไป เมื่อทำการทดสอบย้อนกลับพบว่าเงื่อนไขที่มีจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี 25 เหตุการณ์ ที่มีกรอบเวลา 2 ปี ในรัศมีการพิจารณาข้อมูล 300 กิโลเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำแผนที่การกระจายตัวของค่า Z เพื่อตรวจสอบบริเวณที่พบภาวะเียบสงบ ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าว ผลการศึกษาสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ 5 บริเวณ ได้แก่ 1) บริเวณตะวันออกของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน 2) บริเวณตะวันตกของแนวเทือกเขาหิมาลัยบริเวณรอยต่อระหว่างประเทศจีนและอินเดีย 3) บริเวณตอนเหนือของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน 4) บริเวณตอนใต้ของประเทศปากีสถานติดกับประเทศอินเดีย และ 5) บริเวณตะวันตกของประเทศอินเดียติดกับทะเลอาหรับ

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

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

ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ 2560 \_\_\_\_\_

## 5732737223: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: PROSPECTIVE AREA/ THE MAIN CENTRAL THRUST, HIMALAYA/ SEISMICITY RATE CHANGE/ EARTHQUAKE CATALOGUE/ RETROSPECTIVE TEST/ SEISMIC QUIESCENCE/ EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT

PEEWARA MAKKAROON: SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE MAIN CENTRAL THRUST, HIMALAYA. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SANTI PAILOPLEE, 49 pp.

This research aims to study prospective areas of the upcoming moderate to large earthquake were evaluated of the main central thrust, Himalaya by using statistical method that investigates the seismicity rate change for detect seismic quiescence. The earthquake catalogues come International Seismological Center (ISC) those were reported from 1905 to 2014 at latitude of 17.81 to 42.27 °N longitude of 63.39 to 102.72 °E. After improving the earthquake catalogue process, the dataset left 11,457 events with 2.4-8.6  $m_b$ . We chose earthquake events that represent our case study for 15 cases which the  $m_b$  more than 6.0 magnitude. After the retrospective test, we found 13 quiescence-anomaly areas for  $N = 25$  events and  $T_w = 2.0$  years are appropriate characteristic parameter to analyse the spatial distribution of Z value maps. Consequently, based mainly on the obtained suitable parameter of  $N$  and  $T_w$  and the most up-to-date seismicity data, the seismic quiescence maps reveal that there are 5 prospective areas might be risk for the upcoming moderate-large earthquakes, i.e., 1) Eastern Himalayan range in China, 2) Western Himalayan range between China and India, 3) Northern Himalayan range in China, 4) Southern of Pakistan near India, and 5) Western of India near Arabian Sea.

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

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

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

## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการวิจัยนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากขาดบุคคลดังต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และเป็นพี่ปรึกษาที่ดีมาตลอดมาตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัย แม้ว่าจะเกิดปัญหาระหว่างการ ทำงาน หรืออุปสรรคใดๆ ก็ได้ท่านอาจารย์คอยให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณพี่สัณทวัฒน์ สุขรังสี เป็นอย่างยิ่งที่มีส่วนสำคัญในการช่วยเหลือใน หลายๆขั้นตอนการทำโครงการวิจัยเล่มนี้ ขอขอบคุณที่ได้มอบความรู้ ความเข้าใจในหลักการทำงาน และเทคนิคในการวิจัยต่างๆ จนโครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

กราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางด้าน ธรณีวิทยา ช่วยแนะนำสั่งสอน และบ่มเพาะให้ผู้วิจัยมีความเป็นนักวิทยาศาสตร์และนักธรณีวิทยา ที่ดีตลอดการศึกษา

กราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และขอบคุณน้องชาย สำหรับทุกการสนับสนุนและเป็น กำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา

ขอขอบคุณพี่บุคลากรประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและ อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ หรือติดต่อธุระในด้านต่างๆ

ขอบขอบคุณนางสาววิรัชญา แก้วพุกัม รุ่งพี Geo'57 และเพื่อนร่วมอาจารย์ที่ปรึกษา โครงการทั้ง 11 คน สำหรับการสนับสนุนและคำแนะนำในหลายๆด้าน

และขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น Geo'58 ทุกคน ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและช่วยเหลือกันตลอดมา

## สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	ง
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	จ
สารบัญ (CONTENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ช
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฎ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ฏ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	1
1.3 วัตถุประสงค์ (Objective)	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	3
2.1 ทฤษฎี (Theory)	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	5
2.2.1 งานวิจัยของ Ozturk และ Bayrak (2009)	5
2.2.2 งานวิจัยของ Katsumata (2011a)	6
2.2.3 งานวิจัยของ Katsumata (2011b)	7
2.2.4 งานวิจัยของ Sorbi และคณะ (2012)	8
2.3 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	9
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)	10
3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	10
3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT)	11
3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)	11
3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)	11
3.1.4 ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	12
3.2 การปรับเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	13
3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ )	16



3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	16
3.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	20
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)	23
4.1 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	23
4.1.1 การคัดเลือกกรณีศึกษา (Case study)	23
4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of condition)	24
4.1.3 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนแผ่นดินไหวสะสม ช่วงเวลา และค่า Z	28
4.1.4 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z value)	30
4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	39
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	44
5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	44
5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)	44
5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude conversion)	44
5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering)	44
5.2.3 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of completeness)	45
5.3 กรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Condition for Retrospective Test)	45
5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	46
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	48

## สารบัญรูปรูปภาพ (FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขาหิมาลัย โดยรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก คือบริเวณภายในเส้นสีเทาที่ลากยาว วงกลมสีน้ำเงินและสีแดงแสดงถึงบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ 6.0 แมกนิจูด และตั้งแต่ 6.5 แมกนิจูดขึ้นไป ตามลำดับ	2
รูป 2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมกับเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวทั่วไปกับในช่วงที่เกิดภาวะเงียบสงบ	4
รูป 2.2	กราฟแสดงภาวะเงียบสงบหลายจุดที่พบในการศึกษาของ Rudolf และ Navarro (2010)	5
รูป 2.3	แผนที่แสดงบริเวณที่พบความผิดปกติของค่า $Z$ ในช่วงปี ค.ศ. 1998 ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.4 $M_w$ ปี 2003 ทางตะวันออกของประเทศตุรกี (Ozturk และ Bayrak, 2009)	5
รูป 2.4	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1998 และปี ค.ศ. 1999 ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว โทคาชิ-โอกิ ขนาด 8.3 $M_w$ ปี 2003 (Katsumata, 2011a)	6
รูป 2.5	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1988 และปี ค.ศ. 1992 เหตุการณ์แผ่นดินไหว โทโฮกุ ขนาด 9.0 $M_w$ ปี 2011 (Katsumata, 2011b)	7
รูป 2.6	แผนที่และกราฟแสดงภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2005 ถึงปี ค.ศ. 2008 ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.1 $M_w$ ที่ Qeshm ในปี 2008	8
รูป 2.7	แผนภาพแสดงระเบียบวิธีการทำวิจัย	9
รูป 3.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับขนาด ( $m_b$ ) ความลึก (กิโลเมตร) และเวลา (ปี)	12
รูป 3.2	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล	13
รูป 3.3	กราฟแสดงค่าความอึดตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ $M_w$ (Kagan และ Knopoff, 1980)	15
รูป 3.4	แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึกได้	15
รูป 3.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ ) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด $m_b$ และ $M_s$	16

รูป 3.6	กราฟแสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	17
รูป 3.7	กราฟแสดงผลวิเคราะห์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	18
รูป 3.8	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	19
รูป 3.9	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูลและหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	20
รูป 3.10	แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยมี $M_c = 4.2$	21
รูป 3.11	แผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	22
รูป 3.12	แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักและหลังจากคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	22
รูป 4.1	แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 15 กรณี	23
รูป 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม และค่า $Z$ กับปี ค.ศ. ที่เกิดแผ่นดินไหวของแต่ละกรณีศึกษาทั้ง 15 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลาโดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) – (ฉ) ย่อย	30
รูป 4.3	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า $Z$ ของกรณีศึกษาทั้งหมด 13 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) – (ฐ)	38
รูป 4.4	แผนที่แสดงจุดเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้จากกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่จากตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 9, 10, 13, 14 และ 15 แสดงด้วยรูปที่ (ก), (ข), (ค), (ง) และ (จ) ตามลำดับ โดยพื้นที่เสี่ยงแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง	42
รูป 4.5	แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุด โดยวงกลมสีแดงแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่	43
รูป 5.1	แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ทั้งหมด 5 จุด	47

## สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)

		หน้า
ตาราง 3.1	แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูล	10
ตาราง 4.1	แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 15 เหตุการณ์	24
ตาราง 4.2	แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลของแผ่นดินไหวด้วยสมการที่ 2.1	25
ตาราง 4.3	แสดงข้อมูลทั้ง 3 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ โดยตัวแปรที่กำหนดประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, กรอบเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	26
ตาราง 4.4	แสดงรายละเอียดตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 1	27
ตาราง 4.5	แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ	28
ตาราง 5.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลแต่ละขั้นตอน	45
ตาราง 5.2	แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้จากเงื่อนไขที่เลือก	45

สารบัญสมการ  
(EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1 สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Habermann, 1984)	3
สมการ 3.1 สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ )	16

# บทที่ 1

## บทนำ

### (INTRODUCTION)

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

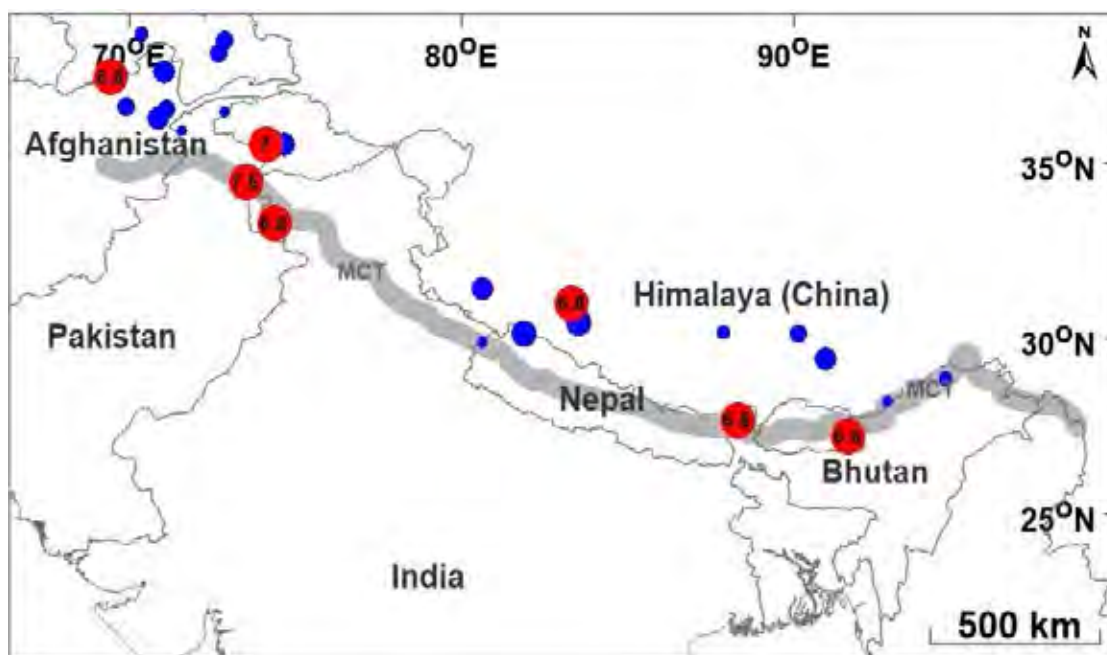
แผ่นดินไหวถือเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่อยู่ใกล้แนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ที่มักเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวอยู่บ่อยครั้ง และหากเกิดเป็นแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ ผลกระทบที่ตามมาก็จะยิ่งทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะยังไม่มีวิธีการพยากรณ์เวลาการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้อย่างแม่นยำ แต่นักวิทยาศาสตร์และนักแผ่นดินไหววิทยาก็ได้พยายามทำการศึกษาความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และสัญญาณบอกเหตุ (precursor) ที่จะสามารถนำมาพยากรณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต (Sobolev, 1995) โดยการศึกษาภาวะเงียบสงบ ซึ่งเป็นภาวะที่มีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวก่อนการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในพื้นที่ดังกล่าว (Habermann, 1983)

เนื่องจากบริเวณเทือกเขาหิมาลัยอยู่ระหว่างรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นที่เคลื่อนที่ชนกัน ได้แก่ แผ่นอินเดีย (Indian plate) และแผ่นยูเรเชีย (Eurasian plate) ส่งผลให้เกิดเป็นรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักบริเวณเทือกเขาหิมาลัย (The Main Central Thrust, Himalaya) ในปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกอินเดียยังคงเคลื่อนที่ชนแผ่นยูเรเชียจึงทำให้พื้นที่รอบๆรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูง รวมถึงแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ เช่น ในวันที่ 25 เดือนเมษายน ค.ศ. 2015 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.8 แมกนิจูด ที่ประเทศเนปาล แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวรู้สึกได้ไกลเกือบทั่วภูมิภาคเอเชียใต้ ตั้งแต่เมืองการูมาณฑุถึงเมืองนิวเดลี รวมถึงพื้นที่ชายแดนติดประเทศบังกลาเทศ ที่ราบสูงทิเบต และประเทศปากีสถาน ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม อาคารเสียหาย และระบบสาธารณูปโภคถูกตัดขาด รวมถึงมีผู้เสียชีวิต

ดังนั้นพื้นที่บริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย จึงเป็นบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้พื้นที่ที่อยู่โดยรอบบริเวณนี้เกิดความเสียหายจำนวนมาก เป็นเหตุผลการให้บริเวณนี้เหมาะสมในการทำการศึกษาและประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (seismicity rate change) ด้วยวิธีค่า Z (Z value)

#### 1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

พื้นที่ศึกษาคือกลุ่มบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย โดยครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก



รูป 1.1. แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียง โดยรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก (MCT) คือบริเวณภายในเส้นสีเทาที่ลากยาว วงกลมสีน้ำเงินและสีแดงแสดงถึงบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ 6.0 แมกนิจูด และตั้งแต่ 6.5 แมกนิจูดขึ้นไป ตามลำดับ

### 1.3. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต โดยใช้วิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจากค่า  $Z$  บริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

### 1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

วิเคราะห์ขั้นตอนและวิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย โดยครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake record)

### 1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยในอดีต

#### (THEORY AND LITERATURE REVIEW)

##### 2.1. ทฤษฎี (Theory)

Habermann และ Wyss (1984) ได้สังเกตพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวหลายเหตุการณ์ พบว่า ก่อนมีการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละครั้งจะมีการลดลงของการเกิดแผ่นดินไหวอยู่เสมอ จึงสรุปในเบื้องต้นว่า การลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสามารถใช้เป็นสัญญาณบอกเหตุในการประเมินการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตได้

Sobolev (1995) ได้จำลองการเกิดแผ่นดินไหวด้วยการกดอัดแท่งหินและใช้อุปกรณ์วัดพลังงานเสียง (acoustic energy) จากการปริแตกของหิน พบว่าเมื่อเริ่มบีบอัดแท่งหินจะมีสัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ เกิดขึ้น และเมื่อออกแรงอัดแท่งหินเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่ง สัญญาณเสียงจากการแตกเล็กๆ นั้นจะลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นก่อนที่แท่งหินจะแตกหักจนสูญเสียรูปไป จากการทดลองดังกล่าวทำให้ Sobolev สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จะมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ เรียกว่า ภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) และหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของการเกิดแผ่นดินไหว (seismic activation) ตามมา

Wiemer (2001) ได้นำเสนอวิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหว โดยทำการกำหนดกรอบของช่วงเวลาที่น่าสนใจเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลากับอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา ด้วยสมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Habermann, 1984) ดังแสดงในสมการ (2.1.) ซึ่งค่าที่ได้ออกมาเรียกว่าค่า Z (Z value) หรือค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว

$$Z = \frac{R_{bg} - R_w}{\sqrt{\frac{S_{bg}}{n_{bg}} + \frac{S_w}{n_w}}} \quad \text{สมการ (2.1.)}$$

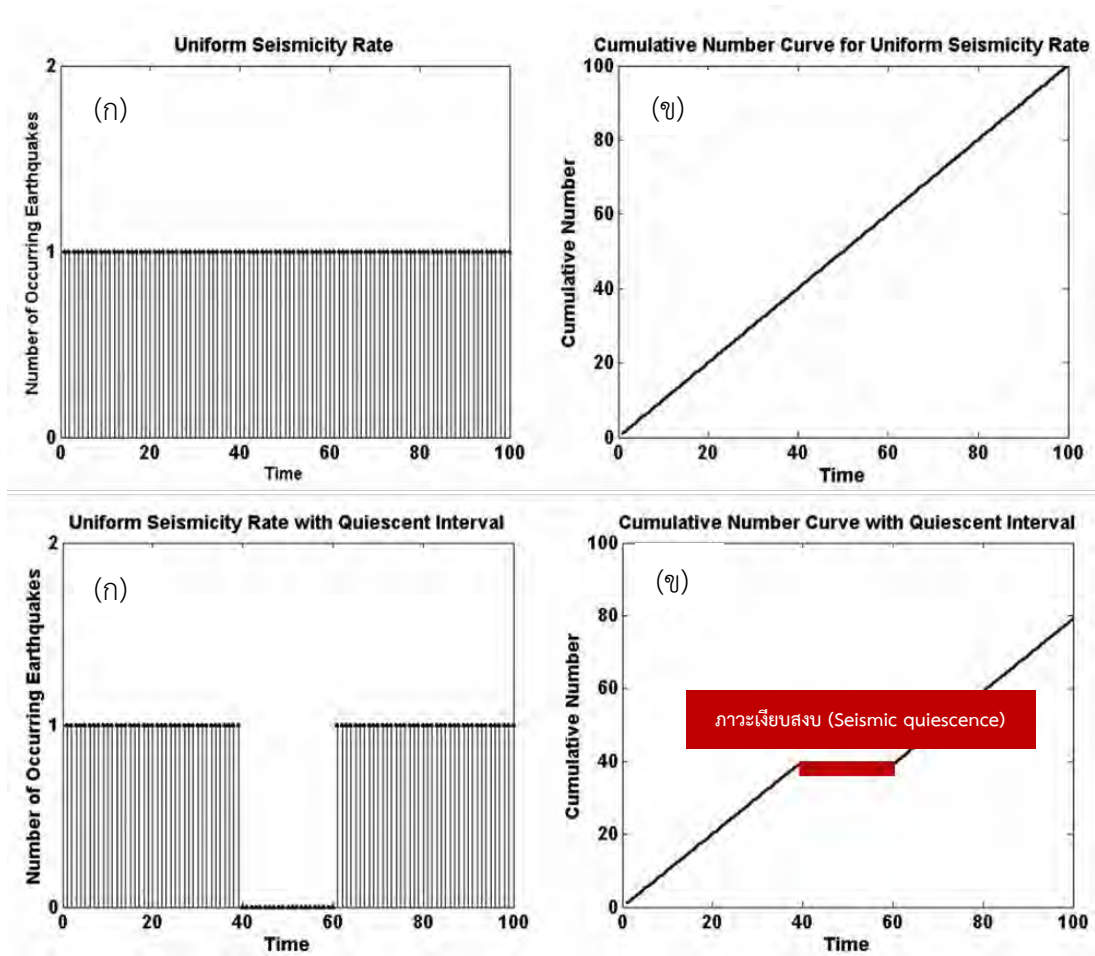
กำหนดให้	$Z$	หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว
	$R_w$	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลา
	$S_{bg}$	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา
	$S$	หมายถึง ความแปรปรวนของข้อมูล
	$n$	หมายถึง จำนวนข้อมูล

โดยค่า Z ที่มีค่ามากกว่าศูนย์แสดงถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลาที่กำหนดน้อยกว่านอกกรอบเวลา และถ้าค่า Z มีค่าสูงมากแสดงว่าแผ่นดินไหวในช่วงเวลานั้นลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญหรือ

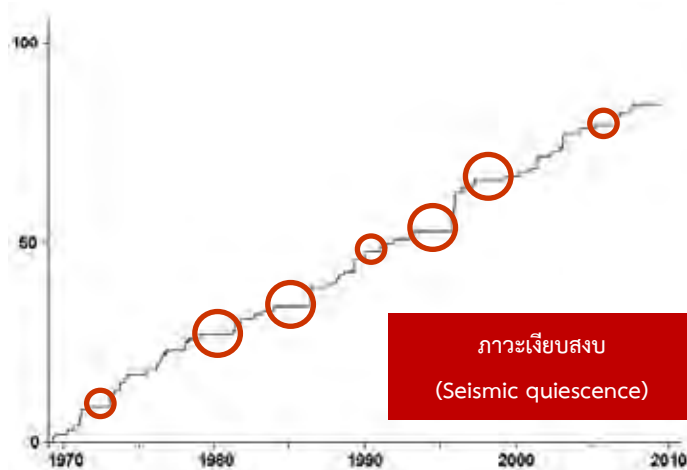


เกิดภาวะเงียบสงบ ซึ่งมักจะพบก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ นั่นเอง แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า  $Z$  มีค่าน้อย แสดงว่าอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลามากกว่านอกกรอบเวลา แสดงให้เห็นว่าแผ่นดินไหวในกรอบเวลานั้นมีอัตราการเกิดที่มากขึ้นกว่าเดิม หรือเกิดเป็นภาวะกระตุ้น

Rudolf และ Navarro (2010) ได้ทำการศึกษาโดยการนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่ศึกษาทั้งหมดที่เกิดขึ้นมาพลอตกราฟระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและเวลา พบว่าเกิดช่วงภาวะเงียบสงบในหลายๆจุดของกราฟ ดังที่แสดงในรูป 2.2.



รูป 2.1. (ก) บน แสดงถึงการเกิดแผ่นดินไหวในสภาวะปกติที่จะมีอัตราการเกิดคงที่ ซึ่งเมื่อนำมาพลอตจำนวนการเกิดแผ่นดินไหวสะสมกับเวลาดังรูป (ข) บน พบว่ากราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงเฉียงขึ้น แต่เมื่อเกิดภาวะเงียบสงบ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลงดังรูป (ก) ล่าง ในขณะที่เดียวกันเมื่อพลอตตามจำนวนการเกิดแผ่นดินไหวสะสมกับเวลาช่วงที่เกิดภาวะเงียบสงบกราฟจะแสดงออกมาในรูปของเส้นตรงขนานไปกับแกนเวลาในรูป (ข) ล่าง

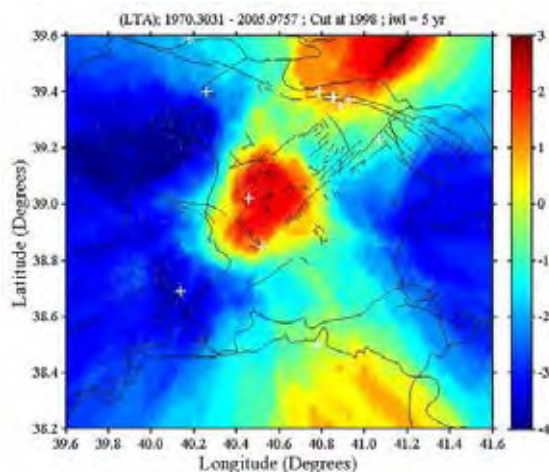


รูป 2.2. แสดงภาวะเงียบสงบหลายจุดที่พบในการศึกษาของ Rudolf และ Navarro (2010) เมื่อแกน x คือ ปีที่เกิดแผ่นดินไหว ส่วนแกน y คือ จำนวนแผ่นดินไหวที่เกิดสะสม

ซึ่งจากการศึกษาของ Rudolf และ Navarro (2010) ทำให้เกิดข้อสงสัยที่ว่าแล้วภาวะเงียบสงบจุดใดที่จะเป็นภาวะเงียบสงบที่มีนัยสำคัญที่จะเป็นบ่งตัวบ่งชี้ให้รู้ได้ว่าจะเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงต้องนำกราฟแสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสมมาศึกษาร่วมกับการหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวตามวิธีการของ Wiemer (2010) ต่อไป

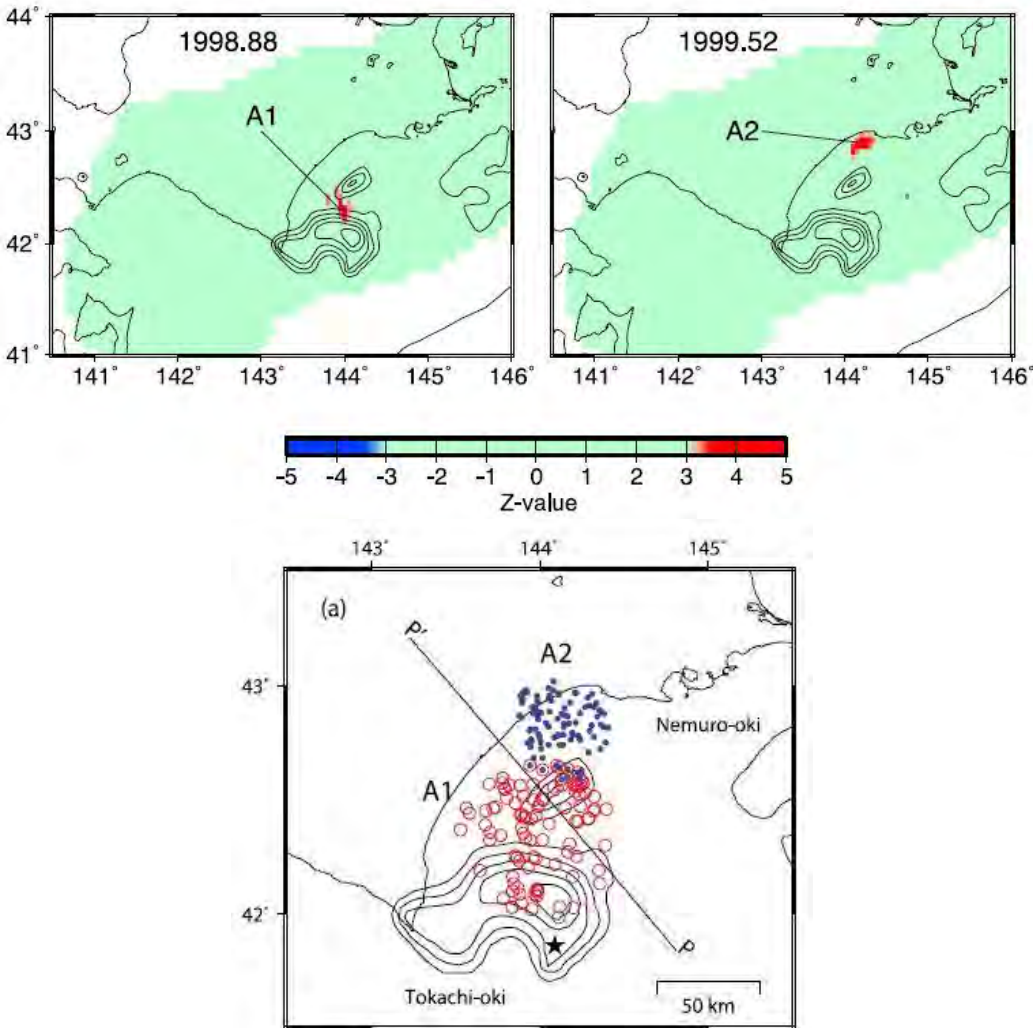
## 2.2. งานวิจัยในอดีต (Literature Review)

Ozturk และ Bayrak (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด  $6.4 M_w$  ที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2003 ณ เมือง Bingöl บริเวณตะวันออกเฉียงของประเทศตุรกี โดยนำมาคำนวณด้วยวิธีการหาค่า  $Z$  ซึ่งพบภาวะเงียบสงบของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 จากค่า  $Z_{max} = 2.5$  เป็นเวลา 5 ปี จึงเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ดังกล่าว ดังแสดงในรูป 2.3.



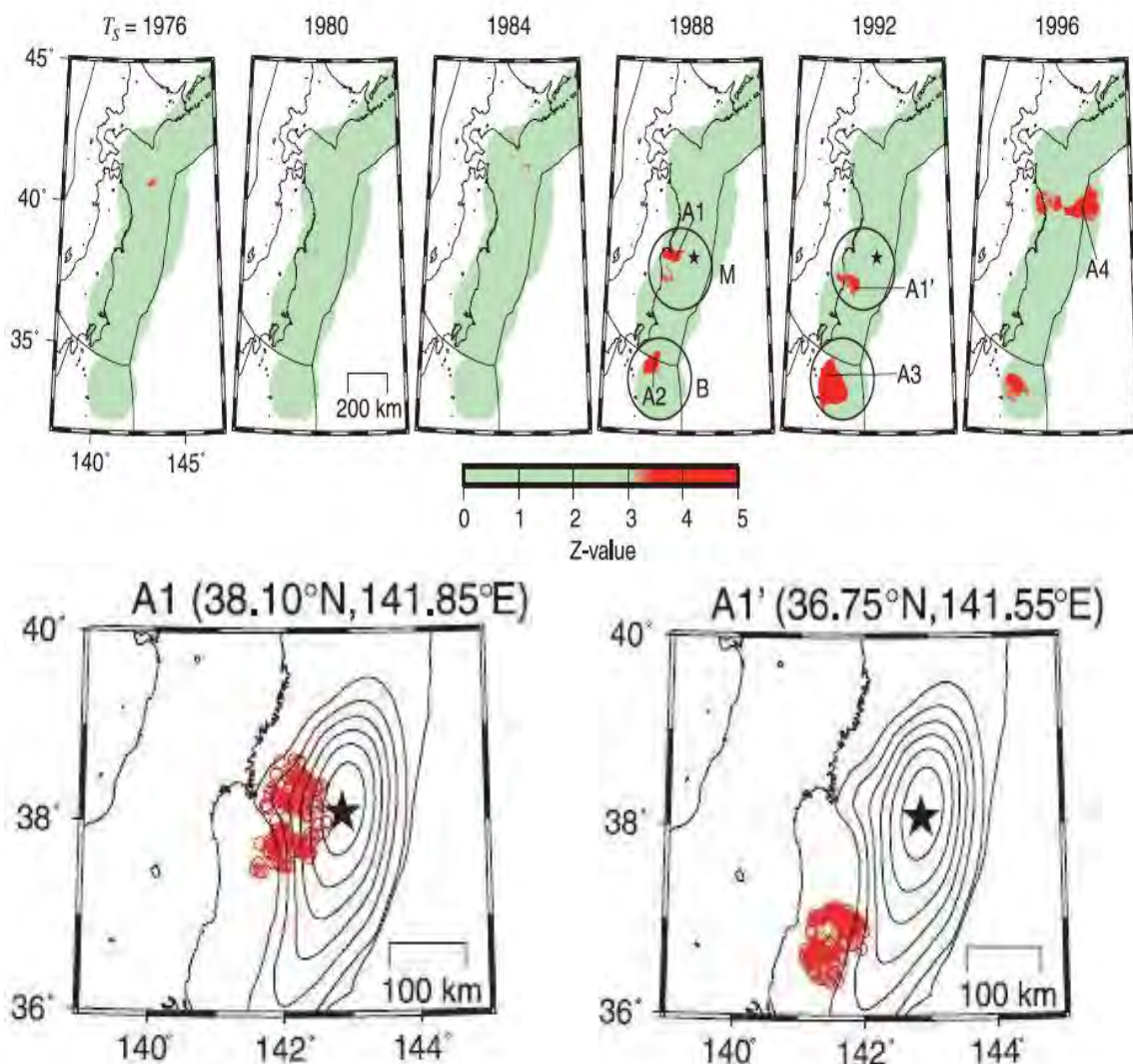
รูป 2.3. แผนที่แสดงบริเวณที่พบความผิดปกติของค่า  $Z$  ในช่วงปี ค.ศ. 1998 ทางตะวันออกเฉียงของประเทศตุรกี ซึ่งแสดงด้วยพื้นที่สีแดง โดยเครื่องหมาย "+" แสดงถึงจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวของแผ่นดินไหวหลักด้วย  $MD \geq 5.0$  ที่เกิดขึ้นจริง

Katsumata (2011a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 8.3  $M_w$  เมื่อวันที่ 26 กันยายน ค.ศ. 2003 ที่โทคาชิ-โอกิ บริเวณชายฝั่งด้านทะเลแปซิฟิกของเกาะฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งหลังจากนำข้อมูลทางสถิติที่ได้มาคำนวณโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994-2003 กำหนดกรอบเวลา 4 ปี มีจำนวนแผ่นดินไหว 100 เหตุการณ์ ที่นำมาใช้คำนวณในแต่ละจุดศึกษา พบว่ามีการเกิดภาวะเฝ้าระวังขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 และคงอยู่เป็นเวลา 5 ปี จากค่า  $Z_{max} = 3.9$  และ 4.0 จากนั้นในปี ค.ศ. 2003 จึงเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ดังกล่าว ดังแสดงในรูป 2.4.



รูป 2.4. แผนที่แสดงบริเวณที่มีค่าผิดปกติ 2 บริเวณใกล้เคียงกัน ได้แก่ บริเวณ A1 แทนด้วยวงกลมสีแดง มีค่า  $Z_{max} = 3.9$  และบริเวณ A2 แทนด้วยจุดสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่า  $Z_{max} = 4.0$  ซึ่งทั้งสองบริเวณแสดงถึงภาวะเฝ้าระวังก่อนจะเกิดแผ่นดินไหวจริงในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน แทนด้วยเครื่องหมายดาวสีดำ (เส้นชั้นความสูงแสดงพื้นที่ความเสียหายจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน 1 ชั้น = 1 เมตร)

Katsumata (2011b) ศึกษาการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด  $9.0 M_w$  ในปี ค.ศ. 2011 ที่โทโฮกุ ชายฝั่งแปซิฟิกของประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965-2010 จาก Japan Meteorological Agency (JMA) มาคำนวณด้วยวิธีค่า Z พบภาวะเงียบสงบของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 โดยกำหนดกรอบเวลาในการศึกษา 15 ปี สังเกตจากค่า  $Z_{max} = 4.9$  และหลังจากนั้น 23.4 ปีจึงเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ดังกล่าวขึ้น ดังแสดงในรูป 2.5.

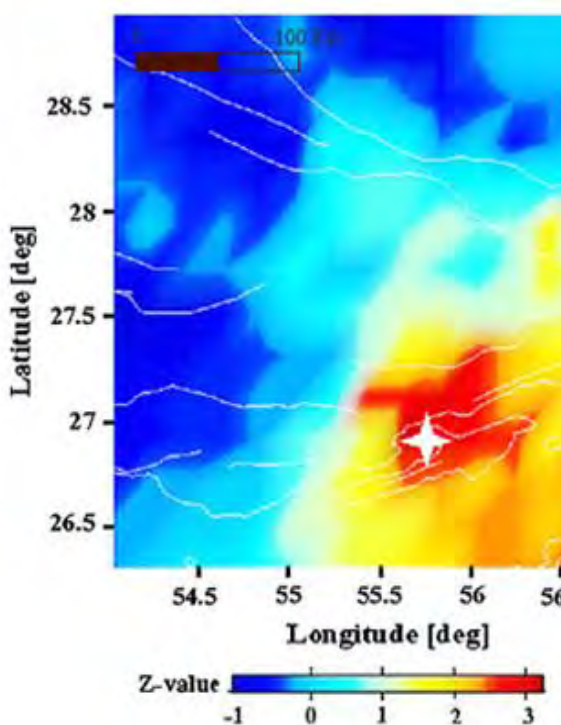


รูป 2.5. แผนที่แสดงตำแหน่งค่า Z ในช่วงปี ค.ศ. 1976–1996 โดยวงกลมสีแดงแสดงภาวะเงียบสงบ จากค่า Z ที่มีค่าสูง ซึ่งพบว่ามีสองเหตุการณ์คือ A1 (ปี ค.ศ. 1988) และ A1' (ปี ค.ศ. 1992) ที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันกับตำแหน่งที่เกิดแผ่นดินไหวจริง ซึ่งแทนด้วยเครื่องหมายดาวสีดำ (เส้นชั้นความสูง หมายถึงพื้นที่ความเสียหายที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของรอยเลื่อน 1 ชั้น = 4 เมตร)

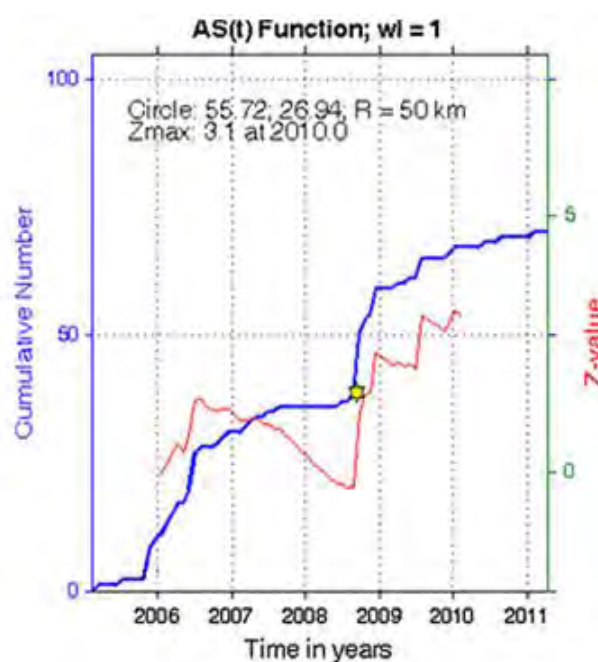


Sorbi และคณะ (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตแผ่นดินไหวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด  $6.1 M_w$  ที่ Qeshm ทางตอนใต้ของประเทศอิหร่าน เมื่อวันที่ 10 กันยายน ค.ศ. 2008 ด้วยวิธีค่า  $Z$  โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก USGS และ IIEES ที่บันทึกไว้ในช่วงปี ค.ศ. 2005-2011 พบว่าเริ่มมีการลดลงของอัตราการผลิตไหวสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 โดยสังเกตจากค่า  $Z_{max} = 3.0$  ดังที่แสดงในรูป 2.6. และเมื่อตรวจสอบทางสถิติด้วยวิธีค่า  $b$  จากความสัมพันธ์ของกูเตินเบิร์ก-ริกเตอร์ (Gutenberg-Richter relationship) (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า  $b$  ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเช่นเดียวกัน หลังจากเกิดความผิดปกติทั้งสองอย่างนี้พร้อมกันประมาณ 1 ปี ก็เกิดแผ่นดินไหวดังกล่าวตามมา

(ก)



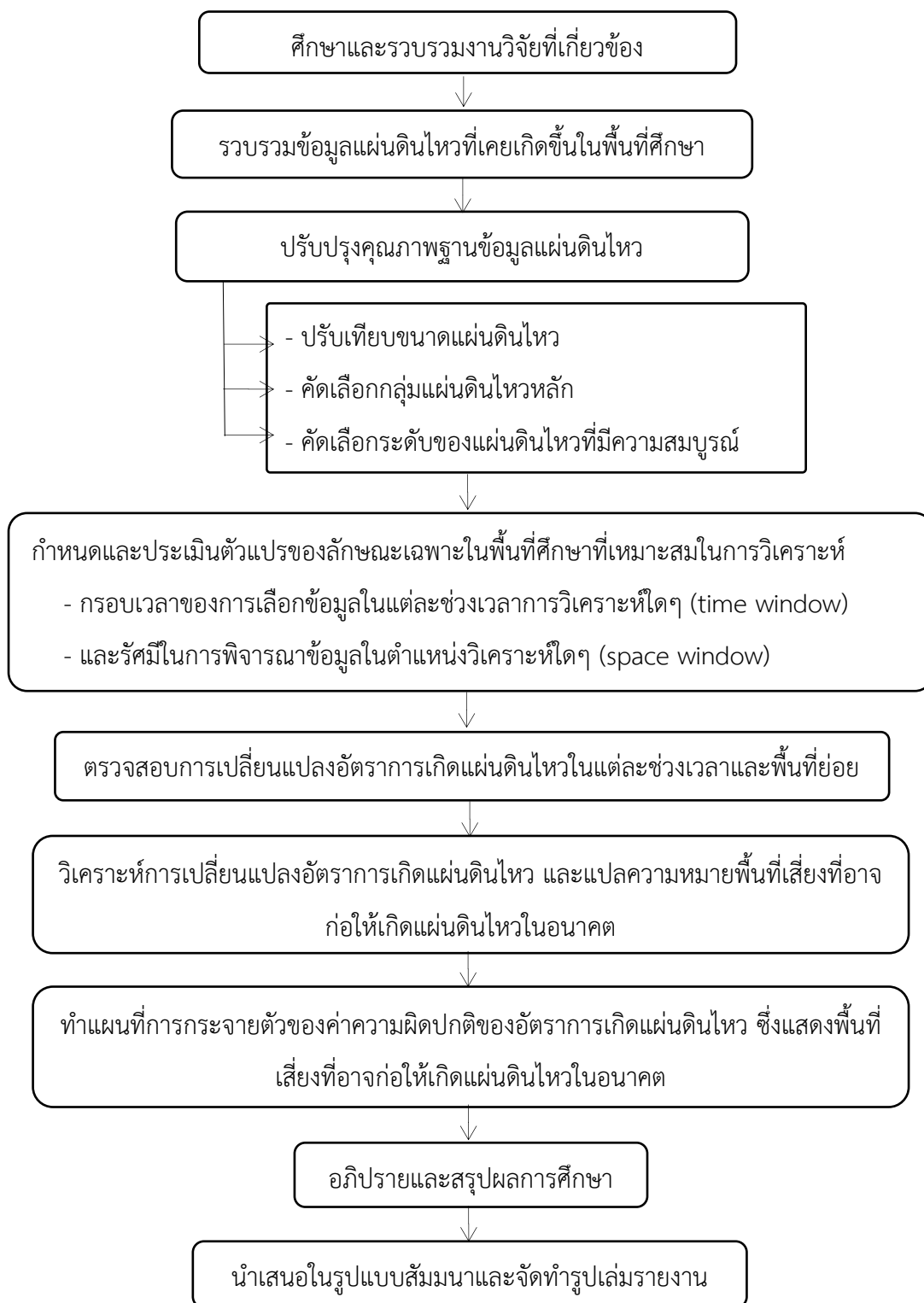
(ข)



รูป 2.6. (ก) แผนที่แสดงภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2005 - 2008 จากค่า  $Z_{max} = 3.0$  แทนด้วยพื้นที่สีแดง ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวจริงที่เกิดขึ้น โดยแทนด้วยเครื่องหมายดาวสีขาว (ข) กราฟความถี่สะสม แทนด้วยเส้นสีน้ำเงิน แสดงภาวะเงียบสงบที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 1 ม.ค. 2005 ถึง 9 ก.ย. 2008 โดยดาวสีเหลืองแสดงช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว Qeshm ขนาด  $6.1 M_w$  ในปี ค.ศ. 2008

### 2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้ได้จัดแบ่งระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 9 ขั้นตอน ดังแสดงในรูป 2.7.



รูป 2.7. แผนภาพแสดงระเบียบวิธีการทำวิจัย

### บทที่ 3

#### การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

#### (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)

##### 3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั่วโลกในปัจจุบันถูกควบคุมและดูแลโดยหลากหลายหน่วยงาน ซึ่งมีการเผยแพร่ข้อมูลให้คนทั่วไปเข้าถึงได้อย่างอิสระบนฐานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต แต่ละฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจะถูกบันทึกด้วยรายละเอียดต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3.1. ในโครงการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก International Seismological Center (ISC) กำหนดข้อมูลในการคัดลอกฐานข้อมูลแผ่นดินไหวกรอบพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก และกำหนดขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 0.0-10.0 แมกนิจูด ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0 -1,000 กิโลเมตร และระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 4 เดือนเมษายน ค.ศ. 1905 ถึง 31 เดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2014

ตาราง 3.1. แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูล

Lon	Lat	Year	Month	Day	Depth	Hour	Min	$M_w$	$m_b$	$M_s$
81.68	33.15	1999	12	31	75	17	29	-	3.6	-
69.95	36.86	2000	1	1	64	5	24	-	5.1	-
70.37	23.35	2001	1	31	10	23	36	-	4.1	3.5
69.58	36.37	2002	1	3	47	1	5	-	4.3	3.7
90.45	35.82	2002	3	4	10	18	52	-	4.0	-
81.01	41.74	2003	12	3	30	10	15	-	3.9	3.5
91.84	26.37	2004	1	12	39	0	2	-	4.0	3.5
83.26	32.61	2004	2	10	36	5	39	-	4.8	4.1
93.97	23.06	2005	1	14	78	16	16	-	3.4	-
75.87	35.73	2005	2	28	44	12	39	-	4.3	3.4
91.11	33.87	2006	2	1	30	3	4	-	3.5	3.2
73.76	34.83	2006	3	20	17	17	40	-	5.4	4.7
74.50	39.48	2007	1	12	58	15	20	-	3.6	3.2
73.79	39.26	2008	10	8	1	6	52	-	4.0	3.6
96.07	33.34	2010	6	3	13	20	47	-	5.0	4.5
101.00	40.12	2011	8	31	10	1	13	-	4.3	3.3

98.01	32.49	2012	12	21	10	15	55	-	4.0	3.2
81.70	29.73	2013	1	9	16	7	44	-	5.1	3.9
101.21	22.76	2014	2	5	10	12	32	-	3.8	3.9

**หมายเหตุ:**

1. ระบบพิกัดแสดงเป็นระบบ latitude/longitude เหนือจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว (epicenter)
2. วันที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ year, month, day
3. เวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ hour, min และอาจลงรายละเอียดถึง second
4. ขนาดและมาตราตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหว (magnitude and magnitude scale) เป็นตัวแปรที่บ่งบอกว่าเครื่องตรวจรับแผ่นดินไหวนั้นตรวจรับคลื่นแผ่นดินไหวประเภทไหน เพราะเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวเครื่องหนึ่งจะสามารถตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวได้หลากหลายประเภท โดยจะอธิบายประเภทของคลื่นแผ่นดินไหวต่อไปในหัวข้อการปรับเทียบมาตรฐานการตรวจวัดแผ่นดินไหว (magnitude conversion)

### 3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT)

ฐานข้อมูล Global CMT Catalogue (GCMT) ในอดีตนั้นเป็นที่รู้จักในเครือข่ายการทำงานวิจัยด้านแผ่นดินไหวในนามของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว the Harvard CMT (HRV) โดยมีภารกิจหลักในการวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (centroid moment tensor, CMT) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า  $5.5 M_w$  นับตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1976 (Dziewonski และคณะ, 1981; Ekström และคณะ, 2005) ซึ่งความละเอียดของตัวแปรจะมีความแม่นยำค่อนข้างสูงเพราะผ่านการคำนวณเชิงลึกแล้ว ซึ่งจะมีการรายงานแผ่นดินไหวค่อนข้างนาน แต่สามารถนำข้อมูลไปต่อยอดได้ง่าย

### 3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)

จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1940 ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของกรมทรัพยากรธรณี สหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) โดยเป็นเครือข่ายตรวจวัดแบบอัตโนมัติ และสามารถรายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้อย่างทันทีทันใดหลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบ้างเล็กน้อยจากกระบวนการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอื่นๆ ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุด ณ ปัจจุบัน

### 3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

เป็นอีกหนึ่งฐานข้อมูลที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงาน USGS โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งฐานข้อมูล ISC เกิดจากการนำฐานข้อมูล NEIC มาคำนวณใหม่อีกครั้ง (International Seismological Centre, 2001) เพื่อความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล ตลอดจนรายงานข้อมูลในเชิงลึกอื่นๆ ที่อาจจำเป็นต่อการวิจัยในเชิงลึกด้านแผ่นดินไหววิทยา โดยบางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นล่าสุด ฐานข้อมูล ISC จะยังไม่มีรายงาน แต่ถือว่าโดยภาพรวมข้อมูลจะมีความถูกต้องมากกว่าฐานข้อมูล NEIC

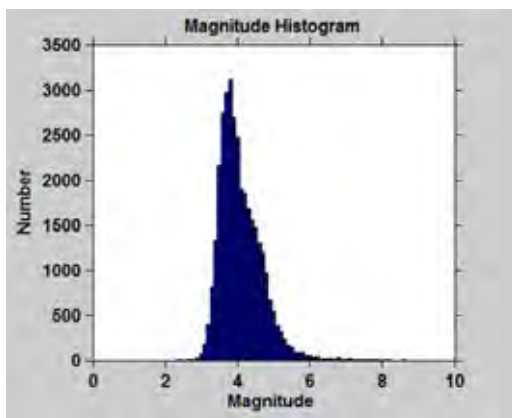


### 3.1.4 ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

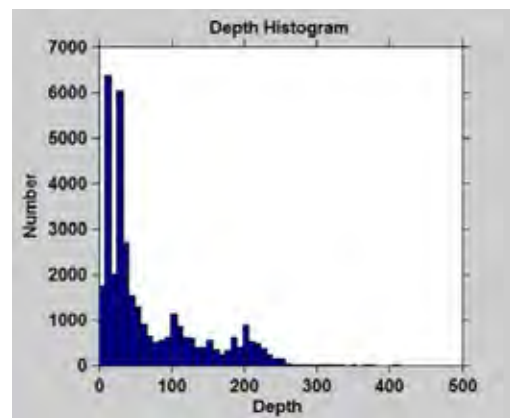
เนื่องจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละเครือข่ายการตรวจวัดมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ถึงแม้เครือข่ายการตรวจวัดจากต่างประเทศนั้นมีระบบการจัดการที่ดี มีการตรวจวัดต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า แต่เนื่องจากเครือข่ายการตรวจวัดกระจายอยู่ทั่วโลกอย่างห่างๆ ทำให้ตรวจวัดได้เฉพาะขนาดแผ่นดินไหวระดับปานกลาง ( $> 4.0-5.0 M_w$ ) ขึ้นไป แต่เครือข่ายการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยานั้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีการตรวจวัดอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องมากนักเมื่อเทียบกับเครือข่ายจากต่างประเทศ แต่เนื่องจากมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดที่หนาแน่นครอบคลุมประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านจึงทำให้เป็นเครือข่ายที่มีศักยภาพมากกว่าสำหรับแผ่นดินไหวขนาดเล็ก

ด้วยเหตุนี้ก่อนเริ่มกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ จำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่โดยรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครือข่ายการตรวจวัดต่างๆ ทำให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีการกระจายตัวครอบคลุมมากขึ้น เมื่อรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย International Seismological Center (ISC) พบว่ามีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 33,939 เหตุการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1905-2014 โดยสามารถสรุปเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ได้ดังแสดงในรูป 3.1.

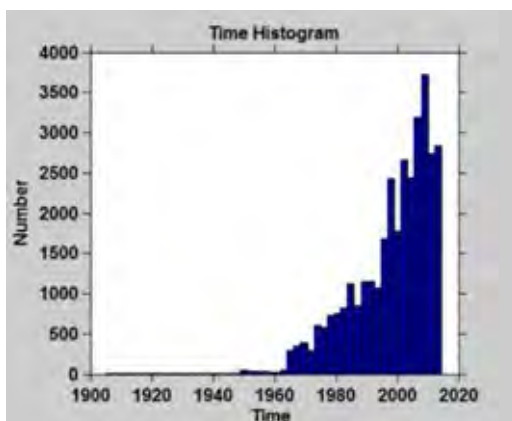
(ก) ขนาด-จำนวน แผ่นดินไหว



(ข) ความลึก-จำนวนแผ่นดินไหว

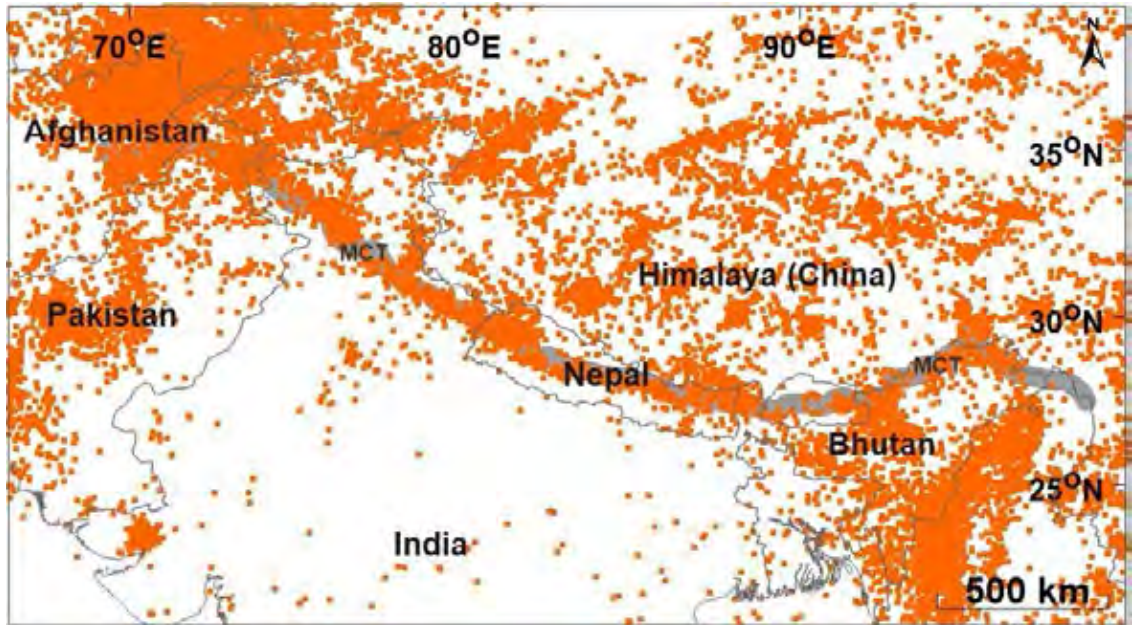


(ค) เวลา(ปี)-จำนวนแผ่นดินไหว



รูป 3.1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับ (ก) ขนาด ( $m_p$ ) (ข) ความลึก (กิโลเมตร) และ (ค) เวลา (ปี)

จากนั้นนำจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 33,939 เหตุการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1905-2014 ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.6 แมกนิจูด และมีความลึกตั้งแต่ 0-413 กิโลเมตร มาสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ดังแสดงในรูป 3.2.



รูป 3.2. แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (จุดสีส้ม) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

### 3.2 การปรับเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

หลังจากผ่านการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่าการรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต่างกันจะมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งการตรวจวัดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งสามารถให้ค่าขนาดแผ่นดินไหวได้หลายหน่วยแตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทของคลื่นที่ตรวจวัด โดยหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวมีดังนี้

1)  $M_L$  (local magnitude) คือ การรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดในท้องถิ่น มีความแม่นยำมากหากวัดภายในบริเวณที่ใกล้จุดเกิดแผ่นดินไหว แต่หากตรวจวัดในระยะทางที่ไกลออกไปจะให้ความถูกต้องของข้อมูลแผ่นดินไหวลดน้อยลง นิยมวัดแผ่นดินไหวในหน่วย  $M_L$  ในกรณีประเมินแผ่นดินไหวเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้น เช่น เหมือง เขื่อน อาคารสูง ใช้ได้เฉพาะแผ่นดินไหวในระยะไม่เกิน 650 กิโลเมตร

2)  $m_b$  (body-wave magnitude) เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ในโลก สามารถแบ่งคลื่นเนื้อโลกได้สองแบบคือ คลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) ใน

การเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งคลื่นที่จะเกิดพร้อมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเสมอคือคลื่นเนื้อโลก จำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าชนิดของขนาดแผ่นดินไหวอื่นๆ ในการวัดแผ่นดินไหวระดับลึกจะอาศัยวัดจากความสูงแอมพลิจูดของ P-Wave การวัดโดยใช้หน่วย  $m_b$  จะมีความถูกต้องมากกว่า

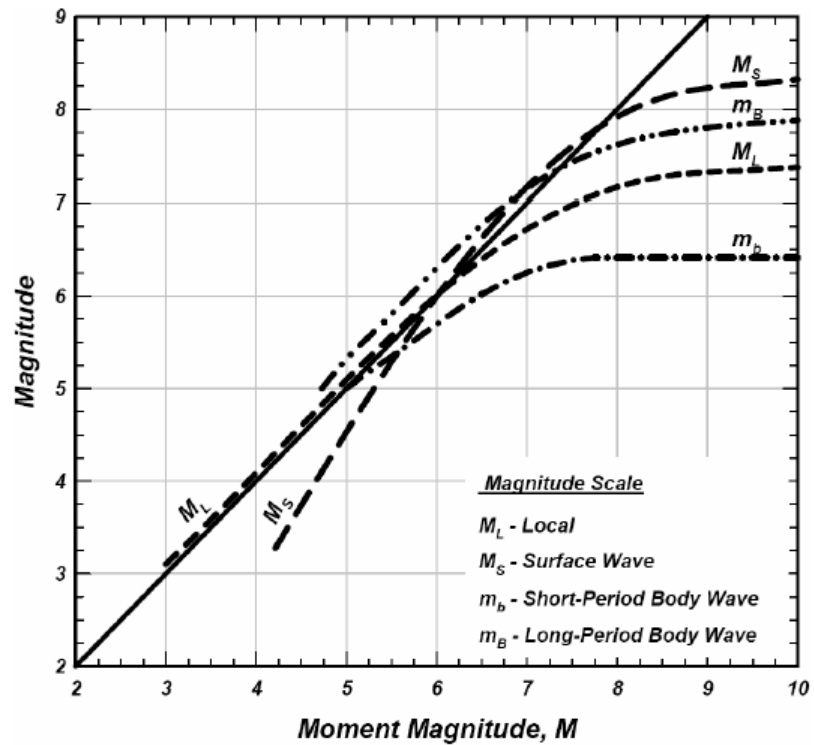
3)  $M_s$  (surface-wave magnitude) คือ คลื่นที่เกิดหลังจากคลื่นเนื้อโลกเคลื่อนที่มาถึงผิวโลก จะให้กำเนิดคลื่นผิวโลกตามมา โดยทั่วไปของการตรวจวัดในระดับทั่วโลก (global scale) ในการที่จะวัดคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลหรือแผ่นดินไหวที่มีขนาดรุนแรงจะวัดความสูงแอมพลิจูดของคลื่นผิวโลก ข้อมูลจึงมีความสมบูรณ์มากกว่า ซึ่งจำนวนที่สามารถวัดได้จะน้อยกว่า  $m_b$

4)  $M_w$  (moment magnitude) เป็นการวัดแผ่นดินไหวจากโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่คิดจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน พื้นที่การเคลื่อนตัว ตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่ ขนาดแผ่นดินไหวชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัด ถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุด

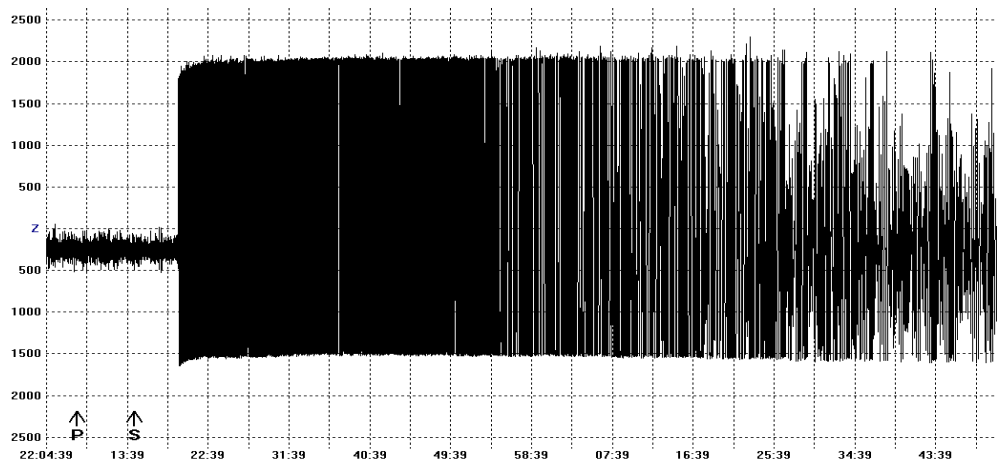
นอกจากนี้ยังมีขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่นๆ ที่สามารถตรวจได้ ซึ่งแทนด้วย  $M$  เป็นข้อมูลที่ทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่ได้ระบุชนิดของแผ่นดินไหว แต่ด้วยจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ยังสามารถเติมเต็มกับข้อมูลแผ่นดินไหวอื่นๆ ได้และจะกำหนดให้แผ่นดินไหวที่ไม่ทราบชนิดของขนาดแผ่นดินไหวนี้เป็น  $M_w$

ดังนั้นข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาจากหลายแหล่งข้อมูลจะมีขนาดการวัดแผ่นดินไหวที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับเครื่องวัดแผ่นดินไหว พบว่าหากใช้ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นในการวิเคราะห์จะเกิดความผิดพลาดมาก โดยเฉพาะแผ่นดินไหวที่มาจากระยะไกล หรือการใช้คลื่นแผ่นดินไหวคนละแบบที่แตกต่างกันทั้งที่มาจากคลื่นเนื้อโลกหรือคลื่นผิวโลกจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและได้ผลไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะเป็นแผ่นดินไหวที่เป็นเหตุการณ์เดียวกันก็ตาม สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันนั้นอาจมาจากคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ที่มีข้อจำกัดในการวัดขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแบบหรือแต่ละคลื่น เช่น คลื่นเนื้อโลกและคลื่นผิวโลกมีจุดความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว (saturation of earthquake magnitude) ดังรูป 3.3 ข้อจำกัดที่ว่านั้นอาจจะเป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินไปจนทำให้ขนาดที่สูงเกินไปไม่สามารถวัดและทำการบันทึกได้ ดังแสดงในรูป 3.4.

เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลในแต่ละที่นั้นจะมีการรายงานชนิดของขนาดแผ่นดินไหวหลากหลายมาตรวัด ทั้ง  $m_b$   $M_s$   $M_w$  หรือ  $M_l$  เพื่อความสะดวกและความเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องปรับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาให้อยู่ในหน่วยเดียวกันทั้งหมดก่อนจะนำไปดำเนินการต่อไป ซึ่งในปัจจุบันหน่วยมาตรวัดที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด คือ มาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ ( $M_w$ ) เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีการเก็บบันทึกเป็นหน่วยมาตราแผ่นดินไหว  $m_b$  จำนวนมาก ในโครงการนี้จึงขอใช้มาตรวัดแผ่นดินไหวเป็นหน่วย  $m_b$



รูป 3.3. แสดงค่าความอิมตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ  $M_w$  (Kagan และ Knopoff, 1980)



รูป 3.4. แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึกได้

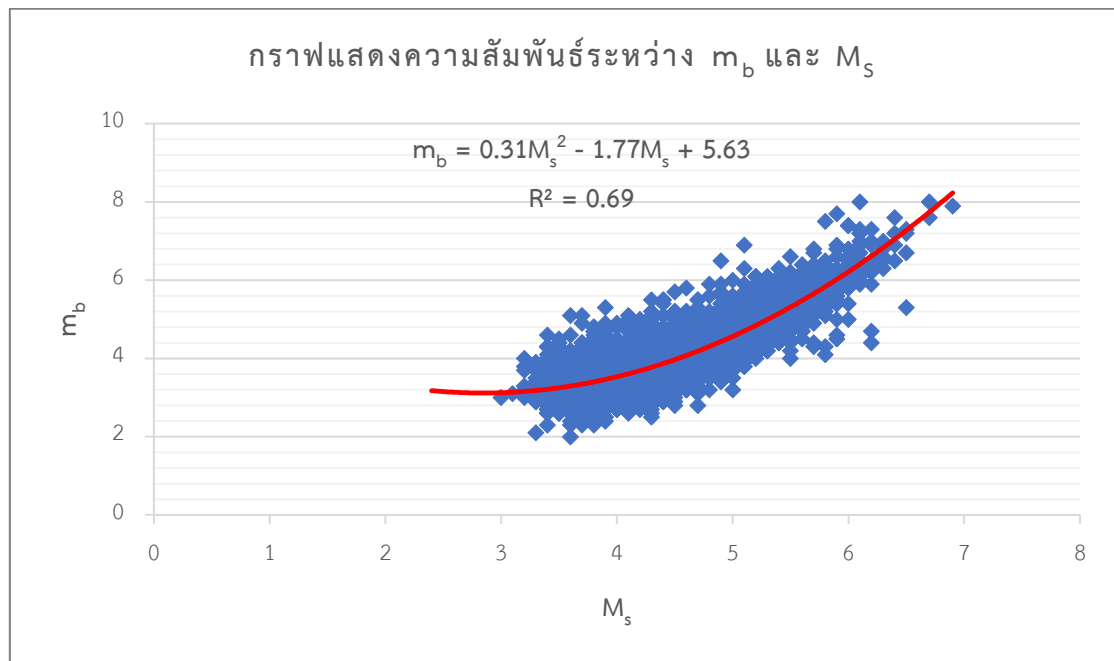
โดยเริ่มต้นจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์จะมีค่าเฉพาะตัวและแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ จากนั้นจะต้องเลือกคู่สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้แปลงหน่วยฐานข้อมูล โดยจะทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟโพลีโนเมียลของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่หน่วยในการแปลงมาตรวัด โดยความเหมาะสมของสมการสามารถพิจารณาจากค่า  $R^2$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ โดยหากค่า  $R^2$  ยังมีค่าใกล้เคียง 1 หมายถึงสมการดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งในที่นี้สามารถเลือกคู่ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมได้ 1 ความสัมพันธ์ดังนี้

### 3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ )

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ ) ดังแสดงในสมการ (3.1) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ห่อออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูป 3.5.

$$m_b = 0.31M_s^2 - 1.77M_s + 5.63$$

สมการ (3.1)



รูป 3.5. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ ) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด  $m_b$  และ  $M_s$

### 3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

โดยปกติการเกิดแผ่นดินไหวครั้งหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยแผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์ย่อยๆด้วยกันคือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock), แผ่นดินไหวหลัก (main shock) และแผ่นดินไหวตาม (aftershock) โดยแผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (stress) อันเนื่องมาจากการกระทำทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง ในขณะที่แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามนั้นเกิดจากแรงเครียด (strain) อันเนื่องมาจากการกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวหลักในแต่ละเหตุการณ์ โดยแผ่นดินไหวนำเกิดจากการเตรียมตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวหลัก ในขณะที่แผ่นดินไหวตามเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนบริเวณนั้นเพื่อปรับสภาพให้พื้นที่รอยเลื่อนกลับสู่สภาวะสมดุลที่สุดเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลัก

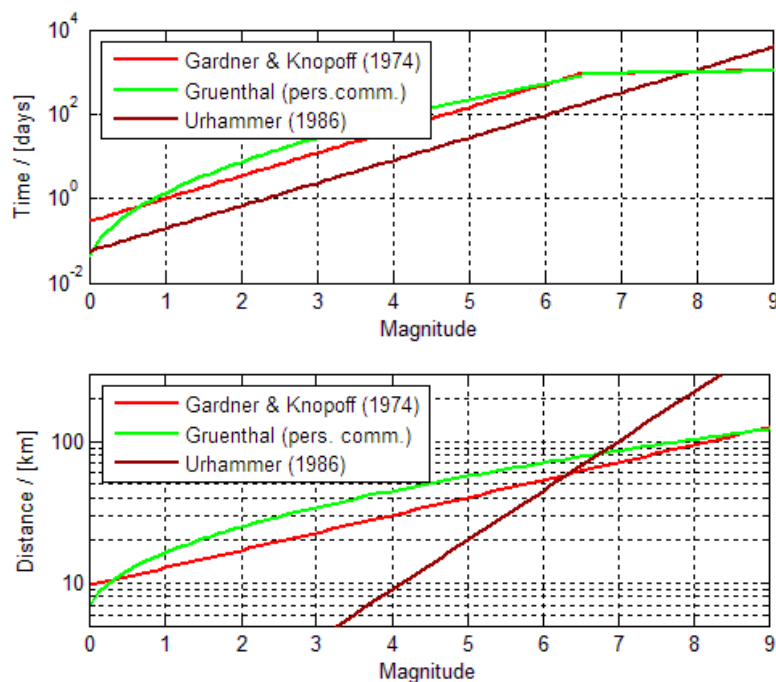
ดังนั้นหากต้องการเหตุการณ์ที่สื่อถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวโดยแท้จริงที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐาน จะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก แต่จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการบันทึกทั้ง

แผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม ดังนั้นขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวนี้จึงมีขึ้นเพื่อตัดแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตามออกไป โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่าง

1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

โดยวิธีการคัดเลือกแผ่นดินไหวถูกนำเสนอด้วยกัน 3 แนวคิด ได้แก่ Gardner และ Knopoff (1974) Grunenthal และ Urhammer (1986) ดังแสดงในรูป 3.6. ซึ่งในโครงการนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยมีใจความสำคัญของแนวคิดว่าหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือจะครอบคลุมเพียงพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามนั้นก็สั้น ในทางตรงกันข้ามการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้น ระยะเวลาของการปรับตัวของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้น เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวมีพื้นที่กว้างขึ้น จึงต้องใช้เวลาในการปรับให้เข้าสู่สมดุลเป็นเวลานานมากขึ้นนั่นเอง

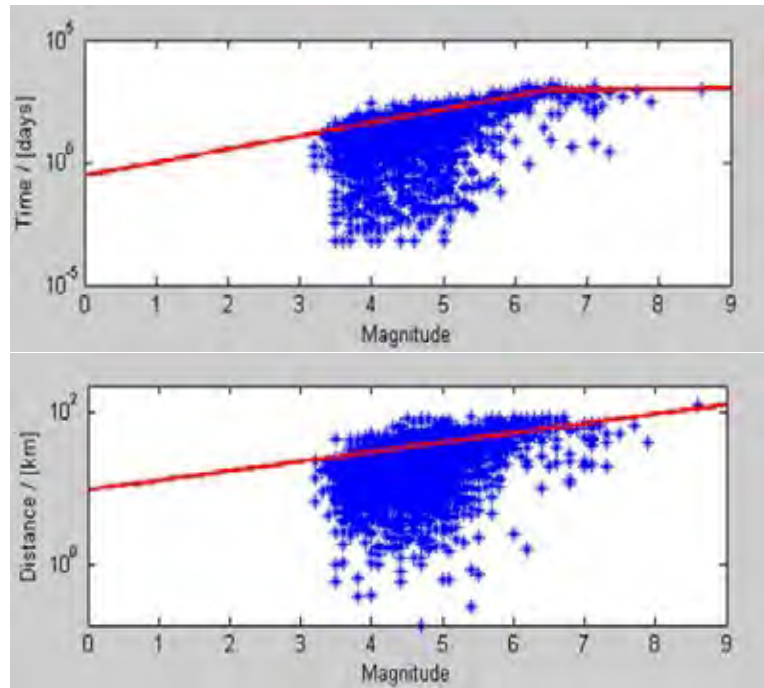
ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยต่างๆในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน จึงเป็นหนึ่งเหตุผลในการเลือกแนวคิดดังกล่าว



รูป 3.6. แสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)

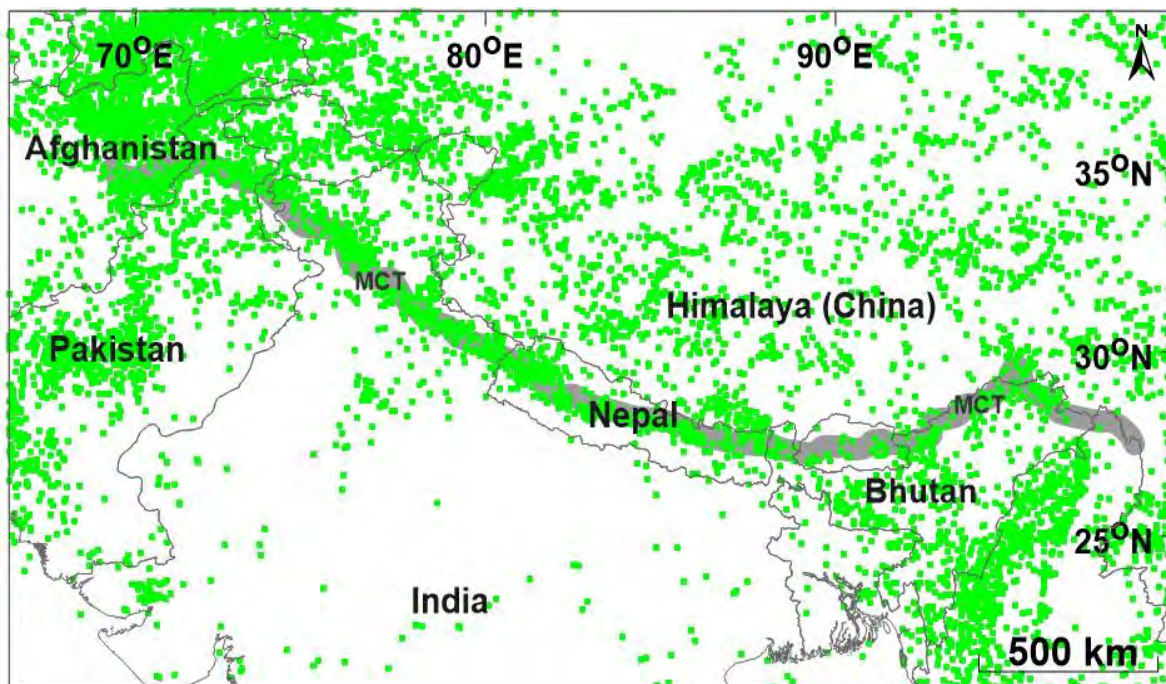


นอกจากนี้การบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งในแต่ละสถานีตรวจวัดอาจมีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวซ้ำกัน ก็จำเป็นจะต้องกำจัดข้อมูลแผ่นดินไหวที่ซ้ำซ้อนกันออกตามแนวทางของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ที่ออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว เวลาที่เกิด และระยะทางหรือความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังแสดงในรูป 3.7.



รูป 3.7. แสดงผลวิเคราะห์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) เส้นสีแดงคือกรอบเวลาและระยะทางของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ขนาดใดๆ จุดสีฟ้าแสดงเหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละเหตุการณ์ โดยแผ่นดินไหวที่มีระยะเวลาการเกิดต่ำกว่ากรอบเวลา (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะเวลา) และแผ่นดินไหวที่มีระยะทางน้อยกว่ากรอบระยะทาง (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะทาง) ถือเป็นแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ขณะที่แผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นกรอบเวลาและเส้นกรอบระยะทางแสดงว่าเป็นแผ่นดินไหวหลัก

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 3,695 กลุ่มแผ่นดินไหว (Earthquake cluster) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 22,295 เหตุการณ์จากทั้งหมด 33,939 เหตุการณ์ (ซึ่งคิดเป็น 65.69% จากเหตุการณ์ทั้งหมด) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 11,644 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1905-2014 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.6  $m_b$  ด้วยความลึก 0-413 กิโลเมตร ซึ่งแสดงแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก ดังแสดงในรูป 3.8.



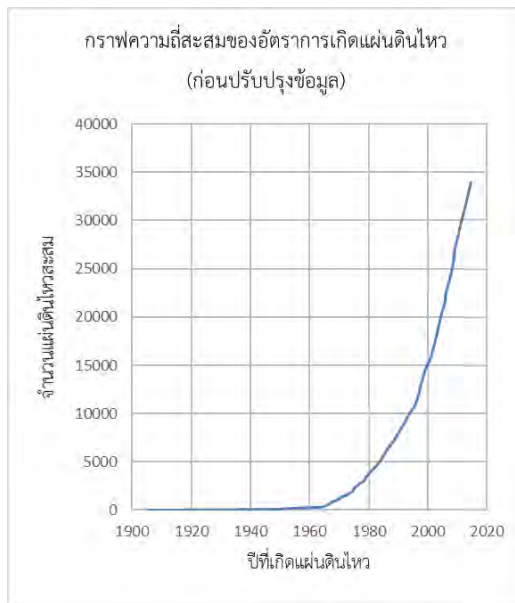
รูป 3.8. แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (จุดสีเขียว) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

ในทางทฤษฎี นักแผ่นดินไหววิทยาเชื่อว่ากลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวของกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปีของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวตามเวลาของการบันทึกในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นควรให้ผลเป็นกราฟเส้นตรง

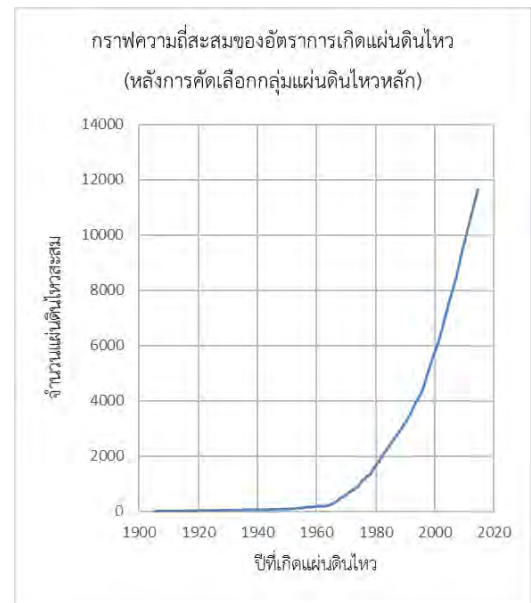
ดังนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้หลังจากการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (earthquake decluttering) มาพิจารณาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ข้างต้น ผลปรากฏดังแสดงในรูป 3.9. ซึ่งพบว่ากราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก มีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นกว่าข้อมูลแผ่นดินไหวเดิมที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงข้อมูล แต่ก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตามหลักการ จึงเป็นผลว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักนี้ก็ไม่สมบูรณ์ 100% จึงต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปปรับปรุงคุณภาพอีกในขั้นตอนถัดไป



(ก)



(ข)



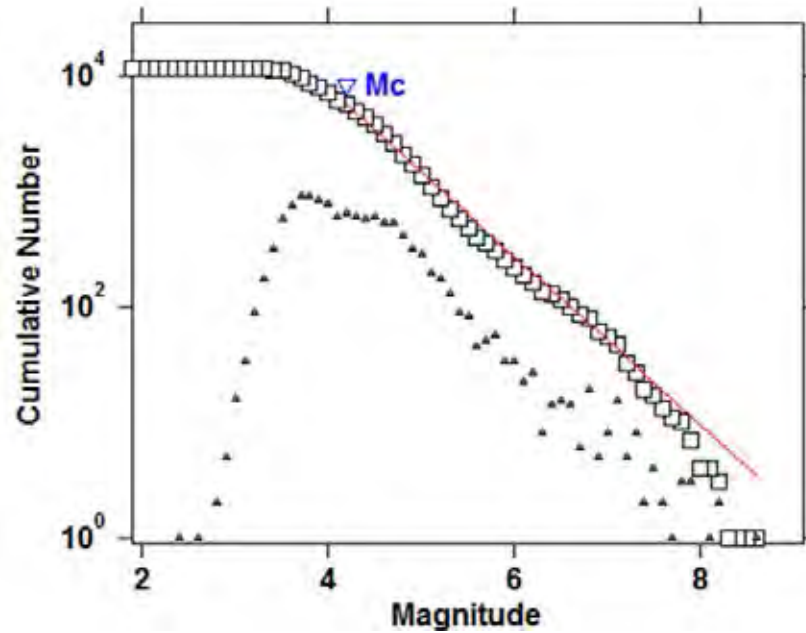
รูป 3.9. แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

### 3.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากการศึกษาในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาพบว่ามีความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องมือตรวจวัด เช่นในกรณีแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็ก แรงสั่นสะเทือนบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือทั้งที่มีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นจริง

ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือ เรียกขนาดแผ่นดินไหวนี้ว่า Magnitude of completeness หรือ  $M_c$  (Woessner และ Wiemer, 2005) โดยค่า  $M_c$  หมายถึง ระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า  $M_c$  นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการกำหนดค่า  $M_c$  ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

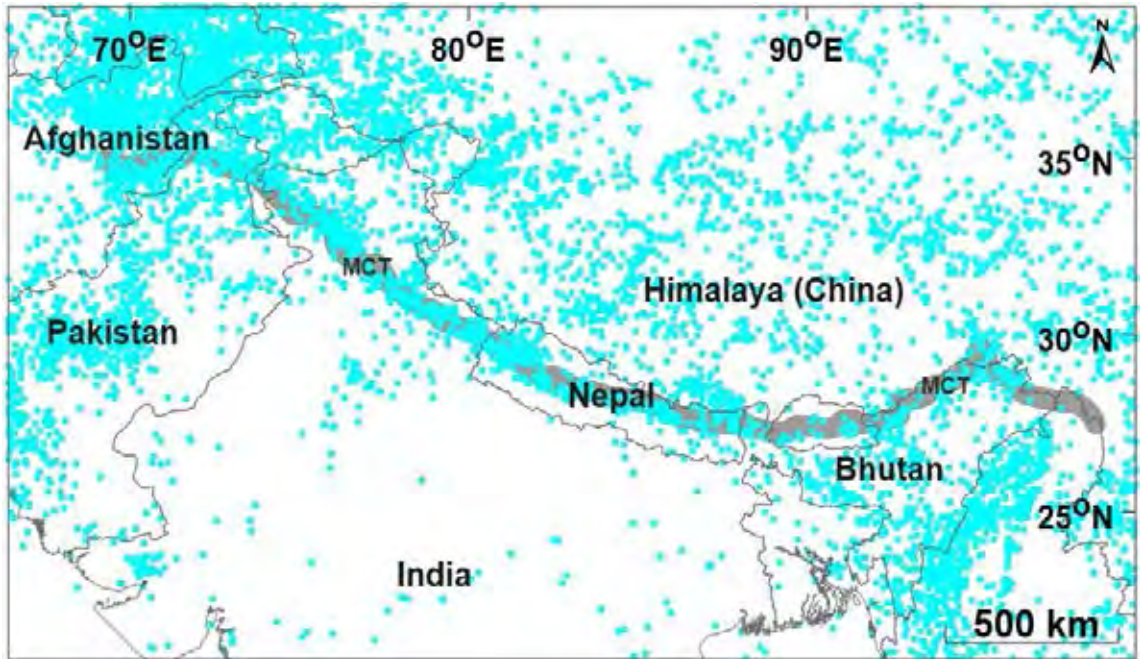
เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหว จึงมีการกำหนดค่า  $M_c = 4.2$  ดังแสดงในรูป 3.10. ซึ่งหมายความว่า ข้อมูลแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์คือแผ่นดินไหวที่มีขนาด  $4.2 m_b$  ขึ้นไป



รูป 3.10. กราฟแสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดย เครื่องหมายสามเหลี่ยมแสดงจำนวนแผ่นดินไหวที่พบในแต่ละขนาด ส่วนเครื่องหมายสี่เหลี่ยม แสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสมพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพที่สามารถนำไป วิเคราะห์ได้นั้นคือ  $M_c = 4.2$  (จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหว และขนาดแผ่นดินไหวจะเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตั้งแต่  $M_c = 4.2$  ขึ้นไป ดังเส้นกราฟสีแดง)

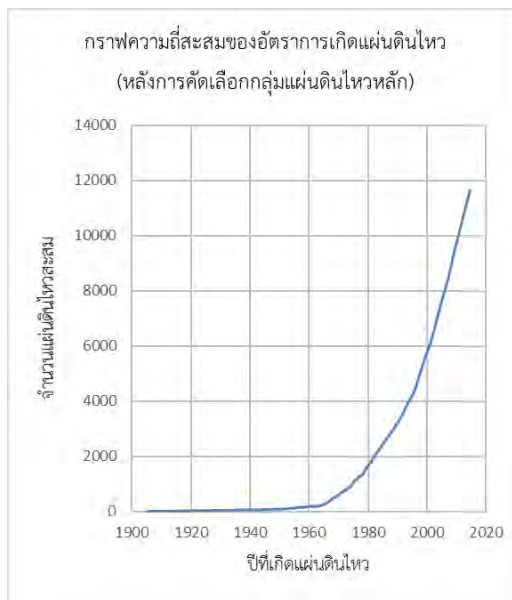
หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวผ่านกระบวนการทางสถิติทั้งหมดข้างต้น ถือว่า ฐานข้อมูลที่ได้นั้นมีคุณภาพและมีความสมบูรณ์มากพอที่สามารถนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิด แผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวสุทธิที่ได้ มีจำนวนทั้งหมด 11,041 เหตุการณ์ ที่ เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1962-2014 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.2  $m_b$  ขึ้นไป ด้วยความลึก 0-413 กิโลเมตร ซึ่งแสดงแผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความ สมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 3.11.

และหากพิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวกับปีที่เกิดหลัง ผ่านกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแล้วจะพบว่า กราฟมีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นจนเกือบจะเป็นเส้นตรงเมื่อ เปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนที่จะได้รับการปรับปรุงหรือข้อมูลที่ยังอยู่ในกระบวนการปรับปรุงขั้นตอนก่อนหน้า แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้หลังจากปรับปรุงแล้วจะมีความใกล้เคียงกับการเกิดแผ่นดินไหวตามธรรมชาติที่มี อัตราการเกิดแบบคงที่ ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลที่มีคุณภาพเหมาะแก่การนำไปวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูป 3.12.

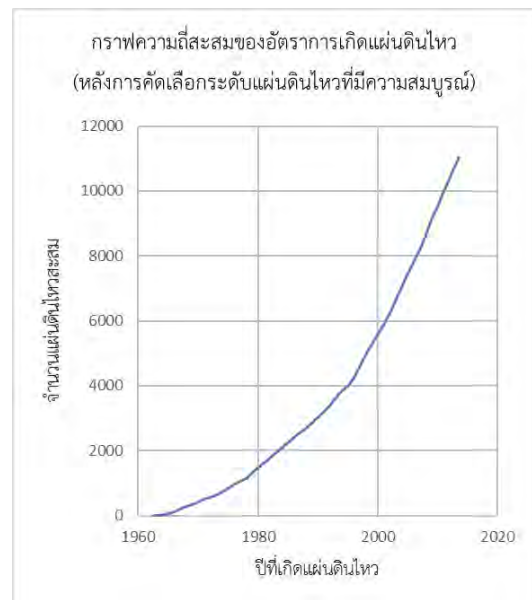


รูป 3.11. แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์หลัก (จุดสีฟ้า) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

(ก)



(ข)



รูป 3.12. แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักและ (ข) หลังจากคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

## บทที่ 4

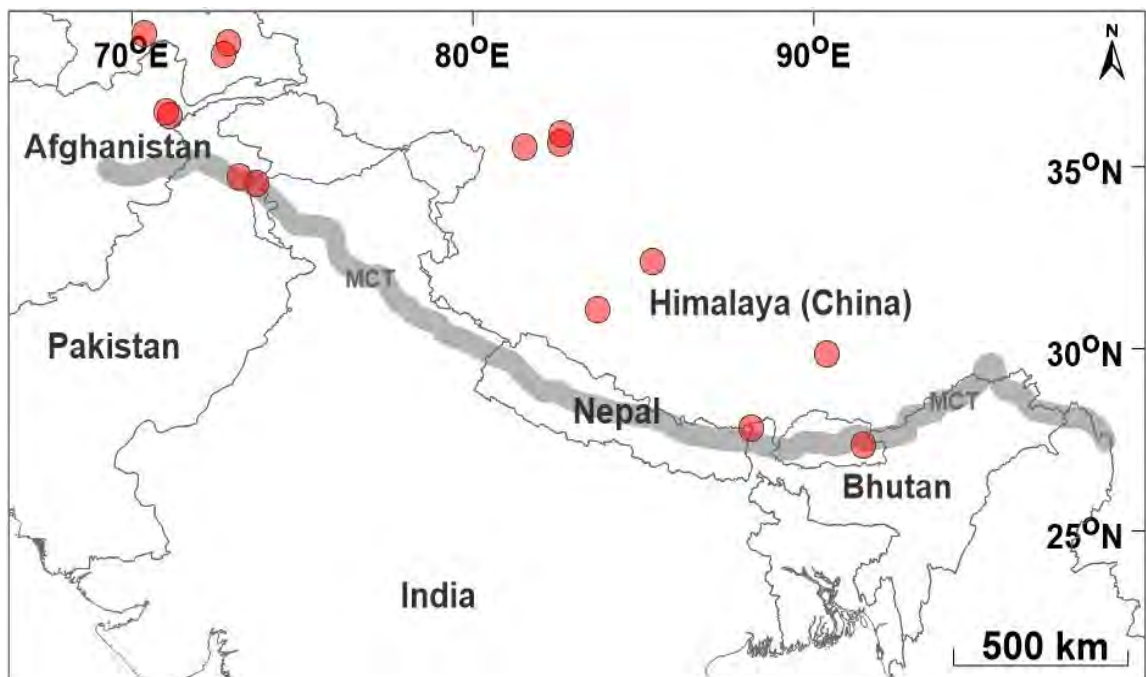
### การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)

#### 4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

เป็นวิธีการหาตัวแปรที่นำมาใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตที่เหมาะสมที่สุดได้แก่กรอบเวลาและจำนวนเหตุการณ์ในรัศมีว่าให้ผลที่แม่นยำในการทำนาย (forecast) หาพื้นที่เสี่ยง โดยการนำเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆที่สนใจมาวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้งเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงก่อนการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีตที่ได้ทำการคัดเลือกให้มาเป็นกรณีศึกษาจนครบทุกกรณีจนพบเงื่อนไขและตัวแปรที่ให้ผลแม่นยำที่สุดมาใช้ในการหาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตต่อไป

##### 4.1.1. คัดเลือกกรณีศึกษา

ขั้นแรกจะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษา ในโครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยให้ความสนใจกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 6.0  $m_b$  ขึ้นไป เนื่องจากต้องการศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างแท้จริง ซึ่งมีกรณีศึกษาทั้งหมด 15 เหตุการณ์ ดังรูป 4.1 ซึ่งมีข้อมูลแต่ละเหตุการณ์ดังตาราง 4.1.



รูป 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 15 กรณี ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง

ตาราง 4.1. แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 15 เหตุการณ์

Event	Long	Lat	Year	Month	Day	$m_b$	Depth	Hour	Min
1	72.69	38.08	2005	2	25	6.0	106.8	23	4
2	73.64	34.52	2005	10	8	6.7	7.9	3	50
3	73.14	34.72	2005	10	8	6.0	13.9	10	46
4	71.10	36.41	2005	12	12	6.0	223.9	21	47
5	85.26	32.40	2008	1	9	6.2	27.7	8	26
6	81.51	35.55	2008	3	20	6.1	10.0	22	32
7	83.65	31.06	2008	8	25	6.0	25.5	13	22
8	90.38	29.84	2008	10	6	6.0	6.4	8	30
9	91.46	27.37	2009	9	21	6.0	16.1	8	53
10	71.01	36.52	2009	10	22	6.1	188.6	19	51
11	72.85	38.40	2011	1	24	6.0	101.9	2	45
12	88.15	27.80	2011	9	18	6.5	29.6	12	40
13	70.37	38.66	2012	5	12	6.0	13.1	23	28
14	82.54	35.65	2012	8	12	6.0	14.0	10	47
15	82.58	35.88	2014	2	12	6.5	4.1	9	19

#### 4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข

โดยอาศัยวิธีการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นแล้วในอดีต โดยการสร้างเงื่อนไขและกำหนดตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ซ้ำๆ ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยวิธีการทางสถิติของ Wiemer (2001) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือที่สุดในการนำมาใช้วิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวใน

ระยะเวลาปัจจุบัน โดยตัวแปรที่ต้องกำหนดคือ จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี (number of events,  $N$ ) กรอบเวลาที่สนใจ (time width,  $T_w$ ) และรัศมีการกวาดข้อมูล (radius) โดยใช้สมการ (2.1)

ผลการวิเคราะห์จะได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวของแต่ละกรณีศึกษาที่เงื่อนไขใดๆ ตรวจพบ ( $Z_{max}$ ) ปีที่ตรวจพบภาวะเงียบสงบ ( $T_q$ ) และระยะเวลาที่ตรวจพบภาวะเงียบสงบ (detection of quiescence) โดยผลการวิเคราะห์เงื่อนไขบางส่วน ดังแสดงในตาราง 4.2.

จากนั้นเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยเลือกเอาเงื่อนไขที่มีจำนวนเหตุการณ์มากกว่า 100 เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้จำนวนข้อมูลที่มากก็จะยิ่งให้ค่าที่น่าเชื่อถือ กรอบเวลาที่มีช่วงกว้างก็จะยิ่งทำให้ตรวจพบค่าความผิดปกติของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดแผ่นดินไหวได้ดี และกำจัดเงื่อนไขบางส่วนที่ตรวจภาวะ

เทียบสงบที่นานเกินไป หลังจากพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและตัดเงื่อนไขที่ไม่เหมาะสมออกไปพบว่า เหลือเงื่อนไขมาพิจารณา 3 เงื่อนไขด้วยกัน ดังแสดงในตาราง 4.3.

ตาราง 4.2. แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลของแผ่นดินไหวด้วยสมการ (2.1)

N	$T_w$	Long	Lat	Year	$m_b$	Radius (Km)	$T_s$ (Year)	$Z_{max}$	Detection of Quiescence
25	1.5	82.58	35.88	2014.12	6.5	51.97	2002.61	1.5	0.15
25	1.5	70.37	38.66	2012.36	6.0	16.23	2001.99	2.1	0.08
25	1.5	82.54	35.65	2012.61	6.0	66.72	2001.99	1.6	0.12
25	1.5	88.15	27.80	2011.72	6.5	47.62	2002.57	1.1	0.11
25	1.5	72.85	38.40	2011.07	6.0	28.36	2003.61	0.2	0.76
25	1.5	91.46	27.37	2009.72	6.0	67.36	2006.14	2.3	0.04
25	1.5	71.01	36.52	2009.81	6.1	3.05	2006.37	2.3	0.04
25	1.5	85.26	32.40	2008.02	6.2	101.68	2005.37	2.8	1.23
25	1.5	81.51	35.55	2008.22	6.1	64.59	2002.03	2.0	0.46
25	1.5	83.65	31.06	2008.65	6.0	58.68	2002.11	1.0	0.08
25	1.5	90.38	29.85	2008.76	6.0	60.50	2008.82	2.6	0.16
25	1.5	73.64	34.52	2005.77	6.7	69.77	2004.95	2.6	0.04
25	1.5	72.69	38.08	2005.15	6.0	40.30	2005.22	2.4	0.26
25	1.5	73.14	34.72	2005.77	6.0	58.16	2010.05	2.5	0.50
25	1.5	71.10	36.41	2005.95	6.0	6.89	2009.24	2.3	0.46
25	2.0	82.58	35.88	2014.12	6.5	51.97	2002.61	1.5	0.15
25	2.0	70.37	38.66	2012.36	6.0	16.23	2001.99	2.1	0.08
25	2.0	82.54	35.65	2012.61	6.0	66.72	2001.99	1.6	0.12
25	2.0	88.15	27.80	2011.72	6.5	47.62	2002.57	1.1	0.11
25	2.0	72.85	38.40	2011.07	6.0	28.36	2003.61	0.2	0.76
25	2.0	91.46	27.37	2009.72	6.0	67.36	2006.14	2.3	0.04
25	2.0	71.01	36.52	2009.81	6.1	3.05	2006.37	2.3	0.04
25	2.0	85.26	32.40	2008.02	6.2	101.68	2005.37	2.8	1.23
25	2.0	81.51	35.55	2008.22	6.1	64.59	2002.03	2.0	0.46
25	2.0	83.65	31.06	2008.65	6.0	58.68	2002.11	1.0	0.08
25	2.0	90.38	29.85	2008.76	6.0	60.50	2008.82	2.6	0.16

25	2.0	73.64	34.52	2005.77	6.7	69.77	2004.95	2.6	0.04
25	2.0	72.69	38.08	2005.15	6.0	40.30	2005.22	2.4	0.26
25	2.0	73.14	34.72	2005.77	6.0	58.16	2010.05	2.5	0.50
25	2.0	71.10	36.41	2005.95	6.0	6.89	2009.24	2.3	0.46
25	2.5	82.58	35.88	2014.12	6.5	51.97	2002.61	1.5	0.15
25	2.5	70.37	38.66	2012.36	6.0	16.23	2001.99	2.1	0.08
25	2.5	82.54	35.65	2012.61	6.0	66.72	2001.99	1.6	0.12
25	2.5	88.15	27.80	2011.72	6.5	47.62	2002.57	1.1	0.11
25	2.5	72.85	38.40	2011.07	6.0	28.36	2003.61	0.2	0.76
25	2.5	91.46	27.37	2009.72	6.0	67.36	2006.14	2.3	0.04
25	2.5	71.01	36.52	2009.81	6.1	3.05	2006.37	2.3	0.04
25	2.5	85.26	32.40	2008.02	6.2	101.68	2005.37	2.8	1.23
25	2.5	81.51	35.55	2008.22	6.1	64.59	2002.03	2.0	0.46
25	2.5	83.65	31.06	2008.65	6.0	58.68	2002.11	1.0	0.08
25	2.5	90.38	29.85	2008.76	6.0	60.50	2008.82	2.6	0.16
25	2.5	73.64	34.52	2005.77	6.7	69.77	2004.95	2.6	0.04
25	2.5	72.69	38.08	2005.15	6.0	40.30	2005.22	2.4	0.26
25	2.5	73.14	34.72	2005.77	6.0	58.16	2010.05	2.5	0.50
25	2.5	71.10	36.41	2005.95	6.0	6.89	2009.24	2.3	0.46

ตาราง 4.3. แสดงข้อมูลทั้ง 3 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ โดยตัวแปรที่กำหนดประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, ระยะเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา

เงื่อนไขที่ 1	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	1.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	15 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 2	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	15 เหตุการณ์

เงื่อนไขที่ 3	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	2.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	15 เหตุการณ์

เริ่มทำการทดสอบย้อนกลับของกรณีศึกษาที่ละกรณีโดยคัดเลือกกรณีศึกษามา 1 กรณีและเลือกเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นก่อนเกิดเหตุการณ์ของกรณีศึกษานั้นมาทดสอบหาว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวเชิงเวลา (temporal) และเชิงพื้นที่ (spatial) ด้วยสมการ (2.1) เช่น เหตุการณ์ที่ 1 และ 2 จากตาราง 4.1. ดังแสดงในตาราง 4.4.

ตาราง 4.4. แสดงรายละเอียดตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 1 และ 2

Long	Lat	Year	Month	Day	$m_b$	Depth	Hour	Min
72.69	38.07	2005	2	25	6.0	106.8	23	4
73.64	34.52	2005	10	8	6.7	7.9	3	50

เหตุการณ์แผ่นดินไหวของกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นวันที่ 25 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2005 ดังนั้นจะต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่วันแรกที่มีการบันทึกจนถึงวันและเวลาที่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวนี้มาศึกษา โดยใช้สมการ (2.1) ในการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อหาค่า  $Z$  ตามเงื่อนไขที่ 1 จากตาราง 4.3. ทำวิธีเดียวกันกับทุกกรณีศึกษาด้วยเงื่อนไขเดียวกัน จากนั้นจึงเริ่มใช้เงื่อนไขที่ 2 มาวิเคราะห์ต่อด้วยกรณีศึกษาแรกอีกครั้ง แล้วทำต่อจนครบทุกกรณีศึกษา ทำเช่นนี้ไปจนครบทั้ง 3 เงื่อนไขดังตาราง 4.3. สุดท้ายจะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของทั้งพื้นที่ในช่วงเวลาก่อนเกิดของเหตุการณ์ของกรณีศึกษาแต่ละกรณี แล้วนำไปทำแผนที่เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเงื่อนไขต่างๆ ว่าให้ผลที่สอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ของแต่ละกรณีศึกษาหรือไม่ ซึ่งเงื่อนไขที่ให้ผลสอดคล้องที่สุดจึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

เมื่อได้แผนที่การทดสอบย้อนกลับและทำการพิจารณาความเหมาะสมครบทุกเงื่อนไขแล้ว พบว่าเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขสามารถตรวจพบค่าความผิดปกติหรือภาวะเจ็บสงบก่อนการเกิดแผ่นดินไหวได้ก่อนเกิดแผ่นดินไหวตามมาของทุกกรณีศึกษา แต่เงื่อนไขที่ 2 สามารถตรวจสอบและจำกัดวงของพื้นที่เสี่ยงได้แคบกว่าเงื่อนไขอีก 2 เงื่อนไข เนื่องจากมีกรอบเวลาที่กว้างไม่มากนักน้อยเกินไป ทำให้ตรวจพบพื้นที่ที่แสดงค่าผิดปกติได้ชัดเจนที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงให้เงื่อนไข 2 ที่มีจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี 25 เหตุการณ์ ในกรอบเวลา 2 ปี รัศมี 300 กิโลเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตต่อไป แสดงรายละเอียดเงื่อนไขดังตาราง 4.5.

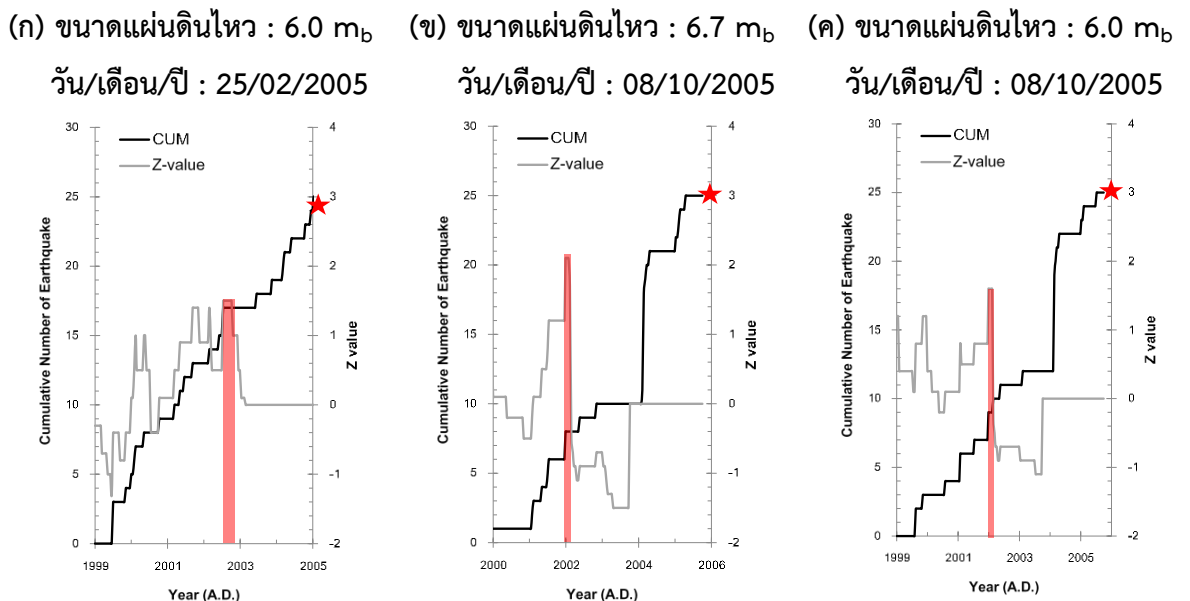


ตาราง 4.5. แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ

เงื่อนไขที่ 2	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	25 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	13 เหตุการณ์

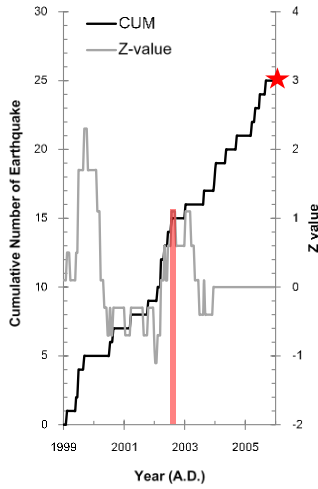
#### 4.1.3 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ช่วงเวลา และค่า Z

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมได้แก่เงื่อนไขที่ 2 ต้องนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงค่า Z เชิงเวลา (temporal) โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ปรับปรุงฐานข้อมูลแล้ว ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ต้นจนถึงข้อมูลก่อนถึงช่วงเวลาก่อนเกิดกรณีศึกษา ด้วยสมการ (2.1) เพื่อเป็นการพิจารณาค่า Z และระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่านกราฟความสัมพันธ์ซึ่งมีแกนตั้งสองแกนประกอบด้วยแกนแสดงข้อมูลจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและแกนแสดงค่า Z และแกนนอนแสดงระยะเวลาปี โดยปรากฏผลการวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูป 4.2.



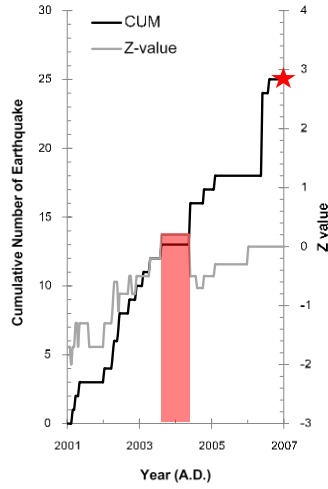
(ง) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 12/12/2005



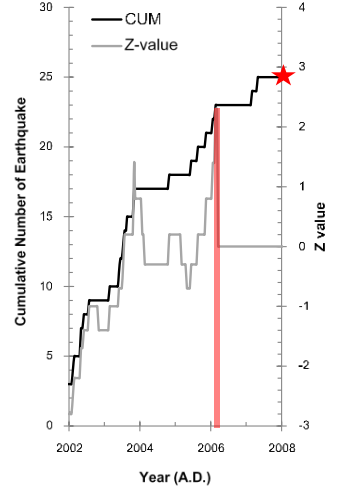
(จ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.2  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 09/01/2008



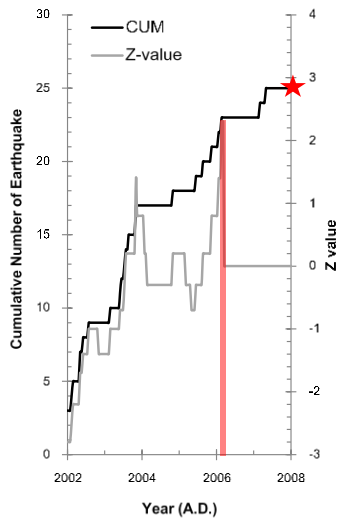
(ฉ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.1  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 20/03/2008



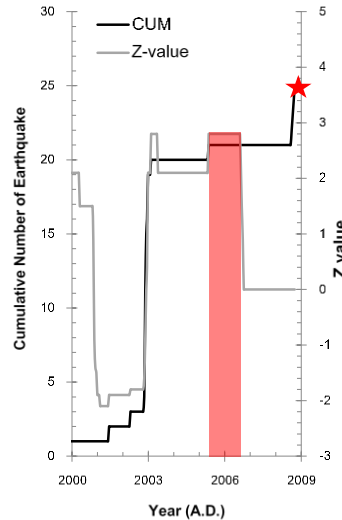
(ช) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 25/08/2008



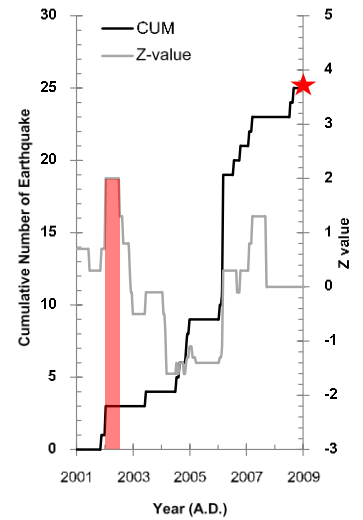
(ซ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 06/10/2008



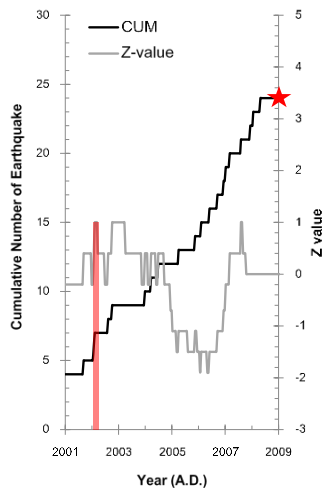
(ฅ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 21/09/2009



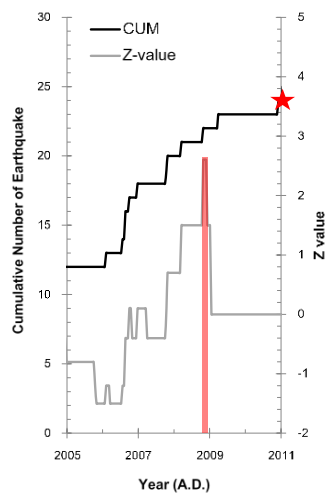
(ญ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.1  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 22/10/2009



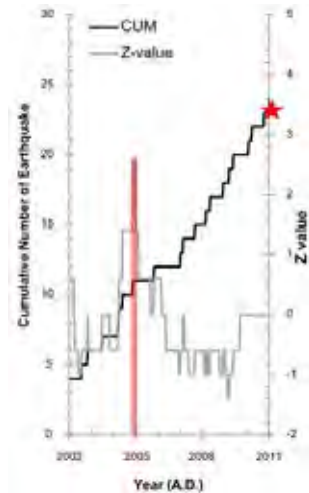
(ฎ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0  $m_b$

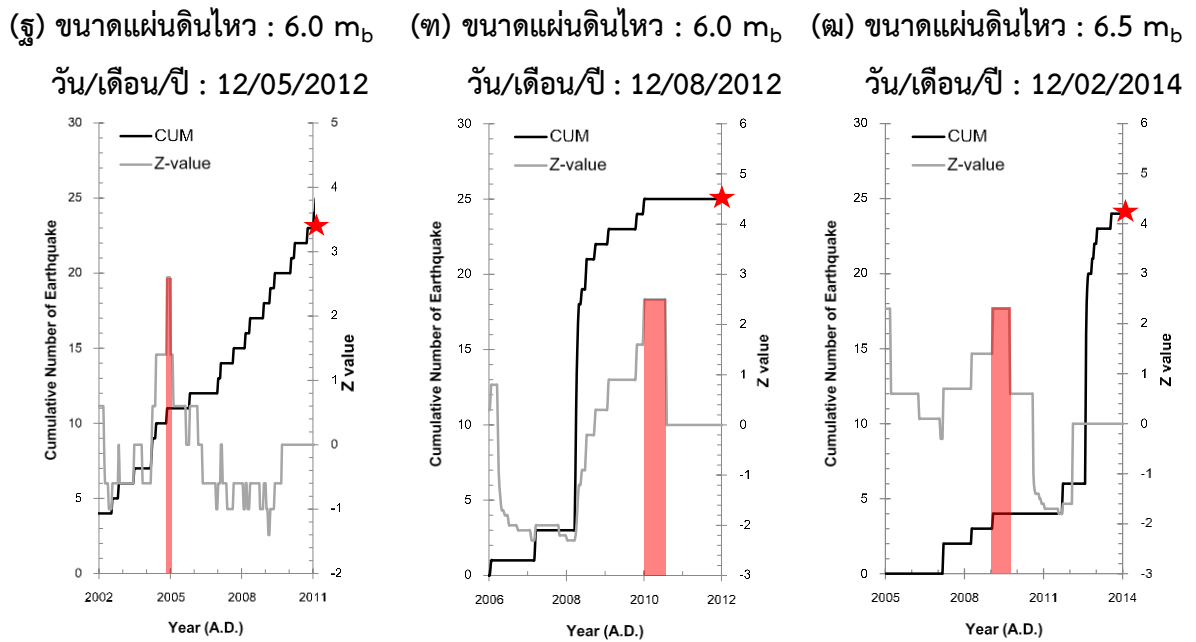
วัน/เดือน/ปี : 24/01/2011



(ฏ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.5  $m_b$

วัน/เดือน/ปี : 18/09/2011





รูป 4.2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม และค่า Z กับปี ค.ศ. ที่เกิดแผ่นดินไหวในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา โดยเส้นสีดำแสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ขณะที่เส้นสีเทาแสดงค่า Z แต่ละช่วงเวลา ส่วนแท่งสีแดงแสดงถึงช่วงภาวะเงียบสงบที่มีค่า Z สูงสุด ก่อนเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละกรณีศึกษาทั้ง 15 กรณี ที่แทนด้วยสัญลักษณ์ดาวสีแดง แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) – (ฅ) ย่อยตามลำดับ

จากกราฟความสัมพันธ์ส่วนใหญ่ พบว่ามีช่วงเวลาของภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1-2 ปี มีค่า Z สูงสุดอยู่ในช่วง 1.0-2.8 ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดปกติที่ตรวจพบมีความชัดเจนพอสมควร และมีระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ อยู่ในช่วง 2-8 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำนายเหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงระยะเวลาปานกลาง (intermediate term) นอกจากนี้พบว่าค่า Z สูงสุดในแต่ละกราฟ ปรากฏในหลายช่วงเวลา ซึ่งความผิดปกติดังกล่าว มีสาเหตุมาจาก

- 1) ข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในพื้นที่ศึกษามีจำนวนค่อนข้างน้อย
- 2) จำนวนแผ่นดินไหวในรัศมีมีจำนวนน้อยเกินไป
- 3) ระยะเวลา ( $T_w$ ) ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีช่วงที่สั้นเกินไป

#### 4.1.4 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z

หลังจากพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวจากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้นแล้ว ต้องเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ (spatial) เพื่อหาตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติ หรือค่า Z สูงสุด ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษา โดยนำมาทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (spatial distribution of Z value) ด้วยโปรแกรม Surfer v.11 ซึ่งต้องพิจารณาแผนที่ดังกล่าวในแต่ละเหตุการณ์

กรณีศึกษาเพื่อหาเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะต้องแสดงค่าผิดปกติของค่า  $Z$  อย่างชัดเจนสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง โดยหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของแผนที่ดังกล่าว พบว่ามีเหตุการณ์ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า  $Z$  สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริงมีจำนวน 13 กรณีศึกษา จากทั้งหมด 15 กรณีศึกษา โดยแสดงแผนที่การกระจายตัวของค่า  $Z$  บริเวณแนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียง ดังแสดงในรูป 4.3.

กรณีศึกษาที่ 1 บริเวณเล็กๆทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 25 เดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2005 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 1.5 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 2.5 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ก)

กรณีศึกษาที่ 2 บริเวณเล็กๆทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอัฟกานิสถานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.7 แมกนิจูด ในวันที่ 8 เดือนตุลาคม ค.ศ. 2005 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 2.1 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 3.8 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ข)

กรณีศึกษาที่ 3 บริเวณเล็กๆทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอัฟกานิสถานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 8 เดือนตุลาคม ค.ศ. 2005 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 1.6 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 3.8 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ค)

กรณีศึกษาที่ 4 บริเวณเล็กๆทางตะวันออกเฉียงของประเทศอัฟกานิสถานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 12 เดือนธันวาคม ค.ศ. 2005 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 1.1 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 3.4 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ง)

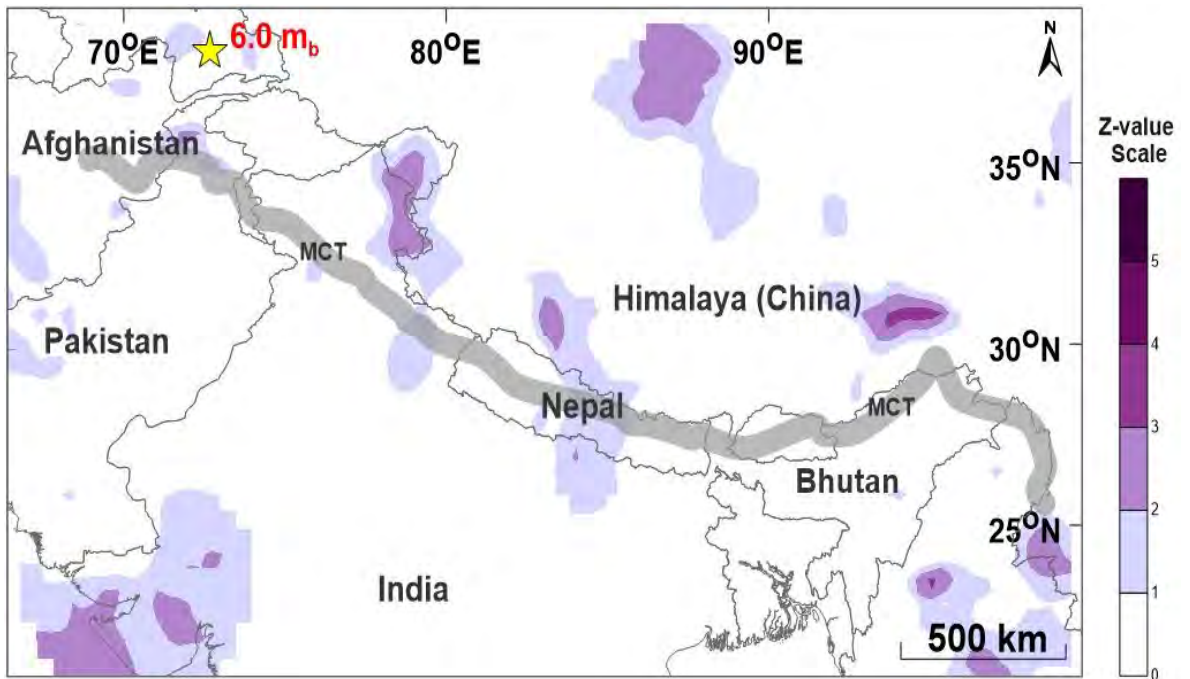
กรณีศึกษาที่ 6 บริเวณเล็กๆทางตะวันตกเฉียงเหนือของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีนเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.1 แมกนิจูด ในวันที่ 20 เดือนมีนาคม ค.ศ. 2008 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 2.3 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 2.1 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (จ)

กรณีศึกษาที่ 7 บริเวณเล็กๆทางตะวันตกของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีนเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 25 เดือนสิงหาคม ค.ศ. 2008 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 2.3 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 6.2 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฉ)

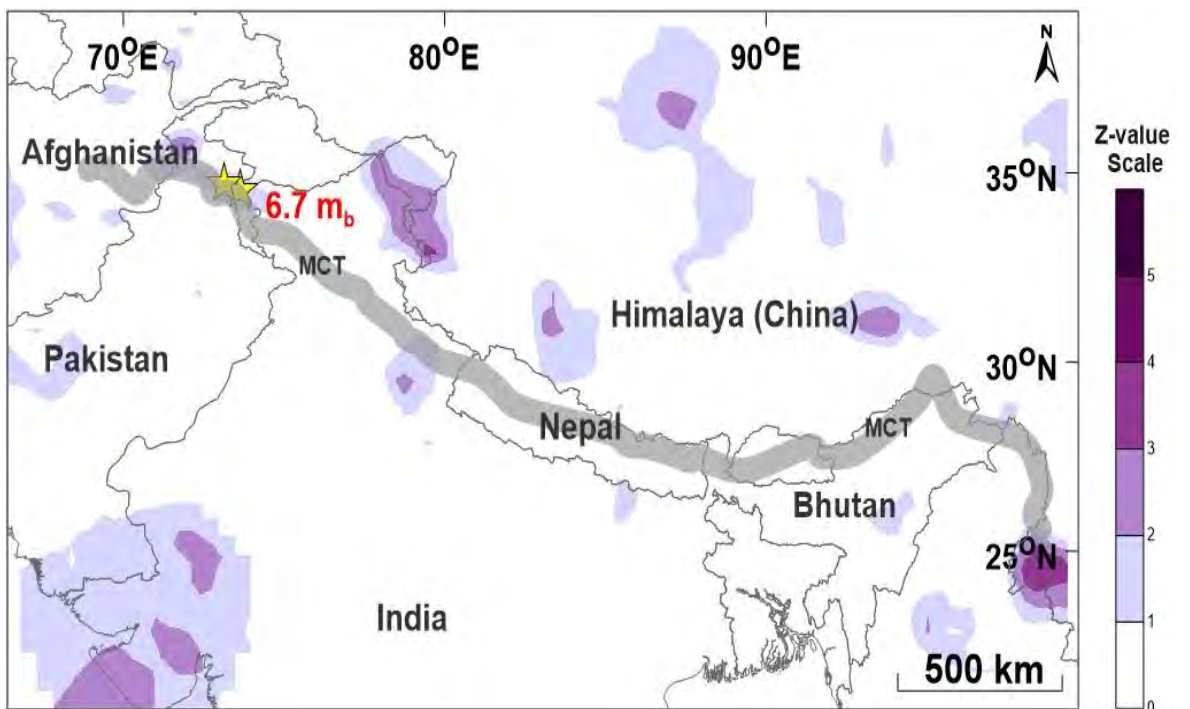
กรณีศึกษาที่ 8 บริเวณเล็กๆทางใต้ของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีนเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 6 เดือนตุลาคม ค.ศ. 2008 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 2.8 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 5.5 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ช)

กรณีศึกษาที่ 9 บริเวณเล็กๆทางเหนือของประเทศภูฏานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 21 เดือนกันยายน ค.ศ. 2009 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า  $Z$  สูงสุดเท่ากับ 2.0 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 7.7 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ซ)

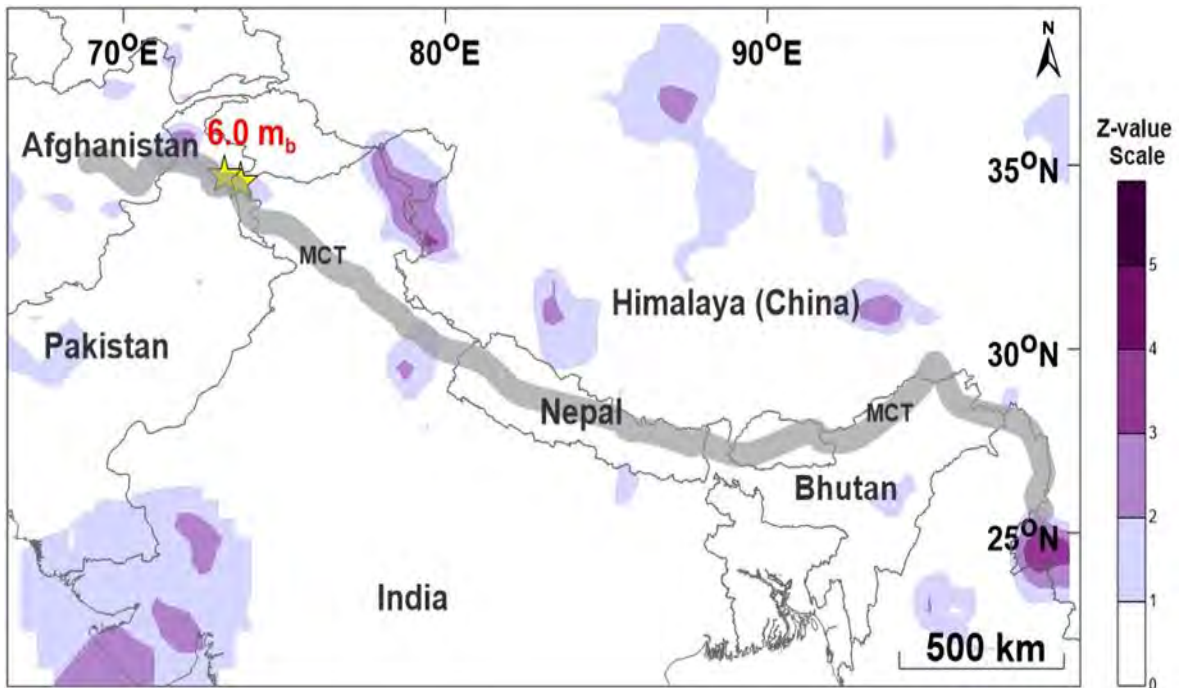
(ก) กรณีศึกษาที่ 1 วันที่ : 25/02/2005



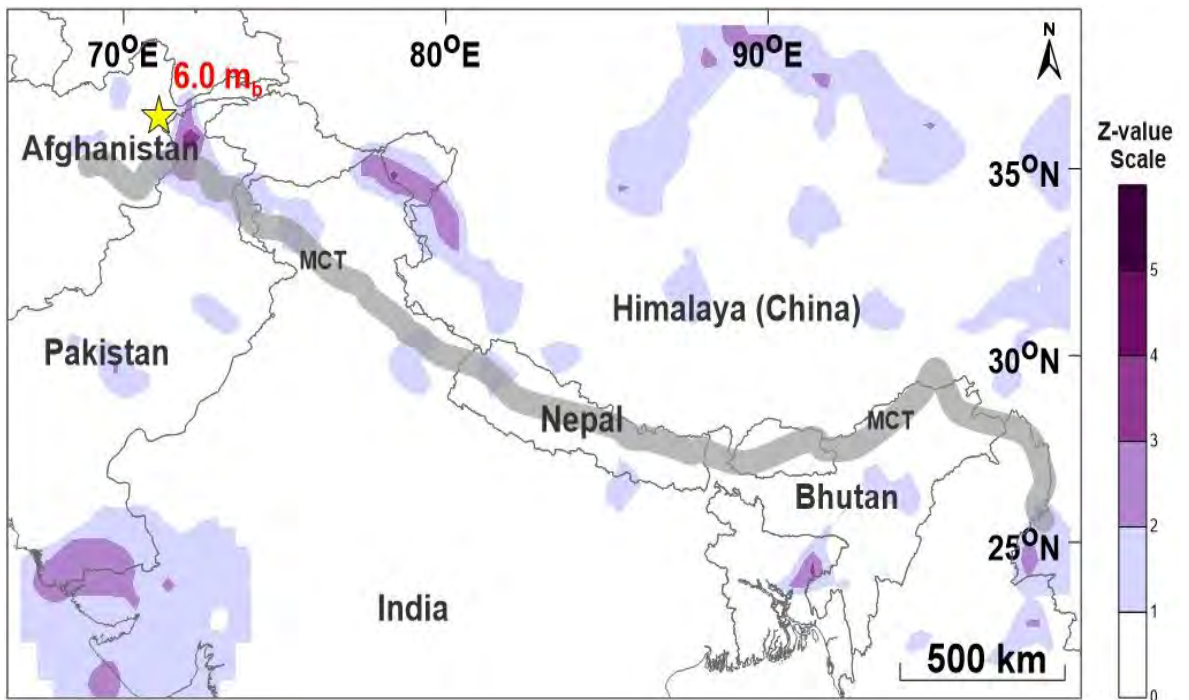
(ข) กรณีศึกษาที่ 2 วันที่ : 08/10/2005



(ค) กรณีศึกษาที่ 3 วันที่ : 08/10/2005

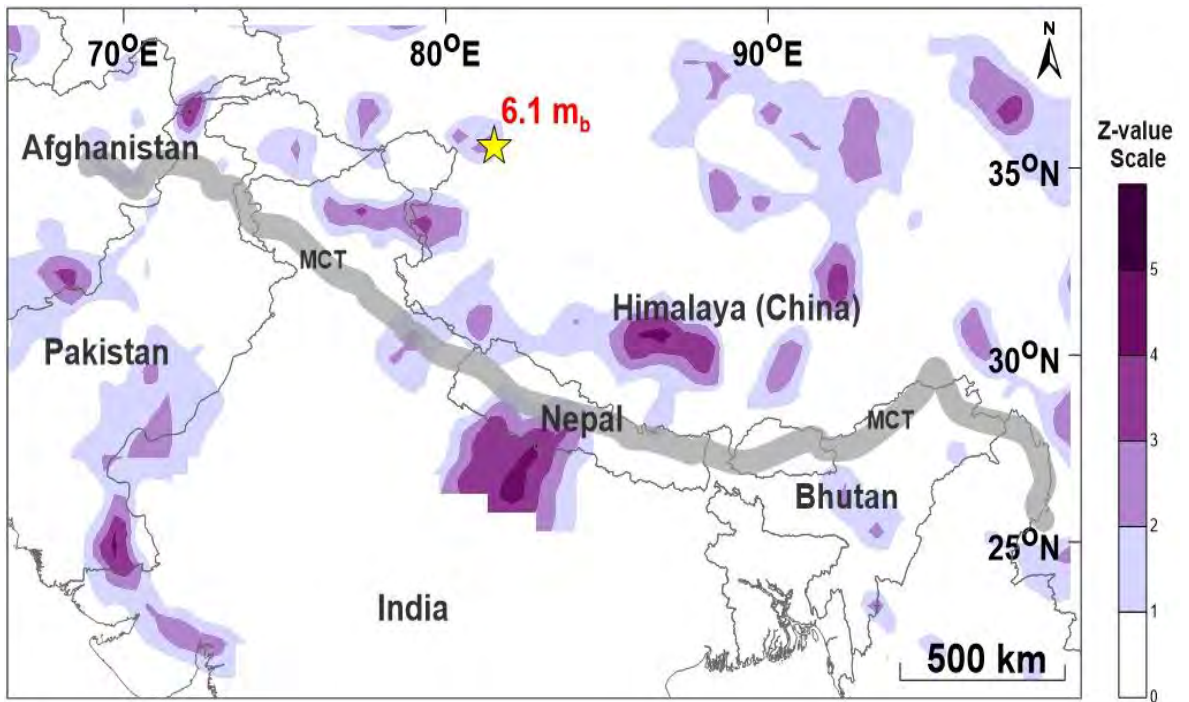


(ง) กรณีศึกษาที่ 4 วันที่ : 12/12/2005

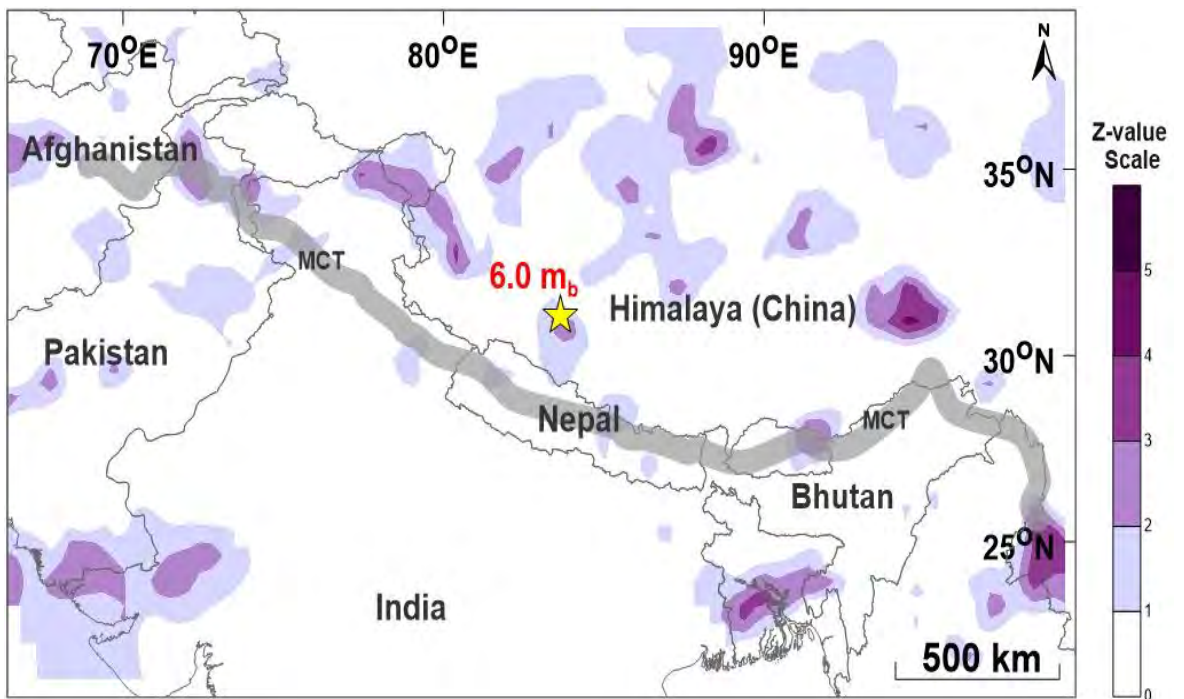




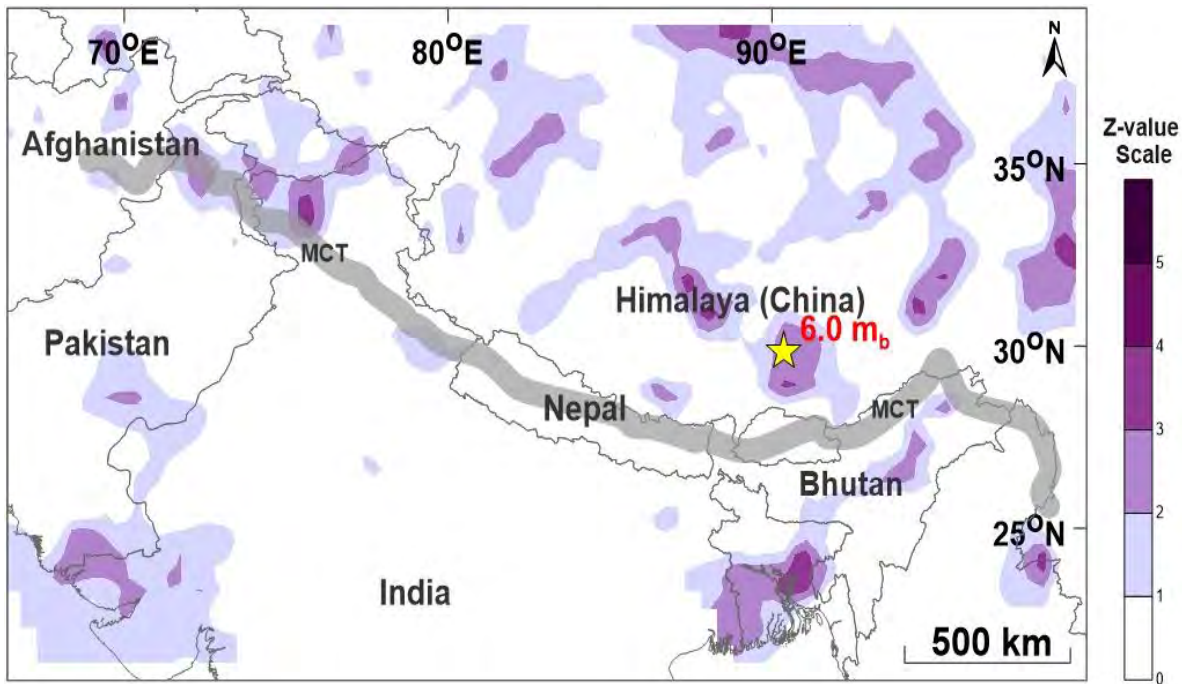
(จ) กรณีศึกษาที่ 6 วันที่ : 20/03/2008



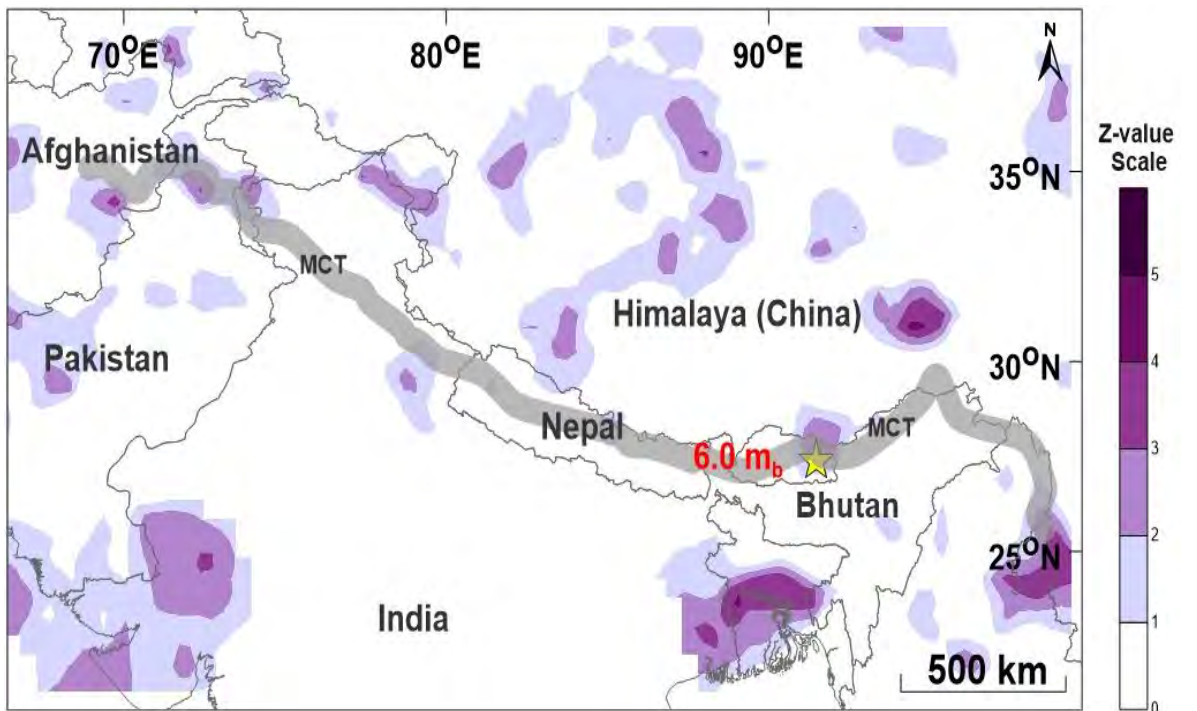
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 7 วันที่ : 25/08/2008



(ข) กรณีศึกษาที่ 8 วันที่ : 06/10/2008

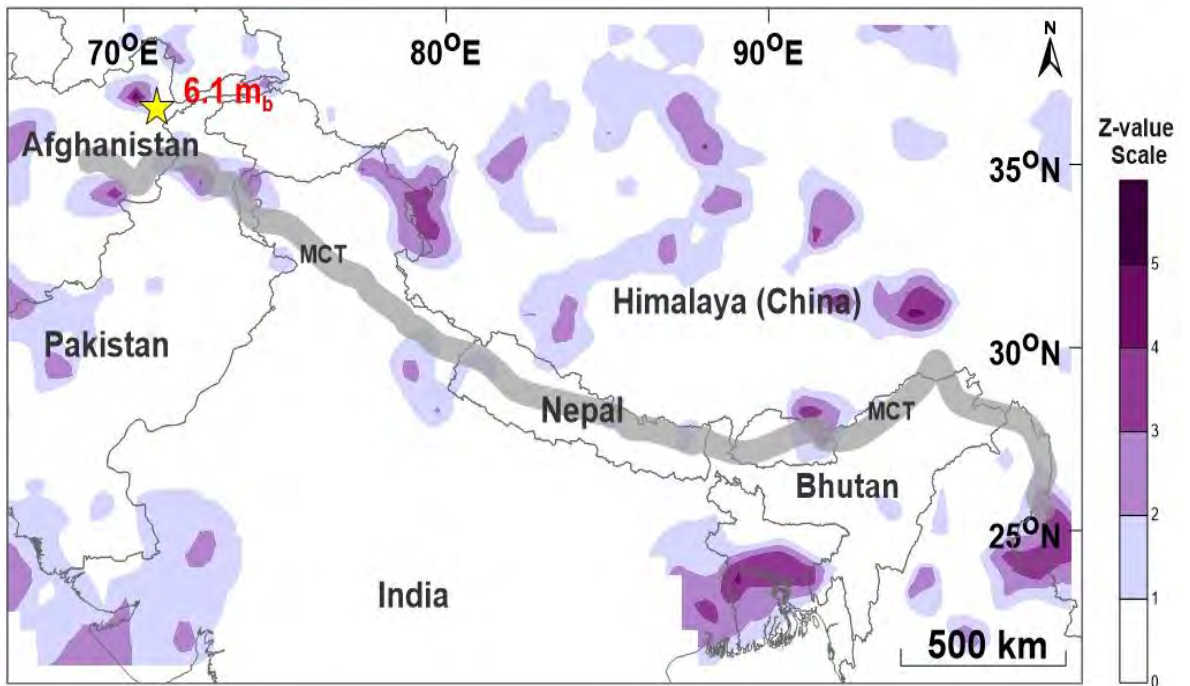


(ข) กรณีศึกษาที่ 9 วันที่ : 21/09/2009

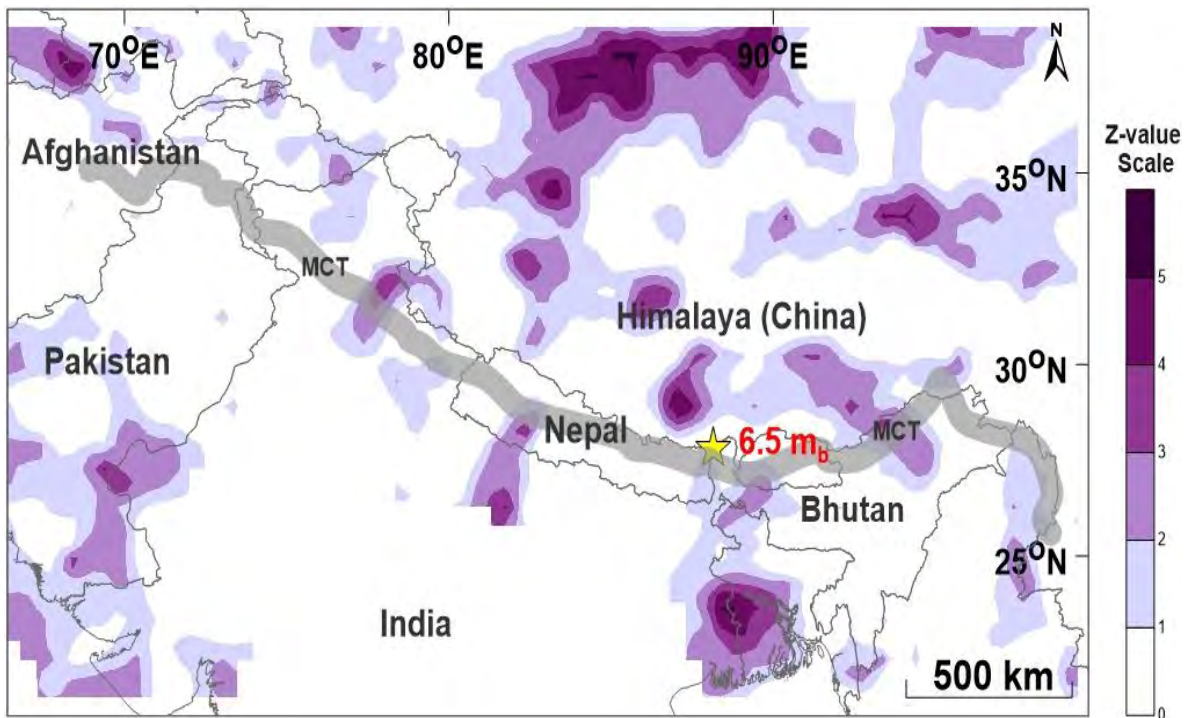




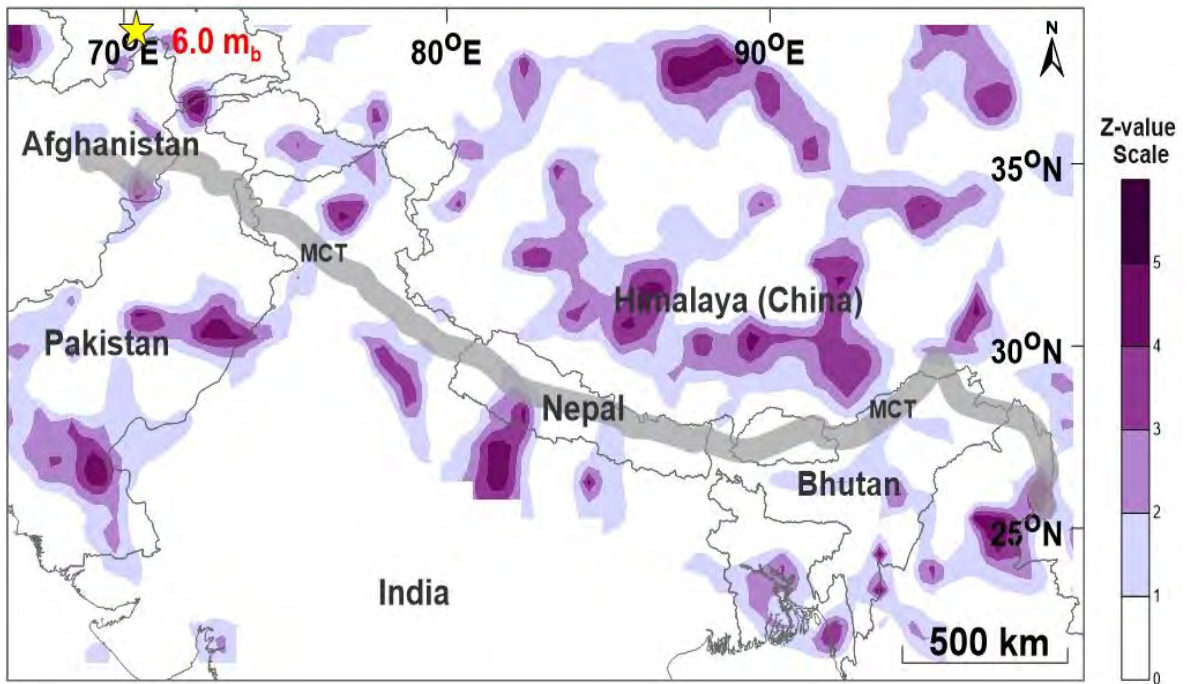
(ณ) กรณีสึกษาที่ 10 วันที่ : 22/10/2009



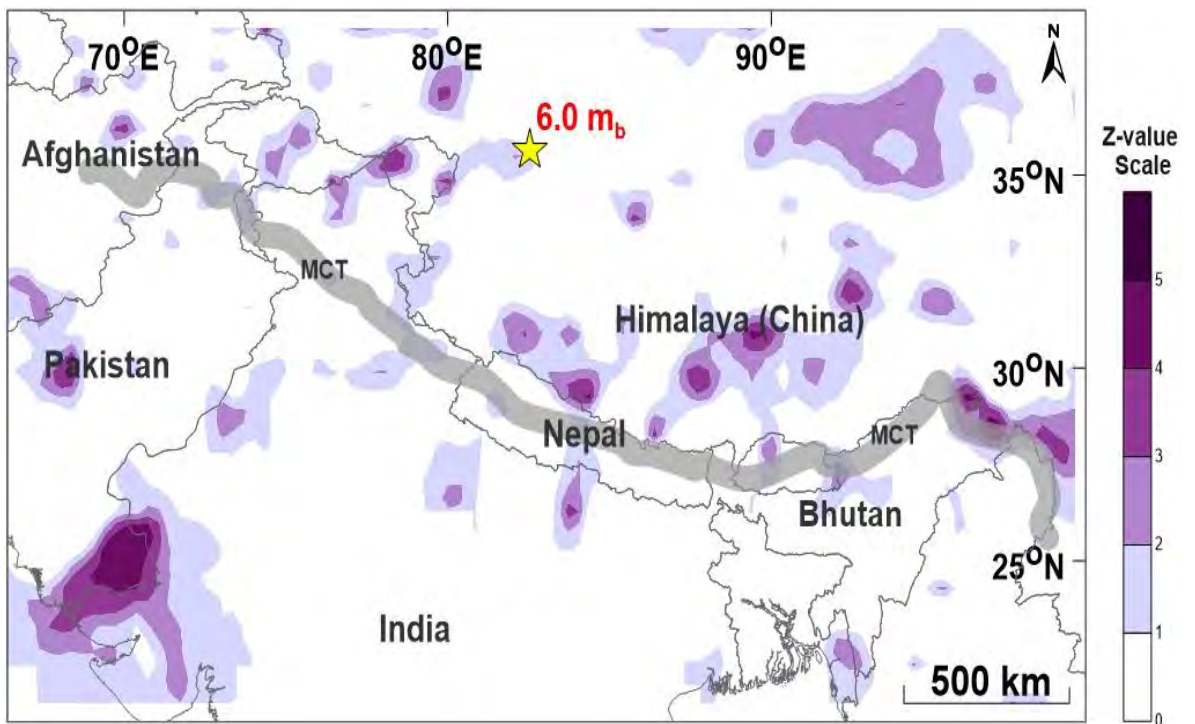
(ญ) กรณีสึกษาที่ 12 วันที่ : 18/09/2011



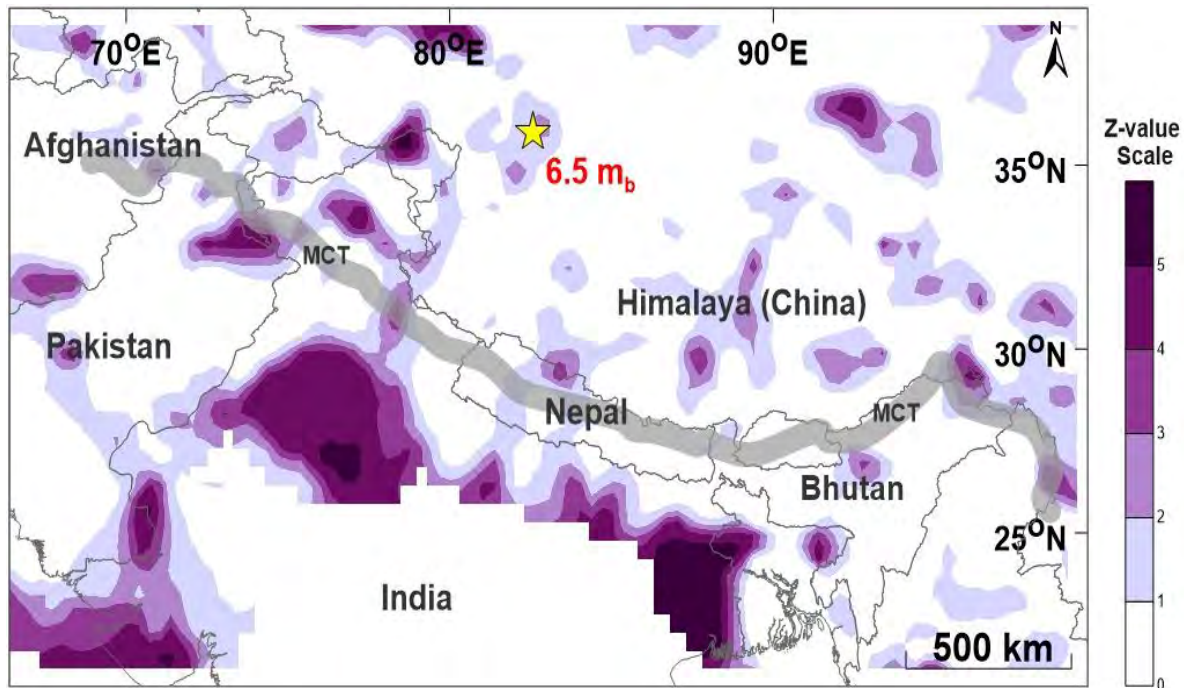
(ก) กรณศึกษาที่ 13 วันที่ : 12/05/2012



(ข) กรณศึกษาที่ 14 วันที่ : 12/08/2012



(ฐ) กรณีศึกษาที่ 15 วันที่ : 12/02/2014



รูป 4.3. แสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ของกรณีศึกษา 13 กรณี จากทั้งหมด 15 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ฐ) ย่อยพื้นที่สีม่วงแทนบริเวณที่มีความผิดปกติด้วยค่า Z สูงสุด และเครื่องหมายดาวสีเหลืองแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีต

กรณีศึกษาที่ 10 บริเวณเล็กๆทางเหนือของประเทศอัฟกานิสถานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.1 แมกนิจูด ในวันที่ 22 เดือนตุลาคม ค.ศ. 2009 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 1.0 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 7.7 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฉ)

กรณีศึกษาที่ 12 บริเวณเล็กๆทางตะวันออกของประเทศเนปาลเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.5 แมกนิจูด ในวันที่ 18 เดือนกันยายน ค.ศ. 2011 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 2.6 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 6.8 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ญ)

กรณีศึกษาที่ 13 บริเวณเล็กๆทางเหนือของประเทศอัฟกานิสถานเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 12 เดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2012 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 2.4 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 7.1 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฎ)

กรณีศึกษาที่ 14 บริเวณเล็กๆทางตะวันตกของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีนเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูด ในวันที่ 12 เดือนสิงหาคม ค.ศ. 2012 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 2.5 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 2.6 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฏ)



กรณีศึกษาที่ 15 บริเวณเล็กๆทางตะวันตกของประเทศจีนเคยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.5 แมกนิจูด ในวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2014 (แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง) และพบว่ามิก้า Z สูงสุดเท่ากับ 2.3 คิดเป็นภาวะเจ็บสงบนาน 4.9 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฐ)

จากผลของแผนที่ที่นำมาแสดงพบว่ามี 13 กรณีศึกษามีค่าผิดปกติของค่า Z สอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง จากทั้งหมด 15 กรณีศึกษา ซึ่งแสดงว่าเงื่อนไขที่ 2 ที่เรานำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลนั้นเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตต่อไป

#### 4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต (Evaluation of Prospective Area)

พบว่าในขั้นตอนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ มีพื้นที่เสี่ยงหลายจุดที่ตรวจพบภาวะเจ็บสงบแต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต พบว่าพื้นที่เสี่ยงที่ตรวจพบได้ในขั้นตอนทดสอบย้อนกลับมีจำนวนทั้งหมด 5 พื้นที่ แสดงพื้นที่เสี่ยงดังแสดงในรูป 4.4.

ตัวอย่างจากกรณีศึกษาที่ 9 พบว่าบริเวณตะวันออกของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน (พื้นที่ในวงกลมสีแดง) ตรวจพบภาวะเจ็บสงบ (มิก้า Z สูง) บริเวณสีม่วงเข้ม แต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่นี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต ดังแสดงในรูป 4.4. (ก)

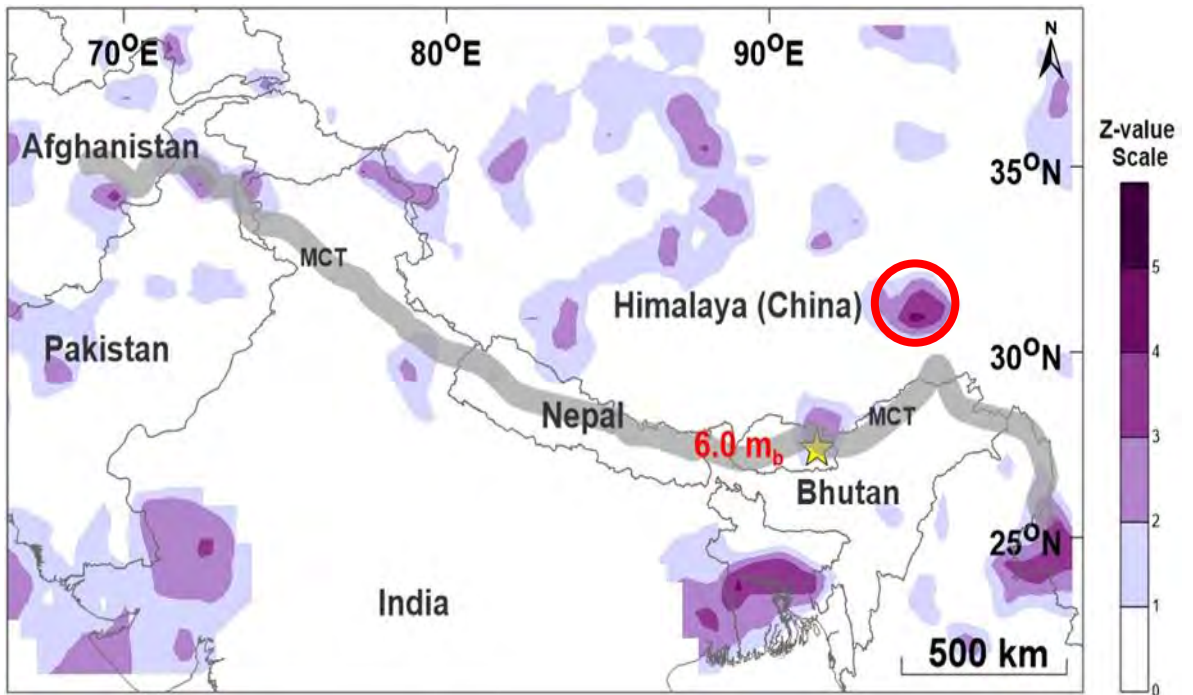
ตัวอย่างจากกรณีศึกษาที่ 10 พบว่าบริเวณตะวันตกของแนวเทือกเขาหิมาลัยบริเวณรอยต่อระหว่างประเทศจีนและอินเดีย (พื้นที่ในวงกลมสีแดง) ตรวจพบภาวะเจ็บสงบ (มิก้า Z สูง) บริเวณสีม่วงเข้ม แต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่นี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต ดังแสดงในรูป 4.4. (ข)

ตัวอย่างจากกรณีศึกษาที่ 13 พบว่าบริเวณตอนเหนือของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน (พื้นที่ในวงกลมสีแดง) ตรวจพบภาวะเจ็บสงบ (มิก้า Z สูง) บริเวณสีม่วงเข้ม แต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่นี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต ดังแสดงในรูป 4.4. (ค)

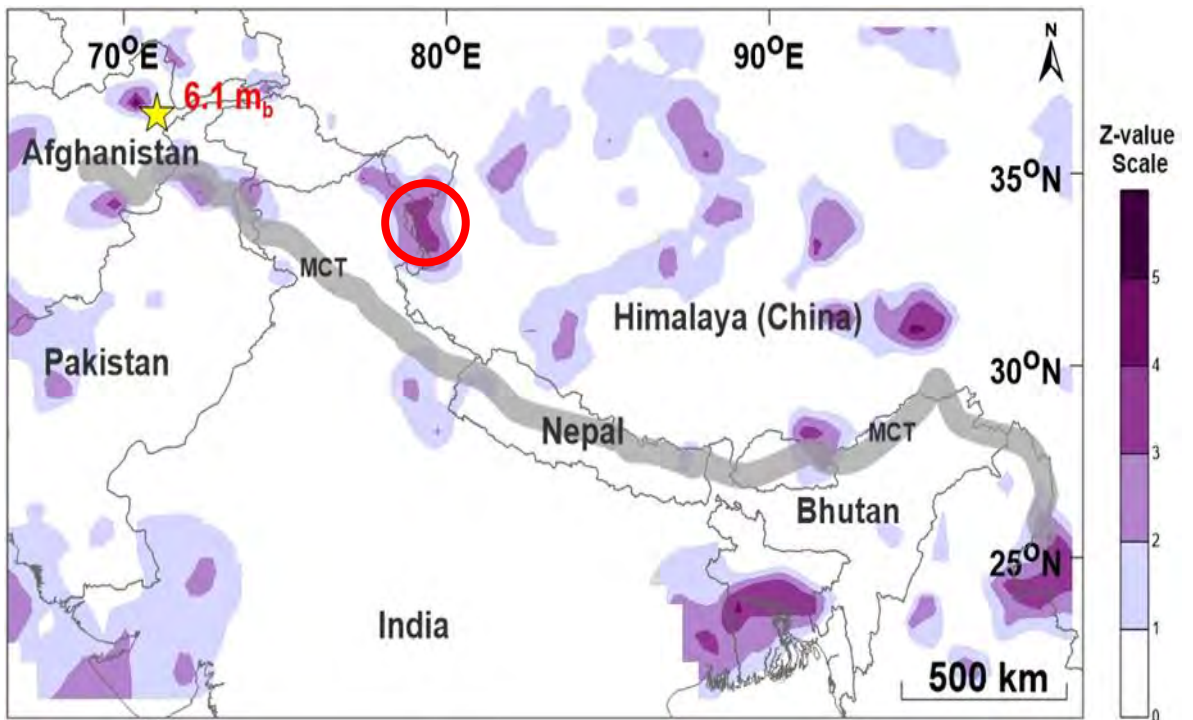
ตัวอย่างจากกรณีศึกษาที่ 14 พบว่าบริเวณตอนใต้ของประเทศปากีสถานติดกับประเทศอินเดีย (พื้นที่ในวงกลมสีแดง) ตรวจพบภาวะเจ็บสงบ (มิก้า Z สูง) บริเวณสีม่วงเข้ม แต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่นี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต ดังแสดงในรูป 4.4. (ง)

ตัวอย่างจากกรณีศึกษาที่ 15 พบว่าบริเวณตะวันตกของประเทศอินเดียติดกับทะเลอาหรับ (พื้นที่ในวงกลมสีแดง) ตรวจพบภาวะเจ็บสงบ (มิก้า Z สูง) บริเวณสีม่วงเข้ม แต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่นี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต ดังแสดงในรูป 4.4. (จ)

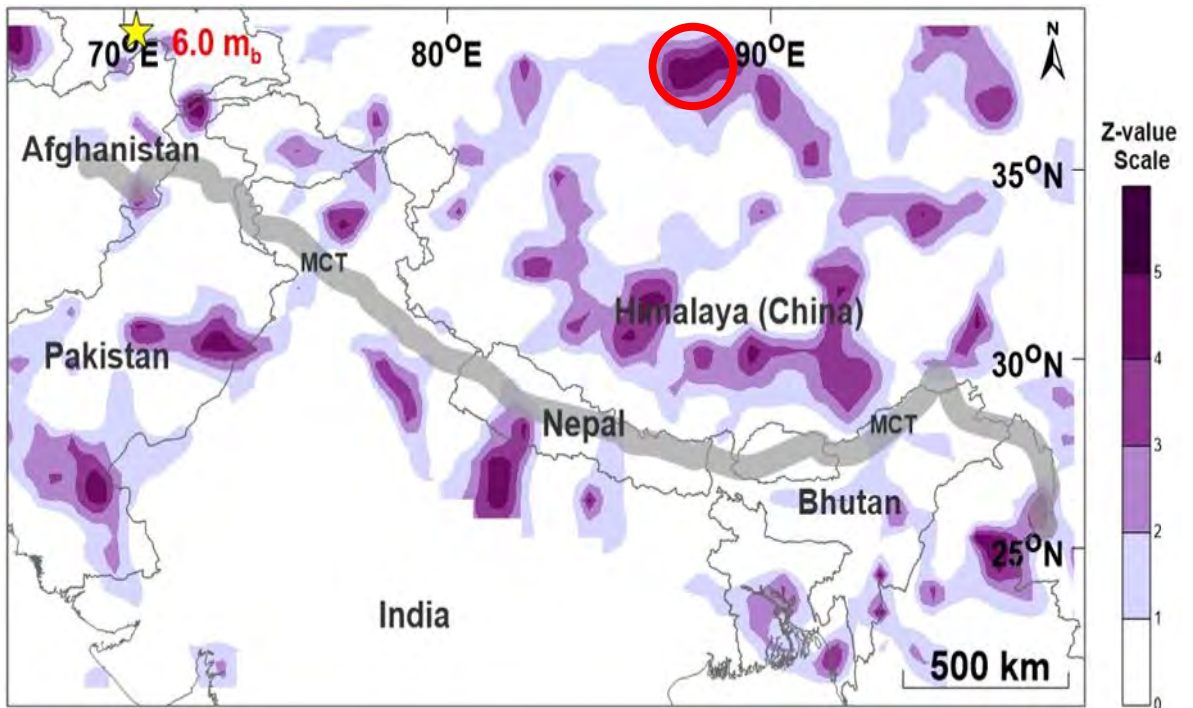
(ก) กรณีศึกษาที่ 9 วันที่ : 21/09/2009



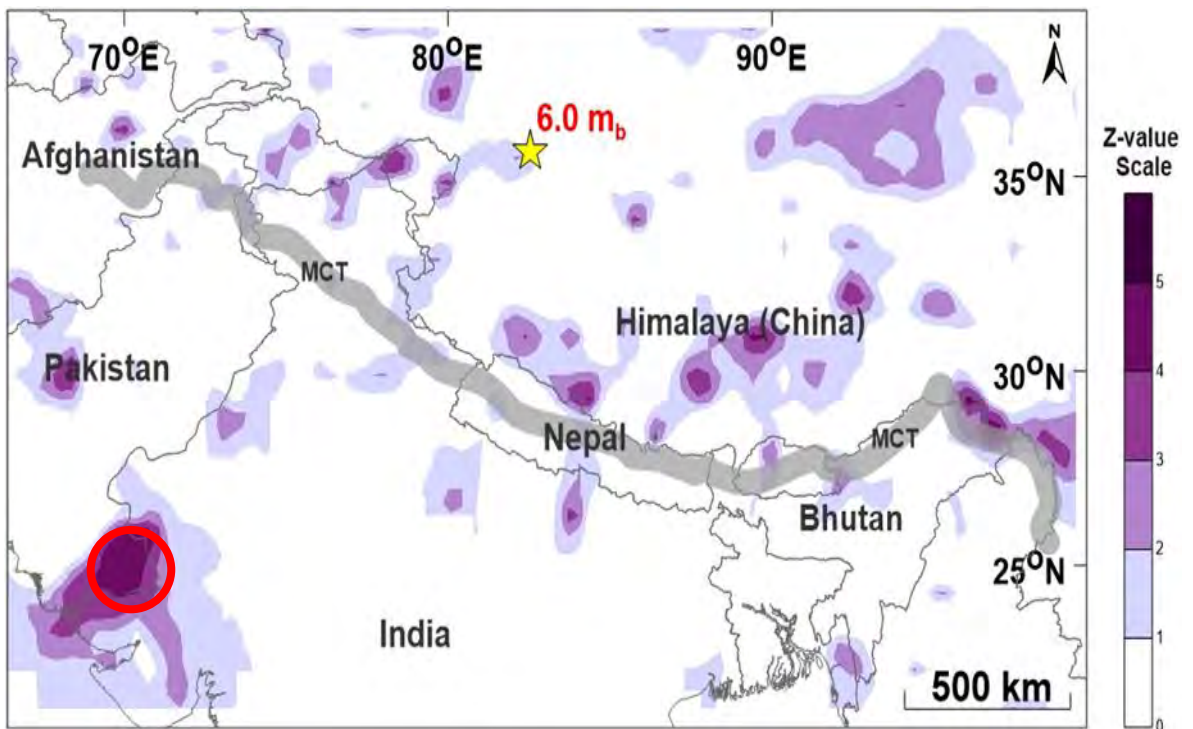
(ข) กรณีศึกษาที่ 10 วันที่ : 22/10/2009



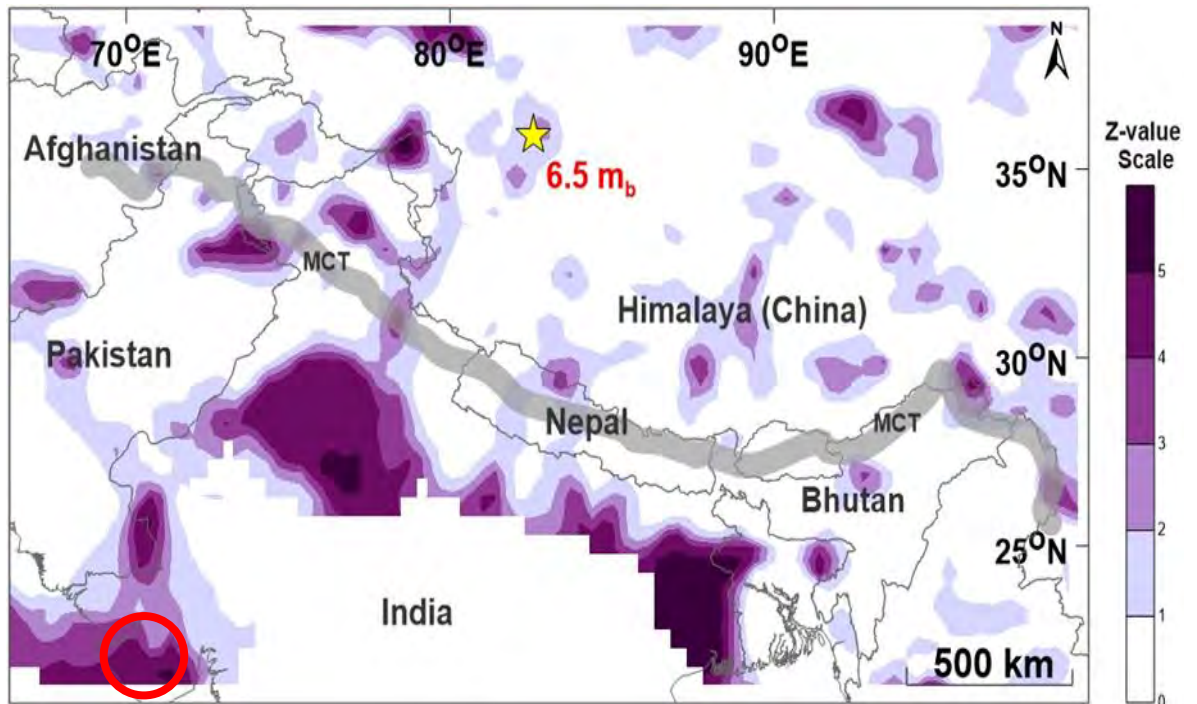
(ง) กรณีศึกษาที่ 13 วันที่ : 12/05/2012



(จ) กรณีศึกษาที่ 14 วันที่ : 12/08/2012



(จ) กรณีศึกษาที่ 15 วันที่ : 12/02/2014

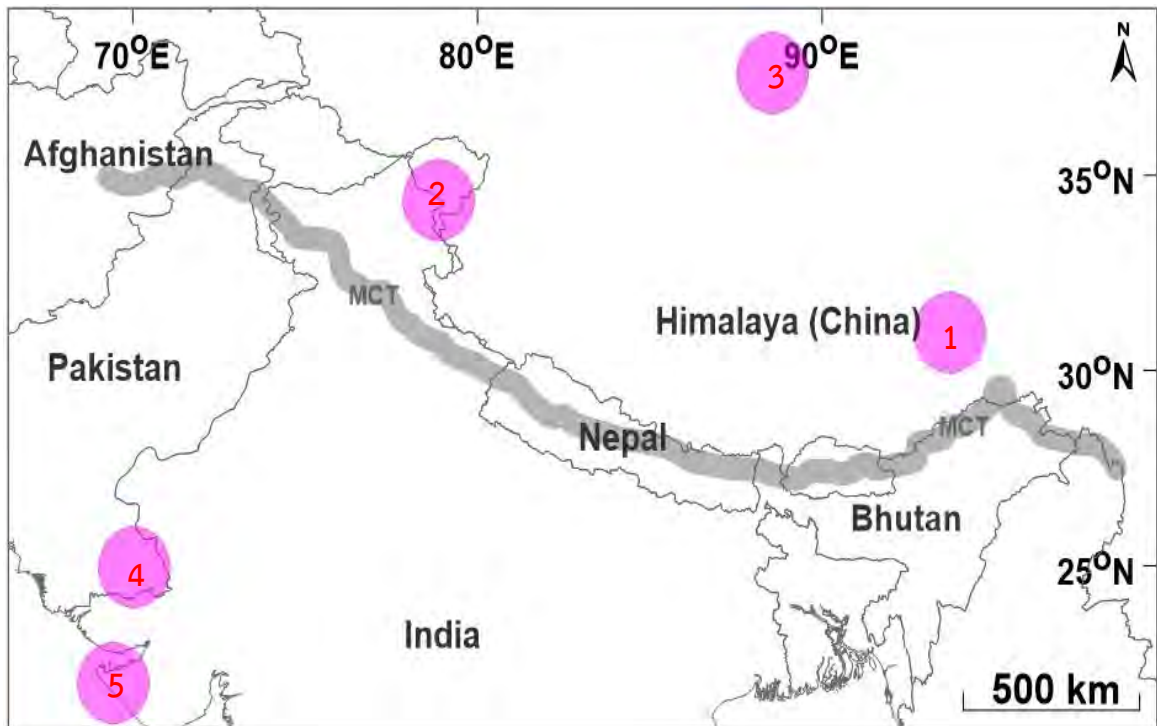


รูป 4.4. แผนที่แสดงจุดเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้จากกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่จากตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 9, 10, 13, 14 และ 15 แสดงด้วยรูป (ก), (ข), (ค), (ง) และ(จ) ตามลำดับ โดยบริเวณพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่ามีจุดเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด 5 จุดเสี่ยง ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ ดังแสดงในรูป 4.5. ได้แก่

- 1) บริเวณตะวันออกของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน
- 2) บริเวณตะวันตกของแนวเทือกเขาหิมาลัยระหว่างรอยต่อประเทศจีนและอินเดีย
- 3) บริเวณตอนเหนือของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน
- 4) บริเวณตอนใต้ของประเทศปากีสถานติดกับประเทศอินเดีย
- 5) บริเวณตะวันตกของประเทศไทยติดกับทะเลอาหรับ





รูป 4.5. แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุดเสี่ยง โดยวงกลมสีแดงแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่



## บทที่ 5

### อภิปรายและสรุปผล

#### (DISCUSSION AND CONCLUSION)

##### 5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั่วโลกในปัจจุบันถูกควบคุมและดูแลโดยหลากหลายหน่วยงาน ซึ่งมีการเผยแพร่ข้อมูลให้คนทั่วไปเข้าถึงได้อย่างอิสระบนฐานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต โดยฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาประเมินมาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) เนื่องจากฐานข้อมูลนี้มีการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่ศึกษาครบถ้วนมากที่สุด โดยพื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก หลังจากนำข้อมูลมาจัดเรียงเป็นตาราง พบว่ามีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ ในช่วงวันที่ 4 เดือนเมษายน ค.ศ. 1905 ถึง 31 เดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2014 ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.6 แมกนิจูด และมีความลึกตั้งแต่ 0-413 กิโลเมตร

##### 5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาจากฐานข้อมูลโดยตรง อาจมีความไม่สมบูรณ์และไม่ถูกต้องมากนัก จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์พื้นที่เพราะจะไม่สามารถสื่อถึงพฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานได้อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดยมีขั้นตอนดังนี้

###### 5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude conversion)

เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละแหล่งที่มาที่มีการบันทึกด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันออกไป เช่น  $M_w$ ,  $m_b$ ,  $M_s$  และ  $M_l$  เป็นต้น จึงต้องทำการปรับมาตรวัดของทุกข้อมูลแผ่นดินไหวให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์จาก

- ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก ( $m_b$ ) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก ( $M_s$ )

$$m_b = 0.311M_s - 1.7682M_s + 5.6302 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

###### 5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering)

จากผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 11,644 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1905-2014 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.6  $m_b$  ด้วยความลึก 0-413 กิโลเมตร

### 5.2.3 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of completeness)

ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้อย่างสมบูรณ์ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น คือแผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า  $4.2 m_b$  ขึ้นไป หรือ มีค่า  $M_c = 4.2$  พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 11,041 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1962-2014 มีขนาดตั้งแต่ 2.4-8.2  $m_b$  ด้วยความลึก 0-413 กิโลเมตร

เมื่อทำการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นครบทุกขั้นตอน สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวและรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ดังแสดงในตาราง 5.1.

ตาราง 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลต่างๆ

ข้อมูลแผ่นดินไหว	จำนวน (เหตุการณ์)	ช่วงเวลาที่เกิด (ปี)	ขนาด ( $m_b$ )	ความลึก (กิโลเมตร)
1) ข้อมูลหลังปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว	33,939	1905-2014	2.4-8.6	0-413
2) หลังคัดเลือกกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก	11,644	1905-2014	2.4-8.6	0-413
3) หลังจากคัดเลือก $M_c$	11,041	1962-2014	2.4-8.2	0-413

### 5.3 กำหนดกรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Conditions for Retrospective Test)

โครงการวิจัยนี้ได้เลือกกรณีศึกษาทั้งหมด 15 กรณีศึกษา (ตาราง 4.1.) เมื่อเข้าสู่กระบวนการการทดสอบย้อนกลับพบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดคือเงื่อนไขที่ 2 (ตาราง 4.5.)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวตามเงื่อนไขข้างต้น ทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ที่สุดซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ดังแสดงในตาราง 5.2.

ตาราง 5.2. แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์

Event	Long	Lat	D/M/Y	Mag	Depth (km)	Radius (km)	Ts (year)	$Z_{max}$	Detection of Quiescence (year)
1	72.69	38.08	2005.15	6.0	106.8	51.97	2002.61	1.5	0.15
2	73.64	34.52	2005.77	6.7	7.9	16.23	2001.99	2.1	0.08
3	73.14	34.72	2005.77	6.0	13.9	66.72	2001.99	1.6	0.12
4	71.10	36.41	2005.95	6.0	223.9	47.62	2002.57	1.1	0.11
5	85.26	32.40	2008.02	6.2	27.7	28.36	2003.61	0.2	0.76

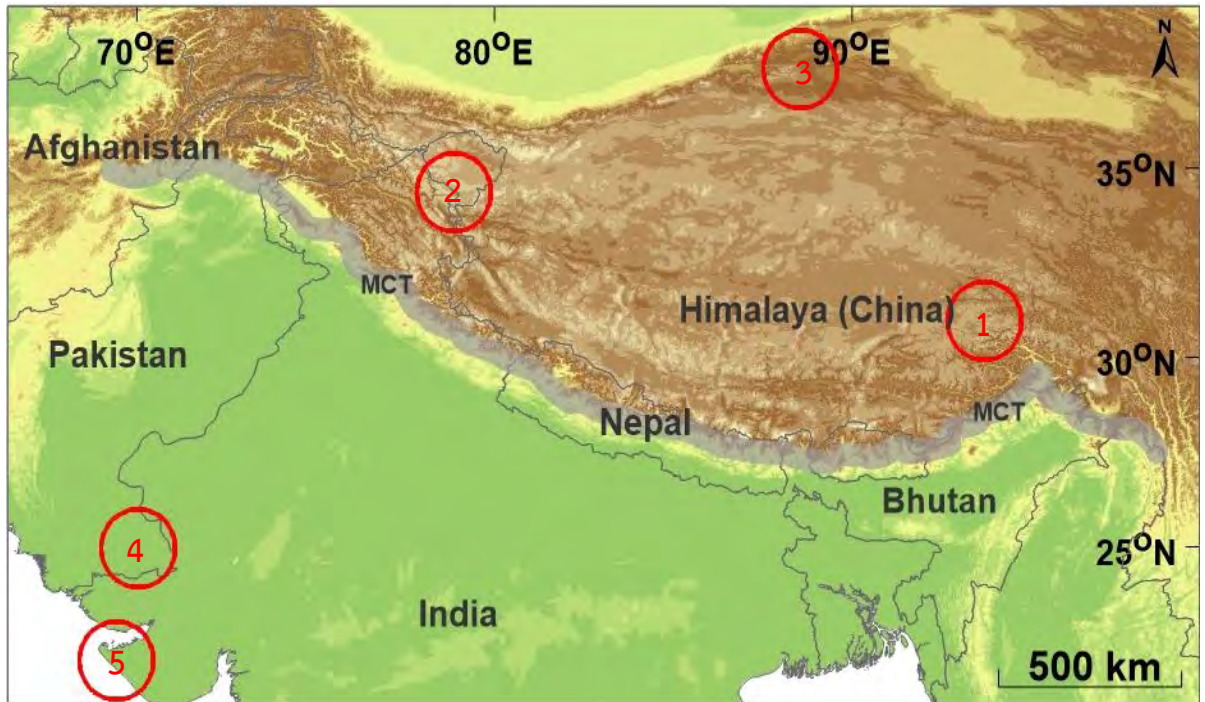
6	81.51	35.55	2008.22	6.1	10.0	67.36	2006.14	2.3	0.04
7	83.65	31.06	2008.65	6.0	25.5	3.05	2006.37	2.3	0.04
8	90.38	29.84	2008.76	6.0	6.4	101.68	2005.37	2.8	1.23
9	91.46	27.37	2009.72	6.0	16.1	64.59	2002.03	2.0	0.46
10	71.01	36.52	2009.81	6.1	188.6	58.68	2002.11	1.0	0.08
11	72.85	38.40	2011.07	6.0	101.9	60.50	2008.82	2.6	0.16
12	88.15	27.80	2012.72	6.5	29.6	69.77	2004.95	2.6	0.04
13	70.37	38.66	2012.36	6.0	13.1	40.30	2005.22	2.4	0.26
14	82.54	35.65	2012.61	6.0	14.0	58.16	2010.05	2.5	0.50
15	82.58	35.88	2014.12	6.5	4.1	6.89	2009.24	2.3	0.46

จากผลการวิเคราะห์พบว่าในเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 15 เหตุการณ์ ที่มีขนาด 6.0  $m_b$  ขึ้นไป ที่เกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 2005-2014 ในช่วงความลึก 4-224 กิโลเมตร พบว่ามีค่าความผิดปกติ ( $Z_{max}$ ) อยู่ในช่วง 1.0-2.8 และช่วงเวลาที่พบค่าความผิดปกติ ( $T_s$ ) คือตั้งแต่ปี 2001-2010 โดยมีช่วงระยะเวลาของภาวะเงียบสงบ (detection of quiescence) อยู่ในช่วง 1-2 ปี ซึ่งระยะเวลาที่พบค่าความผิดปกติจนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่อยู่ในช่วง 2-8 ปี โดยมีรัศมีการกระจายตัวของการเก็บข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 49-146 กิโลเมตร

#### 5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

หลังจากนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงจากกระบวนการทดสอบย้อนกลับ ทำให้ได้พื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุดเสี่ยง ดังแสดงในรูป 5.1. ได้แก่

1. บริเวณตะวันออกของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน
2. บริเวณตะวันตกของแนวเทือกเขาหิมาลัยระหว่างประเทศจีนและอินเดีย
3. บริเวณตอนเหนือของแนวเทือกเขาหิมาลัยในประเทศจีน
4. บริเวณตอนใต้ของประเทศปากีสถานติดกับประเทศอินเดีย
5. บริเวณตะวันตกของประเทศอินเดียติดกับทะเลอาหรับ



รูป 5.1. วงกลมสีแดงแสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตบริเวณแนวเทือกเขาหิมาลัย และพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ ทั้งหมด 5 จุดที่เสี่ยง

## บรรณานุกรม

- Ekstrom, G., Dziewonski, A.M., Maternovskaya, N.N. และ Nettles, M. 2005. Global Seismicity of 2003: Centroid-moment-tensor Solutions for 1087 Earthquakes: Physics of the Earth and Planetary Interior, 148: 327-351. Gentili, S. 2010. Distribution of Seismicity before the Larger Earthquakes in Italy in the Time Interval 1994-2004. Pure and Applied Geophysics, 167(8-9): 933-958.
- Gardner, J.K. และ Knopoff, L. 1974. Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian? Bulletin of the Seismological Society of America, 64(1): 363-367.
- Habermann, R.E. 1983. Teleseismic Detection in the Aleutian Island Arc. Journal of Geophysical Research, 88: 5056-5064
- Habermann, R.E. และ Wyss, M. 1984. Background Seismicity Rates and Precursory Seismic Quiescence: Imperial Valley, California. Bulletin of the Seismological Society of America, 74: 1743-1755.
- Katsumata, K. 2011a. Precursory Seismic Quiescence before the  $M_w = 8.3$  Tokachi-oki, Japan, Earthquake on 26 September 2003 Revealed by a Re-examined Earthquake Catalog. Journal of Geophysical Research, 116: B10307.
- Katsumata, K. 2011b. A Long-term Seismic Quiescence Started 23 years before the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake ( $M = 9.0$ ). Earth, Planets and Space, 63: 709-712.
- Ozturk, S. และ bayrak, Y. 2009. Precursory Seismic Quiescence before 1 May 2003 Bingol (Turkey) Earthquake: A Statistical Evaluation. Journal of Applied Functional Analysis, 4: 600-610.
- 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.

- Rudolf-Navarro, A., Munoz-Diosdado, A. and Angulo-Brown, F. 2010. Seismic Quiescence Patterns as Possible Precursors of Great Earthquakes in Mexico. *Journal of the Physical Sciences*, 5(6): 651-670.
- Sobolev, G.A. 1995. *Fundamental of Earthquake Prediction*. Electromagnetic Research Centre, Moscow, Russia: 161p.
- Sorbi, R., Nilfouroushan, F. และ Zamani, A. 2012. Seismicity Patterns Associated with the September 10th, 2008 Qeshm Earthquake, South Iran. *International Journal of Earth Sciences*, 101: 2215-2223.
- Wiemer, S. 2001. A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3): 373-382.
- Woessner, J. และ Wiemer, S. 2005. Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95: 684-698.

