

การกระจายตัวของความเค้นทางธรณีแปรสัณฐานตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก
เทือกเขาหิมาลัย

นายธนกฤต ชัยชนาวุฒิ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (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.

TECTONIC STRESS DISTRIBUTION ALONG THE MAIN CENTRAL THRUST,
HIMALAYA

MISTER TANAKRIT CHAICHANAVUT

A project submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ

การกระจายตัวของความเค้นทางธรณีแปรสัณฐานตามรอยเลื่อน
ย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

โดย

นายธนภุต ชัยชนาวุฒิ

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

ร.ศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

5732726323: ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : พื้นที่เสี่ยง / รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย / การเปลี่ยนแปลงอัตรา
การเกิดแผ่นดินไหว/ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว / การทดสอบย้อนกลับ / ภาวะเสียบสงบ / การ
ปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว /

รณกฤต ชัยชนาวุฒิ : การกระจายตัวของความเค้นทางธรณีแปรสัณฐานตามรอยเลื่อน
ย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย (TECTONIC STRESS DISTRIBUTION ALONG
THE MAIN CENTRAL THRUST, HIMALAYA) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
รศ.ดร.สันติภักย์ หลบลี้, 48 หน้า

เทือกเขาหิมาลัยอยู่ระหว่างรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian plate) และยูเรเชีย
(Eurasian plate) ที่เคลื่อนชนกัน ส่งผลให้เกิดเป็นแนวมุดตัวหลักตอนกลางบริเวณเทือกเขาหิมาลัย
(The main central thrust, Himalaya) ในปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกยังคงเคลื่อนที่ชนกันทำให้บริเวณ
พื้นที่รอบ ๆ ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูง รวมถึง
แผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ เช่น วันที่ 25 เมษายน ค.ศ. 2015 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.8 แมกนิจูด ที่
ประเทศเนปาล การศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหวในอดีตจะทำให้สามารถทำนายพฤติกรรมการเกิด
แผ่นดินไหวในอนาคต จึงจะสามารถที่จะเฝ้าระวัง ป้องกัน และลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น โดย
แผ่นดินไหวที่มีสาเหตุจากธรรมชาติ เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานเพื่อลดความเครียดที่สะสมไว้
ภายในโลกออกมาเพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ โดยพื้นที่ใดที่มีความเค้นสะสมตัวสูง จะมี
โอกาสเกิดแผ่นดินไหวในเวลาต่อมา จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยศึกษาค่าคงที่ b ในสมการกูเด
นเบิร์กและริกเตอร์ ซึ่งค่าคงที่ b มีความสัมพันธ์เชิงแปรผกผันกับความเค้น หมายความว่า พื้นที่ใดมี
ค่า b ต่ำ พื้นที่นั้นมีความเค้นสูง ซึ่งมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ในอนาคต หากมีการปล่อยพลังงาน
จากความเค้น จากข้อมูลแผ่นดินไหวที่คัดกรองแล้วนำมาศึกษาค่า b แต่ละพื้นที่จะมีตัวแปรในการ
วิเคราะห์ที่เหมาะสมแตกต่างกัน การศึกษาย้อนกลับพบว่า หากกวาดรัศมีใด ๆ ออกไปจากพื้นที่ตาม
จำนวนแผ่นดินไหว 30 เหตุการณ์ จะทำให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์ค่า b ของบริเวณ
รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย เมื่อนำค่าดังกล่าวมาศึกษาต่อจะได้แผนที่การกระจาย
ตัวค่า b ในปัจจุบัน พบว่ามี 14 พื้นที่ที่มีค่า b ต่ำลงอย่างต่อเนื่อง บ่งชี้ว่าพื้นที่เหล่านี้มีการสะสม
ความเค้นเพิ่มมากขึ้น จึงมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้

ภาควิชา :ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา :ลายมือ อ. ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา :

KEYWORDS: HIMALAYA / THE MAIN CENTRAL THRUST, HIMALAYA / FREQUENCY
MAGNITUDE DISTRIBUTION / b VALUE / EARTHQUAKE

TANAKRIT CHAICHANAVUT: STRESS DISTRIBUTION ALONG THE MAIN
CENTRAL THRUST, HIMALAYA

ADVISOR: ASSOC. PROF. SANTI PAILOPLEE, Ph.D., 48 p

Abstract:

Himalaya come into existence due to collision of Indian and Eurasian Plate compression and sequential thrusting along major faults such as Main Central Thrust (MCT). The MCT in Himalaya is seismically active in segment. In recent time, experiencing the deadly 2015 M 7.8 at Nepal. In order of determine the prospective of the forthcoming earthquake sources, the b values of frequency-magnitude earthquake distribution were analyzed. There have been several observations that indicate that changing in b value is inversely related to changes in the stress level. Hence, this study was conducted to evaluate the spatial distribution of b value along the MCT. In this study, we considered the large earthquake, $m_b \geq 6.0$, because they can result more vulnerable to the area. By the retrospective test, the appropriate parameter to calculate b value was 30 fixed earthquake events. After we got the suitable condition for b-value calculation, we analyzed the most recent earthquake data (A.D. 1905–2014) and mapped the spatial distribution of b value of the MCT. The result revealed that there are 14 local areas showing the anomalous low b-value. However, the b values of these areas have been decreasing, which means the stress have been increasing and these areas may potentially generate large earthquake up to 6.0 m_b .

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยตลอดจนโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านในภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้สั่งสอน และให้ความรู้กับผู้จัดทำตลอด 4 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งให้แนวทางในการดำเนินชีวิต และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่ได้เรียนรู้จากใน และนอกห้องเรียน ที่ไม่สามารถหาได้จากการอ่านหนังสือทั่วไป ขอขอบคุณ นางสาวปิยวรา มัถการุณ และ นางสาวชุนิณธรณ์ ซามาทอง ที่คอยช่วยเหลือ และแนะนำข้อมูลบางส่วนในการทำงาน ให้ทำงานได้อย่างราบรื่นและสำเร็จไปด้วยดีและขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น Geo'58 ทุกคน ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและช่วยเหลือกันตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	ข
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ค
สารบัญ (CONTENT)	ง
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ฉ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฅ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ญ
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)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	4
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)	4
2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	5
2.2.1. งานวิจัยของ Nuanin และคณะ (2005)	5
2.2.2. งานวิจัยของ Piloplee (2013)	5
2.2.3. งานวิจัยของ Piloplee และ Boonchaluy (2013)	6
2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	8
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)	9
3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	9
3.1.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)	10
3.1.2. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)	10
3.1.3. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT)	10
3.1.4. ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	11
3.2. การปรับเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	12
3.2.1. ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	15

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. การทำแผนที่ของค่า b (Mapping b value)	24
4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	43
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	45
5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	45
5.2. การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)	45
5.2.1. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude conversion)	45
5.2.2. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering)	45
5.2.3. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of completeness)	46
5.3. กรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Condition for Retrospective Test)	46
5.4. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	46
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	ฎ

สารบัญรูปรูปภาพ (FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1.	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขาหิมาลัย โดยรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก คือบริเวณสีเหลี่ยม สีเทาที่ลากยาว วงกลมสีน้ำเงินและสีแดงแสดงถึงบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ 6.0 แมกนิจูด และตั้งแต่ 6.5 แมกนิจูดขึ้นไป และจุดสีส้มคือบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว ตามลำดับ	2
รูป 2.1.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ในแต่ละพื้นที่ตามแนวเขตมุดตัวสุมาตรา-อันดามัน กลุ่มข้อมูลตรวจวัดในช่วงปี ค.ศ. 1995-1999 (ซ้าย) และ 2000-2003 (ขวา) สีฟ้าแสดงถึงบริเวณที่มีค่า b ต่ำซึ่งตรงกลับดาวสีเหลืองซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว	5
รูป 2.2.	การกระจายตัวของค่า b ตามแนวรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางของประเทศพม่า โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงความสมบูรณ์ที่บันทึกไว้ในช่วง (ข) ค.ศ. 1980-2005 และ (ค) ค.ศ. 1980-2010 ดาวสีแดง หมายถึง แผ่นดินไหวที่มีขนาด $\geq 6.0 M_w$ ซึ่งเกิดขึ้นภายใน 5 ปี หลังจากชุดข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่า b (Pailoplee, 2013)	5
รูป 2.3.	แผนที่หมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงการกระจายตัวของค่า b จากการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกไว้ในช่วง (ก) ค.ศ. 1980-1995 (ข) ค.ศ. 1980-2000 (ค) ค.ศ. 1980-2005 และ (ง) ค.ศ. 1980-2010 ดาวสีแดง คือ แผ่นดินไหวขนาด $> 7.0 M_w$ ที่เกิดหลังจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า b (Pailoplee และ Boonchaluy, 2016)	7
รูป 2.4.	แผนภาพแสดงระเบียบวิธีการทำวิจัย	8
รูป 3.1.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับขนาด (m_b) ความลึก (กิโลเมตร) และเวลา (ปี)	11
รูป 3.2.	แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (จุดสีม่วง) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย	12
รูป 3.3.	กราฟแสดงค่าความอิมตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ M_w (Kagan และ Knopoff, 1980)	14
รูป 3.4.	แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึกได้	14

รูป 3.5.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด m_b และ M_s	15
รูป 3.6.	กราฟแสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	17
รูป 3.7.	กราฟแสดงผลวิเคราะห์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	18
รูป 3.8.	แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (จุดสีเขียว) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย	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.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ของทั้ง 12 กรณีศึกษา จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวคือ ดาวสีขาว และ พื้นที่สีฟ้า คือ บริเวณที่มีค่า b ต่ำ แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ค)	25
รูป 4.3.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Goodness fit ของทั้ง 12 กรณีศึกษา ยังแสดงค่าเข้าใกล้สีแดง หมายถึงความแม่นยำที่สูง แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ค)	31
รูป 4.4.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Standard Deviation of b -value ของทั้ง 12 กรณีศึกษา ยังแสดงค่าเข้าใกล้สีน้ำเงิน หมายถึงความมีความผิดพลาดที่ต่ำ แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ค)	37
รูป 4.5.	แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 15 จุด โดยวงกลมสีแดงแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่	43
รูป 5.1.	แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ทั้งหมด 5 จุด	47

รูป 5.2. แผนที่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของ
คำ b (Pailoplee และคณะ, 2013a) 47

สารบัญตาราง
(TABLE CONTENT)

	หน้า
ตาราง 3.1. แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูล	9
ตาราง 4.1. แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 12 เหตุการณ์	24
ตาราง 5.1. แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลแต่ละขั้นตอน	46

สารบัญสมการ
(EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1. สมการการความสัมพันธ์ frequency-magnitude distribution (Gutenberg and Richter, 1984)	4
สมการ 3.1. สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	15

บทที่ 1

บทนำ

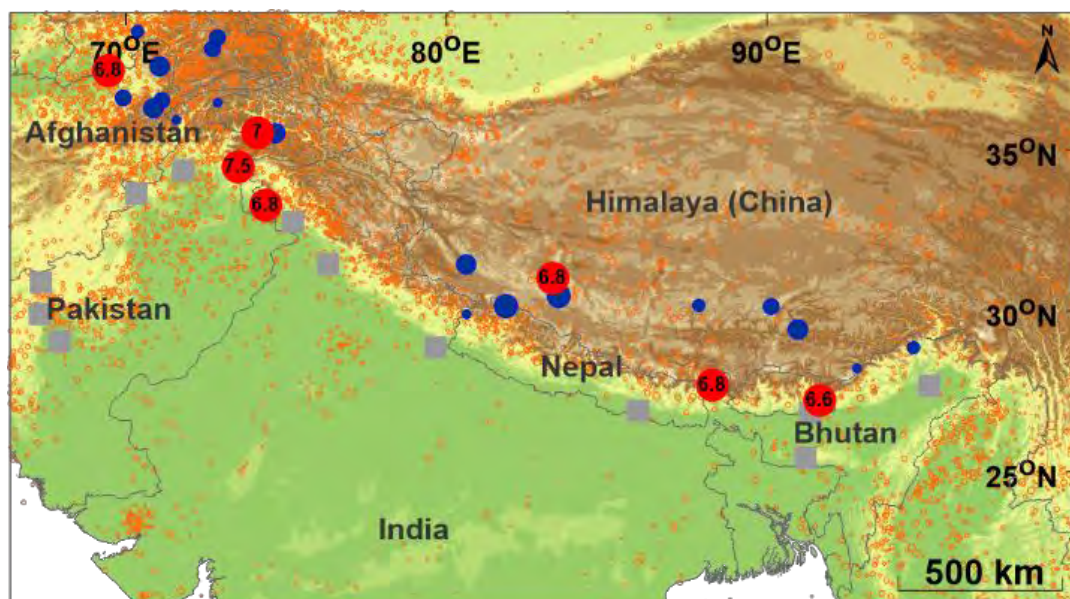
(INTRODUCTION)

1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

เนื่องจากบริเวณเทือกเขาหิมาลัยอยู่ระหว่างรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นที่เคลื่อนที่ชนกัน ได้แก่ แผ่นอินเดีย (Indian plate) และแผ่นยูเรเชีย (Eurasian plate) ส่งผลให้เกิดเป็นแนวมุดตัวหลักตอนกลางบริเวณเทือกเขาหิมาลัย (The Main Central Thrust, Himalaya) ในปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกอินเดียยังคงเคลื่อนที่ชนแผ่นยูเรเชียจึงทำให้บริเวณพื้นที่รอบ ๆ ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูง รวมถึงแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ ดังเช่นในวันที่ 25 เมษายน ปี ค.ศ. 2015 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.8 แมกนิจูด ที่ประเทศเนปาล แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวรู้สึกได้ไกลเกือบทั่วภูมิภาคเอเชียใต้ ตั้งแต่กรุงกฐมาณฑุถึงกรุงนิวเดลี เมืองหลวงของอินเดีย รวมถึงพื้นที่ชายแดนติดบังกลาเทศ ทิเบต และปากีสถาน ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม อาคารเสียหาย และระบบสาธารณูปโภคถูกตัดขาด รวมถึงมีผู้เสียชีวิตดั่งนั้น พื้นที่ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำการศึกษาด้านแผ่นดินไหวจะทำให้ทราบถึงสาเหตุการเกิด สามารถบอกสถานที่และเวลาที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้จากพฤติกรรมของแผ่นดินไหวในอดีต และประเมินหาพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต

1.2. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย โดยครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก



รูป 1.1. แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขาหิมาลัย โดยรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก คือบริเวณสีเหลี่ยม สีเทาที่ลากยาว วงกลมสีน้ำเงินและสีแดงแสดงถึงบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ 6.0 แมกนิจูด และตั้งแต่ 6.5 แมกนิจูดขึ้นไป และจุดสีส้มคือบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว ตามลำดับ

1.3. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อระบุพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวตามแนวมุดตัวหลักตอนกลางบริเวณเทือกเขาหิมาลัยโดยใช้ตัวแปรวิเคราะห์ค่า b ซึ่งเป็นตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดแผ่นดินไหว (frequency-magnitude distribution model)

1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

วิเคราะห์และประเมินการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความเค้นทางธรณีแปรสัณฐานจากการวิเคราะห์ค่า b ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย โดยครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 17.81 ถึง 42.27 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 63.39 ถึง 102.72 องศาตะวันออก โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Earthquake Records)

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

แผนที่การกระจายตัวของค่า b ตามแนวมุดตัวหลักตอนกลางของเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งจะช่วยให้ทราบพื้นที่ที่มีโอกาสสูงในการเกิดแผ่นดินไหว ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการเตรียมพร้อมเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสร้างสิ่งปลูกสร้างที่ปลอดภัยและเหมาะสมทนต่อแผ่นดินไหว โดยเฉพาะโครงสร้างภายในอาคารของสถานที่สำคัญอย่างโรงพยาบาล และสถานที่ราชการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(THEORY AND LITERATURE REVIEW)

2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)

Gutenberg และ Richter (1954) ได้นำเสนอว่าการกระจายตัวของขนาดแผ่นดินไหวสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรง นั่นคือ Gutenberg-Richter relationship หรือ the frequency-magnitude distribution (FMD) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นสมการของแผ่นดินไหวที่แสดงถึงความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดดังแสดงในสมการ (2.1.)

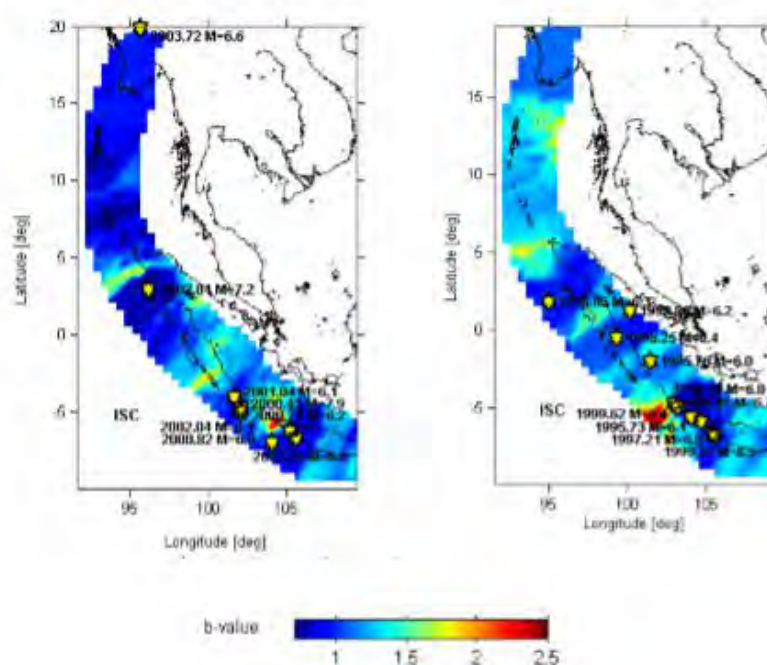
$$\text{Log}_{10}N = a - bM \quad \text{สมการที่ (2.1.)}$$

ซึ่งค่า N คือ อัตราการเกิดสะสมของแผ่นดินไหวที่มีขนาด $\geq M$ ซึ่งค่า a และ b เป็นค่าคงที่ ค่า a คือจุดตัดแกนตั้งหรือแกน Y ของสมการ FMD อัตราการเกิดแผ่นดินไหวทุก ๆ ขนาดแผ่นดินไหว ค่า b คือความชันของสมการเส้นตรง หลังจากการค้นพบและนำเสนอสมการความสัมพันธ์ FMD (สมการ 2.1) Mogi (1962) Scholz (1968) และ Wyss (1973) พบว่าความแตกต่างของค่า b ในแต่ละพื้นที่นั้นมีความเกี่ยวข้องกับแรงเค้นทางธรณีแปรสัณฐานที่สะสมอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ โดยค่า b ลดลง/เพิ่มขึ้น หมายถึง ความเค้นเพิ่มขึ้น/ลดลง ซึ่งบริเวณที่มีการสะสมความเค้นสูงมักสัมพันธ์กับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นตามมาในภายหลัง (Grunthal และคณะ, 1982) และจากความสัมพันธ์ดังกล่าว นักแผ่นดินไหววิทยานำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินหาสัญญาณบอกเหตุแผ่นดินไหว ในหลากหลายแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวทั่วโลกมีการศึกษาจำนวนมากพบว่าค่า b ต่ำสื่อถึงจุดเริ่มการปริแตกหรือจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ส่วน Ogata และ Katsura (1993) และ Papadopoulos และคณะ (2010) นำเสนอว่าค่า b สามารถใช้เป็นสัญญาณบอกเหตุก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้ Main และคณะ (1989) บ่งชี้ว่าค่า b มักมีแตกต่างกันระหว่าง 0.5-1.5 ในระหว่างรอบของกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวและเสนอว่าก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวนั้นค่า b มักมีค่า ≤ 0.5 ซึ่ง Main และคณะ (1989) และ Henderson และคณะ (1994) ก็พบลักษณะแบบนี้ที่เมืองนาโงยา ประเทศญี่ปุ่น และรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เช่นกัน

2.2. งานศึกษาในอดีต (Literature Review)

2.1.1. Nuannin และคณะ (2005)

Nuannin และคณะ (2005) ได้ศึกษาการกระจายตัวของค่า b ในเชิงพื้นที่ โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ย่อยขนาด $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ และประเมินค่า b ในแต่ละจุดจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่ใกล้จุดศึกษามากที่สุด 50 เหตุการณ์ ดังนั้นในการคำนวณจะต้องขยายกรอบการคัดเลือกข้อมูลออกไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีข้อมูลแผ่นดินไหวครบ 50 เหตุการณ์ ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการประเมินค่า b เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมด้านแผ่นดินไหวที่ใช้วิธีกำหนดรัศมีการพิจารณาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่แน่นอน ทำให้จำนวนแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ประเมินค่า b ในแต่ละจุดศึกษานั้นไม่เท่ากัน

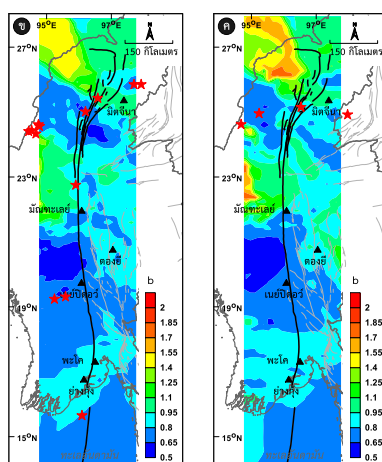


รูป 2.1. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ในแต่ละพื้นที่ตามแนวเขตมุดตัวสุมาตรา-อันดามัน กลุ่มข้อมูลตรวจวัดในช่วงปี ค.ศ. 1995-1999 (ซ้าย) และ 2000-2003 (ขวา) สีฟ้าแสดงถึงบริเวณที่มีค่า b ต่ำซึ่งตรงกลับดาวสีเหลืองซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว

2.2.2 Piloplee (2013)

Piloplee (2013) ประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตตามแนวรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางของประเทศพม่าจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของค่า b โดยแบ่งข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตเป็น 3 ชุด เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของการใช้สมมุติฐานและตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในการ

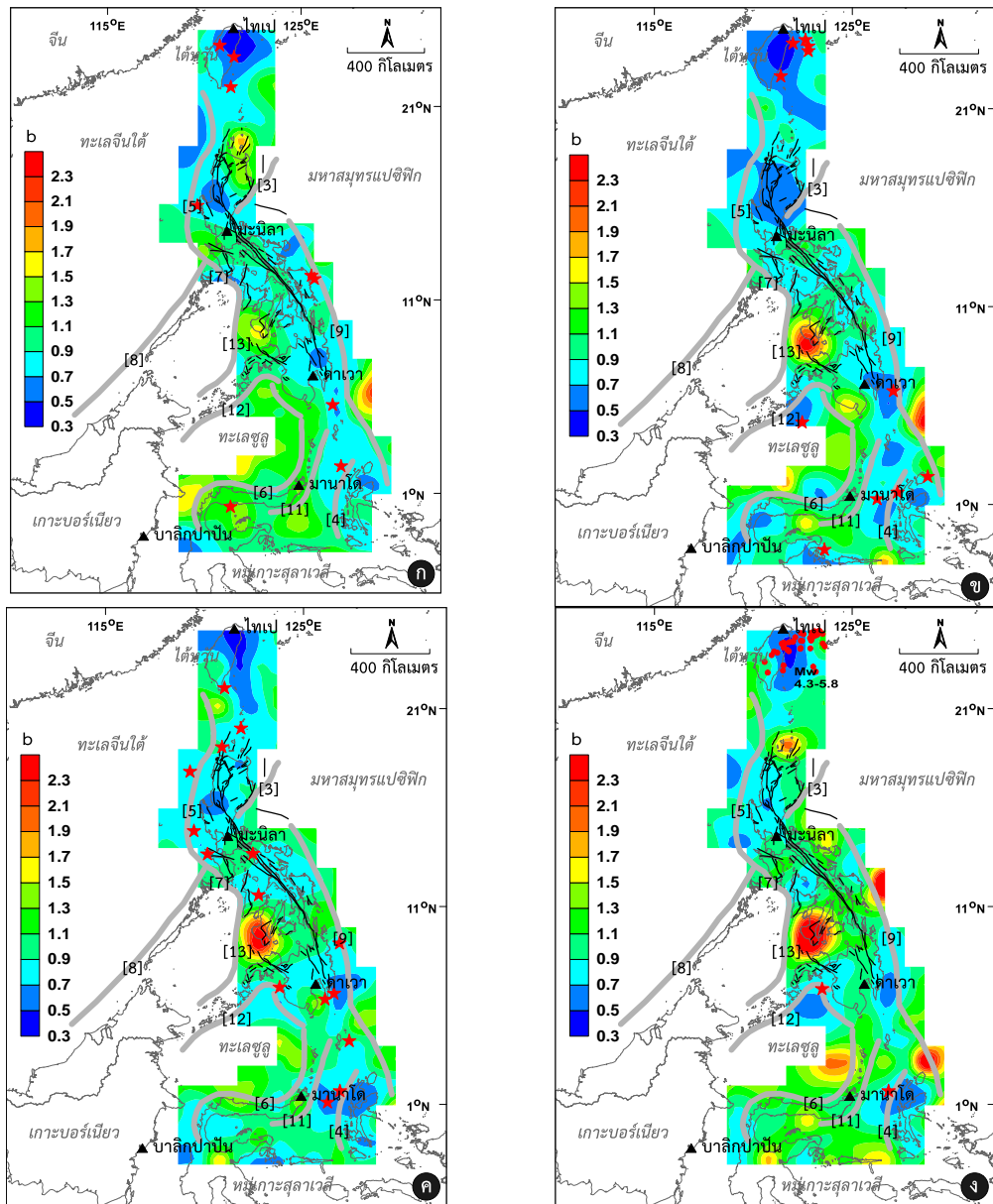
ประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหว พบว่าหากใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวในช่วงปี ค.ศ. 1980-2005 มาวิเคราะห์ค่า b พบว่าจุดศูนย์กลางเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $\geq 6.0 M_w$ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 2005-2010 นั้นสอดคล้องกับบริเวณที่ประเมินว่ามีค่า b ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณทางตอนใต้ของเมืองมิตจีนา พบเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $\geq 6.0 M_w$ อย่างน้อย 7 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในบริเวณค่า b ต่ำดังกล่าว (รูป 2.2. ข) ซึ่งบ่งชี้ว่าสมมติฐานของ Nuannin และคณะ (2005) นั้นสามารถประเมินค่า b ซึ่งมีนัยสำคัญถึงพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ และตลอดแนวของรอยเลื่อนสะกายมี 2 พื้นที่ที่มีค่า b ที่ต่ำกว่าพื้นที่ข้างเคียงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจจะเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวในอนาคต (รูป 2.2. ค) ได้แก่ รอยเลื่อนสะกายที่พาดผ่านช่วงระหว่าง 1) เมืองเนย์ปิดอร์วี่-เมืองมณฑะเลย์ (Naypyidaw-Mandalay) และ 2) พื้นที่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของเมืองมิตจีนาทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะกาย



รูป 2.2. การกระจายตัวของค่า b ตามแนวรอยเลื่อนสะกาย ตอนกลางของประเทศพม่า โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการปรับปรุงความสมบูรณ์ที่บันทึกไว้ในช่วง (ข) ค.ศ. 1980-2005 และ (ค) ค.ศ. 1980-2010 ดาวสีแดง หมายถึง แผ่นดินไหวที่มีขนาด $\geq 6.0 M_w$ ซึ่งเกิดขึ้นภายใน 5 ปี หลังจากชุดข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่า b (Pailoplee, 2013)

2.2.3 Pailoplee และ Boonchaluy (2016)

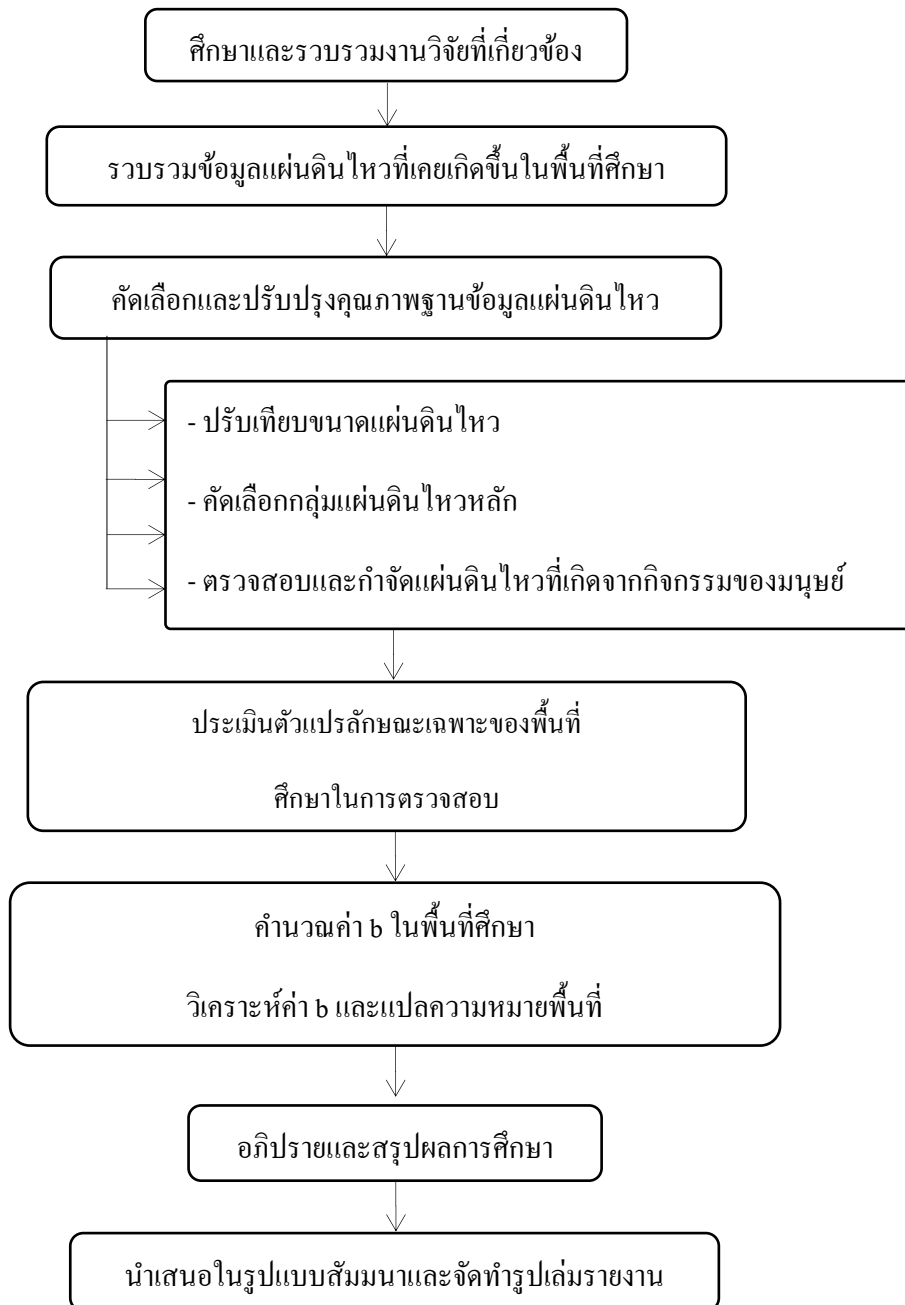
เพื่อที่จะทดสอบความเป็นไปได้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว Pailoplee และ Boonchaluy (2016) แบ่งชุดข้อมูลแผ่นดินไหวออกเป็น 3 ชุด ตามช่วงเวลาของการเกิด ได้แก่ 1) ค.ศ. 1980-1995 2) ค.ศ. 1980-2000 และ 3) ค.ศ. 1980-2005 จากนั้นจึงใช้ข้อมูลแต่ละชุดมาประเมินค่า b ในเชิงพื้นที่ตามสมมติฐานของ Nuannin และคณะ (2005) โดยในแต่ละจุดนั้นจะคัดเลือกแผ่นดินไหวที่ใกล้ที่สุด 50 เหตุการณ์มาวิเคราะห์ค่า b ดังกล่าว จากนั้นจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ดังแสดงในรูป 2.3.



รูป 2.3. แผนที่หมู่เกาะฟิลิปปินส์แสดงการกระจายตัวของค่า b จากการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกไว้ในช่วง (ก) ค.ศ. 1980-1995 (ข) ค.ศ. 1980-2000 (ค) ค.ศ. 1980-2005 และ (ง) ค.ศ. 1980-2010 ดาวสีแดง คือ แผ่นดินไหวขนาด $> 7.0 M_w$ ที่เกิดหลังจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า b (Pailoplee และ Boonchaluy, 2016)

2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้ได้จัดระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น ขั้นตอน 7 ดังรูป



รูป 2.4. แผนภาพแสดงระเบียบวิธีการทำวิจัย

บทที่ 3

การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

(EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)

3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั่วโลกปัจจุบันถูกควบคุมและดูแลโดยหลากหลายหน่วยงาน ซึ่งมีการเผยแพร่ข้อมูลให้คนทั่วไปเข้าถึงได้อย่างอิสระบนระบบฐานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่าง ๆ จะถูกบันทึกด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้และแสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหว ดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1. แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูล

longitude	latitude	year	month	day	mag	depth	hour	min
70.9	38.99	1965	4	24	4	51	0	30
69.6	35.65	1965	1	27	4.1	95	14	47
70.48	36.5	1965	3	18	4.1	191	4	38
70.9	36.61	1965	4	23	4.2	109	9	3
77.3	32.4	1965	6	1	4.2	155	2	28
70.6	36.4	1965	4	30	4.3	217	11	51
71.47	37.18	1965	5	13	4.3	52	4	30
70.54	36.44	1965	6	10	4.3	205	14	4
69.35	33.6	1965	6	13	4.3	42	4	21

การบันทึกรายละเอียด

1. ระบบพิกัดแสดงเป็นระบบ Latitude/Longitude ของจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (epicenter)
2. วันที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ Year, Month, Day
3. เวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ Hour, Min อาจละเอียดถึง Second
4. ขนาดและมาตราตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหว (magnitude and magnitude scale) ตัวแปรที่บ่งบอกว่าเครื่องตรวจรับแผ่นดินไหวนั้นตรวจรับคลื่นแผ่นดินไหวประเภทไหน เพราะเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นสามารถวัดประเภทของคลื่นได้มากกว่าหนึ่งประเภท ซึ่งจะมีข้อมูลของแต่ละคลื่นในหัวข้อการปรับเทียบมาตรฐานการตรวจวัดแผ่นดินไหว (magnitude conversion) ต่อไป

โดยโครงการวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจาก 3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย International Seismological Center (ISC) โดยมีการกำหนดข้อมูลในการคัดลอกฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ดังนี้

- กรอบละติจูดที่ -15.10 ถึง 1.61 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 96.09 ถึง 135.47 องศาตะวันออก ขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมแนวหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

- ขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 0.1-10.0 ริคเตอร์ ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-1,000 เมตร และระยะเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964-2015

3.1.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC) จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1940 ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของกรมทรัพยากรธรณี ประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) โดยเป็นเครือข่ายตรวจวัดแบบอัตโนมัติ และสามารถรายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้อย่างทันทีทันใดหลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่บ้างจากระบบการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอื่น ๆ ฐานข้อมูล NEIC ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวทันสมัยตลอดเวลา

3.1.2. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) เป็นอีกหนึ่งฐานข้อมูลที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงาน USGS โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยการนำฐานข้อมูล NEIC มาคำนวณใหม่อีกครั้ง (International Seismological Centre, 2001) ตลอดจนรายงานข้อมูลในเชิงลึกอื่น ๆ เพิ่มเติม ซึ่งอาจจำเป็นต่อการศึกษาวิจัยด้านแผ่นดินไหววิทยา โดยบางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นล่าสุด ฐานข้อมูล ISC อาจไม่มีการรายงานอย่างทันทีทันใด แต่ถือว่าโดยภาพรวมของฐานข้อมูล ISC จะมีความถูกต้องมากกว่าฐานข้อมูล NEIC

3.1.3. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global CMT Catalogue (GCMT) มีภารกิจหลักในการวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (centroid moment tensor) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด > 5.0 แมกนิจูด นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 (Ekström และคณะ, 2005) โดยฐานข้อมูลนี้จะวิเคราะห์ตัวแปรด้านแผ่นดินไหวอย่างละเอียด ตลอดจนรายงานผลการวิเคราะห์กลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) เพื่อให้ให้นักแผ่นดินไหววิทยานำไปใช้ในการศึกษาวิจัยกระบวนการเกิดแผ่นดินไหวในเชิง

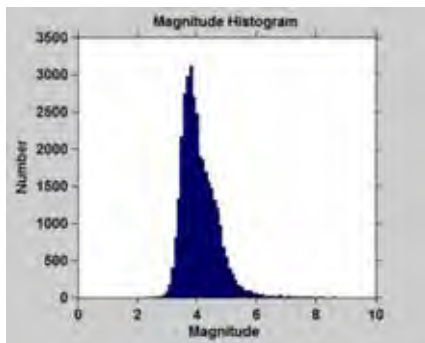
ลึก อย่างไรก็ตามสืบเนื่องจากเป็นฐานข้อมูลที่มีรายละเอียดมาก ดังนั้นในแต่ละเหตุการณ์แผ่นดินไหว จึงต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลนานกว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหวอื่น ๆ ข้างต้น

3.1.4. ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

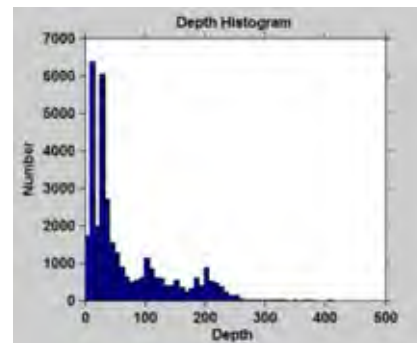
เนื่องจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละเครือข่ายการตรวจวัดมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ถึงแม้เครือข่ายการตรวจวัดจากต่างประเทศนั้นมีระบบการจัดการที่ดี มีการตรวจวัดต่อเนื่อง ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า แต่เนื่องจากเครือข่ายการตรวจวัดกระจายอยู่ทั่วโลกอย่างห่างๆ ทำให้ตรวจวัดได้เฉพาะขนาดแผ่นดินไหวระดับปานกลาง ($> 4.0-5.0 M_w$) ขึ้นไป แต่เครือข่ายการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยานั้นถึงแม้ว่าจะไม่มีการตรวจวัดอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องมากนักเมื่อเทียบกับเครือข่ายจากต่างประเทศแต่เนื่องจากการติดตั้งสถานีตรวจวัดที่หนาแน่นครอบคลุมประเทศไทย และประเทศเพื่อนบ้านจึงทำให้เป็นเครือข่ายที่มีศักยภาพมากกว่าสำหรับแผ่นดินไหวขนาดเล็ก

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

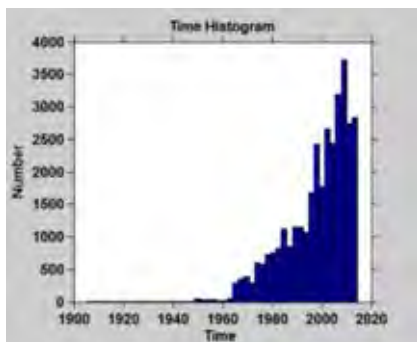
(ก) ขนาด-จำนวน แผ่นดินไหว



(ข) ความลึก-จำนวนแผ่นดินไหว

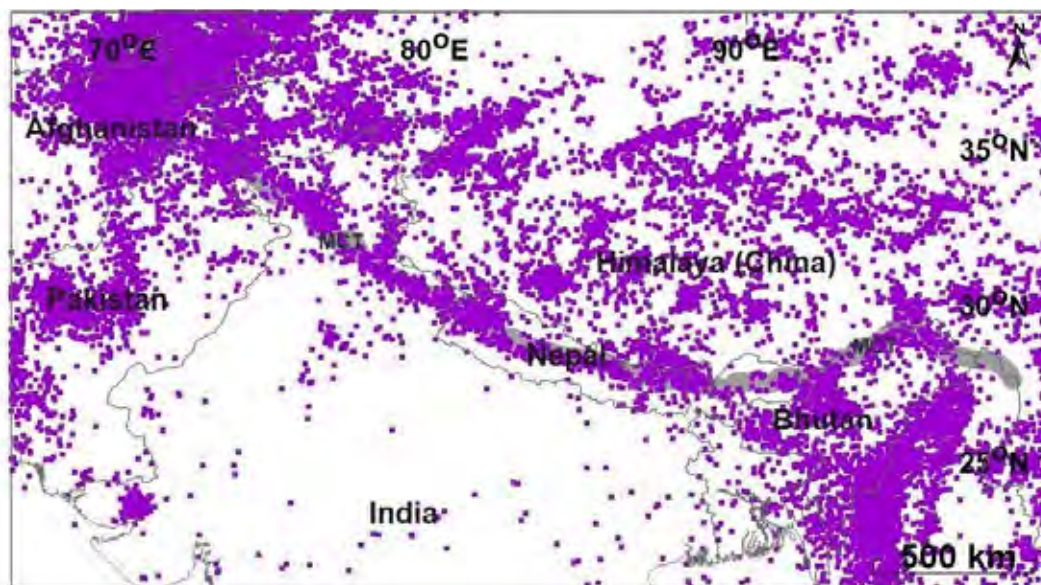


(ค) เวลา(ปี)-จำนวนแผ่นดินไหว



รูป 3.1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับ (ก) ขนาด (m_b) (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 (จุดสีม่วง) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

3.2. การเปรียบเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

หลังจากผ่านการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่าการรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต่างกันจะมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งการตรวจวัดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งสามารถให้ค่าขนาดแผ่นดินไหวได้หลายหน่วยแตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทของคลื่นที่ตรวจวัด โดยหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวมีดังนี้

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

m_b (body-wave magnitude) เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลก สามารถแบ่งคลื่นเนื้อโลกได้สองแบบคือ คลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) ในการเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งคลื่นที่จะเกิดพร้อมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเสมอ

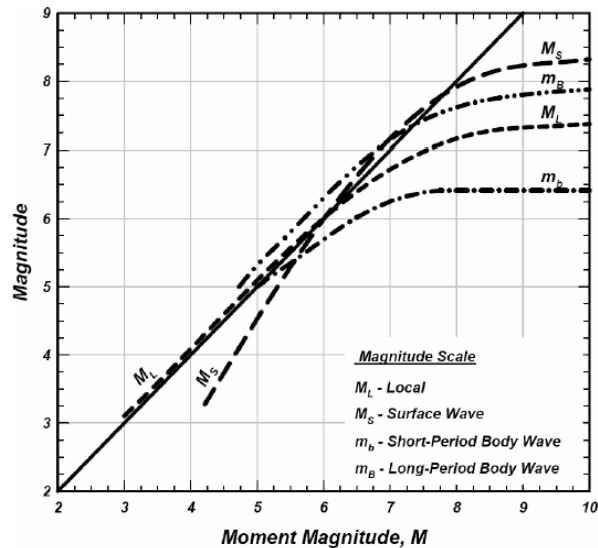
คือคลื่นเนื้อโลก จำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าชนิดของขนาดแผ่นดินไหวอื่น ๆ ในการวัดแผ่นดินไหวระดับลึกจะอาศัยวัดจากความสูงแอมพลิจูดของ P-Wave การวัดโดยใช้หน่วย m_b จะมีความถูกต้องมากกว่า

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

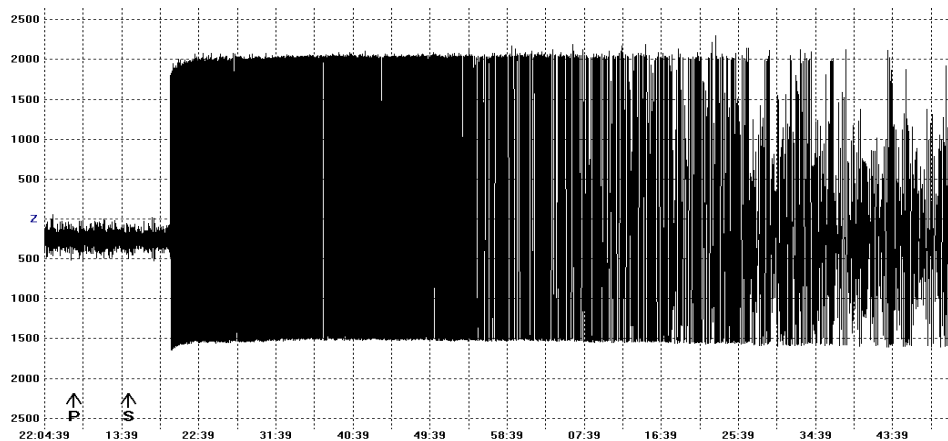
M_w (Moment Magnitude) เป็นการวัดแผ่นดินไหวจากโมเมนต์แผ่นดินไหว (Seismic moment) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่คิดจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน พื้นที่การเคลื่อนตัวตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่ ขนาดแผ่นดินไหวชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัด ถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่น ๆ ที่สามารถตรวจได้ ซึ่งแทนด้วย M เป็นข้อมูลที่ทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่ได้ระบุชนิดของแผ่นดินไหว แต่ด้วยจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ยังสามารถเติมเต็มกับข้อมูลแผ่นดินไหวอื่น ๆ ได้และจะกำหนดให้แผ่นดินไหวที่ไม่ทราบชนิดของขนาดแผ่นดินไหวนี้เป็น M_w

ดังนั้นข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาจากหลายแหล่งข้อมูลจะมีขนาดการวัดแผ่นดินไหวที่ต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องวัดแผ่นดินไหว พบว่าหากใช้ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นในการวิเคราะห์จะเกิดความผิดพลาดมากโดยเฉพาะแผ่นดินไหวที่มาจากระยะไกล หรือการใช้คลื่นแผ่นดินไหวคนละแบบที่แตกต่างกันทั้งที่มาจากคลื่นเนื้อโลกหรือคลื่นผิวโลกจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและได้ผลไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะเป็นแผ่นดินไหวที่เป็นเหตุการณ์เดียวกันก็ตาม สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันนี้อาจมาจากคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ที่มีข้อจำกัดในการวัดขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแบบหรือแต่ละคลื่น เช่น คลื่นเนื้อโลกและคลื่นผิวโลกมีจุดความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว (Saturation of earthquake magnitude) ดังรูป 3.3 ข้อจำกัดที่ว่ามันอาจจะเป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินไปจนทำให้ขนาดที่สูงเกินไปไม่สามารถวัดและทำการบันทึกได้ ดังรูป 3.4



รูป 3.3. แสดงค่าความอึดตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับ M_W (Kagan และ Knopoff, 1980)



รูป 3.4. แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึก

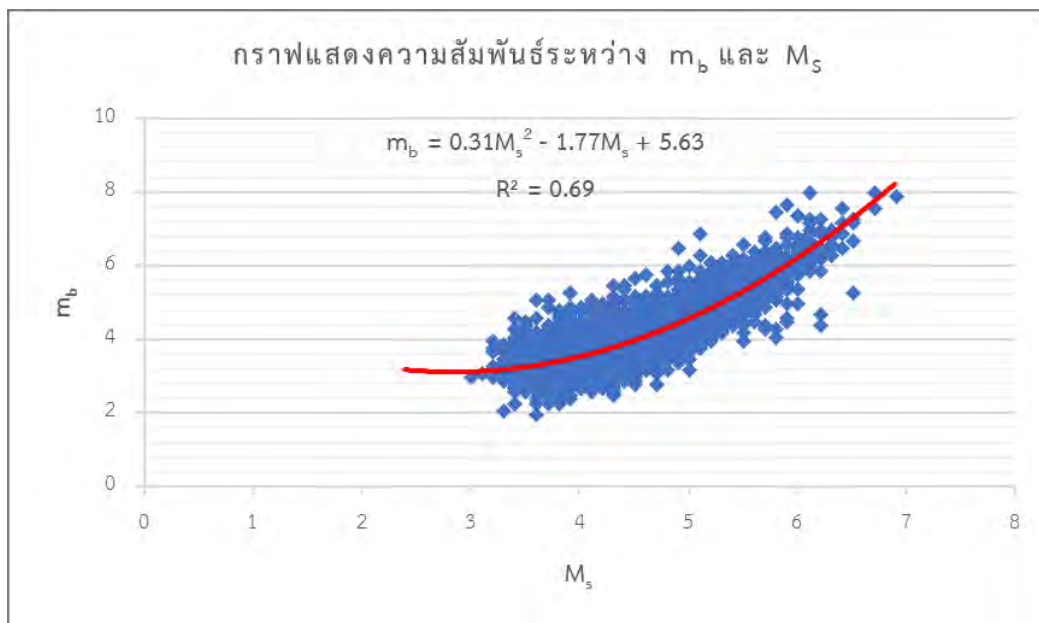
เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลในแต่ละที่นั้นจะมีการรายงานชนิดของขนาดแผ่นดินไหวหลากหลายมาตรวัด ทั้ง m_b , M_S , M_W หรือ M_L เพื่อความสะดวกและความเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องปรับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาให้อยู่ในหน่วยเดียวกันทั้งหมดก่อนจะนำไปดำเนินการต่อไป ซึ่งในปัจจุบันหน่วยมาตรวัดที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด คือ มาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีการเก็บบันทึกเป็นหน่วยมาตราแผ่นดินไหว m_b จำนวนมาก ในโครงการนี้จึงขอใช้มาตรวัดแผ่นดินไหวเป็นหน่วย m_b

โดยเริ่มต้นจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์จะมีค่าเฉพาะตัวและแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ จากนั้นจะต้องเลือกคู่สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้แปลงหน่วยฐานข้อมูล โดยจะทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟ โพลีโนเมียลของความสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละคู่หน่วยในการแปลงมาตราวัด โดยความเหมาะสมของสมการสามารถพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของความสัมพัทธ์ 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) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูป 3.5.

$$m_b = 0.31M_s^2 - 1.77M_s + 5.63 \quad \text{สมการ (3.1)}$$



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

3.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อนำไปประเมินพฤติกรรมกรรมการเกิดแผ่นดินไหวในกรณีต่าง ๆ จะต้องใช้ข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวหลักเท่านั้นเนื่องจาก เหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักเกิดจากรัง

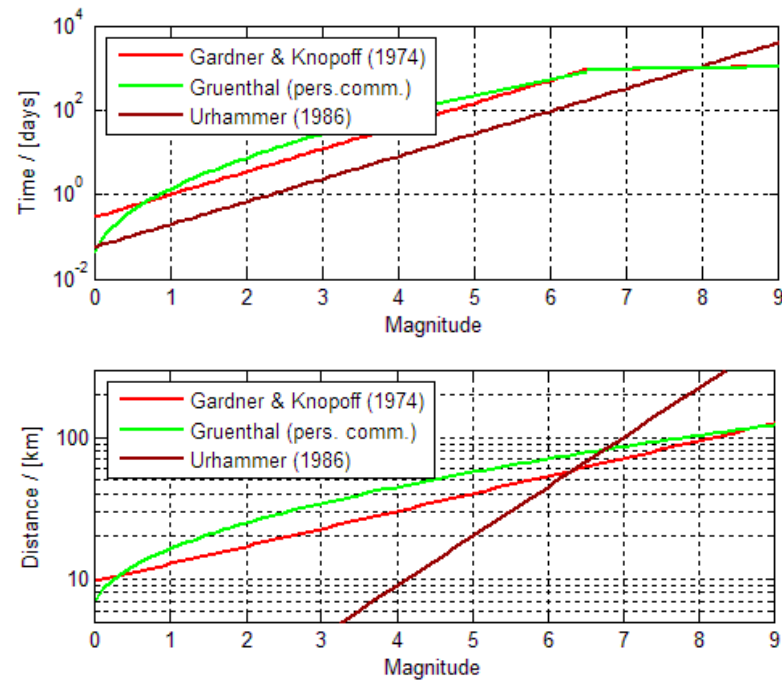
เค้น (stress) แรงเครียด (strain) จากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐาน (tectonic activity) โดยตรง ทำให้เป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากที่สุด จึงต้องมีการคัดเลือกข้อมูลโดยการตัดข้อมูลแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตามออกจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก ซึ่งศูนย์ตรวจแผ่นดินไหวได้ทำการวัดฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด โดยไม่มีการตัดข้อมูลที่ไม่จำเป็นต่อการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือกไว้เพียงข้อมูลแผ่นดินไหวหลักตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1947)

ดังนั้นหากต้องการเหตุการณ์ที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวโดยแท้จริงที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐาน จะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก แต่จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการบันทึกทั้งแผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม ดังนั้นขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวนี้จึงมีขึ้นเพื่อตัดแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตามออกไป โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่าง

1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

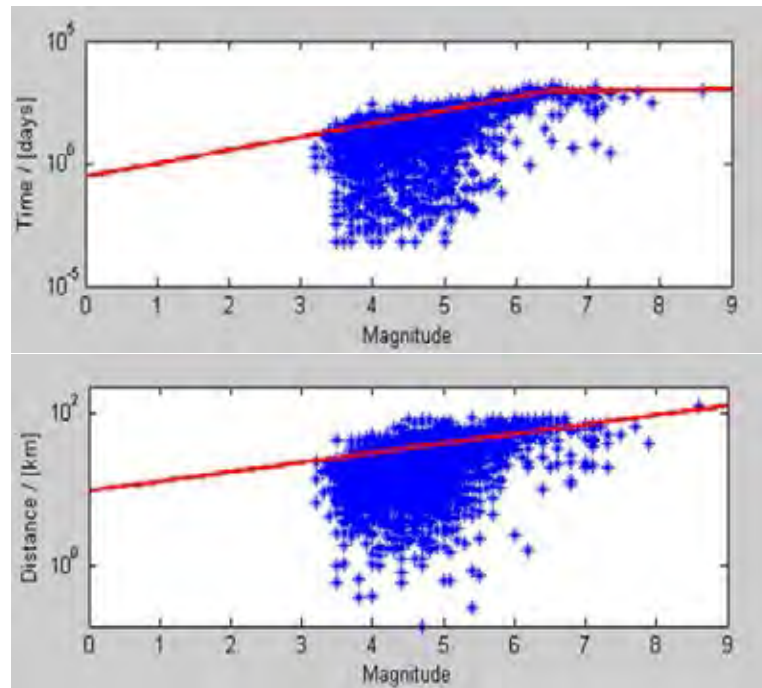
โดยวิธีการคัดเลือกแผ่นดินไหวถูกนำเสนอด้วยกัน 3 แนวคิด ได้แก่ Gardner และ Knopoff (1974) Grunenthal และ Urhammer (1986) ดังแสดงในรูป 3.6. ซึ่งในโครงงานนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยมีใจความสำคัญของแนวคิดว่าหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือจะครอบคลุมเพียงพื้นที่เล็ก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

ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน จึงเป็นหนึ่งเหตุผลในการเลือกแนวคิดดังกล่าว



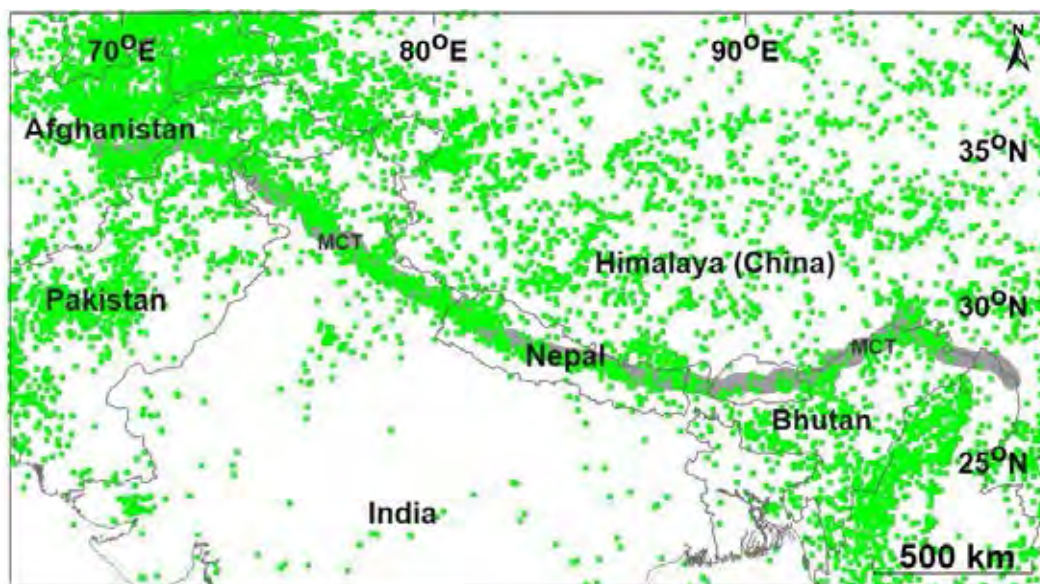
รูป 3.6. แสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม สมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)

การคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก ด้วยการเลือกกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ออกจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก โดยใช้โปรแกรม ZMAP (Wiemer, 2001) เปิดผ่านโปรแกรม MATLAB ในการทำงาน ซึ่งในการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักนั้นจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ศึกษา และช่วงเวลาที่เกิดขึ้น โดยที่แสดงอยู่ในรูปของกรอบของเวลา (time window) และกรอบของระยะทาง (space window) ซึ่งจะทำให้เห็นถึงการจัดกลุ่มกันของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม โดยที่จะอยู่ภายใต้กรอบของเวลาและกรอบของระยะทางหรืออยู่ภายใต้เส้นสีแดง ดังรูป 3.4 ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามที่ต้องกำจัดออก



รูป 3.7. แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเส้นสีแดงแสดงถึงกรอบของเวลา (ด้านบน) และกรอบของระยะทาง (ด้านล่าง) โดยข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นสีแดง คือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

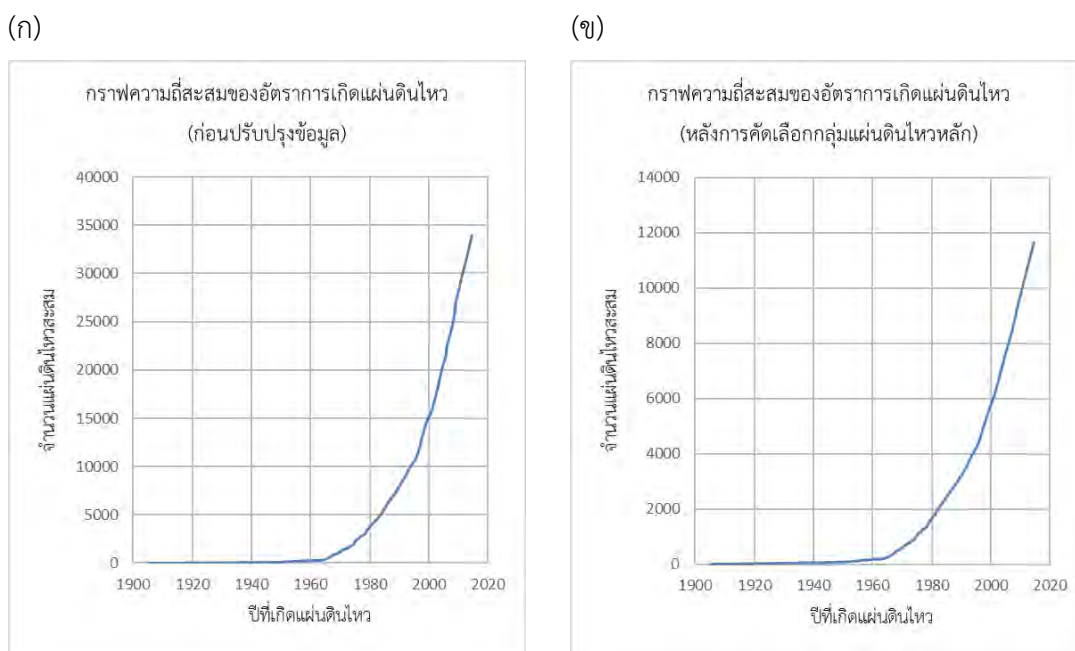
ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) พบว่า สามารถจัดกลุ่มของแผ่นดินไหวให้อยู่ในกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกัน (earthquake cluster) ได้ 3,695 กลุ่มแผ่นดินไหว และจากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวนั้นประกอบด้วยข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ เป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม 22,295 เหตุการณ์ ซึ่งคิดเป็น 65.69% ของเหตุการณ์ทั้งหมด จากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักได้ทั้งสิ้น 11,644 เหตุการณ์ ซึ่งแสดงแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก ดังแสดงในรูป 3.8.



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

นักแผ่นดินไหววิทยาเชื่อว่ากลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวของกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลายันสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปีของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวตามเวลาของการบันทึกในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นควรให้ผลเป็นกราฟเส้นตรง

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

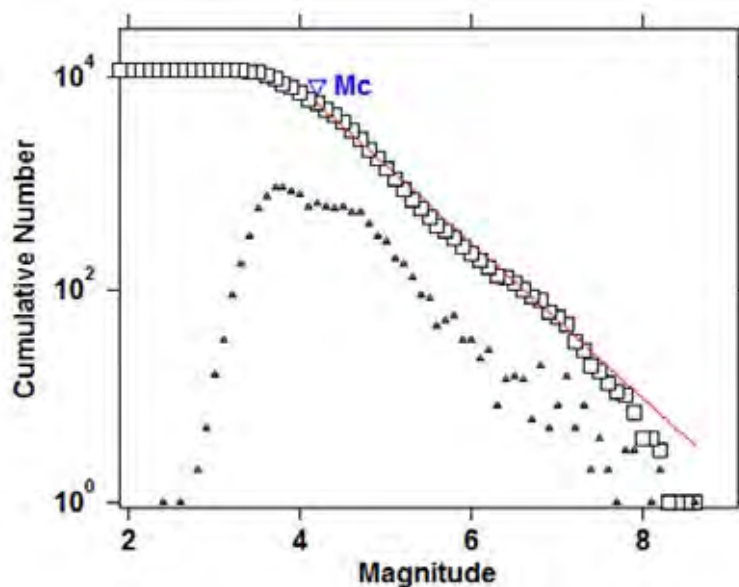


รูป 3.9. แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

3.4. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากการศึกษาในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาพบมีความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องตรวจวัด เช่น ในกรณีแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็ก แรงสั่นสะเทือนบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือทั้งที่มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นจริง ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือเรียกขนาดแผ่นดินไหวนี้ว่า Magnitude of completeness หรือ Mc Woessner และ Wiemer (2005) แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า Mc นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการกำหนดค่า Mc ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

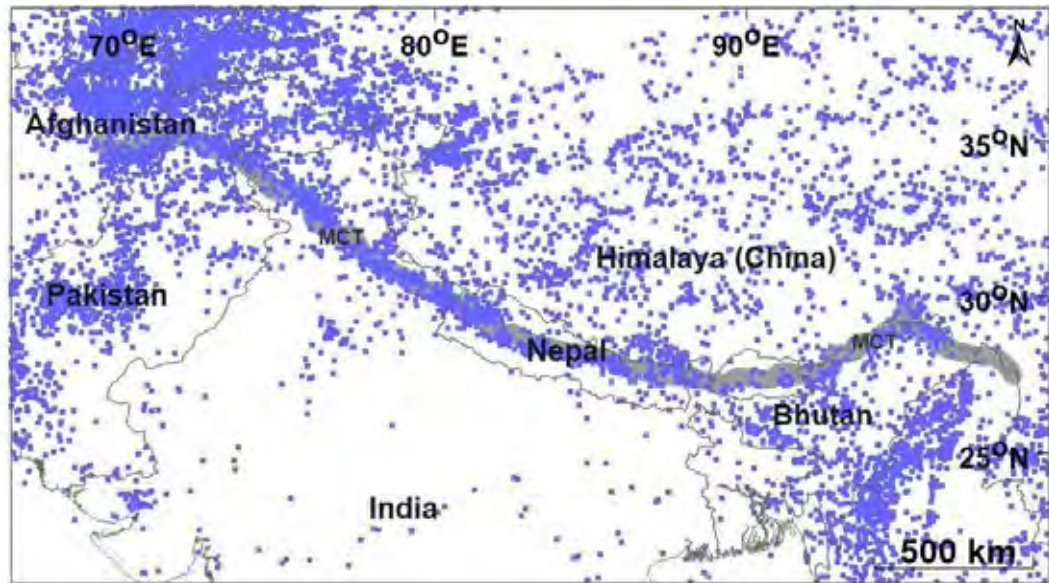
เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหว จึงมีการกำหนดค่า $Mc = 4.2$ ดังแสดงในรูป 3.10. ซึ่งหมายความว่า ข้อมูลแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์คือ แผ่นดินไหวที่มีขนาด $4.2 m_b$ ขึ้นไป



รูป 3.10. กราฟแสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดย เครื่องหมายสามเหลี่ยมแสดงจำนวนแผ่นดินไหวที่พบในแต่ละขนาด ส่วนเครื่องหมาย สี่เหลี่ยมแสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสมพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพที่ สามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c = 4.2$ (จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสม ของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหวจะเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตั้งแต่ $M_c = 4.2$ ขึ้น ไป ดังเส้นกราฟสีแดง)

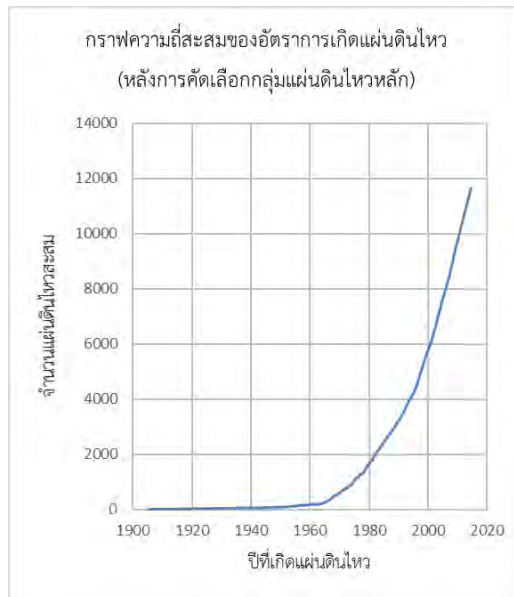
หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวผ่านกระบวนการทางสถิติทั้งหมดข้างต้น ถือว่าฐานข้อมูลที่ได้นั้นมีคุณภาพและมีความสมบูรณ์มากพอที่สามารถนำไปวิเคราะห์พฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวสุทธิที่ได้ มีจำนวนทั้งหมด 11,041 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1962-2014 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.2 m_b ขึ้นไป ด้วย ความลึก 0-413 กิโลเมตร ซึ่งแสดงแผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกระดับ ของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 3.11.

หากพิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวกับปีที่เกิด แผ่นดินไหว หลังผ่านกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแล้วจะพบว่า กราฟมีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นจน เกือบจะเป็นเส้นตรงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนที่จะได้รับการปรับปรุงหรือข้อมูลที่ยังอยู่ใน กระบวนการปรับปรุงขั้นตอนก่อนหน้า แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้หลังจากปรับปรุงแล้วจะมีความ ไกล่เคียงกับการเกิดแผ่นดินไหวตามธรรมชาติที่มีอัตราการเกิดแบบคงที่ ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลที่มี คุณภาพเหมาะแก่การนำไปวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูป 3.12.

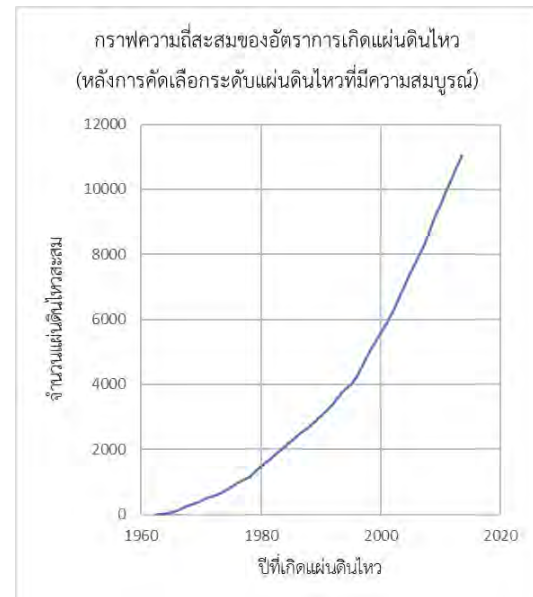


รูป 3.11. แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์หลัก (จุดสีฟ้า) และแนวเส้นสีเทา (MCT) แสดงบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

(ก)



(ข)



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

บทที่ 4

การวิเคราะห์และผลการศึกษา

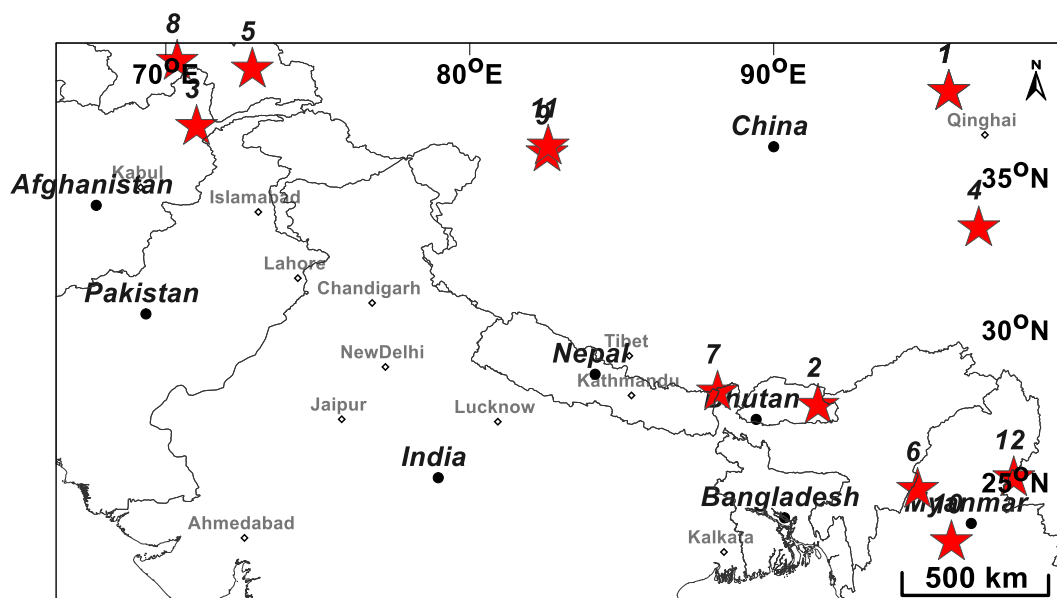
(ANALYSIS AND RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

การทดสอบย้อนกลับคือการย้อนกลับไปในเหตุการณ์และพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่า b เริ่มจากการหาเงื่อนไขของการเกิดแผ่นดินไหวจากกรณีศึกษาที่เลือกมา โดยนำตัวแปรต่าง ๆ ที่สนใจมาวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้งเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงภัยก่อนการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีต ที่ได้คัดเลือกมาเป็นกรณีศึกษาจนครบ จะนำตัวแปรที่ให้ผลแม่นยำที่สุดมาใช้ในการหาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตต่อไป

4.1.1. คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)

ในการศึกษานี้สนใจกรณีศึกษาที่มาขนาดมากกว่า $6.0 m_b$ ขึ้นไป ซึ่งจะสามารถสื่อถึงพฤติกรรมของแผ่นดินไหวที่แท้จริงได้ โดยมีทั้งหมด 12 กรณีศึกษาดังภาพที่ 4.1 และข้อมูลตารางที่ 4.1



รูป 4.1. แผนที่แสดงตำแหน่งของกรณีศึกษาทั้งหมด 12 กรณีศึกษา แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาวสีแดง

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 12 เหตุการณ์

Events	longitude	latitude	year	month	day	mag	depth	hour	min
1	95.7622	37.6678	2009	8	28	6.2	12.1	1	52
2	91.4597	27.3693	2009	9	21	6.0	16.1	8	53
3	71.0121	36.5187	2009	10	22	6.1	188.6	19	51
4	96.7466	33.1928	2010	4	13	6.3	13.8	23	49
5	72.8467	38.4018	2011	1	24	6.0	101.9	2	45
6	94.7347	24.6094	2011	2	4	6.4	86.5	13	53
7	88.1536	27.8039	2011	9	18	6.5	29.6	12	40
8	70.3729	38.6559	2012	5	12	6.0	13.1	23	28
9	82.5417	35.6526	2012	8	12	6.0	14.0	10	47
10	95.8480	22.8908	2012	11	11	6.1	14.2	1	12
11	82.5807	35.8767	2014	2	12	6.5	4.1	9	19
12	97.8986	24.9898	2014	5	30	6.0	10.1	1	20

4.1.2. การทำแผนที่ของค่า b (Mapping b value)

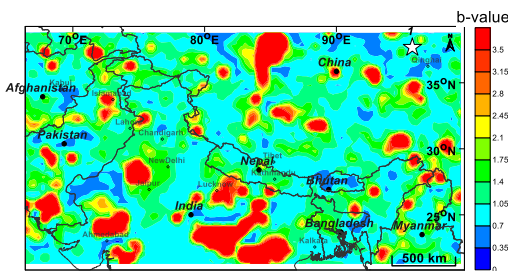
เมื่อเราได้รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมแผ่นดินไหว เราสามารถคำนวณค่า b โดยใช้ ZMAP ที่ถูกพัฒนาโดย Wiemer (2001) ZMAP ถูกเขียนให้ใช้งานบนโปรแกรม MATLAB ต้องแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นตาราง ที่แต่ละจุด ค่า M_c และ b จะถูกคำนวณจากเหตุการณ์ N เหตุการณ์ ซึ่ง N เป็นนค่าที่ถูกกำหนดไว้ หลังจากนั้นคำนวณค่า b ซึ่งใช้วิธีความเป็นไปได้สูงสุดของ Aki (1965) นอกจากนี้ยังคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ Goodness fit เพื่อให้ได้ความถูกต้องและแม่นยำของผลลัพธ์ ในการคำนวณค่า b ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เราต้องหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการคำนวณค่า b ของพื้นที่บริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ซึ่งเราได้กำหนดจำนวนตัวอย่างเหตุการณ์ของรัศมีใด ๆ ซึ่งจำนวนของตัวอย่างจะมีทั้งหมด 3 ค่าได้แก่ 30 50 และ 70 เหตุการณ์ ตามลำดับเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับความเสถียรของผลลัพธ์ ด้วยวิธีการกวาดรัศมีของพื้นที่เพื่อให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหว ตามจำนวนเหตุการณ์ถูกที่กำหนดไว้

ความละเอียดของแผนที่ขึ้นอยู่กับตารางและความหนาแน่นของแผ่นดินไหว Nuanin และคณะ (2006) โดยแผนที่ ภูมิความหนาแน่นของแผ่นดินไหวสูง ลมึขนาดของตารางเล็ก จะแสดงความ

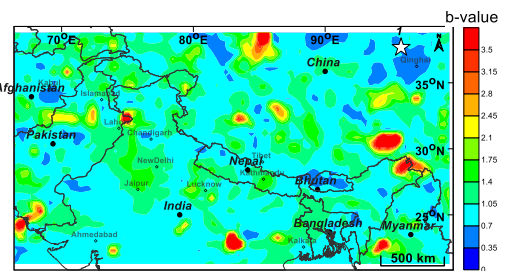
ละเอียดสูง ดังนั้นในพื้นที่ศึกษาเราจึงแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นตาราง $0.50 \times 0.50^\circ$ โดยพื้นที่ศึกษาของเราถูกแบ่งออกเป็น 3,780 พื้นที่ โดยเราจะคำนวณค่าต่าง ๆ ออกจากโดยการกวาดรัศมีใด ๆ จนครบตามค่าเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่กำหนดไว้

จากนั้นเมื่อได้จำนวนของแผ่นดินไหวและขนาดแล้วนำมาหาความสัมพันธ์ของ frequency-magnitude distribution โดยจะได้กราฟเส้นตรงของ Gutenberg และ Richter ได้ค่า b จากความชัน จากนั้นค่า b ในแต่ละพื้นที่จะถูกแปลเป็นรหัสสีเพื่อหาค่าความผิดปกติ (ค่า b ต่ำ) สุดท้ายเราจะได้แผนที่การกระจายตัวของค่า b รูป 4.2. และสามารถทำแผนที่ของค่า Goodness fit เพื่อให้มั่นใจถึงความถูกต้องของข้อมูล รูป 4.3. นอกจากนี้ยังสามารถทำแผนที่ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า b เพื่อหาข้อผิดพลาดในการศึกษาแต่ละกรณี รูป 4.4. โดยการใช้โปรแกรม Surfer v.11.

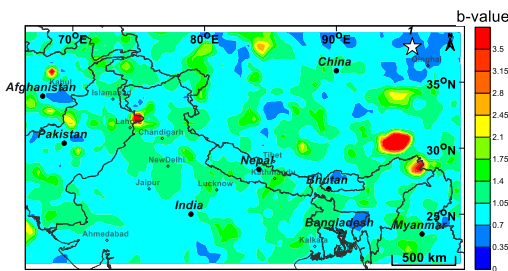
(ก) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ข) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 1

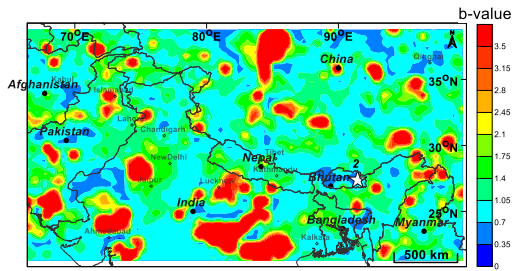
Latitude: 27.3693

Longitude: 91.4597

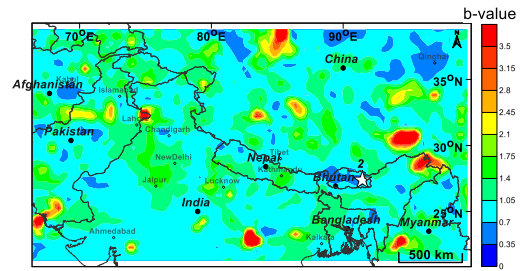
Date: 31/9/2009 Time: 8:53

Magnitude: 6.0 Depth: 16.1

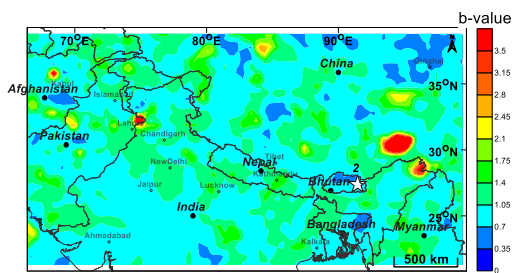
(ง) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(จ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฉ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 2

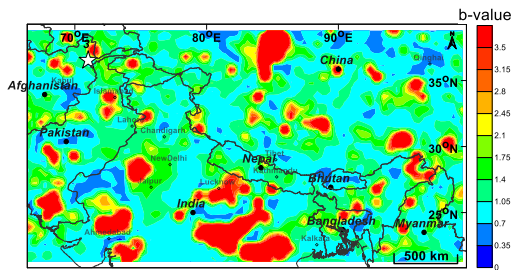
Latitude: 36.5187

Longitude: 71.0121

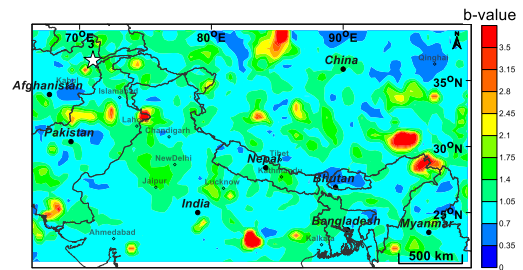
Date: 22/10/2009 Time: 19:51

Magnitude: 6.1 Depth: 188.6

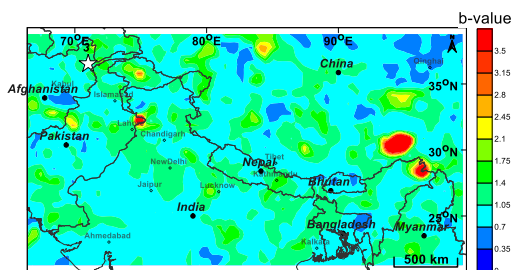
(ช) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ซ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฅ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 3

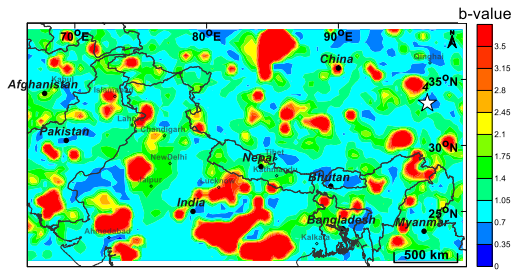
Latitude: 37.6678

Longitude: 95.7622

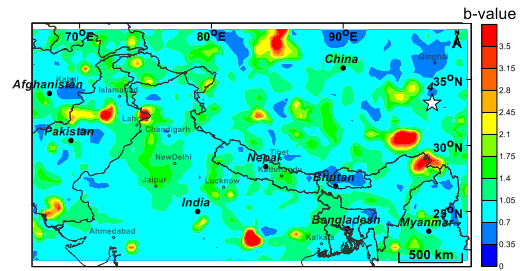
Date: 28/8/2009 Time: 1:52

Magnitude: 6.2 Depth: 12.1

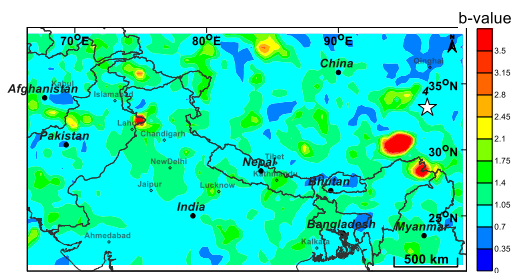
(ง) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ญ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฉ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 4

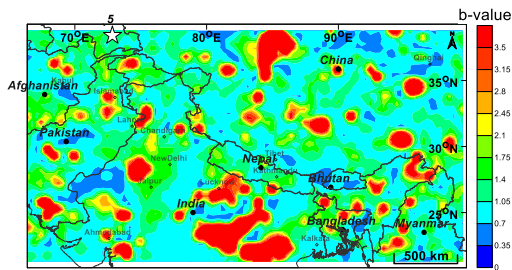
Latitude: 96.7466

Longitude: 33.1928

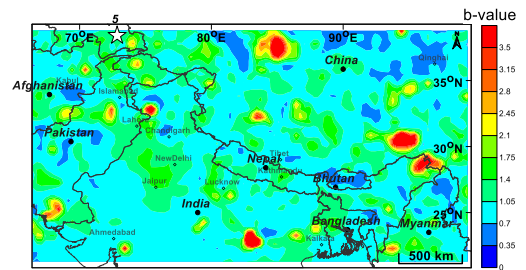
Date: 13/4/2010 Time: 23:49

Magnitude: 6.3 Depth: 13.8

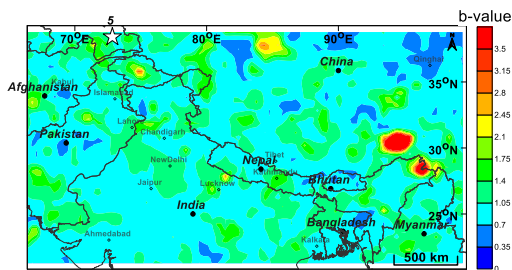
(ฐ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฑ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฒ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 5

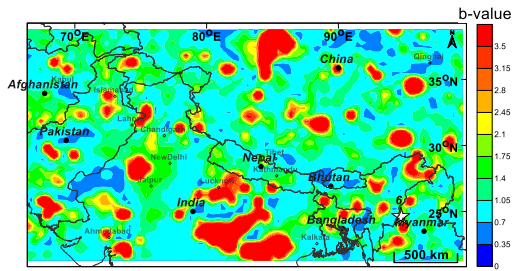
Latitude: 72.8467

Longitude: 38.4018

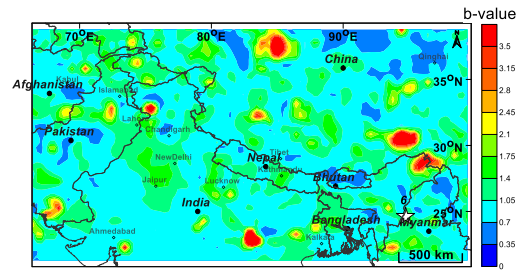
Date: 24/1/2011 Time: 2:45

Magnitude: 6.0 Depth: 101.9

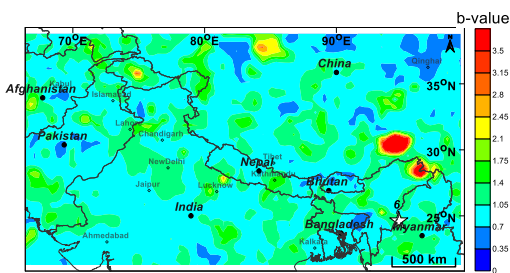
(ณ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ด) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 6

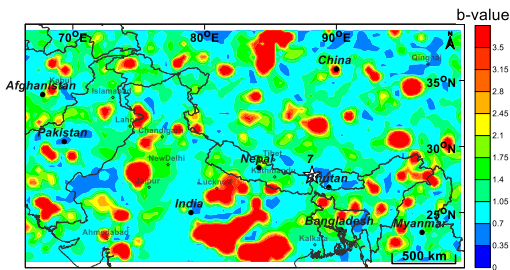
Latitude: 24.6094

Longitude: 94.7347

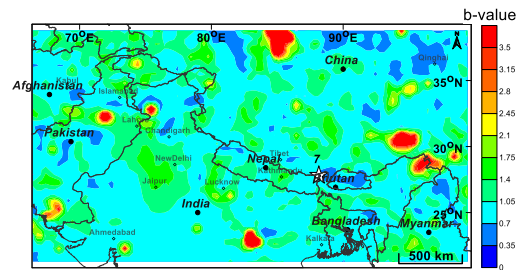
Date: 4/2/2011 Time: 13:53

Magnitude: 6.4 Depth: 86.5

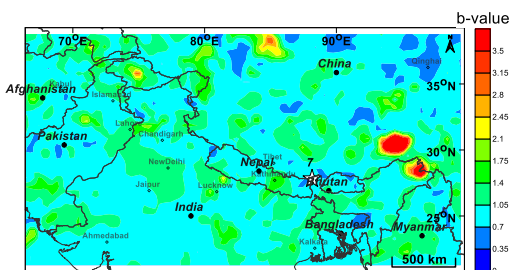
(จ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ท) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ช) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 7

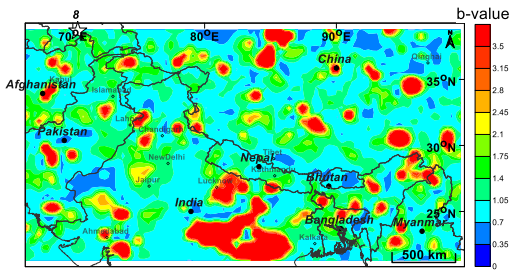
Latitude: 27.8039

Longitude: 88.1536

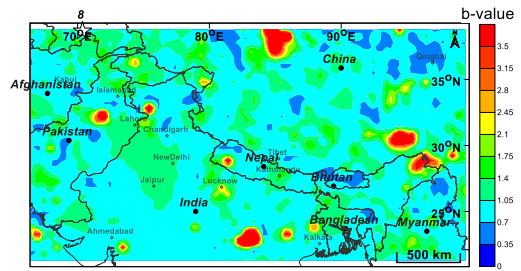
Date: 18/9/2011 Time: 12:40

Magnitude: 6.5 Depth: 29.6

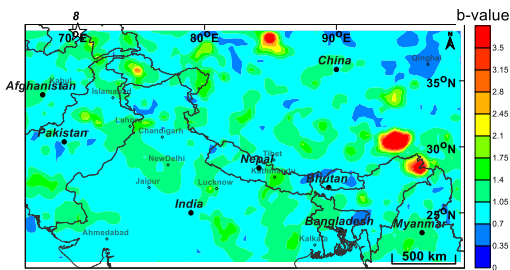
(น) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(บ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ป) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 8

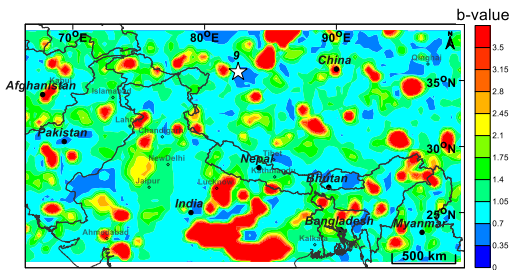
Latitude: 35.6526

Longitude: 82.5417

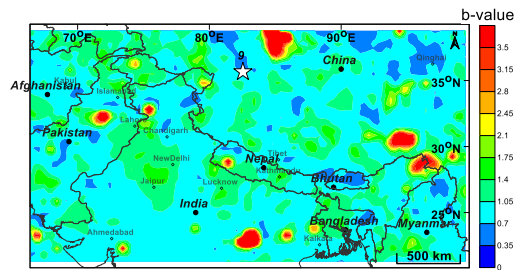
Date: 12/8/2012 Time: 10:47

Magnitude: 6.0 Depth: 14.0

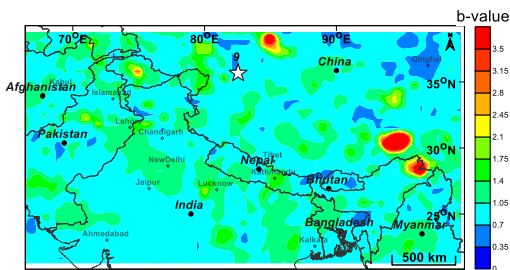
(ผ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฝ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(พ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 9

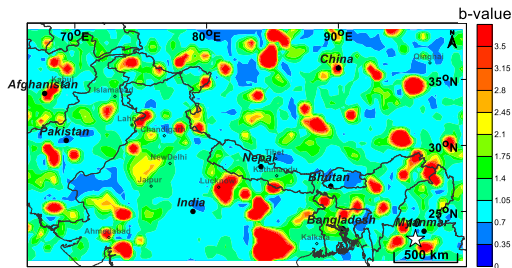
Latitude: 38.6559

Longitude: 70.3729

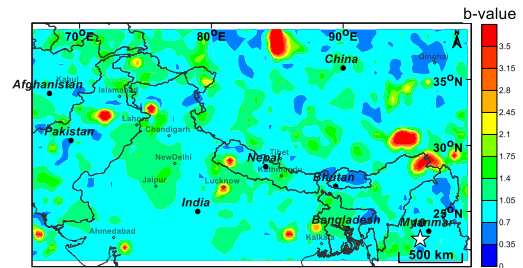
Date: 12/5/2012 Time: 23:28

Magnitude: 6.0 Depth: 13.1

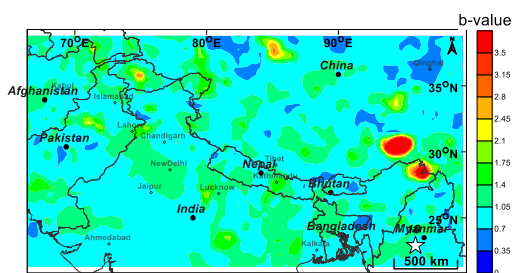
(พ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ก) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ม) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 10

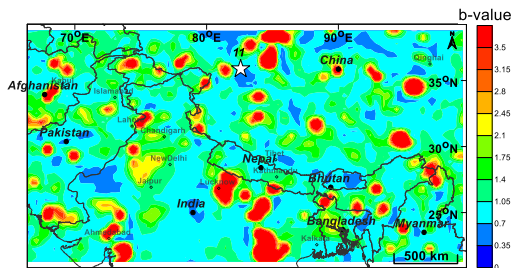
Latitude: 22.8908

Longitude: 95.8480

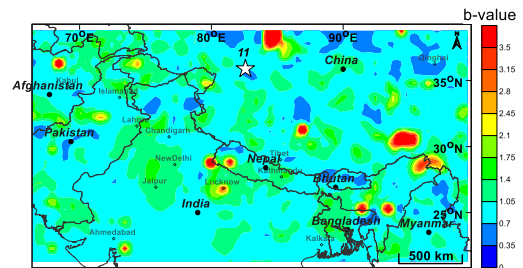
Date: 11/11/2012 Time: 1:12

Magnitude: 6.1 Depth: 14.2

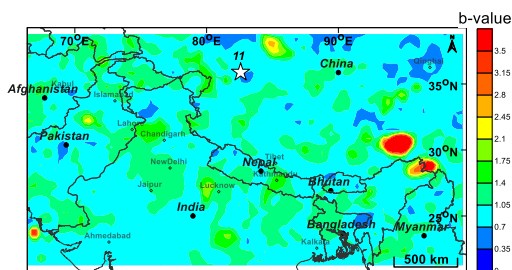
(ย) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ร) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ล) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 11

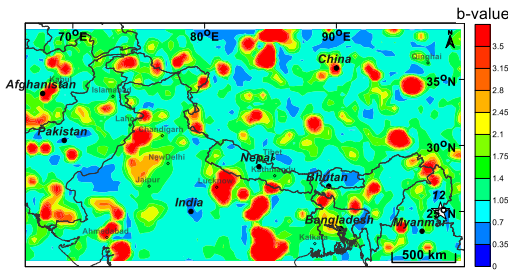
Latitude: 24.9898

Longitude: 97.8986

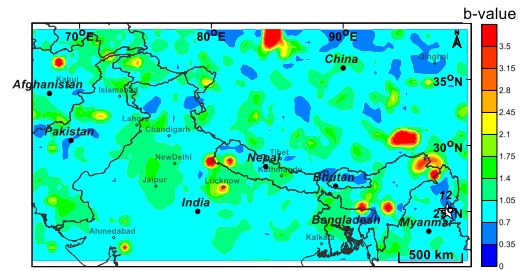
Date: 30/5/2014 Time: 1:10

Magnitude: 6.0 Depth: 10.1

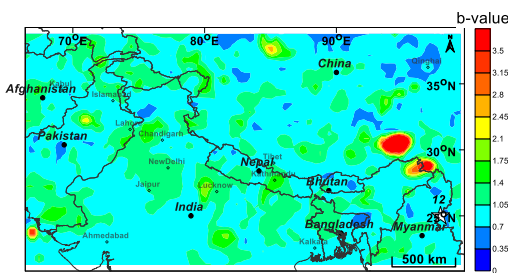
(ก) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ข) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 12

Latitude: 35.8767

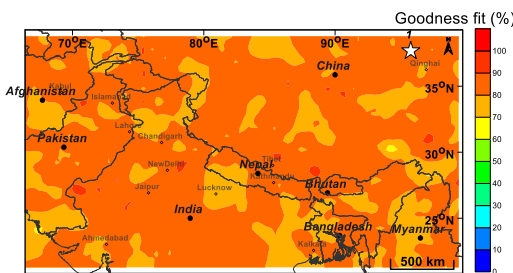
Longitude: 82.5807

Date: 12/2/2014 Time: 9:19

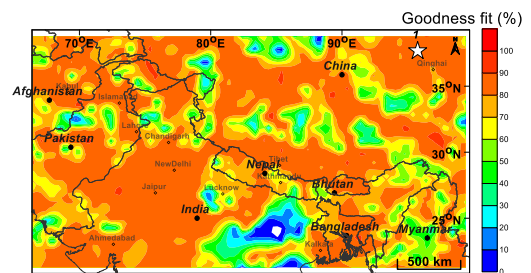
Magnitude: 6.5 Depth: 4.1

รูป 4.2. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ของทั้ง 12 กรณีศึกษา จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวคือ ดาวสีขาว และ พื้นที่สีฟ้า คือ บริเวณที่มีค่า b ต่ำ แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ค)

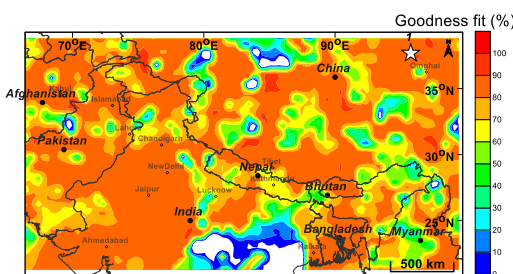
(ก) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ข) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 1

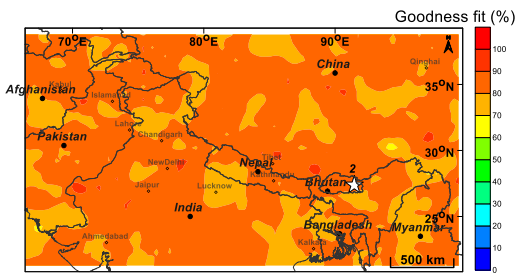
Latitude: 27.3693

Longitude: 91.4597

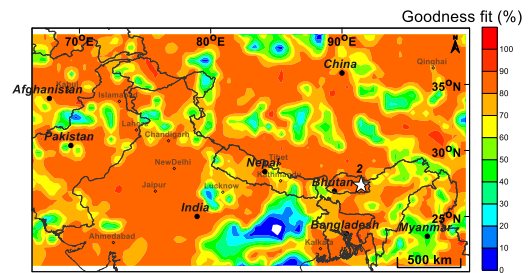
Date: 31/9/2009 Time: 8:53

Magnitude: 6.0 Depth: 16.1

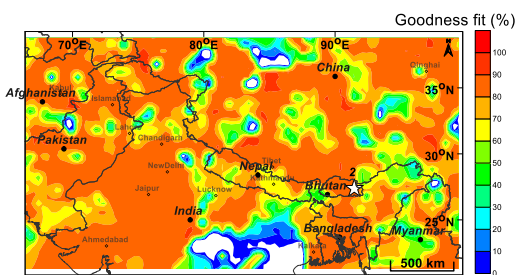
(ง) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(จ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฉ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 2

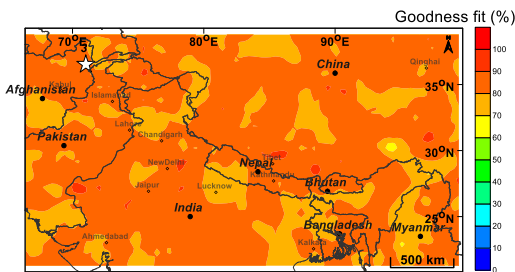
Latitude: 36.5187

Longitude: 71.0121

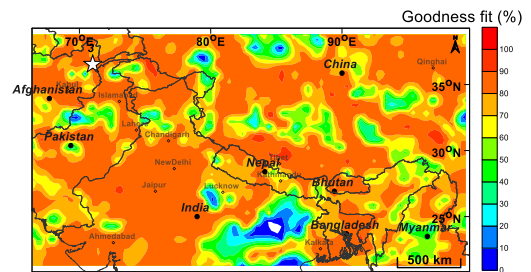
Date: 22/10/2009 Time: 19:51

Magnitude: 6.1 Depth: 188.6

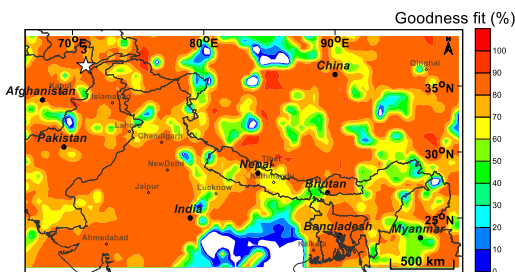
(ช) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ซ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฅ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 3

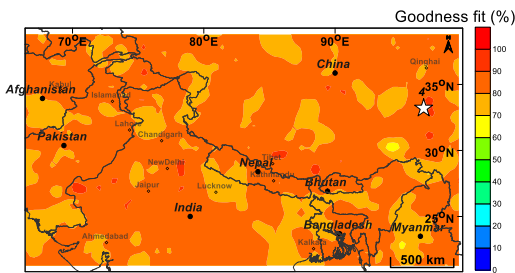
Latitude: 37.6678

Longitude: 95.7622

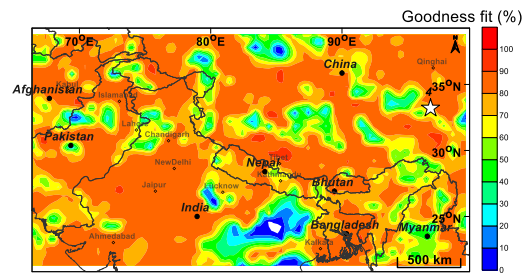
Date: 28/8/2009 Time: 1:52

Magnitude: 6.2 Depth: 12.1

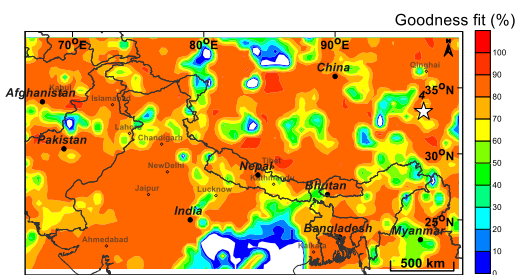
(ง) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ญ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฉ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 4

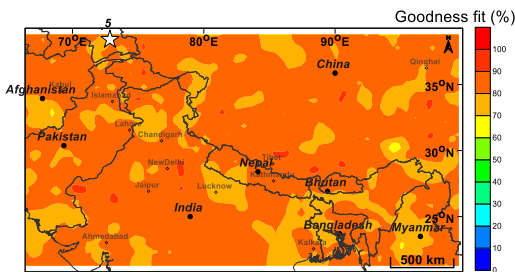
Latitude: 96.7466

Longitude: 33.1928

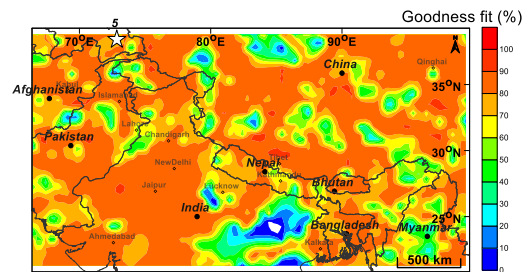
Date: 13/4/2010 Time: 23:49

Magnitude: 6.3 Depth: 13.8

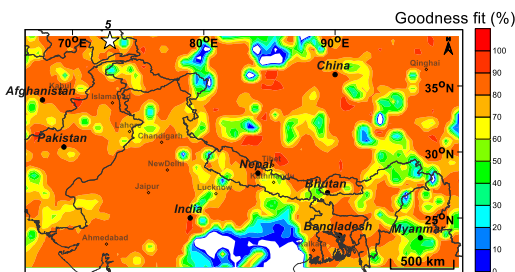
(ฐ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฑ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฒ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 5

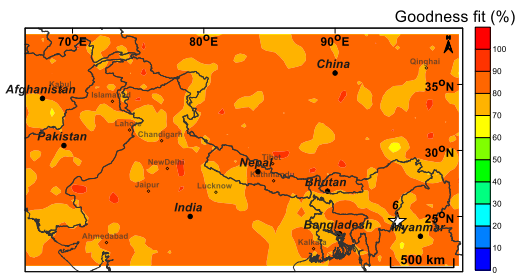
Latitude: 72.8467

Longitude: 38.4018

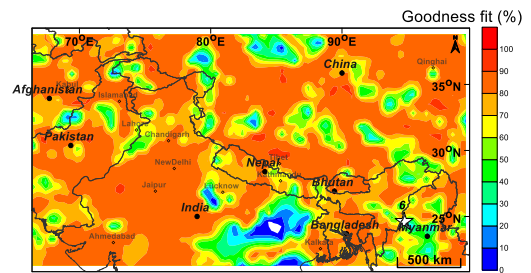
Date: 24/1/2011 Time: 2:45

Magnitude: 6.0 Depth: 101.9

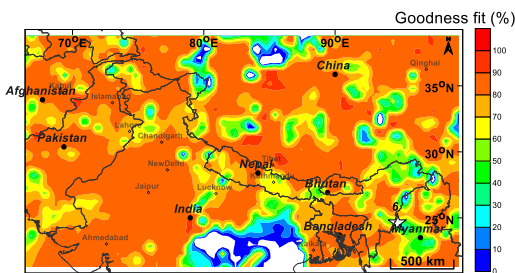
(ณ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ด) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 6

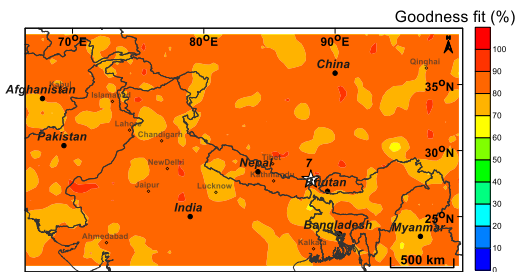
Latitude: 24.6094

Longitude: 94.7347

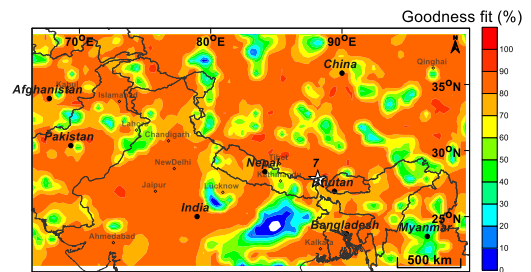
Date: 4/2/2011 Time: 13:53

Magnitude: 6.4 Depth: 86.5

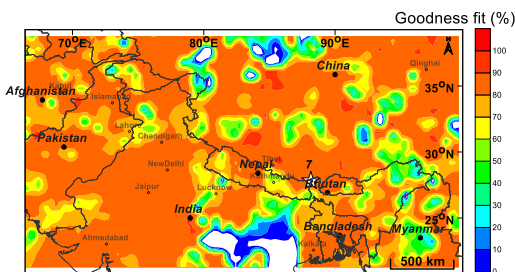
(จ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ท) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ช) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 7

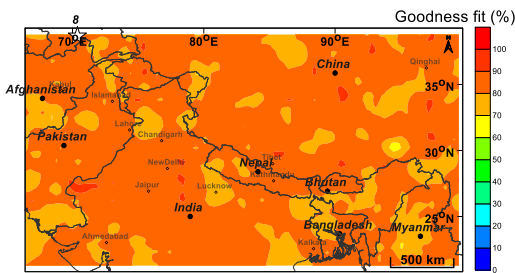
Latitude: 27.8039

Longitude: 88.1536

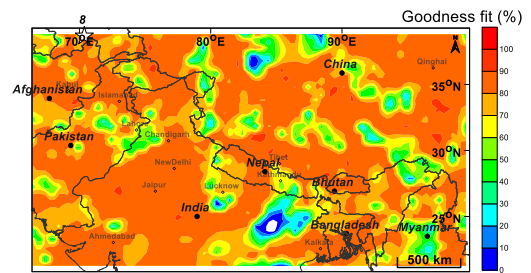
Date: 18/9/2011 Time: 12:40

Magnitude: 6.5 Depth: 29.6

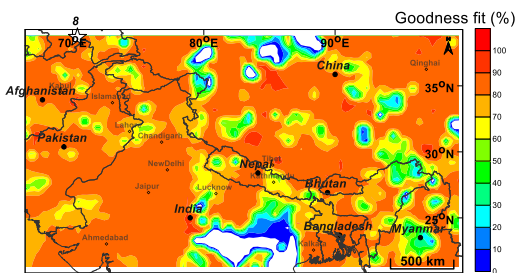
(น) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(บ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ป) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 8

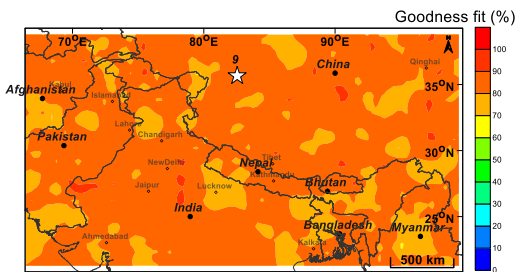
Latitude: 35.6526

Longitude: 82.5417

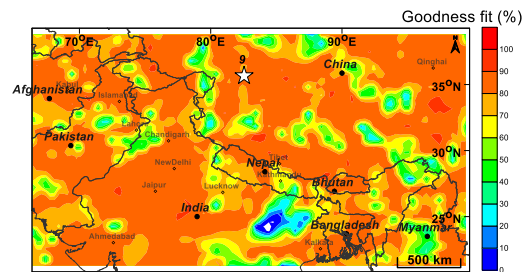
Date: 12/8/2012 Time: 10:47

Magnitude: 6.0 Depth: 14.0

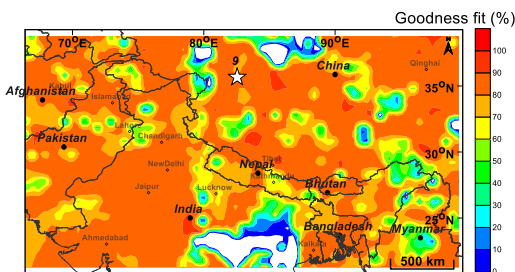
(ผ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฝ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(พ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 9

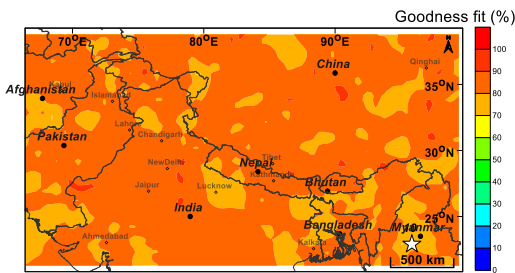
Latitude: 38.6559

Longitude: 70.3729

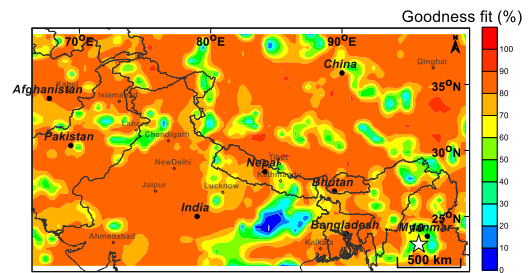
Date: 12/5/2012 Time: 23:28

Magnitude: 6.0 Depth: 13.1

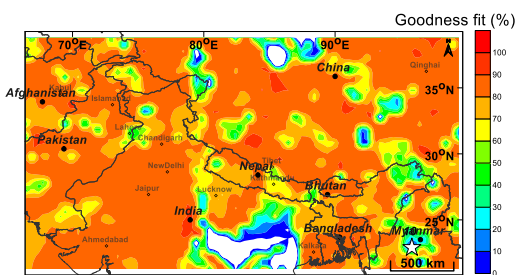
(พ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ก) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ม) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 10

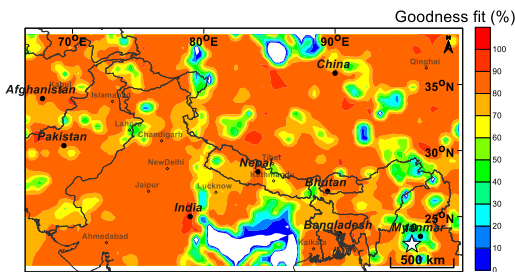
Latitude: 22.8908

Longitude: 95.8480

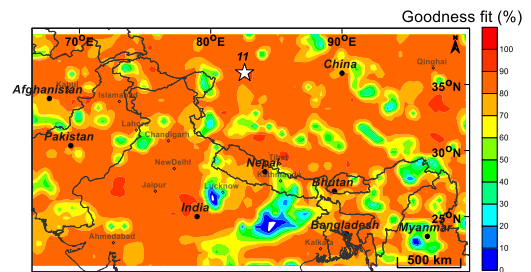
Date: 11/11/2012 Time: 1:12

Magnitude: 6.1 Depth: 14.2

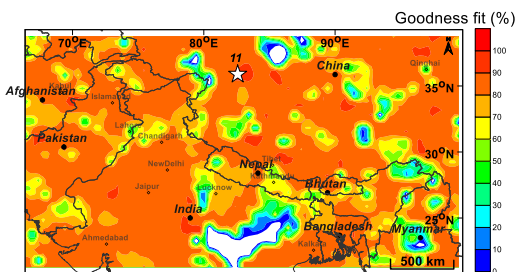
(ย) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ย) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ร) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 11

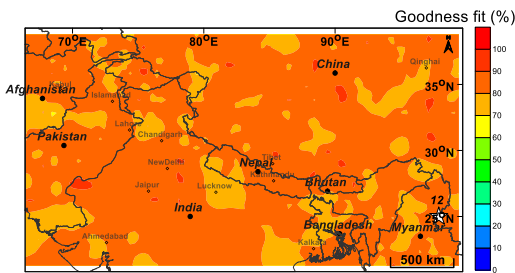
Latitude: 24.9898

Longitude: 97.8986

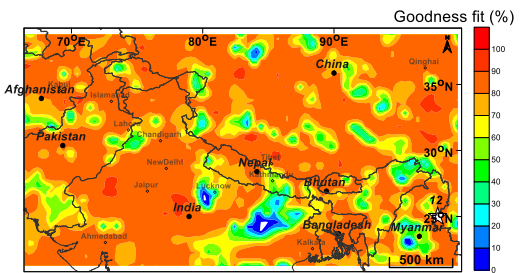
Date: 30/5/2014 Time: 1:10

Magnitude: 6.0 Depth: 10.1

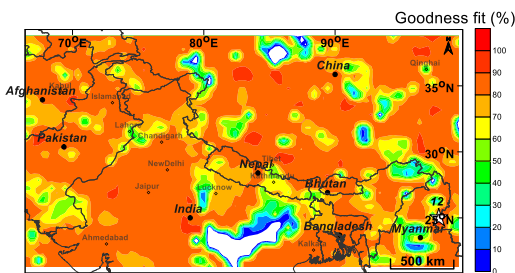
(ล) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ว) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 12

Latitude: 35.8767

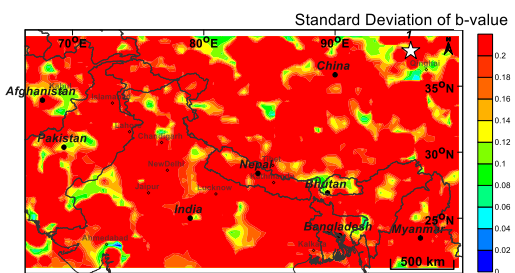
Longitude: 82.5807

Date: 12/2/2014 Time: 9:19

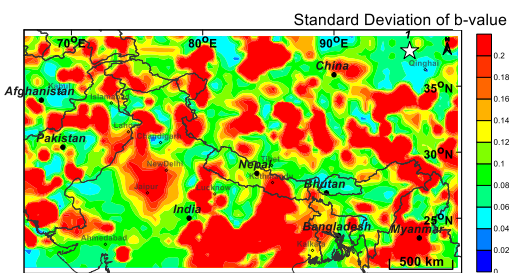
Magnitude: 6.5 Depth: 4.1

รูป 4.3. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Goodness fit ของทั้ง 12 กรณีศึกษา ยิ่งแสดงค่าเข้าใกล้สี่แดง หมายถึงความแม่นยำที่สูง แต่ละครณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ค)

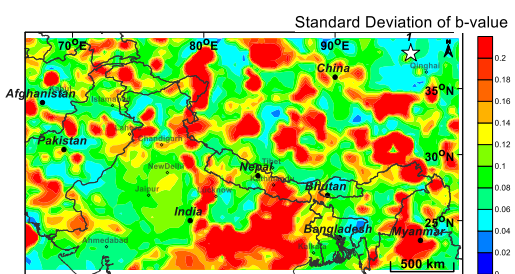
(ก) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ข) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 1

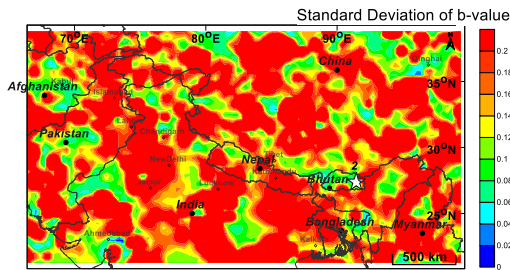
Latitude: 27.3693

Longitude: 91.4597

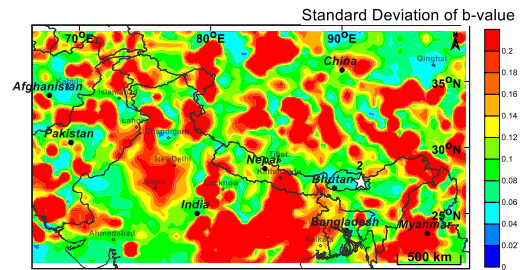
Date: 31/9/2009 Time: 8:53

Magnitude: 6.0 Depth: 16.1

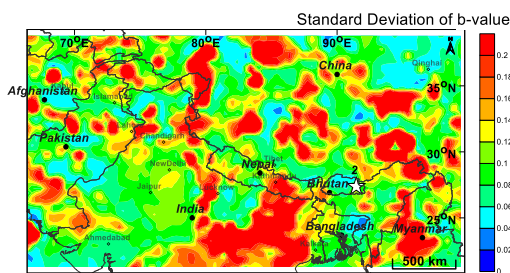
(ง) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(จ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฉ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 2

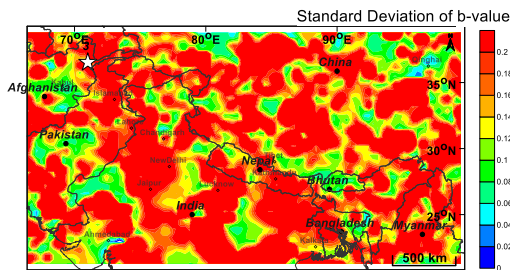
Latitude: 36.5187

Longitude: 71.0121

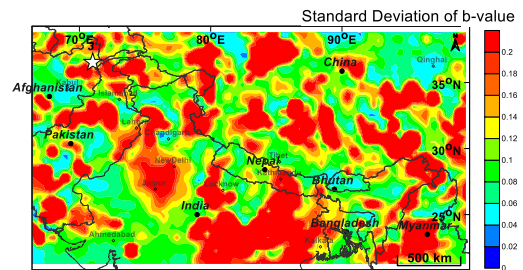
Date: 22/10/2009 Time: 19:51

Magnitude: 6.1 Depth: 188.6

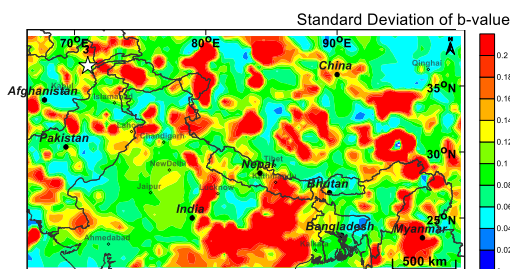
(ช) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ซ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฅ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 3

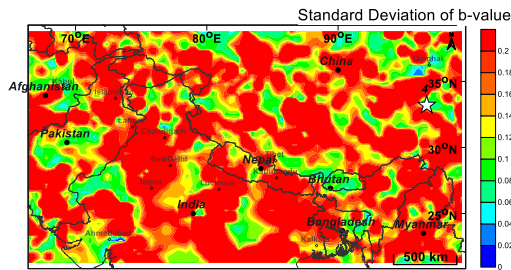
Latitude: 37.6678

Longitude: 95.7622

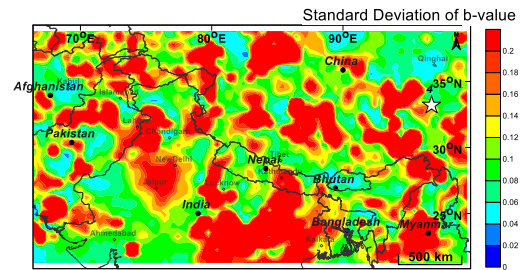
Date: 28/8/2009 Time: 1:52

Magnitude: 6.2 Depth: 12.1

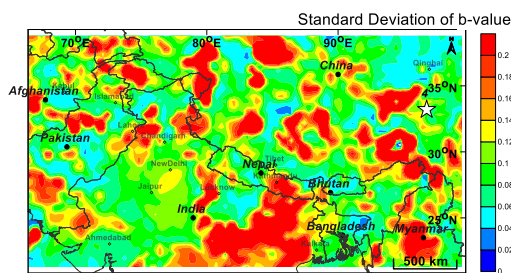
(ง) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ก) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ข) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 4

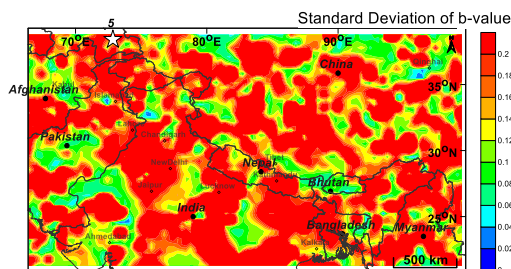
Latitude: 96.7466

Longitude: 33.1928

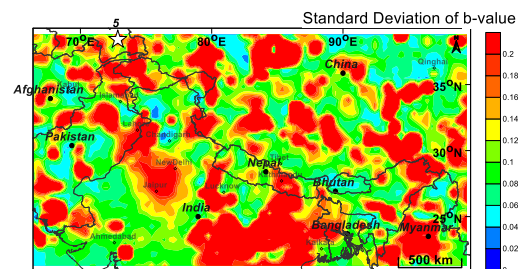
Date: 13/4/2010 Time: 23:49

Magnitude: 6.3 Depth: 13.8

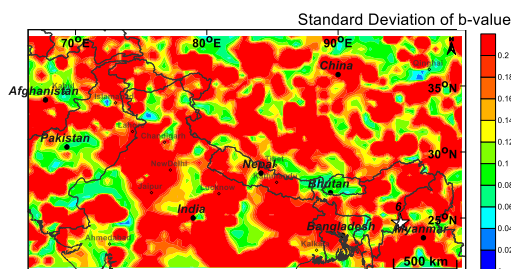
(จ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฉ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 5

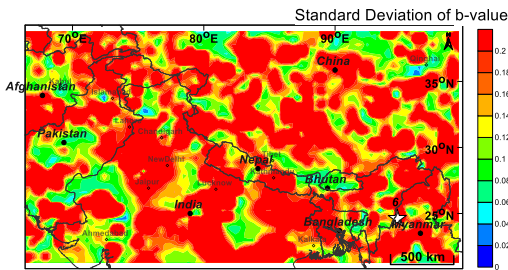
Latitude: 72.8467

Longitude: 38.4018

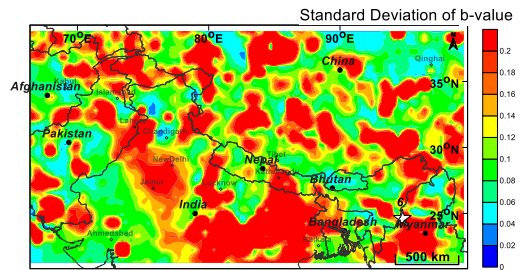
Date: 24/1/2011 Time: 2:45

Magnitude: 6.0 Depth: 101.9

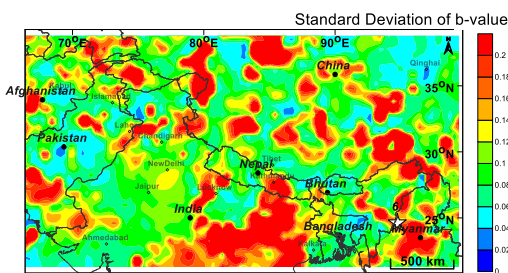
(ณ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ด) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 6

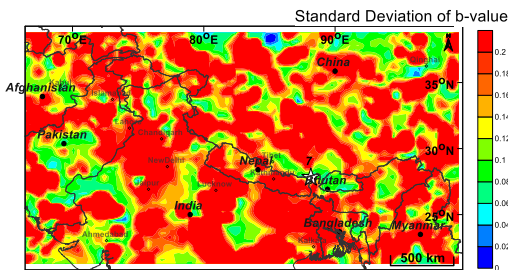
Latitude: 24.6094

Longitude: 94.7347

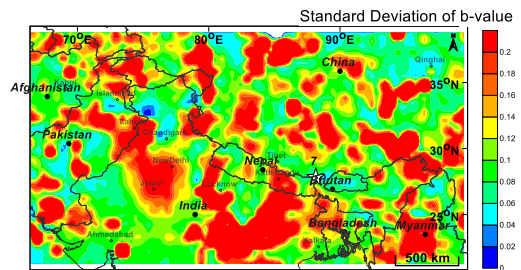
Date: 4/2/2011 Time: 13:53

Magnitude: 6.4 Depth: 86.5

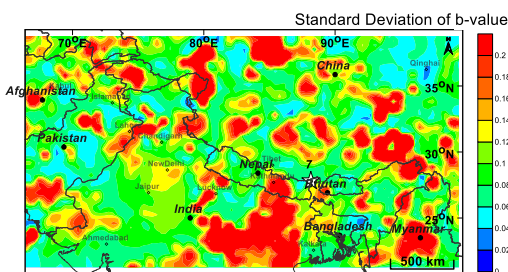
(ณ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ท) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(จ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 7

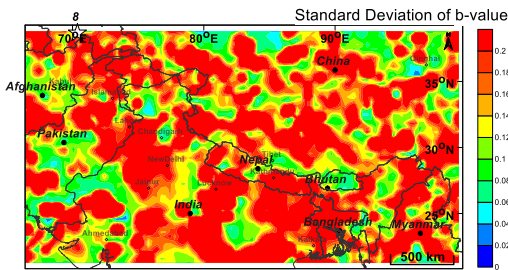
Latitude: 27.8039

Longitude: 88.1536

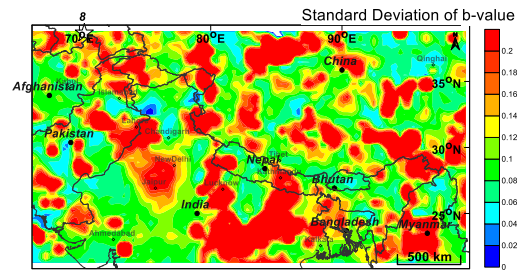
Date: 18/9/2011 Time: 12:40

Magnitude: 6.5 Depth: 29.6

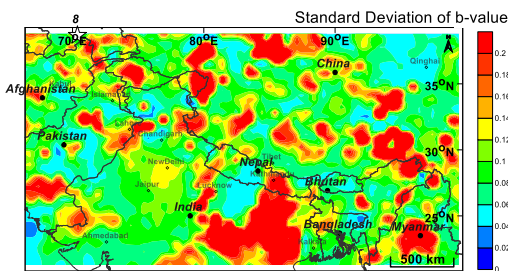
(น) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(บ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ป) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 8

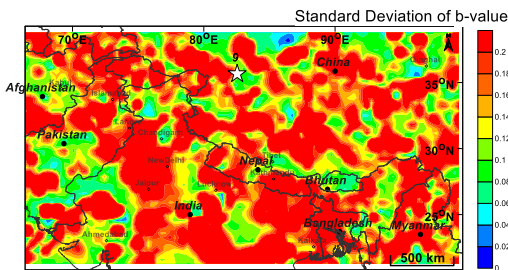
Latitude: 35.6526

Longitude: 82.5417

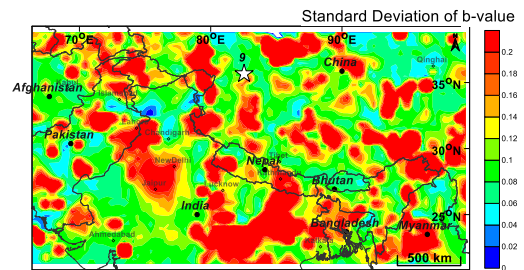
Date: 12/8/2012 Time: 10:47

Magnitude: 6.0 Depth: 14.0

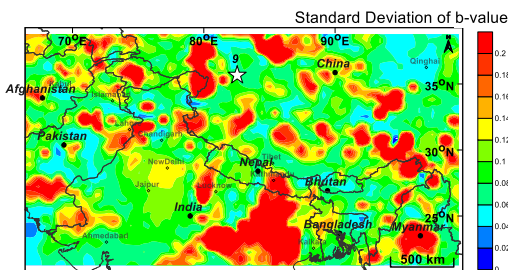
(ผ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ฝ) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(พ) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 9

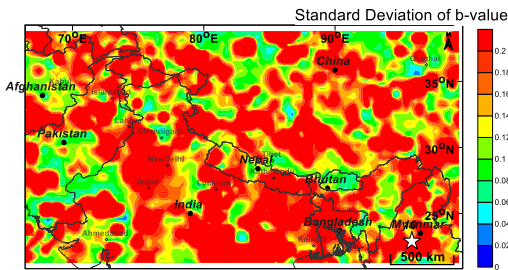
Latitude: 38.6559

Longitude: 70.3729

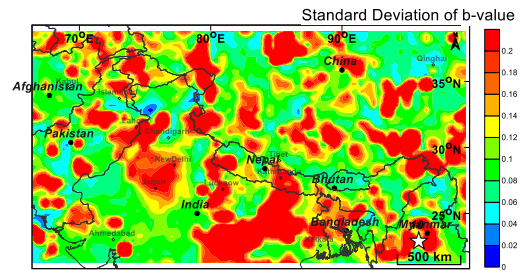
Date: 12/5/2012 Time: 23:28

Magnitude: 6.0 Depth: 13.1

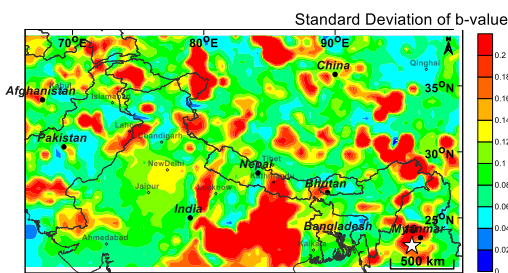
(พ) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ก) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ม) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 10

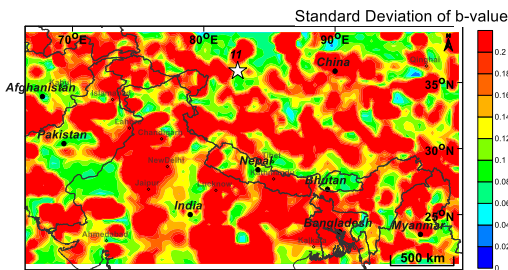
Latitude: 22.8908

Longitude: 95.8480

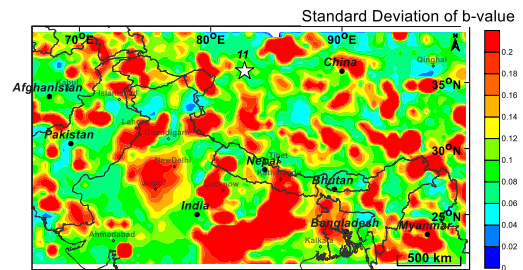
Date: 11/11/2012 Time: 1:12

Magnitude: 6.1 Depth: 14.2

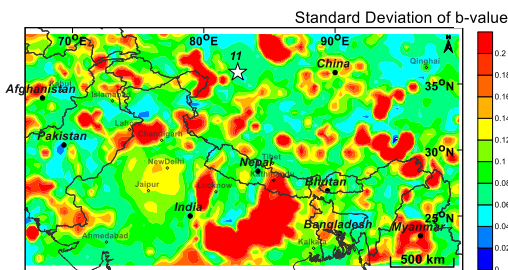
(ย) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ร) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ล) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 11

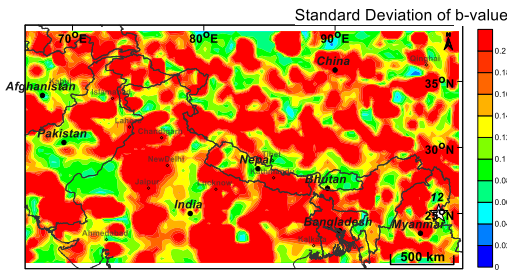
Latitude: 24.9898

Longitude: 97.8986

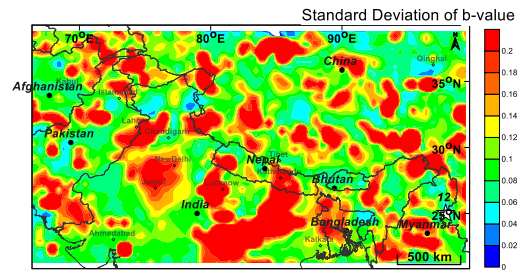
Date: 30/5/2014 Time: 1:10

Magnitude: 6.0 Depth: 10.1

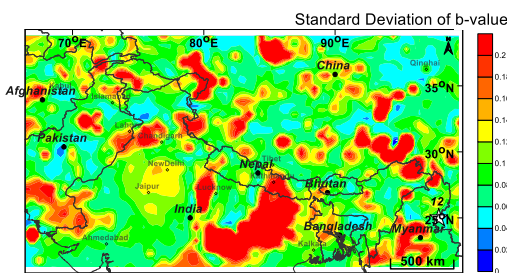
(ก) ตัวแปรที่ใช้ 30 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ค) ตัวแปรที่ใช้ 50 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



(ข) ตัวแปรที่ใช้ 70 เหตุการณ์แผ่นดินไหว



กรณีศึกษาที่ 12

Latitude: 35.8767

Longitude: 82.5807

Date: 12/2/2014 Time: 9:19

Magnitude: 6.5 Depth: 4.1

รูป 4.3. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Standard Deviation of b-value ของทั้ง 12

กรณีศึกษา ยิ่งแสดงค่าเข้าใกล้สีน้ำเงิน หมายถึงความมีความผิดพลาดที่ต่ำ แต่ละครณีแสดงด้วยรูป (ก) - (ค)

จากการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่า b เราพบว่ามีการศึกษาบางกรณีที่ไม่ตรงกับศูนย์กลางแผ่นดินไหวซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่ 3,5,6 และ 8 อย่างไรก็ตามในกรณีอื่น ๆ นั้นศูนย์กลางแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอดีตตรงกับบริเวณที่มีค่า b ต่ำ

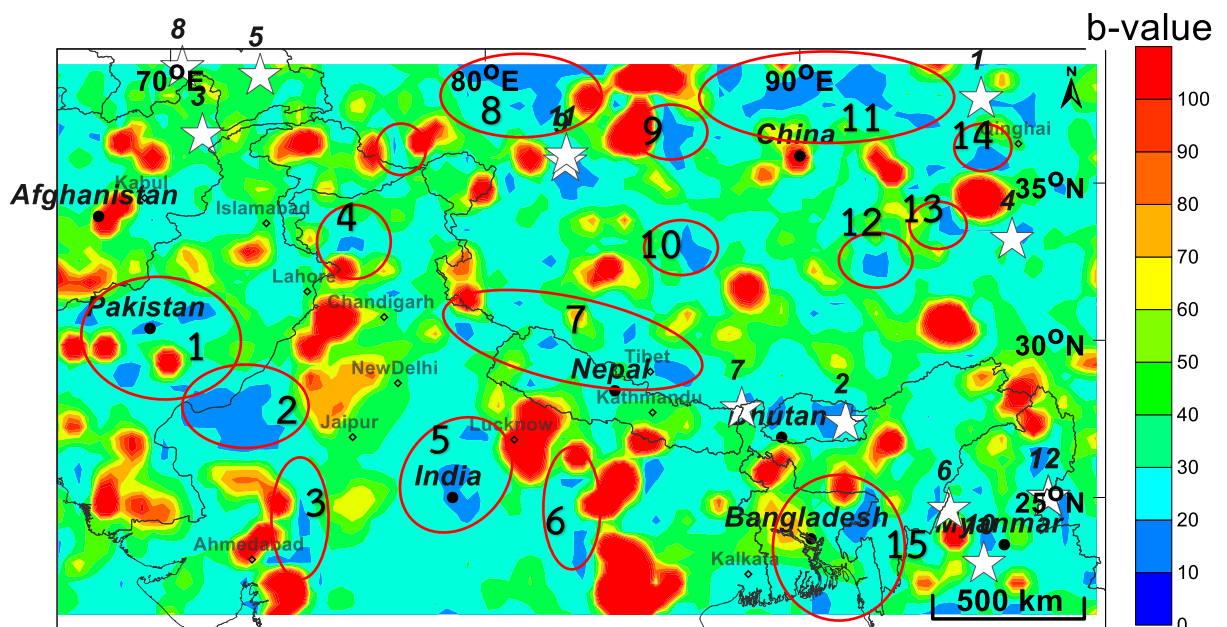
4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต (Evaluation of Prospective Area)

จากการศึกษาพบว่าจำนวน 30 เหตุการณ์ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเราจึงเลือก 30 เหตุการณ์สำหรับพื้นที่ $0.50 \times 0.50^\circ$ ที่ครอบคลุมพื้นที่รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ค่า b ซึ่งคำนวณโดยใช้เฉพาะแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่กว่า M_c ซึ่งมีขนาด 4.2 m_b ขึ้นไป สุดท้ายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของค่า b ถือเป็นลักษณะสำคัญของพื้นที่นี้ ดังนั้นเราสามารถระบุพื้นที่ที่ผิดปกติของค่า b ได้

จากการศึกษาพบว่า มี 15 บริเวณ ที่มีการแสดงความผิดปกติของค่า b (ค่าบีต่ำ) ดังที่แสดงในรูป 4.3. จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่ามีจุดเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด 15 จุดเสี่ยง ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ ดังแสดงในรูป 4.3. ได้แก่

- | | |
|---|---|
| 1) บริเวณตอนกลางประเทศปากีสถาน | 10) บริเวณเมืองซีชาง ประเทศจีน |
| 2) บริเวณเมืองราชาสถาน ประเทศอินเดีย | 11) บริเวณเขตปกครองตนเองซินเจียงอุยกูร์ |
| 3) บริเวณเมืองวาโอดารา ประเทศอินเดีย | 12) บริเวณมณฑลชิ่งไห่ |
| 4) บริเวณเมืองลู่ตีสานา ประเทศอินเดีย | 13) บริเวณมณฑลชิ่งไห่ |
| 5) บริเวณโพนาน | 14) บริเวณมณฑลชิ่งไห่ |
| 6) บริเวณปุระ | 15) บริเวณประเทศบังกลาเทศ และ เมือง |
| 7) บริเวณตอนเหนือของประเทศเนปาล | มิโซรัม ประเทศอินเดีย |
| 8) บริเวณเขตปกครองตนเองซินเจียงอุยกูร์ | |
| 9) บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน | |

อุยกูร์



รูป 4.4. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า b ตามแนวรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัง เทือกเขา

หิมาลัย ดาวสีขาวหมายถึง แผ่นดินไหวที่มีขนาด $\geq 6.0 m_b$ วงสีแดงแสดงบริเวณที่มีค่า b ผิดปกติ

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

(DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาประเมินมาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) พบว่ามีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ ในช่วงวันที่ 4 เมษายน ค.ศ. 1905 ถึง 31 พฤษภาคม ค.ศ. 2014 ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 2.4-8.6 m_b ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหว 0-413 กิโลเมตร

5.2. การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิด ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวส่งผลให้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวจากธรรมชาติอย่างแท้จริง ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลแผ่นดินไหวเหล่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในเชิงสถิติ นักแผ่นดินไหววิทยาจำเป็นต้องปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีอยู่ให้สมบูรณ์ตามขั้นตอนทางสถิติตามลำดับ

5.2.1. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวนั้นมักจะรายงานแผ่นดินไหวด้วยหน่วยวัดขนาดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและข้อจำกัดของการตรวจวัด เช่น M_w m_b M_s และ M_L จึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวต่าง ๆ โดยการนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากพื้นที่เดียวกัน จากกราฟความสัมพันธ์จะสามารถนำมาแปลงหน่วยขนาดแผ่นดินไหวได้

ความสัมพันธ์ระหว่าง M_w - m_b

$$m_b = 0.31M_s^2 - 1.77M_s + 5.63 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

5.2.2. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake De-clustering)

กำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามในพื้นที่ ตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด 33,939 เหตุการณ์ สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 3,695 กลุ่มแผ่นดินไหว และคัดกรองแผ่นดินไหวนำหรือแผ่นดินไหวตามได้ทั้งสิ้น 22,295 เหตุการณ์ และประเมินว่ามีเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก 11,644 เหตุการณ์

5.2.3. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้อย่างสมบูรณ์ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น คือ แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า $4.2 m_b$ 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 สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวและรายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 5.1.

ตาราง 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูล

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)

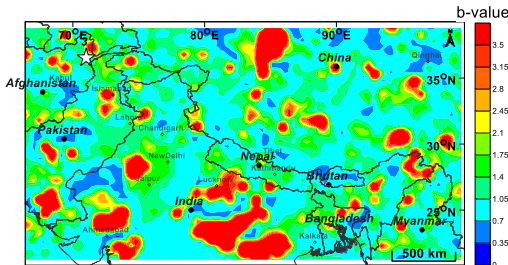
ในการศึกษานี้ได้เลือก 12 กรณีศึกษา (ตาราง 4.1.) เมื่อทำการทดสอบย้อนกลับพบว่าจำนวนเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมแผ่นดินไหวคือ 30 เหตุการณ์ สำหรับพื้นที่ $0.50 \times 0.50^\circ$ เหตุการณ์ขั้นต่ำคือ 5 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลักเทือกเขาหิมาลัย

5.4. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

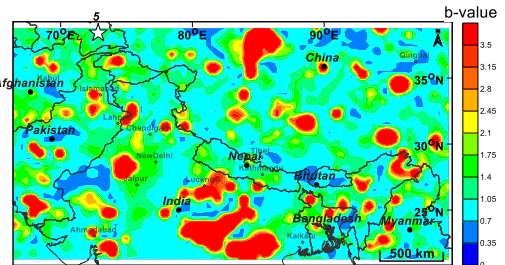
จากการทดสอบย้อนหลังพบว่า 30 เหตุการณ์เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นพารามิเตอร์ของพื้นที่ศึกษาซึ่งให้ผลที่ศูนย์กลางของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอดีตตรงกับพื้นที่ค่า b ต่ำ (สีฟ้า) มากที่สุด อย่างไรก็ตามในบางกรณีศึกษานั้นจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวจะอยู่ระหว่างพื้นที่ที่ค่า b ต่ำ (พื้นที่สีฟ้าและสีเขียว) ในรูป 5.1. ตามรายงานของ Pailoplee (2013) พบว่าแม้จะเป็น

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของพื้นที่ศึกษาจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอาจจะเกิดขึ้นระหว่างที่ค่า b ต่ำและสูงได้ เช่นบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย (รูป 5.2.)

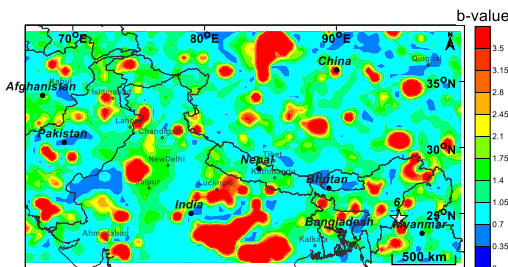
กรณีศึกษาที่ 3



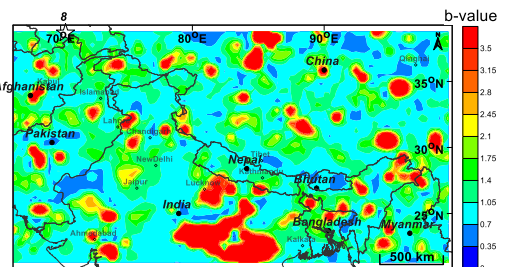
กรณีศึกษาที่ 5



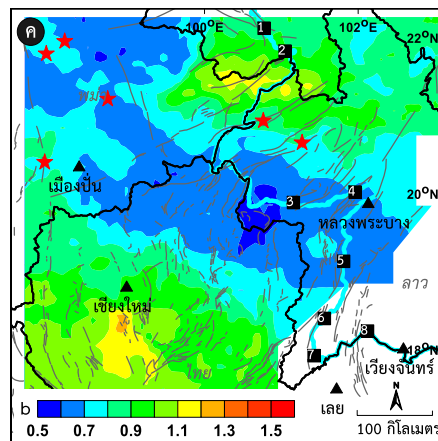
กรณีศึกษาที่ 6



กรณีศึกษาที่ 8



รูป 5.1. กงกรณีศึกษาที่จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวจะอยู่ระหว่างพื้นที่ที่ค่าบีต่ำ (พื้นที่สีฟ้าและสีเขียว)



รูป 5.2. แผนที่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการกระจายตัวของค่า b ค.ศ. 1984-2005 (Pailoplee และคณะ, 2013a)

จากผลการทดลองพบว่ามีค่า b ต่ำทั้งหมด 15 บริเวณ (รูป 4.4.) การศึกษาพบว่าค่า b ของบริเวณดังกล่าวมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบเมื่อเกิดแผ่นดินไหว หลังจากที่ถูกพลังงานถูก

ปลดปล่อยออกมาเป็นคลื่นไหวสะเทือนแล้วทำให้เกิดการสะสมของความเครียดลดลง เมื่อถึงจุดค่า b จะเพิ่มขึ้นยกเว้นบริเวณที่ได้รับการสะสมความเครียดอีกครั้ง ค่า b บริเวณดังกล่าวจะค่อยๆลดลง จนกระทั่งบริเวณนั้นกลายเป็นบริเวณที่ค่า b ต่ำผิดปกติซึ่งหมายถึงความเครียดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ดังนั้นพื้นที่เหล่านี้อาจก่อให้เกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่อีกครั้ง ดังเช่นที่เคยเกิดในกรณีศึกษา ที่ 7 9 และ 11 ดังแสดงในรูป 4.3.

ในบริเวณอื่น 15 บริเวณ ที่ยังไม่เคยเกิดแผ่นดินไหว อย่างไรก็ตามผลการวิจัยล่าสุดพบว่าค่า b ของพื้นที่เหล่านี้ลดลง ดังนั้นบริเวณเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่กว่า 6.0 m_b ในอนาคต ซึ่งความเป็นไปได้ อีกอย่างหนึ่งคือใน กรณีที่มีความถี่ในการปล่อยขนาดเล็ก โซนนั้นอาจไม่เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ โดยบริเวณที่ 5 และ 6 อาจไม่เกิดแผ่นดินไหวใหญ่ขึ้นเนื่องจากมีปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้น้อยได้แก่ บริเวณจุดเสี้ยวที่ 5 และ 6 ที่ตอนกลางของประเทศอินเดีย

บรรณานุกรม

(REFERENCES)

- Daniel, C. G., et al. (2003). "Exhumation of the Main Central Thrust from Lower Crustal Depths, Eastern Bhutan Himalaya." Journal of Metamorphic Geology **21**(4): 317-334.
- Gardner, J. K. and Knopoff, L. (1974) "Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?" *Bulletin Seismol. Soc. Am.* **64**(1), 363–367.
- Gutenberg, B., and Richter C. (1944) "Frequency of earthquakes in California" *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **34**, 185-188.
- Jagoutz, O., et al. (2015). "Anomalously fast convergence of India and Eurasia caused by double subduction." Nature Geoscience **8**(6): 475-478.
- Mukhopadhyay, B. (2011). "Clusters of Moderate Size Earthquakes along Main Central Thrust (MCT) in Himalaya." International Journal of Geosciences **02**(03): 318-325.
- Nuannin, P., Kulhánek, O. and Persson, L. (2005) "Spatial and temporal b-value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004," *Geophys. Res. Lett.* **32**, L11307.
- Nuannin, P. (2006) "The potential of b-value variations as earthquake precursors for small and large events" *Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* **183**. 46 pp. Uppsala.
- Pailoplee, S. (2013) "Mapping asperities along the Sagaing fault zone, Myanmar using b-value anomalies" *Journal of Earthquake and Tsunami* Vol. **7**, No. **5** (2013) 1371001 (12 pages).
- Pailoplee, S., Surakiatchai, P., and Charusiri P. (2013) "b-value anomalies along the northern segment of the Sumatra-Andaman subduction zone: implications for upcoming earthquakes" *Journal of Earthquake and Tsunami* Vol. **7**, No. **4** (2013) 1350030 (8 pages)
- Pailoplee, S., Channarong, P., and Chutakositkanon, V. (2013) "Earthquake activities in the Thailand-Laos-Myanmar border region: a statistical approach" *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. **24**, No. **4**, Part II, 721-730, August 2013.

- Pailoplee, S., (2016) "Mapping of b-Value Anomalies Along the Strike-Slip Fault System on the Thailand–Myanmar Border: Implications for Upcoming Earthquakes" *Journal of Earthquake and Tsunami* Vol. 10, No. 3 (2016) 1671001 (13 pages).
- Pailoplee, S., and Boonchaluy N. (2016) "Earthquake activities in the Philippines Islands and the adjacent areas" *Geosciences Journal* DOI 10.1007/s12303-016-0017-x.
- Searle, M. P., et al. (2008). "Defining the Himalayan Main Central Thrust in Nepal." *Journal of the Geological Society* **165**(2): 523-534.
- Tobgay, T., et al. (2012). "The age and rate of displacement along the Main Central Thrust in the western Bhutan Himalaya." *Earth and Planetary Science Letters* **319-320**: 146-158.
- Woessner, J. and S. Wiemer 2005: Assessing the Quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95, 684-698, doi: 10.1785/0120040007.