



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน
ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

โดย

นางสาวชุนิณธรณ์ ชามาทอง
เลขประจำตัวนิสิต 5732715423

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
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.

ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก
เทือกเขาหิมาลัย

นางสาวชุนิณธรณ์ ชามาทอง

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

REGION-TIME-LENGTH ALGORITHM OF THE MAIN CENTRAL THRUST,
HIMALAYA

MISS CHUNINTORN CHAMATHONG

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

วันที่ส่ง

____/____/____

วันที่อนุมัติ

____/____/____

ลงชื่อ _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย : ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนตามรอยเลื่อนย้อน
แนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย

ผู้จัดทำ : นางสาวชุนิณธรรม์ ซามาทอง **รหัสประจำตัวนิสิต :** 5732715423

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

ภาควิชา : ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา : 2560

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตบริเวณเขตมุดตัวหลักตอนกลาง เทือกเขาหิมาลัยโดยวิธีการที่ใช้ในการศึกษาคือ ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ซึ่งจะใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวมีการบันทึกข้อมูลไว้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ที่มีการบันทึกย้อนหลังในช่วงปี ค.ศ. 1905–2014 มีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ ซึ่งได้มีการคัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สำคัญมา 15 เหตุการณ์ เพื่อทำการทดสอบย้อนกลับ โดยกำหนดค่าตัวแปร $R_{max} = 80$ กิโลเมตร และค่า $T_{max} = 5.0$ ปี สามารถตรวจพบค่าความผิดปกติที่สัมพันธ์กันทั้งในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ทั้งหมด 15 เหตุการณ์ ดังนั้นค่าตัวแปรดังกล่าวสามารถใช้เป็นสัญญาณบอกเหตุถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวได้ ประกอบกับค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา คือช่วงปี ค.ศ. 2005-2014 ซึ่งพบว่า 4 พื้นที่ที่มีค่าความผิดปกติเกิดขึ้น คือ บริเวณทางตอนใต้ของประเทศปากีสถาน บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปากีสถานที่ติดกับประเทศอัฟกานิสถาน บริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ระหว่างประเทศอินเดียและประเทศจีน และบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศภูฏาน ซึ่งบริเวณดังกล่าวถือว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว; ภาวะเจ็บสงบแผ่นดินไหว; ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน; สัญญาณบอกเหตุ; เทือกเขาหิมาลัย

Project title: Region-Time-Length Algorithm of the Main Central Thrust, Himalaya
Researcher: Miss Chunintorn Chamathong **ID:** 5732715423
Department: Geology
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Santi Pailoplee
Academic Year: 2017

ABSTRACT

In this study, the prospective areas of the upcoming large earthquakes were evaluated in the Main Central thrust zone (MCT). In order to investigate the precursory seismic quiescence of earthquakes, the Region-Time-Length (RTL) algorithm was applied. The utilized earthquake catalogs consisting of International Seismological Center (ISC) that were recorded during 1905-2014 and 33,939 events. These events were defined as the completeness data which meaningful for any seismicity investigation. Then, there are 15 available events of the $M_w \geq 6.0$ earthquakes were considered for the retrospective test. After iterative test, it was found that $R_{max} = 80$ km and $T_{max} = 5.0$ years, that can detect the anomaly associate with temporal and spatial all 15 events. So these variables are appropriate characteristic parameters for the Main Central thrust zone. As result, according to the seismic quiescence map from 2005 to 2014 indicated that there are 4 areas might be risked for the upcoming large earthquakes, i.e., i) southern of Pakistan, ii) northeastern part of Pakistan, iii) along the MCT zone and iv) southeastern of Bhutan.

KEYWORDS: Earthquake Catalogue; Seismic Quiescence; Region-Time-Length (RTL) Algorithm; Precursor; Himalaya

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณา
สละเวลามาให้ความรู้ คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือมากมายตลอดระยะเวลาของการทำโครงการ
เพื่อให้โครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งคอยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ผู้จัดทำรู้สึก
ซาบซึ้ง และขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ประสาทประสิทธิ์วิชาความรู้ รวมทั้งประสบการณ์ต่าง ๆ และให้
ความช่วยเหลือตลอดมา ขอขอบพระคุณพี่บุคลากรทุกท่านที่ช่วยดูแลและคอยประสานงานต่าง ๆ ใน
ภาควิชาธรณีวิทยา ขอขอบคุณเพื่อนร่วมโครงการทุกคนที่คอยช่วยเหลือ แนะนำและให้กำลังใจในการทำ
โครงการ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ธรณีวิทยาชั้นปีที่ 4 ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และสุดท้ายขอกราบ
ขอบพระคุณอุปการีทั้งสองที่เป็นที่รักยิ่ง ที่คอยให้กำลังใจ เลี้ยงดูและให้โอกาสในการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ค
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ฉ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ซ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ณ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2. วัตถุประสงค์ (Objectives)	2
1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	2
1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	3
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)	3
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	4
2.3. ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	10
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS)	12
3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	12
3.1.1. ฐานข้อมูล ISC	13
3.1.2. ฐานข้อมูล NEIC	13
3.1.3. ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	13
3.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	14
3.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	16

	หน้า
3.4. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	20
บทที่ 4 ผลการศึกษา (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. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และค่า RTL	26
4.1.4. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL	31
4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	39
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	40
5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	40
5.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)	40
5.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	40
5.4. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	41
5.5. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	41
5.6. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	42
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	44

สารบัญรูปร่างภาพ
(FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1.	แผนที่พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย	2
รูป 2.1.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)	5
รูป 2.2.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่ เกิดแผ่นดินไหวขึ้น ในปี ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)	5
รูป 2.3.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2000 (Huang และ Sobolev, 2002)	6
รูป 2.4.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่ เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 2000 (Huang และ Sobolev, 2002)	6
รูป 2.5.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1999 (Chen และ Wu, 2006)	7
รูป 2.6.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่ เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 1999 (Chen และ Wu, 2006)	7
รูป 2.7.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)	8
รูป 2.8.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียง กับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)	9
รูป 2.9.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	9
รูป 2.10.	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียง กับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	10
รูป 2.11.	แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา	11
รูป 3.1.	แสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลรวม กับ (ก) ขนาดแผ่นดินไหว (ข) ความลึก และ (ค) ช่วงปี	14

	หน้า
รูป 3.2. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	15
รูป 3.3. หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	17
รูป 3.4. แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974)	18
รูป 3.5. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมก่อนการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	19
รูป 3.6. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	19
รูป 3.7. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ โดยที่มีขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุด	20
รูป 3.8. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	21
รูป 3.9. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	22
รูป 4.1. แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้เป็นกรณีศึกษา	23
รูป 4.2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา	28-30
รูป 4.3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่	34-38
รูป 5.1. แผนที่แสดงภาวะเจ็บสงบของแผ่นดินไหว	43

สารบัญตาราง
(TABLE CONTENT)

	หน้า
ตาราง 3.1. ตารางแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	12
ตาราง 4.1. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา	24
ตาราง 4.2. ตารางแสดงตัวอย่างเงื่อนไขค่า R_{max} และค่า T_{max} ในหลายกรณี	24
ตาราง 4.3. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลเงื่อนไขที่สนใจ	25
ตาราง 4.4. แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ	26
ตาราง 5.1. ตารางแสดงถึงสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว	40
ตาราง 5.2. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว	40
ตาราง 5.3. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว รวมถึงหลังจากคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	41
ตาราง 5.4. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 15 เหตุการณ์ที่คัดเลือกมาเป็นกรณีศึกษา	41
ตาราง 5.5. ตารางแสดงเงื่อนไข ค่า R_{max} และค่า T_{max} และเหตุการณ์กรณีศึกษา	42

สารบัญสมการ
(EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1. สมการฟังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา	3
สมการ 2.2. สมการฟังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่จะพิจารณา	3
สมการ 2.3. สมการฟังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน	3
สมการ 2.4. สมการของ Wells และ Coppersmith (1994)	4
สมการ 2.5. สมการของภาวะเจียบสงบ หรือ Q-parameter	4
สมการ 2.6. สมการของภาวะกระตุ้น หรือ S-parameter	4
สมการ 3.1. สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และ ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก(M_S)	16

บทที่ 1

บทนำ

(INTRODUCTION)

1.1. ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)

เทือกเขาหิมาลัยเกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian Plate) และแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ด้วยอัตราการเคลื่อนตัวประมาณ 2 เซนติเมตร/ปี ซึ่งผลจากการเคลื่อนตัวชนกันของแผ่นเปลือกโลกดังกล่าว ทำให้เกิดรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก (the Main Central Thrust) บริเวณเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้ง และเกิดแรงสั่นสะเทือนที่รุนแรง เช่น เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2558 เวลา 11.56 น. ตามเวลามาตรฐานเนปาล เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.8 แมกนิจูด โดยมีจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวอยู่ห่างจากเมืองลัมซุง ประเทศเนปาล ไปทางตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 34 กิโลเมตร และมีระดับความลึกประมาณ 15 กิโลเมตร นับเป็นแผ่นดินไหวครั้งรุนแรงที่สำคัญที่สุดของประเทศเนปาล มีรายงานผู้เสียชีวิตจำนวนมากในประเทศเนปาล และพื้นที่ใกล้เคียงของประเทศอินเดีย จีน และบังกลาเทศ จากเหตุการณ์ดังกล่าวยังส่งผลให้สิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ถูกทำลาย

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตพบว่า ก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ในหลายเหตุการณ์ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวจะลดลงกว่าอัตราการเกิดแผ่นดินไหวปกติหรือเรียกว่า ภาวะเงียบสงบ (seismic quiescence) (Wyss และ Habermann, 1988) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสามารถใช้เป็นสัญญาณบอกเหตุ (precursor) ในการพยากรณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตได้ (Sobolev, 1995) ทำให้มีการนำค่าความผิดปกติ (anomalies) ของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวทั้งในกรณีที่มีค่าลดลง ที่เรียกว่า ภาวะเงียบสงบ และกรณีที่มีค่าเพิ่มขึ้นที่เรียกว่า ภาวะกระตุ้น (seismic activation) มาใช้ในการประเมิน โดยค่าความผิดปกติของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวประเมินได้จากแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length Algorithm)

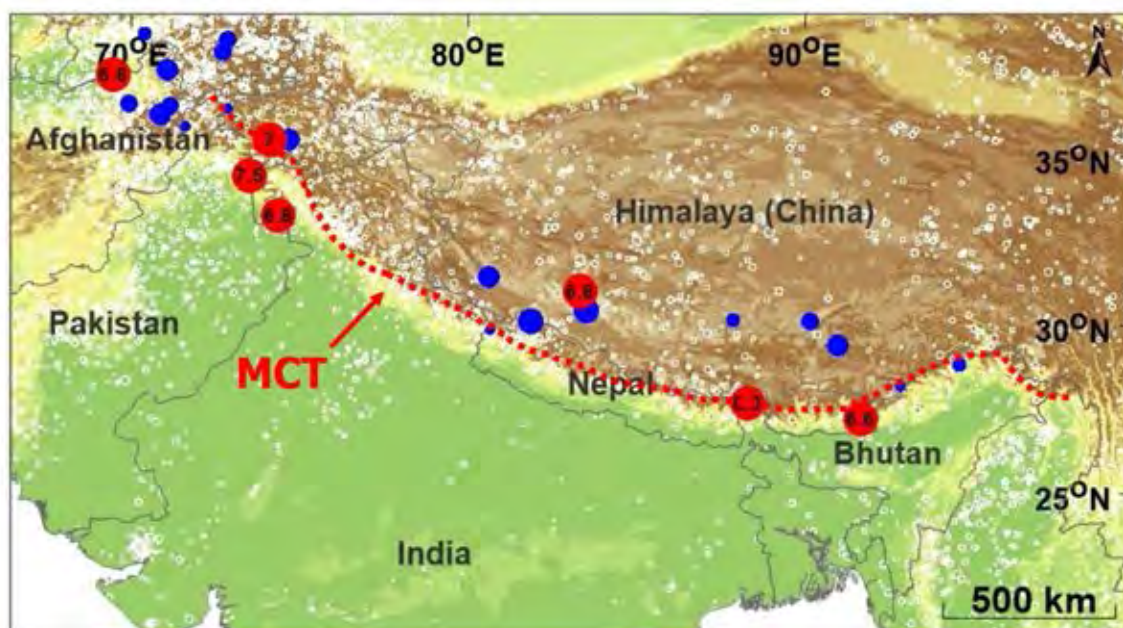
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต บริเวณพื้นที่ของเขตมุดตัวหลักตอนกลาง เทือกเขาหิมาลัยจากการวิเคราะห์โดยระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ซึ่งเป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูงมากบริเวณหนึ่งของโลก

1.2. วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อศึกษาพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคต ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย ด้วยระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน

1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

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



รูป 1.1. แผนที่พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย (Pailoplee, accepted)

1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

วิเคราะห์ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ตามรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake record)

1.5. ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Output)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของภาวะเสียบสงบในบริเวณรอยเลื่อนย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัย จากระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (RTL Algorithm)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(THEORY AND LITERATURE REVIEW)

2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)

Sobolev (1995) จำลองการเกิดแผ่นดินไหว โดยทดลองกดอัดแท่งหินและใช้อุปกรณ์ในการวัดพลังงานเสียงจากการปริแตกของหิน ซึ่งผลการทดลองบ่งชี้ว่าเมื่อเริ่มบีบอัดหิน จะเริ่มมีสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการปริแตกขนาดเล็กของแท่งหิน และเมื่อบีบอัดด้วยแรงที่เพิ่มขึ้น สัญญาณเสียงจะเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ก่อนที่แท่งหิน จะเกิดการแตกหักและเปลี่ยนรูปร่างไป ซึ่งจากการทดลองสรุปว่า ก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จะมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวอย่างมีนัยสำคัญ เรียกว่า ภาวะสงบเงียบ (seismic quiescence) และหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว เรียกว่า ภาวะกระตุ้น (seismic activation) ตามมา

Sobolev และ Tyupkin (1997) พัฒนาระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนขึ้น หลังจาก Sobolev (1995) ทดลองกดอัดแท่งหิน ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (Huang, 2004) โดยคำนึงถึงตัวแปรระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 ตัวแปรดังนี้ พื้นที่ เวลา และความยาวรอยเลื่อน ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (2.1)-(2.3) โดยกำหนดให้

$$R(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (2.1)}$$

$$T(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (2.2)}$$

$$L(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{l_i}{l_0}\right) \right] - L_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (2.3)}$$

จากสมการ (2.1)-(2.3) สามารถอธิบายตัวแปรในแต่ละฟังก์ชันได้ดังนี้

R คือ ฟังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา

T คือ ฟังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่จะพิจารณา

L คือ ฟังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน

ri คือ ระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่พิจารณาถึงจุดศึกษา

ti คือ เวลาของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง

li คือ ความยาวของรอยเลื่อน

t คือ ช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณา

ro, to คือ ค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จากการเปรียบเทียบในพื้นที่ศึกษา

n คือ จำนวนเหตุการณ์

Rbg, Tbg, Lbg คือ แนวโน้มของ R, T, L ตามลำดับ

โดยค่า li หาได้จากสมการของ Wells และ Coppersmith (1994) ดังสมการ (2.4)

$$\log(SRL) = a + b * M \quad \text{สมการ (2.4)}$$

ซึ่งตัวแปร M คือ ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) โดยที่สมการที่ได้ในแต่ละพื้นที่จะมีค่าที่ไม่เท่ากันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพื้นที่

จากที่ได้กล่าววิธีข้างต้นมาสามารถ แสดงค่าความผิดปกติของทั้งภาวะเจ็บสงบและภาวะกระตุ้นก่อนที่สัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในเวลาต่อมาได้ (Huang, 2004) โดยที่ภาวะเจ็บสงบ และภาวะกระตุ้นมีสมการ ดังนี้

ภาวะเจ็บสงบ หรือ Q-parameter

$$Q(x, y, z, t_1, t_2) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m RTL(x, y, z, t_i) \quad \text{สมการ (2.5)}$$

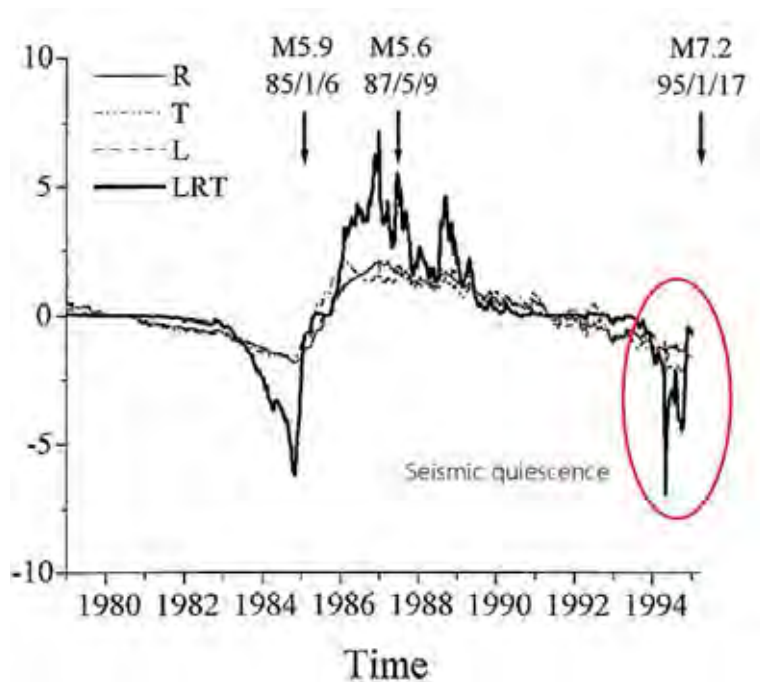
ภาวะกระตุ้น หรือ S-parameter

$$S_{eff} = \frac{1}{\Delta T} \sum_i \frac{S_i}{S_{ref}} = \frac{1}{\Delta T} \sum_i 10^{(M_i - M_{ref})} \quad \text{สมการ (2.6)}$$

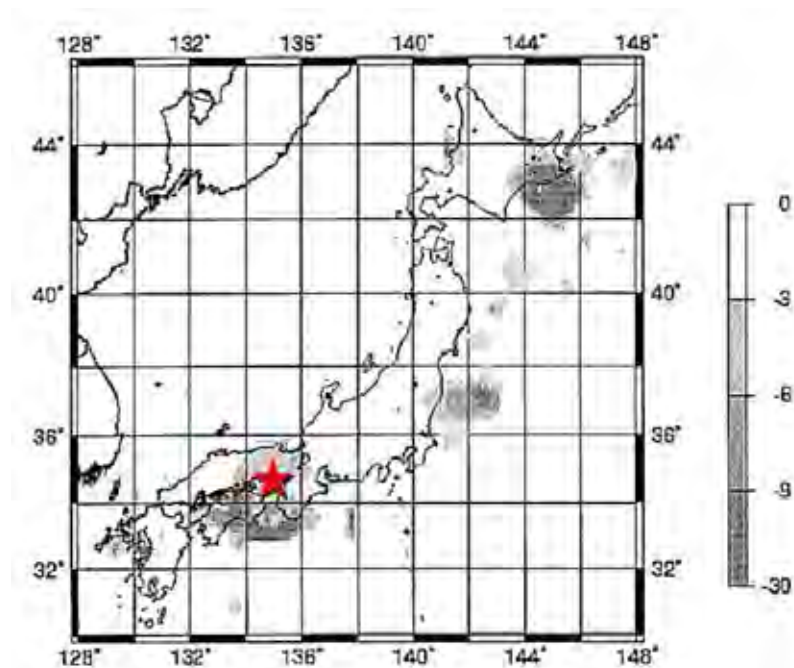
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

Huang และคณะ (2001) อธิบายระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ว่าเป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่งที่น่าข้อมูลขนาดแผ่นดินไหว เวลาและสถานที่ที่เกิดแผ่นดินไหว มาประยุกต์ใช้กับการสำรวจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของผิวเปลือกโลกก่อนการเกิดแผ่นดินไหวที่เมืองโกเบ (Kobe) ประเทศญี่ปุ่น ขนาด 7.2 แมกนิจูด เมื่อปี ค.ศ. 1995 ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีการเกิดภาวะเจ็บสงบขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1993 จนถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1994 และเริ่มเข้าสู่ช่วงภาวะกระตุ้นนาน 8 เดือนที่บริเวณรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.2 แมกนิจูด ซึ่งจะแสดงดังรูป 2.1. และรูป 2.2. จึงสรุปผลได้ว่าระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน

สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ได้



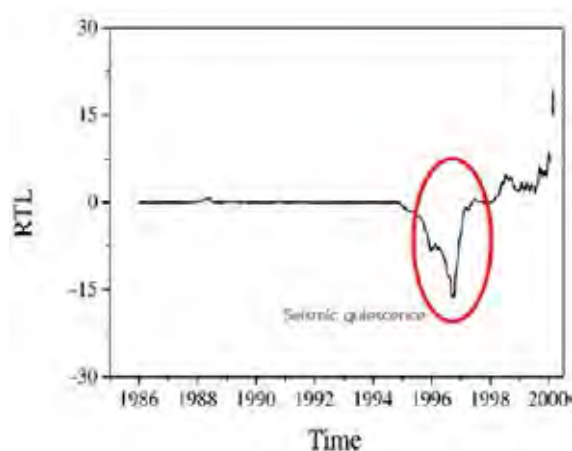
รูป 2.1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)



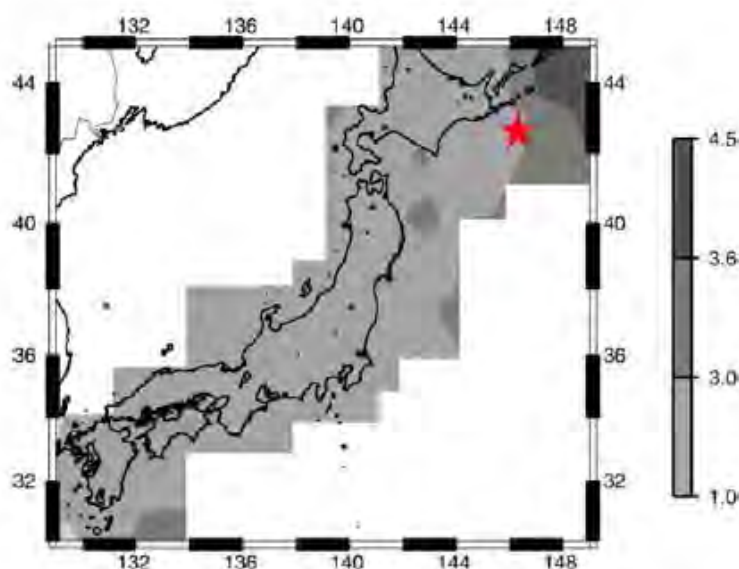
รูป 2.2. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)

Huang และ Sobolev (2002) ประยุกต์ใช้ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนกับฐานข้อมูลแผ่นดินไหว JMA เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณอ่าวเนมุโระ (Nemuro Peninsula earthquake) ทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจากการศึกษาพบภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวเริ่มเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1995 และค่า RTL ลดลงต่ำสุดในเดือน ตุลาคม ค.ศ. 1996 ในบริเวณนอกชายฝั่งตะวันออกของเกาะฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งแสดงดังรูป 2.3. และรูป 2.4.

ต่อมาในช่วงต้นปี ค.ศ. 1997 จึงเกิดภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหวนานประมาณ 8 เดือน ในบริเวณเดียวกันกับที่เคยเกิดภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหว และหลังจากนั้นอีกประมาณ 4 ปี จึงเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.8 แมกนิจูด ในบริเวณที่เคยตรวจพบค่าความผิดปกติดังกล่าวในเดือนมกราคม ค.ศ. 2000

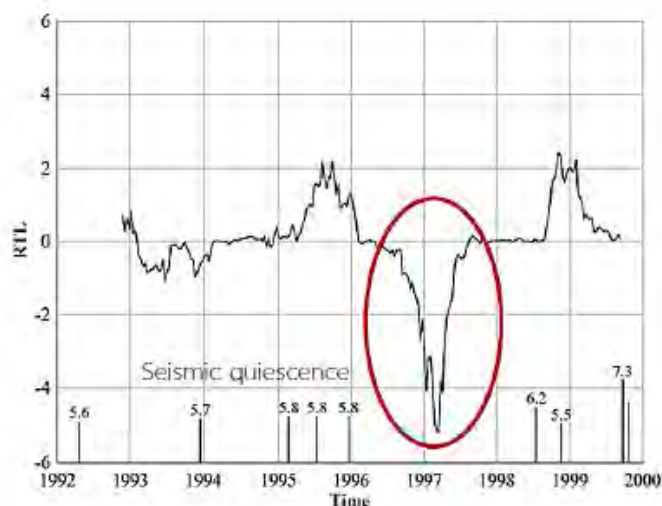


รูป 2.3. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2000 (Huang และ Sobolev, 2002)

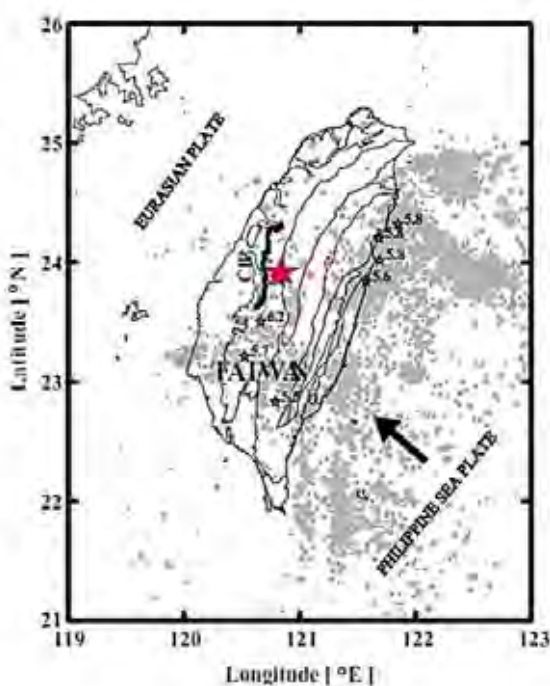


รูป 2.4. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 2000 (Huang และ Sobolev, 2002)

Chen และ Wu (2006) พบว่าระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนนั้นสามารถตรวจจับสภาวะเงียบสงบและสภาวะกระตุ้นก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.6 แมกนิจูด ที่เมืองซีซี (Chi-Chi) ประเทศไต้หวันได้ โดยจากการศึกษาพบว่าสภาวะเงียบสงบแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในพื้นที่เมื่อ ค.ศ. 1996 ตามด้วย สภาวะกระตุ้นเมื่อปี ค.ศ. 1997 ดังแสดงในรูป 2.5. และรูป 2.6. ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้นในเดือนกันยายน ปี ค.ศ. 1999 ซึ่งถือว่าเป็นแผ่นดินไหวใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดบนเกาะไต้หวันในศตวรรษที่ 20

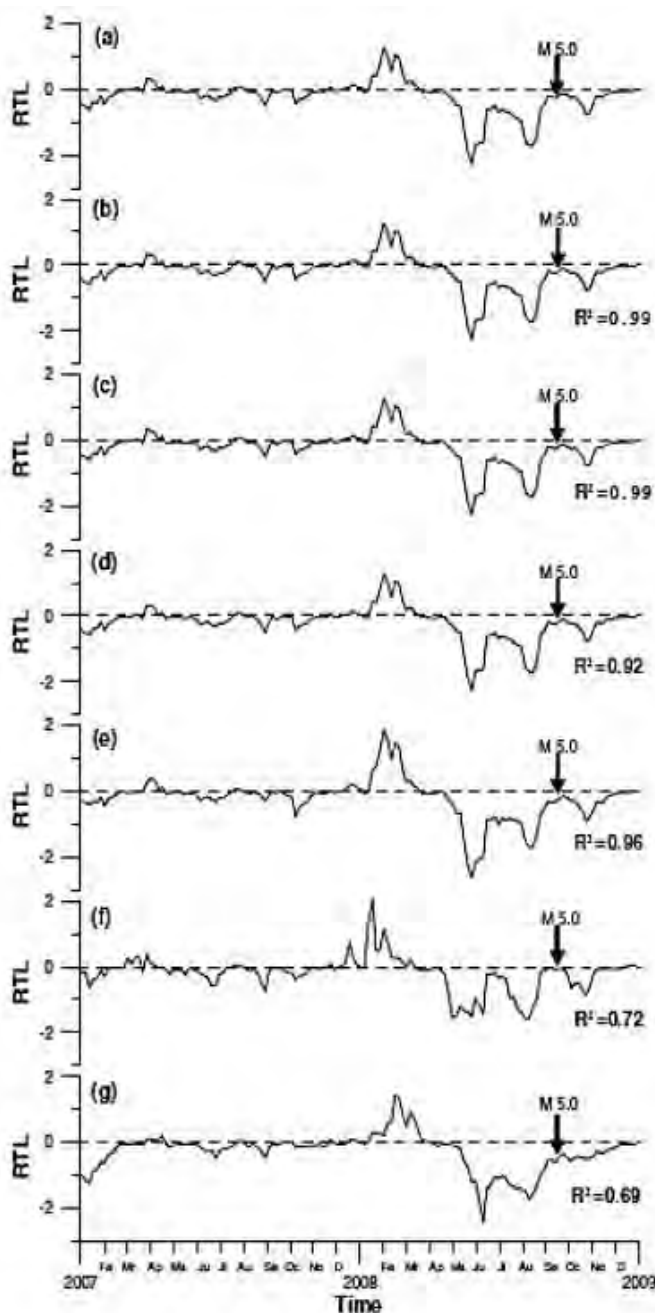


รูป 2.5. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1999 (Chen และ Wu, 2006)

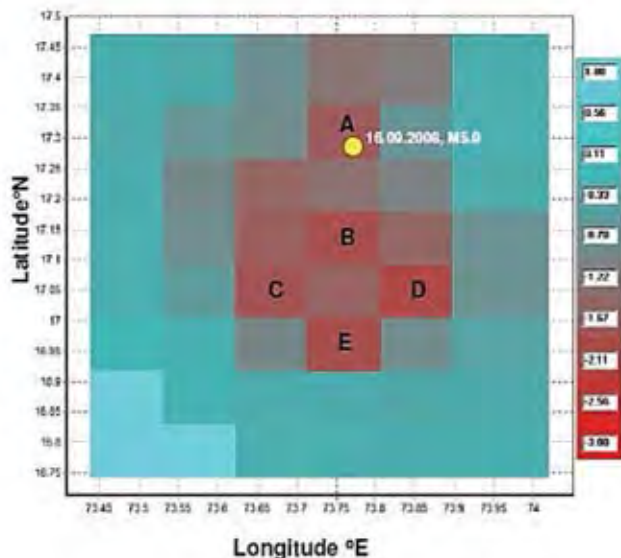


รูป 2.6. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 1999 (Chen และ Wu, 2006)

Shashidhar และคณะ (2010) ประยุกต์ใช้ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมแผ่นดินไหวทางตะวันตกของประเทศไทย ซึ่งพบว่าการเกิดแผ่นดินไหว ขนาด 5.0 แมกนิจูดนั้น จะสามารถพบได้กับลักษณะของภาวะเงียบสงบและภาวะกระตุ้นได้ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูป 2.7. และรูป 2.8. ดังนั้น จึงได้สรุปและนำเสนอว่า นอกจากการประเมินพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (มากกว่า 6.0 แมกนิจูด) แล้วระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนยังสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวระดับปานกลาง (5.0-6.0 แมกนิจูด) ได้เช่นกัน

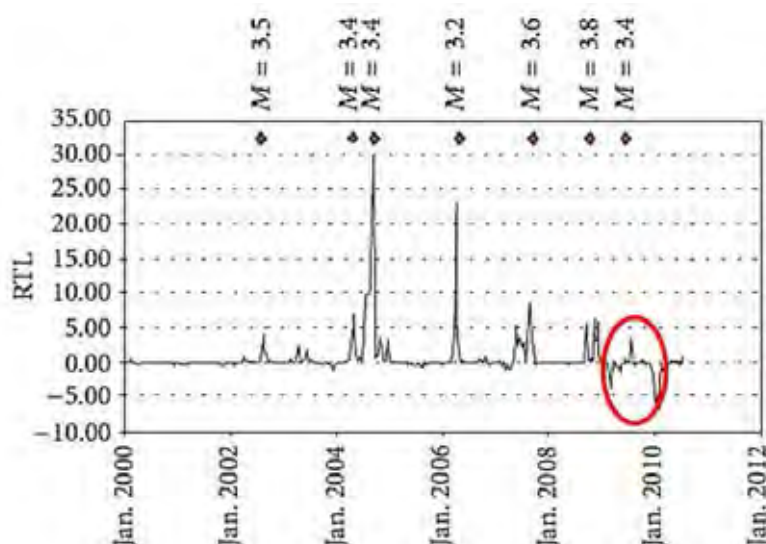


รูป 2.7. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)

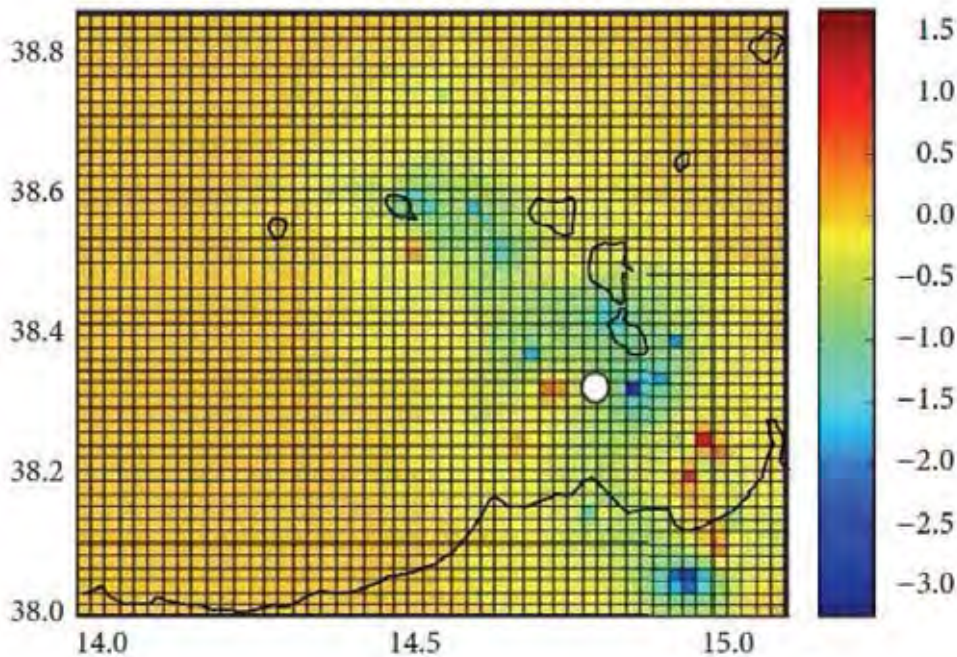


รูป 2.8. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)

Gambino และคณะ (2014) ประยุกต์ใช้ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน มาวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มเกาะเอโอเลียน ทางตอนใต้ของภูเขาไฟในทะเลไทรเรเนียน ประเทศอิตาลี ซึ่งพบว่า เกิดภาวะเงียบสงบในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2552 ก่อนจะมีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 4.8 แมกนิจูด ขึ้นในวันที่ 16 สิงหาคม 2553 ซึ่งจะแสดงดังรูป 2.9. และรูป 2.10. จึงสรุปผลได้ว่าระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวระดับปานกลาง



รูป 2.9. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)



รูป 2.10. แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)

2.3. ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้ได้จัดแบ่งระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูป 2.11.

1. ศึกษางานวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
 - 1.1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งทางทฤษฎีและพื้นที่ศึกษา
 - 1.2. รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาที่ได้มีการบันทึกข้อมูลไว้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Centre (ISC)
 - 1.3. เตรียมโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูล คือ RTL_20000Array และ Golden Software Surfer 11
2. คัดเลือกและปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
 - 2.1. รวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue combination)
 - 2.2. ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (earthquake magnitude conversion)
 - 2.3. คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (earthquake declustering)
 - 2.4. คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (magnitude of completeness)
3. นำข้อมูลแผ่นดินไหวที่คัดเลือกและปรับปรุงแล้ว มากำหนดและประเมินตัวแปรของลักษณะเฉพาะในพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์
 - 3.1. กำหนดรัศมีในการพิจารณาข้อมูลในตำแหน่งวิเคราะห์ใด ๆ (space window)

- 3.2. กำหนดกรอบเวลาการเลือกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการวิเคราะห์ใด ๆ (time window)
- 3.3. ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแปรที่กำหนดจากข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก
4. วิเคราะห์ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ในแต่ละพื้นที่ย่อยและในแต่ละช่วงเวลา
 - 4.1. วิเคราะห์หาค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากข้อมูลแผ่นดินไหวหลักและตัวแปรเฉพาะที่เหมาะสมในพื้นที่
5. นำข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน มาแสดงผลของข้อมูลในรูปแบบแผนที่พื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต ด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 11
6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา
7. นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์



รูป 2.11. แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 3

การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS)

การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดกรองฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเฉพาะช่วงข้อมูลที่สื่อถึงพฤติกรรมธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activities) ของพื้นที่ศึกษาอย่างแท้จริง ซึ่งในทางแผ่นดินไหววิทยาเชิงสถิติ (statistical seismology) ในการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ

3.1. การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาที่จะนำมาวิเคราะห์ สามารถรวบรวมคัดลอกได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ทางอินเทอร์เน็ต โดยที่งานวิจัยนี้จะรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาจากอินเทอร์เน็ตได้โดยการกำหนดขอบเขตลองจิจูด ละติจูดของพื้นที่ศึกษา ช่วงของขนาดแผ่นดินไหว และช่วงระยะเวลาที่ต้องการศึกษา

เมื่อได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต้องการแล้ว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาจัดเรียงเป็นฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยเรียงตามลำดับตั้งนี้ลองจิจูด ละติจูด ปี เดือน วัน ขนาดของแผ่นดินไหวในหน่วยต่างๆ ความลึก ชั่วโมง นาที และวินาที ดังแสดงในตาราง 3.1.

ตาราง 3.1. ตารางแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue)

ลองจิจูด	ละติจูด	ความลึก	ปี	เดือน	วัน	ชั่วโมง	นาที	m_b	M_s
76.79	32.64	20	1905	4	4	0	49	-	7.8
69.26	36.16	12.1	1980	5	1	1	33	-	4.8
71.14	40.93	22	1984	2	15	21	57	-	5.1
73.19	36.94	15.6	1990	3	14	17	39	-	4.6
82.21	41.87	13	2011	5	22	10	52	4.7	4.0
92.71	22.42	20.8	2012	12	13	10	5	4.1	3
83.18	30.59	35	2013	1	11	6	58	3.2	-
71.32	38.09	10	2013	1	11	23	3	3.6	2.8

3.1.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The International Seismological Center (ISC) เป็นอีกหนึ่งฐานข้อมูลที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงาน USGS โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งฐานข้อมูล ISC เกิดจากการนำฐานข้อมูล NEIC มาคำนวณใหม่อีกครั้ง (International Seismological Centre, 2001) เพื่อความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล ตลอดจนรายงานข้อมูลในเชิงลึกอื่นๆ ที่อาจจำเป็นต่อการวิจัยในเชิงลึกด้านแผ่นดินไหววิทยา โดยบางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นล่าสุด ฐานข้อมูล ISC จะยังไม่มีกรรายงาน แต่ถือว่าโดยภาพรวมของข้อมูลจะมีความถูกต้องมากกว่าฐานข้อมูล NEIC

3.1.2. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)

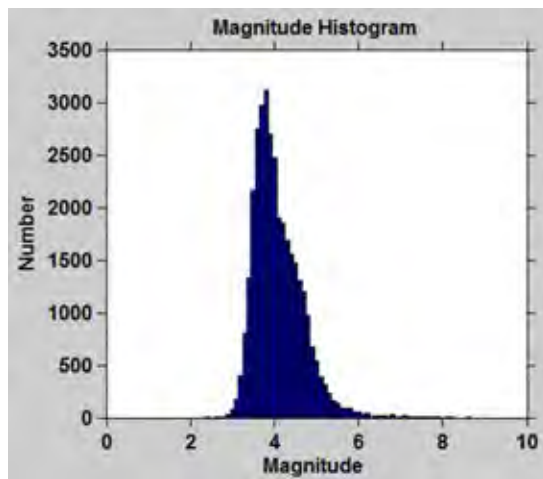
ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว The National Earthquake Information (NEIC) นั้นจัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1940 ซึ่งอยู่ในการกำกับดูแลของกรมทรัพยากรธรณี สหรัฐอเมริกา (U.S. Geological Survey, USGS) โดยเป็นเครือข่ายตรวจวัดแบบอัตโนมัติ และสามารถรายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้อย่างทันทีทันใดหลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบ้างเล็กน้อยจากกระบวนการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอื่น ๆ ฐานข้อมูล NEIC ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุด ณ ปัจจุบัน

3.1.3. ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

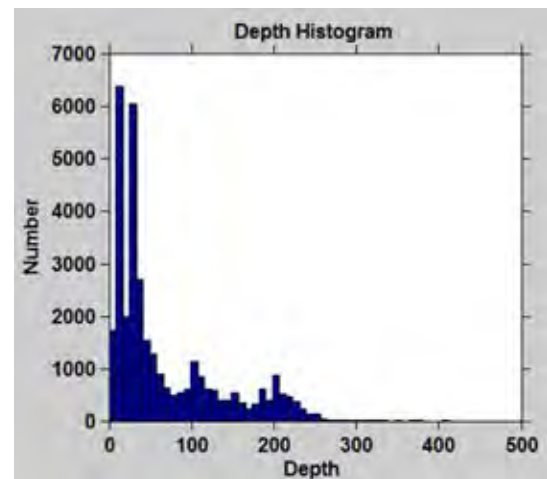
เนื่องจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละเครือข่ายการตรวจวัดมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ถึงแม้เครือข่ายการตรวจวัดจากต่างประเทศนั้นมีระบบการจัดการที่ดี มีการตรวจวัดต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า แต่เนื่องจากเครือข่ายการตรวจวัดกระจายอยู่ทั่วโลกอย่างห่างๆ ทำให้ตรวจวัดได้เฉพาะขนาดแผ่นดินไหวระดับปานกลาง ($> 4.0-5.0 M_w$) ขึ้นไป แต่เครือข่ายการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยานั้นถึงแม้ว่าจะไม่มีการตรวจวัดอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องมากนักเมื่อเทียบกับเครือข่ายจากต่างประเทศแต่เนื่องจากการติดตั้งสถานีตรวจวัดที่หนาแน่นครอบคลุมประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านจึงทำให้เป็นเครือข่ายที่มีศักยภาพมากกว่าสำหรับแผ่นดินไหวขนาดเล็ก

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

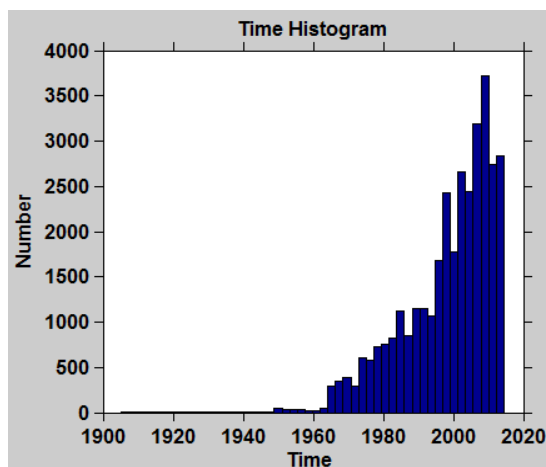
(ก) ขนาด-จำนวนแผ่นดินไหว



(ข) ความลึก (เมตร) - จำนวนแผ่นดินไหว



(ค) เวลา (ปี) - จำนวนแผ่นดินไหว



รูป 3.1. แสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลรวมกับ (ก) ขนาดแผ่นดินไหว (ข) ความลึก และ (ค) ช่วงปี

3.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

ข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจะมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยหน่วยที่แตกต่างกันไป ได้แก่ ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (body-wave magnitude; m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (surface-wave magnitude; M_s) ซึ่งจะนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปใช้ในการวิเคราะห์ได้นั้น ต้องปรับเปลี่ยนเป็นข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวที่อยู่ในมาตรวัดมาตรฐานเดียวกัน โดยแต่ละหน่วยขนาดแผ่นดินไหวนั้นอ้างอิงมาจากสมมติฐานและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันไป แต่สำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวหน่วยเดียวกันคือ ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (body-wave magnitude; m_b)

การปรับเทียบหรือการแปลงข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวสามารถทำได้โดยการปรับข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ให้มีหน่วยมาตรฐานเดียวกันคือ ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก

(body-wave magnitude; m_b) จากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)

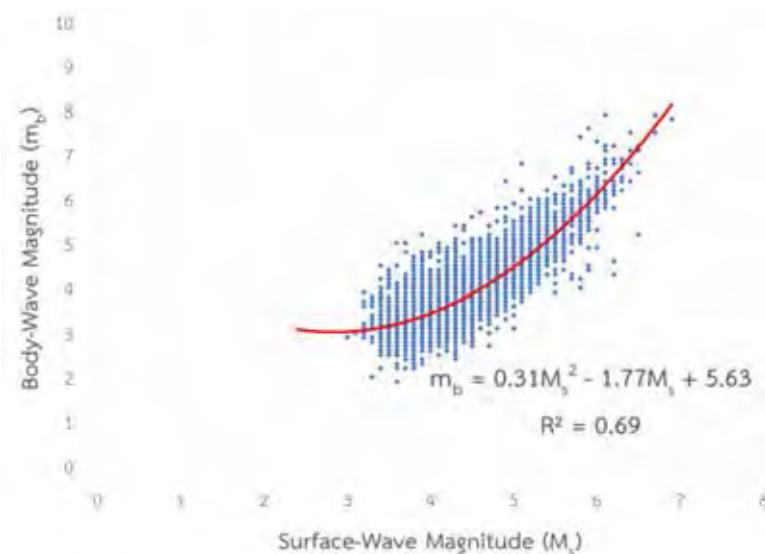
โดยเริ่มจากการนำข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) มาสร้างเป็นกราฟในแกนแนวตั้งหรือแกน y ส่วนขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) มาสร้างเป็นกราฟในแกนแนวนอนหรือแกน x หลังจากนั้นก็สร้างเส้นแนวโน้มในรูปแบบของสมการ polynomial จึงได้สมการความสัมพันธ์ที่ต้องการ ข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิตินั้นจำเป็นต้องมีความแม่นยำและถูกต้องมากที่สุด จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแปลงข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในหน่วยมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวเดียวกัน โดยหน่วยมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่สามารถพบได้ทั่วไปมีดังนี้

1) m_b (body-wave magnitude) ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้สองแบบคือ คลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) มาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวหน่วย m_b จะวัดขนาดของแผ่นดินไหวโดยอาศัยความสูงของแอมพลิจูดคลื่นปฐมภูมิ ซึ่งจะเหมาะกับการวัดขนาดแผ่นดินไหวในระดับลึก

2) M_s (surface-wave magnitude) จะเหมาะสำหรับการวัดขนาดแผ่นดินไหวในบริเวณกว้าง (regional scale) โดยจะอาศัยการวัดความสูงของแอมพลิจูดคลื่นผิวโลก เพราะว่าการวัดขนาดแผ่นดินไหวระยะไกลจะสามารถตรวจวัดคลื่นผิวโลกได้ดีกว่าคลื่นชนิดอื่น

3.2.1. ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของ ISC ทำให้ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ดังแสดงในรูป 3.2.



รูป 3.2. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)

สมการความสัมพันธ์ในการใช้แปลงจากขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ไปเป็นขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) เป็นดังแสดงในสมการ (3.1)

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

เมื่อได้สมการความสัมพันธ์แล้ว ปรับเทียบฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่สมบูรณ์ และถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

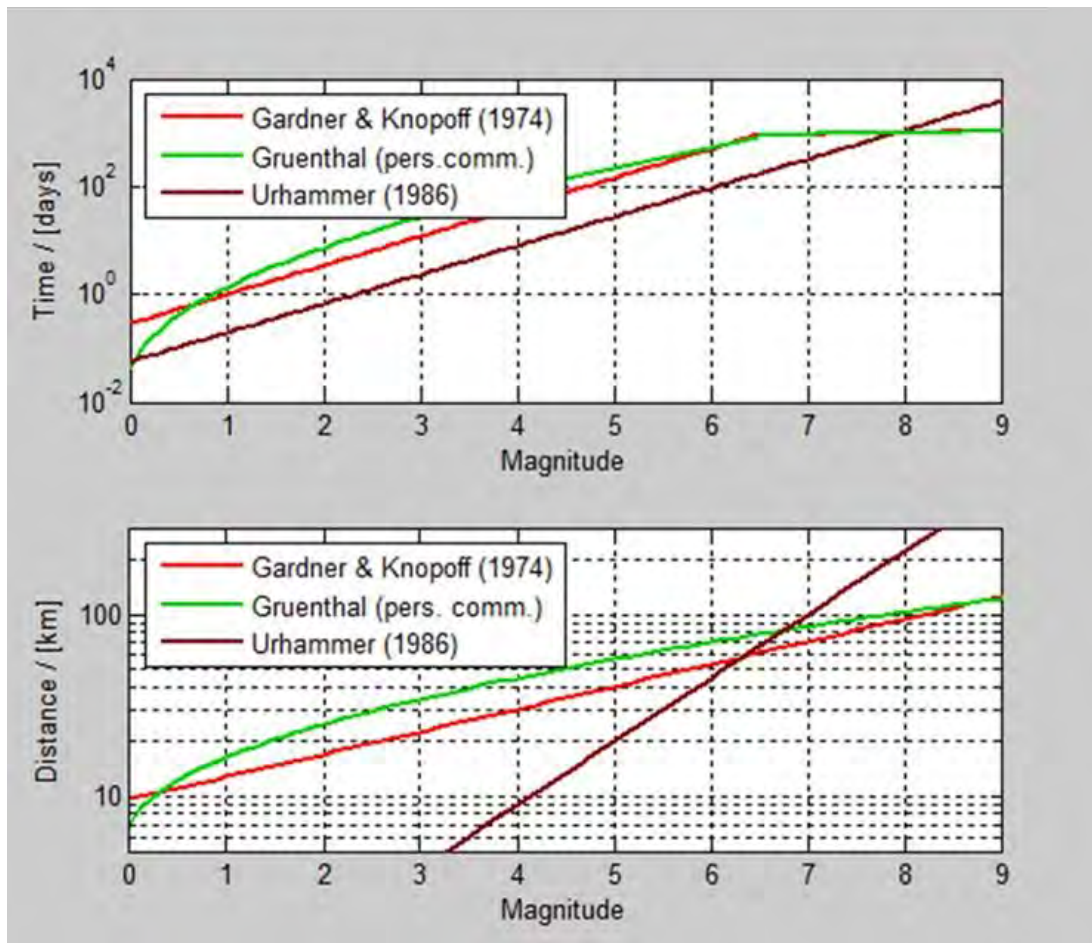
3.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกในฐานข้อมูลแต่ละฐานประกอบด้วย 3 ประเภท คือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock) แผ่นดินไหวหลัก (mainshock) และแผ่นดินไหวตาม (aftershock) ซึ่งในการวิเคราะห์เชิงสถิตินี้ ฐานข้อมูลที่จะนำมาใช้จะต้องเลือกเพียงแค่แผ่นดินไหวหลัก เนื่องจากแผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (stress) ที่มาจากการเปลี่ยนแปลงธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activity) โดยตรง แต่แผ่นดินไหวนำเกิดจากการเตรียมพร้อมก่อนการเกิดแผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตามเกิดจากแรงเครียด (strain) ซึ่งเกิดมาจากการกระบวนกรการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนในบริเวณเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหลัก

ดังนั้นหากต้องการเหตุการณ์ที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวโดยแท้จริงที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐาน จะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก แต่จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการบันทึกทั้งแผ่นดินไหวนำ แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม ดังนั้นขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวนี้จึงมีขึ้นเพื่อตัดแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตามออกไป โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่าง

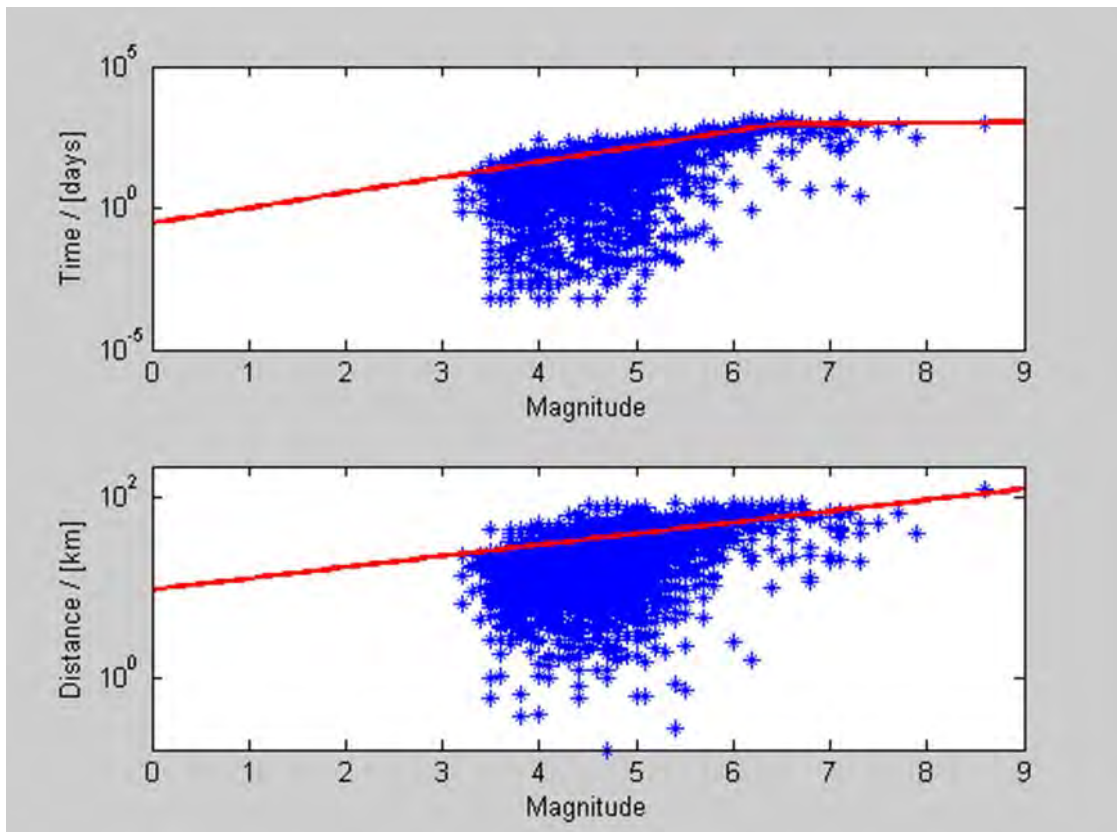
1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

โดยวิธีการคัดเลือกแผ่นดินไหวถูกนำเสนอด้วยกัน 3 แนวคิด ได้แก่ Gardner และ Knopoff (1974) Grunenthal และ Urhammer (1986) ดังแสดงในรูป 3.3. ซึ่งในโครงการนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยมีใจความสำคัญของแนวคิดว่าหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือจะครอบคลุมเพียงพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามนั้นก็สั้น ในทางตรงกันข้ามการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้น ระยะเวลาของการปรับตัวของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้น เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวมีพื้นที่กว้างขึ้น จึงต้องใช้เวลาในการปรับให้เข้าสู่สมดุลเป็นเวลานานมากขึ้นนั่นเอง



รูป 3.3. หลักการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตาม ตามสมมติฐานของ 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 ดังแสดงในรูป 3.4. ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามที่ต้องกำจัดออก

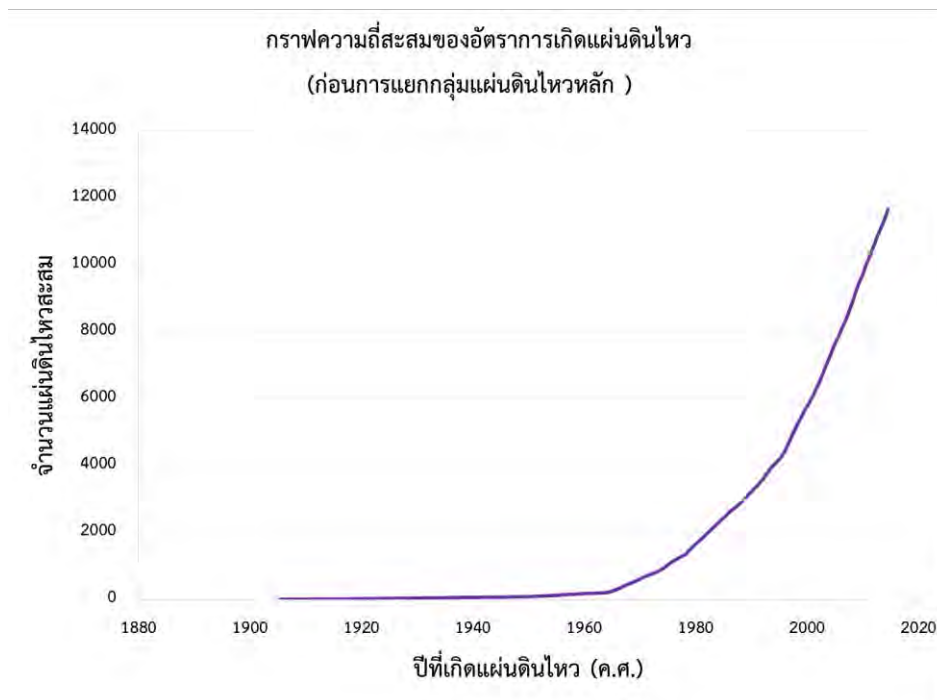


รูป 3.4. แสดงผลของการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งเส้นสีแดงแสดงถึงกรอบของเวลา (ด้านบน) และกรอบของระยะทาง (ด้านล่าง) โดยข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นสีแดง คือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

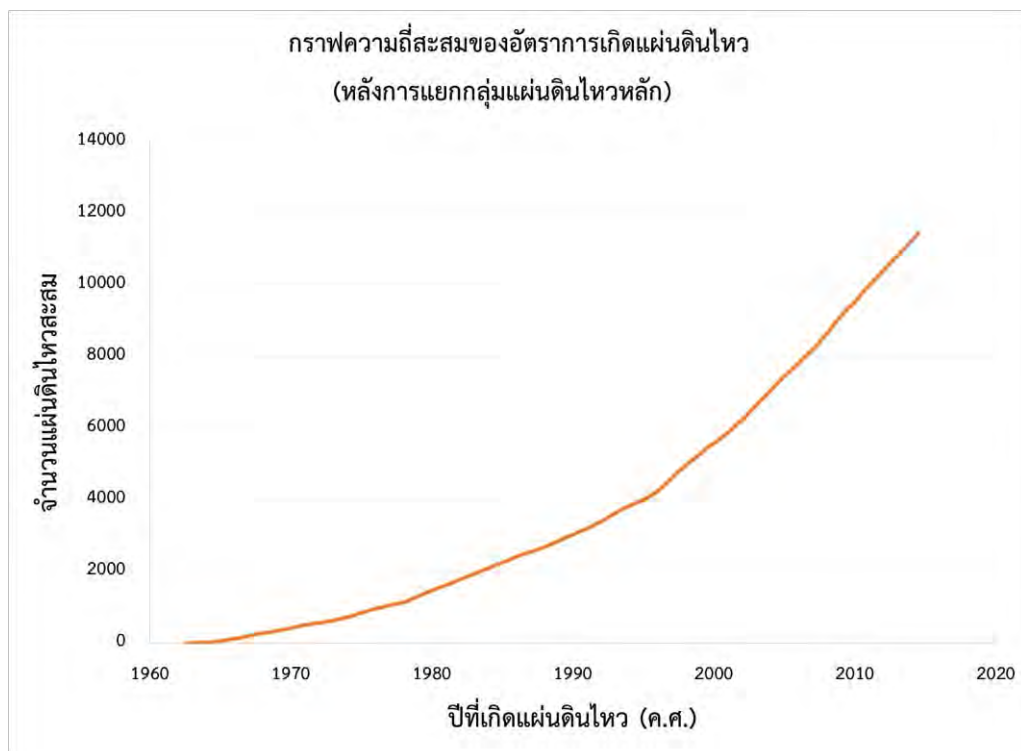
ผลจากการจัดกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) พบว่าสามารถจัดกลุ่มของแผ่นดินไหวให้อยู่ในกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกัน (earthquake cluster) ได้ 3,695 กลุ่มแผ่นดินไหว และจากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวนั้นประกอบด้วยข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ เป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม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

จากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักแล้ว ผู้จัดทำได้นำข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ทั้งก่อนและหลังจากการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (cumulative number of earthquake) และช่วงเวลาในแต่ละปี ดังแสดงในรูป 3.5. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในส่วนของการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก จำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลจะมีจำนวนข้อมูลทั้งแผ่นดินไหวนำ และแผ่นดินไหวตามมาเกี่ยวข้องด้วย จึงทำให้ลักษณะของกราฟไม่เป็นเส้นตรง ในขณะที่กราฟของฐานข้อมูลที่มีการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวแล้วจะมีลักษณะที่ค่อนข้างเป็นเส้นตรงมากขึ้น แต่ก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงที่สมบูรณ์

เนื่องจากมีปัจจัยด้านอื่นที่ทำให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้ ยังไม่ได้สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง ดังแสดงในรูป 3.6.



รูป 3.5. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมก่อนการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

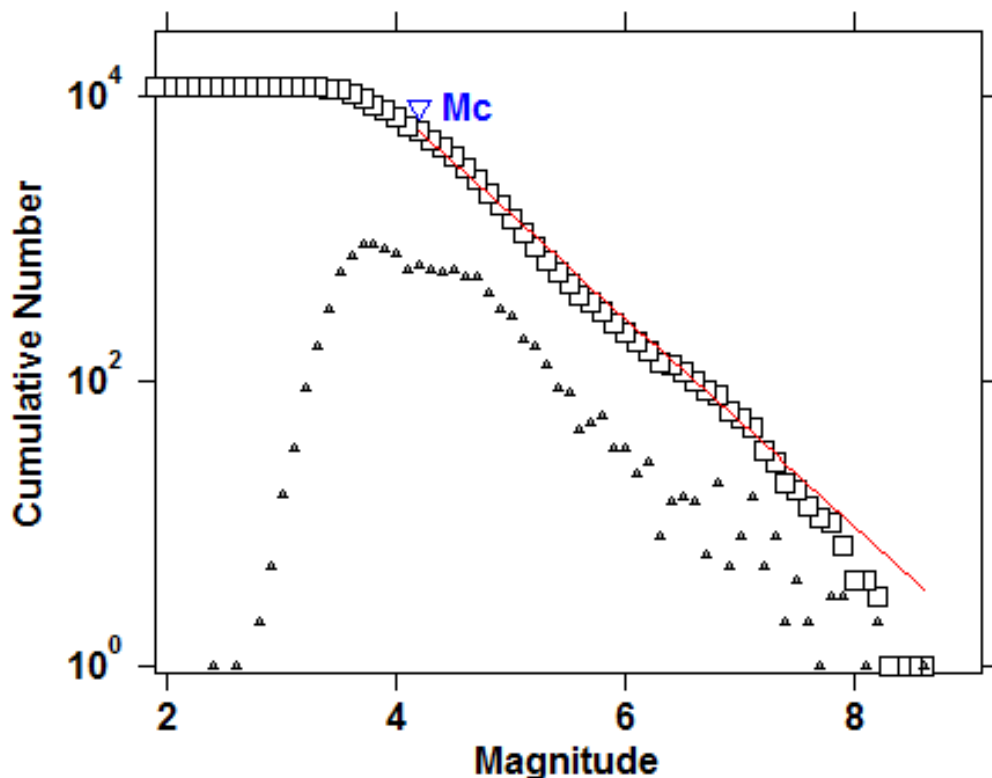


รูป 3.6. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

3.4. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

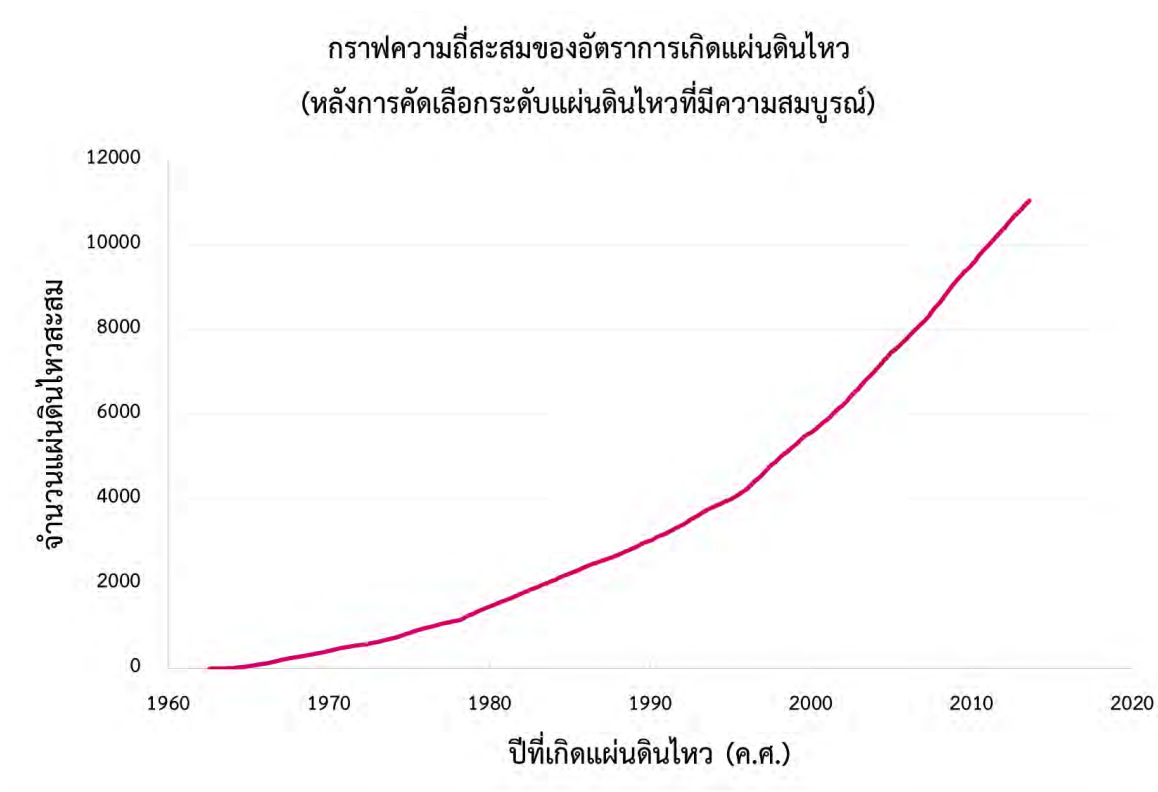
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และขนาดของแผ่นดินไหว ดังรูป 3.7. แสดงให้เห็นว่า ช่วงที่ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าน้อยกว่าค่า M_c จะมีลักษณะของเส้นกราฟไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ทำให้ทราบว่า เป็นผลอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหว เนื่องจากความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว รวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวด้วย เช่น แผ่นดินไหวขนาดเล็ก ซึ่งจะมีบางส่วนของแรงสั่นสะเทือนที่เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวไม่สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลแผ่นดินไหวได้ แม้จะเกิดแผ่นดินไหวขึ้นจริงก็ตาม

จากเหตุนี้เองจึงทำให้มีการกำหนดค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ โดยเรียกว่า magnitude of completeness (M_c) (Woessner และ Wiemer, 2005) ซึ่งค่า M_c หมายถึง ระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายตรวจวัดสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า M_c บางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ เพราะฉะนั้น การกำหนดค่า M_c ให้ถูกต้อง จึงเป็นผลที่ดีที่จะนำฐานข้อมูลไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูป 3.7. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและความถี่ โดยที่มีขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์คือ $M_c = 4.2$

หากพิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวกับปีที่เกิดแผ่นดินไหว หลังผ่านกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแล้วจะพบว่า กราฟมีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นจนเกือบจะเป็นเส้นตรงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนที่จะได้รับการปรับปรุงหรือข้อมูลที่ยังอยู่ในกระบวนการปรับปรุงขั้นตอนก่อนหน้า แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้หลังจากปรับปรุงแล้วจะมีความใกล้เคียงกับการเกิดแผ่นดินไหวตามธรรมชาติที่มีอัตราการเกิดแบบคงที่ ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลที่มีคุณภาพเหมาะแก่การนำไปวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูป 3.8.

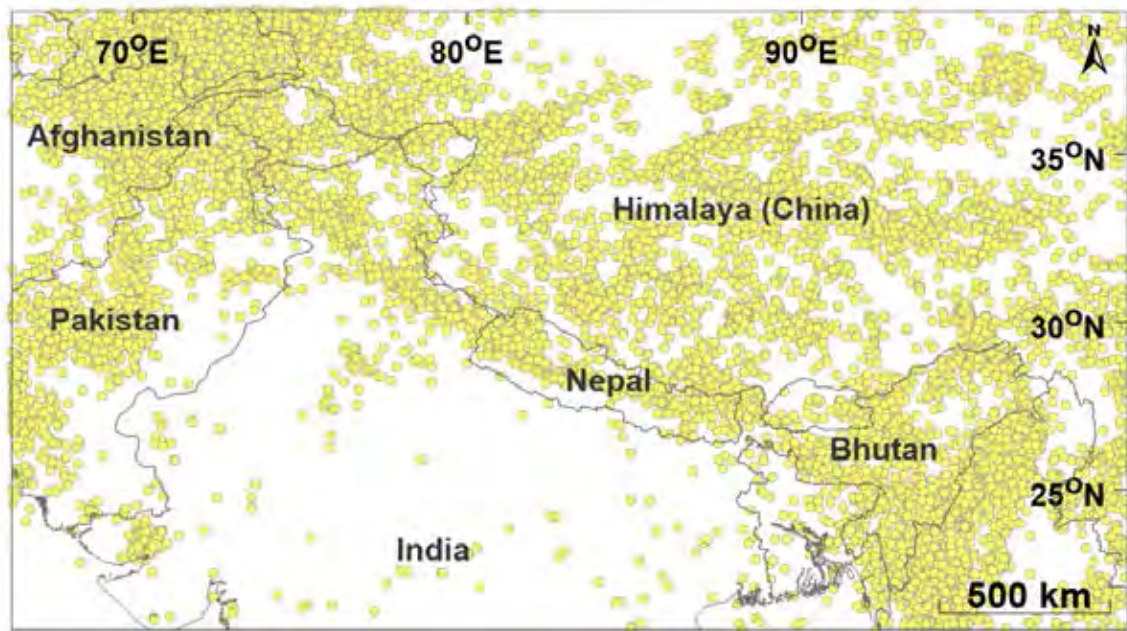


รูป 3.8. แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสะสมหลังจากการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

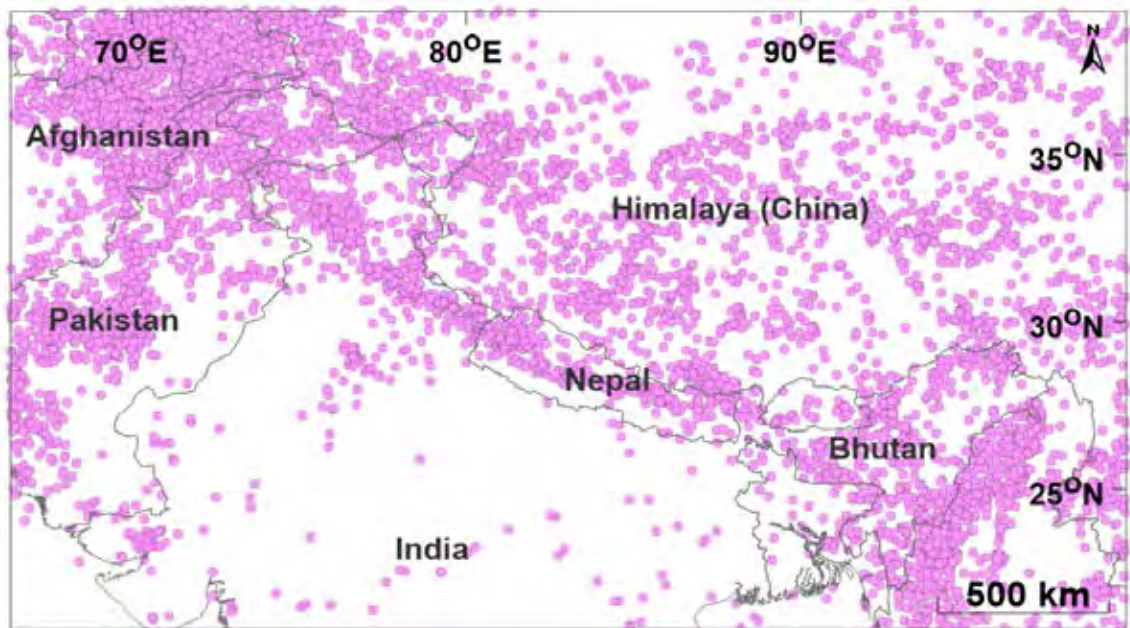
จากกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวมา ทำให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ ถูกต้อง และสื่อถึงพฤติกรรมธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activities) ของพื้นที่ศึกษาอย่างแท้จริง

โดยก่อนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว จะพบว่าข้อมูลมีจำนวนมากและกระจายตัวทั่วพื้นที่ศึกษา ดังรูป 3.9. (ก) และเมื่อทำการคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์แล้วพบว่าข้อมูลมีจำนวนลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ยังมีกระจายตัวทั่วพื้นที่เช่นเดิมดังรูป 3.9. (ข)

(ก) ก่อนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว



(ข) หลังการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว



รูป 3.9. แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงฐานข้อมูล

บทที่ 4

ผลการศึกษา

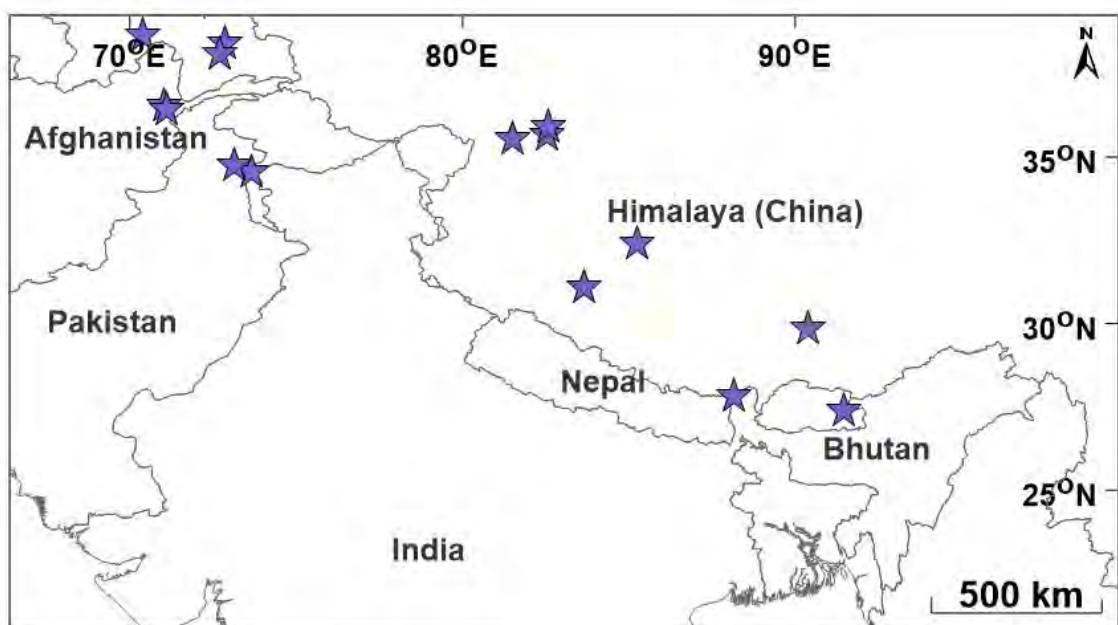
(RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

วิธีการหาตัวแปรที่นำมาใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ กรอบเวลาและจำนวนเหตุการณ์ในรัศมีว่าให้ผลที่แม่นยำในการทำนาย (forecast) หาพื้นที่เสี่ยง โดยการนำเงื่อนไขและตัวแปรต่าง ๆ ที่สนใจมาวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้งเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงก่อนการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีต ที่ได้ทำการคัดเลือกให้มาเป็นกรณีศึกษาจนครบทุกกรณีจนพบเงื่อนไขและตัวแปรที่ให้ผลแม่นยำที่สุดมาใช้ในการหาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตต่อไป

4.1.1. คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)

ขั้นแรกจะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษา ในโครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยให้ความสนใจกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 6.0 แมกนิจูดขึ้นไป เนื่องจากต้องการศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างแท้จริง ซึ่งมีกรณีศึกษาทั้งหมด 15 เหตุการณ์ ดังรูป 4.1. ซึ่งมีข้อมูลแต่ละเหตุการณ์ดังตาราง 4.1



รูป 4.1. แสดงการกระจายตัวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

ตาราง 4.1. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา

Event	Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Min
1	72.6874	38.0781	2005	2	25	6.0	106.8	23	4
2	73.1436	34.7198	2005	10	8	6.0	13.9	10	46
3	73.6400	34.5239	2005	10	8	6.7	7.9	3	50
4	71.1035	36.4059	2005	12	12	6.0	223.9	21	47
5	85.2551	32.4042	2008	1	9	6.2	27.7	8	26
6	81.5063	35.5493	2008	3	20	6.1	10.0	22	32
7	83.6521	31.0612	2008	8	25	6.0	25.5	13	22
8	90.3787	29.8445	2008	10	6	6.0	6.4	8	30
9	91.4597	27.3693	2009	9	21	6.0	16.1	8	53
10	71.0121	36.5187	2009	10	22	6.1	188.6	19	51
11	72.8467	38.4018	2011	1	24	6.0	101.9	2	45
12	88.1536	27.8039	2011	9	18	6.5	29.6	12	40
13	70.3729	38.6559	2012	5	12	6.0	13.1	23	28
14	82.5417	35.6526	2012	8	12	6.0	14.0	10	47
15	82.5807	35.8767	2014	2	12	6.5	4.1	9	19

4.1.2. การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of Condition)

การทดสอบย้อนกลับ เพื่อทำการหาค่าตัวแปร รัศมี (R_{max}) และกรอบเวลา (T_{max}) ที่เหมาะสม โดยหาจาก ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (RTL) โดยคำนึงถึงตัวแปรระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 ตัวแปรดังนี้ บริเวณ เวลา และความยาวรอยเลื่อน ซึ่งแสดงได้ตั้งสมการ (2.1) - (2.3) โดยกำหนดค่า R_{max} เริ่มตั้งแต่ 50-200 กิโลเมตร และขยับไปทุกๆ 10 กิโลเมตร ส่วนค่า T_{max} เริ่มตั้งแต่ 1.0-5.0 ปี และขยับไปทุกๆ 0.5 ปี ซึ่งจากการกำหนดค่าดังกล่าว ทำให้ได้เงื่อนไขของค่า R_{max} และค่า T_{max} หลากหลายกรณี แสดงตัวอย่างดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2. ตารางแสดงตัวอย่างเงื่อนไขค่า R_{max} และค่า T_{max} ในหลายกรณี

เงื่อนไข	R_{max} (กม.)	T_{max} (ปี)	จำนวนเหตุการณ์ที่พบ
1	50	1.0	3 เหตุการณ์
2	60	1.5	4 เหตุการณ์

3	70	2.0	11 เหตุการณ์
4	80	5.0	15 เหตุการณ์
5	90	1.0	10 เหตุการณ์
6	100	2.5	14 เหตุการณ์
7	110	4.0	6 เหตุการณ์
8	120	4.5	12 เหตุการณ์
9	130	5.0	13 เหตุการณ์
10	140	1.5	7 เหตุการณ์
11	150	2.0	10 เหตุการณ์
12	160	2.5	9 เหตุการณ์
13	170	3.0	12 เหตุการณ์
14	180	3.5	11 เหตุการณ์
15	190	4.0	7 เหตุการณ์
16	200	4.5	13 เหตุการณ์

จากเงื่อนไขของค่า R_{max} และค่า T_{max} หลากหลายกรณี ที่ยกตัวอย่างมาแสดงดังตาราง 4.2. ได้ทำการคัดเลือกเงื่อนไขมา 1 เงื่อนไข แสดงดังตาราง 4.3. โดยหลักการในการคัดเลือกคือ เลือกค่า R_{max} และค่า T_{max} ที่ไม่มากเกินไป ซึ่งจะต้องเป็นเงื่อนไขที่พบเหตุการณ์กรณีศึกษามากที่สุด พบว่า ค่า R_{max} ที่เลือกนั้นมีค่าเท่ากับ 80 กิโลเมตร และค่า T_{max} คือ 5.0 ปี ใช้เพื่อทำการทดสอบย้อนกลับ

ตาราง 4.3. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลเงื่อนไขที่สนใจ

เงื่อนไข	R_{max}	T_{max}	เหตุการณ์	Longitude	Latitude	Year	m_b	RTLtime	DETECTION	
									RTLmin	Time
			1	72.6874	38.0781	2005.15	6.0	2004.64	-0.21	0.5
			2	73.1436	34.7198	2005.77	6.0	2004.10	-1.00	1.7
			3	73.6400	34.5239	2005.77	6.7	2004.03	-1.00	1.7
			4	71.1035	36.4059	2005.95	6.0	2004.07	-0.66	1.9
			5	85.2551	32.4042	2008.02	6.2	2006.37	-0.77	1.7
			6	81.5063	35.5493	2008.22	6.1	2008.21	-0.82	0.0
4	80	5.0	7	83.6521	31.0612	2008.65	6.0	2004.53	-1.00	4.1

8	90.3787	29.8445	2008.76	6.0	2008.44	-0.85	0.3
9	91.4597	27.3693	2009.72	6.0	2004.49	-1.00	5.2
10	71.0121	36.5187	2009.81	6.1	2004.07	-0.64	5.7
11	72.8467	38.4018	2011.07	6.0	2005.14	-0.48	5.9
12	88.1536	27.8039	2011.72	6.5	2004.10	-0.57	7.6
13	70.3729	38.6559	2012.36	6.0	2004.03	-0.80	8.3
14	82.5417	35.6526	2012.61	6.0	2007.17	-0.69	5.4
15	82.5807	35.8767	2014.12	6.5	2006.02	-0.07	8.1

ค่า $R_{\max} = 80$ กิโลเมตร และค่า $T_{\max} = 5.0$ ปี ซึ่งเป็นค่า R_{\max} และค่า T_{\max} ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ความละเอียดในการตีวงรัศมีและเวลาที่พิจารณาในพื้นที่แสดงได้ละเอียด มาเป็นตัวแทนในการศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อไป โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 4 ดังตาราง 4.4.

ตาราง 4.4. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลเงื่อนไขที่สนใจ

R_{\max}	T_{\max}	ระยะห่างของการตีช่องกริดย่อย	จำนวนเหตุการณ์ที่พบ
80 กิโลเมตร	5.0 ปี	0.5 องศา x 0.5 องศา	15 เหตุการณ์

4.1.3. ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และค่า RTL

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมได้แก่เงื่อนไขที่ 4 ต้องนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงค่า RTL เชิงเวลา (Temporal) โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ปรับปรุงฐานข้อมูลแล้ว ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ต้นจนถึงข้อมูลก่อนถึงช่วงเวลาก่อนเกิดกรณีศึกษา ด้วยสมการ (2.1)-(2.3) เพื่อเป็นการพิจารณาค่า RTL และระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่านกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งแสดงค่า RTL และแกนนอนแสดงระยะเวลาปี โดยปรากฏผลการวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์

กรณีศึกษาที่ 1 พบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี 2004.64 มีค่า $RTL_{\min} = -0.21$ เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 0.5 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2005 ดังแสดงในรูป 4.2. (ก)

กรณีศึกษาที่ 2 พบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี 2004.10 มีค่า $RTL_{\min} = -1.0$ เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 1.7 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 8 ธันวาคม ค.ศ. 2005 ดังแสดงในรูป 4.2. (ข)

กรณีศึกษาที่ 3 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.03 มีค่า $RTL_{min} = -1.0$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 1.7 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.7 m_b ในวันที่ 8 ธันวาคม ค.ศ. 2005 ดังแสดงในรูป 4.2. (ค)

กรณีศึกษาที่ 4 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.07 มีค่า $RTL_{min} = -0.66$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 1.9 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 12 ธันวาคม ค.ศ. 2005 ดังแสดงในรูป 4.2. (ง)

กรณีศึกษาที่ 5 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2006.37 มีค่า $RTL_{min} = -0.77$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 1.7 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.2 m_b ในวันที่ 9 มกราคม ค.ศ. 2008 ดังแสดงในรูป 4.2. (จ)

กรณีศึกษาที่ 6 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2008.21 มีค่า $RTL_{min} = -0.82$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 0.0 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.1 m_b ในวันที่ 20 มีนาคม ค.ศ. 2008 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฉ)

กรณีศึกษาที่ 7 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.53 มีค่า $RTL_{min} = -1.0$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 4.1 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 25 สิงหาคม ค.ศ. 2008 ดังแสดงในรูป 4.2. (ช)

กรณีศึกษาที่ 8 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2008.44 มีค่า $RTL_{min} = -0.85$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 0.3 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 6 ตุลาคม ค.ศ. 2008 ดังแสดงในรูป 4.2. (ซ)

กรณีศึกษาที่ 9 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.49 มีค่า $RTL_{min} = -1.0$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 5.2 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 21 กันยายน ค.ศ. 2009 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฌ)

กรณีศึกษาที่ 10 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.07 มีค่า $RTL_{min} = -0.64$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 5.7 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 22 ตุลาคม ค.ศ. 2009 ดังแสดงในรูป 4.2. (ญ)

กรณีศึกษาที่ 11 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2005.14 มีค่า $RTL_{min} = -0.48$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 5.9 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 m_b ในวันที่ 24 กันยายน ค.ศ. 2011 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฎ)

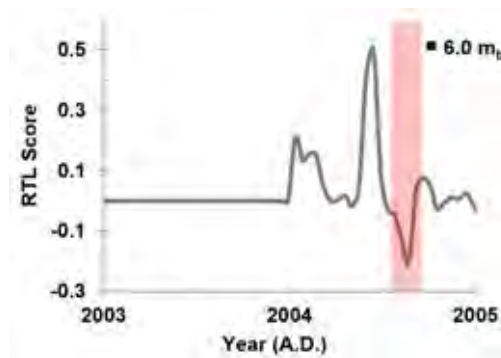
กรณีศึกษาที่ 12 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.10 มีค่า $RTL_{min} = -0.57$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 7.6 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.5 m_b ในวันที่ 18 กันยายน ค.ศ. 2011 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฏ)

กรณีศึกษาที่ 13 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2004.03 มีค่า $RTL_{min} = -0.8$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 8.3 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด $6.0 m_b$ ในวันที่ 12 พฤษภาคม ค.ศ. 2012 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฐ)

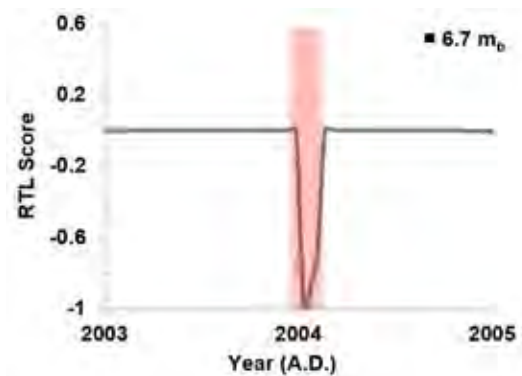
กรณีศึกษาที่ 14 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2007.17 มีค่า $RTL_{min} = -0.69$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 5.4 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด $6.0 m_b$ ในวันที่ 21 สิงหาคม ค.ศ. 2012 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฑ)

กรณีศึกษาที่ 15 พบภาวะเจ็บสงบตั้งแต่ปี 2006.02 มีค่า $RTL_{min} = -0.07$ เกิดภาวะเจ็บสงบเป็นเวลา 8.1 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด $6.5 m_b$ ในวันที่ 12 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2014 ดังแสดงในรูป 4.2. (ฒ)

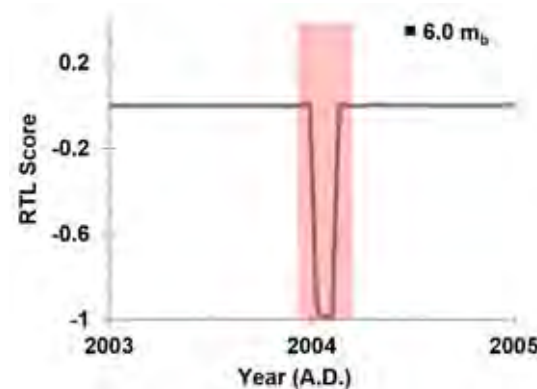
(ก) ขนาดแผ่นดินไหว : $6.0 m_b$
วัน/เดือน/ปี : 25/02/2005



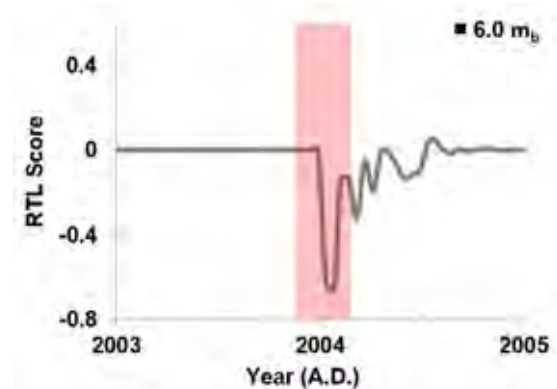
(ข) ขนาดแผ่นดินไหว : $6.7 m_b$
วัน/เดือน/ปี : 08/10/2005



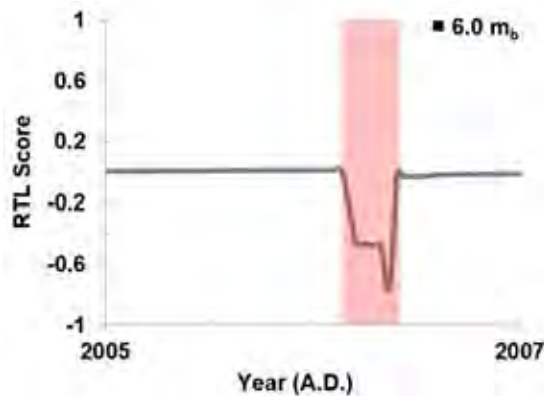
(ค) ขนาดแผ่นดินไหว : $6.0 m_b$
วัน/เดือน/ปี : 08/10/2005



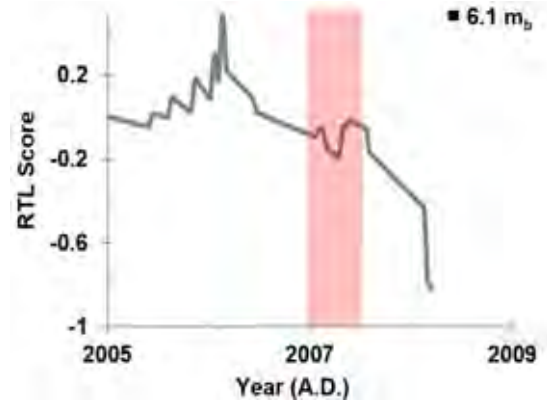
(ง) ขนาดแผ่นดินไหว : $6.0 m_b$
วัน/เดือน/ปี : 12/12/2005



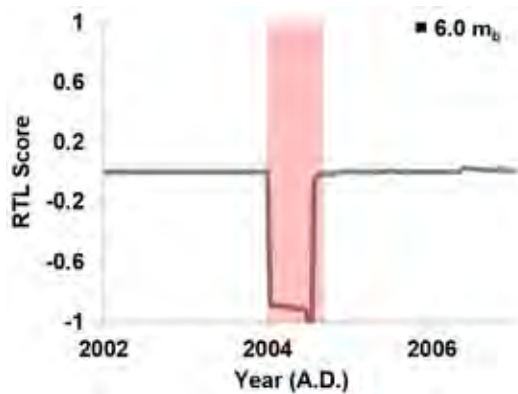
(จ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.2 m_b
วัน/เดือน/ปี : 09/01/2008



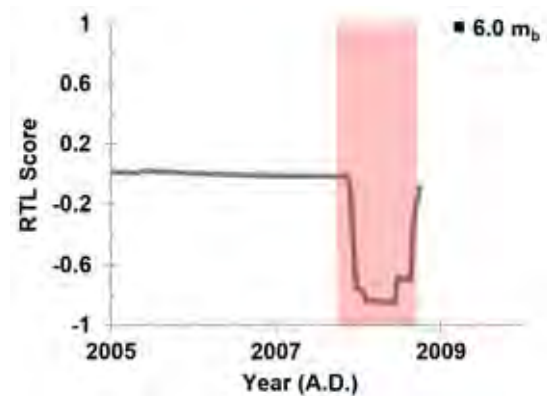
(ฉ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.1 m_b
วัน/เดือน/ปี : 20/03/2008



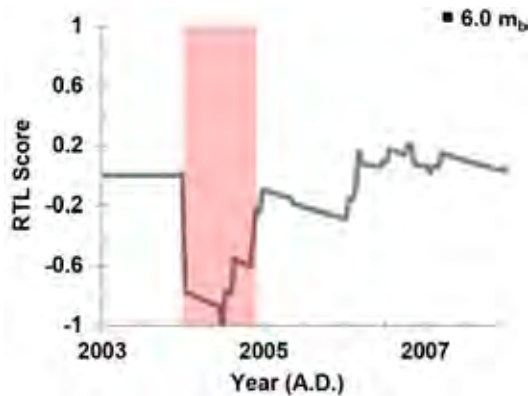
(ช) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0 m_b
วัน/เดือน/ปี : 25/08/2008



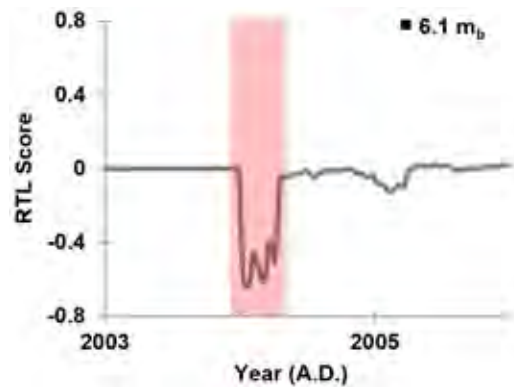
(ซ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0 m_b
วัน/เดือน/ปี : 06/10/2008



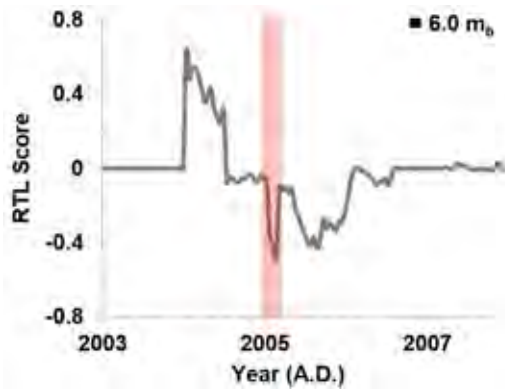
(ณ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0 m_b
วัน/เดือน/ปี : 21/09/2009



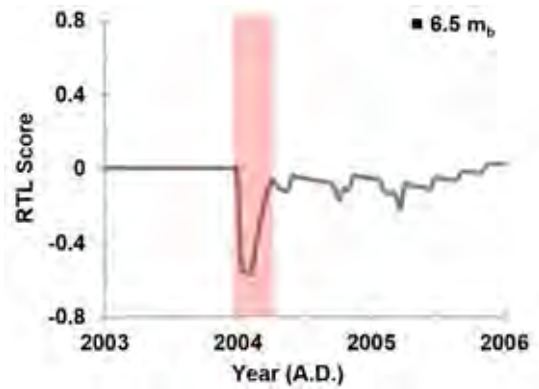
(ญ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.1 m_b
วัน/เดือน/ปี : 22/10/2009



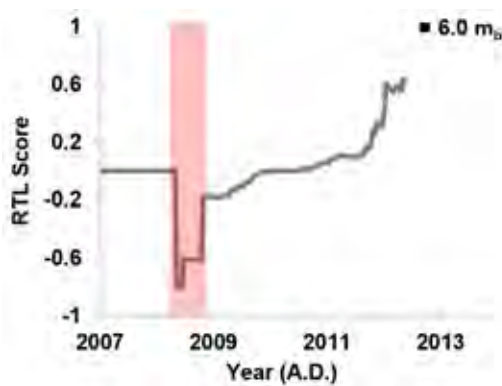
(ก) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0 m_b
วัน/เดือน/ปี : 24/01/2011



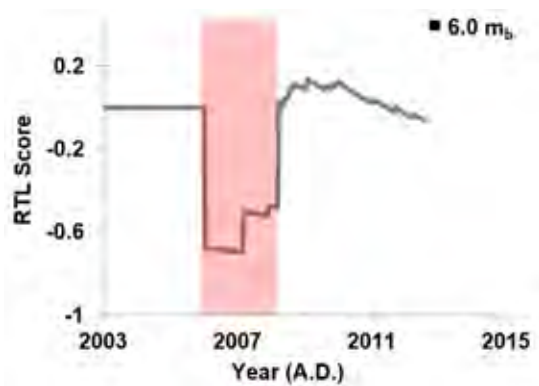
(ข) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.5 m_b
วัน/เดือน/ปี : 18/09/2011



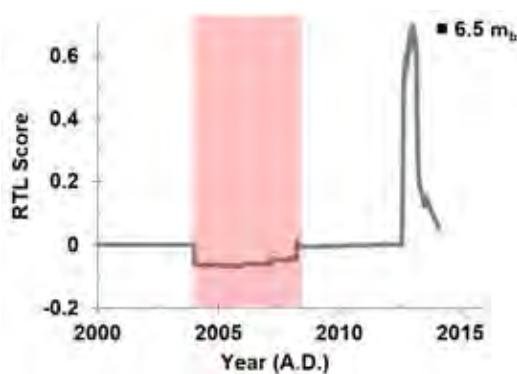
(ฐ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0 m_b
วัน/เดือน/ปี : 12/05/2012



(ท) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.0 m_b
วัน/เดือน/ปี : 12/08/2012



(ฒ) ขนาดแผ่นดินไหว : 6.5 m_b
วัน/เดือน/ปี : 12/02/2014



รูป 4.2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และช่วงเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา โดยส่วนংশสีแดงแสดงถึงช่วงภาวะเงียบสงบที่มีค่า RTL ต่ำสุดก่อนเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละกรณีศึกษาทั้ง 15 กรณี แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) – (ฒ) ย่อยตามลำดับ

4.1.4. ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL

(Spatial distribution of RTL-value)

หลังจากพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวจากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้นแล้ว ต้องเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ (Spatial) เพื่อหาตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติ หรือค่า RTL ต่ำสุด ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษา โดยนำมาทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL (Spatial distribution of RTL-value) ด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 11 ซึ่งต้องพิจารณาแผนที่ดังกล่าวในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาเพื่อหาเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะต้องแสดงค่าผิดปกติของค่า RTL อย่างชัดเจนสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง โดยหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของแผนที่ดังกล่าว พบว่ามีเหตุการณ์ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า RTL สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริงทุกกรณีศึกษา โดยแสดงตัวอย่างแผนที่การกระจายตัวของค่า RTL

กรณีศึกษาที่ 1 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.21 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณเล็ก ๆ ทางด้านทิศเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน 2 บริเวณ และบริเวณเล็ก ๆ ทางตอนใต้ของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูดในบริเวณทิศเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเจียบสงบ 0.5 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ก)

กรณีศึกษาที่ 2 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -1.0 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณใหญ่ทางตอนใต้ของประเทศอัฟกานิสถาน บริเวณใหญ่ทางด้านทิศเหนือของเทือกเขาหิมาลัย และบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูดในบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปากีสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเจียบสงบ 1.7 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ข)

กรณีศึกษาที่ 3 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -1.0 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณใหญ่ทางตอนใต้ของประเทศอัฟกานิสถาน บริเวณทางเหนือของเทือกเขาหิมาลัย และบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.7 แมกนิจูดในบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปากีสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเจียบสงบ 1.7 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ค)

กรณีศึกษาที่ 4 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.66 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ บริเวณใหญ่ทางตอนใต้ของประเทศอัฟกานิสถาน บริเวณทางเหนือของเทือกเขาหิมาลัย และบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหว

ขนาด 6.0 แมกนิจูดในบริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 1.9 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ง)

กรณีศึกษาที่ 5 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.77 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวในหลายบริเวณ เช่น บริเวณรอยต่อของประเทศจีนและประเทศอินเดีย และบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.2 แมกนิจูดในบริเวณเทือกเขาหิมาลัย ประเทศจีน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 1.7 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (จ)

กรณีศึกษาที่ 6 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.82 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวในหลายบริเวณใหญ่ ๆ เช่น บริเวณเทือกเขาหิมาลัยประเทศจีน และบริเวณตอนใต้ของปากีสถาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.1 แมกนิจูดในบริเวณแนวเทือกเขาหิมาลัย ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 0.0 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฉ)

กรณีศึกษาที่ 7 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -1.00 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของปากีสถาน และบริเวณทางตอนล่างของประเทศจีน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูดในบริเวณแนวเทือกเขาหิมาลัย ทางตอนล่างของประเทศจีน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 4.1 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ช)

กรณีศึกษาที่ 8 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.85 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณเล็ก ๆ ในประเทศอัฟกานิสถานและประเทศของปากีสถาน 2 บริเวณ และบริเวณเทือกเขาหิมาลัย ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูดในบริเวณแนวเทือกเขาหิมาลัย ทางตอนล่างของประเทศจีน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 0.3 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ซ)

กรณีศึกษาที่ 9 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -1.00 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ประเทศเนปาล และประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนิจูดบริเวณแนวเทือกเขาหิมาลัย ทางตอนล่างของประเทศจีน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 5.2 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฌ)

กรณีศึกษาที่ 10 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.64 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของปากีสถาน และบริเวณประเทศเนปาล และทางด้านตะวันออกของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหว

ขนาด 6.1 แมกนีจูตในบริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 5.7 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ญ)

กรณีศึกษาที่ 11 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.48 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของปากีสถาน และบริเวณรอยต่อระหว่างประเทศเนปาลและประเทศจีน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนีจูตในบริเวณทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 5.9 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฎ)

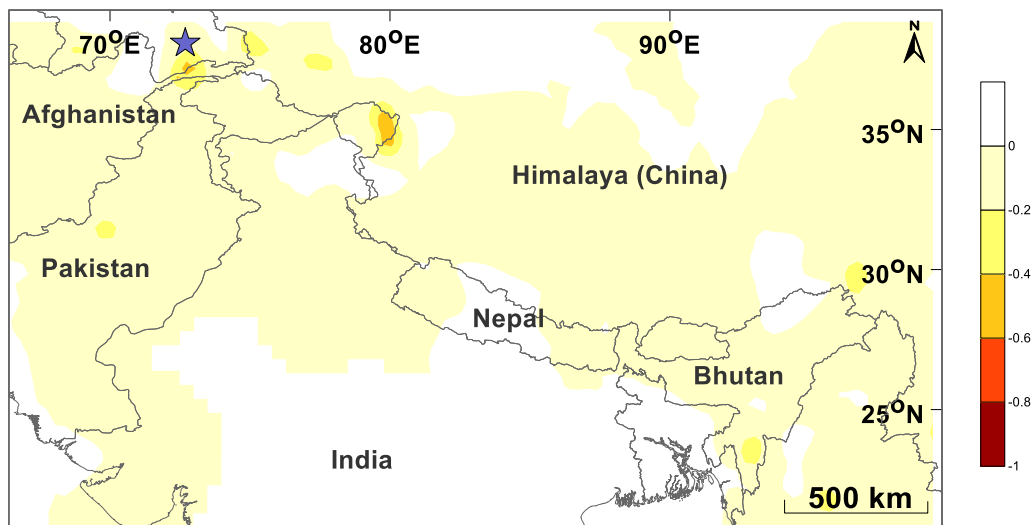
กรณีศึกษาที่ 12 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.57 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ตอนใต้ของประเทศปากีสถานและทางด้านตะวันออกของประเทศภูฏาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.5 แมกนีจูตในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศเนปาล ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 7.6 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฏ)

กรณีศึกษาที่ 13 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.80 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวในหลายบริเวณ ได้แก่ บริเวณเล็ก ๆ ในประเทศปากีสถาน และบริเวณเทือกเขาหิมาลัยกระจายอยู่ ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนีจูตในบริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอัฟกานิสถาน ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 8.3 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฐ)

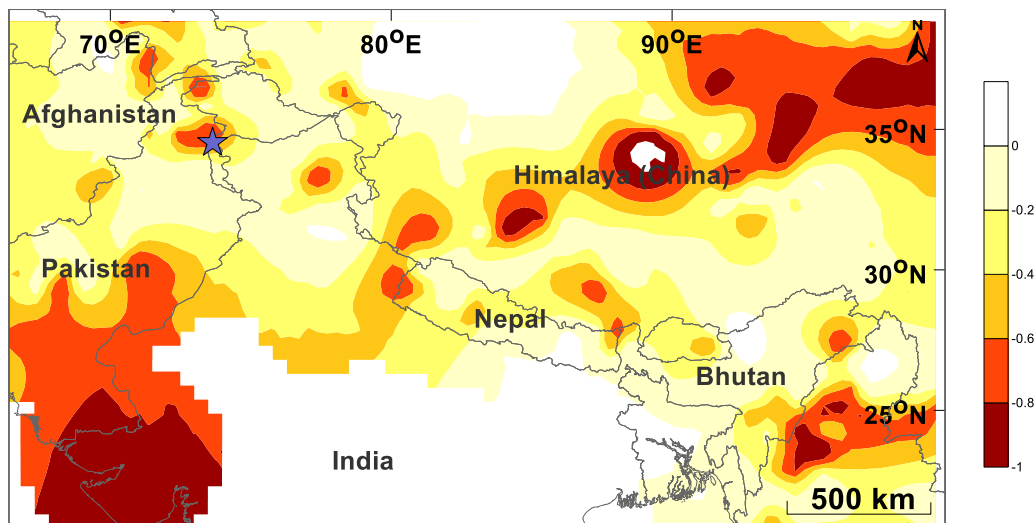
กรณีศึกษาที่ 14 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.69 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณตะวันออกของประเทศภูฏาน และบริเวณใหญ่ตอนกลางของแนวเทือกเขาหิมาลัย ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.0 แมกนีจูตในบริเวณตอนกลางของแนวเทือกเขาหิมาลัย ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 5.4 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฑ)

กรณีศึกษาที่ 15 จากแผนที่ด้านบนพบว่ามีค่า RTL ต่ำสุดเท่ากับ -0.07 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวในหลายบริเวณ เช่น บริเวณเล็กๆทางตอนกลางของแนวเทือกเขาหิมาลัย ประเทศจีน และบริเวณประเทศปากีสถาน ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.5 แมกนีจูตในบริเวณบริเวณตอนกลางของแนวเทือกเขาหิมาลัย ในตำแหน่งดาวสีน้ำเงิน มีภาวะเงียบสงบ 8.1 ปี ดังแสดงในรูป 4.3. (ฒ)

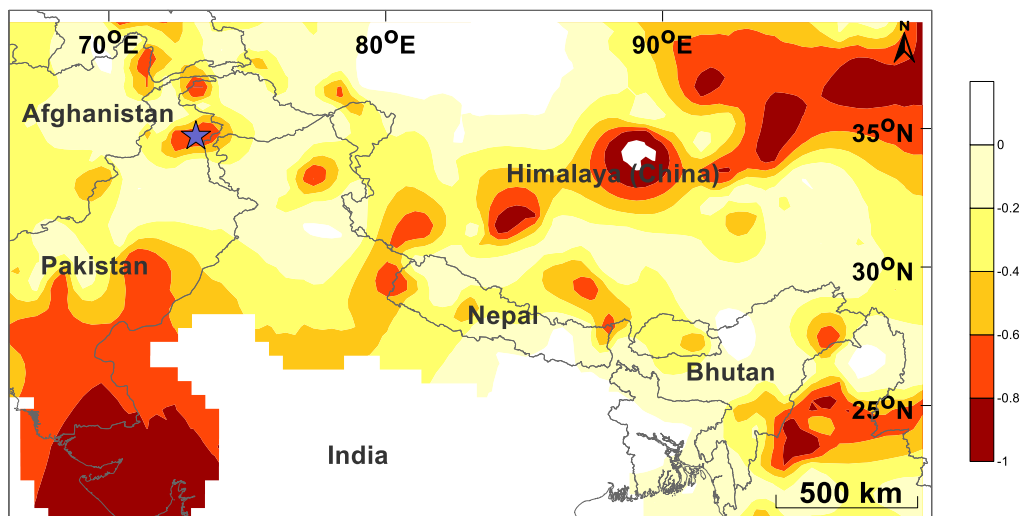
(ก) กรณีสึกษาที่ 1 วันที่ : 25/02/2005



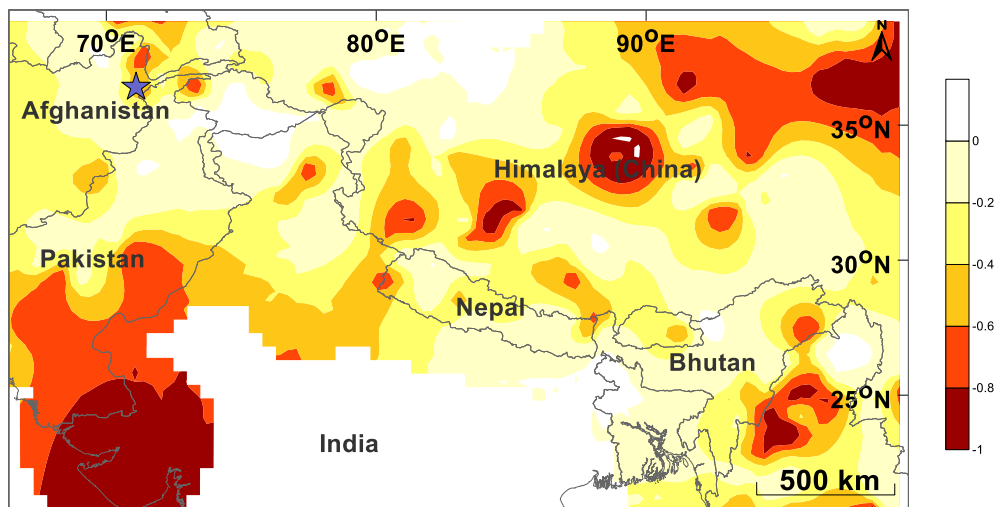
(ข) กรณีสึกษาที่ 2 วันที่ : 08/10/2005



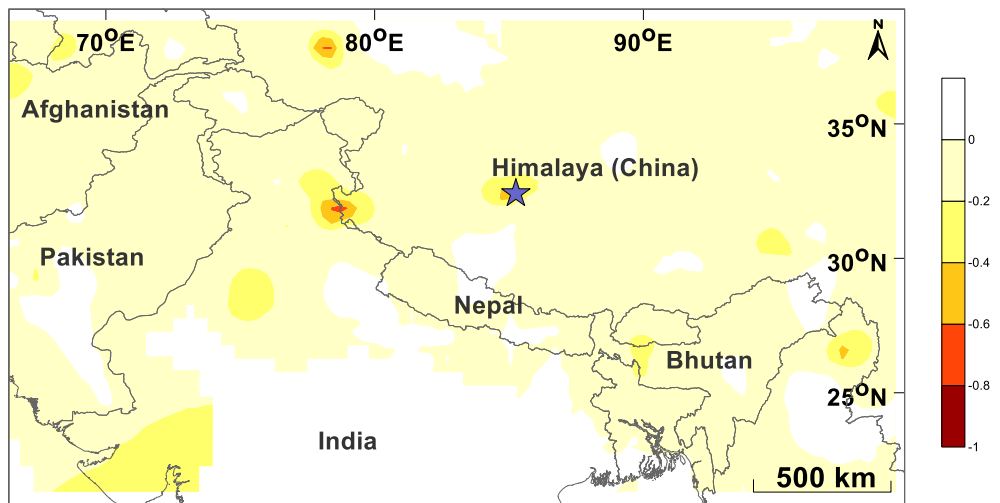
(ค) กรณีสึกษาที่ 3 วันที่ : 08/10/2005



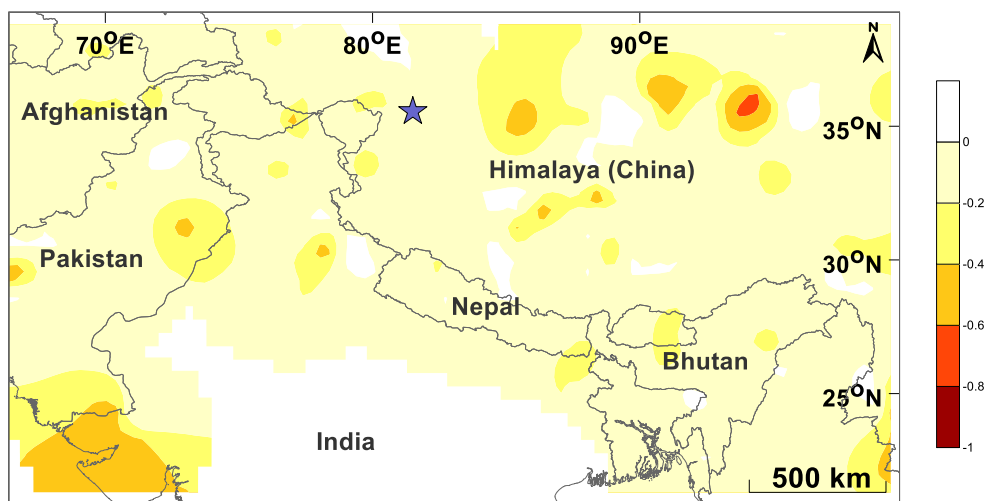
(ง) กรณีศึกษาที่ 4 วันที่ : 12/12/2005



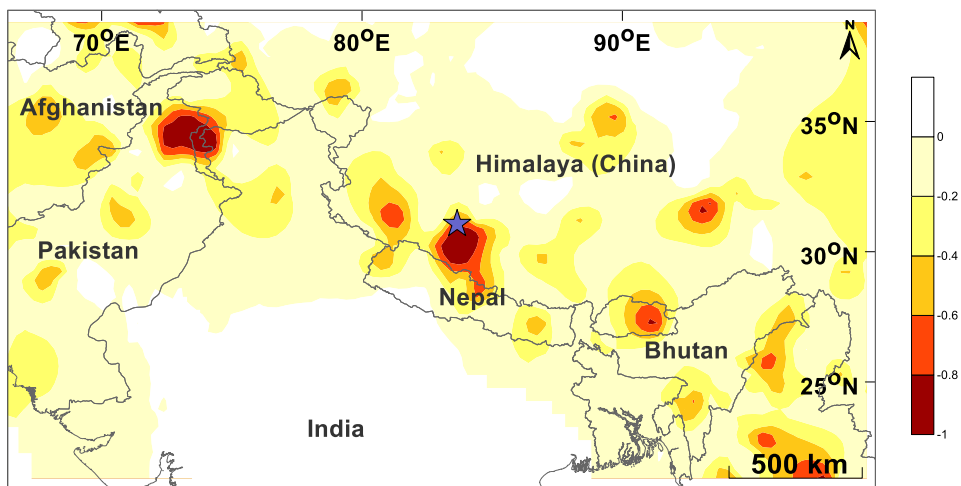
(จ) กรณีศึกษาที่ 5 วันที่ : 09/01/2008



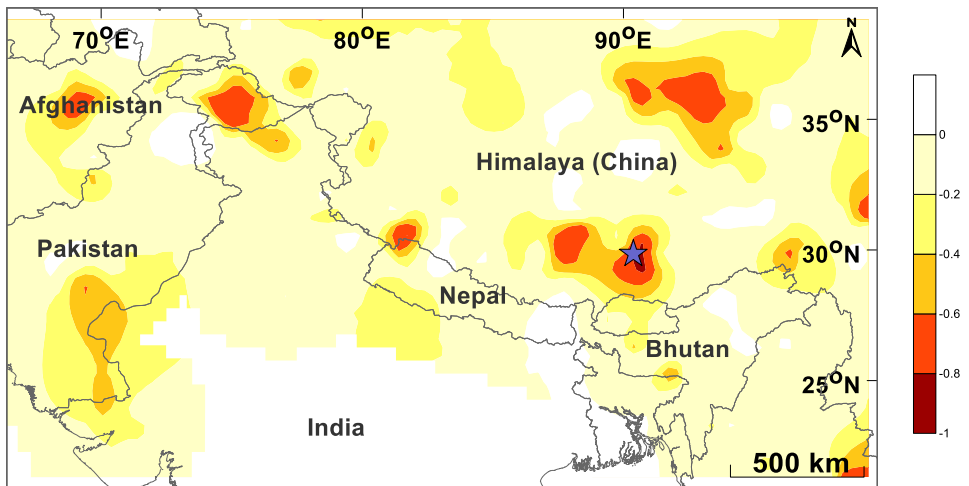
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 6 วันที่ : 20/3/2008



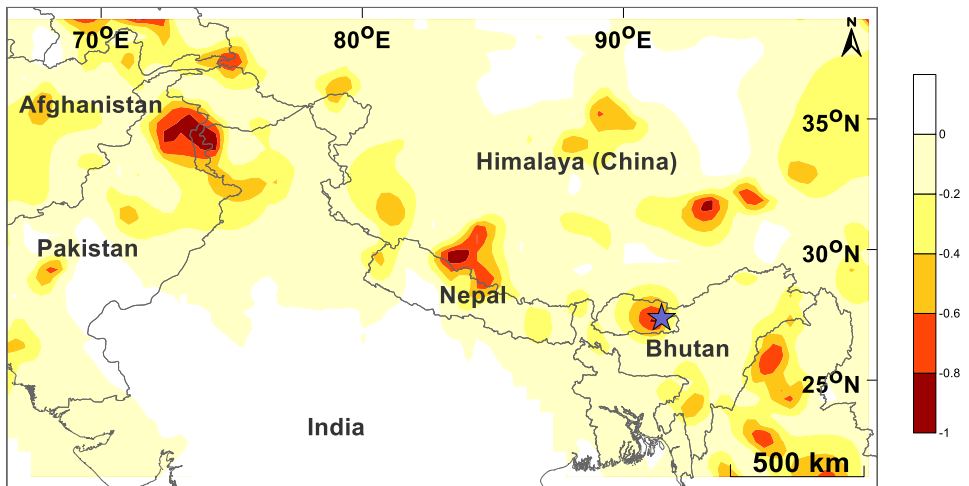
(ช) กรณีศึกษาที่ 7 วันที่ : 25/8/2008



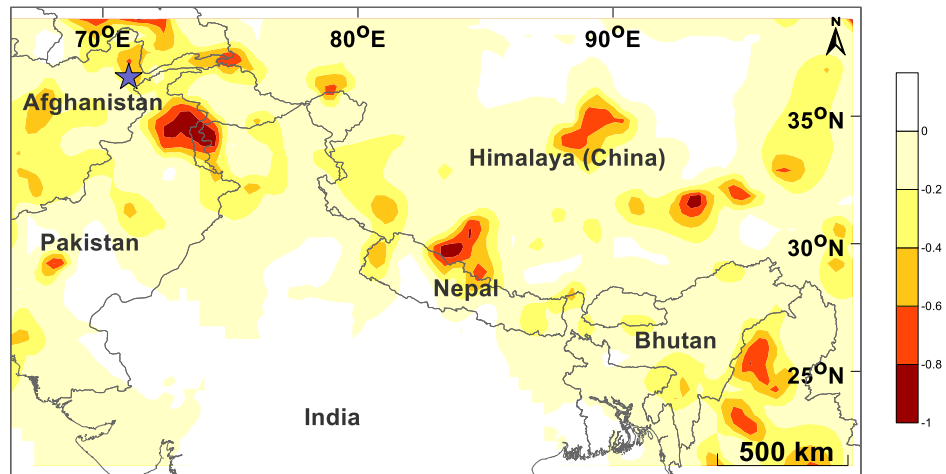
(จ) กรณีศึกษาที่ 8 วันที่ : Date 6/10/2008



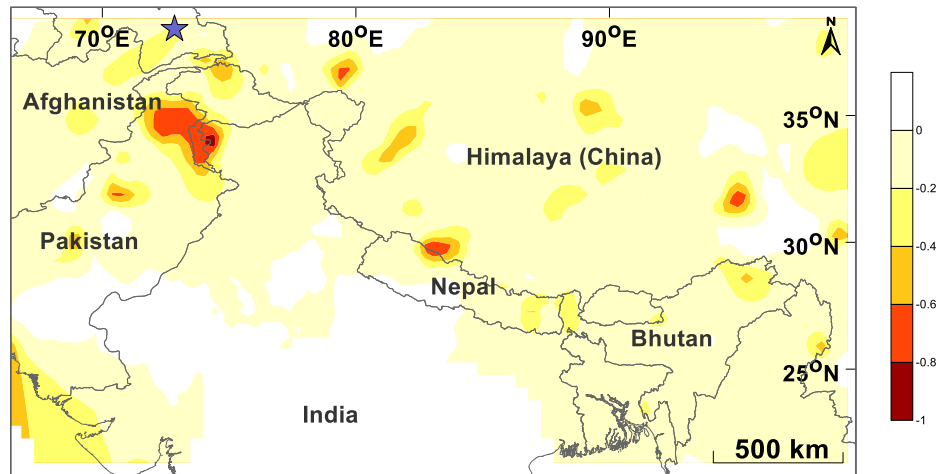
(ฉ) กรณีศึกษาที่ 9 วันที่ : Date 21/9/2009



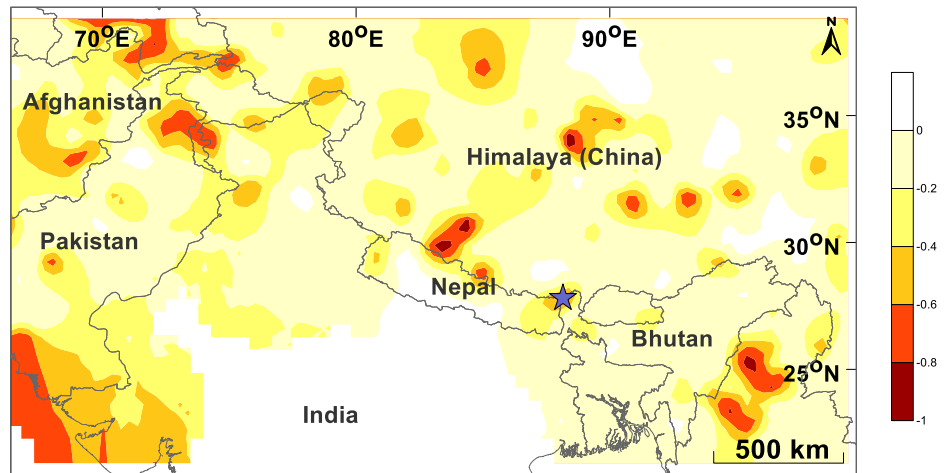
(ญ) กรณีสึกษาที่ 10 วันที่ : 22/10/2009



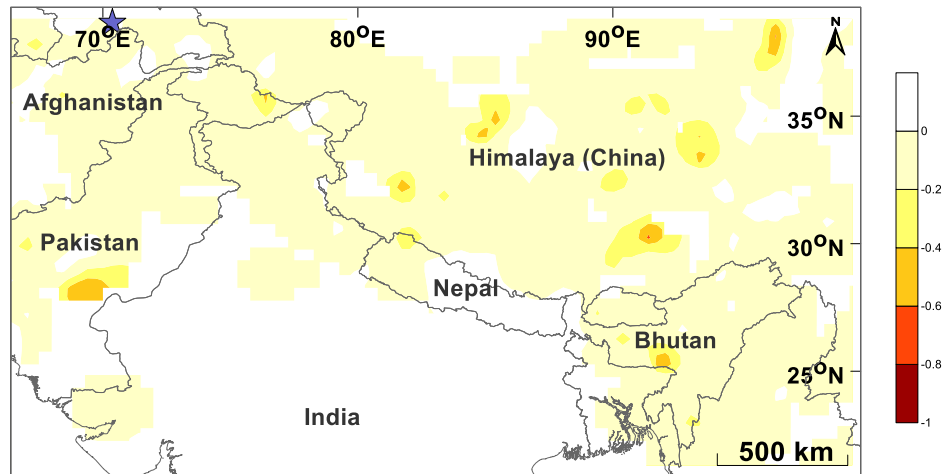
(ฎ) กรณีสึกษาที่ 11 วันที่ : 24/1/2011



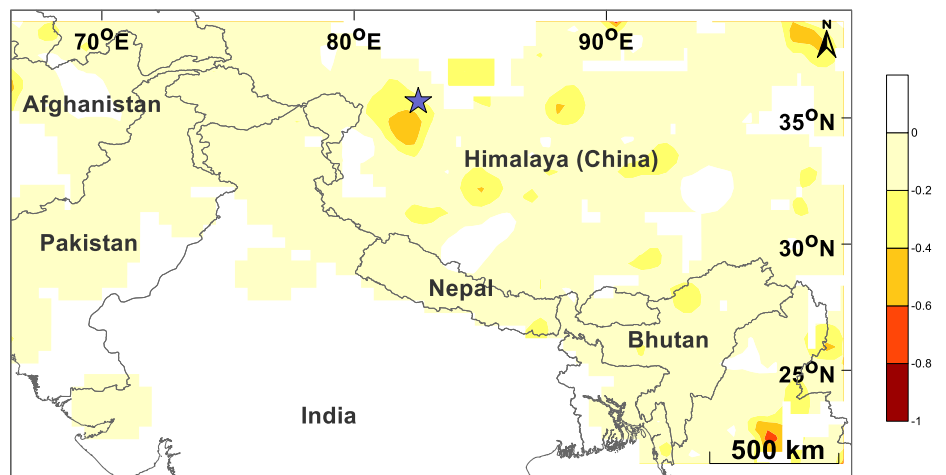
(ฏ) กรณีสึกษาที่ 12 วันที่ : 18/9/2011



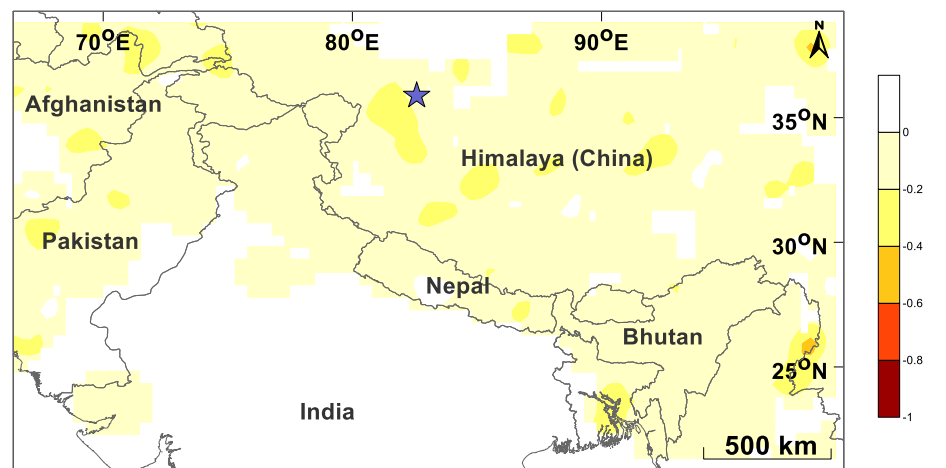
(จ) ธรณีศึกษาที่ 13 วันที่ : 12/5/2012



(ข) ธรณีศึกษาที่ 14 วันที่ : 12/8/2012



(ค) ธรณีศึกษาที่ 15 วันที่ : 12/2/2014



รูป 4.3. แสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL ของธรณีศึกษาทั้งหมด 15 กรณีในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป (ก) – (ค) ย่อย พื้นที่สีแดงเข้มแทนบริเวณที่มีความผิดปกติด้วยค่า RTL ต่ำสุด และเครื่องหมายดาวสีน้ำเงินแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่

จากผลของแผนที่ที่นำมาแสดงพบว่าโดยรวมทุกเหตุการณ์มีค่าผิดปกติของค่า RTL สอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง ซึ่งแสดงว่าเงื่อนไขที่ 4 ที่เรานำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลนั้นเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตต่อไป

นอกจากนี้พบว่าในแต่ละแผนที่จะมีบริเวณที่แสดงค่าความผิดปกติของค่า RTL ที่ต่ำ แต่ไม่พบว่ามีเกิดการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ขึ้นตามมา เราจึงวิเคราะห์ให้พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตซึ่งเราจะนำมาพิจารณาประกอบกับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในขั้นตอนต่อไป

4.2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

การคำนวณค่าต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้ว ทำให้ได้แผนที่แสดงค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา หรือก็คือค่า RTL ทั้งหมด 15 เหตุการณ์ เหตุการณ์ที่พิจารณานั้นมีความชัดเจนของข้อมูลมากที่สุด ดังรูป 4.3. ซึ่งสามารถนำมาใช้ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวได้

จากผลการศึกษากากราฟ RTL พบว่าเจอภาวะเจ็บสงบของแผ่นดินไหวทั้งหมด 15 เหตุการณ์ นอกจากนี้ยังพบภาวะกระตุ้นในบางกราฟ เช่น เหตุการณ์ที่ 1, เหตุการณ์ที่ 13 และเหตุการณ์ที่ 15 เป็นต้น จากนั้นผู้ศึกษานำกรณีศึกษาทั้งหมด 15 เหตุการณ์ มาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ

จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ ซึ่งมีการกำหนดโทนสีเทียบกับค่า RTL ดังนี้ โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อย หรือก็คือ มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามาก หรือมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก ดังนั้นพื้นที่ที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อยมีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ เนื่องจากเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก เพื่อรอการปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

เมื่อทำการแปลผลจากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่ามีบริเวณที่มีค่า RTL ต่ำมาก ซึ่งจะแสดงในโทนของสีเหลืองถึงสีแดงเข้ม ทั้งหมด 15 เหตุการณ์ ที่พบภาวะเจ็บสงบของแผ่นดินไหว พบว่าในขั้นตอนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ มีพื้นที่เสี่ยงหลายจุดที่ตรวจพบภาวะเจ็บสงบแต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงวิเคราะห์ให้พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต พบว่าพื้นที่เสี่ยงที่ตรวจพบได้ในขั้นตอนทดสอบย้อนกลับมีจำนวนทั้งหมด 5 พื้นที่ ได้แก่ ทางตอนใต้ของประเทศปากีสถาน บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปากีสถานที่ติดกับประเทศอัฟกานิสถาน บริเวณรอยเลื่อนยอนนแวงกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยระหว่างประเทศอินเดียและประเทศจีน และบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศภูฏาน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวขึ้นได้ในอนาคต และอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

(DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด (Earthquake Catalogue)

จากการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) พบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดมีทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ โดยเริ่มตั้งแต่ 4 เมษายน พ.ศ. 1905 ถึง วันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2014 ซึ่งมีขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.0-10.0 แมกนิจูด และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหว 0-1,000 กิโลเมตร

5.2. การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหวจะทำการแปลงจากขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ไปเป็นขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ดังนี้ดังแสดงในตาราง 5.1.

ตาราง 5.1. ตารางแสดงถึงสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว

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

5.3. การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากการนำแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) ที่นำมาใช้ในการคัดเลือกข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก กำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม รวมถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีการรายงานซ้ำซ้อนในพื้นที่ที่ศึกษา ทำให้สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวให้อยู่ในกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกัน (earthquake cluster) ได้ 3,695 กลุ่มแผ่นดินไหว และจากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวนั้นประกอบด้วยข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 33,939 เหตุการณ์ เป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม 22,295 เหตุการณ์ ซึ่งคิดเป็น 65.69% ของเหตุการณ์ทั้งหมด จากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักได้ทั้งสิ้น 11,644 เหตุการณ์ ดังแสดงในตาราง 5.2.

ตาราง 5.2. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว

ข้อมูลแผ่นดินไหว	ก่อนการคัดเลือกข้อมูล	หลังการคัดเลือกข้อมูล
แผ่นดินไหว (เหตุการณ์)	33,939	11,644

ช่วงเวลาเริ่มต้นของข้อมูล (ปี)	1905.2549	1905.2549
ช่วงเวลาสิ้นสุดของข้อมูล (ปี)	2014.4135	2014.409
ขนาดของแผ่นดินไหว	0 - 10.0	2.4 - 8.6
ช่วงความลึก (เมตร)	0 - 413	0 - 413

5.4. การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากการกำหนดค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือ หรือ magnitude of completeness (M_c) (Woessner และ Wiemer, 2005) พบว่า M_c มีค่าอยู่ที่ 5.0 และหลังจากการทำกระบวนการนี้ ทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 11,041 เหตุการณ์ โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวในตาราง 5.3.

ตาราง 5.3. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนและหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหว รวมถึงหลังจากคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

ข้อมูลแผ่นดินไหว	ก่อนการคัดเลือก	หลังการคัดเลือก	หลังจากคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์
แผ่นดินไหว (เหตุการณ์)	33,939	11,644	11,041
เวลาเริ่มต้นของข้อมูล	1905.2549	1905.2549	1905.2549
เวลาสิ้นสุดของข้อมูล	2014.4135	2014.409	2014.409
ขนาดของแผ่นดินไหว	0 - 10.0	2.4 - 8.6	3.8 - 8.6
ช่วงความลึก (เมตร)	0 - 413	0 - 413	0 - 413

5.5. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

จากการคัดเลือกเหตุการณ์ที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา พบว่ามีทั้งหมด 15 เหตุการณ์ โดยแต่ละเหตุการณ์มีขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ 6.0 แมกนิจูด ซึ่งแสดงดังตาราง 5.4.

ตาราง 5.4. ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 15 เหตุการณ์ ที่คัดเลือกมาเป็นกรณีศึกษา

Event	Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Min
1	72.6874	38.0781	2005	2	25	6.0	106.8	23	4

2	73.6400	34.5239	2005	10	8	6.7	7.9	3	50
3	73.1436	34.7198	2005	10	8	6.0	13.9	10	46
4	71.1035	36.4059	2005	12	12	6.0	223.9	21	47
5	85.2551	32.4042	2008	1	9	6.2	27.7	8	26
6	81.5063	35.5493	2008	3	20	6.1	10.0	22	32
7	83.6521	31.0612	2008	8	25	6.0	25.5	13	22
8	90.3787	29.8445	2008	10	6	6.0	6.4	8	30
9	91.4597	27.3693	2009	9	21	6.0	16.1	8	53
10	71.0121	36.5187	2009	10	22	6.1	188.6	19	51
11	72.8467	38.4018	2011	1	24	6.0	101.9	2	45
12	88.1536	27.8039	2011	9	18	6.5	29.6	12	40
13	70.3729	38.6559	2012	5	12	6.0	13.1	23	28
14	82.5417	35.6526	2012	8	12	6.0	14.0	10	47
15	82.5807	35.8767	2014	2	12	6.5	4.1	9	19

เมื่อทำการกำหนดค่า R_{max} และค่า T_{max} แล้ว จึงคัดเลือกเงื่อนไขที่สนใจมาทั้งหมด 1 เงื่อนไข ดังแสดงในตาราง 5.5.

ตาราง 5.5. ตารางแสดงเงื่อนไข ค่า R_{max} และค่า T_{max} และเหตุการณ์กรณีศึกษาที่สนใจ

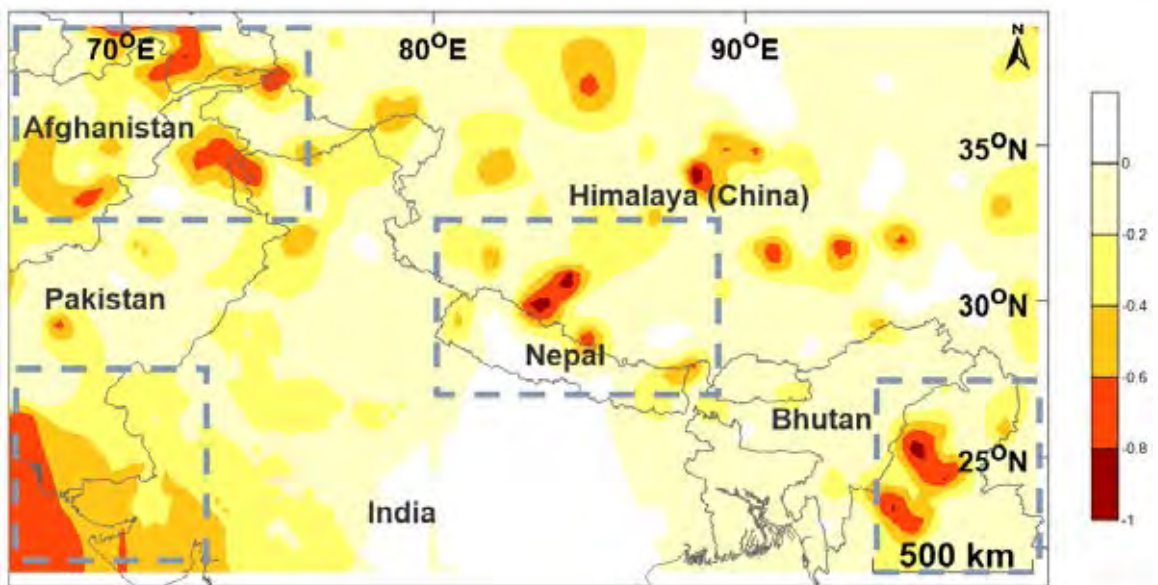
เงื่อนไข	R_{max} (กม.)	T_{max} (ปี)	จำนวนเหตุการณ์ที่พบ
4	80	5.0	15 เหตุการณ์

5.6. การประเมินพื้นที่เกิดเสี่ยงต่อการแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่วิเคราะห์ด้วยระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน จากชุดข้อมูลแผ่นดินไหว 10 ปี ล่าสุด โดยตั้งแต่นั้นปี ค.ศ. 2005-2014 ดังแสดงในรูป 5.1. พบว่ามีบริเวณที่มีค่า RTL ต่ำมาก ซึ่งแสดงในโทนของสีเหลืองถึงสีแดงเข้ม พบภาวะเฝ้าระวังของแผ่นดินไหวบริเวณทางตอนใต้ของประเทศปาเกีสถาน บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปาเกีสถานบริเวณที่ติดกับประเทศอัฟกานิสถาน บริเวณรอยเลื่อน

ย้อนแนวกลางหลัก เทือกเขาหิมาลัยระหว่างประเทศอินเดียและประเทศจีน และบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศภูฏาน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวขึ้นได้ในอนาคต และอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

แต่อย่างไรก็ตามค่าความผิดปกติที่พบนั้น ใช้ทำนายพื้นที่เสี่ยงภัยที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ในเบื้องต้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยการทำแผนที่แสดงภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหวในทุก ๆ ครั้งปี เพื่อพิจารณาค่า RTL ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อนำมาวิเคราะห์เป็นแผนที่ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูป 5.1. แผนที่แสดงภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหว

เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)

- Chen, C., Wu, Y., 2006. An improved region-time-length algorithm applied to the 1999 Chi Chi, Taiwan earthquake, *Geophys. J. Int.*: pp.1144-1147.
- Ekström, G., Dziewoński, A.M., Maternovskaya, N.N., and Nettles, M., 2005, Global seismicity of 2003: centroid-moment-tensor solutions for 1087 earthquakes: *Phys. Earth Planet. In.*, v. 148, p. 327–351.
- Gambino, S., Laudani, A., and Manziagli, S. 2014. Seismicity Pattern Changes before the M=4.8 Aeolian Archipelago (Italy) Earthquake of August 16, 2010. *The Scientific World Journal* 2014: 8 p.
- Gardner, J.K., and Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bulletin of the Seismological Society of America* 64(1): pp.363–367.
- Habermann, R. E. 1987. Man-made changes of Seismicity rates. *Bulletin of the Seismological Society of America* 77: pp.141-159.
- Habermann, R. E. and Wyss, M. 1984. Earthquake triggering during preparation for great earthquakes. *Geophysical Research Letters* 11: pp.291-294.
- Huang, Q. 2004. Seismicity Pattern Changes Prior to Large Earthquakes-An approach of the RTL algorithm. *TAO* 15: pp.461-491.
- Huang, Q., Sobolev, G. A., and Nagao, T. 2001. Characteristics of the seismic quiescence and activation patterns before the M = 7.2 Kobe earthquake, January 17, 1995. *Tectonophysics* 337: pp.99-116.
- Huang, Q., Sobolev, G. A., 2002. Precursory seismicity changes associated with the Nemuro Peninsula earthquake, January 20, 2000. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: pp.135-146.
- International Seismological Centre (2001) *Bulletin disk 1-9 [CD-ROM]*, International Seismological Centre, Thatcham, UK.
- Perez, O. J., and Scholz, C. H. 1984. Heterogeneities of the instrumental seismicity catalog (1904-1980) for strong shallow earthquakes . *Bulletin of the Seismological Society of America* 74: pp.669-686.

- Shashidhar, D., Kumar, N., Mallika, K., and Gupta, H. 2010. Characteristics of seismicity patterns prior to the M~5 earthquakes in the Koyna Region, Western India – application of the RTL algorithm. *Episodes* 33: pp.83 - 89.
- Sipkin, S. A., W. J. Person, and B. W. Presgrave (2000). Earthquake bulletins and catalogs at the USGS National Earthquake Information Center. *IRIS Newsletter* 2000,24.
- Sobolev, G. A., 1995. *Fundamental of Earthquake Prediction*. Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161 p.
- Sobolev, G. A., and Tyupkin, Y. S. 1997. Low-seismicity precursors of large earthquake in Kamchatka. *Volcanology and Seismology* 18: pp.433-446.
- Well, D. L., and Coppersmith, K. J. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84: pp.974-1002.
- Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters* 72(2): pp.373-382.
- Woessner, J., and 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: pp.684-698.
- Wyss, M. 1991. Reporting history of the central Aleutians Seismograph network and the quiescence preceding the 1986 Andreanof Island earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America* 81: pp.1231-1254.
- Wyss, M., and Habermann, R. E. 1988. Precursory seismic quiescence. *Pure and Applied Geophysics* 126: pp319-332.

