

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะท้อนของประเทศนิวซีแลนด์

นางสาววิรัชญา แก้วพุกัม

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

SEISMICITY RATE CHANGE OF NEW ZEALAND

MISS WARITTHA KAEWPUKUM

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 2016

หัวข้อโครงการ

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสะท้อนของประเทศ

นิเวศน์ศาสตร์

โดย

นางสาววิรัชฐา แก้วพุกัม

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก รศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

(รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

5632740023 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ : พื้นที่เสี่ยง / ประเทศนิวซีแลนด์ / การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว / ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว / การทดสอบย้อนกลับ / ภาวะเสียบสงบ / การปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

วิชา แก้วพุกัม : การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือนของประเทศนิวซีแลนด์. (SEISMICITY RATE CHANGE OF NEW ZEALAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 70 หน้า.

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตในพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ด้วยวิธีคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือน (Z-value) โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก 3 แหล่งข้อมูล ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ถูกบันทึกตั้งแต่ปี ค.ศ 1964-2016 ในกรอบพื้นที่ศึกษา ละติจูดที่ -32 ถึง -49 องศาใต้ ลองจิจูดที่ 165 ถึง 180 องศาตะวันออก โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่ามีข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 10,651 เหตุการณ์ ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวในช่วง 4.0-8.1 M_w ที่มีความสมบูรณ์และสามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวอย่างแท้จริง ทำการกำหนดกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี โดยคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีขนาด 7.0 M_w ขึ้นไป เมื่อทำการทดสอบย้อนกลับพบว่าเงื่อนไขที่มีจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี 100 เหตุการณ์ ที่มีรอบเวลา 3 ปี ในรัศมีการพิจารณาข้อมูล 300 กิโลเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำแผนที่การกระจายตัวของค่า Z เพื่อตรวจสอบบริเวณที่พบภาวะเสียบสงบ ซึ่งจากเงื่อนไขดังกล่าว ผลการศึกษาสามารถประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ 5 บริเวณ ได้แก่ 1.) บริเวณเมือง Hamilton และเมือง Toupou 2.) บริเวณเมือง Now Plymouth และ 3.) บริเวณเมือง Palmerston North 4.) นอกชายฝั่งเมือง Kaikoura และ 5.) นอกชายฝั่งเมือง Tauranga

ภาควิชา _____ ธรณีวิทยา _____ ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา _____ ธรณีวิทยา _____ ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาหลัก _____

ปีการศึกษา _____ 2559 _____

5632740023 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : PROSPECTIVE AREA / NEW ZEALAND / SEISMICITY RATE CHANGE / EARTHQUAKE CATALOGUE / RETROSPECTIVE TEST / SEISMIC QUIESCENCE / EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT

WARITTHA KAEWPUKUM : SEISMICITY RATE CHANGE OF NEW ZEALAND. ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. SANTI PAILOPLEE, 70 pp.

This research aims to study prospective areas of the upcoming moderate to large earthquake were evaluated of New Zealand by using statistical method that investigates the seismicity rate change for detect seismic quiescence. The earthquake catalogues come from Global CMT Catalogue (GCMT), National Earthquake Information (NEIC) and International Seismological Center (ISC) those were reported between 1964-2016 at latitude of -32 to -49 °S longitude of 165 to 180 °E. After improving the earthquake catalogue process, the dataset left 10,651 events with $4.0-8.1 M_w$. We chose earthquake events that represent our case study for 6 cases which the M_w more than 7.0 Richter. After the retrospective test, we found 5 quiescence-anomaly areas for $N = 100$ events and $T_w = 3.0$ years are appropriate characteristic parameter to analyse the spatial distribution of Z value maps. Consequently based mainly on the obtained suitable parameter of N and T_w and the most up-to-date seismicity data, the seismic quiescence maps reveal that there are 5 prospective areas might be risk for the upcoming moderate-large earthquakes, i.e., Hamilton to Toupou, New Plymouth, Palmerston North, off the coast of Kaikoura and Tauranga.

Department _____ Geology _____ Student's Signature _____

Field of Study _____ Geology _____ Advisor's Signature _____

Academic Year _____ 2016 _____

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการวิจัยนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากขาดบุคคลดังต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และเป็นที่ปรึกษาที่ดีมาตลอดมาตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัย แม้ว่าจะเกิดปัญหาระหว่างการดำเนินงาน หรืออุปสรรคใดๆ ก็ได้ท่านอาจารย์คอยให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางด้านธรณีวิทยา ช่วยแนะนำสั่งสอน และบ่มเพาะให้ผู้วิจัยมีความเป็นนักวิทยาศาสตร์และนักธรณีวิทยาที่ติดต่อดการศึกษ

กราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และขอบคุณน้องสาว สำหรับทุกการสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา

ขอขอบคุณพี่บุคลากรประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ หรือติดต่อธุระในด้านต่างๆ

ขอบขอบคุณนางสาวเพชร เจนพนัส รุ่นพี่ Geo'56 และเพื่อนร่วมอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการทั้ง 5 คน สำหรับการสนับสนุนและคำแนะนำในหลายๆด้าน

และขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น Geo'57 ทุกคน ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและช่วยเหลือกันตลอดมา

สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)	ง
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	จ
สารบัญ (CONTENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ช
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ฎ
สารบัญสมการ (EQUATION CONTENT)	ฏ
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme and Background)	1
1.2 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.3 วัตถุประสงค์ (Objective)	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Result)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	7
2.2.1 งานวิจัยของ Ozturk and Bayrak (2009)	7
2.2.2 งานวิจัยของ Katsumata (2011a)	8
2.2.3 งานวิจัยของ Katsumata (2011b)	9
2.2.4 งานวิจัยของ Sorbi และคณะ (2012)	10
2.3 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)	11
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)	12
3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	12
3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor (GCMT)	13
3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)	14
3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)	14
3.1.4 ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	14

3.2 การปรับเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	17
3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)	19
3.2.2 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_S)	20
3.2.3 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)	20
3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	21
3.4 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	25
3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	29
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)	32
4.1 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	32
4.1.1 การคัดเลือกกรณีศึกษา (Case study)	32
4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of condition)	33
4.1.3 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนแผ่นดินไหวสะสม ช่วงเวลา และค่า Z	36
4.1.4 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z value)	40
4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	47
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION AND CONCLUSION)	52
5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)	52
5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)	52
5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude conversion)	52
5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering)	53
5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made seismicity)	53
5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of completeness)	53
5.3 กรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Condition for Retrospective Test)	53
5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	54
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	56

สารบัญรูปร่างภาพ (FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา การกระจายตัวและการวางตัวของกลุ่มรอยเลื่อน	2
รูป 2.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมกับเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวทั่วไปกับในช่วงที่เกิดภาวะเฝ้าระวัง	5
รูป 2.2	กราฟแสดงภาวะเฝ้าระวังหลายจุดที่พบในการศึกษาของ Rudolf และ Navarro (2010)	5
รูป 2.3	แผนที่แสดงบริเวณที่พบความผิดปกติของค่า Z ในช่วงปี ค.ศ. 1998 ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $6.4 M_w$ ปี 2003 ทางตะวันออกของประเทศตุรกี (Ozturk และ Bayrak, 2009)	7
รูป 2.4	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเฝ้าระวังที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1998 และปี ค.ศ. 1999 ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว โทคาชิ-โอกิ ขนาด $8.3 M_w$ ปี 2003 (Katsumata, 2011a)	8
รูป 2.5	แผนที่แสดงพื้นที่ภาวะเฝ้าระวังที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1988 และปี ค.ศ. 1992 เหตุการณ์แผ่นดินไหว โทโฮกุ ขนาด $9.0 M_w$ ปี 2011 (Katsumata, 2011b)	9
รูป 2.6	แผนที่และกราฟแสดงภาวะเฝ้าระวังที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2005 ถึงปี ค.ศ. 2008 ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด $6.1 M_w$ ที่ Qeshm ในปี 2008	10
รูป 2.7	แผนภาพแสดงระเบียบวิธีการทำวิจัย	11
รูป 3.1	แสดงรายละเอียดข้อมูลแผนที่ไหว้ทั้งหมดที่ได้จากฐานข้อมูลทั้ง 3 แหล่ง	15
รูป 3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับขนาด (M_w) ความลึก (กิโลเมตร) และเวลา (ปี)	15
รูป 3.3	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล	16
รูป 3.4	กราฟแสดงค่าความอิมตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ M_w (Kagan และ Knopoff, 1980)	18
รูป 3.5	แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึกได้	18

รูป 3.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)	19
รูป 3.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	20
รูป 3.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l)	21
รูป 3.9	กราฟแสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	22
รูป 3.10	กราฟแสดงผลวิเคราะห์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)	23
รูป 3.11	แสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	24
รูป 3.12	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	25
รูป 3.13	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูลและหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	26
รูป 3.14	แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยขั้นตอนการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์	27
รูป 3.15	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์	28
รูป 3.16	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักและหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์	28
รูป 3.17	แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยมี $M_c = 4$	29
รูป 3.18	แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	30
รูป 3.19	แผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	31
รูป 3.20	แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์และหลังจากคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	31

รูป 4.1	แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี	32
รูป 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม และค่า Z กับปี ค.ศ. ที่เกิดแผ่นดินไหวของแต่ละกรณีศึกษาทั้ง 6 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1.) – 6.) ย่อย	37
รูป 4.3	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ของกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1.) - 6.)	41
รูป 4.4	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ของกระบวนการหาพื้นที่เสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตของปี ค.ศ. 1998.89, 1999.12 และปี 1999.35 ตามลำดับของเหตุการณ์ที่มีค่า Z สูงสุด เท่ากับ 10.6	48
รูป 4.5	แผนที่แสดงจุดเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้จากกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ของกรณีศึกษาที่ 2, 3 และ 6	50
รูป 4.6	แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุด	51
รูป 5.1	แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุด และแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงเทียบกับตำแหน่งเมืองต่างๆของประเทศนิวซีแลนด์	53

สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)

		หน้า
ตาราง 3.1	แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูล	12
ตาราง 4.1	แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 6 เหตุการณ์	33
ตาราง 4.2	แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลของแผ่นดินไหวด้วยสมการที่ 2.1	34
ตาราง 4.3	แสดงข้อมูลทั้ง 3 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ โดยตัวแปรที่กำหนดประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, กรอบเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	35
ตาราง 4.4	แสดงรายละเอียดตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 1	35
ตาราง 4.5	แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ	36
ตาราง 4.6	แสดงผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ที่มีค่าผิดปกติของค่า Z สูงสุด	48
ตาราง 5.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลแต่ละขั้นตอน	53
ตาราง 5.2	แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้จากเงื่อนไขที่เลือก	54

สารบัญสมการ
(EQUATION CONTENT)

	หน้า
สมการ 2.1 สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Habermann, 1984)	4
สมการ 3.1 สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)	19
สมการ 3.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)	20
สมการ 3.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l)	20
สมการ 3.4 สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Habermann ,1984)	27

บทที่ 1

บทนำ

(INTRODUCTION)

1.1 ที่มาและความสำคัญ

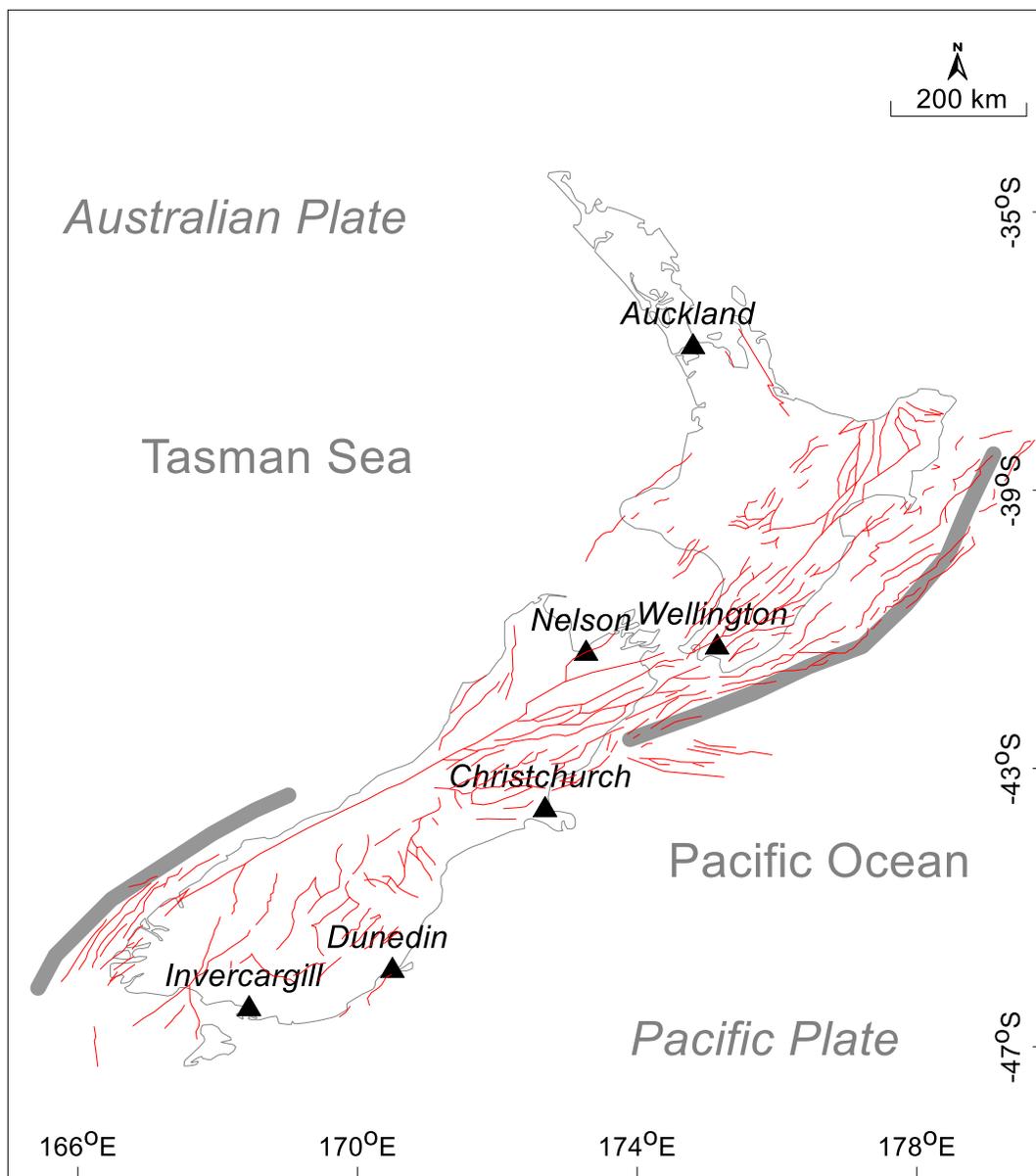
แผ่นดินไหวถือเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เกิดจากความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินมากมาย โดยแผ่นดินไหวเกิดจากเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเป็นผลมาจากการปลดปล่อยพลังงานที่สะสมเอาไว้ออกมา ในรูปแบบของคลื่นไหวสะเทือน และถึงแม้ว่าจะไม่สามารถคาดการณ์การเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้าได้ แต่นักวิทยาศาสตร์และนักแผ่นดินไหววิทยาก็ได้พยายามทำการศึกษาหาความสอดคล้องและตัวบ่งชี้ที่จะสามารถนำมาทำนายหาพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตโดยการศึกษาภาวะเงียบสงบ (Seismic quiescence) ที่จะมีการลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว (Sobolev, 1995)

ประเทศนิวซีแลนด์ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เรียกว่าวงแหวนไฟ (Ring of Fire) ในมหาสมุทรแปซิฟิก และอยู่ตรงบริเวณแนวรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่น ที่เคลื่อนที่ชนกัน ได้แก่ แผ่นออสเตรเลีย (Australian plate) และแผ่นแปซิฟิก (Pacific plate) ส่งผลให้เกิดแนวมุดตัว 2 แนว ได้แก่ แนวมุดตัวไฮคุแรนจิ (Hikurangi margin) ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศนิวซีแลนด์ที่แผ่นแปซิฟิกมุดลงไปใต้แผ่นออสเตรเลีย และแนวมุดตัวพูยซีเกอร์ (Puysegur margin) ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศนิวซีแลนด์ที่แผ่นออสเตรเลียมุดลงไปใต้แผ่นแปซิฟิก เกิดเป็นแนวภูเขาไฟและแนวรอยเลื่อนกระจายทั่วไปในพื้นที่ และมีแนวรอยเลื่อนอัลไพน์ (Alpine fault) ซึ่งเป็นแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ตัดผ่านกลางประเทศ ส่งผลให้ประเทศนิวซีแลนด์เป็นประเทศที่มีอัตราการเกิดและความรุนแรงของแผ่นดินไหวสูง ดังเช่น ในวันที่ 13 พฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2016 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.4 แมกนิจูด ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม ที่อยู่อาศัยและระบบสาธารณูปโภคถูกทำลาย รวมถึงมีผู้เสียชีวิตจำนวนหนึ่ง

ดังนั้นพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำการศึกษาและประเมินหาพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคต ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหว (Seismicity rate change) ด้วยวิธีหาค่า Z (Z-value)

1.2 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ ตั้งแต่ละติจูดที่ -32 ถึง -49 องศาใต้ และลองจิจูดที่ 165 ถึง 180 องศาตะวันออก



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา การกระจายตัวและการวางตัวของกลุ่มรอยเลื่อน แสดงด้วยเส้นสีแดง และแนวมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกทั้งสองแนว แสดงด้วยเส้นสีเทา

1.3 วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตในพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ โดยวิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Z-value)

1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

ทำการศึกษาวิจัยโดยวิเคราะห์ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ ตั้งแต่ละติจูดที่ -32 ถึง -49 องศาใต้ และลองจิจูดที่ 165 ถึง 180 องศาตะวันออก โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Outputs)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของประเทศนิวซีแลนด์ และแสดงบริเวณพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(THEORY AND LITERATURE REVIEW)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Relevant Theory)

Habermann และ Wyss (1984) ได้สังเกตพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวหลายเหตุการณ์ พบว่าก่อนมีการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละครั้งจะมีการลดลงของการเกิดแผ่นดินไหวอยู่เสมอ จึงสรุปในเบื้องต้นว่า การลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสามารถใช้เป็นสัญญาณบอกเหตุในการประเมินการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตได้

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

Wiemer (2001) ได้นำเสนอวิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาภาวะเงียบสงบของแผ่นดินไหว โดยทำการกำหนดกรอบของช่วงเวลาที่น่าสนใจเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลากับอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา ด้วยสมการการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Habermann, 1984) ดังสมการ 2.1 ซึ่งค่าที่ได้ออกมาเรียกว่าค่า Z (Z-value) หรือค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว

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

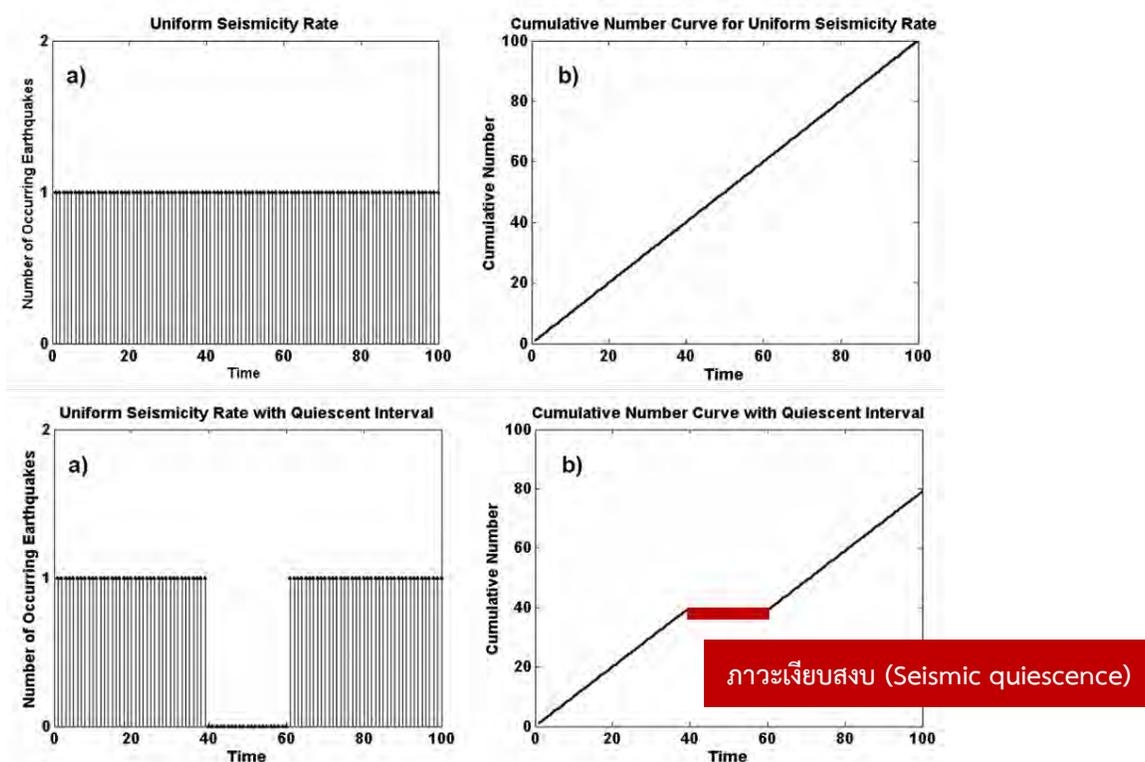
กำหนดให้	Z	หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว
	R_w	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลา
	S_{bg}	หมายถึง อัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา

S หมายถึง ความแปรปรวนของข้อมูล

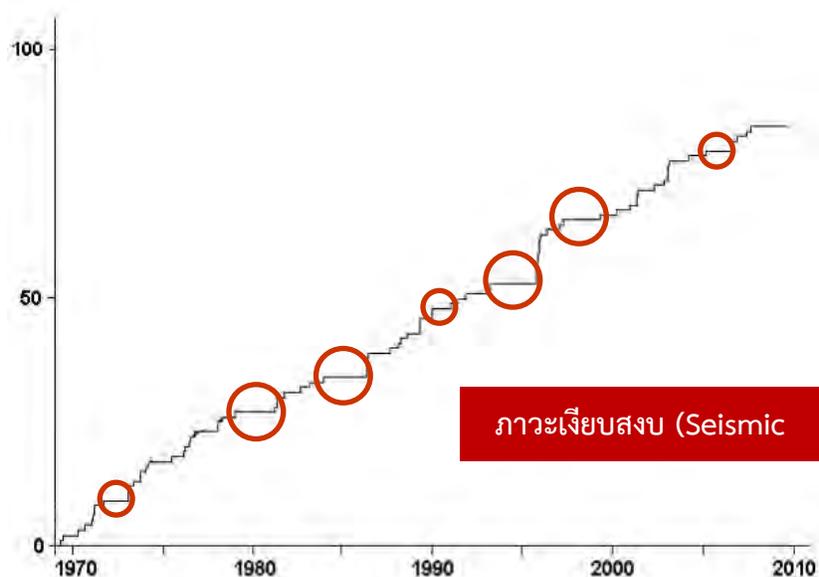
n หมายถึง จำนวนข้อมูล

โดยค่า Z ที่มีค่ามากกว่าศูนย์แสดงถึงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลาที่กำหนดน้อยกว่านอกกรอบเวลา และถ้าค่า Z มีค่าสูงมากแสดงว่าแผ่นดินไหวในช่วงกรอบเวลานั้นลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญหรือเกิดภาวะเงียบสงบ ซึ่งมักจะพบก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ขึ้นเอง แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า Z มีค่าน้อยแสดงว่าอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลามากกว่านอกกรอบเวลา แสดงให้เห็นว่าแผ่นดินไหวในกรอบเวลานั้นมีอัตราการเกิดที่มากขึ้นกว่าเดิม หรือเกิดเป็นภาวะกระตุ้น

Rudolf และ Navarro (2010) ได้ทำการศึกษาโดยการนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่ศึกษาทั้งหมดที่เกิดขึ้นมาพลอตกราฟระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและเวลา พบว่าเกิดช่วงภาวะเงียบสงบในหลายๆจุดของกราฟ ดังที่แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 รูป a)บน แสดงถึงการเกิดแผ่นดินไหวในสภาวะปกติที่จะมีอัตราการเกิดคงที่ ซึ่งเมื่อนำมาพลอตตามจำนวนการเกิดแผ่นดินไหวสะสมกับเวลาดังรูป b)บน พบว่ากราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงเฉียงขึ้น แต่เมื่อเกิดภาวะเงียบสงบ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลงดังรูป a)ล่าง ในขณะที่เดียวกันเมื่อพลอตตามจำนวนการเกิดแผ่นดินไหวสะสมกับเวลาช่วงที่เกิดภาวะเงียบสงบกราฟจะแสดงออกมาในรูปของเส้นตรงขนานไปกับแกนเวลาในรูป b)ล่าง



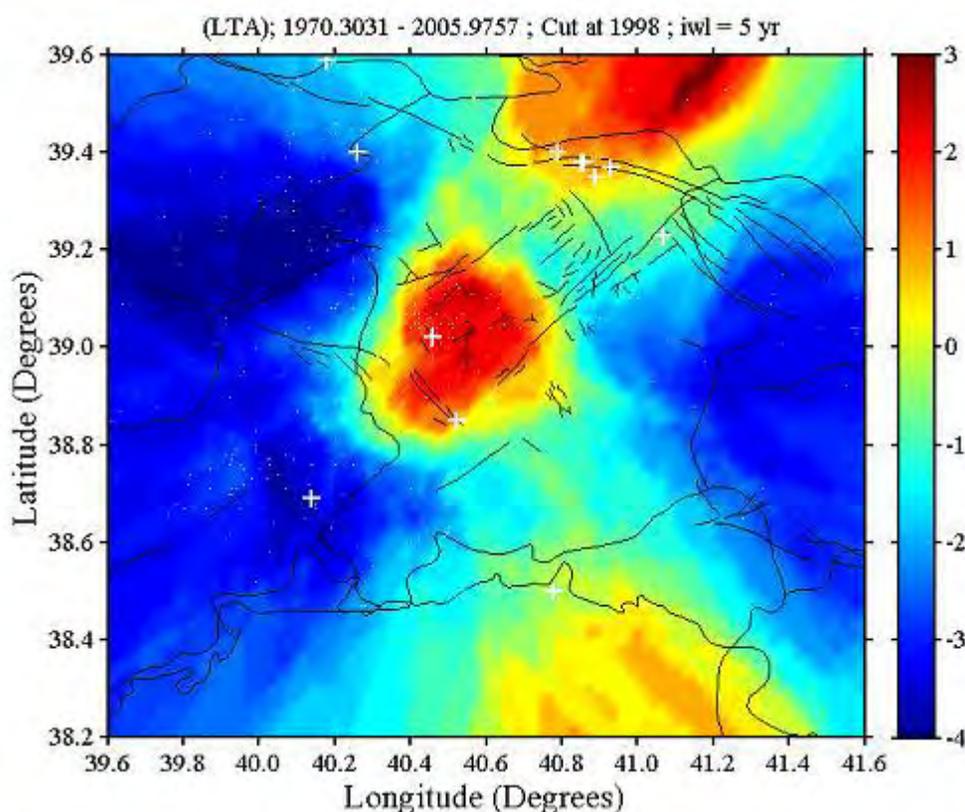
รูปที่ 2.2 แสดงภาวะเจียบสงบหลายจุดที่พบในการศึกษาของ Rudolf และ Navarro (2010) เมื่อแกน x คือ ปีที่เกิดแผ่นดินไหว ส่วนแกน y คือ จำนวนแผ่นดินไหวที่เกิดสะสม

ซึ่งจากการศึกษาของ Rudolf และ Navarro (2010) ทำให้เกิดข้อสงสัยที่ว่าแล้วภาวะเจียบสงบจุดใดที่จะเป็นภาวะเจียบสงบที่มีนัยสำคัญที่จะเป็นบ่งตัวบ่งชี้ให้รู้ได้ว่าจะเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงต้องนำกราฟแสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสมมาศึกษา ร่วมกับการหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวตามวิธีการของ Wiemer (2010) ต่อไป

2.2 งานศึกษาในอดีต (Literature Review)

2.2.1 งานวิจัยของ Ozturk และ Bayrak (2009)

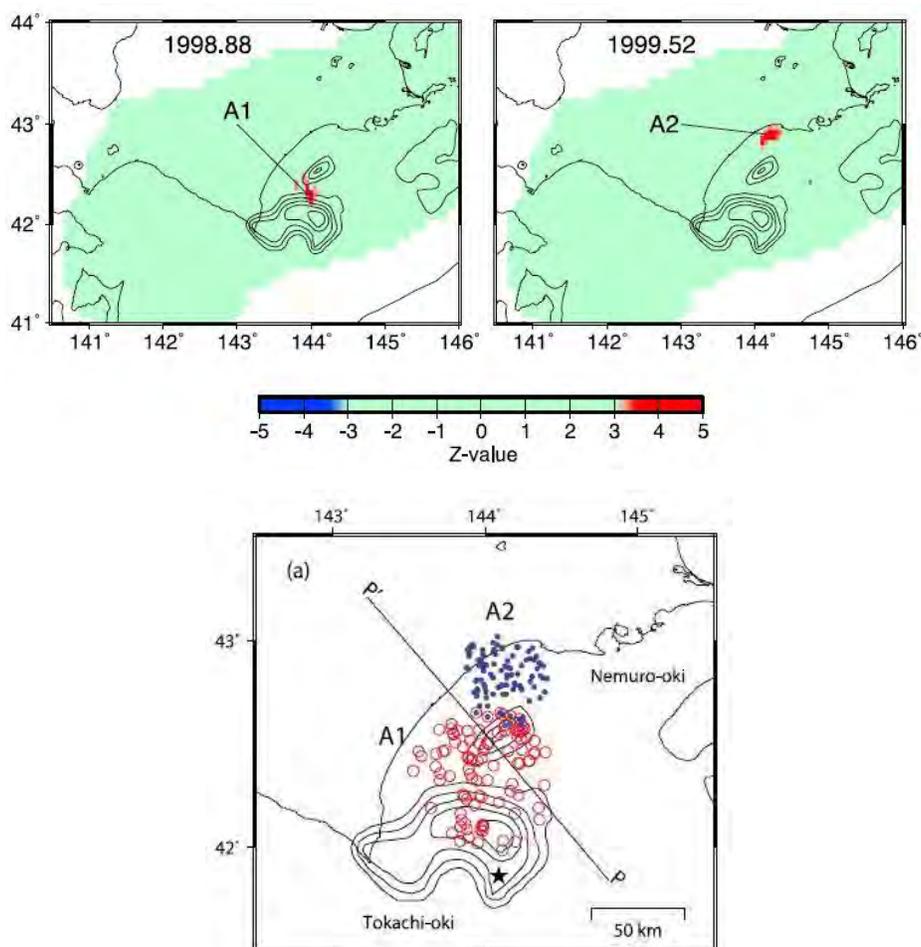
Ozturk และ Bayrak (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $6.4 M_w$ ที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2003 ณ เมือง Bingol บริเวณตะวันออกของประเทศตุรกี โดยนำมาคำนวณด้วยวิธีการหาค่า Z ซึ่งพบภาวะเงียบสงบของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 จากค่า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



รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงบริเวณที่พบความผิดปกติของค่า Z ในช่วงปี ค.ศ. 1998 ทางตะวันออกของประเทศตุรกี ซึ่งแสดงด้วยพื้นที่สีแดง โดยเครื่องหมาย “+” แสดงถึงจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวของแผ่นดินไหวหลักด้วย $MD \geq 5.0$ ที่เกิดขึ้นจริง

2.2.2 งานวิจัยของ Katsumata (2011a)

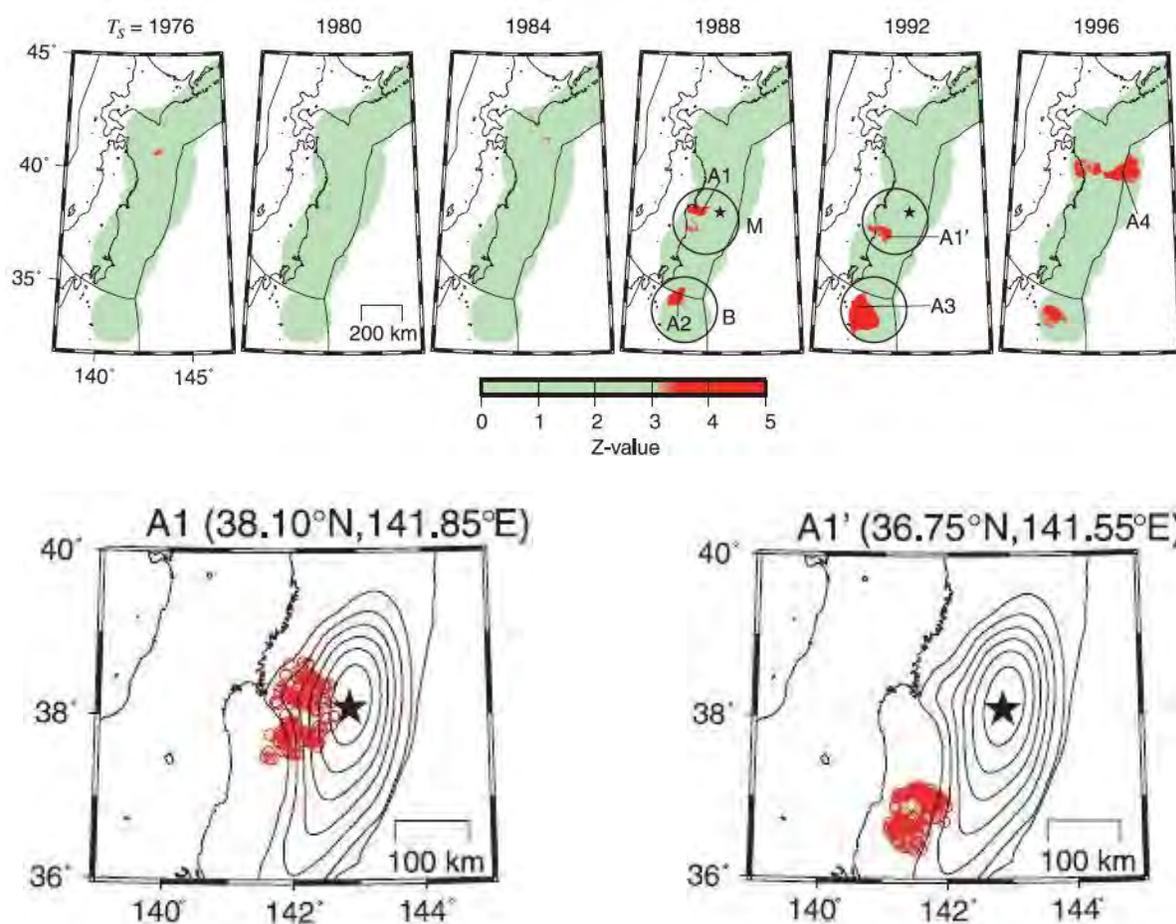
Katsumata (2011a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $8.3 M_w$ เมื่อวันที่ 26 กันยายน ค.ศ. 2003 ที่โทคาชิ-โอกิ บริเวณชายฝั่งด้านทะเลแปซิฟิกของเกาะ ฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งหลังจากนำข้อมูลทางสถิติที่ได้มาคำนวณโดยวิธีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี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



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

2.2.3 งานวิจัยของ Katsumata (2011b)

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

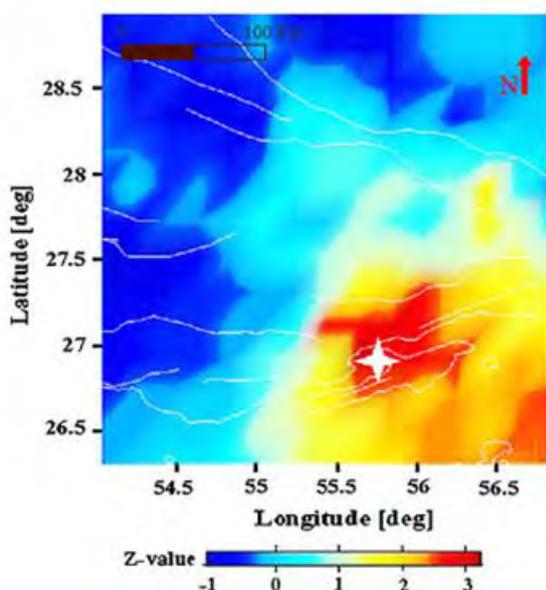


รูปที่ 2.5 แผนที่ด้านบนแสดงตำแหน่งค่า Z ในช่วงปี ค.ศ. 1976–1996 โดยวงกลมสีแดงแสดงภาวะเงียบสงบ จากค่า Z ที่มีค่าสูง ซึ่งพบว่ามีสองเหตุการณ์คือ A1 (ปี ค.ศ. 1988) และ A1' (ปี ค.ศ. 1992) ที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันกับตำแหน่งที่เกิดแผ่นดินไหวจริง ซึ่งแทนด้วยเครื่องหมายดาวสีดำ (เส้นชั้นความสูงหมายถึงพื้นที่ความเสียหายที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของรอยเลื่อน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

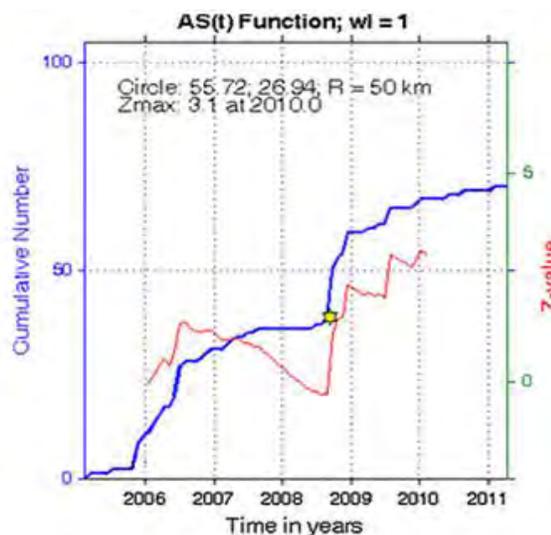
2.2.4 งานวิจัยของ Sorbi และคณะ (2012)

Sorbi และคณะ (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด $6.1 M_w$ ที่ Qeshm ทางตอนใต้ของประเทศอิหร่าน เมื่อวันที่ 10 กันยายน ค.ศ. 2008 ด้วยวิธีค่า Z โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจาก USGS และ IIEES ที่บันทึกไว้ในช่วงปี ค.ศ. 2005-2011 พบว่าเริ่มมีการลดลงของอัตราการไหวสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 โดยสังเกตจากค่า $Z_{max} = 3.0$ ดังที่แสดงในรูป 2.4 และเมื่อตรวจสอบทางสถิติด้วยวิธีค่า b จากความสัมพันธ์ของกูเตินเบิร์ก-ริกเตอร์ (Gutenberg-Richter Relationship) (Gutenberg และ Richter, 1944) พบว่าค่า b ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเช่นเดียวกัน หลังจากเกิดความผิดปกติทั้งสองอย่างนี้พร้อมกันประมาณ 1 ปี ก็เกิดแผ่นดินไหวดังกล่าวตามมา

(ก)



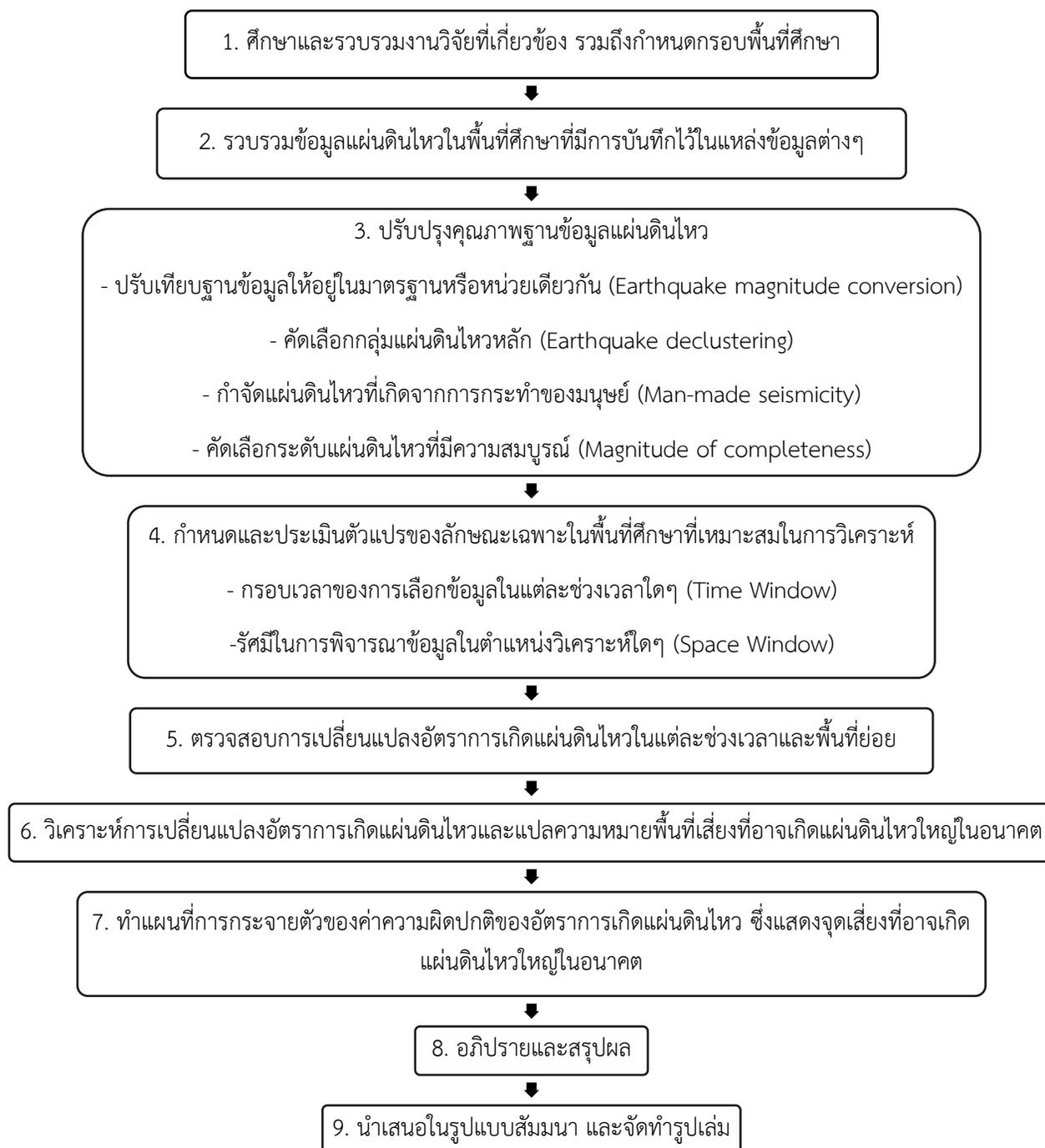
(ข)



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

2.3 ระเบียบวิธีการวิจัย (Methodology)

เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้ได้จัดระเบียบวิธีวิจัยออกเป็น 9 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงระเบียบวิธีการทำวิจัย

บทที่ 3

การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (EARTHQUAKE CATALOGUE IMPROVEMENT)

3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั่วโลกในปัจจุบันถูกควบคุมและดูแลโดยหลากหลายหน่วยงาน ซึ่งมีการเผยแพร่ข้อมูลให้คนทั่วไปเข้าถึงได้อย่างอิสระบนฐานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งฐานข้อมูลแผ่นดินไหวต่างๆ จะถูกบันทึกด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้และแสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหว ดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างรายละเอียดการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูล

Lon	Lat	Year	Month	Day	Depth	Hour	Min	Sec	Mw	m _b	M _s	M _l	M
-176.88	-28.3	2016	11	18	51.6	20	54	56	5.5	-	-	-	-
-176.5265	-28.1119	2016	7	13	10	12	18	33	5.9	5.7	-	-	-
-177.9911	-33.9693	2016	5	5	10	23	44	35	3.5	4.6	-	3.5	-
-178.2511	-26.4576	2015	8	6	269	23	59	46	6	-	-	3.3	-
174.13	-41.85	2013	9	1	5	15	37	5	3.9	4.4	-	4.4	-
174.049	-41.77	2013	8	17	19.6	8	58	39	5.2	5.1	5	5.5	-
174.386	-41.638	2013	7	20	14	19	17	10	5.7	5.8	5.6	-	-
172.457	-43.604	2013	1	19	11.8	8	15	8	4.2	-	-	4.6	-
173.756	-40.023	2012	7	3	229.8	10	36	15	6.3	5.9	-	-	6
-177.386	-29.43	2012	1	28	21	17	42	51	5.9	5.8	5.6	-	5.4
165.778	-46.686	2012	1	19	20	6	48	48	5.9	6	5.8	5.8	6
174.3276	-41.7517	2016	11	20	21.3	16	30	19	-	4	-	-	-
-177.5402	-28.3965	2014	7	10	10	14	54	19	-	4.3	-	-	2.7

-177.0303	-29.9883	2014	7	10	10	8	36	53	-	4.3	-	2.5	-
-178.9205	-32.4848	2011	12	15	31.6	10	10	7	-	5.2	5.4	5.5	-

การบันทึกรายละเอียด

1. ระบบพิกัดแสดงเป็นระบบ Latitude/Longitude ของจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว (Epicenter)
2. วันที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ Year, Month, Day
3. เวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว รายงานในระบบ Hour, Min และอาจลงรายละเอียดถึง Second
4. ขนาดและมาตราตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude and magnitude scale) ตัวแปรที่บ่งบอกว่าเครื่องตรวจรับแผ่นดินไหวนั้นตรวจรับคลื่นแผ่นดินไหวประเภทไหนเพราะเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นสามารถวัดประเภทของคลื่นได้มากกว่าหนึ่งประเภท ซึ่งจะมีข้อมูลของแต่ละคลื่นในหัวข้อการเปรียบเทียบมาตรฐานการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Magnitude conversion) ต่อไป

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

- กรอบพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ตั้งแต่ละติจูดที่ -32 ถึง -49 องศาใต้ และลองจิจูดที่ 159 ถึง 180 องศาตะวันออก
- ขนาดแผ่นดินไหวที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 0.0-10.0 M_w ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0-1,000 เมตร และระยะเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964-2016

3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT)

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

3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)

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

3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

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

3.1.4 ผลการรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

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

ด้วยเหตุนี้ก่อนเริ่มกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ จำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่โดยรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครือข่ายการตรวจวัดต่างๆ ทำให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีการกระจายตัวครอบคลุมมากขึ้น

เมื่อรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจากทั้ง 3 แหล่งข้อมูล พบว่ามีจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 182,986 เหตุการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1964-2016 ซึ่งมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ $0.0-8.1 M_w$ และมีความลึกตั้งแต่ 0-827 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.1 โดยสามารถสรุปเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด-จำนวนแผ่นดินไหว ความลึก-จำนวนแผ่นดินไหว และระยะเวลา (ปี)-จำนวนแผ่นดินไหว ได้ดังรูปที่ 3.2 และแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ดังรูปที่ 3.3

General Parameters!

EQs in catalog: 182986

Plot Big Events with: 7.9

Bin Length in days: 14

Beginning year: 1964.0121

Ending year: 2016.8871

Minimum Magnitude: 0

Maximum Magnitude: 8.1

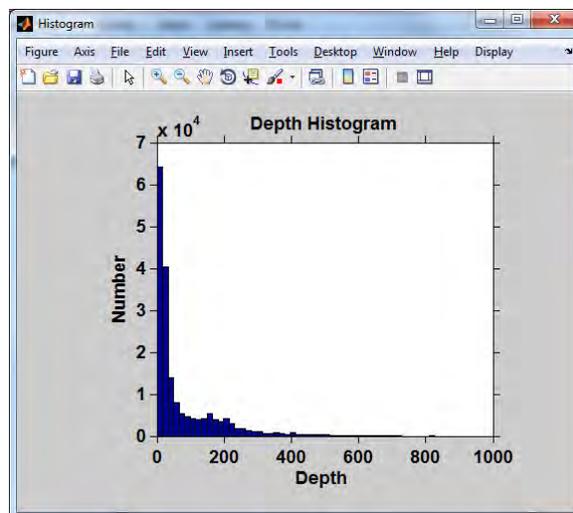
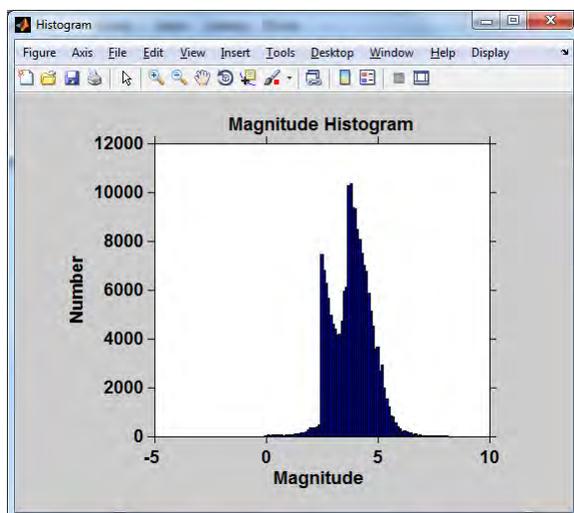
Min Depth: 0 **Max Depth:** 827

Info Go cancel

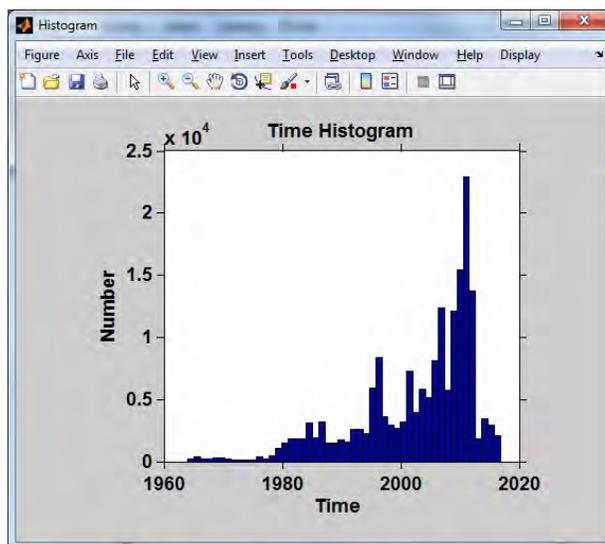
รูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลแผนที่ไหวทั้งหมดที่ได้จากฐานข้อมูลทั้ง 3 แหล่ง

ก) ขนาด-จำนวน แผ่นดินไหว

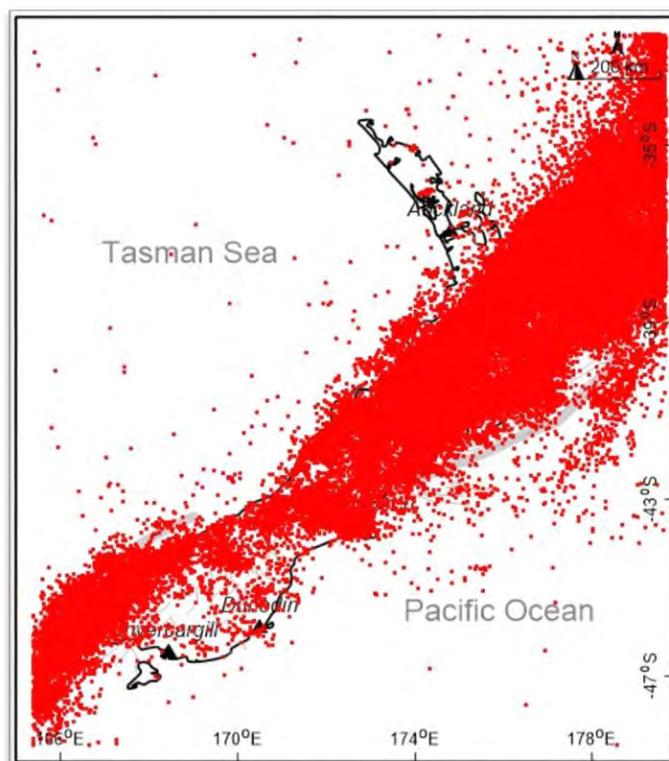
ข) ความลึก-จำนวนแผ่นดินไหว



ค) เวลา(ปี)-จำนวนแผ่นดินไหว



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับ (ก) ขนาด (M_w) (ข) ความลึก (กิโลเมตร) และ (ค) เวลา (ปี)



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล

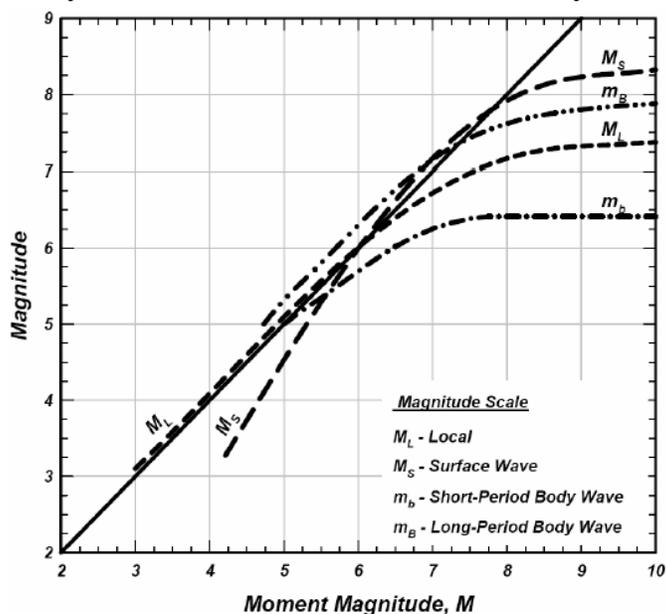
3.2 การเปรียบเทียบมาตรฐานขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

หลังจากผ่านการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหว พบว่าการรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต่างกัน จะมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งการตรวจวัดแผ่นดินไหวแต่ละครั้ง สามารถให้ค่าขนาดแผ่นดินไหวได้หลายหน่วยแตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทของคลื่นที่ตรวจวัด โดยหน่วยวัดขนาดแผ่นดินไหวมีดังนี้

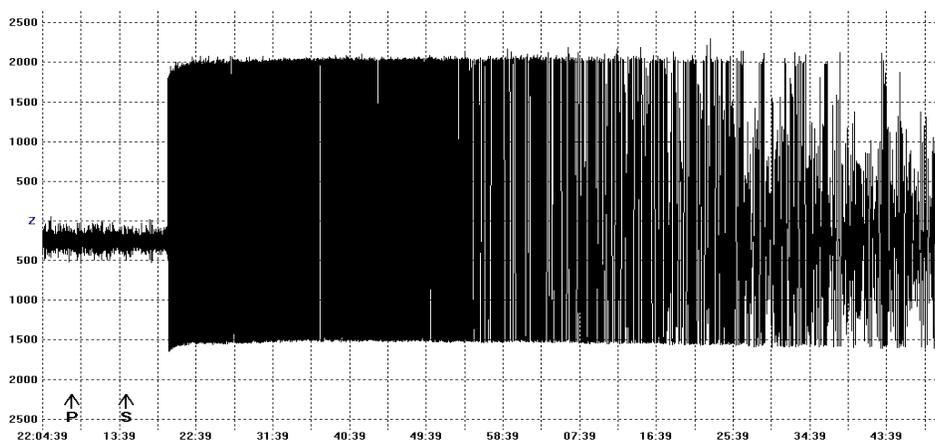
- **M_L (Local Magnitude)** คือ การรายงานขนาดแผ่นดินไหวที่เกิดในท้องถิ่น มีความแม่นยำมากหากวัดภายในบริเวณที่ใกล้จุดเกิดแผ่นดินไหว แต่หากตรวจวัดในระยะทางที่ไกลออกไปจะให้ความถูกต้องของข้อมูลแผ่นดินไหวลดน้อยลง นิยมวัดแผ่นดินไหวในหน่วย M_L ในกรณีประเมินแผ่นดินไหวเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดกับสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้น เช่น เหมือง เขื่อน อาคารสูง ใช้ได้เฉพาะแผ่นดินไหวในระยะไม่เกิน 650 กิโลเมตร
- **m_b (Body-Wave Magnitude)** เมื่อเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจะเกิดคลื่นแผ่นดินไหวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในโลก สามารถแบ่งคลื่นเนื้อโลกได้สองแบบคือ คลื่นปฐมภูมิ (P-Wave) และคลื่นทุติยภูมิ (S-Wave) ในการเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้งคลื่นที่จะเกิดพร้อมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเสมอคือคลื่นเนื้อโลก จำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าชนิดของขนาดแผ่นดินไหวอื่นๆ 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 พื้นที่การเคลื่อนตัว ตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่ ขนาดแผ่นดินไหวชนิดนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของเครื่องมือวัด ถือเป็นชนิดของขนาดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่นๆ ที่สามารถตรวจได้ ซึ่งแทนด้วย M เป็นข้อมูลที่ทางผู้ให้บริการฐานข้อมูลแผ่นดินไหวไม่ได้ระบุชนิดของแผ่นดินไหว แต่ด้วยจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ยังสามารถเติมเต็มกับข้อมูลแผ่นดินไหวอื่นๆ ได้และจะกำหนดให้แผ่นดินไหวที่ไม่ทราบชนิดของขนาดแผ่นดินไหวนี้เป็น M_W

ดังนั้นข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาจากหลายแหล่งข้อมูลจะมีขนาดการวัดแผ่นดินไหวที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับเครื่องวัดแผ่นดินไหว พบว่าหากใช้ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นในการวิเคราะห์จะเกิดความผิดพลาดมากโดยเฉพาะแผ่นดินไหวที่มาจากระยะไกล หรือการใช้คลื่นแผ่นดินไหวคนละแบบที่ต่างกันอย่างที่มาจากคลื่นเนื้อโลกหรือคลื่นผิวโลกจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นและได้ผลไม่เหมือนกัน ถึงแม้จะเป็นแผ่นดินไหวที่เป็นเหตุการณ์เดียวกันก็ตาม สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความต่างต่างนั้นอาจมาจากคุณสมบัติของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ที่มีข้อจำกัดในการวัดขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแบบหรือแต่ละคลื่น เช่น คลื่นเนื้อโลกและคลื่นผิวโลกมีจุดความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหว (Saturation of earthquake magnitude) ดังรูปที่ 3.4 ข้อจำกัดที่ว่านั้นอาจจะเป็นแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินไปจนทำให้ขนาดที่สูงเกินไปไม่สามารถวัดและทำการบันทึกได้ ดังรูปที่ 3.5



รูป 3.4 แสดงค่าความอิ่มตัวของขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆเมื่อเทียบกับ M_w (Kagan และ Knopoff, 1980)



รูป 3.5 แสดงตัวอย่างการวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่แอมพลิจูดสูงเกินขอบเขตที่เครื่องตรวจวัดจะบันทึกได้

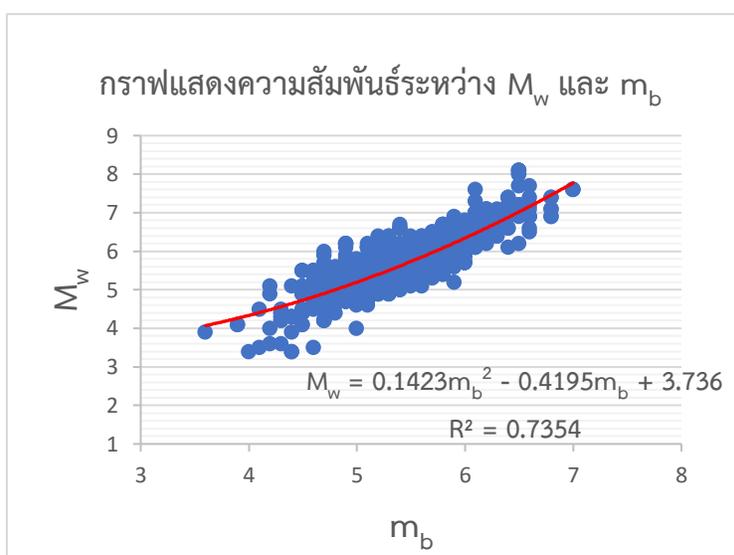
เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากฐานข้อมูลในแต่ละที่นั้นจะมีการรายงานชนิดของขนาดแผ่นดินไหวหลากหลายมาตรวัด ทั้ง m_b , M_S , M_W หรือ M_L เพื่อความสะดวกและความเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องปรับฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมมาให้อยู่ในหน่วยเดียวกันทั้งหมดก่อนจะนำไปดำเนินการต่อไป ซึ่งในปัจจุบันหน่วยมาตรวัดที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและมีความน่าเชื่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

โดยเริ่มต้นจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์จะมีค่าเฉพาะตัวและแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ จากนั้นจะต้องเลือกคู่สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้แปลงหน่วยฐานข้อมูล โดยจะทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟโพลีโนเมียลของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่หน่วยในการแปลงมาตรวัด โดยความเหมาะสมของสมการสามารถพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ โดยหากค่า R^2 ยังมีค่าใกล้เคียง 1 หมายถึงสมการดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งในที่นี้สามารถเลือกคู่ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมได้ 3 ความสัมพันธ์ดังนี้

3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) ดังสมการ (3.1) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.6

$$M_W = 0.1423m_b^2 - 0.4195m_b + 3.736 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

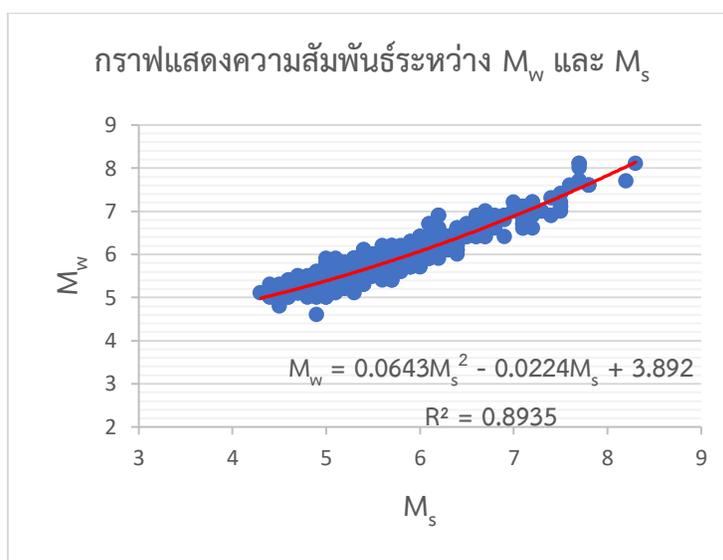


รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_W) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตรวัด m_b และ M_W

3.2.2 ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ดังสมการ (3.2) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.7

$$M_w = 0.0643M_s^2 - 0.0224M_s + 3.892 \quad \text{สมการ (3.2)}$$

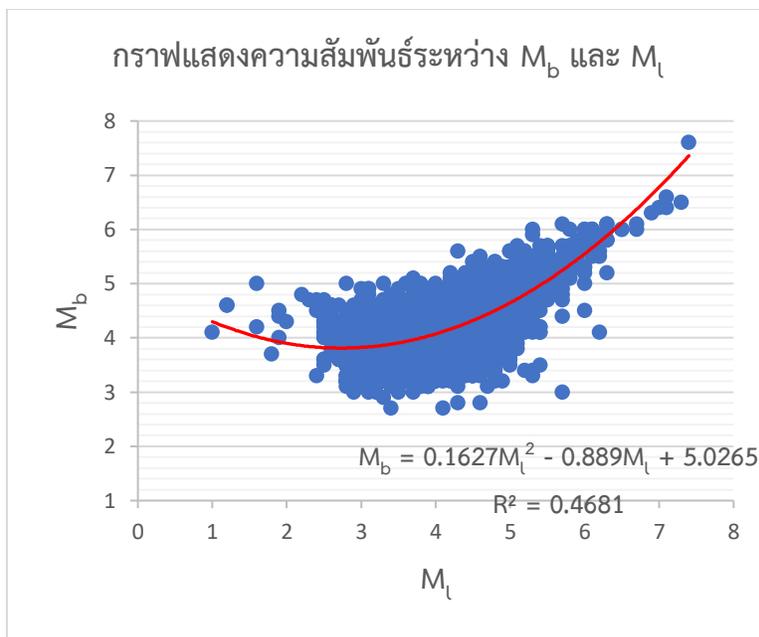


รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด M_w และ M_s

3.2.3 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l) เป็นดังสมการ (3.3) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 3.8

$$M_b = 0.1627M_l^2 - 0.889M_l + 5.0265 \quad \text{สมการ (3.3)}$$



รูปที่ 3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l) โดยจุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด m_b และ M_l

เดิมเรามีจุดประสงค์ที่จะแปลงหน่วยทุกหน่วยให้เป็น M_w แต่จะเห็นว่ามีสองคู่สมการที่สามารถแปลงมาตราวัดในหน่วย m_b และ M_s ให้เป็น M_w ได้โดยตรง ดังสมการ (3.1) และสมการ (3.2) ตามลำดับ เหลือเพียงหน่วย M_l ที่ไม่สามารถแปลงเป็น M_w ได้โดยตรง ซึ่งจากสมการ (3.3) จะเห็นว่าเราต้องแปลงหน่วย M_l เป็น m_b ก่อน จากนั้นจึงทำการแปลงหน่วย m_b ที่ได้ไปเป็นหน่วยมาตราวัด M_w ด้วยสมการ (3.1) อีกครั้ง ถือเป็นอันสิ้นสุดกระบวนการ

3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

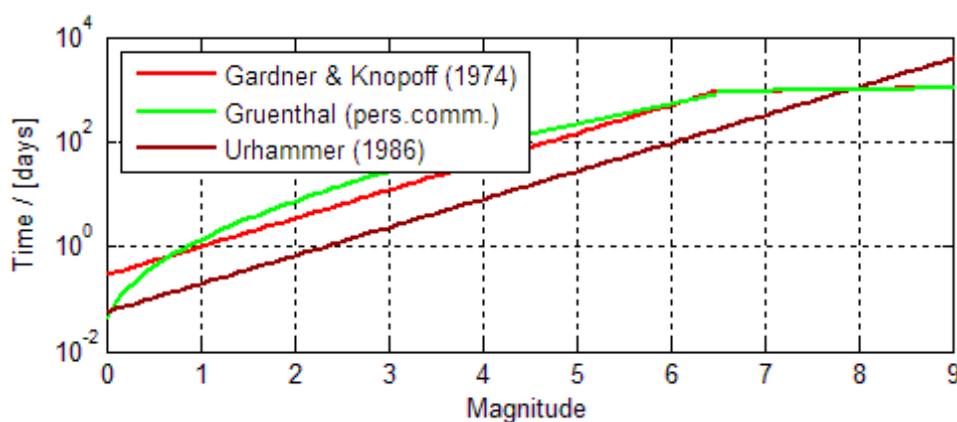
โดยปกติการเกิดแผ่นดินไหวครั้งหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยแผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์ย่อยๆด้วยกันคือ แผ่นดินไหวนำ (foreshock), แผ่นดินไหวหลัก (main shock) และแผ่นดินไหวตาม (aftershock) โดยแผ่นดินไหวหลักเกิดจากแรงเค้น (stress) อันเนื่องมาจากการกระทำทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง ในขณะที่แผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามนั้นเกิดจากแรงเครียด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

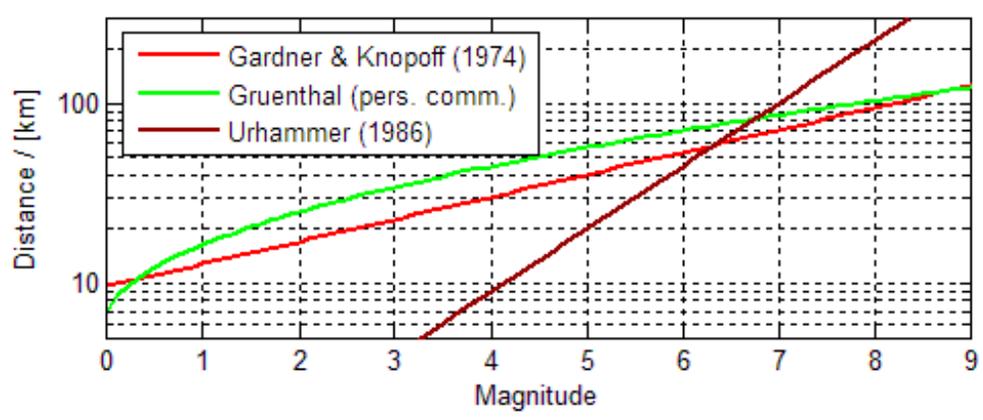
ดังนั้นหากต้องการเหตุการณ์ที่สื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวโดยแท้จริงที่เกี่ยวข้องกับธรณีแปรสัณฐาน จะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลัก แต่จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มานั้นจะมีการบันทึกทั้งแผ่นดินไหวหน้า แผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตาม ดังนั้นขั้นตอนการคัดเลือกแผ่นดินไหวนี้จึงมีขึ้นเพื่อตัดแผ่นดินไหวหน้า และแผ่นดินไหวตามออกไป โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่าง

1. ขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว
2. ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่พิจารณา
3. ช่วงเวลาที่เกิดขึ้น

โดยวิธีการคัดเลือกแผ่นดินไหวถูกนำเสนอด้วยกัน 3 แนวคิด ได้แก่ Gardner และ Knopoff (1974) Grunenthal (ติดต่อส่วนตัว) และ Urhammer (1986) ดังรูป 3.9 ซึ่งในโครงการนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) โดยมีใจความสำคัญของแนวคิดว่าหากเกิดแผ่นดินไหวหลักขนาดเล็ก พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวหน้าและแผ่นดินไหวตามจะไม่กว้างหรือจะครอบคลุมเพียงพื้นที่เล็กๆ และระยะเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวตามนั้นก็สั้น ในทางตรงกันข้ามการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ พื้นที่ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหวหน้าและแผ่นดินไหวตามก็จะกว้างขึ้น ระยะเวลาของการปรับตัวของแผ่นดินไหวตามก็จะยาวนานขึ้น เนื่องจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวมีพื้นที่กว้างขึ้น จึงต้องใช้เวลาในการปรับให้เข้าสู่สมดุลเป็นเวลานานมากขึ้นนั่นเอง

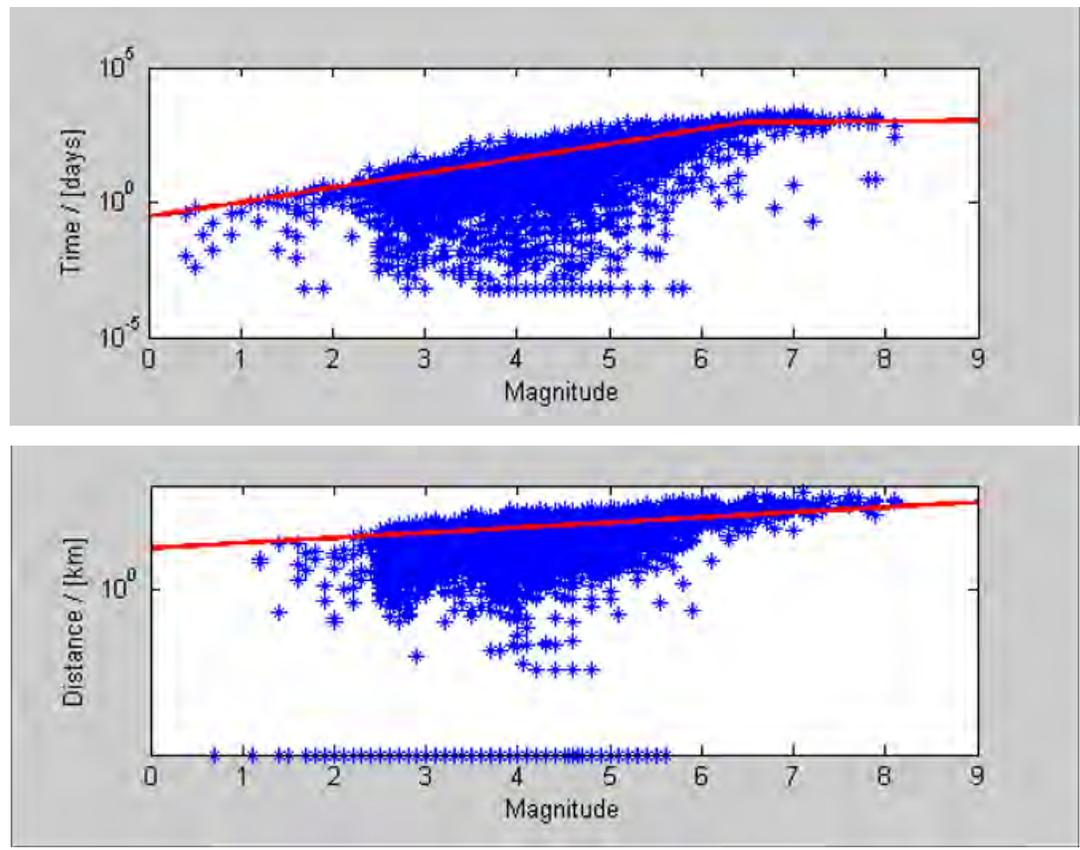
ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยต่างๆในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน จึงเป็นหนึ่งเหตุผลในการเลือกแนวคิดดังกล่าว





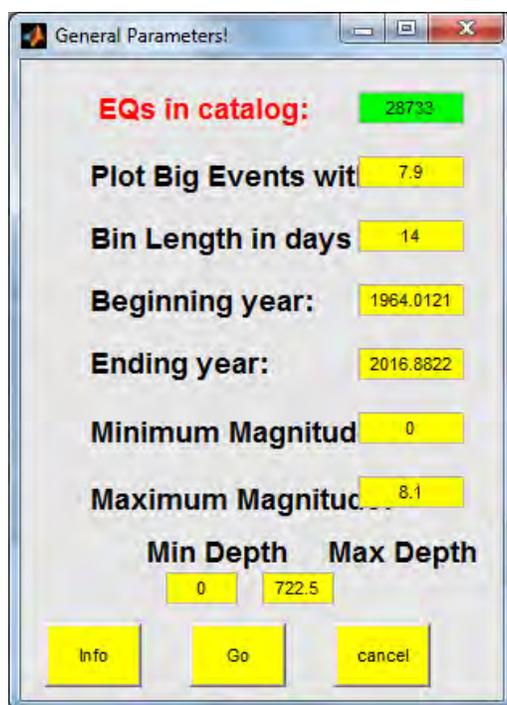
รูปที่ 3.9 แสดงสมมติฐานการคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักออกจากแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974)

นอกจากนี้การบันทึกเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งในแต่ละสถานีตรวจวัดอาจมีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวซ้ำกัน ก็จำเป็นจะต้องกำจัดข้อมูลแผ่นดินไหวที่ซ้ำซ้อนกันออกตามแนวทางของ Gardner และ Knopoff (1974) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหว เวลาที่เกิด และระยะทางหรือความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังรูป 3.10

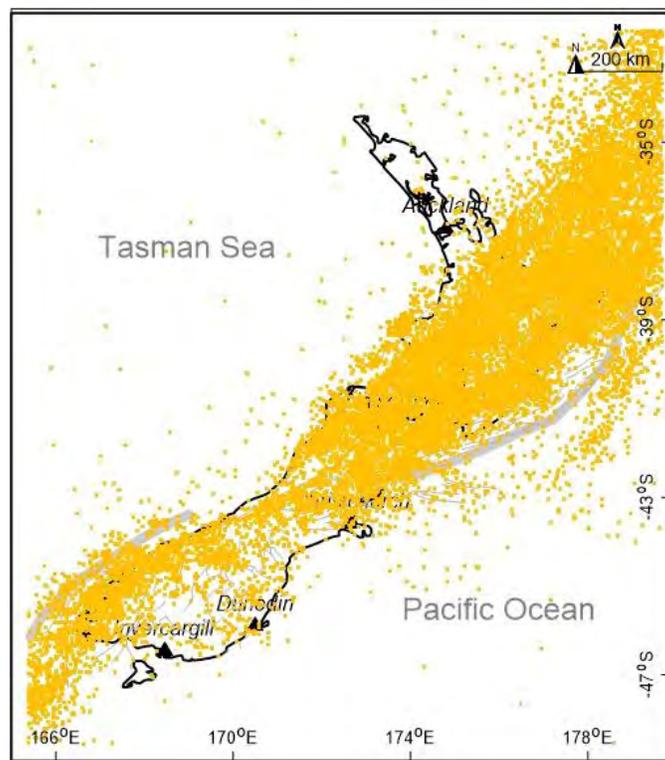


รูปที่ 3.10 แสดงผลวิเคราะห์ที่ได้จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) เส้นสีแดงคือกรอบเวลาและระยะทางของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ขนาดใหญ่ จุดสีฟ้าแสดงเหตุการณ์แผ่นดินไหวแต่ละเหตุการณ์ โดยแผ่นดินไหวที่มีระยะเวลาการเกิดต่ำกว่ากรอบเวลา (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะเวลา) และแผ่นดินไหวที่มีระยะทางน้อยกว่ากรอบระยะทาง (ต่ำกว่าเส้นสีแดงในกราฟระยะทาง) ถือเป็นแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม ขณะที่แผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นกรอบเวลาและเส้นกรอบระยะทางแสดงว่าเป็นแผ่นดินไหวหลัก

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวได้ 13,500 กลุ่มแผ่นดินไหว (Earthquake cluster) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดินไหวจำนวน 154,253 เหตุการณ์จากทั้งหมด 182,986 เหตุการณ์ (ซึ่งคิดเป็น 84.30% จากเหตุการณ์ทั้งหมด) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 28,733 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1964-2016 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.0-8.1 M_w ด้วยความลึก 0-722.5 กิโลเมตร ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ ดังรูป 3.11 และแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.11 รูปแสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก



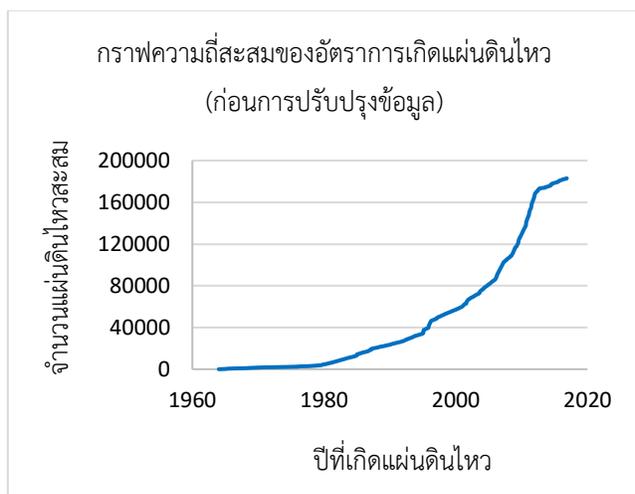
รูปที่ 3.12 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

3.4 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-Made Seismicity)

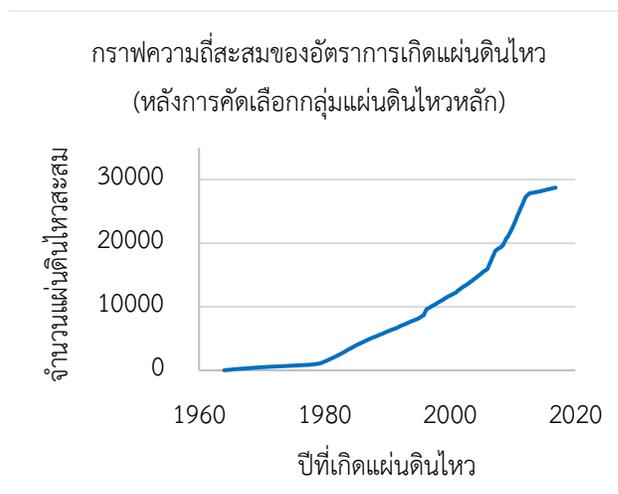
ในทางทฤษฎี นักแผ่นดินไหววิทยาเชื่อว่ากลไกหลักของการเกิดแผ่นดินไหวของกระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใด ในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปีของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งหากพิจารณาในเชิงจำนวนแผ่นดินไหวตามเวลาของการบันทึกในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ควรให้ผลเป็นกราฟเส้นตรง

ดังนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้หลังจากการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering) มาพิจารณาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ข้างต้น ผลปรากฏดังรูป 3.13 ซึ่งพบว่ากราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก มีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นกว่าข้อมูลแผ่นดินไหวเดิมที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงข้อมูล แต่ก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตามหลักการ จึงเป็นผลว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่ผ่านการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักนี้ก็ยังไม่สมบูรณ์ 100% จึงต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปปรับปรุงคุณภาพอีกในขั้นตอนถัดไป

(ก)



(ข)



รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

นักแผ่นดินไหววิทยาจึงคาดว่าอาจจะจะมีปัจจัยด้านอื่นๆ ที่ทำให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้นั้นยังไม่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานอย่างแท้จริง จากการศึกษาของงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา พบว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหวส่วนใหญ่ นั้นมักได้รับผลกระทบต่างๆ จากกระบวนการตรวจวัดของมนุษย์ เช่น การเพิ่ม/ลด สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเครือข่ายตรวจวัด ซึ่งจะส่งผลให้มีการบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวมากขึ้น/น้อยลงกว่าปกติ (Kanamori, 1981; Habermann และ Wyss, 1984; Wyss, 1991) การเปลี่ยนแปลงระเบียบวิธีหรือซอฟต์แวร์ในการประมวลผลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งทำให้การรายงานขนาดแผ่นดินไหวนั้นเปลี่ยนแปลงไปทั้งระบบ (Wyss และ Habermann, 1988) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดหรือคำจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984; Habermann, 1987) เป็นต้น

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เพื่อให้การวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวมีความแม่นยำสูงสุด ในโครงการวิจัยชิ้นนี้จึงใช้หลักการของ Habermann (1984) ซึ่งได้นำเสนอหลักการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหวและเสนอสมการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบันทึกและขนาดแผ่นดินไหว ดังสมการ (3.4) นำมาปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

$$Z = \frac{M1 - M2}{\sqrt{\frac{S1^2}{N1} + \frac{S2^2}{N2}}}$$

สมการ (3.4)

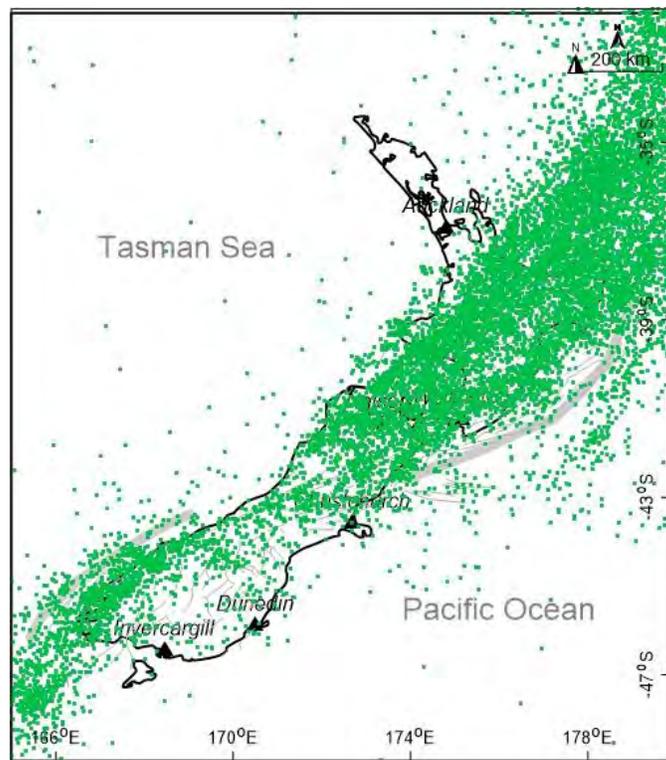
กำหนดให้

- Z คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดและในแต่ละช่วงเวลา
- M1 และ M2 คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา
- S1 และ S2 คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- N1 และ N2 คือ จำนวนของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 19,012 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1978-2012 มีขนาดตั้งแต่ 3.3-8.1 M_w ดังข้อมูลที่แสดงในรูป 3.14 ได้เป็นแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์ ดังรูปที่ 3.15 จากนั้นนำมาตราตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นพบว่ากราฟความถี่สะสมมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากยิ่งขึ้น ดังรูป 3.16 แสดงถึงข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์มากขึ้นนั่นเอง

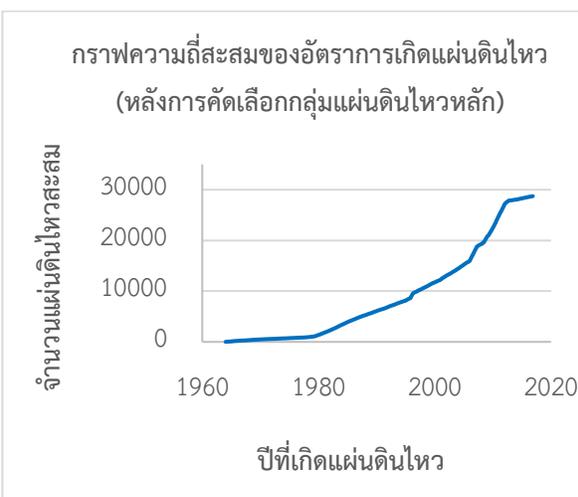
Parameter	Value
EQs in catalog:	19012
Plot Big Events with	7.9
Bin Length in days	14
Beginning year:	1978.4001
Ending year:	2012.958
Minimum Magnitud	3.3
Maximum Magnitud	8.1
Min Depth	0
Max Depth	722.5

รูปที่ 3.14 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยขั้นตอนการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์

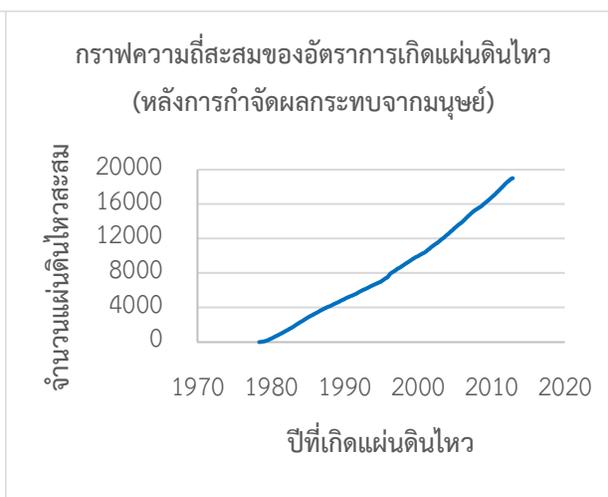


รูปที่ 3.15 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์

(ก)



(ข)



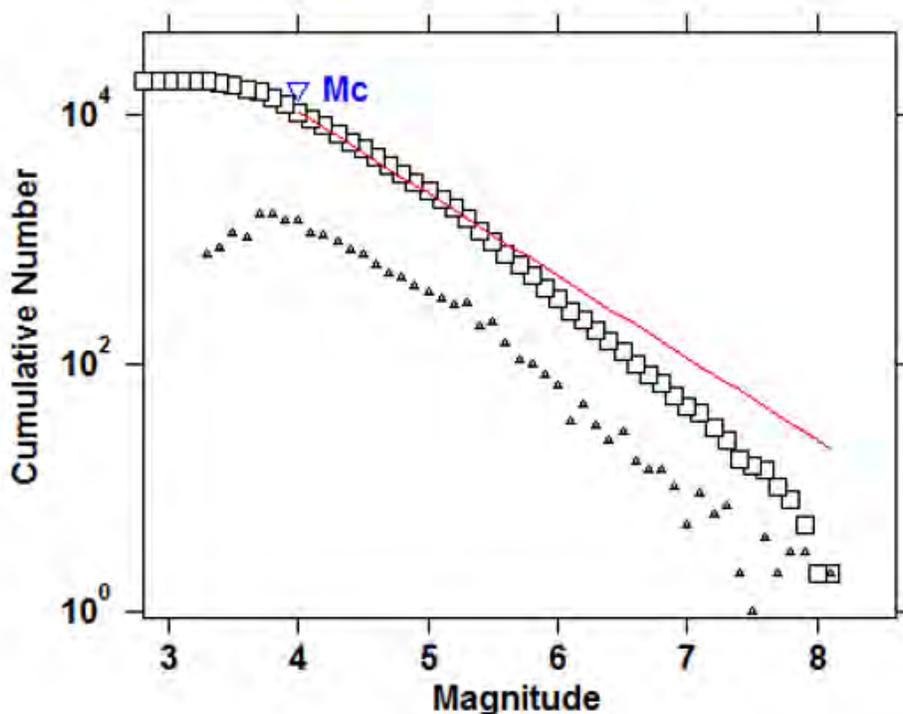
รูปที่ 3.16 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) หลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก และ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์

3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

จากการศึกษาในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาพบว่ามีความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวอันเนื่องมาจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องมือตรวจวัด เช่นในกรณีแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็ก แรงสั่นสะเทือนบางส่วนไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือทั้งที่มีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นจริง

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

เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหว จึงมีการกำหนดค่า $M_c = 4.0$ ดังรูป 3.17 ซึ่งหมายความว่า ข้อมูลแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์คือ แผ่นดินไหวที่มีขนาด $4.0 M_w$ ขึ้นไป



รูปที่ 3.17 แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยเครื่องหมายสามเหลี่ยมแสดงจำนวนแผ่นดินไหวที่พบในแต่ละขนาด ส่วนเครื่องหมายสี่เหลี่ยมแสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสมพบว่าขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้นั้นคือ $M_c = 4.0$ (จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหวจะเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตั้งแต่ $M_c = 4.0$ ขึ้นไป ดังเส้นกราฟสีแดง)

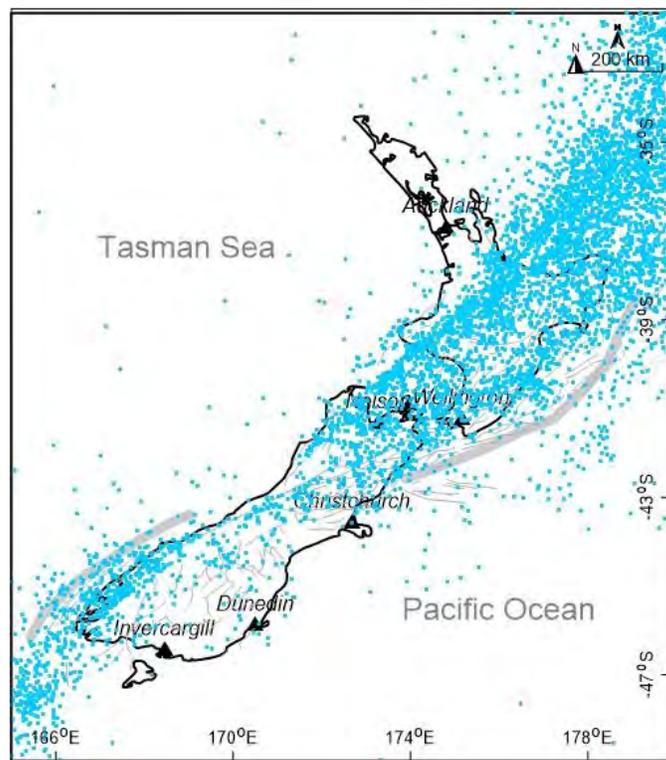
หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลแผ่นดินไหวผ่านกระบวนการทางสถิติทั้งหมดข้างต้น ถือว่าฐานข้อมูลที่ได้นั้นมีคุณภาพและมีความสมบูรณ์มากพอที่สามารถนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งข้อมูลแผ่นดินไหวสุทธิที่ได้ มีจำนวนทั้งหมด 10,651 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1978-2012 โดยมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 4.0-8.1 M_w ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และได้แผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ ดังรูป 3.19

และหากพิจารณาที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวกับปีที่เกิดหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแล้วจะพบว่า กราฟมีความเป็นเส้นตรงมากขึ้นจนเกือบจะเป็นเส้นตรงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนที่จะได้รับการปรับปรุงหรือข้อมูลที่ยังอยู่ในกระบวนการปรับปรุงขั้นตอนก่อนหน้า แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้หลังจากปรับปรุงแล้วจะมีความใกล้เคียงกับการเกิดแผ่นดินไหวตามธรรมชาติที่มีอัตราการเกิดแบบคงที่ ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลที่มีคุณภาพเหมาะแก่การนำไปวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.20

Parameter	Value
EQs in catalog:	10651
Plot Big Events with M	7.9
Bin Length in days :	14
Beginning year:	1978.4001
Ending year:	2012.958
Minimum Magnitude:	4
Maximum Magnitude:	8.1
Min Depth	0
Max Depth	722.5

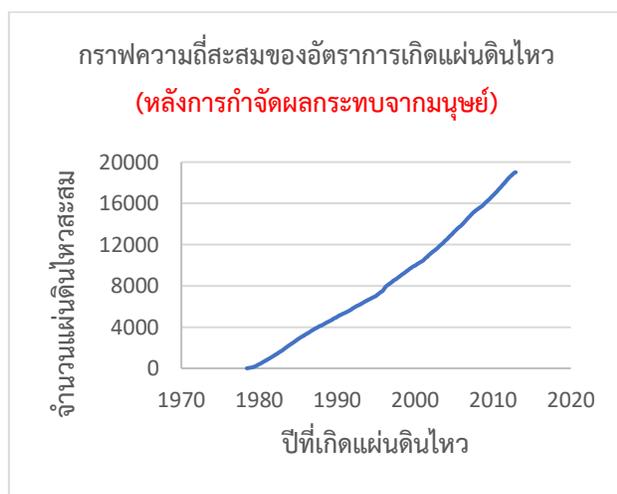
Buttons: Info, Go, cancel

รูปที่ 3.18 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

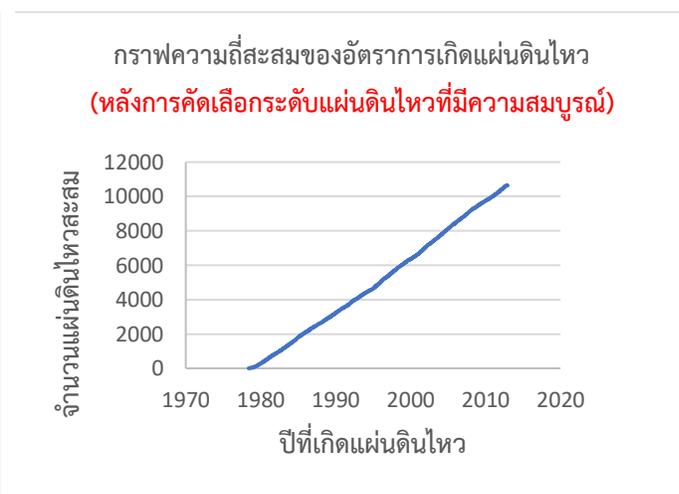


รูปที่ 3.19 แผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นดินไหวหลังคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

(ก)



(ข)



รูปที่ 3.20 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) หลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์และ (ข) หลังจากคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

บทที่ 4

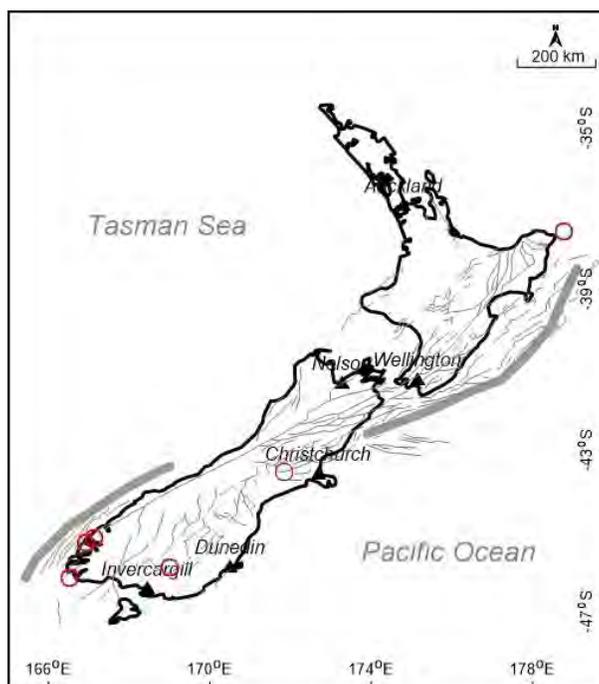
การวิเคราะห์และผลการศึกษา (ANALYSIS AND RESULT)

4.1. การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

เป็นวิธีการหาตัวแปรที่นำมาใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ระยะเวลาและจำนวนเหตุการณ์ในรัศมีว่าให้ผลที่แม่นยำในการทำนาย (Forecast) หาพื้นที่เสี่ยง โดยการนำเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆที่สนใจมาวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้งเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงก่อนการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอดีตที่ได้ทำการคัดเลือกให้มาเป็นกรณีศึกษาจนครบทุกกรณีจนพบเงื่อนไขและตัวแปรที่ให้ผลแม่นยำที่สุดมาใช้ในการหาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตต่อไป

4.1.1. คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)

ขั้นแรกจะต้องเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษา ในโครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยให้ความสนใจกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 7.0 M_w ขึ้นไป เนื่องจากต้องการศึกษาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างแท้จริง ซึ่งมีกรณีศึกษาทั้งหมด 6 เหตุการณ์ ดังรูป 4.1 ซึ่งมีข้อมูลแต่ละเหตุการณ์ดังตาราง 4.1



รูป 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง

ตาราง 4.1 แสดงข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาเป็นกรณีศึกษา 6 เหตุการณ์

Event	Long	Lat	Year	Month	Day	M_w	Depth	Hour	Min
1	166.927	-45.277	1993	8	10	7	36	0	51
2	178.77	-37.57	1995	2	5	7.3	61	22	51
3	167.12	-45.18	2003	8	21	7.7	33	12	12
4	169.02	-45.89	2007	10	15	7.2	33	12	29
5	166.53	-46.15	2009	7	15	7.9	31.5	9	22
6	171.83	-43.522	2010	9	3	7.1	12	16	35

4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of Condition)

โดยอาศัยวิธีการจำลองการเกิดแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นแล้วในอดีต โดยการสร้างเงื่อนไขและกำหนดตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ซ้ำๆ ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยวิธีการทางสถิติของ Wiemer (2001) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือที่สุดในการนำมาใช้วิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวในระยะเวลาปัจจุบัน โดยตัวแปรที่ต้องกำหนดคือ จำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อยู่ภายในขอบเขตรัศมี (Number of events, N) ระยะเวลาที่สนใจ (Time width, T_w) และรัศมีการกวาดข้อมูล (Radius) โดยใช้สมการ (2.1)

ผลการวิเคราะห์จะได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดแผ่นดินไหวสูงสุดก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวของแต่ละกรณีศึกษาที่เงื่อนไขใดๆ ตรวจพบ (Z_{max}) ปีที่ตรวจพบภาวะเงียบสงบ (T_s) และระยะเวลาที่ตรวจพบภาวะเงียบสงบ (Detection of quiescence) โดยผลการวิเคราะห์เงื่อนไขบางส่วนแสดงดังตารางที่ 4.2

จากนั้นเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยเลือกเอาเงื่อนไขที่มีจำนวนเหตุการณ์มากกว่า 100 เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้จำนวนข้อมูลที่มากก็จะมีค่าที่น่าเชื่อถือ ระยะเวลาที่มีช่วงกว้างก็จะมีค่าความผิดพลาดของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการเกิดแผ่นดินไหวได้ดี และกำจัดเงื่อนไขบางส่วนที่ตรวจพบภาวะเงียบสงบที่นานเกินไป หลังจากพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและตัดเงื่อนไขที่ไม่เหมาะสมออกไปพบว่าเหลือเงื่อนไขมาพิจารณา 3 เงื่อนไขด้วยกัน ดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างเงื่อนไขบางส่วนที่วิเคราะห์จากข้อมูลของแผ่นดินไหวด้วยสมการ 2.1

Num Events	T_w (Year)	Long	Lat	Year	M_w	Radius (Km)	T_s (Year)	Z_{max}	Detection of Quiescence (Year)
25	0.5	178.770	-37.570	1995.10	7.3	37.76	1993.82	5.2	1.3
25	0.5	166.530	-46.150	2009.54	7.9	32.41	2008.09	5.1	1.4
25	0.5	171.830	-43.522	2010.67	7.1	54.90	2009.32	5.1	1.4
25	0.5	167.120	-45.180	2003.64	7.7	26.31	2000.84	5.1	2.8
25	0.5	169.020	-45.890	2007.79	7.2	106.23	2003.64	4.4	4.1
25	0.5	166.927	-45.277	1993.61	7.0	30.17	1989.45	4.8	4.2
25	1.0	178.770	-37.570	1995.10	7.3	37.76	1993.82	5.2	1.3
25	1.0	166.530	-46.150	2009.54	7.9	32.41	2008.09	5.1	1.4
25	1.0	171.830	-43.522	2010.67	7.1	54.90	2009.32	5.1	1.4
25	1.0	167.120	-45.180	2003.64	7.7	26.31	2000.84	5.1	2.8
25	1.0	169.020	-45.890	2007.79	7.2	106.23	2003.64	4.4	4.1
25	1.0	166.927	-45.277	1993.61	7.0	30.17	1989.45	4.8	4.2
25	1.5	167.120	-45.180	2003.64	7.7	26.31	2000.84	5.1	2.8
25	1.5	166.530	-46.150	2009.54	7.9	32.41	2005.48	5.1	4.1
25	1.5	169.020	-45.890	2007.79	7.2	106.23	2003.64	4.4	4.1
25	1.5	166.927	-45.277	1993.61	7.0	30.17	1989.45	4.8	4.2
25	1.5	171.830	-43.522	2010.67	7.1	54.90	2005.21	5.1	5.5
25	1.5	178.770	-37.570	1995.10	7.3	37.76	1988.72	1.3	6.4
25	2.0	167.120	-45.180	2003.64	7.7	26.31	2000.84	5.1	2.8
25	2.0	166.530	-46.150	2009.54	7.9	32.41	2005.48	5.1	4.1
25	2.0	169.020	-45.890	2007.79	7.2	106.23	2003.64	4.4	4.1
25	2.0	166.927	-45.277	1993.61	7.0	30.17	1989.45	4.8	4.2
25	2.0	178.770	-37.570	1995.10	7.3	37.76	1988.72	1.9	6.4
25	2.0	171.830	-43.522	2010.67	7.1	54.90	2003.14	5.1	7.5

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลทั้ง 3 เงื่อนไขในการนำมาทดสอบย้อนกลับ โดยตัวแปรที่กำหนดประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี, ระยะเวลา, รัศมี และจำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา

เงื่อนไขที่ 1	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	100 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	3.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	6 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 2	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	125 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	6 เหตุการณ์
เงื่อนไขที่ 3	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	125 เหตุการณ์
	ระยะเวลา	2.5 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	6 เหตุการณ์

เริ่มทำการทดสอบย้อนกลับของกรณีศึกษาที่ละกรณีโดยคัดเลือกกรณีศึกษามา 1 กรณีและเลือกเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นก่อนเกิดเหตุการณ์ของกรณีศึกษานั้นนำมาทดสอบหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวเชิงเวลา (Temporal) และเชิงพื้นที่ (Spatial) ด้วยสมการ (2.1) เช่น เหตุการณ์ที่ 1 จากตาราง 4.1 ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 แสดงรายละเอียดตัวอย่างกรณีศึกษาที่ 1

Long	Lat	Year	Month	Day	Mw	Depth	Hour	Min
166.927	-45.277	1993	8	10	7.0	36	0	51

เหตุการณ์แผ่นดินไหวของกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นวันที่ 10 สิงหาคม ปี ค.ศ. 1993 ดังนั้นจะต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่วันแรกที่มีการบันทึกจนถึงวันและเวลาที่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวนี้มาศึกษา โดยใช้สมการ (2.1) ในการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อหาค่า Z ตามเงื่อนไขที่ 1 จากตาราง 4.3 ทำวิธีเดียวกันกับทุกกรณีศึกษาด้วยเงื่อนไขเดียวกัน จากนั้นจึงเริ่มใช้เงื่อนไขที่ 2 มาวิเคราะห์ต่อด้วยกรณีศึกษาแรกอีกครั้งแล้วทำต่อจนครบทุกกรณีศึกษา ทำเช่นนี้ไปจนครบทั้ง 8 เงื่อนไขดังตาราง 4.3 สุดท้ายจะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวของทั้งพื้นที่ในช่วงเวลา ก่อนเกิดของเหตุการณ์ของกรณีศึกษาแต่ละกรณี แล้วนำไปทำแผนที่เพื่อ

ตรวจสอบความเหมาะสมของเงื่อนไขต่างๆ ว่าให้ผลที่สอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ของแต่ละกรณีศึกษาหรือไม่ ซึ่งเงื่อนไขที่ให้ผลสอดคล้องที่สุดจึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

เมื่อได้แผนที่การทดสอบย้อนกลับและทำการพิจารณาความเหมาะสมครบทุกเงื่อนไขแล้ว พบว่าเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขสามารถตรวจพบค่าความผิดปกติหรือภาวะเจ็บสงบก่อนการเกิดแผ่นดินไหวได้ก่อนเกิดแผ่นดินไหวตามมาของทุกกรณีศึกษา แต่เงื่อนไขที่ 1 สามารถตรวจสอบและจำกัดวงของพื้นที่เสี่ยงได้แคบกว่าเงื่อนไขอีก 2 เงื่อนไข เนื่องจากมีกรอบเวลาที่กว้างกว่า ทำให้ตรวจพบพื้นที่ที่แสดงค่าผิดปกติได้ชัดเจนที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงให้เงื่อนไข 1 ที่มีจำนวนเหตุการณ์ในรัศมี 100 เหตุการณ์ ในกรอบเวลา 3 ปี รัศมี 300 กิโลเมตร เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตต่อไป แสดงรายละเอียดเงื่อนไขที่ดังตารางที่ 4.5

ตาราง 4.5 แสดงข้อมูลเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับ

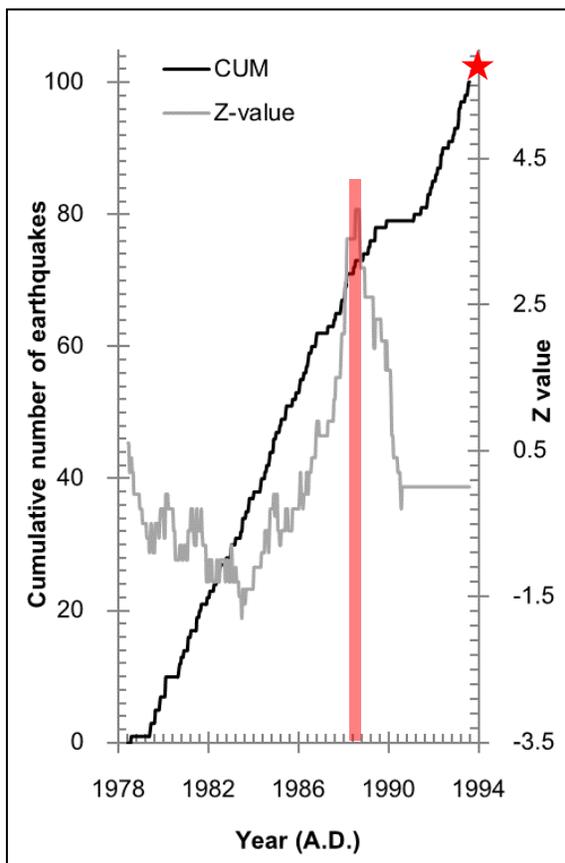
เงื่อนไขที่ 1	จำนวนเหตุการณ์ในรัศมี	100 เหตุการณ์
	กรอบเวลา	3.0 ปี
	รัศมี	300 กิโลเมตร
	จำนวนเหตุการณ์ที่ตรงกับกรณีศึกษา	6 เหตุการณ์

4.1.3 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ช่วงเวลา และค่า Z

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมได้แก่เงื่อนไขที่ 1 ต้องนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงค่า Z เชิงเวลา (Temporal) โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ปรับปรุงฐานข้อมูลแล้ว ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ต้นจนถึงข้อมูลก่อนถึงช่วงเวลาก่อนเกิดกรณีศึกษา ด้วยสมการ (2.1) เพื่อเป็นการพิจารณาค่า Z และระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่านกราฟความสัมพันธ์ ซึ่งมีแกนตั้งสองแกนประกอบด้วยแกนแสดงข้อมูลจำนวนแผ่นดินไหวสะสมและแกนแสดงค่า Z และแกนนอนแสดงระยะเวลาปี โดยปรากฏผลการวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์ ดังรูป 4.2

1.) Magnitude : 7.0 M_w

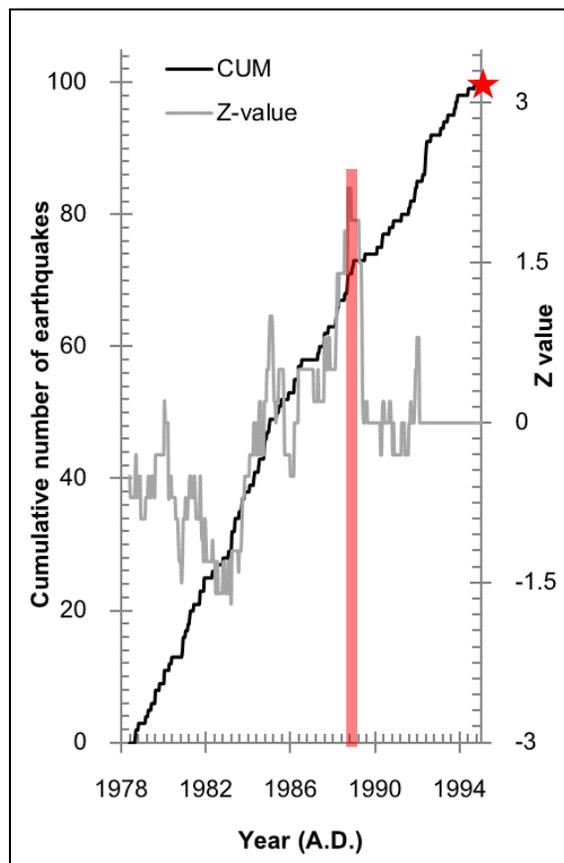
Date : 10/08/1993



พบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี 1988.53 มีค่า $Z_{\max} = 3.8$ เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 5.1 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.0 M_w ในวันที่ 10 สิงหาคม ค.ศ. 1993

2.) Magnitude : 7.3 M_w

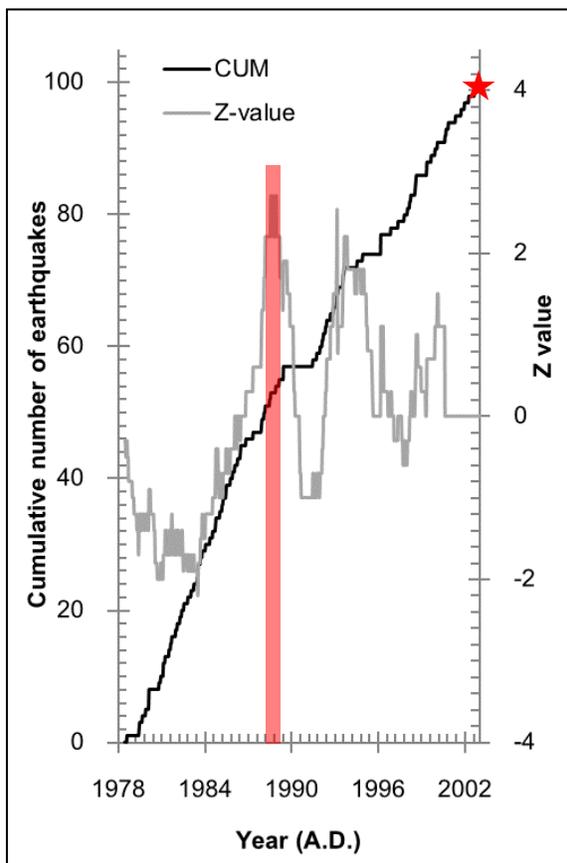
Date : 05/02/1995



พบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี 1988.72 มีค่า $Z_{\max} = 2.2$ เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 6.4 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.3 M_w ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1995

3.) Magnitude : 7.7 M_w

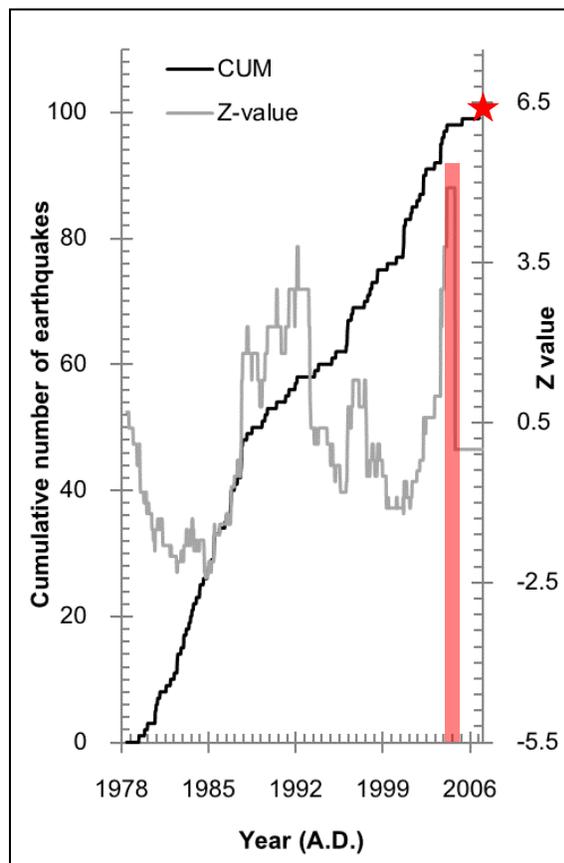
Date : 21/08/2003



พบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี 1988.88 มีค่า $Z_{max} = 2.7$ เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 14.8 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.7 M_w ในวันที่ 21 สิงหาคม ค.ศ. 2003

4.) Magnitude : 7.2 M_w

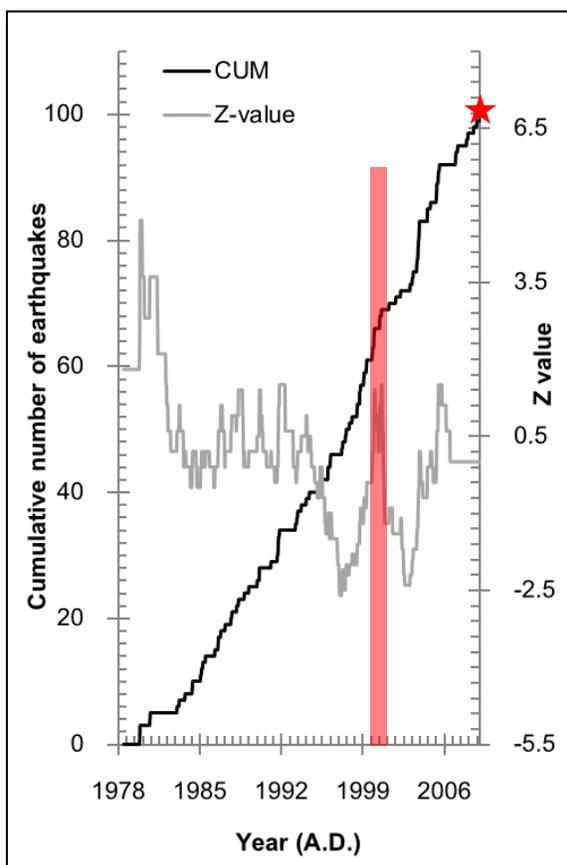
Date : 15/10/2007



พบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี 2004.14 มีค่า $Z_{max} = 4.9$ เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 3.6 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.2 M_w ในวันที่ 15 ตุลาคม ค.ศ. 2007

5.) Magnitude : 7.9 M_w

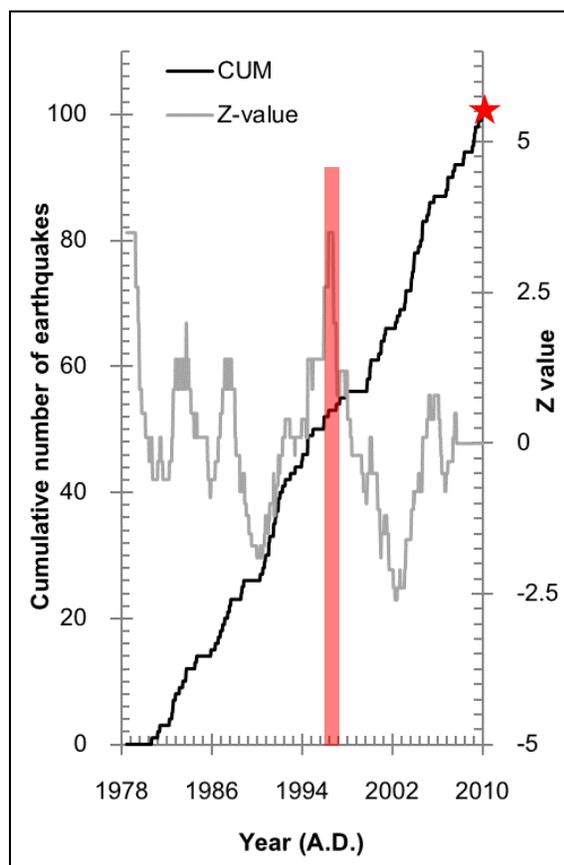
Date : 15/07/2009



พบภาวะเจียบสงบตั้งแต่ปี 2000.61 มีค่า $Z_{\max} = 1.5$ เกิดภาวะเจียบสงบเป็นเวลา 8.9 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.9 M_w ในวันที่ 15 กรกฎาคม ค.ศ. 2009

6.) Magnitude : 7.1 M_w

Date : 03/09/2010



พบภาวะเจียบสงบตั้งแต่ปี 1996.32 มีค่า $Z_{\max} = 3.5$ เกิดภาวะเจียบสงบเป็นเวลา 14.4 ปี ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.1 M_w ในวันที่ 3 กันยายน ค.ศ. 2010

รูป 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสม และค่า Z กับปี ค.ศ. ที่เกิดแผ่นดินไหวในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา โดยเส้นสีดำแสดงจำนวนแผ่นดินไหวสะสม ขณะที่เส้นสีเทาแสดงค่า Z แต่ละช่วงเวลา ส่วนแท่งสีแดงแสดงถึงช่วงภาวะเจียบสงบที่มีค่า Z สูงสุด ก่อนเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละกรณีศึกษาทั้ง 6 กรณี ที่แทนด้วยสัญลักษณ์ดาวสีแดง แต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1.) – 6.) ย่อยตามลำดับ

จากกราฟความสัมพันธ์ส่วนใหญ่ พบว่ามีช่วงเวลาของภาวะเงียบสงบ (Seismic quiescence) ส่วนใหญ่มีค่า Z สูงสุดอยู่ในช่วง 1.5-4.9 ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดปกติที่ตรวจพบมีความชัดเจนค่อนข้างสูง และมีระยะเวลา ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ อยู่ในช่วง 2-15 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำนายเหตุการณ์แผ่นดินไหวในช่วงระยะเวลาปานกลาง (Intermediate term) นอกจากนี้พบว่าค่า Z สูงสุดในแต่ละกราฟ ปรากฏในหลายช่วงเวลา ซึ่งความผิดปกติดังกล่าว มีสาเหตุมาจาก

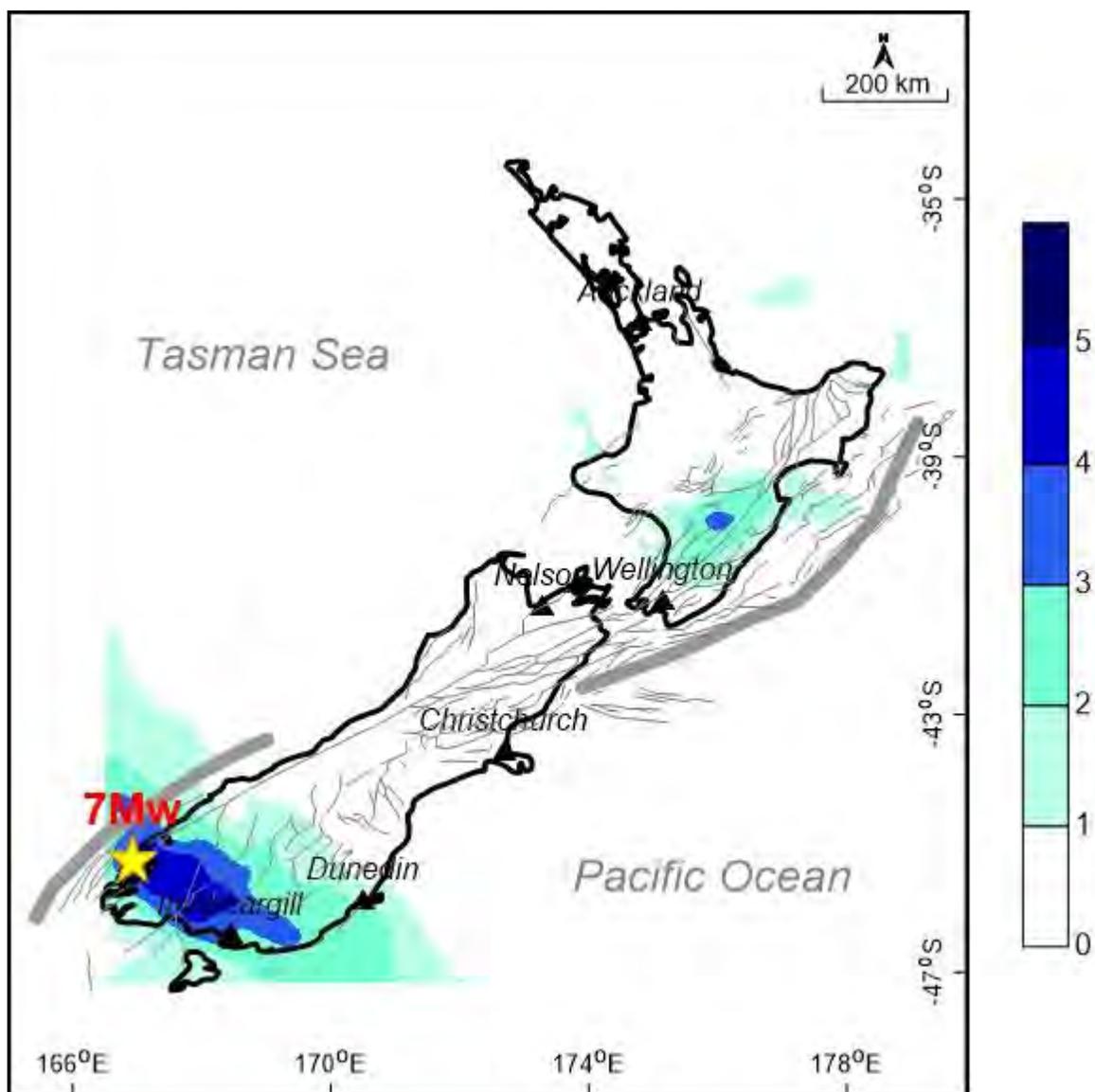
- 1.) ข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในพื้นที่ศึกษามีจำนวนค่อนข้างน้อย
- 2.) จำนวนแผ่นดินไหวในรัศมีมีจำนวนน้อยเกินไป
- 3.) กรอบเวลา (T_w) ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีช่วงที่สั้นเกินไป

4.1.4 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z value)

หลังจากพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลแผ่นดินไหวจากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้นแล้ว ต้องเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ (Spatial) เพื่อหาตำแหน่งที่แสดงค่าความผิดปกติ หรือค่า Z สูงสุด ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษา โดยนำมาทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z (Spatial distribution of Z -value) ด้วยโปรแกรม Surfer v.11 ซึ่งต้องพิจารณาแผนที่ดังกล่าวในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาเพื่อหาเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะต้องแสดงค่าผิดปกติของค่า Z อย่างชัดเจนสอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง โดยหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของแผนที่ดังกล่าว พบว่ามีเหตุการณ์ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า Z สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริงทุกกรณีศึกษา โดยแสดงตัวอย่างแผนที่การกระจายตัวของค่า Z ดังรูปที่ 4.3

1.) Magnitude : 7.0 M_w

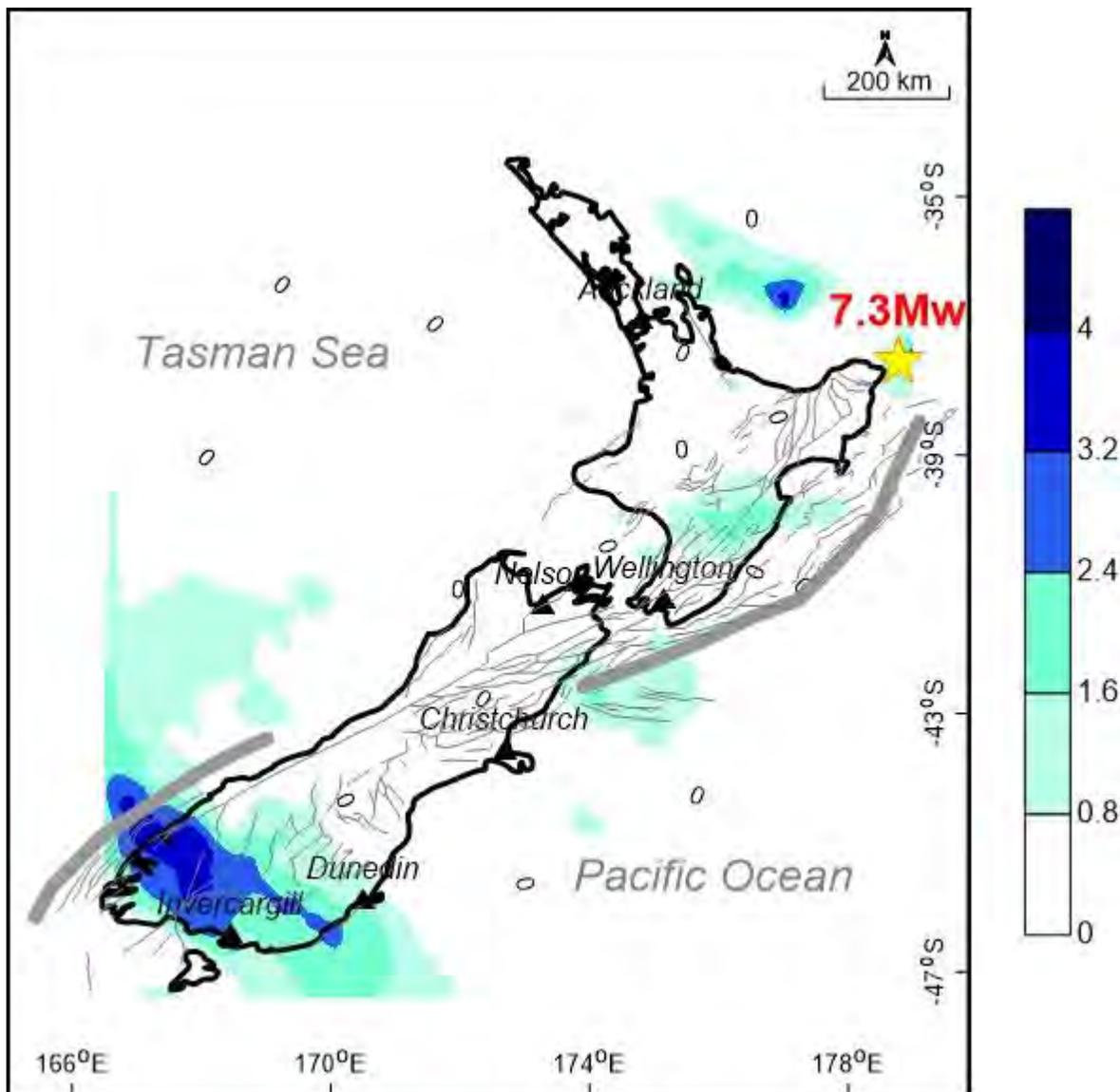
Date : 05/02/1993



จากแผนที่ด้านบนพบว่า มีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 3.8 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวอยู่บริเวณเล็กๆทางตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะเหนือ และบริเวณตอนล่างของเกาะใต้ ใกล้กับเมือง Invercargill ซึ่งภายหลังเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.0 แมกนิจูดในบริเวณเกาะใต้ แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสีเหลือง คิดเป็นภาวะเสี่ยงสงบทั้งหมด 5.1 ปี

2.) Magnitude : 7.3 M_w

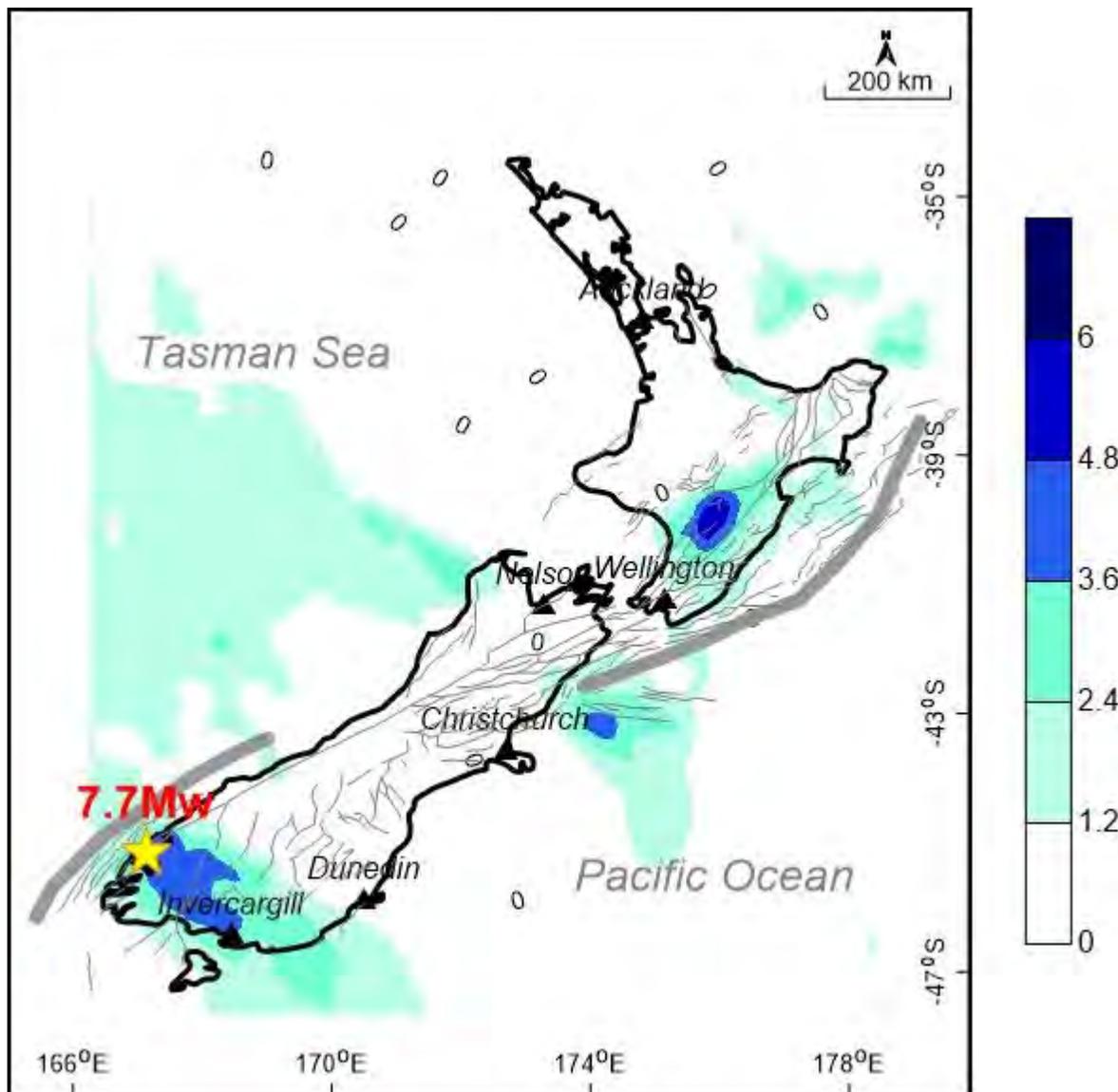
Date : 05/02/1995



จากแผนที่ด้านบนพบว่า มีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 2.2 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวใน 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณเล็กๆทางด้านทิศเหนือของเกาะเหนือ 2 บริเวณ และบริเวณใหญ่ทางตอนล่างของเกาะใต้ ก่อนเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.3 แมกนิจูดในบริเวณนอกชายฝั่งทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะเหนือ ในตำแหน่งดาวสีเหลือง มีภาวะเียบสงบ 6.4 ปี

3.) Magnitude : 7.7 M_w

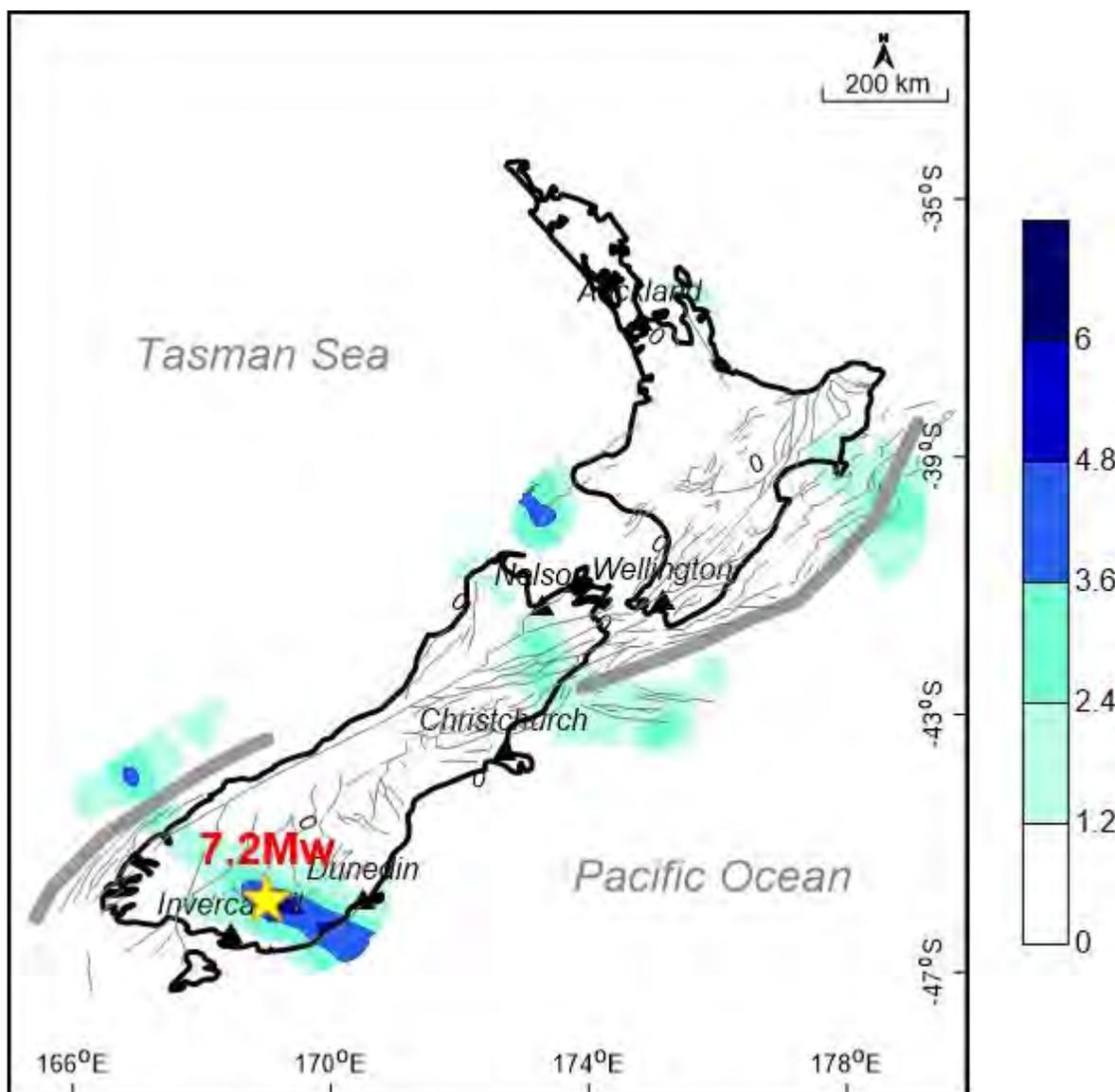
Date : 21/08/2003



จากแผนที่ด้านบนพบว่า มีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 2.7 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวอยู่ 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะเหนือ และนอกชายฝั่งตอนเหนือของเกาะใต้ฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก เป็นบริเวณเล็กๆ และบริเวณตอนล่างของเกาะใต้ใกล้เมือง Invercargill โดยภายหลังเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.7 แมกนิจูดในบริเวณตอนล่างเกาะใต้ ตามตำแหน่งรูปดาวสีเหลือง มีภาวะเจ็บสงบ 14.8 ปี

4.) Magnitude : 7.2 M_w

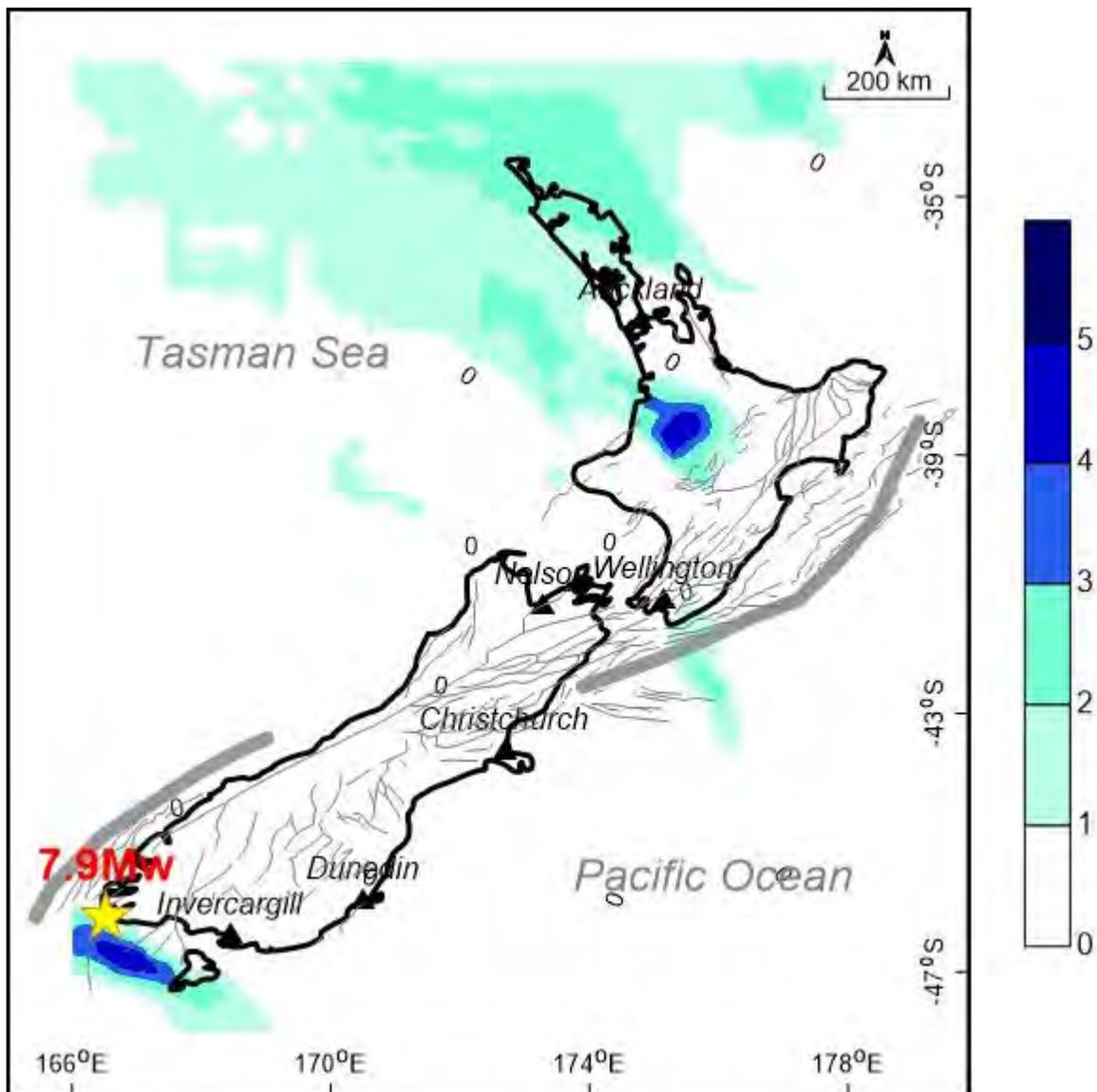
Date : 15/10/2007



จากแผนที่ด้านบนพบว่ามึค่า Z สูงสุดเท่ากับ 4.9 โดยบริเวณที่มีค่าความผิดปกติมากจะกระจายตัวอยู่ 2 บริเวณหลัก ได้แก่ ในทะเล Tasman ฝั่งตะวันตกของเกาะเหนือและ บริเวณตอนใต้ของเกาะใต้ ซึ่งภายหลังเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.2 ในบริเวณดังกล่าวใกล้เมือง Invercargill ตามที่แสดงตำแหน่งด้วยดาวสีเหลือง คิดเป็นภาวะเจ็บสงบ 3.6 ปี

5.) Magnitude : 7.9 M_w

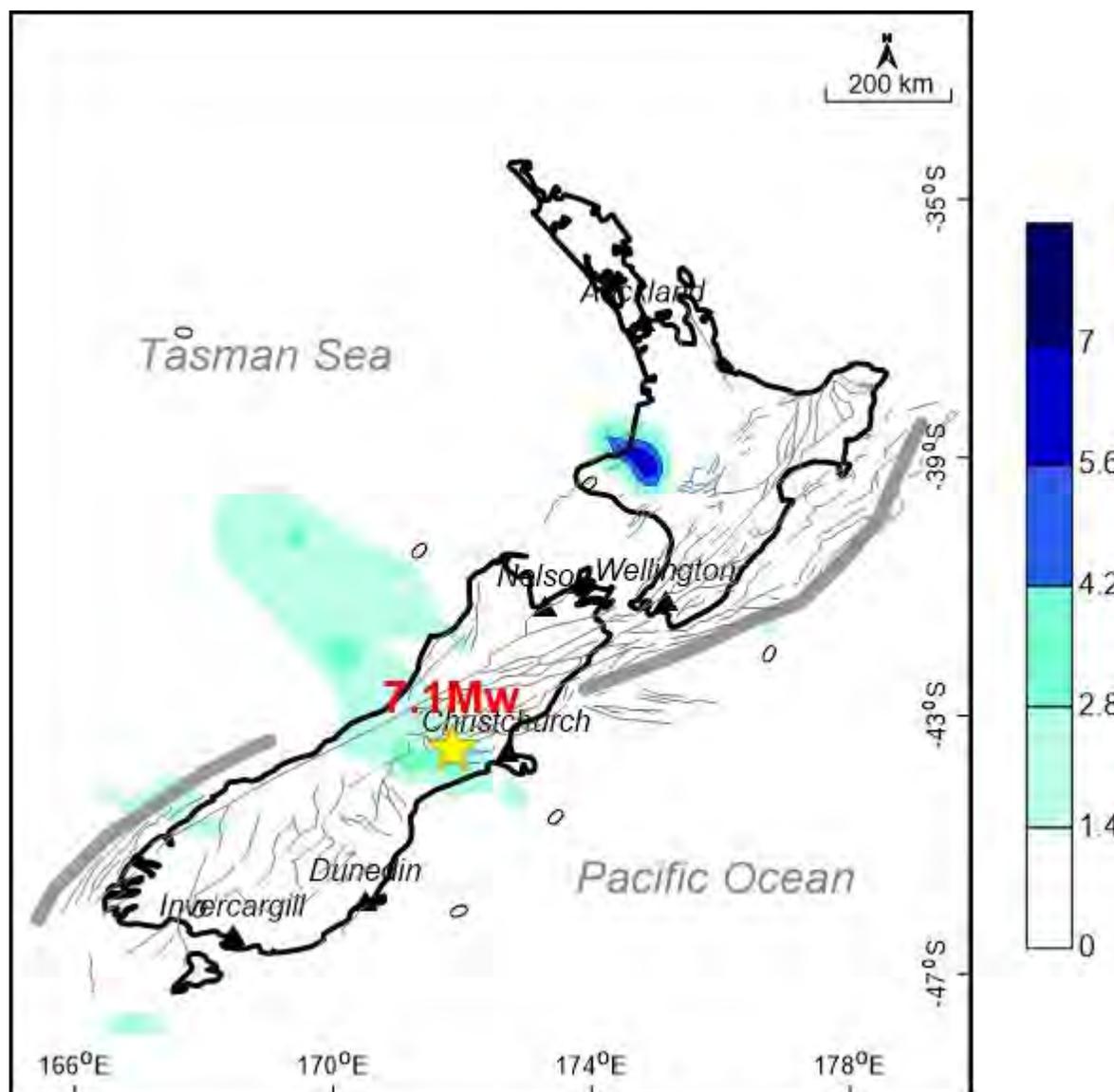
Date : 15/07/2009



จากภาพพบว่ามีค่า Z สูงสุดเท่ากับ 1.5 บริเวณที่มีการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดมากได้แก่ พื้นที่ตอนกลางของเกาะเหนือ และนอกชายฝั่งทางใต้ของเกาะใต้ ซึ่งภายหลังเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.9 แมกนิจูด นอกชายชายฝั่งทางทิศใต้ของเกาะใต้ ใกล้กับบริเวณดังกล่าว ดังที่แสดงด้วยรูปดาวสีเหลือง มีภาวะเียบสงบ 7.9 ปี

6.) Magnitude : 7.1 M_w

Date : 03/09/2010



จากภาพมีค่า Z สูงสุด คือ 3.5 มี 2 บริเวณที่มีการกระจายตัวของค่าความผิดปกติมาก ได้แก่ บริเวณตอนกลางของเกาะเหนือ และบริเวณตอนกลางของเกาะใต้ที่ภายหลังเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.1 แมกนิจูด ขึ้นใกล้เมือง Christchurch ในตำแหน่งดาวสีเหลือง ซึ่งโดยรวมถือว่ามีค่า Z น้อยกว่าอีกบริเวณ มีภาวะเจ็บสงบ 14.4 ปี

รูป 4.3 แสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ของกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1.) – 6.) ย่อยพื้นที่สีฟ้าแทนบริเวณที่มีความผิดปกติด้วยค่า Z สูงสุด และเครื่องหมายดาวสีเหลืองแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่

จากผลของแผนที่ที่นำมาแสดงพบว่าโดยรวมทุกเหตุการณ์มีค่าผิดปกติของค่า Z สอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง ซึ่งแสดงว่าเงื่อนไขที่ 1 ที่เรานำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลนั้นเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตต่อไป

นอกจากนี้พบว่าในแต่ละแผนที่จะมีบริเวณที่แสดงค่าความผิดปกติของค่า Z ที่สูง แต่ไม่พบว่ามีเกิดการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ขึ้นตามมา เราจึงวิเคราะห์ให้พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตซึ่งเราจะนำมาพิจารณาประกอบกับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในขั้นตอนต่อไป

4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต (Evaluation of Prospective Area)

จากกระทำวิจัยในขั้นตอนก่อนหน้าทำให้ทราบว่าเงื่อนไขที่เลือกใช้นั้นมีความแม่นยำในการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยง ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงเป็นการนำเงื่อนไขเดิมมาใช้ประเมินหาพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้วิเคราะห์เป็นข้อมูลเหตุการณ์ตั้งแต่ที่เริ่มมีการบันทึกไปจนถึงข้อมูลเหตุการณ์สุดท้ายมาทดสอบหาอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวด้วยสมการ (2.1)

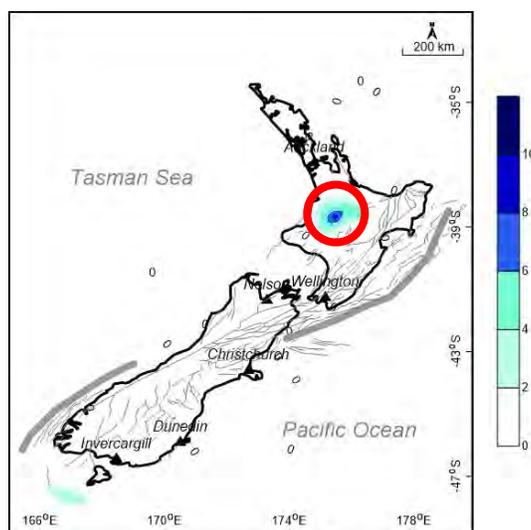
ผลที่ได้จากทดสอบโดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่วันที่ 05/28/1978 จนถึงวันที่ 12/16/2012 พบว่ามีค่า Z สูงสุด เท่ากับ 10.6 ที่ละติจูด -38.67 องศาใต้ และ ลองจิจูด 175.51 องศาตะวันออก บริเวณตอนกลางของเกาะเหนือเพียงตำแหน่งเดียวในช่วงปีต่างๆกันทั้งหมด 13 เหตุการณ์ โดยเริ่มพบภาวะเสี่ยงสงบตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998.89 ถึง 1999.35 แสดงในตารางที่ 4.6 เนื่องจากเป็นตำแหน่งเดียวกันผู้วิจัยจึงคัดเลือกเหตุการณ์เพียง 3 เหตุการณ์มาพิจารณาเพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในรูปแบบแผนที่การกระจายตัวของค่า Z ได้แก่ เหตุการณ์ปี ค.ศ. 1998.89, 1999.12 และ 1995.35 แสดงในรูปที่ 4.4

นอกจากนี้พบว่าในขั้นตอนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ พบว่ามีพื้นที่เสี่ยงหลายจุดที่ตรวจพบภาวะเสี่ยงสงบแต่ไม่พบว่ามีแผ่นดินไหวใหญ่ตามมา จึงสรุปให้เป็นหนึ่งในพื้นที่เสี่ยงเช่นกัน พบว่าพื้นที่เสี่ยงที่ตรวจพบได้ในขั้นตอนทดสอบย้อนกลับมีจำนวน 4 พื้นที่ แสดงพื้นที่เสี่ยงได้ในรูปที่ 4.5 เมื่อรวมกับพื้นที่เสี่ยงที่ตรวจพบได้ ทำให้ได้พื้นที่เสี่ยงทั้งหมด 5 พื้นที่

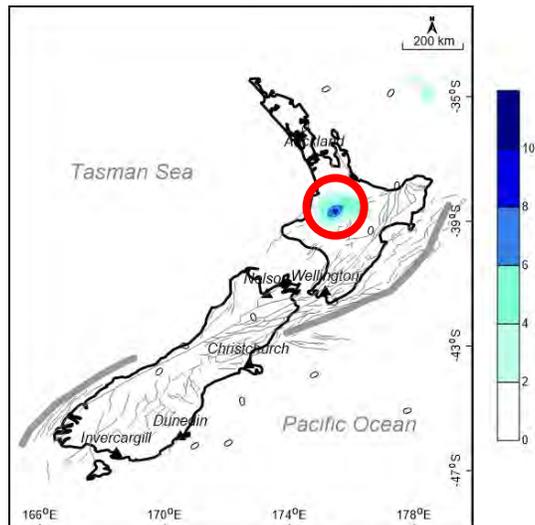
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ที่มีค่าผิดปกติ Z สูงสุด

Lon	Lat	Tsmax	Zmax
175.51	-38.67	1998.89	10.6
175.51	-38.67	1998.93	10.6
175.51	-38.67	1998.96	10.6
175.51	-38.67	1999	10.6
175.51	-38.67	1999.04	10.6
175.51	-38.67	1999.08	10.6
175.51	-38.67	1999.12	10.6
175.51	-38.67	1999.16	10.6
175.51	-38.67	1999.19	10.6
175.51	-38.67	1999.23	10.6
175.51	-38.67	1999.27	10.6
175.51	-38.67	1999.31	10.6
175.51	-38.67	1999.35	10.6

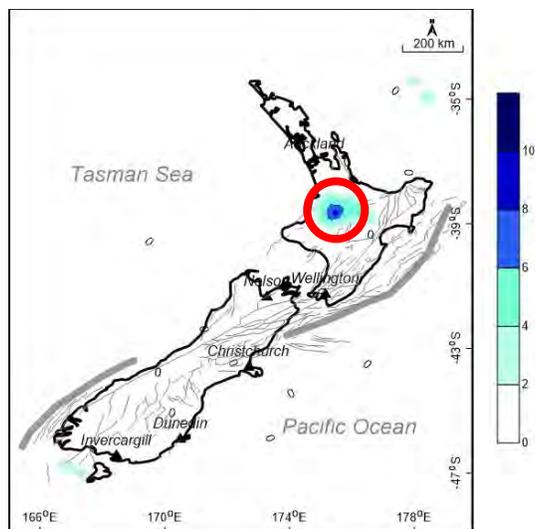
ก.) ปี 1998.89



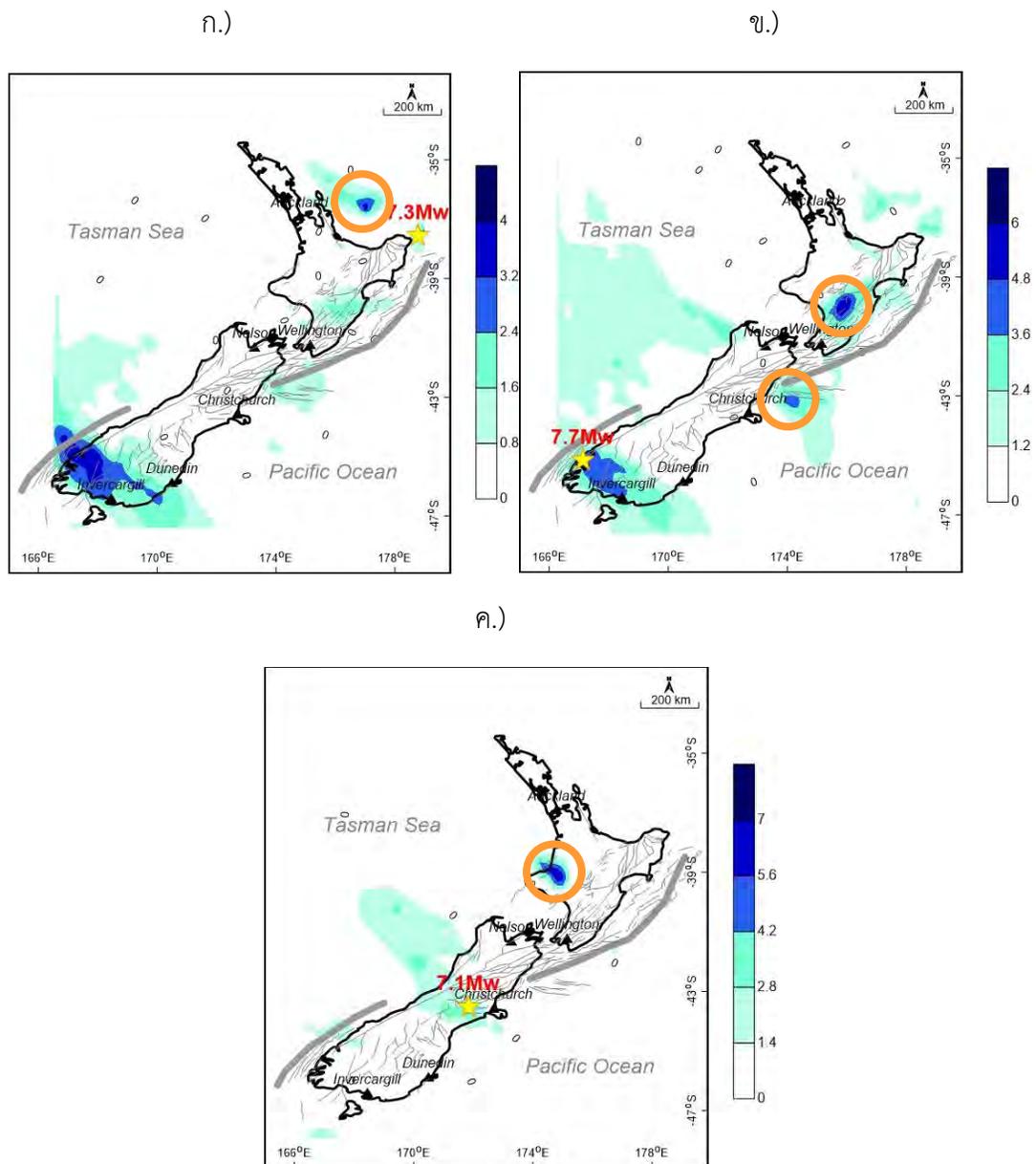
ข.) ปี 1999.12



ค.) ปี 1999.35



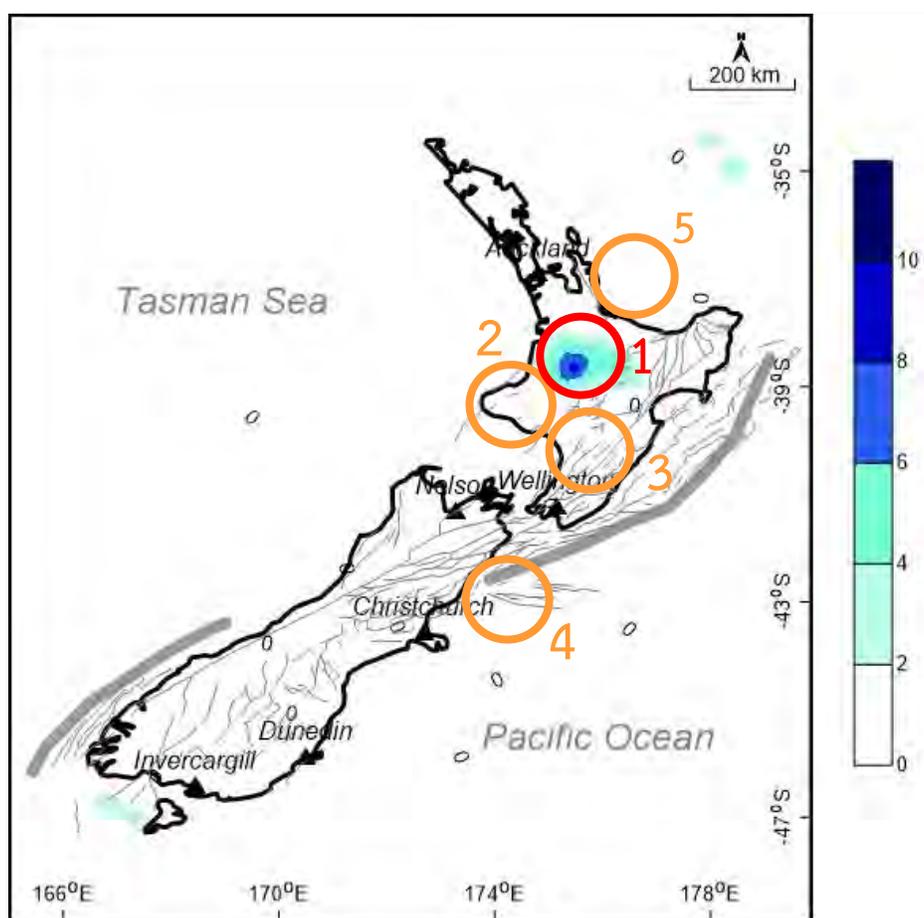
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า Z ของกระบวนการหาพื้นที่เสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตของปี ค.ศ. 1998.89, 1999.12 และปี 1999.35 แสดงด้วยรูปย่อย ก.), ข.) และค.) ตามลำดับของเหตุการณ์ที่มีค่า Z สูงสุด เท่ากับ 10.6 พบว่าอยู่ในจุดเดียวกัน คือตอนกลางของเกาะเหนือ แสดงพื้นที่เสี่ยงด้วยวงกลมสีแดง



รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงจุดเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้จากกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ของกรณีศึกษาที่ 2, 3 และ 6 แสดงด้วยรูปที่ ก.), ข.) และ ค.) ตามลำดับ โดยพื้นที่เสี่ยงแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีเหลือง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าพื้นที่เสี่ยงส่วนใหญ่พบอยู่บริเวณเกาะเหนือ มีจุดเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด 5 บริเวณ โดยเป็นผลจากการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยง 1 บริเวณ ได้แก่บริเวณที่ 1 แสดงผลด้วยรูปที่ 4.4 และผลที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่อีก 4 บริเวณ แสดงด้วยรูปที่ 4.5 ได้แก่บริเวณที่ 2-4 โดยพื้นที่เสี่ยงทั้งหมดแสดงด้วยรูปที่ 4.6

- 1.) บริเวณเมือง Hamilton และเมือง Toupou
- 2.) บริเวณเมือง New Plymouth
- 3.) บริเวณเมือง Palmerston North
- 4.) นอกชายฝั่งเมือง Kaikoura
- 5.) นอกชายฝั่งเมือง Tauranga



รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุด โดยวงกลมสีแดงแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในปัจจุบัน ขณะที่วงกลมสีส้มแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ (ใช้แผนที่การกระจายตัวของค่า Z ในปี 1998.89)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

(DISCUSSION AND CONCLUSION)

5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue)

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่นำมาประเมินมาจาก 3 ฐานข้อมูล ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดย Global CMT Catalogue (GCMT) ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) ซึ่งเมื่อทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด พบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 329,912 เหตุการณ์ โดยทำการบันทึกตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1964 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 2016 มีขนาดแผ่นดินไหวในช่วง 0.0-8.1 ริคเตอร์ และมีความลึก 0-827 กิโลเมตร

5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)

เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้ข้อมูลแผ่นดินไหวมีความไม่สมบูรณ์และถูกต้องมากนัก จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทันทีเพราะจะไม่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานได้อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดยมีขั้นตอนดังนี้

5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละแหล่งที่มาที่มีการบันทึกด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันออกไป เช่น M_w , m_b , M_s และ M_L เป็นต้น จึงต้องทำการปรับมาตรวัดของทุกข้อมูลแผ่นดินไหวให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์จาก

- ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b)

$$M_w = 0.0077m_b^2 + 0.4669m_b + 2.5893 \quad (\text{สมการ 3.1})$$

- ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s)

$$M_w = 0.0643M_s^2 - 0.0224M_s + 3.892 \quad (\text{สมการ 3.2})$$

- ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (m_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)

$$M_b = 0.1627M_L^2 - 0.889M_L + 5.0265 \quad (\text{สมการ 3.3})$$

5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

จากผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 28,733 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1964-2016 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.0-8.1 M_w ด้วยความลึก 0-722.5 กิโลเมตร

5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

เมื่อทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 19,012 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1978-2012 มีขนาดตั้งแต่ 3.3-8.1 M_w

5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้อย่างสมบูรณ์ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น คือแผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 4.0 M_w ขึ้นไป หรือ มีค่า $M_c = 4.0$ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 10,851 เหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1978-2012 มีขนาดตั้งแต่ 4.0-8.1 M_w

เมื่อทำการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นครบทุกขั้นตอน สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวและรายละเอียดข้อมูลต่างๆแสดงดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลต่างๆ

ข้อมูลแผ่นดินไหว	จำนวน (เหตุการณ์)	ช่วงเวลาที่เกิด (ปี)	ขนาด (M_w)	ความลึก (กิโลเมตร)
1) ข้อมูลหลังปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว	182,986	1964-2016	0.0-8.1	0-827.0
2) หลังคัดเลือกกลุ่มข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก	28,733	1964-2016	0.0-8.1	0-722.5
3) หลังการกำจัดผลจากกิจกรรมของมนุษย์	19,012	1978-2012	3.3-8.1	0-722.5
4) หลังจากคัดเลือก M_c	10,651	1978-2012	4.0-8.1	0-722.5

5.3 กำหนดกรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies and Conditions for Retrospective Test)

โครงการวิจัยนี้ได้เลือกกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณีศึกษา (ตาราง 4.1) เมื่อเข้าสู่กระบวนการการทดสอบย้อนกลับพบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดคือเงื่อนไขที่ 1 (ตาราง 4.5)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวตามเงื่อนไขข้างต้น ทำให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ที่สุดซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ได้ดังตาราง 5.2

ตาราง 5.2 แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้

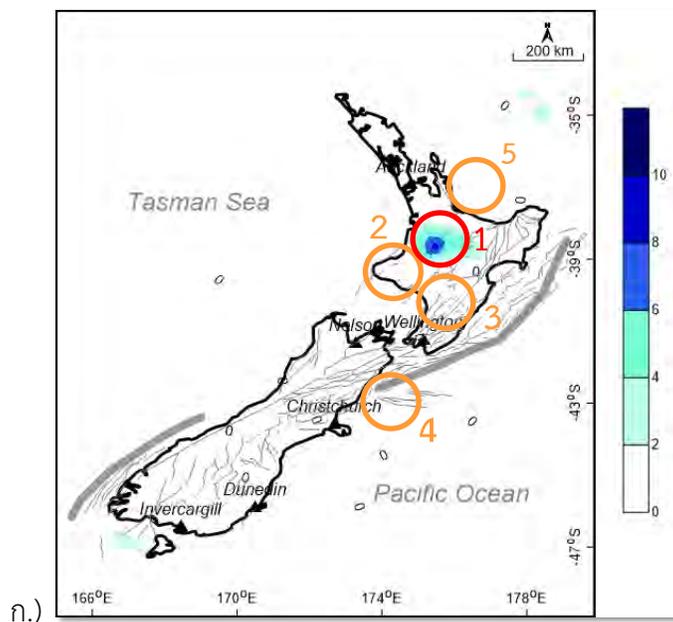
Case Study	Long	Lat	D/M/Y	Mag	Depth (km)	Radius (km)	T ₅ (year)	Z _{max}	Detection of Quiescence (year)
1	166.927	-45.277	1993.61	7	36	78.39	1988.53	3.8	5.1
2	178.77	-37.57	1995.1	7.3	61	77.71	1988.72	2.2	6.4
3	167.12	-45.18	2003.64	7.7	33	49.26	1988.88	2.7	14.8
4	169.02	-45.89	2007.79	7.2	33	146.57	2004.14	4.9	3.6
5	166.53	-46.15	2009.54	7.9	31.5	73.56	2000.61	1.5	8.9
6	171.83	-43.522	2010.67	7.1	12	105.02	1996.32	3.5	14.4

จากผลการวิเคราะห์พบว่าในเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 6 เหตุการณ์ ที่มีขนาด 7.0 M_w ขึ้นไป ที่เกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 1982-2012 ในช่วงความลึก 12-61 กิโลเมตร พบว่ามีค่าความผิดปกติ (Z_{max}) ไม่มากนัก อยู่ในช่วง 1.5-4.9 โดยช่วงเวลาที่พบค่าความผิดปกติ (T₅) คือตั้งแต่ปี 1988-2004 ซึ่งระยะเวลาที่พบค่าความผิดปกติจนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ (detection of quiescence) อยู่ในช่วง 3.6-14.8 ปี โดยมีรัศมีการกระจายตัวของการเก็บข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 49-146 กิโลเมตร

5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

หลังจากนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงแล้วพบว่ามียี่พื้นที่เสี่ยง 1 บริเวณ (รูป 4.4) ซึ่งเริ่มพบภาวะเสี่ยงสงบตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998.89-1999.35 และมีค่า Z สูงสุด เท่ากับ 10.6 และจากกระบวนการทดสอบย้อนกลับทำให้ได้พื้นที่เสี่ยงเพิ่มอีก 4 บริเวณ (รูป 4.5) รวมเป็นทั้งหมด 5 บริเวณ โดยพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวดังกล่าวได้แก่

- 1.) บริเวณเมือง Hamilton และเมือง Toupou
- 2.) บริเวณเมือง New Plymouth
- 3.) บริเวณเมือง Palmerston North
- 4.) นอกชายฝั่งเมือง Kaikoura
- 5.) นอกชายฝั่งเมือง Tauranga



รูปที่ 5.1 รูป ก.) แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 5 จุด โดยวงกลมสีแดงแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในปัจจุบัน ขณะที่วงกลมสีส้มแสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ (ใช้แผนที่การกระจายตัวของค่า Z ในปี 1998.89) รูป ข.) แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงเทียบกับตำแหน่งเมืองต่างๆของประเทศนิวซีแลนด์

บรรณานุกรม

- Dziewonski, A. M., T.-A. Chou and Woodhouse, J. H. 1981. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *J. Geophys. Res.* 86: 2825-2852.
- Ekström, G., Dziewonski, A. M., Maternovskaya, N. N. และ Nettles, M. 2005. Global seismicity of 2003: centroid-moment-tensor solutions for 1087 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.* 148: 327-351.
- Gardner, J.K., และ Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bulletin of the Seismological Society of America* 64 (1): pp.363–367.
- Habermann, R. E. (1983). Teleseismic detection in the Aleutian Island arc. *J. Geophys. Res.* 88: 5056-5064.
- Habermann, R.E. และ Wyss, M. 1984. Earthquake triggering during preparation for great earthquakes. *Geophysical Research Letters.* 11(4): 291-294.
- Katsumata, K. 2011a. Precursory seismic quiescence before the Mw = 8.3 Tokachi-oki, Japan, earthquake on 26 September 2003 revealed by a re-examined earthquake catalogue. *Journal of Geophysical Research* 116: B10307.
- Katsumata, K. 2011b. A long-term seismic quiescence started 23 years before the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M = 9.0). *Earth Planets Space* 63: 709-712.
- Okal, E. A. และ Reymond, D. [2003] “The mechanism of great Banda Sea earthquake of 01 February 1983, applying the method of preliminary determination of focal mechanism to a historical event,” *Earth Planetary Sci. Lett.* 216, 1–15.
- Ozturk, S., และ bayrak, Y. 2009. Precursory seismic quiescence before 1 May 2003 Bingol (Turkey) earthquake: A statistical evaluation. *Journal of Applied Functional Analysis.* Vol. 4: 600-610.

- Pailoplee, S. 2014. Mapping b-Value Anomalies along the Indonesian Island Chain: Implications for Upcoming Earthquakes. *J. Earthquake and Tsunami Journal of Earthquake and Tsunami*, 1450010-1 -1450010-11.
- Panyatip, S. (n.d.). SEISMICITY RATE CHANGE ALONG THE SAGAING FAULT ZONE, CENTRAL MYANMAR.
- Rudolf-Navarro, A. H., Munoz-Diosdado, A. และ Angulo-Brown, F. 2010. Seismic quiescence patterns as possible precursors of great earthquakes in Mexico. *International Journal of the Physical Science* 5(6): pp. 651-670.
- Sobolev, G.A., 1995. Fundamental of Earthquake Prediction, Electromagnetic Research Centre, Moscow: 161.
- Sorbi, R., Nilfouroushan, F., และ Zamani, A. 2012. Seismicity patterns associated with the September 10th, 2008 Qeshm earthquake, South Iran. *International Journal of Earth Sciences*. Vol. 101: 2215-2223.
- Wiemer, S. 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*. 72(3): 373-382.
- Woessner, J., และ Wiemer, S. 2005. Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 95: 684-698.
- Wyss, M. 1991. Evaluation of Proposed Earthquake Precursors. AGU Monograph, Washington D.C. 94.