



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน
ของประเทศนิวซีแลนด์

โดย

นางสาวมัชฌิมา วนิชย์ถนอม
เลขประจำตัวนิสิต 5632734223

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนของประเทศนิวซีแลนด์

นางสาวมัชฌิมา วนิชย์ถนอม

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

REGION-TIME-LENGTH ALGORITHM OF NEW ZEALAND

Miss Matchima Wanichthanom

A project submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2016

หัวข้อโครงการ	ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนของประเทศ นิวซีแลนด์
โดย	นางสาวมัชฌิมา วณิชย์ถนอม
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)

โครงการวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษาและคอยให้คำแนะนำ ชี้แจงข้อบกพร่อง รวมถึงการแก้ปัญหาในการทำโครงการวิจัย ให้กำลังใจทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตั้งแต่เริ่มจนโครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ทางด้านธรณีวิทยา ช่วยเหลือคำแนะนำ ตลอดจนปลูกฝังจริยธรรม ศีลธรรมให้ผู้วิจัยเป็นบุคลากรที่ดีของประเทศชาติ และขอขอบพระคุณพี่บุคลากรประจำภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน อำนวยความสะดวกในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

กราบขอบพระคุณคุณพ่อ และครอบครัว ในการสนับสนุนในทุก ๆ ด้านและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา

ขอบขอบคุณนางสาวเปรมวดี ไตรตั้งวงศ์ และเพื่อนร่วมอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น Geo 57 ทุกคน ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขและช่วยเหลือกันตลอดมา

สารบัญ (CONTENT)

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ (ACKNOWLEDGEMENT)	ฉ
สารบัญรูปภาพ (FIGURE CONTENT)	ฎ
สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)	ด
บทที่ 1 บทนำ (INTRODUCTION)	
1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme และ Background)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)	2
1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY และ METHODOLOGY)	
2.1 ทฤษฎีแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน	4
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)	7
2.3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)	11
บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA และ COMPLETENESS)	
3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)	14

3.1.1	ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT)	16
3.1.2	ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)	16
3.1.3	ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)	16
		หน้า
3.1.4	การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด	16
3.2	การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)	19
3.2.1	ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Mb) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw)	22
3.2.2	ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Ms) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw)	23
3.2.3	ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (ML) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Mb)	23
3.3	การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	24
3.4	ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	27
3.5	การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	31
บทที่ 4 ผลการศึกษา (RESULT)		
4.1	การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)	37
4.1.1	คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)	37
4.1.2	การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of Condition)	38
4.1.3	ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และช่วงเวลา	43
4.1.4	ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL	46

4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	53
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (DISCUSSION และ CONCLUSION)	
5.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด (Earthquake Catalogue)	58
	หน้า
5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)	58
5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)	58
5.2.2 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)	59
5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)	59
5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)	59
5.3 กำหนดกรณีศึกษาและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบย้อนกลับ (Case Studies และ Conditions for Retrospective Test)	59
5.7 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)	60
เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)	64

สารบัญรูปลูกภาพ (FIGURE CONTENT)

		หน้า
รูป 1.1	รูปแสดงพื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์	2
รูป 2.1	รูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)	7
รูป 2.2	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นใน ค.ศ. 1995 (Huang และคณะ, 2001)	8
รูป 2.3	รูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)	9
รูป 2.4	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นใน ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)	10
รูป 2.5	รูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา(ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	10
รูป 2.6	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นใน ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)	11
รูป 2.7	แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา	13

รูป 3.1	รูปแสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดที่ได้จากฐานข้อมูลทั้ง 3 แหล่ง	18
รูป 3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับขนาด (Mw), ความลึก (กิโลเมตร) และ เวลา (ปี)	18
		หน้า
รูป 3.3	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล	19
รูป 3.4	กราฟแสดงระดับการอิมิตัวที่แตกต่างกันของการประเมินขนาดแผ่นดินไหวเมื่อเทียบกับ Mw (Kagan และ Knopoff, 1980)	21
รูป 3.5	ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้และเกินขอบเขตการตรวจวัดของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยเฉพาะคลื่นพื้นผิว (Surface wave) ที่มีแอมพลิจูด (Amplitude) สูงกว่าคลื่นเนื้อโลก	21
รูป 3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Mb) จุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตรวัด Mb และ Mw	22
รูป 3.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Mw) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Ms) จุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตรวัด Mw และ Ms	23
รูป 3.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเนื้อโลก (Mb) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (ML) จุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตรวัด Mb และ ML	24
รูป 3.9	รูปแสดงผลวิเคราะห์จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) เส้นสีแดงแสดงกรอบเวลา (รูปด้านบน)	26

และกรอบของระยะทาง (รูปด้านล่าง) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ขนาดใด ๆ จุดสีฟ้าแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละเหตุการณ์ โดยข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นสีแดง คือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

		หน้า
รูป 3.10	รูปแสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	26
รูป 3.11	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	27
รูป 3.12	รูปแสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก	28
รูป 3.13	รูปแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยขั้นตอนการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์	29
รูป 3.14	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์	30
รูป 3.15	รูปแสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) หลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์	31
รูป 3.16	รูปแสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยที่มีขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์คือ $M_c = 4.0$	32

รูป 3.17	รูปแสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	33
รูป 3.18	แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	33
		หน้า
รูป 3.19	รูปแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูล (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล (ข) หลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (ค) หลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์ (ง) หลังการคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	35
รูป 3.20	รูปแสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว (ก) หลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ (ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	36
รูป 3.21	รูปแสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูล (ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล (ข) หลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (ค) หลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์ (ง) หลังการคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์	36
รูป 4.1	รูปแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา	38

รูป 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และระยะเวลาปีที่เกิดแผ่นดินไหว ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา เส้นสีเทาแสดงค่า RTL ในแต่ละช่วงเวลา, แท่งสีแดงแสดงช่วงภาวะเงียบสงบที่มีค่า RTL ต่ำสุดก่อนเกิดแผ่นดินไหว กรณีศึกษาทั้ง 6 กรณีแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1) – 6) ย่อยตามลำดับ แทนด้วยสัญลักษณ์สีเหลี่ยมสีดำ	45
		หน้า
รูป 4.3	รูปแสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL ของกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1) – 6) ย่อย พื้นที่สีแดงเข้มแทนบริเวณที่มีค่า RTL สูงสุด และเครื่องหมายดาวสีน้ำเงินแทนตำแหน่ง ที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ขึ้น	53
รูป 4.4	แผนที่แสดงจุดเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้จากกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ โดยพื้นที่เสี่ยงแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีน้ำเงิน	56
รูป 4.5	แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL ในหาพื้นที่เสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหว ในอนาคตของปีค.ศ. 1983 และปีค.ศ. 1998 ตามลำดับของเหตุการณ์ที่มีค่า RTL ต่ำสุด เท่ากับ -0.8 พบว่ามีพื้นที่เสี่ยงทั้งหมด 4 จุด แสดงพื้นที่เสี่ยงด้วยวงกลมสีน้ำเงิน	57
รูป 5.1	รูปแสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 4 จุด แสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในปัจจุบันด้วยวงกลมสีน้ำเงิน	61
รูป 5.2	รูปแสดงรูปผลการเทียบเคียงผลจากงานวิจัยของวริษฐา แก้วพุกัม และพงษ์ลดา นิยมพงษ์ พบว่าบริเวณพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันคือ ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ได้แก่ บริเวณเมือง	62

Wellington, บริเวณเมือง Christchurch และบริเวณเมือง New Plymouth

รูป 5.3 รูปแสดงรูปผลการเทียบเคียงผลจากงานวิจัยของธนพรช พิเศษฐิติโสภณ ซึ่ง 63
 ศึกษาผล ความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ โดยบริเวณ
 เมือง New Plymouth มีความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่
 สูงสุดจากในทั้งหมด 3 พื้นที่

สารบัญตาราง (TABLE CONTENT)

		หน้า
ตาราง 3.1	ตารางแสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว	15
ตาราง 4.1	ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา	37
ตาราง 4.2	ตารางแสดงตัวอย่างเงื่อนไขค่า Rmax และ Tmax ในหลายกรณี	39
ตาราง 4.3	ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของ 2 เงื่อนไขรวมถึงเหตุการณ์กรณีศึกษาที่เกิดขึ้นในพื้นที่	41
ตาราง 4.4	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า RTL ต่ำสุดของแต่ละเงื่อนไขการศึกษา	42
ตาราง 4.5	ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 2 คือ Rmax = 90 กิโลเมตร และ Tmax = 5 ปี	43
ตาราง 4.6	ตารางแสดงผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ที่มีค่าผิดปกติ RTL ต่ำสุด	54

ตาราง 5.1	ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลต่าง ๆ	59
ตาราง 5.2	ตารางแสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตรา การเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้	60

บทที่ 1 บทนำ

(INTRODUCTION)

1.1 ที่มาและความสำคัญ (Theme และ Background)

ประเทศนิวซีแลนด์เป็นส่วนหนึ่งของบริเวณที่เรียกกันว่า “แนววงแหวนแห่งไฟ” (Ring of Fire) ซึ่งเป็นแนวเส้นที่อยู่ล้อมรอบบริเวณริมมหาสมุทรแปซิฟิกทั้งหมด ซึ่งในบริเวณนี้มักจะเกิดแผ่นดินไหวและภูเขาไฟระเบิดอยู่บ่อยครั้ง การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศนิวซีแลนด์มีสาเหตุจากการที่ประเทศนิวซีแลนด์ตั้งอยู่บนแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่นที่เคลื่อนเข้าชนกันอย่างช้า ๆ คือแผ่นมหาสมุทรแปซิฟิก และแผ่นเปลือกโลกออสเตรเลีย

เมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 เวลาประมาณ 00.02 น. ตามเวลาท้องถิ่นของประเทศนิวซีแลนด์ มีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นบริเวณเกาะใต้ ขนาด 7.8 Mw (ละติจูด 42.75 องศาใต้ ลองจิจูด 173.07 องศาตะวันออก ที่ระดับความลึก 23 กิโลเมตร USGS) ศูนย์กลางแผ่นดินไหวเกิดในเมืองไคคูรา ส่งผลให้เกิดความเสียหายตามมา หลังจากเกิดแผ่นดินไหวราว 2 ชั่วโมง มีการรายงานการมาถึงของคลื่นสึนามิที่มีความสูงประมาณ 2 เมตร พัดเข้ามายังพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของเมืองไคคูรา มีผู้เสียชีวิตจำนวน 2 ราย (รายงานเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559)

ทั้งนี้ นักแผ่นดินไหววิทยาได้ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกรวบรวมไว้ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์แผ่นดินไหวเชิงสถิติ (statistical seismology) ซึ่งมีหลายแนวความคิดที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมแผ่นดินไหวและประเมินพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหว เช่น การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหวสะเทือน (seismicity rate change; Wyss และ Habermann, 1988), ขั้นตอนระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (Region-Time-Length, RTL; Huang และคณะ, 2001) เป็นต้น

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตพบว่าก่อนมีเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ในหลายเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในบริเวณใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวจะมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ลดลงหรือเรียกว่า “ภาวะเงียบสงบ” (seismic quiescence) (Wyss และ Habermann, 1988) โดยสามารถใช้การลดลงของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนี้เพื่อเป็นสัญญาณบอกเหตุ (precursor) ของการคาดการณ์การเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในอนาคตได้ จึงได้มีการนำค่าความผิดปกติ (anomalies) ของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวทั้งในกรณีที่มีการลดลง ที่เรียกว่า

“ภาวะเงียบสงบ” (Seismic quiescence) และกรณีที่มีค่าเพิ่มขึ้นที่เรียกว่า “ภาวะกระตุ้น” (seismic activation) มาใช้ในการประเมินการเกิดแผ่นดินไหว โดยค่าความผิดปกติของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวนั้นสามารถหาได้จากแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน

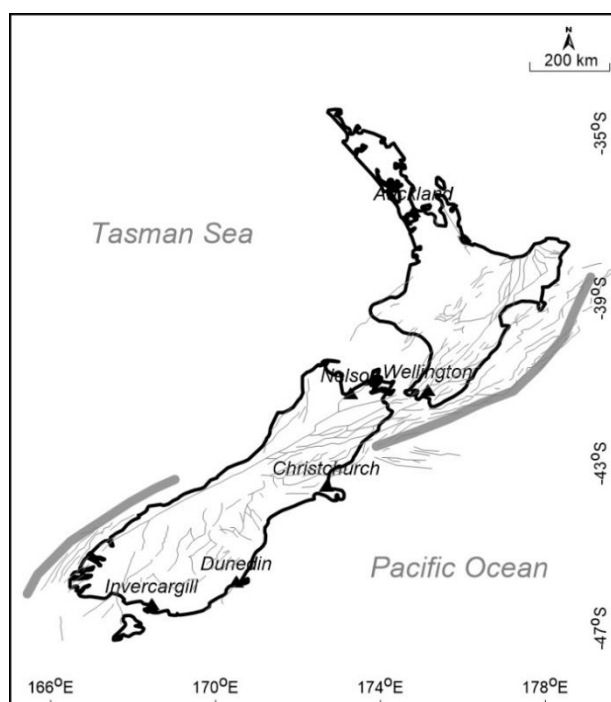
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งที่ประเมินพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต บริเวณพื้นที่ของประเทศนิวซีแลนด์จากการวิเคราะห์ด้วยระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวสูงมากประเทศหนึ่งของโลก

1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อศึกษาพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคต บริเวณพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ ด้วยขั้นตอนระบบวิธีคำนวณพื้นที่ - เวลา - ความยาวรอยเลื่อน

1.3 พื้นที่ศึกษา (Study Area)

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่บริเวณประเทศนิวซีแลนด์ ดังแสดงในรูป 1.1 โดยมีขอบเขตของพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่างละติจูดที่ 164.59 ถึง 179.52 องศาใต้ และระหว่างลองจิจูดที่ -032.05 ถึง -048.56 องศาตะวันออก



รูป 1.1 แสดงพื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์

1.4 ขอบเขตการศึกษา (Scope of study)

วิเคราะห์ระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนบริเวณพื้นที่ประเทศนิวซีแลนด์ โดยใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่เคยมีการตรวจวัดและบันทึกได้จากเครื่องมือตรวจวัด (instrumental earthquake records)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Results)

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติของภาวะเงียบสงบในบริเวณประเทศนิวซีแลนด์จากระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (RTL Algorithm)

บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (THEORY AND METHODOLOGY)

2.1 ทฤษฎีแนวคิดระบบวิธีคำนวณพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน

Sobolev (1995) ได้ทำการจำลองการเกิดแผ่นดินไหว โดยทำการทดลองการกดอัดแท่งหิน และใช้อุปกรณ์ในการวัดพลังงานเสียงการปริแตกของหินนั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อหินเริ่มถูกบีบอัดจะเริ่มมีสัญญาณเสียงเกิดขึ้นจากการที่แท่งหินเริ่มปริแตกเป็นขนาดเล็ก จากนั้นเมื่อเพิ่มแรงบีบอัดมากขึ้น จะเห็นได้ชัดว่าสัญญาณเสียงจะลดลง และสัญญาณเสียงจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งก่อนที่จะเกิดการแตกหักของแท่งหินและเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าก่อนที่แผ่นดินไหวขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นนั้น อัตราการเกิดแผ่นดินไหวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่เรียกว่า ภาวะสงบเงียบ (seismic quiescence) หลังจากนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวจะเพิ่มขึ้นที่เรียกว่า ภาวะกระตุ้น (seismic activation) ตามมา

Sobolev และ Tyupkin (1997) ได้ร่วมกันพัฒนาขั้นตอนระบบวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนขึ้นหลังจากที่ Sobolev (1995) ได้ทำการทดลองกดอัดแท่งหิน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมแผ่นดินไหวก่อนที่แผ่นดินไหวขนาดใหญ่จะเกิดขึ้น (Huang, 2004) โดยจะมีการคำนึงถึงตัวแปรระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 ตัวแปร คือ ตัวแปรพื้นที่, ตัวแปรเวลา และตัวแปรความยาวรอยเลื่อน ดังแสดงในสมการ (2.1) – (2.3)

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

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

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

จากสมการ (2.1) – (2.3) สามารถอธิบายตัวแปรในแต่ละฟังก์ชันได้ ดังนี้

R	คือ ฟังก์ชันของระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงจุดศึกษา
T	คือ ฟังก์ชันของระยะเวลาในการเกิดแผ่นดินไหวถึงเวลาที่พิจารณา
L	คือ ฟังก์ชันของความยาวของรอยเลื่อน
r_i	คือ ระยะห่างจากจุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่พิจารณาถึงจุดศึกษา
t_i	คือ เวลาของการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง
l_i	คือ ความยาวของรอยเลื่อน
t	คือ ช่วงเวลาที่ต้องการพิจารณา
r_o, t_o	คือ ค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จากการปรับเทียบในพื้นที่ศึกษา
n	คือ จำนวนเหตุการณ์
R_{bg}, T_{bg}, L_{bg}	คือ แนวโน้มของ R, T, L ตามลำดับ

โดยค่า l_i หาได้จากสมการของ Wells และ Coppersmith (1994) ดังแสดงในสมการ (2.4)

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

ตัวแปร M คือขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) สมการที่ได้ในแต่ละพื้นที่จะมีค่าที่ไม่เท่ากัน จะเป็นค่าเฉพาะของพื้นที่นั้น

โดยในการพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวใด ๆ มาวิเคราะห์คะแนน RTL จะต้องเป็นแผ่นดินไหวที่มีคุณสมบัติตรงตาม 3 เงื่อนไข ดังนี้

$$M_i \geq M_{\min} \quad \text{เงื่อนไขที่ 1}$$

$$r_i \leq R_{\max} = 2r_o \quad \text{เงื่อนไขที่ 2}$$

$$t_i \leq T_{\max} = 2t_o \quad \text{เงื่อนไขที่ 3}$$

กำหนดให้ M_{min} หมายถึง ขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่จะพิจารณา ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากับขนาดแผ่นดินไหวต่ำสุดที่เครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวนั้นสามารถตรวจวัดได้อย่างสมบูรณ์ (magnitude of completeness, M_c) ส่วน r_0 และ t_0 คือตัวแปรลักษณะเฉพาะ (characteristic parameter) ซึ่งจะแปรเปลี่ยนและแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ศึกษา (Huang และคณะ, 2001)

ส่วน R_{max} และ T_{max} คือความแตกต่างของระยะทางและระยะเวลาสูงสุดระหว่างจุดและช่วงเวลาของการวิเคราะห์คะแนน RTL และจุดศูนย์กลางและช่วงเวลาของการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาพิจารณา

การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของแต่ละฟังก์ชัน R T และ L วิเคราะห์ได้ตามสมการ (2.1)-(2.3) ซึ่งจากสมการ (2.1)-(2.3) ดังกล่าวนี้ จะทำให้ได้สมการ $V_{RTL}(x,y,z,t)$ ดังแสดงในสมการ (2.5) คือฟังก์ชันรวมของฟังก์ชัน RTL โดยค่าจะแปรปรวนอยู่ในช่วงระหว่างค่าลบและบวก โดยที่ค่า $V_{RTL}(x,y,z,t) > 0$ หมายถึง ภาวะกระตุ้นแผ่นดินไหว ส่วน $V_{RTL}(x,y,z,t) < 0$ หมายถึง ภาวะสงบแผ่นดินไหว

$$V_{RTL}(x, y, z, t) = \frac{R(x, y, z, t)}{R(x, y, z, t)_{max}} \square \frac{T(x, y, z, t)}{T(x, y, z, t)_{max}} \square \frac{L(x, y, z, t)}{L(x, y, z, t)_{max}} \quad \text{สมการ (2.5)}$$

จากวิธีข้างต้นที่ได้กล่าวมานั้นสามารถแสดงค่าความผิดปกติของภาวะเจียบสงบและภาวะกระตุ้นที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในเวลาต่อมาได้ (Huang, 2004)

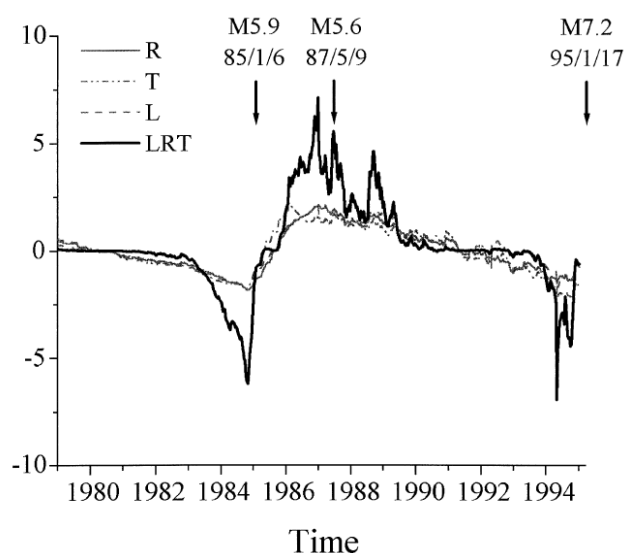
โดยที่ภาวะเจียบสงบ มีสมการดังนี้

ภาวะเจียบสงบหรือ Q-parameter

$$Q(x, y, z, t_1, t_2) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m RTL(x, y, z, t_i) \quad \text{สมการ (2.6)}$$

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

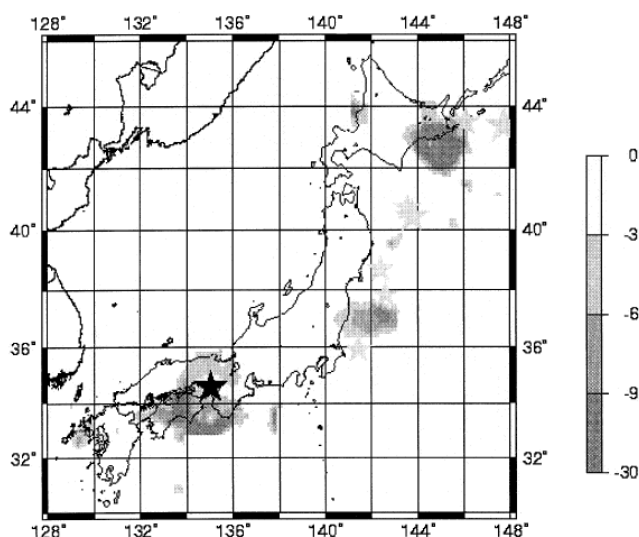
Huang และคณะ (2001) อธิบายขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนว่าเป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่งที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจแบบการเปลี่ยนแปลงของผิวเปลือกโลกก่อนการเกิดแผ่นดินไหวที่เมืองโกเบ (Kobe) ประเทศญี่ปุ่น ขนาด 7.2 แมกนิจูด เมื่อปีค.ศ. 1995 โดยใช้ข้อมูลขนาดแผ่นดินไหว, เวลา และสถานที่ที่เกิดแผ่นดินไหว



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

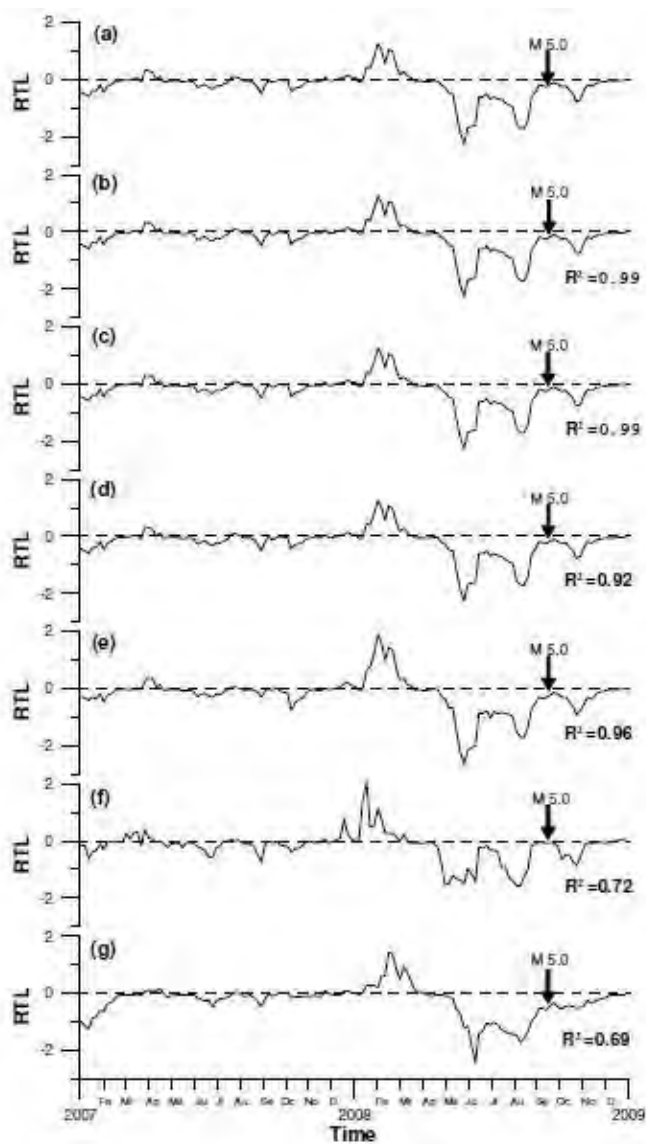
จากการศึกษาพบว่ามีความเครียดสะสมเกิดขึ้นในช่วงปีค.ศ. 1993 จนถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1994 จึงเริ่มเกิดภาวะกระตุ้นขึ้นนาน 8 เดือนบริเวณรอบจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวตามมามาก่อนที่จะมีแผ่นดินไหวขนาด 7.2 Mw เกิดขึ้น ดังแสดงในรูป 2.1 และรูป 2.2

ดังนั้นสามารถสรุปผลได้ว่า สามารถนำขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนนี้เพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของแผ่นดินไหวก่อนที่จะมีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้



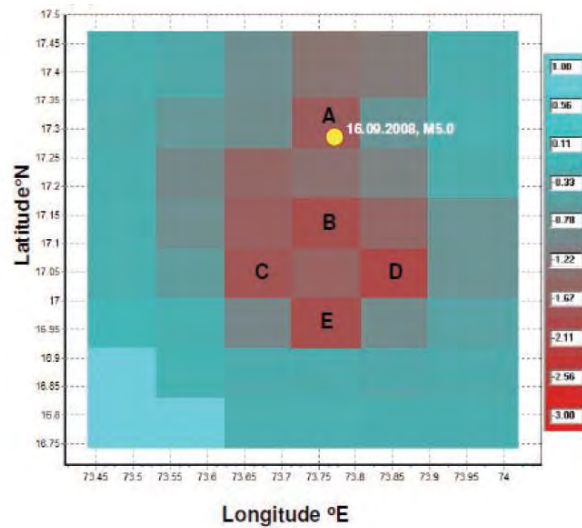
รูป 2.2 แสดงแผนที่การกระจายตัวของค่าความลึกปกติซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียง
กับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นใน ค.ศ.1995 (Huang และคณะ, 2001)

Shashidhar และคณะ (2010) ได้นำขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนมาประยุกต์เพื่อใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นดินไหวทางตะวันตกของประเทศอินเดีย พบว่าก่อนแผ่นดินไหวขนาด 5.0 แมกนิจูดจะเกิดขึ้น ได้พบลักษณะภาวะเงียบสงบและภาวะกระตุ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูป 2.3 และรูป 2.4 ทำให้ได้ผลสรุปว่า นอกจากการที่จะใช้ขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อนมาใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (มากกว่า 6.0 แมกนิจูด) แล้ว ยังสามารถนำวิธีนี้มาใช้เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวในระดับปานกลาง (5.0 - 6.0 แมกนิจูด) ได้เช่นเดียวกัน



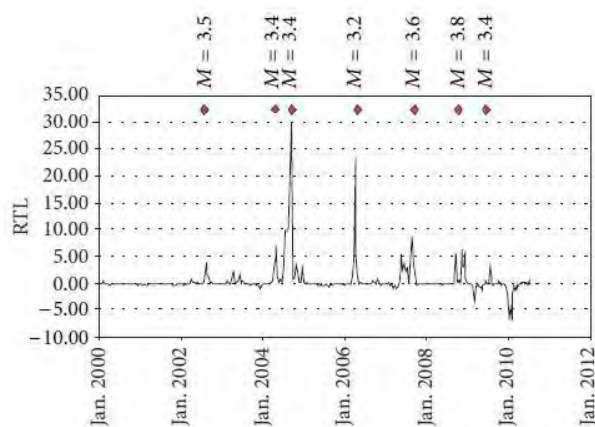
รูป 2.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในปี

ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)

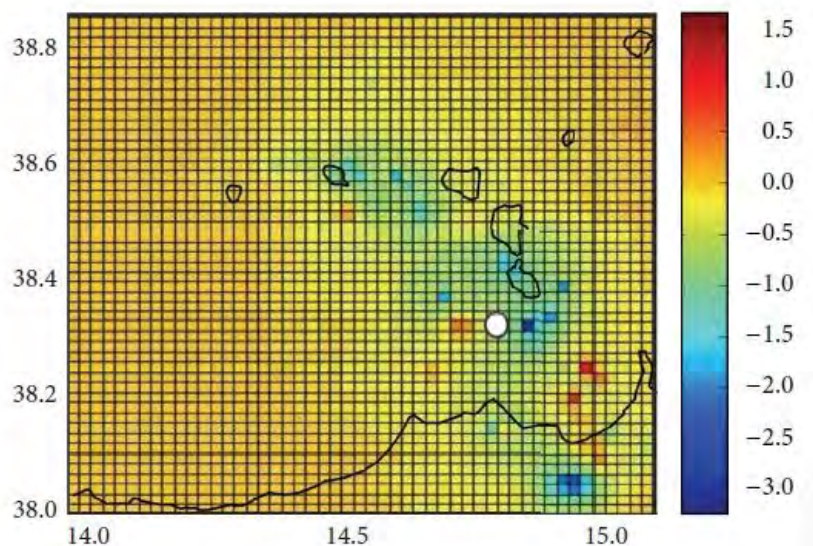


รูป 2.4 แสดงแผนที่การกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดที่เกิดแผ่นดินไหวขึ้นใน ค.ศ. 2008 (Shashidhar และคณะ, 2010)

Gambino และคณะ (2014) ประยุกต์ขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน เพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มเกาะเอโอเลียน บริเวณตอนใต้ของภูเขาไฟในทะเลไทรเรเนียน ประเทศอิตาลี พบว่าในเดือนมิถุนายน ถึง ธันวาคม 2552 มีการเกิดภาวะเงียบสงบขึ้น ก่อนที่จะมีการเกิดแผ่นดินไหวขนาด 4.8 แมกนิจูด ในวันที่ 16 สิงหาคม 2553 ดังรูป 2.5 และรูป 2.6 สรุปได้ว่าสามารถทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวก่อนเกิดแผ่นดินไหวระดับปานกลางได้โดยใช้ขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน



รูป 2.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL กับเวลา (ปี) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวใน ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)



รูป 2.6 แสดงแผนที่การกระจายตัวของค่าความผิดปกติในพื้นที่ซึ่งเกิดขึ้นใกล้เคียงกับจุดเกิดแผ่นดินไหวขึ้นใน ค.ศ. 2010 (Gambino และคณะ, 2014)

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย (Methodology)

1. ศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

- 1.1. ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งทางทฤษฎีและพื้นที่ศึกษา
- 1.2. รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ศึกษาที่ได้มีการบันทึกข้อมูลไว้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) ระยะเวลาตั้งแต่ ค.ศ. 1964 – 2016
- 1.3 เตรียมโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูล คือ RTL_20000Array และ Golden Software Surfer 10

2. คัดเลือกและปรับปรุงคุณภาพฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

- 2.1 รวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (earthquake catalogue combination)
 - ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีระยะเวลาในการตรวจวัดยาวนานขึ้นและมีการกระจายตัวของขนาดแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดกว้างมากขึ้น
- 2.2 ปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (earthquake magnitude conversion)
 - เปลี่ยนมาตรวจวัดแผ่นดินไหวให้เป็นหน่วยมาตรฐานเดียวกัน (Mw) โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างมาตรการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวในแบบต่าง ๆ

2.3 คัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (earthquake declustering)

- คัดเลือกข้อมูลเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวหลักจากแนวคิด Gardner และ Knopoff (1974) เพราะข้อมูลแผ่นดินไหวหลักแสดงถึงพฤติกรรมหรือศักยภาพทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรงของพื้นที่

2.4 ตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

- ปรับแก้หรือเลือกใช้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ข้อมูลมีความต่อเนื่องมากที่สุด เพื่อให้ได้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรงในพื้นที่ศึกษาจริง ๆ ซึ่งตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมจาก Habermann (1983; 1987)

2.5 คัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (magnitude of completeness)

- หาข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวที่มีค่าต่ำที่สุดที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์พฤติกรรม การเกิดแผ่นดินไหวได้

3. นำข้อมูลแผ่นดินไหวที่คัดเลือกและปรับปรุงแล้ว มากำหนดและประเมินตัวแปรของ ลักษณะเฉพาะในพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์

3.1 กำหนดรัศมีในการพิจารณาข้อมูลในตำแหน่งวิเคราะห์ใด ๆ (space window)

3.2 กำหนดกรอบเวลาการเลือกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการวิเคราะห์ใด ๆ (time window)

3.3 ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแปรที่กำหนดจากข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

4. วิเคราะห์ระบบวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน ในแต่ละพื้นที่ย่อยและในแต่ละช่วงเวลา

4.1 วิเคราะห์หาค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้น จากข้อมูลแผ่นดินไหวหลักและตัวแปรเฉพาะ ที่เหมาะสมในพื้นที่

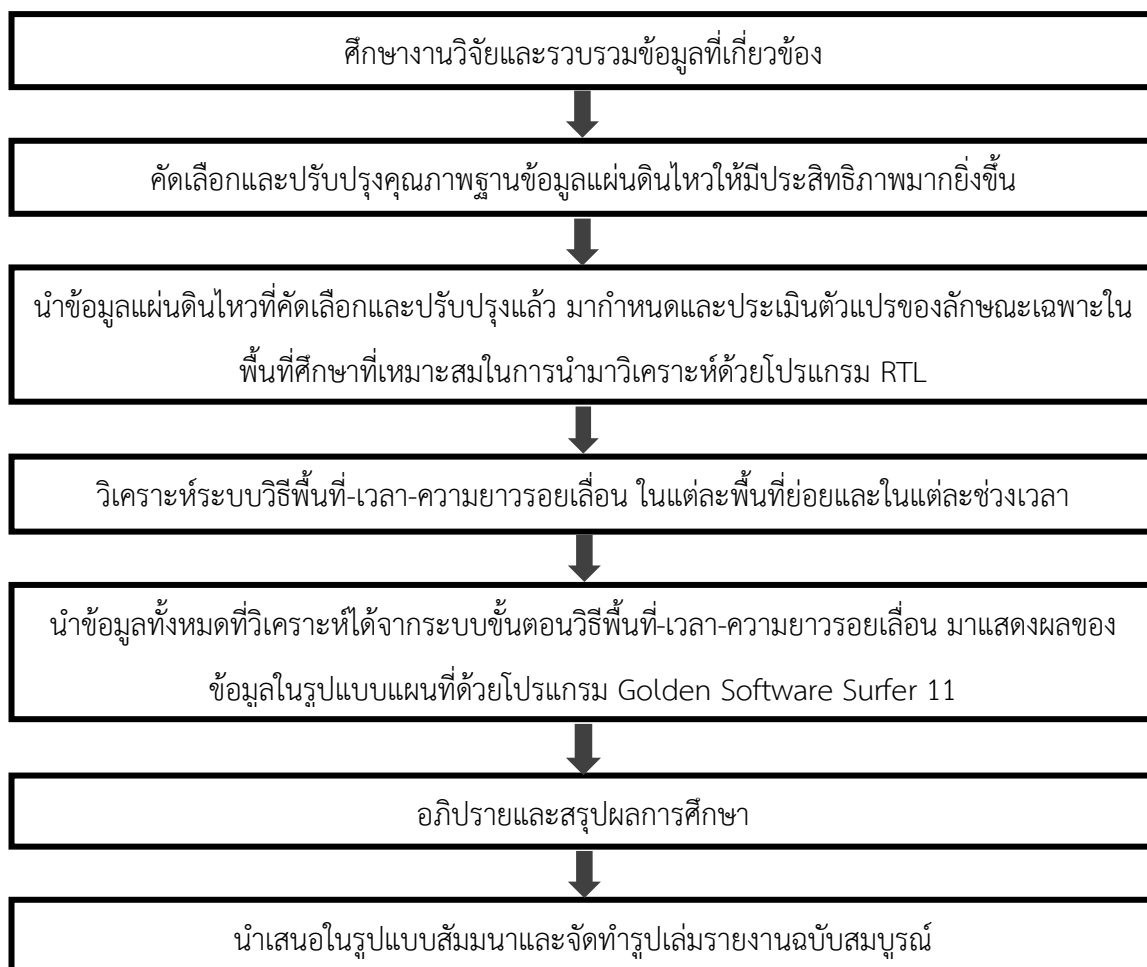
5. นำข้อมูลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากระบบขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน มาแสดงผลของข้อมูลในรูปแบบแผนที่ด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 11

5.1 แผนที่พื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต

6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

7. นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

ขั้นตอนการศึกษาสามารถแสดงในรูปของแผนผังซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูป 2.7



รูป 2.7 แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 3 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (SEISMICITY DATA AND COMPLETENESS)

สำหรับการวิเคราะห์ในเชิงสถิตินั้น มีความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงข้อมูลแผ่นดินไหวก่อน เพื่อคัดกรองฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเฉพาะช่วงข้อมูลที่จะสามารถสื่อถึงพฤติกรรมธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activities) ของพื้นที่ศึกษาได้อย่างแท้จริง

3.1 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Combination)

ข้อมูลแผ่นดินไหวในปัจจุบันมีการเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ โดยสามารถรวบรวมได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้บนอินเทอร์เน็ต จากนั้นจะต้องมีการนำข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มาทั้งหมดมาจัดเรียงให้ข้อมูลมีรูปแบบเดียวกัน ดังแสดงในตาราง 3.1 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลแผ่นดินไหว ดังนี้

1. จุดเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว ระบบพิกัดลองจิจูด (Longitude) และละติจูด (Latitude)
2. วัน/เดือน/ปี ที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว แสดง ปี (Year), เดือน (Month) และวัน (Day)
3. ขนาดและมาตราการวัดขนาด (Magnitude and magnitude scale) ของแผ่นดินไหวในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะมีการปรับเทียบมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวในหัวข้อถัดไป
4. ความลึกของศูนย์กลางแผ่นดินไหว แสดงในรูปแบบของความลึก (Depth)
5. ช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว แสดงในรูปแบบชั่วโมง (Hour) และนาที (Min)

งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจาก 3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว ได้แก่ ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global CMT Catalogue (GCMT), ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC) และฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC) มาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ กำหนดข้อมูลในพื้นที่ศึกษาบริเวณประเทศนิวซีแลนด์ โดยมีขอบเขตของข้อมูลระหว่างละติจูดที่ 164.59 ถึง 179.52 องศาใต้ และระหว่างลองจิจูดที่ -032.05 ถึง -048.56 องศาตะวันออก มีขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0 - 8.1 แมกนิจูด ความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0 - 827 เมตร รวมมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 182,986 เหตุการณ์ พบว่าเริ่มมีการบันทึกตั้งแต่วันที่ 8 มีนาคม ค.ศ. 1964 ถึงวันที่ 27 กันยายน ค.ศ. 2016

ตาราง 3.1 แสดงตารางตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลแผ่นดินไหว

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Depth	Hour	Min	Sec	Mb	Ms	ML	M
165.8799	-48.25	1976	8	5	12	1	7	16	-	-	-	-
164.6468	-48.2478	2007	10	3	0	11	23	44	-	4	-	4
164.07	-48.24	1995	5	17	0	4	26	37	-	4.1	-	5.1
165.14	-48.24	1998	3	10	33	23	19	10	-	-	-	3.7
164.9921	-48.2301	1992	10	25	10	8	31	4	-	3.2	-	-
165.0599	-48.23	1980	1	15	12	2	49	13	-	-	-	4.2
165.9299	-48.22	1975	1	22	12	12	52	41	-	-	-	-
165.45	-48.22	1984	4	5	33	13	20	10	-	-	-	3.8
164.3205	-48.2067	1995	10	15	33	2	14	5	-	3.7	-	-
164.9762	-48.2063	1991	8	27	33	19	7	49	-	4	-	-
164.1752	-48.2025	2007	12	30	33	17	52	3	-	3.8	3.4	-
165.4699	-48.2	1975	9	19	33	4	49	1	-	-	-	-
165.7904	-48.2	2007	9	30	0	7	29	38	-	3.7	-	3.5
165.734	-48.197	1988	6	21	33	12	33	23	-	4.6	-	-
164.71	-48.18	1981	5	25	12	5	46	53	-	-	-	4.6
165.1499	-48.18	1976	1	17	33	9	27	46	-	-	-	-
165.4172	-48.1782	1988	6	21	135.1	12	33	34	-	4.4	-	-

3.1.1 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว Global Centroid Moment Tensor Catalogue (GCMT)

ฐานข้อมูล Global CMT Catalogue (GCMT) หรือเป็นที่รู้จักกันในนามของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว the Harvard CMT (HRV) เริ่มมีการเก็บข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่เดือนมกราคม ปีค.ศ. 1976 (Dziewonski และคณะ, 1981; Ekström และคณะ, 2005) เป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ทางด้านแผ่นดินไหวอย่างละเอียด โดยจะวิเคราะห์และรายงานค่าโมเมนต์เทนเซอร์ (Centroid moment tensor, CMT) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 5.5 Mw ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์แผ่นดินไหวในเชิงลึกอย่างมาก อีกทั้งยังมีการรายงานข้อมูลแผ่นดินไหวในระยะเวลาที่ยาวนานอีกด้วย

3.1.2 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว National Earthquake Information (NEIC)

ศูนย์ข้อมูลแผ่นดินไหวนานาชาติ (National Earthquake Information Center - NEIC) ภายใต้การดูแลของสำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (United State Geological Survey - USGS) จัดตั้งขึ้นในปีค.ศ. 1966 เป็นเครือข่ายที่สามารถตรวจวัดแบบอัตโนมัติ และสามารถรายงานแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้อย่างทันทีหลังจากเกิดแผ่นดินไหว (Sipkin และคณะ, 2000) ซึ่งอาจจะมี ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลบ้างเล็กน้อยจากกระบวนการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แต่ก็ถือเป็นฐานข้อมูลที่มีการรายงานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดเมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอื่น ๆ

3.1.3 ฐานข้อมูลแผ่นดินไหว International Seismological Center (ISC)

ถือว่าโดยภาพรวมข้อมูลจะมีความถูกต้องมากกว่าฐานข้อมูล NEIC เริ่มมีการจัดตั้งขึ้นในปีค.ศ. 1964 เป็นอีกฐานข้อมูลที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงาน สำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (United State Geological Survey - USGS) โดยฐานข้อมูลนี้ได้จากการนำฐานข้อมูล NEIC มาคำนวณใหม่อีกครั้ง (International Seismological Centre, 2001) เพื่อให้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความแม่นยำมากขึ้น ตลอดจนรายงานข้อมูลในเชิงลึกอื่น ๆ ที่อาจเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในเชิงลึกด้านแผ่นดินไหววิทยา

3.1.4 การรวบรวมฐานข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด

ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละเครือข่ายจะมีผลการตรวจวัดที่มีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป แม้ว่าเครือข่ายการตรวจวัดนั้นจะมีการตรวจวัดต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานและเป็นระบบการจัดการที่มีคุณภาพ แต่ทว่าการตั้งเครือข่ายการตรวจวัดที่กระจายตัวทั่วโลกนั้น ทำให้เครือข่ายการตรวจวัดกระจายตัวไม่หนาแน่น ฉะนั้นการตรวจวัดจึงทำได้เฉพาะกับขนาดแผ่นดินไหวระดับ

ปานกลาง (มากกว่า 4 – 5 แมกนีจูด) ขึ้นไป อาจจะทำให้การวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวเกิดความผิดพลาดได้นั่นเอง

ทั้งนี้ก่อนทำการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิตินั้น เราจะต้องทำการรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครือข่ายการตรวจวัดต่าง ๆ เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการกระจายตัวมากที่สุดและทำการสร้างฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ขึ้นมา ในกรณีที่มีการตรวจวัดแผ่นดินไหวซ้ำกันให้ทำการคัดเลือกเฉพาะเหตุการณ์เดียวเท่านั้น (Suckale และ Grünthal, 2009) สุดท้ายแล้วเราจะได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวใหม่ที่มีระยะเวลาในการตรวจวัดยาวนานขึ้นและมีการแสดงการกระจายตัวของขนาดแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากยิ่งขึ้น

จากการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากทั้ง 3 ฐานข้อมูลแล้ว พบว่ามีจำนวนของข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 182,986 เหตุการณ์ โดยเริ่มมีการบันทึกตั้งแต่วันที่ 8 มีนาคม ค.ศ. 1964 ถึงวันที่ 27 กันยายน ค.ศ. 2016 มีขนาดของข้อมูลแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0 - 8.1 แมกนีจูด มีรายละเอียดของข้อมูลดังแสดงในรูป 3.1 ขนาดของแผ่นดินไหวที่มีการกระจายตัวมากอยู่ในช่วง 3.0 - 4.0 แมกนีจูด ดังแสดงในรูป 3.2 (ก) และความลึกของการเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0 - 827 เมตร โดยแสดงการกระจายตัวของข้อมูลมากในช่วง 0 - 45 เมตร ดังแสดงในรูป 3.2 (ข) ช่วงปีค.ศ. ที่มีการบันทึกข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลมากในช่วงปีค.ศ. 2009 - 2012 ดังแสดงในรูป 3.2 (ค) โดยแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล ดังแสดงในรูป 3.3

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

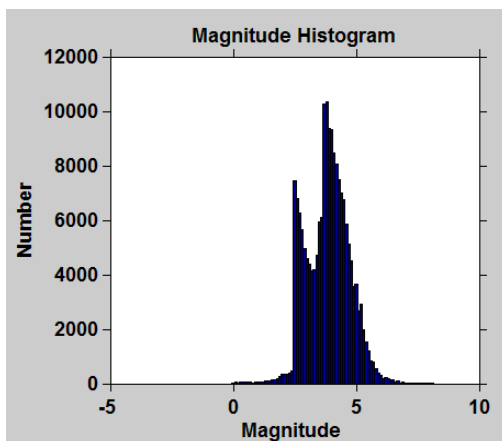
Maximum Magnitude: 8.1

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

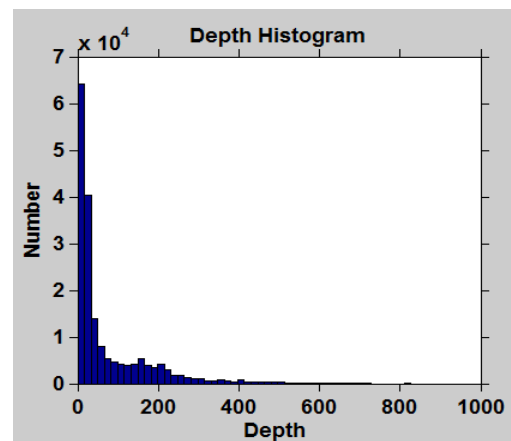
Info Go cancel

รูป 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลแผ่นที่ไหวทั้งหมดที่ได้จากฐานข้อมูลทั้ง 3 แหล่ง

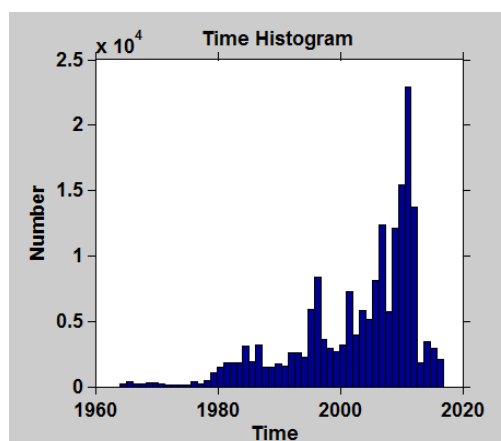
(ก) ขนาด - จำนวนแผ่นดินไหว



(ข) ความลึก - จำนวนแผ่นดินไหว

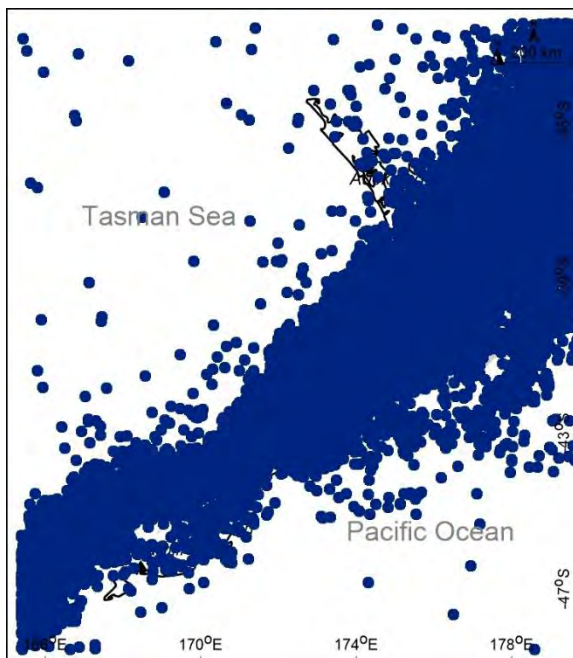


(ค) เวลา - จำนวนแผ่นดินไหว



รูป 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแผ่นดินไหวกับ

(ก) ขนาด (Mw), (ข) ความลึก (กิโลเมตร) และ (ค) เวลา (ปี)



รูป 3.3 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวก่อนการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล

3.2 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake Magnitude Conversion)

ข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ต่างกันจะมีการรายงานขนาดของแผ่นดินไหวด้วยมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับประเภทของคลื่นที่ตรวจวัด ได้แก่

1) ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (Local Magnitude: ML)

เป็นมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่นหรือระยะใกล้ ใช้บอกขนาดแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากสถานีไม่เกิน 650 กิโลเมตร สามารถคำนวณขนาดแผ่นดินไหวโดยการประเมินจากความสูงของแอมพลิจูดคลื่นร่วมกับระยะทางระหว่างสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวถึงจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวและทำการปรับแก้ขนาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์คงที่ใด ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด นิยมใช้กับการตรวจวัดแผ่นดินไหวในระดับท้องถิ่น (Local catalog) เช่น เหมือง เขื่อน เป็นต้น

2) ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Body-wave Magnitude: Mb)

เป็นมาตราขนาดแผ่นดินไหวที่ได้จากการคำนวณความสูงแอมพลิจูดของคลื่นปฐมภูมิ (P wave) ซึ่งเป็นคลื่นที่จะเกิดพร้อมกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเสมอ ดังนั้นจำนวนการตรวจวัดจึงมากกว่าขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่น ๆ ทำให้มีความถูกต้องสูง นิยมใช้กับการตรวจวัดแผ่นดินไหวระดับลึก

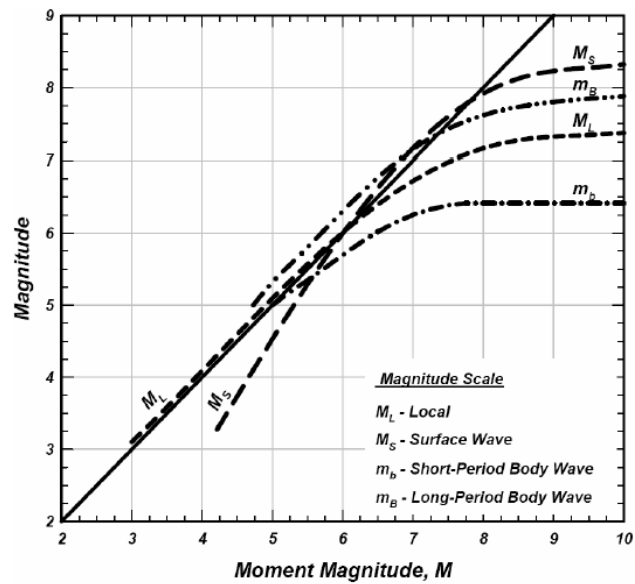
3) ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Surface-wave Magnitude: Ms)

คลื่นทุติยภูมิ (S wave) เป็นคลื่นที่เกิดหลังจากคลื่นเนื้อโลก (P wave) เคลื่อนมาถึงผิวโลก ทั่วไปของการตรวจวัดในระดับทั่วโลก (Global scale) ในการวัดคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลหรือแผ่นดินไหวที่มีขนาดรุนแรงจะใช้วิธีวัดความสูงแอมพลิจูดของคลื่นผิวโลก ทำให้ข้อมูลที่ได้จึงมีความสมบูรณ์มากกว่า แต่จำนวนที่สามารถตรวจวัดได้จะน้อยกว่าประเภท Mb นิยมใช้กับการตรวจวัดในระดับทั่วโลก (Global catalog) หรือระดับพื้นที่ขนาดกว้าง (Regional catalog)

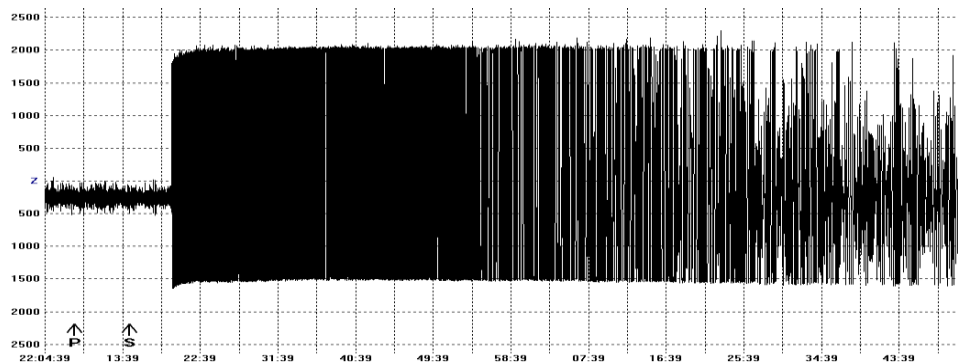
4) ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Moment Magnitude: Mw)

เป็นมาตรการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวที่ได้พัฒนาการประเมินขนาดแผ่นดินไหวโดยจะไม่ใช่กับชนิดของเครื่องมือตรวจวัด ทำการวิเคราะห์จากโมเมนต์แผ่นดินไหว (Seismic Moment) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่ประเมินจากระยะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน, พื้นที่การเคลื่อนตัว และค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งของหินในพื้นที่ ซึ่งเป็นหน่วยการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวที่ใช้ตัวแปรทางกายภาพที่แสดงถึงพลังงานที่แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งปลดปล่อยออกมาจริง ๆ

การที่มีมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะวัดในเหตุการณ์เดียวกัน ค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ได้ก็อาจจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยสาเหตุของความแตกต่างคือการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation of earthquake magnitude) ของหน่วยวัดที่อ้างอิงจากคลื่นแผ่นดินไหว (Mb, Ms และ ML) นอกจากนี้แต่ละหน่วยก็จะมีระดับการอิ่มตัวที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ยิ่งไปกว่านั้นในกรณีของแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่และมีแอมพลิจูดของคลื่นที่สูงเกินขีดจำกัดของเครื่องมือตรวจวัดที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูป 3.5



รูป 3.4 กราฟแสดงระดับการอิมิตัวที่ต่างกันของการประเมินขนาดแผ่นดินไหวเมื่อเทียบกับ M_w (Kagan และ Knopoff, 1980)



รูป 3.5 ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้และเกินขอบเขตการตรวจวัดของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยเฉพาะคลื่นพื้นผิว (Surface wave) ที่มีแอมพลิจูด (Amplitude) สูงกว่าคลื่นเนื้อโลก

ฉะนั้นก่อนที่เราจะนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปใช้ในการวิเคราะห์ เราจะต้องปรับข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน หน่วยขนาดแผ่นดินไหวแต่ละชนิด ก็จะมีการอ้างอิงมาจากสมมติฐานและวิธีการคำนวณที่ต่างกันไป สำหรับงานวิจัยนี้ เราต้องใช้ข้อมูลขนาดแผ่นดินไหว คือ ขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Moment Magnitude: M_w) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ, มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดและสื่อถึงพฤติกรรมแผ่นดินไหว

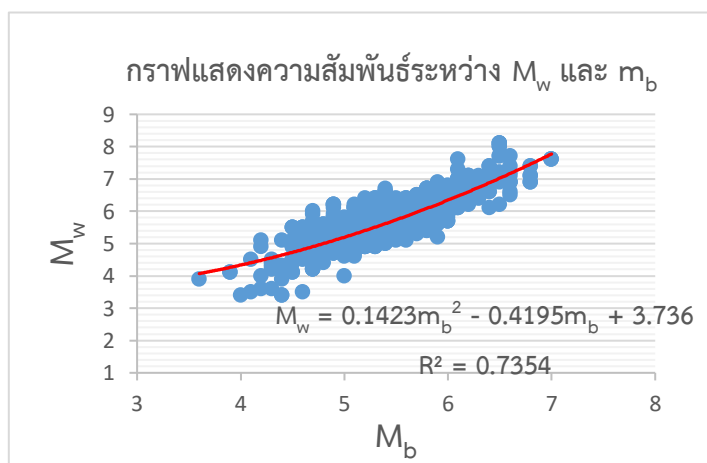
ได้มากที่สุด เนื่องจากหน่วยวัดนี้ไม่มีการเกิดการอิมิตัวของสัญญาณเหมือนกับหน่วยมาตราวัดแผ่นดินไหวอื่น ๆ

ในการเปรียบเทียบหรือการแปลงข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวสามารถทำได้โดยการปรับข้อมูลขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (Body-wave Magnitude: M_b), ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (Surface-wave Magnitude: M_s) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (Local Magnitude: M_l) ให้มีหน่วยมาตรฐานเป็นขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (Moment Magnitude: M_w) เริ่มจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยมาตรวัดขนาดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน แต่พื้นที่ที่จะสมการที่มีความเฉพาะและแตกต่างกัน จะจัดคู่สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้แปลงหน่วยฐานข้อมูลและวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟโพโลโนเมียลของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่หน่วยในการแปลงมาตราวัด โดยสามารถพิจารณาความเหมาะสมของสมการได้จากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ ยิ่ง R^2 มีค่าใกล้เคียง 1 หมายถึงสมการดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือสูง ท้ายที่สุดแล้วเราสามารถจัดคู่สมการความสัมพันธ์ได้เป็น 3 ความสัมพันธ์ ดังนี้

3.2.1 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (M_b) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w)

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (M_b) ดังแสดงในสมการ (3.1) และสามารถวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูป 3.6

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

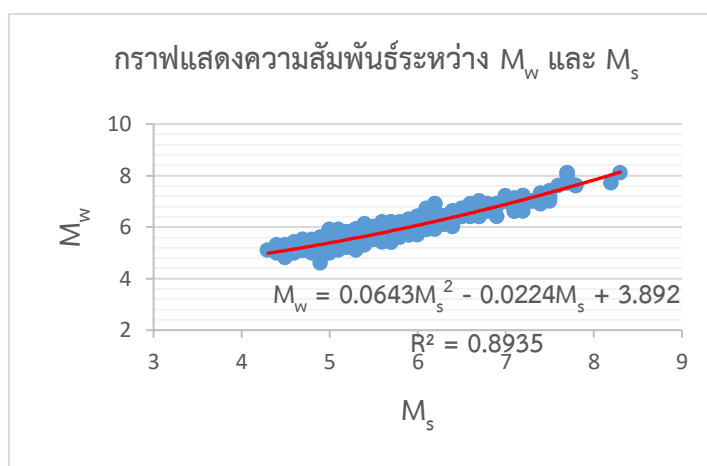


รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (M_b) จุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด M_b และ M_w

3.2.2 ขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) และขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w)

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) ดังแสดงในสมการ (3.2) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูป 3.7

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

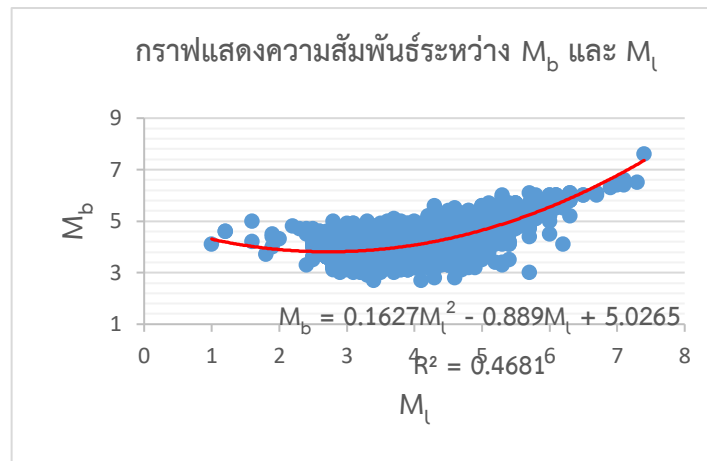


รูป 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ (M_w) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นผิวโลก (M_s) จุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตรวัด M_w และ M_s

3.2.3 ขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l) และขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (M_b)

จากการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวจากคลื่นเนื้อโลก (M_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_l) ดังแสดงในสมการ (3.3) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูป 3.8

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



รูป 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเนื้อโลก (M_b) และขนาดแผ่นดินไหวท้องถิ่น (M_L)
 จุดสีน้ำเงินคือข้อมูลแผ่นดินไหวในหน่วยมาตราวัด M_b และ M_L

จะเห็นว่าทั้งสองคู่สมการที่สามารถแปลงมาตราวัดในหน่วย M_b และ M_S ให้กลายเป็น M_W ได้โดยตรง ดังแสดงในสมการ (3.2) และสมการ (3.3) ตามลำดับ ฉะนั้นจะเหลือเพียงหน่วย M_L ที่ไม่สามารถแปลงเป็น M_W ได้โดยตรง ซึ่งจากสมการ (3.3) จะเห็นได้ว่าเราต้องทำการแปลงหน่วย M_L เป็น M_b ก่อน จึงจะสามารถทำการแปลงหน่วย M_b ที่ได้ไปเป็นหน่วยมาตราวัด M_W ด้วยสมการ (3.1) อีกครั้ง

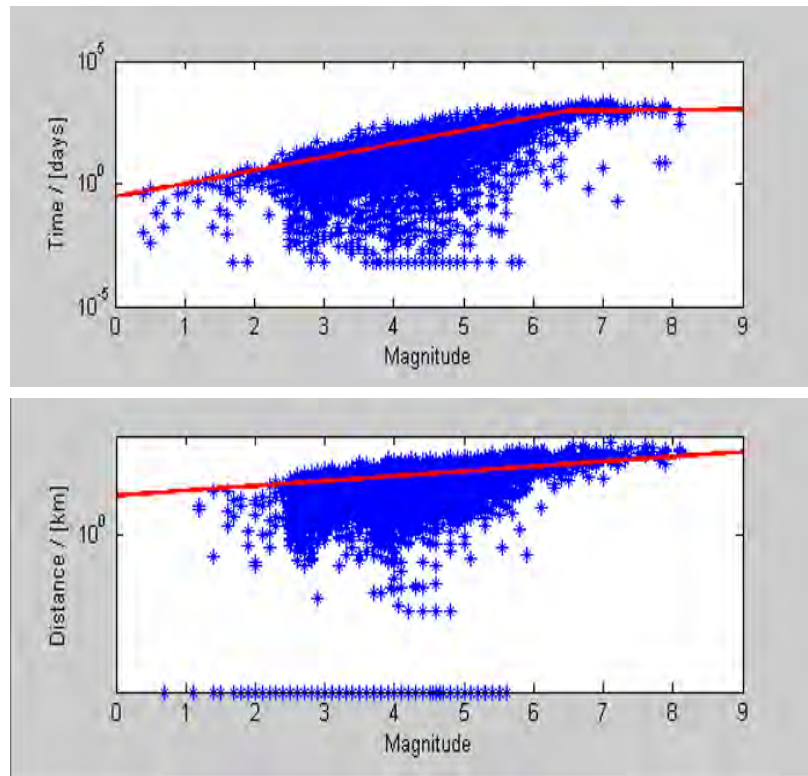
หลังจากได้สมการความสัมพันธ์ทั้งหมดและปรับเทียบฐานข้อมูลแผ่นดินไหวให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด จะทำให้ได้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่สมบูรณ์และถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

3.3 การคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake Declustering)

ในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้งจะประกอบด้วยแผ่นดินไหว 3 ได้แก่ แผ่นดินไหวนำ (Foreshock) แผ่นดินไหวหลัก (Main shock) และแผ่นดินไหวตาม (Aftershock) โดยจะมีเพียงแผ่นดินไหวหลักเท่านั้นที่เกิดจากแรงเค้น (stress) จากการเปลี่ยนแปลงธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activity) โดยตรง ดังนั้นเราจะเลือกเพียงแค่ข้อมูลแผ่นดินไหวหลักมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ ส่วนแผ่นดินไหวนำเกิดจากการเตรียมพร้อมก่อนการเกิดแผ่นดินไหวหลัก และแผ่นดินไหวตามเกิดจากแรงเครียด (strain) ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการเคลื่อนตัวของพื้นที่หรือรอยเลื่อนในบริเวณนั้น ๆ เพื่อปรับให้สภาพพื้นที่กลับเข้าสู่ภาวะสมดุลมากที่สุดเมื่อมีการเกิดแผ่นดินไหวหลักขึ้น

ฉะนั้นเพื่อให้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่สื่อถึงพฤติกรรมทางธรณีแปรสัณฐานโดยตรง จึงจำเป็นต้องมีการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกแผ่นดินไหวหลักและกำจัดแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินตามออก การในการจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักนั้น จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหว, ระยะทางระหว่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ศึกษา และช่วงเวลาที่เกิดขึ้น โดยที่แสดงอยู่ในรูปของกรอบของเวลา (time window) และกรอบของระยะทาง (space window) โดยจะทำให้เห็นถึงการจัดกลุ่มกันของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตาม กลุ่มของแผ่นดินไหวที่อยู่ภายใต้กรอบของเวลาและกรอบของระยะทางหรืออยู่ภายใต้เส้นสีแดง ดังแสดงในรูป 3.9 ถือว่าเป็นกลุ่มของแผ่นดินไหวนำและแผ่นดินไหวตามที่เราต้องทำการกำจัดออก

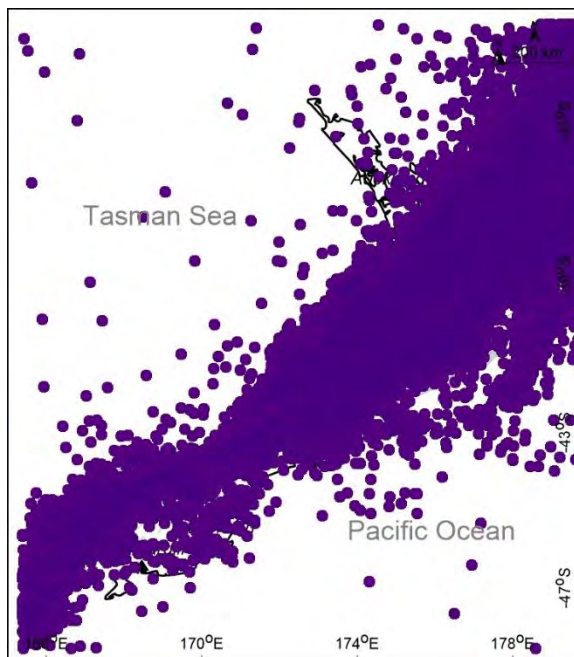
ผลจากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามแนวคิดของ Gardner และ Knopoff (1974) พบว่าสามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวให้อยู่ในกลุ่มแผ่นดินไหวเดียวกัน (Earthquake cluster) ได้ทั้งหมด 13,500 กลุ่มแผ่นดินไหว ประกอบด้วยข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 154,253 เหตุการณ์ จากข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมด 182,986 เหตุการณ์ คิดเป็น 84.30% จากเหตุการณ์ทั้งหมดและจากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถจำแนกเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 28,733 เหตุการณ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1964 - 2016 และมีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.0 - 8.1 Mw ด้วยความลึก 0 - 722.5 กิโลเมตร ดังแสดงในรูป 3.10 ซึ่งได้จัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก ดังแสดงในรูป 3.11



รูป 3.9 แสดงผลวิเคราะห์จากการจัดกลุ่มแผ่นดินไหวตามสมมติฐานของ Gardner และ Knopoff (1974) เส้นสีแดงแสดงกรอบเวลา (รูปด้านบน) และกรอบของระยะทาง (รูปด้านล่าง) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ขนาดใด ๆ จุดสีฟ้าแสดงข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละเหตุการณ์ โดยข้อมูลแผ่นดินไหวที่อยู่เหนือเส้นสีแดง คือข้อมูลแผ่นดินไหวหลัก

EQs in catalog:	28733
Plot Big Events with	7.9
Bin Length in days	14
Beginning year:	1964.0121
Ending year:	2016.8822
Minimum Magnitud	0
Maximum Magnitud	8.1
Min Depth	0
Max Depth	722.5
Info	Go
cancel	

รูป 3.10 แสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลด้วยการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

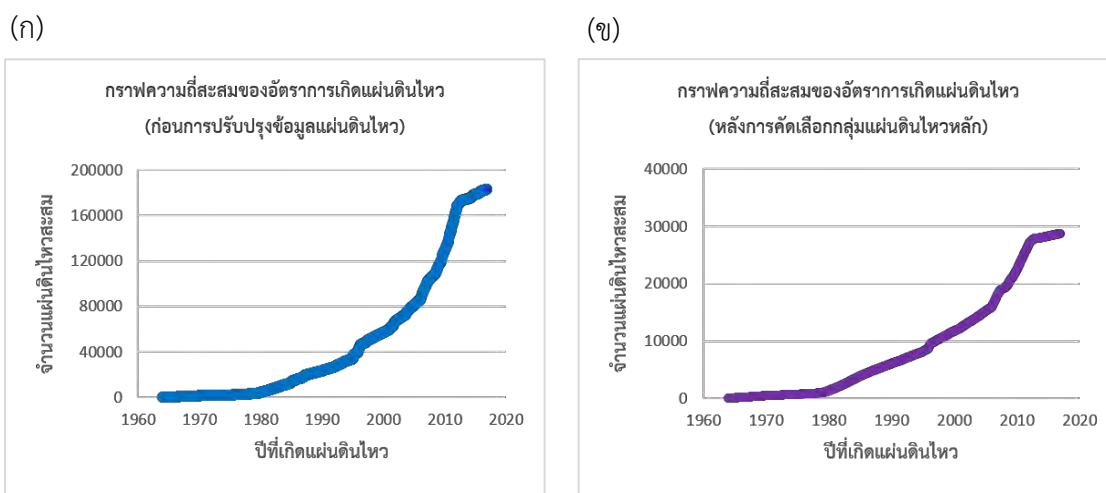


รูป 3.11 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

3.4 การตรวจสอบและกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการบันทึกไว้ มักจะได้รับผลกระทบมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มหรือการลดของจำนวนสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวในเครือข่ายตรวจวัด ทำให้ได้ข้อมูลที่มีการบันทึกไว้มีความไม่คงที่ (Wyss, 1991), การเปลี่ยนแปลงระบบการดูแลเครือข่ายสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว ซึ่งจะทำให้มีการประเมินขนาดแผ่นดินไหวที่เปลี่ยนไปจากเดิม (Habermann และ Wyss, 1984), การเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์ในการประมวลผลข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละช่วงเวลา (Wyss และ Habermann, 1988) หรือแม้แต่การเปลี่ยนแปลงในหน่วยวัดและค่าจำกัดความของขนาดแผ่นดินไหว (Perez และ Scholz, 1984) โดยทางทฤษฎีพบว่ากระบวนการทางธรณีแปรสัณฐาน เช่น ความเร็วหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันทีทันใดในระยะเวลายันสั้น ดังนั้นอัตราการเกิดแผ่นดินไหวโดยรวมในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 100 ปีของฐานข้อมูลแผ่นดินไหวจึงควรมีอัตราการเกิดที่สม่ำเสมอหรือถ้าจะพิจารณาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์กราฟดังกล่าวนั้น ควรให้ผลเป็นกราฟเส้นตรง

ฉะนั้นเราจึงพิจารณากราฟความสัมพันธ์ข้างต้น โดยการนำข้อมูลที่ได้หลังจากการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก (Earthquake declustering) มาวิเคราะห์ ดังแสดงในรูป 3.12 พบว่า กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก มีความใกล้เคียงเส้นตรงมากกว่าข้อมูลแผ่นดินไหวเดิมที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงข้อมูล แต่ก็ยังไม่ถือว่าเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ตามหลักการ จึงต้องนำข้อมูลแผ่นดินไหวไปปรับปรุงคุณภาพอีกในขั้นตอนถัดไป



รูป 3.12 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลแผ่นดินไหว

(ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล

(ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

เนื่องจากข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้มีการเปลี่ยนแปลงจากกิจกรรมของมนุษย์ จึงทำให้ Habermann (1983; 1987) ได้นำเสนอหลักการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการตรวจวัดแผ่นดินไหว (Z) โดยการวิเคราะห์ค่า Z ทำได้จากการใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวใน 2 ช่วงเวลา คือ M_1 และ M_2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ S_1 และ S_2 สุดท้ายคือจำนวนตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลาหรือ N_1 และ N_2 ดังแสดงในสมการ (3.4) เพื่อใช้ในการคำนวณค่า Z ซึ่งจะแสดงผลการคำนวณในรูปของการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละขนาดและแต่ละช่วงเวลา

$$Z = \frac{M1 - M2}{\sqrt{\frac{S1^2}{N1} + \frac{S2^2}{N2}}}, \quad \text{สมการ (3.4)}$$

Rw อัตราการเกิดแผ่นดินไหวในกรอบเวลา

Rbg อัตราการเกิดแผ่นดินไหวนอกกรอบเวลา

S ความแปรปรวนของข้อมูล

n จำนวนข้อมูล

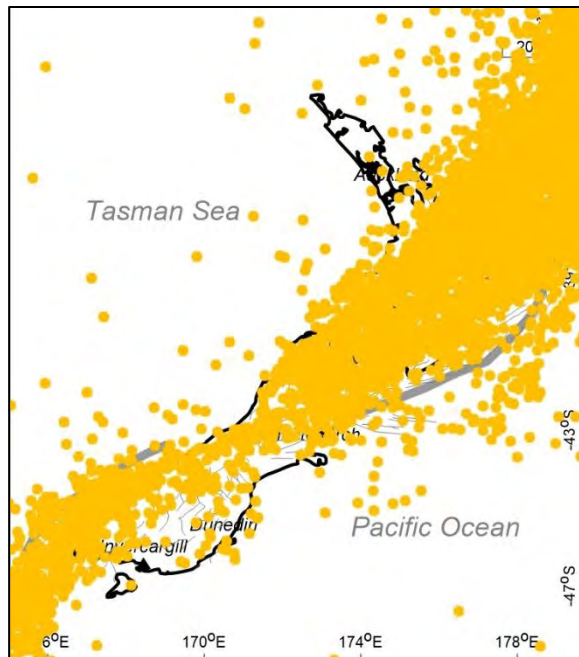
เมื่อทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งสิ้น 19,012 เหตุการณ์ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 28,733 เหตุการณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 1978 - 2012 มีขนาดตั้งแต่ 3.3 - 8.1 Mw ดังแสดงในรูป 3.13 ซึ่งแสดงเป็นแผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์ ดังแสดงในรูป 3.14

The screenshot shows a search interface for earthquake data. The criteria and their values are as follows:

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

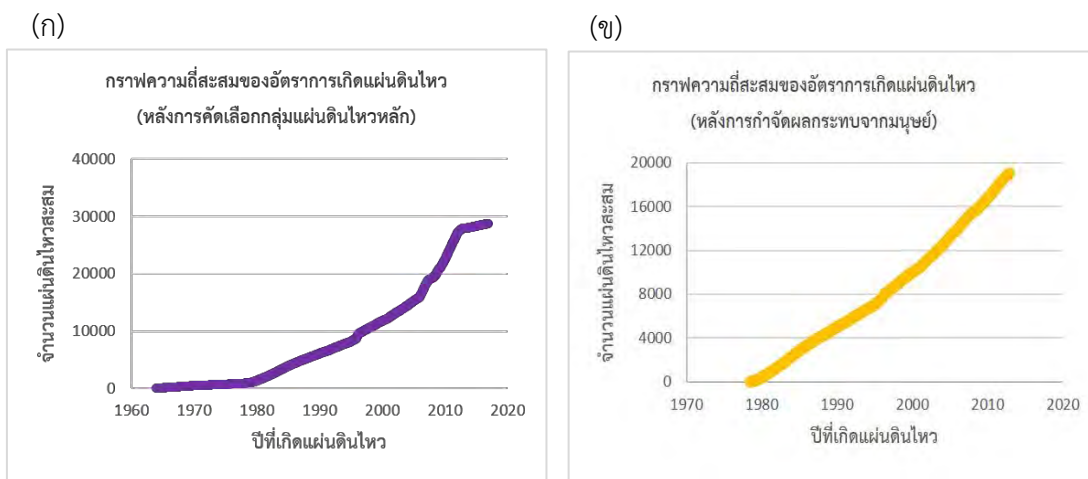
At the bottom, there are three buttons: "Info", "Go", and "cancel".

รูป 3.13 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยขั้นตอนการกำจัดผลกระทบจากมนุษย์



รูป 3.14 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์

หลังจากนั้นได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแผ่นดินไหวสะสมของฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (cumulative number of earthquake) และช่วงเวลาในแต่ละปี โดยที่จะนำข้อมูลจำนวนแผ่นดินไหวทั้งก่อนการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลักหลังการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก รวมถึงหลังจากการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์แล้ว เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของเส้นกราฟ ดังแสดงในรูป 3.15 จากรูปแสดงให้เห็นว่ายิ่งเส้นกราฟมีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรงมากเท่าไร แสดงว่าฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้สามารถสื่อถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างแท้จริง และสามารถนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์หาพฤติกรรมของแผ่นดินไหวได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด โดยลักษณะของเส้นกราฟที่ใกล้เคียงเส้นตรงที่สุดคือเส้นกราฟที่ได้ทำการกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์แล้ว



รูป 3.15 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว

(ก) หลังผ่านกระบวนการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

(ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์

3.5 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

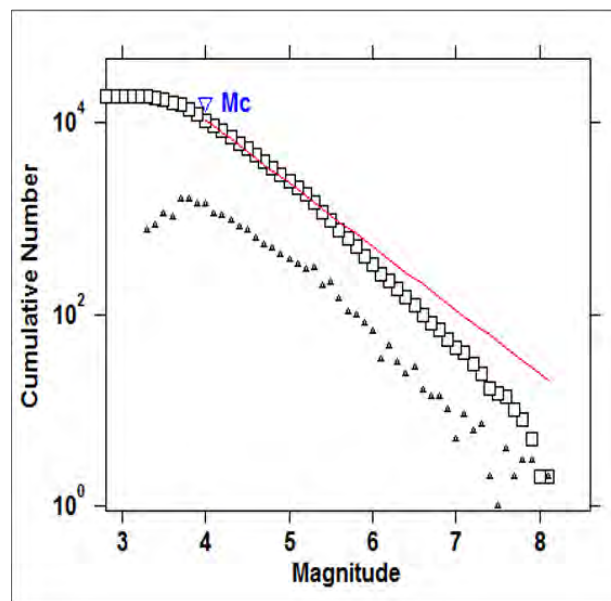
จากการศึกษาวิจัยในอดีต นักแผ่นดินไหววิทยาสามารถสรุปว่าความไม่สมบูรณ์ของการตรวจวัดแผ่นดินไหวเกิดขึ้นจากประสิทธิภาพและความไวต่อสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวของเครื่องมือตรวจวัด บางครั้งแผ่นดินไหวที่มีขนาดเล็กแรงสั่นสะเทือนบางส่วนจะไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือและไม่ปรากฏในฐานข้อมูลการตรวจวัด แม้จะมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นจริงก็ตาม

ทั้งนี้จึงทำให้มีการกำหนดค่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในการตรวจวัดแผ่นดินไหวจากเครื่องมือเรียกขนาดแผ่นดินไหวนี้ว่า Magnitude of completeness หรือ M_c (Woessner และ Wiemer, 2005) โดยค่า M_c หมายถึง ระดับขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้ทุกเหตุการณ์ที่แผ่นดินไหวเกิดขึ้น ในขณะที่แผ่นดินไหวขนาดเล็กกว่า M_c นั้นบางเครือข่ายไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการกำหนดค่า M_c ให้ถูกต้องจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์เกิดแผ่นดินไหวที่ถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือต่อไป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวเพื่อคัดเลือกขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหว

มีการกำหนดค่า $M_c = 4.0$ ดังแสดงในรูป 3.16 โดยแสดงถึงข้อมูลแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์ คือ แผ่นดินไหวที่มีขนาดตั้งแต่ 4.0 Mw ขึ้นไป

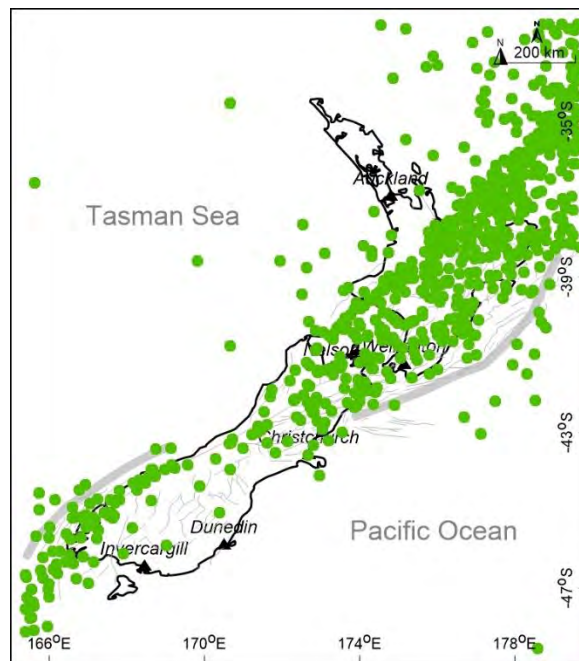
จากการคัดเลือกระดับของขนาดแผ่นดินไหวที่มากกว่าขนาดแผ่นดินไหวที่ต่ำที่สุดออก แผ่นดินไหวที่มีขนาดตั้งแต่ 4.0 Mw ขึ้นไป ทำให้ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่จะนำมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวมีทั้งสิ้น 10,651 เหตุการณ์ ในช่วงปีค.ศ. 1978 - 2012 มีขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 4.0 - 8.1 Mw ขึ้นไป ดังแสดงในรูป 3.17 และมีการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 3.18



รูป 3.16 แสดงการคัดเลือกแผ่นดินไหวต่ำสุดที่มีความสมบูรณ์จากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว โดยที่มีขนาดแผ่นดินไหวต่ำที่สุดที่มีความสมบูรณ์คือ $M_c = 4.0$

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	Max Depth	
0	722.5	
Info	Go	cancel

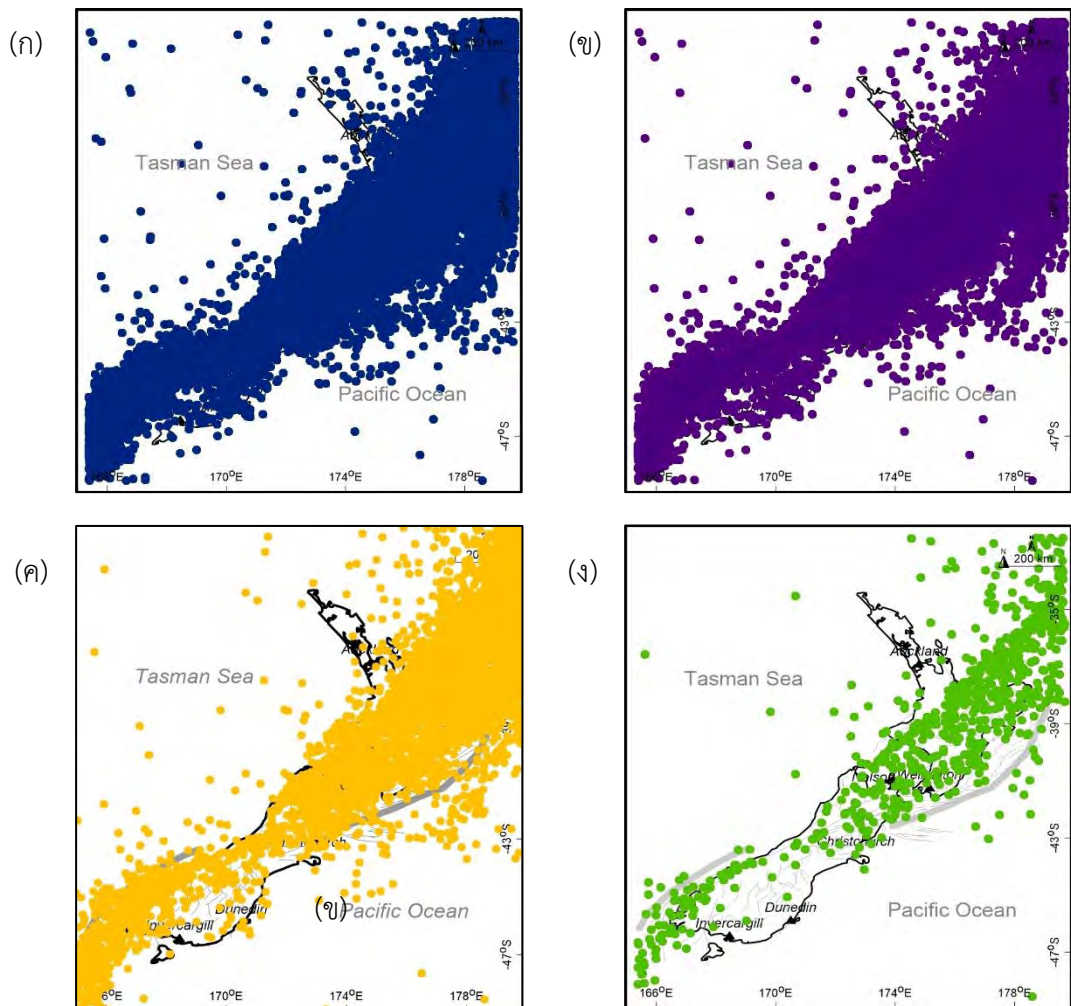
รูป 3.17 แสดงผลสรุปข้อมูลหลังทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์



รูป 3.18 แผนที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

จากกระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้น ทำให้ทราบว่าแต่ละขั้นตอนในการปรับปรุงฐานข้อมูลนั้นจะทำให้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสมบูรณ์และถูกต้องขึ้น โดยจะสามารถสื่อถึงพฤติกรรมธรณีแปรสัณฐาน (tectonic activities) ของพื้นที่ศึกษาอย่างแท้จริง โดยก่อนการแยกกลุ่มแผ่นดินไหว จะพบว่าข้อมูลกระจายตัวทั่วพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูป 3.19 (ก) และจากนั้นเมื่อทำการแยกกลุ่มแผ่นดินไหวทำให้ข้อมูลมีจำนวนลดลง แต่ยังคงมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่เช่นเดิม ดังแสดงในรูป 3.19 (ข) ต่อมาเมื่อทำการกำจัดผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์พบว่าข้อมูลมีจำนวนลดลง และยังคงมีการกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาเช่นกัน ดังแสดงในรูป 3.19 (ค) และสุดท้ายเมื่อทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ พบว่าจำนวนข้อมูลลดลงอีก และมีการกระจายตัวลดลง โดยข้อมูลส่วนใหญ่จะมีการกระจายตัวใกล้กับบริเวณแนวรอยเลื่อน ดังแสดงในรูป 3.19 (ง)

อีกนัยหนึ่งหากทำการพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สะสมของการเกิดแผ่นดินไหวกับปีที่เกิดแผ่นดินไหว ดังแสดงในรูป 3.20 พบว่ากราฟมีความใกล้เคียงเส้นตรงมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนได้รับการปรับปรุงข้อมูล แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว จะมีความใกล้เคียงกับการเกิดแผ่นดินไหวตามธรรมชาติที่มีอัตราการเกิดแบบคงที่ ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลที่มีคุณภาพเพียงพอแก่การนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวต่อไป ดังแสดงในรูป 3.21



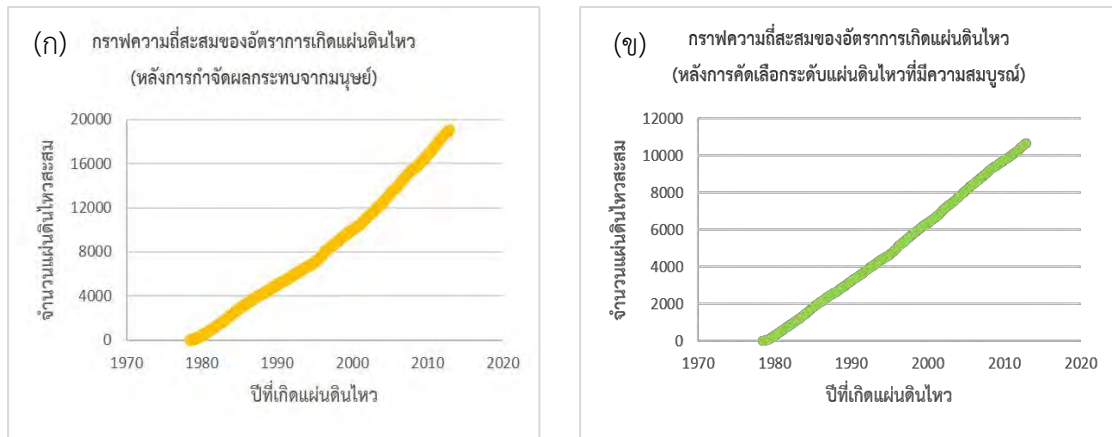
รูป 3.19 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูล

(ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล

(ข) หลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

(ค) หลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์

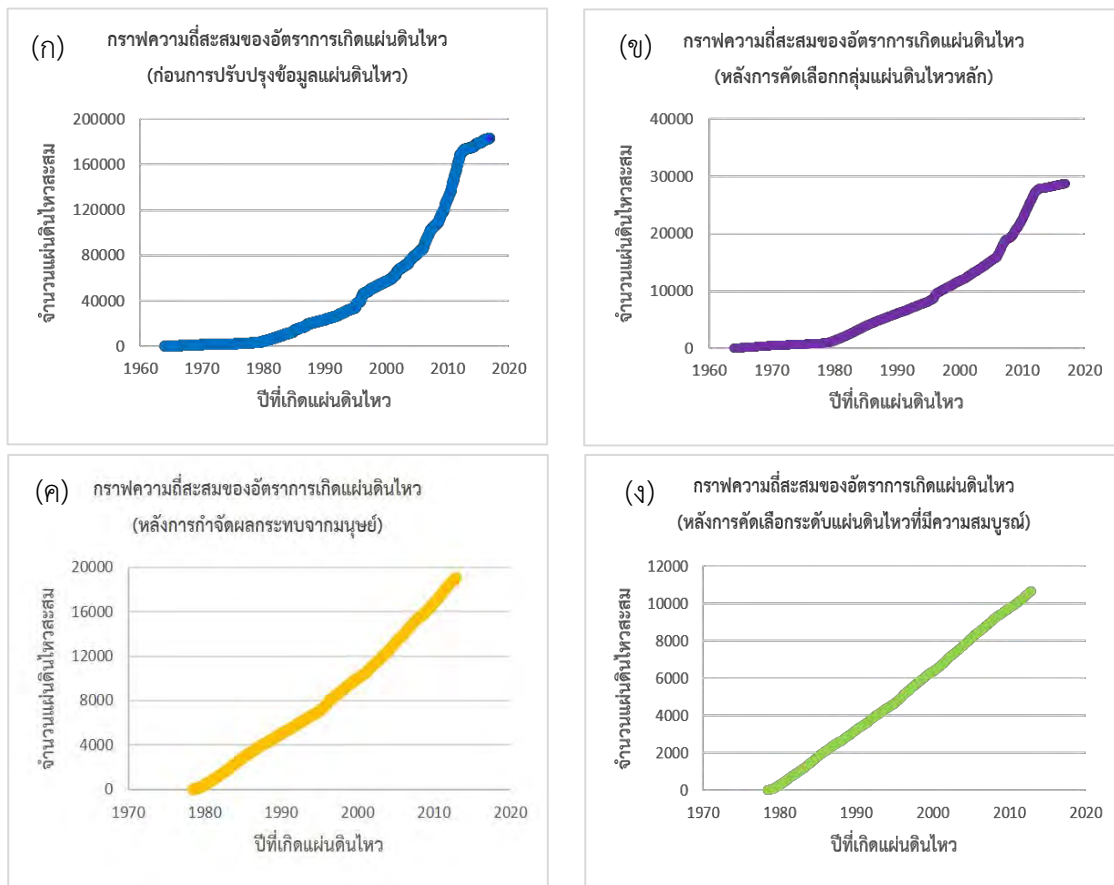
(ง) หลังการคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์



รูป 3.20 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมของข้อมูลแผ่นดินไหว

(ก) หลังจากกำจัดผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์

(ข) ข้อมูลแผ่นดินไหวหลังทำการคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์



รูป 3.21 แสดงการเปรียบเทียบกราฟความถี่สะสมข้อมูลแผ่นดินไหวในแต่ละขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูล

(ก) ก่อนดำเนินการปรับปรุงฐานข้อมูล

(ข) หลังการคัดเลือกกลุ่มแผ่นดินไหวหลัก

(ค) หลังกำจัดผลกระทบจากมนุษย์

(ง) หลังการคัดเลือกระดับแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์

บทที่ 4 ผลการศึกษา

(RESULT)

4.1 การทดสอบย้อนกลับ (Retrospective Test)

ในการหาตัวแปรที่นำมาใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในอนาคตที่เหมาะสมที่สุด คือ กรอบเวลาและจำนวนเหตุการณ์ในรัศมีที่ให้ผลที่แม่นยำในการทำนาย (Forecast) หาพื้นที่เสี่ยง

4.1.1 คัดเลือกกรณีศึกษา (Case Study)

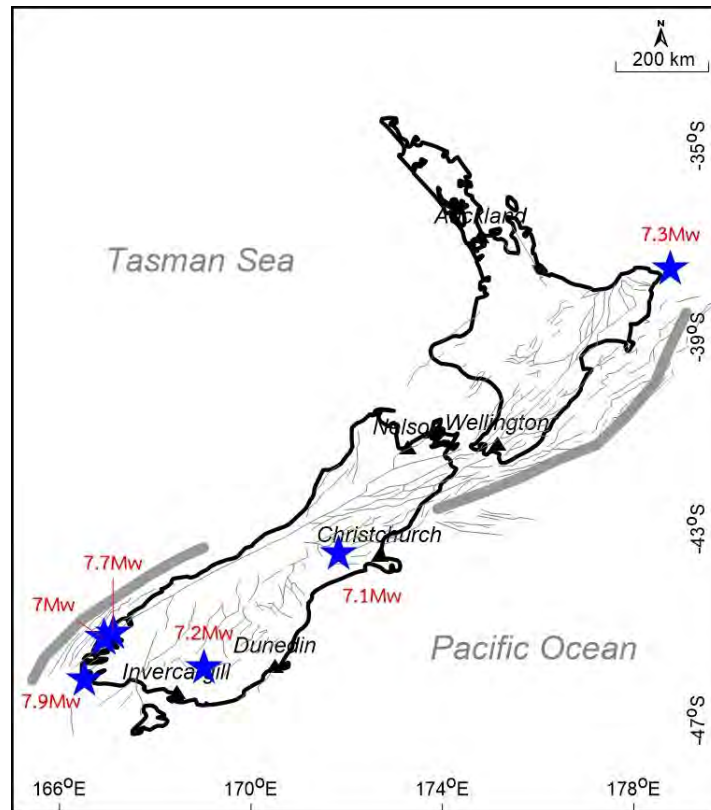
หลังจากปรับปรุงข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้การฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต่อมาต้องทำการคัดเลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สนใจ ซึ่งได้ทำการคัดเลือกมาทั้งหมด 6 เหตุการณ์ เพื่อนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา

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

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ถูกคัดเลือกเพื่อมาเป็นกรณีศึกษาจะพิจารณาเลือกเหตุการณ์ที่มีขนาดแผ่นดินไหวในมาตราวัดขนาดแผ่นดินไหวโมเมนต์ตั้งแต่ 7 Mw ขึ้นไป โดยพิจารณาจากบริเวณ

พื้นที่ศึกษาประเทศนิวซีแลนด์ โดยเลือกเหตุการณ์ที่อยู่ในขอบเขตไม่ห่างจากบริเวณพื้นที่ศึกษามาก เมื่อคัดเลือกแล้ว ทำให้ได้เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จะสามารถนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาได้ ทั้งหมด 6 เหตุการณ์จากจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด มีการกระจายตัวตามพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูป 4.1



รูป 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษา

4.1.2 การคัดเลือกเงื่อนไข (Variation of Condition)

สำหรับการทดสอบย้อนกลับทำเพื่อหาค่าตัวแปร รัศมี (R_{max}) และกรอบเวลา (T_{max}) ที่เหมาะสม หาได้จากขั้นตอนวิธีพื้นที่-เวลา-ความยาวรอยเลื่อน (RTL) ต้องคำนึงถึงตัวแปรระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวทั้ง 3 ตัวแปร คือ ตัวแปรพื้นที่, ตัวแปรเวลาเวลา และตัวแปรความยาวรอยเลื่อน ดังแสดงในสมการ (5.1) – (5.3)

$$R(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (5.1)}$$

$$T(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (5.2)}$$

$$L(x, y, z, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_{bg}(x, y, z, t) \quad \text{สมการ (5.3)}$$

โดยกำหนดค่า Rmax เริ่มตั้งแต่ 60 – 170 กิโลเมตร และขยับไปทุก ๆ 10 กิโลเมตร ในส่วน
ของค่า Tmax เริ่มตั้งแต่ 2 – 5 ปี และขยับไปทุก ๆ 0.5 ปี จากการกำหนดค่านี้ ทำให้ได้เงื่อนไขของ
ค่า Rmax และ Tmax หลายกรณี แสดงตัวอย่างดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงตัวอย่างเงื่อนไขค่า Rmax และ Tmax หลายกรณี

เงื่อนไข	Rmax (กม.)	Tmax (ปี)	จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ
1	170	2	2
2	170	4.5	2
3	150	3	3
4	160	4	3
5	160	5	3
6	120	2	4
7	120	4.5	4
8	130	2.5	4
9	140	2	4

เงื่อนไข	Rmax (กม.)	Tmax (ปี)	จำนวนเหตุการณ์กรณีศึกษาที่พบ
10	100	3	5
11	100	4.5	5
12	110	2	5
13	110	3.5	5
14	110	4.5	5
15	60	2	6
16	70	2.5	6
17	70	4.5	6
18	80	3	6
19	90	2.5	6
20	90	4.5	6

เงื่อนไขค่า Rmax และ Tmax ที่ได้หลายกรณีนี้ ได้ยกตัวอย่างมาแสดงดังตาราง 4.2 โดยจะทำการคัดเลือกเงื่อนไขมา 2 เงื่อนไขจากจำนวนเงื่อนไขทั้งหมด

หลักการในการคัดเลือกคือ เลือกเงื่อนไขค่า Rmax และ Tmax พบเหตุการณ์กรณีศึกษา มากที่สุดจาก 6 เหตุการณ์และต้องเป็นเงื่อนไขที่ไม่มากเกินไป โดยพบว่า ค่า Rmax ที่เลือกมานั้นอยู่ในช่วง 70 – 90 กิโลเมตรและค่า Tmax อยู่ในช่วง 4 - 5 ปี ทั้งนี้ทั้ง 2 เงื่อนไขยังพบเหตุการณ์กรณีศึกษาทั้งสิ้น 6 เหตุการณ์ จากทั้งหมด 6 เหตุการณ์ด้วย ดังแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงรายละเอียดข้อมูลของ 2 เงื่อนไขรวมถึงเหตุการณ์กรณีศึกษาที่เกิดขึ้นในพื้นที่

เงื่อนไข	Rmax (กม.)	Tmax (ปี)	เหตุการณ์	Longitude	Latitude	Year	MW
1	70	5	1	166.927	45.277	1993.61	7
			2	171.83	43.522	2010.67	7.1
			3	169.02	-45.89	2007.79	7.2
			4	178.77	-37.57	1995.1	7.3
			5	167.12	-45.18	2003.64	7.7
			6	166.53	-46.15	2009.54	7.9
2	90	5	1	166.927	45.277	1993.61	7
			2	171.83	43.522	2010.67	7.1
			3	169.02	-45.89	2007.79	7.2
			4	178.77	-37.57	1995.1	7.3
			5	167.12	-45.18	2003.64	7.7
			6	166.53	-46.15	2009.54	7.9

เงื่อนไขที่จะต้องนำมาพิจารณาทั้งหมด 2 เงื่อนไข จากการพิจารณาเบื้องต้นด้วยวิธีการสร้างตารางเปรียบเทียบค่า RTL ต่ำสุดของแต่ละเงื่อนไขกรณีศึกษา ดังแสดงในตาราง 4.4 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดปกติในแต่ละเงื่อนไขไม่แตกต่างกันมาก แต่เงื่อนไขที่ 2 คือ Rmax = 90 กิโลเมตร และ Tmax = 5 ปี นั้นแสดงค่า RTL ต่ำสุดในลักษณะที่ชัดเจนมากกว่าเงื่อนไขที่ 1 คือ Rmax = 70 กิโลเมตร และ Tmax = 5 ปี ซึ่งจะทำให้เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลแล้วจะทำให้การแสดงผลเด่นชัดมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกที่จะใช้เงื่อนไขที่ 2 คือ Rmax = 90 กิโลเมตร และ Tmax = 5 ปี ซึ่งเป็นค่า Rmax และ Tmax ที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ความละเอียดในการตีวงรัศมีและเวลาที่พิจารณา

ในพื้นที่แสดงได้ละเอียดกว่า มาเป็นตัวแทนในการศึกษาพื้นที่เสี่ยงแผ่นดินไหวต่อไป ซึ่งรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไขที่ 2 ดังแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า RTL ต่ำสุดของแต่ละเงื่อนไขศึกษา

Rmax	Tmax	Lon	Lat	Year	Mag	Num Event	Tsmin (year)	RTLmin	Detection of Quiescence (year)
70	5	166.927	-45.277	1993.61	7	90	1985.46	-0.10866	8.1
90	5	166.927	-45.277	1993.61	7	111	1985.46	-0.09412	8.1
70	5	167.12	-45.18	2003.64	7.7	143	1999.31	-0.26987	4.3
90	5	167.12	-45.18	2003.64	7.7	186	1999.31	-0.28843	4.3
70	5	169.02	-45.89	2007.79	7.2	5	2005.75	-0.06697	2
90	5	169.02	-45.89	2007.79	7.2	15	1987.04	-0.26015	20.8

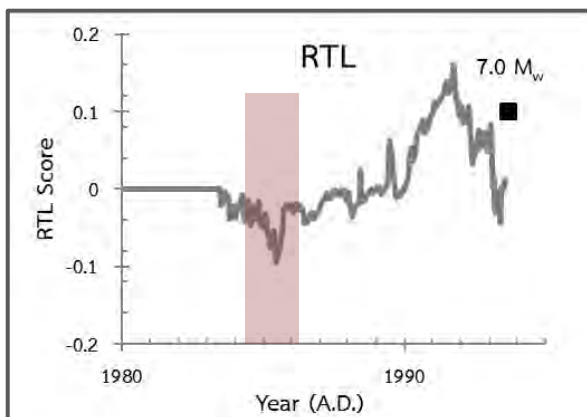
ตาราง 4.5 แสดงรายละเอียดข้อมูลของเงื่อนไซที่ 2 คือ $R_{max} = 90$ กิโลเมตร และ $T_{max} = 5$ ปี

Rmax	Tmax	Lon	Lat	Year	Mag	Num Event	Tsmin (year)	RTLmin	Detection of Quiescence (year)
90	5	178.77	-37.57	1995.1	7.3	138	1991.6	-0.834391	3.5
90	5	166.53	-46.15	2009.54	7.9	136	1983.47	-0.542128	26.1
90	5	171.83	-43.522	2010.67	7.1	74	1999.69	-0.436757	11
90	5	167.12	-45.18	2003.64	7.7	186	1999.31	-0.288426	4.3
90	5	169.02	-45.89	2007.79	7.2	15	1987.04	-0.260153	20.8
90	5	166.927	-45.277	1993.61	7	111	1985.46	-0.094124	8.1

4.1.3 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา แสดงด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และ ช่วงเวลา

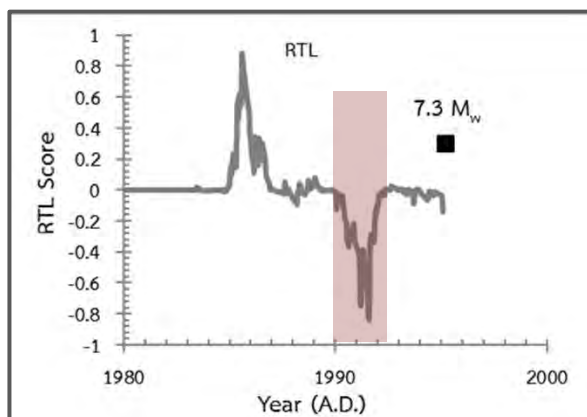
จากการพิจารณาเงื่อนไซต่าง ๆ และได้คัดเลือกเงื่อนไซที่ 2 คือ $R_{max} = 90$ กิโลเมตร และ $T_{max} = 5$ ปี เพื่อจะตรวจสอบว่าเงื่อนไซนี้มีความเหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ศึกษานี้จริงหรือไม่ เราจึงได้นำเงื่อนไซนี้ มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า RTL ในเชิงเวลาที่จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวของแต่ละกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ปรับปรุงฐานข้อมูลแล้ว ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ต้นจนถึงข้อมูลก่อนถึงช่วงเวลาก่อนเกิดกรณีศึกษา ด้วยสมการ (2.5) จะทำการวิเคราะห์ผ่านกราฟความสัมพันธ์ที่มีแกนตั้งสองแกนประกอบด้วยแกนแสดงค่า RTL และแกนนอนแสดงระยะเวลาปี ผลการวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์เพื่อเป็นการพิจารณาค่า RTL และระยะเวลาก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมหรือไม่ ดังแสดงในรูป 4.2

1) Date 10 - 8 - 1993 (7.0 Mw)



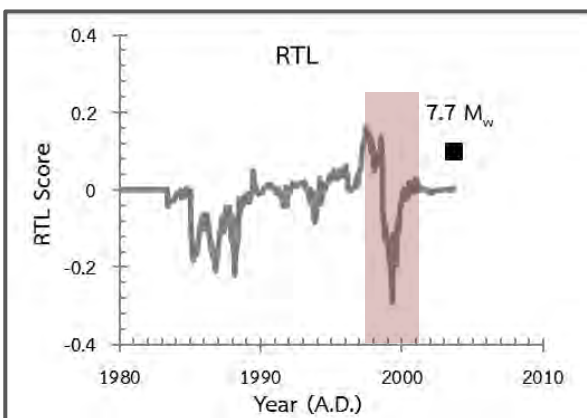
- ภาวะเจ็บบสงบแสดงในช่วงปี 1985
- RTLmin = -0.094124
- วันที่ 10 สิงหาคม ค.ศ. 1993
เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.0 Mw
- เกิดภาวะเจ็บบสงบเป็นเวลา 8.1 ปี

2) Date 5 - 2 - 1995 (7.3 Mw)



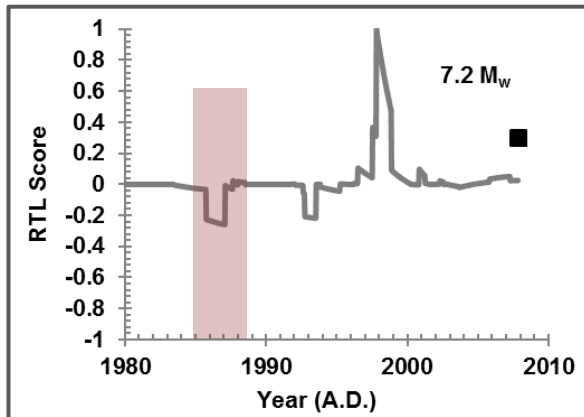
- ภาวะเจ็บบสงบแสดงในช่วงปี 1991
- RTLmin = -0.834391
- วันที่ 5 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1995
เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.3 Mw
- เกิดภาวะเจ็บบสงบเป็นเวลา 3.5 ปี

3) Date 21 - 8 - 2003 (7.7 Mw)



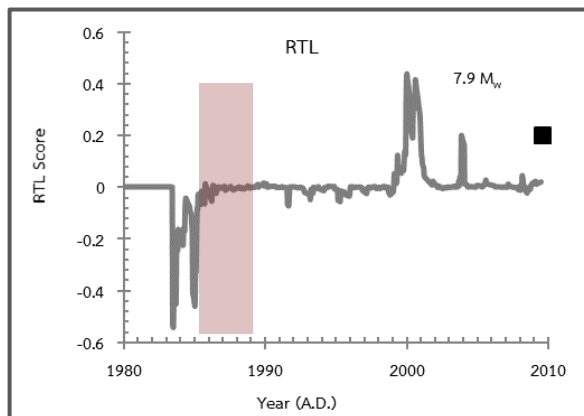
- ภาวะเจ็บบสงบแสดงในช่วงปี 1999
- RTLmin = -0.288426
- วันที่ 21 ตุลาคม ค.ศ. 2003
เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.7 Mw
- เกิดภาวะเจ็บบสงบเป็นเวลา 4.3 ปี

4) Date 10 - 8 - 2007 (7.2 Mw)



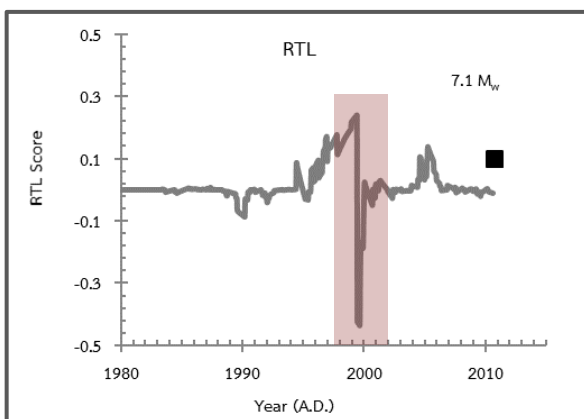
- ภาวะเงียบสงบแสดงในช่วงปี 1987
- RTLmin = -0.260153
- วันที่ 10 ตุลาคม ค.ศ. 2007
เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.2 Mw
- เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 20.8 ปี

5) Date 15 - 7 - 2009 (7.9 Mw)



- ภาวะเงียบสงบแสดงในช่วงปี 1983
- RTLmin = -0.542128
- วันที่ 15 สิงหาคม ค.ศ. 2009
เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.9 Mw
- เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 26.1 ปี

6) Date 3 - 9 - 2010 (7.1 Mw)



- ภาวะเงียบสงบแสดงในช่วงปี 1999
- RTLmin = -0.436757
- วันที่ 3 กันยายน ค.ศ. 2010
เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.1 Mw
- เกิดภาวะเงียบสงบเป็นเวลา 11 ปี

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTL และระยะเวลาปีที่เกิดแผ่นดินไหวในกระบวนการ

ทดสอบย้อนกลับเชิงเวลา เส้นสีเทาแสดงค่า RTL ในแต่ละช่วงเวลา, แท่งสีแดงแสดงช่วงภาวะเงียบสงบที่มีค่า RTL ต่ำสุดก่อนเกิดแผ่นดินไหว กรณีศึกษาทั้ง 6 กรณีแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป

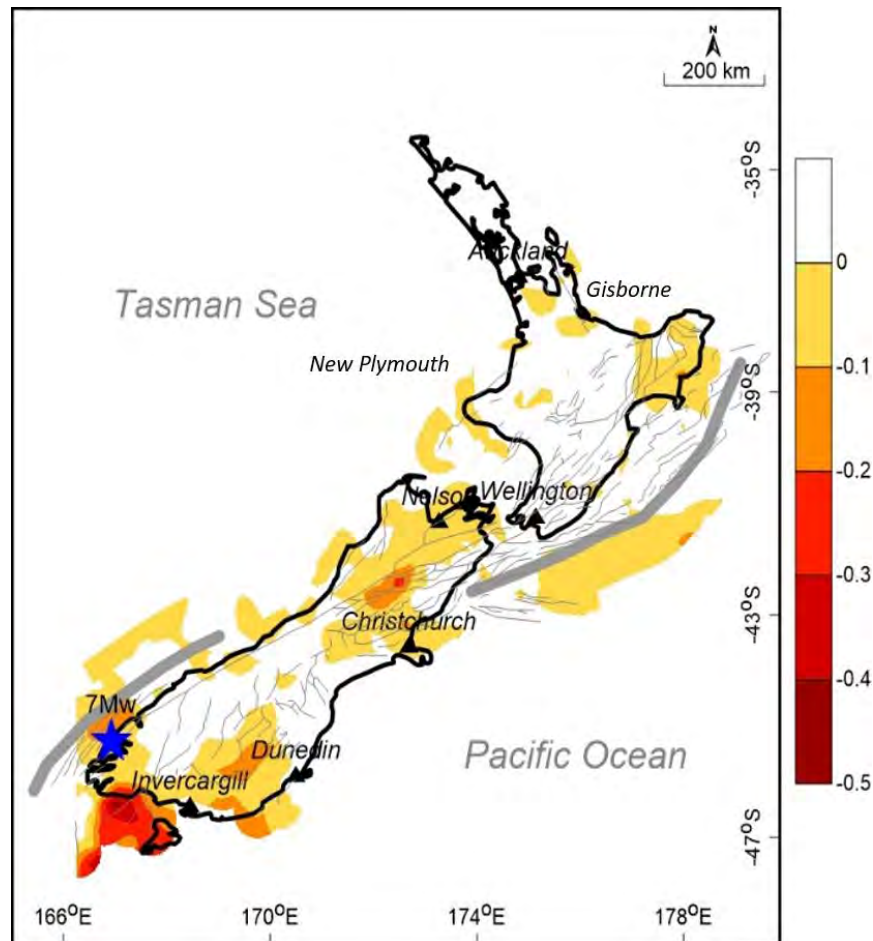
1) - 6) ย่อยตามลำดับ แทนด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีดำ

พบว่ากราฟแสดงช่วงเวลาของภาวะเงียบสงบ (Seismic quiescence) โดยมีค่า RTL ต่ำสุด มีค่าอยู่ในช่วง -0.094124 ถึง -0.834391 สามารถตรวจพบความผิดปกติมีความชัดเจน มีระยะเวลา ก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ อยู่ในช่วง 3 - 27 ปี มีความเหมาะสมในการทำนายเหตุการณ์ แผ่นดินไหวในช่วงระยะเวลาปานกลาง (Intermediate term)

4.1.4 ผลการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ แสดงด้วยแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL (Spatial distribution of RTL value)

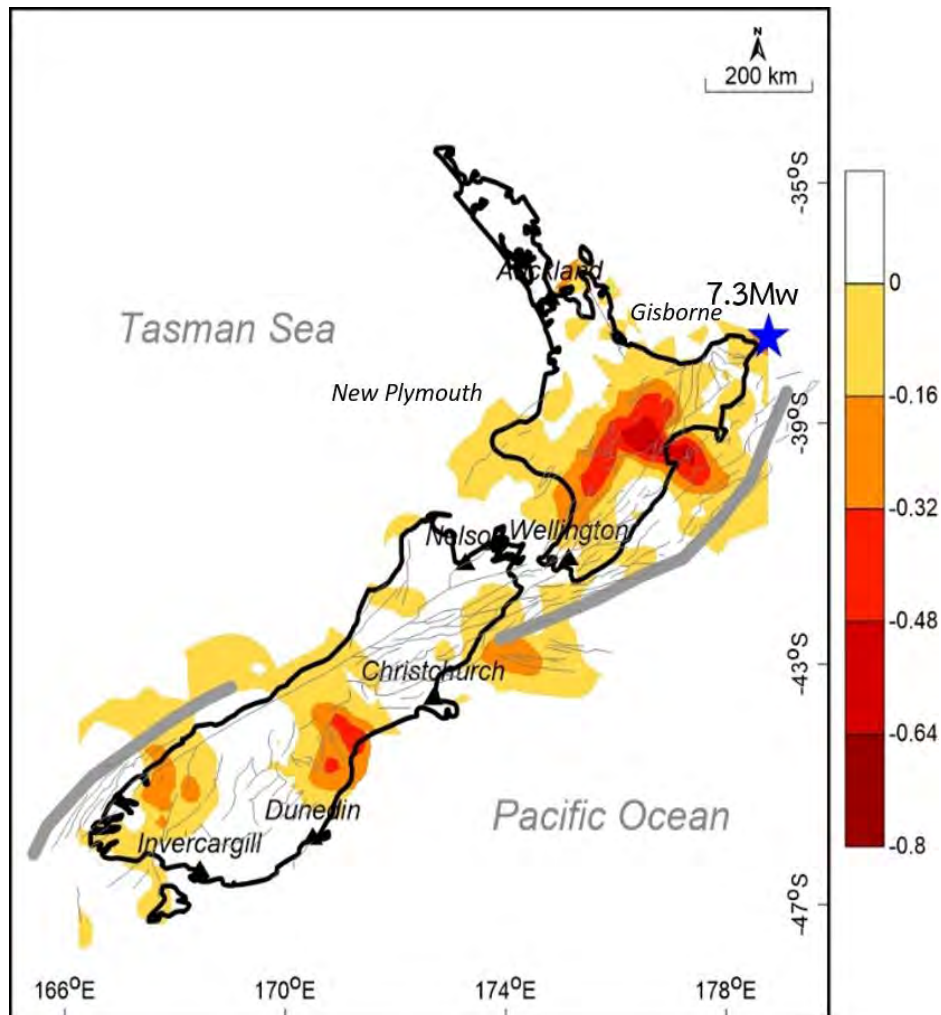
จากการคำนวณค่าต่าง ๆ ตามเงื่อนไขไว้แล้ว จะสามารถแสดงถึงค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 11 โดยพิจารณาแผนที่ดังกล่าวในแต่ละเหตุการณ์กรณีศึกษาเพื่อหาเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุด ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า RTL อย่างชัดเจน สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง โดยหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของแผนที่ดังกล่าว พบว่ามีเหตุการณ์ที่แสดงค่าผิดปกติของค่า RTL สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่จริง ทุกกรณีศึกษา ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปแบบของแผนที่การกระจายตัวของค่า RTL ดังแสดงในรูป 4.3 และจะสามารถนำแผนที่นี้ เพื่อมาใช้ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตต่อไปได้

1) Date 10 - 8 - 1993 (7.0 Mw)



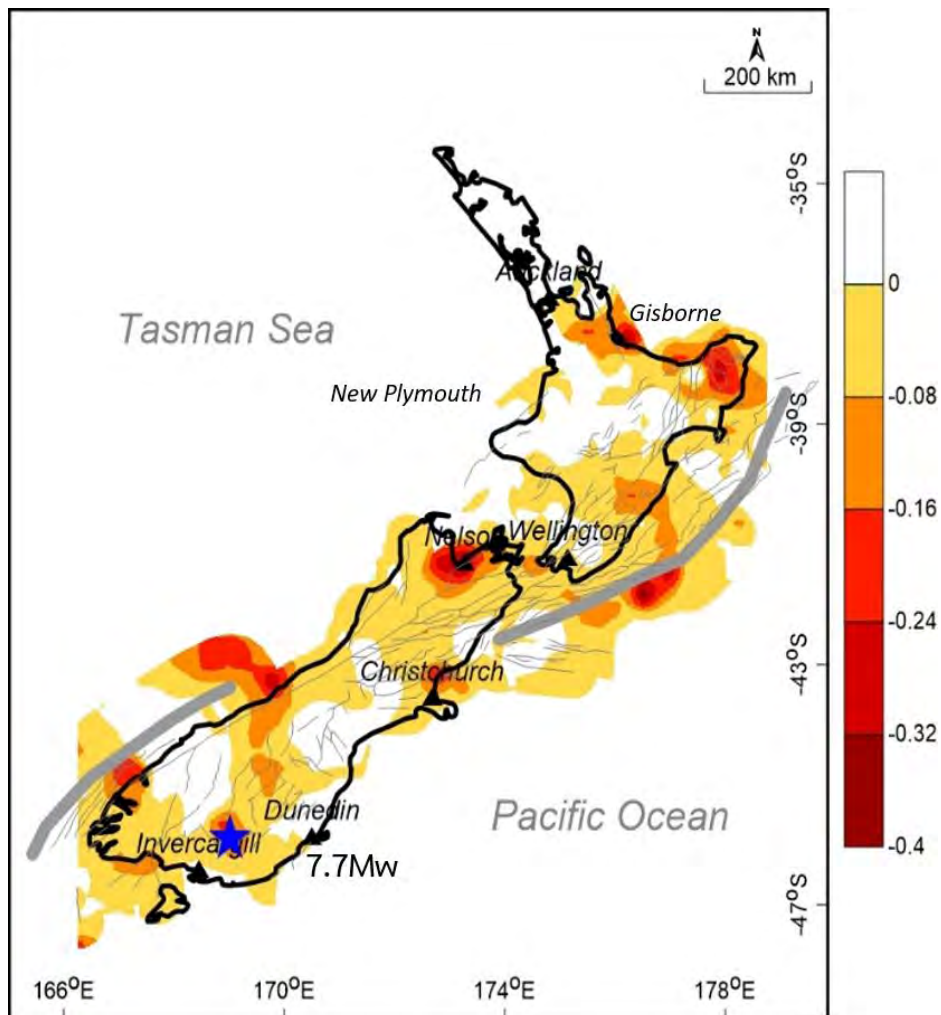
- แผนที่การกระจายตัวของค่า RTL โดยมีการเทียบก็โทนสี
- โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามากมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก
- โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย
ดังนั้นก็จะเป็นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้
(เพราะอาจเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก)
- จากรูปบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณเมือง Invercargill
- วันที่ 10 สิงหาคม ค.ศ. 1993 มีแผ่นดินไหวขนาด 7.0 Mw
เกิดขึ้นในบริเวณดาวสีน้ำเงิน

2) Date 5 - 2 - 1995 (7.3 Mw)



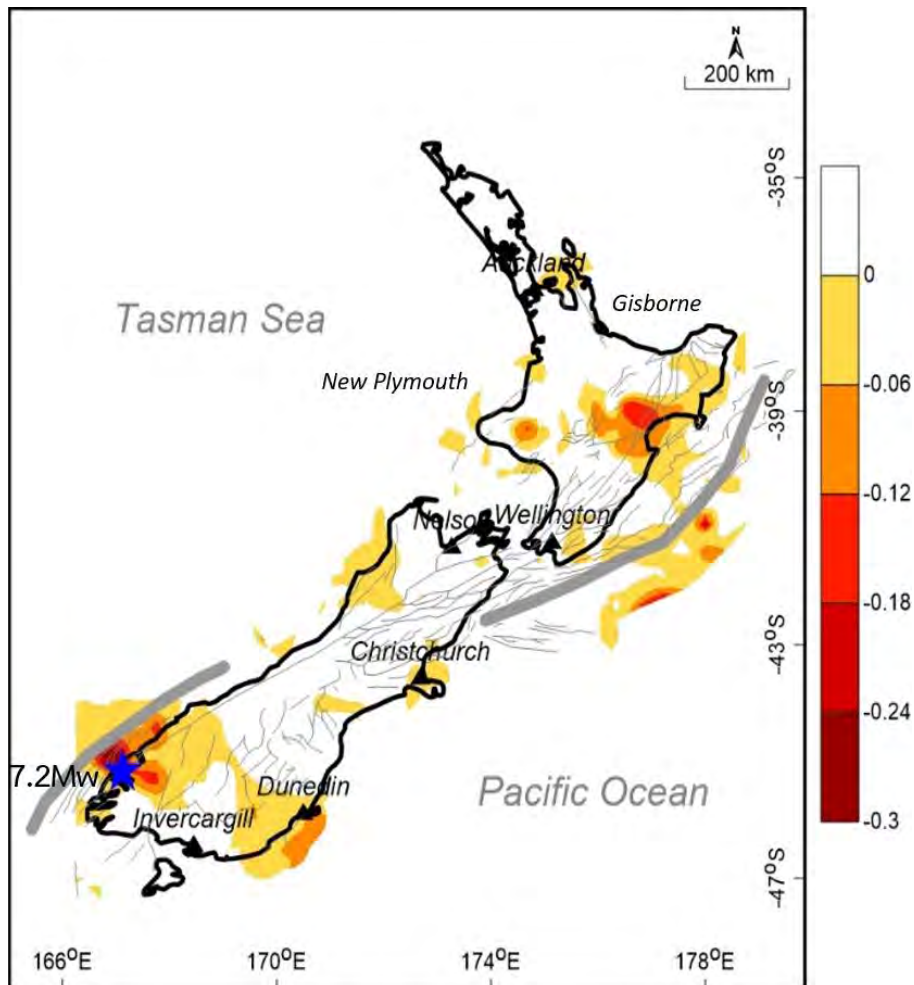
- แผนที่การกระจายตัวของค่า RTL โดยมีการเทียบกัโทนสี
- โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามากมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก
- โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย
ดังนั้นจะเป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้
(เพราะอาจเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก)
- จากรูปบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณเมือง Gisborne
- วันที่ 10 ตุลาคม ค.ศ. 2007 มีแผ่นดินไหวขนาด 7.3 Mw
เกิดขึ้นในบริเวณดาวสีน้ำเงิน

3) Date 21 - 8 - 2003 (7.7 Mw)



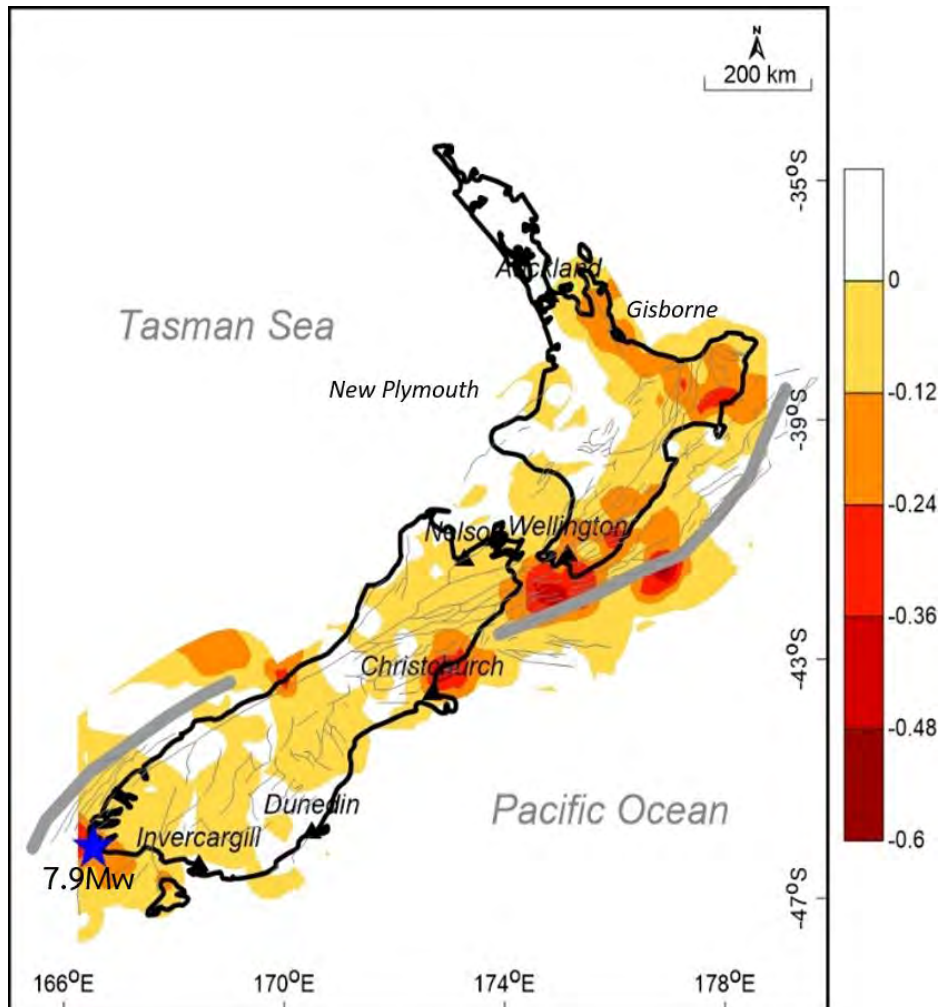
- แผนที่การกระจายตัวของค่า RTL โดยมีการเทียบก็โทนสี
- โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามากมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก
- โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย
ดังนั้นก็จะเป็นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้
(เพราะอาจเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก)
- จากรูปบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณเมือง Gisborne, Wellington และ Invercargill
- วันที่ 21 ตุลาคม ค.ศ. 2003 มีแผ่นดินไหวขนาด 7.7 Mw เกิดขึ้นในบริเวณดาวสีน้ำเงิน

4) Date 10 - 8 - 2007 (7.2 Mw)



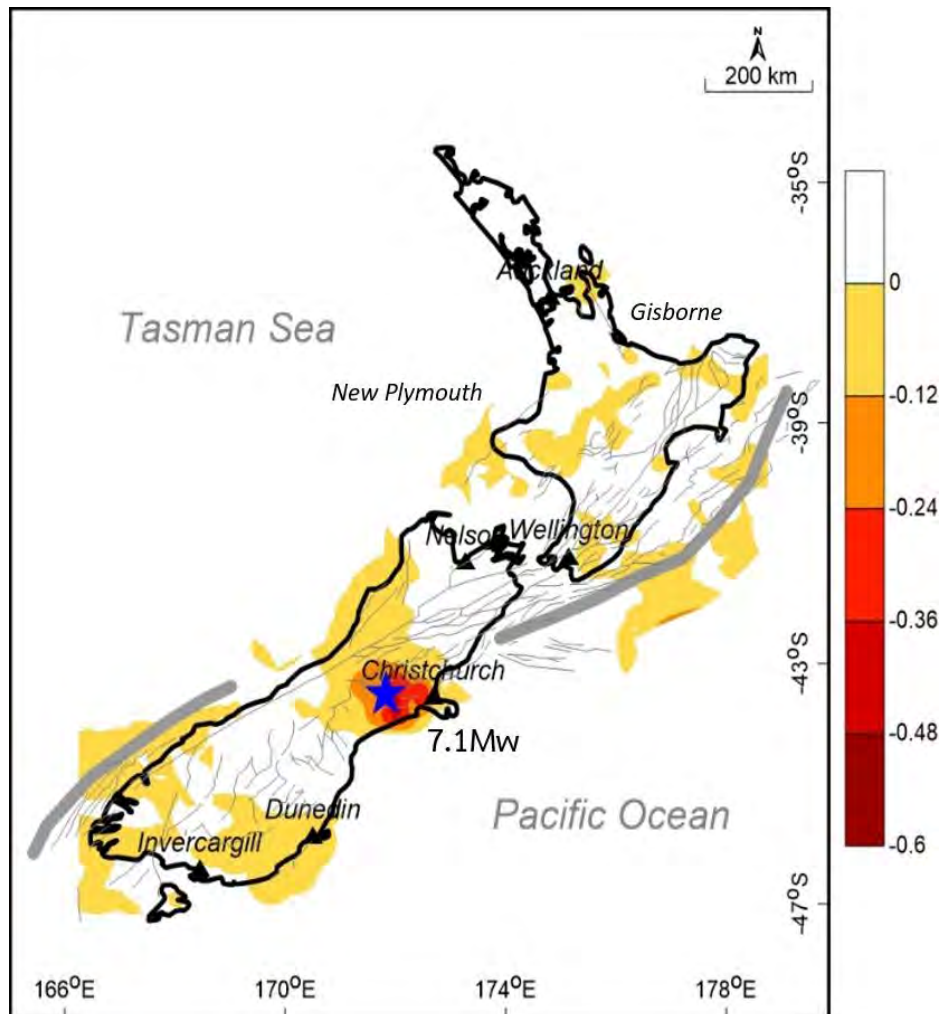
- แผนที่การกระจายตัวของค่า RTL โดยมีการเทียบก็โทนสี
- โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามากมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก
- โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย
- ดังนั้นก็จะเป็พื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้
(เพราะอาจเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก)
- จากรูปบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณเมือง Invercargill
- วันที่ 21 ตุลาคม ค.ศ. 2003 มีแผ่นดินไหวขนาด 7.7 Mw
เกิดขึ้นในบริเวณดาวสีน้ำเงิน

5) Date 15 - 7 - 2009 (7.9 Mw)



- แผนที่การกระจายตัวของค่า RTL โดยมีการเทียบก็โทนสี
- โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามากมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก
- โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย
ดังนั้นก็จะเป็นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้
(เพราะอาจเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก)
- จากรูปบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณเมือง Wellington, Christchurch และ Invercargill
- วันที่ 15 สิงหาคม ค.ศ. 2009 มีแผ่นดินไหวขนาด 7.9 Mw เกิดขึ้นในบริเวณดาวสีน้ำเงิน

6) Date 3 - 9 - 2010 (7.1 Mw)



- แผนที่การกระจายตัวของค่า RTL โดยมีการเทียบก็โทนสี
- โทนสีอ่อนแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่ามากมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวมาก
- โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อยมีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย
ดังนั้นจึงจะเป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้
(เพราะอาจเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้มาก)
- จากรูปบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงคือบริเวณเมือง Christchurch
- วันที่ 3 กันยายน ค.ศ. 2010 มีแผ่นดินไหวขนาด 7.1 M_w
เกิดขึ้นในบริเวณดาวสีน้ำเงิน

รูป 4.3 แสดงตัวอย่างแผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL ของกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี ในกระบวนการทดสอบย้อนกลับเชิงพื้นที่ โดยแต่ละกรณีแสดงด้วยรูป 1) – 6) ย่อย พื้นที่สีแดงเข้มแทนบริเวณที่มีค่า RTL สูงสุด และเครื่องหมายดาวสีน้ำเงินแทนตำแหน่งที่เคยเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ขึ้น

แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติ มีการกำหนดโทนสีเทียบกับค่า RTL คือ โทนสีเข้มแสดงถึงค่า RTL ที่มีค่าน้อย ซึ่งก็คือ มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อยเมื่อเทียบกับค่า RTL ที่มีค่ามาก ที่แสดงในโทนสีอ่อน

พื้นที่ที่มีอัตราการเกิดแผ่นดินไหวน้อย สามารถแสดงได้ว่าในบริเวณนี้มีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้ เพราะเป็นช่วงที่กำลังสะสมพลังงานเอาไว้ โดยจากรูป 4.3 แสดงให้เห็นว่า บริเวณที่มีค่า RTL ต่ำจะแสดงในโทนของสีส้มอ่อนถึงสีส้มเข้ม คือ บริเวณที่ยังไม่มีแผ่นดินไหวเกิดในระยะก่อนหน้า และจากแผนที่ในบริเวณที่มีค่า RTL น้อยที่สุดจะอยู่ในช่วง -0.3 ถึง -0.8 กระจายอยู่ส่วนมากบริเวณตอนเหนือของประเทศนิวซีแลนด์ ซึ่งจะสามารถใช้ในการเตรียมการรับมือได้ในภายภาคหน้า

4.2 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต (Evaluation of Prospective Area)

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ทำให้ทราบว่าเงื่อนไขที่เลือกใช้นั้นมีความแม่นยำพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยง โดยขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำเงื่อนไขนี้มาใช้ประเมินหาพื้นที่เสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต ข้อมูลที่จะนำมาใช้วิเคราะห์เป็นข้อมูลเหตุการณ์ตั้งแต่เริ่มมีการบันทึกไปจนถึงข้อมูลเหตุการณ์สุดท้าย มาทดสอบหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแผ่นดินไหวด้วยสมการ (2.5)

ข้อมูลเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวตั้งแต่วันที่ 28 พฤษภาคม ค.ศ. 1978 ถึงวันที่ 16 ธันวาคม ค.ศ. 2012 พบว่ามีค่าความผิดปกติของค่า RTL ขึ้น โดยพื้นที่ที่มีค่า RTL ต่ำสุดมีค่า RTL ต่ำสุด เท่ากับ -0.8 เริ่มพบภาวะเฉียบพลันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 ถึง 1998 ดังแสดงในตาราง 4.6

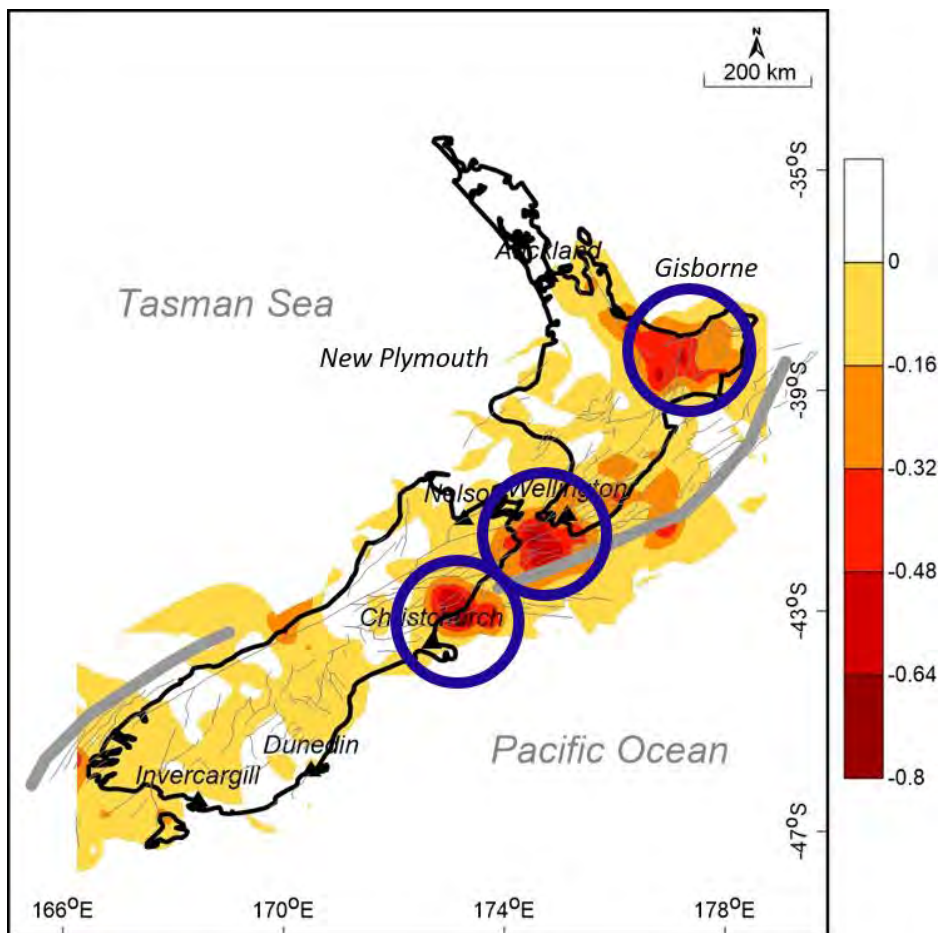
จากนั้นจึงทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในรูปแบบแผนที่การกระจายตัวของค่า RTL ได้แก่ เหตุการณ์ปีค.ศ. 1983 และ 1998 ดังแสดงในรูป 4.4 และพบว่าพื้นที่เสี่ยงที่ตรวจพบได้ในขั้นตอนทดสอบย้อนกลับมีจำนวน 4 พื้นที่ ดังแสดงในรูป 4.4

ตาราง 4.6 แสดงผลการทดสอบอัตราการผลิตแผ่นดินไหวของเหตุการณ์ที่มีค่าผิดปกติ

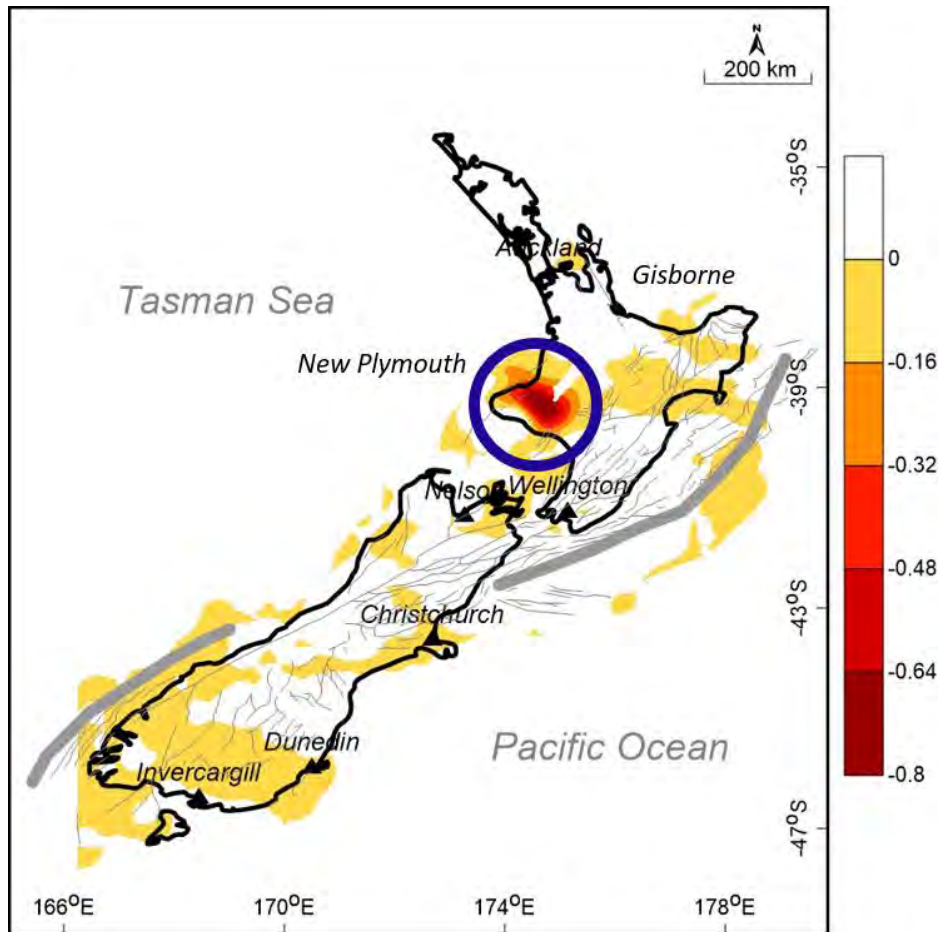
RTL ต่ำสุด

Lon	Lat	Tsmin	RTLmin
178.26	-35.67	1983.51	-1
174.76	-39.42	1998.12	-1

1) 1983



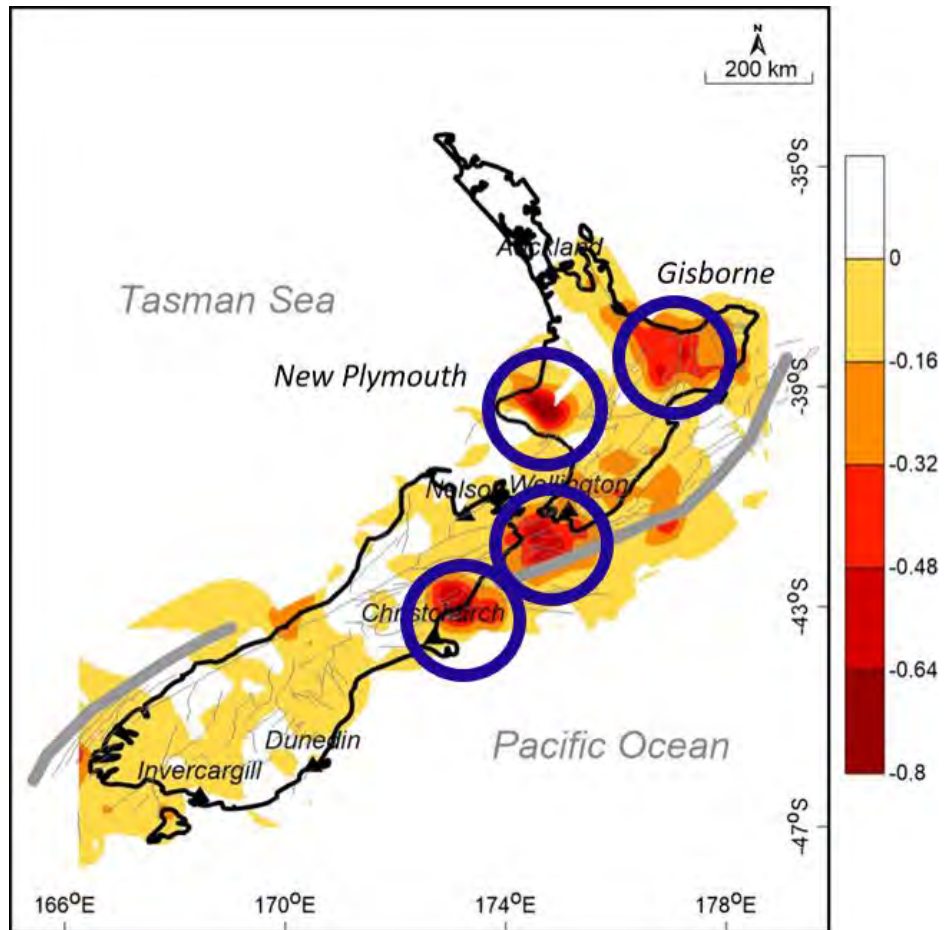
2) 1998



รูป 4.4 แผนที่แสดงจุดเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้จากกระบวนการทดสอบย้อนกลับ
เชิงพื้นที่ โดยพื้นที่เสี่ยงแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีน้ำเงิน

จากวิเคราะห์ที่ได้พบว่าพื้นที่เสี่ยงส่วนใหญ่พบอยู่บริเวณเกาะเหนือ จุดเสี่ยงที่จะเกิด
แผ่นดินไหวทั้งหมด 4 บริเวณ ดังแสดงในรูป 4.5 ได้แก่

- 1.) บริเวณเมือง Gisborne
- 2.) บริเวณเมือง Wellimton
- 3.) บริเวณเมือง Christchurch
- 4.) บริเวณเมือง New Plymouth



รูป 4.5 แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่า RTL ในหาพื้นที่เสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวใน
 อนาคตของปีค.ศ. 1983 และปีค.ศ. 1998 ตามลำดับของเหตุการณ์ที่มีค่า RTL
 ต่ำสุด เท่ากับ -0.8 พบว่ามีพื้นที่เสี่ยงทั้งหมด 4 จุด แสดงพื้นที่เสี่ยงด้วยวงกลมสีน้ำ

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) รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวมีจำนวนทั้งสิ้น 329,912 เหตุการณ์ โดยทำการบันทึกตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1964 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 2016 มีขนาดแผ่นดินไหวในช่วง 0.0 - 8.1 แมกนิจูด และมีความลึก 0 - 827 กิโลเมตร

5.2 การปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว (Earthquake Catalogue Improvement)

ข้อมูลแผ่นดินไหวอาจจะได้รับผลจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ทำให้ข้อมูลมีความไม่สมบูรณ์ และถูกต้องมากนัก จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์พื้นที่เพราะจะไม่สามารถสื่อถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับกิจกรรมธรณีแปรสัณฐานได้อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหว โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.2.1 การปรับเทียบขนาดแผ่นดินไหว (Magnitude Conversion)

ข้อมูลแผ่นดินไหวแต่ละแหล่งที่มาที่มีการบันทึกด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันออกไป 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)

จากการวิเคราะห์ เราสามารถจำแนกเป็นแผ่นดินไหวหลักทั้งสิ้น 28,733 เหตุการณ์ ระหว่างปีค.ศ. 1964 - 2016 ขนาดแผ่นดินไหวตั้งแต่ 0.0 - 8.1 Mw และความลึก 0 - 722.5 กิโลเมตร

5.2.3 การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Seismicity)

การกำจัดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 19,012 เหตุการณ์ ที่เกิดในช่วงปีค.ศ. 1978 - 2012 มีขนาดตั้งแต่ 3.3 - 8.1 Mw

5.2.4 การคัดเลือกระดับของแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ (Magnitude of Completeness)

แผ่นดินไหวที่มีขนาดมากกว่า 4.0 Mw ขึ้นไป หรือมีค่า $M_c = 4.0$ คือ ขนาดแผ่นดินไหวที่เครือข่ายสามารถตรวจวัดได้อย่างสมบูรณ์ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเหลือข้อมูลแผ่นดินไหวที่เหมาะสมจำนวน 10,851 เหตุการณ์ ที่เกิดในช่วงปีค.ศ. 1978 - 2012 มีขนาดตั้งแต่ 4.0 - 8.1 Mw

จากการปรับปรุงฐานข้อมูลแผ่นดินไหวด้วยวิธีข้างต้นแล้ว สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวและรายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 5.1

ตาราง 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวหลังจากผ่านขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลต่าง ๆ

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)

กรณีศึกษาที่ได้มีทั้งหมด 6 กรณีศึกษา ดังแสดงในตาราง 4.1 เมื่อเข้าสู่กระบวนการการทดสอบย้อนกลับพบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวที่ดีที่สุดคือ เงื่อนไขที่ 2 ดังตาราง 4.5

ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีความสมบูรณ์ที่สุดซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหว ดังแสดงในตาราง 5.2

ตาราง 5.2 แสดงรายละเอียดกรณีศึกษาและผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์ได้

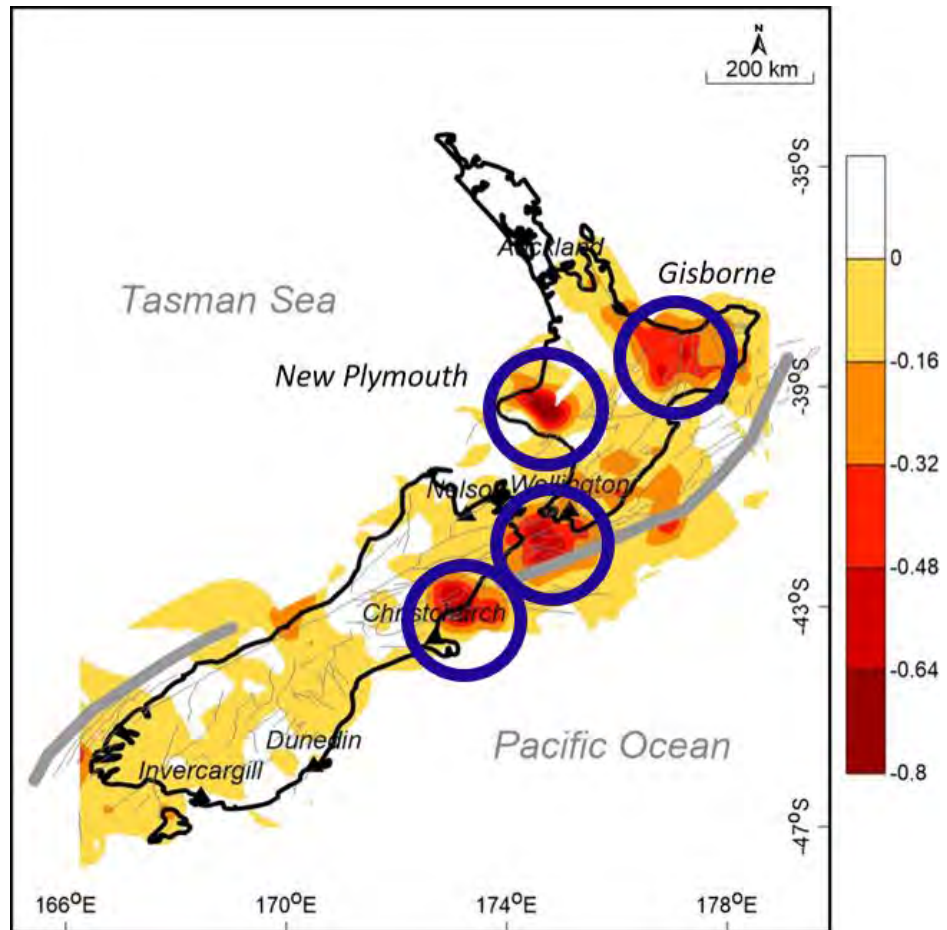
Rmax (km)	Tmax (year)	Lon	Lat	Year	Mag	Num Event	Tsmin (year)	RTLmin	Detection of Quiescence (year)
90	5	178.77	-37.57	1995.1	7.3	138	1991.6	-0.834391	3.5
90	5	166.53	-46.15	2009.54	7.9	136	1983.47	-0.542128	26.1
90	5	171.83	-43.522	2010.67	7.1	74	1999.69	-0.436757	11
90	5	167.12	-45.18	2003.64	7.7	186	1999.31	-0.288426	4.3
90	5	169.02	-45.89	2007.79	7.2	15	1987.04	-0.260153	20.8
90	5	166.927	-45.277	1993.61	7	111	1985.46	-0.094124	8.1

เหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้ง 6 เหตุการณ์ ที่มีขนาด 7.0 Mw ขึ้นไป ที่เกิดขึ้นระหว่างปีค.ศ. 1993 - 2010 พบว่ามีค่าความผิดปกติ (RTLmin) อยู่ในช่วง -0.094124 ถึง -0.834391 โดยช่วงเวลาที่พบค่าความผิดปกติ ตั้งแต่ปีค.ศ. 1983 - 1999 ซึ่งระยะเวลาที่พบค่าความผิดปกติจนเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ (detection of quiescence) อยู่ในช่วง 3.5 - 26.1 ปี

5.4 การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว (Evaluation of Prospective Area)

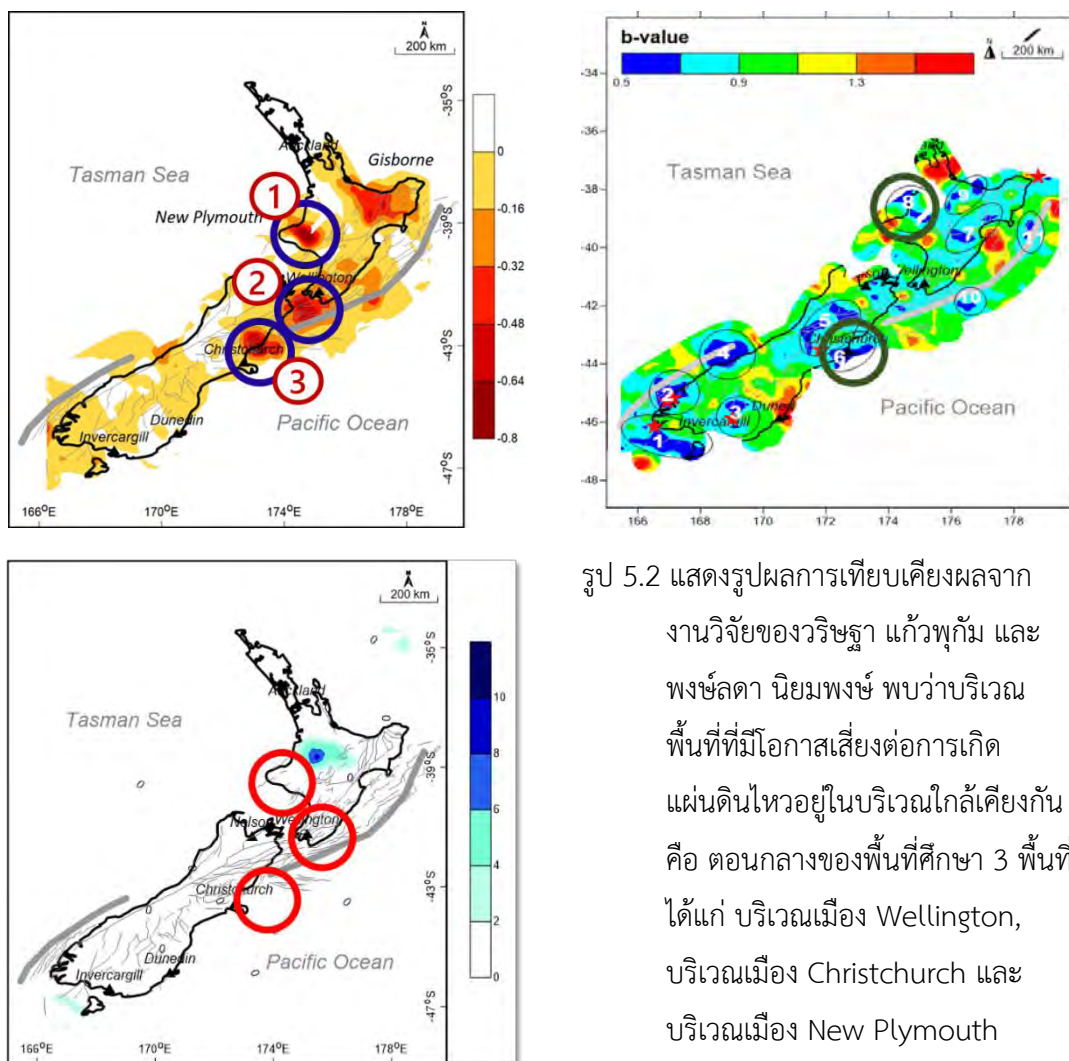
เมื่อทำการกำหนดเงื่อนไขค่า Rmax และ Tmax และคำนวณหาค่าต่าง ๆ ทำให้ได้แผนที่แสดงการกระจายตัวของค่าความผิดปกติจากค่า RTL เพื่อนำมาประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต หลังจากวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงแล้วพบว่าพื้นที่เสี่ยง 4 บริเวณเริ่มพบภาวะเงียบสงบตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 ถึงค.ศ. 1998 และมีค่า RTL ต่ำสุด เท่ากับ -0.8 ดังแสดงในรูป 4.5 ได้แก่

- 1) บริเวณเมือง Gisborne
- 2) บริเวณเมือง Wellington
- 3) บริเวณเมือง Christchurch
- 4) บริเวณเมือง New Plymouth



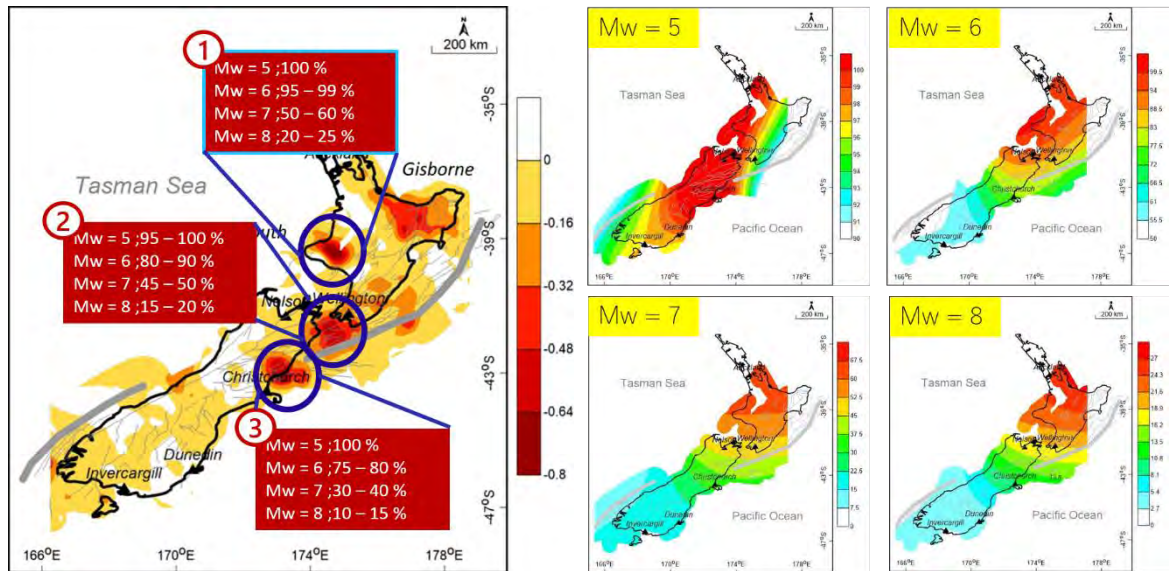
รูป 5.1 แสดงพื้นที่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในอนาคตทั้งหมด 4 จุด แสดงถึงพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงในปัจจุบันด้วยวงกลมสีน้ำเงิน

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิจัยงานนี้กับผลการวิจัยของ วริษฐา แก้วพุกัม และ พงษ์ลดา นิยมพงษ์ ที่ทำการประเมินแผ่นดินไหวจากค่า Z-value และ b-value ตามลำดับในพื้นที่เดียวกัน ดังแสดงในรูป 5.2 พบว่าบริเวณพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันคือ ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ได้แก่ บริเวณเมือง Wellington, บริเวณเมือง Christchurch และบริเวณเมือง New Plymouth



รูป 5.2 แสดงรูปผลการเทียบเคียงผลจากงานวิจัยของวริษฐา แก้วพุกัม และพงษ์ลดา นิยมพงษ์ พบว่าบริเวณพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันคือ ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ได้แก่ บริเวณเมือง Wellington, บริเวณเมือง Christchurch และบริเวณเมือง New Plymouth

อีกทั้งยังได้ทำการศึกษาผลงานของ ธนพรพรช พิเชษฐ์โสภณ เพื่อที่จะทำการศึกษาผลความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ ซึ่งบริเวณเมือง New Plymouth มีความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่สูงสุดจากในทั้งหมด 3 พื้นที่ ดังแสดงในรูป 5.3 ซึ่งจะทำให้ผลการวิจัยในครั้งนี้มีความน่าเชื่อถือและถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูป 5.3 แสดงรูปผลการเทียบเคียงผลจากงานวิจัยของธนพรช พิเชษฐ์โสภณ ซึ่งศึกษาผล
 ความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ โดยบริเวณเมือง New Plymouth
 มีความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่สูงสุดจากในทั้งหมด 3 พื้นที่

เอกสารอ้างอิง (REFERENCES)

- Gambino, S., Laudani, A., and Mangiagli, 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.
- Pailoplee, S. 2013. Mapping Asperities along the Sagaing Fault Zone, Myanmar Using b-value anomalies. *Journal of Earthquake and Tsunami* 7: 12 p.
- 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.
- 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.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial data. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document provides a detailed list of items that should be tracked, such as inventory levels, supplier payments, and customer orders. It also outlines the procedures for recording these transactions, including the use of standardized forms and the importance of double-checking entries for accuracy.

The second part of the document focuses on the analysis of the recorded data. It describes various methods for identifying trends and anomalies in the financial records. This includes comparing current performance with historical data and industry benchmarks. The document also discusses the importance of regular audits to verify the accuracy of the records and to detect any potential fraud or errors. It provides a step-by-step guide for conducting these audits, from the selection of samples to the final reporting of findings.

The final part of the document addresses the communication of the results of the financial analysis. It emphasizes the need for clear and concise reporting to management and other stakeholders. The document provides a template for a financial report, including sections for a summary of findings, a detailed breakdown of the data, and recommendations for future actions. It also discusses the importance of maintaining transparency and accountability in the reporting process, and provides guidance on how to handle any questions or concerns that may arise.