รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 3)

โครงการย่อยที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและแผ่นดินไหววิทยา

Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology

โดย

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรมอุตุนิยมวิทยา

สิงหาคม 2557

สัญญาเลขที่ RDG5430003

รายงานฉบับสมบูรณ์
(Final Report)

โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 3)

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย (ที่ปรึกษาโครงการ)	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
2. ผศ.ดร. ภาสกร ปนานนท์ (หัวหน้าโครงการ)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. ผศ.ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นายบุรินทร์ เวชบรรเทิง	กรมอุตุนิยมวิทยา
5. นางสุมาลี ประจวบ	กรมอุตุนิยมวิทยา
6. นายปฏิญญา พรโสภิณ	กรมอุตุนิยมวิทยา
7. นายวิศเวศ ว่องไว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงการย่อยที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและแผ่นดินไหววิทยา

Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของผลการศึกษาในโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 3) โครงการย่อยที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและแผ่นดินไหววิทยา (Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology) ที่ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

คณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานด้านแผ่นดินไหว และสามารถนำไปต่อยอดใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

ภาสกร ปนานนท์
หัวหน้าโครงการ
สิงหาคม 2557

แบบสรุปโครงการวิจัย

สัญญาเลขที่ RDG5430003 ชื่อโครงการ การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและแผ่นดินไหววิทยา

หัวหน้าโครงการ นายภาสกร ปนานนท์ **หน่วยงาน** ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทรศัพท์ 02-562-5555 ต่อ 1423, 089-9682035 โทรสาร 02-579-3711

อีเมล์ fscipkp@ku.ac.th

ความสำคัญ/ความเป็นมา

ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่ได้มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้น แต่ประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมาโดยตลอด ทั้งแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกล และแผ่นดินไหวขนาดปานกลางระยะใกล้ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาและประเมินระดับอันตรายและความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว เพื่อจะได้จัดการเตรียมตัวรับมือแผ่นดินไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน

ในการศึกษาเพื่อประเมินระดับอันตรายและความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว สามารถทำได้หลายแบบ การทำแผนที่ระดับอันตรายแผ่นดินไหว (seismic hazard map) เป็นวิธีการสากลที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการศึกษาอันตรายจากแผ่นดินไหว ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการคำนวณปริมาณต่างๆ เช่น ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดิน ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว (ขนาด ตำแหน่งและความลึกของแผ่นดินไหว) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบัน ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ของประเทศไทยยังไม่สมบูรณ์นัก เนื่องจากขาดข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญหลายอย่าง เช่น ในการคำนวณหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหวนั้นจำเป็นต้องทราบความหนาของเปลือกโลก (crustal thickness) และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) ที่เป็นข้อมูลที่สำคัญมากอย่างหนึ่งแต่การคำนวณตำแหน่งจุดกำเนิดของแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยในอดีต ไม่ทราบความหนาที่แท้จริงของเปลือกโลกและไม่ทราบความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางภายในเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ทำให้มีผลต่อความแม่นยำของการคำนวณโดยตรง ทำให้การคำนวณตำแหน่งจุดกำเนิดของแผ่นดินไหวบริเวณ

ประเทศไทยในอดีตจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร ทำให้ไม่สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นตามระดับความลึกหรือตามแนวธรณีสัณฐานของรอยเลื่อนได้อย่างถูกต้อง และส่งผลกระทบต่อการนำข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่คำนวณได้ไปใช้ในการคำนวณสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยต่อไป ข้อมูลพื้นฐานที่ถูกต้องจะช่วยให้การคำนวณหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประกอบกับข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ด้านอื่นๆ เพื่ออธิบายลักษณะธรณีแปรสัณฐานของแผ่นธรณี (plate tectonics) ของประเทศไทยได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลกจากคลื่นแผ่นดินไหวโดยนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลก แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเรื่องดังกล่าวโดยละเอียดลึกซึ้ง สาเหตุประการที่สำคัญเกิดจากการขาดแคลนงบประมาณที่ใช้ในการจัดหาอุปกรณ์เพื่อบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวและขาดผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการศึกษาในด้านนี้ ประกอบกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง มีภารกิจหลักที่ให้ความสำคัญกับผลกระทบของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นต่อประชาชนเป็นส่วนใหญ่ เช่น การรายงานตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (epicenter) และขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) และหน่วยงานเหล่านี้ยังมีภารกิจหลักอื่นๆ ที่ต้องรับผิดชอบเป็นจำนวนมาก จึงยังไม่ได้นำข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีอยู่มาใช้ประโยชน์ในเชิงวิจัยมากนัก ทำให้ขาดข้อมูลสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณศูนย์กลางแผ่นดินไหวของประเทศไทย

ในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยที่ผ่านมา ยังไม่มีสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่สร้างสำหรับพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยเฉพาะ จึงต้องใช้สมการที่พัฒนาขึ้นในต่างประเทศในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดิน ซึ่งพัฒนามาจากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ประเทศต่างๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไต้หวัน ตุรกี ซึ่งอาจมีสภาพทางธรณีวิทยาและธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างจากบริเวณประเทศไทย สมการเหล่านั้นมีอยู่หลายสมการซึ่งเสนอโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ค่าจากแต่ละสมการก็แตกต่างกันมากพอสมควร ซึ่งการเลือกใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจากต่างประเทศมาประมาณความรุนแรงแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยอาจมีความคลาดเคลื่อน ถ้าได้แผนที่เสี่ยงภัยที่ให้ค่าต่ำเกินไปอาจทำให้กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารต่ำกว่าความเป็นจริง ทำให้อาคารมีความแข็งแรงไม่เพียงพอและมีโอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติร้ายแรง แต่ถ้าให้ค่าที่สูงเกินไปก็จะทำให้การออกแบบอาคารในประเทศไทยแข็งแรงเกินความจำเป็น เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและทรัพยากรของประเทศ จึงสมควรที่จะทำการศึกษาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกได้จริง

บริเวณประเทศไทย ในการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินบริเวณประเทศไทย เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนของพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยตรง แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ ทำให้สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดินเกือบทั้งหมดที่ติดตั้งในประเทศ ตั้งอยู่บนพื้นดินที่ไม่ใช่หิน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าชั้นตะกอนดินที่หนาโดยเฉพาะชั้นดินอ่อน สามารถขยายขนาดการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้ที่บางย่านความถี่ และอาจลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่บางย่านความถี่ ทำให้คลื่นที่เดินทางผ่านชั้นดินแตกต่างจากคลื่นที่อยู่ในหิน ทั้งในแง่ของขนาดของคลื่นและองค์ประกอบความถี่ ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณใกล้ผิวดิน (local site effect) การศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวและสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่รอบคอบจำเป็นต้องแยกแยะผลกระทบเนื่องจากชั้นดินตามแต่ละประเภทของชั้นดิน จึงมีความจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะของชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัด ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ในการจำแนกประเภทของชั้นดิน หินหรือ ดินแข็ง จะมีความเร็วคลื่นสูงกว่าดินอ่อน การสำรวจและตรวจวัดค่า Vs_{30} ทำได้หลายวิธี เช่น crosshole test, downhole test, และ Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)

ในอดีต ได้มีการศึกษาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทยมาบ้าง แต่ขณะนั้นยังไม่มีข้อมูลที่บันทึกได้บริเวณประเทศไทยมากพอที่จะสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวขึ้นสำหรับประเทศไทยได้ จึงเพียงศึกษาว่าสมการที่มีอยู่ในต่างประเทศชุดใด ที่ทำนายความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวได้ใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จริงบริเวณประเทศไทยมากที่สุด ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย ในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302-52) ฉบับล่าสุด ขณะนี้ได้มีการบันทึกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวได้มากขึ้นแล้ว จึงสมควรที่จะทำการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยซึ่งอาจจะใช้ข้อมูลที่บันทึกได้บริเวณประเทศพม่าประกอบด้วย หากพบว่าสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่พัฒนาขึ้นใหม่ให้ค่าที่แตกต่างจากเดิมที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย นักวิจัยที่เกี่ยวข้องก็จะได้สามารถปรับปรุงแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้มีความถูกต้องและเหมาะสมกับประทศไทยมากขึ้น

นอกจากนี้ เนื่องจากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302-52) ได้กำหนดให้วิศวกรต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูง และอาคารที่มีความสำคัญ ภายใต้ผลกระทบจากแผ่นดินไหวให้มีความสมจริง โดยใช้อัตราเร่งของพื้นดินเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวกระทำต่อโครงสร้างและทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลา เพื่อให้มั่นใจว่า

อาคารที่ถูกออกแบบและก่อสร้างจะมีความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวจริง แต่ทว่าในปัจจุบันวิศวกรในประเทศไทยยังไม่มีความรู้ความเข้าใจเพียงพอในการเลือกใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่จะนำไปกระทำต่อโครงสร้าง และยังไม่มีฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก จึงสมควรที่โครงการวิจัยนี้จะได้จัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับการออกแบบอาคารในแต่ละพื้นที่ ให้วิศวกรสามารถนำไปใช้ได้จริง และสมควรที่จะจัดทำเป็นฐานข้อมูลที่วิศวกรสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างสะดวกและถูกต้อง

เนื่องจากในปัจจุบัน กรมอุตุนิยมวิทยา และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวในบริเวณต่างๆ ของประเทศเพิ่มขึ้น ทำให้เริ่มมีข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกโดยหน่วยงานเหล่านี้มากขึ้นด้วย คณะวิจัยจึงมีความเห็นว่าถึงเวลาสำหรับการศึกษาความหนาของเปลือกโลก และการศึกษาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน ที่เดินทางผ่านในชั้นต่างๆ ของแผ่นเปลือกโลก ในบริเวณประเทศไทยอย่างละเอียดและจริงจัง เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น และใช้ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง และยังเป็นการริเริ่มและพัฒนาการศึกษาคุณลักษณะของเปลือกโลกของประเทศไทยด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดินทำให้สามารถแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้ รวมทั้งรวบรวมข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกต้อง และจัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับการออกแบบอาคารในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวและข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวและสถานีตรวจวัดอัตราเร่งของโครงข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทย ด้วยวิธี receiver function โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น และเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทย

2. เพื่อคำนวณหาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน ที่เดินทางผ่านในชั้นต่าง ๆ ของแผ่นเปลือกโลก (crustal seismic velocity) ในบริเวณนี้ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะเป็นองค์ความรู้ใหม่ส่วนหนึ่งสำหรับคุณลักษณะของเปลือกโลก (crustal property) ในบริเวณประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมากร่วมกับข้อมูลความหนาของเปลือกโลก ที่จะช่วยให้การคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้นและทำให้การประเมินความเสี่ยงและอันตรายจากแผ่นดินไหวของประเทศไทยมีความถูกต้องมากขึ้น และนอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมาก ในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทย

3. เพื่อตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดที่มีผลต่อค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้และนำไปสู่การสร้าง สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศที่ถูกต้องต่อไป

4. เพื่อพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดินได้แก่ อัตราเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด การกระจัดสูงสุด และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทย

5. เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่วิศวกรสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว

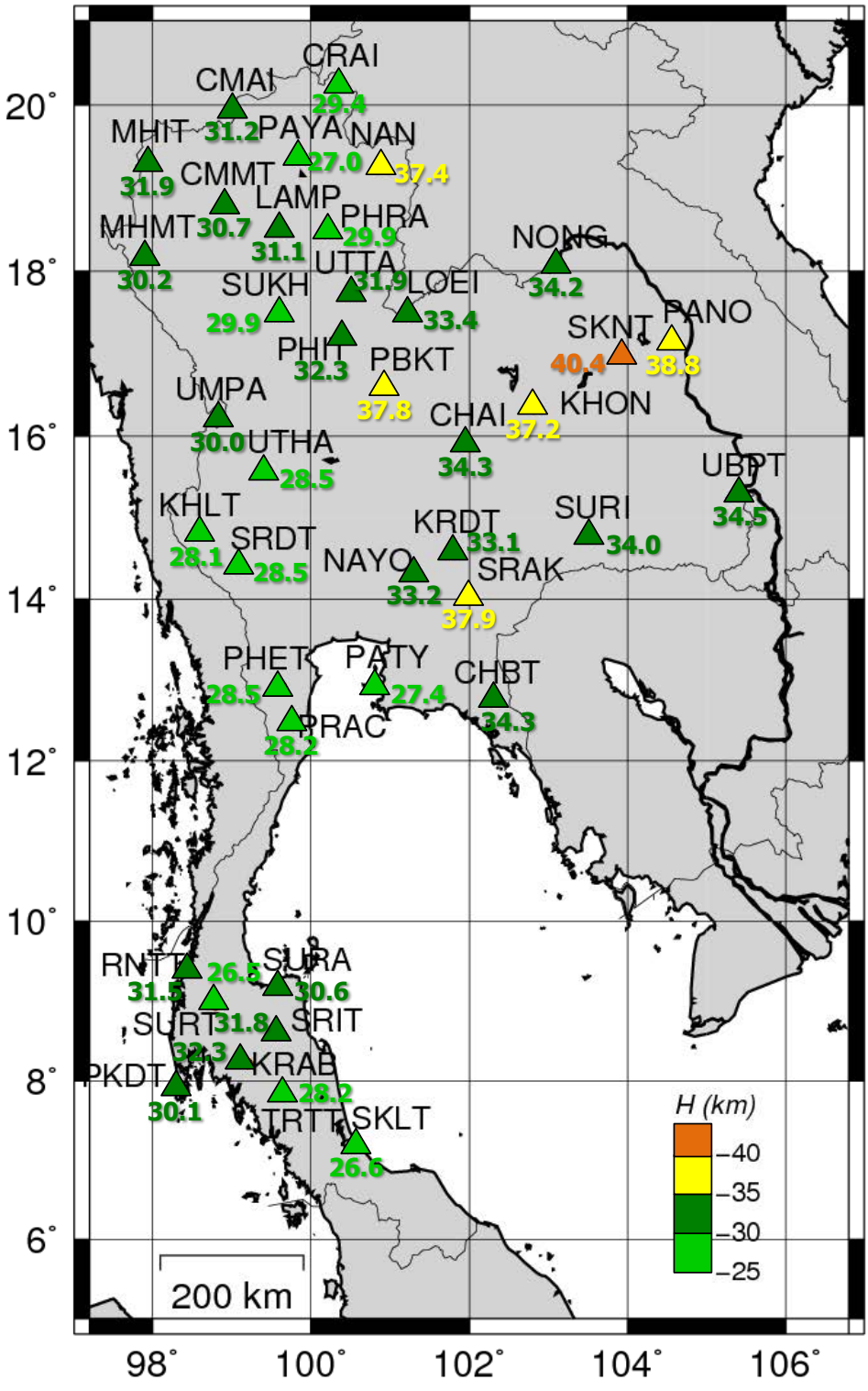
ผลการวิจัย

1. ผลการคำนวณความหนาของแผ่นเปลือกโลกบริเวณสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจำนวน 40 สถานี

หมายเหตุ ความเร็วคลื่นไหวสะเทือนของประเทศไทยแสดงไว้ในภาคผนวกของรายงานฉบับเต็ม

ลำดับที่	ชื่อย่อสถานี	ความหนา CRUST (km)	V_P/V_S	จำนวน RF
1	CHAI	34.3±0.4	1.72±0.01	15
2	CHBT	34.3±3.0	1.83±0.07	40
3	CMAI	31.2±0.5	1.74±0.02	101
4	CMMT	30.7±0.3	1.68±0.02	87
5	CRAI	29.4±0.5	1.75±0.02	77
6	KHLT	28.1±2.3	1.71±0.12	45
7	KHON	37.2±1.4	1.73±0.04	93
8	KRAB	32.3±5.2	1.61±0.38	10
9	KRDT	33.1±0.6	1.84±0.02	83
10	LAMP	31.1±0.2	1.72±0.01	132
11	LOEI	33.4±1.5	1.76±0.04	63
12	MHIT	31.9±0.7	1.72±0.02	74
13	MHMT	30.2±0.3	1.66±0.02	79
14	NAN	37.4±0.1	1.79±0.01	46
15	NAYO	33.2±0.3	1.75±0.02	40
16	NONG	34.2±3.5	1.81±0.10	43
17	PANO	38.8±6.9	1.73±0.15	6
18	PATY	27.4±0.2	1.71±0.01	62
19	PAYA	27.0±4.0	1.70±0.09	21
20	PBKT	37.8±0.0	1.69±0.01	84
21	PHET	28.5±1.0	1.72±0.03	59
22	PHIT	32.3±0.3	1.79±0.02	18
23	PHRA	29.9±4.9	1.78±0.30	31
24	PKDT	30.1±0.4	1.68±0.02	44
25	PRAC	28.2±0.2	1.68±0.01	79
26	RNTT	31.5±0.7	1.70±0.03	56

ลำดับที่	ชื่อย่อสถานี	ความหนา CRUST (km)	V_P/V_S	จำนวน RF
27	SKLT	26.6±0.0	1.65±0.01	64
28	SKNT	40.4±2.9	1.76±0.00	76
29	SRAK	37.9±2.5	1.74±0.06	50
30	SRDT	28.5±0.9	1.71±0.03	79
31	SRIT	31.8±2.5	1.61±0.11	10
32	SUKH	29.9±0.3	1.74±0.02	58
33	SURA	30.6±4.4	1.68±0.14	8
34	SURI	34.0±0.5	1.85±0.03	36
35	SURT	26.5±0.7	1.76±0.03	93
36	TRTT	28.2±0.4	1.60±0.01	75
37	UBPT	34.5±0.4	1.77±0.01	71
38	UMPA	30.0±3.1	1.66±0.06	58
39	UTHA	28.5±0.3	1.76±0.02	33
40	UTTA	31.9±1.1	1.75±0.03	94



แผนที่แสดงความหนาของเปลือกโลกทั่วประเทศไทยทั้ง 40 สถานี ที่ได้จากการศึกษา

2. ผลการตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือน ณ สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางแสดงข้อมูลตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคกลางของประเทศไทย

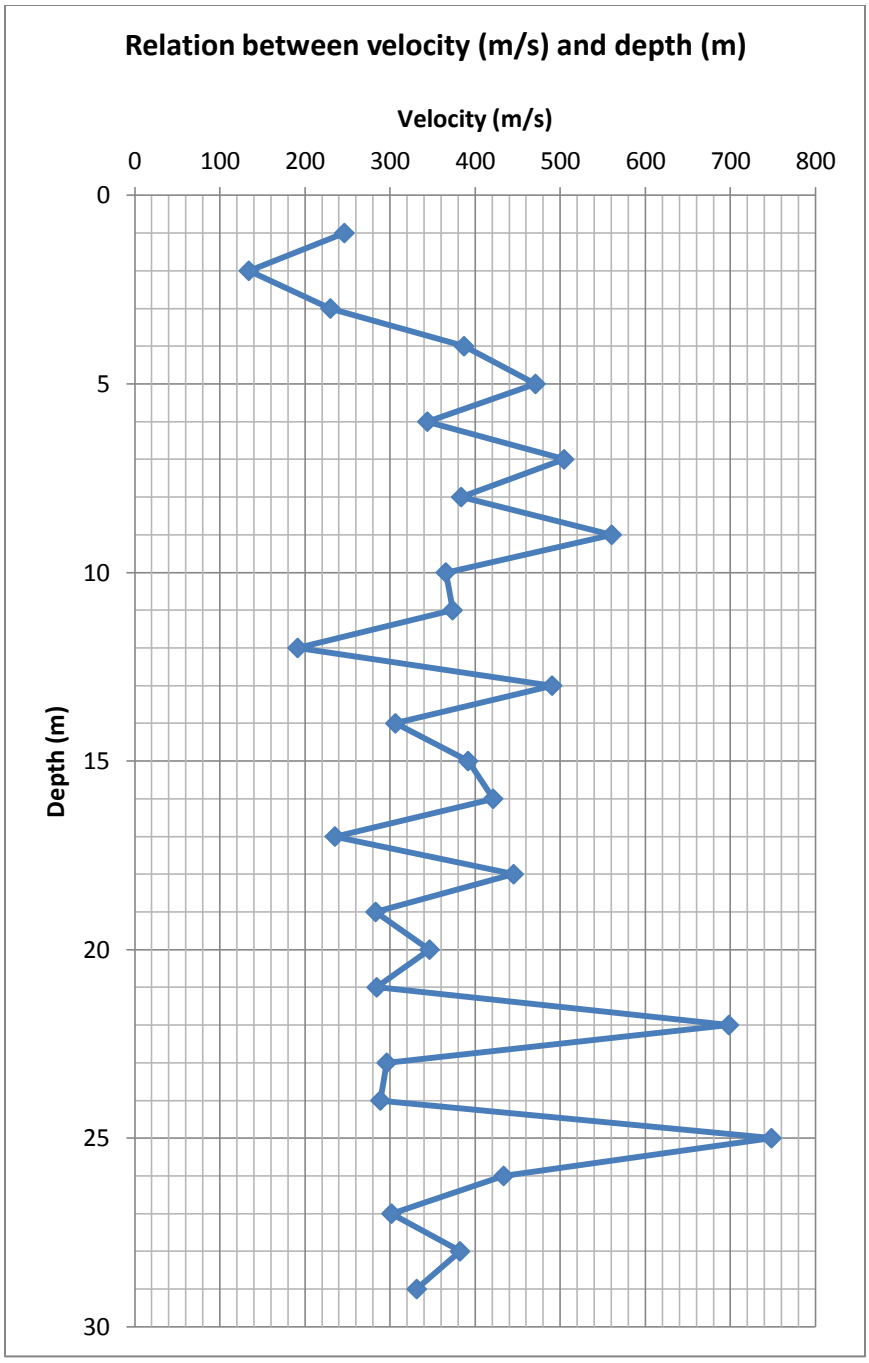
ตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย				Vs_{30} (m/s)
ลำดับที่	พื้นที่สำรวจ MASW	พิกัด		
		E	N	
1.	ที่ว่าการ อ.สูงเม่น จ.แพร่	618022	1992278	249
2.	สถานีอุตุนิยมวิทยา จ.แพร่	623312	2004649	286
3.	อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่	629777	2045826	499*
4.	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	591284	2140922	331
5.	สถานีอุตุนิยมวิทยา จ.เชียงราย	592570	2207321	234
6.	ที่ว่าการ อ.แม่จัน จ.เชียงราย	589431	2227724	245
7.	ที่ว่าการ อ.แม่สาย จ.เชียงราย	592482	2259050	250
8.	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จ.เชียงใหม่	497097	2075474	310
9.	อ.สันทราย จ.เชียงใหม่	505130	2083999	214
10.	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	496366	2140795	294
11.	สถานีอุตุฯ ดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่	504736	2204010	242
ตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคใต้ของประเทศไทย				
12	เขื่อนแก่งกระจาน อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี	567990	1427632	257
13	เขื่อนปราณบุรี อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์.	586161	1378946	562*
14	สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว อ.ตาขุน จ.สุราษฎร์ธานี	477465	990182	890*
15	สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี	569155	1013303	254
16	อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง อ.พิปูน จ.นครศรีธรรมราช	566237	950183	262
17	ศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคใต้ฝั่งตะวันออก อ.เมือง จ.สงขลา	677245	794552	201

ลำดับที่	พื้นที่สำรวจ MASW	พิกัด		Vs_{30}
		E	N	
18	สถานีวัดอัตราเร่งแผ่นดินไหว อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	678754	793244	394*
19	สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	576202	866252	336
20	สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว อ.เขาพนม จ.กระบี่	569500	908840	277
21	สถานีตรวจวัดอัตราเร่งแผ่นดินไหว อ.ถลางจ.ภูเก็ต	423791	895960	241
22	สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดิน อ.เมือง จ.ภูเก็ต	432960	871557	317
23	สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว อ.กระทู้ จ.ภูเก็ต	426697	872417	280
24	สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว อ.สุขสำราญ จ.ระนอง	442665	1038057	441*

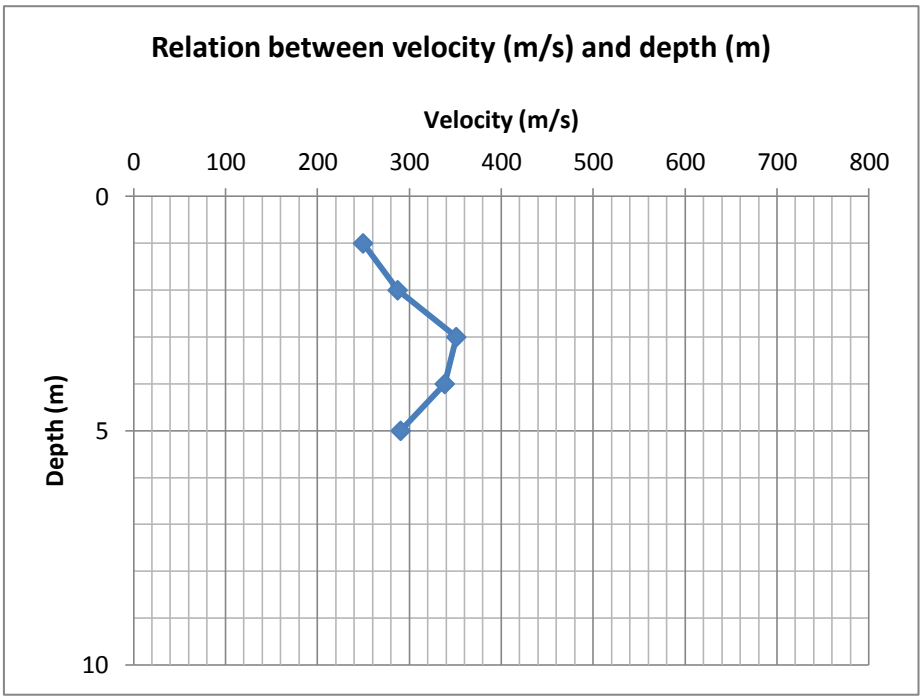
หมายเหตุ สถานีตรวจวัดที่มี * แสดงค่า Vs_{30} ที่ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสถานีดังกล่าวตั้งอยู่บนชั้นตะกอนดินที่ค่อนข้างบาง อย่างไรก็ตามควรจะทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วยวิธีอื่น เช่น Shear wave seismic refraction หรือ downhole test

3. ผลการทดสอบ downhole test

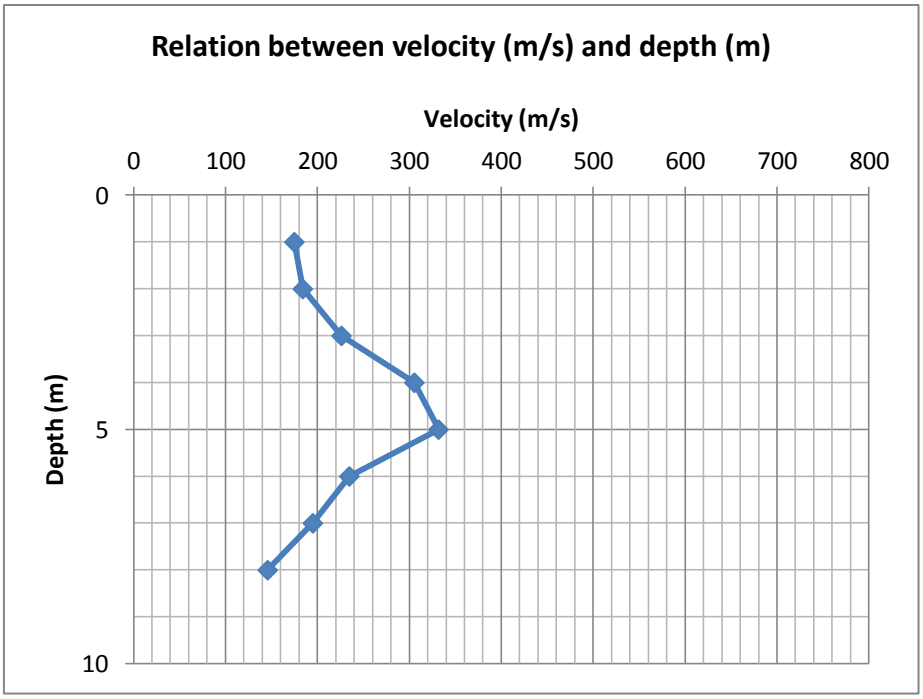
การทดสอบ downhole test ที่หลุมเจาะทั้ง 4 แห่ง ได้ดำเนินการในช่วงเดือนมีนาคม 2556 ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นดังนี้คือ



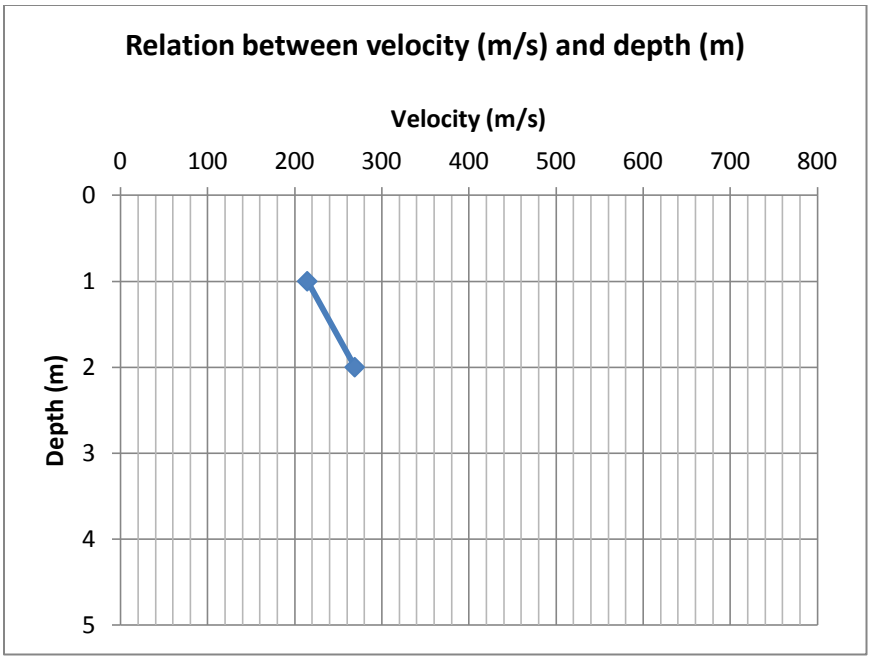
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึก
บริเวณที่ตั้งสถานี MSAA ที่ว่าการอำเภอแม่สาย จ.เชียงราย



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึก
บริเวณที่ตั้งสถานี PAYA อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึก
บริเวณที่ตั้งสถานี MHMTสถานีอุตุนิยมวิทยา อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึก
บริเวณที่ตั้งสถานี LAMP เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง

4. ผลการศึกษาเพื่อสร้างสมการลดทอนสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวตื้นบริเวณการแปรสัณฐาน ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน รูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ได้แก่ รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997)

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_W + c_3 \left(8.5 - M_W\right)^{2.5} + c_4 \ln\left(r_{rup} + e^{\left(c_5 + c_6 M_W\right)}\right) + c_7 \ln\left(r_{rup} + 2\right)$$

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_W - c_3 \ln(r_{rup} + c_4 e^{c_5 M_W}) + c_6 + c_7 (8.5 - M_W)^{2.5}$$

โดยที่

S_a = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (g)

M_w = ขนาดโมเมนต์

r_{rub} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดถึงระนาบแตกร้าว (กิโลเมตร)

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนแนวระดับ (strike slip fault)

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.851	1.655	-0.011	-2.670	-0.256	0.582	0.003
0.1	-1.031	1.606	-0.001	-2.741	-0.148	0.554	0.025
0.2	1.113	1.632	-0.019	-3.027	0.456	0.511	0.010
0.5	1.127	1.563	-0.039	-2.646	0.899	0.498	-0.256
1	0.741	1.257	-0.065	-2.550	1.125	0.391	-0.004
1.5	-0.913	1.219	-0.070	-2.260	1.104	0.362	-0.032
2	-1.486	1.242	-0.075	-1.936	1.212	0.407	-0.299
3	-4.922	1.356	-0.069	-1.904	0.093	0.456	0.005
4	-6.375	1.472	-0.069	-1.825	-0.073	0.481	0.003

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนย้อน (reverse fault)

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.818	1.673	-0.010	-2.716	-0.201	0.571	0.001
0.1	-0.699	1.596	-0.005	-2.746	-0.115	0.556	-0.028
0.2	1.016	1.697	-0.013	-2.999	0.520	0.518	-0.096
0.5	0.666	1.520	-0.040	-2.821	0.712	0.463	-0.009
1	0.479	1.281	-0.062	-2.595	1.147	0.378	0.026
1.5	-1.298	1.253	-0.064	-2.314	1.186	0.340	0.012
2	-2.231	1.222	-0.072	-2.139	0.939	0.363	-0.005
3	-4.960	1.353	-0.070	-1.916	0.080	0.461	0.000
4	-6.151	1.444	-0.075	-1.844	-0.261	0.507	-0.003

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนแนวระดับ (strike slip fault)

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-3.111	1.629	2.439	0.466	0.626	-0.007	-0.002
0.1	1.694	1.652	2.468	0.591	0.582	-4.613	0.023
0.2	-2.883	1.655	2.696	0.970	0.539	1.641	0.005
0.5	1.085	1.526	2.646	1.186	0.498	-1.704	-0.029
1	-0.957	1.303	2.356	1.255	0.453	-0.019	-0.059
1.5	-1.351	1.199	2.132	1.291	0.416	-0.376	-0.075
2	-3.017	1.191	1.947	0.911	0.436	0.001	-0.077
3	-4.873	1.216	1.761	0.552	0.483	0.246	-0.085
4	-5.276	1.324	1.700	0.347	0.557	-0.596	-0.087

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนย้อน (reverse fault)

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-2.765	1.642	2.501	0.526	0.606	-0.008	-0.001
0.1	-0.903	1.664	2.522	0.640	0.567	-1.712	0.024
0.2	-0.954	1.659	2.749	0.999	0.531	0.060	0.005
0.5	2.251	1.527	2.709	1.287	0.486	-2.421	-0.030
1	0.139	1.321	2.403	1.403	0.439	-0.906	-0.058
1.5	-2.459	1.218	2.159	1.469	0.399	0.776	-0.073
2	-2.976	1.199	1.965	0.953	0.429	0.023	-0.076
3	-4.109	1.203	1.772	0.534	0.491	-0.338	-0.087
4	-4.055	1.271	1.706	0.264	0.590	-1.352	-0.096

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ได้แก่ รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008)

$$\ln(S_a) = C_1 + C_2 M_W + C_3 \left(R + C_4 e^{C_5 M_W} \right) + C_6 H + c_7 Z_T$$

โดย

S_a = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

R = ระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

H = ความลึกศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

Z_T = 0 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวหน้าสัมผัส (interface events)

Z_T = 1 สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab events)

ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface)

T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	1.609	1.778	-3.213	1.393	0.575	-0.008	-0.485
0.1	7.353	1.567	-3.208	2.125	0.486	-0.090	2.882
0.2	2.138	1.729	-3.523	4.191	0.430	0.038	-1.585
0.5	4.488	1.808	-3.329	5.521	0.395	-0.047	-33.487
1	-0.416	1.866	-3.080	6.839	0.368	0.002	-8.070
1.5	-7.968	1.963	-2.836	4.797	0.414	0.103	-7.894
2	-9.541	2.016	-2.594	3.089	0.464	0.092	-2.900
3	-8.505	2.211	-2.338	0.840	0.665	0.008	-0.024
4	-10.708	2.326	-2.201	1.290	0.581	0.013	0.098
5	-11.316	2.406	-2.128	0.916	0.641	0.001	0.089

ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน เหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.616	1.870	-3.602	1.304	0.573	0.003	0.257
0.1	1.892	1.671	-3.654	1.820	0.507	0.015	0.431
0.2	16.308	1.794	-3.841	3.580	0.448	-0.049	-0.657
0.5	0.798	1.856	-3.578	4.430	0.415	0.030	-3.068
1	19.684	1.903	-3.311	6.226	0.355	-0.108	3.121
1.5	9.278	1.996	-3.055	4.865	0.380	-0.049	-0.999
2	0.354	2.058	-2.851	3.371	0.425	-0.015	-0.736
3	-10.156	2.198	-2.329	0.129	0.808	0.009	0.193
4	-8.154	2.367	-2.410	1.346	0.569	-0.004	0.128
5	-9.921	2.447	-2.341	1.035	0.619	-0.004	0.660

ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface)

T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.568	1.538	-3.186	2.640	0.465	0.000	0.680
0.1	1.976	1.246	-2.742	0.011	1.031	-0.006	13.061
0.2	5.901	1.482	-3.533	8.182	0.321	-0.003	2.038
0.5	4.284	1.670	-3.581	10.441	0.301	0.008	0.272
1	-3.157	1.771	-3.283	14.428	0.254	0.098	16.446
1.5	1.072	1.834	-3.027	21.723	0.197	-0.033	-2.492
2	-0.071	1.876	-2.784	26.195	0.167	-0.051	-4.834
3	-7.527	2.034	-2.411	8.847	0.313	0.022	-0.482
4	-8.480	2.107	-2.217	7.730	0.326	0.001	0.148
5	-9.197	2.104	-2.095	3.985	0.370	-0.007	-0.924

ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน เหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

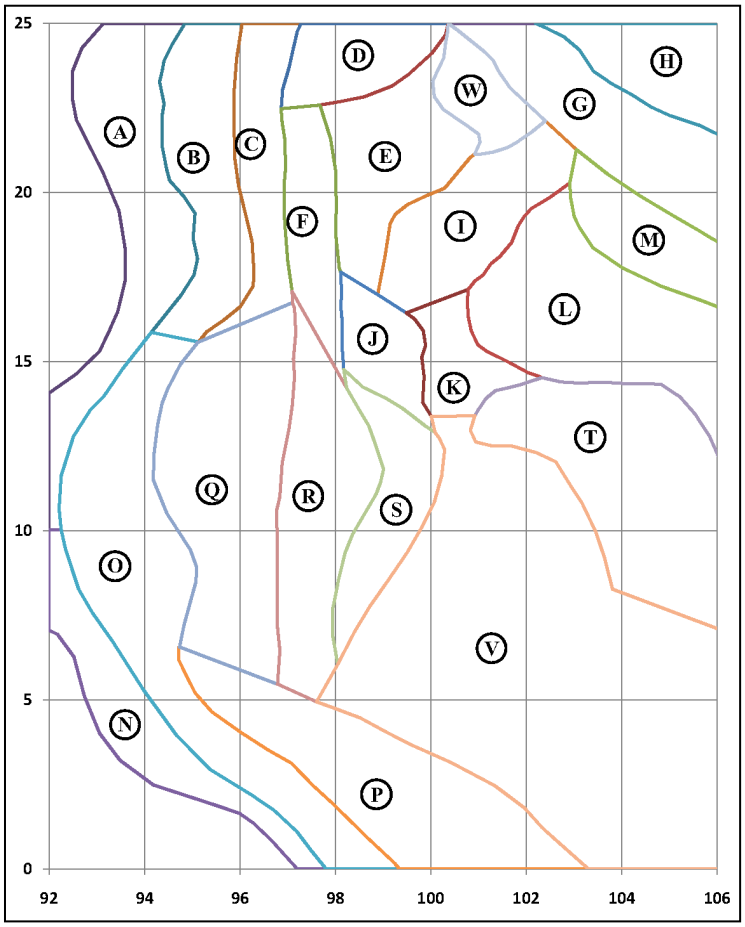
T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.925	1.624	-3.567	2.023	0.494	0.003	1.185
0.1	-0.178	1.013	-2.868	-2.433	-0.780	0.017	0.834
0.2	2.941	1.549	-3.699	2.846	0.437	0.008	1.956
0.5	2.557	1.695	-3.774	8.791	0.304	0.009	1.497
1	5.662	1.798	-3.467	13.182	0.239	0.004	-3.693
1.5	11.107	1.869	-3.239	22.161	0.165	-0.046	-1.204
2	12.533	1.918	-3.029	30.518	0.119	-0.069	0.176
3	-9.253	1.859	-2.047	2.837	-1.556	0.002	0.893
4	-7.251	2.168	-2.427	6.641	0.322	-0.002	0.264
5	-14.180	2.130	-2.242	3.879	0.373	0.026	0.391

5. ผลการศึกษาเพื่อจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่วิศวกรสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว

5.1 ได้จัดเตรียมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้เพื่อเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการออกแบบอาคาร สำหรับกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี ซึ่งได้ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยนั้นยังไม่ครอบคลุมและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ต้องการใช้ในการศึกษาการแยกแยะความเสี่ยงภัยของแผ่นดินไหว (ข้อมูลรวบรวมไว้ในแผ่น CD)

5.2 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ลักษณะแผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อกรุงเทพมหานครมีขนาดประมาณ 6.3 ถึง 7.3 ระยะห่างประมาณ 71 ถึง 114 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน มีขนาดประมาณ 4.5 ถึง 7.0 ระยะห่างประมาณ 0 ถึง 12 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดอื่นในภาคเหนือมีขนาดประมาณ 4.2 ถึง 6.3 ระยะห่างประมาณ 0 ถึง 18 กิโลเมตร และเมื่อพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปคตรัมที่คาบการสั่นไหวที่ยาวขึ้นเป็น 0.2 และ 1 วินาที จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น

5.3 จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 และ 1 วินาที พบว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร และกาญจนบุรี คือ โซน J ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน คือ โซน E ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อแม่ฮ่องสอน คือโซน E และ F ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อลำปาง และพะเยา คือโซน E และ I ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อน่าน แพร่ และอุตรดิตถ์ คือโซน I ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อตาก คือโซน E, I และ J และพบว่าความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินที่ใช้พิจารณาความเสี่ยงภัยโดยมีโอกาสที่จะเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ที่มีความสอดคล้องกับสถานการณ์นั้น ๆ จากการพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.043g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA = 0.25g - 0.4g และจากการพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.116g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA = 0.6g - 1g และจากการพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.044g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA = 0.14g - 0.32g



แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

5.4 เมื่อเลือกคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี พบว่ามีตัวคูณปรับค่าอยู่ในช่วง 1.03 ถึง 1.25 ก็จะทำให้ไม่ต้องมีการปรับแก้มาก คลื่นที่คัดเลือกก็มีความรุนแรงใกล้เคียงกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ (target spectrum) โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มหรือลด ส่วนกรุงเทพมหานคร พบว่ามีตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมรอบแรก (scaling factor, SF1) มีค่าอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 2.68 และตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมรอบสอง (scaling factor, SF2) มีค่าเท่ากับ 0.55099 เมื่อหาผลคูณของ SF1 และ SF2 จะได้สเปกตรัมค่าเดียว (scaling factor, SF) มีค่าอยู่ในช่วง 0.32 ถึง 1.48 จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้คลื่นที่คัดเลือกเพื่อให้มีความรุนแรงใกล้เคียงกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ (target spectrum)

5.5 ผลการวิเคราะห์ของจังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี พบว่าสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่ามีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงคาบสั้น ได้แก่ สเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่ามีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.25 - 0.35 วินาที โดยมีค่าสูงสุด 1.23g สำหรับเชียงใหม่ ส่วนผลการวิเคราะห์ของกรุงเทพมหานคร พบว่าสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่าและขยายคลื่นผ่านชั้นดินอ่อนมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.65 - 0.75 วินาที โดยมีค่าสูงสุด 0.227g ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 1.97 เท่า เมื่อเทียบจากเดิมก่อนการขยายคลื่นมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.20 - 0.30 วินาที โดยมีค่าสูงสุด 0.115g ซึ่งสามารถนำค่าสเปกตรัม SRSS หลังคูณปรับค่าของจังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี รวมทั้งสเปกตรัม SRSS หลังคูณปรับค่าและขยายคลื่นของกรุงเทพมหานคร เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างต่อไป

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานที่สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

1. กรมอุตุนิยมวิทยา
2. กรมชลประทาน
3. กรมทรัพยากรธรณี
4. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
5. หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหว

หน่วยงานดังกล่าว (1-5) สามารถนำข้อมูลความหนาของเปลือกโลก และความเร็วคลื่นไหวสะเทือนของไทยที่ได้จากการศึกษานี้ไปใช้ในการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีความถูกต้องมากขึ้น

6. กรมโยธาธิการและผังเมือง
7. องค์การบริหารการปกครองส่วนท้องถิ่น
8. หน่วยงานรัฐและเอกชนที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับการออกแบบก่อสร้างอาคาร

หน่วยงานดังกล่าว (6-8) สามารถนำฐานข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารระหว่างการออกแบบเพื่อให้ต้านทานต่อแผ่นดินไหวได้มากขึ้น

การประชาสัมพันธ์

1. สิ่งพิมพ์ทั่วไป

- หนังสือ แผ่นดินไหวที่ควรรู้ โดย มิชิโอะ ฮาชิซูเมะ, ภาสกร ปนานนท์ และธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2556

2. สิ่งพิมพ์ทางวิชาการ

2.1 การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 6th International Conference on Applied Geophysics

- Analysis of the M_L 5.1 Chiang Mai earthquake occurring on December 12th, 2006 and its aftershocks

- Analysis of the M4.3 earthquake occurring on April 16th, 2012 in Phuket, Southern Thailand

2.2 การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 2013 AGU Fall Meeting

- Teleseismic Receiver Functions Study of the Crustal Thickness Underneath Thailand

Summary of Research

Contract No. RDG5430003 Project Name Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology

Project Head Mr. Passakorn Pananont **Organization** Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kasetsart University

Phone 02-562-5555 ต่อ 1423, 089-9682035 Fax 02-579-3711

E-mail fscipkp@ku.ac.th

Importance/Background

Although Thailand is located in the area of relatively low seismicity, the country has been affected by the earthquake in the past. Therefore, it is necessary to study the potential of seismic hazards of Thailand in order to prepare optimal mitigation with it and minimize the loss of life and property of citizens.

There are several ways to assess the hazards and risks from the earthquakes, but the construction of seismic hazard map is a widely accepted method. This method requires a large amount of information, such as seismic source, site effect, and the seismic wave attenuation model. Currently, the seismic hazard calculation in Thailand is not so accurate yet, due to the lack of many important and basic information. For example, to determine of the epicenter of the earthquake, we need to know the thickness of the crust (crustal thickness) and the velocity of the seismic waves that travel through the various layers of the crust (crustal velocity). But the calculation for the epicenter of the earthquakes in the past, didn't use the exact thickness of the crust and the velocity of seismic waves that travel within the crust accurately. For this reason, there may be some discrepancies of the calculation for the epicenter of the earthquakes in the past which leads to inaccurate definition of seismogenic source zone that are important

parameter to generate the seismic hazard map. In addition, due to large to moderate earthquake, Thailand lack of the earthquake data that can use for creating attenuation model.

In the past, we still lack the seismic waves attenuation equations to create the hazard map for Thailand. Therefore we use to use the attenuation equation developed abroad to estimate the severity of ground shaking. This equation developed from seismic data outside Thailand such as USA, Japan, Taiwan, Turkey, etc., which may not reflect the situation in Thailand due to different geology and tectonic setting. Moreover, most of the strong motion station in Thailand are located on the soil rather than on rock due to logistic limitation, most of the recording ground motions are amplified by the site effect. Therefore, it is necessary to know the characteristics of the soil at the location of the monitoring stations. Basically, we use the average shear wave velocity to the depth of 30 meters below ground surface (Vs_{30}) in the soil classification.

The last, but not least as the earthquake resistant building design standards of Department of Public Works and Town & Country Planning (DPT.1302-52) requires engineers to analyze the building structures and the important buildings under the affect of the earthquake for the real world, they need real strong motion data for structural analysis. This project will also provide the strong motion data for Thailand earthquake that can be used for source analysis. By integrating all data from this work, Thailand will have more accurate important parameters that can be used to generate an accurate seismic hazard map of the country in the future.

Objectives

This project aims to bring information and seismic ground acceleration recorded by the earthquake and ground acceleration monitoring stations of seismic monitoring network of the Thai Meteorological Department which installed around the country for the following aspects;

1. To determine the crustal thickness beneath Thailand using the receiver function method by teleseismic earthquake events. It’s very important basis information for efficiency and

better accuracy of earthquake epicenter determination and new important knowledge for the plate tectonic study of Thailand and the nearby area.

2. To investigate the seismic velocity of the waves that travel through the various layers of the crust (crustal seismic velocity) as the new knowledge for the crustal property underneath Thailand.

3. To measure the average shear wave velocity in the depth range to 30 meters (Vs_{30}) at the location of the strong meter station in various areas throughout the country in order to know the effects of soft soil on seismic wave.

4. To develop the seismic wave attenuation equations for estimating the severity of ground shaking, such as maximum acceleration, velocity, and displacement together with spectral response acceleration which is necessary to study the seismic hazard of Thailand.

5. To prepare the strong motion database that engineers can use for structural analysis of the building.

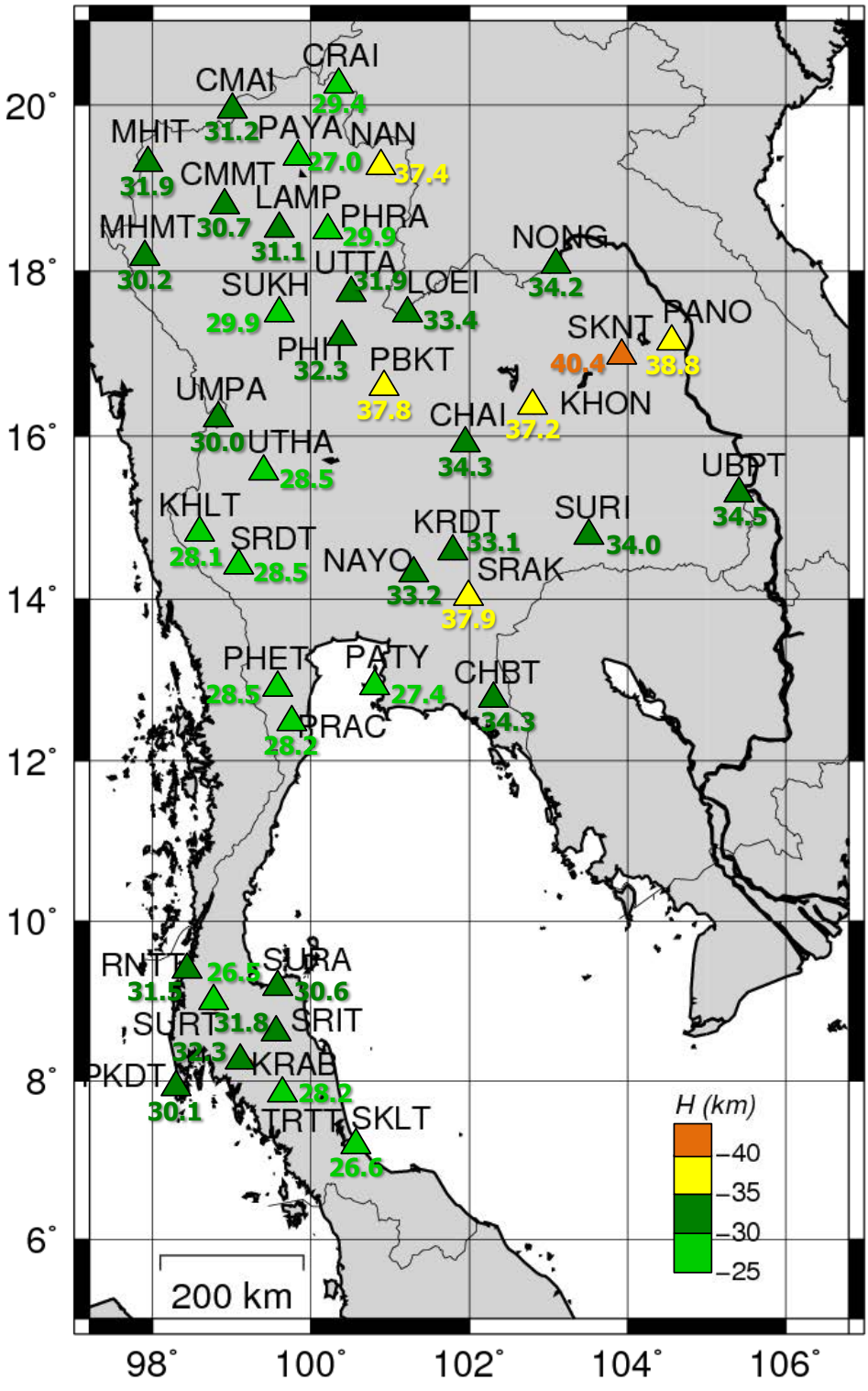
Results

1. The calculated crustal thickness beneath 40 seismic monitoring stations.

Note The velocity of seismic wave listed in the Appendix of the full report.

No.	CODE	*H* (km)	V_P/V_S	RFs
1	CHAI	34.3±0.4	1.72±0.01	15
2	CHBT	34.3±3.0	1.83±0.07	40
3	CMAI	31.2±0.5	1.74±0.02	101
4	CMMT	30.7±0.3	1.68±0.02	87
5	CRAI	29.4±0.5	1.75±0.02	77
6	KHLT	28.1±2.3	1.71±0.12	45
7	KHON	37.2±1.4	1.73±0.04	93
8	KRAB	32.3±5.2	1.61±0.38	10
9	KRDT	33.1±0.6	1.84±0.02	83
10	LAMP	31.1±0.2	1.72±0.01	132

No.	CODE	H (km)	V_P/V_S	RFs
11	LOEI	33.4±1.5	1.76±0.04	63
12	MHIT	31.9±0.7	1.72±0.02	74
13	MHMT	30.2±0.3	1.66±0.02	79
14	NAN	37.4±0.1	1.79±0.01	46
15	NAYO	33.2±0.3	1.75±0.02	40
16	NONG	34.2±3.5	1.81±0.10	43
17	PANO	38.8±6.9	1.73±0.15	6
18	PATY	27.4±0.2	1.71±0.01	62
19	PAYA	27.0±4.0	1.70±0.09	21
20	PBKT	37.8±0.0	1.69±0.01	84
21	PHET	28.5±1.0	1.72±0.03	59
22	PHIT	32.3±0.3	1.79±0.02	18
23	PHRA	29.9±4.9	1.78±0.30	31
24	PKDT	30.1±0.4	1.68±0.02	44
25	PRAC	28.2±0.2	1.68±0.01	79
26	RNTT	31.5±0.7	1.70±0.03	56
27	SKLT	26.6±0.0	1.65±0.01	64
28	SKNT	40.4±2.9	1.76±0.00	76
29	SRAK	37.9±2.5	1.74±0.06	50
30	SRDT	28.5±0.9	1.71±0.03	79
31	SRIT	31.8±2.5	1.61±0.11	10
32	SUKH	29.9±0.3	1.74±0.02	58
33	SURA	30.6±4.4	1.68±0.14	8
34	SURI	34.0±0.5	1.85±0.03	36
35	SURT	26.5±0.7	1.76±0.03	93
36	TRTT	28.2±0.4	1.60±0.01	75
37	UBPT	34.5±0.4	1.77±0.01	71
38	UMPA	30.0±3.1	1.66±0.06	58
39	UTHA	28.5±0.3	1.76±0.02	33
40	UTTA	31.9±1.1	1.75±0.03	94



Map showing the thickness of the crust from 40 stations in this study.

2. Average shear wave velocity measurements at acceleration monitoring stations of the Thai Meteorological Department.

Table shows the MASW surveys at the stations in the North, South and Central of Thailand.

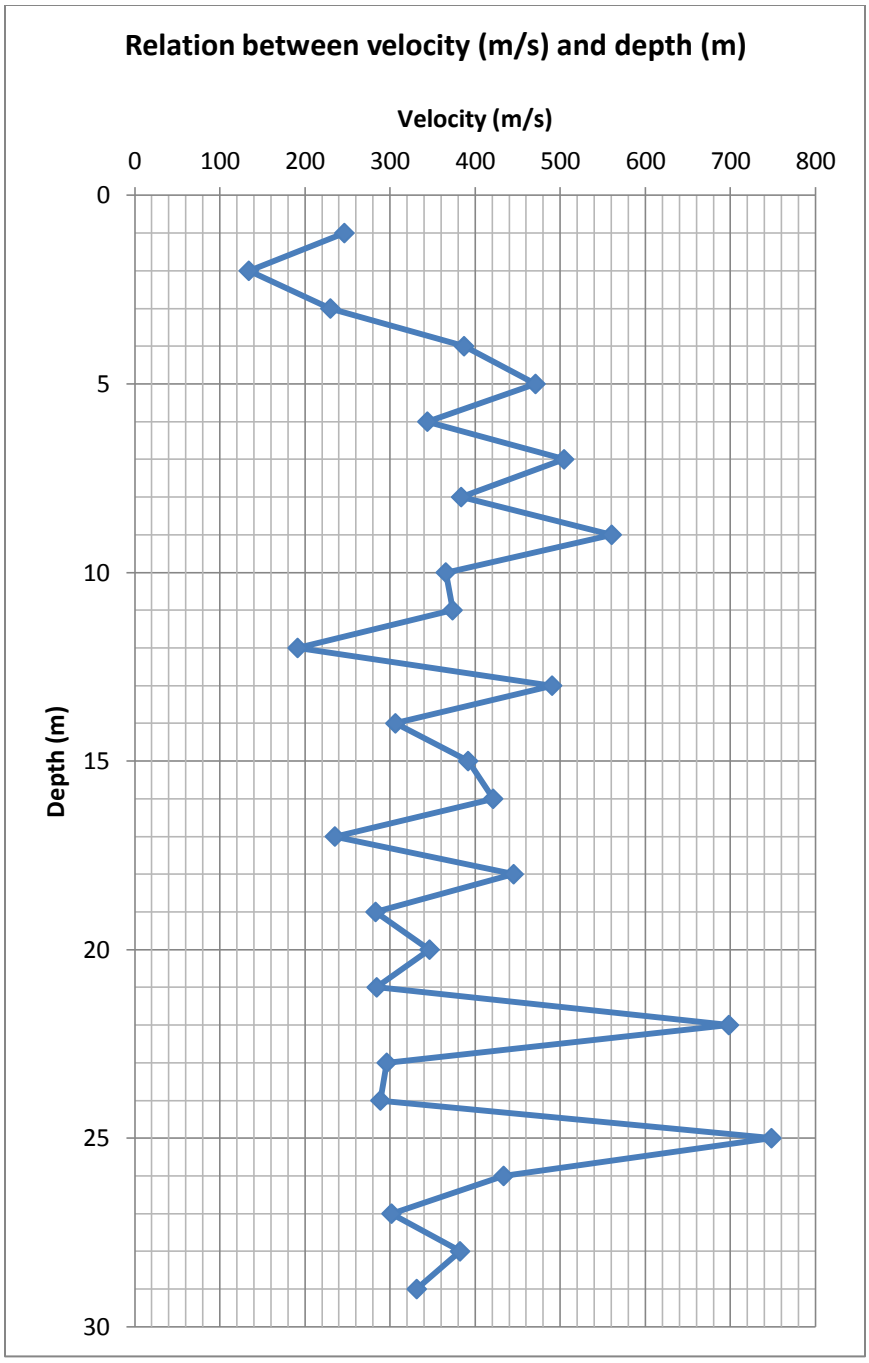
MASW survey for the northern region of Thailand.				Vs_{30} (m/s)
No.	**Area**	**Coordinates**		
		E	**N**	
1.	Soong Men District office, Phrae.	618022	1992278	249
2.	Meteorological Station, Phrae.	623312	2004649	286
3.	Song reservoir, Phrae.	629777	2045826	499*
4.	Mea Puem reservoir, Payao.	591284	2140922	331
5.	Meteorological Station, Chiang Rai.	592570	2207321	234
6.	Mae Chan District office, Chiang Rai.	589431	2227724	245
7.	Mae Sai District office, Chiang Rai.	592482	2259050	250
8.	Northern Meteorological Station, Chiang Mai.	497097	2075474	310
9.	San Sai District, Chiang Mai.	505130	2083999	214
10.	Chiang Dao District, Chiang Mai.	496366	2140795	294
11.	Doi Ang Khang Meteorological station, Chiang Mai.	504736	2204010	242
MASW survey for the southern region of Thailand.				
12	Kaeng Krachan dam, Kaeng Krachan dustrict, Phetchaburi.	567990	1427632	257
13	Pranburi dam, Pranburi district, Prachuabkirikhan.	586161	1378946	562*
14	Earthquake Monitoring Station, Takhun district, Surat Thani.	477465	990182	890*
15	Earthquake Monitoring Station, Kanjanadit district, Surat Thani	569155	1013303	254
16	Klong Din Deang reservoir, Pipoon district, Nakhon Si Thammarat.	566237	950183	262

17	Southern Meteorological Station (East Coast), Song Khla.	677245	794552	201
18	Acceleration of Ground Monitoring Station, Hat Yai distric, Songkhla.	678754	793244	394*
19	Earthquake Monitoring Station, Huay Yord district, Trang.	576202	866252	336
20	Earthquake Monitoring Station, Khao Panom district, Krabi.	569500	908840	277
21	Acceleration of Ground Monitoring Station, Talang district, Phuket.	423791	895960	241
22	Acceleration of Ground Monitoring Station, Muang, Phuket.	432960	871557	317
23	Earthquake Monitoring Station, Kratoo district, Phuket.	426697	872417	280
24	Earthquake Monitoring Station, Suksamran district, Ranong.	442665	1038057	441*

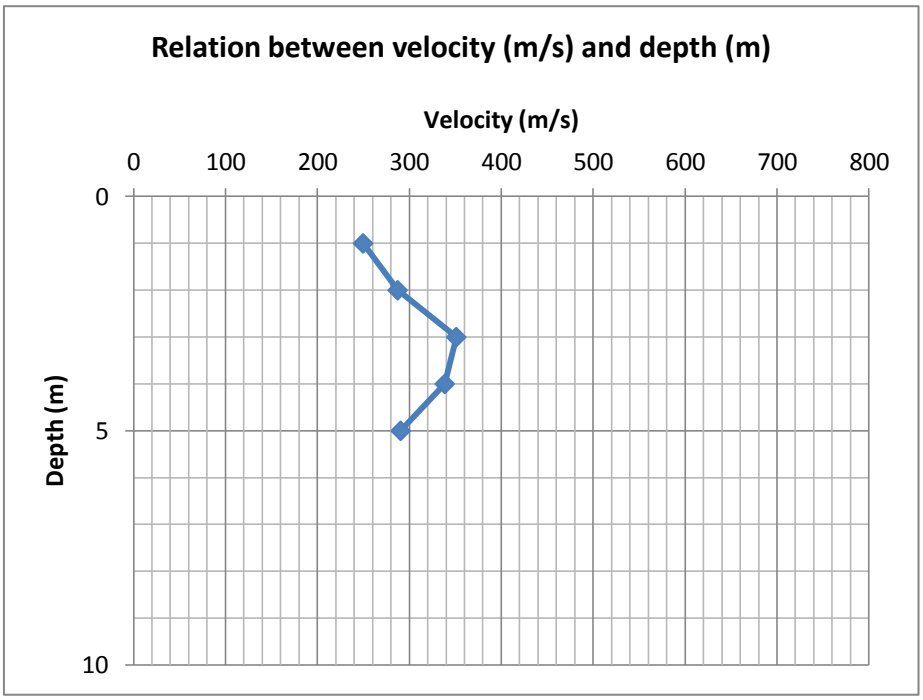
Note * represent the Monitoring Stations with relatively high of Vs_{30} that the stations may situated on a relatively thin sediment. However, it should be checked again by another method, such as shear wave seismic refraction or downhole test.

3. Downhole test results

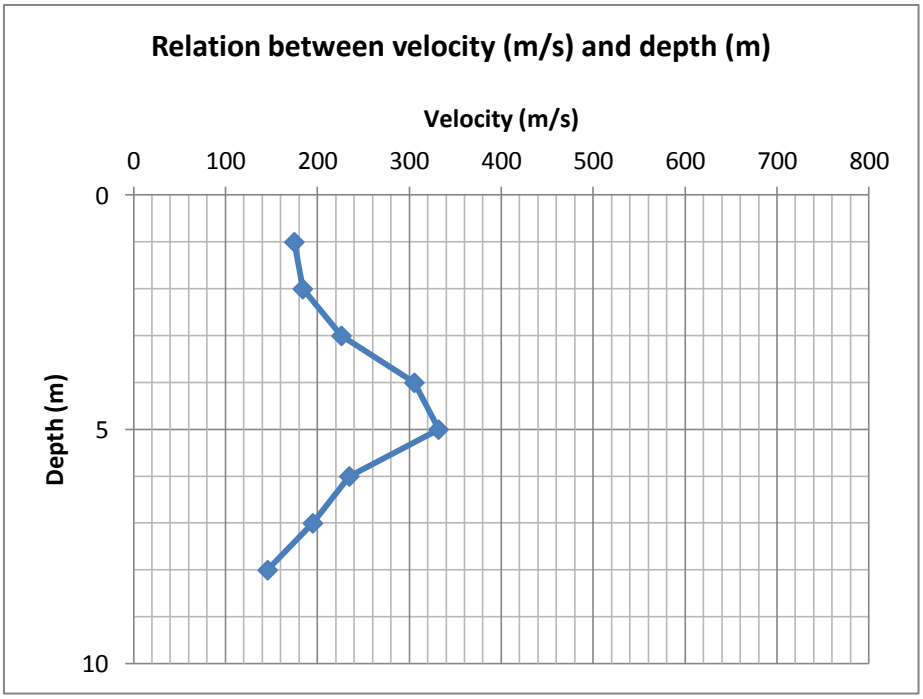
The test of 4 drill holes downhole test was conducted during March 2556, with the results of the analysis is as follows;



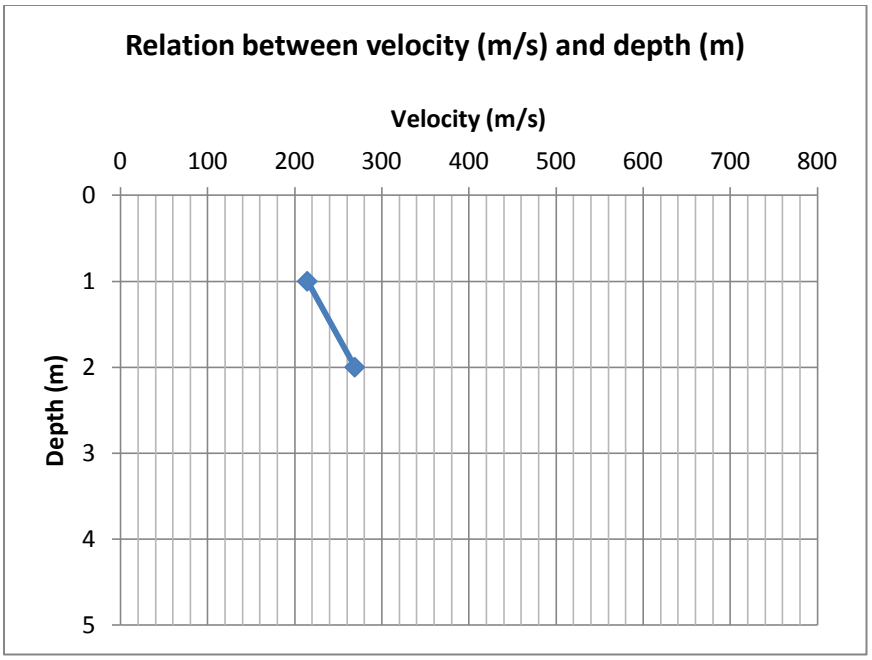
Graph shows the relationship between shear wave velocities with depth at the station MSAA, Mae Sai district, Chiang Rai.



Graph shows the relationship between shear wave velocities with depth at the station PAYA, Mea Puem reservoir, Payao.



Graph shows the relationship between shear wave velocities with depth at the station MHMT, Mea Sa Riang district, Mea Hong Son.



Graph shows the relationship between shear wave velocities with depth at the station LAMP, Kew Lom Dam, Lam Pang.

4. Results of the attenuation equation for maximum ground acceleration estimation.

The appropriate equation form for maximum ground acceleration estimation of Thailand for shallow earthquake at the tectonic activity area which the monitoring station was installed on the hard rock or soil, and strike slip or reverse faults is the equation form of Sadigh et al. (1997);

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_W + c_3 \left(8.5 - M_W\right)^{2.5} + c_4 \ln\left(r_{rup} + e^{\left(c_5 + c_6 M_W\right)}\right) + c_7 \ln\left(r_{rup} + 2\right)$$

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_W - c_3 \ln(r_{rup} + c_4 e^{c_5 M_W}) + c_6 + c_7 (8.5 - M_W)^{2.5}$$

by

S_a = Spectral response acceleration (g)

M_w = Magnitude

r_{rub} = Nearest distance to rupture plane (km).

Appropriate parameters for Thailand which the station was installed on the hard rock and strike slip fault.

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.851	1.655	-0.011	-2.670	-0.256	0.582	0.003
0.1	-1.031	1.606	-0.001	-2.741	-0.148	0.554	0.025
0.2	1.113	1.632	-0.019	-3.027	0.456	0.511	0.010
0.5	1.127	1.563	-0.039	-2.646	0.899	0.498	-0.256
1	0.741	1.257	-0.065	-2.550	1.125	0.391	-0.004
1.5	-0.913	1.219	-0.070	-2.260	1.104	0.362	-0.032
2	-1.486	1.242	-0.075	-1.936	1.212	0.407	-0.299
3	-4.922	1.356	-0.069	-1.904	0.093	0.456	0.005
4	-6.375	1.472	-0.069	-1.825	-0.073	0.481	0.003

Appropriate parameters for Thailand which the station was installed on the hard rock and reverse fault.

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.818	1.673	-0.010	-2.716	-0.201	0.571	0.001
0.1	-0.699	1.596	-0.005	-2.746	-0.115	0.556	-0.028
0.2	1.016	1.697	-0.013	-2.999	0.520	0.518	-0.096
0.5	0.666	1.520	-0.040	-2.821	0.712	0.463	-0.009
1	0.479	1.281	-0.062	-2.595	1.147	0.378	0.026
1.5	-1.298	1.253	-0.064	-2.314	1.186	0.340	0.012
2	-2.231	1.222	-0.072	-2.139	0.939	0.363	-0.005
3	-4.960	1.353	-0.070	-1.916	0.080	0.461	0.000
4	-6.151	1.444	-0.075	-1.844	-0.261	0.507	-0.003

Appropriate parameters for Thailand which the station was installed on the soil and strike slip fault.

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-3.111	1.629	2.439	0.466	0.626	-0.007	-0.002
0.1	1.694	1.652	2.468	0.591	0.582	-4.613	0.023
0.2	-2.883	1.655	2.696	0.970	0.539	1.641	0.005
0.5	1.085	1.526	2.646	1.186	0.498	-1.704	-0.029
1	-0.957	1.303	2.356	1.255	0.453	-0.019	-0.059
1.5	-1.351	1.199	2.132	1.291	0.416	-0.376	-0.075
2	-3.017	1.191	1.947	0.911	0.436	0.001	-0.077
3	-4.873	1.216	1.761	0.552	0.483	0.246	-0.085
4	-5.276	1.324	1.700	0.347	0.557	-0.596	-0.087

Appropriate parameters for Thailand which the station was installed on the soil and reverse fault.

T(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-2.765	1.642	2.501	0.526	0.606	-0.008	-0.001
0.1	-0.903	1.664	2.522	0.640	0.567	-1.712	0.024
0.2	-0.954	1.659	2.749	0.999	0.531	0.060	0.005
0.5	2.251	1.527	2.709	1.287	0.486	-2.421	-0.030
1	0.139	1.321	2.403	1.403	0.439	-0.906	-0.058
1.5	-2.459	1.218	2.159	1.469	0.399	0.776	-0.073
2	-2.976	1.199	1.965	0.953	0.429	0.023	-0.076
3	-4.109	1.203	1.772	0.534	0.491	-0.338	-0.087
4	-4.055	1.271	1.706	0.264	0.590	-1.352	-0.096

The appropriate equation form for maximum ground acceleration estimation of Thailand for earthquake at subduction zone area which the monitoring station was installed on the hard rock or soil, and the interface and intraslab events is the equation form of Lin and Lee (2008)

$$\ln(S_a) = C_1 + C_2 M_W + C_3 \left(R + C_4 e^{C_5 M_W} \right) + C_6 H + c_7 Z_T$$

By

S_a = Spectral response acceleration (g)

M_W = Magnitude

R = The earthquake Distance (km).

H = The depth of the hypocenter (km).

Z_T = 0 for the interface events

Z_T = 1 for the intraslab events

Appropriate parameters of Lin and Lee (2008) for Thailand which the station was installed on the hard rock and has interface events.

T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	1.609	1.778	-3.213	1.393	0.575	-0.008	-0.485
0.1	7.353	1.567	-3.208	2.125	0.486	-0.090	2.882
0.2	2.138	1.729	-3.523	4.191	0.430	0.038	-1.585
0.5	4.488	1.808	-3.329	5.521	0.395	-0.047	-33.487
1	-0.416	1.866	-3.080	6.839	0.368	0.002	-8.070
1.5	-7.968	1.963	-2.836	4.797	0.414	0.103	-7.894
2	-9.541	2.016	-2.594	3.089	0.464	0.092	-2.900
3	-8.505	2.211	-2.338	0.840	0.665	0.008	-0.024
4	-10.708	2.326	-2.201	1.290	0.581	0.013	0.098
5	-11.316	2.406	-2.128	0.916	0.641	0.001	0.089

Appropriate parameters of Lin and Lee (2008) for Thailand which the station was installed on the hard rock and has intraslab events.

T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.616	1.870	-3.602	1.304	0.573	0.003	0.257
0.1	1.892	1.671	-3.654	1.820	0.507	0.015	0.431
0.2	16.308	1.794	-3.841	3.580	0.448	-0.049	-0.657
0.5	0.798	1.856	-3.578	4.430	0.415	0.030	-3.068
1	19.684	1.903	-3.311	6.226	0.355	-0.108	3.121
1.5	9.278	1.996	-3.055	4.865	0.380	-0.049	-0.999
2	0.354	2.058	-2.851	3.371	0.425	-0.015	-0.736
3	-10.156	2.198	-2.329	0.129	0.808	0.009	0.193
4	-8.154	2.367	-2.410	1.346	0.569	-0.004	0.128
5	-9.921	2.447	-2.341	1.035	0.619	-0.004	0.660

Appropriate parameters of Lin and Lee (2008) for Thailand which the station was installed on the soil and has interface events.

T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.568	1.538	-3.186	2.640	0.465	0.000	0.680
0.1	1.976	1.246	-2.742	0.011	1.031	-0.006	13.061
0.2	5.901	1.482	-3.533	8.182	0.321	-0.003	2.038
0.5	4.284	1.670	-3.581	10.441	0.301	0.008	0.272
1	-3.157	1.771	-3.283	14.428	0.254	0.098	16.446
1.5	1.072	1.834	-3.027	21.723	0.197	-0.033	-2.492
2	-0.071	1.876	-2.784	26.195	0.167	-0.051	-4.834
3	-7.527	2.034	-2.411	8.847	0.313	0.022	-0.482
4	-8.480	2.107	-2.217	7.730	0.326	0.001	0.148
5	-9.197	2.104	-2.095	3.985	0.370	-0.007	-0.924

Appropriate parameters of Lin and Lee (2008) for Thailand which the station was installed on the soil and has intraslab events.

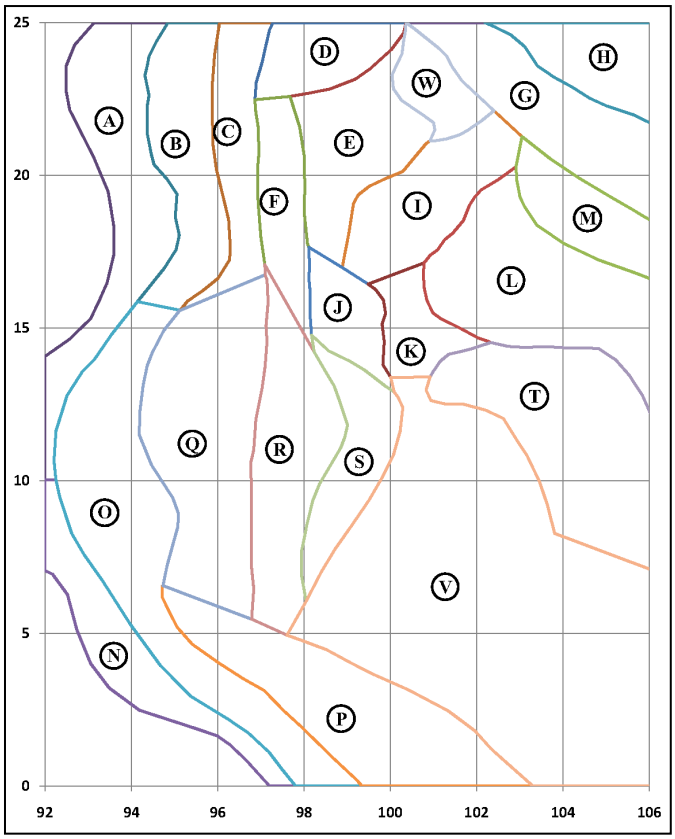
T(s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.925	1.624	-3.567	2.023	0.494	0.003	1.185
0.1	-0.178	1.013	-2.868	-2.433	-0.780	0.017	0.834
0.2	2.941	1.549	-3.699	2.846	0.437	0.008	1.956
0.5	2.557	1.695	-3.774	8.791	0.304	0.009	1.497
1	5.662	1.798	-3.467	13.182	0.239	0.004	-3.693
1.5	11.107	1.869	-3.239	22.161	0.165	-0.046	-1.204
2	12.533	1.918	-3.029	30.518	0.119	-0.069	0.176
3	-9.253	1.859	-2.047	2.837	-1.556	0.002	0.893
4	-7.251	2.168	-2.427	6.641	0.322	-0.002	0.264
5	-14.180	2.130	-2.242	3.879	0.373	0.026	0.391

5. Strong motion database preparing for engineers can apply for structural modeling in a building design.

1.1 We prepare strong motion data as the database for building design for Bangkok, Northern part of Thailand, and Kanchanaburi. These seismic data are collected from the earthquake database of Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), as seismic data that are recorded within Thailand are not adequate for such work (the data were collected in the CD).

1.2 Results of the earthquake hazard identifying by considering the maximum acceleration of the ground show that magnitude between 6.3 and 7.3 earthquake can affect Bangkok with the distance from 71 to 114 km. The earthquake that can affect Chiang Mai, Chiang Rai and Lampoon Province is 4.5 to 7.0 with the distance from 0 to 12 km, Other provinces in Northern Thailand and Kanchanaburi Province can be affected by magnitude 4.2 to 6.3 earthquake with the distance from 0 to 18 km.

1.3 From the earthquake hazard Identification by considering the maximum acceleration of the ground and spectral accelerations at periods of 0.2 and 1 second, it is found that seismic source at zone J can affect Bangkok and Kanchanaburi. The seismic sources at zone E can affect Chiang Mai, Chiang Rai and Lamphun Provinces, but the zone E and F can affect Mae Hong Son Province. In addition, Lampang and Payao Province can be affected from the seismic source at zone E and I, but Nan, Phrae, and Uttaradit Province can be affected by zone I only. Moreover, zone E, I and J can affect Tak Province. The maximum horizontal acceleration on rock of 2% within 50 years Bangkok is 0.043g, but these value for the other provinces in Northern Thailand and Kanchanaburi Province is 0.25g to 0.4g. The spectral acceleration of vibration of 0.2 seconds of Bangkok is 0.116g, but the other province in Northern Thailand and Kanchanaburi Province is 0.6g to 1g. The spectral acceleration at 1 second of Bangkok is 0.044g, while the other province in Northern Thailand and Kanchanaburi Province is 0.14g to 0.32g



The origin of the earthquake zone of Southeast Asia.

1.4 When select the seismic waves that are consistent with the situation that can affected to the provinces in the north and Kanchanaburi, we found the normalization factor is in the range of 1.03 to 1.25. There for, it will not require much adjustment for Bangkok. In addition, the first scaling factor (SF1) varies from 0.58 to 2.68 and the second scaling factor (SF2) is 0.55099. The product of SF1 and SF2 is scaling factor (SF) which varies between 0.32 and 1.48.

1.5 The analysis of the provinces in the north and Kanchanaburi suggest that the average spectrum SRSS have highest value in the shortest period. The average spectrum SRSS after adjust meant is 0.25 to 0.35 s with the highest value of 1.23g for Chiang Mai Province. For Bangkok, the values are from 0.65 to 0.75 s with the highest value of 0.227g which suggest an increase of 1.97 times. When compared to the pre-amplification that has a maximum value in the range of 0.20 to 0.30 s with the maximum value of 0.115g. Therefore, we can apply the SRSS spectrum after the adjust meant for the provinces in the north and Kanchanaburi, together with Bangkok for use in the structural analysis of the building design in the future.

Application

The organizations that can benefit from this study in the future are;

1. Thai Meteorological Department
2. Royal Irrigation Department
3. Department of Mineral Resources
4. Electricity Generating Authority of Thailand
5. The organizations that are related to the identity of the earthquake location.

These organizations (1-5) can use the crustal thickness results and seismic wave velocity from this study to calculate the earthquake epicenter with better accurate result

6. Department of Public Works and Town & Country Planning
7. Department of Local Administration
8. The government agencies and the private sectors who perform the tasks associated with the design and construction of buildings

These organizations (6-8) can bring the database of ground acceleration for the building structure analysis during the designing process.

Public Relations

1. General Document

- หนังสือ แผ่นดินไหวที่ควรรู้ โดย มิชิโอะ ฮาชิซูเมะ, ภาสกร ปนานนท์ และธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2556

2. Scientific Publications

2.1 Presentations in international conferences, The 6th International Conference on Applied Geophysics

- Analysis of the M_L 5.1 Chiang Mai earthquake occurring on December 12th, 2006 and its aftershocks

- Analysis of the M4.3 earthquake occurring on April 16th, 2012 in Phuket, Southern Thailand

2.2 Presentations in international conferences,The 2013 AGU Fall Meeting

- Teleseismic Receiver Functions Study of the Crustal Thickness Underneath Thailand

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG5430003

ชื่อโครงการ : การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและแผ่นดินไหววิทยา

ชื่อนักวิจัย : ภาสกร ปนานนท์ [1], เป็นหนึ่ง วานิชชัย [2], ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี [3], บุรินทร์ เวชบรรเทิง [4], สุมาลี ประจวบ [4], ปฏิญญา พรโสภิณ [1,4] และ วิศเวศ ว่องไว [1]
[1] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, [2] สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, [3] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
และ [4] กรมอุตุนิยมวิทยา

email address : fscipkp@ku.ac.th และ akeithaca@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ : พฤษภาคม 2554 ถึง เมษายน 2556

โครงการวิจัยการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและแผ่นดินไหววิทยา เป็นโครงการย่อยที่ 4 ในชุดโครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย (ระยะที่ 3) มีวัตถุประสงค์หลักในการนำข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวและข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวและสถานีตรวจวัดอัตราเร่งในประเทศไทยมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่ การศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทย ด้วยวิธี receiver function จากข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกล การคำนวณหาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านในชั้นต่างๆ ของแผ่นเปลือกโลก (crustal seismic velocity) และพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย และยังทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน เป็นต้น

จากการศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณประเทศไทยจากข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 40 สถานีทั่วประเทศ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 26.5±0.7 ถึง 40.4±2.9 กิโลเมตร และ มีค่า V_P/V_S ratio ระหว่าง 1.60±0.01 ถึง 1.85±0.03 และยังได้คำนวณ crustal velocity function ของประเทศไทยใต้สถานีวัดแผ่นดินไหวจำนวน 40 พื้นที่

สำหรับการสร้างสมการลดทอนที่เหมาะสมของประเทศไทยได้พัฒนาสมการของ Sadigh และคณะ (1997) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและดินสำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ (strike slip fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) และได้พัฒนาสมการของ Lin และ Lee (2008) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและดินสำหรับ เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab) และพบว่าค่า Vs_{30} ที่ตรวจวัดได้ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ จำนวน 24 สถานี มีค่าระหว่าง 214-899 m/s

ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ลักษณะแผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อกรุงเทพมหานครมีขนาดประมาณ 6.3 ถึง 7.3 ระยะห่างประมาณ 71 ถึง 114 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน มีขนาดประมาณ 4.5 ถึง 7.0 ระยะห่างประมาณ 0 ถึง 12 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดอื่นในภาคเหนือมีขนาดประมาณ 4.2 ถึง 6.3 ระยะห่างประมาณ 0 ถึง 18 กิโลเมตร และเมื่อพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปคตรัมที่คาบการสั่นไหวที่ยาวขึ้นเป็น 0.2 และ 1 วินาที จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น

นอกจากนี้ยังได้จัดเตรียมฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่วิศวกรสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลา (time history dynamic analysis) โดยใช้ตัวคูณปรับค่าที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยอีกด้วย

คำสำคัญ : ความหนาและความเร็วคลื่นไหวสะเทือนของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย, ความเร็วคลื่นเฉือนของประเทศไทย, สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว และฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศไทย

Abstract

Project Code : RDG5430003

Project Title : Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology

Investigators: Pananont P. [1], Wanichchai P. [2], Chintanapakdee C. [3], Wechbunthung B. [4], Prachaub S. [4], Pornsopin P. [1,4] and Wongwai W. [1]

[1] Kasetsart University, [2] Asian Institute of Technology, [3] Chulalongkorn University and [4] Thai Meteorological Department

email address : fscipkp@ku.ac.th, akeithaca@gmail.com

Project Duration : May 2011 – April 2013

The research project titled "Analysis of Recorded Earthquake Ground Motions in Thailand for Applications in Earthquake Engineering and Seismology" aims to utilize the earthquake data recorded in Thailand for applications in earthquake engineering and seismology such as studies of crustal thickness and crustal velocity underneath Thailand, attenuation model of Thailand and seismic deaggregation of Thailand.

The receiver function analysis from teleseismic data recorded by 40 seismic stations throughout Thailand yield the crustal thickness underneath Thailand between 26.5±0.7 to 40.4±2.9 km and the value of V_P/V_S ratio between 1.60±0.01 to 1.85±0.03 including 40 crustal velocity functions underneath Thailand.

The result from attenuation study of Thailand suggests that the attenuation model of Sadigh et al. (1997) with modified constants parameters is the most suitable model for Thailand for both rock and soil sites with strike slip fault and reverse fault earthquakes. In addition, the attenuation models proposed by Lin and Lee (2008) with modified constants parameters is the most suitable model for Thailand for both rock and soil sites with interface and intraslab earthquakes. The Vs_{30} values measured at 24 strong motion stations in Thailand vary between 214-899 m/s.

The deaggregation study (PGA) of the earthquake data recorded in Thailand suggests that Bangkok is the most likely to be affected by the earthquake magnitudes between 6.3-7.3 with the distance between 71-114 km. In addition, Chiang Mai, Chiang Rai and Lamphun provinces is the most likely to be affected by the earthquake magnitudes between 4.5-7.0 with the distance between 0-12 km. Kanchanaburi and other provinces in the northern Thailand is the most likely to be affected by the earthquake magnitude between 4.2-6.3 with the distance between 0-18 km. However, when considering the spectral acceleration (SA) at longer period, such as 0.2 and 1 second, all areas appear to have more effects from the larger earthquake with greater distance. In addition, this work also prepares the time series earthquake data to be used for building design in various parts of Thailand in the future.

Keywords : Crustal thickness and crustal velocity underneath Thailand, attenuation model for Thailand and strong motion database of Thailand

สารบัญ

หน้า

คำนำ

แบบสรุปโครงการวิจัย

Summary of Research

บทคัดย่อ

Abstract

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 4

1.3 ขอบเขตการวิจัย 4

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 5

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 10

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10

บทที่ 2 การหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลก **12**

2.1 บทนำ 12

2.2 วัตถุประสงค์ 12

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย 13

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 16

2.4.1 ทฤษฎีคลื่นไหวสะเทือน 16

2.4.2 ทฤษฎีและหลักการของวิธี receiver function 25

2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31

2.6 ผลการศึกษาการหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลก 37

บทที่ 3 การตรวจวัดค่า Vs_{30} **82**

3.1 บทนำ 82

3.2 วัตถุประสงค์ 82

3.3 ระเบียบวิธีวิจัย 83

3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 88

สารบัญ

		หน้า
3.5	ผลที่ได้จากงานวิจัย (ผลการคำนวณค่า Vs_{30})	99
	3.5.1 Multi – channel analysis of surface wave	99
	3.5.2 Downhole Test	128
บทที่ 4 การรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทย		**145**
4.1	ระบบเครือข่ายสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา	145
	4.1.1 ระบบเครือข่ายสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1	145
	4.1.2 ระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2	147
4.2	ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว	159
	4.2.1 รายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว	159
	4.2.2 กระบวนการแปลงข้อมูลสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่	166
	4.2.3 การปรับแก้เส้นฐานและการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว	169
	4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนไหวของพื้นดินโดยใช้โปรแกรม MATLAB	171
	4.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล	173
4.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล	175
	4.3.1 บริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลกของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	175
	4.3.2 ความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดิน	177
	4.3.3 ขนาดของแผ่นดินไหว	177
	4.3.4 ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว	178
	4.3.5 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว	180
	4.3.6 กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก	185
4.4	ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา	186
	4.4.1 ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว	186
	4.4.2 ข้อมูลบันทึกการเคลื่อนไหวของพื้นดิน	188
บทที่ 5 การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย		**204**
5.1	ทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลองการลดทอน	204
5.2	สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย	206
	5.2.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการลดทอนที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลแผ่นดินไหวประเทศไทย	207

สารบัญ

หน้า

5.2.2 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม 208
5.2.3 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดิน 256
5.2.4 สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน 263

บทที่ 6 การสร้างฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ 268
6.1 บทนำ 268
6.2 วัตถุประสงค์ 268
6.3 ระเบียบวิธีวิจัย 268
6.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 269
6.4.1 การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น 269
6.4.2 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 278
6.4.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น 280
6.4.4 การคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตาม มยผ.1302-52 282
6.5 การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว 283
6.5.1 การแยกแยะความเสี่ยงภัยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวลักษณะต่าง ๆ 283
6.6 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี 311
6.6.1 การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี 311
6.6.2 การคูณค่าคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี 314
6.7 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร 317
6.7.1 การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร 317
6.7.2 การคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร 319
6.7.3 การขยายคลื่นแผ่นดินไหวผ่านชั้นดินอ่อนโดยใช้โปรแกรม ProShake 322
6.8 สรุปผลการศึกษา 328

บทที่ 7 สรุปผลการศึกษา 331

ภาคผนวก 334

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่ได้มีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เกิดขึ้น แต่ประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมาโดยตลอด ทั้งแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ระยะไกล และแผ่นดินไหวขนาดปานกลางระยะใกล้ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาเพื่อประเมินระดับอันตราย และความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว ซึ่งจะได้จัดการเตรียมตัวรับมือแผ่นดินไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน

ในการศึกษาเพื่อประเมินระดับอันตรายและความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว สามารถทำได้หลายแบบ การทำแผนที่ระดับอันตรายแผ่นดินไหว (seismic hazard map) เป็นวิธีการสากลที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการศึกษาอันตรายจากแผ่นดินไหว ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เช่น ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดิน ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว (ขนาด ตำแหน่ง และความลึกของแผ่นดินไหว) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ของประเทศไทยยังไม่สมบูรณ์นัก เนื่องจากขาดข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญหลายอย่าง เช่น ในการคำนวณหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหวนั้นจำเป็นต้องทราบความหนาของเปลือกโลก (crustal thickness) และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) ที่เป็นข้อมูลที่สำคัญมากอย่างหนึ่งแต่การคำนวณตำแหน่งจุดกำเนิดของแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยในอดีต ไม่ทราบความหนาที่แท้จริงของเปลือกโลกและไม่ทราบความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางภายในเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ทำให้มีผลต่อความแม่นยำของการคำนวณโดยตรง ดังนั้นจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่คำนวณได้ในอดีตจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร ทำให้ไม่สามารถจัดกลุ่มแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นตามระดับความลึกหรือตามแนวธรณีสัณฐานของรอยเลื่อนได้อย่างถูกต้อง และส่งผลกระทบต่อการนำข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่คำนวณได้ไปใช้ในการคำนวณสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยต่อไป ข้อมูลพื้นฐานที่ถูกต้องจะช่วยให้การคำนวณหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประกอบกับข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ด้านอื่นๆ เพื่ออธิบายลักษณะธรณีแปรสัณฐานของแผ่นธรณี (plate tectonics) ของประเทศไทยได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ในส่วนของการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินบริเวณประเทศไทย เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนของพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยตรง แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ ทำให้สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดินเกือบทั้งหมดที่ติดตั้งในประเทศตั้งอยู่บนพื้นดินที่ไม่ใช่หิน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าชั้นตะกอนดินที่หนาโดยเฉพาะชั้นดินอ่อน สามารถขยายขนาดการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้ที่บางย่านความถี่ และอาจลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่บางย่านความถี่ ทำให้คลื่นที่เดินทางผ่านชั้นดินแตกต่างจากที่คลื่นที่อยู่ในหิน ทั้งในแง่ของขนาดของคลื่นและองค์ประกอบความถี่ ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณใกล้ผิวดิน (local site effect) การศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวและสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่รอบคอบจำเป็นต้องแยกแยะผลกระทบเนื่องจากชั้นดินตามแต่ละประเภทของชั้นดิน จึงมีความจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะของชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัด ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ในการจำแนกประเภทของชั้นดิน หินหรือ ดินแข็ง จะมีความเร็วคลื่นสูงกว่าชั้นดินอ่อน การสำรวจและตรวจวัดค่า Vs_{30} ทำได้หลายวิธี เช่น crosshole test, downhole test และ Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)

ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลกจากคลื่นแผ่นดินไหวโดยนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลก แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเรื่องดังกล่าวโดยละเอียดลึกซึ้ง สาเหตุประการที่สำคัญเกิดจากการขาดแคลนงบประมาณที่ใช้ในการจัดหาอุปกรณ์เพื่อบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวและขาดผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการศึกษาด้านนี้ ประกอบกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง มีภารกิจหลักที่ให้ความสำคัญกับผลกระทบของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นต่อประชาชนเป็นส่วนใหญ่ เช่น การรายงานตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (epicenter) ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) และหน่วยงานเหล่านี้ยังมีภารกิจหลักอื่นๆ ที่ต้องรับผิดชอบเป็นจำนวนมาก จึงยังไม่ได้นำข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีอยู่มาใช้ประโยชน์ในเชิงวิจัยมากนัก ทำให้เราขาดข้อมูลสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำเพื่อการคำนวณศูนย์กลางแผ่นดินไหวของประเทศไทย

เนื่องจากในปัจจุบัน กรมอุตุนิยมวิทยาและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวในบริเวณต่างๆ ของประเทศเพิ่มขึ้น ทำให้เราเริ่มมีข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกโดยหน่วยงานเหล่านี้มากขึ้นด้วย คณะวิจัยจึงมีความเห็นว่าถึงเวลาสำหรับการศึกษาความหนาของเปลือกโลกและการศึกษาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางในชั้นต่างๆ ของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยอย่างละเอียดและจริงจัง เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำมากขึ้น และใช้ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง อีกทั้งยังเป็นการริเริ่มเพื่อพัฒนาการศึกษาคุณลักษณะของเปลือกโลกของประเทศไทยด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดินทำให้สามารถแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้และนำไปสู่การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกต้องต่อไป

ในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยที่ผ่านมา ยังไม่มีสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่สร้างสำหรับพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยเฉพาะ จึงต้องใช้สมการที่พัฒนาขึ้นในต่างประเทศ ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดิน ซึ่งพัฒนามาจากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ประเทศต่างๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไต้หวัน ตุรกี ซึ่งอาจมีสภาพทางธรณีวิทยาและธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างจากบริเวณประเทศไทย สมการเหล่านั้นมีอยู่หลายสมการซึ่งเสนอโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ค่าจากแต่ละสมการก็แตกต่างกันมากพอสมควร ซึ่งการเลือกใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจากต่างประเทศมาประมาณความรุนแรงแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยอาจมีความคลาดเคลื่อน ถ้าได้แผนที่เสี่ยงภัยที่ให้ค่าต่ำเกินไปอาจทำให้กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารต่ำกว่าความเป็นจริง ทำให้อาคารมีความแข็งแรงไม่เพียงพอและมีโอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติร้ายแรง แต่ถ้าให้ค่าที่สูงเกินไปก็จะทำให้การออกแบบอาคารในประเทศไทยแข็งแรงเกินความจำเป็น เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและทรัพยากรของประเทศ จึงสมควรที่จะทำการศึกษาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกได้จริงบริเวณประเทศไทย

Chintanapakdee et al. (2008) ได้ศึกษาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย แต่ขณะนั้นยังไม่มีข้อมูลที่บันทึกได้บริเวณประเทศไทยมากพอที่จะสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวขึ้นสำหรับประเทศไทยได้ จึงเพียงศึกษาว่าสมการที่มีอยู่ในต่างประเทศชุดใด ที่สามารถทำนายความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวได้ใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จริงบริเวณประเทศไทยมากที่สุด ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย ในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302-52) ฉบับล่าสุด ขณะนี้ได้มีการบันทึกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวได้มากขึ้นแล้ว จึงสมควรที่จะทำการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย ซึ่งอาจจะใช้ข้อมูลที่บันทึกได้บริเวณประเทศพม่าประกอบด้วย หากพบว่าสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่พัฒนาขึ้นใหม่ให้ค่าที่แตกต่างจากเดิมที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย นักวิจัยที่เกี่ยวข้องก็จะได้สามารถปรับปรุงแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้มีความถูกต้องและเหมาะสมกับประทศไทยมากขึ้น

สืบเนื่องจากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1302-52) ได้กำหนดให้วิศวกรต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูง และอาคารที่มีความสำคัญภายใต้ผลกระทบจากแผ่นดินไหวให้มีความสมจริง โดยใช้อัตราเร่งของพื้นดินเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวกระทำต่อโครงสร้างและทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลา เพื่อให้มั่นใจว่าอาคารที่ถูกออกแบบและก่อสร้างจะมีความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวจริง แต่ทว่าในปัจจุบันวิศวกรในประเทศไทยยังไม่มีความรู้ความเข้าใจเพียงพอในการเลือกใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่จะนำไปกระทำต่อโครงสร้าง และยังไม่มีฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก จึงสมควรที่โครงการวิจัยนี้จะได้จัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับการออกแบบอาคารในแต่ละพื้นที่ ให้วิศวกรสามารถนำไปใช้ได้จริง และสมควรที่จะจัดทำเป็นฐานข้อมูลที่วิศวกรสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างสะดวกและถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวและข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวและสถานีตรวจวัดอัตราเร่งของโครงข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทย ด้วยวิธี receiver function โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำมากขึ้น และเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทย

1.2.2 เพื่อคำนวณหาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน ที่เดินทางผ่านในชั้นต่าง ๆ ของแผ่นเปลือกโลก (crustal seismic velocity) ในบริเวณนี้ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะเป็นองค์ความรู้ใหม่ส่วนหนึ่งสำหรับคุณลักษณะของเปลือกโลก (crustal property) ในบริเวณประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมาก ร่วมกับข้อมูลความหนาของเปลือกโลก ที่จะช่วยให้การคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียงให้มีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำมากขึ้น และทำให้การประเมินความเสี่ยงภัยอันตรายจากแผ่นดินไหวของประเทศไทยมีความถูกต้องมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมากในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทย

1.2.3 เพื่อตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดที่มีผลต่อค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้และนำไปสู่การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศที่ถูกต้องต่อไป

1.2.4 เพื่อพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดินได้แก่ อัตราเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด การกระจัดสูงสุด และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทย

1.2.5 เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่วิศวกรสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การคำนวณหาความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านในชั้นต่าง ๆ ของแผ่นเปลือกโลกในบริเวณประเทศไทย ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกข้อมูลได้ ซึ่งติดตั้งอยู่ตามภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยใช้วิธี receiver function

1.3.2 การตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) โดยใช้วิธี MASW ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ ประมาณ 10 พื้นที่ โดยเลือกตรวจวัดที่สถานีที่มีข้อมูลแผ่นดินไหวจำนวนมาก เป็นข้อมูลจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบมากต่อประเทศไทยและทำการตรวจวัดด้วยวิธี downhole test ประมาณ 4 พื้นที่เพื่อใช้เปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของผลการตรวจวัด

1.3.3 การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจะสร้างสมการสำหรับประมาณค่า อัตราเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด การกระจัดสูงสุด และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) และใช้ข้อมูลที่บันทึกได้บริเวณประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน ถ้ามีข้อมูล

1.3.4 การสร้างฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับให้วิศวกรใช้ในการออกแบบอาคาร จะใช้คลื่นแผ่นดินไหวจากทั้งในและต่างประเทศ เพราะคลื่นที่บันทึกได้ในประเทศไทยอาจยังไม่ครอบคลุมทุกรูปแบบสถานการณ์ ในเชิงขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด แต่การเลือกคลื่นแผ่นดินไหวจะคำนึงถึงสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ที่ประเทศไทย

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.4.1 รวบรวมข้อมูลเก่าที่มีอยู่เดิม เพื่อหาแนวทางการศึกษาวิจัยและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยจะเน้นที่เรื่องการคำนวณหาความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านเปลือกโลก โดยวิธี receiver function

1.4.2 รวบรวมและคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระยะไกลที่สามารถใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ความเร็วและอัตราเร่งของพื้นดินที่สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาบันทึกได้

1.4.3 ทำการติดตั้งโปรแกรมต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ เช่น Linux, GMT และ REFUNC เป็นต้น

1.4.4 ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา แบบ receiver function อย่างละเอียด รวมทั้งทดลองใช้โปรแกรมเพื่อทดสอบการคำนวณหาของชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก จากข้อมูลตัวอย่าง

1.4.5 คำนวณหาความหนา (crustal thickness) และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) ในประเทศไทย จากข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลที่ถูกบันทึกโดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งติดตั้งอยู่ที่จังหวัดต่างๆ โดยครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออก ตะวันตก และภาคใต้ ของประเทศไทยทั้งประเทศ

1.4.6 จัดทำแผนที่แสดงความหนาของเปลือกโลกและสร้างแบบจำลองความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลกในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทย

1.4.7 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่าง ๆ ด้วยวิธี MASW ประมาณ 10 พื้นที่ และด้วยวิธี downhole test ประมาณ 4 พื้นที่ พร้อมทั้งจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดินในบริเวณที่มีการเจาะหลุมสำรวจเพื่อวัดความเร็วคลื่นเฉือนโดยวิธี downhole test เพื่อใช้แยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดินที่มีต่อการสั่นไหวที่ผิวดินโดยจะคัดเลือกจากพื้นที่ที่มีสถานีติดตั้งอยู่ในแอ่งตะกอนอายุน้อยและอยู่ใกล้ชุมชนขนาดใหญ่

1.4.8 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่าง ๆ ของเปลือกโลกในประเทศไทย กับลักษณะการแปรธรณีสัณฐานของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ประมวลและสรุปผลการศึกษา

1.4.9 แยกแยะข้อมูลความเร็วและอัตราเร่งที่บันทึกได้ตามลักษณะชั้นดินของที่ตั้งสถานีที่คลื่นถูกบันทึกมา และคัดแยกข้อมูลตามกลไกการเกิดแผ่นดินไหวพร้อมทั้งคำนวณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นในช่วง 0 ถึง 5 วินาที

1.4.10 ทำการวิเคราะห์การถดถอยทางสถิติ regression analysis เพื่อพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว (attenuation equation) สำหรับประมาณความรุนแรงของการสั่นไหว เช่น อัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Velocity, PGV) การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Displacement, PGD) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Spectral Acceleration, Sa)

1.4.11 รวบรวมข้อมูลการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่พื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศไทย เช่น ข้อมูลที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย เพื่อกำหนดลักษณะสถานการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหว และระยะห่างจากจุดกำเนิด

1.4.12 คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่เช่น ในจังหวัดต่าง ๆ ที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว

1.4.13 ทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคาร เพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปกระทำต่ออาคารในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1302-52)

1.4.14 จัดทำฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่คูณปรับค่าให้เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์และออกแบบอาคาร

1.4.15 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1.1 แผนกิจกรรมหลักที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมหลัก	กิจกรรมรอง	ช่วงระยะเวลาดำเนินการ	จำนวนวันที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ
(1) เพื่อศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทย ด้วยวิธี receiver function และ (2) คำนวณหาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน ที่เดินทางผ่านในชั้นต่างๆ ของแผ่นเปลือกโลก (crustal seismic velocity) ในประเทศไทย	1-2.1 รวบรวมข้อมูลเก่าที่มีอยู่เดิม เพื่อหาแนวทางการศึกษาวิจัยและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยจะเน้นที่เรื่องการคำนวณหาความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านเปลือกโลก โดยวิธี receiver function	1-2.1.1 ทำการติดตั้งโปรแกรมต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ เช่น Linux, GMT, REFUNC เป็นต้น 1-2.1.2 ศึกษาและและพัฒนาโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา แบบ receiver function อย่างละเอียด รวมทั้งทดลองใช้โปรแกรมเพื่อทดสอบการคำนวณหาของชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก จากข้อมูลตัวอย่าง	มิย. 54–มีค. 55	240	ภาสกร
	1-2.2 รวบรวมและคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระยะไกลที่สามารถใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ความเร็ว และอัตราเร่งของพื้นดิน ณ สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ของกรมอุตุนิยมวิทยาที่บันทึกได้		มิย. 54–มีค. 56	660	สุมาลี/บุรินทร์

	1-2.3 คำนวณหาความหนา (crustal thickness) และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) ในประเทศไทย จากข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลที่ถูกบันทึกโดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ที่ติดตั้งไว้ตามจังหวัดต่างๆ ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออก ตะวันตก และภาคใต้ ของประเทศไทยทั้งประเทศ	1-2.3.1 จัดทำแผนที่แสดงความหนาของเปลือกโลกและสร้างแบบจำลองความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลกในบริเวณต่างๆ ของไทย วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลกในไทย กับลักษณะการแปรธรณีสัณฐานของไทยและบริเวณใกล้เคียง ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ประมวลผล และสรุปผลการศึกษา	กค. 55–มีค. 56	270	ภาสกร
(3) เพื่อตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตรจากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดที่มีผลต่อค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้	3.1 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ด้วยวิธี MASW ประมาณ 10 พื้นที่ และด้วยวิธี downhole ประมาณ 4 พื้นที่ พร้อมทั้งจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาของใช้ดินในบริเวณที่มีการเจาะหลุมสำรวจเพื่อวัดความเร็วคลื่นเฉือนโดยวิธี downhole เพื่อใช้แยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดินที่มีต่อการสั่นไหวที่ผิวดินโดยจะคัดเลือกจากพื้นที่ที่มีสถานีติดตั้งอยู่ในแอ่งตะกอนอายุน้อยและอยู่ใกล้ชุมชนขนาดใหญ่	3.1.1 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ด้วยวิธี MASW ประมาณ 10 พื้นที่ 3.1.2 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ด้วยวิธี downhole ประมาณ 4 พื้นที่	ธค. 54-พค. 55 ธค. 54-พค. 55	180 180	ภาสกร ฉัตรพันธ์

(4) เพื่อพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดินได้แก่ อัตราเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด การกระจัดสูงสุด และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทย	4.1 แยกแยะข้อมูลความเร็วและอัตราเร่งที่บันทึกได้ตามลักษณะชั้นดินของที่ตั้งสถานีที่คลื่นถูกบันทึก และคัดแยกข้อมูลตามกลไกการเกิดแผ่นดินไหวพร้อมทั้งคำนวณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นในช่วง 0 ถึง 5 วินาที		มิย. 55–ธค. 55	180	ฉัตรพันธ์
	4.2 ทำการวิเคราะห์การถดถอยทางสถิติ regression analysis และพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประมาณความรุนแรงของการสั่นไหว (attenuation equation) เช่น อัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Acceleration, PGA) ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Velocity, PGV) การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (Peak Ground Displacement, PGD) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Spectral Acceleration, SA)		มิย. 55–ธค. 55	180	ฉัตรพันธ์
(5) เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่วิศวกรนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว	5.1 รวบรวมข้อมูลการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวพื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทย เช่น ข้อมูลที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย เพื่อกำหนดลักษณะสถานการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหว และระยะห่างจากจุดกำเนิด	5.1.1 คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่เช่น ในจังหวัดต่างๆ ที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว	มค. 56–พค. 56	180	ฉัตรพันธ์

	5.2 ทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคาร เพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปกระทำต่ออาคารในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1302-52) โดยมีทั้ง 2 ทิศทางในแนวราบ	5.2.1 จัดทำฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่คูณปรับค่าให้เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์และออกแบบอาคาร	มค. 56–พค. 56	180	ฉัตรพันธ์

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่จะใช้ในงานวิจัยที่มีอยู่ในหน่วยงานต้นสังกัดภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่

1.5.1 ชุดตรวจวัดแผ่นดินไหว แบบ 3 แกน (3 components seismometer)

1.5.2 ชุดเครื่องมือสำรวจเพื่อวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30})

อุปกรณ์และข้อมูลที่จะใช้ในโครงการวิจัยที่จะต้องทำการจัดหามาเพิ่ม ได้แก่

1.5.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะจัดซื้อใหม่จำนวน 3 เครื่อง พร้อมอุปกรณ์ประกอบ

1.5.4 โปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาด้วยวิธี receiver function เช่น Linux, GMT, REFUNC และ MATLAB

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบความหนาของเปลือกโลก (crustal thickness) และมีแบบจำลองความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) ในบริเวณต่างๆ ของประเทศ โดยครอบคลุมทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น ของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถแจ้งข่าวสารข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นให้ประชาชนทราบอย่างรวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งช่วยเตือนภัยให้ประชาชนได้มีโอกาสรับมือกับผลกระทบที่เกิดจากแผ่นดินไหวและลดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้ และเพื่อการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ยังเป็นการริเริ่มและพัฒนาการศึกษาคุณลักษณะของเปลือกโลกของประเทศไทยด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

1.6.2 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก กับลักษณะการแปรธรณีสัณฐานของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง ว่ามี

ความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สนับสนุนการทดสอบสมมติฐานทฤษฎี ธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง

1.6.3 ทราบความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ และทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้และนำไปสู่การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกต้องต่อไป

1.6.4 เป็นแหล่งความรู้พื้นฐานและโครงการนำร่อง (pilot project) ในการศึกษาคุณลักษณะของเปลือกโลกของประเทศไทย ของบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ

1.6.5 ทำให้สามารถประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดินได้อย่างน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย

1.6.6 ทำให้การศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมีความถูกต้องมากขึ้น

1.6.7 ทำให้วิศวกรสามารถออกแบบโครงสร้างได้สอดคล้องหรือเหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย โดยมีความแข็งแรงและปลอดภัยในระดับที่ต้องการผลงานวิจัยสามารถนำเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติได้เมื่อสิ้นสุดการศึกษา

บทที่ 2
การหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลก

2.1 บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วโลก ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้มาก ในการศึกษาประเมินระดับอันตรายและความเสี่ยงจากแผ่นดินไหว สามารถทำได้หลายรูปแบบ ซึ่งการทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (seismic hazard map) เป็นวิธีการสากลที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดิน ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว เป็นต้น ในการคำนวณหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหวนั้น จำเป็นต้องทราบความหนาของเปลือกโลก (crustal thickness) และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่าง ๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) เข้ามาพิจารณาประกอบด้วย แต่การคำนวณหาจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยในปัจจุบันนั้น ยังใช้ข้อมูลความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกที่เป็นค่าเฉลี่ยมาตรฐานของทั้งโลกอยู่ ซึ่งไม่ได้ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่เดินทางผ่านประเทศไทยมากนัก เช่น โมเดล CRUST 2.0 (Bassin et al. 2000) CRUST 5.1 (Mooney et al. 1998) เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่ทราบความหนาที่แท้จริงของเปลือกโลกและไม่ทราบค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ทำให้มีผลต่อความแม่นยำของการหาตำแหน่งศูนย์กลางของการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณประเทศไทยโดยตรง

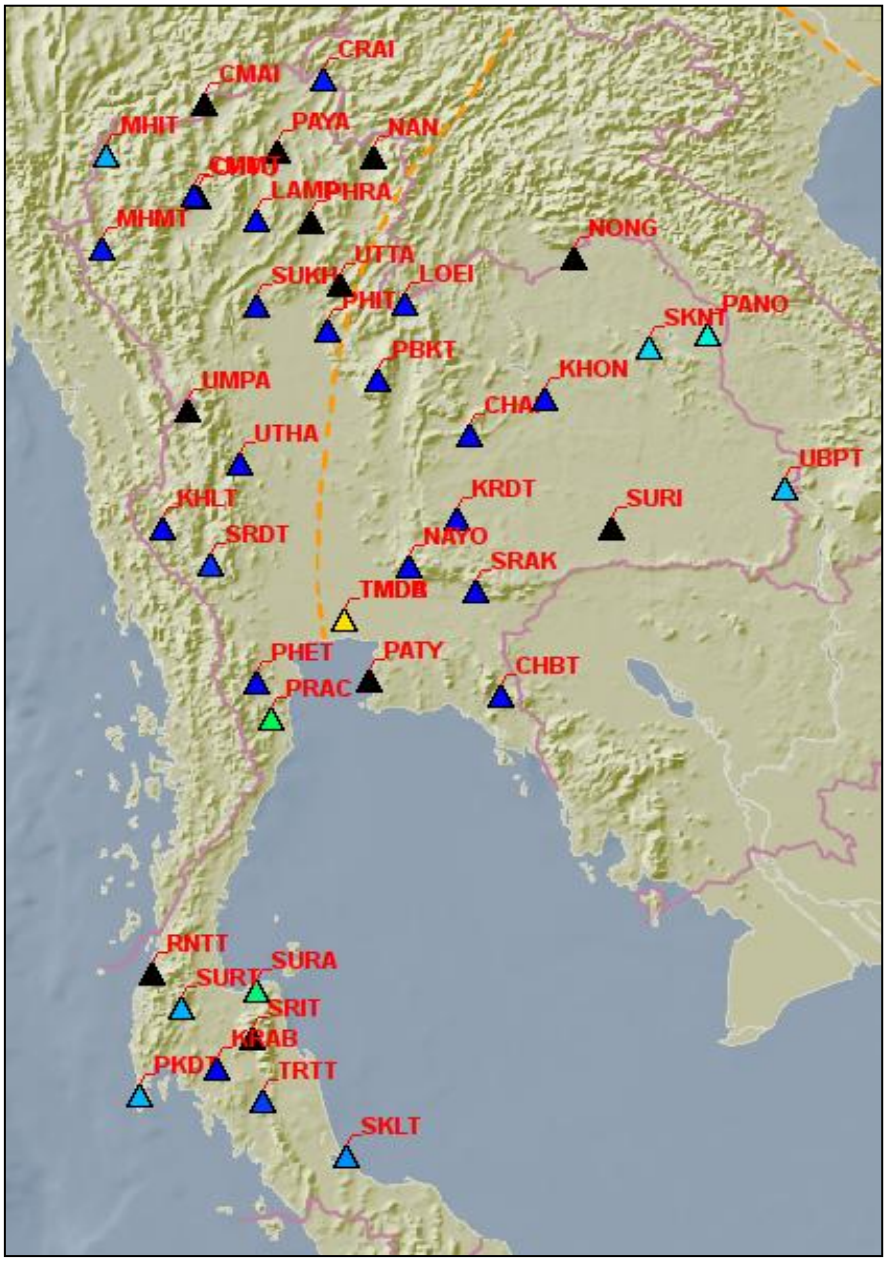
2.2 วัตถุประสงค์

2.2.1 เพื่อศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทย ด้วยวิธี receiver function โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับการคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น และเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทย

2.2.2 เพื่อคำนวณหาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน ที่เดินทางผ่านในชั้นต่าง ๆ ของแผ่นเปลือกโลก (crustal seismic velocity) ในบริเวณนี้ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะเป็นองค์ความรู้ใหม่ส่วนหนึ่งสำหรับคุณลักษณะของเปลือกโลก (crustal property) ในบริเวณประเทศไทย ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมาก ร่วมกับข้อมูลความหนาของเปลือกโลก ที่จะช่วยให้การคำนวณหาศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น ทำให้การประเมินความเสี่ยงและอันตรายจากแผ่นดินไหวของประเทศไทยมีความถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมาก ในการศึกษาธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่นของประเทศไทย

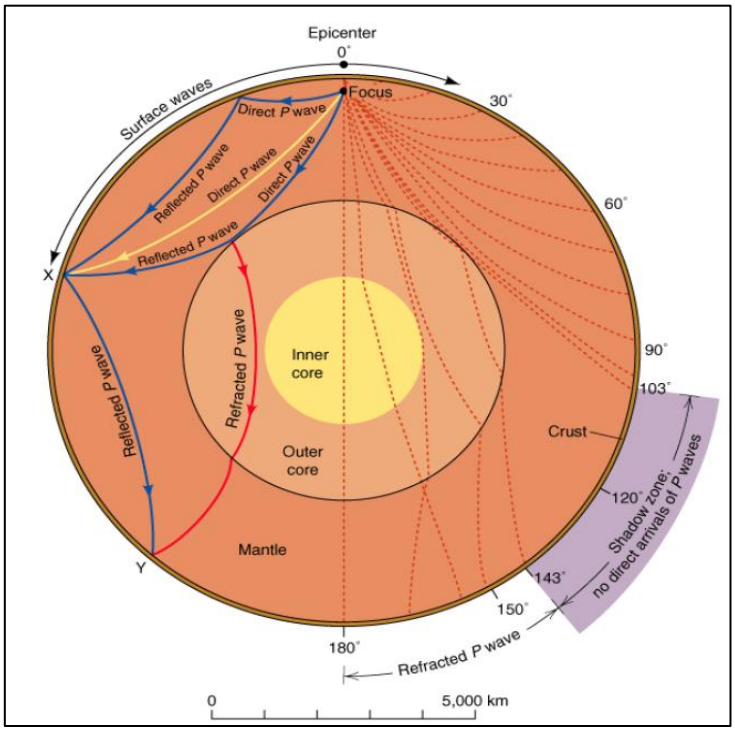
2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

ในการหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว (seismogram) ของสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว (seismic station) ทั่วประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา มีสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอล 41 แห่ง ทั่วประเทศไทย ดังรูปที่ 2.1 และทำการบันทึกข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง

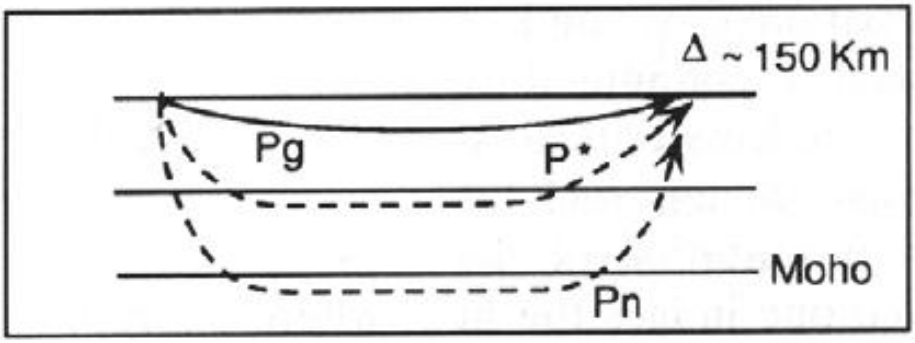


รูปที่ 2.1 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 41 สถานี

พิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่น P ภายในโลก พบว่าในช่วง 103°-143° จากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว จะไม่สามารถตรวจวัดคลื่น P ได้ (shadow zone) ส่วนในช่วง 143°-180° จากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว จะตรวจวัดคลื่น P ได้ ซึ่งเป็นคลื่นที่เกิดจากการหักเหผ่านชั้นต่าง ๆ ของโลกซึ่งมีความซับซ้อนของคลื่นมาก ดังรูปที่ 2.2 และสำหรับในช่วง 0°-30° จากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว การตรวจวัดคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลก ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกล (teleseismic) ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไปในช่วงระยะห่าง 30°- 90°จากสถานีตรวจวัด

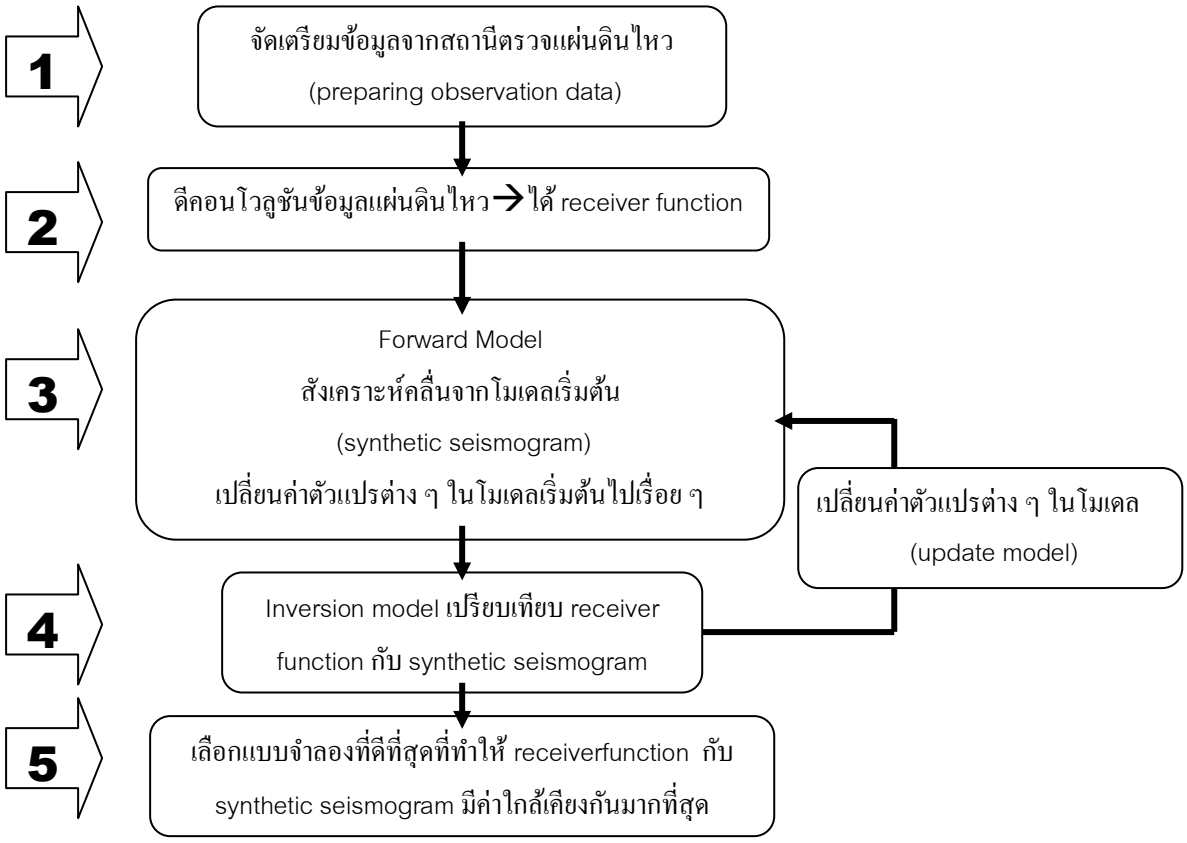


รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของคลื่น P จากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลก (John Wiley and Sons,1999)



รูปที่ 2.3 คลื่น P ที่เกิดจากการสะท้อนบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอกในช่วง 0°-30° จากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ขั้นตอนในการคำวณหาความหนาของเปลือกโลก และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลกโดยวิธี receiver function มี 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการคำนวณหาความหนาของเปลือกโลก และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลกโดยวิธี receiver function

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> จัดเตรียมข้อมูลจากสถานีตรวจแผ่นดินไหว

- ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้มามีรูปแบบเป็น SEED (The Standard for the Exchange of Earthquake Data) ต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ SAC (Seismic Analysis Code) เพื่อให้ใช้กับโปรแกรม SAC2000 และ GSAC ได้
- เพิ่มข้อมูลสถานีตรวจแผ่นดินไหวลงในข้อมูล SAC เช่น ตำแหน่งสถานี (latitude, latitude, elevation)
- เพิ่มข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวลงในข้อมูล SAC ของแต่ละสถานี เช่นจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว (ละติจูด ลองจิจูด ความลึก และวันเวลาที่เกิด)

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ดีคอนโวลูชันข้อมูลแผ่นดินไหว

- ทำการดีคอนโวลูชันข้อมูลที่ตรวจวัดได้ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของเครื่องมือวัดแผ่นดินไหว
- หน่วยของข้อมูลคลื่นจากเครื่องมือจะมีค่าเป็น count ต้องแปลงหน่วยให้เป็น m/s
- ได้ receiver function ของแต่ละสถานี

ขั้นตอนที่ 3 Forward Model

- สร้างแบบจำลองเริ่มต้นของเปลือกโลก
- สังเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหว (synthetic seismogram) ของแต่ละสถานี จากแบบจำลองเริ่มต้นของเปลือกโลก

ขั้นตอนที่ 4 Inversion Model

- เปรียบเทียบข้อมูลคลื่นที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแบบจำลองเริ่มต้นของเปลือกโลก กับคลื่น receiver function
- ปรับแก้ค่าตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลองเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 5 เลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดที่ทำให้ receiver function กับคลื่นที่ได้จากการสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

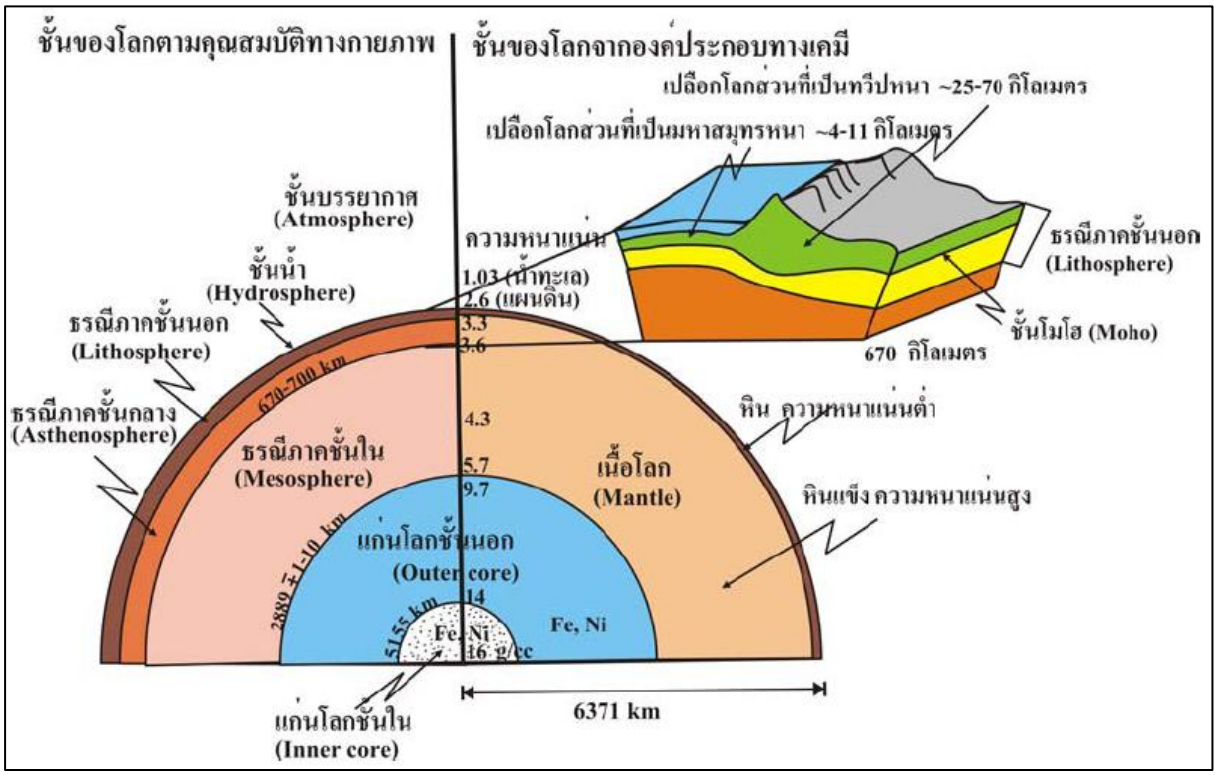
งานวิจัยส่วนนี้จะใช้เทคนิคของ receiver function ในการคำนวณหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกบริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทย การที่จะทำความเข้าใจกับวิธี receiver function นั้น จำเป็นต้องทราบพื้นฐานของคลื่นแผ่นดินไหว และธรณีฟิสิกส์เพื่อที่จะสามารถแปลความหมายใต้ผิวดิน จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ในการศึกษาเพื่อสำรวจส่วนต่างๆ ที่ซ่อนอยู่ใต้ผิวโลก หรือองค์ประกอบของโลก ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาในส่วนของเปลือกโลก (crust) เนื้อโลก (mantle) แก่นโลก (core) ชั้นดิน ชั้นหิน หรืออื่นๆ ที่อยู่ภายใต้ผิวดิน โดยอาศัยหลักการที่ว่า วัตถุต่างชนิดกันย่อมมีคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ที่แตกต่างกัน

วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์มีหลายวิธี เช่น การสำรวจวัดสนามแม่เหล็ก (magnetic) การสำรวจวัดค่าความเร่งโน้มถ่วง (gravity) การสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) การสำรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) การสำรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสี (radioactive) การสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือน (seismic) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือน เพราะเป็นวิธีการที่ไม่ยากนัก เพราะมีข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวอยู่แล้ว อีกทั้งการใช้คลื่นแผ่นดินไหวสามารถสำรวจลึกลงไปใต้ผิวโลกได้มาก

2.4.1 ทฎษฎีคลื่นไหวสะเทือน

โครงสร้างของโลก

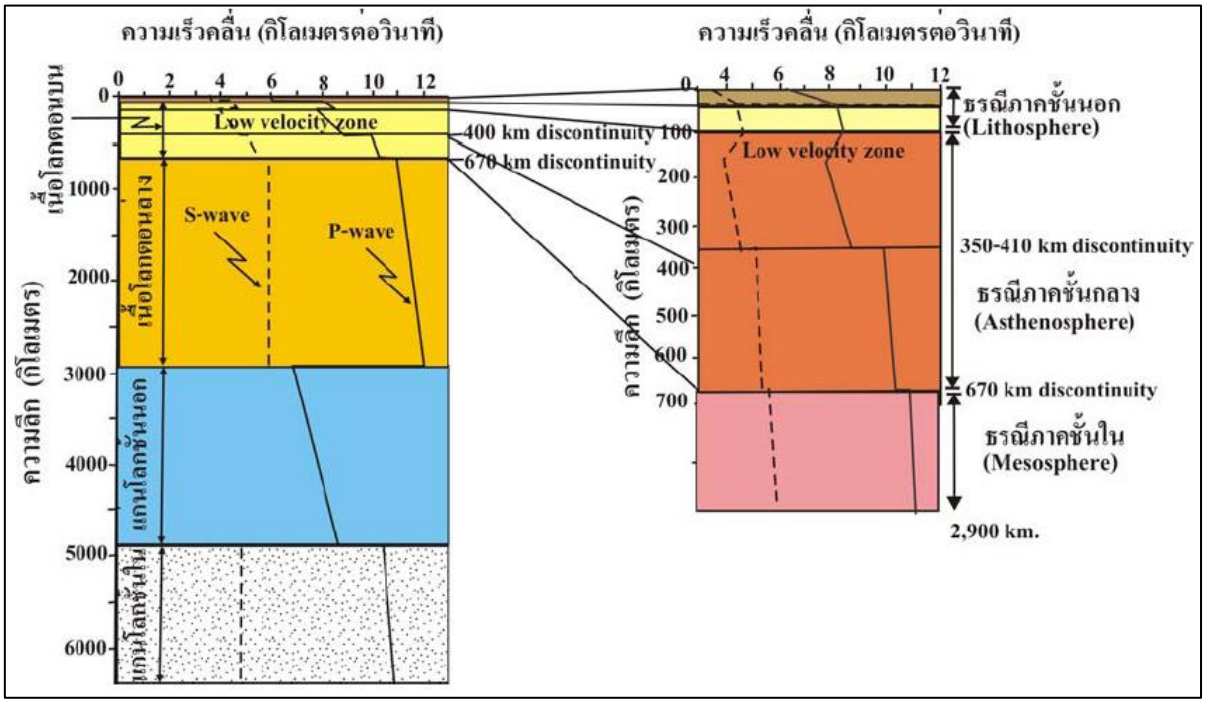
เพื่อที่จะเข้าใจวิธี receiver function จำเป็นต้องรู้พื้นฐานของโครงสร้างของโลก (earth structure) และคลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) โดยโครงสร้างของโลกได้ถูกศึกษามานานกว่า 200 ปีแล้วโดยอาศัยข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน (seismic signal) ซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่เกิดจากแผ่นดินไหว โครงสร้างของโลกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ (1) ประเภทที่แบ่งโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ (physical/mechanical properties) และ (2) ประเภทที่แบ่งโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างภายในของโลกแบ่งโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) และแบ่งโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) โดยที่องค์ประกอบทางกายภาพลึกสุดคือธรณีภาคชั้นในโดยมีฐานอยู่ที่แก่นโลกชั้นนอกตามการแบ่งโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี (ภาพปรับปรุงต่อจาก Monroe et al., 2007)

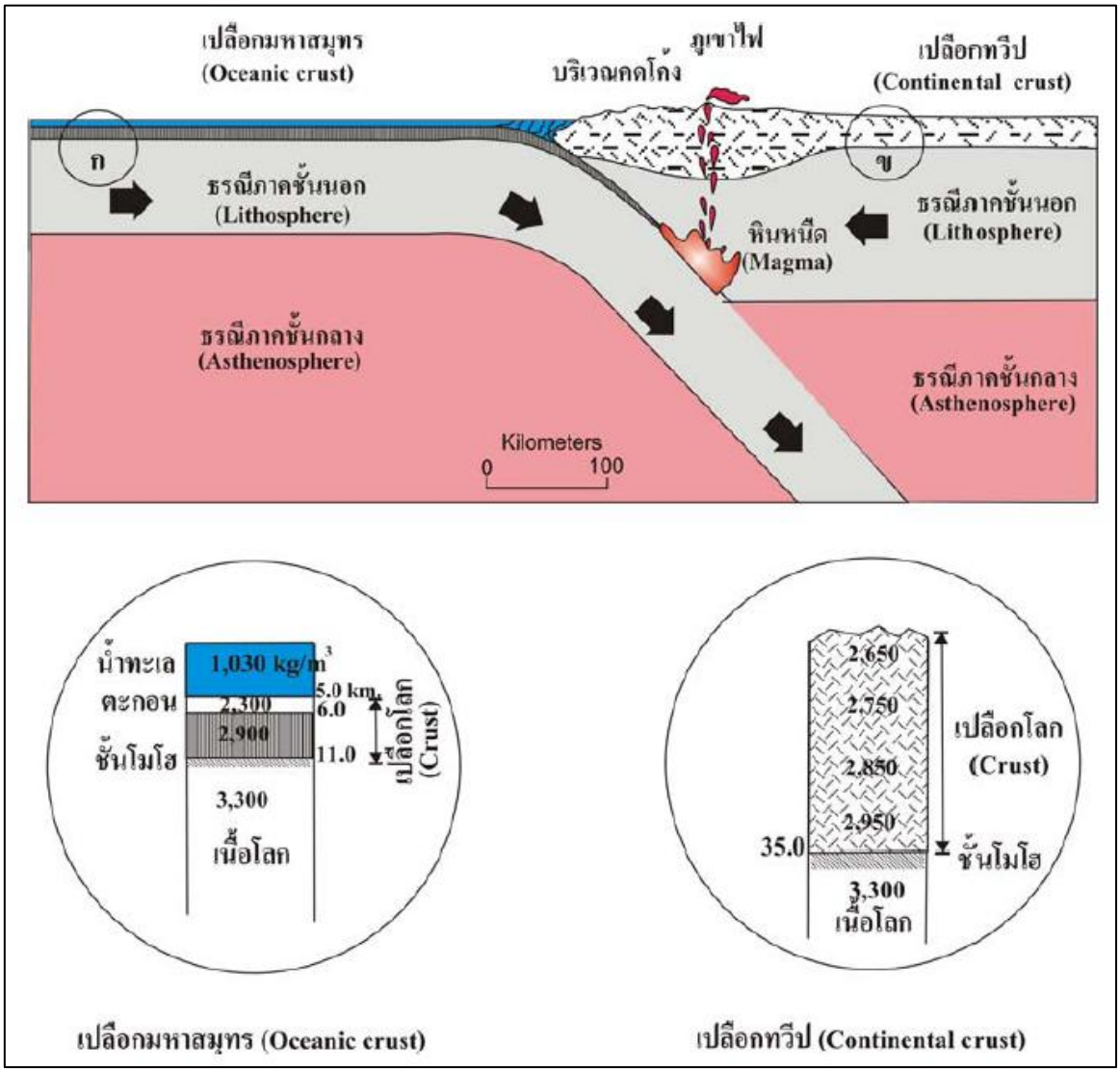
ประเภทที่แบ่งโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) แบ่งโครงสร้างภายในของโลกออกเป็น 3 ชั้นใหญ่ๆ คือเปลือกโลก (crust) เนื้อโลก (mantle) และแก่นโลก (core) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ตรงรอยระหว่างเปลือกโลกและเนื้อโลกเรียกว่า ***"ชั้นความไม่ต่อเนื่องโมโฮโรวิกซิก (Mohorovicicdiscontinuity) "*** หรือเรียกสั้นๆ ว่า***"ชั้นโมโฮ (Moho) "***

โครงสร้างภายในของโลก 3 ชั้นแบ่งได้จากการแปลความหมายหาความเร็วของคลื่นหักเหและคลื่นสะท้อน (refracted and reflected seismic waves) ที่เคลื่อนผ่านชั้นต่างๆ ภายในโลกภายใต้ความลึกใดๆ เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านฟิสิกส์ของคลื่นเพื่อศึกษาหาโครงสร้างภายในของโลกที่ตาเปล่ามองไม่เห็น โดยศึกษาหาค่าความเร็วคลื่นเฉลี่ยของชั้นแต่ละชั้นและค่าความลึกของแต่ละชั้นซึ่งสองค่ามีความสัมพันธ์กันเมื่อค่าใดค่าหนึ่งสูงอีกค่าจะต่ำและทั้งสองค่าเป็นค่าที่ไม่ทราบดังนั้นจึงต้องสร้างรูปจำลองขึ้นมาเพื่อพยายามหาคำตอบให้สอดคล้องกับข้อมูลที่วัดได้สำหรับค่าความเร็วคลื่นที่เคลื่อนผ่านชั้นต่างๆ ภายในโลกแสดงในรูปที่ 2.6 การแบ่งโครงสร้างของโลกตามองค์ประกอบทางเคมีจัดเป็นการแบ่งของนักธรณีฟิสิกส์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายในของโลกและค่าความเร็วคลื่นปฐมภูมิ (primary wave หรือ P-wave) และคลื่นทุติยภูมิ (secondary wave หรือ S-wave) คลื่นทุติยภูมิไม่เดินทางในของเหลว ดังนั้นการที่แก่นโลกชั้นนอกมีค่าความเร็วคลื่นทุติยภูมิเป็นศูนย์นั่นคือแก่นโลกชั้นในเป็นของเหลว (ภาพปรับปรุงต่อจาก Lay and Wallace, 1995 และ Monroe et al., 2007)

สำหรับการแบ่งโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางกลศาสตร์ (physical/mechanical properties) หรือวิทยากระแส (rheology) เป็นการแบ่งของนักธรณีวิทยา ซึ่งแบ่งเป็นชั้นๆ ตามคุณสมบัติของทางกลศาสตร์ของการไหลซึ่งแบ่งโครงสร้างใต้ผิวดินของโลกออกเป็น 3 ชั้นได้แก่ธรณีภาคชั้นนอก (lithosphere) ธรณีภาคชั้นกลาง (asthenosphere) และธรณีภาคชั้นใน (mesosphere) โดยที่ธรณีภาคชั้นกลางจะเคลื่อนที่ได้ระหว่างธรณีภาคชั้นนอกและธรณีภาคชั้นในที่มีค่าความแข็งแรงของแร่องค์ประกอบมากกว่าขอบเขตและความลึกของแต่ละชั้นแตกต่างจากการแบ่งโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมีซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อแตกต่างทั้ง 2 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของแผ่นธรณีส่วนที่เป็นทวีป (continental plate) และแผ่นธรณีส่วนที่เป็นมหาสมุทร (oceanic plate) (ภาพปรับปรุงต่อจาก Plummer and McGeary, 1991)

(1) เปลือกโลก (crust)

เปลือกโลกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

- เปลือกโลกส่วนที่เป็นมหาสมุทร (oceanic crust) หนาประมาณ 4 ถึง 11 กิโลเมตรมีความหนาแน่น (density) เฉลี่ยประมาณ 2,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เปลือกโลกส่วนที่เป็นมหาสมุทรประกอบด้วยธาตุซิลิคอนและแมกนีเซียมเรียกย่อว่าไซมา (Sima) มาจาก silicon+ magnesium

- เปลือกโลกส่วนที่เป็นทวีป (continental crust) มีความหนาประมาณ 25 ถึง 70 กิโลเมตรมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเปลือกโลกส่วนที่เป็นทวีปประกอบด้วยซิลิคอนและอะลูมิเนียมเรียกย่อว่าไซอัล (Sial) มาจาก silicon + aluminum

(2) เนื้อโลก (mantle)

เนื้อโลก (mantle) เป็นส่วนที่มีปริมาตรมากที่สุดของโลก ประกอบด้วยหินที่มีแร่ซิลิคอน เหล็ก แมกนีเซียม และอะลูมิเนียมเช่นเดียวกับเปลือกโลกแต่การจับผลึกแตกต่างกันทำให้ได้เนื้อหินแตกต่างกันหินในเนื้อโลกได้แก่ หินเพริโดไทต์ (peridotite) เอโคไจต์ (ecogite) และแร่จำพวกเพเรฟสไคต์ (perovskite) ซึ่งแร่ที่จัดว่าเป็นจำพวกเพเรฟสไคต์คือแร่ที่มีการจัดโครงสร้างใหม่ให้อยู่ในรูปของโครงสร้างอะตอมแบบ ABC_3 ทำให้โครงสร้างอะตอมมีการเกาะกันแน่นมากขึ้นแร่จะมีค่าความหนาแน่น (density) เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความเร็วคลื่น (velocity) เพิ่มมากขึ้นหรือค่าความแข็งแรง (strength) เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของแร่ที่จัดเป็นจำพวกเพเรฟสไคต์เช่น แคลเซียมไททาเนียมออกไซด์ (calcium titanium oxide, $CaTiO_3$) ไพรอกซีนเอนสตาไทต์ (pyroxeneenstatite, $MgSiO_3$)

ชั้นเนื้อโลกแบ่งเป็นสองชั้น คือ ชั้นเนื้อโลกตอนบน (upper mantle) และชั้นเนื้อโลกตอนล่าง (lower mantle) ชั้นเนื้อโลกมีความลึกมากสุดประมาณ 2,900 กิโลเมตร จากผิวดินระหว่างชั้นเนื้อโลกตอนบนและตอนล่างจะเป็นช่วงรอยต่ออยู่ที่ระดับลึกประมาณ 670-700 กิโลเมตร นั่นคือส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างธรณีภาคชั้นกลาง (asthenosphere) และธรณีภาคชั้นใน (mesosphere) การศึกษาส่วนใหญ่กำหนดให้เนื้อโลกมีความเป็นเนื้อเดียว

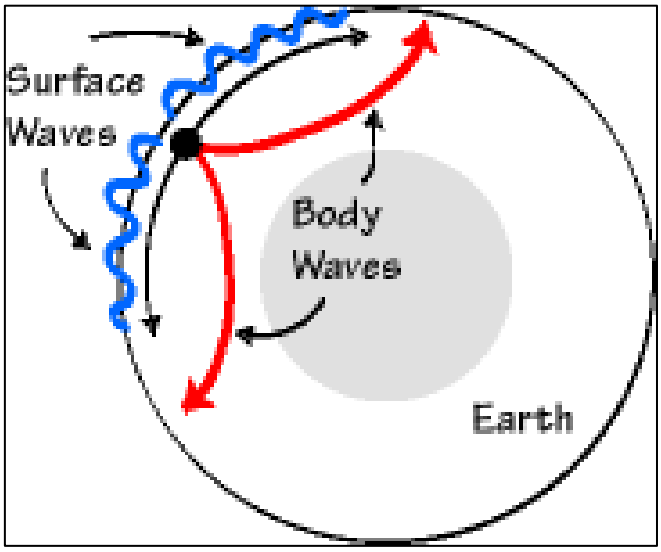
(3) แก่นโลก (core)

แก่นโลก (core) เป็นส่วนที่อยู่ในสุดหนาประมาณ 3,460 (6,360-2,900) กิโลเมตร อยู่ลึกประมาณ 2,900 กิโลเมตร ต่อจากชั้นเนื้อโลกตอนล่างแก่นโลกแบ่งย่อยออกเป็นสองชั้นคือ แก่นโลกชั้นนอก (outer core) และแก่นโลกชั้นใน (inner core) แก่นโลกชั้นนอกเป็นของเหลวเพราะสังเกตจากคลื่นเฉือน (shear wave) ที่ไม่สามารถเดินทางผ่านเข้าไปในชั้นนี้ได้ ส่วนแก่นโลกชั้นในอยู่ที่ความลึกประมาณ 5,150 กิโลเมตร ใต้ผิวดินแก่นโลกชั้นในมีส่วนประกอบของแร่เหล็กและนิเกิลที่อัดตัวแน่นเป็นของแข็งมีความหนาแน่นสูงประมาณ 11,000-16,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว

การสั่นสะเทือนของพื้นดินนั้นมีลักษณะการเคลื่อนตัวของอนุภาคหินหรือดินแบบ 3 มิติ คือ สามารถวัดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบที่ตั้งฉากกัน 3 ระนาบ เช่น มีการสั่นสะเทือนในแนวทิศเหนือ-ใต้ ตะวันออก-ตะวันตก และแนวดิ่ง เป็นต้น

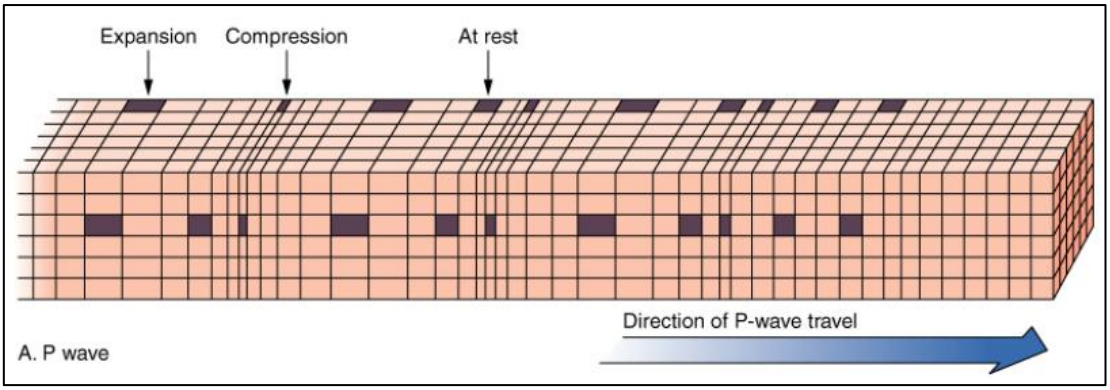
คลื่นแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ คลื่นในตัวกลาง (body wave) และคลื่นพื้นผิว (surface wave) ซึ่งคลื่นในตัวกลางจะเคลื่อนที่อยู่ภายใต้โลก ส่วนคลื่นพื้นผิวจะเคลื่อนที่อยู่บนผิวโลก ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวกลาง (body wave) และคลื่นพื้นผิว (surface wave) (Ammon, 2011)

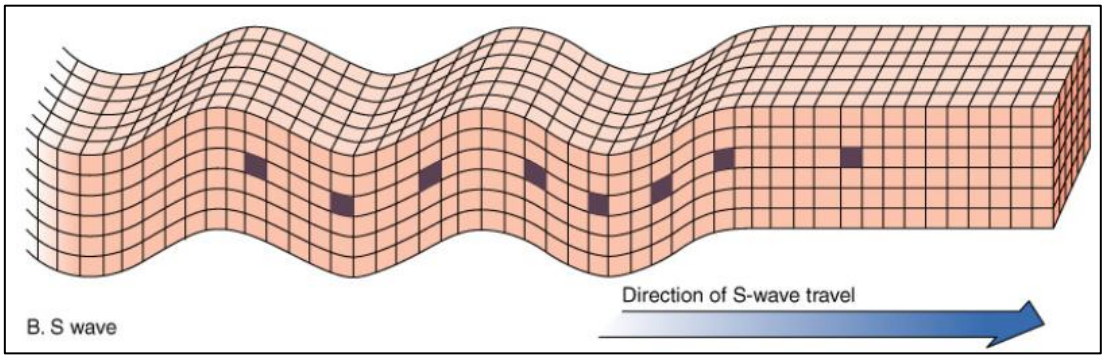
(1) คลื่นในตัวกลาง (Body Wave)

คลื่นในตัวกลาง (body wave) แบ่งออกเป็นสองชนิด คือ คลื่นปฐมภูมิ (primary wave) หรือเรียกทับศัพท์ว่าคลื่นพี (P-wave) และคลื่นทุติยภูมิ (secondary wave) หรือเรียกทับศัพท์ว่าคลื่นเอส (S-wave) ***คลื่น P*** เป็นคลื่นตามยาว (longitudinal wave) เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีการสั่นแบบอัด (compression) และขยาย (dilatation) ในทิศทางเดียวกันกับคลื่นเคลื่อนที่ไปดังแสดงในรูปที่ 2.9 หรือจากตัวอย่างของคลื่นที่เกิดจากการอัดและขยายของขดลวดสปริง



รูปที่ 2.9 คลื่นปฐมภูมิ (primary wave หรือ P-wave) (John Wiley and Sons,1999)

คลื่น S เป็นคลื่นตามขวาง (transverse wave) เป็นคลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 2.10 หรือจากตัวอย่างของคลื่นที่ผิวน้ำ



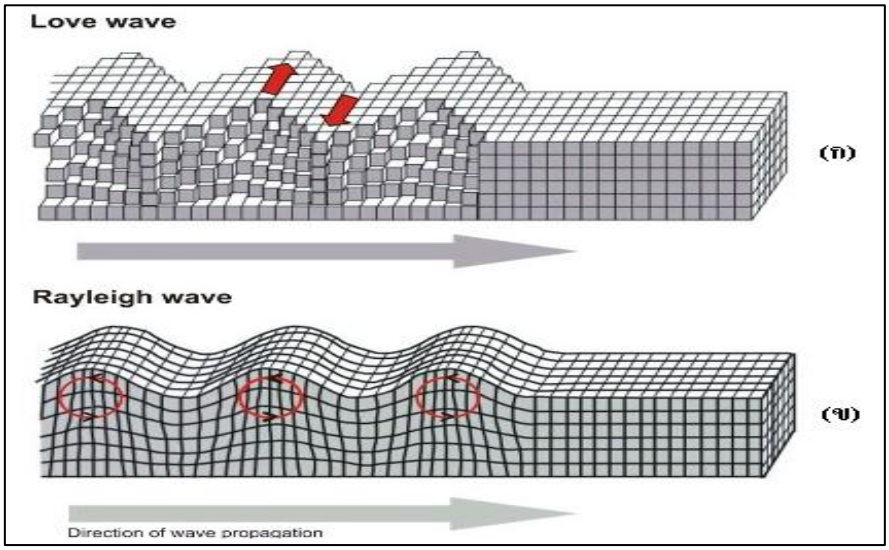
รูปที่ 2.10 คลื่นทุติยภูมิ (secondary wave หรือ S-wave) (John Wiley and Sons, 1999)

(2) คลื่นพื้นผิว (surface wave)

คลื่นพื้นผิว (Surface Wave) แบ่งออกเป็นสองชนิดคือ

คลื่นเรลีย์ (Rayleigh Wave) คลื่นนี้ต้องอาศัยตัวกลางและมีการเคลื่อนที่ขนานไปกับผิวดินการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเป็นแบบวงรีสามารถแยกองค์ประกอบของทิศทางของคลื่นออกได้ทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน (รูปที่ 2.11 (ก))

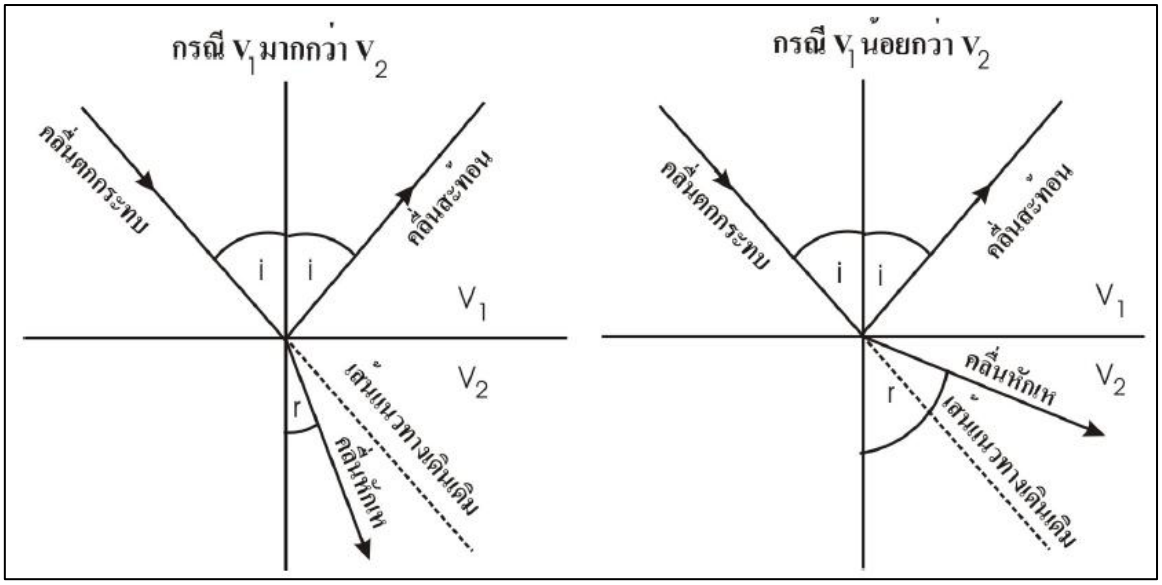
คลื่นเลิฟ (Love Wave) มีลักษณะเหมือนงูเลื้อยอยู่บนพื้นดินคลื่นนี้จะเคลื่อนที่ตามขวางขนานไปกับผิวสัมผัสของอากาศและพื้นดิน (รูปที่ 2.11 (ข))



รูปที่ 2.11 การเคลื่อนที่ของ (ก) คลื่นเลิฟ (Love Wave) และ (ข) คลื่นเรลีย์ (Rayleigh Wave)

กฎการสะท้อนและหักเหของคลื่น

คลื่นแผ่นดินไหวมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลื่นโดยทั่วไป คือ มีการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะการสะท้อนและการหักเห ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของสเนลล์ (Snell's Law) ดังรูปที่ 2.12 โดยความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมหักเหจะขึ้นอยู่กับความเร็วของตัวกลางทั้งสอง คือ ถ้าความเร็วของชั้นล่างมากกว่าชั้นบนแล้วมุมหักเหจะมีค่ามากกว่ามุมตกกระทบดังนั้นถ้าชั้นดิน-หินที่มีความเร็วสูงอยู่บนชั้นที่มีความเร็วต่ำ เราจึงไม่เห็นคลื่นหักเหกลับขึ้นมาสู่ผิวดินมีเฉพาะคลื่นหักเหที่เคลื่อนลงเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.12 การสะท้อนและหักเหของคลื่นตามกฎของสเนลล์

กฎของสเนลล์ สำหรับการสะท้อนคือ มุมของคลื่นตกกระทบเท่ากับมุมของคลื่นสะท้อนเสมอ

$$\sin\theta_1 = \sin\theta_2$$

กฎของสเนลล์ สำหรับการหักเหคือ อัตราส่วนของไซน์มุมตกกระทบต่อไซน์ของมุมหักเหมีค่าคงที่ที่เท่ากับอัตราส่วนของความเร็วคลื่นของตัวกลางมุมตกกระทบต่อความเร็วคลื่นของตัวกลางของมุมหักเห

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน

ในการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนส่วนใหญ่ให้สนใจความเร็วของคลื่น P (V_p) และคลื่น S (V_s) ความเร็วคลื่น P และคลื่น S จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการยืดหยุ่นโดยสามารถแบ่งวัตถุในโลกออกเป็นสามประเภทใหญ่ ๆ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ หรืออาจจะแบ่งออกเป็นเพียงสองประเภท คือ ของแข็งและของไหล (รวมเอาของเหลวและก๊าซเข้าด้วยกันเรียกว่าของไหล) วัตถุที่เป็นของแข็งจะต้องมีคุณสมบัติยืดหยุ่นโดยที่วัตถุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติของการยืดหยุ่นมากน้อยต่างกันกฎของฮุค (Hooke's Law) ที่อธิบายความสัมพันธ์ของการยืดหยุ่นเชิงปริมาณคลื่น P และคลื่น S มีความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นดังสมการ

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

โดยที่ค่าคงตัวของคุณสมบัติความยืดหยุ่นประกอบด้วย

(1) มอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ใช้สัญลักษณ์ "E" เป็นคุณสมบัติที่เมื่อวัตถุถูกความเค้น(α)จะเกิดความเครียด(ε)ซึ่งค่าความเค้นและความเครียดแปรผันกับค่าคงตัวของวัตถุที่เรียกว่า ***"ค่ามอดูลัสของยัง"*** ดังสมการ

$$E = \frac{\alpha}{\varepsilon}$$

(2) ปัวซองส์เรโช (Poisson's Ratio) ใช้สัญลักษณ์ "σ" ค่าปัวซองส์เรโชเป็นอัตราส่วนระหว่างความเครียดในแกนขวาง (ΔW)ต่อความเครียดในแกนยาว (ΔL)เมื่อวัตถุยาว L และหนา W ถูกความเค้นกระทำในแกนยาวสมการการหาปัวซองส์เรโชคือ

$$\sigma = \frac{\Delta W/W}{-\Delta L/L}$$

ค่าของปัวซองส์เรโชมีค่าตั้งแต่ 0-0.5 น้ำจะมีค่าปัวซองส์เรโช = 0.5 และปัวซองส์ที่เป็นของแข็งจะประมาณ = 0.25

(3) บัคล์มอดูลัส (Bulk Modulus, k) ใช้สัญลักษณ์ “k” คือความสามารถคงทนต่อการกดอัดตัวได้ของวัดสุต่างๆ เช่น สมมุติว่าเรามีแท่งหินทรายและแท่งฟองน้ำขนาดเท่ากันถ้าเราออกแรงบีบแท่งหินทรายและแท่งฟองน้ำ จะพบว่าแท่งฟองน้ำออกแรงบีบเพียงเบาๆ ก็เปลี่ยนแปลงรูปร่างและสังเกตได้ง่ายกว่าแท่งหินทราย ดังนั้นกล่าวได้ว่าค่าบัคล์มอดูลัสของแท่งฟองน้ำจะน้อยกว่าค่าบัคล์โมดูลัสของแท่งหินทรายจากตัวอย่างนี้โดยทั่วไปแล้วพอที่จะอนุมานได้ว่าค่าบัคล์มอดูลัสของหินแข็งมีค่ามากกว่าดินร่วนเป็นต้น ค่าบัคล์มอดูลัสคำนวณได้จากสมการ

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta V / V}$$

เมื่อ ΔP คือค่าความดันที่เปลี่ยนไป ΔV คือ ปริมาตรที่เปลี่ยนไป และ V คือปริมาตรของวัตถุ

(4) มอดูลัสเฉือน (Shear Modulus, μ) ใช้สัญลักษณ์ “μ” มอดูลัสเฉือนบอกถึงความสามารถในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อถูกแรงเฉือนมากระทำซึ่งอากาศกับของเหลวไม่สามารถจะต่อต้านแรงเฉือนได้เลยโมดูลัสค่าเฉือนจึงมีค่าเท่ากับศูนย์คลื่นเฉือนจึงไม่สามารถผ่านอากาศและน้ำได้สมการของมอดูลัสเฉือนคือ

$$\mu = \frac{\alpha_{shear}}{\varepsilon} = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

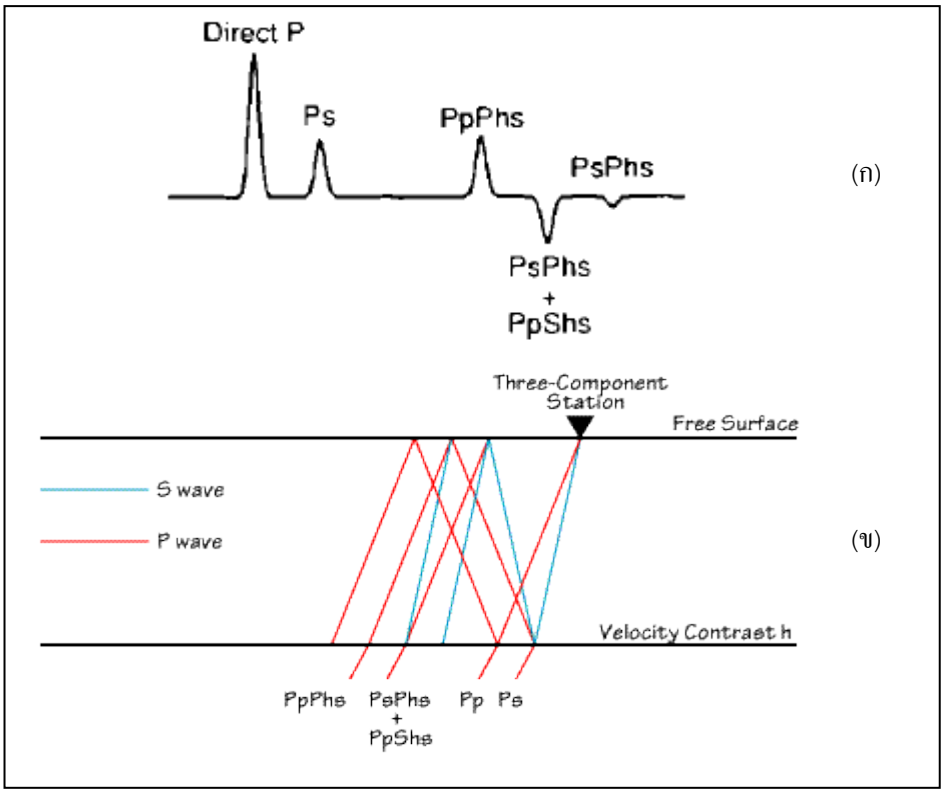
(5) ค่าคงตัวของลาเม (Lame’s Constant) ใช้สัญลักษณ์ “λ” เป็นค่าความสัมพันธ์ที่เกิดจากค่าของมอดูลัสของยังและค่าปัวซองส์เรโชดังสมการ

$$\lambda = \frac{\sigma E}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$$

2.4.2 ทฤษฎีและหลักการของวิธี receiver function

การสำรวจคลื่นสั่นสะเทือนแบบหักเหถูกนำมาประยุกต์ใช้สำรวจใต้ผิวดินเริ่มแรกในปี ค.ศ.1909 โดย Andrija Mohorovicic พบรอยต่อระหว่างเปลือกโลกและชั้นเนื้อโลกซึ่งพบเป็นชั้นที่มีความเร็วสูงกว่าชั้นเปลือกโลก (ความเร็วประมาณ 7,800-8,200 เมตรต่อวินาที ขณะที่ความเร็วของเปลือกโลกเฉลี่ยประมาณ 6,500 เมตรต่อวินาที) ต่อมารอยต่อนี้ถูกเรียกว่า ***"โมโฮโรวิซิก (Mohorovicic) "*** หรือเรียกสั้นๆ ว่า ***"โมโฮ (Moho)"*** เพื่อเป็นเกียรติแด่ผู้ค้นพบ ซึ่งรอยต่อนี้สามารถหาได้ด้วยวิธีการของ receiver function เช่นกัน

receiver function คืออนุกรมเวลา (time series) ของคลื่นแผ่นดินไหว 3 แกน ซึ่งเป็นผลตอบสนอง (response) ซึ่งสัมพันธ์กับโครงสร้างของโลกข้างใต้ตัวรับคลื่นแผ่นดินไหว (receiver) นั้น แสดงในรูปที่ 2.13 (ก) โดยลักษณะความสูงและความกว้างของคลื่น receiver function จะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ (incidence angle) ของคลื่น P และขนาดของคลื่น Ps ที่เป็นการกลับเฟสของตัวมันเองบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก ระยะเวลาที่คลื่นแต่ละชนิดเดินทางมาถึงสถานีตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับความลึกและความแตกต่างระหว่างความเร็วของรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก



รูปที่ 2.13 (ก) ลักษณะของ receiver function (ข) ลักษณะการเดินทางของคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลหักเหบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อโลกกับเปลือกโลกใต้สถานีตรวจวัด

ดังนั้นการคำนวณหาชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอกจึงเริ่มต้นจากการหาค่าเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเดินทางของคลื่น P และคลื่น S ที่เป็นการกลับเฟสของตัวมันเอง (Ps) โดยที่เราต้องสร้างค่าแบบจำลองเริ่มต้นของความเร็ว (velocity model) ของเปลือกโลกและเนื้อโลกบริเวณนั้นๆ ขึ้นมาเพื่อที่จะใช้เป็นค่าเริ่มต้นให้โปรแกรมคำนวณค่าความเร็วที่ถูกต้องของเปลือกโลกในบริเวณนี้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าเวลาที่ได้จากการคำนวณให้เป็นระยะทางที่คลื่นทั้งสองใช้ในการเดินทาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ ระยะทางหารด้วยความเร็วของคลื่นแต่ละชนิด ซึ่งระยะทางที่ได้จากการคำนวณนี้ก็คือความหนาของเปลือกโลกข้างใต้สถานีตรวจวัดที่บันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวนั่นเองโดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$H = \frac{t_{Ps} - t_P}{\left(\sqrt{\frac{1}{V_s^2} - \rho^2} - \sqrt{\frac{1}{V_p^2} - \rho^2}\right)}$$

โดย H คือความหนาของเปลือกโลกข้างใต้สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

t_P คือเวลาที่มาถึงของคลื่น P

t_{Ps} คือเวลาที่มาถึงของคลื่น P ที่เปลี่ยนเป็นคลื่น S

V_P คือความเร็วของคลื่น P ที่รอยต่อระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก

V_S คือความเร็วของคลื่น S ที่รอยต่อระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก

ρ คือพารามิเตอร์ของการเดินทางของคลื่น (ray parameter) ซึ่ง $\rho = \frac{\sin(i)}{v}$

v คือความเร็วของคลื่น P ในเนื้อโลก (คงที่)

i คือมุมตกกระทบของคลื่น P ณ รอยต่อระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวกับสถานีตรวจแผ่นดินไหว

การคำนวณหา receiver function

คลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยสถานีตรวจแผ่นดินไหวนั้น สัญญาณที่ได้จะเป็นการคอนโวลูชัน (convolution) ของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว $x(t)$ กับฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องวัด $f(t)$ (response function) ดังสมการดังนี้

$$y(t) = f(t) * x(t)$$

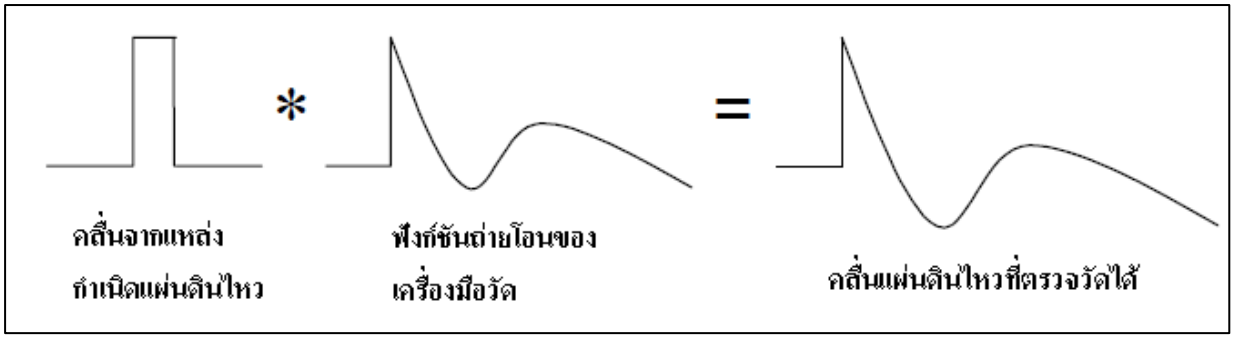
โดย $y(t)$ คือคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยสถานีตรวจแผ่นดินไหว

$*$ คือการคอนโวลูชัน

การคอนโวลูชันระหว่างสัญญาณจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว $x(t)$ กับฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องวัด $f(t)$ อธิบายด้วยสมการ

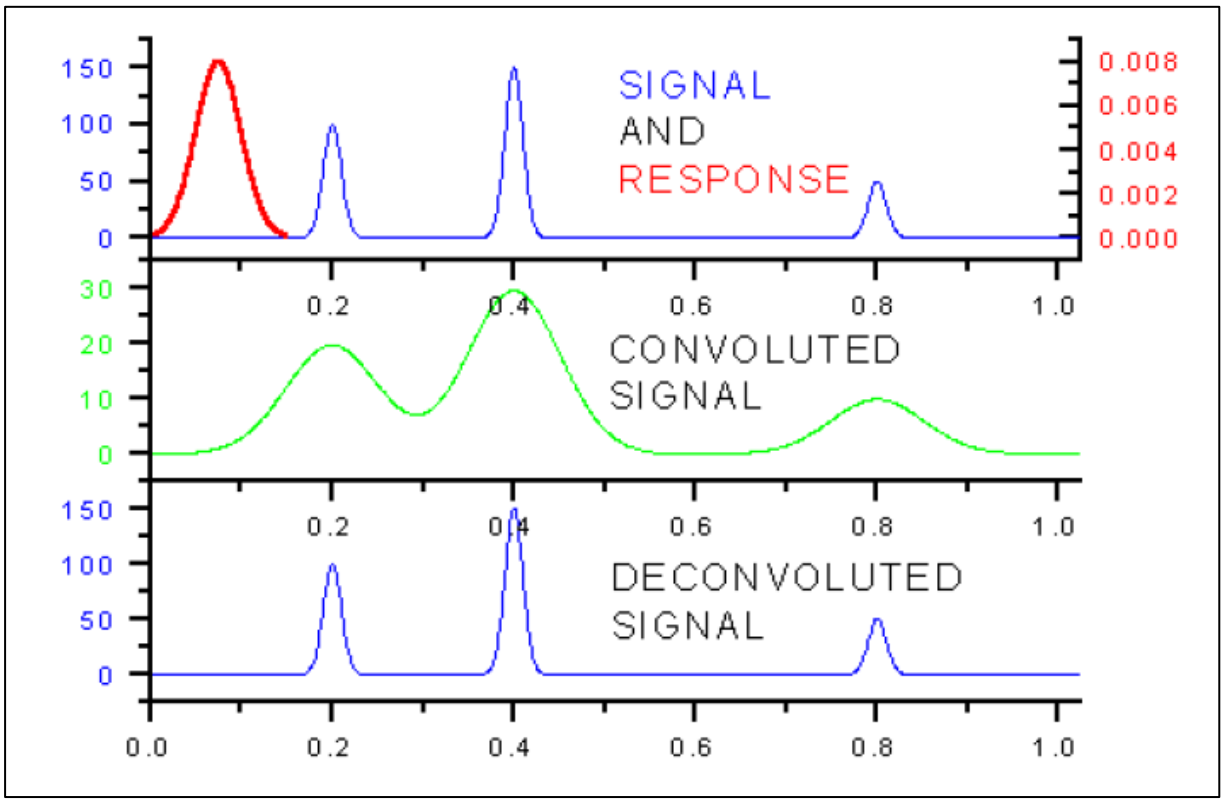
$$y(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m) f(n-m)$$

ซึ่งการคอนโวลูชันสัญญาณสามารถพิจารณาในโดเมนของความถี่ได้ โดยการแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform) ของคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยสถานีตรวจแผ่นดินไหว $Y(\omega)$ $X(\omega)$ ฟูริเยร์ของ $x(t)$ และ $F(\omega)$ ฟูริเยร์ของ $f(t)$ ซึ่งจะได้ $Y(\omega) = F(\omega) X(\omega)$



รูปที่ 2.14 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ ซึ่งเกิดจากการคอนโวลูชันระหว่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ออกจากแหล่งกำเนิดกับฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือวัด

ดังนั้นการที่จะนำข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่แท้จริงจากแหล่งกำเนิด $x(t)$ ไปใช้งานต้องทำการดีคอนโวลูชัน (deconvolution) ก่อน นั่น*คือ* $x(t) = y(t) * f(t)^{-1}$ ซึ่งเมื่อทราบค่าฟังก์ชันการถ่ายโอนของเครื่องมือวัดสัญญาณที่ได้จากการดีคอนโวลูชันจะใช้เป็น receiver function ในการหาค่าต่าง ๆ ต่อไป

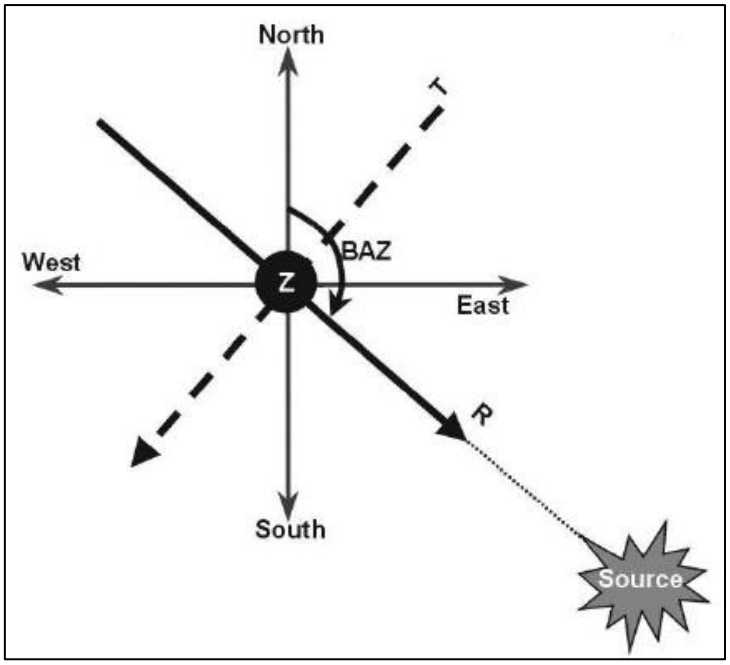


รูปที่ 2.15 การดีคอนโวลูชันสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ทั้ง 3 แกน อยู่ในแนวทิศเหนือ-ใต้ (N) ทิศตะวันออก-ตก (E) และแนวดิ่ง (Z) ก่อนที่จะทำการดีคอนโวลูชัน สัญญาณต้องแปลงข้อมูลนี้ให้อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinate) ก่อนเพื่อระบบพิกัดตรงกันกับทิศที่พลังงานคลื่นแผ่นดินไหวเคลื่อนที่มาจากแหล่งกำเนิด ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งแกน N และ E จะหมุนแกนไปเป็นแกน radial (R) และ tangential (T) ตามลำดับ ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} R \\ T \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ N \\ Z \end{bmatrix}$$

เมื่อ θ คือมุม back azimuth



รูปที่ 2.16 การหมุนแกนจาก ZNE ไปเป็น ZRT (Ekrem, 2002)

วิธีการผกผัน (inversion method)

การคำนวณหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกจะแปลความหมายข้อมูลเพื่อสร้างรูปแบบจำลองด้วยวิธีการผกผัน (inversion technique) โดยสร้างแบบจำลองความลึกและความความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกตั้งต้นขึ้นมา (m_0) ตัวอย่างในรูปที่ 2.18 แสดงแบบจำลองเริ่มต้นของเปลือกโลกแล้วสังเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหว (synthetic seismogram) จากแบบจำลองเริ่มต้นนั้น แล้วปรับแก้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลองเริ่มต้น เพื่อให้ลักษณะคลื่นที่ได้สังเคราะห์ขึ้นตรงกันกับ receiver function ดังรูปที่ 2.17 นั่นคือ

$$Gm = d + Gm_0$$

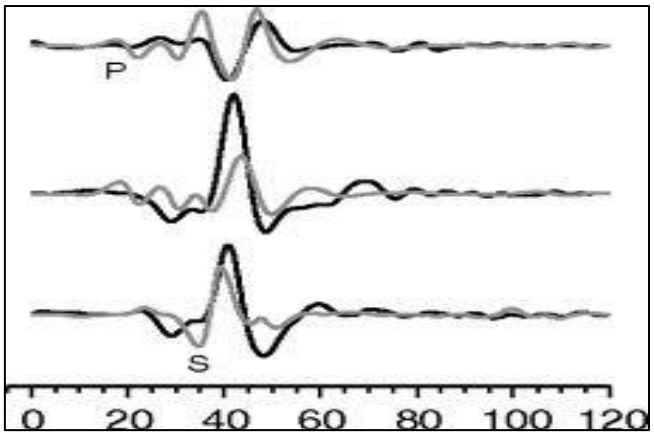
เมื่อ G คืออนุพันธ์ย่อย (partial derivative) ของ receiver function

d คือเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อน (residual vector)

m คือแบบจำลองที่ต้องการ

เราต้องการแบบจำลองสุดท้าย m ซึ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน d มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ

$$m = \left(d + Gm_0\right)G^{-1} \qquad \text{เมื่อ } d \to 0$$



รูปที่ 2.17 การใช้วิธีการผกผันเพื่อทำให้ลักษณะ receiver function ที่คำนวณได้ ใกล้เคียงกับคลื่นแผ่นดินไหวที่สังเคราะห์ขึ้น

```
MODEL.01
TEST MODEL
ISOTROPIC
KGS
FLAT EARTH
1-D
CONSTANT VELOCITY
LINE08
LINE09
LINE10
LINE11
 H       VP      VS  RHO QP   QS  ETAP ETAS FREFP FREFS
40.      6.0     3.5 2.8 0.0 0.0 0.0  0.0   1.0   1.0
00.      8.0     4.7 3.3 0.0 0.0 0.0  0.0   1.0   1.0
```

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างแบบจำลองเริ่มต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหว

2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

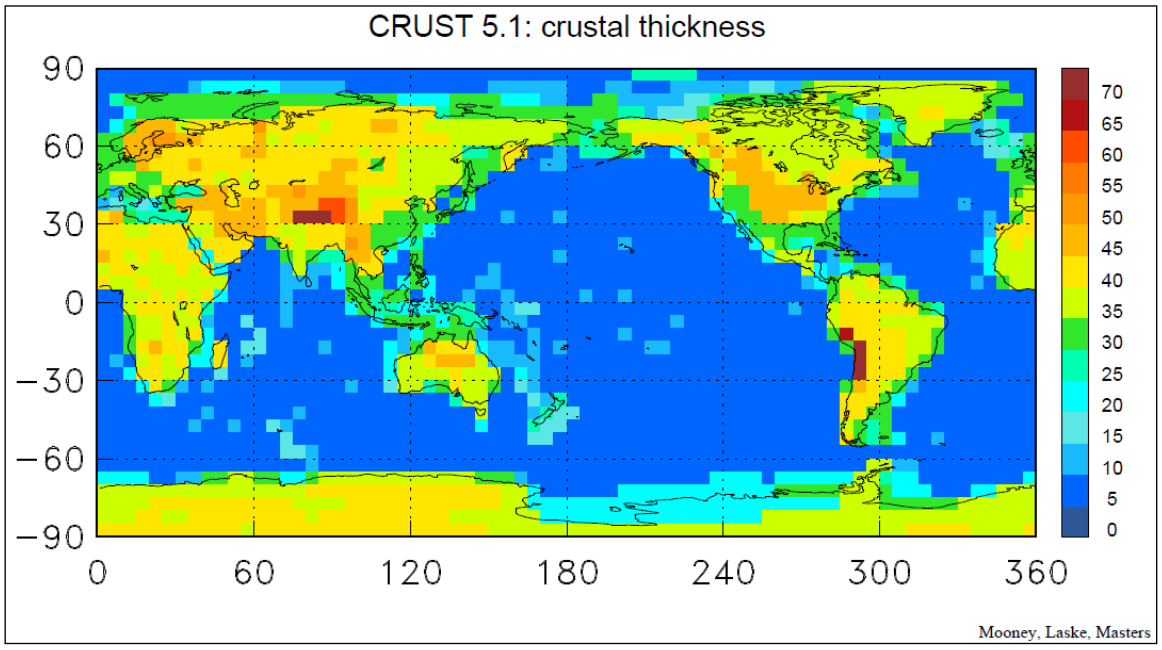
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนมากจะเป็นงานวิจัยในต่างประเทศ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้หาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยได้ ซึ่งได้แบ่งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 ส่วน คือ

(1) ความหนาของเปลือกโลก ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกและชนิดของแผ่นเปลือกโลกทั่วโลก และในบริเวณประเทศไทย

(2) การวิเคราะห์ด้วยวิธี receiver function

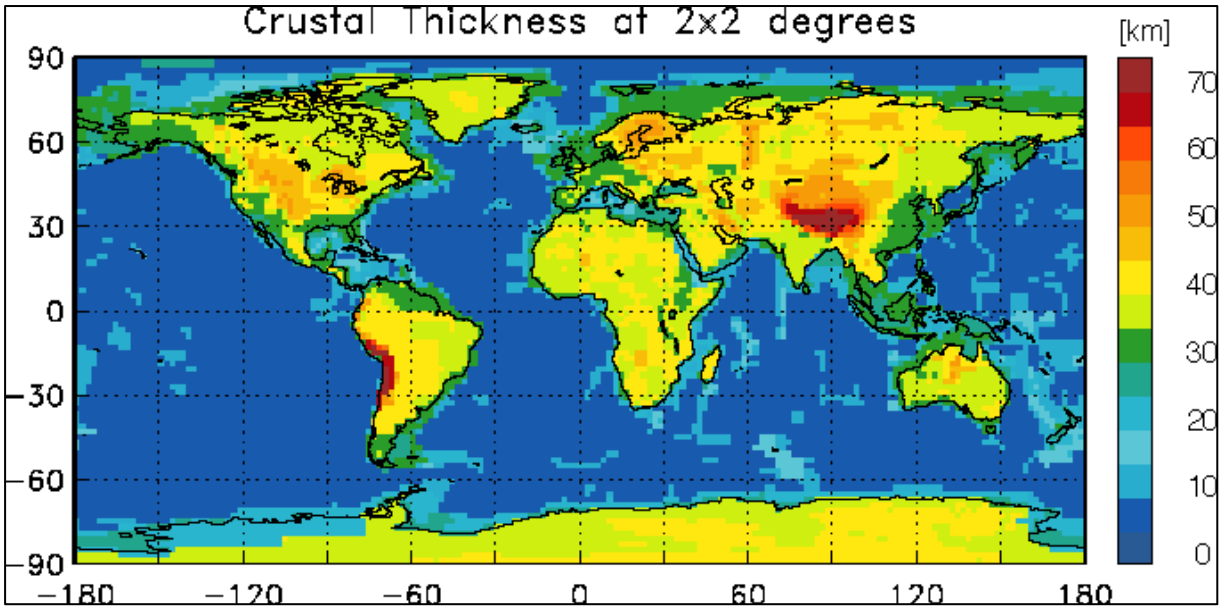
ความหนาของเปลือกโลก ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกและชนิดของแผ่นเปลือกโลกทั่วโลก และในบริเวณประเทศไทย

Mooney และคณะ (1998) ได้สร้างแบบจำลองเปลือกโลกทั่วโลก (CRUST 5.1: global crustal model) ซึ่งเป็นโมเดลความละเอียดขนาด 5°×5° ดังรูปที่ 2.19 โดยรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากการทดลอง และใช้ค่าทางธรณีวิทยาต่าง ๆ เช่น การแปรสัณฐานของแผ่นเปลือกโลก (tectonic setting) เป็นค่าเฉลี่ย จากแบบจำลอง CRUST 5.1 นี้ความหนาของเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยอยู่ระหว่าง 30–50 กิโลเมตร โดยในภาคเหนือจะมีความหนามากที่สุด ส่วนภาคใต้จะมีความหนาน้อยที่สุด

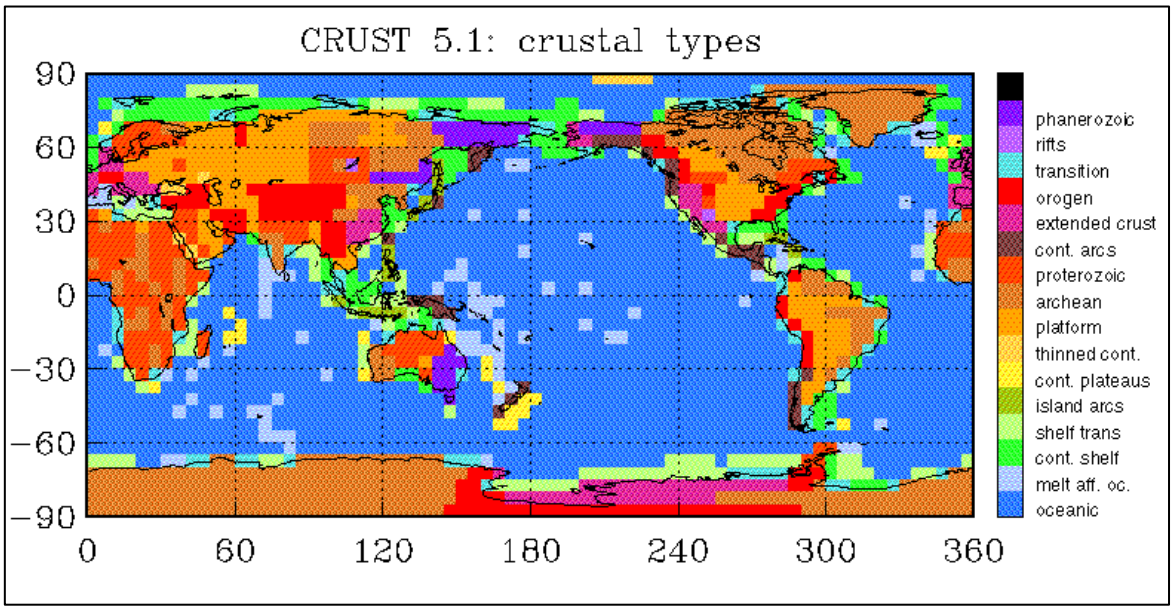


รูปที่ 2.19 ความหนาของเปลือกโลกทั่วโลก ของโมเดล CRUST 5.1 (Mooney et al.,1998)

Bassin และคณะ (2000) ได้สร้างโมเดล CRUST 2.0 เป็นโมเดลความละเอียดขนาด 2°×2° ซึ่งปรับปรุงมาจากโมเดล CRUST 5.1 โดยได้รวมตะกอนที่ทับถมบนเปลือกโลกด้วย และได้มีการปรับแก้ค่าต่างๆ เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นที่ไหล่ทวีปและแนวชายฝั่งด้วย จาก CRUST 2.0 นี้ได้ความหนาของเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยอยู่ระหว่าง 30 ถึง 45 กิโลเมตร ใกล้เคียงกับโมเดล CRUST 5.1 ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ความหนาของเปลือกโลกทั่วโลก ของโมเดล CRUST 2.0 (Bassin และคณะ ,2000)



รูปที่ 2.21 ชนิดของแผ่นเปลือกโลกทั่วโลก ของโมเดล CRUST 5.1 (USGS)

สำหรับความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในชั้นเปลือกโลกนั้น จากโมเดล CRUST 5.1 จะพิจารณาความเร็วจากชนิดของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งชนิดของแผ่นเปลือกโลกแสดงดังรูปที่ 2.21 ซึ่งได้แบ่งชนิดของแผ่นเปลือกโลกเป็น 16 ชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีความเร็วคลื่นไหวสะเทือนแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ส่วนบริเวณประเทศไทยตั้งอยู่บนเปลือกโลกที่แตกต่างกัน 5 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ดังนี้

Archean หินที่เกิดในยุคนี้เป็นหินที่เก่าแก่ที่สุด หินส่วนใหญ่เป็นพวกหินเขียว (greenstone) ตัดเข้ามาในพื้นหินแกรนิตขนาดใหญ่ (granitic batholith) พบในภาคตะวันออก

Platform เป็นส่วนหนึ่งของทวีปที่ถูกปกคลุมด้วยชั้นของหินตะกอนทับถมกันจนกลายเป็นชั้นหินที่ซับซ้อนซึ่งแข็งตัวในระหว่างที่เกิดขึ้น (Bates and Jackson, 1984) พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

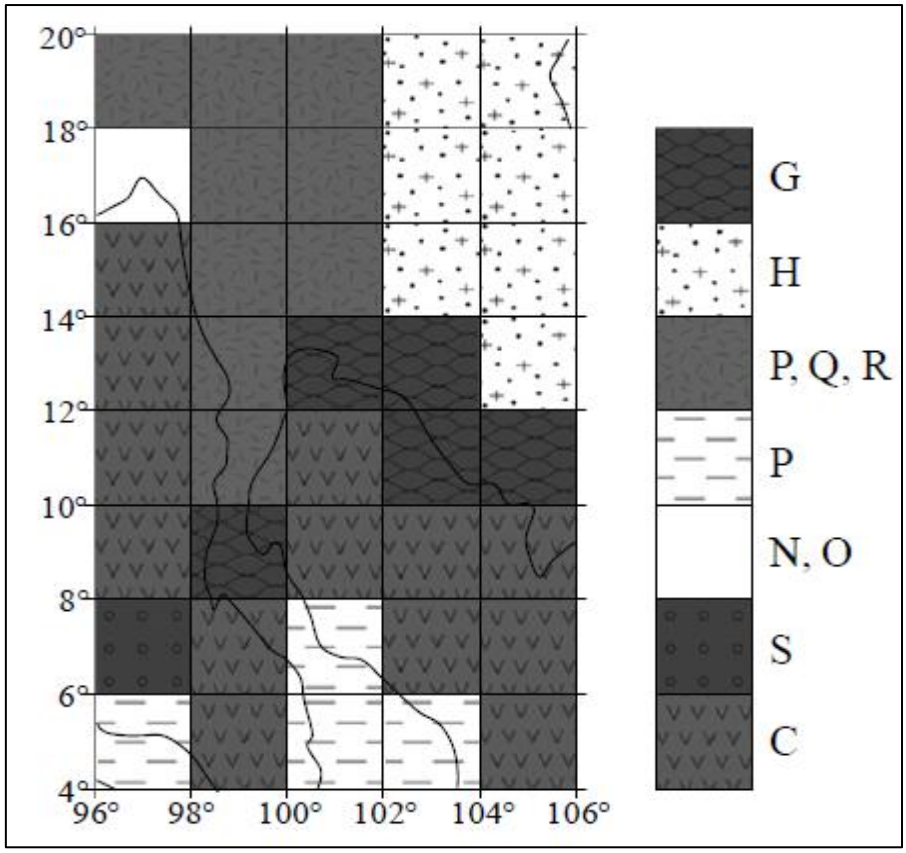
Orogen เป็นยุคที่เกิดขึ้นของภูเขา หินมีความหนาแน่นสูง พบในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันตก

Phanerozoic ยุคนี้เกิดขึ้นเมื่อ 570 ล้านปีก่อนถึงปัจจุบัน หินในยุคนี้จะมีซากดึกดำบรรพ์อยู่มาก พบในภาคใต้ตอนล่าง

Continental Shelf เปลือกโลกชนิดนี้มีความหนาน้อย ส่วนมากจะอยู่ในมหาสมุทร พบในอ่าวไทย และทะเลอันดามัน

ตารางที่ 2.1 ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนและความหนาแน่นของเปลือกโลกชนิดต่าง ๆ (Laske และคณะ, 2010)

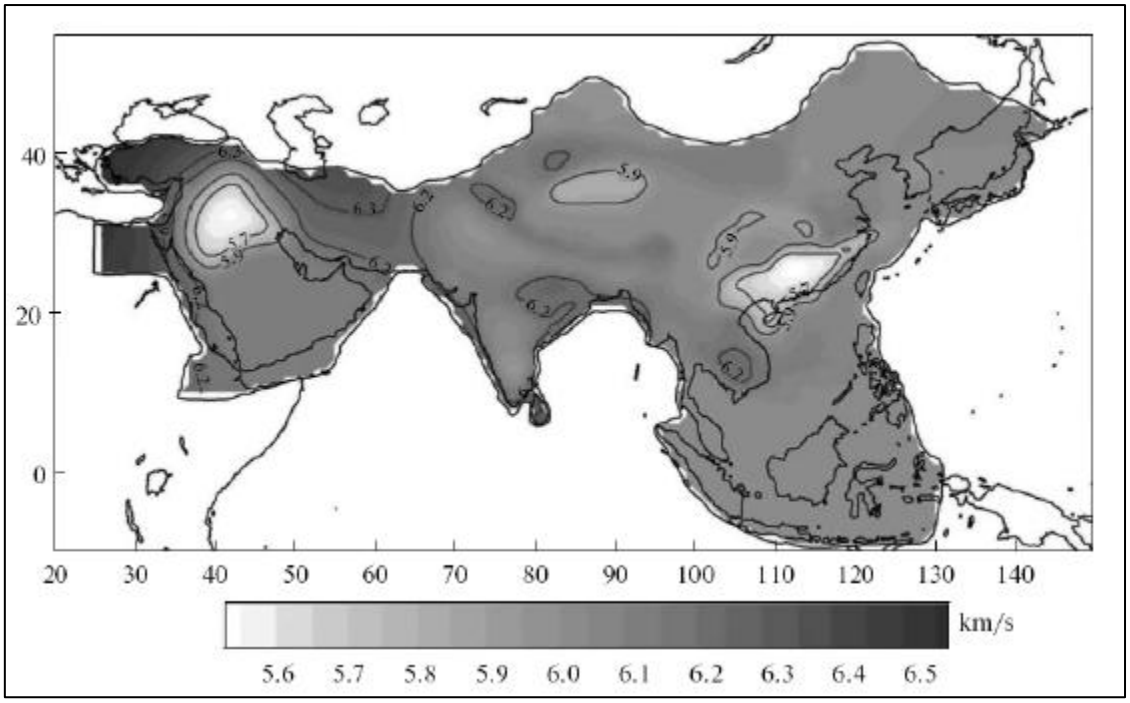
ชนิดของเปลือกโลก	$V_p\left(km/s\right)$	$V_s\left(km/s\right)$	V_p/V_s	$\rho\left(kg/m^3\right)$
G-->Archean	6.4	3.6	1.778	2.85
H-->Platform	6.6	3.7	1.784	2.9
P,Q,R-->Orogen	6.3	3.6	1.750	2.8
P-->Phanerozoic	6.6	3.7	1.784	2.9
N,O-->Extended crust	6.3	3.6	1.750	2.8
S-->Continental Slope	6.6	3.7	1.784	2.9
C-->Continental Shelf	6.6	3.7	1.784	2.9



รูปที่ 2.22 ชนิดของเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ขนาด 2×2 องศา เมื่อ G--> Archean; H --> Platform; P,Q,R-->Orogen; P --> Phanerozoic; N,O --> Extended crust; S --> Continental Slope; C --> Continental Shelf (Wongwai, 2011 modified from Mooney et al., 2006)

Christensen and Mooney (1995) หาความเร็วเฉลี่ยของคลื่น P และคลื่น S บริเวณประเทศไทยได้ 6.5 และ 3.8 km/s ตามลำดับ โดยที่หาความเร็วของคลื่น S มาจากการประมาณค่าอัตราส่วน $V_p/V_s = 1.71$

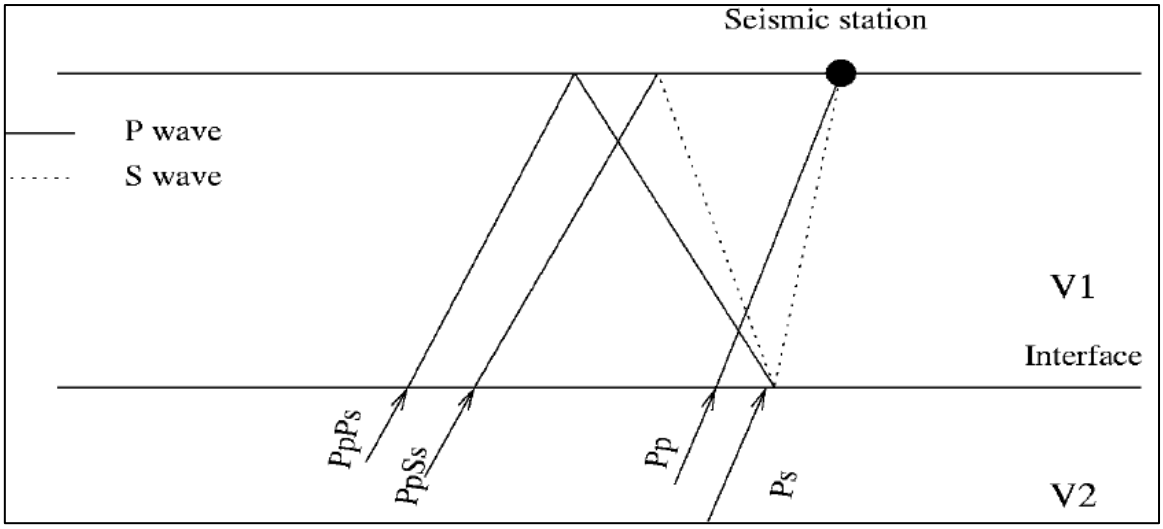
Baranov (2010) เสนอโมเดลความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนขนาด $1^\circ\times1^\circ$ สำหรับเอเชียกลาง เอเชียใต้ และบริเวณใกล้เคียง โดยได้ใช้ข้อมูลการสะท้อนของคลื่นไหวสะเทือน (seismic reflection) และการหักเหของคลื่นไหวสะเทือน (seismic refraction) จำนวนมาก รวมทั้งข้อมูลคลื่นพื้นผิว (surface wave) ด้วย ซึ่งได้ความเร็วของคลื่น P ในเปลือกโลกส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง เป็น 6.2 6.5 และ 7.3 km/s ตามลำดับ



รูปที่ 2.23 ความเร็วของคลื่น P ในเปลือกโลกส่วนบน (Baranov, 2010)

การวิเคราะห์ด้วยวิธี receiver function

วิธีการศึกษาหาค่าความหนาของเปลือกโลก และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลกด้วยวิธี receiver function เป็นวิธีการคำนวณโดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกล (tele-seismic) เป็นข้อมูลหลักในการประมวลผล หลักการพื้นฐานของ receiver function เริ่มต้นจากเมื่อคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลจากจุดศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวมาถึงสถานีตรวจวัด คลื่นจะเดินทางผ่านตัวกลางต่าง ๆ ภายในโลก เช่น เปลือกโลก หรือ เนื้อโลก เป็นต้น ในขณะที่คลื่นแผ่นดินไหวเดินทางผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลก (crust) และเนื้อโลกชั้นนอก (upper mantle) คลื่นปฐมภูมิ (P-wave) บางส่วนจะเปลี่ยนเป็นคลื่นทุติยภูมิ (S-wave) โดยจะมีลักษณะเป็นการเปลี่ยนเฟสของคลื่น P หรือ converted phase (Ps) ดังรูปที่ 2.24 และเนื่องจากคลื่น P เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าคลื่น S ดังนั้นการคำนวณหาชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอกจึงเริ่มต้นจากการหาค่าเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเดินทางของคลื่น P และคลื่น S ที่เป็น converted phase ของตัวมันเอง โดยที่เราต้องสร้างค่าแบบจำลองเริ่มต้นของความเร็ว (velocity model) ของเปลือกโลกและเนื้อโลกบริเวณนั้น ๆ ขึ้นมาเพื่อที่จะใช้เป็นค่าเริ่มต้นให้โปรแกรมคำนวณค่าความเร็วที่ถูกต้องของเปลือกโลกในบริเวณนี้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าเวลาที่ได้จากการคำนวณให้เป็นระยะทางที่คลื่นทั้งสองใช้ในการเดินทาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ ระยะทางหารด้วยความเร็วของคลื่นแต่ละชนิด ซึ่งระยะทางที่ได้จากการคำนวณนี้ก็คือความหนาของเปลือกโลกข้างใต้สถานีตรวจวัดที่บันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวนั่นเอง



รูปที่ 2.24 การเคลื่อนที่ของคลื่น P เมื่อเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดย Pp คือคลื่น P ที่เดินทางผ่านตัวกลางทั้งสองโดยไม่มีการเปลี่ยนเฟส ส่วน Ps คือ คลื่น P ที่ถูกเปลี่ยนเป็นคลื่น S เมื่อเดินทางผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสองชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

การคำนวณหาความหนาของเปลือกโลก และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลก และคุณสมบัติต่างๆ ของเปลือกโลก โดยวิธี receiver function นี้ เริ่มขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Phinney ในปี ค.ศ. 1964 และได้ถูกพัฒนาและปรับปรุงมาโดยตลอดโดยนักวิจัยหลายท่าน (เช่น Burdick and Longston, 1977; Owens et al., 1984 และ Ammon, 1991 เป็นต้น) และถูกนำมาใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกโลกส่วนบนในพื้นที่ต่างๆ เช่น

Hofstetter, A., Bock, G. (2004) ได้ศึกษาการประมาณค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (velocity structure of the crust and upper mantle) โดยการคำนวณด้วยวิธี receiver function ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกล (tele-seismic data) ที่ซึ่งมีการเปลี่ยนเฟส จากคลื่น P เปลี่ยนเป็นคลื่น S (P-S converted phase) ทำให้ได้ค่าความลึกของชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก (Moho depth) และมีการนำข้อมูลคลื่นพื้นผิว (surface wave) เข้ามาเกี่ยวข้องในการคำนวณ receiver function ด้วย เพื่อให้ได้ค่าความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจากสถานีแบบ broad-band จำนวน 7 สถานีที่อยู่ใน Sinai Subplate และบริเวณใกล้เคียง ซึ่งได้ความลึกของชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก บริเวณรอยเลื่อน Dead Sea ลึก 28 กม. ซึ่งอยู่ทางตะวันออกของ Sinai Subplate และความลึกของชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นเปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นนอก เพื่อขึ้นจากทางทิศเหนือไปทางทิศใต้ประมาณ 34 กม.

Wongwai, W. และ Nuannin, P. (2010) ได้หาความหนาของชั้นเปลือกโลก (Crustal Thickness) และอัตราส่วนของความเร็วของคลื่น P และ ความเร็วของคลื่น S โดยการคำนวณหา Receiver function ด้วยการทำ time-domain deconvolution ในแกนเวลา (time-domain deconvolution) และแปลความหมายไปเป็นโครงสร้างของชั้นเปลือกโลก ซึ่งเป็นชั้นเปลือกโลกชั้นเดียว (single crustal layer) การคำนวณหาความหนาของชั้นเปลือกโลกจะหาจากค่าเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเดินทางของคลื่น P ที่มีการเปลี่ยนเฟสเป็นคลื่น S ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวระยะไกลจำนวน 35 เหตุการณ์ ขนาดมากกว่า 5.8 ในช่วงปี ค.ศ. 2008 ถึง 2010 โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 9 สถานี ซึ่งได้ค่าความหนาของชั้นเปลือกโลกอยู่ระหว่าง 26.0±0.5 ถึง 31.0±0.5 กม. โดยในภาคเหนือจะมีความหนามากที่สุดที่ 31.0±0.5 กม. ในภาคตะวันตกมีความหนา 29.0±0.5 กม. ในภาคตะวันออกและภาคใต้มีความหนาประมาณ 27.0±0.5 ถึง 28.0±0.5 กม. และภาคกลางกับภาคเหนือตอนล่างจะมีความหนาน้อยที่สุด

ในปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกโลกโดยละเอียดที่เฉพาะพื้นที่ศึกษาในบริเวณประเทศไทย การศึกษาส่วนใหญ่ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างทั้งทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนทางเหนือของประเทศไทยเท่านั้น ซึ่งการศึกษาเหล่านี้ไม่ได้ให้ความสำคัญในบริเวณประเทศไทย ทำให้ข้อมูลที่มีอยู่ขาดความละอียด ส่วนการศึกษาในพื้นที่บริเวณประเทศไทยนั้นก็ยังใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวจำนวนน้อยมากและครอบคลุมบางพื้นที่ของประเทศเท่านั้น ทำให้ข้อมูลดังกล่าวที่ได้ยังไม่ใช่ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของประเทศไทยอย่างแท้จริง

2.6 ผลการศึกษาการหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลก

การใช้วิธี receiver function ในการคำนวณหาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนนั้น ได้ดำเนินการในส่วนของการติดตั้งโปรแกรมต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ เช่น Linux, GMT, REFUNC ในขั้นต้น นอกเหนือจากนี้ได้ทำการรวบรวมและคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระยะไกลที่สามารถใช้ในการศึกษาครั้งนี้ในระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง 2554

ในจำนวนข้อมูลแผ่นดินไหวที่คัดกรองได้นั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาค่าความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนในเปลือกโลกสำหรับสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 40 สถานี (ตารางที่ 2.2) โดยทำการศึกษาได้สำเร็จแล้ว 39 สถานี (ทั้งสองเฟส) ซึ่งผลการศึกษาได้แสดงในตารางที่ 2.3 และแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.25 ถึง 2.64 ส่วนรายละเอียดของความเร็ว V_P และ V_S ของแต่ละสถานีแสดงไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 2.2 แสดงสถานะในการศึกษาของสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสองเฟสจำนวน 40 สถานี

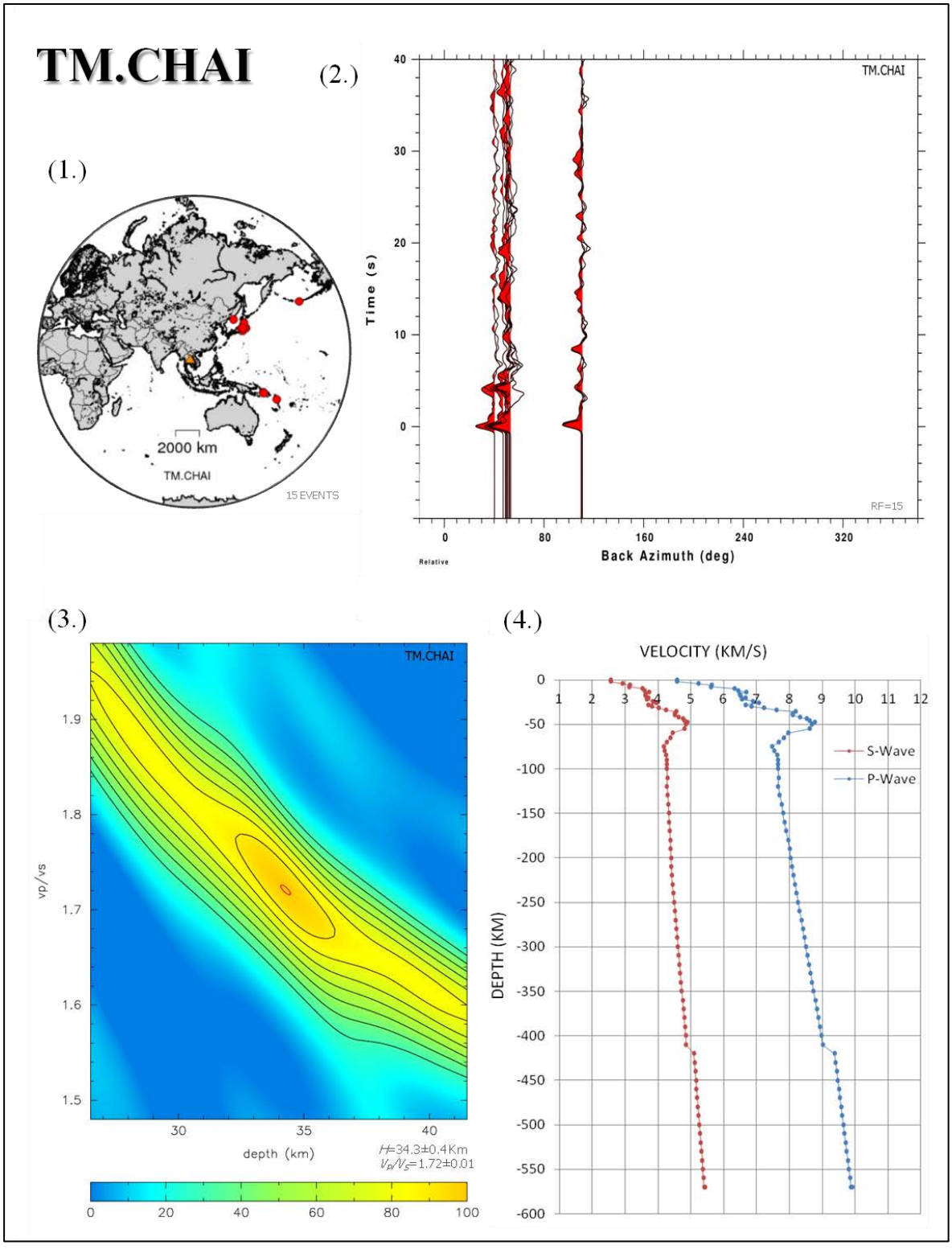
รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง	สถานะ
CHAI	อ่างเก็บน้ำช่อระกา จ. ชัยภูมิ	15.9018	101.9864	198.95	สำเร็จ
CHBT	เขื่อนคีรีธาร จ.จันทบุรี	12.7526	102.3297	4.00	สำเร็จ
CMAI	สถานีอุตุฯดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่	19.9325	99.0453	1502.67	สำเร็จ
CMMT	ดอยสุเทพ จ.เชียงใหม่	18.8128	98.9476	399.70	สำเร็จ
CRAI	อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย	20.2289	100.3734	356.75	สำเร็จ
KHLT	เขื่อนวชิราลงกรณ์ จ.กาญจนบุรี	14.7970	98.5893	164.00	สำเร็จ
KHON	สถานีอากาศเกษตรท่าพระ จ. ขอนแก่น	16.3378	102.8230	134.69	สำเร็จ
KRAB	อ่างเก็บน้ำบางกำปรัด จ. กระบี่	8.2215	99.6310	58.03	สำเร็จ
KRDT	เขื่อนลำพระเพลิง จ.นครราชสีมา	14.5905	101.8442	266.00	สำเร็จ
LAMP	เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง	18.5226	99.6322	246.66	สำเร็จ
LOEI	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ. เลย	17.5093	101.2644	305.58	สำเร็จ
MHIT	ด่านตรวจคนเข้าเมือง จ.แม่ฮ่องสอน	19.3148	97.9632	270.00	สำเร็จ
MHMT	สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน	18.1764	97.9310	164.00	สำเร็จ
NAN	ฝายน้ำกอน จ.น่าน	19.2835	100.9116	261.71	สำเร็จ
NAYO	อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน จ. นครนายก	14.3152	101.3209	106.29	สำเร็จ
NONG	อ่างเก็บน้ำห้วยเปลวเหงือก จ. หนองคาย	18.0635	103.1457	140.47	สำเร็จ
PANO	อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ. นครพนม	17.1476	104.6122	135.60	สำเร็จ
PATY	สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา จ.ชลบุรี	12.9232	100.8657	39.19	สำเร็จ
PAYA	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	19.3603	99.8692	408.26	สำเร็จ
PBKT	เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์	16.5733	100.9687	8.00	สำเร็จ
PHET	อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จ. เพชรบุรี	12.9133	99.6268	100.67	สำเร็จ
PHIT	เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก	17.1893	100.4165	113.50	สำเร็จ
PHRA	อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่	18.4989	100.2293	186.84	สำเร็จ
PKDT	เขื่อนบางวาด จ.ภูเก็ต	7.8920	98.3350	53.00	สำเร็จ
PRAC	เขื่อนปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์	12.4726	99.7929	53.64	สำเร็จ
RNTT	ระนอง	9.3904	98.4778	38.00	สำเร็จ
SKLT	สงขลา	7.1735	100.6188	14.50	สำเร็จ
SKNT	เขื่อนน้ำพุง จ.สกลนคร	16.9742	103.9815	254.00	สำเร็จ
SRAK	อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ. สระแก้ว	14.0120	102.0425	96.91	สำเร็จ
SRDT	เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี	14.3945	99.1212	122.00	สำเร็จ
SRIT	อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง จ.นครศรีธรรมราช	8.5955	99.6020	58.46	สำเร็จ

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง	สถานะ
SUKH	อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพร่ จ.สุโขทัย	17.4821	99.6310	58.03	สำเร็จ
SURA	ฝายเก็บน้ำท่าทอง จ. สุราษฎร์ธานี	9.1663	99.6295	-5.54	สำเร็จ
SURI	อ่างเก็บน้ำอำปึม จ. สุรินทร์	14.7688	103.5529	125.91	สำเร็จ
SURT	เขื่อนรัชประภา จ.สุราษฎร์ธานี	8.9577	98.7950	26.00	สำเร็จ
TRTT	เขื่อนท่างิ้วจ.ตรัง	7.8362	99.6912	71.00	สำเร็จ
UBPT	เขื่อนปากมูล จ.อุบลราชธานี	15.2773	105.4695	120.00	สำเร็จ
UMPA	สถานีอุตุฯอุ้มผาง จ.ตาก	16.2057	98.8604	403.23	สำเร็จ
UTHA	เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี	15.5586	99.4451	128.61	สำเร็จ
UTTA	เขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์	17.7443	100.5541	62.61	สำเร็จ

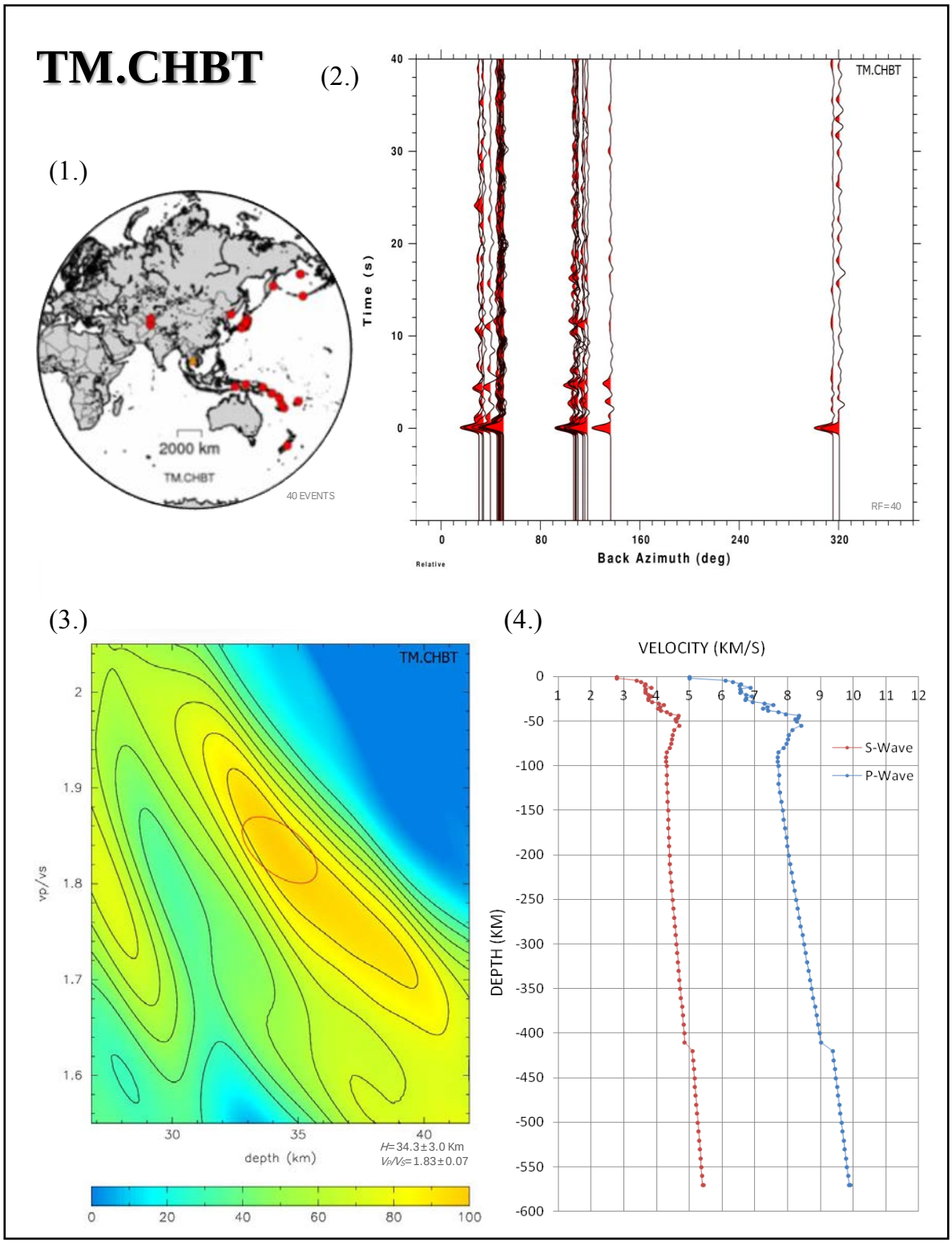
ตารางที่ 2.3 ผลการคำนวณความหนาของแผ่นเปลือกโลกบริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวจำนวน 40 สถานี

ลำดับที่	ชื่อย่อสถานี	ความหนา CRUST (km)	V_P/V_S	จำนวน RF
1	CHAI	34.3±0.4	1.72±0.01	15
2	CHBT	34.3±3.0	1.83±0.07	40
3	CMAI	31.2±0.5	1.74±0.02	101
4	CMMT	30.7±0.3	1.68±0.02	87
5	CRAI	29.4±0.5	1.75±0.02	77
6	KHLT	28.1±2.3	1.71±0.12	45
7	KHON	37.2±1.4	1.73±0.04	93
8	KRAB	32.3±5.2	1.61±0.38	10
9	KRDT	33.1±0.6	1.84±0.02	83
10	LAMP	31.1±0.2	1.72±0.01	132
11	LOEI	33.4±1.5	1.76±0.04	63
12	MHIT	31.9±0.7	1.72±0.02	74
13	MHMT	30.2±0.3	1.66±0.02	79
14	NAN	37.4±0.1	1.79±0.01	46
15	NAYO	33.2±0.3	1.75±0.02	40
16	NONG	34.2±3.5	1.81±0.10	43
17	PANO	38.8±6.9	1.73±0.15	6
18	PATY	27.4±0.2	1.71±0.01	62
19	PAYA	27.0±4.0	1.70±0.09	21
20	PBKT	37.8±0.0	1.69±0.01	84

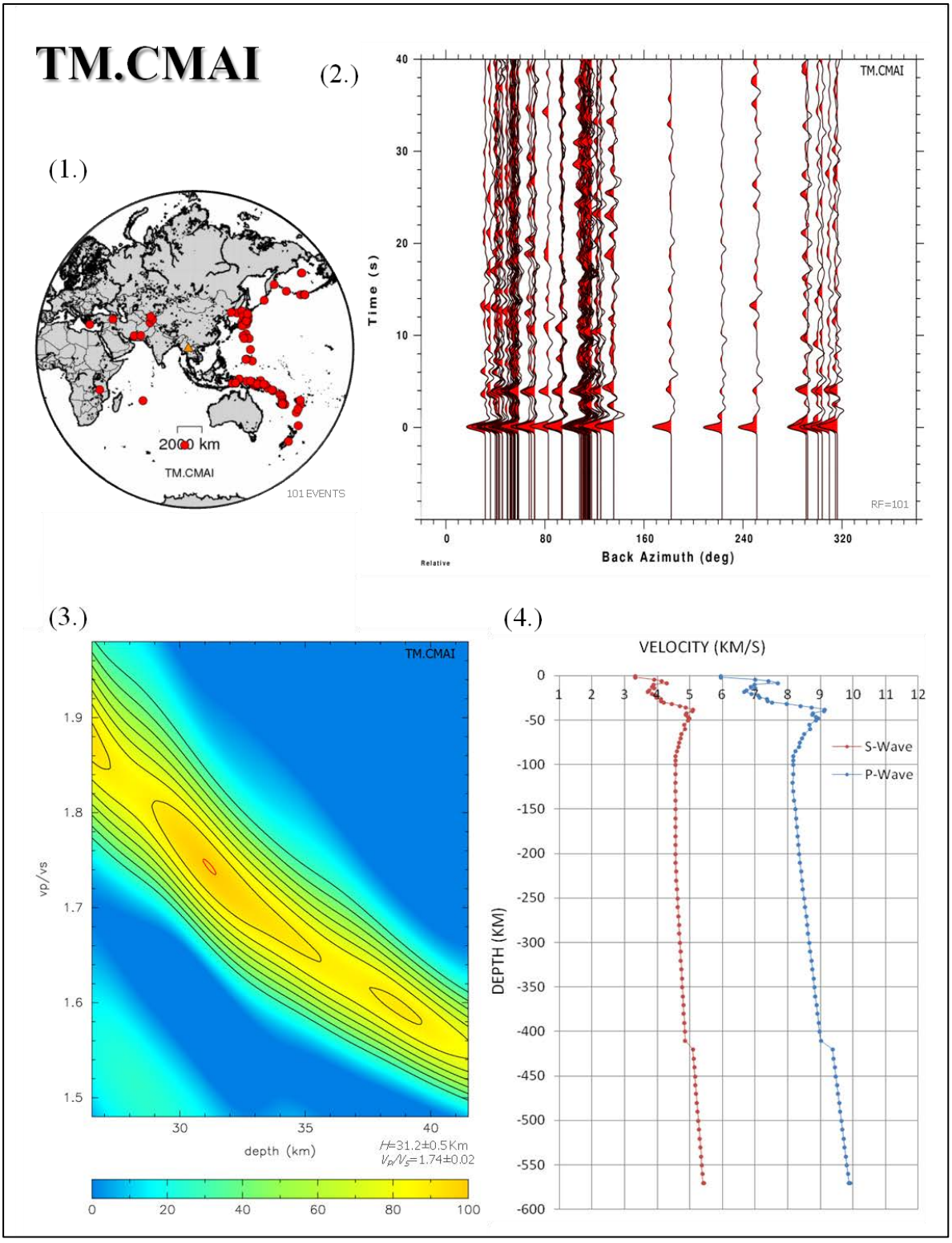
ลำดับที่	ชื่อย่อสถานี	ความหนา CRUST (km)	V_P/V_S	จำนวน RF
21	PHET	28.5±1.0	1.72±0.03	59
22	PHIT	32.3±0.3	1.79±0.02	18
23	PHRA	29.9±4.9	1.78±0.30	31
24	PKDT	30.1±0.4	1.68±0.02	44
25	PRAC	28.2±0.2	1.68±0.01	79
26	RNTT	31.5±0.7	1.70±0.03	56
27	SKLT	26.6±0.0	1.65±0.01	64
28	SKNT	40.4±2.9	1.76±0.00	76
29	SRAK	37.9±2.5	1.74±0.06	50
30	SRDT	28.5±0.9	1.71±0.03	79
31	SRIT	31.8±2.5	1.61±0.11	10
32	SUKH	29.9±0.3	1.74±0.02	58
33	SURA	30.6±4.4	1.68±0.14	8
34	SURI	34.0±0.5	1.85±0.03	36
35	SURT	26.5±0.7	1.76±0.03	93
36	TRTT	28.2±0.4	1.60±0.01	75
37	UBPT	34.5±0.4	1.77±0.01	71
38	UMPA	30.0±3.1	1.66±0.06	58
39	UTHA	28.5±0.3	1.76±0.02	33
40	UTTA	31.9±1.1	1.75±0.03	94



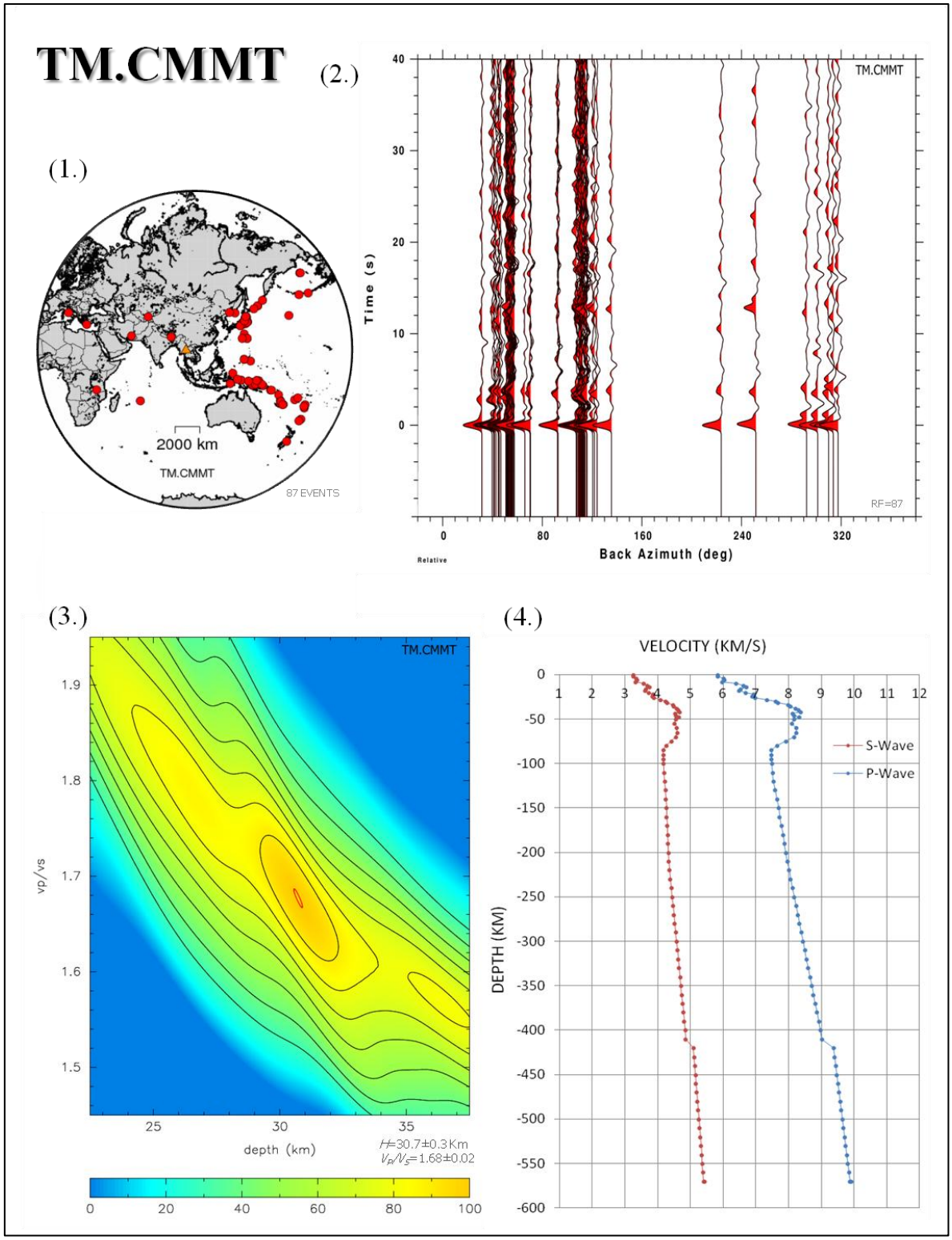
รูปที่ 2.25 ผลการศึกษาของสถานี CHAI อ่างเก็บน้ำช่อระกา จ. ชัยภูมิ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



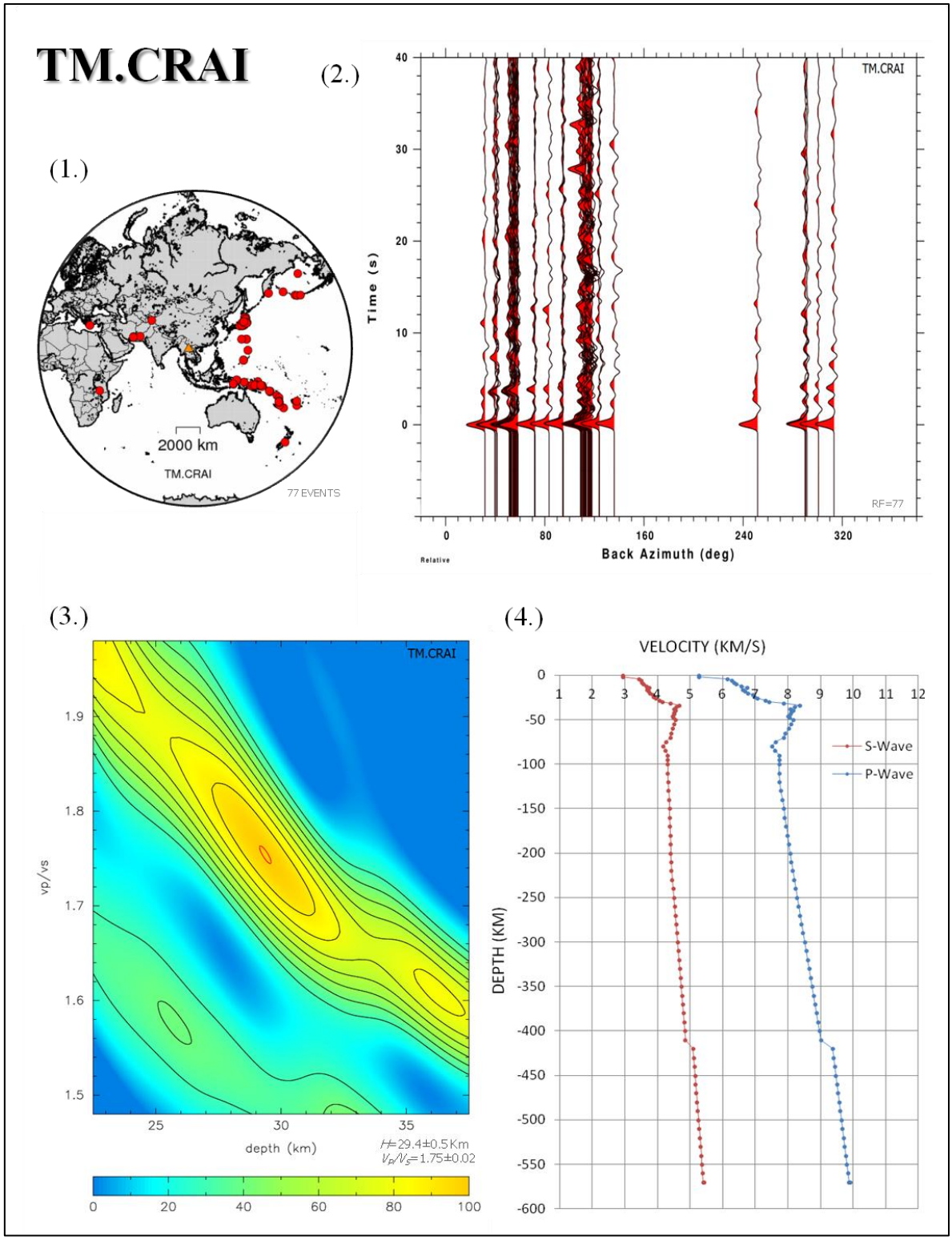
รูปที่ 2.26 ผลการศึกษาของสถานี CHBT เขื่อนคีรีธาร จ.จันทบุรี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



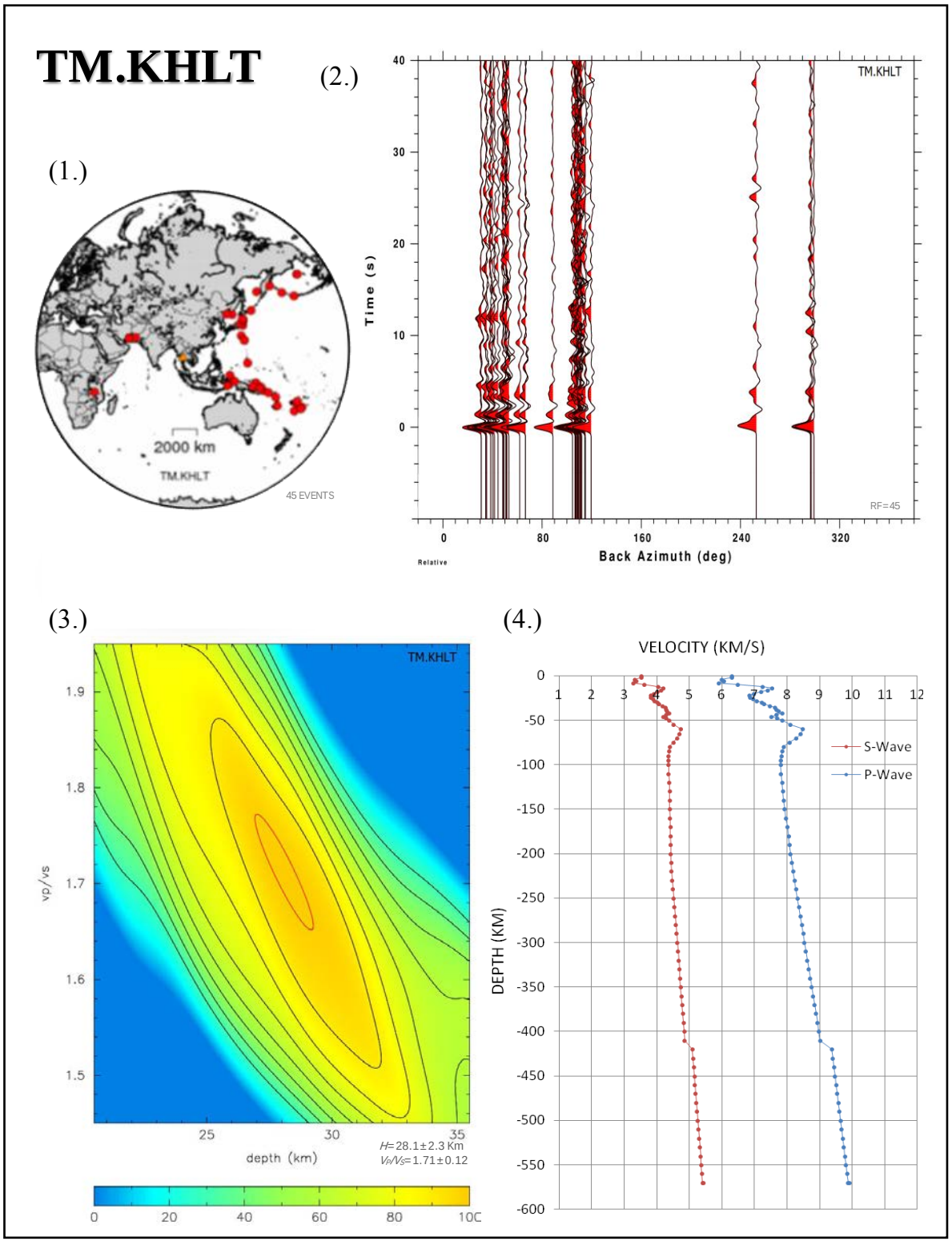
รูปที่ 2.27 ผลการศึกษาของสถานี CMAI สถานีอุตุนิยมวิทยา ดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



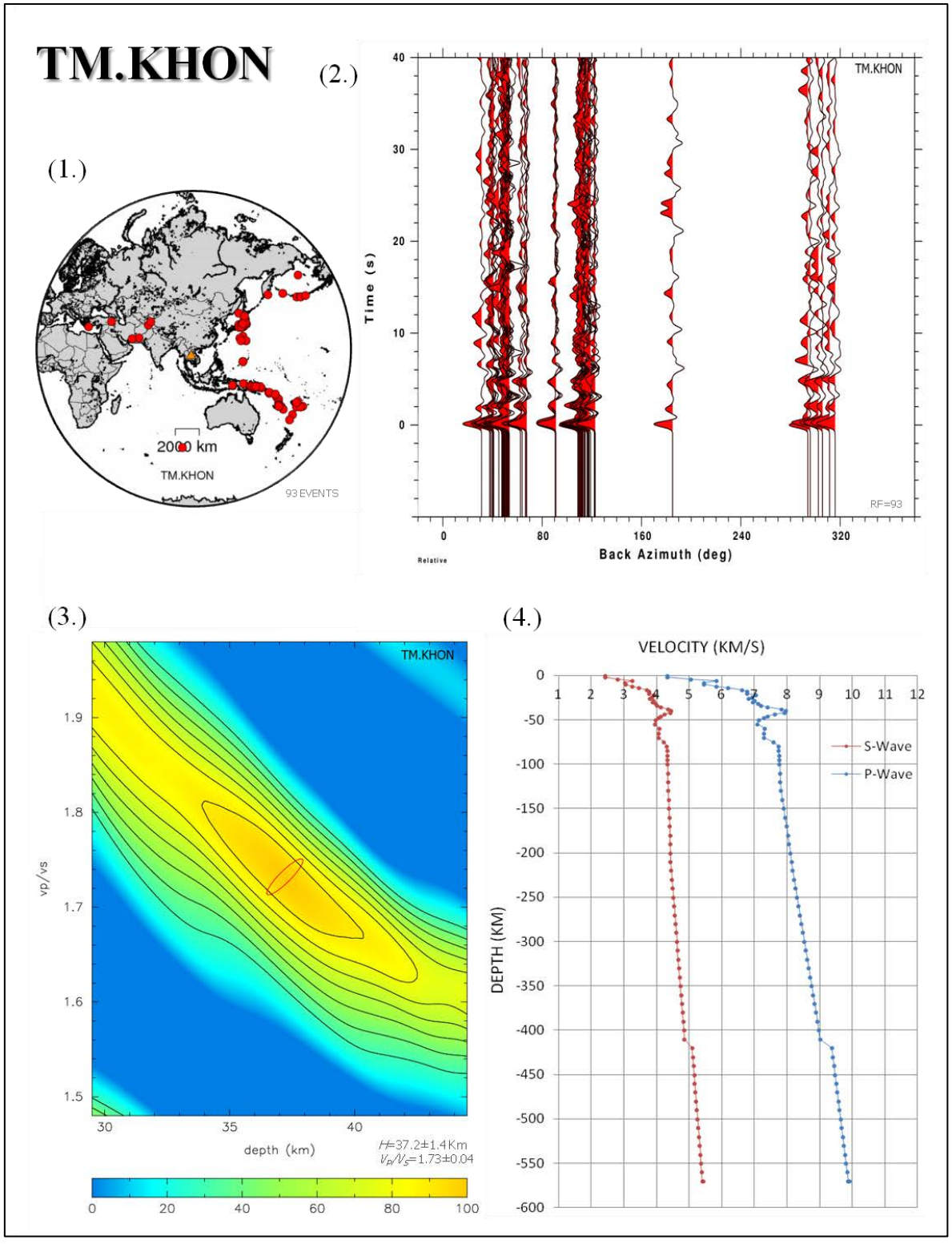
รูปที่ 2.28 ผลการศึกษาของสถานี CMMT ดอยสุเทพ จ.เชียงใหม่ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



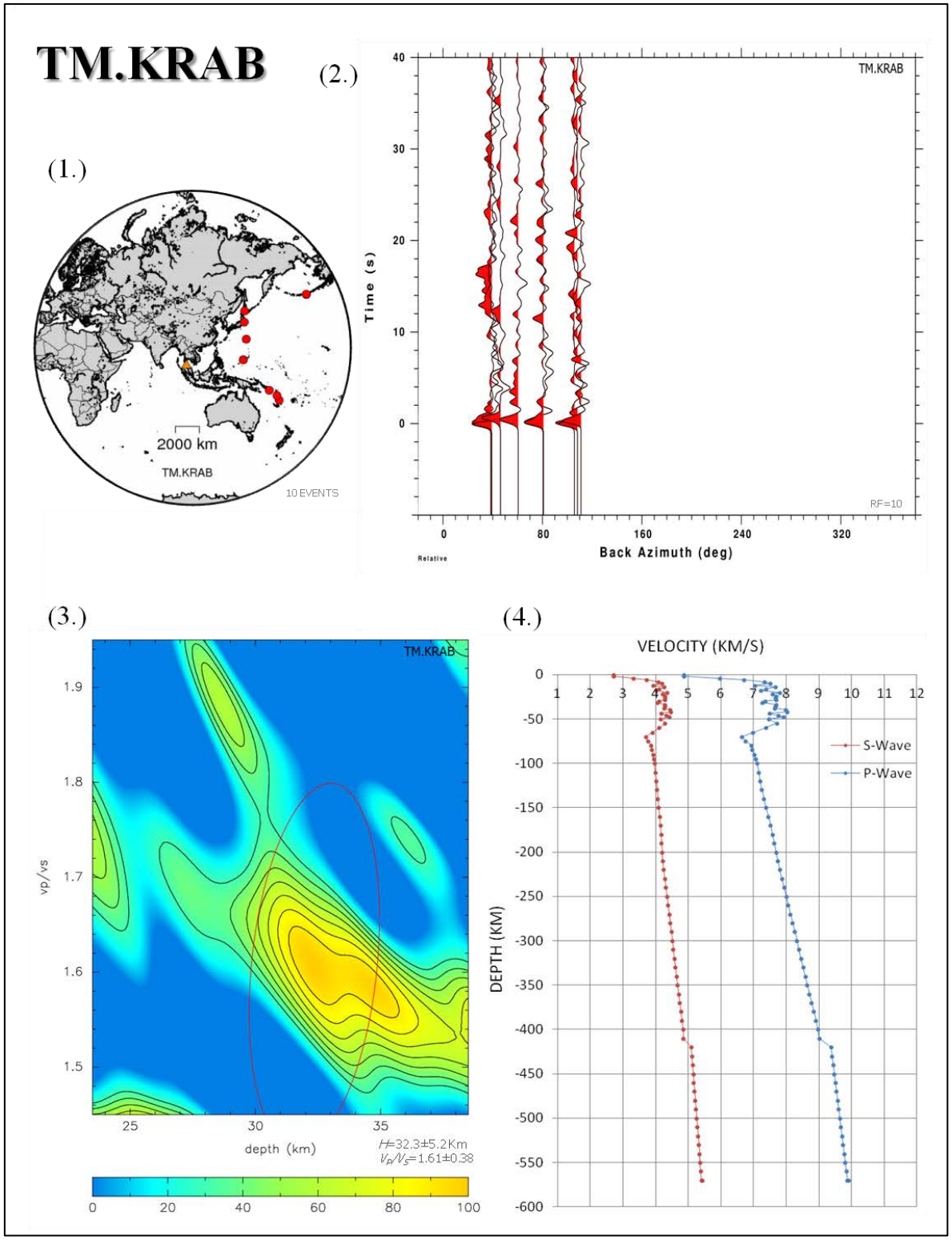
รูปที่ 2.29 ผลการศึกษาของสถานี CRAI อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



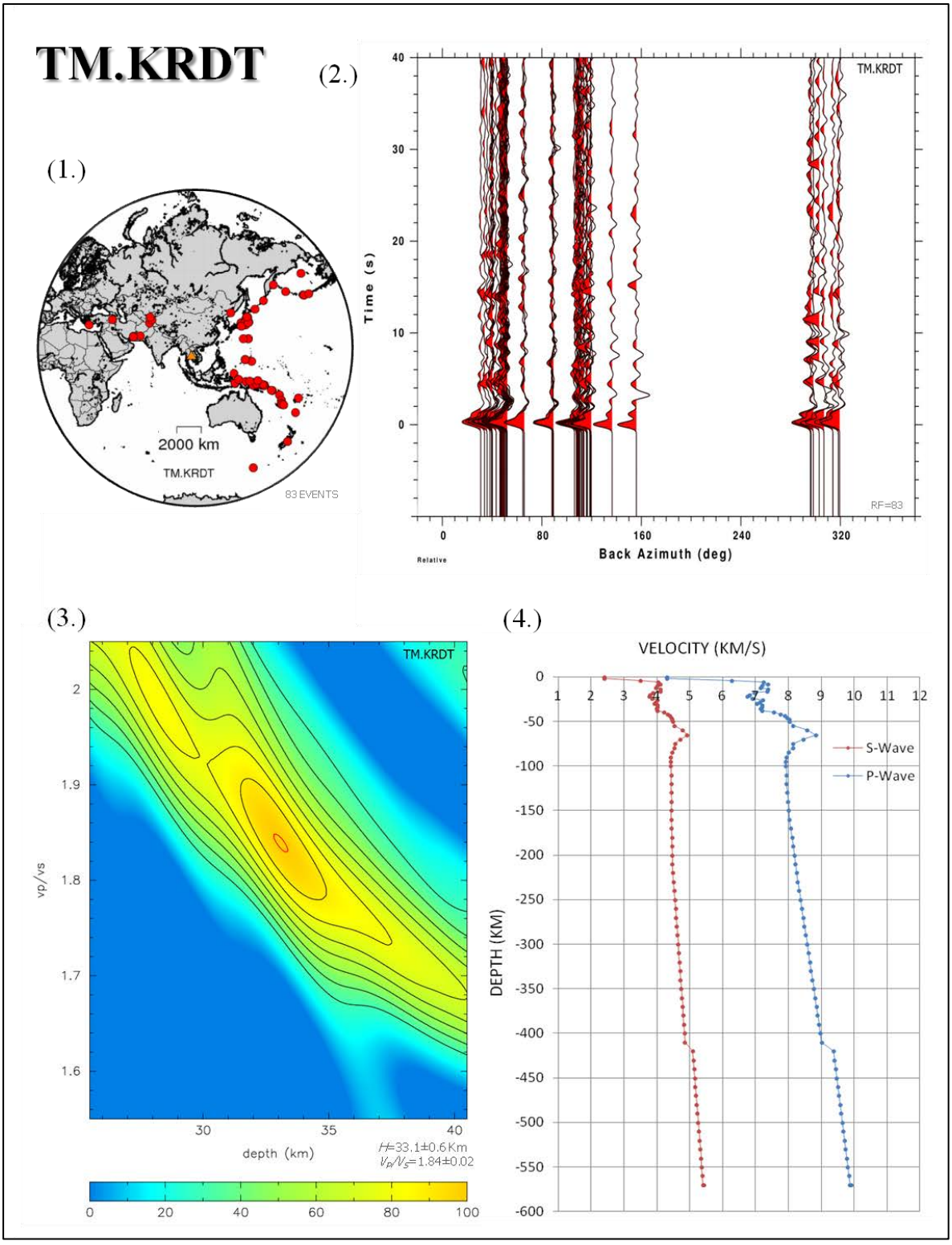
รูปที่ 2.30 ผลการศึกษาของสถานี KHLT เขื่อนวชิราลงกรณ์ จ.กาญจนบุรี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



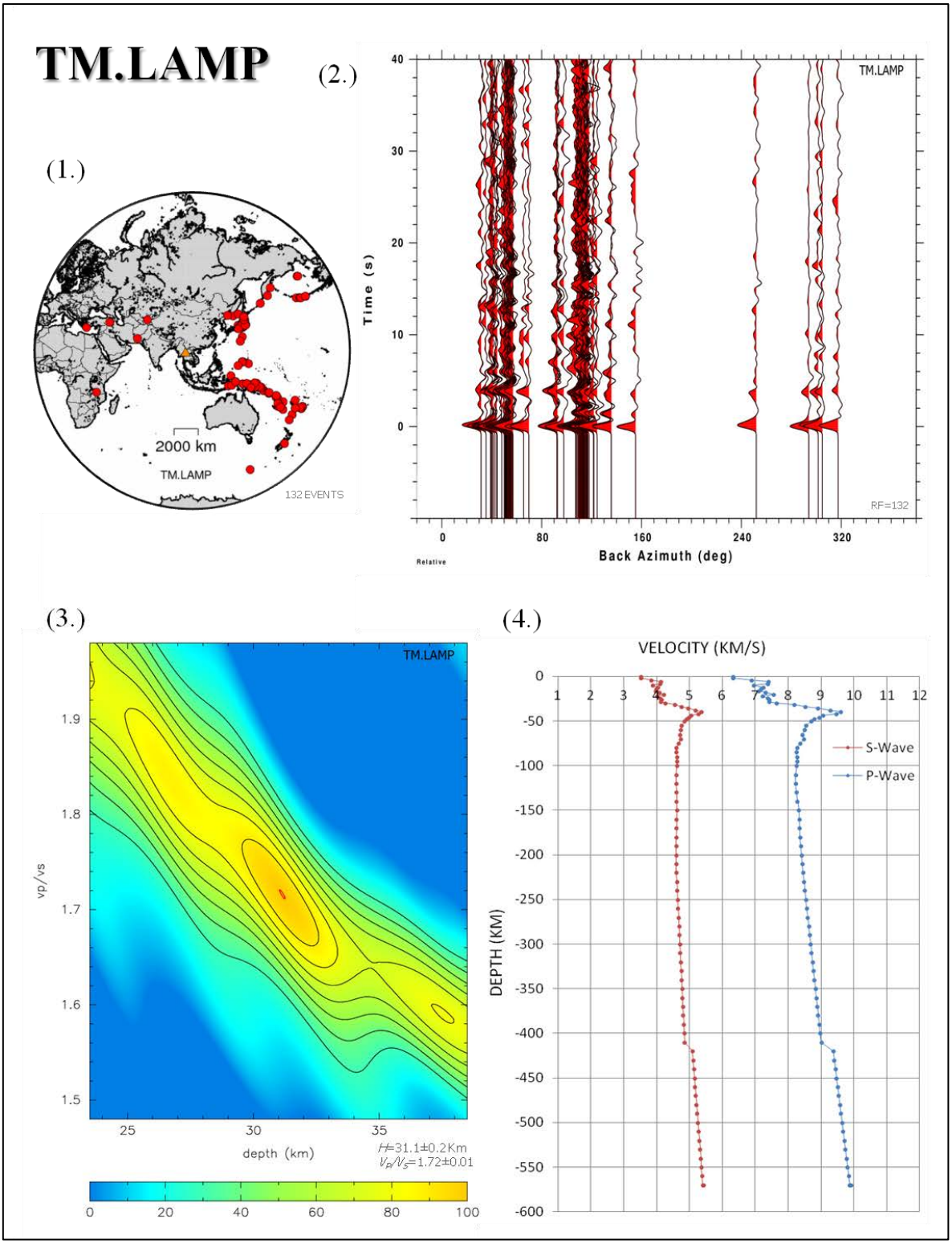
รูปที่ 2.31 ผลการศึกษาของสถานี KHON สถานีอากาศเกษตรท่าพระ จ. ขอนแก่น (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



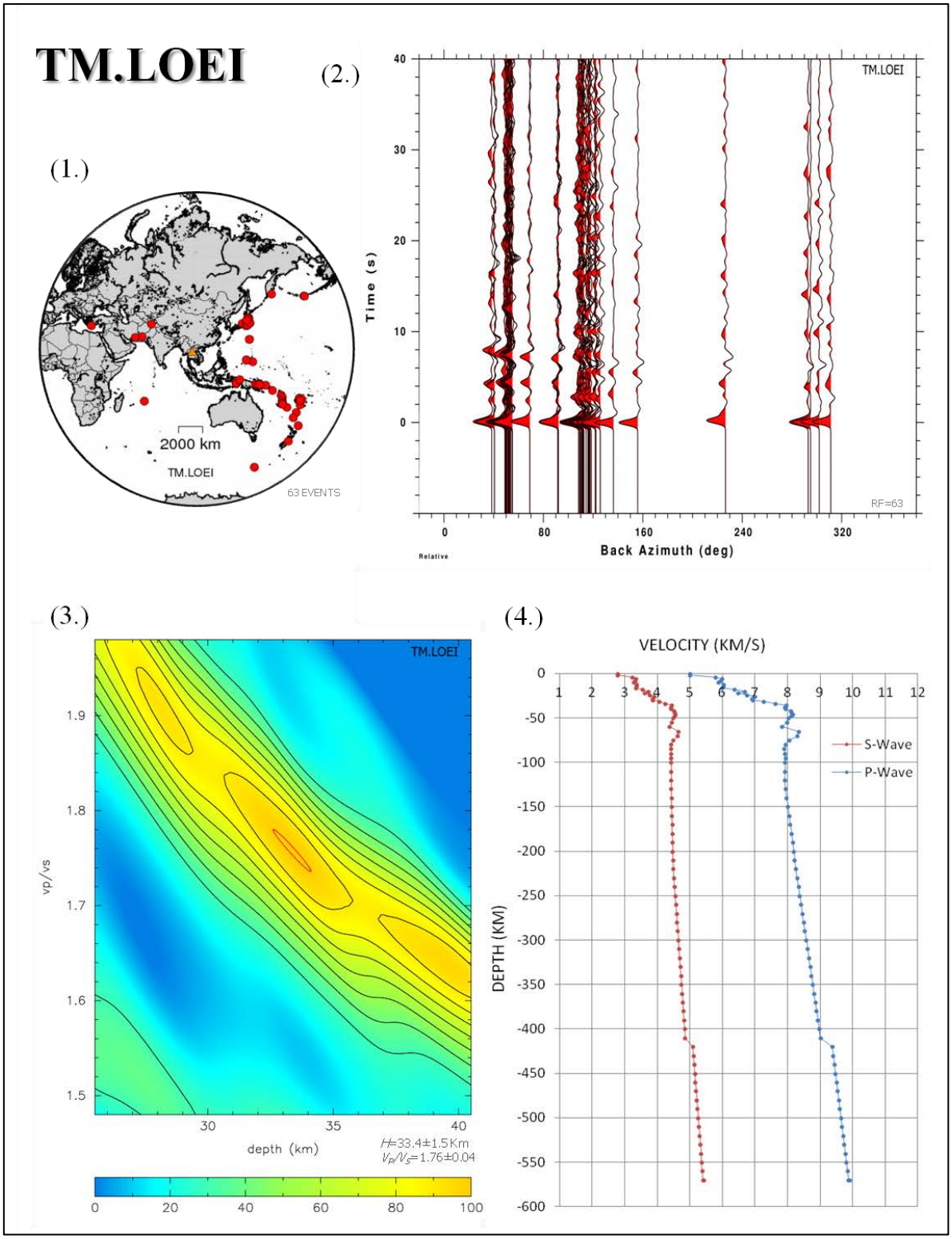
รูปที่ 2.32 ผลการศึกษาของสถานี KRAB อ่างเก็บน้ำบางกำปรัด จ. กระบี่ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



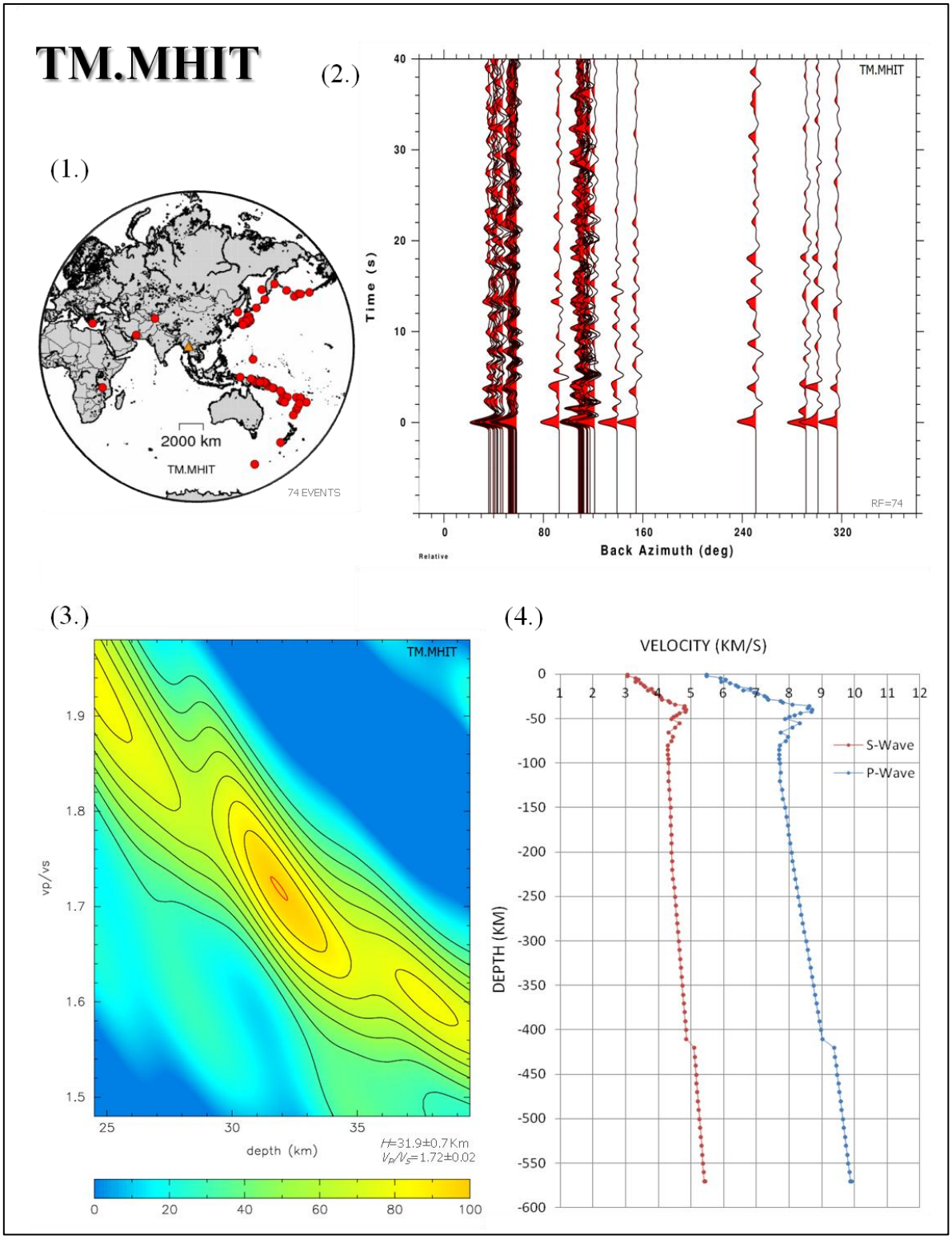
รูปที่ 2.33 ผลการศึกษาของสถานี KRDT เขื่อนลำพระเพลิง จ.นครราชสีมา (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



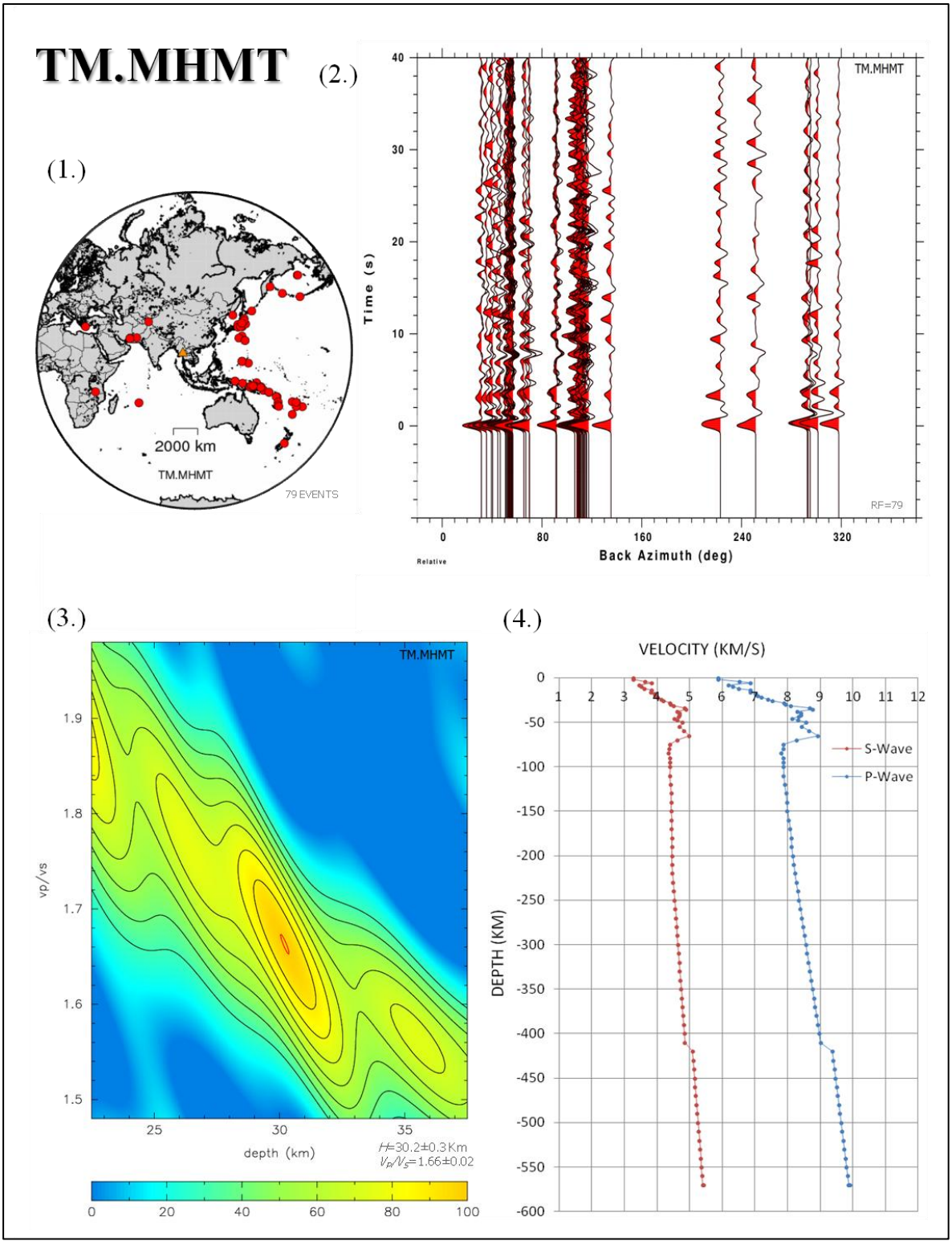
รูปที่ 2.34 ผลการศึกษาของสถานี LAMP เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



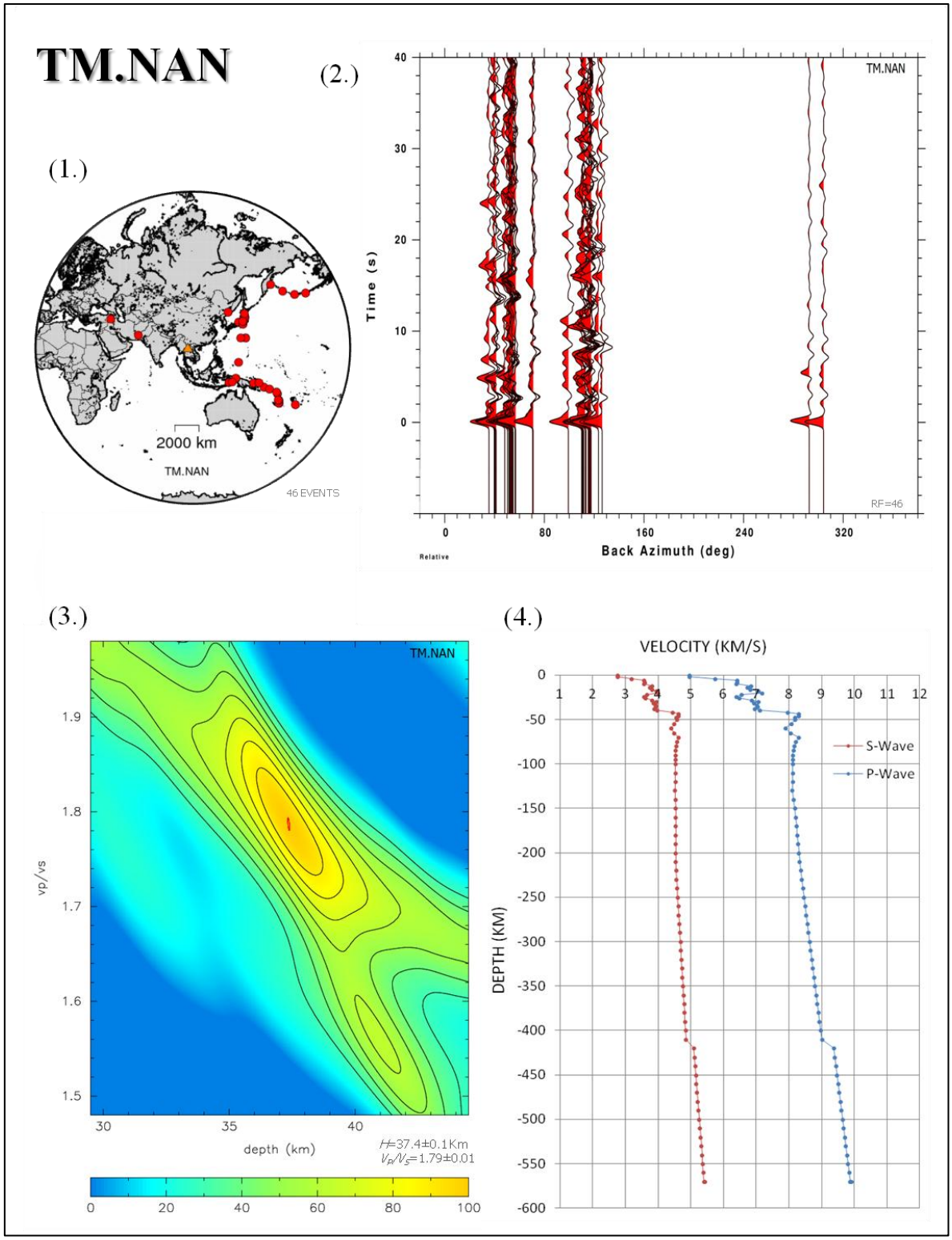
รูปที่ 2.35 ผลการศึกษาของสถานี LOEI อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ. เลย (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



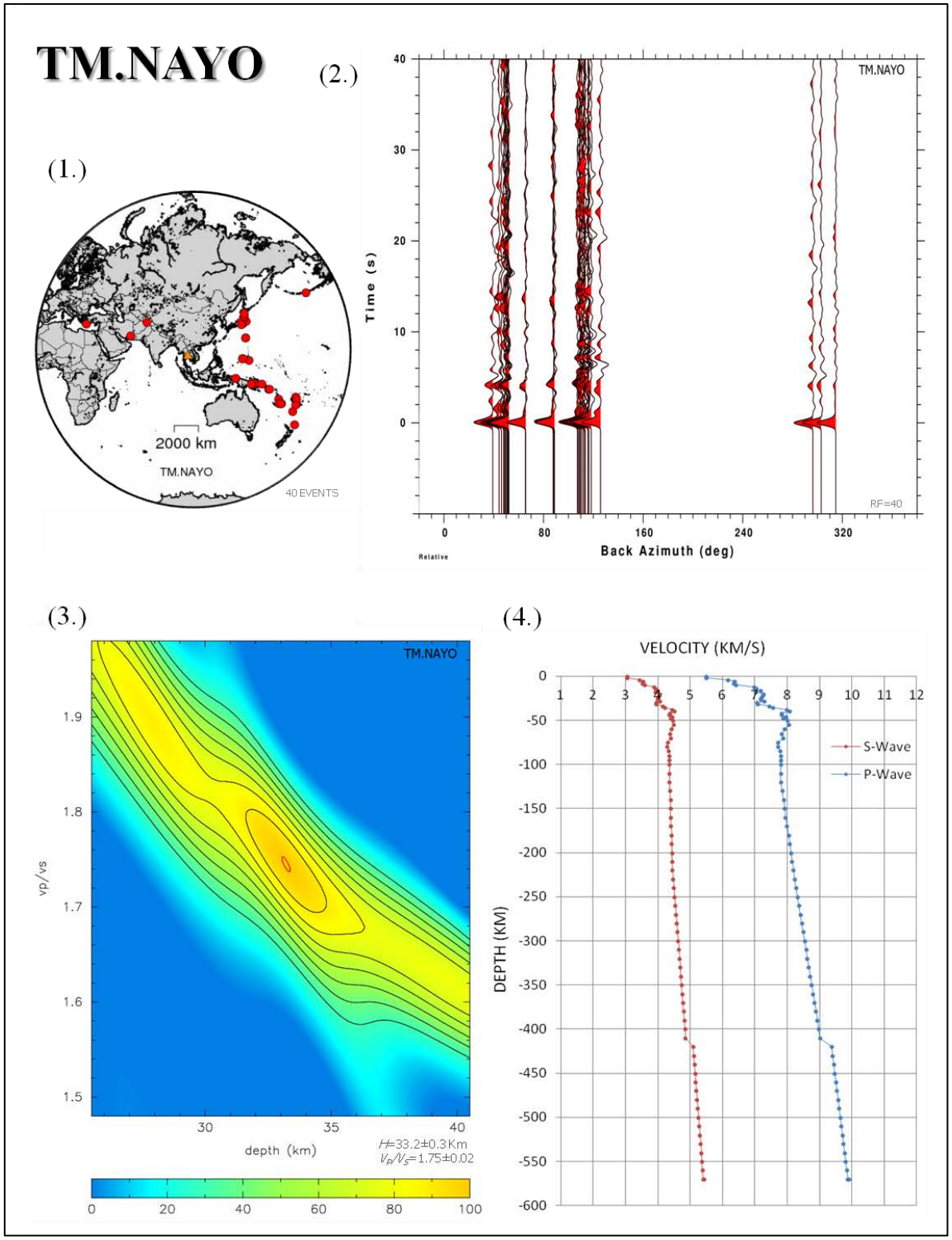
รูปที่ 2.36 ผลการศึกษาของสถานี MHIT ด่านตรวจคนเข้าเมือง จ.แม่ฮ่องสอน (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



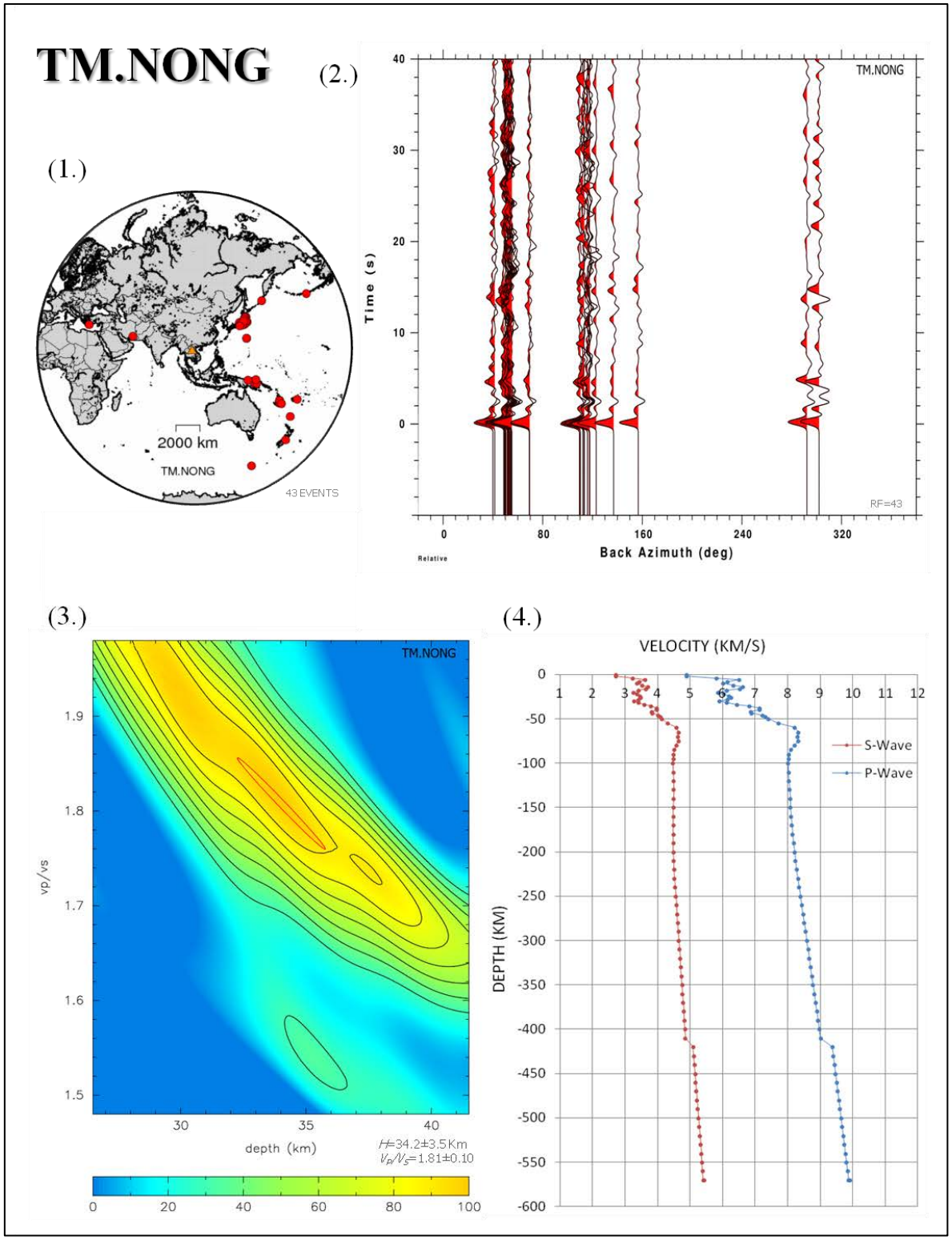
รูปที่ 2.37 ผลการศึกษาของสถานี MHMT สถานีอุตุนิยมวิทยา แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



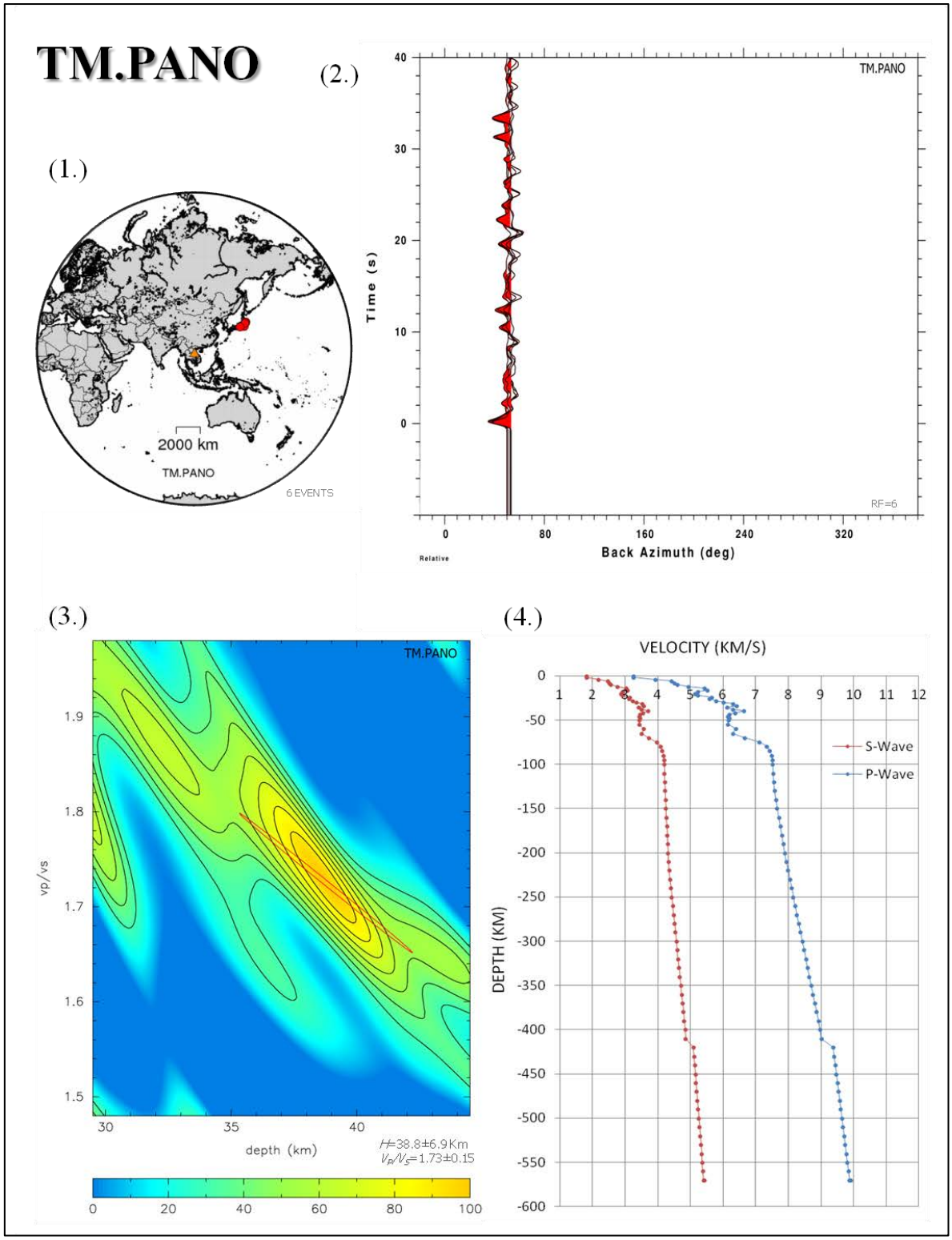
รูปที่ 2.38 ผลการศึกษาของสถานี NAN ฝายน้ำกอน จ.น่าน (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



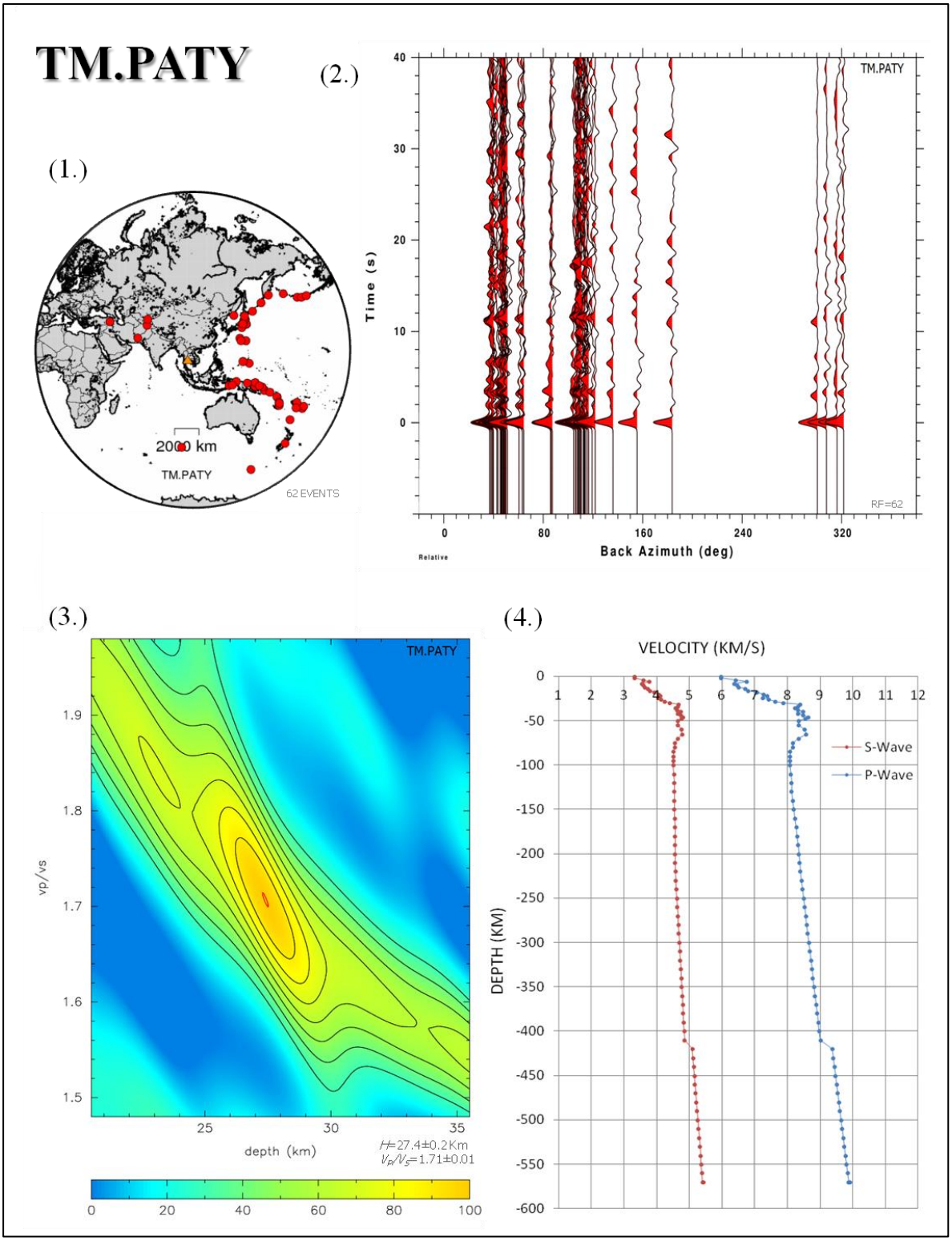
รูปที่ 2.39 ผลการศึกษาของสถานี NAYO อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน จ.นครนายก (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



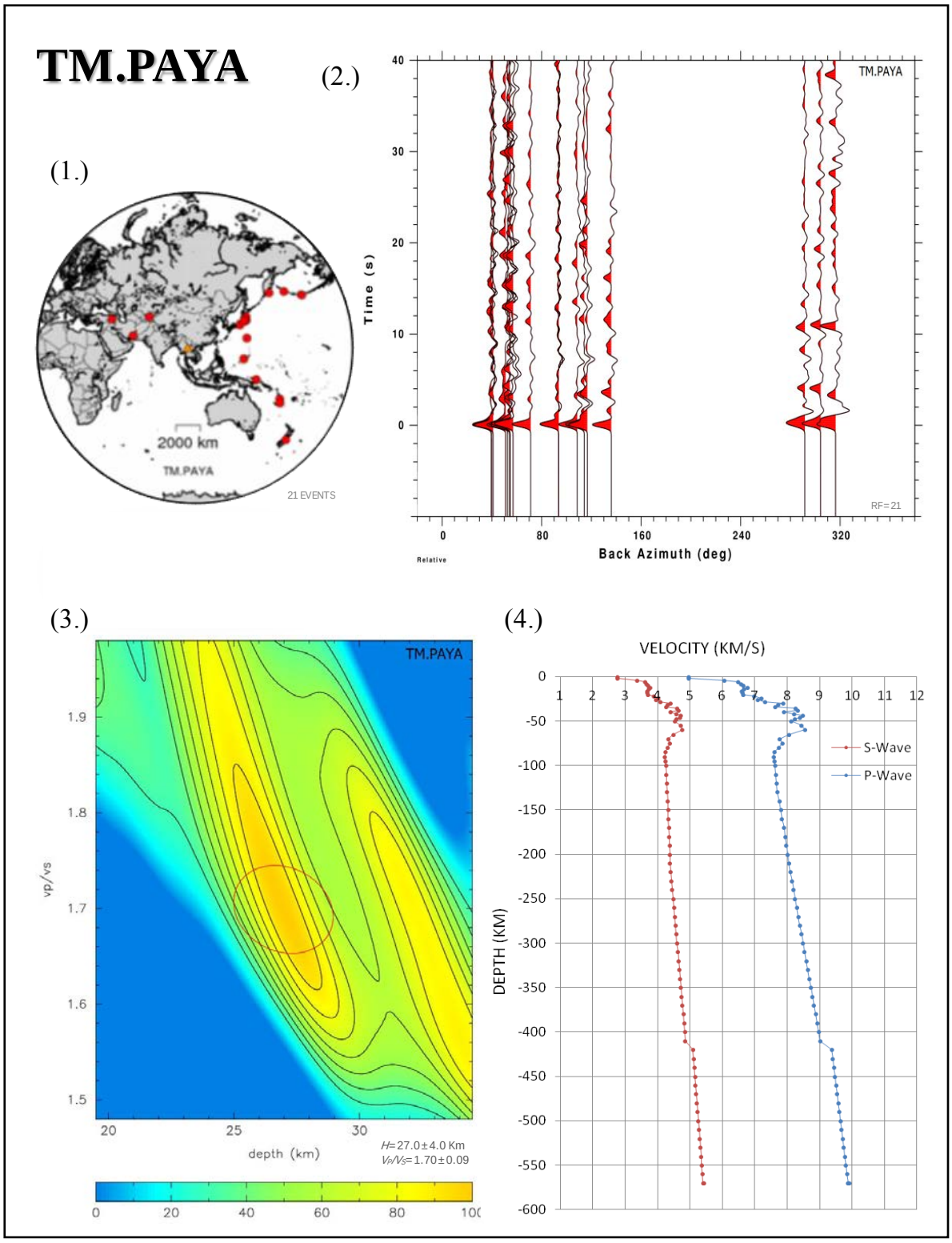
รูปที่ 2.40 ผลการศึกษาของสถานี NONG อ่างเก็บน้ำห้วยเปลวเหงือก จ.หนองคาย (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



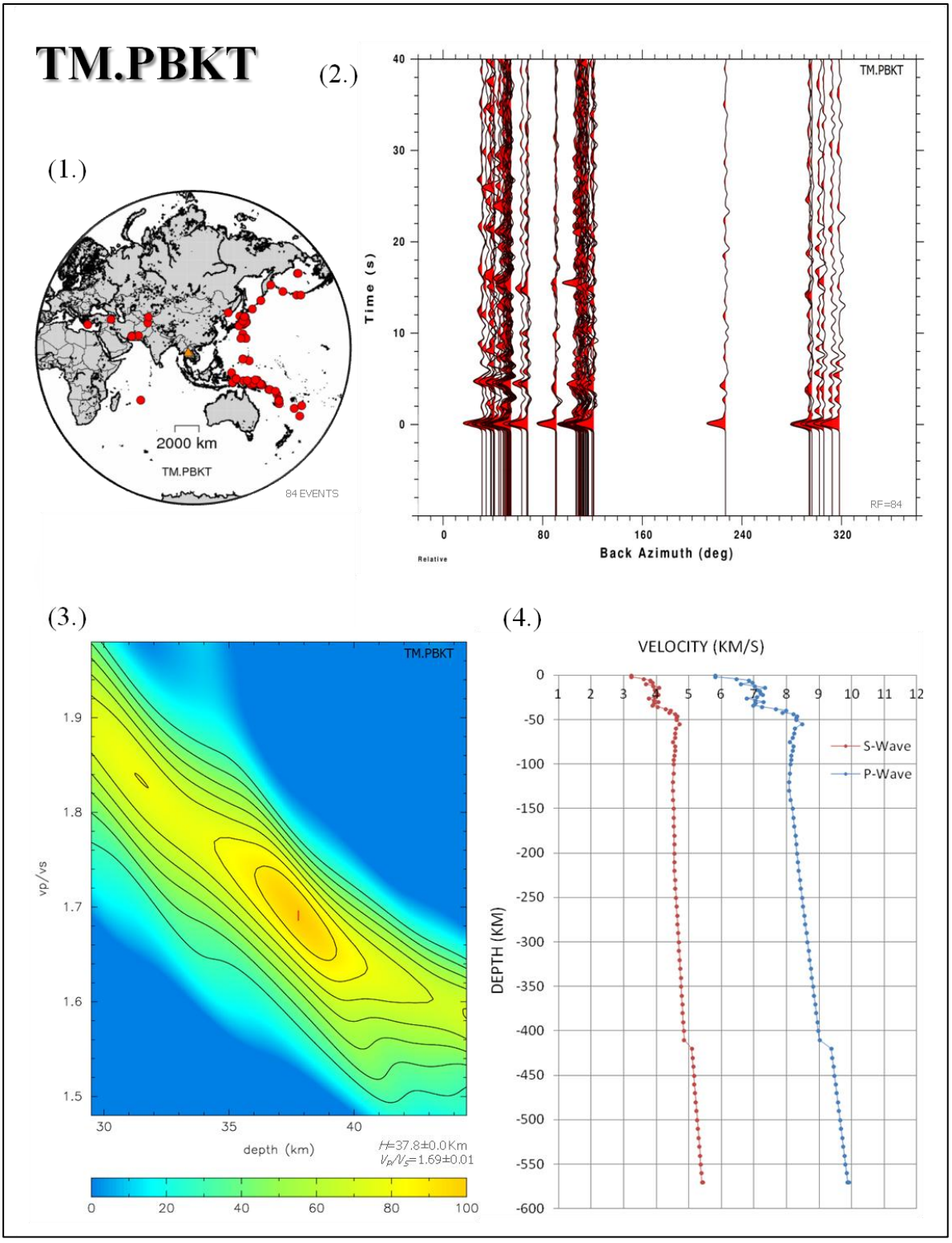
รูปที่ 2.41 ผลการศึกษาของสถานี PANO อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ.นครพนม (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



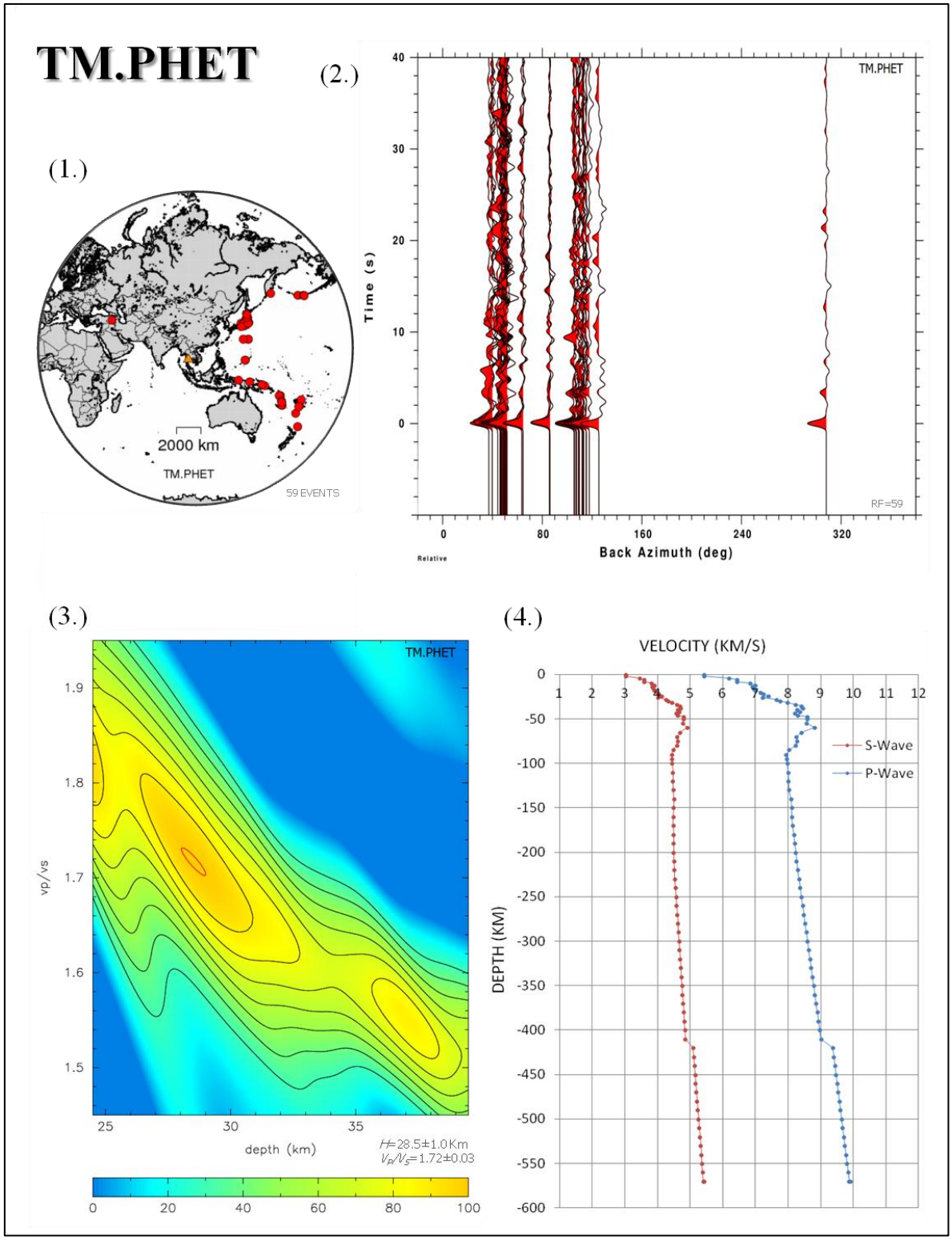
รูปที่ 2.42 ผลการศึกษาของสถานี PATY สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา จ.ชลบุรี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



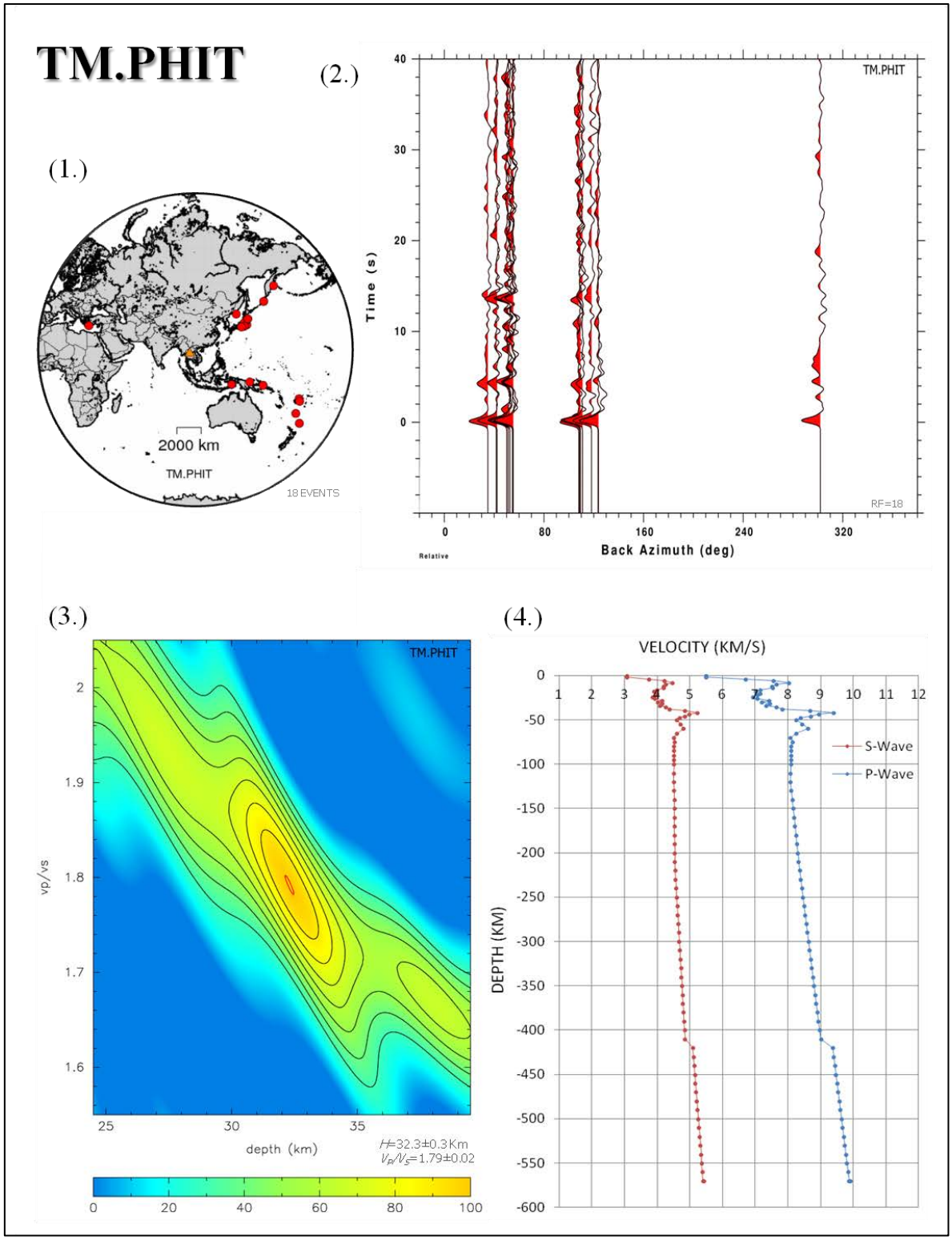
รูปที่ 2.43 ผลการศึกษาของสถานี PAYA อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



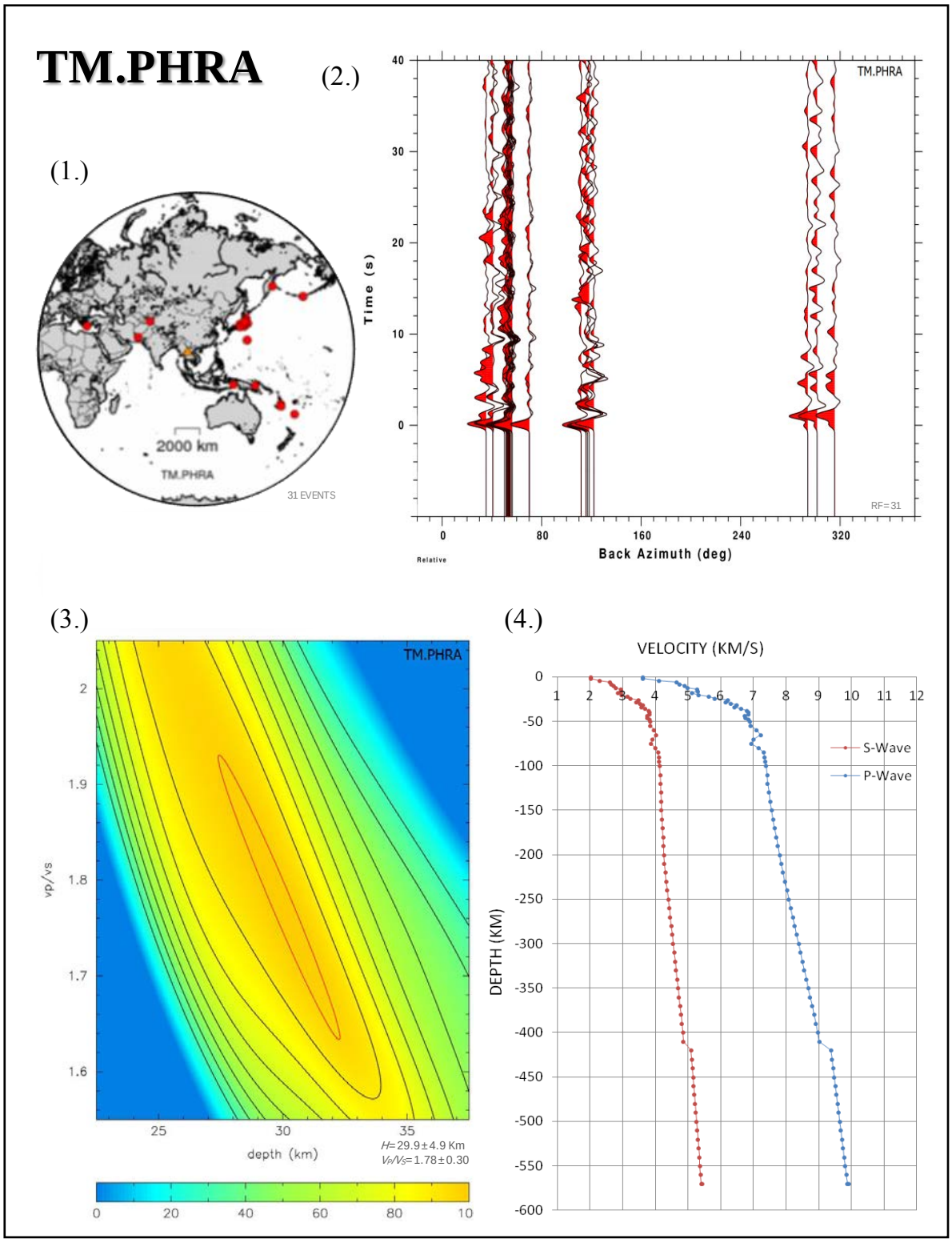
รูปที่ 2.44 ผลการศึกษาของสถานี PBKT เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



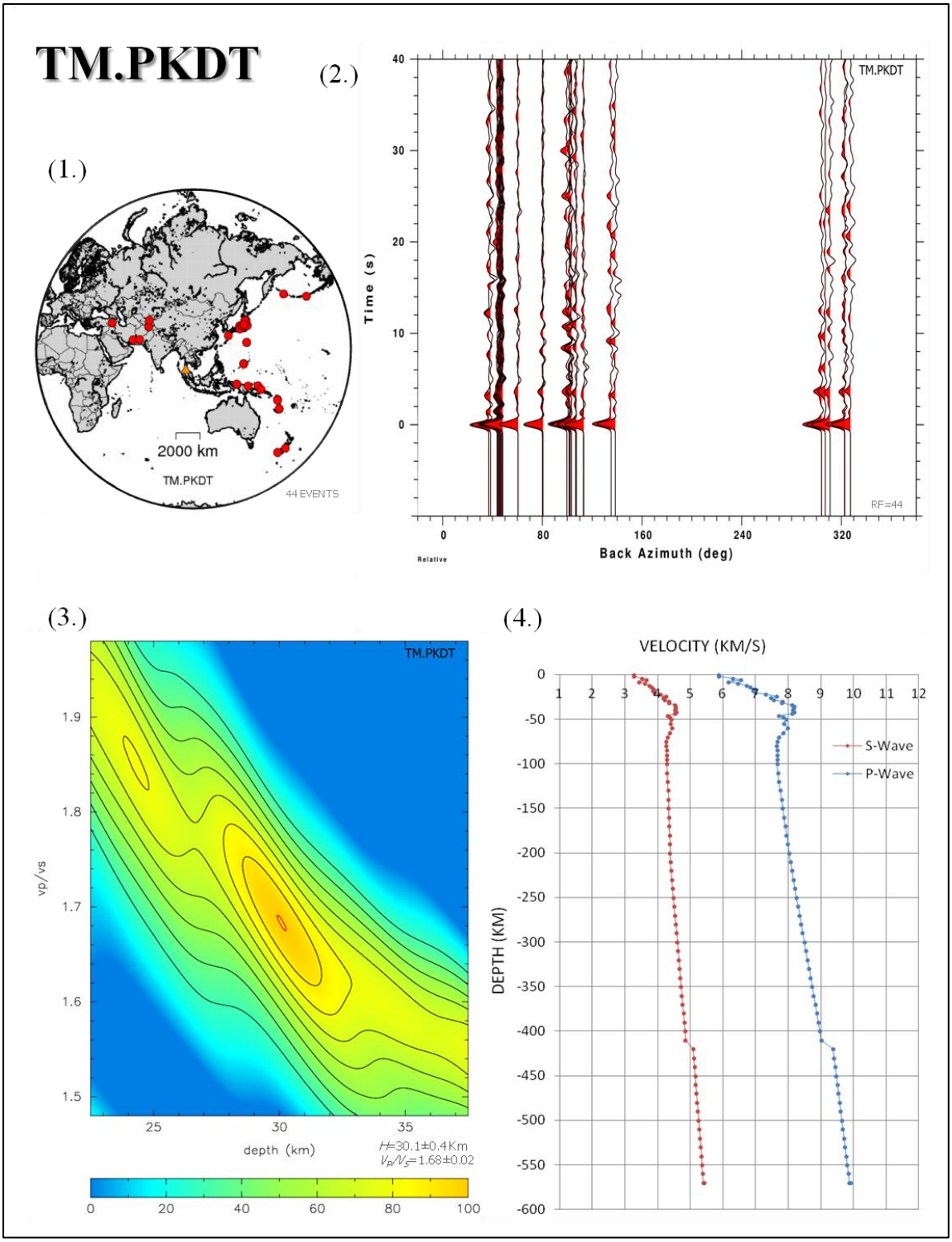
รูปที่ 2.45 ผลการศึกษาของสถานี PHET อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จ. เพชรบุรี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



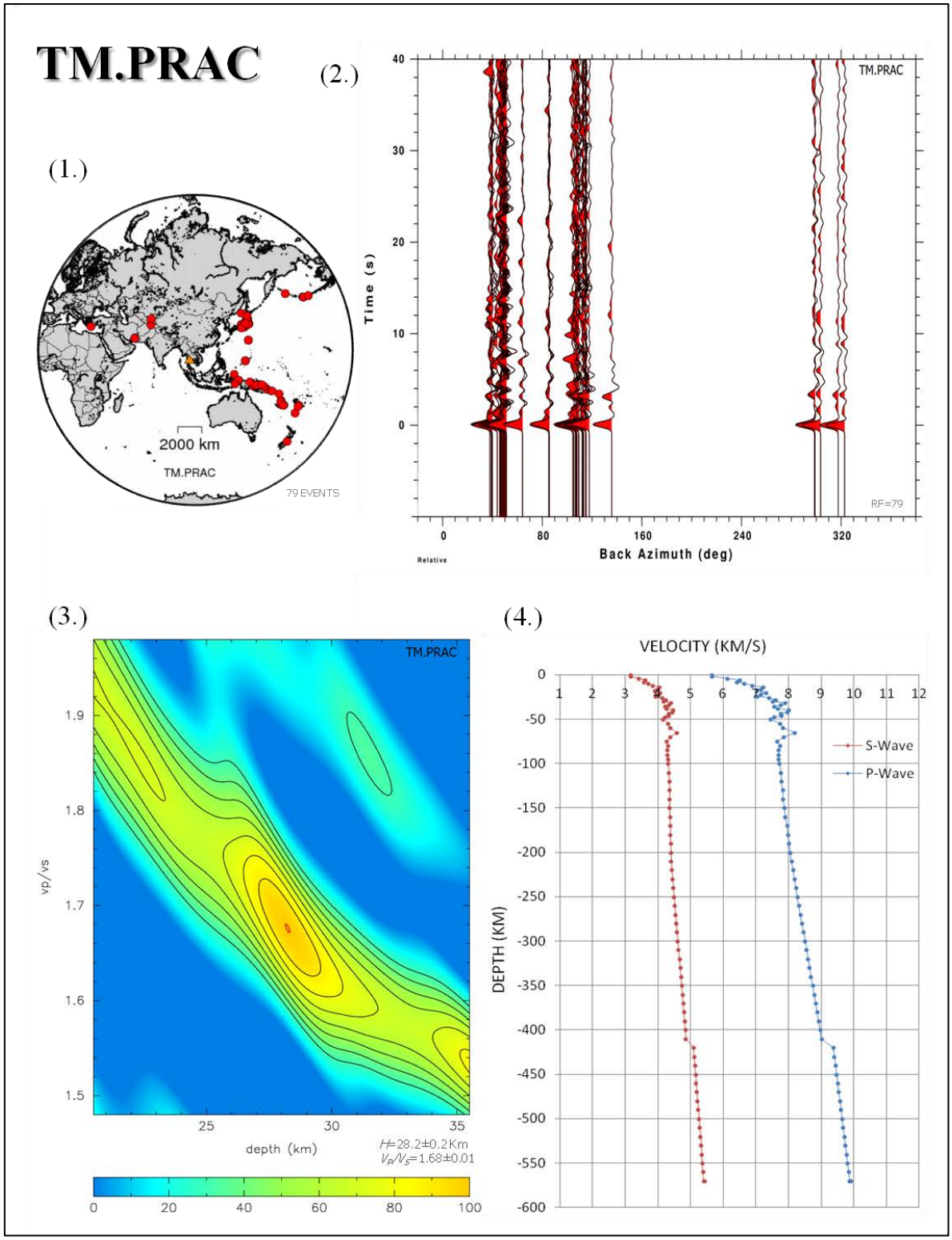
รูปที่ 2.46 ผลการศึกษาของสถานี PHIT เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



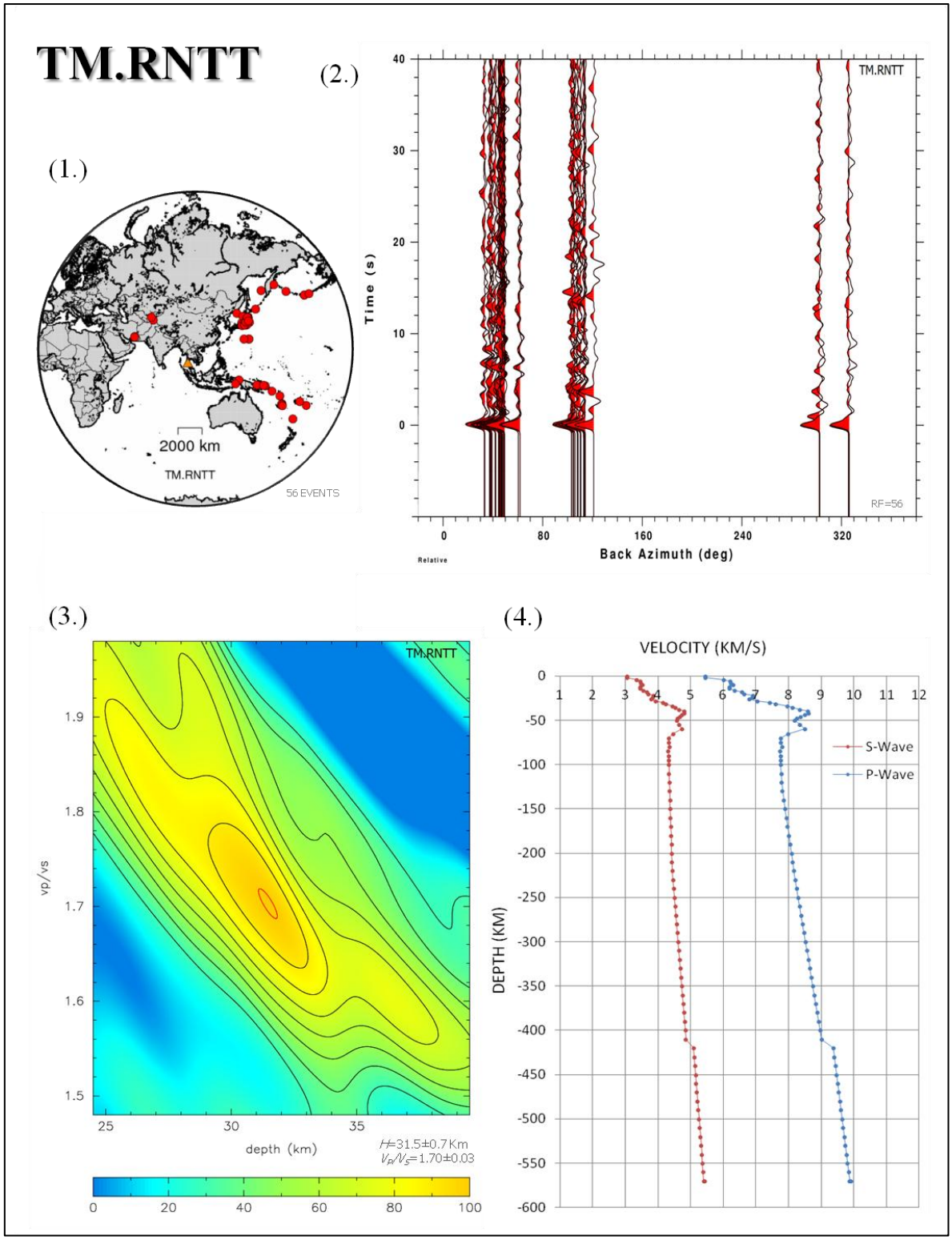
รูปที่ 2.47 ผลการศึกษาของสถานี PHRA อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



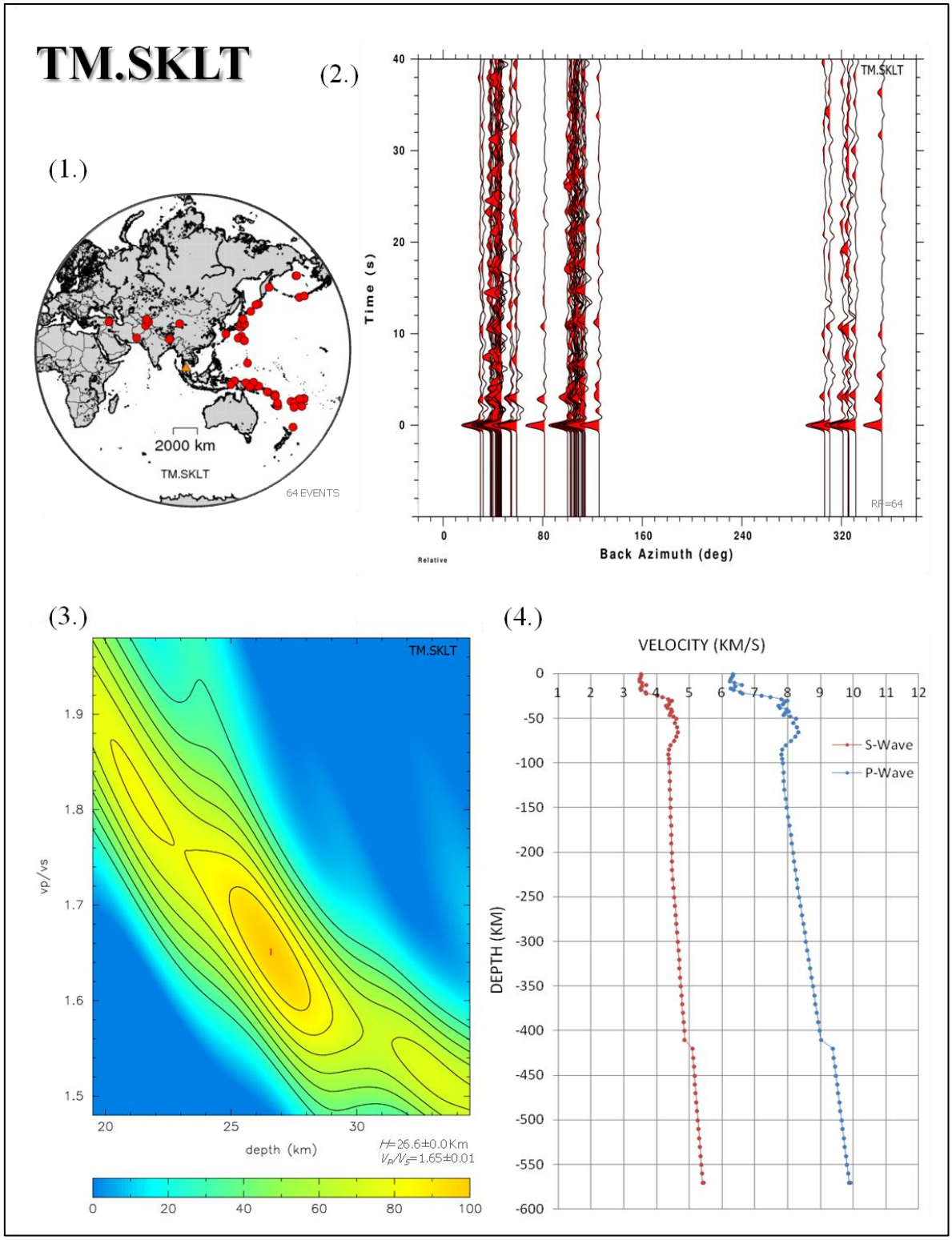
รูปที่ 2.48 ผลการศึกษาของสถานี PKDT เขื่อนบางวาด จ.ภูเก็ต (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



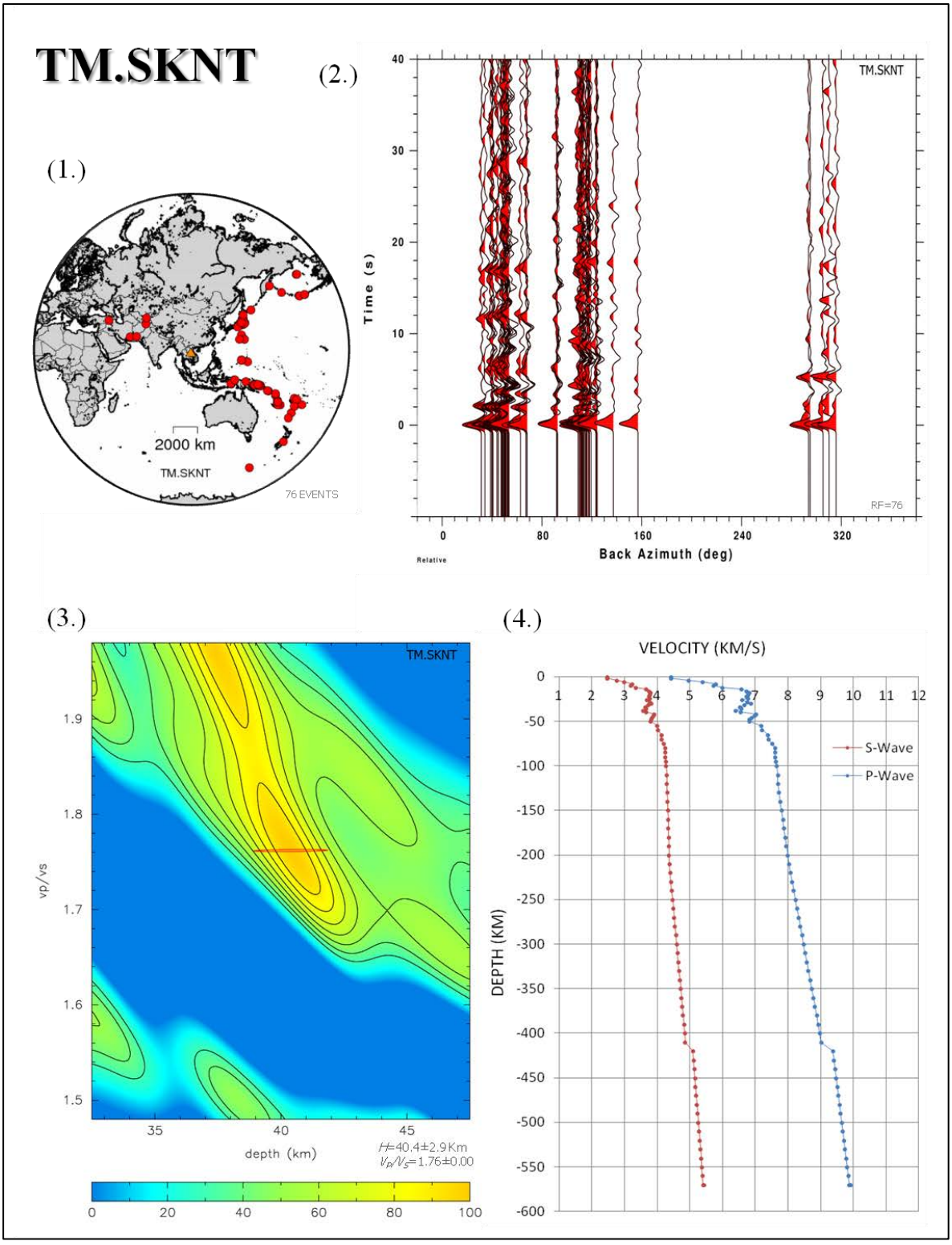
รูปที่ 2.49 ผลการศึกษาของสถานี PRAC เขื่อนปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



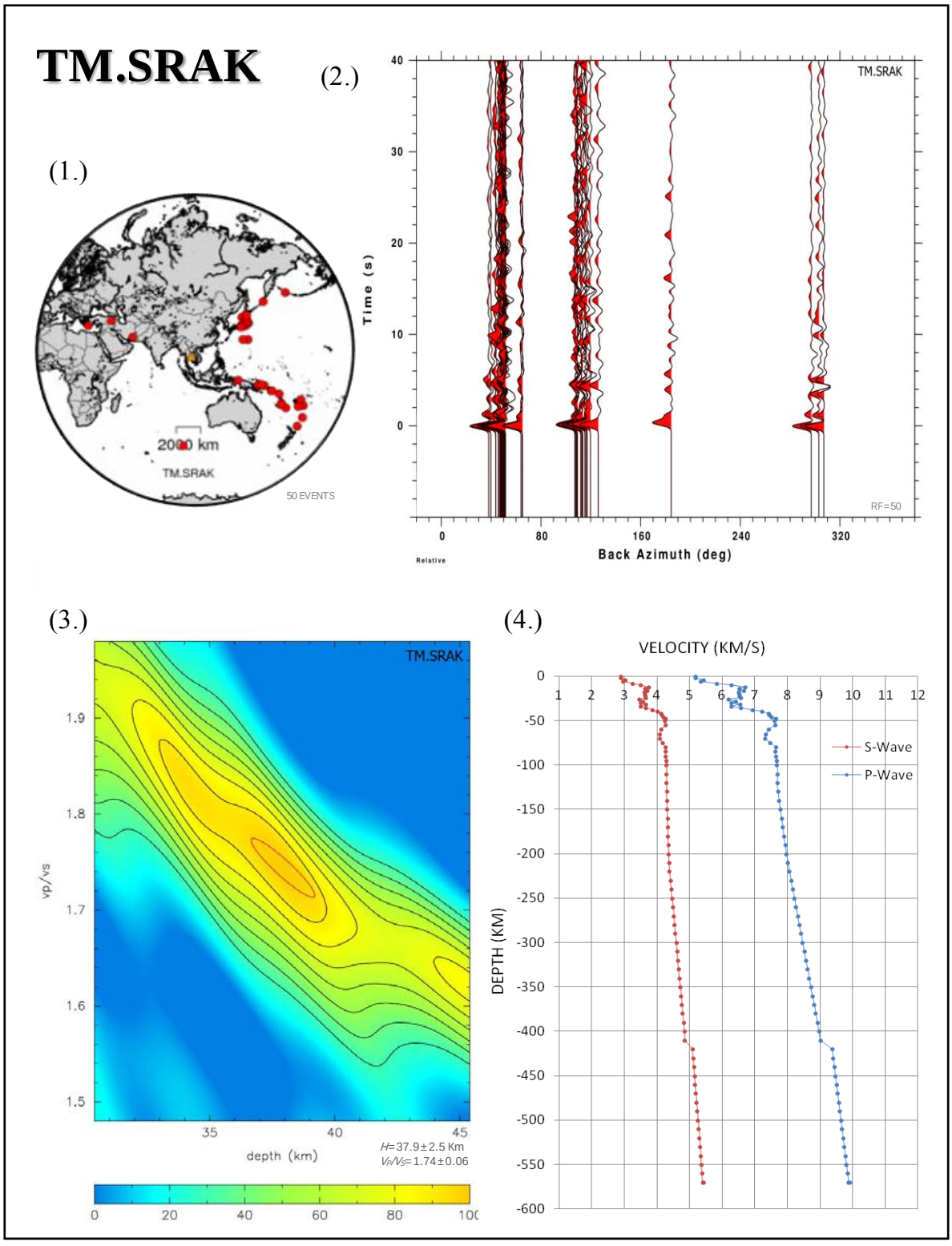
รูปที่ 2.50 ผลการศึกษาของสถานี RNTT จ.ระนอง (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



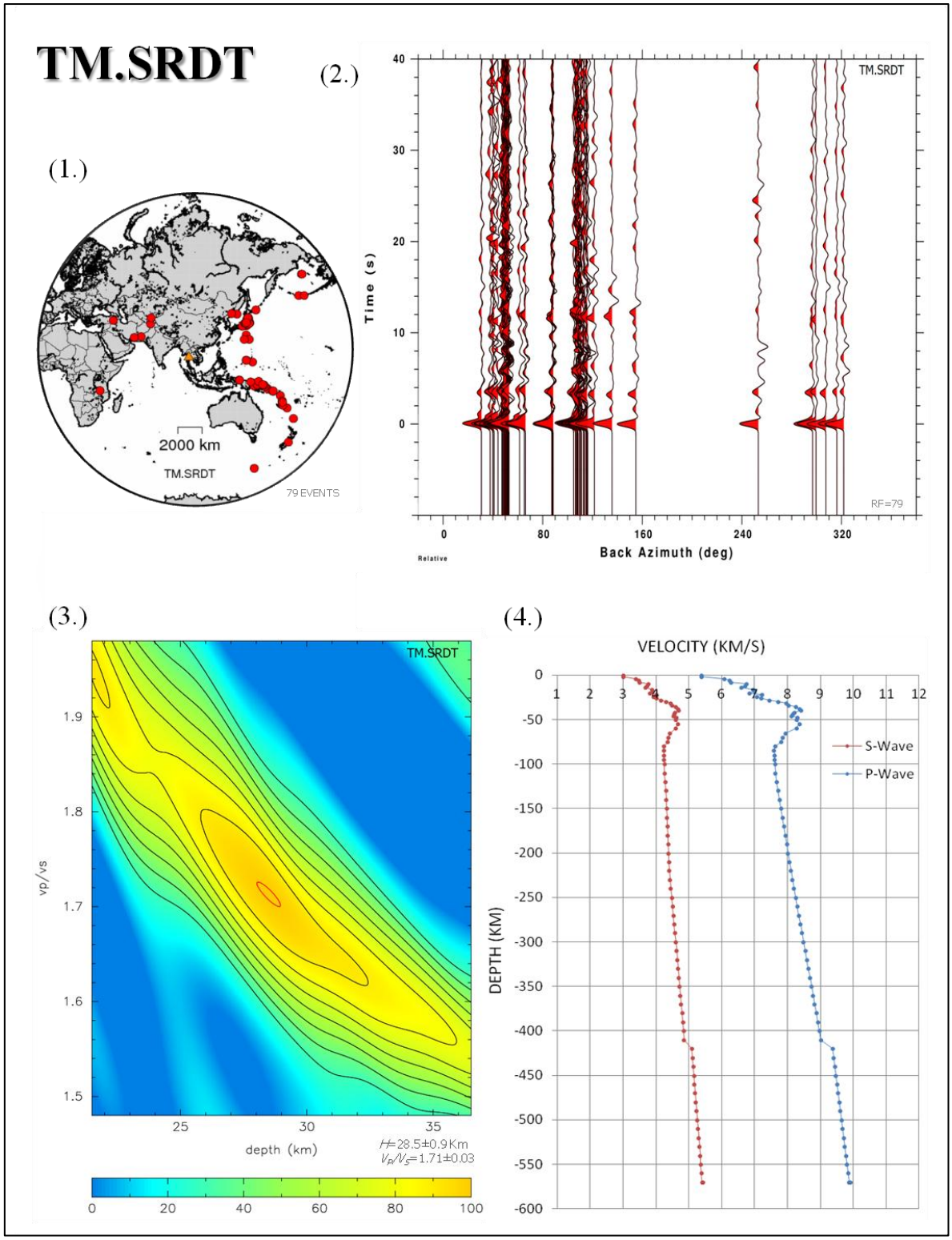
รูปที่ 2.51 ผลการศึกษาของสถานี SKLT จ.สงขลา (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



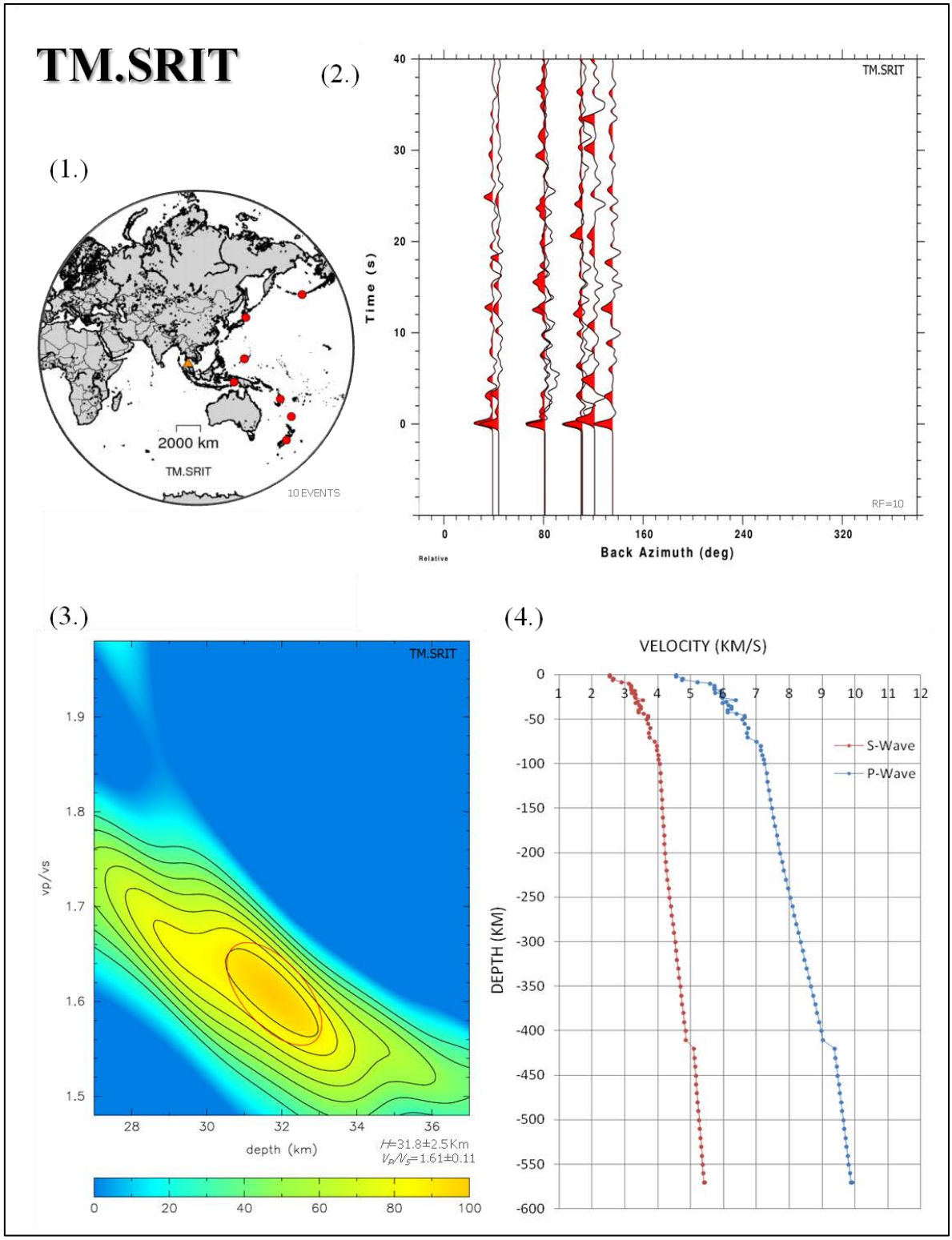
รูปที่ 2.52 ผลการศึกษาของสถานี SKNT เขื่อนน้ำพุง จ.สกลนคร (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



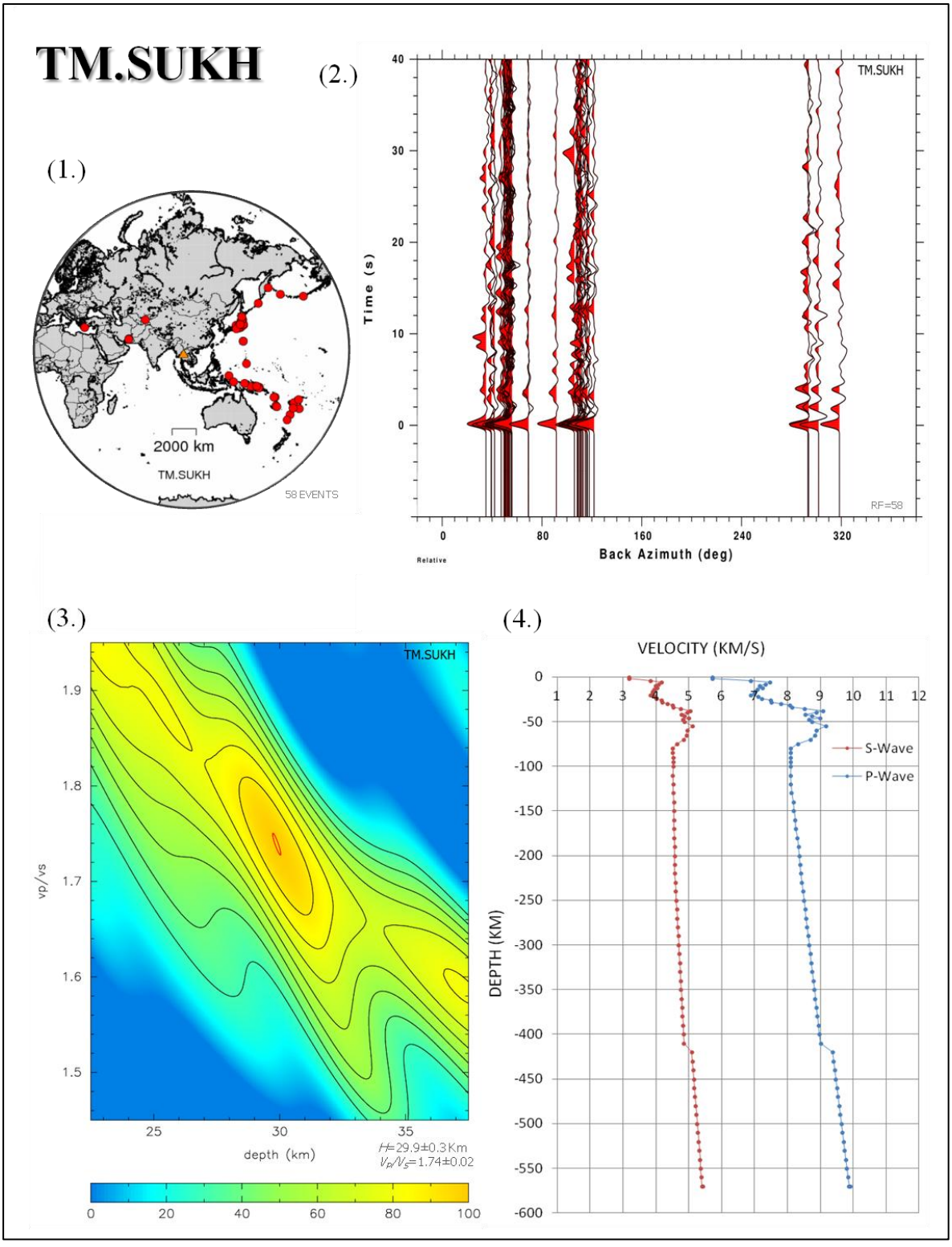
รูปที่ 2.53 ผลการศึกษาของสถานี SRAK อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ. สระแก้ว (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



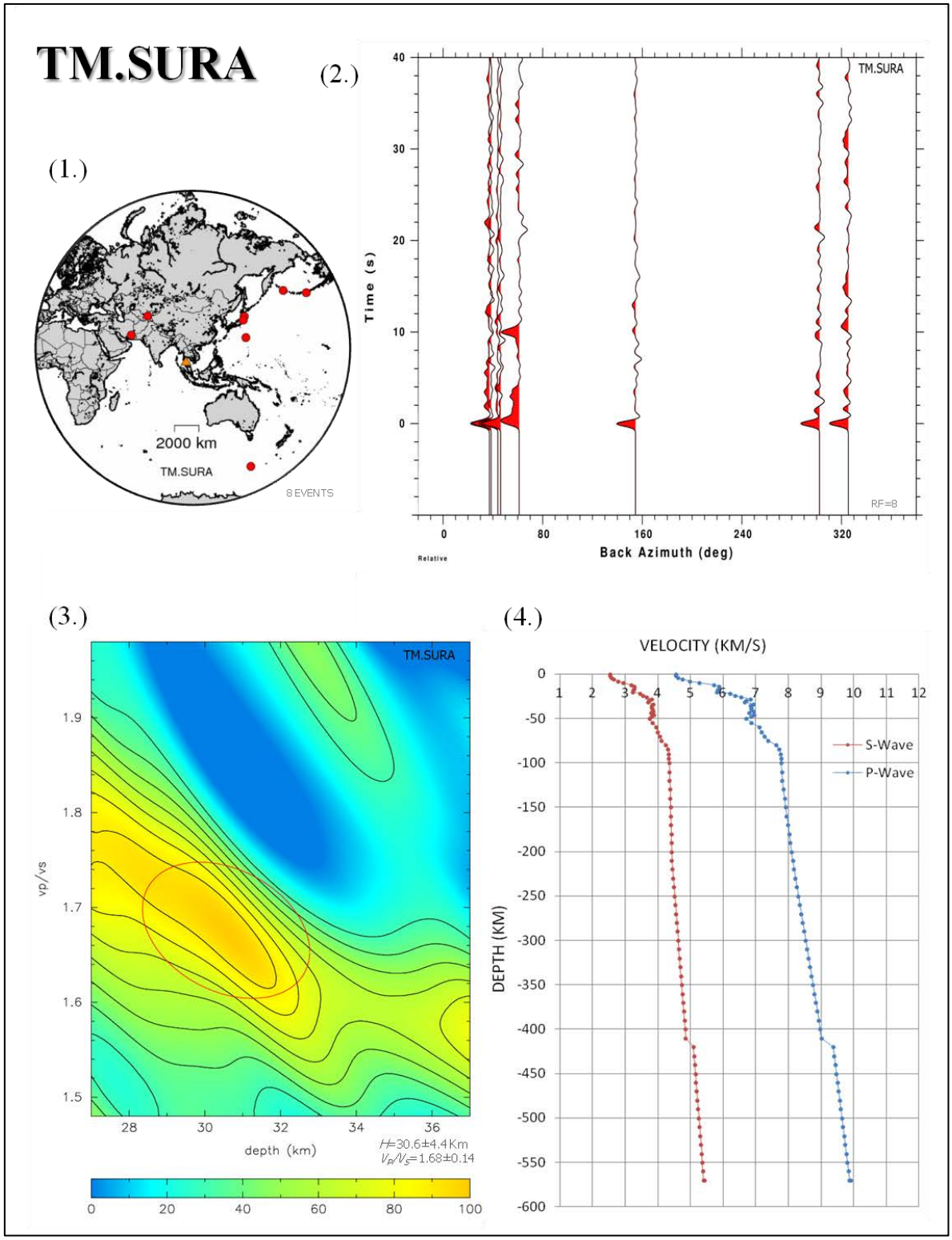
รูปที่ 2.54 ผลการศึกษาของสถานี SRDT เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



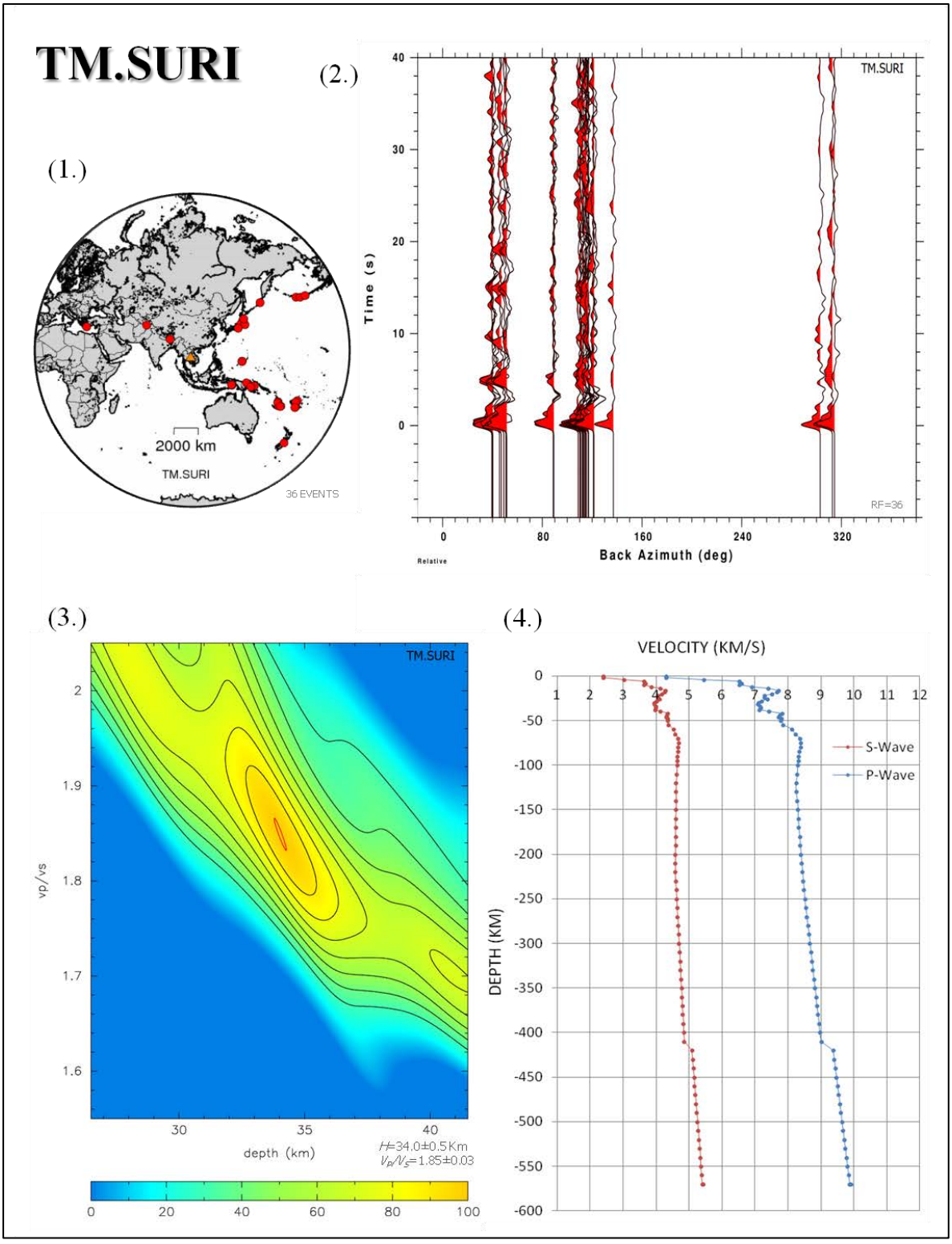
รูปที่ 2.55 ผลการศึกษาของสถานี SRIT อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง จ.นครศรีธรรมราช (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



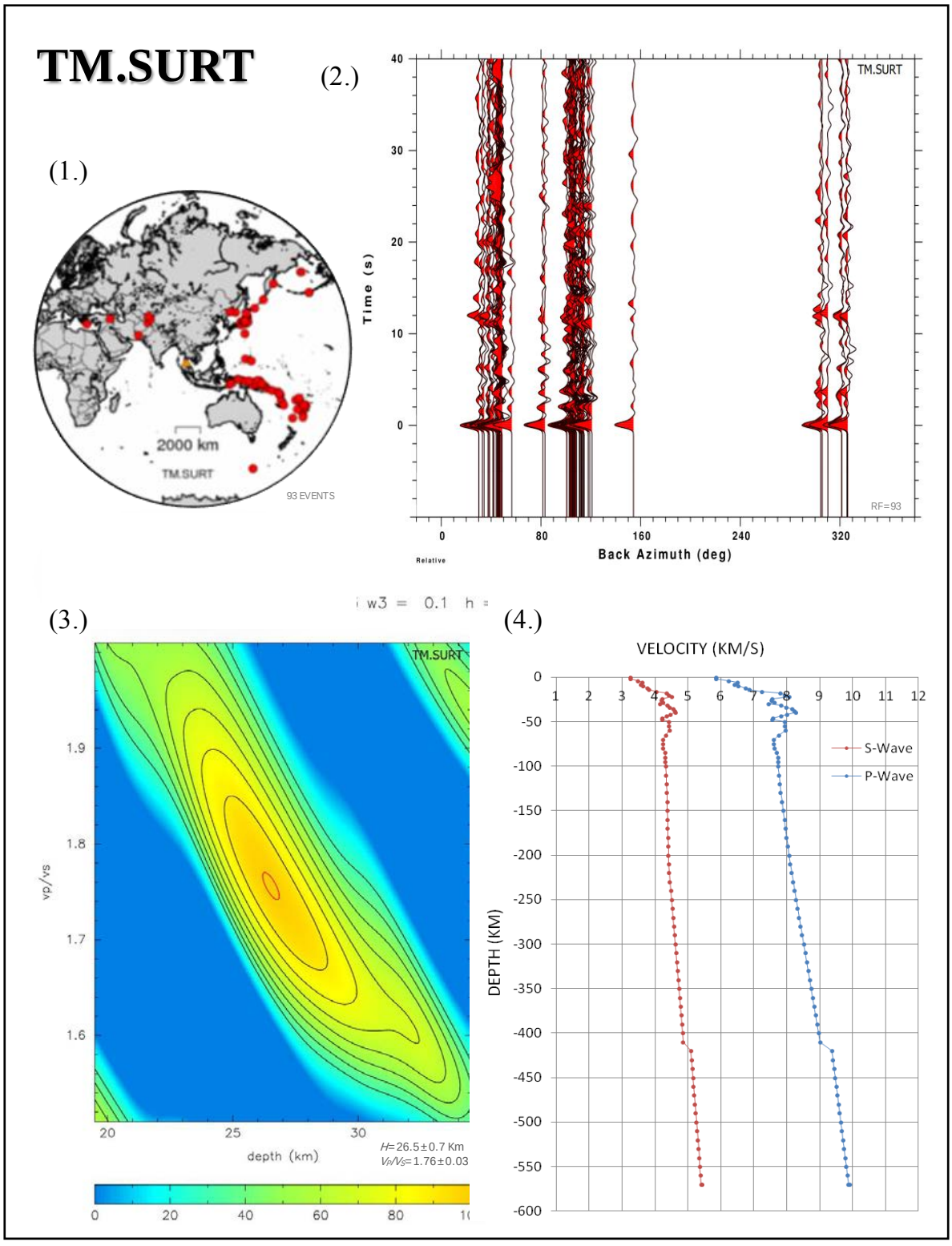
รูปที่ 2.56 ผลการศึกษาของสถานี SUKH อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพร่ จ.สุโขทัย (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



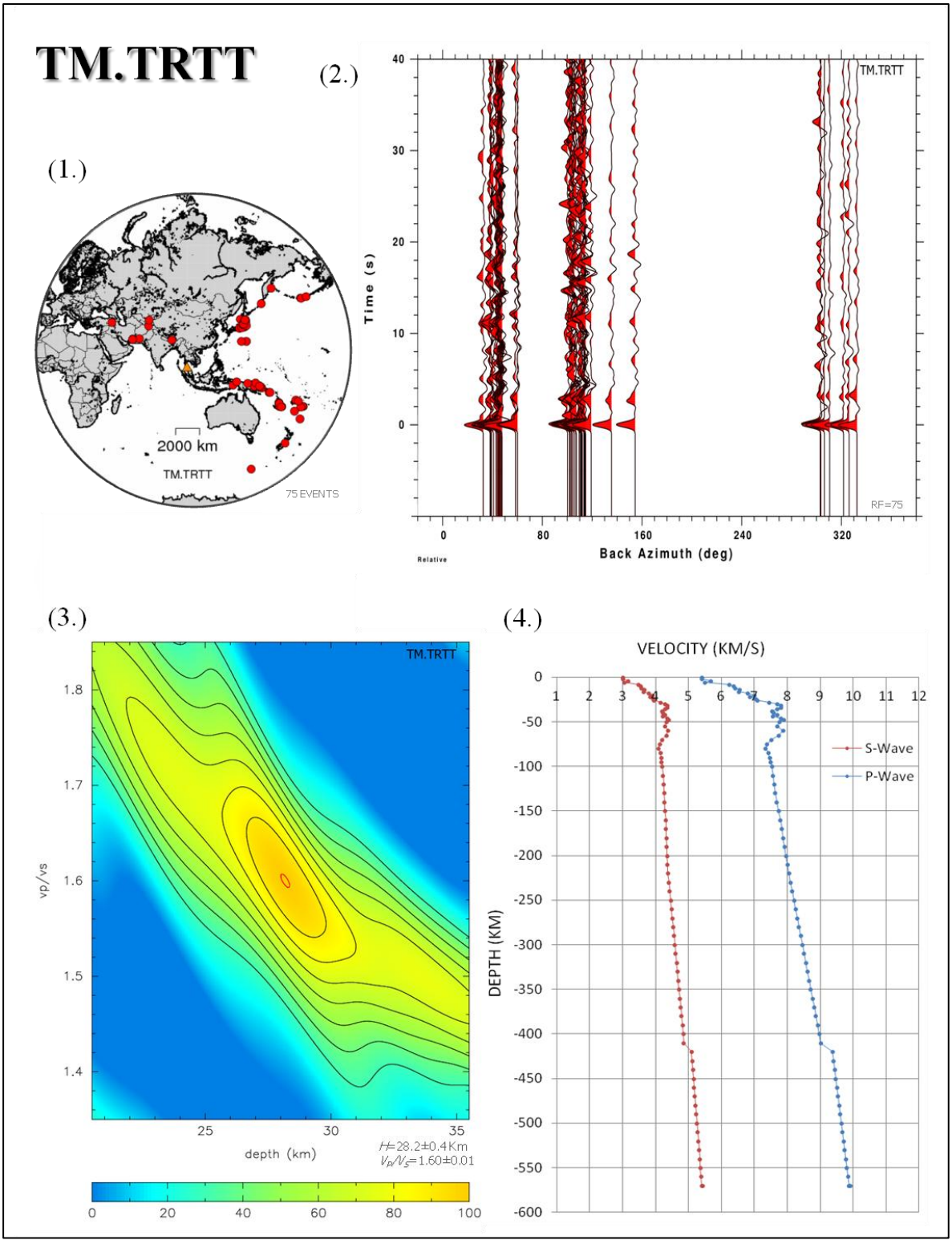
รูปที่ 2.57 ผลการศึกษาของสถานี SURA ฝายเก็บน้ำท่าทอง จ. สุราษฎร์ธานี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



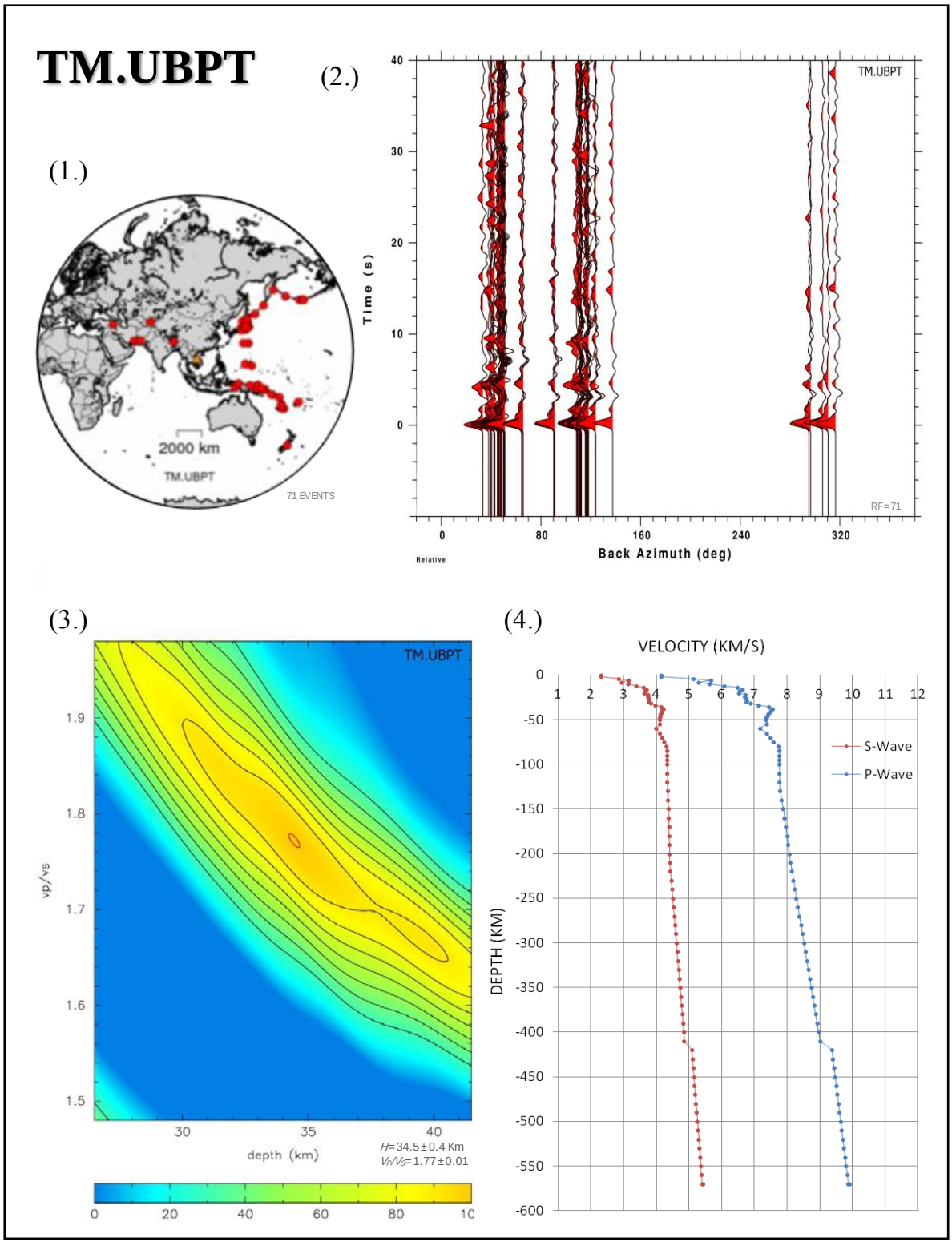
รูปที่ 2.58 ผลการศึกษาของสถานี SURI อ่างเก็บน้ำอำปึม จ. สุรินทร์ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



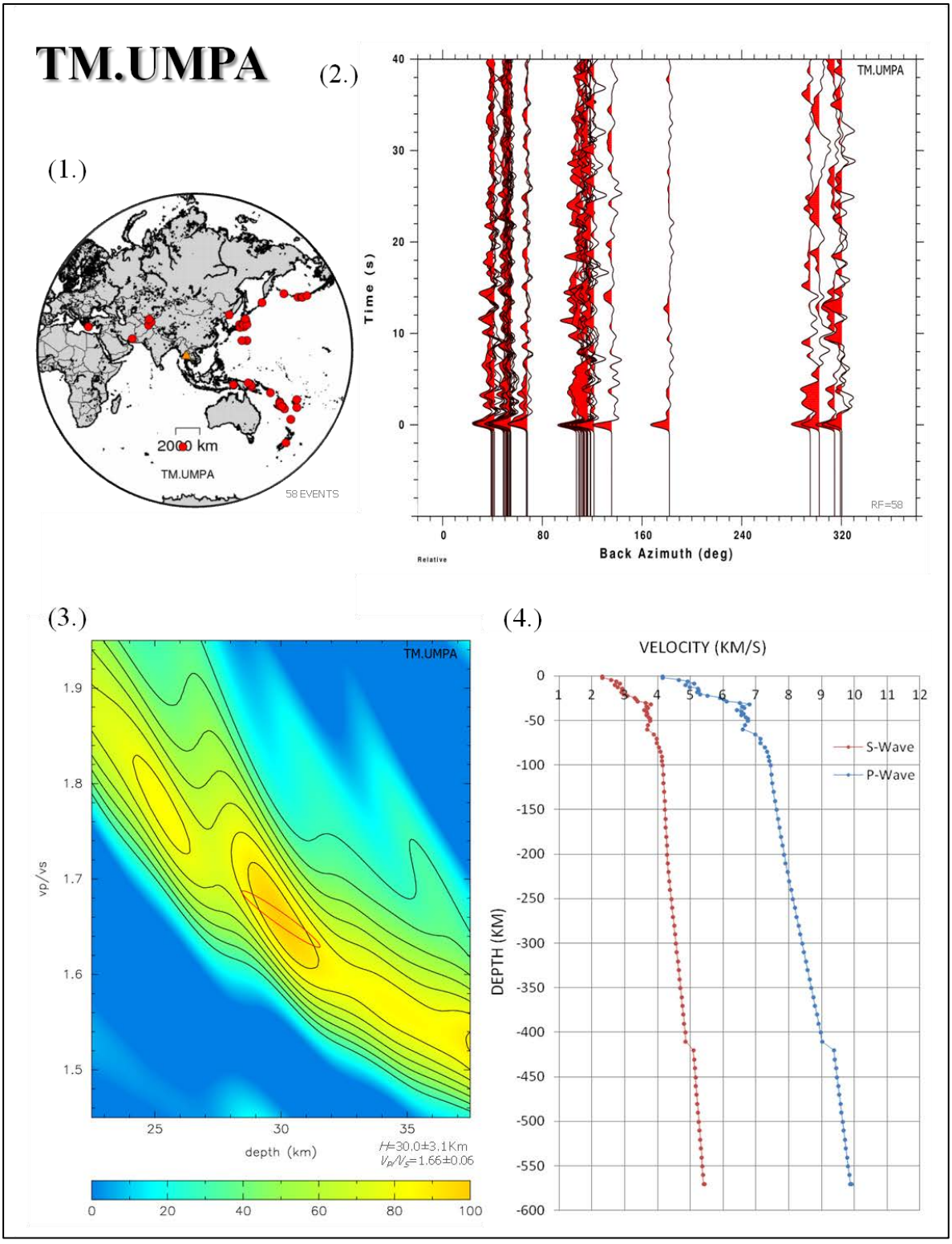
รูปที่ 2.59 ผลการศึกษาของสถานี SURT เขื่อนรัชประภา จ.สุราษฎร์ธานี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



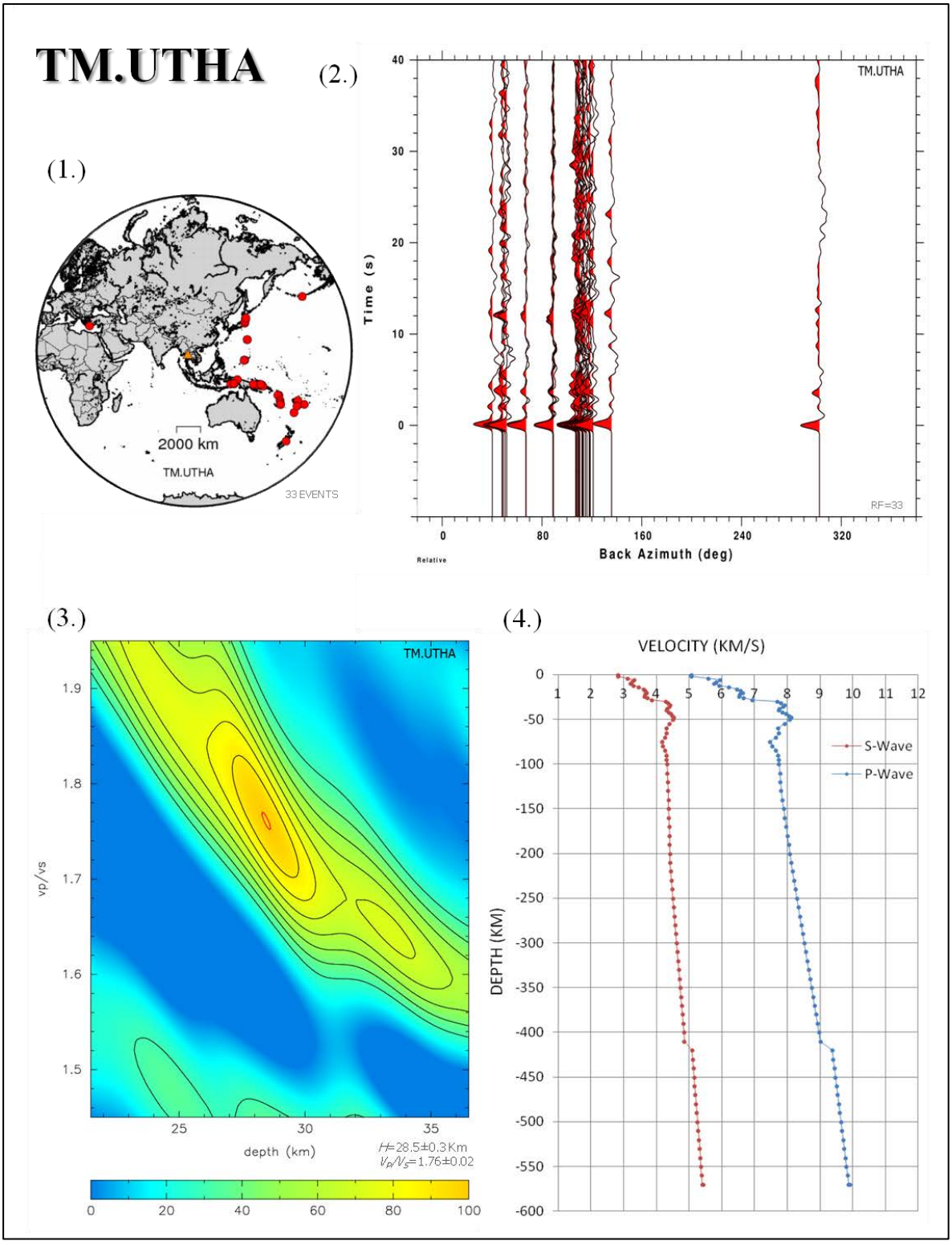
รูปที่ 2.60 ผลการศึกษาของสถานี TRTT เขื่อนท่างิ้ว จ.ตรัง (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



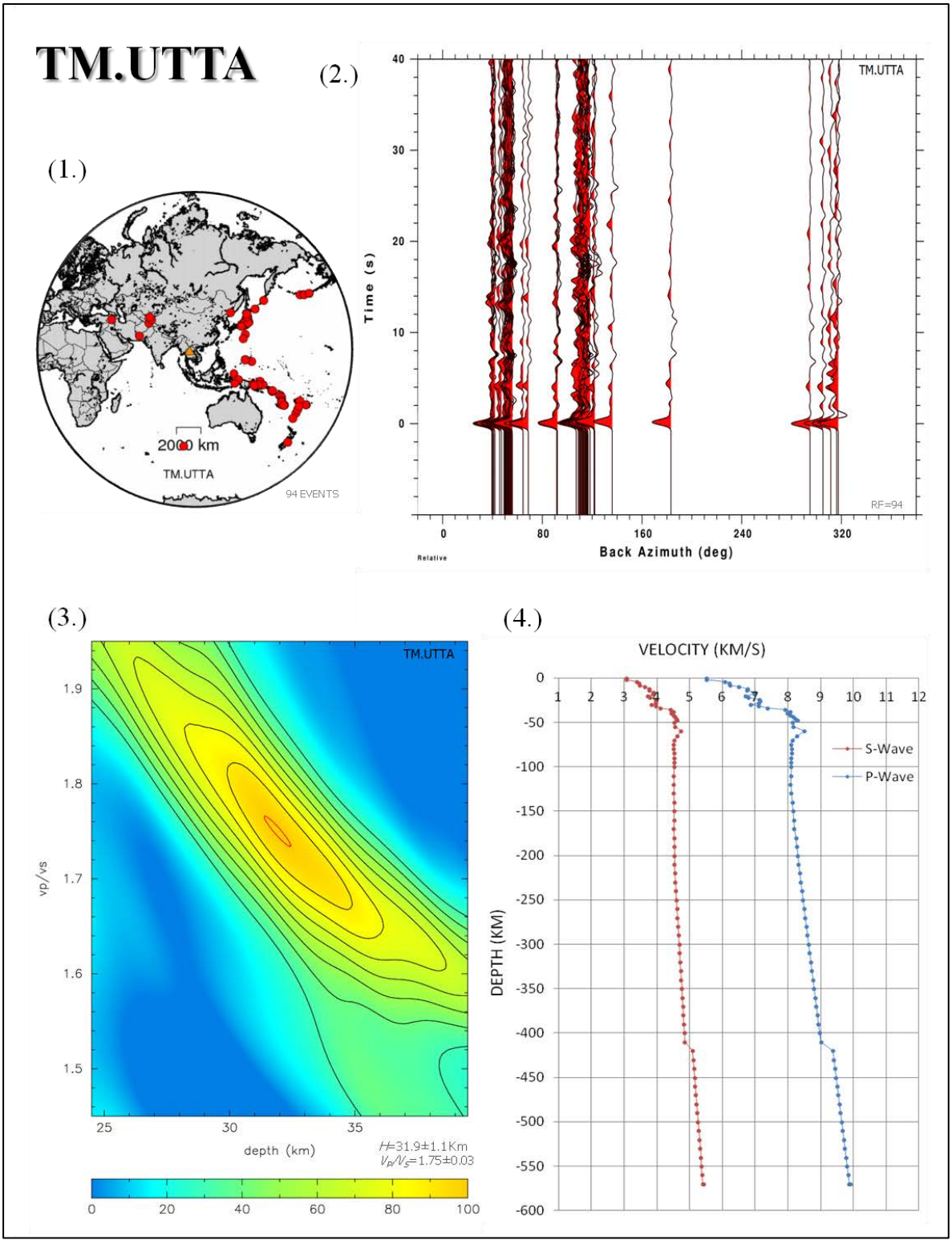
รูปที่ 2.61 ผลการศึกษาของสถานี UBPT เขื่อนปากมูล จ.อุบลราชธานี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



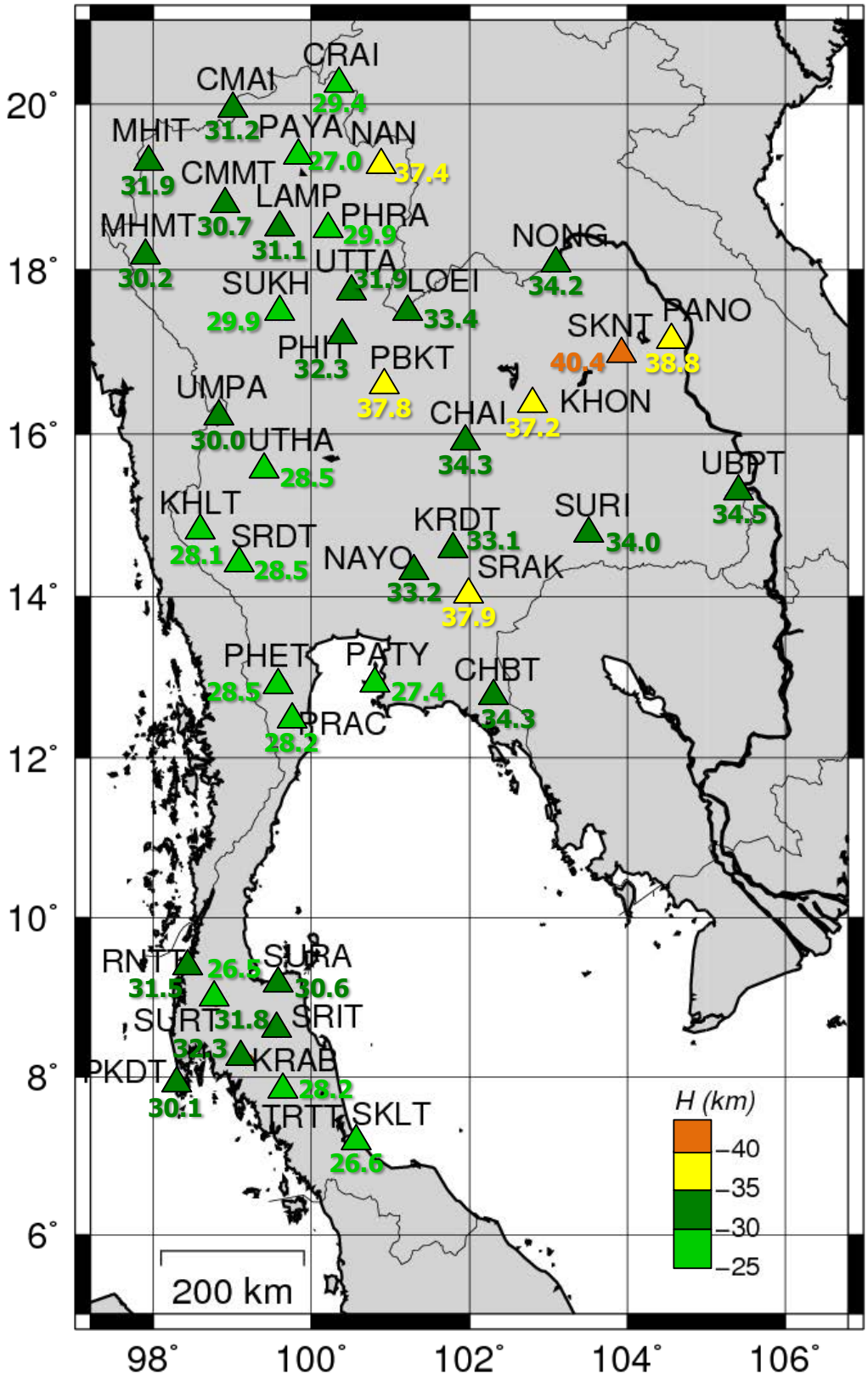
รูปที่ 2.62 ผลการศึกษาของสถานี UMPA สถานีอุตุนิยมวิทยา อุ้มผาง จ.ตาก (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณโดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



รูปที่ 2.63 ผลการศึกษาของสถานี UTHA เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



รูปที่ 2.64 ผลการศึกษาของสถานี UTTA เขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์ (1.) แสดงตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการศึกษา (2.) แสดงรีซีฟเวอร์ฟังก์ชันที่หาได้และใช้ในการคำนวณ โดยเรียงตามลำดับ BAZ (3.) แสดงผลการคำนวณ H และ V_P/V_S ใต้สถานีวัดที่แสดงในตารางที่ 2.3 และ (4.) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_P และ V_S กับความลึกใต้สถานี



รูปที่ 2.65 แผนที่แสดงความหนาของเปลือกโลกทั่วประเทศไทยทั้ง 40 สถานี ที่ได้จากการศึกษา

บทที่ 3
การตรวจวัดค่า Vs_{30}

3.1 บทนำ

ในการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินบริเวณประเทศไทย เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนของพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยตรง แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ ทำให้สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดินเกือบทั้งหมดที่ติดตั้งในประเทศตั้งอยู่บนพื้นดินที่ไม่ใช่หิน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าชั้นตะกอนดินที่หนาโดยเฉพาะชั้นดินอ่อน สามารถขยายขนาดการสั่นสะเทือนของพื้นดินได้ที่บางย่านความถี่ และอาจลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่บางย่านความถี่ ทำให้คลื่นที่เดินทางผ่านชั้นดินแตกต่างจากที่คลื่นที่อยู่ในหิน ทั้งในแง่ของระดับความรุนแรงและองค์ประกอบความถี่ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณใกล้ผิวดิน (local site effect) การศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวและสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวให้มีค่าถูกต้องจำเป็นต้องแยกแยะผลกระทบเนื่องจากชั้นดินตามแต่ละประเภทของชั้นดินจึงมีความจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะของชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัด โดยทั่วไปใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ในการจำแนกประเภทของชั้นดิน ซึ่งโดยทั่วไป หินหรือ ดินแข็ง จะมีความเร็วคลื่นสูงกว่าดินอ่อน การสำรวจและตรวจวัดค่า Vs_{30} ทำได้หลายวิธี เช่น crosshole test, downhole test และ MASW เป็นต้น

พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ความแข็งของชั้นดิน ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันให้ใช้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) พื้นที่บนดินปกติจะมีความเร็วคลื่นเฉือน Vs_{30} ระหว่าง 180 ถึง 360 เมตรต่อวินาที เรียกว่า site class D พื้นที่ที่ตั้งอยู่บนดินอ่อน เช่น กรุงเทพมหานคร มีค่า Vs_{30} น้อยกว่า 180 เมตรต่อวินาที (site class E) ส่วนพื้นที่ที่ตั้งบนดินแข็งมากหรือหินผุมีค่า Vs_{30} ระหว่าง 360 ถึง 760 เมตรต่อวินาที (site class C)

การตรวจวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ แบบที่ไม่ต้องใช้หลุมเจาะ (MASW) และแบบที่ใช้หลุมเจาะ (downhole test) การตรวจวัดแบบแรกอาศัยหลักการที่ว่าคลื่นไหวสะเทือนโดยเฉพาะคลื่นพื้นผิว (surface wave) มีความเร็วของคลื่นที่ความถี่ต่างๆ ไม่เท่ากัน (wave dispersion) และใช้การคำนวณย้อนกลับ (inversion) ซึ่งเป็นการตรวจวัดแบบอ้อม (indirect) ส่วนการตรวจวัดคลื่นเฉือนจากหลุมเจาะเป็นการตรวจวัดโดยตรงโดยการจับเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางไปที่ความลึกต่างๆ จึงจัดได้ว่ามีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธี MASW แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเพราะต้องทำการขุดเจาะหลุมทดสอบในพื้นที่ และต้องมีการใช้อุปกรณ์ทดสอบที่ยุ่งยากกว่ามาก เนื่องจากโครงการนี้ต้องการตรวจวัดค่า Vs_{30} ในหลายพื้นที่ จึงทำการตรวจวัดด้วยทั้งสองวิธี โดยส่วนใหญ่ใช้วิธี MASW ซึ่งทำได้สะดวกและค่าใช้จ่ายต่ำกว่า แต่มีการทดสอบแบบใช้หลุมเจาะ downhole test ควบคู่ไปที่บางตำแหน่งเพื่อสอบเทียบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากวิธี MASW

3.2 วัตถุประสงค์

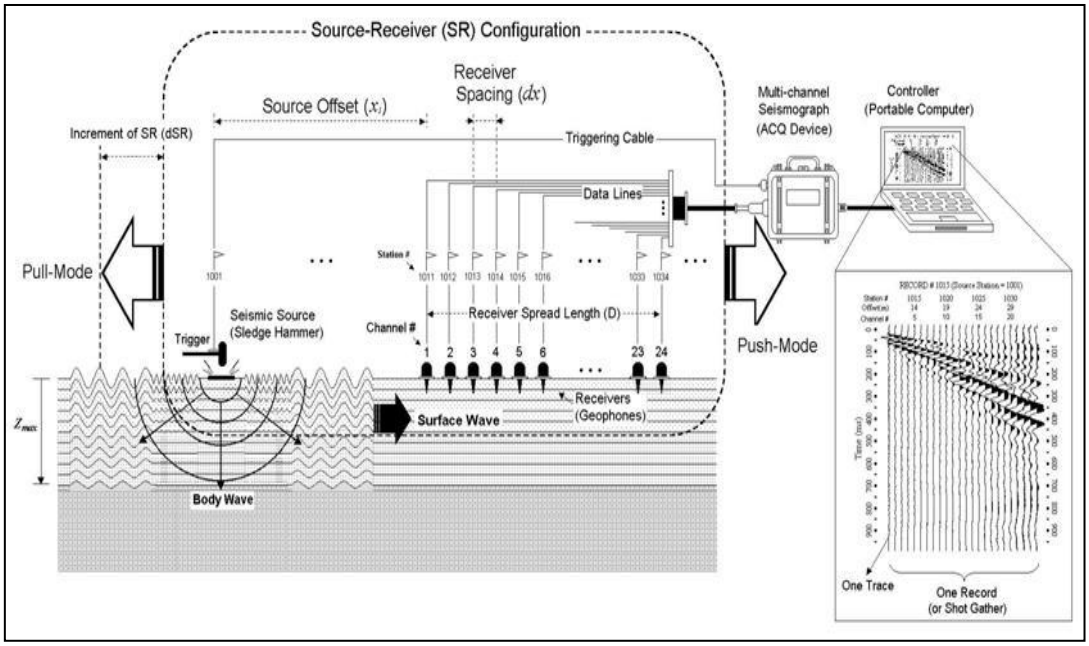
เพื่อตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการ

สั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดที่มีผลต่อค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้และนำไปสู่การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศที่ถูกต้องต่อไป

3.3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.3.1 Multi – Channel Analysis of Surface Wave (MASW)

วิธีการสำรวจแบบ MASW มีความใกล้เคียงกับผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป แต่มีความแตกต่างก็คือ วิธีนี้การเลือกใช้ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ค่อนข้างต่ำซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการสำรวจ (active หรือ passive method) เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ MASW ประกอบไปด้วย 1. เครื่องบันทึกสัญญาณ (seismograph) 2. เครื่องคอมพิวเตอร์ (computer) 3. ตัวรับสัญญาณ (geophone) 4. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (source) การเก็บข้อมูลจะใช้ตัวรับสัญญาณคลื่นหลายตัวติดตั้งบนพื้นดินเป็นเส้นตรงที่ระยะห่างเท่าๆ กัน หลังจากนั้นทำการกำเนิดคลื่นพื้นผิวในระยะห่างจากตัวรับสัญญาณตัวที่ 1 (minimum offset) ที่ระยะห่างตามที่กำหนดไว้ สัญญาณที่ถูกตรวจวัด ที่ได้จากตัวรับสัญญาณทุกตัวจะถูกส่งไปที่เครื่องบันทึกสัญญาณแล้วส่งไปเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิวด้วยวิธี MASW (ที่มา: http://www.masw.com)

ในการสำรวจใช้วิธีแบบ active และ passive MASW ผสมกัน ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดทั้งในระดับตื้นและระดับลึก โดยใช้ 1) ตัวรับสัญญาณ (geophone) ทั้งหมด 10 – 24 ตัว ที่มีความถี่ของตัวรับสัญญาณเป็น 4.5 Hz 2) ตัวกำเนิดคลื่นใช้ค้อนปอนด์ (sledgehammer) 3) ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ (geophone spacing) โดยปกติจะใช้ geophone spacing เป็น 1 – 2 เมตรสำหรับการสำรวจแบบ active MASW และระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดคลื่นและตัวรับสัญญานตัวแรก (minimum offset) เป็น 5 - 15 เมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่สำรวจ

(1) ตัวรับสัญญาณ (geophone)

ในการเลือกใช้ตัวรับสัญญาณควรคำนึงถึงช่วงความถี่ที่เหมาะสมที่ตัวรับสัญญาณสามารถรับได้ สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเร็วคลื่นเฉือนโดยทั่วไปแล้วคลื่นพื้นผิวนั้นมีช่วงความถี่ต่ำ ดังนั้นจึงสมควรใช้ตัวรับสัญญาณที่มีความถี่ธรรมชาติต่ำในการเก็บข้อมูล เช่น 4.5 Hz เป็นต้น

(2) แหล่งให้กำเนิดคลื่น (source)

ตัวให้กำเนิดคลื่นเป็นส่วนสำคัญในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนทั่วไป และมีความสำคัญในการให้กำเนิดคลื่นพื้นผิว ตัวให้กำเนิดคลื่นไหวสะเทือนมีอยู่หลายชนิด แต่ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้เฉพาะตัวกำเนิดคลื่นที่เป็นค้อนปอนด์ขนาด 20 lbs เพราะเป็นเครื่องกำเนิดคลื่นที่หาได้ง่าย และมีราคาถูก

ในการศึกษาถ้าต้องการข้อมูลที่มีความชัดเจนสูงจึงควรเลือกใช้ค้อนปอนด์ที่มีน้ำหนักมาก หรือตัวให้กำเนิดคลื่นชนิดอื่นที่มีน้ำหนักมาก เพื่อเพิ่มพลังงานคลื่นไหวสะเทือน ทำให้มีความชัดเจนของสัญญาณและได้ข้อมูลที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น แต่ถ้าต้องการความรวดเร็วในการสำรวจอาจใช้ค้อนปอนด์ที่มีน้ำหนักพอเหมาะหาได้ง่ายและมีราคาถูก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานที่และงบประมาณในการสำรวจ

ตำแหน่งที่ทุบค้อนเพื่อให้กำเนิดคลื่นควรมีแผ่นโลหะ (metal plate) รองอยู่ข้างใต้ทุกครั้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของคลื่นลงไปในชั้นดินได้ดีขึ้น

(3) ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณ (geophone spacing)

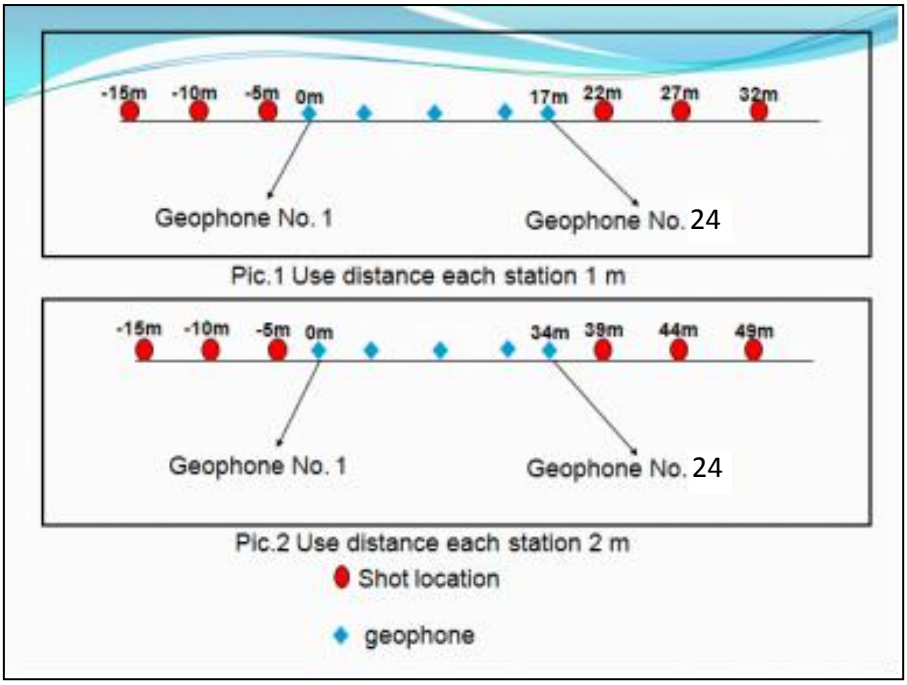
ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณแต่ละตัวมีผลต่อความสมบูรณ์ของการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็ว (dispersion curve) เป็นอย่างมาก และมีผลต่อความลึกในการสำรวจด้วย โดยทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณไม่ควรกำหนดให้แคบหรือกว้างเกินไป จึงควรทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ก่อนทำการสำรวจ

ถ้าต้องการข้อมูลที่มีความลึกมาก ควรเลือกใช้ระยะห่างระหว่างตัวรับสัญญาณสูง แต่ความละเอียดของข้อมูลที่ได้จะน้อย แต่ถ้าต้องการข้อมูลที่มีความลึกไม่มาก ควรวางตัวรับสัญญาณใกล้กันเพื่อจะได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากกว่า แต่ทั้งนี้การแปรผันของระยะตัวกลาง ยังขึ้นอยู่กับความเร็วของชั้นดินตะกอนด้วย จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบระยะที่เหมาะสมก่อนการเก็บข้อมูลจริง

(4) ระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดสัญญาณและตัวรับสัญญาณตัวแรก (minimum offset)

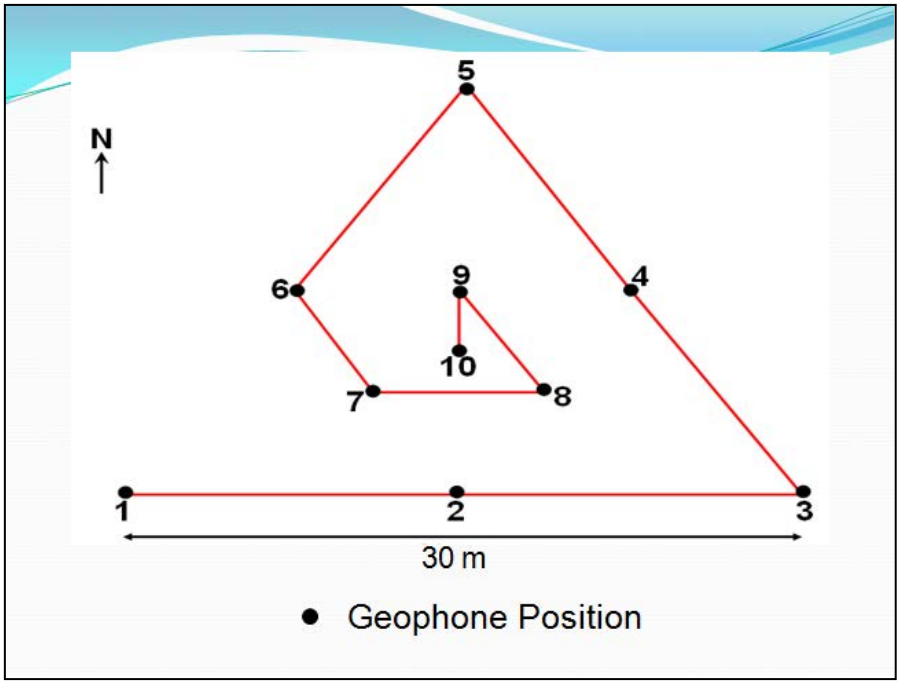
คลื่นพื้นผิวจะอาศัยระยะทางระยะหนึ่งเมื่อเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดในการพัฒนาตัวเองให้เกิดได้อย่างสมบูรณ์ การเลือก minimum offset จึงมีความสำคัญในการเก็บข้อมูลคลื่นพื้นผิว

การเลือกใช้ minimum offset ที่ใกล้เคียงกับตัวรับสัญญาณตัวแรก จะได้ข้อมูลที่มีความละเอียดชัดเจนมากกว่าการเลือกใช้ minimum offset ที่ไกลจากตัวรับสัญญาณ แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับสถานที่ทำการสำรวจด้วย โดยทั่วไปใช้ minimum offset 5 เมตร แต่ในบางพื้นที่อาจต้องใช้ minimum offset เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 เมตร หรือ 15 เมตร จึงจะได้ข้อมูลที่ชัดเจน



รูปที่ 3.2 การวางแนวสำรวจแบบ active surface wave

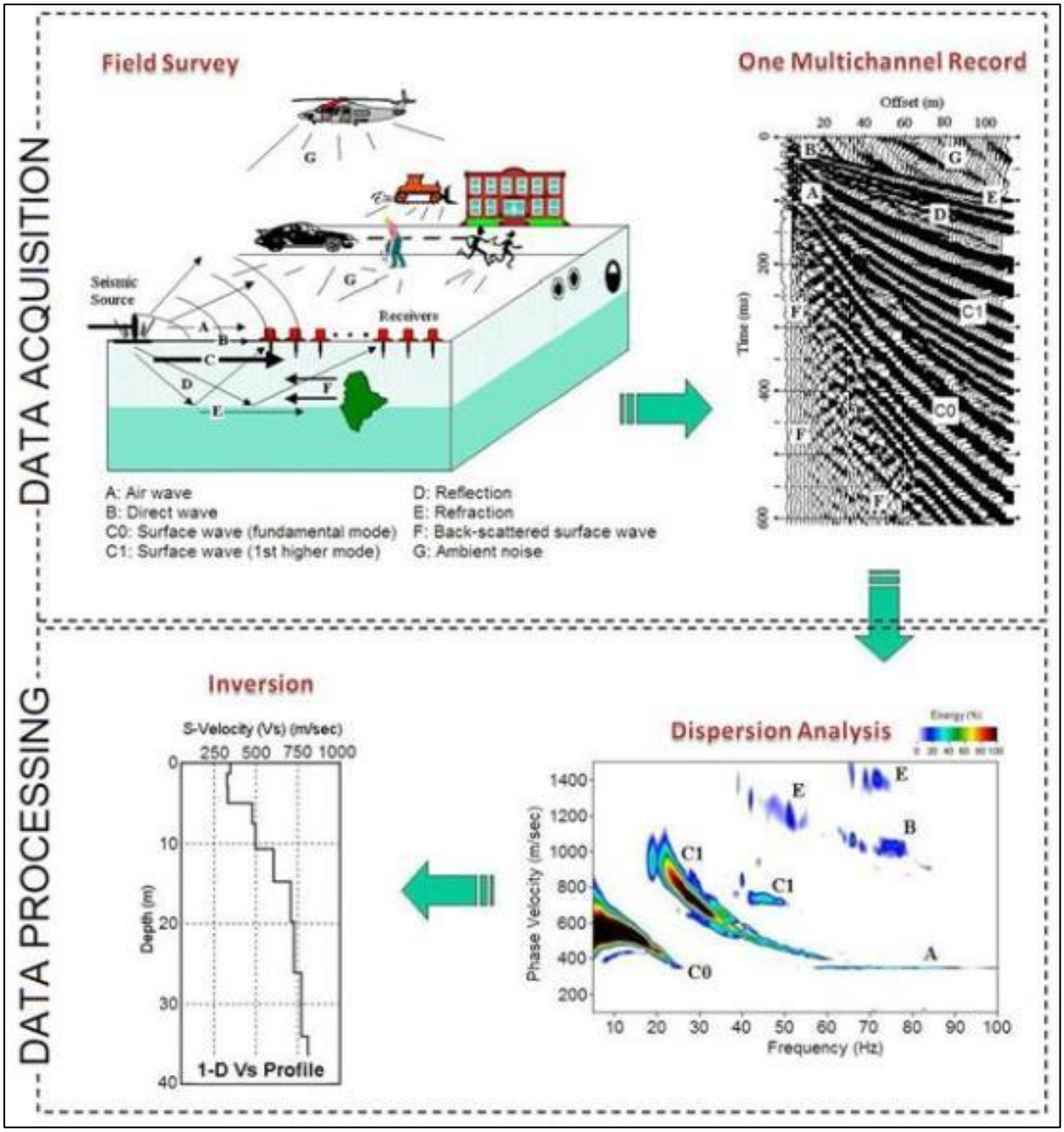
การวางแนวสำรวจแบบ passive surface wave ในพื้นที่ศึกษา เป็นรูปสามเหลี่ยม ใช้ตัวรับสัญญาณ (geophone) ขนาด 4.5 Hz ทั้งหมด 10 ตัว และ ตัวให้กำเนิดคลื่นมาจากคลื่นพื้นผิวในธรรมชาติ (natural noise) โดยใช้แนวสำรวจแบบ microtremor array ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การวางแนวสำรวจแบบ passive surface wave

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

การประมวลผลข้อมูล MASW ทำได้ค่อนข้างรวดเร็วและไม่ยุ่งยากเหมือนกับการประมวลผลข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนชนิดอื่น ขั้นตอนการประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 3.4 การสำรวจคลื่นไหวสะเทือนแบบ MASW เป็นการประมาณค่าสภาพยืดหยุ่นหรือความหนาของชั้นดิน การประมวลผลข้อมูลของ MASW โดยมีขั้นตอนเริ่มต้นจากกระบวนการสำรวจ active MASW ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปของ surface wave จากนั้นจะทำการประมวลผลข้อมูล MASW โดยการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในรูปแบบการสำรวจที่ถูกต้อง เช่น ลักษณะการสำรวจ จำนวน และตำแหน่งตัวรับสัญญาณ เป็นต้น หลังจากนั้นแปลงข้อมูลจากรูปแบบของเวลาให้อยู่ในรูปแบบของความถี่ ด้วยวิธี F-K Transformation จะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฟส (phase velocity) และความถี่ (frequency) ของคลื่นพื้นผิว กราฟดังกล่าวเรียกว่า dispersion curve ซึ่งการคำนวณ dispersion curve เป็นค่าที่ได้จากชั้นดินมีลักษณะที่แตกต่างกันทำให้การกระจายตัวของความเร็วเฟสที่ในช่วงความลึกที่ต่างกันด้วย ซึ่งกราฟที่ได้นั้นจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของชั้นดิน จากนั้นทำการคำนวณหาความเร็วคลื่นเฉือนจาก dispersion curve และสามารถนำมาคำนวณแบบย้อนกลับ (inversion) เพื่อหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกของชั้นดิน (shear wave velocity profile) โดยการนำค่าความหนาและความเร็วคลื่นเฉือนเริ่มต้นของชั้นดินที่ได้จากการตรวจวัดที่มีค่าใกล้เคียงกับกราฟการกระจายความเร็วเฟส (dispersion curve) ที่สมมติขึ้นมา ผลที่ได้คือกราฟค่าความเร็วเฉือนเทียบกับความลึกจะถูกนำไปคำนวณเป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย ที่ในช่วงความลึก 30 เมตร (Vs_{30})



รูปที่ 3.4 การสำรวจและประมวลผลข้อมูลของ MASW (ที่มา: http://www.masw.com)

3.3.2 Downhole Test

การศึกษาวัดความเร็วคลื่นเฉือนด้วยวิธี downhole test มีดังต่อไปนี้

1 ทำการศึกษาฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาความเร็วคลื่นเฉือนด้วยวิธีแบบใช้หลุมเจาะ downhole test

2 เลือกสถานีที่จะทำการทดสอบโดยพิจารณาสถานีที่เคยบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้ และเป็นสัญญาณที่มีความสมบูรณ์ จากนั้นเลือกสถานีที่น่าจะเป็นชั้นดิน เนื่องจากสามารถขุดหลุมเจาะได้ ถ้าเป็นชั้นหินจะมีความลำบากในการขุดหลุมเจาะ ไม่เหมาะที่จะใช้วิธีการทดสอบแบบนี้

3 สำรวจพื้นที่และกำหนดจุดที่จะขุดหลุมเจาะ

4 ขุดหลุมเจาะให้มีความลึก 30 เมตร แต่ถ้าพบชั้นหินที่ทำให้ไม่สามารถขุดต่อได้ ให้ทำการเก็บตัวอย่างแท่งหิน และหยุดทำการขุดต่อ และฝังท่อ PVC ไว้ตลอดความลึกเพื่อป้องกันดินรอบหลุมบีบเข้ามา

5 ทำการทดสอบ downhole test โดยการหย่อนหัววัด (sensor) ลงไป และใช้ค้อนทุบที่ผิวดินเพื่อสร้างคลื่นและจับเวลาที่คลื่นเดินทางลงไปถึงหัววัดที่ความลึกต่างๆ ทุกๆ 1 เมตรจนถึงความลึก 30 เมตร

6 คำนวณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วง 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30})

3.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.4.1 Multi – channel analysis of surface wave

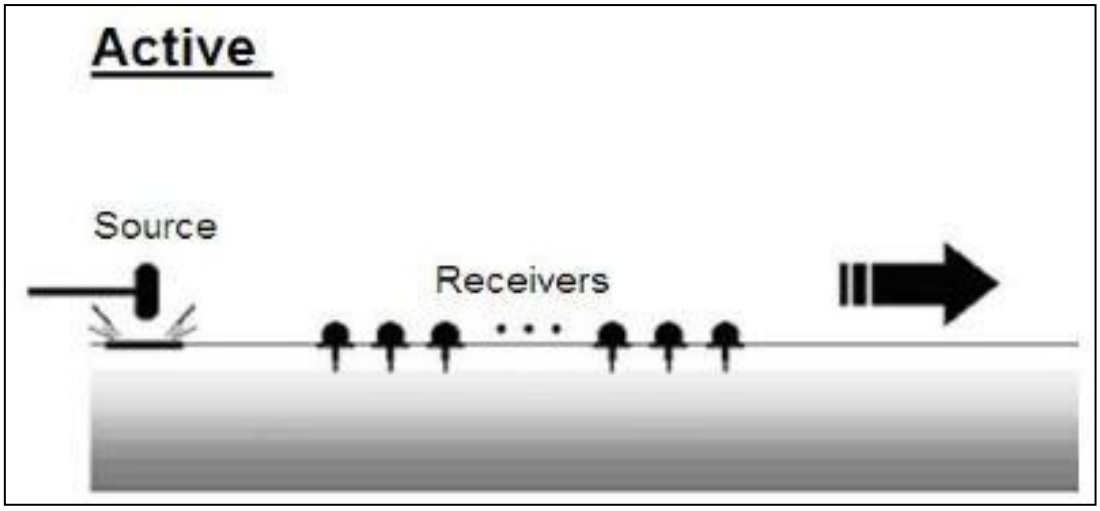
การศึกษาด้วยวิธี Multi - Channel Analysis of Surface Wave หรือ MASW เป็นวิธีหนึ่งในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือน (seismic method) โดย MASW จะนำคลื่นผิว (surface wave) ชนิดเรลีย์ (Rayleigh wave) มาใช้ในการวิเคราะห์แล้วคำนวณกลับให้เป็นความเร็วคลื่นเฉือนอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่วไปในการสำรวจคลื่นไหวสะเทือน คลื่นผิวมักจะถูกจัดให้เป็นคลื่นรบกวน (noise) และจะต้องทำการกำจัดออกในขั้นตอนการประมวลผล แต่สำหรับ MASW คลื่นผิวจะถูกจัดให้เป็นสัญญาณที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์โดยคลื่นผิวมีคุณสมบัติที่เด่นอยู่หลายประการที่ทำให้เหมาะสมสำหรับการสำรวจทางวิศวกรรมและสามารถใช้ได้ในพื้นที่ ซึ่งวิธีทางธรณีฟิสิกส์อื่นๆ ใช้ไม่ได้ อย่างแรกคือ คลื่นผิวสามารถให้กำเนิดได้ง่าย อย่างที่สองคือ คลื่นผิวมีพลังงานของคลื่นมากเมื่อเทียบกับคลื่นชนิดอื่นๆ จึงทำให้สามารถตรวจวัดและแยกแยะได้ง่าย จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วิธี MASW มีความเหมาะสมอย่างมากในการสำรวจทางวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายที่ถูก และสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

วิธีการของ MASW ถูกพัฒนามาจากวิธีการของ Spectral Analysis of Surface Waves หรือ SASW โดยที่ MASW สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ 2 แนวทาง ได้แก่

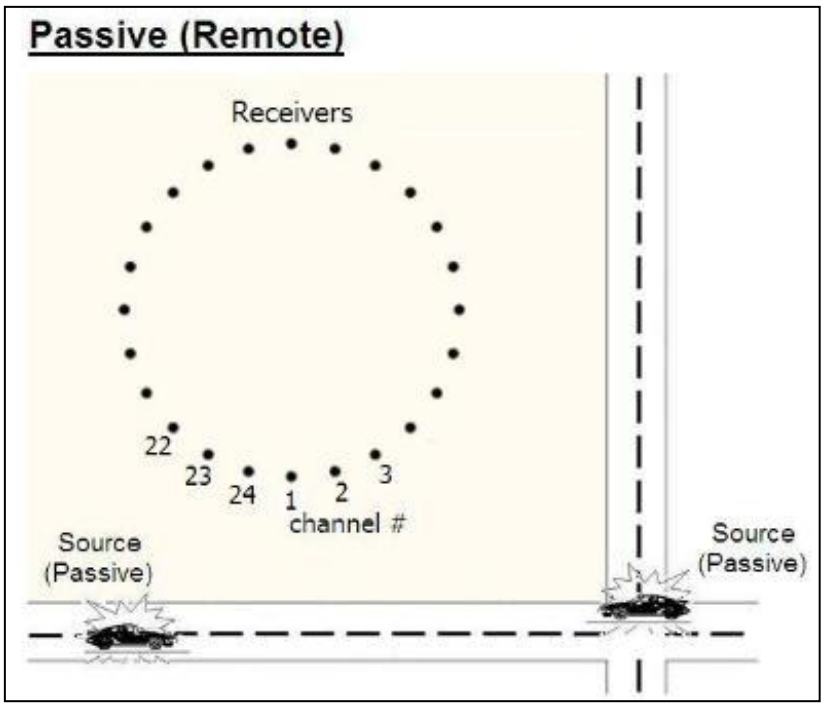
1. Active Surface Wave Method
2. Passive Surface Wave Method

Active Surface Wave Method มักวางแนวสำรวจเป็นเส้นตรง เริ่มจากการให้กำเนิดคลื่น (source) โดยใช้ Sledgehammer เมื่อคลื่นเดินทางออกไปจากจุดกำเนิดจะเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ (geophone) ที่ได้วางเอาไว้อย่างเป็นระบบ จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลและทำการบันทึกผลข้อมูลในที่สุด

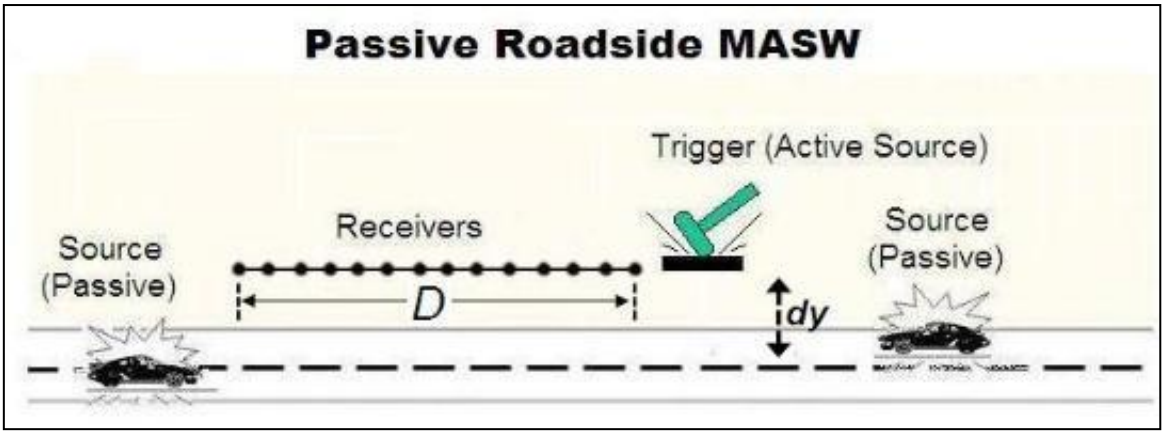
Passive Surface Wave Method เป็นวิธีการสำรวจทางอ้อม โดยแหล่งกำเนิดคลื่นจะมาจากธรรมชาติของพื้นที่ที่เป็นอยู่ เช่น คลื่นลม คลื่นน้ำ รถยนต์ที่วิ่งผ่านประจำ คลื่นเหล่านี้จะวิ่งไปเข้าตัวรับสัญญาณ (geophone) ที่ได้วางเอาไว้ และเครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะทำการบันทึกผลข้อมูลอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.5 การสำรวจแบบ active ของ MASW *(*ที่มา: http://www.masw.com)



รูปที่ *3.6* ตัวอย่างการสำรวจแบบ passive ของ *MASW* โดยใช้การวาง *geophone* เป็นวงกลม (ที่มา*: http://www.masw.com*)

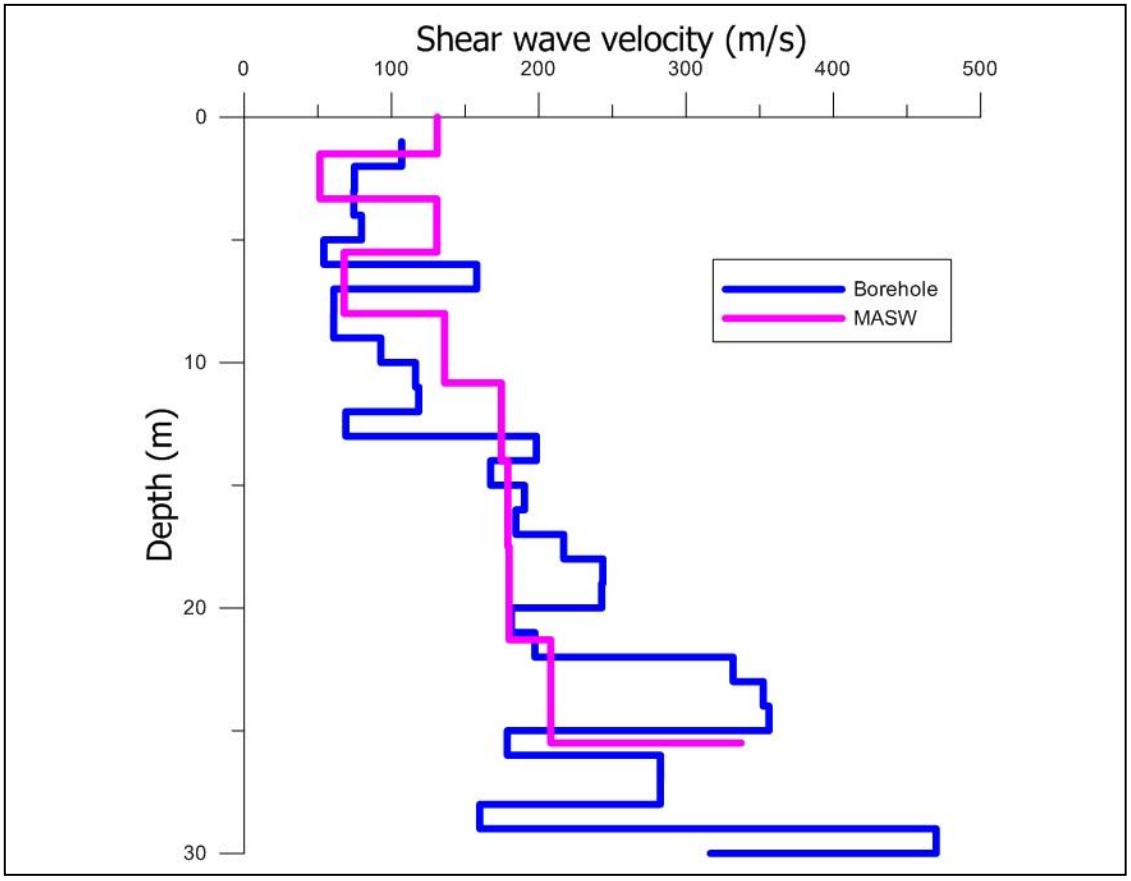


รูปที่ 3.7 การสำรวจแบบรวม active และ passive ของ MASW (ที่มา: http://www.masw.com)

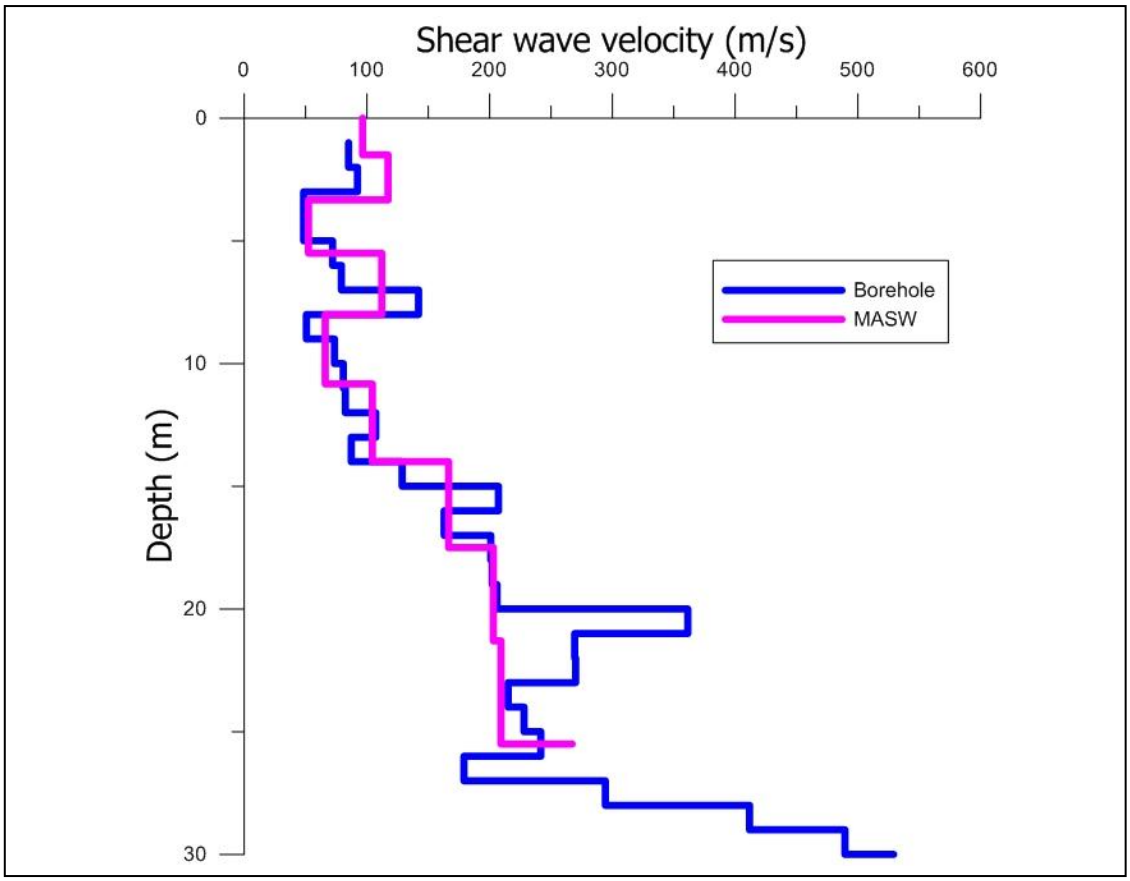
passive surface wave method เป็นจุดเด่นของ MASW ที่มีมากกว่า SASW เนื่องจากสามารถวิเคราะห์คลื่นผิวแบบหลายช่องรับสัญญาณโดยใช้ตัวรับสัญญาณหลายตัวพร้อมๆ กัน เช่น 24 ตัว และสามารถวางแนวสำรวจเป็นรูปแบบต่างๆ โดยอาศัยแหล่งกำเนิดคลื่นจากธรรมชาติ ทำให้สามารถดำเนินการโดยใช้เวลาน้อยกว่า SASW

วิธีการสำรวจด้วย MASW ถูกใช้ครั้งแรกก่อนปี ค.ศ.1980 ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์โครงสร้างใต้ดินจากคลื่นเฉือนได้สำเร็จ โดยอาศัยแหล่งกำเนิดคลื่นจากน้ำขึ้น-น้ำลง

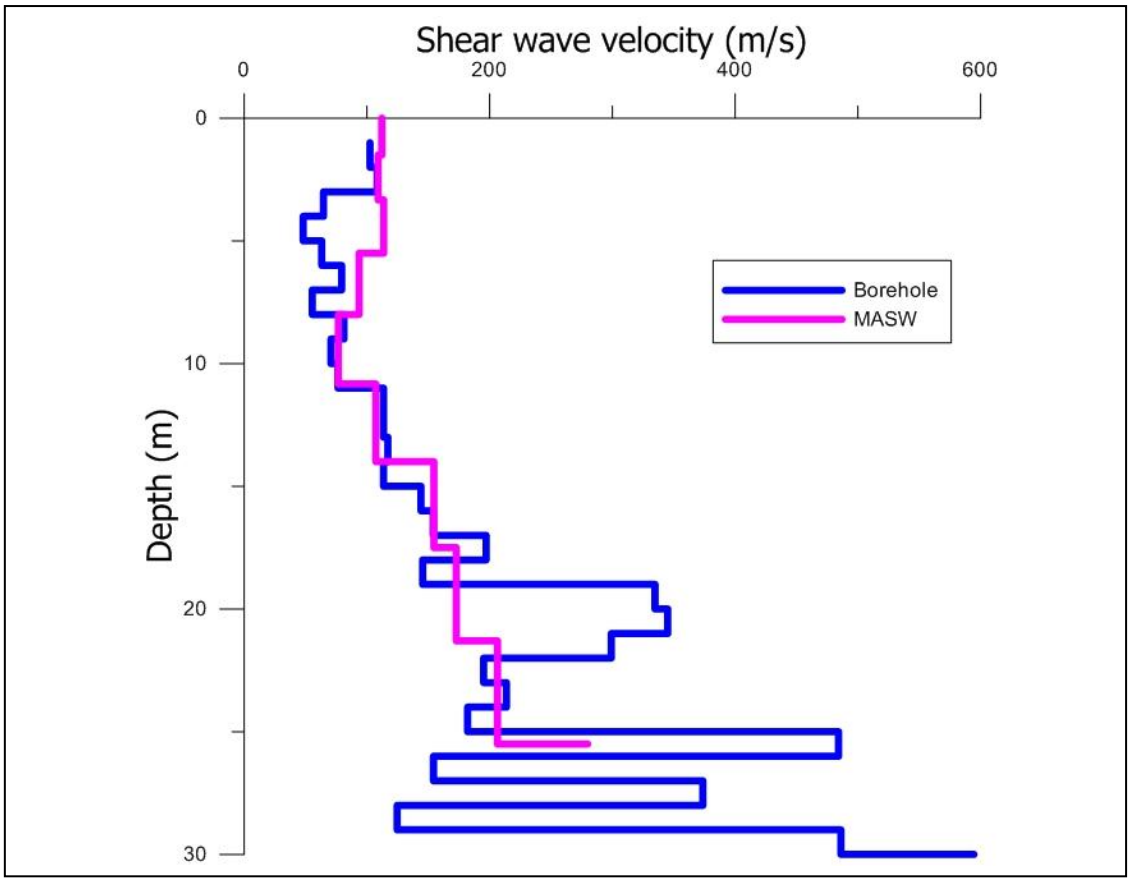
ผลการสำรวจและตรวจวัดค่า Vs_{30} โดยวิธี MASW ที่ได้ เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล จึงควรจะนำข้อมูลที่ได้มาเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจวัดจากหลุมเจาะในกรณีที่มีข้อมูล ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงในรูปที่ 3.8 – 3.11 ตามลำดับ ตัวอย่างผลที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูล MASW และ downhole Teat มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองวิธี



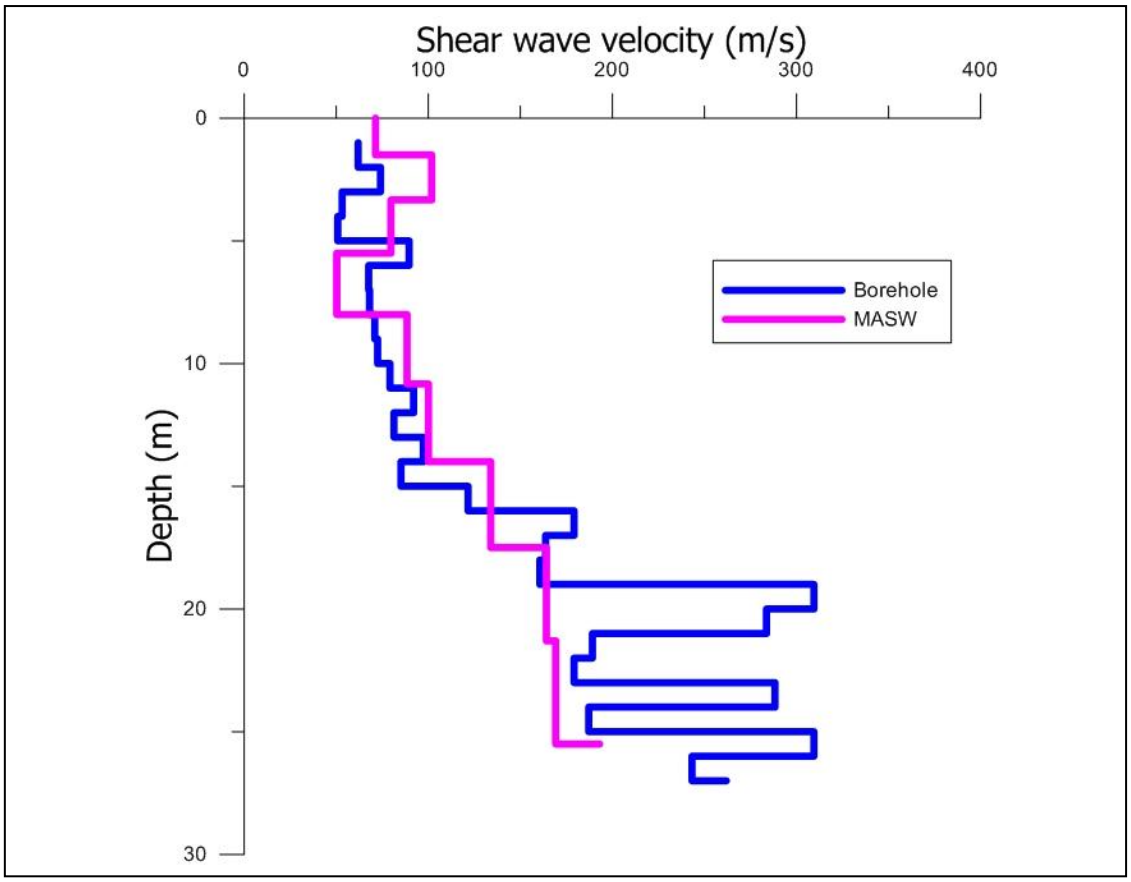
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ค่า Vs_{30} จากหลุมเจาะ Vs_{30} = 132.3 m/s, ค่า Vs_{30} จากวิธี MASW Vs_{30} = 139.3 m/s; Percentage Error = 5 %



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณวัดบางปลานัก อ.เมืองฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา ค่า Vs_{30} จากหลุมเจาะ Vs_{30} = 120.8 m/s, ค่า Vs_{30} จากวิธี MASW Vs_{30} = 122.5 m/s; Percentage Error = 1 %



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณอบต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ค่า Vs_{30} จากหลุมเจาะ Vs_{30} = 120.40 m/s, ค่า Vs_{30} จากวิธี MASW Vs_{30} = 134.2 m/s; Percentage Error = 10 %



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณวัดสุนทรีย์ศรัทธาธรรม อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ค่า Vs_{30} จากหลุมเจาะ Vs_{30} = 104.50 m/s, ค่า Vs_{30} จากวิธี MASW Vs_{30} = 108.30 m/s; Percentage Error = 3 %

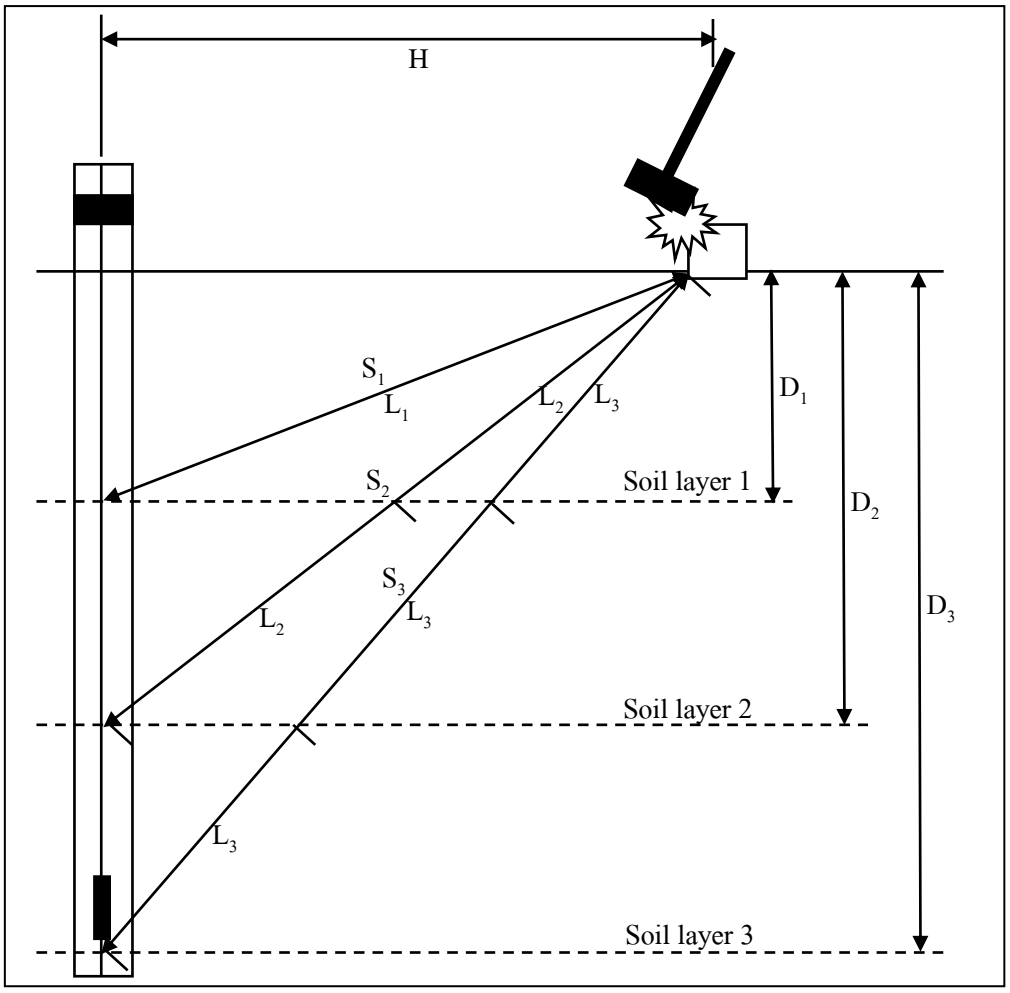
3.4.2 Downhole Test

การตรวจวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนด้วยการทดสอบแบบดาวน์โฮล (downhole test) ทำโดยกำเนิดคลื่นที่ผิวดินด้วยการใช้ค้อนเคาะด้านข้างของท่อนไม้ในลักษณะที่ทำให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือนวิ่งผ่านชั้นดินลงไป และใช้หัววัดหย่อนลงในหลุมที่ในช่วงความลึกต่างๆ ที่ทุกๆ ระยะ 1 เมตร (รูปที่ 3.12) เพื่อรับสัญญาณคลื่นที่มาถึง โดยมีการจับเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากจุดกำเนิดไปถึงหัววัด จุดที่ใช้ค้อนทุบบนท่อนไม้ห่างจากปากหลุม H=3 เมตร

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบในที่นี้มีสมมติฐานว่าคลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดไปยังหัววัดเป็นแนวเส้นตรง และสมมติว่าความเร็วคลื่นเฉือนมีค่าคงที่ในแต่ละช่วงความหนาของชั้นดิน 1 เมตร ที่หย่อนหัววัดลงไป ระยะทางที่คลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความหนาชั้นดิน 1 เมตร จะมีค่าเท่ากันทุกชั้นแทนด้วยตัวแปร L ดังรูปที่ 3.12 ในชั้นดิน 1 เมตรแรก ความเร็วคลื่นเฉือนจะเท่ากับ $V_1 = L_1 / T_1$ โดยที่ T_1 คือระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากจุดกำเนิดถึงหัววัดที่ความลึก 1 เมตร

เมื่อหย่อนหัววัดไปที่ความลึก 2 เมตร ระยะทางที่คลื่นเดินทางในช่วงชั้นดินที่ 1 และ 2 จะมีระยะทางเท่ากัน คือ L_2 ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางในช่วงชั้นดินที่ 2 จะเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดจากจุดกำเนิดถึงหัววัด T_2 ลบด้วยระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางผ่านชั้นดินที่ 1 ($t_1 = L_2 / V_1$) เท่ากับ $t_2 = T_2 - t_1$ และความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินที่ 2 เท่ากับ $V_2 = L_2 / t_2$

เมื่อหย่อนหัววัดไปที่ความลึก n เมตร ระยะทางที่คลื่นเดินทางในแต่ละช่วงชั้นดินที่หนา 1 เมตร จะเท่ากันหมดคือ L_n ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางในช่วงชั้นดินที่ n จะเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดจากจุดกำเนิดถึงหัววัด T_n ลบด้วยระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางผ่านชั้นดินต่างๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป ($t_i = L_n / V_i$) เท่ากับ $t_n = T_2 - \sum_i^{n-1} t_i = T_2 - \sum_i^{n-1} \frac{L_n}{V_i}$ และความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินที่ n เท่ากับ $V_n = L_n / t_n$



รูปที่ 3.12 หลักการวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนด้วย downhole test

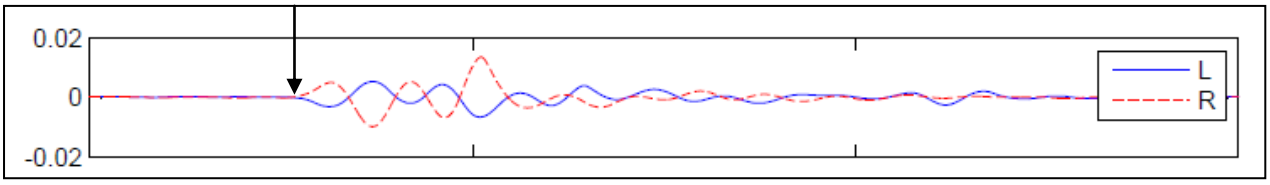
ขั้นตอนการทดสอบแบบดาวน์โฮล

1. นำท่อนไม้มาวางบนพื้นดินให้ห่างจากปากหลุมเป็นระยะประมาณ 3 เมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของสถานที่ทดสอบ โดยมีด้านที่เป็นเหล็กฉากฝั่งลงไปในดิน และนำกระสอบทรายทับลงบนท่อนไม้เพื่อให้การยึดท่อนไม้ดีขึ้น
2. ติดตั้งทริกเกอร์กับค้อน และใช้เทปผ้ามัดติดไว้ให้แน่น
3. นำสายสัญญาณและท่อลมต่อกับหัววัดความสั่นสะเทือน (จีโอโฟน) โดยนำสายสัญญาณอีกด้านต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ และนำท่อลมต่อเข้ากับเครื่องสูบลม
4. ตรวจสอบปั๊มลม โดยต่อปั๊มลมเขากับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ แล้วสูบลมเข้าไปในลูกยางเล็กน้อยเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมของยางที่ติดอยู่กับเครื่องวัดสัญญาณ

5. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง ทำการตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อบันทึกข้อมูล
6. นำจีโอโฟนหย่อนลงไปในหลุม
7. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทำการทดลองโดยการเติมลมให้ยางโป่งออกจนจีโอโฟนติดกับขอบหลุม ยึดเชือกไว้กับที่ล็อกเชือก เพื่อป้องกันจีโอโฟนตกลงไปในหลุม ทดสอบจากนั้นตอกท่อนไม้ด้วยค้อน โดยครั้งแรกให้ตอกที่ด้านบนของท่อนไม้ในแนวดิ่ง แล้วทำการตรวจสอบค่าที่จีโอโฟนสามารถวัดได้ว่าผลที่ได้จะยอมรับได้หรือไม่ เมื่อได้ผลการทดลองที่ยอมรับได้แล้วจึงทำการตอกด้านซ้ายและด้านขวาต่อไป ซึ่งผลการทดลองจะถูกบันทึกไว้โดยคอมพิวเตอร์ และเพื่อป้องกันการทำงานที่ผิดพลาดของคอมพิวเตอร์จึงทำการจดข้อมูลลงในใบบันทึกข้อมูลด้วย แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

1. ข้อมูลการทดลองจะแสดงเป็นกราฟที่จีโอโฟนรับสัญญาณได้หลังจากที่มีการเคาะท่อนไม้ เวลาที่เครื่องคอมพิวเตอร์แสดงเป็นเวลาที่คลื่นใช้เดินทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นถึงจีโอโฟน คลื่นแบบอัด (P-wave) เดินทางเร็วกว่าคลื่นเฉือน (S-wave) ทำให้สัญญาณที่วัดได้มีการมาถึงของคลื่นแบบอัดก่อนที่คลื่นเฉือนจะมาถึง ทำให้การสังเกตขณะเวลาที่คลื่นเฉือนเดินทางมาถึงหัววัดทำได้ยาก จึงใช้วิธีใช้ค้อนเคาะที่ท่อนไม้ในด้านตรงข้ามทำให้คลื่นเฉือนที่ไปถึงหัววัดมีทิศทางการสั่นไหวตรงข้ามกับครั้งแรก ขณะเวลาที่กราฟความสั่นสะเทือนที่จีโอโฟนวัดได้จากการเคาะในทิศทางตรงข้ามแยกจากกันเป็นการบ่งชี้ถึงการมาถึงของคลื่นเฉือน ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 จุดที่คลื่นเริ่มแยกออกจากกัน

2. คำนวณหาระยะทางทั้งหมดที่คลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดถึงหัววัด

$$S = \sqrt{D^2 + H^2} \tag{3.5}$$

โดยที่ S คือ ระยะทางทั้งหมดที่คลื่นเดินทางจากจุดกำเนิดไปถึงหัววัด แสดงดังรูปที่ 3.12
D คือ ความลึกจากปากหลุมถึงจีโอโฟน แสดงดังรูปที่ 3.12
H คือ ระยะในแนวราบจากท่อนไม้ถึงปากหลุมทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.12

ระยะทางที่คลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความลึกของชั้นดิน 1 เมตร

$$L = \frac{S}{D} \tag{3.6}$$

โดยที่ L คือ ระยะที่คลื่นเดินทางในแต่ละช่วงความลึกของชั้นดิน แสดงดังรูปที่ 3.12 ซึ่งมีค่าเท่ากันทุกช่วง เนื่องจากเพิ่มความลึกครั้งละ 1 เมตร เท่ากันตลอดการทดสอบ

3. คำนวณหาระยะเวลาที่คลื่นเดินทางในแต่ละช่วงของชั้นดินเหนือช่วงความลึกที่กำลังพิจารณา

$$t_i = \frac{L}{V_i} \tag{3.7}$$

โดยที่ t_i คือ ระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางในช่วงความลึกของชั้นดินที่ i
V_i คือ ความเร็วที่คลื่นเดินทางในช่วงความลึกที่ i

โดยระยะเวลาคลื่นใช้เดินทาง ณ ช่วงความลึกที่พิจารณาหาได้จาก

$$t_n = T_n - \sum_{i=1}^{n-1} t_i \tag{3.8}$$

โดยที่ t_n คือ ระยะเวลาคลื่นใช้เดินทางในช่วงความลึก 1 เมตร ที่ n ที่กำลังพิจารณา
T_n คือ ระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางจากจุดกำเนิดถึงจีโอโฟน ที่ความลึก n เมตรที่กำลังพิจารณา

4. คำนวณความเร็วคลื่นเฉือนในช่วงชั้นดิน 1 เมตรที่ความลึก n เมตรที่กำลังพิจารณา โดยความเร็วคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 1 เมตรแรก เท่ากับ

$$V_1 = \frac{L}{T_1} \tag{3.9}$$

โดยที่ V_1 คือ ความเร็วคลื่นเฉือนช่วงความลึกแรกเริ่ม

T_1 คือ ระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางจากจุดกำเนิดถึงจีโอโฟน ในช่วงความลึก 1 เมตรแรก

โดยความเร็วคลื่นเฉือนในช่วงความลึกถัดไป

$$V_n = \frac{L}{t_n} \tag{3.10}$$

โดยที่ V_n คือ ความเร็วคลื่นเฉือนในช่วงความลึกที่ n ที่กำลังพิจารณา

5. คำนวณความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วง 30 เมตร จากผิวดินตามสมการ

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_i}} \tag{3.11}$$

โดยที่ d_i คือ ความหนาของชั้นดินชั้นที่ i

3.5 ผลที่ได้จากงานวิจัย (ผลการคำนวณค่า Vs_{30})

3.5.1 Multi – Channel Analysis of Surface Wave

การใช้วิธี MASW เพื่อการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดินในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบลักษณะของชั้นดินอ่อนข้างใต้ที่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดที่มีผลต่อค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้และนำไปสู่การคำนวณอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวในบริเวณนั้น และสามารถสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของประเทศที่ถูกต้องต่อไป คณะผู้วิจัยได้ทำการวัดความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินในตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดอัตราเร่งในบริเวณภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคกลางของประเทศไทย (รูปที่ 3.14) แสดงดังตารางที่ 3.1

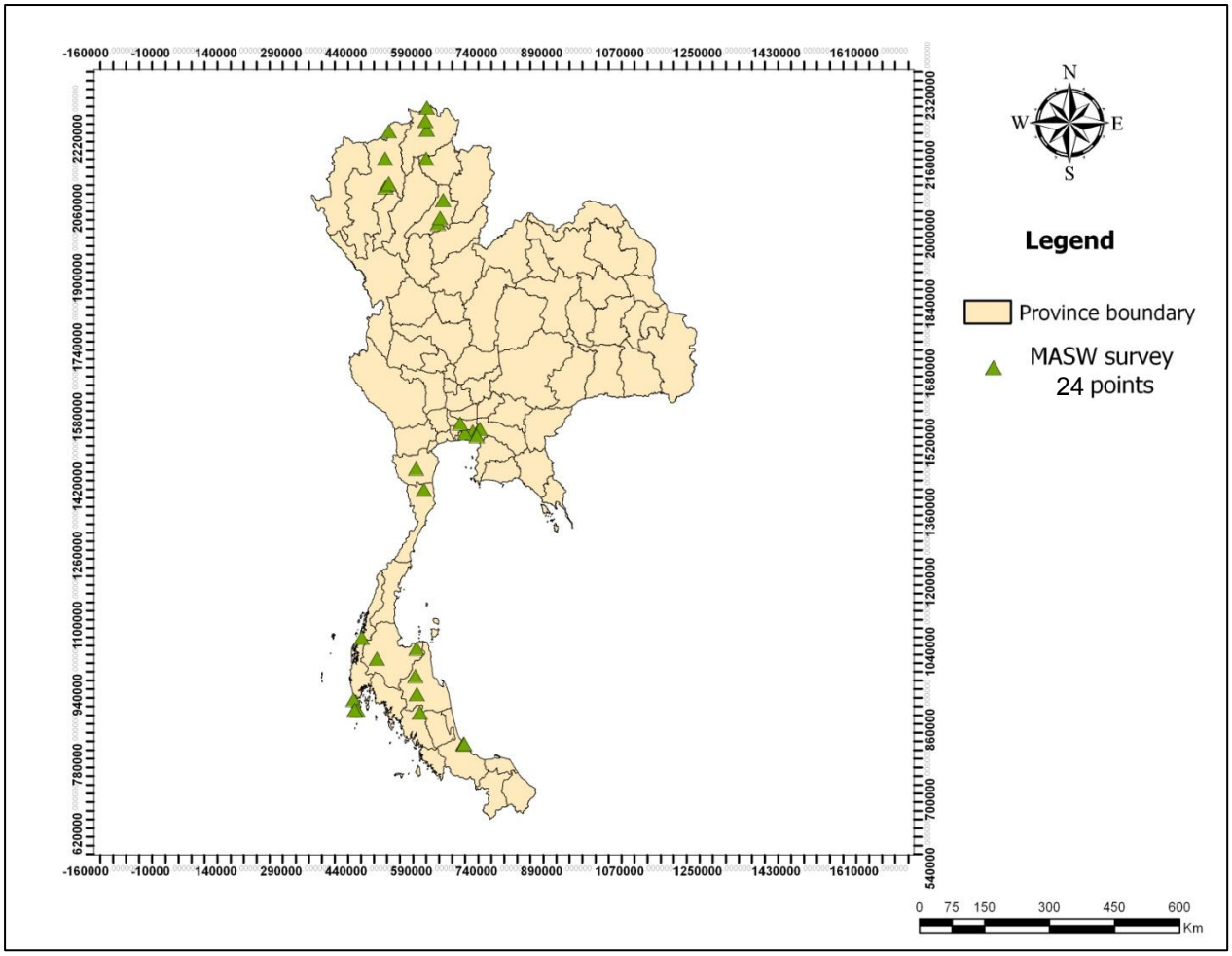
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคกลางของประเทศไทย

ตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย				Vs_{30} (m/s)
ลำดับที่	พื้นที่สำรวจ MASW	พิกัด		
		E	N	
1.	ที่ว่าการ อ.สูงเม่น จ.แพร่	618022	1992278	249
2.	สถานีอุตุนิยมวิทยา จ.แพร่	623312	2004649	286
3.	อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่	629777	2045826	499*
4.	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	591284	2140922	331
5.	สถานีอุตุนิยมวิทยา จ.เชียงราย	592570	2207321	234
6.	ที่ว่าการ อ.แม่จัน จ.เชียงราย	589431	2227724	245
7.	ที่ว่าการ อ.แม่สาย จ.เชียงราย	592482	2259050	250
8.	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จ.เชียงใหม่	497097	2075474	310
9.	อ.สันทราย จ.เชียงใหม่	505130	2083999	214
10.	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	496366	2140795	294
11.	สถานีอุตุฯ ดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่	504736	2204010	242
ตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคใต้ของประเทศไทย				
12	เขื่อนแก่งกระจาน อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี	567990	1427632	257
13	เขื่อนปราณบุรี อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์.	586161	1378946	562*
14	สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.ตาขุน จ.สุราษฎร์ธานี	477465	990182	890*

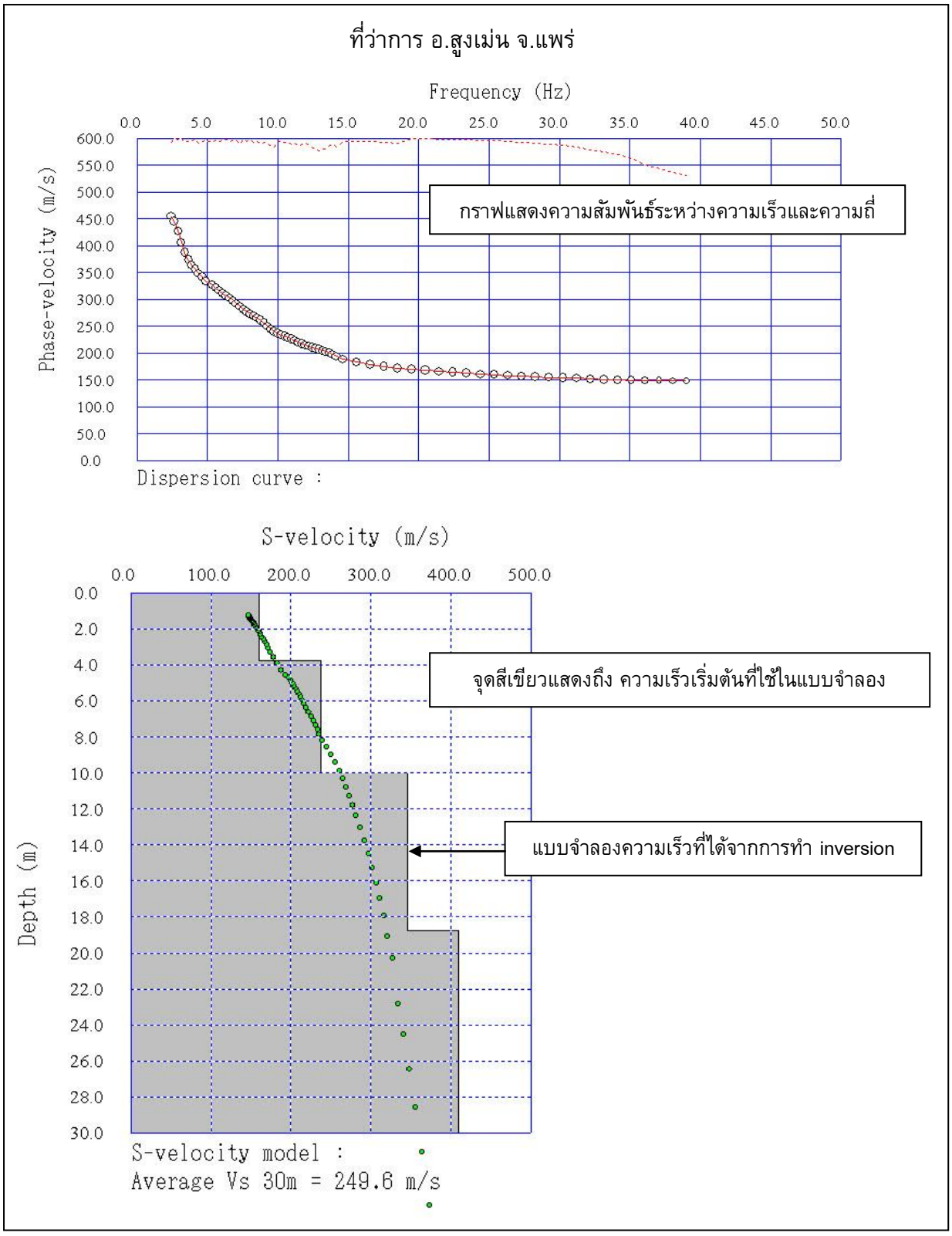
ลำดับที่	พื้นที่สำรวจ MASW	พิกัด		Vs_{30}
		E	N	
15	สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี	569155	1013303	254
16	อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง อ.พิปูน จ.นครศรีธรรมราช	566237	950183	262
17	ศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคใต้ฝั่งตะวันออก อ.เมือง จ.สงขลา	677245	794552	201
18	สถานีวัดอัตราเร่งแผ่นดินไหว อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	678754	793244	394*
19	สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	576202	866252	336
20	สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.เขาพนม จ.กระบี่	569500	908840	277
21	สถานีตรวจวัดอัตราเร่งแผ่นดินไหว อ.ถลางจ.ภูเก็ต	423791	895960	241
22	สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดิน อ.เมือง จ.ภูเก็ต	432960	871557	317
23	สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.กระทู้ จ. ภูเก็ต	426697	872417	280
24	สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.สุขสำราญ จ.ระนอง	442665	1038057	441*

หมายเหตุ สถานีตรวจวัดที่มี * แสดงค่า Vs_{30} ที่ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าสถานีดังกล่าวตั้งอยู่บนชั้นตะกอนดินที่ค่อนข้างบาง อย่างไรก็ตามควรจะทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วยวิธีอื่น เช่น shear wave seismic refraction หรือ downhole test

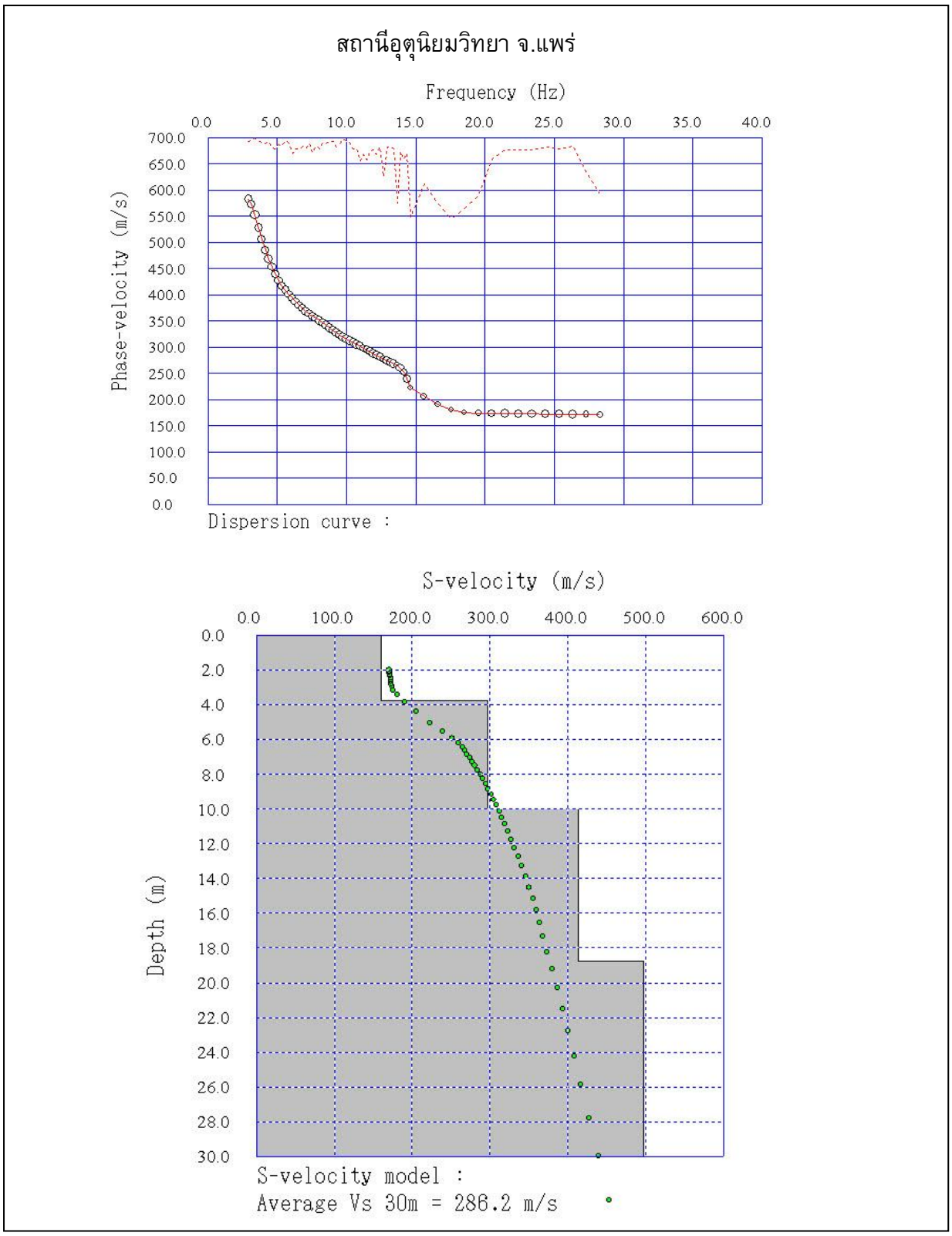
จากการเก็บข้อมูล MASW ทั้ง 24 ตำแหน่ง ผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างผลการศึกษาในครั้งนี้ในรูปที่ 3.15 ถึง 3.40 ตามลำดับ



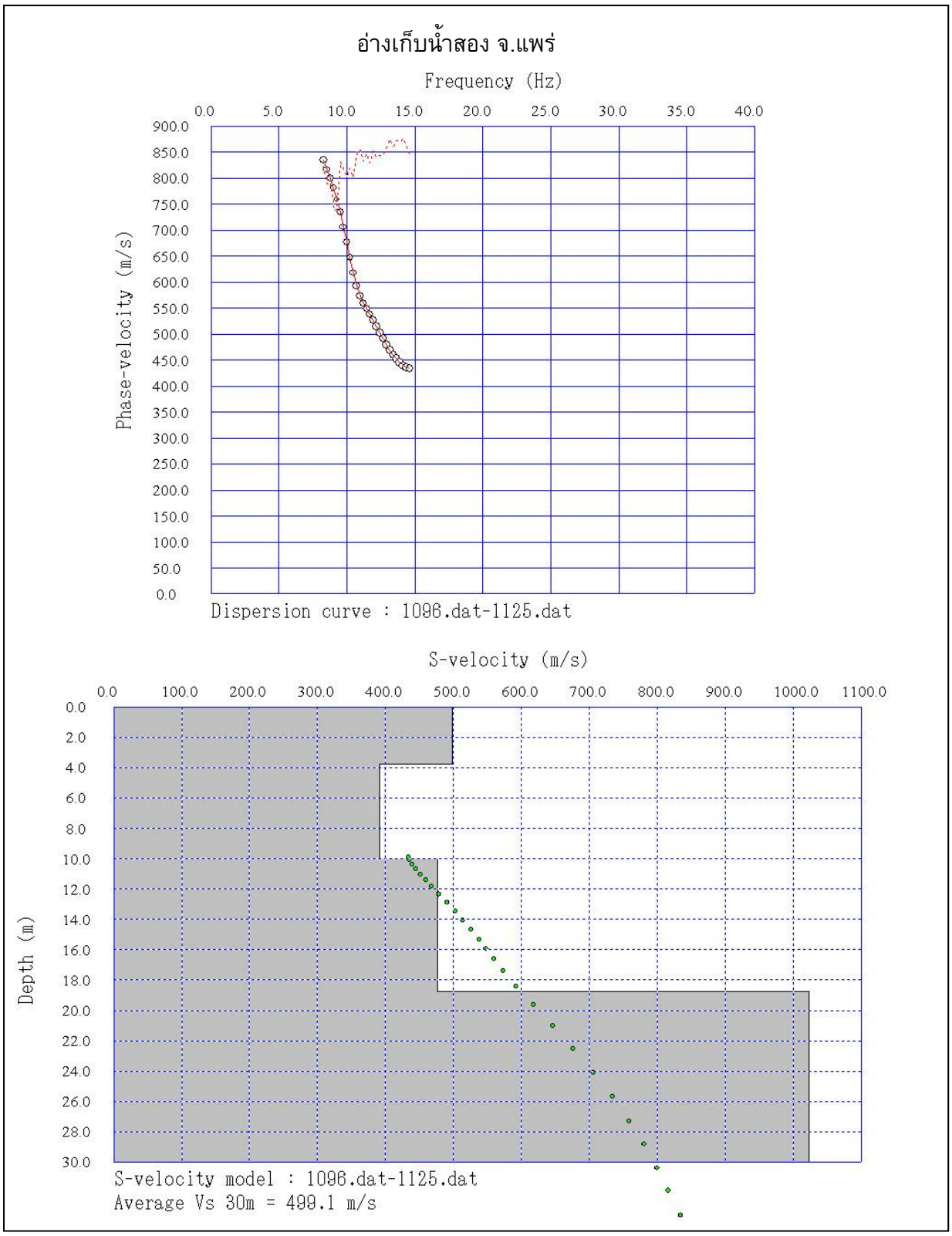
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งสำรวจแบบ MASW บริเวณภาคเหนือ ภาคใต้
และภาคกลางของประเทศไทย จำนวน 24 ตำแหน่ง



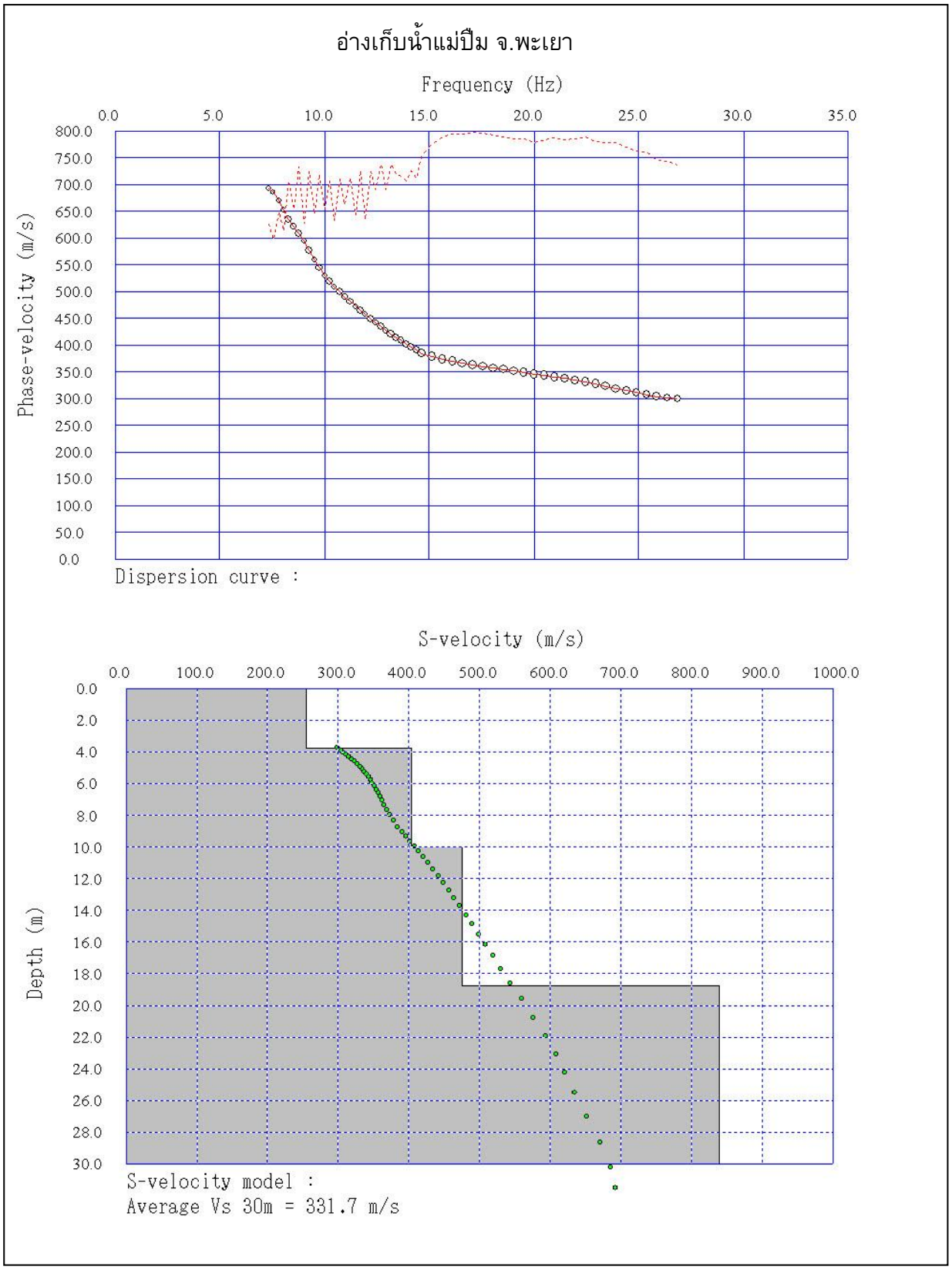
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณที่ว่าการ อ.สูงเม่น จ.แพร่



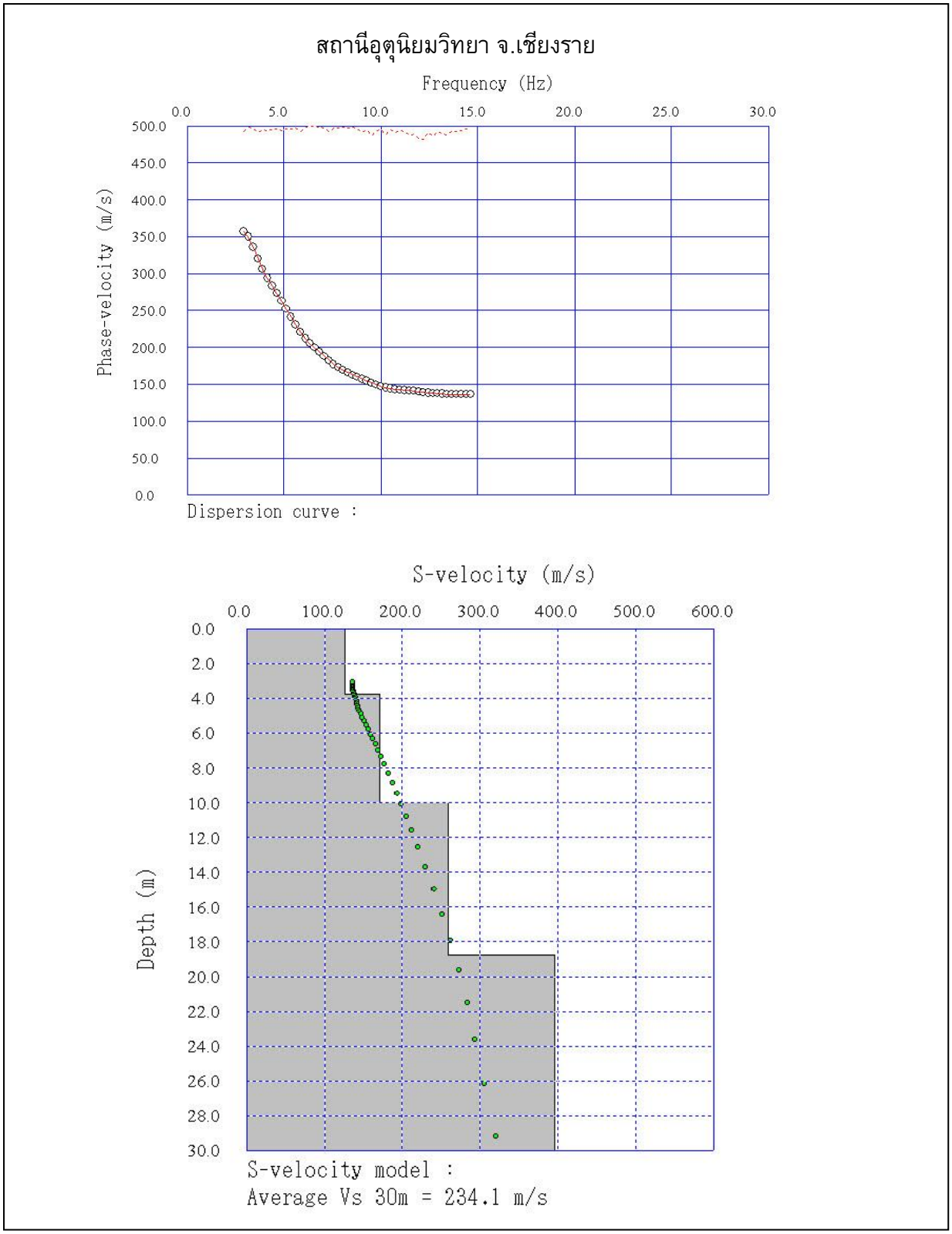
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยา จ.แพร่



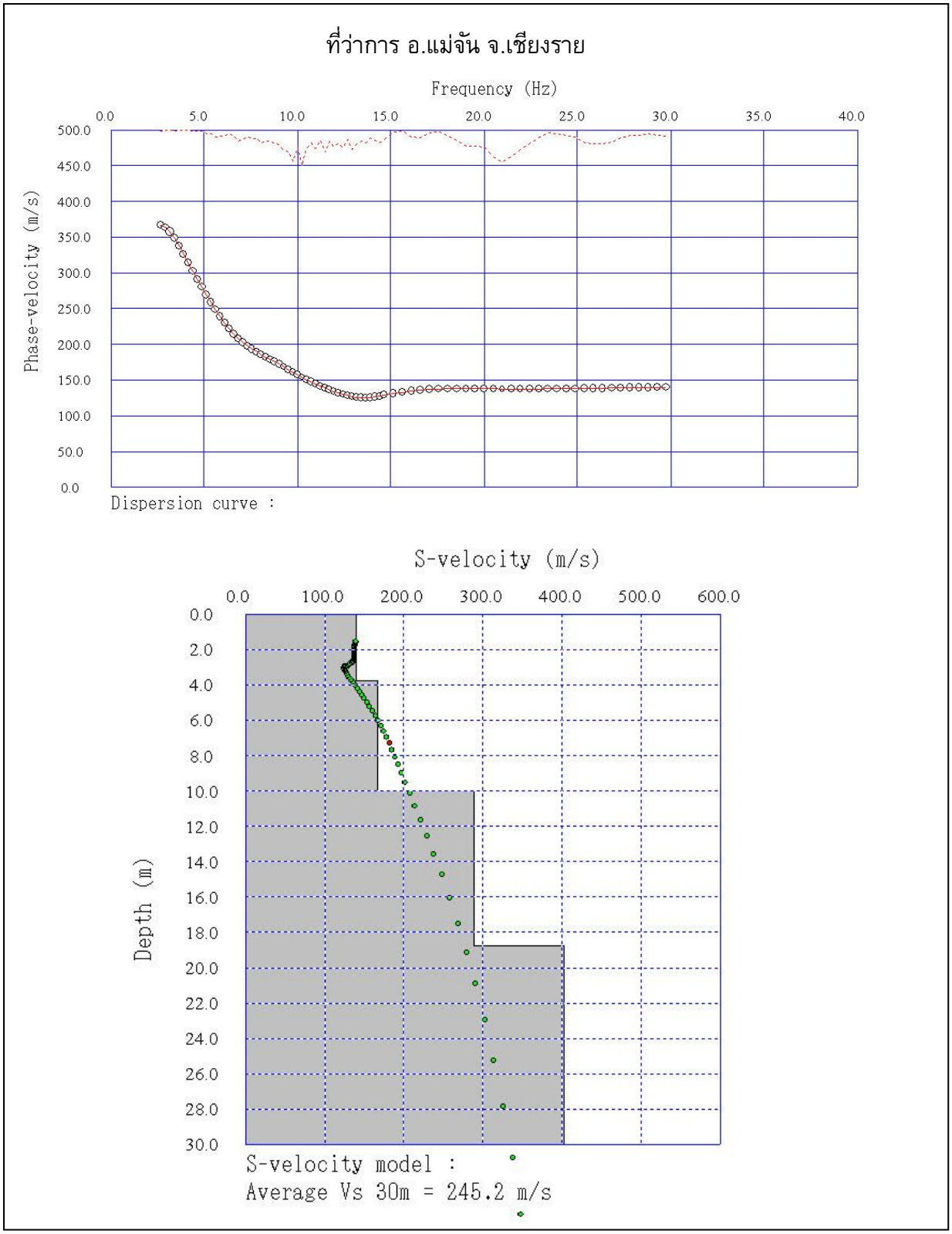
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณอ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่
(ข้อมูลที่ได้ยังไม่สมบูรณ์ จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต)



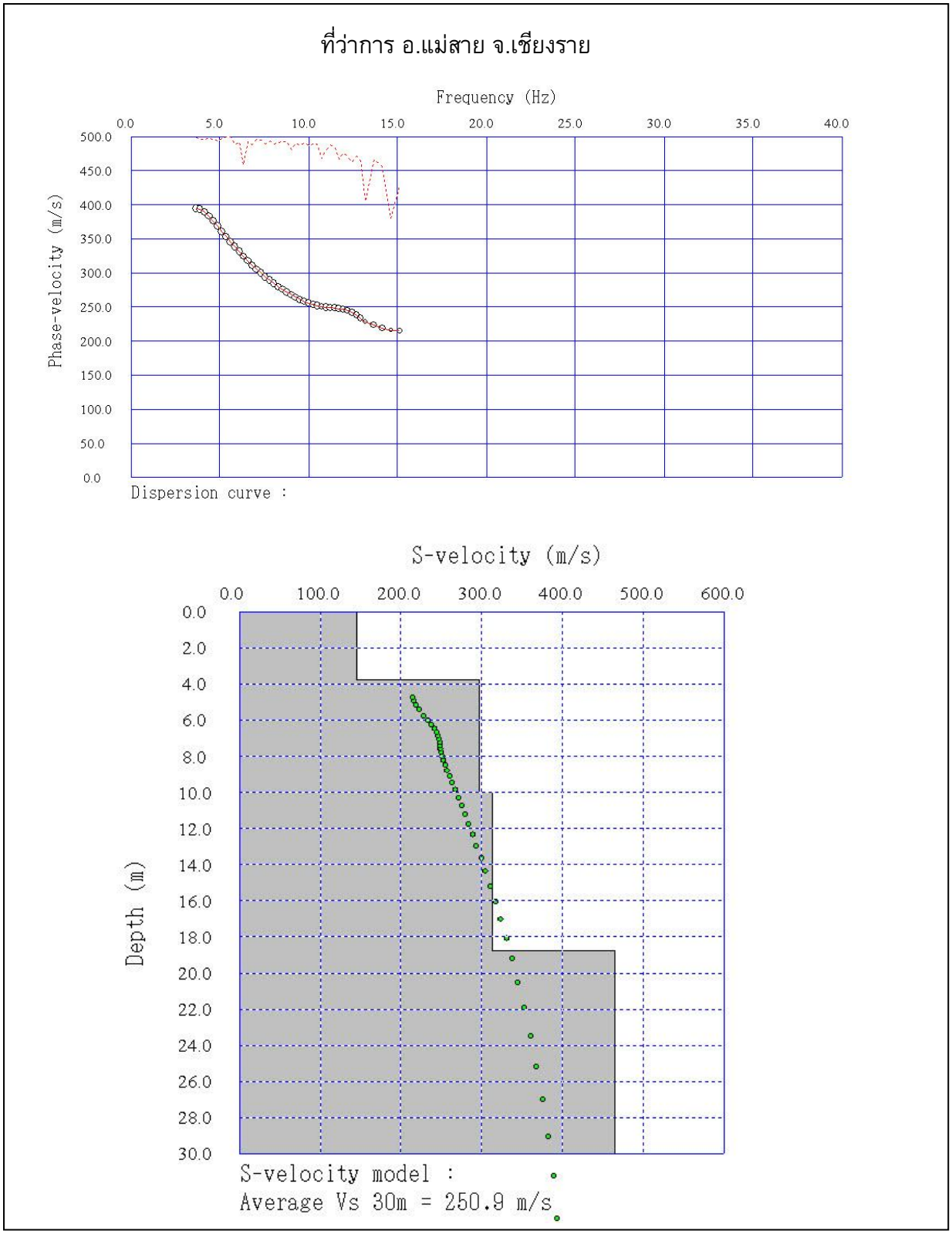
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณอ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา



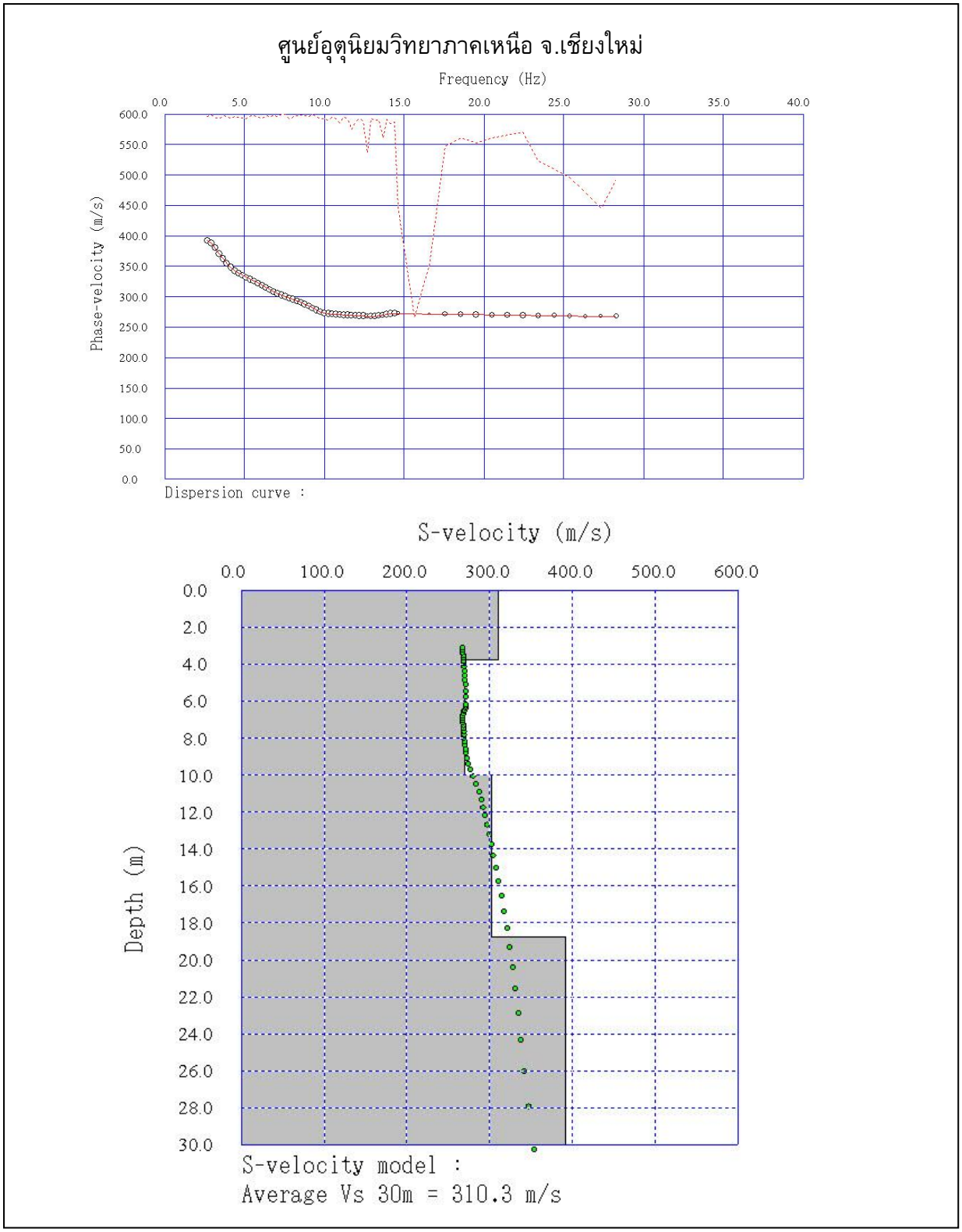
รูปที่ 3.19 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยา จ.เชียงราย



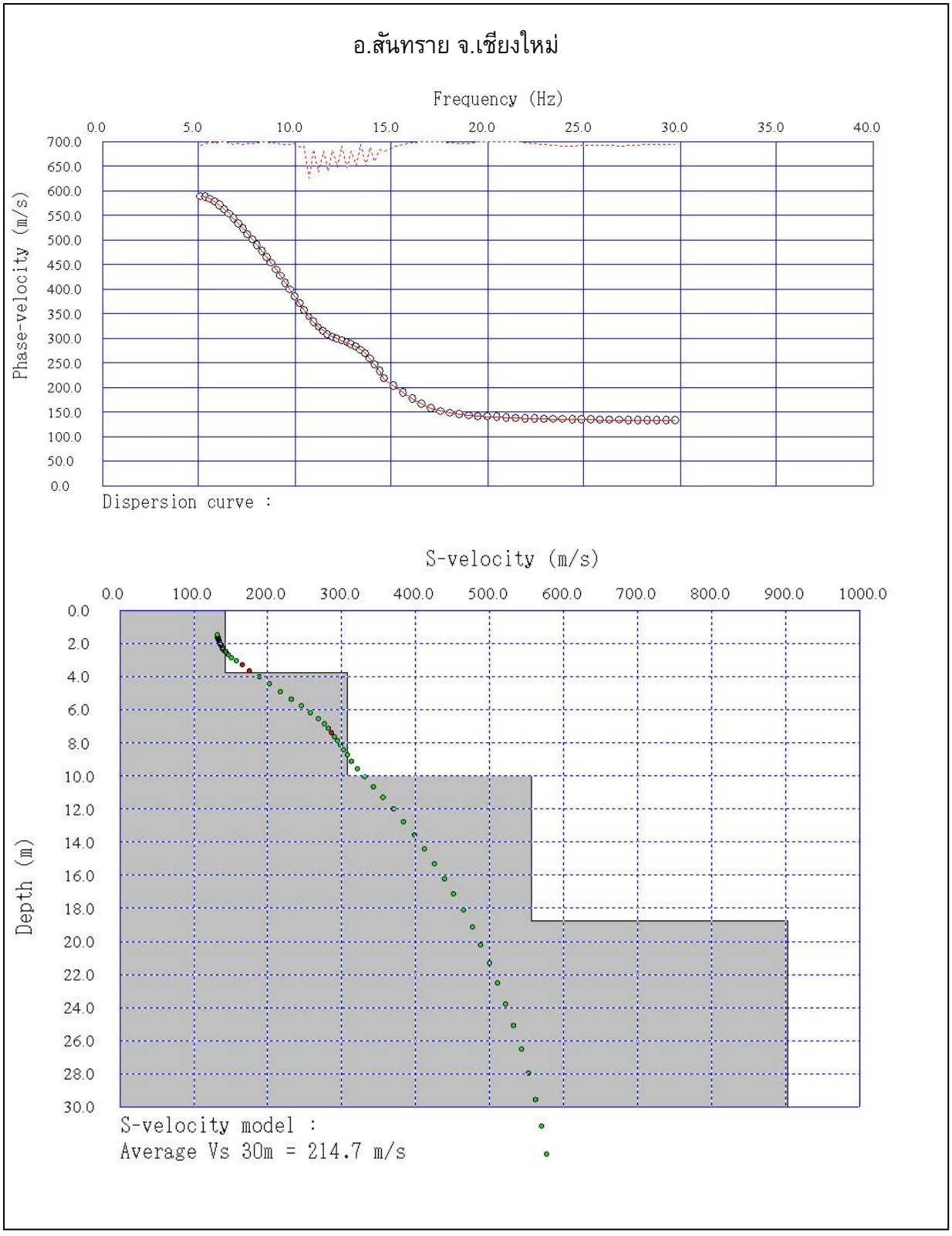
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณที่ว่าการ อ.แม่จัน จ.เชียงราย



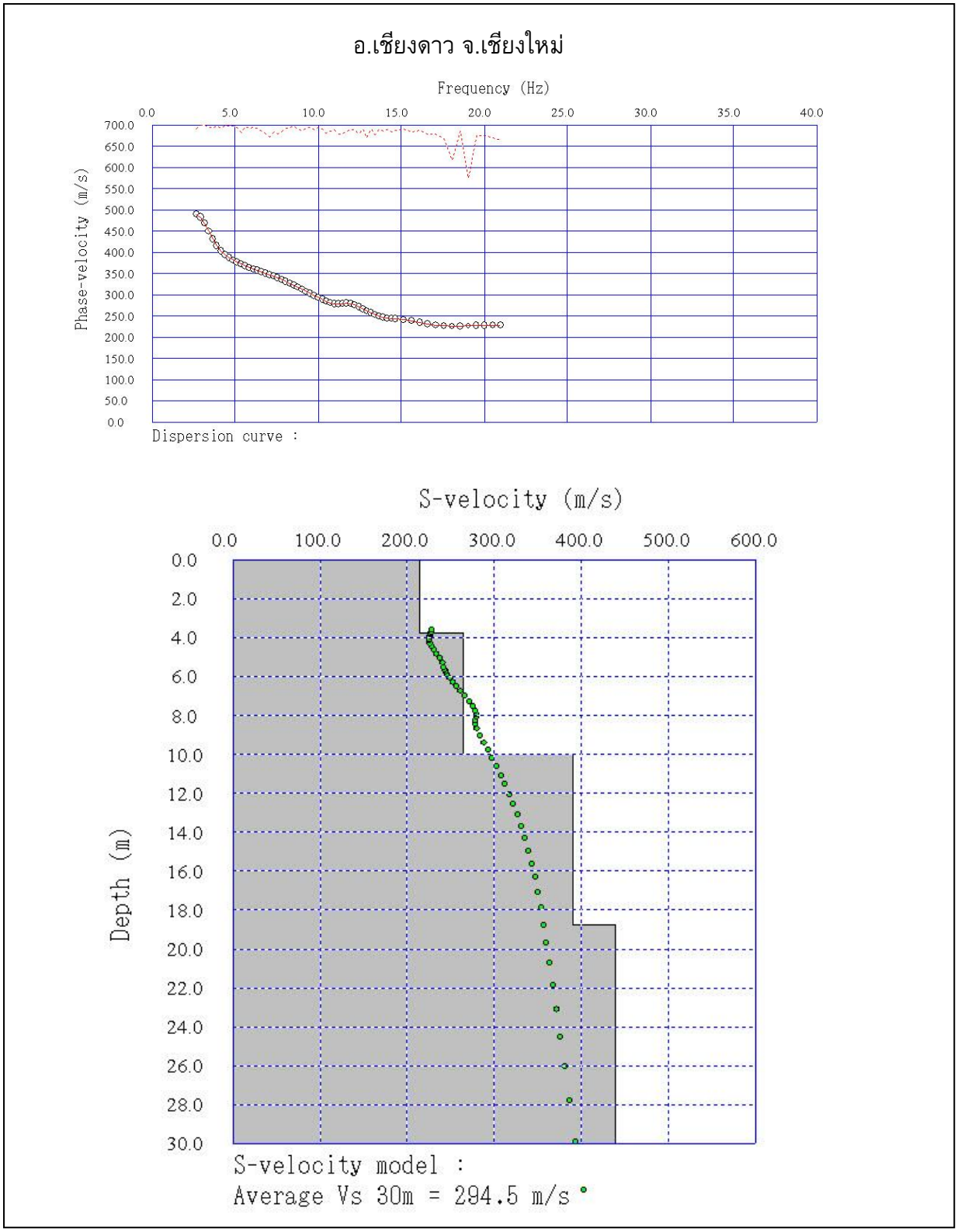
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณที่ว่าการ อ.แม่สาย จ.เชียงราย



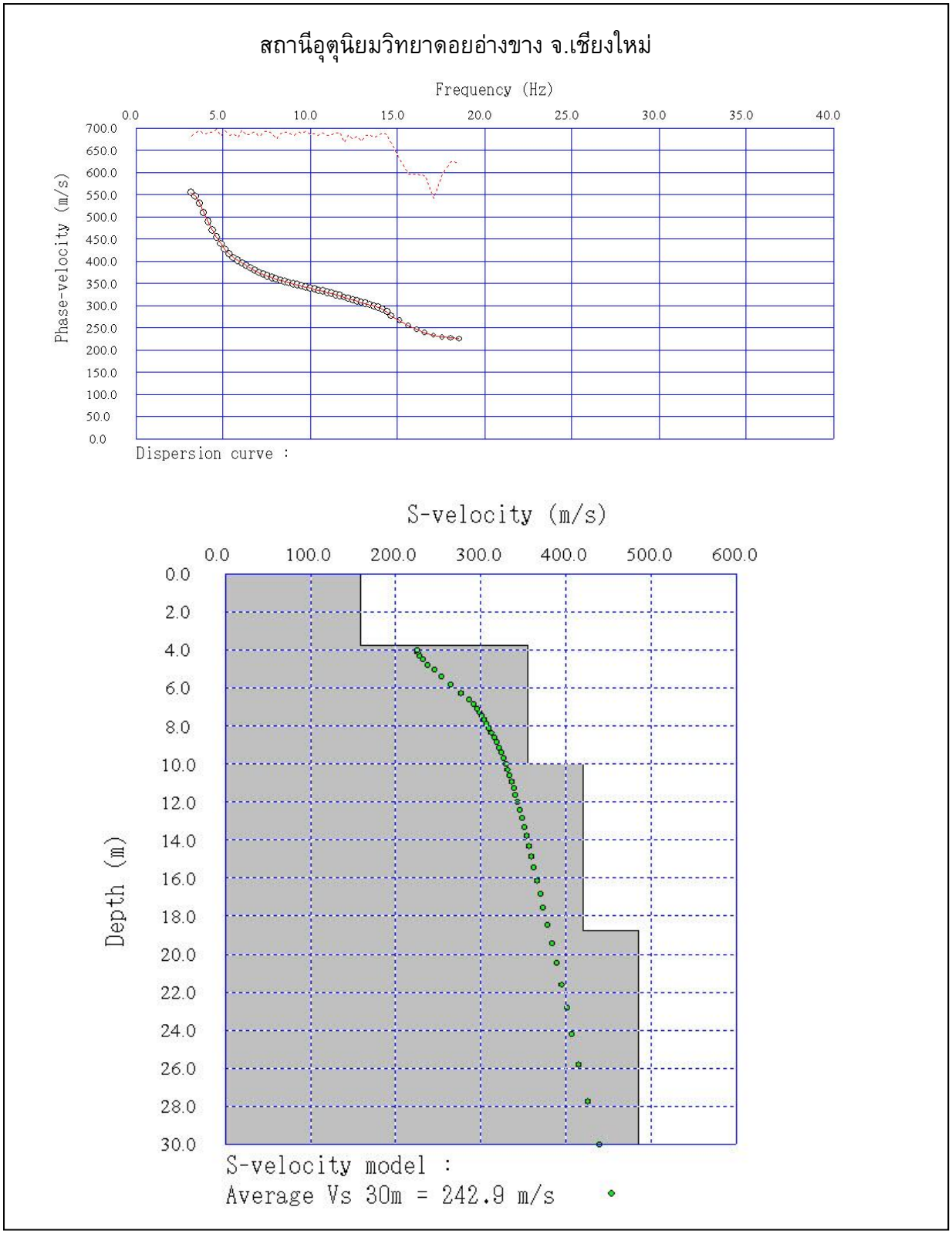
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จ.เชียงใหม่



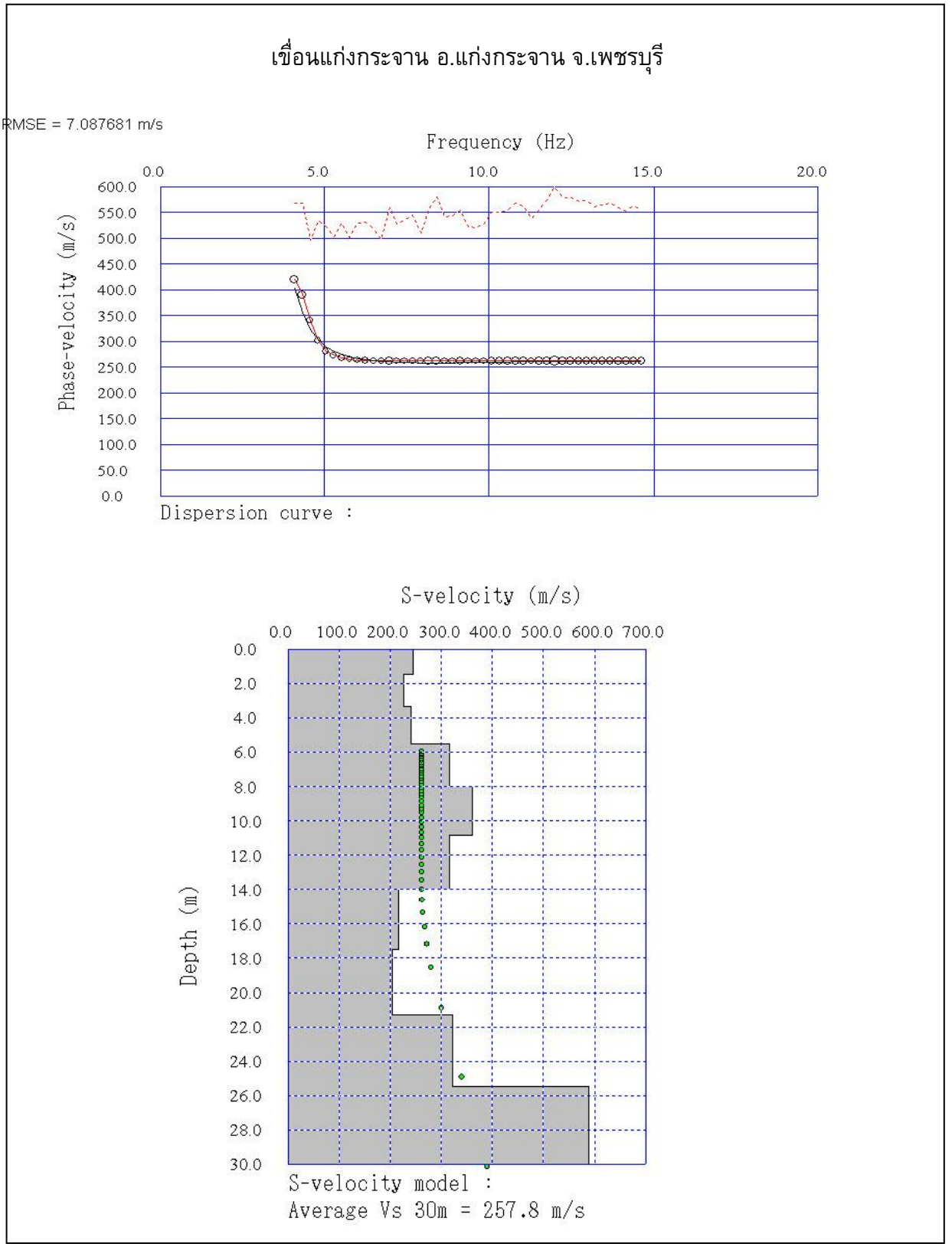
รูปที่ 3.23 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่



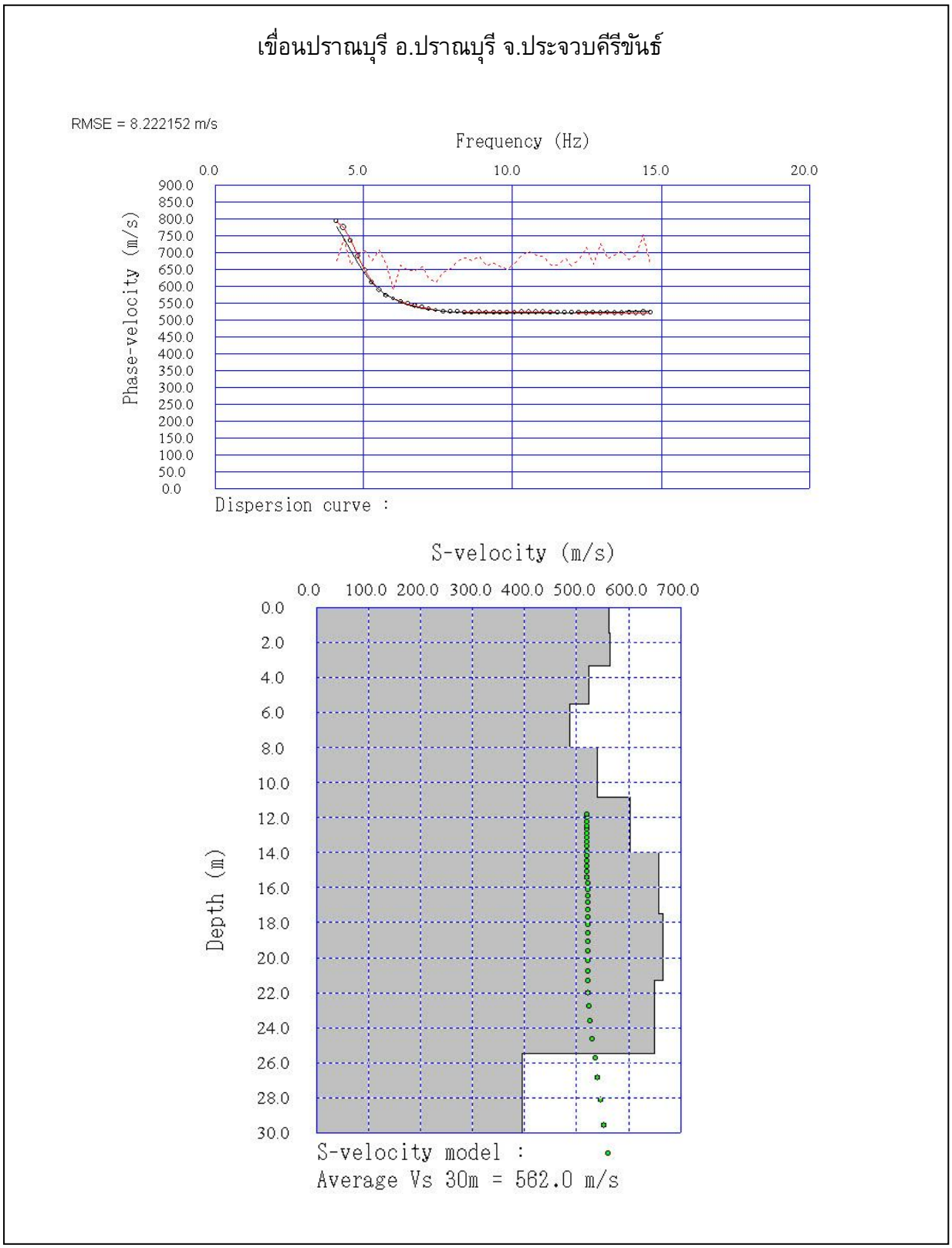
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณ อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่



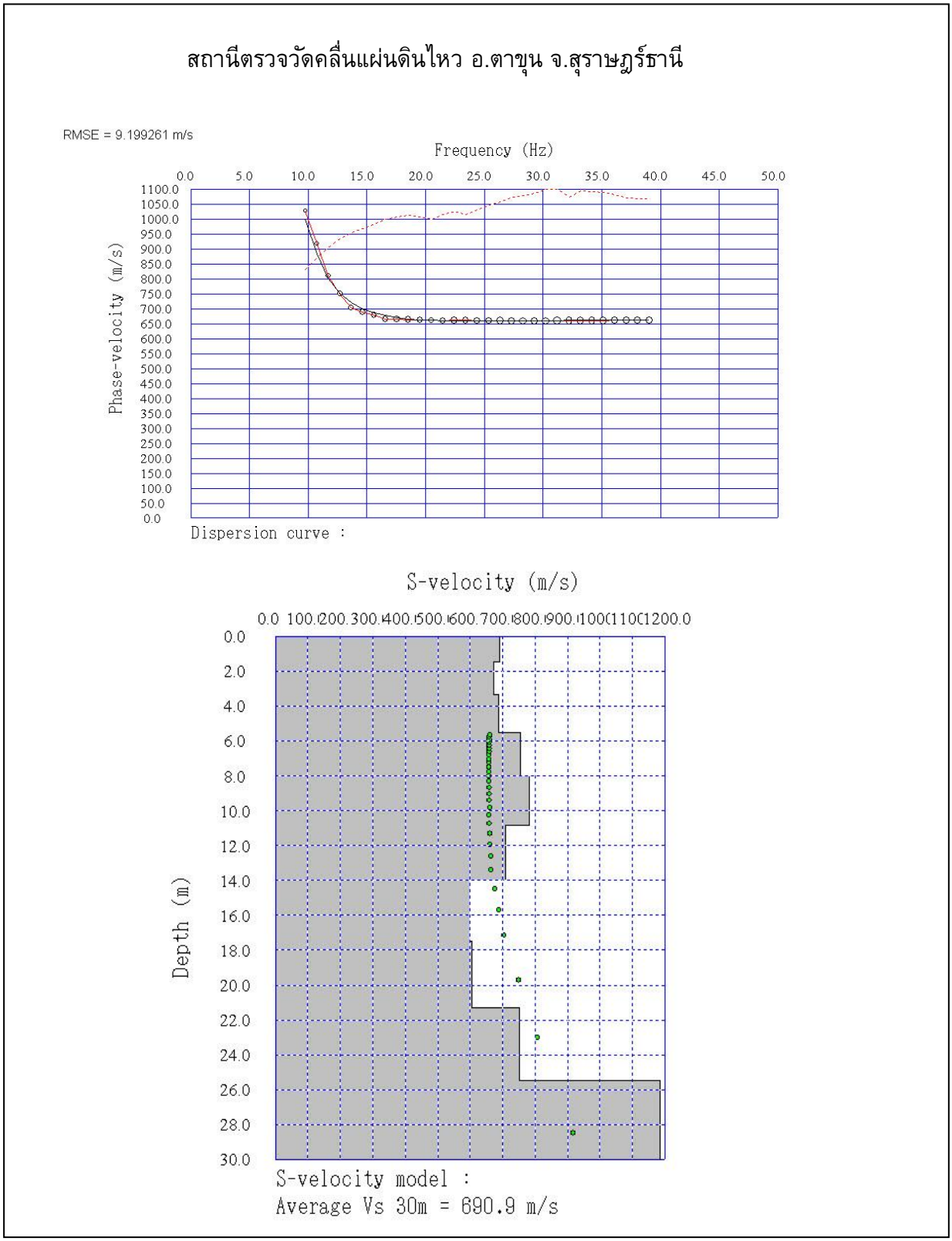
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยา ดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่



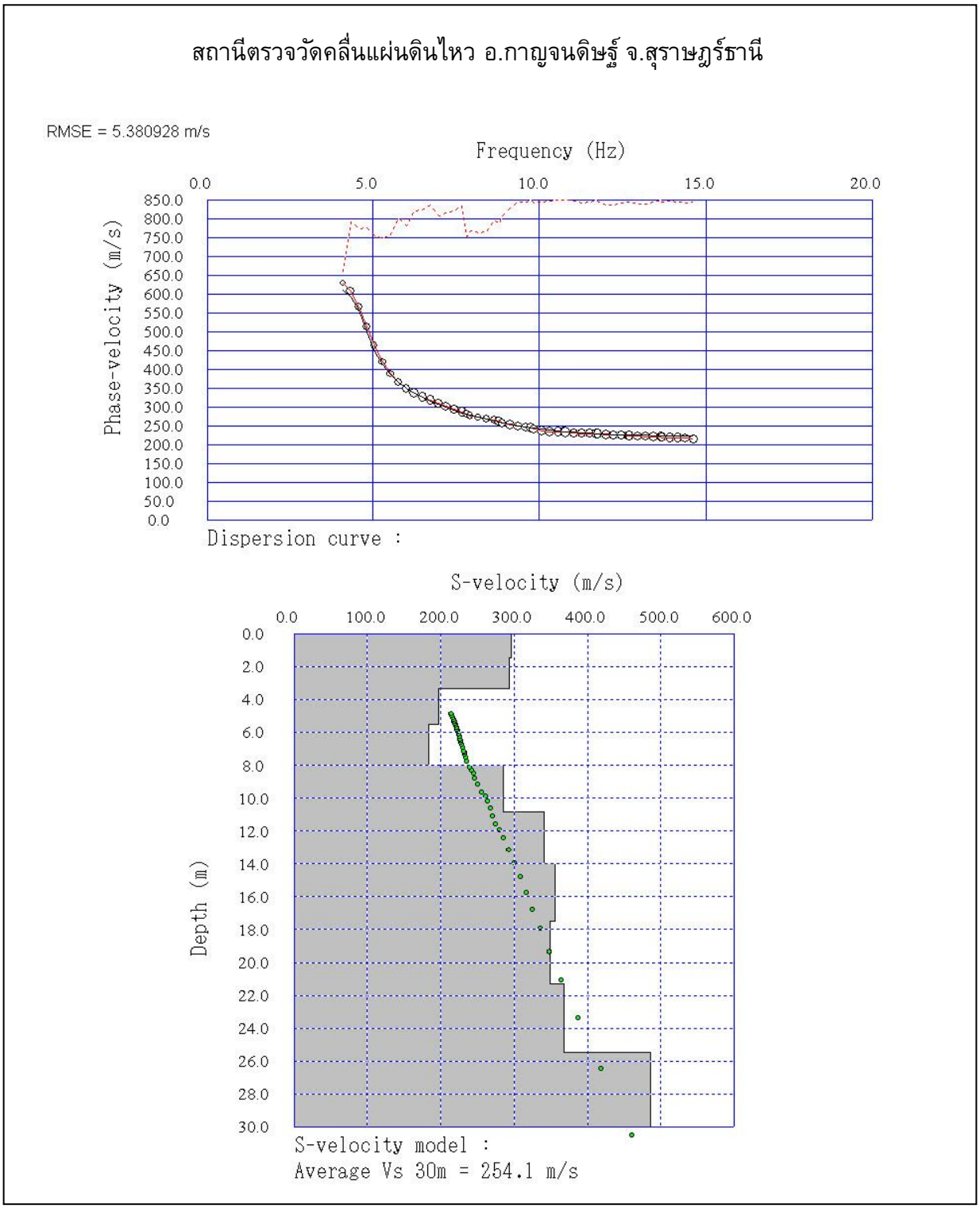
รูปที่ 3.26 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณเขื่อนแก่งกระจาน อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี



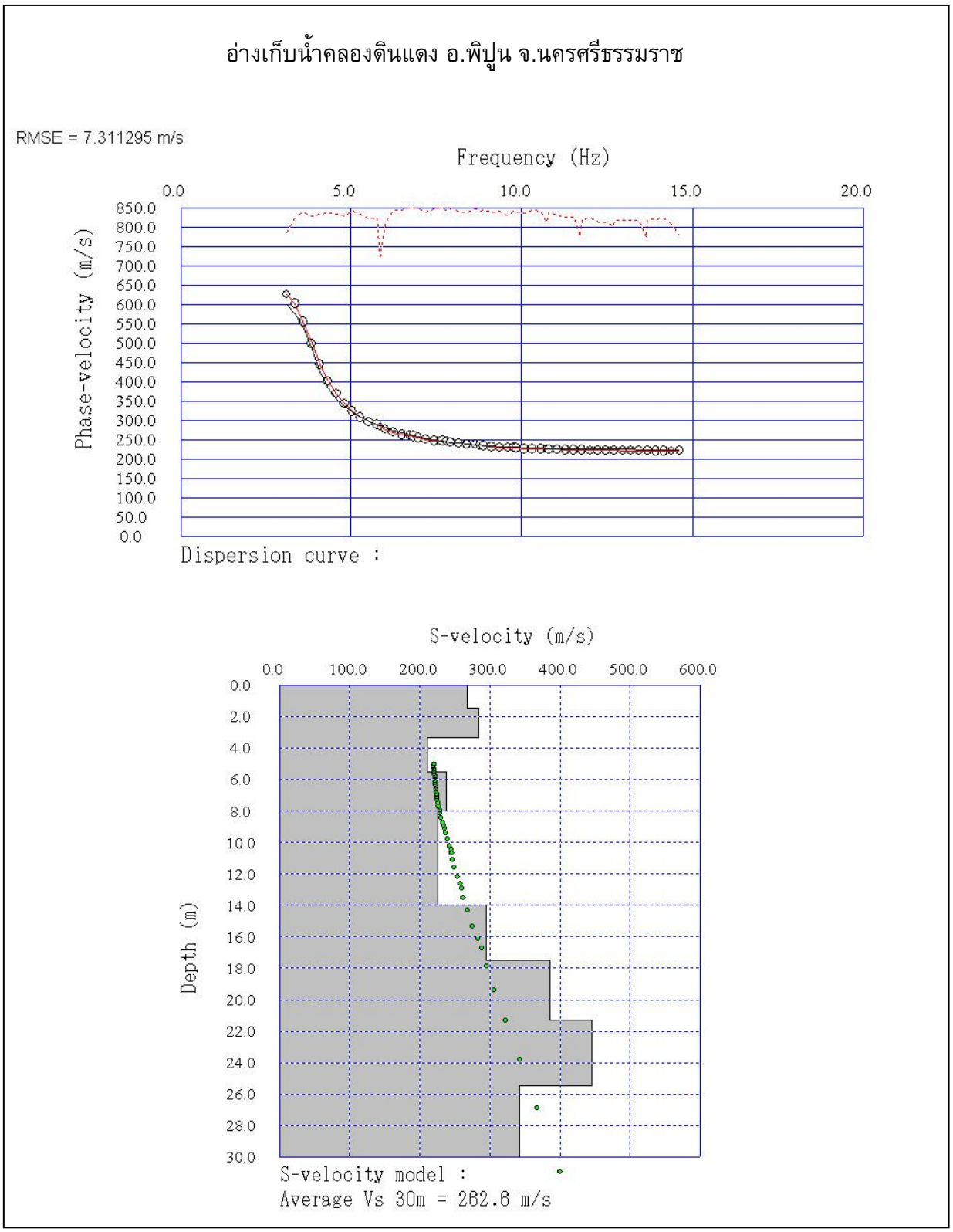
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณเขื่อนปราณบุรี อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ (ข้อมูลที่ได้ยังไม่สมบูรณ์ จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต)



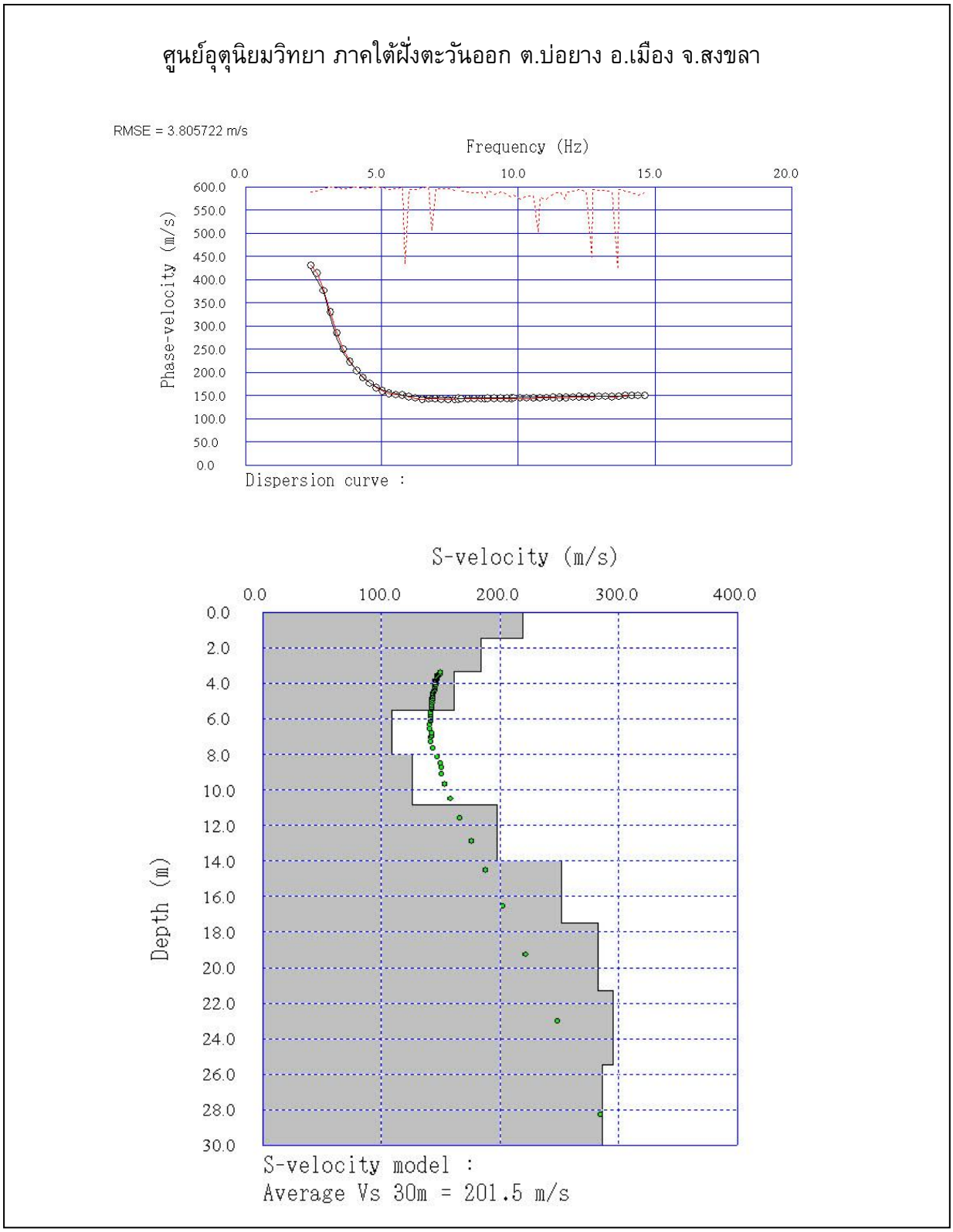
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.ตาขุน จ.สุราษฎร์ธานี (ข้อมูลที่ได้ยังไม่สมบูรณ์ จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต)



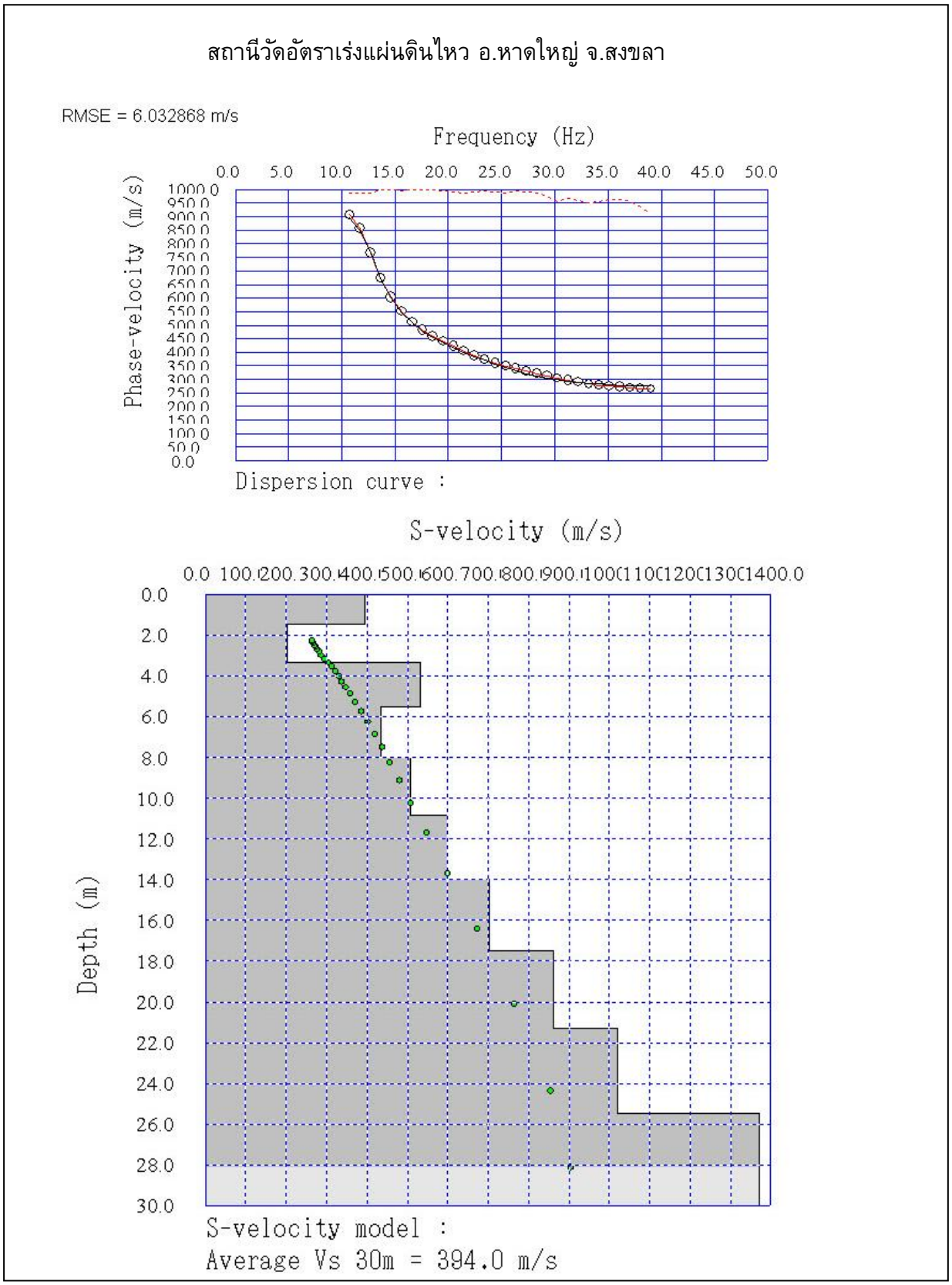
รูปที่ 3.29 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี



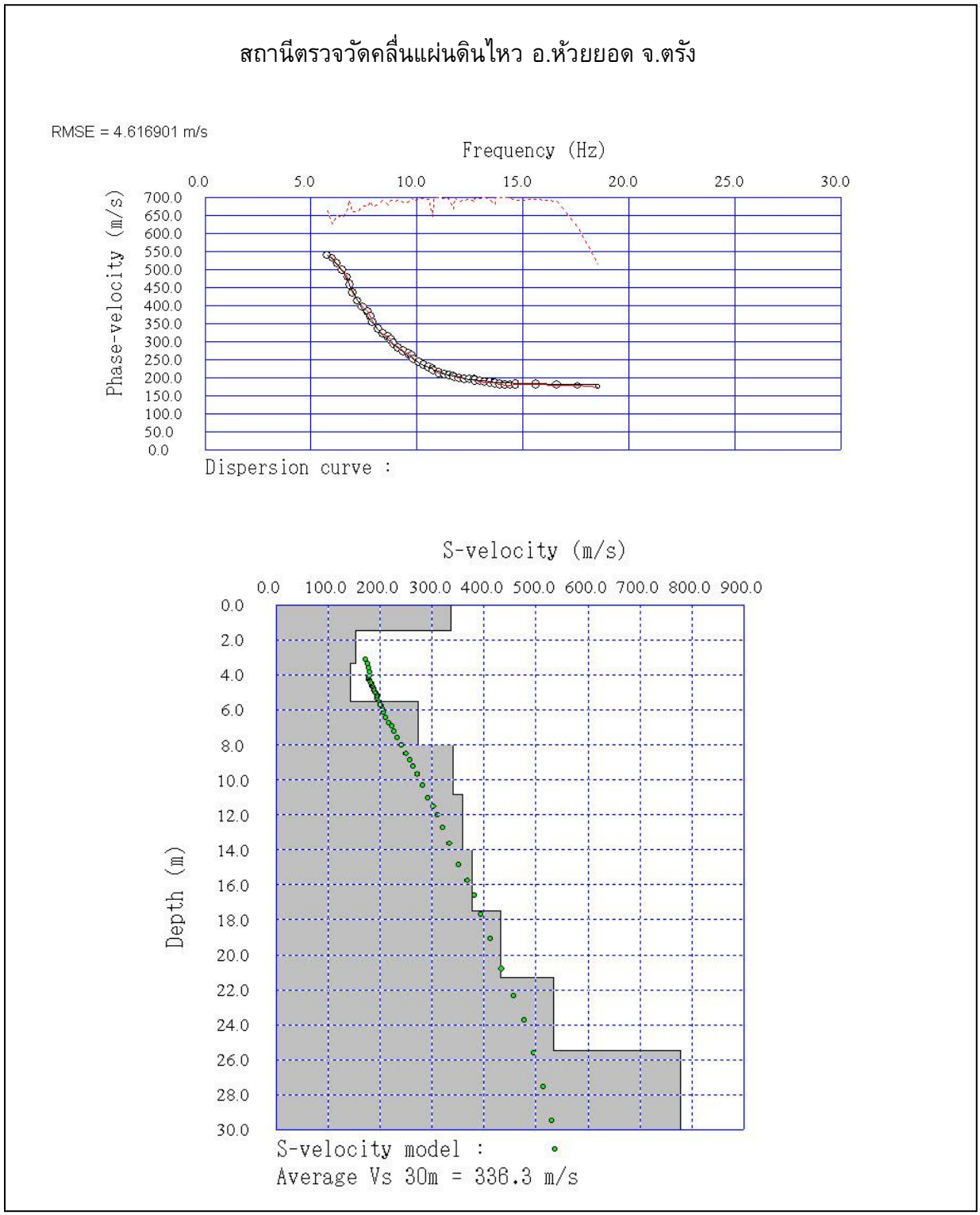
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณอ่างเก็บน้ำคลองดินแดง อ.พิปูน จ.นครศรีธรรมราช



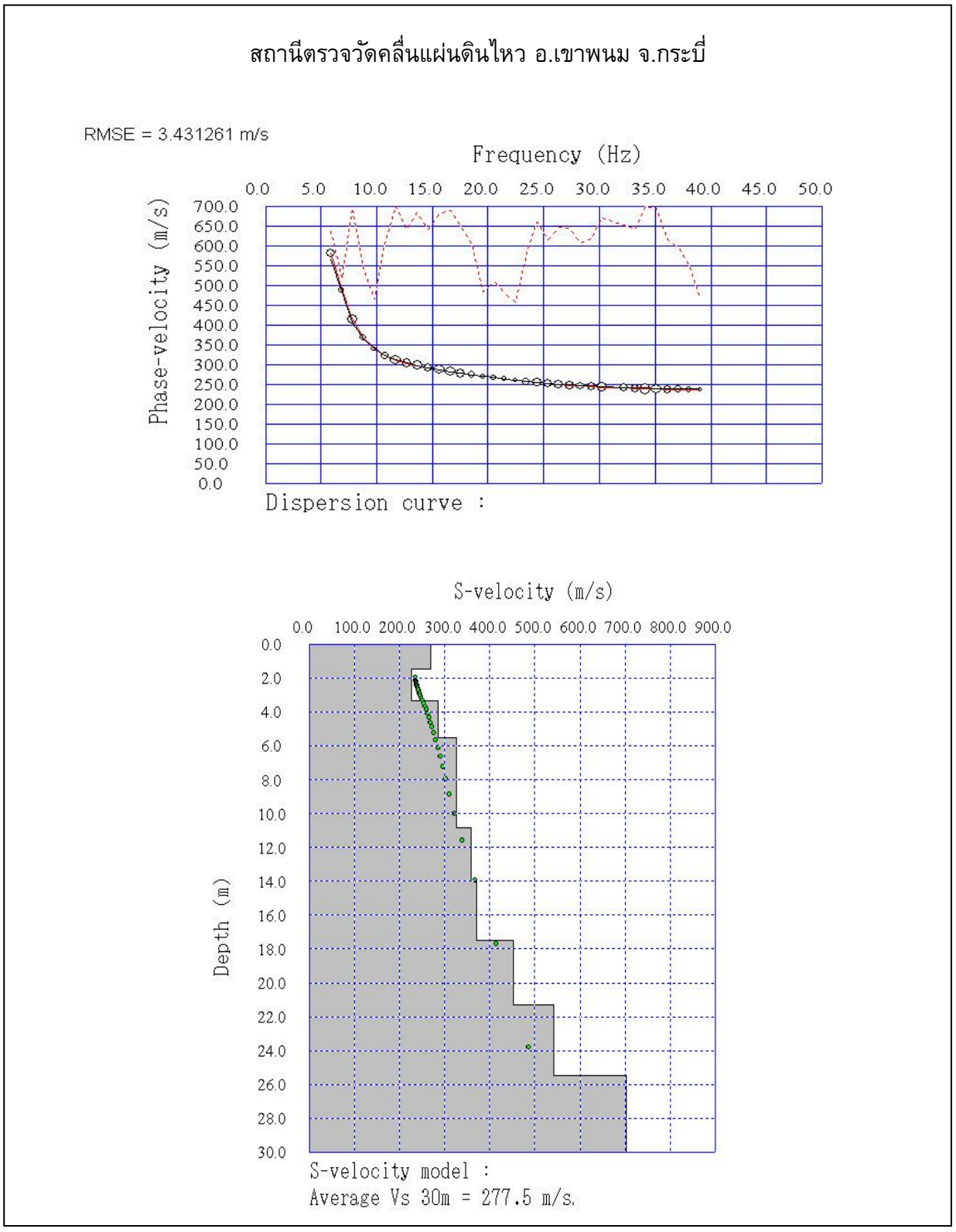
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา



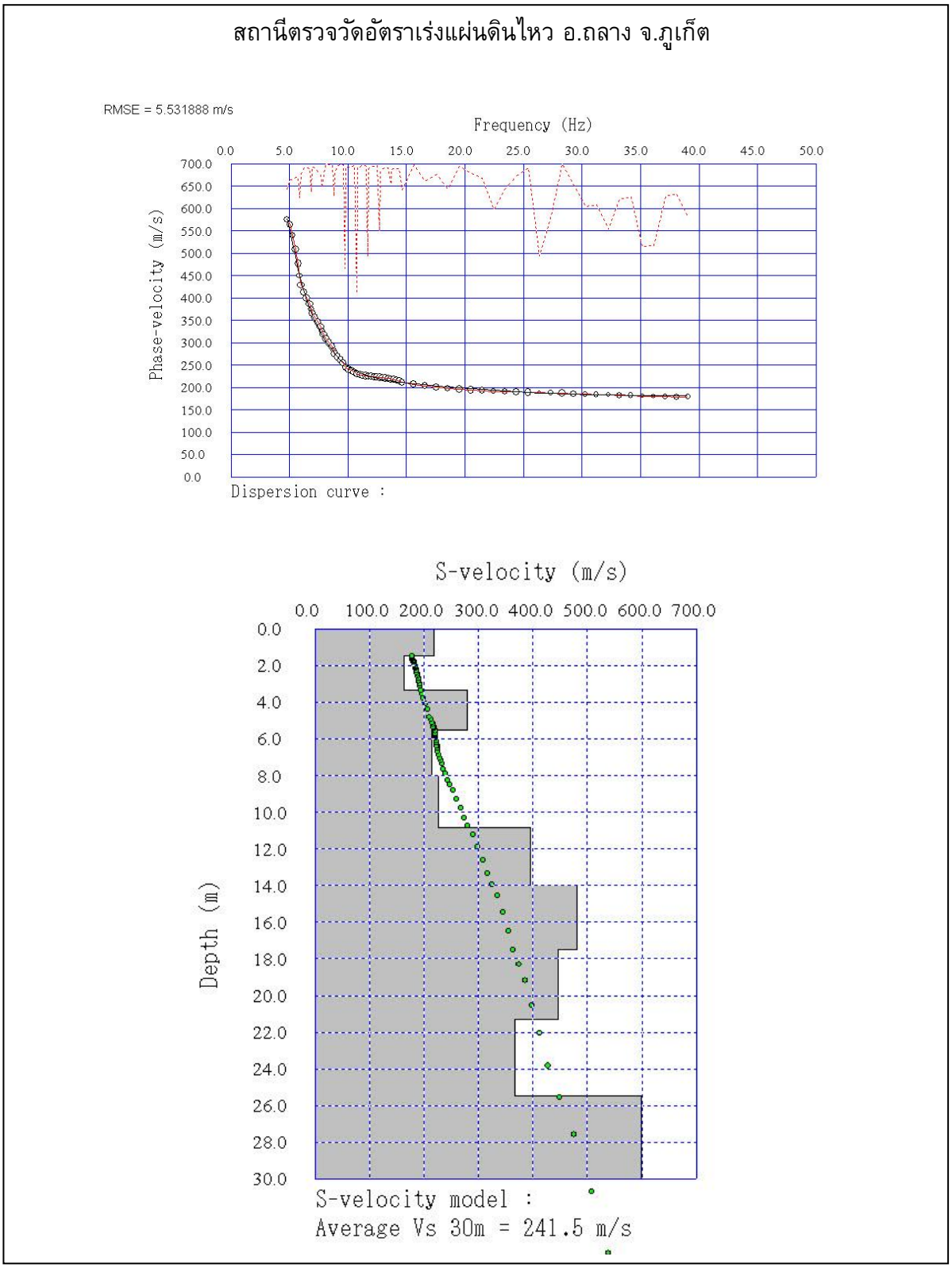
รูปที่ 3.32 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีวัดอัตราเร่งแผ่นดินไหว อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา



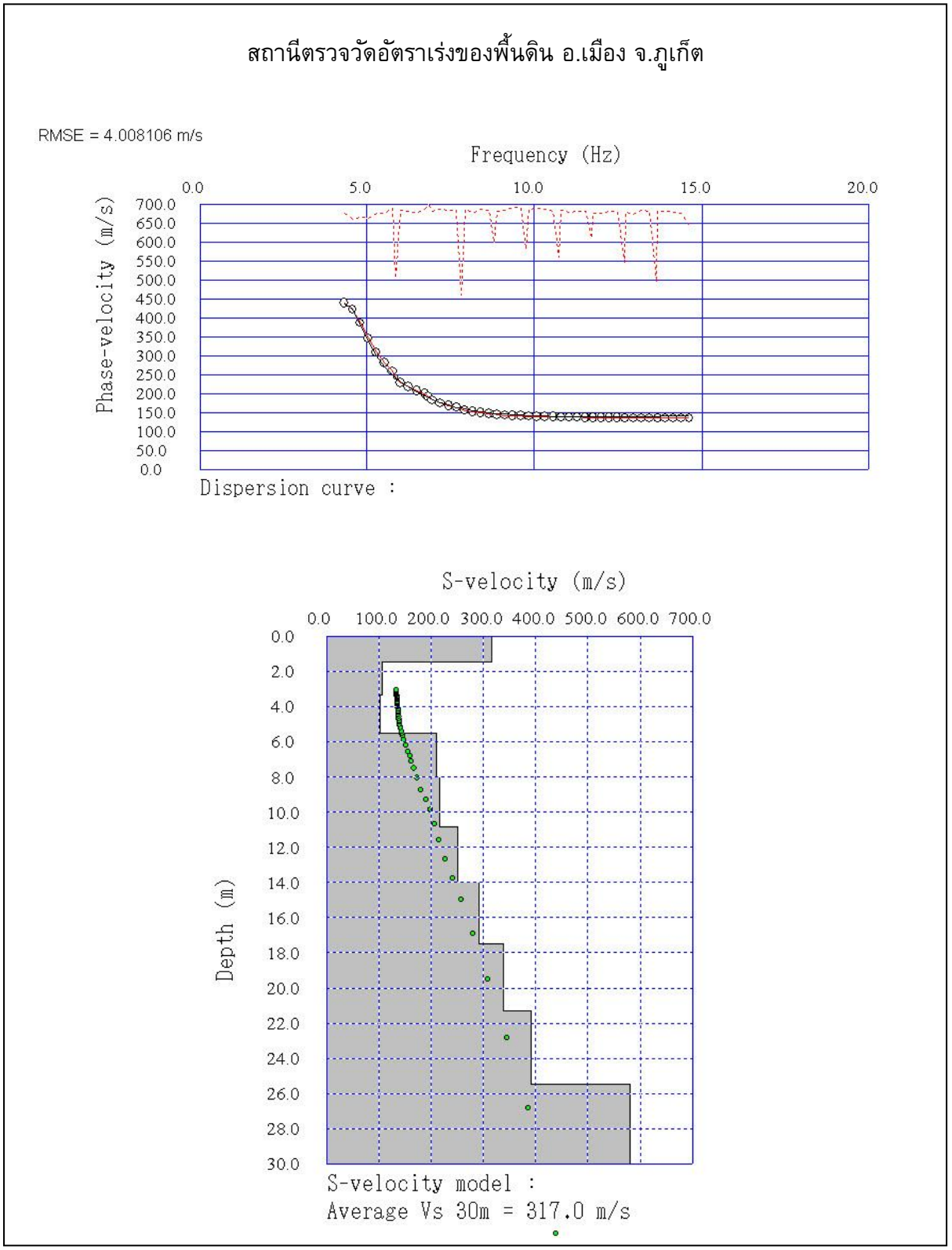
รูปที่ 3.33 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.ห้วยยอด จ.ตรัง



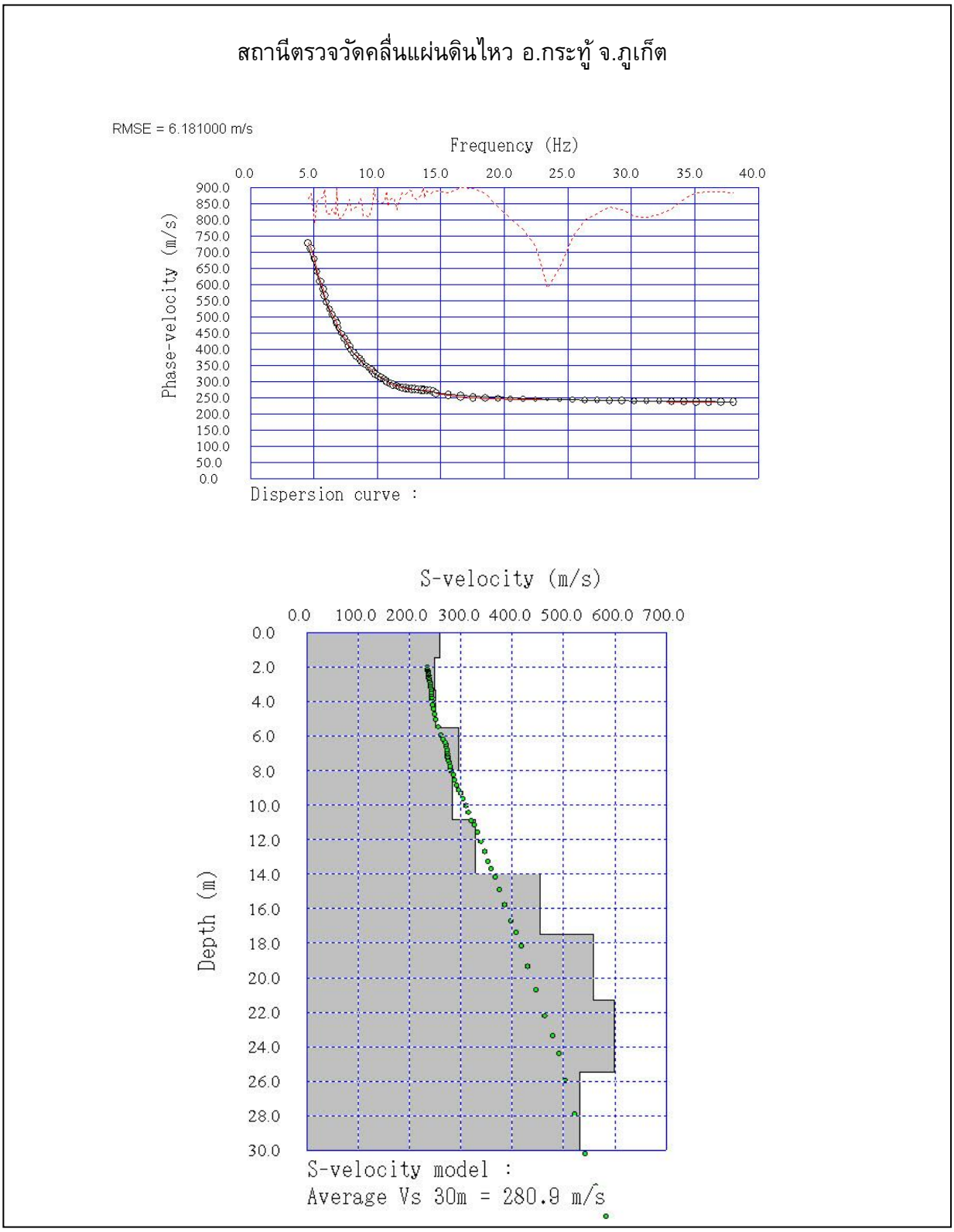
รูปที่ 3.34 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.เขาพนม จ.กระบี่



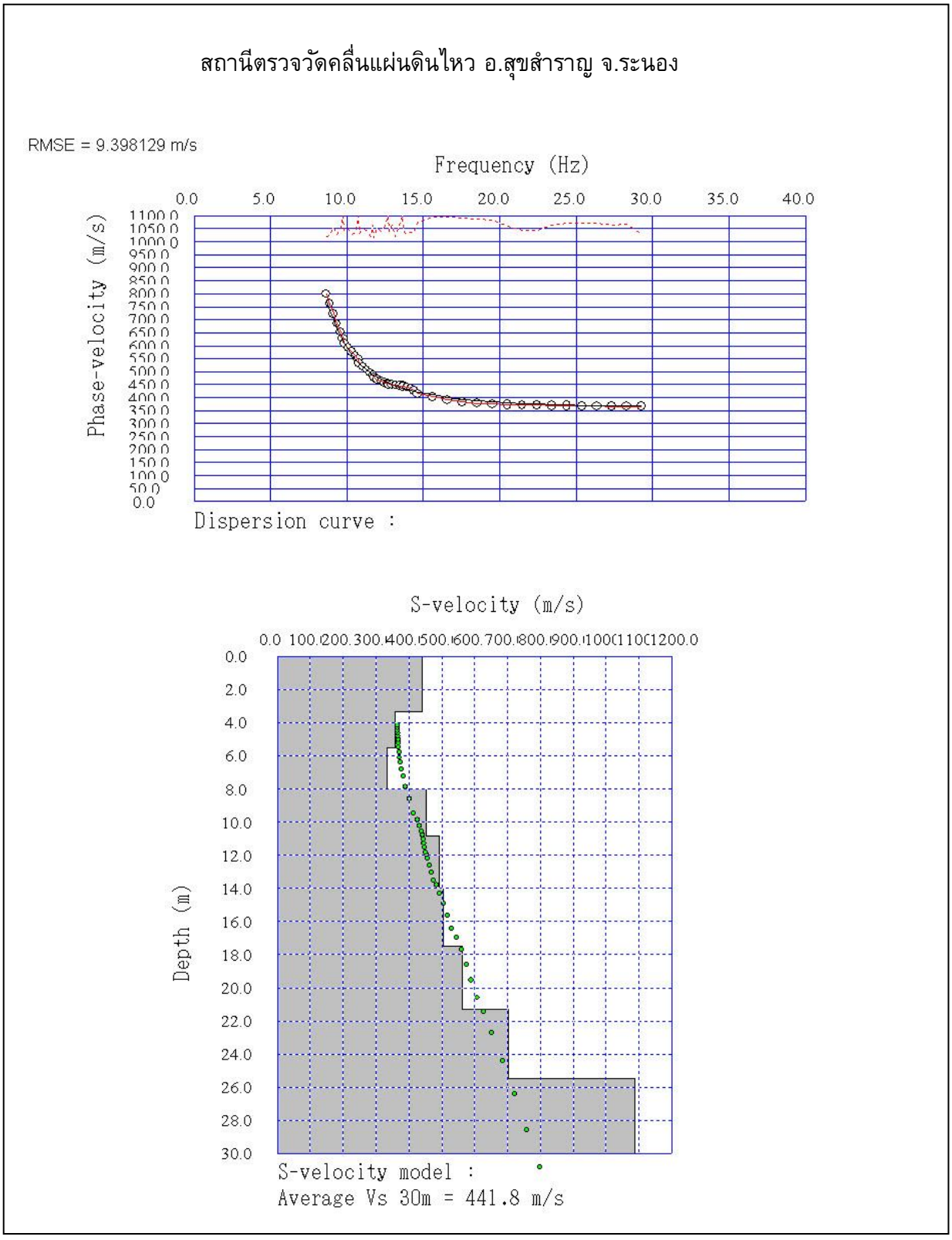
รูปที่ 3.35 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดอัตราเร่งแผ่นดินไหว อ.ถลาง จ.ภูเก็ต



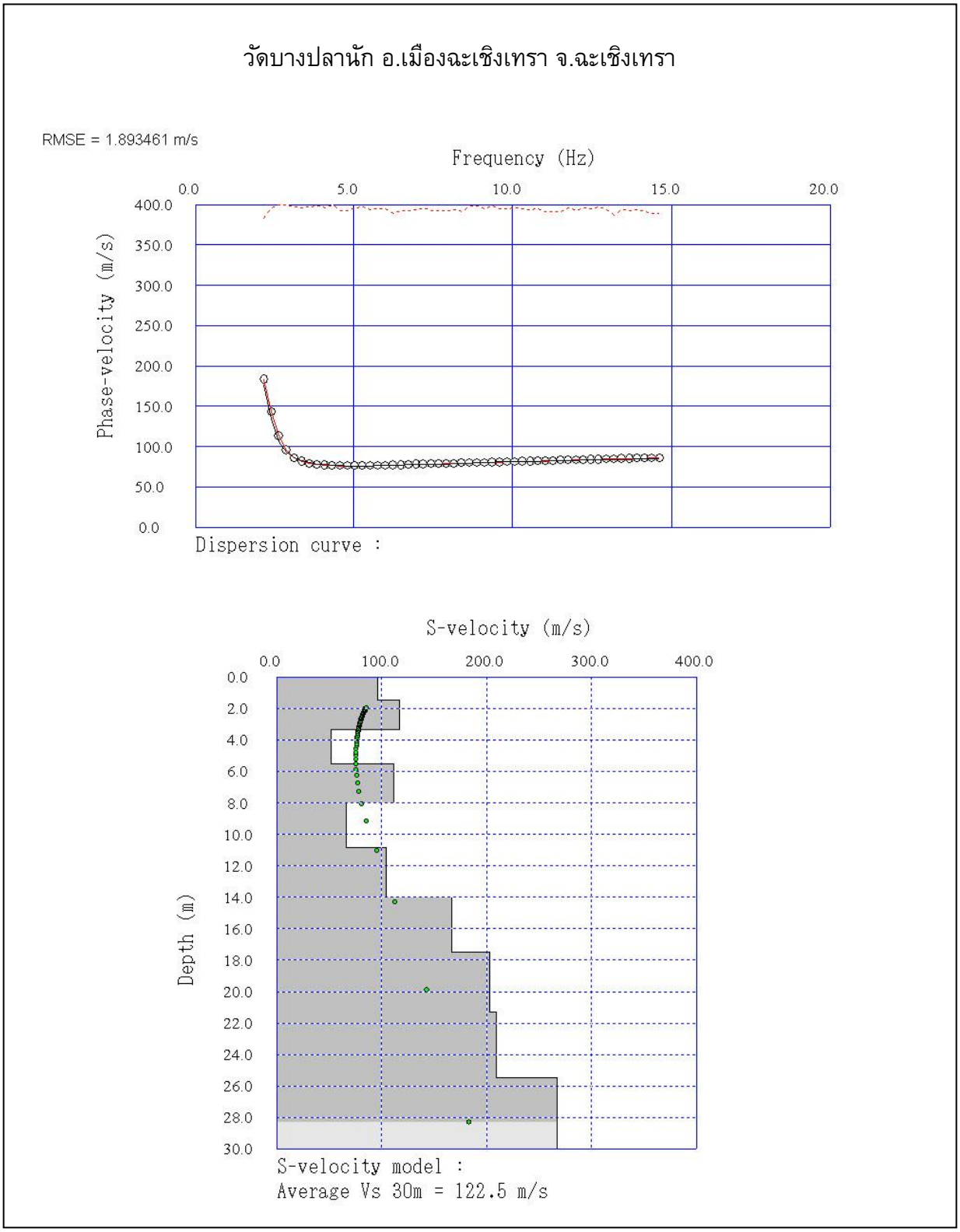
รูปที่ 3.36 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดอัตราเร่งของพื้นดิน อ.เมือง จ.ภูเก็ต



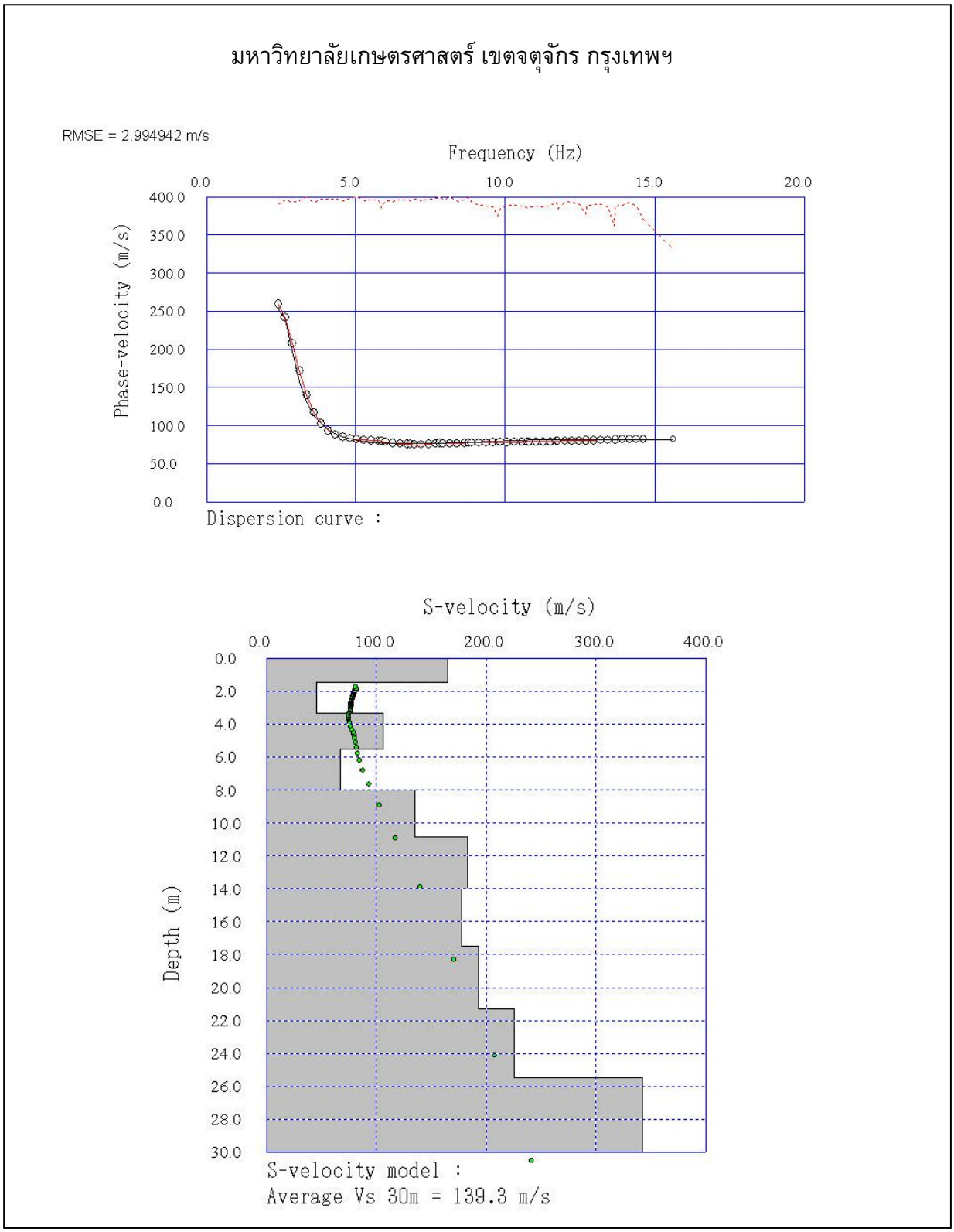
รูปที่ 3.37 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.กระทู้ จ.ภูเก็ต



รูปที่ 3.38 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว อ.สุขสำราญ จ.ระนอง



รูปที่ 3.39 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณวัดบางปลานัก อ.เมืองฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3.40 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Vs_{30} บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

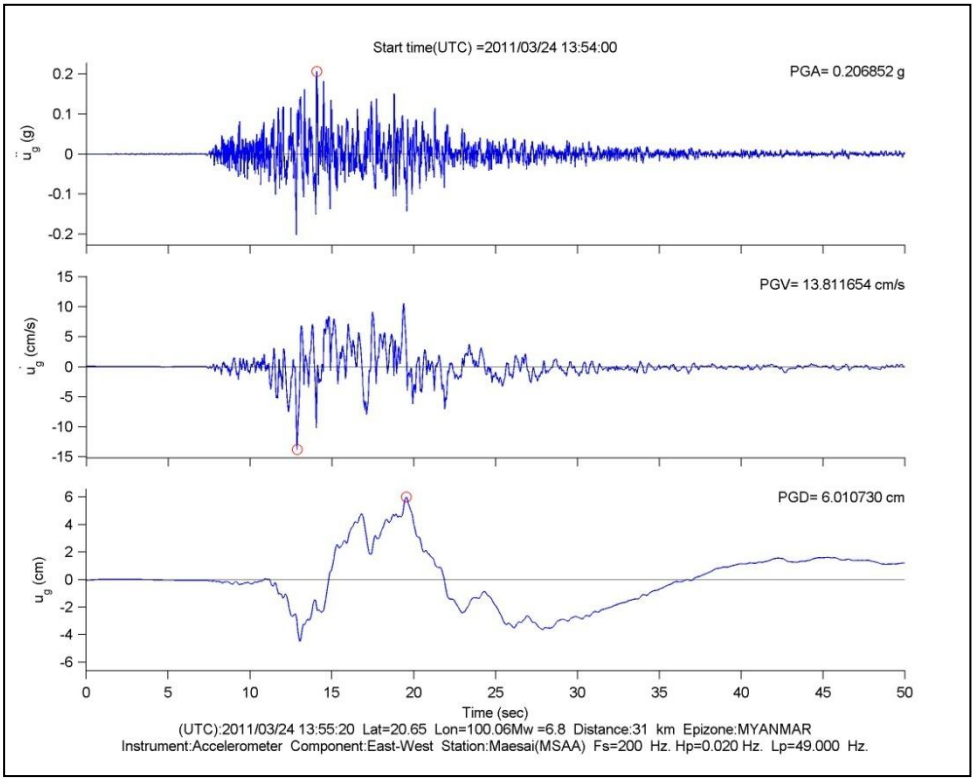
3.5.2 Downhole Test

ผลการศึกษาข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่เคยบันทึกได้ จากการสืบค้นในฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รวบรวมพบสถานีที่มีข้อมูลที่รุนแรงที่สุดที่บันทึกได้ และมีสัญญาณสมบูรณ์ดังตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้มาจากแผ่นดินไหวที่ประเทศพม่าใกล้อำเภอแม่สายของประเทศไทย เมื่อ 24 มีนาคม 2554 ขนาด 6.8 โดยได้คลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้ในประเทศไทยมีความเร่งของพื้นดินสูงสุดประมาณ 0.2 เท่าของความเร่งโน้มถ่วงโลก (0.2g) มีเพียง 3 สถานีที่มีความเร่งสูงสุดมากกว่า 0.01g คือที่ MSAA CMMT และ PAYA และที่สถานี CMMT กับ MHIT มีข้อมูลว่าเป็นสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน ดังนั้นสถานีที่น่าจะทำการทดสอบ downhole test ได้แก่ MSAA, PAYA, MHMT และ LAMP โดยสัญญาณของข้อมูลที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้จากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแสดงดังรูปที่ 3.41 ถึง 3.44 ตามลำดับ

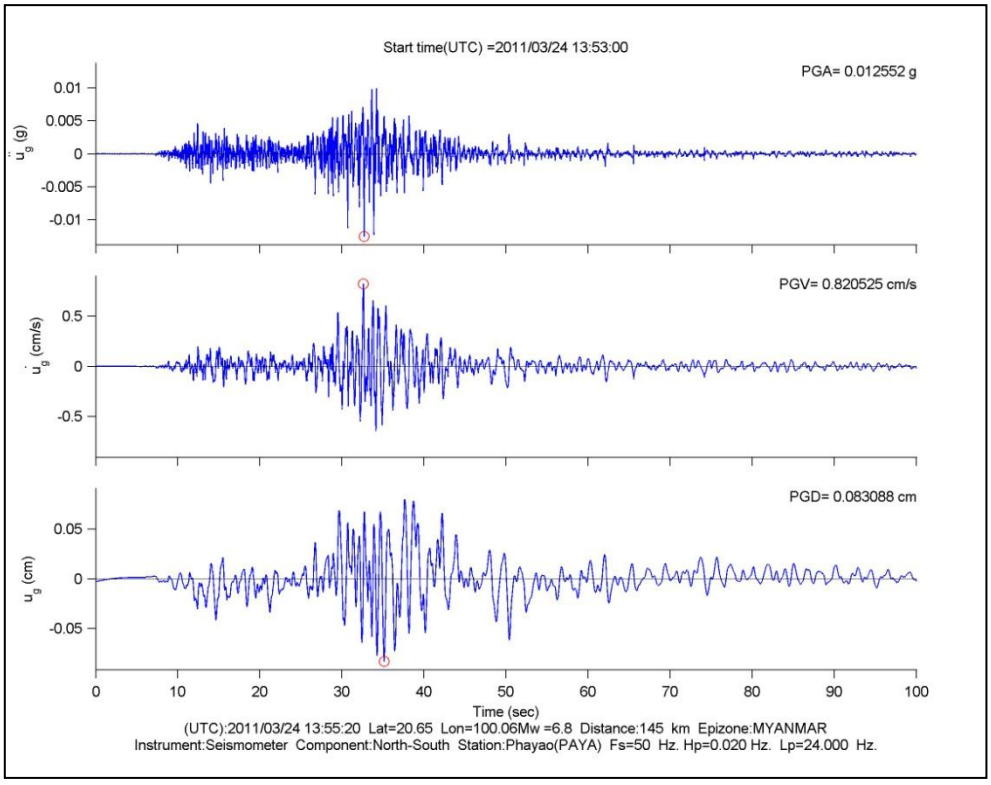
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่บันทึกได้

สถานี	วันที่	ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหว	Mw	ระยะห่างจากจุดกำเนิด (กม.)	ความเร่งพื้นดินสูงสุด (g)
MSAA	24 มี.ค. 2011	พม่า	6.8	31	0.2069
CMMT*	12 ธ.ค. 2006	อ.แม่ริม	5.1	13	0.0199
PAYA	24 มี.ค. 2011	พม่า	6.8	145	0.0126
MHIT*	24 มี.ค. 2011	พม่า	6.8	265	0.0075
MHMT	24 มี.ค. 2011	พม่า	6.8	354	0.0047
MHIT*	16 พ.ค. 2007	ลาว	6.3	334	0.0042
LAMP	24 มี.ค. 2011	พม่า	6.8	241	0.0014

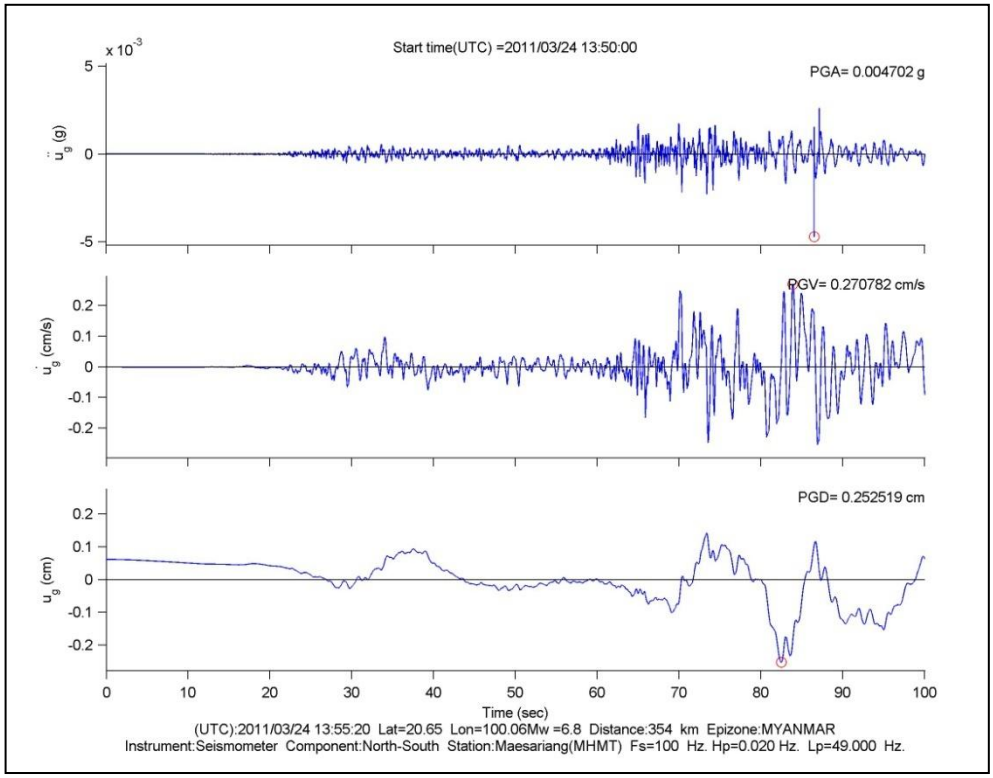
*สถานีตั้งอยู่บนหิน



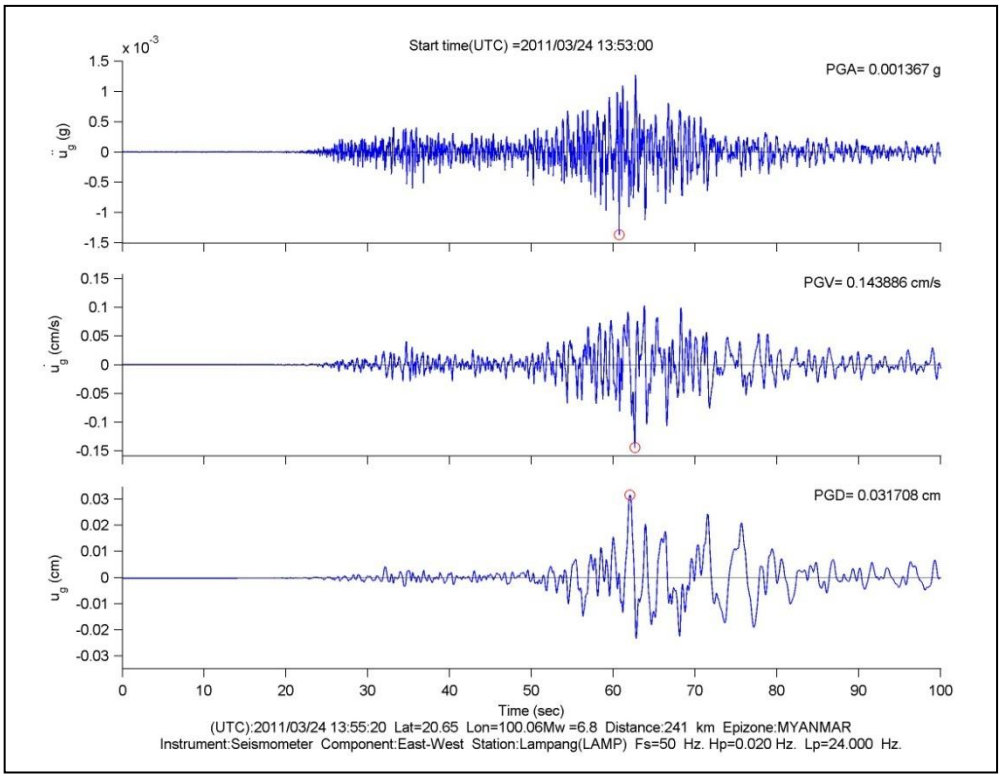
รูปที่ 3.41 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้ที่สถานี MSAA



รูปที่ 3.42 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้ที่สถานี PAYA



รูปที่ 3.43 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้ที่สถานี MHMT



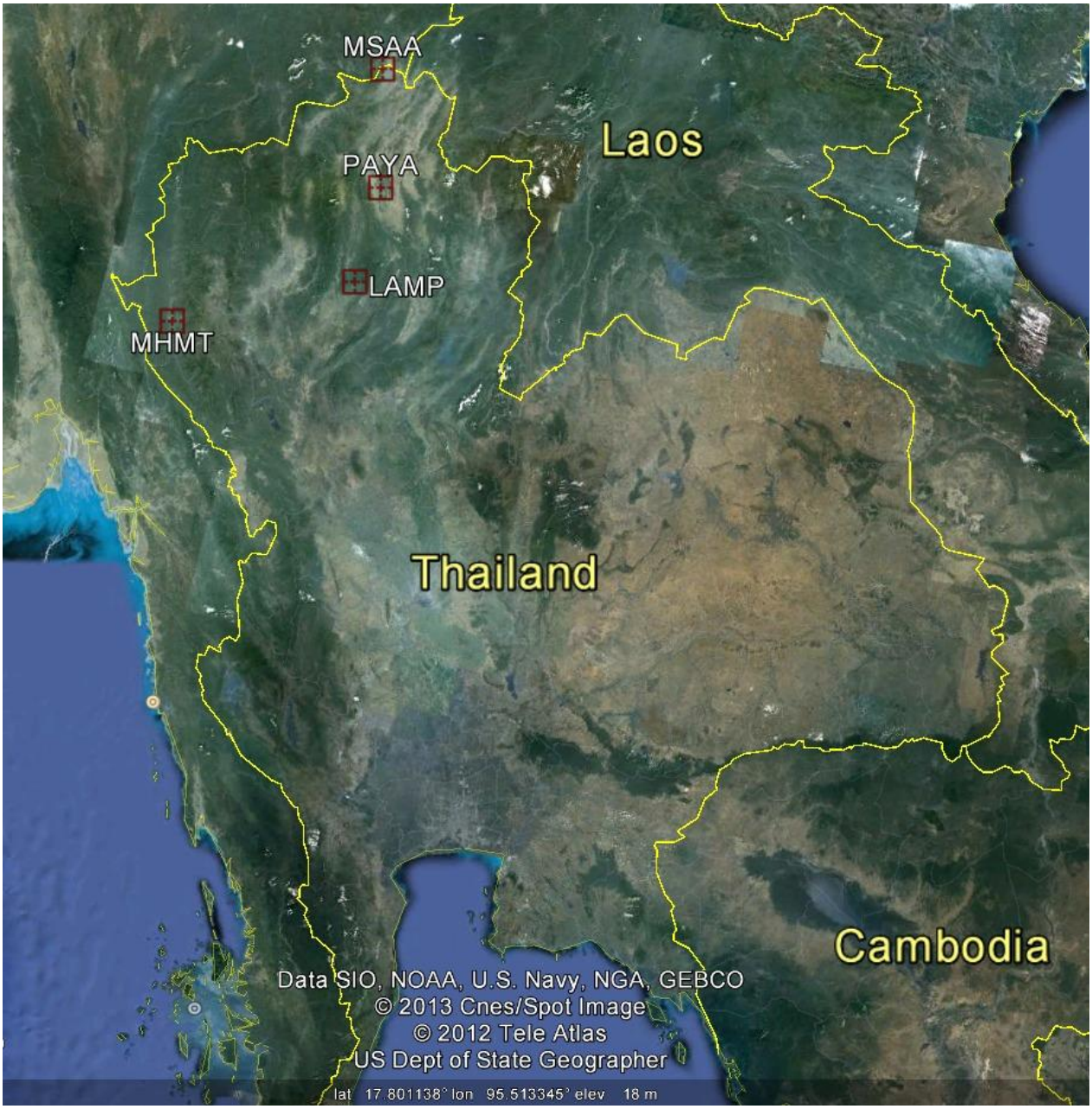
รูปที่ 3.44 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุดที่เคยบันทึกได้ที่สถานี LAMP

ตำแหน่งสถานีที่ทำการทดสอบ

สถานีที่เลือกไปทำการทดสอบ downhole test ได้แก่ MSAA PAYA MHMT และ LAMP ซึ่งมีพิกัดที่ตั้งแสดงดังตารางที่ 3.3 และแสดงในแผนที่ดังรูปที่ 3.45

ตารางที่ 3.3 พิกัดตำแหน่งที่ตั้งสถานีที่เลือกทำการทดสอบ downhole test

Code	Station	Latitude (ºN)	Longitude (ºE)	Elevation (m)
MSAA	ที่ว่าการอำเภอแม่สาย จ.เชียงราย	20.4287	99.883	416
PAYA	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	19.36	99.869	408
MHMT	สถานีอุตุนิยมวิทยา อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน	18.1764	97.931	164
LAMP	เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง	18.523	99.632	247



รูปที่ 3.45 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานีทั้ง 4 แห่ง คือ MSAA, PAYA, MHMT และ LAMP

การสำรวจพื้นที่

เมื่อวันที่ 18-19 พฤศจิกายน 2555 ได้มีการสำรวจที่ตั้งของสถานีทั้ง 4 ดังรูปที่ 3.46 ถึง 3.49

รูปที่ 3.46 บริเวณที่ตั้งสถานี MSAA

รูปที่ 3.47 บริเวณที่ตั้งสถานี PAYA

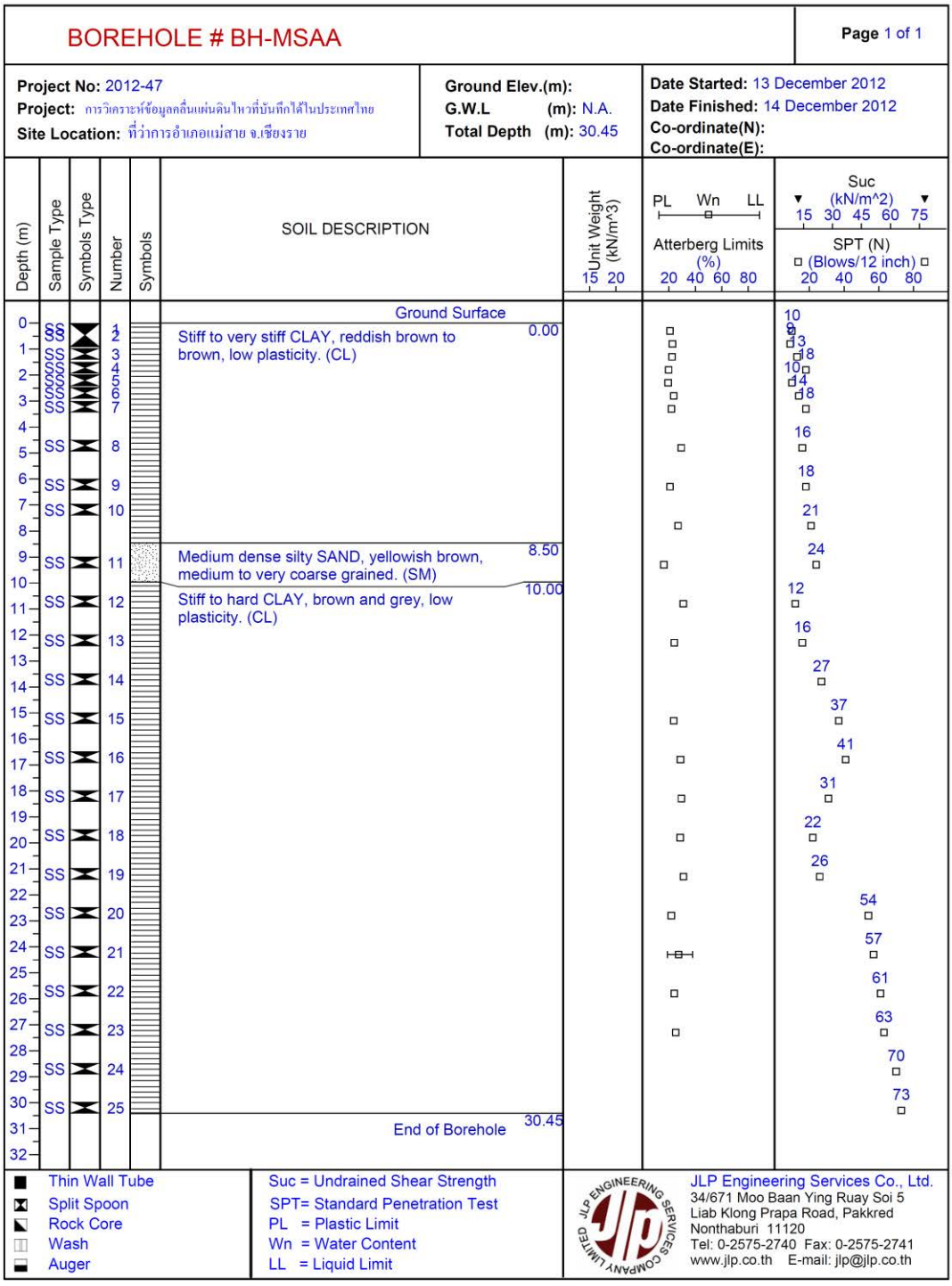
รูปที่ 3.48 บริเวณที่ตั้งสถานี MHMT

รูปที่ 3.49 บริเวณที่ตั้งสถานี LAMP

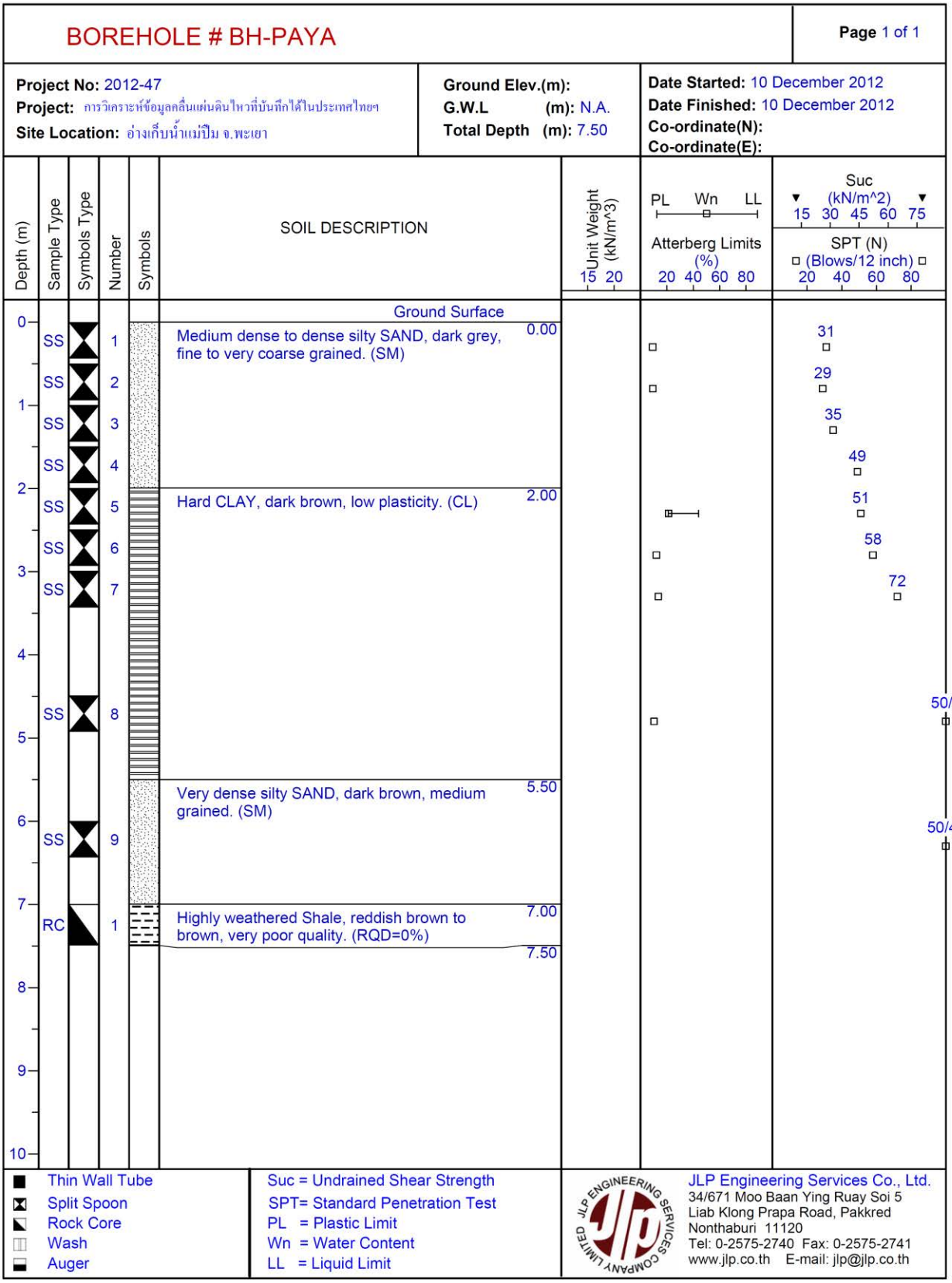
การขุดหลุมเจาะ

ได้ดำเนินการขุดหลุมเจาะที่สถานีทั้ง 4 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในเดือนธันวาคม 2555 และมีการเก็บตัวอย่างดินของแต่ละชั้น รวมทั้งทดสอบความแข็งของดินดังผลการทดสอบในตารางที่ 3.4 ถึง 3.7

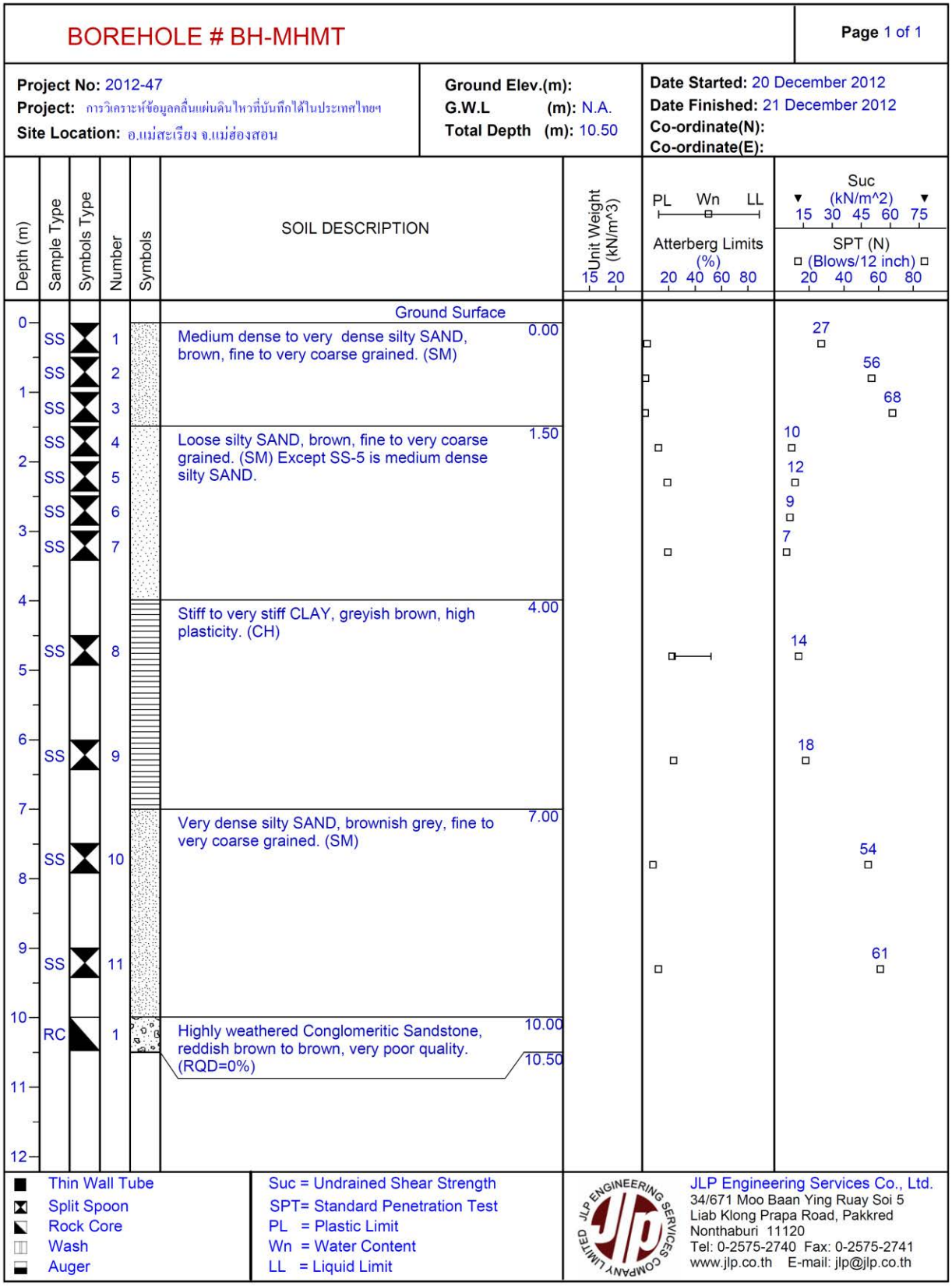
ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบดินที่ MSAA



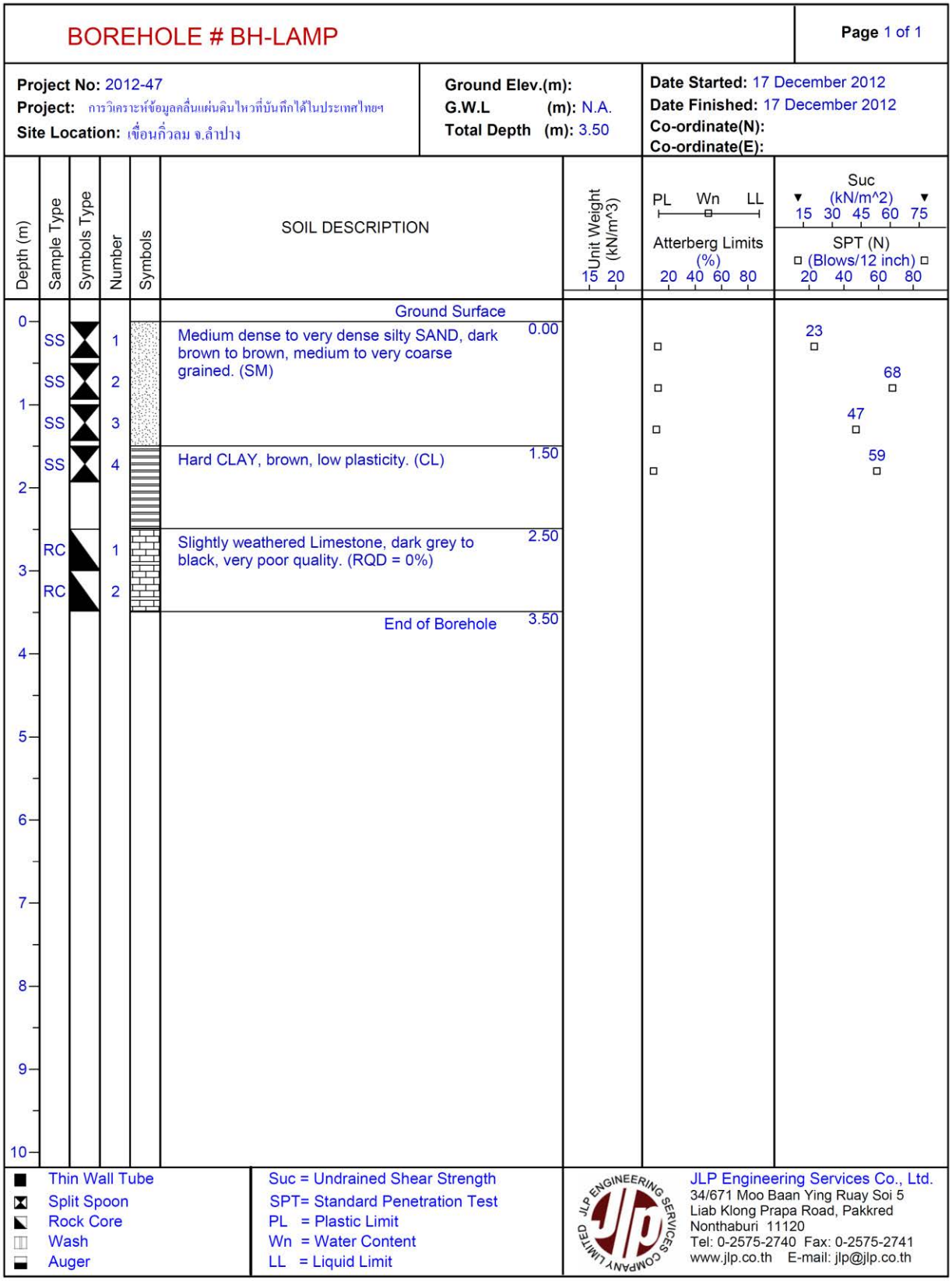
ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบดินที่ PAYA



ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบดินที่ MHMT



ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบดินที่ LAMP



ผลการทดสอบ downhole test

การทดสอบ downhole test ที่หลุมเจาะทั้ง 4 แห่ง ได้ดำเนินการในช่วงเดือนมีนาคม 2556 ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นดังนี้คือ

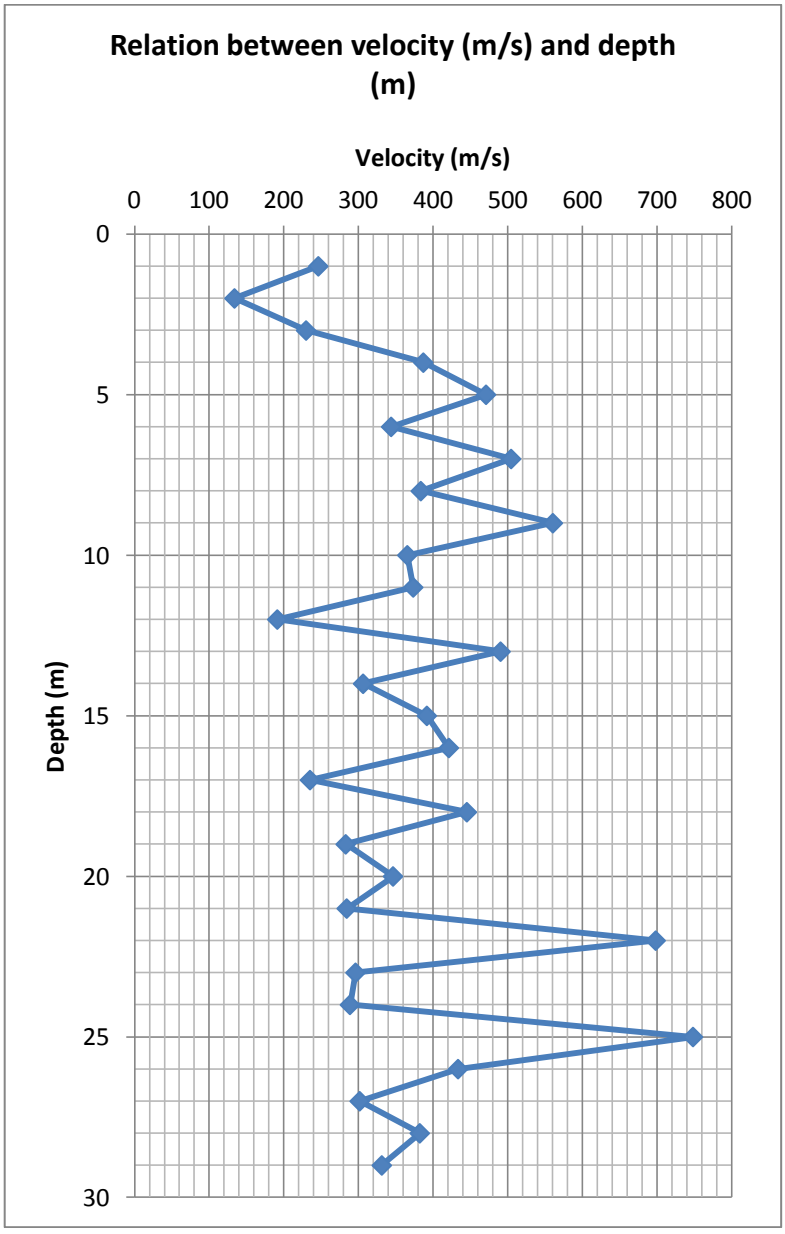
สำหรับบริเวณที่ตั้งสถานี MSAA มีการเก็บข้อมูลที่ความลึกทั้งหมด 29 ระดับและสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละช่วงของชั้นดินดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนบริเวณที่ตั้งสถานี MSAA

Depth, D (m)	Distance, S (m)	L (m)	Total travel time, T_n (μs)	n^{th} layer travel time, t_n (μs)	V_s (m/s)
1	3.16	3.16	12830	12830	246
2	3.61	1.80	20750	13436	134
3	7.24	1.41	22425	6147	230
4	5.00	1.25	23050	3229	387
5	5.83	1.17	23980	2475	471
6	6.71	1.12	26240	3250	344
7	7.62	1.09	27690	2156	505
8	8.54	1.07	29965	2783	384
9	9.49	1.05	31455	1880	561
10	10.44	1.04	34010	2855	366
11	11.40	1.04	36540	2775	374
12	12.37	1.03	41720	5383	192
13	13.34	1.03	43630	2092	491
14	17.32	1.02	46815	3337	306
15	15.30	1.02	49285	2603	392
16	16.28	1.02	51585	2415	421
17	17.26	1.02	55800	4315	235
18	18.25	1.01	57985	2276	445
19	19.24	1.01	61480	3575	283
20	20.22	1.01	64325	2918	347
21	21.21	1.01	67810	3551	284
22	22.20	1.01	69195	1445	698
23	23.19	1.01	72545	3404	296
24	27.19	1.01	75985	3490	289

Depth, D (m)	Distance, S (m)	L (m)	Total travel time, T_n (μs)	n^{th} layer travel time, t_n (μs)	V_s (m/s)
25	25.18	1.01	77285	1346	748
26	26.17	1.01	79565	2321	434
27	27.17	1.01	82860	3333	302
28	28.16	1.01	85455	2630	382
29	29.15	1.01	88455	3033	331

โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนและความลึกได้ดังรูปที่ 3.50



รูปที่ 3.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึกบริเวณที่ตั้งสถานี MSAA

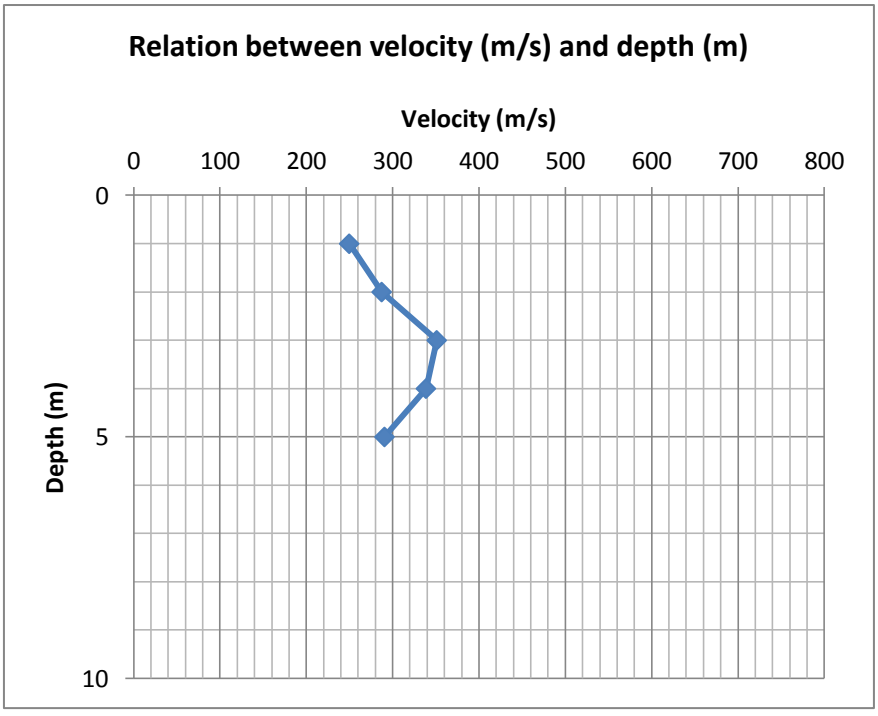
ที่สถานี MSAA มีข้อมูลจากการทดสอบถึงระดับความลึก 29 เมตร หากสมมติให้ที่ช่วงความลึก 29 ถึง 30 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือนเท่ากับช่วงความลึก 28 ถึง 29 เมตร จะสามารถคำนวณความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตรจากผิวดินได้ Vs_{30}=330 m/s จัดเป็น site class D

สำหรับบริเวณที่ตั้งสถานี PAYA มีการเก็บข้อมูลที่ความลึกทั้งหมด 5 ระดับและสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละช่วงของชั้นดินดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนบริเวณที่ตั้งสถานี PAYA

Depth, *D* (m)	Distance, *S* (m)	*L* (m)	Total travel time, T_n (μs)	n^{th} layer travel time, t_n (μs)	V_s (m/s)
1	3.16	3.16	12665	12665	250
2	3.61	1.80	13495	6275	287
3	7.24	1.41	14615	4029	351
4	5.00	1.25	16610	3692	339
5	5.83	1.17	19510	4014	291

โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนและความลึกได้ดังรูปที่ 3.51



รูป 3.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึกบริเวณที่ตั้งสถานี PAYA

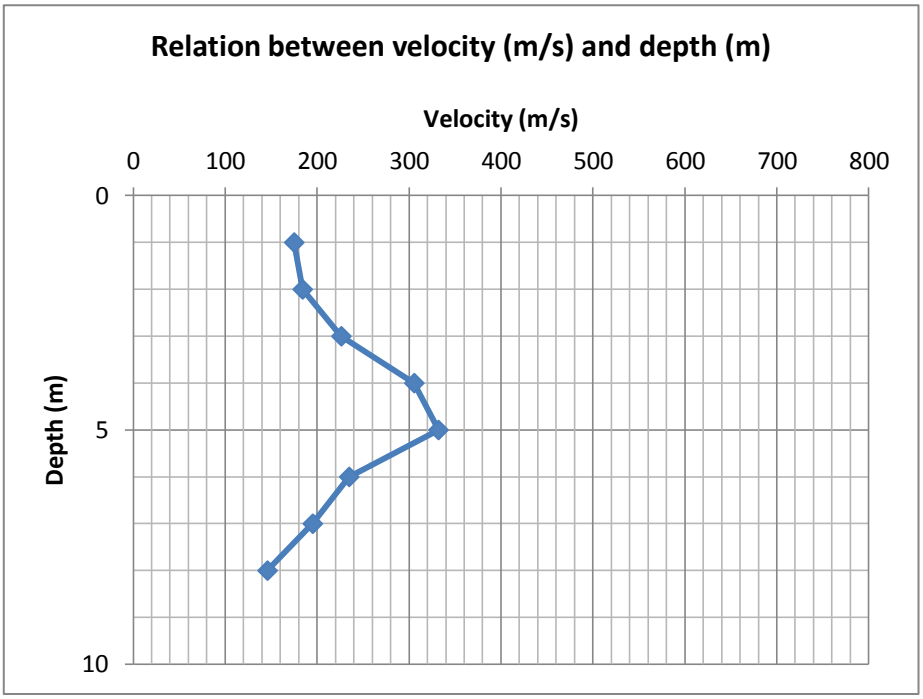
ที่สถานี PAYA ไม่สามารถเจาะดินลึกเกิน 6 ถึง 7 เมตร ได้เพราะพบชั้นหินดินดาน (weathered shale) หากสมมติว่าในช่วงความลึก 5 ถึง 30 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือน 490 m/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยของ site class C จะสามารถคำนวณความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดินได้ Vs_{30}=443 m/s จัดเป็น site class C

สำหรับบริเวณที่ตั้งสถานี MHMT มีการเก็บข้อมูลที่ความลึกทั้งหมด 8 ระดับและสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละช่วงของชั้นดินดังตารางที่ 3.10 โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนและความลึกได้ดังรูปที่ 3.52

ตารางที่ 3.10 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนบริเวณที่ตั้งสถานี MHMT

Depth, D (m)	Distance, S (m)	L (m)	Total travel time, T_n (μs)	n^{th} layer travel time, t_n (μs)	V_s (m/s)
1	3.16	3.16	18075	18075	175
2	3.61	1.80	20095	9791	184
3	7.24	1.41	22015	6251	226
4	5.00	1.25	23550	4091	306
5	5.83	1.17	25485	3514	332
6	6.71	1.12	29195	4762	235
7	7.62	1.09	33985	5575	195
8	8.54	1.07	40680	7319	146

ที่สถานี MHMT ไม่สามารถเจาะดินลึกเกิน 10 เมตร ได้เพราะพบชั้นหินทราย (weathered sandstone) หากสมมติว่าในช่วงความลึก 8 ถึง 30 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือน 490 m/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยของ site class C จะสามารถคำนวณความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตรจากผิวดินได้ Vs_{30}=361 m/s ซึ่งเป็นขอบเขตระหว่าง site class C และ D



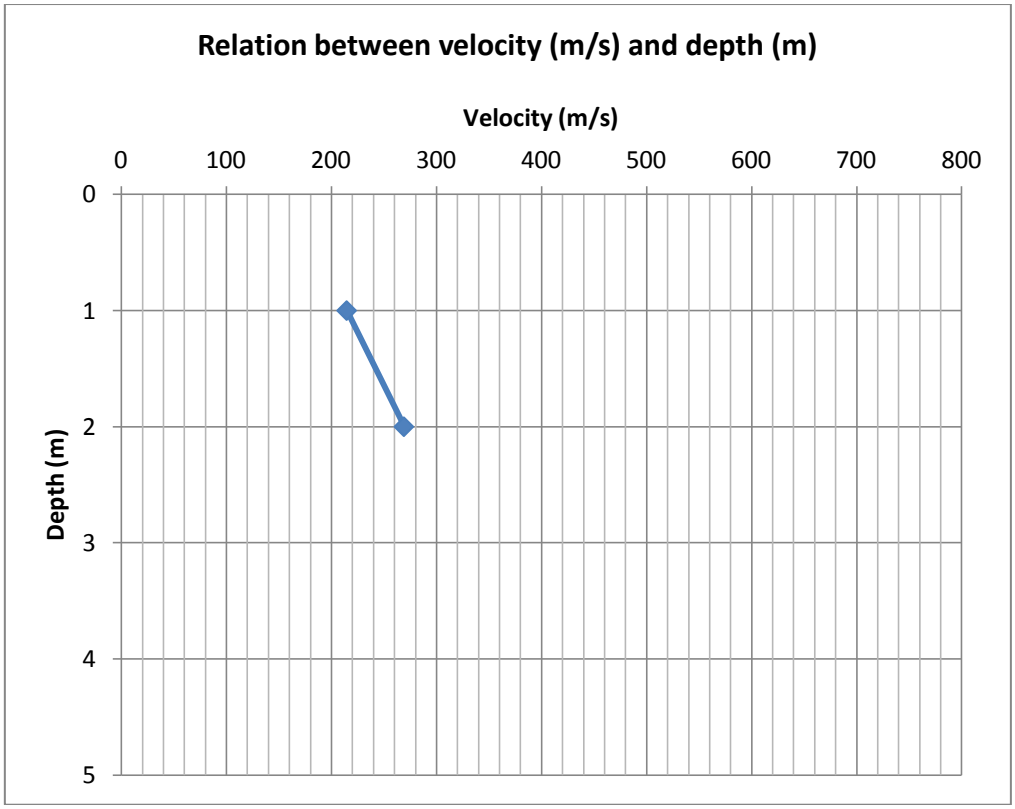
รูปที่ 3.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึกบริเวณที่ตั้งสถานี MHMT

สำหรับบริเวณที่ตั้งสถานี LAMP มีการเก็บข้อมูลที่ความลึกทั้งหมด 2 ระดับและสามารถวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนในแต่ละช่วงของชั้นดินดังตารางที่ 3.11 โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนและความลึกได้ดังรูปที่ 3.53

ตารางที่ 3.11 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนบริเวณที่ตั้งสถานี LAMP

Depth, *D* **(m)**	**Distance, *S*** **(m)**	***L*** **(m)**	**Total travel time, T_n** **(μs)**	**n^{th} layer travel time, t_n** **(μs)**	**V_s** **(m/s)**
1	3.16	3.16	14720	14720	215
2	3.61	1.80	15085	6693	269

ที่สถานี LAMP ไม่สามารถเจาะดินลึกเกิน 3 เมตร ได้เพราะพบชั้นหินปูน (weathered limestone) หากสมมติว่าในช่วงความลึก 2 ถึง 30 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือน 490 m/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยของ site class C จะสามารถคำนวณความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดินได้ Vs_{30}=458 m/s จัดเป็น site class C



รูปที่ 3.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับความลึกบริเวณที่ตั้งสถานี LAMP

บทที่ 4
การรวบรวบข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทย

ข้อมูลการเคลื่อนไหวของพื้นดินที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลจากสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 โดยการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจำเป็นต้องทราบ เวลาเกิด ตำแหน่ง และขนาดของเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้อ้างอิงจากแฟ้มเหตุการณ์แผ่นดินไหวของ Global CMT (Global Central Moment Tensor catalog)

4.1 ระบบเครือข่ายสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา

หลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่วันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 ในมหาสมุทรอินเดีย บริเวณเกาะสุมาตรา ทำให้เกิดคลื่นสึนามิซัดเข้าหาชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของประเทศไทย ก่อให้เกิดความเสียหายจำนวนมากต่อชีวิตทรัพย์สินของประชาชนทั้งชาวไทยและนักท่องเที่ยวต่างประเทศจำนวนมากก่อให้เกิดการตื่นตัวอย่างมากในเรื่องของแผ่นดินไหว และคลื่นสึนามิ โดยสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ได้ขยายและปรับปรุงเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวทั่วประเทศโดยแบ่งเป็น 2 โครงการ โครงการแรก พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ. 2549 เป็นระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวใหม่ระยะที่ 1 โครงการที่ 2 พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2551 เป็นระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

4.1.1 ระบบเครือข่ายสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1

ระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1 ประกอบด้วยสถานีหลักตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1และสถานีย่อยตรวจวัดเฉพาะความเร่งของพื้นดินระบบใหม่ระยะที่ 1 ซึ่งสถานีหลักตรวจวัดแผ่นดินไหวหลักระบบใหม่ระยะที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของพื้นดินแบบคาบสั้น (short period) 8 สถานี แบบช่วงความถี่กว้าง (broadband) 7 สถานี และติดตั้งเครื่องตรวจวัดความเร่งของพื้นดินควบคู่กับเครื่องตรวจวัดความเร็ว 15 สถานี ส่วนสถานีย่อยตรวจวัดเฉพาะความเร่งของพื้นดินระบบใหม่ระยะที่ 1 กรมอุตุนิยมวิทยาได้ทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดความเร่งของพื้นดิน 6 สถานี โดยรายละเอียดชนิดเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว และเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดินแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 ชนิดของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1

Instrument/System	Company/Model
8 Short Period Seismometers	Nanometrics Trillium 40
7 Broadband Seismometers	Nanometrics Trillium 120
15 Accelerometers	Metrozet-TSA100S
6 Accelerometers	Metrozet-TSA100S

ตารางที่ 4.2 สถานีหลักตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1

Code	Station	Latitude (ºN)	Longitude (ºE)	Elevation (m)
Short-period seismic stations (Nanometrics Trillium 40)				
KHLT	เขื่อนเขาแหลม	14.797	98.5893	164
MHMT	แม่สะเรียง	18.1764	97.931	164
KRDT	นครราชสีมา	14.5905	101.8442	266
PKDT	ภูเก็ต	7.892	98.335	53
RNTT	ระนอง	9.3904	98.4778	38
SKNT	สกลนคร	16.9742	103.9815	254
SURT	สุราษฎร์ธานี	8.6582	98.4098	20
TRTT	ตรัง	7.8362	99.6912	71
Broadband seismic stations (Nanometrics Trillium 120)				
CHBT	จันทบุรี	12.7526	102.3297	4
CMMT	เชียงใหม่	18.8128	98.9476	400
SRDT	กาญจนบุรี	14.3945	99.1212	122
MHIT	แม่ฮ่องสอน	19.3148	97.9632	270
PBKT	เพชรบูรณ์	16.5733	100.9687	8
SKLT	สงขลา	7.1735	100.6188	145
UBPT	อุบลราชธานี	15.2773	105.4695	120

ตารางที่ 4.3 สถานีย่อยตรวจวัดเฉพาะความเร่งระบบใหม่ระยะที่ 1

Code	Station	System sensitivity	Latitude (ºN)	Longitude (ºE)
BKKA	สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา	TSA 100S	13.664	101.61
SPBA	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุพรรณบุรี	TSA 100S	14.475	100
KCBA	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี	TSA 100S	14.022	99.536
CHLA	สถานีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	TSA 100S	13.737	100.53
PTNA	สถานีอุตุนิยมวิทยาปทุมธานี	TSA 100S	14.066	100.371
CMCA	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ	TSA 100S	18.722	98.969

การส่งข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินจากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระยะที่ 1 มายังสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยาได้ใช้โปรแกรม Atlas Version 1.2 ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท Nanometrics

System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาระบบใหม่ระยะที่ 1 แสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งใช้ในการแปลงแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวให้เป็นแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน และแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาความเร็วของพื้นดิน

เครื่องมือตรวจวัดความเร่ง (Taurus+TSA100S) :

$$\text{System sensitivity} = (8{,}388{,}608\,\text{count}/20\,\text{volt}) \times (0.51\,\text{volt}/(m/s^2)) = 213{,}909.504(m/s^2)/\text{count} \quad (4.1)$$

เครื่องมือตรวจวัดความเร็ว (Taurus + Trillium 40) :

$$\text{System sensitivity} = (8{,}388{,}608\,\text{count}/8\,\text{volt}) \times (1500\,\text{volt}/(m/s)) = 1{,}572{,}864{,}000(m/s)/\text{count} \quad (4.2)$$

เครื่องมือตรวจวัดความเร็ว (Taurus + Trillium 120) :

$$\text{System sensitivity} = (8{,}388{,}608\,\text{count}/20\,\text{volt}) \times (1200\,\text{volt}/(m/s)) = 503{,}316{,}480(m/s)/\text{count} \quad (4.3)$$

4.1.2 ระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

ระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2 ประกอบด้วย สถานีหลักตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2 มีทั้งหมด 25 สถานี ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ทั้งความเร็วของพื้นดินและความเร่งของพื้นดิน โดยแบ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดินแบบช่วงความถี่กว้าง (broadband) 10 สถานี และแบบคาบสั้น (short period) 15 สถานี สถานีย่อยตรวจวัดเฉพาะความเร่งของพื้นดินระบบใหม่ระยะที่ 2 จำนวน 16 สถานี สถานีตรวจวัดการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก (Global Positioning System, GPS) 5 สถานี สถานีตรวจวัดระดับน้ำทะเล (tide gauge) 9 สถานี สถานีแบบฝังในหลุมเจาะ (borehole) 2 สถานี ที่สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร ซึ่งรายละเอียดของสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2 แสดงในตารางที่ 4.4 ถึง 4.7

ตารางที่ 4.4 ชนิดของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Instrument/System	Company/Model
15 Short-Period Seismometers	Geotech (S–13)
10 Broadband Seismometers	Geotech (KS–2000M)
25 Accelerometers	Geotech (PA-23)
Borehole Seismometer	Geotech (KS–2000BH)
Borehole Accelerometer	Geotech (PA–23BH)
16 Accelerometers	Smart–24A
Data Acquisition	Smart–24R
Software	Smart Quake, SeisPlus
Telecommunication	5 VSAT and 20 ADSL networks

ตารางที่ 4.5 สถานีหลักตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Code	Station	Latitude (ºN)	Longitude (ºE)	Elevation (m)
Short-period seismic stations (Geotech S-13) and Accelerometer (PA-23)				
PHIT	เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก	17.189	100.416	114
SUKH	อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพร่ จ.สุโขทัย	17.482	99.631	58
UTTA	เขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์	17.744	100.554	63
LAMP	เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง	18.523	99.632	247
NAN	ฝายน้ำกอน จ.น่าน	19.284	100.912	262
PAYA	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	19.36	99.869	408
UMPA	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุ้มผาง จ.ตาก	16.206	98.86	403
UTHA	เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี	15.559	99.445	129
PHET	อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จ.เพชรบุรี	12.913	99.627	101
PATY	สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา จ.ชลบุรี	12.923	100.866	39
CHAI	อ่างเก็บน้ำช่อระกา จ.ชัยภูมิ	15.902	101.986	199
KHON	สถานีอากาศเกษตรท่าพระ จ.ขอนแก่น	16.338	102.823	135
SURI	อ่างเก็บน้ำอำปึม จ.สุรินทร์	14.769	103.553	126
SRAK	อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ.สระแก้ว	14.012	102.043	97
KRAB	อ่างเก็บน้ำบางกำปรัด จ.กระบี่	8.222	99.197	73
Broadband seismic stations (Geotech KS-2000M) and Accelerometer (PA-23)				
PHRA	อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่	18.499	100.229	187
CRAI	อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย	20.229	100.373	357
CMAI	สถานีอุตุนิยมวิทยาดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่	19.932	99.045	1,503
PRAC	เขื่อนปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์	12.473	99.793	54
SRIT	อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง จ.นครศรีธรรมราช	8.595	99.602	58
SURA	ฝายเก็บน้ำท่าทอง จ.สุราษฎร์ธานี	9.166	99.629	-6
NONG	อ่างเก็บน้ำห้วยเปลวเหงือก จ.หนองคาย	18.063	103.146	140
PANO	อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ.นครพนม	17.148	104.6121	136
NAYO	อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน จ.นครนายก	14.315	101.321	106
LOEI	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ.เลย	17.509	101.264	306

ตารางที่ 4.6 สถานีย่อยตรวจวัดเฉพาะความเร่งระบบใหม่ระยะที่ 2

Code	Station	Latitude (ºN)	Longitude (ºE)	Elevation (m)
Accelerometer (Smart-24A) (PA-23)				
HUAA	หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	12.576	99.957	48
NANA	สถานีอุตุนิยมวิทยาน่าน	18.7658	100.7669	203
MSAA	ที่ว่าการอำเภอแม่สาย จ.เชียงราย	20.4276	99.8865	416
MCHA	ที่ว่าการอำเภอแม่จัน จ.เชียงราย	20.1447	99.8557	425
CRAA	สถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงราย	19.9602	99.8847	392
LAMA	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง	18.2768	99.5099	244
PHRA	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่	18.1272	100.1656	167
SOOA	ที่ว่าการอำเภอสูงเม่น	18.0157	100.1149	160
MOOA	ดอยมูเซอร์ จ.ตาก	16.7507	98.9384	854
SODA	ที่ว่าการอำเภอแม่สอด จ.ตาก	16.7009	98.5448	223
TAKA	สถานีอุตุนิยมวิทยาตาก	16.8777	99.1432	111
DAOA	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	19.3612	98.9654	397
SANA	อ.สันทราย จ.เชียงใหม่	18.8479	99.0487	345
HONA	สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่ฮ่องสอน	19.2985	97.9759	256
KOOA	อ.ขุนยวม จ.แม่ฮ่องสอน	18.8296	97.9388	622
AYUA	จ.อยุธยา	14.3521	100.577	16

ตารางที่ 4.7 สถานีย่อยตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบฝังในหลุมเจาะ (borehole)

Code	Station	Latitude (ºN)	Longitude (ºE)	Elevation (m)
Geotech (KS-200BH)				
TMDB	กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา	13.668	100.607	-6
Geotech (KS-23BH)				
TMDA	กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา	13.668	100.607	-26

การส่งข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินจากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระยะที่ 2 มายังสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยาใช้ระบบดาวเทียม VSAT IPSTAR และระบบโมเด็ม (ADSL)

System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาระบบใหม่ระยะที่ 2 ได้แสดงในสมการที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งใช้ในการแปลงแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวให้เป็นแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน และแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาความเร็วของพื้นดิน

เครื่องมือตรวจวัดความเร็ว:

$$\text{System sensitivity} = \frac{\text{Bit Weight}(LSB, \mu V / \text{count})}{\text{Sensor Sensitivity}(Vm/s)} \quad (4.4)$$

เครื่องมือตรวจวัดความเร่ง:

$$\text{System sensitivity} = \frac{\text{Bit Weight}(LSB, \mu V / \text{count})}{\text{Sensor Sensitivity}(Vm/s^2)} \quad (4.5)$$

โดยค่า Sensor sensitivity, LSB และ System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Component name	Sensor (V/ground	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
Short-period seismic stations (Geotech S-13) and Accelerometer (PA-23)			
1. PHIT เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก			
SHZ	634	3.2	0.005047
SHN	622	3.2	0.005145
SHE	631	3.2	0.005071
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
2. SUKH อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพร่ จ.สุโขทัย			
SHZ	631	3.2	0.005071
SHN	631	3.2	0.005071
SHE	631	3.2	0.005071
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Component name	Sensor (V/ground	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
3 .UTTA เขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์			
SHZ	630	3.2	0.005079
SHN	628	3.2	0.005096
SHE	624	3.2	0.005128
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
4. LAMP เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง			
SHZ	630	3.2	0.005079
SHN	634	3.2	0.005047
SHE	631	3.2	0.005071
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
5. NAN ฝายน้ำกอน จ.น่าน			
SHZ	628	3.2	0.005096
SHN	633	3.2	0.005055
SHE	631	3.2	0.005071
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
6. PAYA อ่างเก็บน้ำแม่ปืม			
SHZ	630	3.2	0.005079
SHN	631	3.2	0.005071
SHE	624	3.2	0.005128
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
7. UMPA สถานีอุตุนิยมวิทยาอุ้มผาง จ.ตาก			
SHZ	634	3.2	0.005047
SHN	631	3.2	0.005071
SHE	624	3.2	0.005128
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Component name	Sensor (V/ground	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
Short-period seismic stations (Geotech S-13) and Accelerometer (PA-23)			
8. UTHA เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี			
SHZ	633	3.2	0.005055
SHN	631	3.2	0.005071
SHE	630	3.2	0.005079
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
9. PHET อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน			
SHZ	611	3.2	0.005237
SHN	627	3.2	0.005104
SHE	627	3.2	0.005104
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
10. PATY สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา จ.ชลบุรี			
SHZ	605	3.2	0.005289
SHN	627	3.2	0.005104
SHE	625	3.2	0.00512
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
11. CHAI อ่างเก็บน้ำช่อระกา จ.ชัยภูมิ			
SHZ	631	3.2	0.005071
SHN	622	3.2	0.005145
SHE	634	3.2	0.005047
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Component name	Sensor (V/ground	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
Short-period seismic stations (Geotech S-13) and Accelerometer (PA-23)			
12. KHON สถานีอากาศเกษตรท่าพระ จ.ขอนแก่น			
SHZ	630	3.2	0.005079
SHN	630	3.2	0.005079
SHE	622	3.2	0.005145
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
13. SURI อ่างเก็บน้ำอำปึม จ.สุรินทร์			
SHZ	624	3.2	0.005128
SHN	610	3.2	0.005246
SHE	628	3.2	0.005096
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
14. SRAK อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ.สระแก้ว			
SHZ	628	3.2	0.005096
SHN	628	3.2	0.005096
SHE	610	3.2	0.005246
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
15. KRAB อ่างเก็บน้ำบางกำปรัด จ.กระบี่			
SHZ	630	3.2	0.005079
SHN	634	3.2	0.005047
SHE	634	3.2	0.005047
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Component name	Sensor Sensitivity (V/ground))	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
Broadband seismic stations (Geotech KS-2000M) and Accelerometer (PA-23)			
16. PHRA อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่			
BHZ	1,987.00	3.2	0.00161
BHN	2,020.00	3.2	0.001584
BHE	2,047.00	3.2	0.001563
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
17. CRAI อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย			
BHZ	2,036.00	3.2	0.001572
BHN	2,063.00	3.2	0.001551
BHE	2,042.00	3.2	0.001567
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
18. CMAI สถานีอุตุนิยมวิทยาดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่			
BHZ	1,992.00	3.2	0.001606
BHN	2,056.00	3.2	0.001556
BHE	1,989.00	3.2	0.001609
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
19. PRAC เขื่อนปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์			
BHZ	2,059.00	3.2	0.001554
BHN	2,012.00	3.2	0.00159
BHE	1,937.00	3.2	0.001652
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

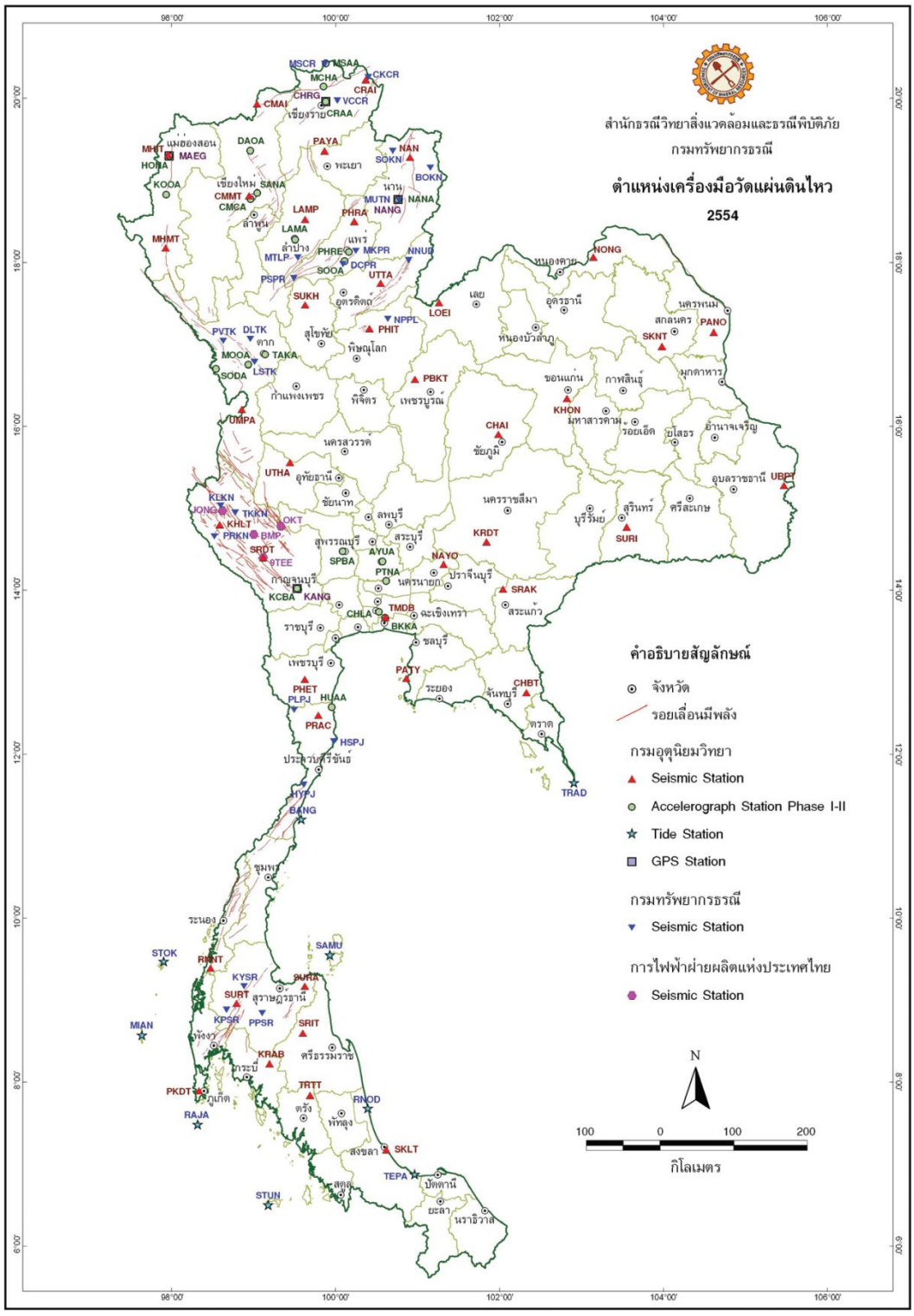
Component name	Sensor (V/ground	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
Broadband seismic stations (Geotech KS-2000M) and Accelerometer (PA-23)			
20. SRIT อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง จ.นครศรีธรรมราช			
BHZ	1,982.00	3.2	0.001615
BHN	2,101.00	3.2	0.001523
BHE	2,014.00	3.2	0.001589
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
21. SURA ฝายเก็บน้ำท่าทอง จ.สุราษฎร์ธานี			
BHZ	2,027.00	3.2	0.001579
BHN	2,026.00	3.2	0.001579
BHE	2,059.00	3.2	0.001554
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
22. NONG อ่างเก็บน้ำห้วยเปลวเหงือก จ.หนองคาย			
BHZ	1,980.00	3.2	0.001616
BHN	1,978.00	3.2	0.001618
BHE	1,979.00	3.2	0.001617
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
23. PANO อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ.นครพนม			
BHZ	2,003.00	3.2	0.001598
BHN	2,013.00	3.2	0.00159
BHE	1,939.00	3.2	0.00165
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Component name	Sensor (V/ground	LSB (μ V/count)	System (μ m/count)
Broadband seismic stations (Geotech KS-2000M) and Accelerometer (PA-23)			
24. NAYO อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน จ.นครนายก			
BHZ	2,010.00	3.2	0.001592
BHN	2,015.00	3.2	0.001588
BHE	1,983.00	3.2	0.001614
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
25. LOEI อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ.เลย			
BHZ	2,038.00	3.2	0.00157
BHN	2,006.00	3.2	0.001595
BHE	1,995.00	3.2	0.001604
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.063	0.4	6.349206
HNE	0.063	0.4	6.349206
26. TMDA กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา			
HLZ	0.063	0.4	6.349206
HLN	0.062	0.4	6.451613
HLE	0.063	0.4	6.349206
HNZ	0.063	0.4	6.349206
HNN	0.064	0.4	6.25
HNE	0.061	0.4	6.557377
27. TMDB กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา			
SHZ	1,973.00	3.2	0.001622
SHN	2,008.00	3.2	0.001594
SHE	1,981.00	3.2	0.001615

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) ค่า System sensitivity ของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 2

Naming Convention:		
1. Band Code (instrument sampling rate, response band)		
Band type	Sample rate (Hz)	Corner period (s)
S = Short period	≥ 10 to < 80	< 10
H = High Broad Band	≥ 80	≥ 10
B = Broad Band	≥ 10 to < 80	≥ 11
2. Instrument Code H = High Gain Seismometer N = Accelerometer		
3. Instrument Code Z N E = Traditional (Vertical, North-South, East-West)		



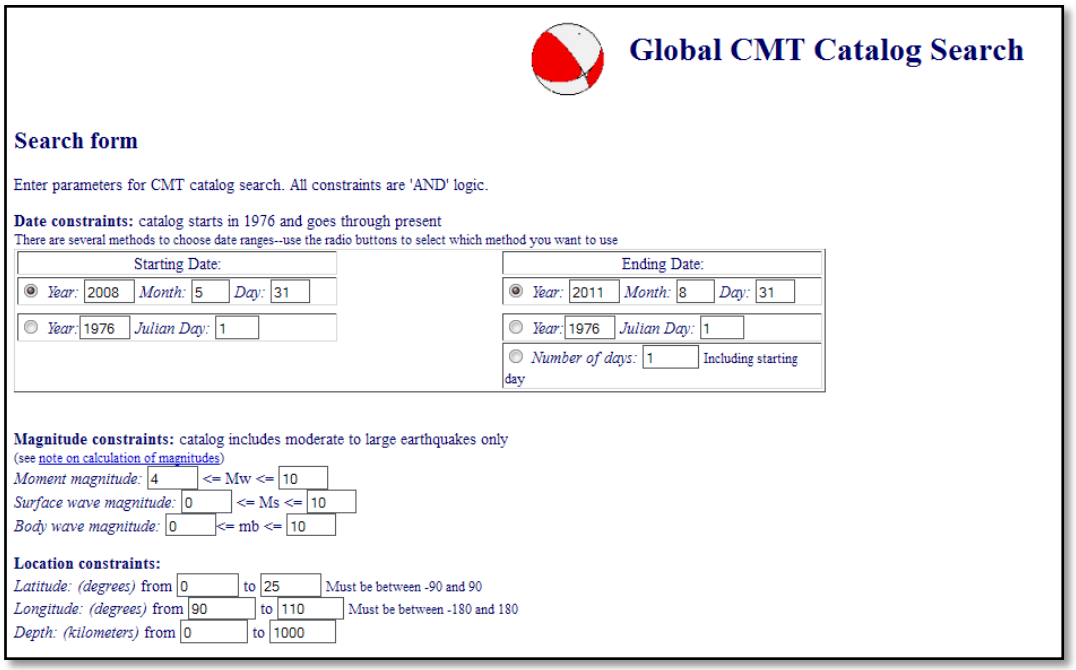
รูปที่ 4.1 สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวหลักระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 (สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

4.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว

การพิจารณาช่วงเวลาในการดาวน์โหลดข้อมูลจากสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ได้พิจารณาเวลาการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแฟ้มเหตุการณ์แผ่นดินไหวของโกล์บอล CMT (Global Central Moment Tensor catalog) ซึ่งข้อมูลเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวของ Global CMT Catalog มีความสำคัญต่อการศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างมาก โดยฐานข้อมูล Global CMT Catalog ประกอบด้วย วันและเวลาของเหตุการณ์แผ่นดินไหว (date and time) ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_W) ระนาบรอยเลื่อน (fault plane) ประกอบด้วยมุม strike มุม dip มุม slip ศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว (epicenter) และความลึกศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว (focal depth)

4.2.1 รายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว

การค้นหาข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในฐานข้อมูล Global CMT Catalog ได้ค้นหาจากระบบออนไลน์ โดยการกำหนดขอบเขตในการค้นหาข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวประกอบด้วย ขอบเขตพิกัดฉาก ละติจูด 0° ถึง 25° และ ลองจิจูด 90° ถึง 110° ขนาดของแผ่นดินไหว (moment magnitude, M_W) มากกว่า 4 ขึ้นไป และช่วงเวลาการเกิดแผ่นดินไหวที่ต้องการค้นหาได้กำหนดตั้งแต่ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ซึ่งสืบค้นได้จาก www.globalcmt.org ดังแสดงรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 การค้นหาข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวในฐานข้อมูล Global CMT Catalog

Global CMT Catalog

Search criteria:

Start date: 2008/5/31 End date: 2011/8/26
0 <=lat<= 25 90 <=lon<= 110
0 <=depth<= 1000 -9999 <=time shift<= 9999
0 <=mb<= 10 0<=Ms<= 10 4<=Mw<= 10
0 <=tension plunge<= 90 0 <=null plunge<= 90

Results

200806031015A NORTHERN SUMATRA, INDONE

Date: 2008/ 6/ 3 Centroid Time: 10:15:53.0 GMT
Lat= 0.10 Lon= 97.53
Depth= 31.0 Half duration= 1.1
Centroid time minus hypocenter time: 2.1
Moment Tensor: Expo=24 0.722 -0.450 -0.272 0.638 -0.467 0.525
Mw = 5.3 mb = 5.1 Ms = 0.0 Scalar Moment = 1.13e+24
Fault plane: strike=315 dip=23 slip=97
Fault plane: strike=127 dip=67 slip=87

200806131613A NORTHERN SUMATRA, INDONE

Date: 2008/ 6/13 Centroid Time: 16:13:25.1 GMT
Lat= 0.37 Lon= 97.28
Depth= 38.8 Half duration= 0.9
Centroid time minus hypocenter time: 0.5
Moment Tensor: Expo=23 4.020 -3.100 -0.918 2.980 -2.780 3.520
Mw = 5.1 mb = 5.0 Ms = 0.0 Scalar Moment = 6.35e+23
Fault plane: strike=297 dip=26 slip=76
Fault plane: strike=132 dip=65 slip=96

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างรายการเหตุการณ์แผ่นดินไหวในฐานข้อมูล Global CMT Catalog

การศึกษานี้ต้องการพิจารณาแผ่นดินไหวที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างจึงพิจารณาแผ่นดินไหวที่มีขนาด M_w (moment magnitude) ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่าง 0 ถึง 25 องศาเหนือ และ 90 ถึง 110 องศาตะวันออก ซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถส่งผลกระทบหรือส่งแรงสั่นสะเทือนมายังเครื่องมือตรวจวัด ณ สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระบบดิจิตอลของประเทศไทย และรายการแผ่นดินไหวอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง มิถุนายน พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ซึ่งพบเหตุการณ์แผ่นดินไหว 189 ครั้งดังตารางที่ 4.9 ถ้าเป็นแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลกมีรูปแบบของกลไกการเกิดแผ่นดินไหว (focal mechanism) ได้แก่ normal fault (NM) strike slip (SS) และ reverse fault (RV) ถ้าเป็นแผ่นดินไหว subduction แบ่งได้เป็นแบบที่เกิดในแผ่นเปลือกโลก (intra-slab = IS) และ ที่เกิดบริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นดินเปลือกที่มุดใต้อีกแผ่น (Interface = IF)

ตารางที่ 4.9 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
001	2006/10/07	21:12:28	+011.78	+100.15	NM	5.0	12.0	Shallow
002	2006/11/18	13:55:25	+004.58	+094.57	IF	5.9	36.4	Subduction
003	2006/11/18	13:57:57	+004.60	+094.67	IF	5.9	23.0	Subduction
004	2006/12/01	03:58:24	+003.46	+099.05	IS	6.3	208.4	Subduction
005	2006/12/12	17:02:00	+018.93	+098.97	SS	5.1	11.0	Shallow
006	2006/12/17	21:10:26	+004.58	+094.89	IS	5.8	54.4	Subduction
007	2006/12/17	21:39:17	+000.57	+099.83	SS	5.8	18.2	Shallow
008	2006/12/22	19:50:49	+010.70	+092.11	IF	6.2	22.0	Subduction
009	2007/01/03	12:47:33	+005.25	+094.28	IF	5.4	44.0	Subduction
010	2007/01/07	10:47:07	+022.04	+098.30	SS	4.8	20.0	Shallow
011	2007/01/08	12:48:44	+008.03	+092.30	IF	6.1	12.0	Subduction
012	2007/01/09	05:27:24	+019.13	+095.35	IS	4.9	97.6	Subduction
013	2007/01/22	16:44:35	+002.36	+095.58	IF	5.3	36.8	Subduction
014	2007/01/25	15:18:40	+001.36	+097.03	IF	5.0	39.6	Subduction
015	2007/01/29	19:48:40	+008.37	+093.76	IS	5.4	77.3	Subduction
016	2007/02/11	10:47:37	+006.12	+094.47	IS	5.4	63.6	Subduction
017	2007/02/14	19:50:02	+000.33	+097.22	IF	5.7	12.0	Subduction
018	2007/02/14	20:12:00	+005.04	+094.23	IF	5.2	34.2	Subduction
019	2007/02/14	20:46:34	+000.39	+097.17	IF	5.4	12.0	Subduction
020	2007/03/01	02:01:05	+003.60	+096.23	IF	5.2	43.4	Subduction
021	2007/03/01	05:08:23	+010.42	+093.23	IS	5.0	89.2	Subduction
022	2007/03/06	03:49:44	-000.65	+100.53	SS	6.4	20.9	Shallow
023	2007/03/06	05:49:29	-000.51	+100.47	SS	6.3	21.9	Shallow
024	2007/03/07	10:53:42	+001.80	+097.74	IF	5.9	49.0	Subduction
025	2007/04/07	09:51:54	+002.74	+095.48	IF	6.1	12.0	Subduction
026	2007/04/10	13:56:55	+013.13	+092.59	IS	5.5	18.3	Subduction
027	2007/04/26	05:23:48	+015.47	+096.16	SS	4.9	12.0	Shallow
028	2007/04/27	08:02:52	+005.09	+094.43	IF	5.9	49.2	Subduction
029	2007/04/28	19:14:31	+001.76	+099.15	SS	4.9	18.1	Shallow
030	2007/05/01	19:44:20	+005.29	+094.38	IS	5.0	51.2	Subduction
031	2007/05/16	08:56:18	+020.52	+100.89	SS	6.3	12.6	Shallow
032	2007/05/18	15:57:31	+003.68	+096.07	IS	5.2	56.5	Subduction
033	2007/05/23	20:19:11	+002.48	+095.39	IF	5.2	12.0	Subduction
034	2007/05/31	23:18:05	+008.31	+094.03	SS	5.4	12.0	Shallow

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
035	2007/06/02	21:35:02	+023.02	+101.13	SS	6.1	12.0	Shallow
036	2007/06/03	02:49:03	+022.93	+101.12	SS	4.9	24.4	Shallow
037	2007/06/09	14:59:51	+002.19	+095.93	IF	5.2	36.3	Subduction
038	2007/06/23	08:17:20	+021.49	+100.00	SS	5.6	16.1	Shallow
039	2007/06/23	08:27:49	+021.46	+099.93	SS	5.4	17.6	Shallow
040	2007/06/24	13:47:40	+005.21	+094.50	IS	5.0	54.0	Subduction
041	2007/07/21	12:53:03	+005.14	+097.72	IF	5.2	12.0	Subduction
042	2007/07/24	14:51:33	+002.14	+097.72	IS	5.3	50.5	Subduction
043	2007/07/25	23:37:35	+007.06	+092.52	IF	6.0	12.0	Subduction
044	2007/07/30	22:42:06	+019.06	+095.77	IF	5.6	12.0	Subduction
045	2007/07/31	08:43:42	+019.05	+095.79	IF	5.0	13.5	Subduction
046	2007/08/08	17:05:11	-006.03	+107.58	IS	7.5	304.8	Subduction
047	2007/08/25	17:03:08	+014.31	+094.01	SS	5.2	41.1	Shallow
048	2007/09/12	11:11:15	-003.78	+100.99	IF	8.5	24.4	Subduction
049	2007/09/12	23:49:35	-002.46	+100.13	IF	7.9	43.1	Subduction
050	2007/09/13	02:30:04	-001.94	+099.54	IF	6.5	34.8	Subduction
051	2007/09/13	03:35:36	-002.31	+099.39	IF	7.0	17.0	Subduction
052	2007/09/20	08:31:24	-002.24	+099.85	IF	6.7	32.3	Subduction
053	2007/10/04	12:40:30	+002.47	+092.83	SS	6.2	12.0	Shallow
054	2007/10/24	21:02:58	-004.37	+100.78	IF	6.8	20.0	Subduction
055	2007/11/21	03:30:15	+002.81	+096.19	IF	4.9	41.0	Subduction
056	2007/11/21	19:04:02	+007.76	+093.79	IS	4.9	17.8	Subduction
057	2007/11/22	23:02:14	+004.46	+095.01	IS	5.8	52.1	Subduction
058	2007/12/01	01:44:35	+001.81	+097.75	IS	5.9	50.3	Subduction
059	2007/12/22	12:26:21	+001.92	+096.58	IF	6.1	25.0	Subduction
060	2007/12/28	05:24:19	+005.63	+095.95	SS	5.4	25.7	Shallow
061	2008/01/14	13:38:40	+010.39	+092.69	IF	5.8	43.8	Subduction
062	2008/01/22	17:15:03	+000.94	+097.16	IF	6.1	23.2	Subduction
063	2008/02/20	08:08:45	+002.73	+095.93	IF	7.4	15.2	Subduction
064	2008/02/24	14:46:27	-002.65	+099.69	IF	6.4	12.0	Subduction
065	2008/02/25	08:36:42	-002.76	+099.87	IF	6.9	22.6	Subduction
066	2008/02/25	18:06:09	-002.67	+099.66	IF	6.4	23.0	Subduction
067	2008/02/25	21:02:23	-002.53	+099.65	IF	6.5	23.0	Subduction

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
068	2008/03/15	14:43:30	+002.49	+094.47	IF	6.0	12.0	Subduction
069	2008/03/29	17:30:57	+002.74	+095.19	IF	6.3	12.0	Subduction
070	2008/05/12	06:28:41	+031.49	+104.11	RV	7.9	12.0	Shallow
071	2008/05/13	10:29:22	+004.34	+095.07	IS	5.4	50.0	Subduction
072	2008/05/19	14:26:48	+001.66	+099.11	SS	6.0	16.5	Shallow
073	2008/06/19	00:35:34	+006.76	+092.66	IF	5.1	12.0	Subduction
074	2008/06/25	01:52:40	+001.00	+096.97	IF	5.5	20.0	Subduction
075	2008/06/27	11:40:19	+010.92	+091.82	IS	6.6	17.1	Subduction
076	2008/06/27	13:07:15	+011.09	+091.95	IS	5.9	12.1	Subduction
077	2008/07/14	04:44:54	+001.83	+096.28	IF	5.6	28.9	Subduction
078	2008/08/10	08:20:37	+010.96	+091.83	SS	6.2	15.8	Shallow
079	2008/08/10	09:27:58	+011.05	+091.80	IS	5.3	13.5	Subduction
080	2008/08/10	12:21:19	+011.12	+091.84	IS	5.7	12.0	Subduction
081	2008/08/21	12:24:36	+024.92	+097.99	SS	6.0	18.2	Shallow
082	2008/09/03	06:27:27	+024.84	+098.02	SS	5.0	18.4	Shallow
083	2008/09/22	13:30:38	+015.46	+096.15	NM	5.2	12.0	Shallow
084	2008/10/03	21:20:27	+010.83	+091.80	IS	5.4	12.0	Subduction
085	2008/11/16	12:20:39	+010.88	+091.82	IS	5.5	12.0	Subduction
086	2008/12/05	23:24:39	+008.71	+094.13	SS	5.2	22.0	Shallow
087	2008/12/06	00:43:09	+008.73	+094.11	SS	5.3	24.6	Shallow
088	2008/12/20	23:22:51	+022.65	+096.09	SS	5.3	14.8	Shallow
089	2009/03/12	10:05:11	+004.43	+095.03	IF	5.0	47.6	Subduction
090	2009/07/28	05:15:00	+010.64	+094.23	IS	5.2	12.0	Subduction
091	2009/08/10	19:56:05	+014.16	+092.94	IS	7.5	22.0	Subduction
092	2009/08/12	04:33:24	+009.03	+093.78	IS	5.1	19.7	Subduction
093	2009/08/13	09:21:37	+014.04	+092.76	SS	5.8	33.0	Shallow
094	2009/08/14	19:39:53	+014.08	+093.02	IS	5.0	19.7	Subduction
095	2009/08/23	07:20:16	+000.21	+096.92	IS	5.4	16.5	Subduction
096	2009/09/19	10:50:42	+000.49	+099.90	SS	5.1	21.6	Shallow
097	2009/09/21	19:38:44	+020.14	+094.87	IS	5.7	74.2	Subduction
098	2009/11/02	21:35:48	+013.97	+093.13	IF	5.4	16.7	Subduction
099	2009/11/10	02:48:48	+008.05	+091.86	SS	6.0	19.9	Shallow
100	2009/12/01	11:40:48	+013.62	+092.81	SS	5.3	27.4	Shallow

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
101	2009/12/07	22:06:16	+000.05	+096.97	IS	4.9	12.0	Subduction
102	2009/12/29	09:01:55	+024.31	+094.84	IS	5.6	125.1	Subduction
103	2010/01/22	06:46:16	+002.95	+093.75	IS	5.0	13.1	Subduction
104	2010/02/14	22:09:10	+002.71	+094.10	IF	4.9	12.0	Subduction
105	2010/03/12	23:19:57	+022.99	+094.62	IS	5.5	114.7	Subduction
106	2010/03/13	14:59:06	+001.16	+096.81	IF	5.8	23.6	Subduction
107	2010/03/19	19:53:38	+021.47	+099.99	SS	4.9	15.2	Shallow
108	2010/03/30	16:54:54	+013.58	+092.76	SS	6.6	30.5	Shallow
109	2010/04/06	22:15:19	+002.07	+096.74	IF	7.8	17.6	Subduction
110	2010/04/09	06:29:36	+001.87	+099.17	SS	4.9	21.1	Shallow
111	2010/04/13	20:15:00	+007.83	+091.94	SS	5.2	28.5	Shallow
112	2010/04/28	18:01:23	+019.18	+093.01	IS	5.2	31.2	Subduction
113	2010/05/09	05:59:51	+003.36	+095.78	IF	7.2	37.2	Subduction
114	2010/05/11	12:17:49	+003.24	+095.69	IF	5.4	42.3	Subduction
115	2010/05/16	08:55:48	+014.31	+093.29	IS	5.1	30.0	Subduction
116	2010/05/31	19:51:50	+011.16	+093.70	IS	6.5	127.9	Subduction
117	2010/06/01	15:58:12	+024.84	+099.24	SS	4.9	17.6	Shallow
118	2010/06/03	09:24:18	+004.71	+095.77	IS	5.4	88.3	Subduction
119	2010/06/12	19:27:00	+007.85	+091.65	IF	7.5	33.1	Subduction
120	2010/06/13	06:26:04	+007.71	+091.82	SS	5.2	12.0	Shallow
121	2010/06/13	07:05:36	+007.98	+091.92	IS	5.2	18.9	Subduction
122	2010/06/15	23:24:26	+007.41	+091.67	SS	5.0	12.0	Shallow
123	2010/06/18	23:09:34	+013.21	+093.12	IF	5.9	20.1	Subduction
124	2010/06/24	04:08:37	+007.69	+091.85	SS	5.5	14.8	Shallow
125	2010/06/24	17:06:22	+007.72	+091.96	SS	4.9	16.6	Shallow
126	2010/06/25	07:29:00	+007.65	+091.85	SS	5.2	14.4	Shallow
127	2010/06/27	09:43:52	+013.43	+095.88	NM	5.0	12.0	Shallow
128	2010/06/27	10:51:46	+013.50	+096.00	NM	5.0	12.0	Shallow
129	2010/07/01	15:21:52	+001.09	+096.68	IF	5.1	35.8	Subduction
130	2010/07/02	18:23:12	+010.22	+092.02	IF	5.4	12.0	Subduction
131	2010/07/08	13:47:01	+014.37	+093.20	SS	5.0	28.3	Shallow
132	2010/07/13	04:26:27	+001.18	+096.85	IF	5.1	23.2	Subduction
133	2010/08/09	22:21:47	+013.64	+092.76	SS	5.2	22.4	Shallow
134	2010/08/17	01:39:31	+011.54	+095.13	SS	5.4	12.4	Shallow

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
135	2010/08/21	05:42:57	+002.01	+096.45	IF	5.9	24.0	Subduction
136	2010/09/10	17:24:21	+023.29	+090.74	SS	5.1	18.4	Shallow
137	2010/09/11	11:43:13	+007.73	+094.24	SS	5.8	19.9	Shallow
138	2010/12/01	00:50:23	+002.70	+098.86	IS	5.6	164.4	Subduction
139	2010/12/14	20:01:02	+003.81	+095.91	IF	4.9	44.5	Subduction
140	2010/12/18	22:56:45	+005.27	+094.55	IS	5.0	53.1	Subduction
141	2010/12/21	14:07:52	+002.44	+095.59	IF	5.8	23.2	Subduction
142	2011/01/07	03:10:00	+004.20	+090.37	SS	5.5	13.6	Shallow
143	2011/01/15	11:23:55	+002.26	+096.13	IF	5.8	17.0	Subduction
144	2011/01/15	16:26:09	+002.30	+096.22	IF	5.5	12.0	Subduction
145	2011/01/18	11:33:47	+002.38	+096.17	IF	5.9	15.0	Subduction
146	2011/01/22	07:34:16	+002.48	+095.34	IF	5.2	35.7	Subduction
147	2011/01/22	07:38:58	+002.74	+095.32	IF	5.7	15.0	Subduction
148	2011/01/26	07:24:29	+009.96	+108.22	SS	5.0	12.0	Shallow
149	2011/01/26	15:42:35	+001.87	+096.52	IF	6.0	22.7	Subduction
150	2011/01/26	15:45:44	+001.49	+096.55	IF	4.9	40.5	Subduction
151	2011/01/26	07:24:29	+009.96	+108.22	SS	5.0	12.0	Shallow
152	2011/02/01	13:39:46	+010.62	+094.27	SS	5.5	12.0	Shallow
153	2011/02/04	13:53:49	+024.46	+094.68	IS	6.3	103.5	Subduction
154	2011/02/18	23:12:07	+001.86	+097.77	IF	5.2	44.2	Subduction
155	2011/03/10	04:58:16	+024.63	+098.01	SS	5.5	14.6	Shallow
156	2011/03/24	13:55:20	+020.65	+100.06	SS	6.8	12.6	Shallow
157	2011/04/06	14:01:48	+001.45	+096.82	IF	6.0	18.0	Subduction
158	2011/04/29	08:56:51	+003.98	+095.96	IS	5.4	67.2	Subduction
159	2011/06/03	07:27:14	+009.74	+092.58	IS	5.5	45.1	Subduction
160	2011/06/14	00:08:35	+001.85	+099.05	SS	5.5	19.0	Shallow
161	2011/06/14	03:01:31	+001.85	+099.07	SS	5.7	20.2	Shallow
162	2011/06/18	11:58:03	+001.80	+099.12	SS	5.2	17.0	Shallow
163	2011/06/20	10:16:52	+025.00	+098.80	RV	5.0	15.7	Shallow
164	2011/07/04	19:00:56	+001.24	+096.87	IF	5.2	24.3	Subduction
165	2011/07/21	06:48:01	+000.12	+096.93	IS	4.8	19.2	Subduction
166	2011/08/03	20:02:20	+001.08	+098.68	IS	5.2	91.8	Subduction
167	2011/08/09	11:50:19	+024.98	+098.73	SS	5.1	20.1	Shallow
168	2011/08/21	08:18:15	+004.48	+094.95	IS	4.9	51.3	Subduction

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

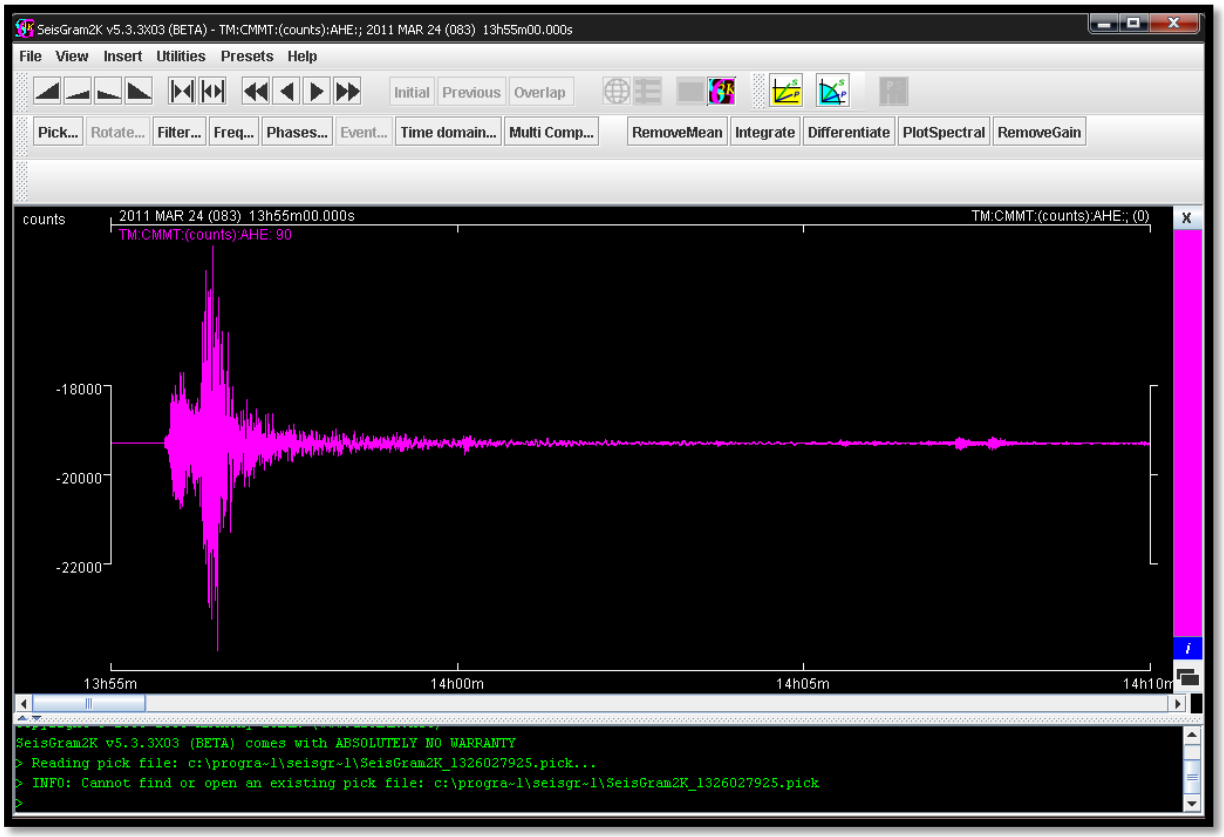
Events No.	Date	Time	Epicenter Latitude	Epicenter Long.	Focal Mech	Mw	Depth (km)	Type of Earthquake
169	2011/08/31	03:08:27	+002.16	+096.28	IF	4.9	32.1	Subduction
170	2011/09/05	17:55:14	+002.88	+097.86	IS	6.7	94.6	Subduction
171	2011/10/01	12:49:00	+012.85	+095.76	NM	5.0	12.0	Shallow
172	2011/10/16	17:16:20	+002.46	+096.10	SS	5.4	31.3	Shallow
173	2011/11/21	03:15:42	+024.82	+095.19	IS	5.8	129.2	Subduction
174	2011/11/27	11:01:07	+000.06	+097.65	IF	5.4	24.0	Subduction
175	2011/11/30	19:42:36	+007.90	+094.01	IS	5.6	12.0	Subduction
176	2011/12/02	19:37:48	+007.90	+094.12	IS	5.1	14.7	Subduction
177	2011/12/16	15:47:27	+007.84	+094.11	SS	5.1	15.8	Shallow
178	2012/01/10	18:37:13	+002.59	+092.98	SS	7.2	23.7	Shallow
179	2012/03/06	02:52:45	+008.57	+093.86	IS	5.4	12.9	Subduction
180	2012/04/11	08:39:29	+002.24	+092.78	SS	8.6	40.0	Shallow
181	2012/04/14	15:21:57	+000.29	+092.22	IF	5.4	12.0	Subduction
182	2012/04/15	05:57:42	+002.52	+090.32	SS	6.2	29.9	Shallow
183	2012/04/16	09:44:25	+008.02	+098.37	SS	4.3	10.0	Shallow
184	2012/04/20	23:14:34	+002.22	+093.36	IF	5.9	42.2	Subduction
185	2012/04/24	14:57:15	+008.94	+094.05	SS	5.6	12.4	Shallow
186	2012/04/25	07:42:27	+008.92	+094.07	SS	5.8	14.3	Shallow
187	2012/11/11	01:12:57	+022.74	+096.05	SS	6.8	14.2	Shallow
188	2012/11/11	10:54:44	+022.64	+096.04	SS	5.9	12.0	Shallow
189	2012/11/11	18:19:45	+023.08	+096.08	SS	5.6	18.9	Shallow

4.2.2 กระบวนการแปลงข้อมูลสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่

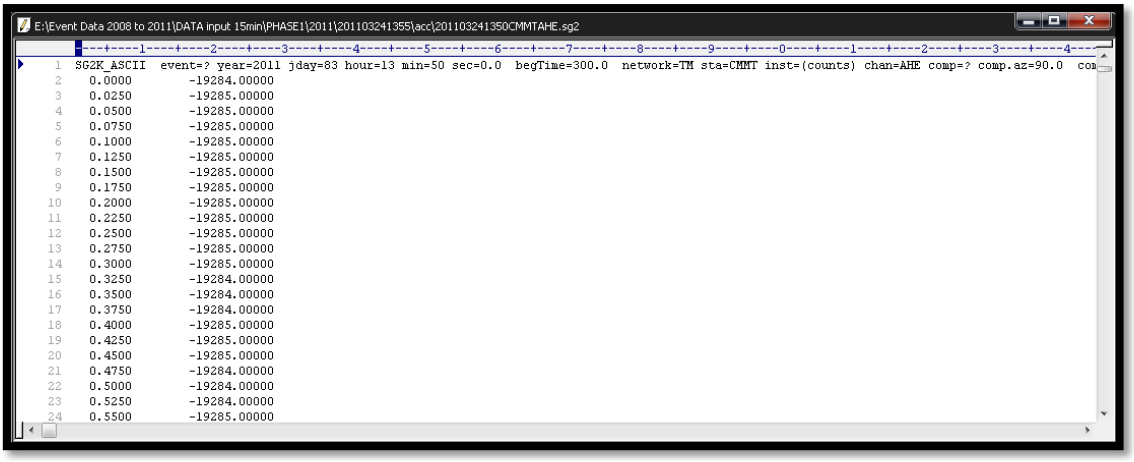
หลังจากรวบรวมรายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้โดยตรงกับสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา โดยข้อมูลข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 อยู่ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาการเคลื่อนที่ของพื้นดิน (ground motion time history data) โดยชนิดของข้อมูลจะเป็น SEED format ซึ่งใช้โปรแกรม Atlas ในการอ่านข้อมูลชนิดนี้แต่โปรแกรมจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดของข้อมูลได้ จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของไฟล์ให้เป็น SAC format เพื่อสะดวกต่อการอ่านข้อมูลและเปลี่ยนแปลงชนิดข้อมูลเป็น ASCII format โดยใช้โปรแกรม SeisGram2K แสดงดังรูปที่ 4.4 สำหรับข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 2 ซึ่งข้อมูลจะเก็บเป็นแฟ้มข้อมูล real time อยู่ในรูปแฟ้มข้อมูล SUD format ซึ่งสามารถแปลงเป็น แฟ้มข้อมูล SUD format ได้ด้วยโปรแกรม Smart

Extract และใช้โปรแกรม SeisPlus เปลี่ยนแปลงชนิดของแฟ้มข้อมูลจาก SUD format เป็น ASCII format หรือ SAC format ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งโปรแกรม Seisplus สามารถแยกแฟ้มข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินเป็นของแต่ละสถานีในแต่ละองค์ประกอบ (component) ให้อัตโนมัติ

หลังจากที่ทำการแปลงข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมดให้อยู่ในรูป ASCII format (text file) เรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.5 มีส่วนหัวเรื่องอยู่ 1 บรรทัด ซึ่งบอกรายละเอียดของข้อมูล เช่น เวลาที่เริ่มต้นบันทึกข้อมูล ชื่อสถานีที่บันทึก ทิศทาง ระยะเวลาระหว่างการบันทึกข้อมูลแต่ละค่า และจำนวนข้อมูล เป็นต้น และบรรทัดถัด ๆ ไปเป็นคู่ลำดับของเวลาและค่านับ (count) ของข้อมูลตามลำดับ ซึ่งค่านับต้องถูกแปลงให้เป็นข้อมูลประวัติเวลาความเร็วของพื้นดิน (velocity time history) หรือข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (acceleration time history) ตามประเภทและความไวของเครื่องมือตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวซึ่งแล้วแต่กรณี



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงโปรแกรม SeisGram2K



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างแฟ้มข้อความ ASCII format

การปรับเปลี่ยนข้อมูลประวัติเวลาความเร็วของพื้นดิน (velocity time history) ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดความเร็วให้เป็นข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (acceleration time history) และข้อมูลประวัติเวลาการกระจัดของพื้นดิน (displacement time history) เป็นการประมาณค่าโดยการประยุกต์ใช้การหาอนุพันธ์เชิงตัวเลข (numerical differentiation) ซึ่งใช้วิธีผลต่างกลาง (central difference) โดยการประยุกต์ใช้พหุนามลากรานจ์ อันดับที่ 4 (4th order Lagrange polynomial) และการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข (numerical integration) โดยใช้วิธีกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal rule) ดังสมการที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{12h}(\dot{x}_0 - 8\dot{x}_1 + 8\dot{x}_3 - \dot{x}_4)$$
$$\ddot{x}_n = \frac{1}{12h}(\dot{x}_{n-2} - 8\dot{x}_{n-1} + 8\dot{x}_{n+1} - \dot{x}_{n+2}) \quad (4.6)$$

$$\dot{x}_n = \dot{x}_{n-1} + \frac{h}{2}(\ddot{x}_n + \ddot{x}_{n-1})$$
$$x_n = x_{n-1} + \frac{h}{2}(\dot{x}_n + \dot{x}_{n-1}) \quad (4.7)$$

โดยที่

h = ช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูลในแต่ละค่า (time step, Δt) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{Fs}$

Fs = ความถี่ในการบันทึกข้อมูล

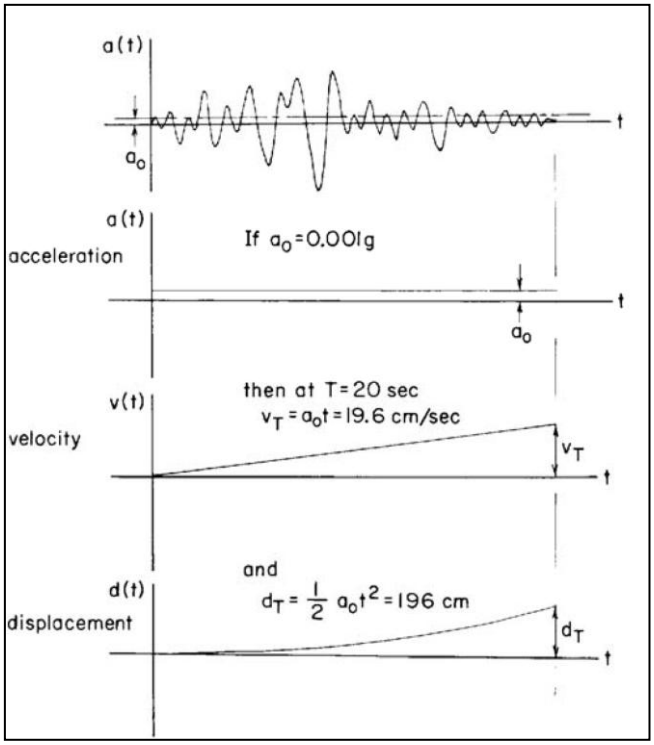
$\ddot{x}$ = ความเร่งของพื้นดิน

$\dot{x}$ = ความเร็วของพื้นดิน

x = การกระจัดของพื้นดิน

4.2.3 การปรับแก้เส้นฐานและการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว

1) การปรับแก้เส้นฐาน



รูปที่ 4.6 การปรับแก้เส้นฐานข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (Hudson, 1979)

การปรับแก้เส้นฐานของข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินมีความจำเป็นในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล เนื่องจากข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวมีทั้งค่าบวกและค่าลบ ซึ่งเส้นฐานของข้อมูลอาจจะไม่ได้อยู่ที่พิกัดศูนย์ โดยความเร็วของพื้นดินและการกระจัดของพื้นดินที่ได้จากการหาปริพันธ์ความเร่งของพื้นดินจะไม่แก่วงรอบแกนศูนย์รูปที่ 4.6 ซึ่งถ้าไม่มีการปรับแก้เส้นฐานข้อมูลอาจจะมีความไม่ถูกต้อง

การปรับแก้เส้นฐานของการศึกษานี้ได้อ้างอิงจาก Hudson (1979) ซึ่งได้อธิบายไว้ว่าหากมีความคลาดเคลื่อนคงที่ a_0 ในประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน เมื่อนำไปหาค่าปริพันธ์จะทำให้ข้อมูลความเร็วของพื้นดินมีค่าไม่เท่ากับศูนย์เมื่อความสั่นสะเทือนของพื้นดินสิ้นสุดลง ซึ่งไม่สมเหตุสมผลกับความเป็นจริงดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแก้เส้นฐานของประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน ดังสมการที่ 4.8

$$a^*(t) = a(t) - a_0 \tag{4.8}$$

โดยที่

$a^*(t)$ = ความเร่งของพื้นดินที่ได้ปรับแก้เส้นฐาน ณ เวลา

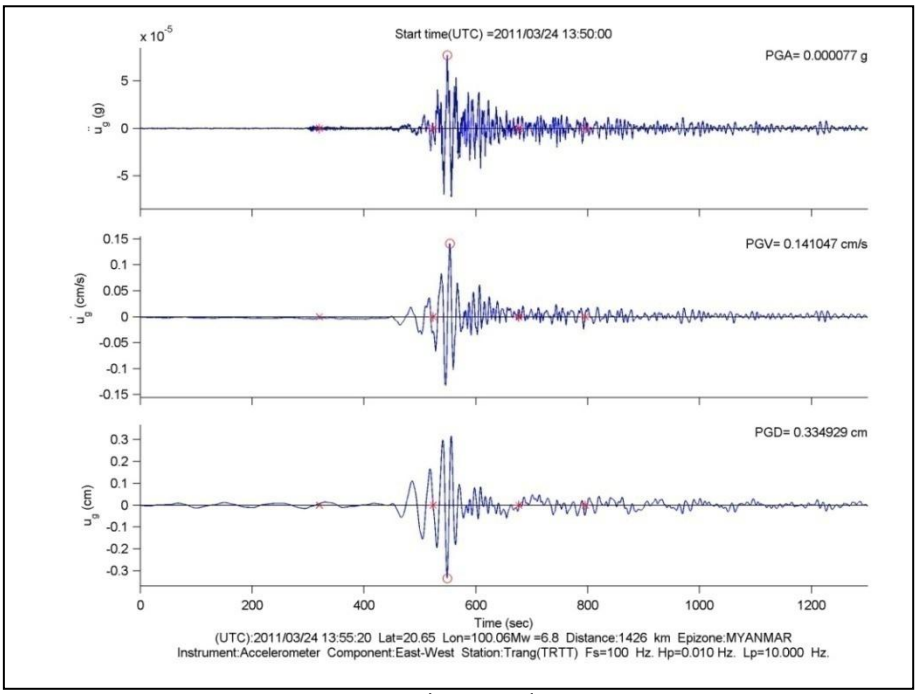
$a(t)$ = ความเร่งของพื้นดินที่ไม่ได้ปรับแก้เส้นฐาน ณ เวลา

a_0 = ค่าปรับแก้เส้นฐานของความเร่งของพื้นดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความเร่งของพื้นดินที่เวลาตั้งแต่ 0

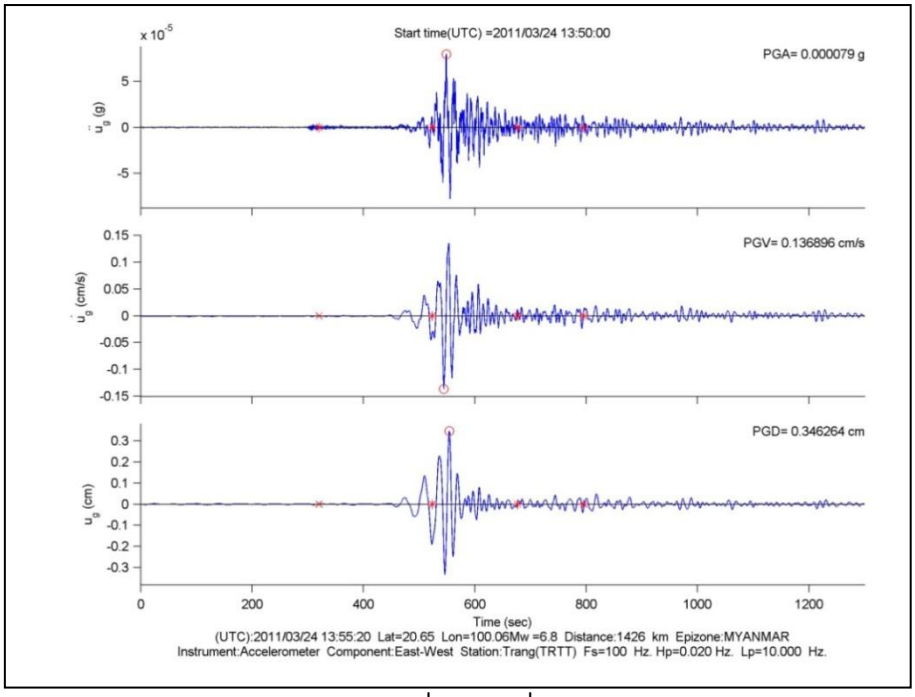
2) การกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว

การกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหวได้ใช้วิธี Butterworth filter ซึ่งอันดับของวิธี butterworth filter ได้ใช้อันดับที่ 4 ตามกระบวนการ United States Geological Survey (USGS) โดยความถี่ที่เหมาะสมในการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหวได้อ้างอิงจากการศึกษาของ Charoenyuth (2007) ซึ่งการศึกษาดังกล่าวใช้ข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว 4 เหตุการณ์ ซึ่งพิจารณาหาความถี่ที่เหมาะสมในการกรองสัญญาณรบกวนโดยการศึกษานั้นได้สรุปไว้ว่า ถ้าระยะทางจากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวถึงจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicenter) มากกว่า 1,000 กิโลเมตร และค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) มีค่าน้อยกว่า 0.0003g ให้กรองสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำผ่าน (low pass, LP) ที่ 10 เฮิรตซ์ และการกรองความถี่สูงผ่านให้กรองความถี่สูงผ่าน (high pass, HP) ที่ 0.01 เฮิรตซ์

เมื่อทำการกรองสัญญาณโดยการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงเกิน LP = 10 Hz และที่ความถี่ต่ำกว่า HP = 0.01 Hz ทิ้งไป ซึ่งเรียกว่าความถี่ผ่านเป็นช่วง (band pass) จะได้คลื่นแผ่นดินไหวที่ผ่านการกรองสัญญาณแล้วดังเช่นรูปที่ 4.7 (ก) ซึ่งสังเกตได้ว่าความเร็วและการกระจัดช่วงต้นก่อนเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงลองทำการเปลี่ยนความถี่สูงผ่านให้กรองความถี่สูงผ่าน (high pass, HP) ที่ 0.02 และ 0.05 เฮิรตซ์ โดยจากรูปที่ 4.7 (ข) พบว่าข้อมูลที่ถูกกรองสัญญาณรบกวนให้ความถี่เป็นช่วงผ่านแล้วนี้น่าจะมีความถูกต้องสมเหตุสมผลมากกว่าข้อมูลที่กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.01 เฮิรตซ์ อย่างไรก็ดีในการศึกษานี้พยายามกรองสัญญาณทิ้งไปให้น้อยที่สุด และพบว่าการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 HP = 0.02 Hz ให้ความเร็วและการกระจัดของคลื่นแผ่นดินไหวช่วงต้นที่ยอมรับได้ จึงเห็นว่าควรจะกำหนดตัวกรองความถี่สูงผ่าน (high pass filter) HP = 0.02 Hz



(ก) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.01 เฮิรตซ์



(ข) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.02 เฮิรตซ์

รูปที่ 4.7 กราฟข้อมูลประวัติเวลาความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดสถานีตรวจวัดความเร่งตรัง (TRTT) เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 1426 กม.
(ก) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.01 เฮิรตซ์ (ข) กรองความถี่สูงผ่านที่ 0.02 เฮิรตซ์

4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการไหวสะเทือนของพื้นดินโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1) โปรแกรมทำการอ่านข้อมูลประวัติเวลาความเร่งจาก ASCII format

1.1) กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทที่ 4 ในกรณีที่ค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g และระยะห่างจากจุดกำเนิดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร สัญญาณรบกวนสามารถตัดออกได้โดยใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = 10 Hz และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.02 Hz ซึ่งถ้าไม่อยู่ในกรณีนี้ ใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = Fs/2 โดยที่ Fs = ค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็นจำนวนข้อมูลต่อวินาที (sampling frequency) และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.02 Hz

1.2) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของความเร่ง

1.3) หาปริพันธ์ (integrate) ของความเร่งได้ความเร็ว

1.4) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของความเร็ว

1.5) หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด

1.6) กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทที่ 4 และปรับแก้เส้นฐานโดยหักลบค่าเฉลี่ยของการกระจัด

2) โปรแกรมทำการอ่านข้อมูลประวัติเวลาความเร็วจาก ASCII format

2.1) กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทที่ 4 ในกรณีที่ค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g และระยะห่างจากจุดกำเนิดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร สัญญาณรบกวนสามารถตัดออกได้โดยใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = 10 Hz และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.02 Hz ซึ่งถ้าไม่อยู่ในกรณีนี้ ใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = Fs/2 โดยที่ Fs = ค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็นจำนวนข้อมูลต่อวินาที (sampling frequency) และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.02 Hz

2.2) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของความเร็ว

2.3) หาอนุพันธ์ (differentiate) ของความเร็วได้ความเร่ง

2.4) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักรบค่าเฉลี่ยของความเร่ง

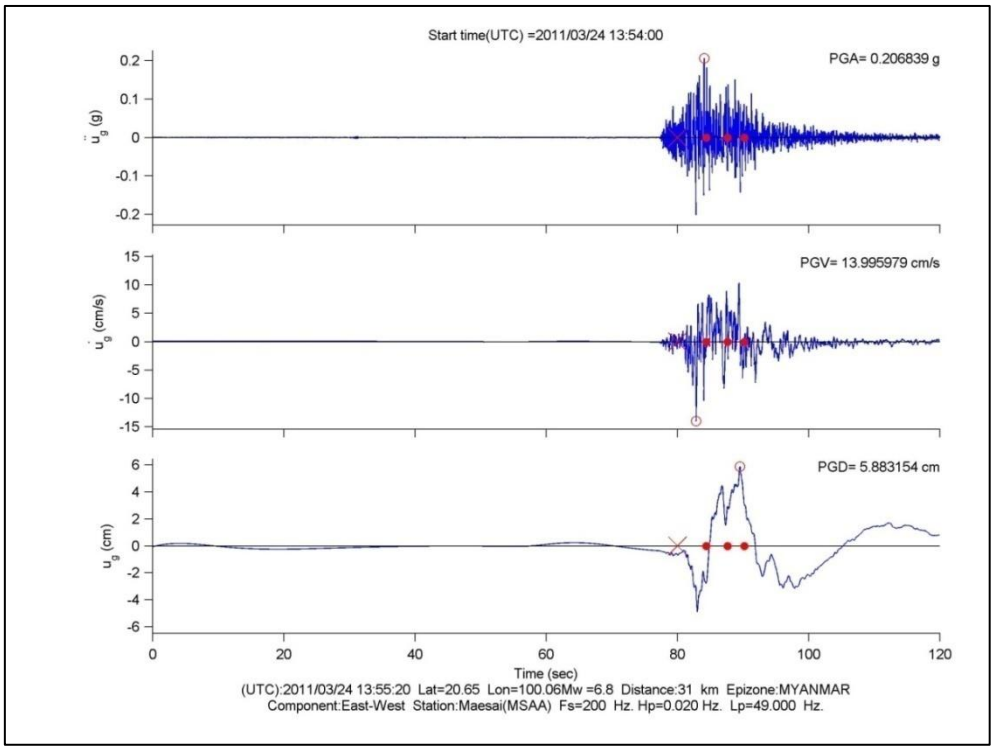
2.5) หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด

2.6) ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของการกระจัด

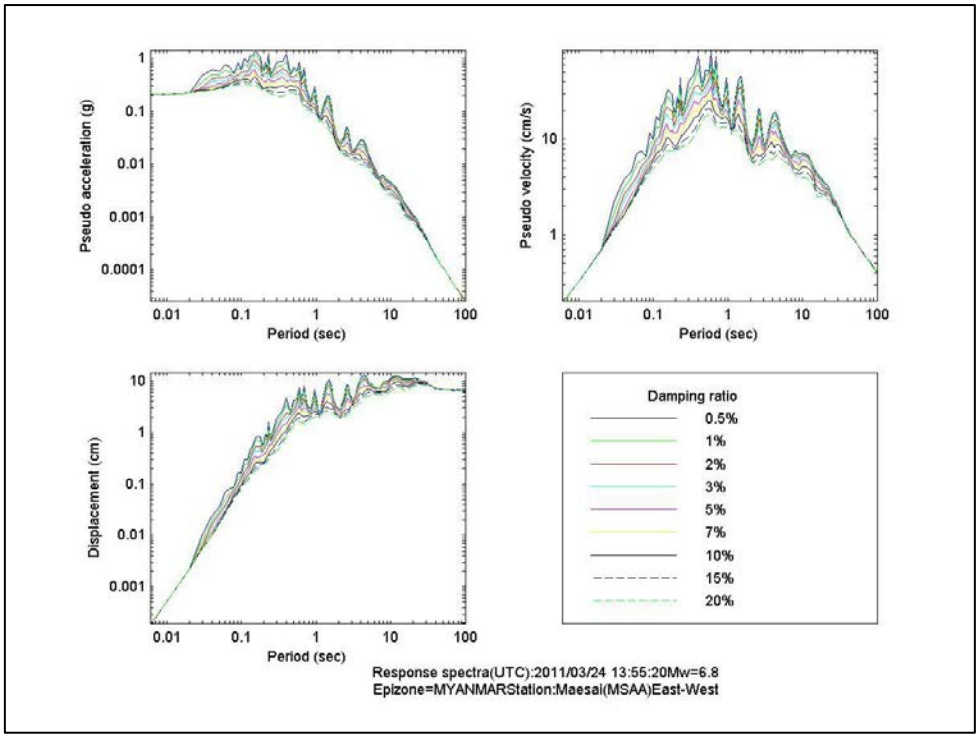
3) โปรแกรมทำการหาค่าความเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด และการกระจัดสูงสุด

4) คำนวณสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว โดยใช้โปรแกรม speceq ช่วยในการคำนวณ โดยกำหนดค่าอัตราความหน่วงเท่ากับ 0.5% 1% 2% 3% 5% 7% 10% 15% และ 20%

5) โปรแกรมทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบรูปภาพ และแฟ้มข้อมูล (text file) โดยข้อมูลรูปภาพแสดงข้อมูลประวัติเวลาความเร่ง ความเร็ว การกระจัดของพื้นดิน และสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว แสดงดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ข้อมูลประวัติเวลาความเร่ง ความเร็ว และการกระจัด สถานีตรวจวัดความเร่งแม่สาย (MSAA) เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 31 กม.



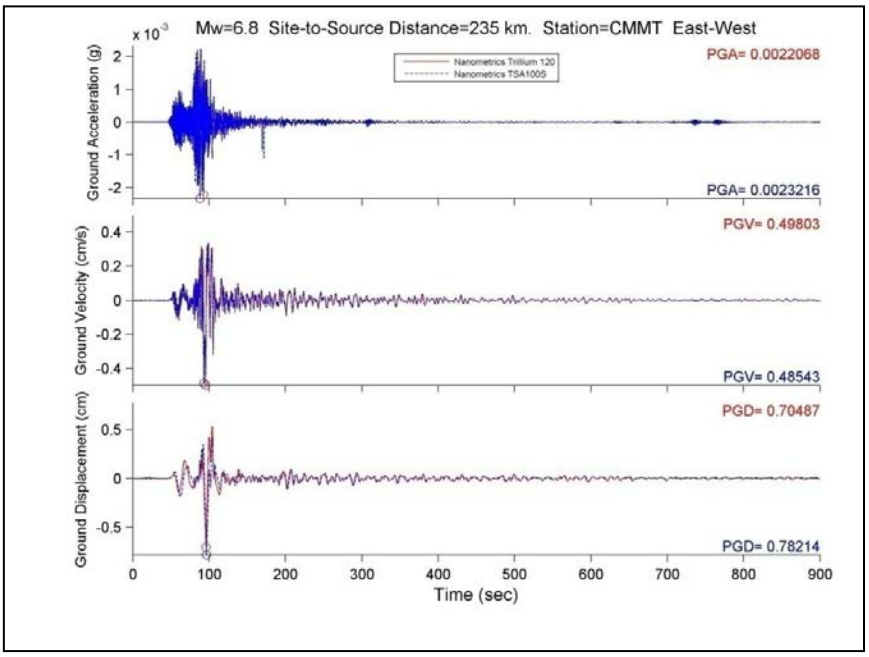
รูปที่ 4.9 กราฟข้อมูลสเปกตรัมผลตอบสนอง สถานีตรวจวัดความเร่งแม่สาย (MSAA) เหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 31 กม.

การสร้างฐานข้อมูลสำหรับพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับประมาณอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (spectral acceleration, Sa) ได้เลือกข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดินเป็นข้อมูลหลัก ซึ่งถ้าหากเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดินไม่สามารถบันทึกการสั่นไหวของพื้นดินได้ จึงจะเลือกใช้ข้อมูลที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร็วส่วนการศึกษาพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับประมาณความเร็วสูงสุดของพื้นดิน (peak ground velocity, PGV) และการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (peak ground displacement, PGD) ได้เลือกข้อมูลประวัติเวลาการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดินเป็นข้อมูลหลัก ซึ่งถ้าหากเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดินไม่สามารถบันทึกการสั่นไหวของพื้นดินได้ จึงจะเลือกใช้ข้อมูลที่บันทึกได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร่ง

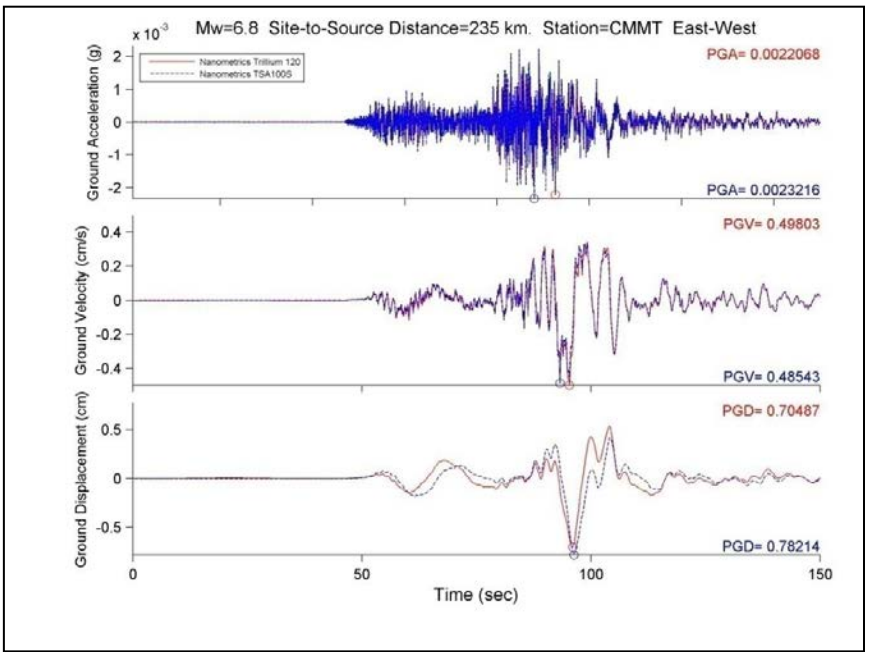
4.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีนำคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือตรวจวัดความเร่งของพื้นดิน (TSA100S) และเครื่องมือตรวจวัดความเร็วของพื้นดิน (Trillium 120) มาทำการเปรียบค่าความเร่งของพื้นดิน (ground acceleration) ความเร็วของพื้นดิน (ground velocity) และการกระจัดของพื้นดิน (ground displacement) ที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองประเภท ซึ่งคลื่นแผ่นดินไหวที่นำมาเปรียบเทียบเป็นคลื่นที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่ (CMMT) ซึ่งเป็นเหตุการณ์เมื่อวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2554 เวลา 13:55 น. โดยมีจุดศูนย์กลาง

แผ่นดินไหวอยู่ที่ประเทศพม่า ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าค่าความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดินที่บันทึกได้จากเครื่องมือทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน และมีรูปร่างการแกว่งของคลื่นรอบแกนศูนย์คล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4.10) จากนั้นนำข้อมูลประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินของเครื่องมือทั้งสองประเภทคำนวณหาสเปคตรัมความเร่งเทียม (pseudo acceleration) ซึ่งพบว่าสเปคตรัมความเร่งเทียมของเครื่องมือทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.11

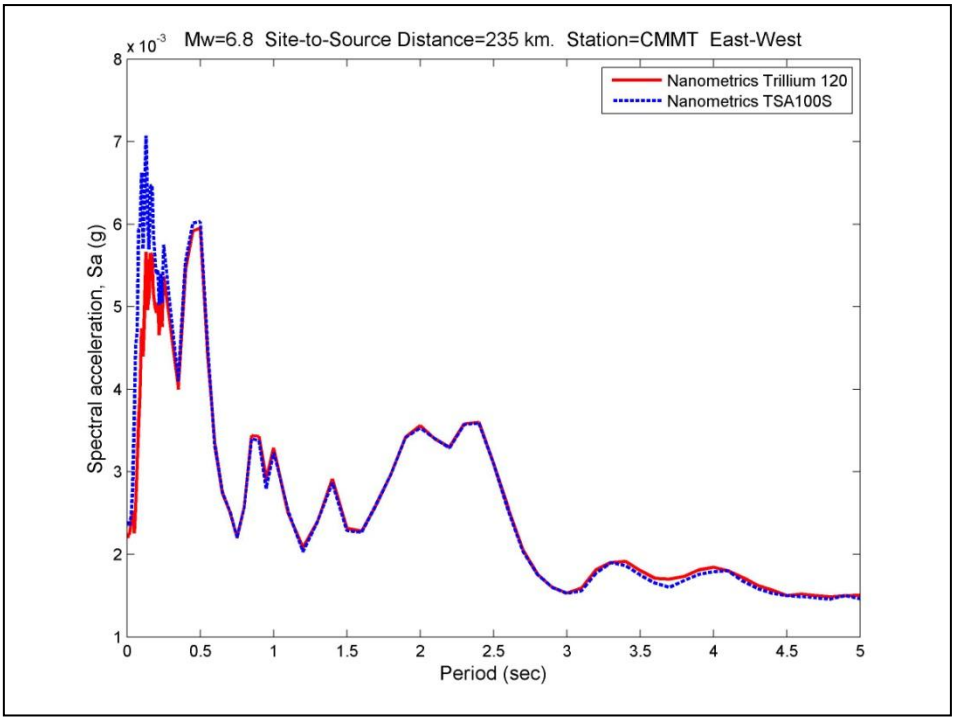


(ก) กราฟเปรียบเทียบช่วงเวลา 900 วินาที



(ข) กราฟช่วงเวลาเปรียบเทียบ 150 วินาที

รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความเร่ง ความเร็ว การกระจัดของพื้นดิน ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวัดความเร่ง และเครื่องมือวัดความเร็ว ที่สถานีเชียงใหม่ (CMMT) เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด M_w = 6.8 เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น.



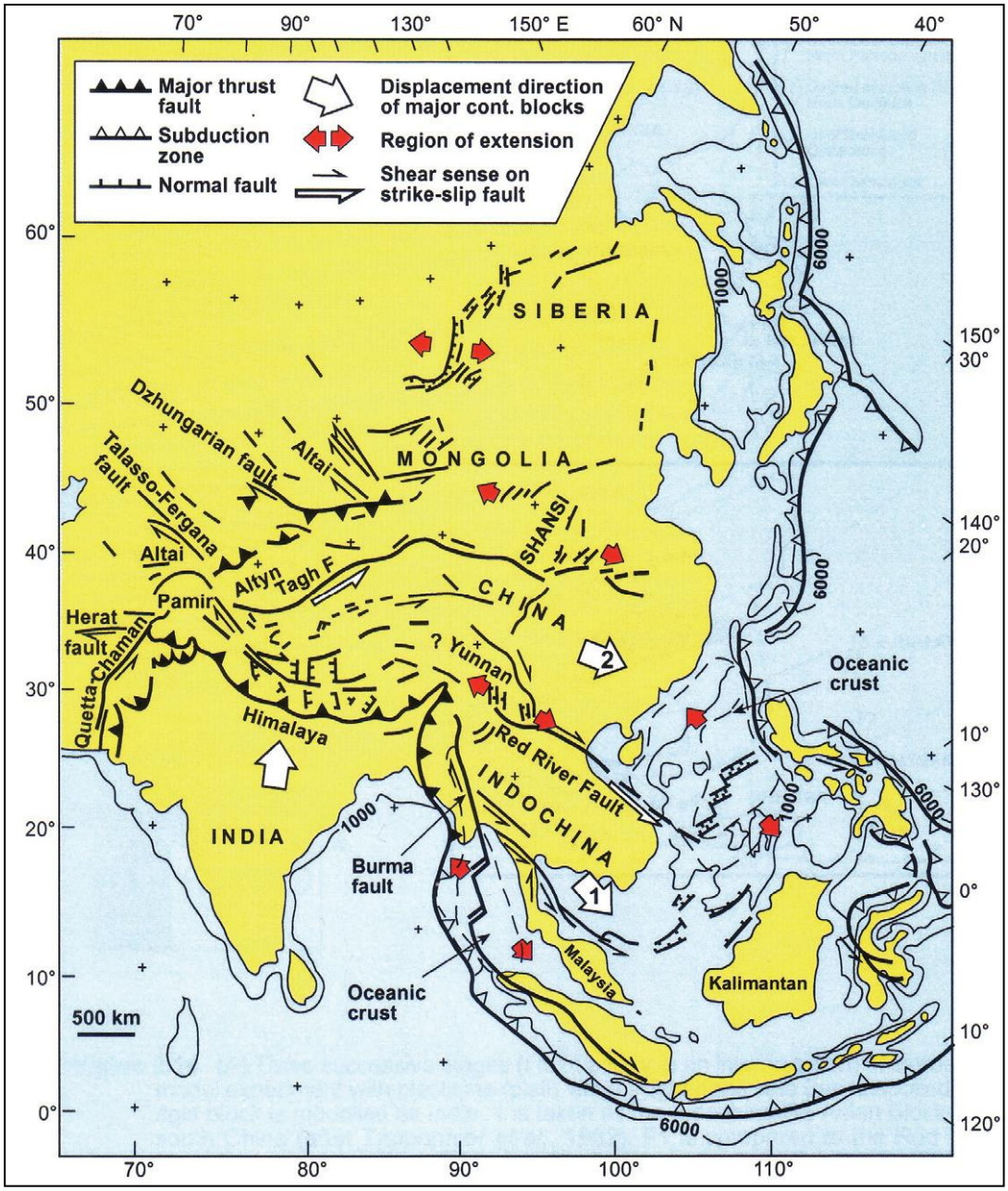
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบสเปคตรัมความเร่งเทียม ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวัดความเร่ง และเครื่องมือวัดความเร็ว ที่สถานีเชียงใหม่ (CMMT) เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด M_w = 6.8 เมื่อวันที่ 24 มีนาคม 2011 เวลา 13:55 น. ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงสถานี 235 กม.

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล

4.3.1 บริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลกของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

บริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) บริเวณแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) ซึ่งแบ่งเป็น (1.1) บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง (active tectonic regions) (1.2) บริเวณภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental regions) และ (2) บริเวณเขตหมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zones) ซึ่งบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง (active tectonic regions) เป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้งและมีระยะทางค่อนข้างใกล้กับที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแต่บริเวณเขตหมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zones) จะมีระยะทางค่อนข้างไกลซึ่งการสร้างแบบจำลองสำหรับทั้งสองบริเวณนี้นักวิจัยนิยมใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงเป็นข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองส่วนบริเวณภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental region) เป็นบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวน้อยกว่าบริเวณอื่นซึ่งการสร้างแบบจำลองสำหรับบริเวณนี้นักวิจัยมักจะใช้วิธีการจำลองคลื่นแผ่นดินไหว (simulations) ควบคู่กับการใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน

ประเทศไทยตั้งอยู่บนแผ่นยูเรเชีย รูปที่ 4.12 ใกล้รอยต่อระหว่างแผ่นยูเรเชียกับแผ่นอินเดีย – ออสเตรเลีย มีรอยเลื่อน (fault) อยู่ทางภาคตะวันตกและภาคเหนือ ส่วนใหญ่อยู่ในเขตสหภาพพม่า ทะเลอันดามัน และหมู่เกาะสุมาตรา



รูปที่ 4.12 แผนที่แสดงบริเวณการแปรสัณฐานของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
(สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่ารอยเลื่อนที่มีผลกระทบกับประเทศไทยหลักๆ แบ่งออกเป็น 3 บริเวณรอยเลื่อน

1) บริเวณรอยเลื่อนตามแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย–ออสเตรเลีย และแผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย บริเวณนี้เป็นแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย–ออสเตรเลีย ที่มุดตัวเข้าไปใน แผ่นเปลือกโลกยูเรเซีย (subduction zone) ผาดผ่านประเทศพม่า ทะเลอันดามัน และเกาะสุมาตรา ซึ่งทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ เช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหว 26 มีนาคม พ.ศ. 2547 เกิดแผ่นดินไหวขนาดโมเมนต์ 9.0 ที่เกิดบริเวณนอกชายฝั่งตะวันตกทางตอนเหนือของหมู่เกาะสุมาตรา

2) บริเวณรอยเลื่อนประเทศพม่า รอยเลื่อนสะแกงเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับขนาดใหญ่ที่มีการเลื่อนไปทางขวา (right lateral strike–slip fault) วางตัวในแนวเหนือ–ใต้ จัดเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง เช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหว 11 พฤศจิกายน พ.ศ.2555 เกิดแผ่นดินไหวขนาดโมเมนต์ 6.8 โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณประเทศพม่า

3) บริเวณรอยเลื่อนจีนตอนใต้พม่า และลาว บริเวณนี้มีรอยเลื่อนขนาดใหญ่ รอยเลื่อนแม่น้ำแดง (red river fault) ซึ่งทำให้เกิดรอยเลื่อนขนาดเล็กแตกย่อยออกเป็นจำนวนมาก หนึ่งในจำนวนนั้น คือ รอยเลื่อนน้ำมา (nam ma fault) ซึ่งทำให้เกิดแผ่นดินไหว 24 มีนาคม พ.ศ.2554 เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.8 เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip) โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณประเทศพม่าใกล้กับประเทศไทย และประเทศลาว ซึ่งอยู่ห่างจาก อ.แม่สาย ระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมากทางฝั่งประเทศพม่า และทางตอนเหนือของประเทศไทย

4.3.2 ความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดิน

ความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดินได้แก่ ความเร่งสูงสุด (Peak Ground Acceleration, PGA) ความเร็วสูงสุด (Peak Ground Velocity, PGV) การกระจัดสูงสุด (Peak Ground Displacement, PGD) และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Spectral Acceleration, SA) ค่าความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดินในแนวราบค่าที่บันทึกได้จริงที่สถานีหนึ่งๆ จะประกอบด้วยสองทิศทางในแนวราบ สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวในต่างประเทศนิยมที่จะพิจารณาค่าโดยเฉลี่ยของสองทิศทางนั้นเพราะมีสมมติฐานว่าความไม่แน่นอนมีการกระจายแบบล็อคปกติ ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (geometric mean) ของสองทิศทางเท่ากับรากที่สองของผลคูณของค่าความรุนแรงการสั่นไหวของพื้นดินในสองทิศทางนั้น

4.3.3 ขนาดของแผ่นดินไหว

ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) เกี่ยวข้องกับปริมาณของพลังงานซึ่งถูกปลดปล่อยออกมา ณ ตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหว ค่าขนาดของแผ่นดินไหวนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ขนาดของแผ่นดินไหวแต่ละครั้งจึงมีได้ค่าเดียว ค่าที่บันทึกจากเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว ไม่ได้เป็นหน่วยวัดเพื่อแสดงผลของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งการตรวจวัดขนาดแผ่นดินไหวเป็นการวัดกำลังหรือพลังงานที่ปลดปล่อยในการเกิดแผ่นดินไหว

ขนาดของแผ่นดินไหวที่ใช้วัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ขนาดท้องถิ่น (local magnitude, M_L) ขนาดคลื่นพื้นผิว (surface wave magnitude, M_s) ขนาดคลื่นในตัวกลาง (body wave magnitude, M_b) และขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) ซึ่งในการสร้างแบบจำลองการลดทอน (attenuation model) มาตราส่วนที่นิยมใช้ คือขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) เนื่องจากมาตราส่วนชนิดนี้สามารถวัดขนาดของแผ่นดินไหวที่มีระดับความรุนแรงมากได้โดยไม่เกิดสภาวะการอิ่มตัว (magnitude saturation) ซึ่งเป็นปัญหาของมาตราส่วนวัดขนาดแผ่นดินไหวชนิดอื่นที่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มาก ๆ ได้

ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, M_w) เป็นมาตราวัดขนาดของแผ่นดินไหวชนิดหนึ่งโดยขนาดโมเมนต์จะเป็นขนาดที่เกี่ยวข้องกับพลังงานศักย์ที่ปลดปล่อยออกมาเป็นพลังงานจลน์ซึ่งขึ้นอยู่กับ

พื้นที่การแตกร้าวของรอยเลื่อนและระยะการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกและค่าโมดูลัสการเฉือนของหินที่รอยเลื่อนไถลของเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$M_W = \log M_O - 10.7 \tag{4.9}$$

เมื่อ

M_W = ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude)

M_O = โมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) (ดายน์ – เซนติเมตร)

โดยโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment) มีค่าเท่ากับ

$$M_O = \mu A \bar{D} \tag{4.10}$$

เมื่อ

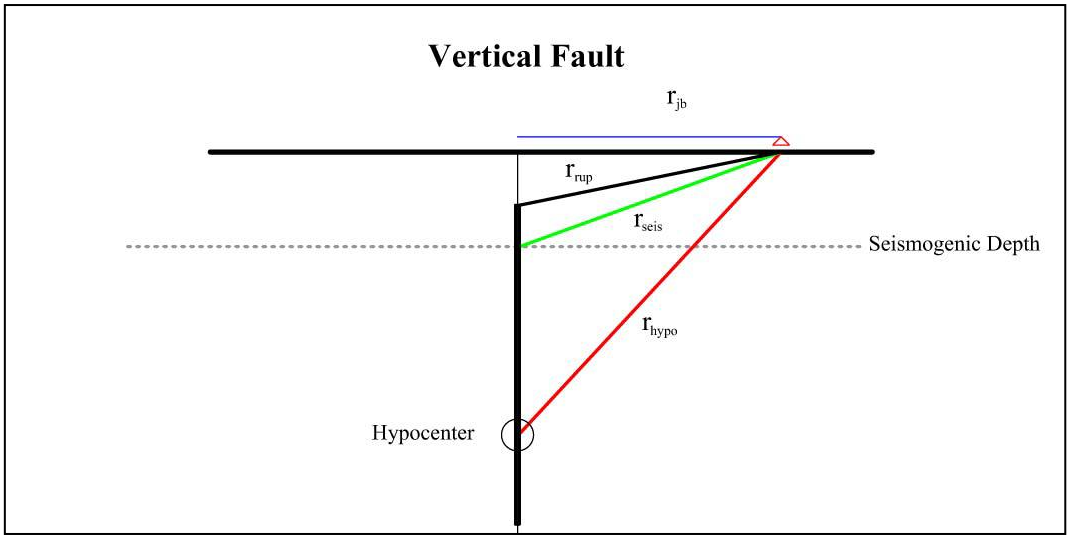
μ = กำลังการแตกร้าว (rupture strength) ของวัสดุตามแนวรอยเลื่อน (fault) (ดายน์ต่อตารางเซนติเมตร)

A = พื้นที่การแตกร้าว (rupture area) (ตารางเซนติเมตร)

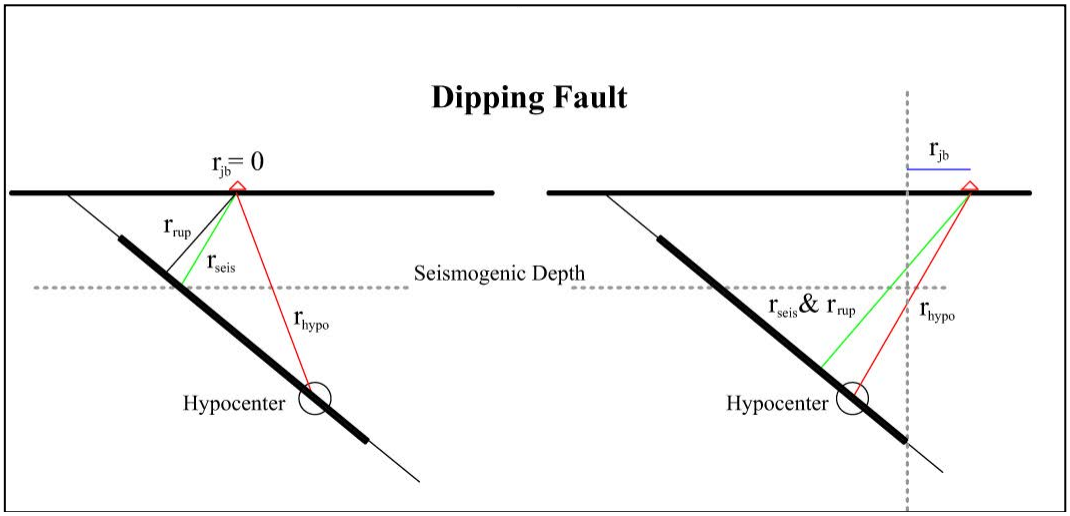
$\bar{D}$ = การกระจัดของรอยเลื่อน (เซนติเมตร)

4.3.4 ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

การวัดระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี (site-to-source distance) มีรูปแบบในการวัดหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบของระยะทางที่นักวิจัยมักนิยมใช้ในการสร้างสมการการลดทอนสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ ระยะทางที่ขึ้นอยู่กับจุดกำเนิดแผ่นดินไหวจุดเดียว และระยะทางที่ขึ้นอยู่กับการแตกร้าวของรอยเลื่อน (finite fault rupture) โดยรูปแบบของระยะทางที่ขึ้นอยู่กับจุดกำเนิดแผ่นดินไหวจุดเดียวสามารถแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ คือ ระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหว (hypocenter distance, r_{hypo}) และระยะทางจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicenter distance, r_{epi}) ซึ่งระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหวเป็นการวัดระยะจากสถานีถึงจุดเกิดแผ่นดินไหวที่เริ่มมีการแตกร้าว และระยะทางจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวเป็นการวัดระยะจากสถานีถึงภาพฉายแนวดิ่งของจุดเกิดแผ่นดินไหวบนพื้นผิวโลก ส่วนรูปแบบของระยะทางที่ขึ้นอยู่กับการแตกร้าวของรอยเลื่อน (finite fault rupture) จะประกอบด้วยรูปแบบของระยะทางดังนี้คือ ระยะทางในแนวราบที่สั้นที่สุดถึงบริเวณภาพฉายบนผิวดินของระนาบแตกร้าว (Joyner-Boore distance, r_{jb}) ระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับพื้นผิวการแตกร้าว (closest distance to the rupture surface, r_{rup}) และระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับส่วนที่ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวของระนาบแตกร้าว (closest distance to the seismogenic rupture surface, r_{seis}) ซึ่งรูปแบบของระยะทางได้แสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 รูปแบบของระยะทางกับรอยเลื่อนตั้งฉาก
(Abrahamson and Shedlock, 1997)



รูปที่ 4.14 รูปแบบของระยะทางกับรอยเลื่อนเฉียง
(Abrahamson and Shedlock, 1997)

ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นระยะทางจากจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicentral distance) ซึ่งหมายถึงระยะที่สั้นที่สุดตามผิวโค้งของโลกที่ระดับน้ำทะเลระหว่างจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (epicenter) กับสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งในการคำนวณระยะทางจากจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดใช้สูตรระยะทางของวงกลมใหญ่ (great circle distance formula) ซึ่งเมื่อทราบค่าละติจูดและลองจิจูดของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว และสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว สามารถหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุดบนผิวโลก จากสมการที่ 4.11

$$d = \left\{ \cos^{-1} \left[\sin(A) \cdot \sin(B) + \cos(A) \cdot \cos(B) \cdot \cos\left(\left| \Delta_{long} \right| \right) \right] \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 111.23\, km \qquad (4.11)$$

โดยที่

d	=	ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)
A	=	ละติจูดของสถานี
B	=	ละติจูดของจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว
Δ_{long}	=	(ลองจิจูดของสถานี – ลองจิจูดของจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว)
111.23 km	=	ความยาวบนผิวโลกของมุมลองจิจูดหนึ่งองศา ณ เส้นศูนย์สูตร

4.3.5 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจำเป็นต้องพิจารณาความแตกต่างของประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่เดินทางมาถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวมีระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันโดยมีสาเหตุมาจากประเภทชั้นดิน ซึ่งในการแยกประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวของแต่ละสถานีขึ้นอยู่กับความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร

การแบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวควรจะใช้ข้อมูลสำรวจดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว แต่เนื่องจากในเบื้องต้นยังไม่มีข้อมูลดังกล่าว จึงอ้างอิงข้อมูลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินของบริเวณใกล้เคียงเป็นตัวแทนข้อมูลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินของแต่ละสถานี ซึ่งข้อมูลการขุดเจาะสำรวจชั้นดินได้จากเว็บไซต์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย ซึ่งมีข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินทั่วประเทศไทย และในการศึกษานี้ได้แบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวออกเป็นสองประเภทคือ สถานีที่ตั้งอยู่บนหิน (rock site) และสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน (soil site)

ข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินจะใช้ประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร (shear wave velocity, Vs_{30}) ในแต่ละชั้นดินโดยใช้สมการเชิงประสบการณ์ (empirical equations) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า N-values ของการทดสอบการทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) กับความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, Vs_{30}) ซึ่งการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, Vs_{30}) สำหรับชั้นดินทรายได้ใช้สมการดังนี้

Dickenson (1994) : $$V_S = 88.392(N+1)^{0.3} \quad (4.12)$$

Seed, Idriss and Arango (1983) : $$V_S = 56.388N^{0.5} \quad (4.13)$$

Sykora and Stokoe (1983) : $$V_S = 100.583N^{-0.29} \quad (4.14)$$

สำหรับการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, Vs_{30}) สำหรับชั้นดินเหนียวได้ใช้สมการดังต่อไปนี้

Imai and Tonouchi (1982) : $$V_S = 96.926N^{-0.314} \quad (4.15)$$

Ohsaki and Iwasaki (1973) : $$V_S = 81.686N^{-0.39} \quad (4.16)$$

Ohta and Goto (1978) : $$V_S = 85.344N^{-0.341} \quad (4.17)$$

โดยที่

V_S = ความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity, Vs_{30}) (เมตร/วินาที)

N = ค่า blow count ที่นับได้จากการทดสอบการทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) (ครั้ง/ฟุต)

การประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนในบริเวณที่มีสภาพดินเป็นดินเหนียวอ่อนซึ่งได้แก่ บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ค่าพารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนต้องเปลี่ยนไป เนื่องจากไม่สามารถหาค่า blow count ของการทดสอบการทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) ได้ จึงประมาณค่าความเร็วคลื่นเฉือนโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือนกับกำลังเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำโดยใช้สมการที่ 4.18

Dickenson (1994) : $$V_S = 68.7 S_u^{0.475} \quad (4.18)$$

โดยที่

V_S = ความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity,) (เมตร/วินาที)

S_u = ค่า undrained shear strength (ตัน/ตารางเมตร)

การแบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีได้แบ่งตามเกณฑ์ของ International Building Code (IBC) แสดงในตารางที่ 4.10 โดยใช้ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดินได้แสดงในสมการที่ 4.19

$$Vs_{30} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (4.19)$$

โดยที่

Vs_{30} = ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (เมตร/วินาที

n = จำนวนชั้นดินในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน

d_i = ความหนาของชั้นดิน *i* (เมตร)

V_{si} = ความเร็วคลื่นเฉือนในชั้นดิน *i* (เมตร/วินาที)

ตารางที่ 4.10 การแบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตามเกณฑ์ของ International Building Code (2003)

Site Class	Soil Type	Average Shear Wave Velocity (m/s)
A	หินแข็ง	$Vs_{30} > 1500$
B	หิน	$760 < Vs_{30} \leq 1500$
C	ดินแน่นมากและหินผุ	$360 < Vs_{30} \leq 760$
D	ดินแข็ง	$180 < Vs_{30} \leq 360$
E	ดินอ่อน	$Vs_{30} < 180$

การศึกษานี้ได้แบ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวออกเป็นสองประเภท คือ สถานีที่ตั้งอยู่บนหิน (rock site) โดยมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยมากกว่า 360 m/s และสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน (soil site) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยน้อยกว่าเท่ากับ 360 m/s ซึ่งประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวและค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย (average shear wave velocity, Vs_{30}) ของสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวในระบบเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ได้อ้างอิงจากการศึกษาของ วิษณุ หัตถา (2551) ได้แสดงในตารางที่ 4.11 ถึง ตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.11 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวหลักระบบใหม่ระยะที่ 1 (วิษณุ หัตถา, 2551)

Code	Station	Soil type	Average shear wave velocity Vs30 (m/s)
Soil site ($Vs_{30} \leq 360$)			
KRDT	นครราชสีมา	ดินแข็ง	348
SKNT	สกลนคร	ดินแข็ง	254
PBKT	เพชรบูรณ์	ดินแข็ง	245
UBPT	อุบลราชธานี	ดินแข็ง	294
MHMT	แม่สะเรียง	ดินแข็ง	361*
SURT	สุราษฎร์ธานี	ดินแข็ง	290
TRTT	ตรัง	ดินแข็ง	340
PKDT	ภูเก็ต	ดินแข็ง	215
SKLT	สงขลา	ดินแข็ง	340
Rock site ($Vs_{30} > 360$)			
KHLT	เขื่อนเขาแหลม	ดินแน่นมากและหิน	387
SRDT	กาญจนบุรี	ดินแน่นมากและหิน	387
CHBT	จันทบุรี	ดินแน่นมากและหิน	487
CMMT	เชียงใหม่	หิน	-
MHIT	แม่ฮ่องสอน	ดินแน่นมากและหิน	379
RNTT	ระนอง	ดินแน่นมากและหิน	417

*จากผลการทดสอบแบบหลุมเจาะ

ตารางที่ 4.12 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวหลักระบบใหม่ระยะที่ 2 (วิษณุ หัตถา, 2551)

Code	Station	Soil type	Average shear wave velocity Vs30 (m/s)
Soil site ($Vs_{30} \leq 360$)			
PHIT	เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก	ดินแข็ง	254
SUKH	อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพร่ จ.สุโขทัย	ดินแข็ง	321
UTTA	เขื่อนสิริกิติ์ จ.อุตรดิตถ์	ดินแข็ง	278
UMPA	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุ้มผาง จ.ตาก	ดินแข็ง	307
UTHA	เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี	ดินแข็ง	249
PATY	สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา จ.ชลบุรี	ดินแข็ง	300
CHAI	อ่างเก็บน้ำช่อระกา จ.ชัยภูมิ	ดินแข็ง	338
KHON	สถานีอากาศเกษตรท่าพระ	ดินแข็ง	281
SURI	อ่างเก็บน้ำอำปึม จ.สุรินทร์	ดินแข็ง	312
CMAI	สถานีอุตุนิยมวิทยาดอยอ่างขาง	ดินแข็ง	351
SRIT	อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง	ดินแข็ง	270
SURA	ฝายเก็บน้ำท่าทอง	ดินแข็ง	254
NONG	อ่างเก็บน้ำห้วยเปลวเหงือก	ดินแข็ง	266
PANO	อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ.นครพนม	ดินแข็ง	296
NAYO	อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน	ดินแข็ง	258
LOEI	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ.เลย	ดินแข็ง	355
Rock site ($Vs_{30} > 360$)			
NAN	ฝายน้ำกอน จ.น่าน	ดินแน่นมากและหินผุ	454
PHET	อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน	ดินแน่นมากและหินผุ	382
SRAK	อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ.สระแก้ว	ดินแน่นมากและหินผุ	395
KRAB	อ่างเก็บน้ำบางกำปรัด จ.กระบี่	ดินแน่นมากและหินผุ	540
CRAI	อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่	ดินแน่นมากและหินผุ	362
PRAC	อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย	ดินแน่นมากและหินผุ	387
LAMP	เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง	ดินแน่นมากและหินผุ	458*
PAYA	อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา	ดินแน่นมากและหินผุ	443*

*จากผลการทดสอบแบบหลุมเจาะ

ตารางที่ 4.13 ประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดเฉพาะความเร่งของพื้นดินระบบใหม่ระยะที่ 1 และ 2 (วิษณุ หัตถา, 2551)

Code	Station	Soil type	Average shear wave velocity Vs30 (m/s)
Soil site ($Vs_{30} \leq 360$)			
BKKA	สถานีกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา	ดินอ่อน	139
SPBA	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุพรรณบุรี	ดินแข็ง	291
CHLA	สถานีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ดินอ่อน	160
PTNA	สถานีอุตุนิยมวิทยาปทุมธานี	ดินอ่อน	161
MSAA	ที่ว่าการอำเภอแม่สาย จ.เชียงราย	ดินแข็ง	330*
Rock site ($Vs_{30} > 360$)			
KCBA	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี	ดินแน่นมากและหิน	368
CMCA	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ	ดินแน่นมากและหิน	392

*จากผลการทดสอบแบบหลุมเจาะ

4.3.6 กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก

การเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละครั้งจะมีรูปแบบการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกที่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างของรูปแบบการเลื่อนจะมีผลต่อระดับความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวและการแบ่งแยกเหตุการณ์แผ่นดินไหว ดังนั้นในการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวควรที่จะต้องมีการแยกรูปแบบกลไกการเลื่อน (fault mechanism) ของแผ่นเปลือกโลก โดยการจำแนกจะใช้มุมลาดเอียง (slip or rake, λ) และมุมแนวระดับ (strike) เป็นเครื่องมือในการแยกประเภท ซึ่งมุมลาดเอียงคือมุมระหว่างทิศทางการเลื่อนบนระนาบรอยเลื่อนและมุมแนวระดับคือมุมที่แสดงทิศทางการเลื่อนเทียบกับทิศเหนือ ซึ่งรูปแบบของรอยเลื่อนจำแนกเป็น 3 ประเภท (1) รอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) , (2) รอยเลื่อนตามแนวมุมเท (dip-slip fault) แบ่งได้เป็น (2.1) normal fault กับ (2.2) reverse fault และ (3) รอยเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) แบ่งได้เป็น (3.1) normal oblique fault กับ (3.2) reverse oblique fault ซึ่งการศึกษานี้จะรวมกลุ่มของ normal fault กับ normal oblique fault และ กลุ่มของ reverse fault กับ reverse oblique fault เป็นกลุ่มเดียวกันโดยกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกอ้างอิงการจำแนกตาม Idriss (2008) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 รูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก (Idriss, 2008)

Fault Mechanism	Rake Angle (degrees)		
Strike slip	-180	< Rake <	-150
	-30	< Rake <	30
	150	< Rake <	180
Normal	-120	< Rake <	-60
Reverse	60	< Rake <	120
Reverse Oblique	30	< Rake <	60
	120	< Rake <	150
Normal Oblique	-150	< Rake <	-120
	-60	< Rake <	-30

4.4 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

4.4.1 ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว

การรวบรวมข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 แล้วนำไปรวบรวมกับข้อมูลเก่าตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งหมด 189 เหตุการณ์ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ (1) ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง วันที่ พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ได้พิจารณาแผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิกัดละติจูด -8 ถึง 32 องศาเหนือ และลองจิจูด 90 ถึง 110 องศาตะวันออก โดยมีขนาดโมเมนต์ตั้งแต่ 4.8 ถึง 8.5 ได้มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งหมด 72 เหตุการณ์ และ (2) ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ได้พิจารณาแผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิกัดละติจูด 0 ถึง 25 องศาเหนือ และลองจิจูด 90 ถึง 110 องศาตะวันออก โดยมีขนาดโมเมนต์ตั้งแต่ 4.3 ถึง 8.6 ได้มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งหมด 117 เหตุการณ์ ซึ่งข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

การแบ่งแยกเหตุการณ์แผ่นดินไหวตามบริเวณการแปรสัณฐานขอบเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกของการศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ

1) ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหว (event location)

ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหว สามารถบ่งบอกบริเวณการแปรสัณฐานได้ในเบื้องต้น ถ้าเหตุการณ์เกิดบริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกที่มุดตัวเข้าหากัน สันนิษฐานว่าเป็นบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก และถ้าเหตุการณ์เกิดบริเวณรอยเลื่อนตามแนวระดับสันนิษฐานว่าเป็นแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก

2) ความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหว (focal depth)

การแบ่งแยกเหตุการณ์แผ่นดินไหวตามบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก อ้างอิงตาม Atkinson และ Boore (2003) โดยที่ความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหวน้อยกว่า 50 กิโลเมตร จัดเป็นแผ่นดินไหวเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ประเภทเหตุการณ์ที่ผิวหน้า (interface events) และถ้าความลึกของเหตุการณ์แผ่นดินไหวมากกว่า 50 กิโลเมตร จัดเป็นประเภทเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกด้วย

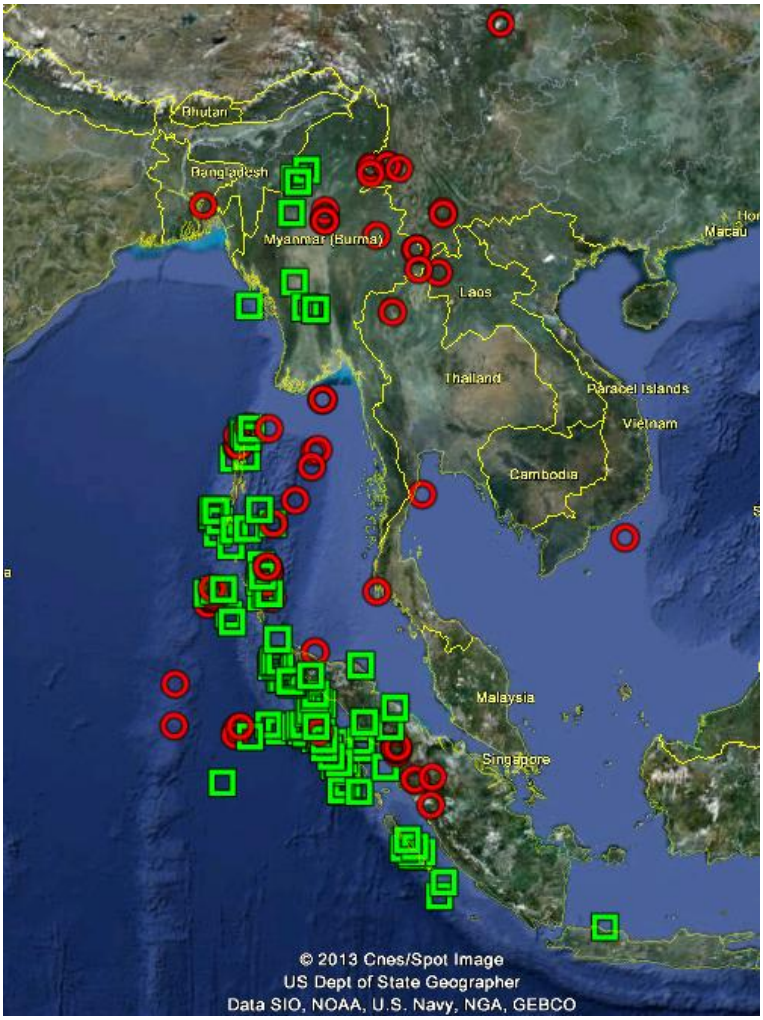
3) กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก (focal mechanism)

กลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก อ้างอิงตาม Atkinson และ Boore (2003) โดยที่

3.1) เหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกแล้วเป็นรอยเลื่อนประเภทการเลื่อนปกติ (normal fault) จัดเป็นเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

3.2) ที่ความลึกน้อยกว่า 50 กิโลเมตร เป็นรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) จัดเป็นเหตุการณ์ที่ผิวหน้า (interface events)

การจัดกลุ่มข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวตามบริเวณการแปรสัณฐานแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ แผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) ซึ่งมีเหตุการณ์แผ่นดินไหว 70 เหตุการณ์ และแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction earthquakes) มีเหตุการณ์แผ่นดินไหว 119 เหตุการณ์ แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา (สีแดง = เหตุการณ์แผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก, สีเขียว = เหตุการณ์แผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก)

4.4.2 ข้อมูลบันทึกการสั่นไหวของพื้นดิน

ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินในการศึกษานี้มีข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมด 1335 บันทึก โดยช่วงเวลา ตุลามคม พ.ศ. 2549 ถึง วันที่ พฤษภาคม พ.ศ. 2551 มีข้อมูลการสั่นไหวของแผ่นดินทั้งหมด 389 บันทึกและช่วงเวลา มิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 มีข้อมูลการสั่นไหวของแผ่นดินทั้งหมด 946 บันทึกโดยแบ่งกลุ่มข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่มีแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) มีข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมด 560 บันทึก และแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction earthquakes) มีข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินทั้งหมด 775 บันทึก ซึ่งในแต่ละบริเวณได้จัดกลุ่มข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินตามลักษณะชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวที่ตั้งอยู่บนหิน (rock site) และที่ตั้งอยู่บนดิน (soil site) ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 จำนวนข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่แบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานและลักษณะชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

Seismic source EQ	Site category		Total
	Rock	Soil	
Shallow crustal earthquake	205	355	560
Subduction earthquake	276	499	775
Total	481	854	1335

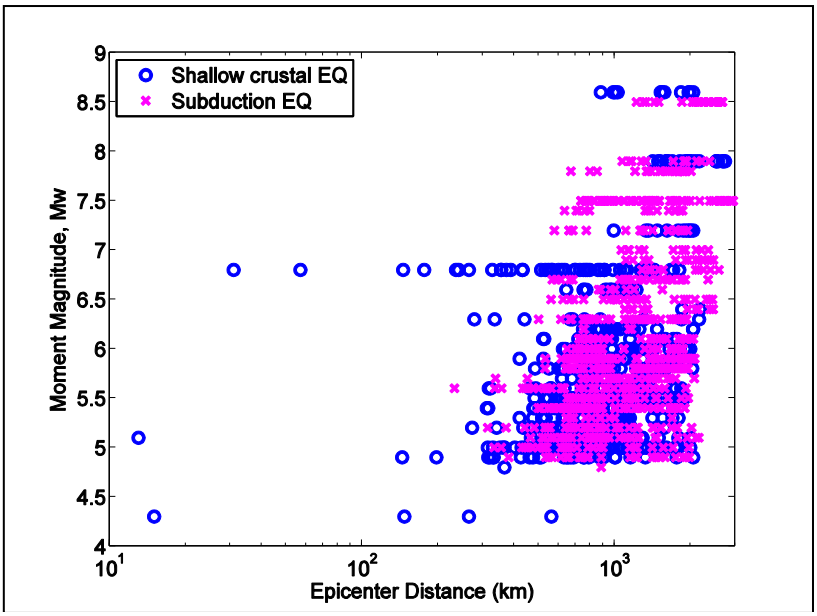
ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยโดยมีการกระจายตามขนาดโมเมนต์และระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานและประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัดได้แสดงในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัด มีระยะทางตั้งแต่ 13 ถึง 2,948 กิโลเมตร และมีขนาดโมเมนต์ระหว่าง 4.3 ถึง 8.6 ซึ่งแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมีระยะทางค่อนข้างไกลจากสถานีตรวจวัด ส่วนข้อมูลที่มีระยะทางใกล้ในช่วง 500 กิโลเมตร เป็นข้อมูลที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศและประเทศเพื่อนบ้านทางภาคเหนือของประเทศไทยโดยมีขนาดโมเมนต์น้อยกว่า 7 รูปที่ 4.18 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานรูปที่ 4.19 ถึง 4.22 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน และการกระจัดสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด

รูปที่ 4.23 ถึง รูปที่ 4.26 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัด โดยแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐาน ประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัดและขนาดโมเมนต์ซึ่งสังเกตได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบ่งชั้นตามขนาดโมเมนต์อย่างเห็นได้ชัดแสดงว่าขนาดโมเมนต์เป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการประมาณความรุนแรงการสั่นไหว

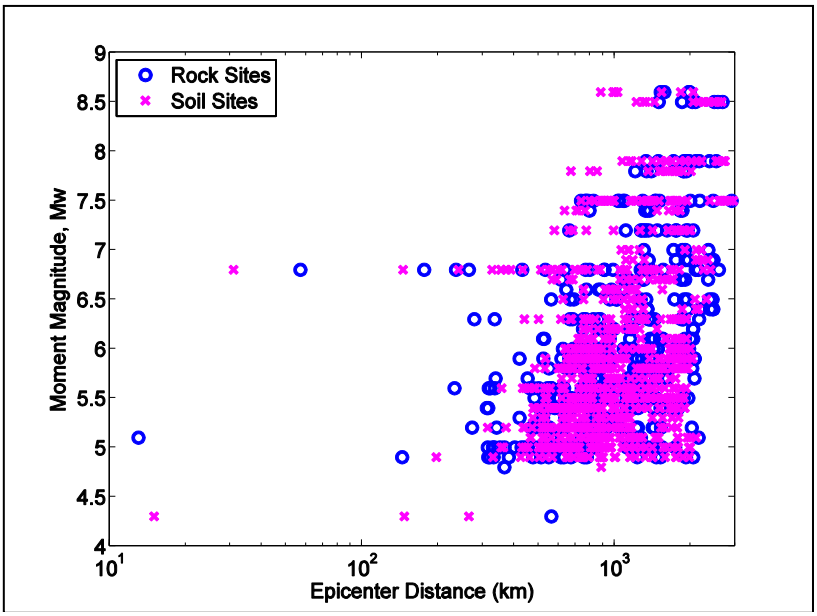
รูปที่ 4.27 ถึง 4.34 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัด สำหรับบริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก โดยแบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด ขนาดโมเมนต์ และรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกซึ่งพบว่าตัวแปรรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก สำหรับบริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลกยังขาดข้อมูลอีกเป็นจำนวนมากเพื่อบ่งชี้ความแตกต่างของรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกระหว่างรอยเลื่อนแนวระดับ (strike slip fault) รอยเลื่อนปกติ (normal fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ดังนั้นการศึกษานี้จึงรวมรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกทั้ง 3 รูปแบบ สำหรับสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก

รูปที่ 4.35 ถึง 4.42 แสดงการกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัด สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยแบ่งตามประเภท

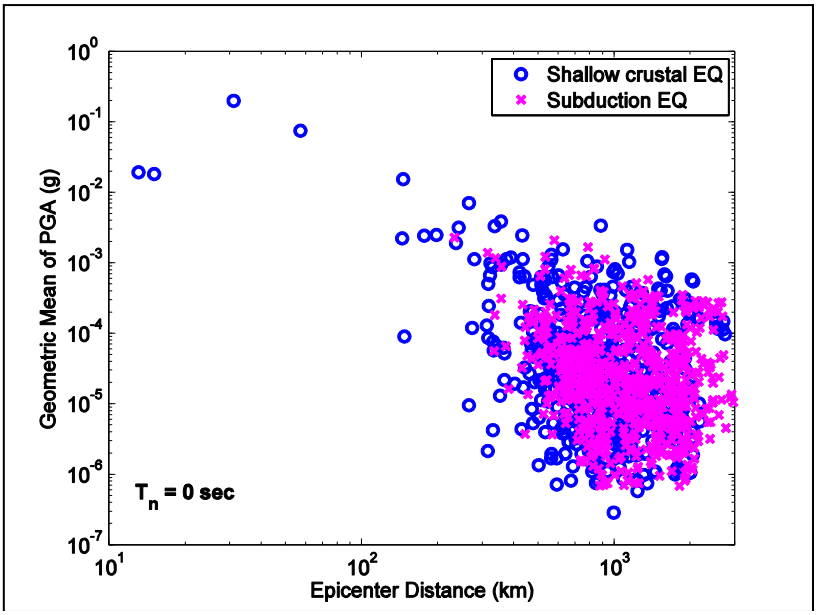
ชั้นดินของสถานีตรวจวัด ขนาดโมเมนต์ และรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลกข้อมูลยังมีการกระจายเพื่อบ่งชี้ความแตกต่างที่ยังไม่ชัดเจน และยังขาดข้อมูลเหตุการณ์ภายในแผ่น (intra slab) ที่ขนาดโมเมนต์เท่ากับ 8 ดังนั้นการศึกษานี้จึงรวมรูปแบบเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น ทั้ง 2 รูปแบบ สำหรับสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก



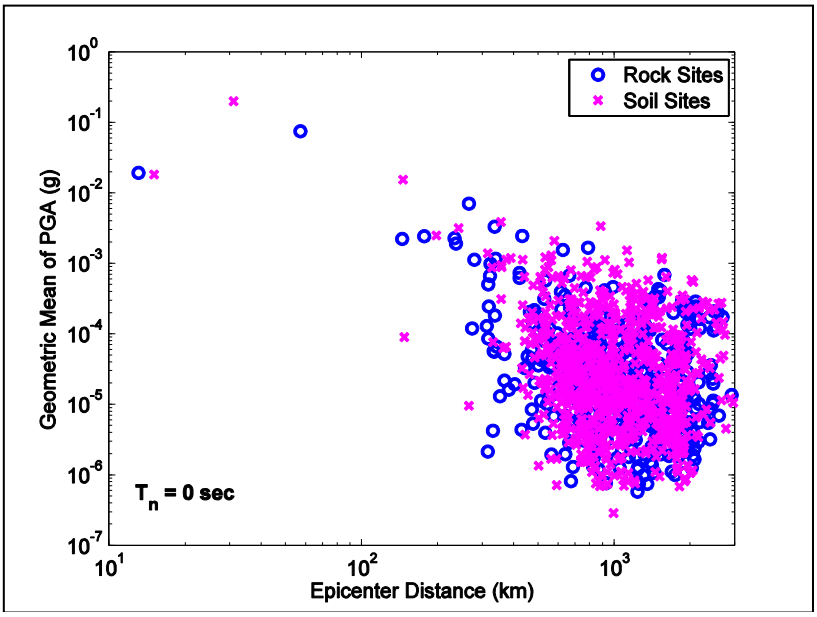
รูปที่ 4.16 การกระจายของข้อมูลที่บันทึกได้ตามขนาดโมเมนต์กับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี แบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลก



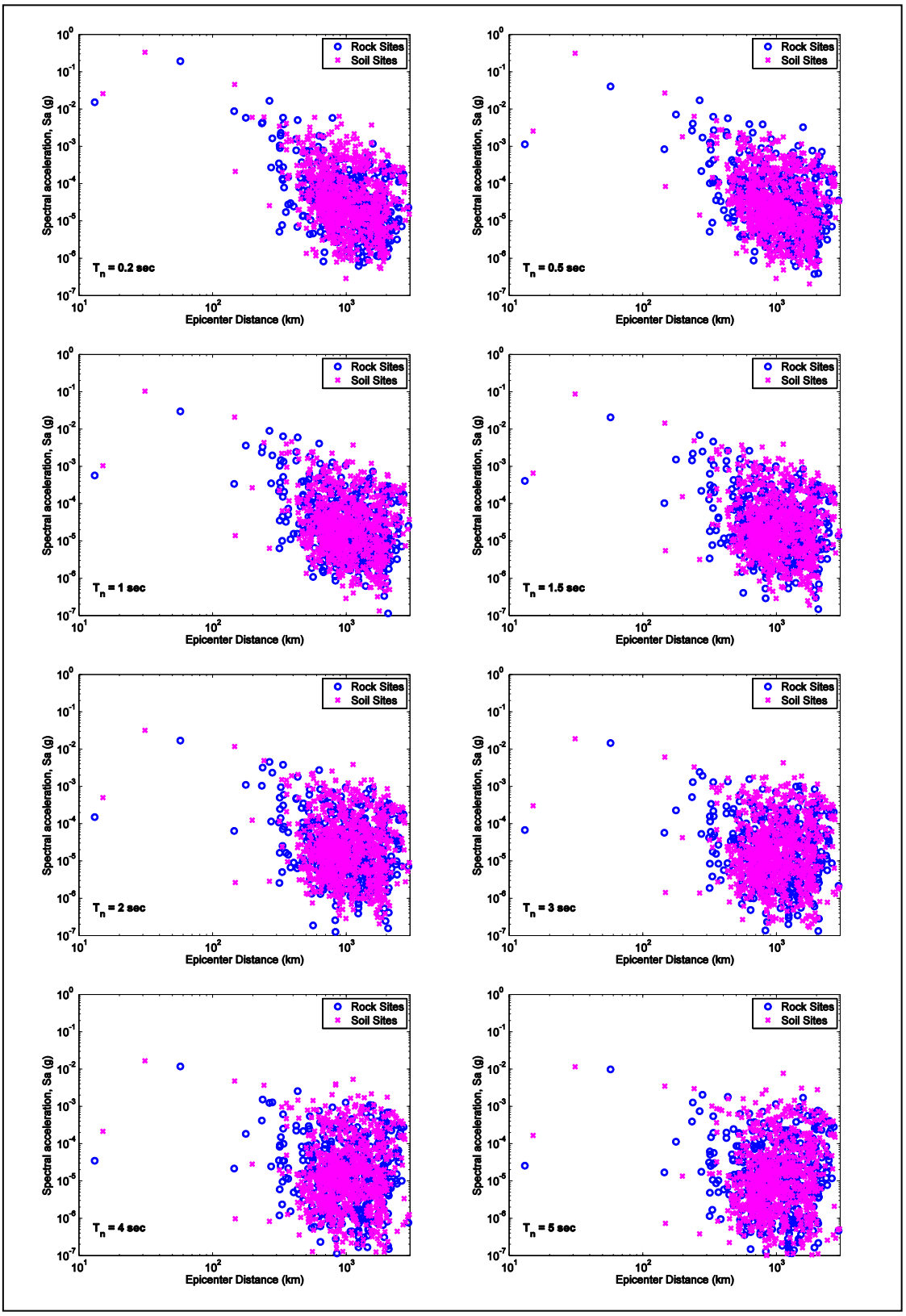
รูปที่ 4.17 การกระจายของข้อมูลที่บันทึกได้ตามขนาดโมเมนต์กับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานี แบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด



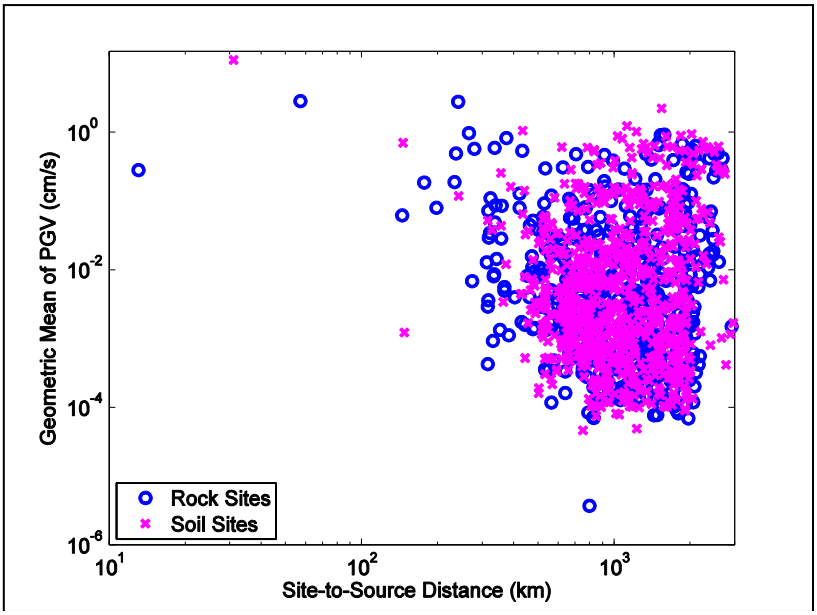
รูปที่ 4.18 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามบริเวณการแปรสัณฐานของเปลือกโลก



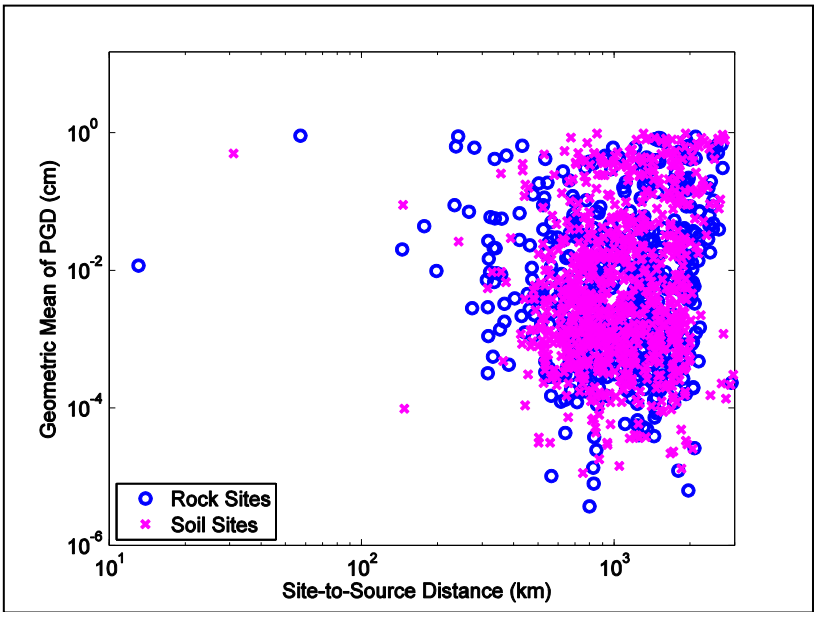
รูปที่ 4.19 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดแบ่งตามประเภทชั้นดินของสถานีตรวจวัด



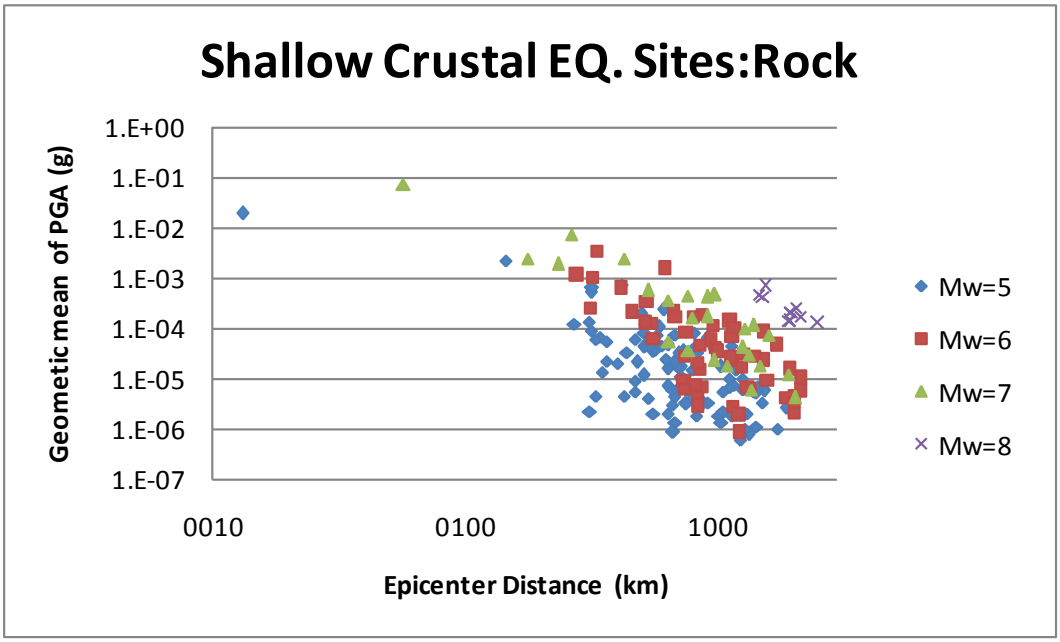
รูปที่ 4.20 การกระจายของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด



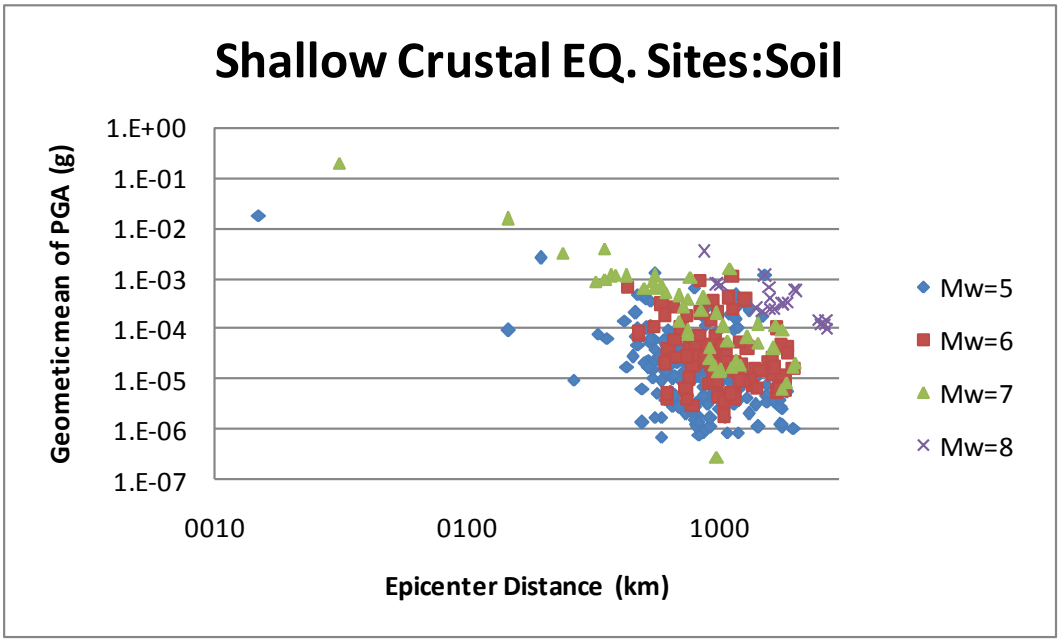
รูปที่ 4.21 การกระจายของข้อมูลความเร็วสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด



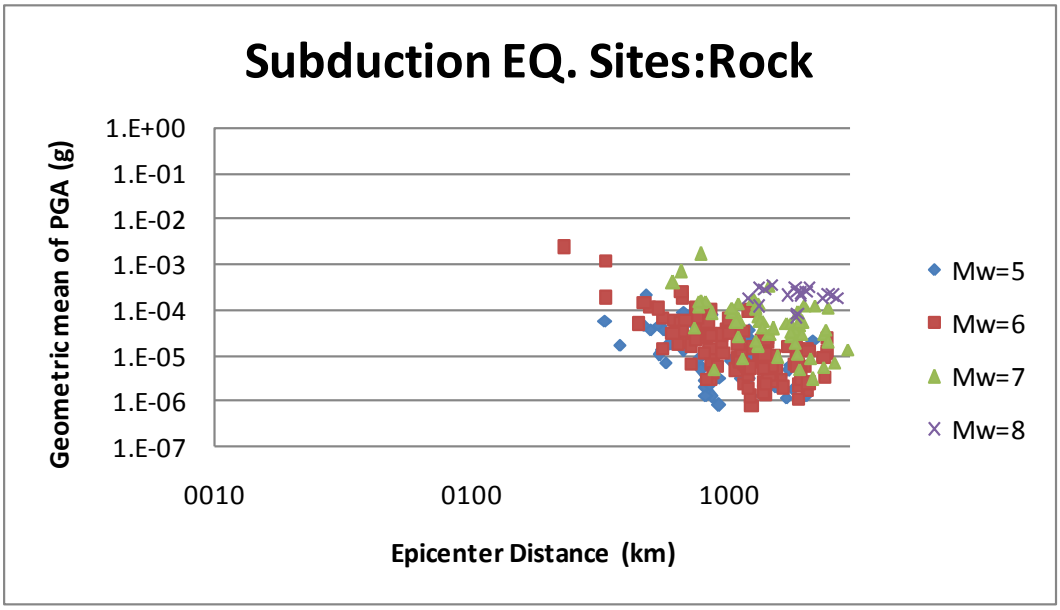
รูปที่ 4.22 การกระจายของข้อมูลการกระจัดสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด



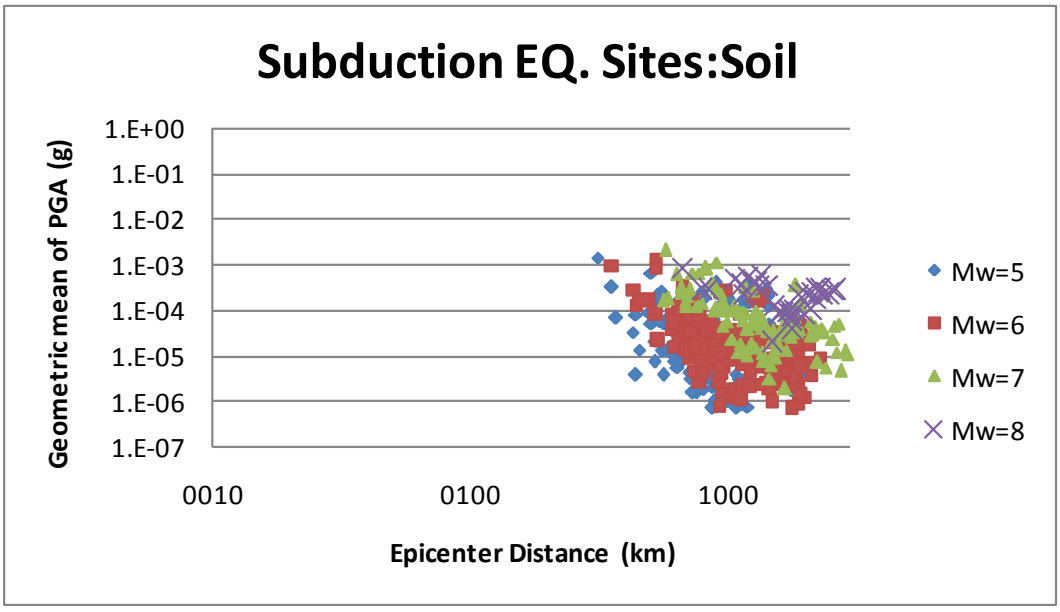
รูปที่ 4.23 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้น สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



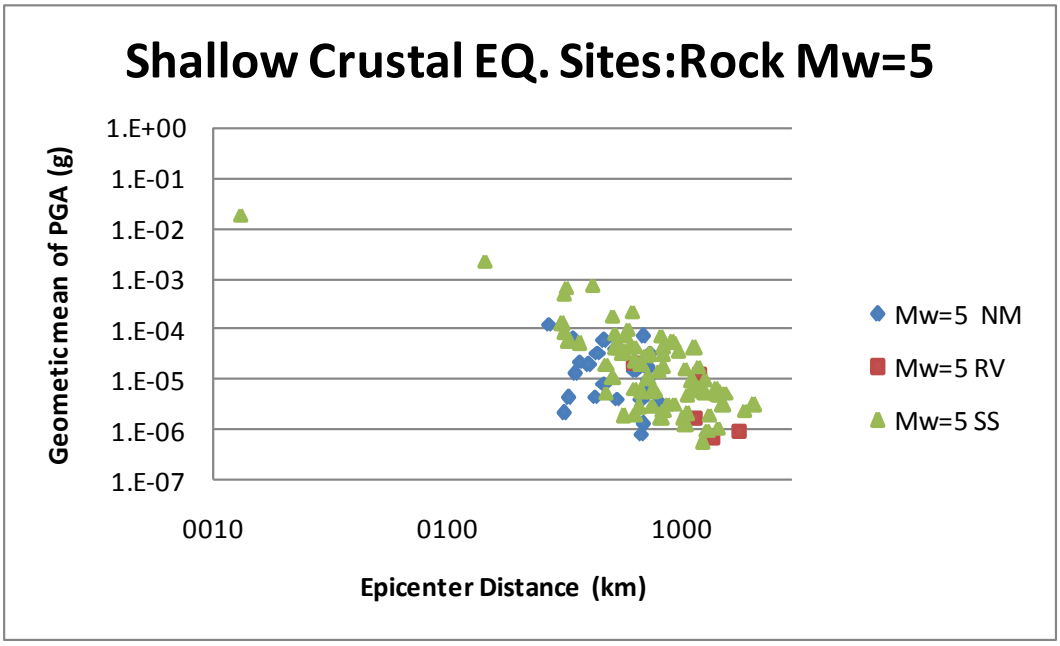
รูปที่ 4.24 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดบริเวณแผ่นดินไหวตื้น สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



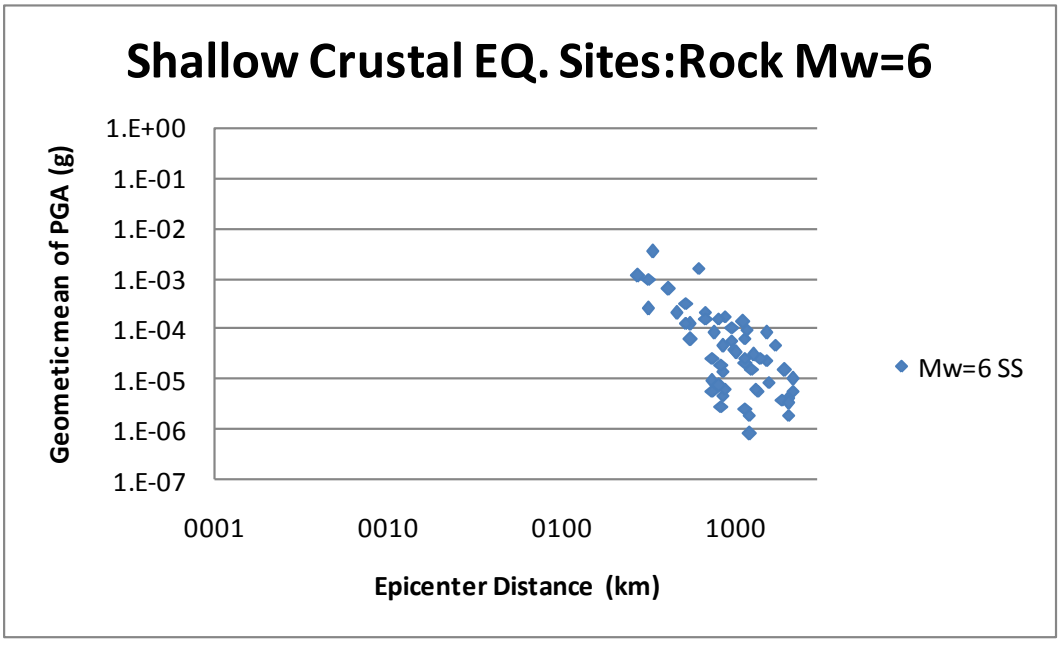
รูปที่ 4.25 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



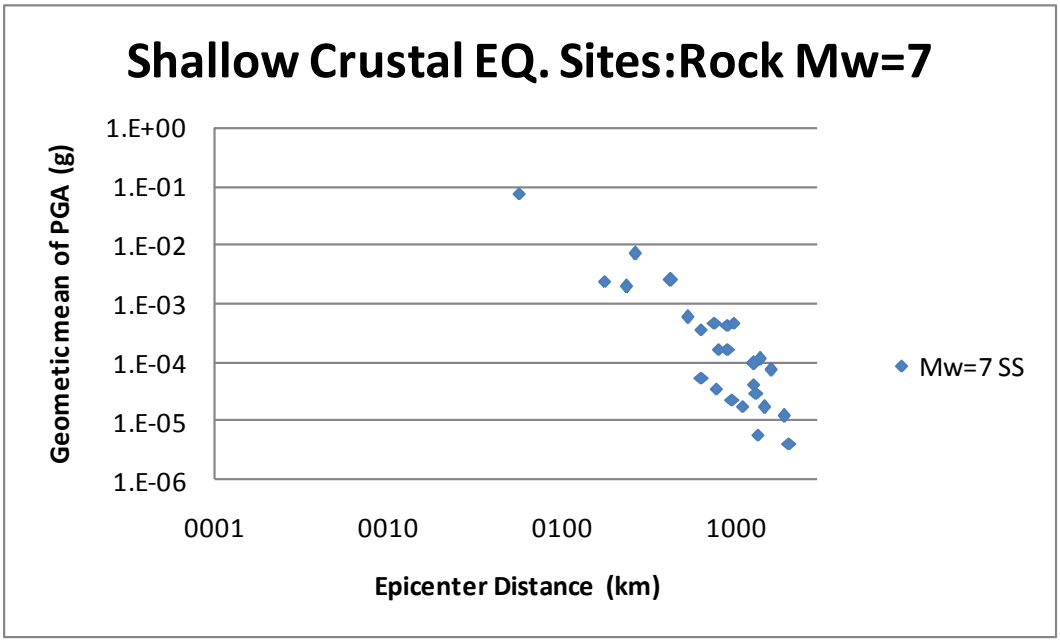
รูปที่ 4.26 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน แบ่งตามขนาดโมเมนต์



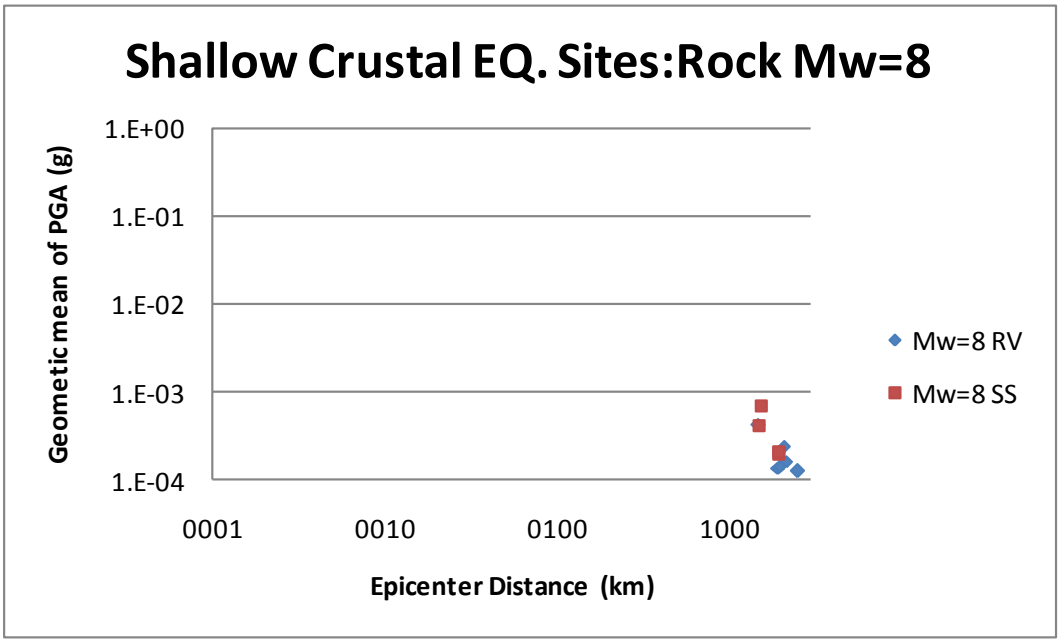
รูปที่ 4.27 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



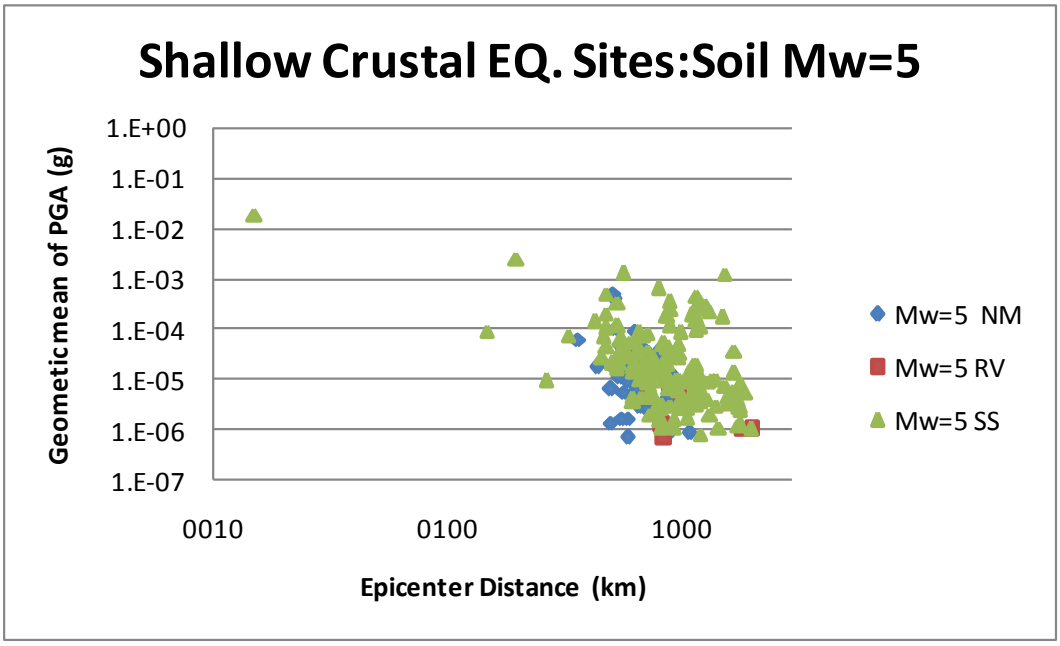
รูปที่ 4.28 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



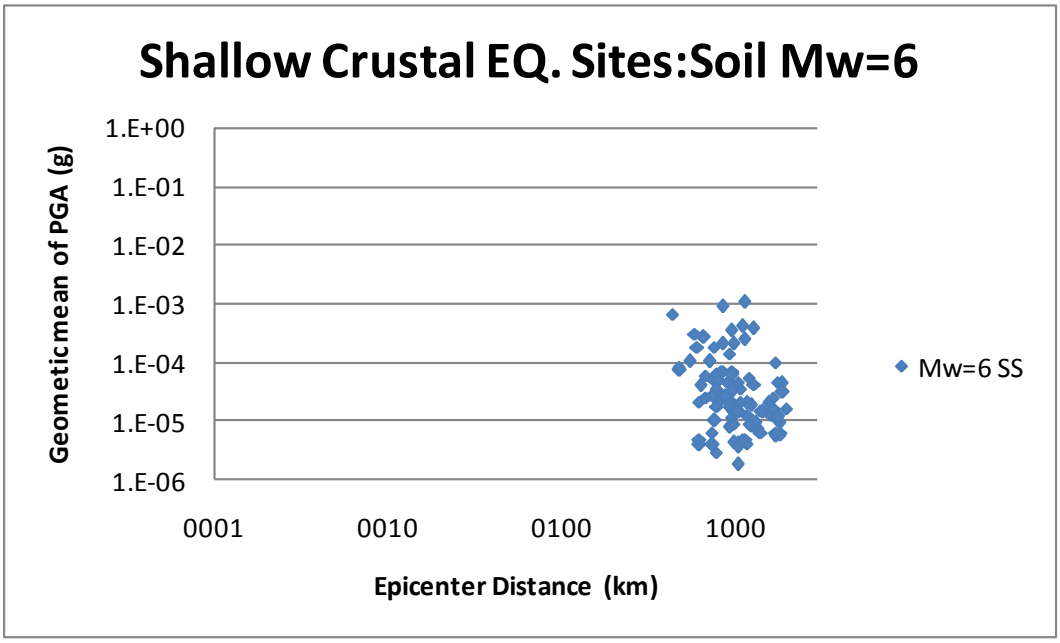
รูปที่ 4.29 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



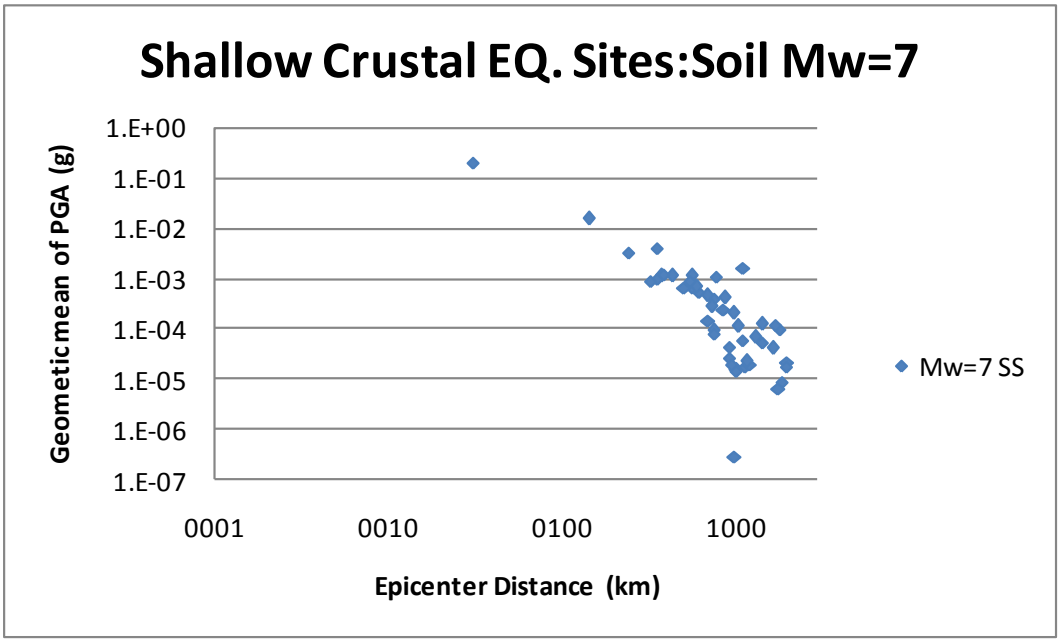
รูปที่ 4.30 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



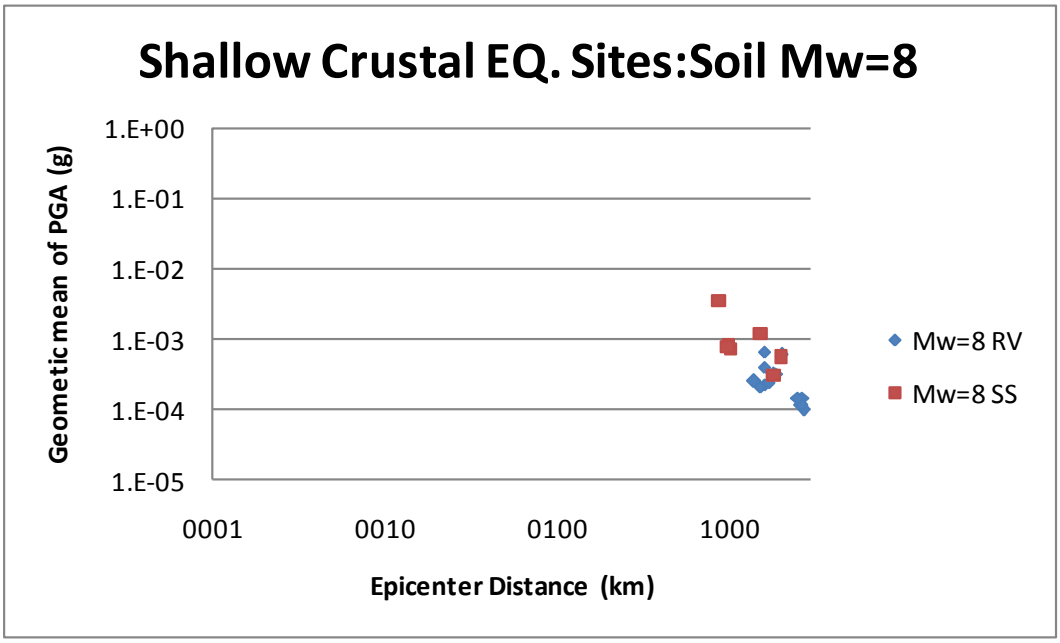
รูปที่ 4.31 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



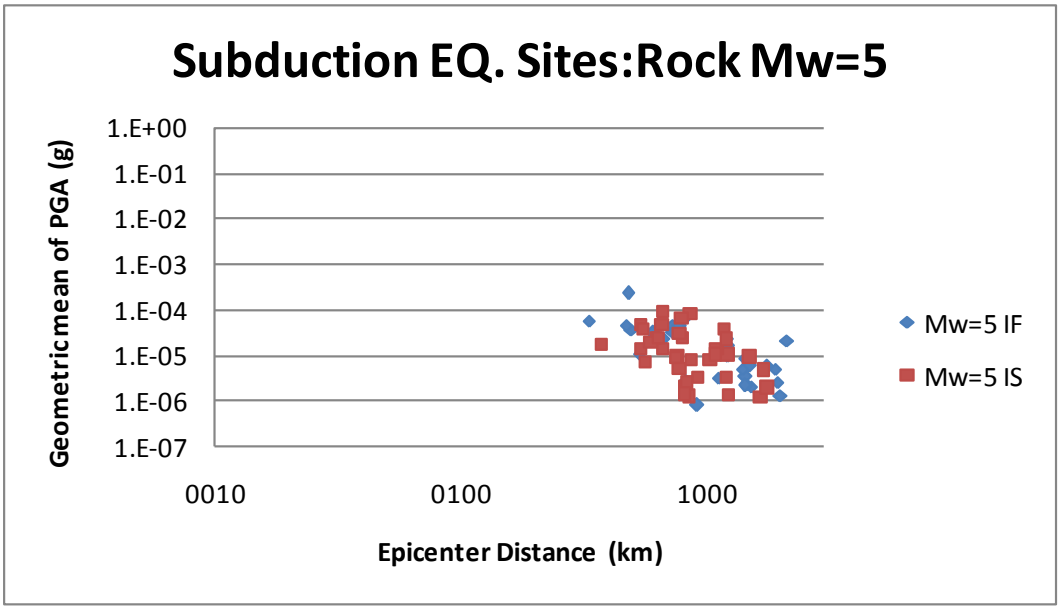
รูปที่ 4.32 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



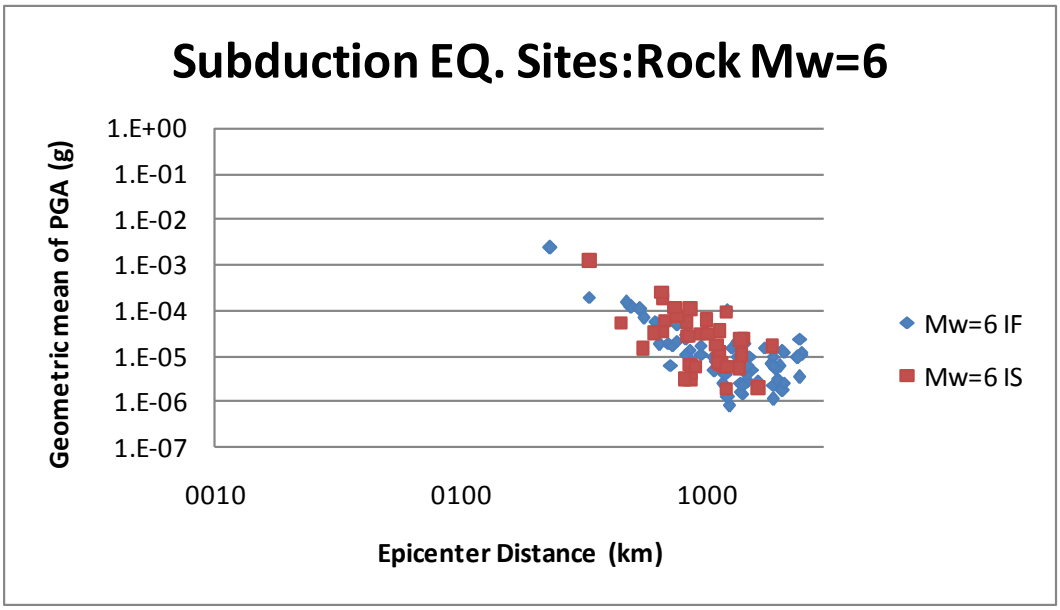
รูปที่ 4.33 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



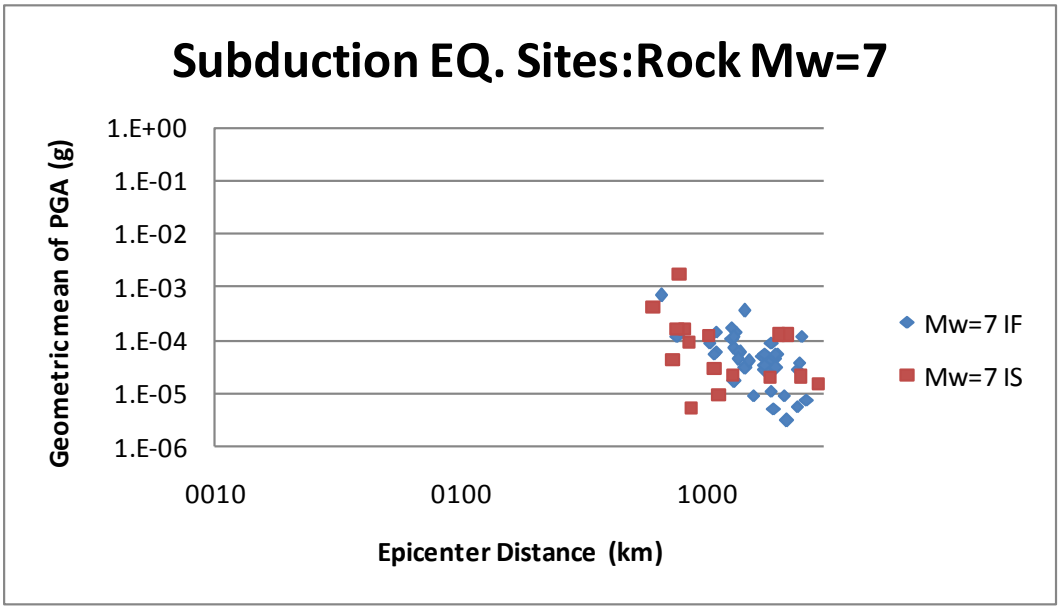
รูปที่ 4.34 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณแผ่นดินไหวตื้นของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



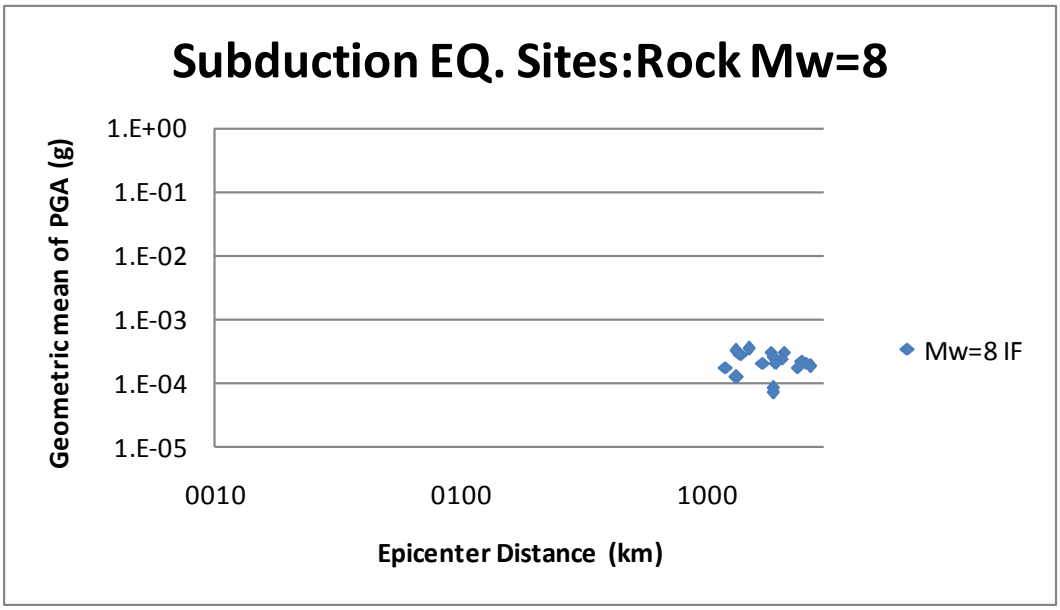
รูปที่ 4.35 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



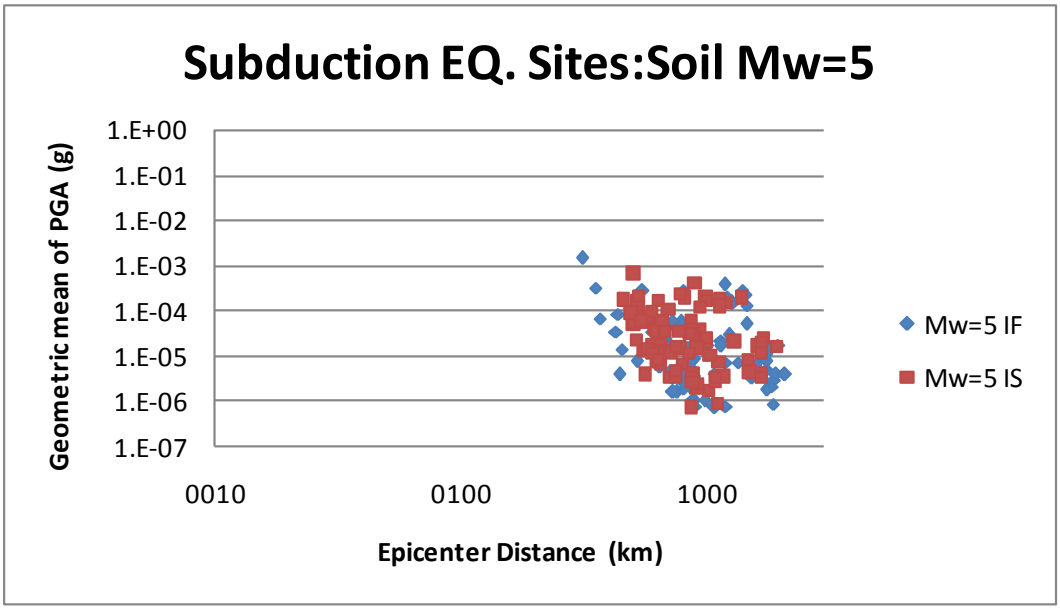
รูปที่ 4.36 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



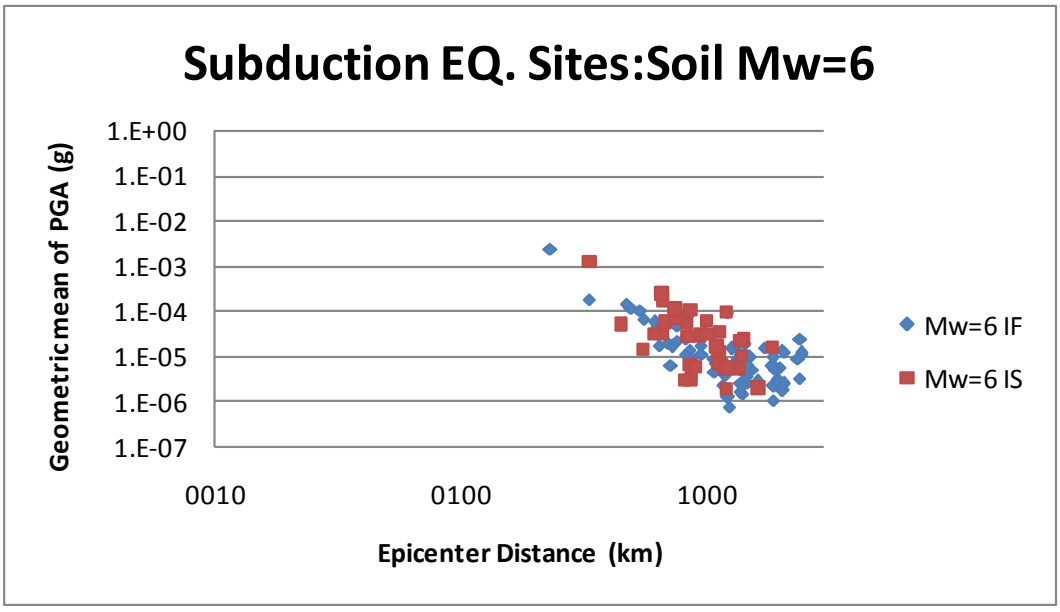
รูปที่ 4.37 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



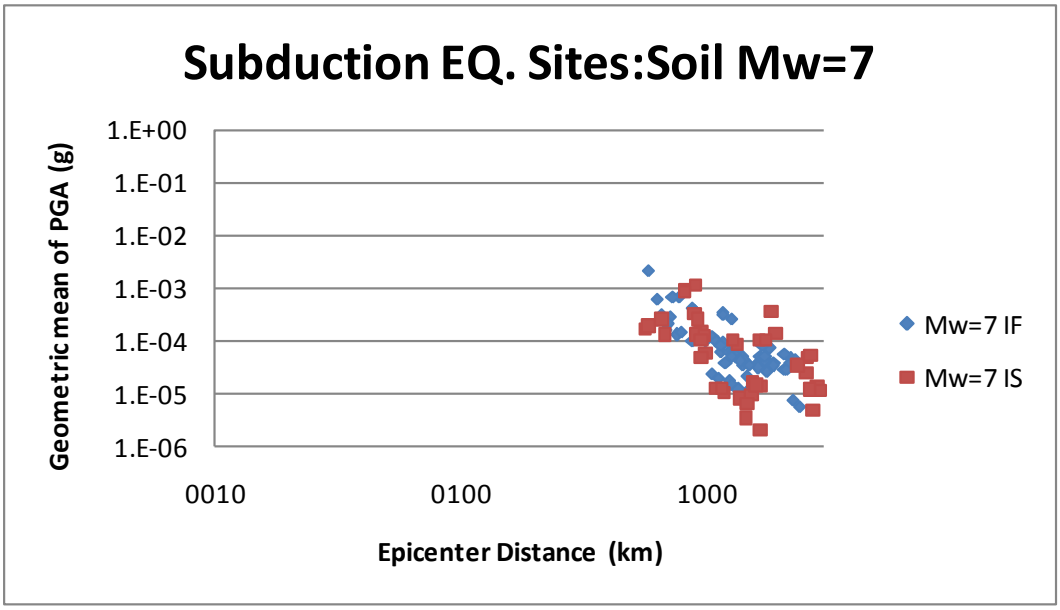
รูปที่ 4.38 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนหิน



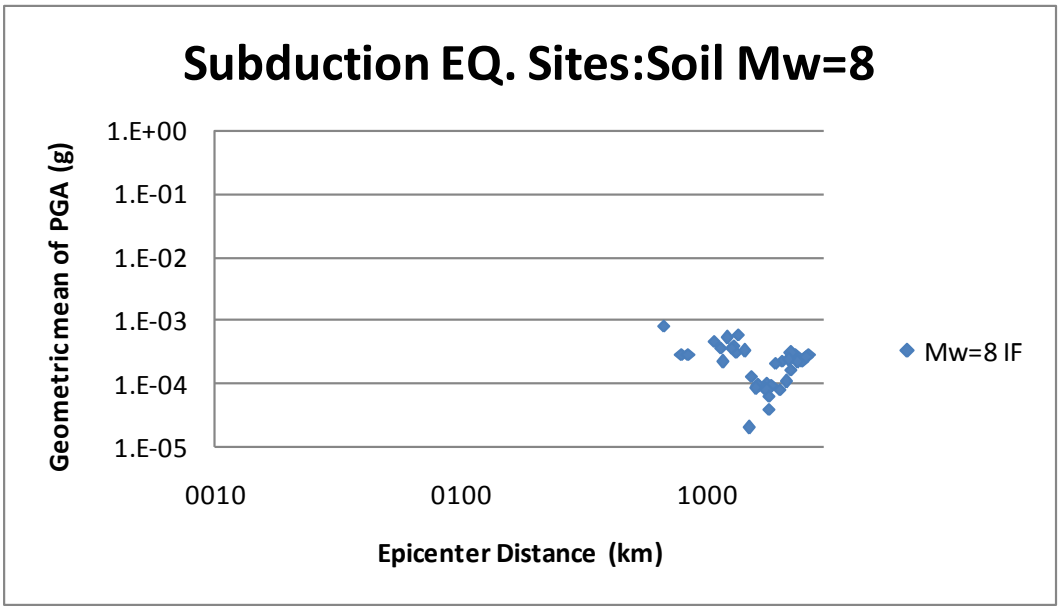
รูปที่ 4.39 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 5$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



รูปที่ 4.40 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 6$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



รูปที่ 4.41 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 7$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน



รูปที่ 4.42 การกระจายของข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด บริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก แบ่งตามรูปแบบกลไกการเลื่อนของแผ่นเปลือกโลก $M_W = 8$ สถานีตรวจวัดที่ตั้งบนดิน

บทที่ 5

การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย

ในการศึกษาประเมินระดับอันตรายและความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว สามารถทำได้หลายแบบ การทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (seismic hazard map) เป็นวิธีการสากลที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการศึกษาอันตรายจากแผ่นดินไหว ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดิน ข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น (ขนาด ตำแหน่ง และความลึกของแผ่นดินไหว) และสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว

ในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยที่ผ่านมานั้น ยังไม่มีสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่สร้างไว้สำหรับพื้นที่บริเวณประเทศไทยโดยเฉพาะ เนื่องจากประเทศไทยยังขาดแคลนข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดโมเมนต์มากกว่า 4 ขึ้นไป และมีระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดประมาณ 0 ถึง 200 กิโลเมตร จึงต้องใช้สมการที่พัฒนาขึ้นในต่างประเทศ ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดิน ซึ่งพัฒนามาจากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไต้หวัน ตุรกี ซึ่งอาจมีสภาพทางธรณีวิทยาและธรณีแปรสัณฐานที่แตกต่างจากบริเวณประเทศไทย สมการเหล่านั้นมีอยู่หลายสมการซึ่งเสนอโดยนักวิจัยหลายประเทศ ค่าจากแต่ละสมการก็แตกต่างกันมากพอสมควร ซึ่งการเลือกใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจากต่างประเทศมาประมาณความรุนแรงแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยอาจมีความคลาดเคลื่อน ถ้าได้แผนที่เสี่ยงภัยที่ให้ค่าต่ำเกินไปอาจทำให้อาคารมีความแข็งแรงไม่เพียงพอและมีโอกาสที่จะเกิดภัยพิบัติร้ายแรง แต่ถ้าให้ค่าที่สูงเกินไปก็จะทำให้การออกแบบอาคารในประเทศไทยแข็งแรงเกินความจำเป็น เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและทรัพยากรของประเทศ

เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ประเทศพม่าวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2554 แผ่นดินไหวมีขนาด 6.8 ซึ่งมีระยะทางจาก อ.แม่สาย จ.เชียงราย ซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางประมาณ 30 กิโลเมตร ทำให้ประเทศไทยมีบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในบริเวณประทศไทยที่มี ขนาดแผ่นดินไหวรุนแรง และมีระยะทางใกล้กับสถานีตรวจวัดต่าง ๆ ของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา จึงสมควรที่จะทำการศึกษาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลที่บันทึกได้จริงบริเวณประเทศไทย

5.1 ทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลองการลดทอน

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวเป็นสมการที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์การสั่นไหวของพื้นดิน เช่น ความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งเทียม ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก ได้แก่ ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude) ระยะห่างจากจุดกำเนิด (distance) คาบธรรมชาติ (natural period) กลไกการเลื่อน (faulting mechanism) และอาจรวมถึงผลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความลึกของจุดกำเนิด (depth) ซึ่งสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวได้มี

รูปแบบฟังก์ชันโดยทั่วไปดังสมการที่ 5.1 และขั้นตอนการสร้างสมการลดทอนโดยใช้ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินแสดงในรูปที่ 5.1

$$\ln(Y) = \ln(b_1) + \ln f_1(M) + \ln f_2(R) + \ln f_3(M,R) + \ln f_4(P_i) + \ln(\varepsilon) \quad (5.1)$$

โดย

Y = พารามิเตอร์การสั่นไหวของพื้นดิน

b_1 = ตัวประกอบมาตราส่วน

$f_1(M)$ = ฟังก์ชันของขนาดแผ่นดินไหว (magnitude)

$f_2(R)$ = ฟังก์ชันของระยะทาง (distance)

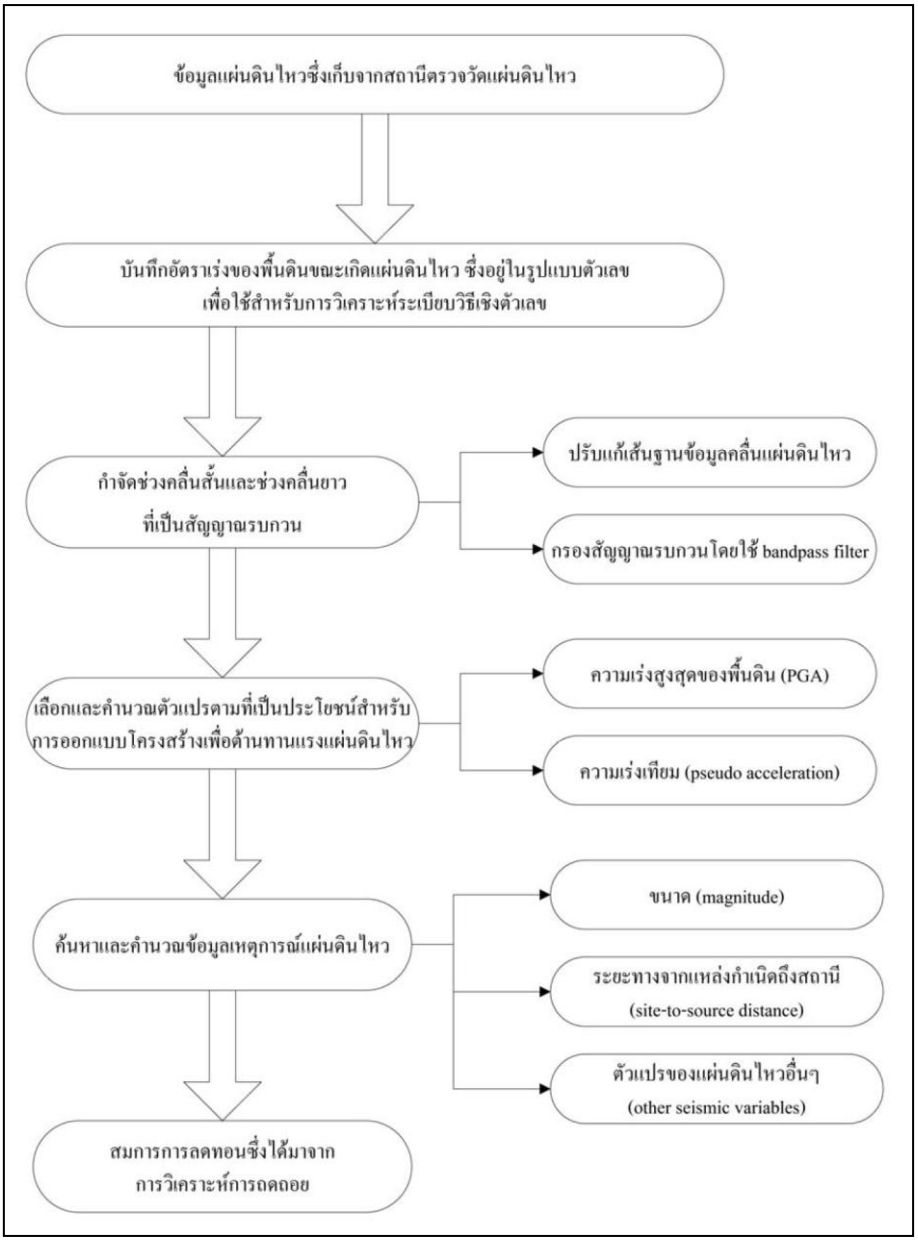
$f_3(M,R)$ = ฟังก์ชันขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) และระยะทาง (distance)

$f_4(P_i)$ = ตัวแปรอื่นๆ ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (source) และผลกระทบของชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว

ε = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่แน่นอน

สมการลดทอน อาจจะมีรูปแบบแตกต่างจากสมการที่ 5.1 ขึ้นอยู่กับนักวิจัยผู้พัฒนา ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดิน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่นิยมใช้มีดังนี้ คือ วิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนักไม่เชิงเส้น (weighted nonlinear least squares regression) วิธีการถดถอยสองขั้นตอน (two-step regression) และวิธีผลกระทบแบบสุ่ม (random-effects method)

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่มีอยู่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (1) สำหรับแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) และ (2) สำหรับแผ่นดินไหวในบริเวณที่เปลือกโลกมุดตัวเข้าไปใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง (subduction earthquakes) ซึ่งกลุ่มแรกแบ่งออกได้เป็นสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับ บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง (active tectonic regions) เช่น ในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา รัฐแคลิฟอร์เนีย และบริเวณภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental regions) เช่น ในภาคตะวันออกของสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการสร้างสมการลดทอน (วิษณุ หัตถา, 2551)

5.2 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย

การรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของพื้นดินที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ตั้งแต่ตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของพื้นดินทั้งหมดเป็นข้อมูลที่บันทึกได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบดิจิตอลระบบใหม่ระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งพบว่าข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยในช่วงระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด 0 ถึง 200 กิโลเมตร มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลเสริมในช่วงระยะทางที่ไม่มีข้อมูลบันทึก รวมกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทย เพื่อพิจารณาหารูปแบบของสมการลดทอนของต่างประเทศ ที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ เพื่อนำไปประมาณค่า

ความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน และการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน

5.2.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการลดทอนที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลแผ่นดินไหวประเทศไทย

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่สอดคล้องกับข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ เพื่อทำให้ค่าคงเหลือ (residual) มีค่าต่ำสุด (minimum) ผลรวมกำลังสองของค่าคงเหลือ (residual sum of square) แสดงดังสมการที่ 5.2 และ 5.3 ซึ่งวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์นี้เรียกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method)

$$RSS = \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = e_1^2 + e_2^2 + \ldots + e_n^2 \tag{5.2}$$

$$\boldsymbol{e} = \boldsymbol{Y} - \hat{\boldsymbol{Y}} \tag{5.3}$$

โดยที่

RSS = ผลรวมกำลังสองของส่วนเหลือ

e = ความแตกต่างระหว่างค่าของข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว Y และค่าที่คำนวณจากสมการ $\hat{Y}$ เรียกว่าส่วนเหลือ (Residual)

การพิจารณาหาความเหมาะสมของรูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทย โดยใช้วิธีการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณโดยการคำนวณหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสอง (square root of mean of square of error, RMS) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 5.4

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (\ln y - \ln \hat{y})^2}{n}} \tag{5.4}$$

โดย

y = จุดข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง

$\hat{y}$ = ข้อมูลที่ประมาณค่าจากสมการลดทอน

n = จำนวนของจุดข้อมูล

5.2.2 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม

การศึกษานี้เลือกพิจารณาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศทั้งหมด 14 สมการ แบ่งเป็น 8 สมการ สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และ 6 สมการ สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ดังแสดงตารางที่ 5.1

โดยที่สมการที่เลือกใช้ในการศึกษานี้โดยส่วนหนึ่งเป็นสมการที่ Douglas (2012) นำมาเลือกพิจารณาสำหรับคัดเลือกในโครงการ Global Earthquake Model (GEM) – PEER Global Ground – Motion Prediction Equations (GMPEs) เช่น สมการของ Akkar และ Bommer (2010) สำหรับแผ่นดินไหวตื้นบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง Atkinson และ Boore (2003) Lin และ Lee (2008) Youngs และคณะ (1997) สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก และสมการของ Kanno และคณะ (2006) Mcverry และคณะ (2006) Zhao และคณะ (2006) เป็นสมการสำหรับทั้งแผ่นดินไหวตื้นบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก

ตารางที่ 5.1 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่เลือกใช้ในการศึกษา

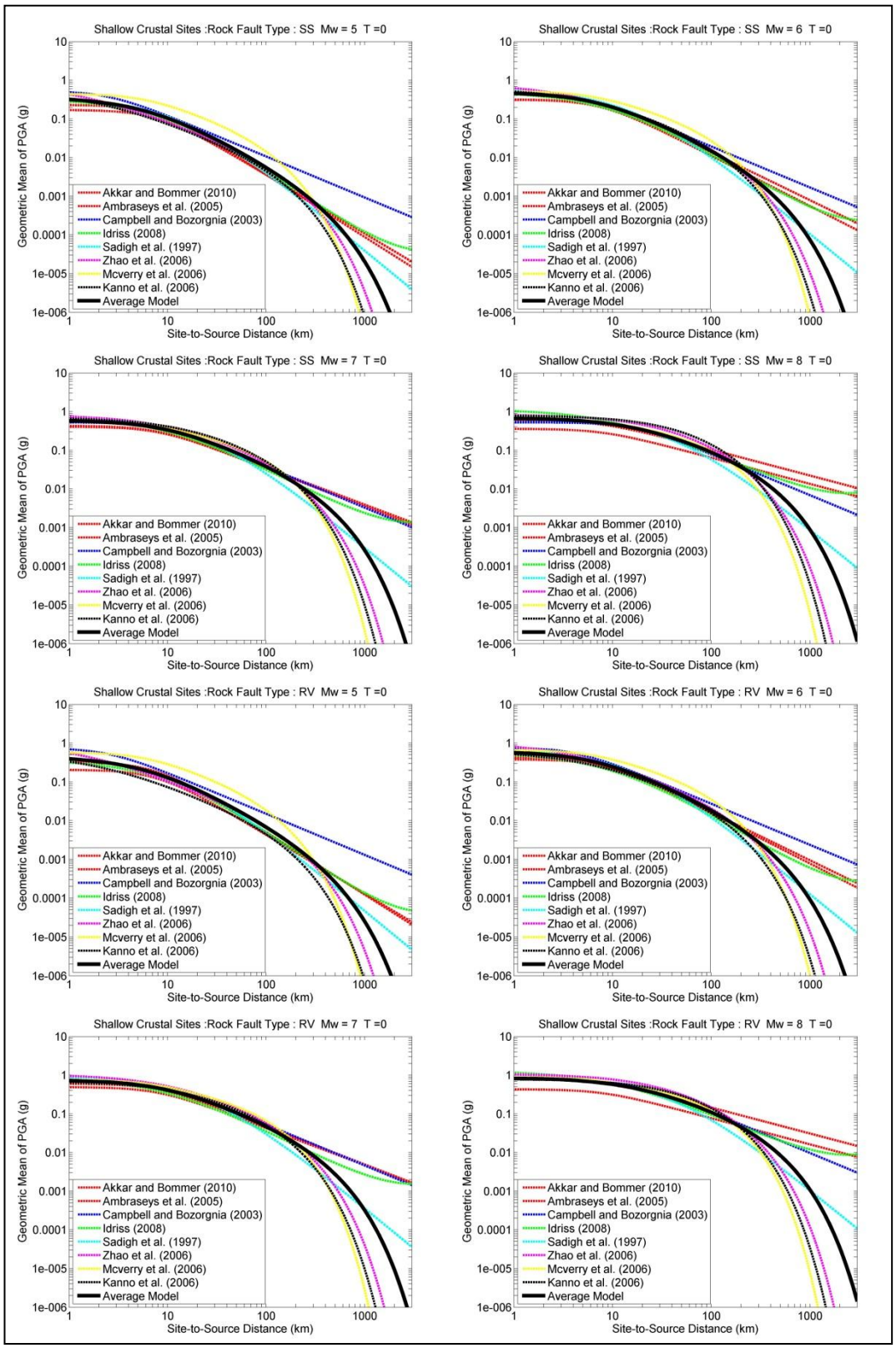
Attenuation model	Distance range (km)	Magnitude range	Periods (s)
Active Tectonic Region			
Akkar และ Bommer (2010)	0-100	5.0-7.6	0.05-3.0
Ambraseys และคณะ (2005)	0-100	5.0-7.6	0.05-2.5
Campbell และ Bozorgnia (2003)	0-60	4.7-7.7	0.05-4.0
Idriss (2008)	0-200	4.6-7.4	0.01-10.0
Kanno และคณะ (2006)	1-300	5.5-8.0	0.05-5.0
Mcverry และคณะ (2006)	1-400	5.0-7.2	0.075-3.0
Sadigh และคณะ (1997)	0-100	4.0-8.0	0.03-4.0
Zhao และคณะ (2006)	0-300	5.0-8.3	0.05-5.0
Subduction Zone			
Atkinson และ Boore (2003)	10-500	5.0-8.3	0.04-3.0
Kanno และคณะ (2006)	30-300	5.5-8.0	0.05-5.0
Lin และ Lee (2008)	10-400	5.5-8.1	0.01-5.0
Mcverry และคณะ (2006)	30-400	5.1-6.8	0.075-3.0
Youngs และคณะ (1997)	10-500	5.0-8.2	0.075-3.0
Zhao และคณะ (2006)	0-300	5.0-8.3	0.05-5.0

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษานี้ สำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ให้ค่าประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่ใกล้เคียงกันทุกสมการที่เลือกใช้ในการศึกษาช่วงระยะทางตั้งแต่ 1 ถึง 100 กิโลเมตร ส่วนที่ระยะทางที่มากกว่า 300 กิโลเมตร เริ่มให้ค่าประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่แตกต่างกันมากขึ้นอย่างชัดเจนแสดงดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน

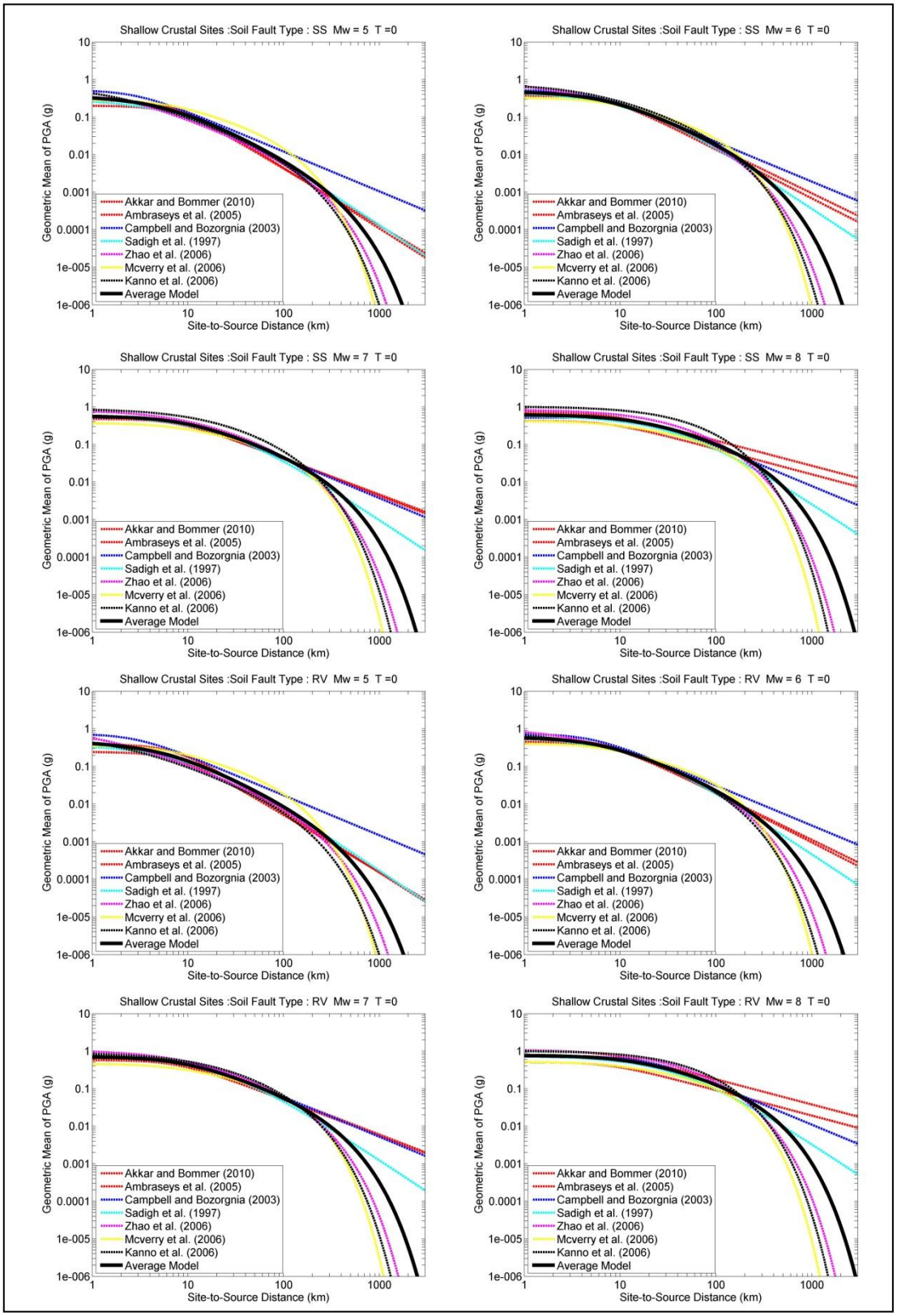
สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ให้ค่าประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่ใกล้เคียงกันที่ช่วงระยะทางตั้งแต่ 30 ถึง 200 กิโลเมตร ส่วนระยะทางตั้งแต่ 500 กิโลเมตร ขึ้นไปเริ่มมีความแตกต่างมากขึ้นอย่างชัดเจนแสดงดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน

การศึกษานี้เลือกใช้ค่าเฉลี่ยของความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปคตรัมจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ใช้ในการศึกษามาเป็นข้อมูลเสริมในช่วงระยะทางใกล้ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยขาดแคลนข้อมูลในช่วงระยะทาง 1 ถึง 100 กิโลเมตร เป็นข้อมูลเสริมสำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และช่วงระยะทาง 30 ถึง 200 กิโลเมตร สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก สำหรับที่ระยะทางไกลๆ ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยเพื่อพิจารณาหารูปแบบของสมการลดทอนของต่างประเทศที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ

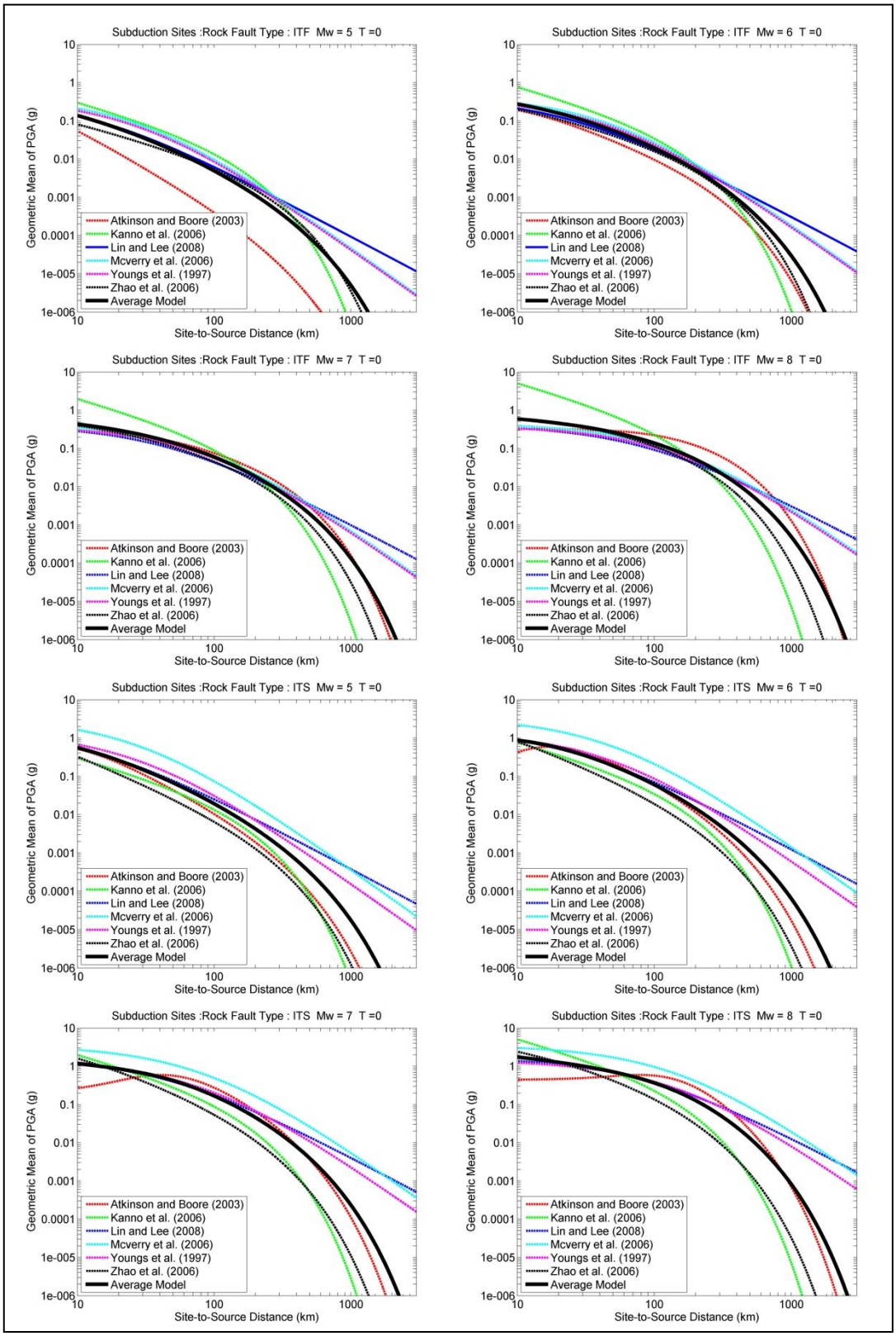
การหารูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย ได้นำข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่บันทึกได้จริงเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมได้คำนวณในระบบยืดหยุ่นอิสระดีกรีเดียว โดยมีอัตราส่วนความหน่วง 5 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นสถานีที่ตั้งบนหินและดิน



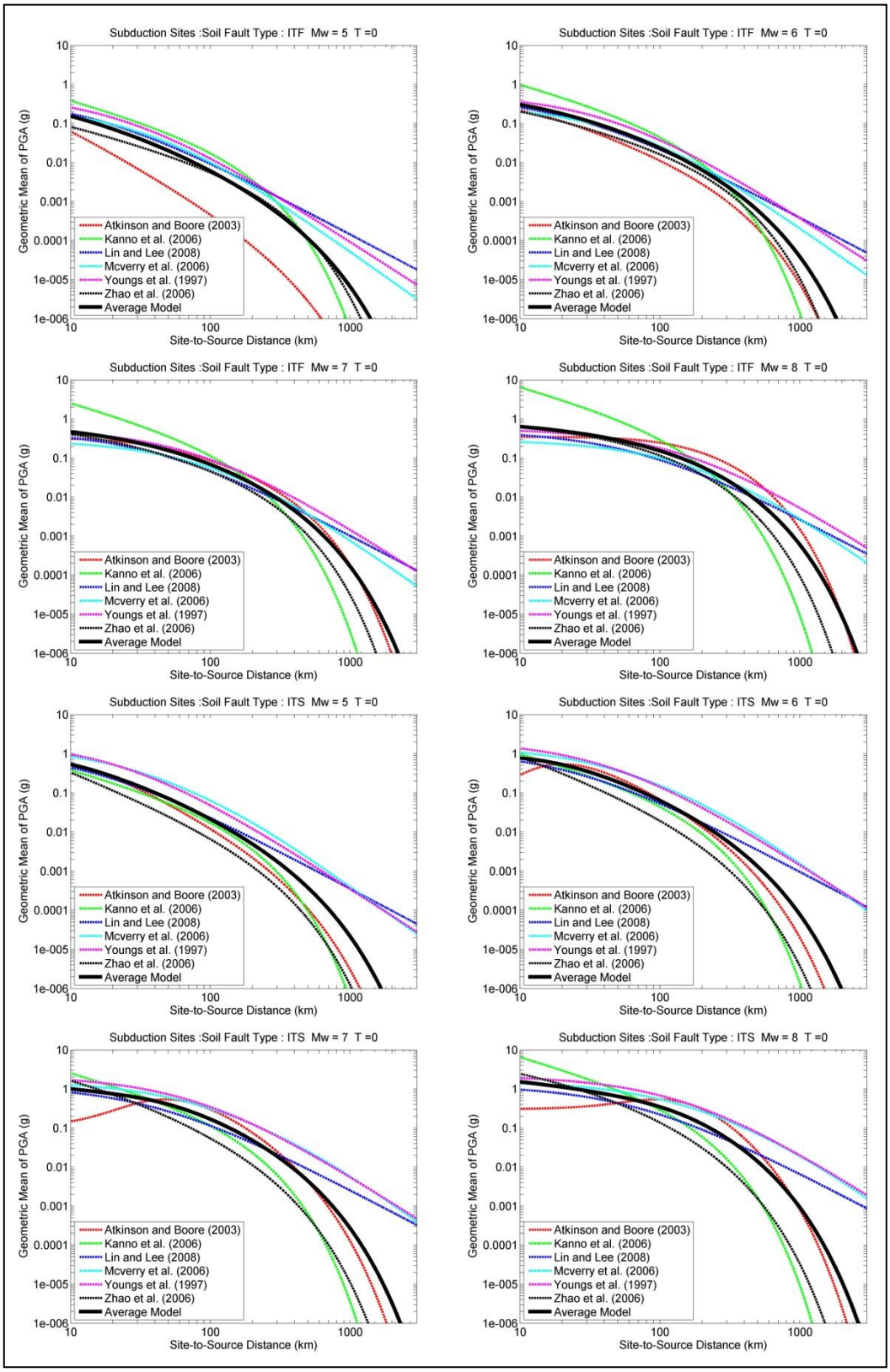
รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ที่ตั้งอยู่บนหิน



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ที่ตั้งอยู่บนดิน



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ที่ตั้งอยู่บนหิน



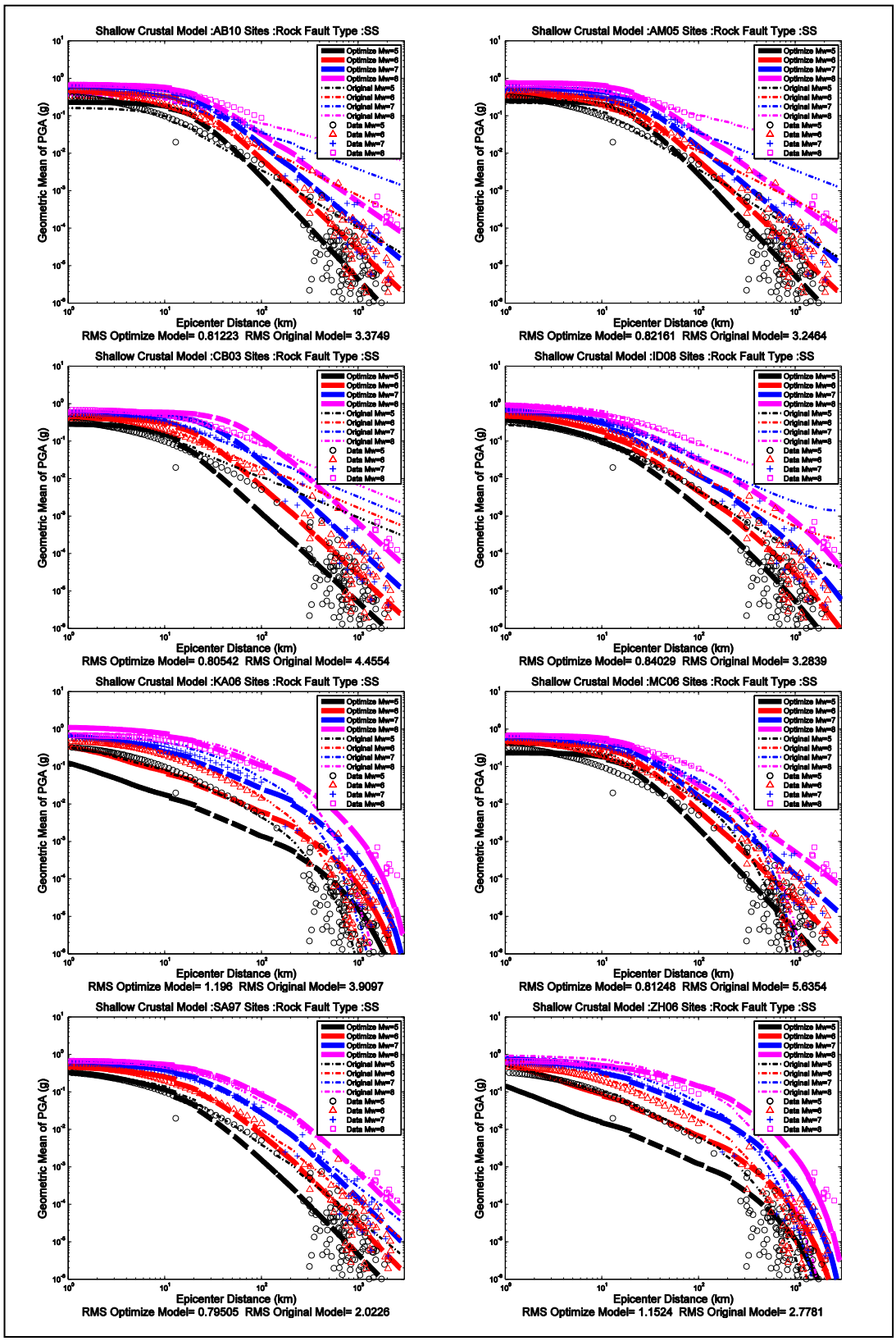
รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศ สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ที่ตั้งอยู่บนดิน

1) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง

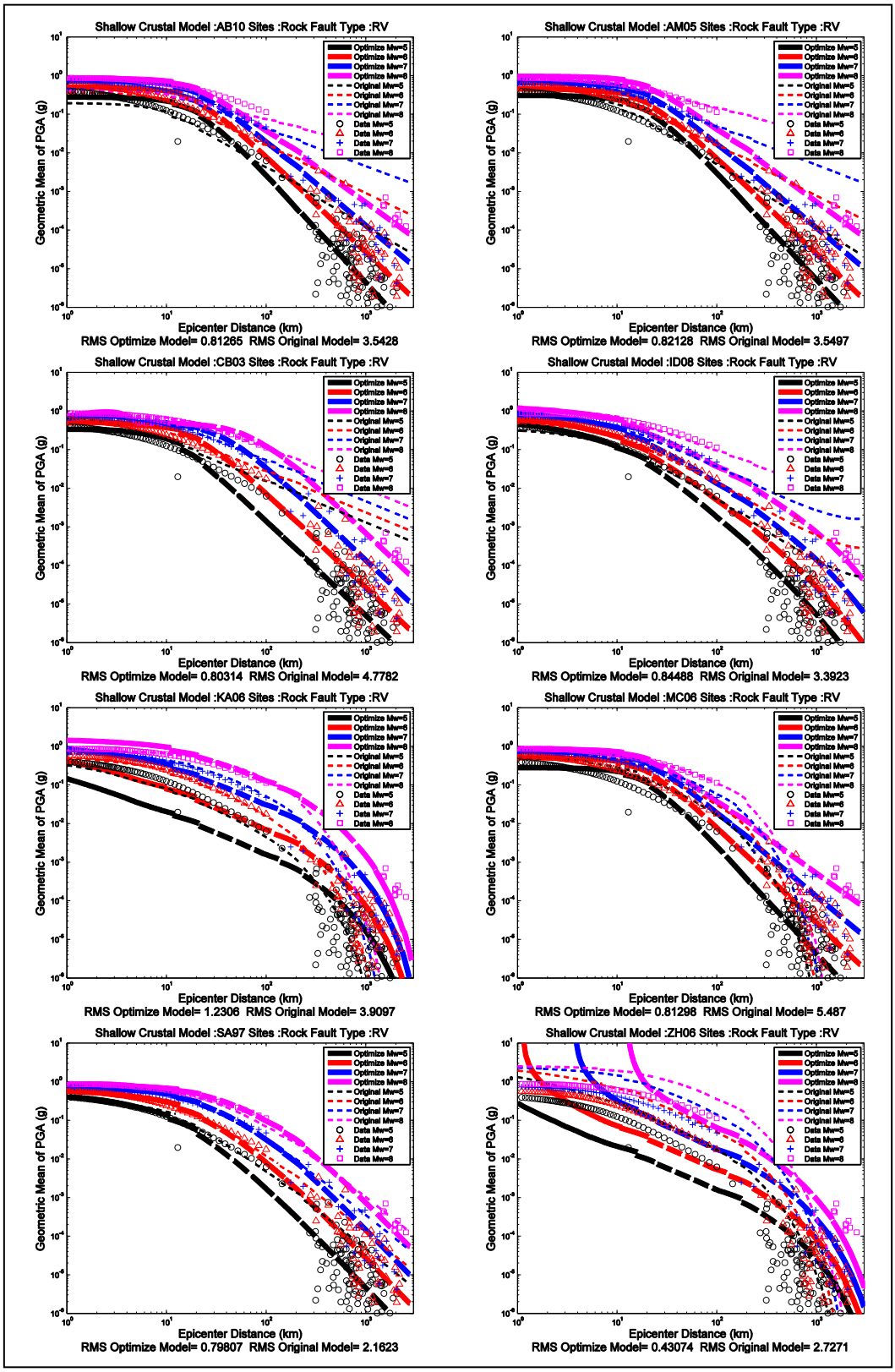
กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินรูปที่ 5.6 ถึง 5.9 แสดงกราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากแต่ละรูปแบบสมการที่ใช้ในการศึกษา และความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับแผ่นดินไหวตื้นบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังโดยแบ่งตามประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว และแบ่งตามรูปแบบรอยเลื่อน และในรูปที่ 5.6 ถึง 5.9 แสดงการกระจายของจุดข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว รูปที่ 5.10 ถึง 5.13 แสดงการกระจายตัวของค่าคงเหลือระหว่างความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศกับความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการ

จากการเปรียบเทียบค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์กับข้อมูลค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากค่าเฉลี่ยสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้และข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศ พบว่ารูปแบบสมการของ Kanno และคณะ (2006) และ Zhao และคณะ (2006) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งรูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่สูง ซึ่งกราฟยังไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ และข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล

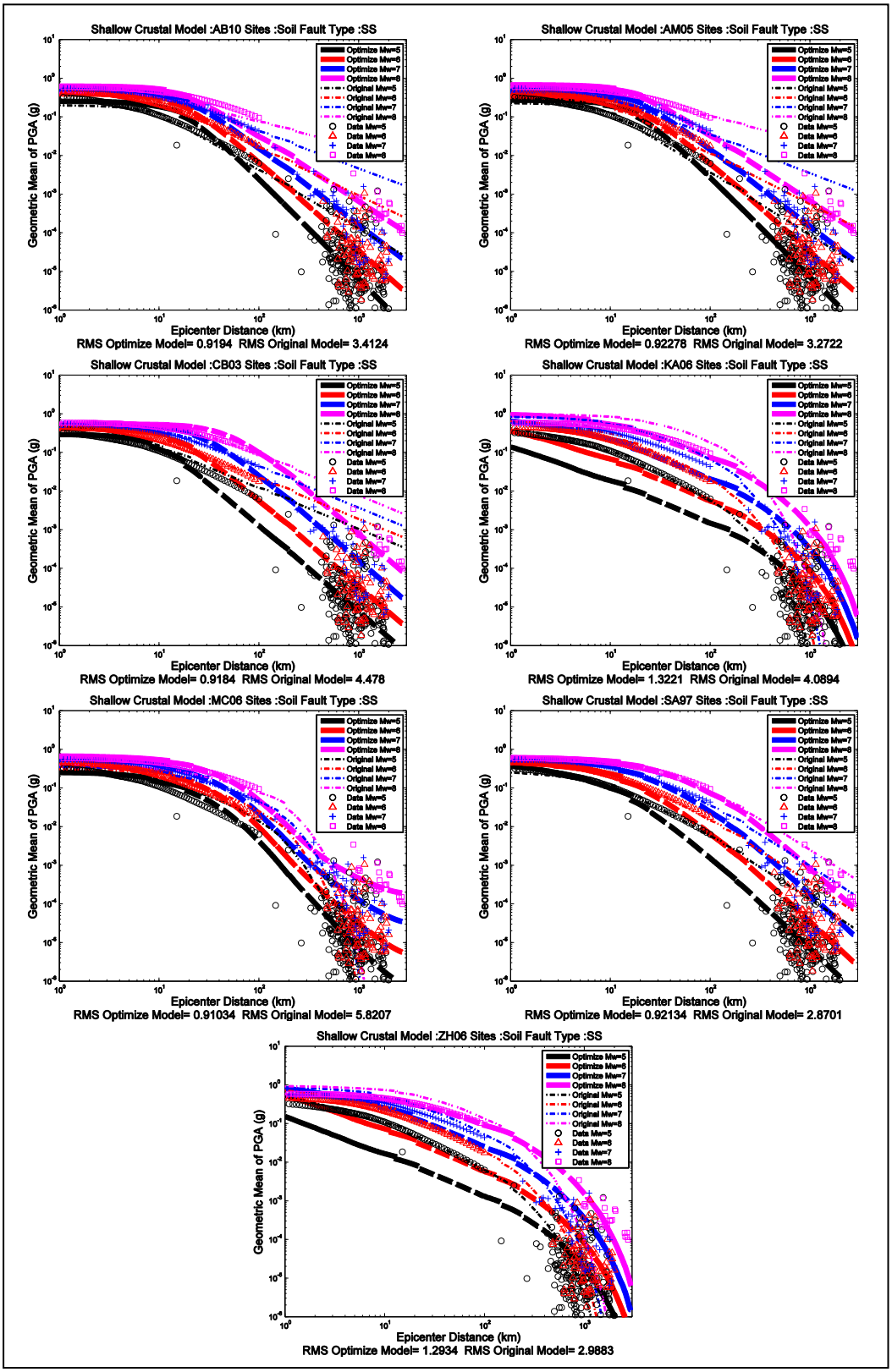
รูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) Ambraseys และคณะ (2005) Campbell และ Bozorgnia (2003) และ Mcverry และคณะ (2006) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน และรูปแบบสมการของ Idriss (2008) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน ทั้งรูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟยังไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ แต่สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งรูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟมีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ และมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล



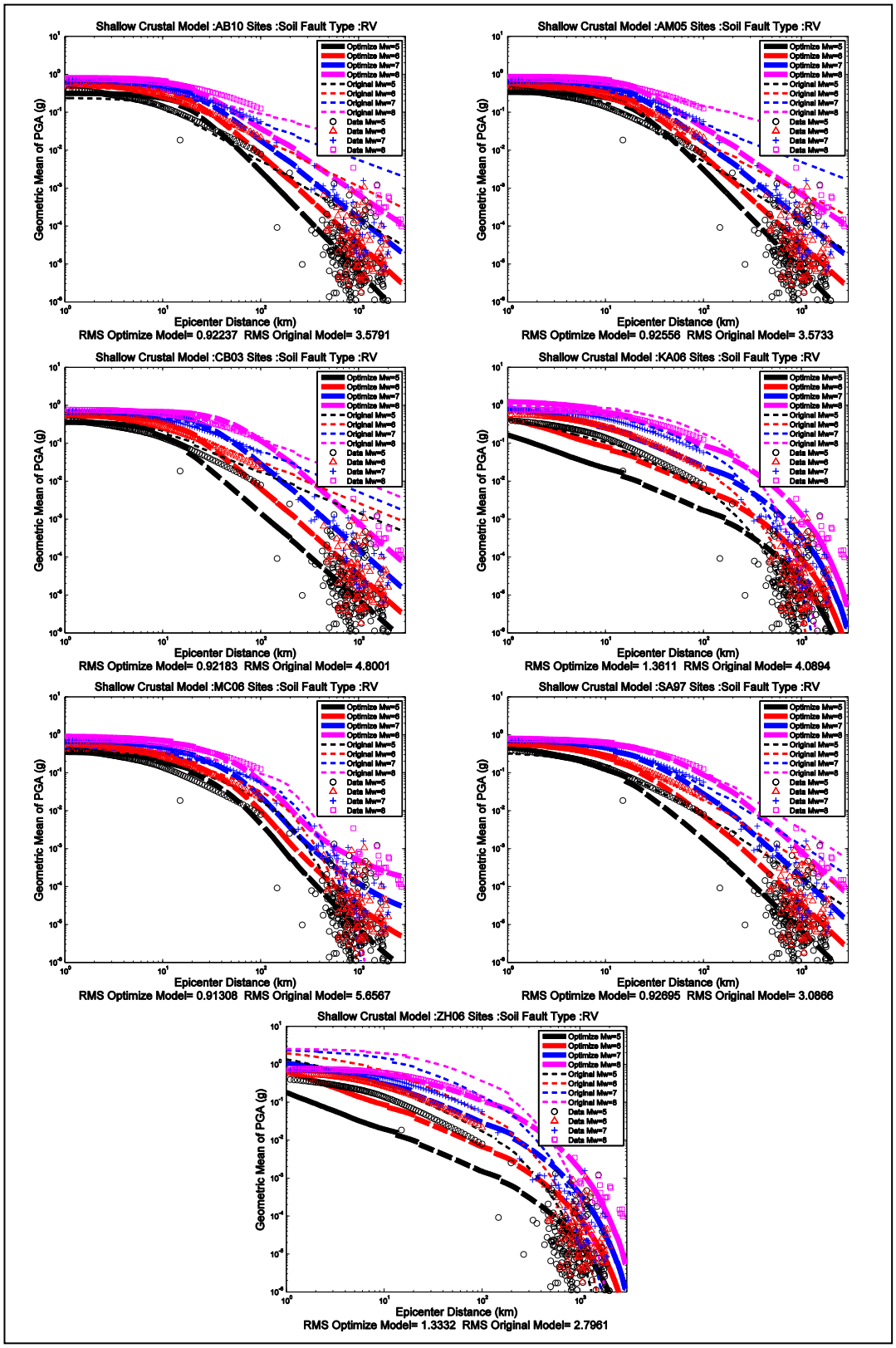
รูปที่ 5.6 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



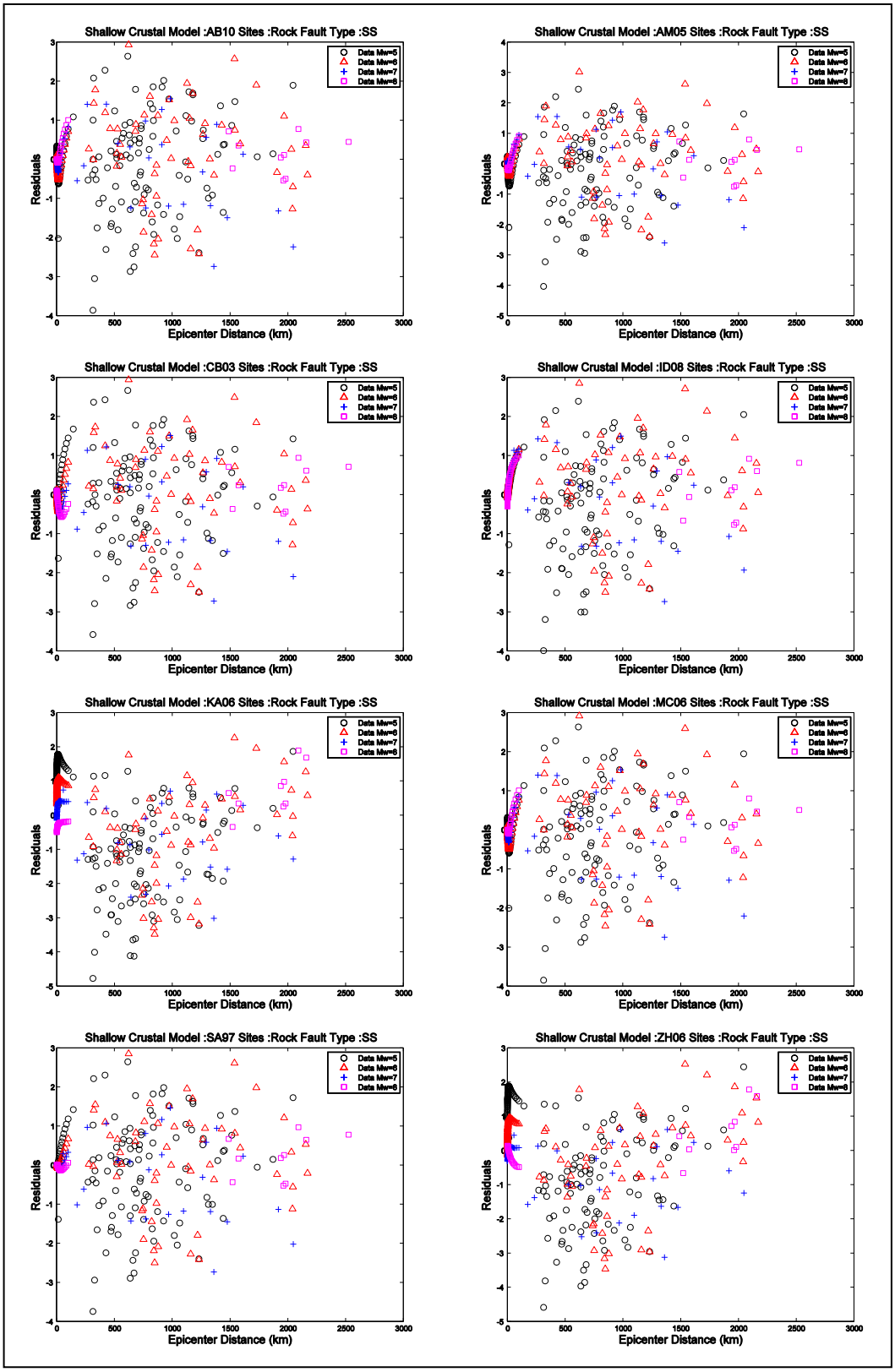
รูปที่ 5.7 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



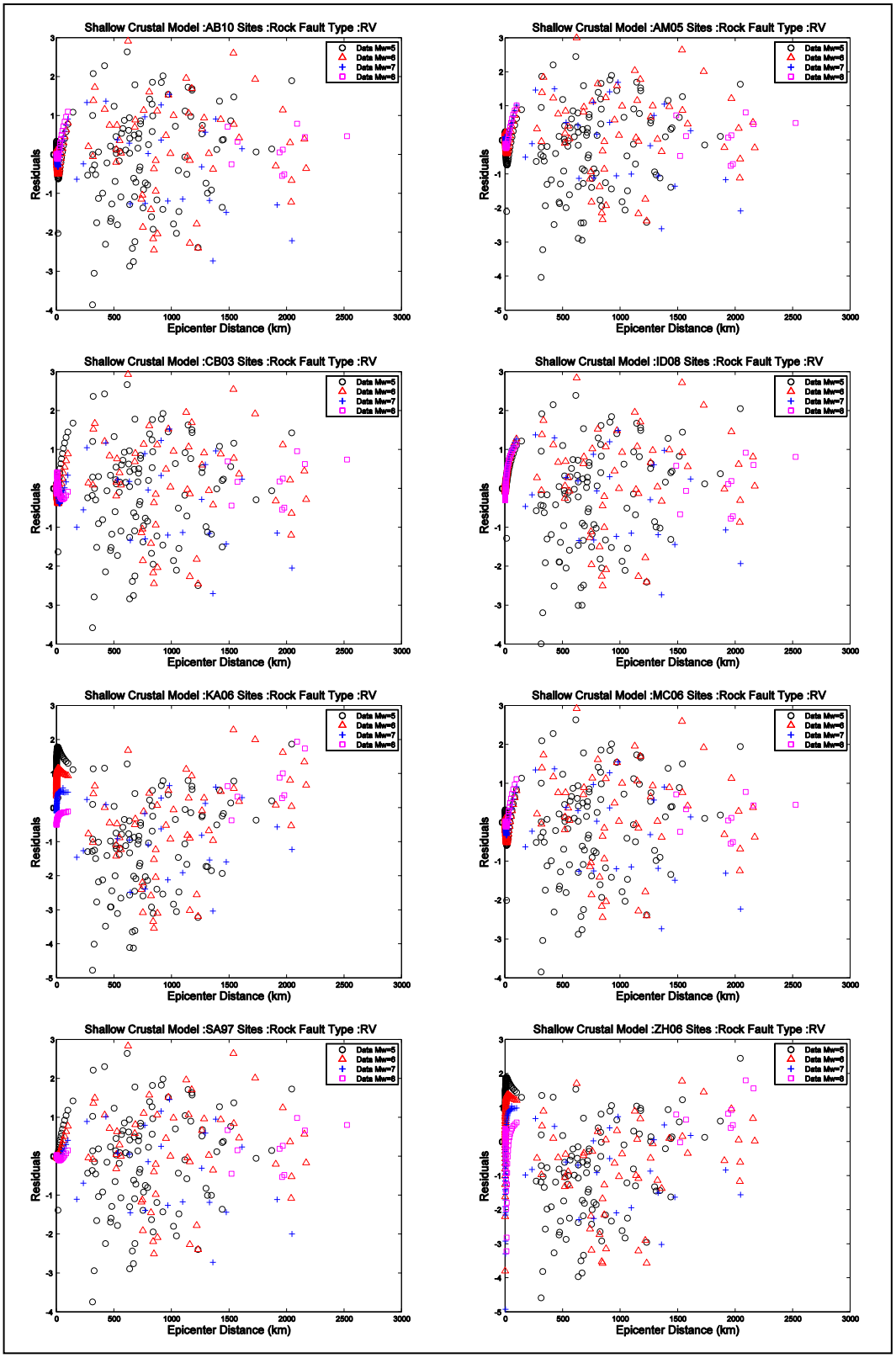
รูปที่ 5.8 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



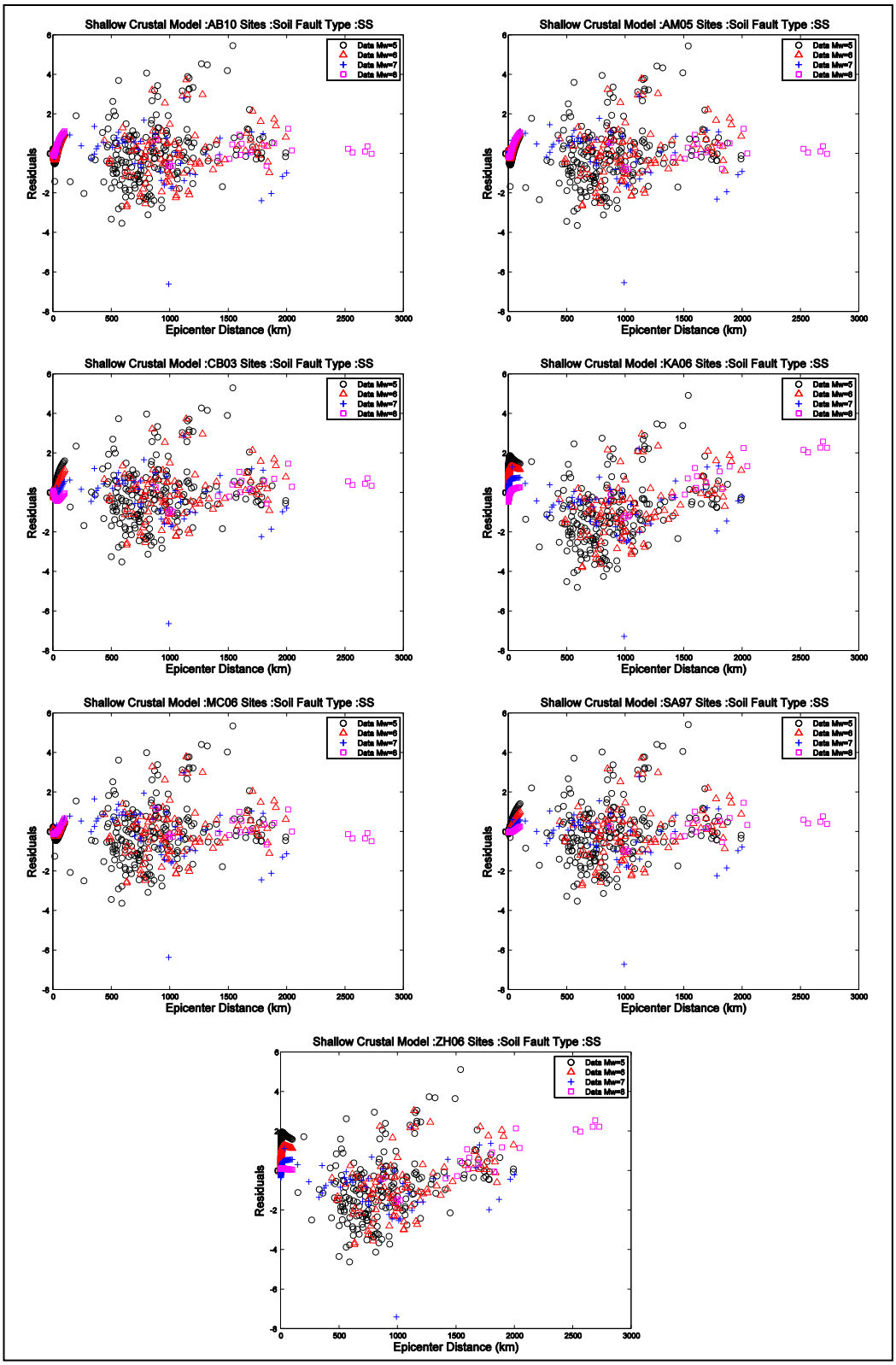
รูปที่ 5.9 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



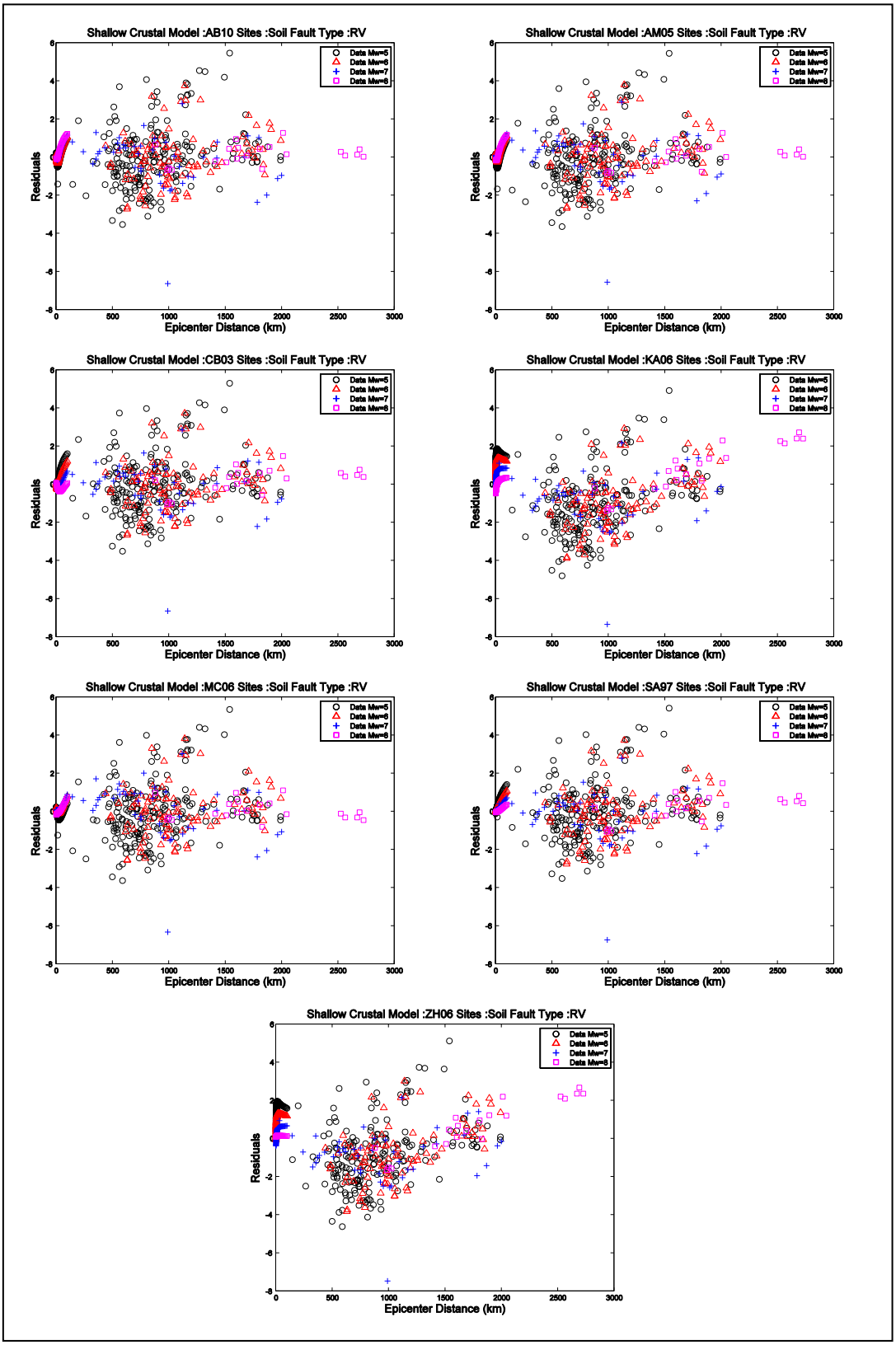
รูปที่ 5.10 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.11 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



รูปที่ 5.12 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.13 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวต้นบริเวณการแปรสัณฐาน ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน รูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน ได้แก่ รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997)

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากการเปรียบเทียบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากตารางที่ 5.2 และ 5.3 พบว่า รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองที่ต่ำในทุกๆ คาบธรรมชาติ ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน รูปแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน

ดังนั้นจึงเลือกใช้รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ซึ่งแสดงดังสมการที่ 5.5 และ 5.6 สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน ได้แก่ ตารางที่ 5.4 และ 5.5 สำหรับรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ตามลำดับ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานีที่ตั้งบนดินได้แก่ ตารางที่ 5.6 และ 5.7 สำหรับรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip fault) และรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ตามลำดับ โดยกราฟความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทยแสดงดังรูปที่ 5.14 ถึง 5.17 และกราฟค่าคงเหลือของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 5.18 ถึง 5.21

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_W + c_3 \left(8.5 - M_W\right)^{2.5} + c_4 \ln\left(r_{rup} + e^{(c_5 + c_6 M_W)}\right) + c_7 \ln\left(r_{rup} + 2\right) \tag{5.5}$$

$$\ln(S_a) = c_1 + c_2 M_W - c_3 \ln(r_{rup} + c_4 e^{c_5 M_W}) + c_6 + c_7 (8.5 - M_W)^{2.5} \tag{5.6}$$

โดยที่

S_a = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (g)

M_w = ขนาดโมเมนต์

r_{rup} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดถึงระนาบแตกร้าว (กิโลเมตร)

ตารางที่ 5.2 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน

T (s)	AB10	AM10	CB03	ID08	SA97	AB10	AM10	CB03	ID08	SA97
	SS					RV				
0	0.81	0.82	0.81	0.84	0.80	0.81	0.82	0.80	0.84	0.80
0.1	0.78	0.79	0.77	0.82	0.77	0.78	0.79	0.77	0.83	0.77
0.2	0.78	0.79	0.77	0.82	0.76	0.78	0.79	0.77	0.83	0.76
0.5	0.88	0.90	0.87	0.89	0.85	0.88	0.90	0.87	0.90	0.85
1	0.86	0.89	0.85	0.87	0.83	0.85	0.88	0.84	0.87	0.83
1.5	0.91	0.93	0.90	0.92	0.88	0.90	0.93	0.90	0.91	0.88
2	0.94	0.97	0.94	0.96	0.92	0.94	0.97	0.94	0.96	0.92
3	0.93	-	0.92	0.95	0.92	0.93	-	0.92	0.96	0.92
4	-	-	0.99	1.01	0.98	-	-	0.99	1.02	0.98
5	-	-	-	1.08	-	-	-	-	1.08	-

ตารางที่ 5.3 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน

T (s)	AB10	AM10	CB03	SA97	AB10	AM10	CB03	SA97
	SS				RV			
0	0.919	0.923	0.918	0.921	0.922	0.926	0.922	0.927
0.1	0.971	0.971	0.96	0.971	0.974	0.974	0.964	0.976
0.2	0.948	0.949	0.942	0.947	0.951	0.953	0.945	0.952
0.5	0.892	0.902	0.885	0.883	0.893	0.904	0.888	0.888
1	0.914	0.937	0.902	0.899	0.914	0.937	0.903	0.901
1.5	0.976	1.005	0.964	0.961	0.975	1.003	0.964	0.962
2	0.986	1.016	0.974	0.975	0.986	1.016	0.975	0.976
3	0.973	-	0.964	0.967	0.973	-	0.964	0.968
4	-	-	1.002	1.004	-	-	1.003	1.005

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนแนวระดับ (strike slip fault)

T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.851	1.655	-0.011	-2.670	-0.256	0.582	0.003
0.1	-1.031	1.606	-0.001	-2.741	-0.148	0.554	0.025
0.2	1.113	1.632	-0.019	-3.027	0.456	0.511	0.010
0.5	1.127	1.563	-0.039	-2.646	0.899	0.498	-0.256
1	0.741	1.257	-0.065	-2.550	1.125	0.391	-0.004
1.5	-0.913	1.219	-0.070	-2.260	1.104	0.362	-0.032
2	-1.486	1.242	-0.075	-1.936	1.212	0.407	-0.299
3	-4.922	1.356	-0.069	-1.904	0.093	0.456	0.005
4	-6.375	1.472	-0.069	-1.825	-0.073	0.481	0.003

ตารางที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนย้อน (reverse fault)

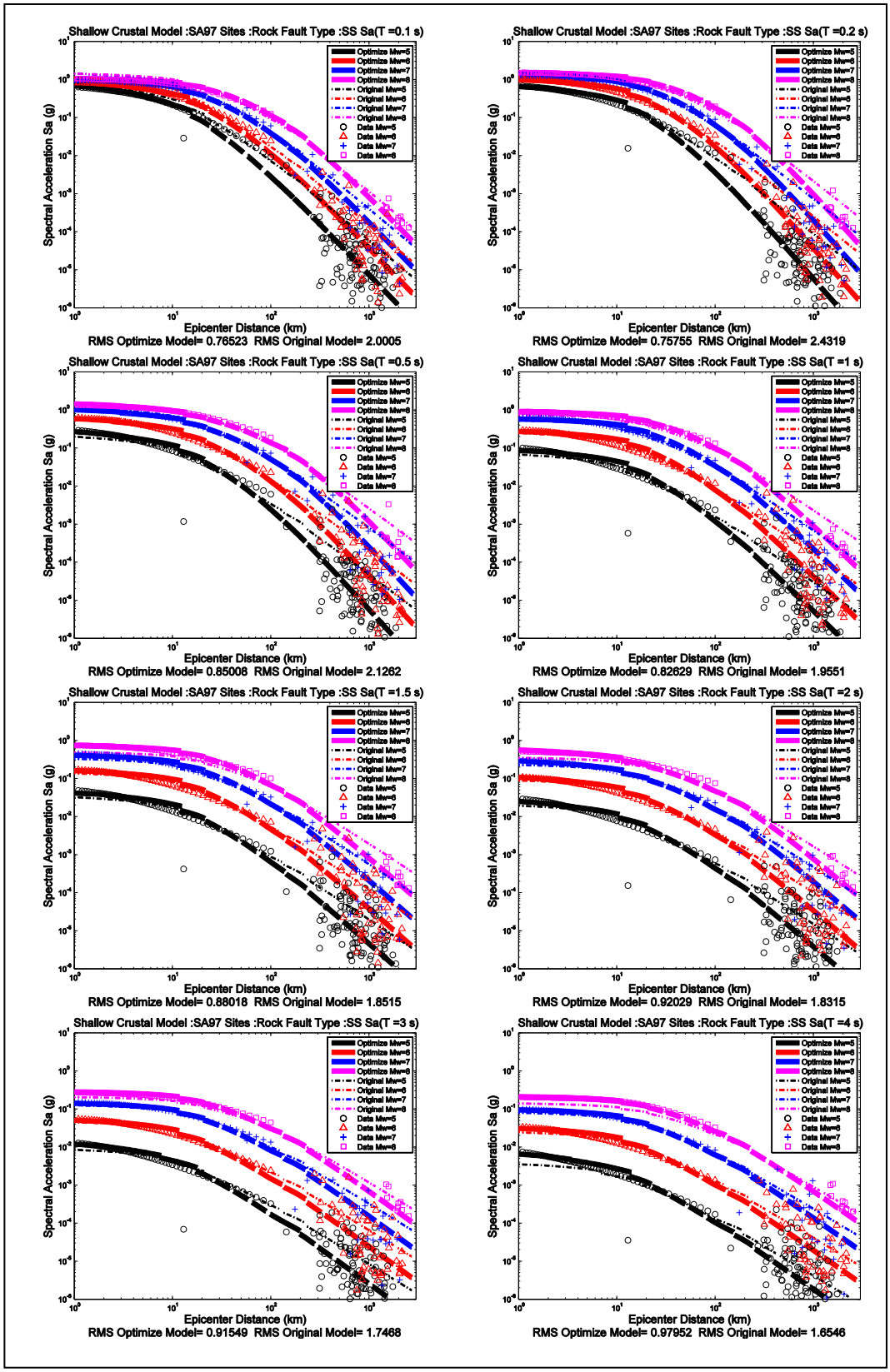
T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-1.818	1.673	-0.010	-2.716	-0.201	0.571	0.001
0.1	-0.699	1.596	-0.005	-2.746	-0.115	0.556	-0.028
0.2	1.016	1.697	-0.013	-2.999	0.520	0.518	-0.096
0.5	0.666	1.520	-0.040	-2.821	0.712	0.463	-0.009
1	0.479	1.281	-0.062	-2.595	1.147	0.378	0.026
1.5	-1.298	1.253	-0.064	-2.314	1.186	0.340	0.012
2	-2.231	1.222	-0.072	-2.139	0.939	0.363	-0.005
3	-4.960	1.353	-0.070	-1.916	0.080	0.461	0.000
4	-6.151	1.444	-0.075	-1.844	-0.261	0.507	-0.003

ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนในแนวระดับ (strike slip fault)

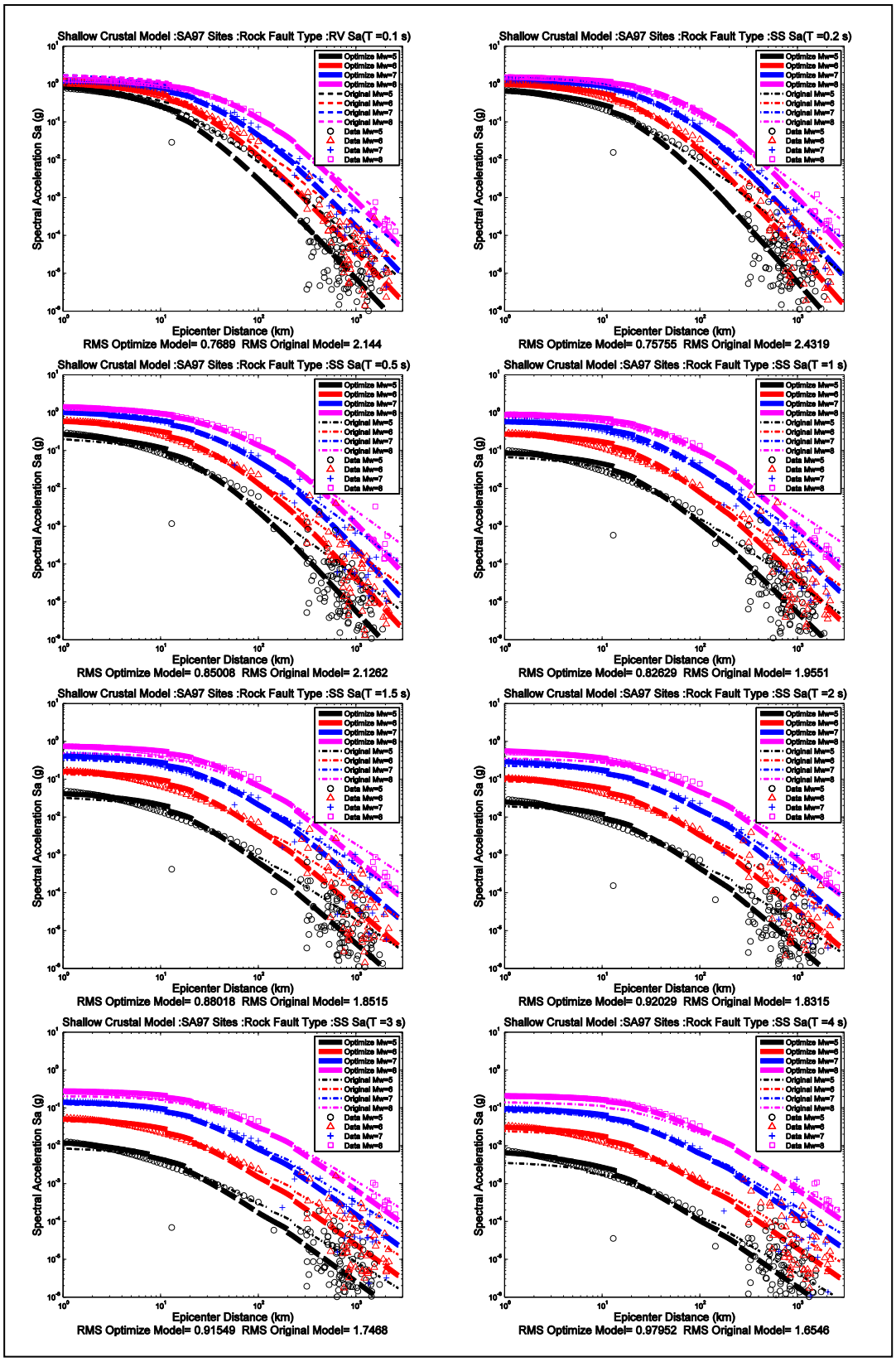
T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-3.111	1.629	2.439	0.466	0.626	-0.007	-0.002
0.1	1.694	1.652	2.468	0.591	0.582	-4.613	0.023
0.2	-2.883	1.655	2.696	0.970	0.539	1.641	0.005
0.5	1.085	1.526	2.646	1.186	0.498	-1.704	-0.029
1	-0.957	1.303	2.356	1.255	0.453	-0.019	-0.059
1.5	-1.351	1.199	2.132	1.291	0.416	-0.376	-0.075
2	-3.017	1.191	1.947	0.911	0.436	0.001	-0.077
3	-4.873	1.216	1.761	0.552	0.483	0.246	-0.085
4	-5.276	1.324	1.700	0.347	0.557	-0.596	-0.087

ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนย้อน (reverse fault)

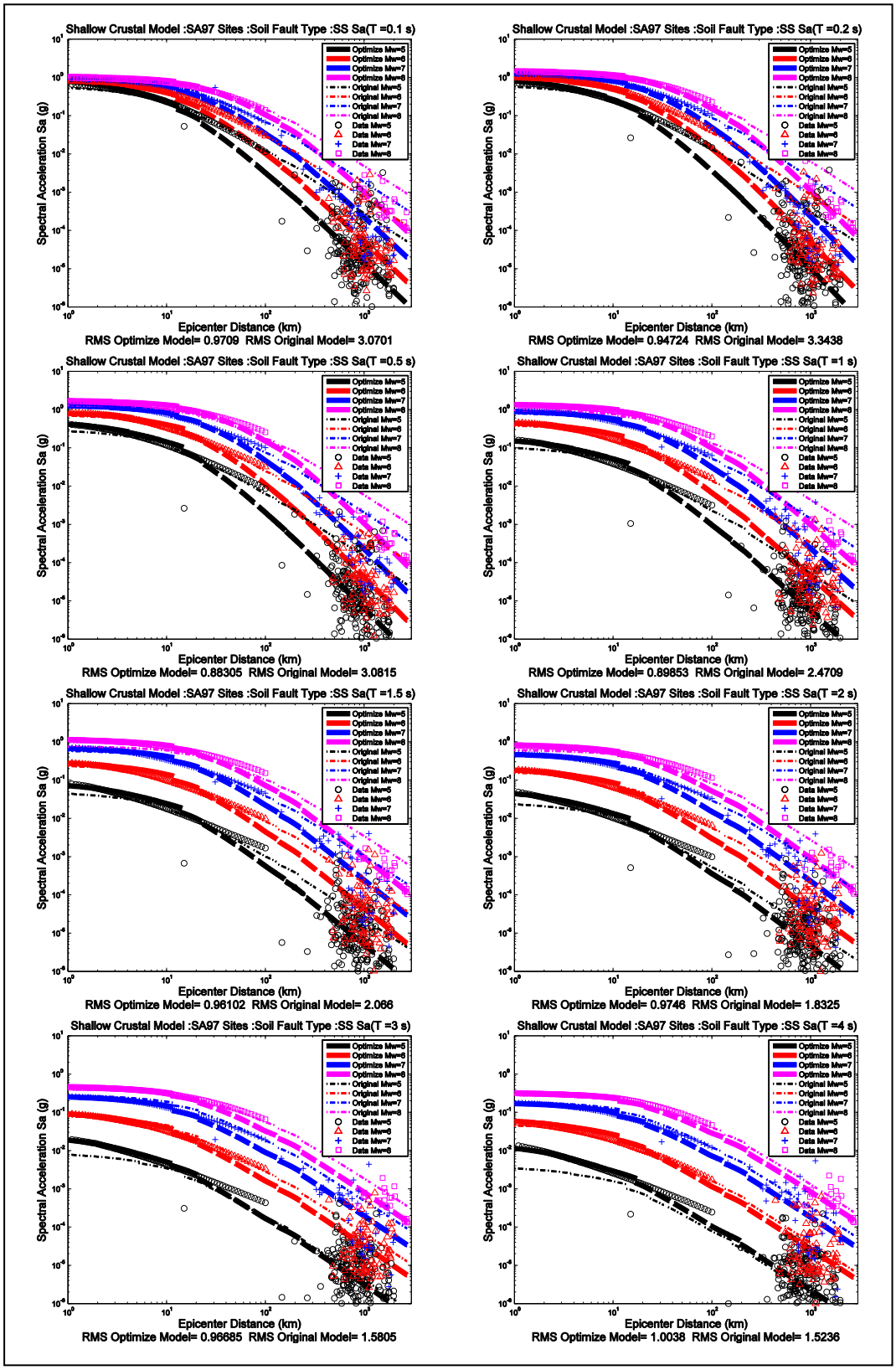
T (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	-2.765	1.642	2.501	0.526	0.606	-0.008	-0.001
0.1	-0.903	1.664	2.522	0.640	0.567	-1.712	0.024
0.2	-0.954	1.659	2.749	0.999	0.531	0.060	0.005
0.5	2.251	1.527	2.709	1.287	0.486	-2.421	-0.030
1	0.139	1.321	2.403	1.403	0.439	-0.906	-0.058
1.5	-2.459	1.218	2.159	1.469	0.399	0.776	-0.073
2	-2.976	1.199	1.965	0.953	0.429	0.023	-0.076
3	-4.109	1.203	1.772	0.534	0.491	-0.338	-0.087
4	-4.055	1.271	1.706	0.264	0.590	-1.352	-0.096



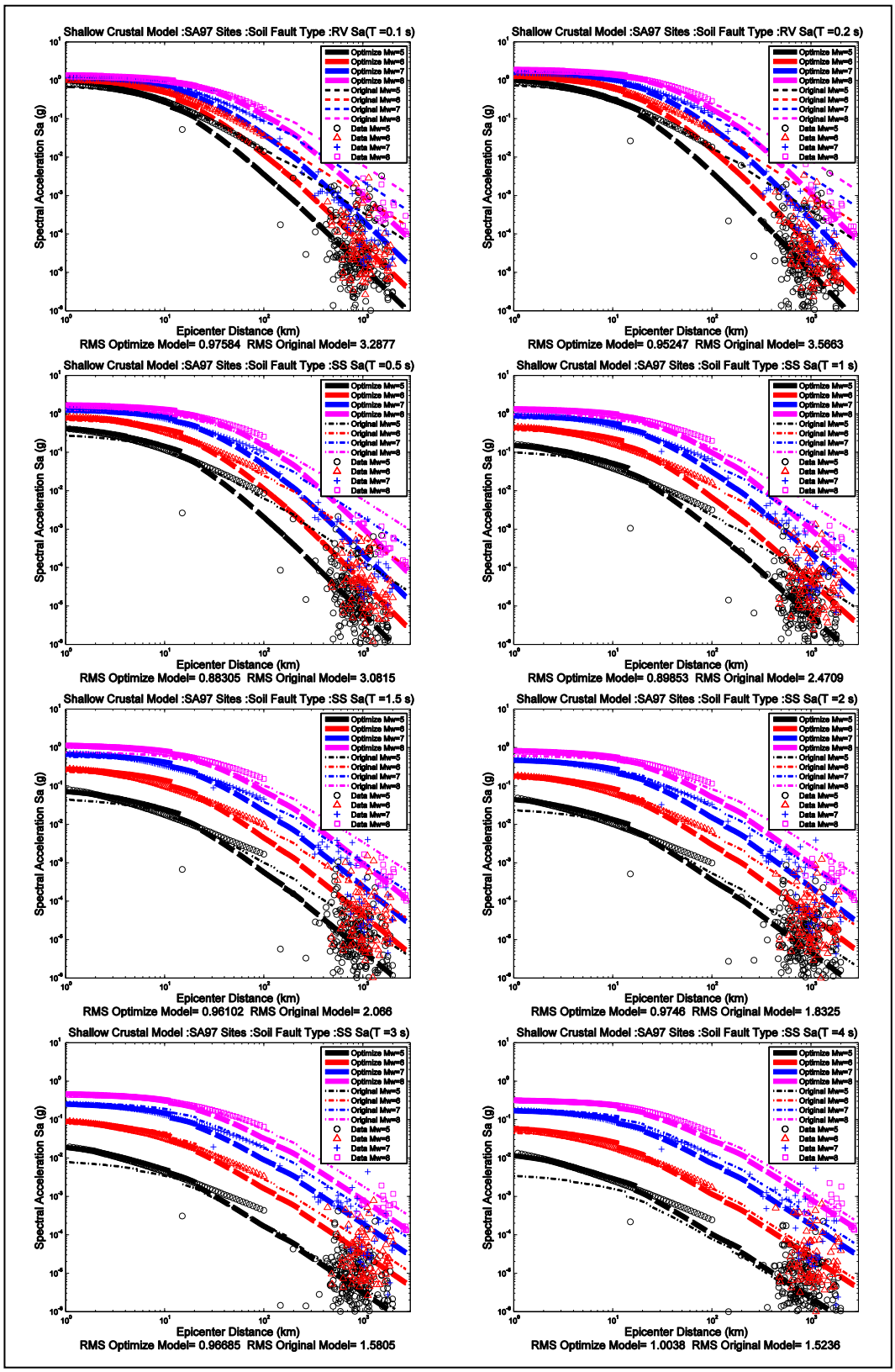
รูปที่ 5.14 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



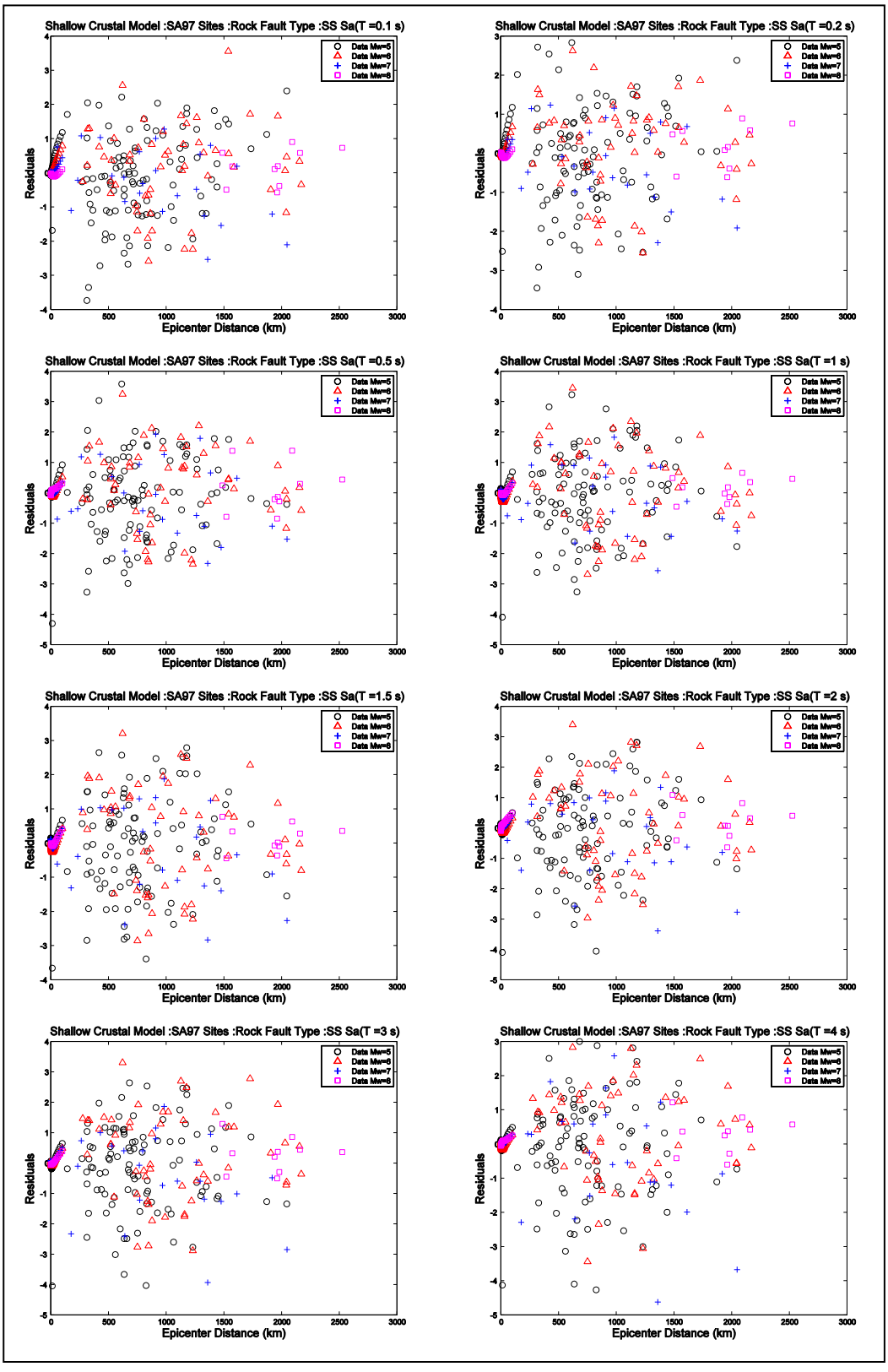
รูปที่ 5.15 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



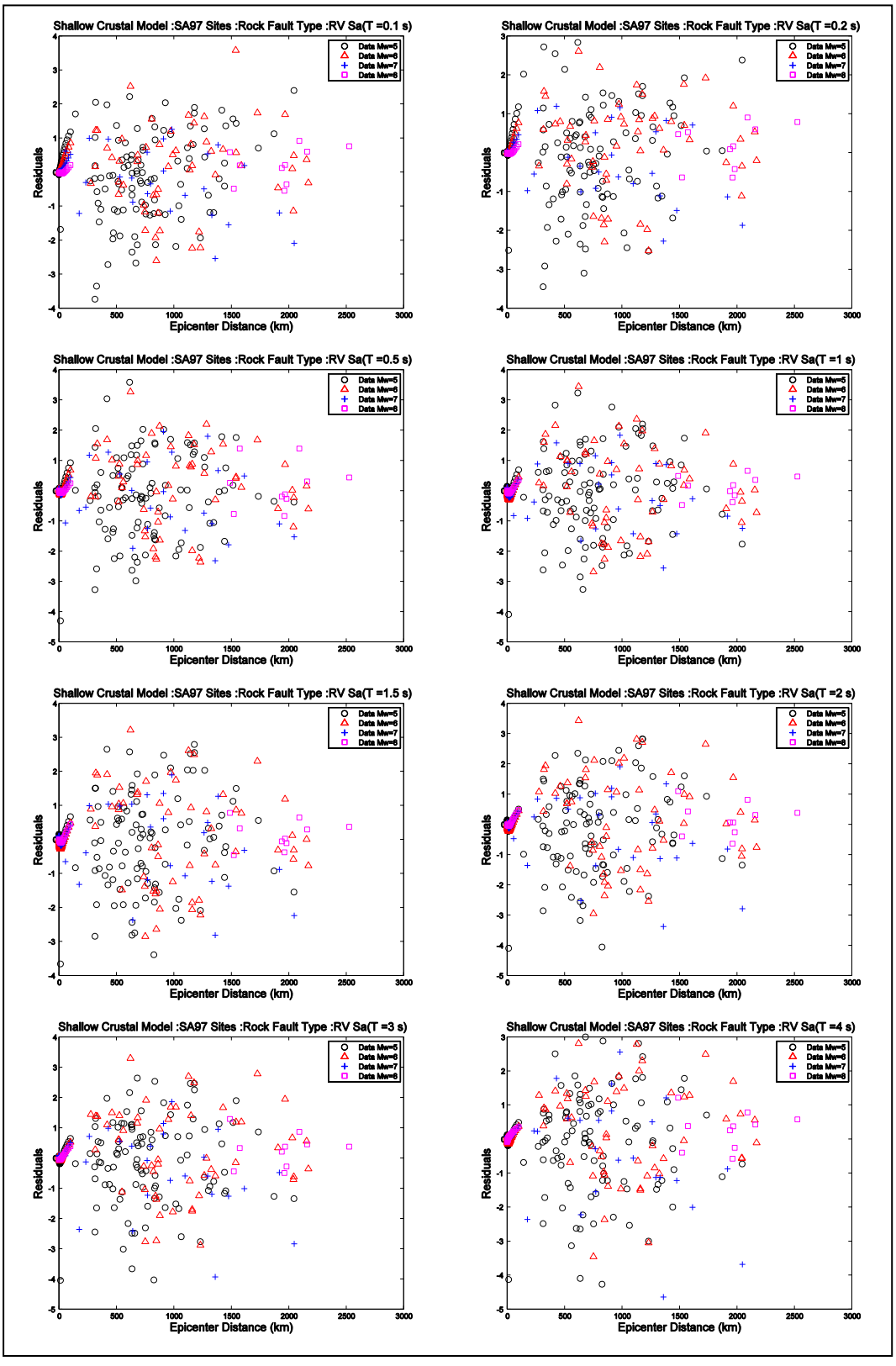
รูปที่ 5.16 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



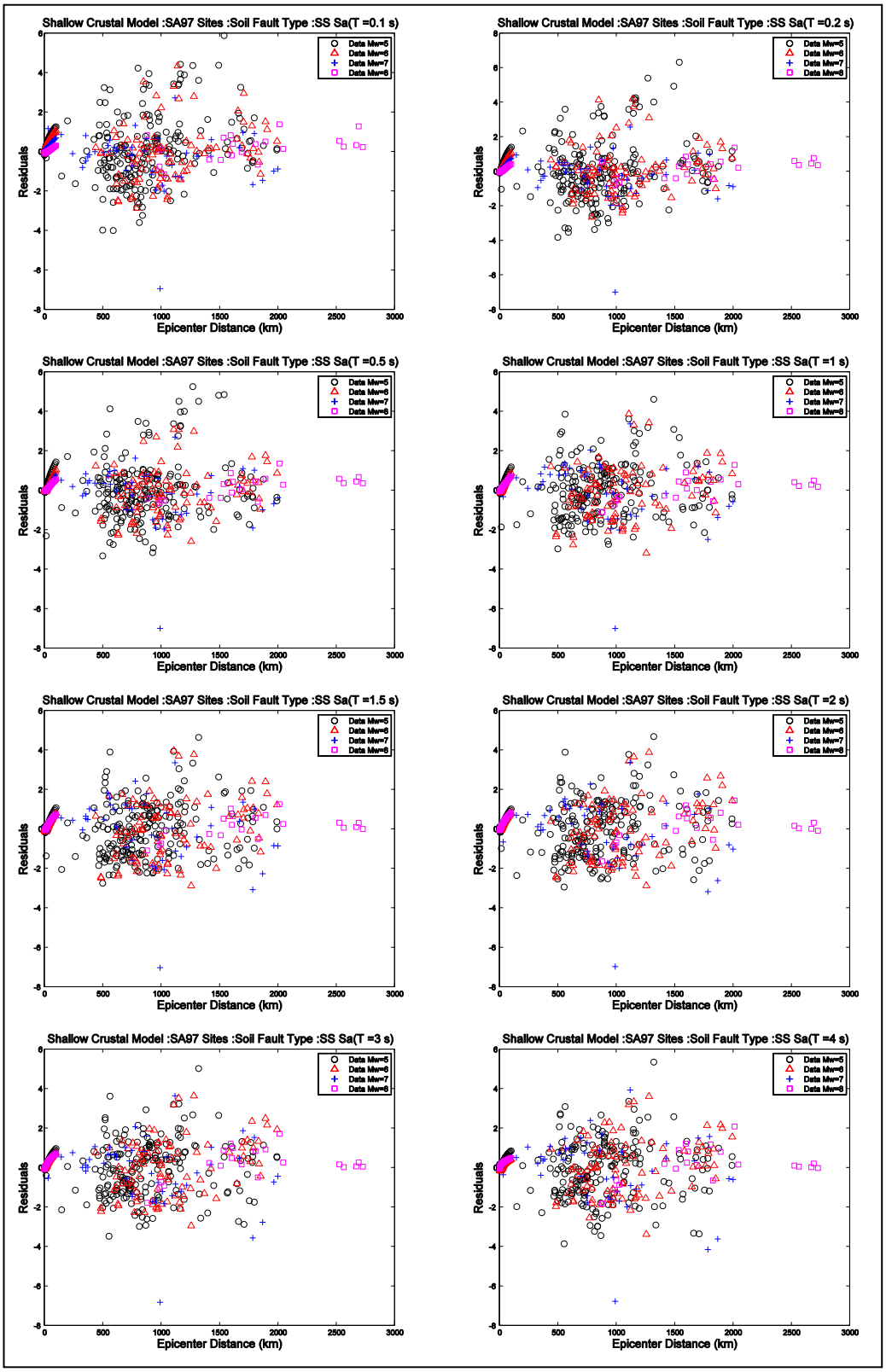
รูปที่ 5.17 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



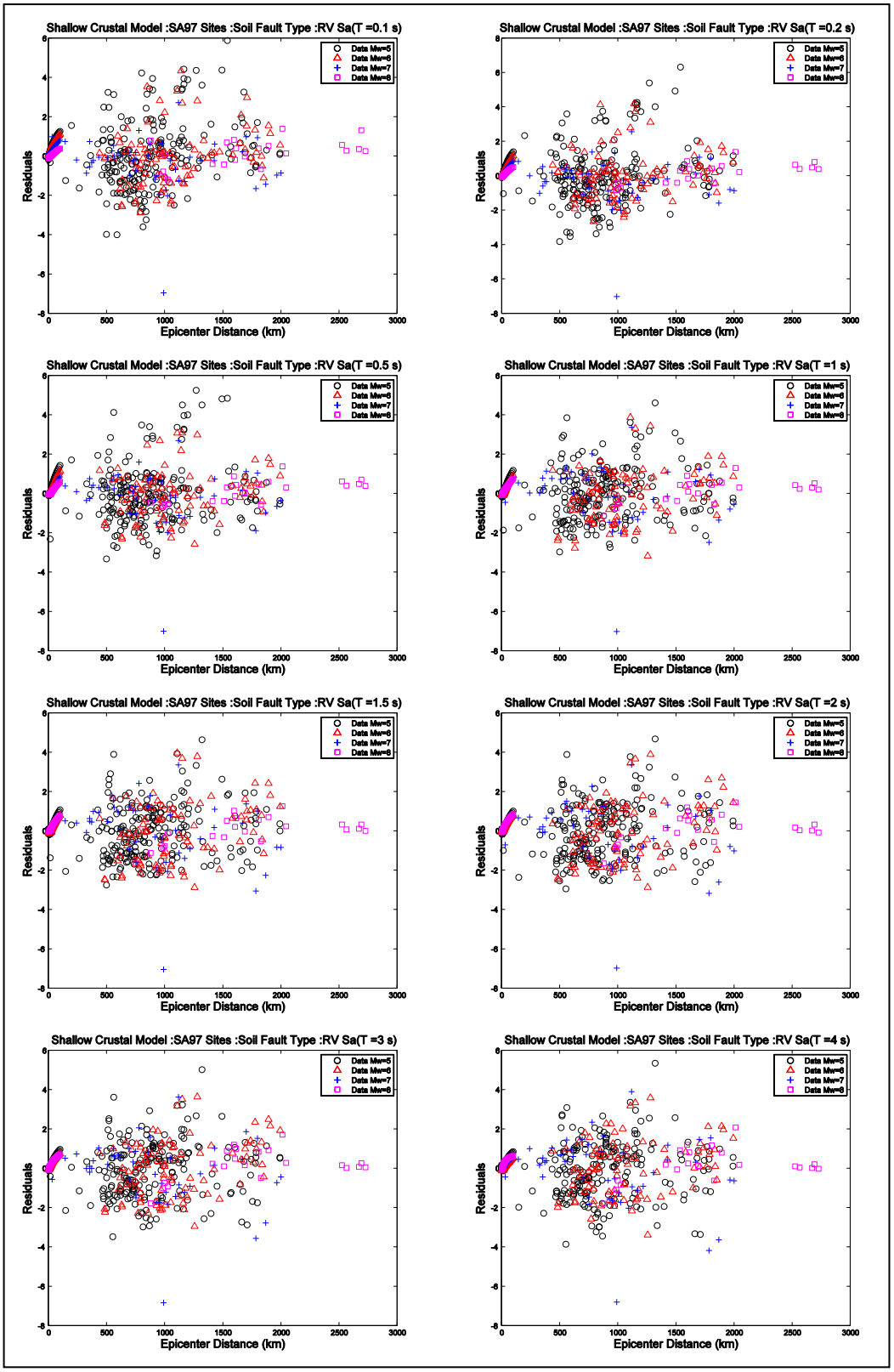
รูปที่ 5.18 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.19 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน



รูปที่ 5.20 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนแนวระดับ



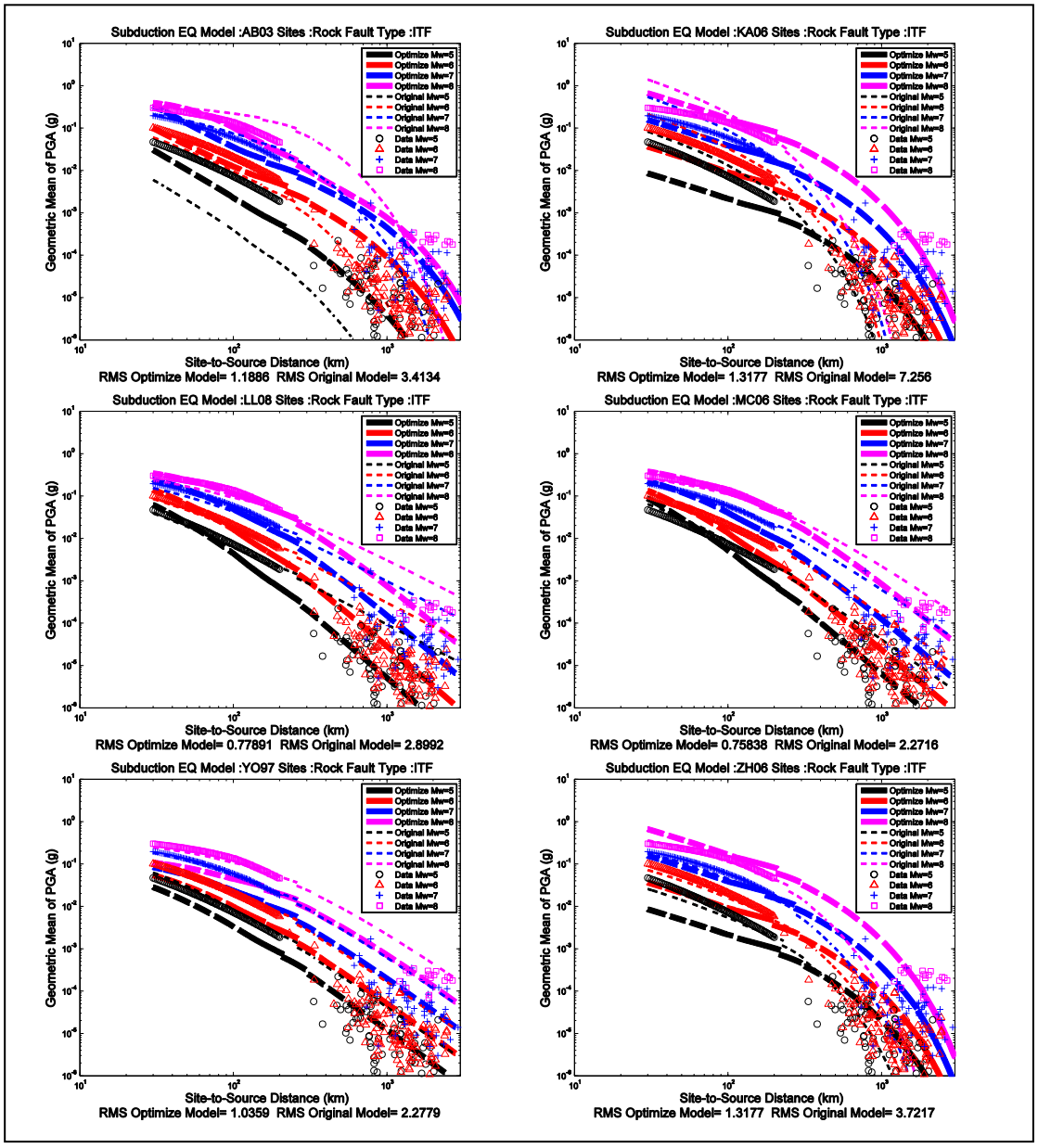
รูปที่ 5.21 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับรอยเลื่อนย้อน

2) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก

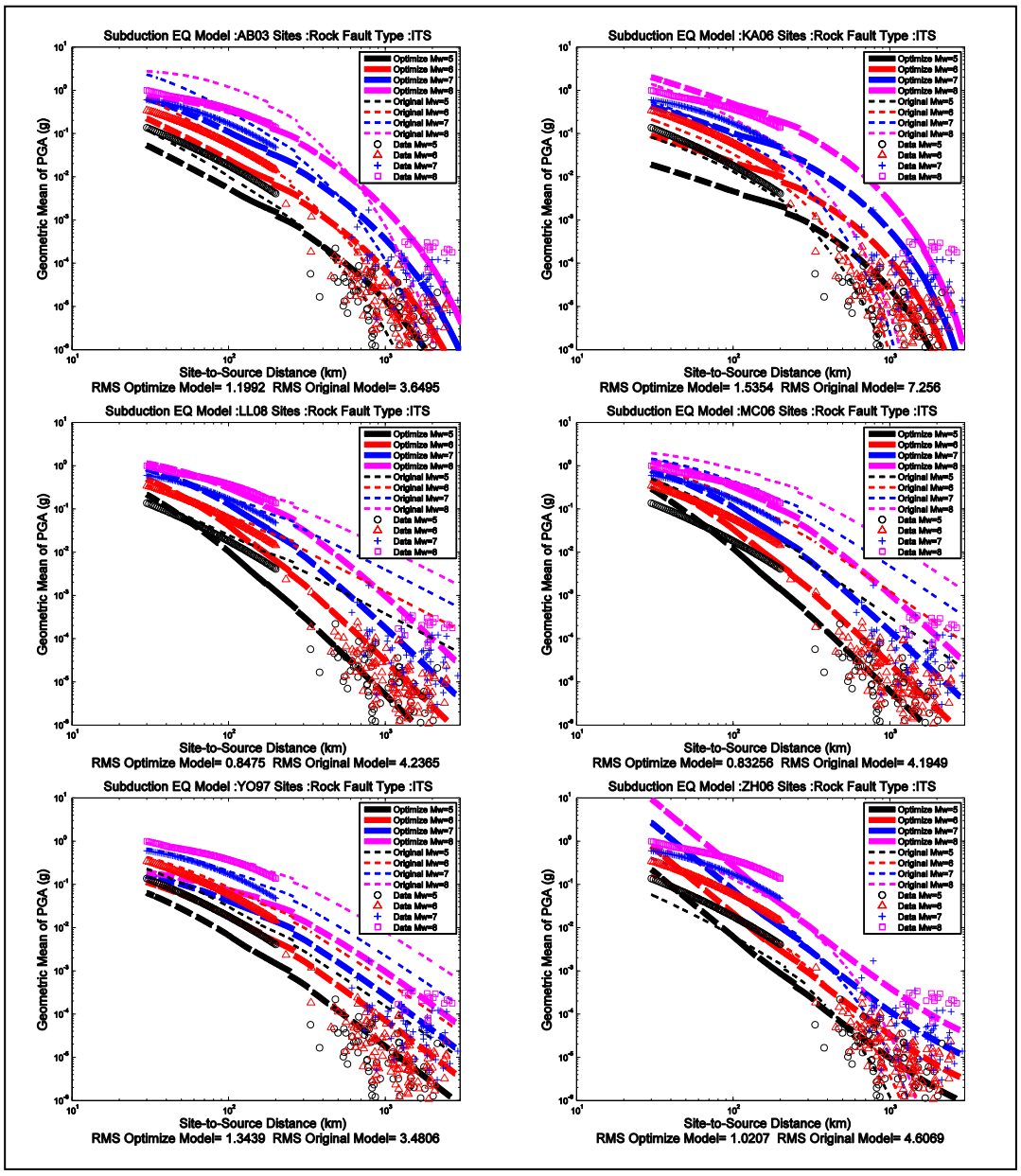
กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินรูปที่ 5.22 ถึง 5.25 แสดงกราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากแต่ละรูปแบบสมการที่ใช้ในการศึกษา และความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก โดยแบ่งตามประเภทชั้นดินที่ตั้งสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว และแบ่งตามเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab) และในรูปที่ 5.22 ถึง 5.25 แสดงการกระจายของจุดข้อมูลความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว รูปที่ 5.26 ถึง 5.29 แสดงการกระจายตัวของค่าคงเหลือระหว่างความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่บันทึกได้จริงในประเทศกับความเร่งสูงสุดของพื้นดินจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการ

จากการเปรียบเทียบค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน พบว่ารูปแบบสมการของ Atkinson และ Boore (2003) Kanno และคณะ (2006) และรูปแบบสมการของ Zhao และคณะ (2006) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่สูง ซึ่งกราฟยังไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ และข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล

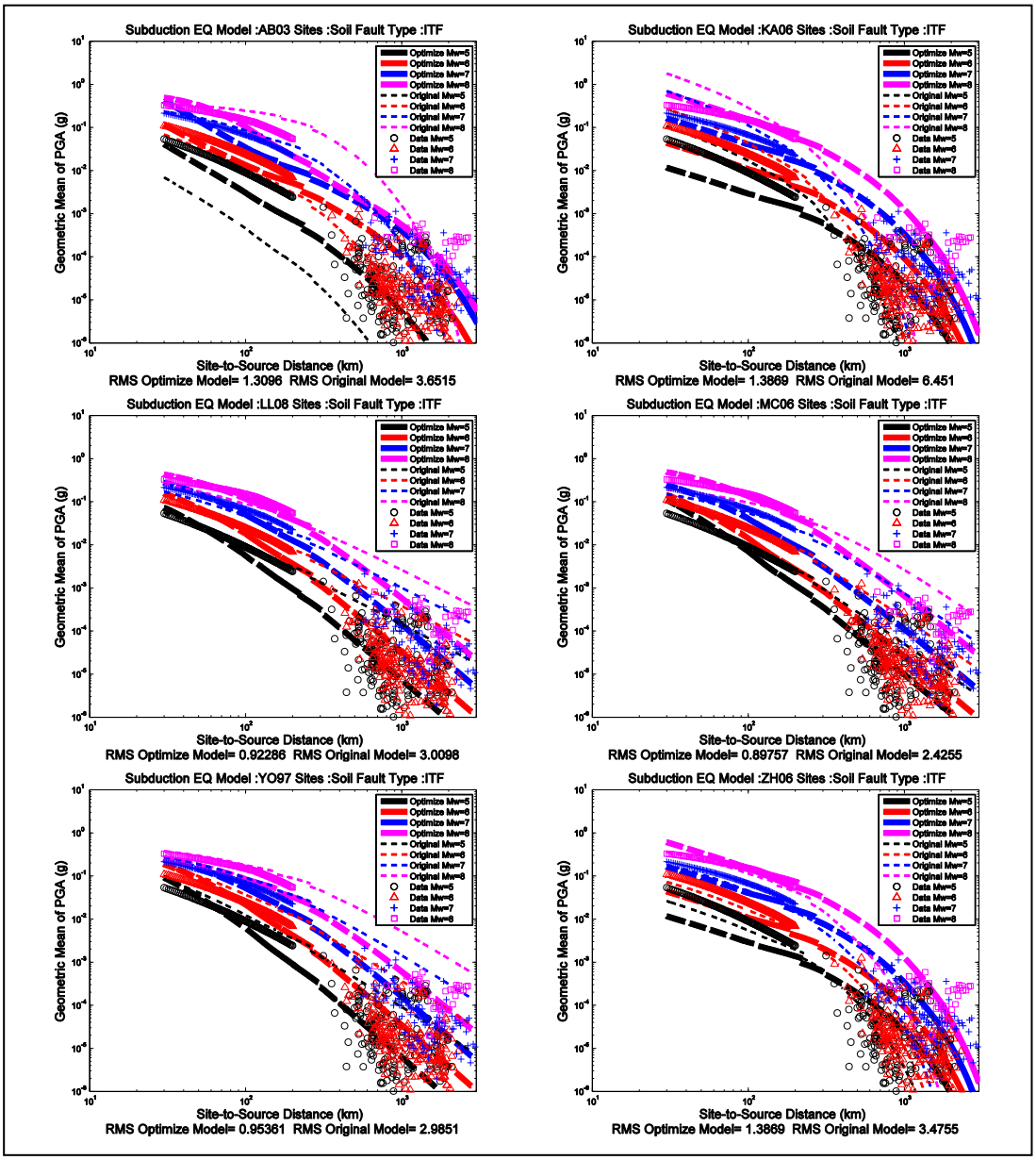
รูปแบบสมการของ Mcverry และคณะ (2007) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำที่สุด แต่รูปแบบสมการมีความสับซ้อน จึงไม่แนะนำในการนำไปใช้ประมาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม รูปแบบสมการของ Youngs และคณะ (1997) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟยังไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศในระยะทางใกล้ แต่สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกล รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ทั้งเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัสและเหตุการณ์ภายในแผ่น ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองมีค่าที่ต่ำ ซึ่งกราฟมีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยจากสมการของต่างประเทศในระยะทางใกล้ และมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยในระยะทางไกลมากที่สุด



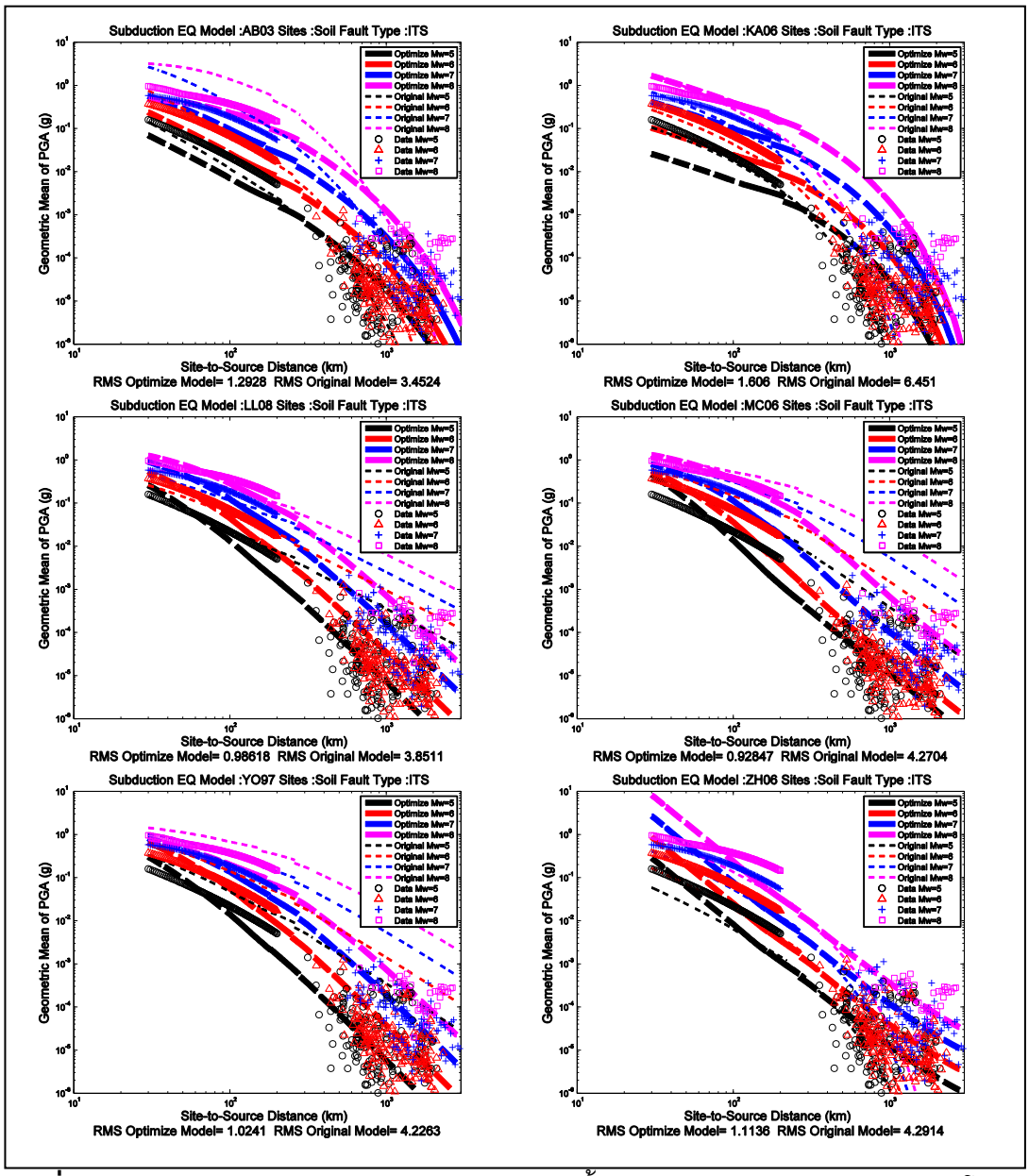
รูปที่ 5.22 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



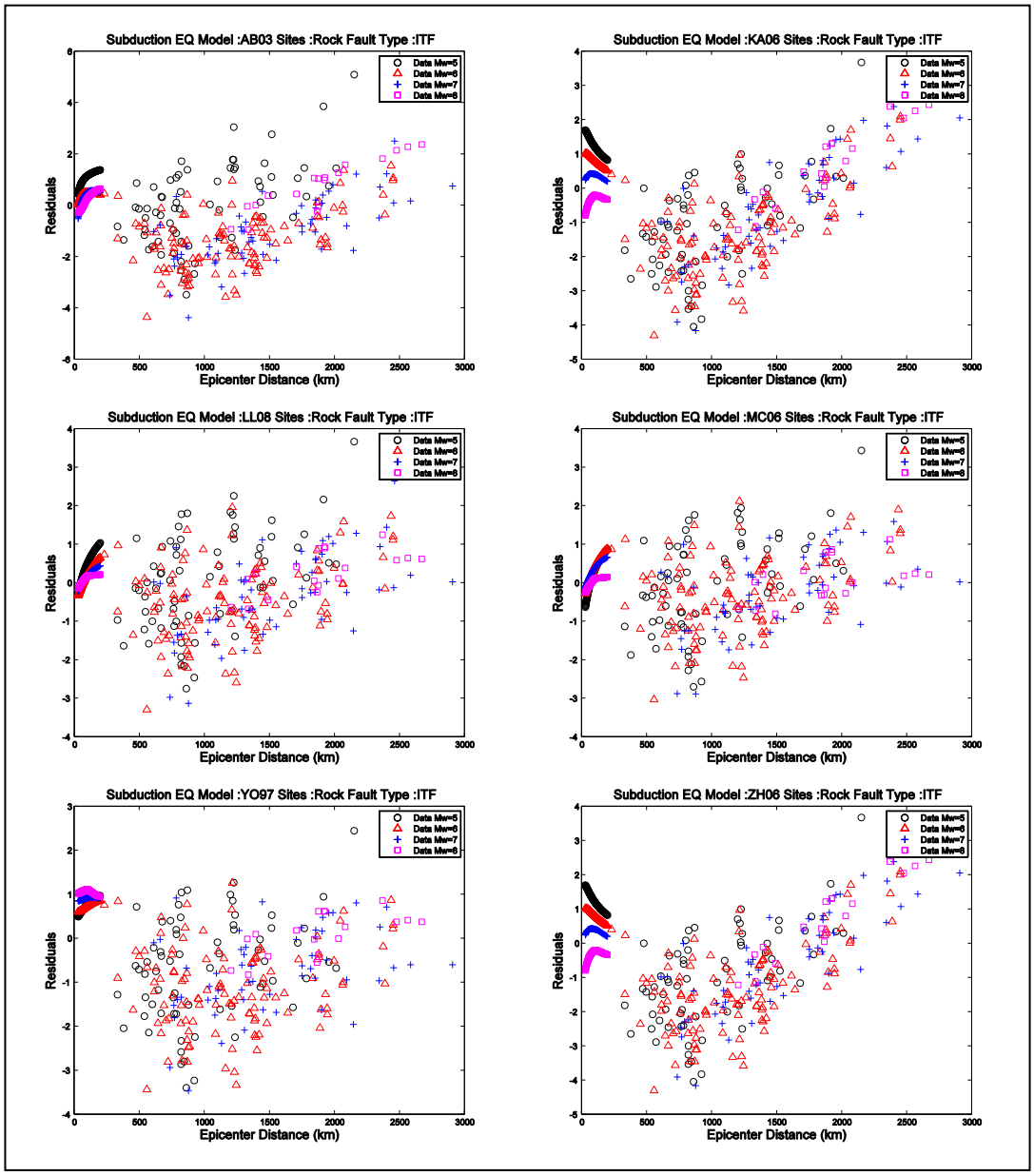
รูปที่ 5.23 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



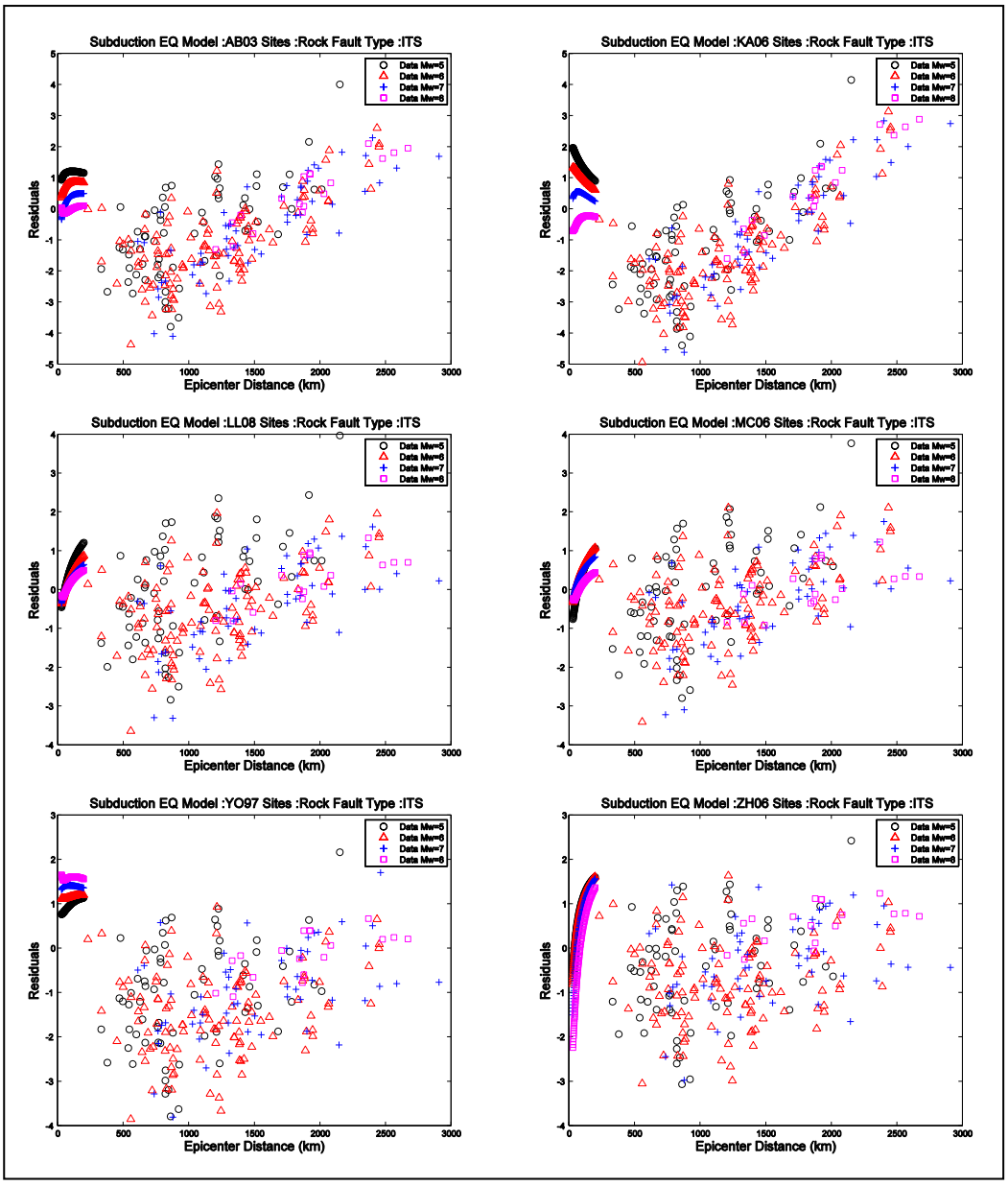
รูปที่ 5.24 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



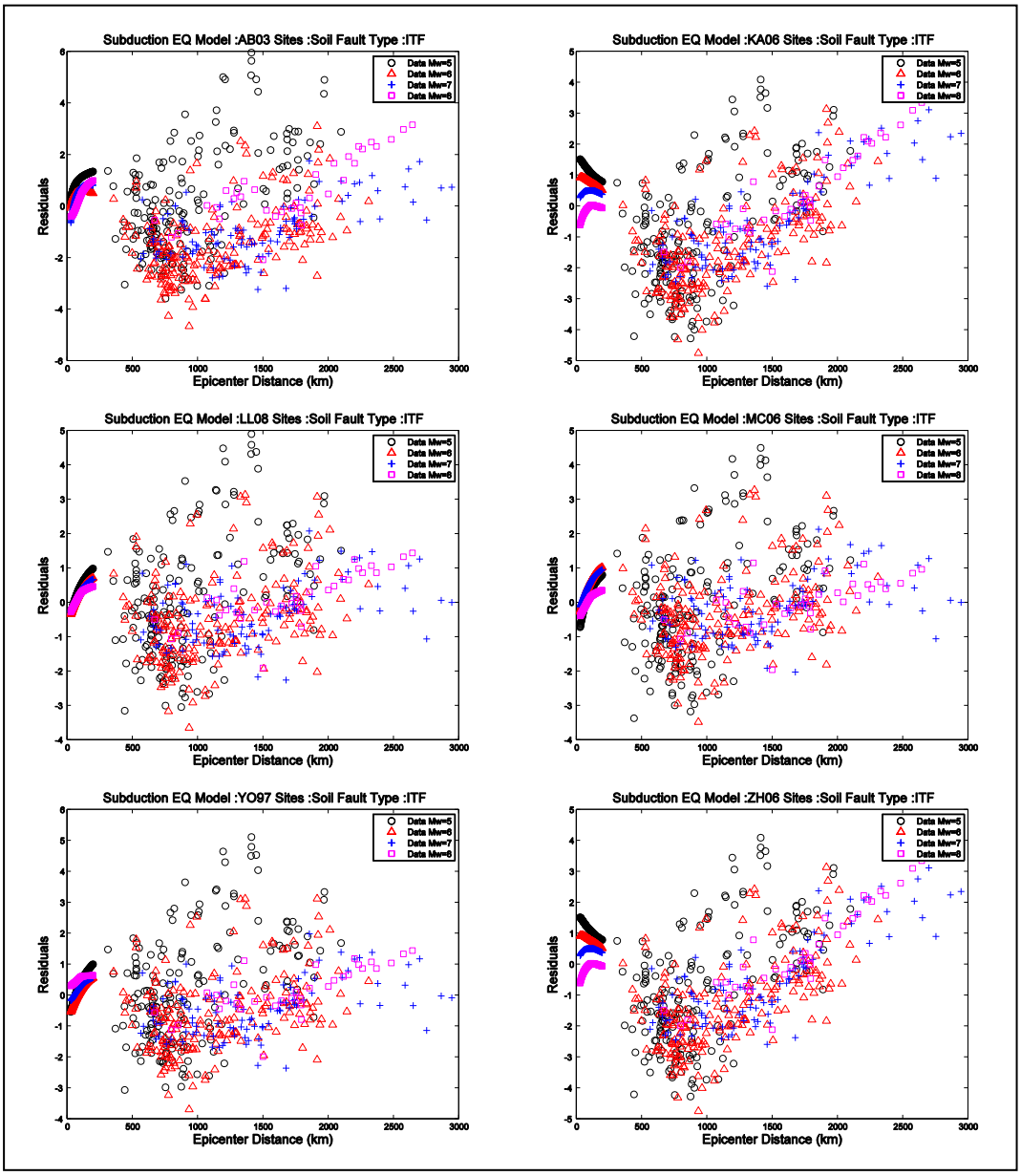
รูปที่ 5.25 กราฟการลดทอนของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



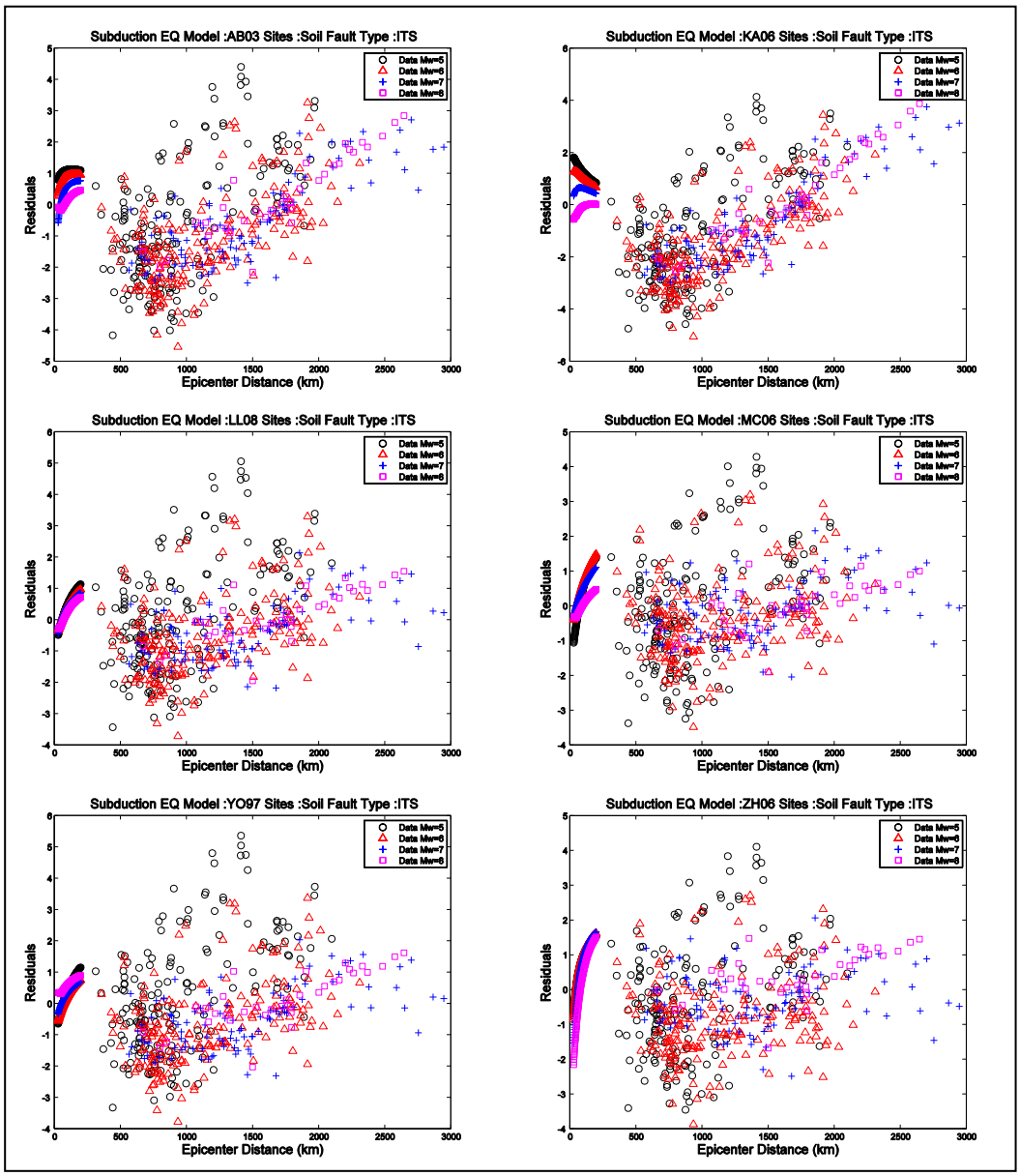
รูปที่ 5.26 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.27 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



รูปที่ 5.28 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.29 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intra slab) ได้แก่ รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008)

รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมจากการเปรียบเทียบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมระหว่าง Lin และ Lee (2008) กับ Youngs และคณะ (1997) จากตารางที่ 5.8 และ 5.9 พบว่า รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (1997) ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองที่ต่ำในทุกๆ คาบธรรมชาติ ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface) และเหตุการณ์ภายในแผ่น (intra slab)

ดังนั้นจึงเลือกใช้รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) สำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ซึ่งแสดงดังสมการที่ 5.7 โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานีที่ตั้งบนหินได้แก่ ตารางที่ 5.10 และ 5.11 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส และเหตุการณ์ภายในแผ่น ตามลำดับ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน ได้แก่ ตารางที่ 5.12 และ 5.13 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส และเหตุการณ์ภายในแผ่น ตามลำดับ โดยกราฟความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทยแสดงดังรูปที่ 5.30 ถึง 5.33 และกราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 5.34 ถึง 5.37

$$\ln(S_a) = C_1 + C_2 M_W + C_3\left(R + C_4 e^{C_5 M_W}\right) + C_6 H + c_7 Z_T \qquad (5.7)$$

โดย

S_a = ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

R = ระยะทางจุดเกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

H = ความลึกศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

Z_T = 0 สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวหน้าสัมผัส (interface events)

Z_T = 1 สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab events)

ตารางที่ 5.8 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน

T (s)	LL08	YO97	LL08	YO97
	ITF		ITS	
0	0.779	0.848	1.036	1.344
0.1	0.825	0.906	0.855	0.941
0.2	0.761	0.814	0.798	0.856
0.5	0.816	0.852	0.853	0.896
1	0.687	0.721	0.725	0.777
1.5	0.692	0.722	0.719	0.769
2	0.72	0.752	0.739	0.786
3	0.761	0.785	0.779	0.81
4	0.834	0.851	-	-
5	0.887	0.903	-	-

ตารางที่ 5.9 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลต่างกำลังสองของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน

T (s)	LL08	YO97	LL08	YO97
	ITF		ITS	
0	0.923	0.986	0.954	1.024
0.1	1.051	1.19	1.077	1.15
0.2	0.973	1.017	1.027	1.073
0.5	0.898	0.93	0.965	1.014
1	0.791	0.823	0.872	0.928
1.5	0.743	0.777	0.828	0.894
2	0.757	0.792	0.835	0.905
3	0.818	0.888	0.86	0.91
4	0.883	0.905	0.941	0.967
5	0.958	0.971	-	-

ตารางที่ 5.10 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface)

T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	1.609	1.778	-3.213	1.393	0.575	-0.008	-0.485
0.1	7.353	1.567	-3.208	2.125	0.486	-0.090	2.882
0.2	2.138	1.729	-3.523	4.191	0.430	0.038	-1.585
0.5	4.488	1.808	-3.329	5.521	0.395	-0.047	-33.487
1	-0.416	1.866	-3.080	6.839	0.368	0.002	-8.070
1.5	-7.968	1.963	-2.836	4.797	0.414	0.103	-7.894
2	-9.541	2.016	-2.594	3.089	0.464	0.092	-2.900
3	-8.505	2.211	-2.338	0.840	0.665	0.008	-0.024
4	-10.708	2.326	-2.201	1.290	0.581	0.013	0.098
5	-11.316	2.406	-2.128	0.916	0.641	0.001	0.089

ตารางที่ 5.11 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน เหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

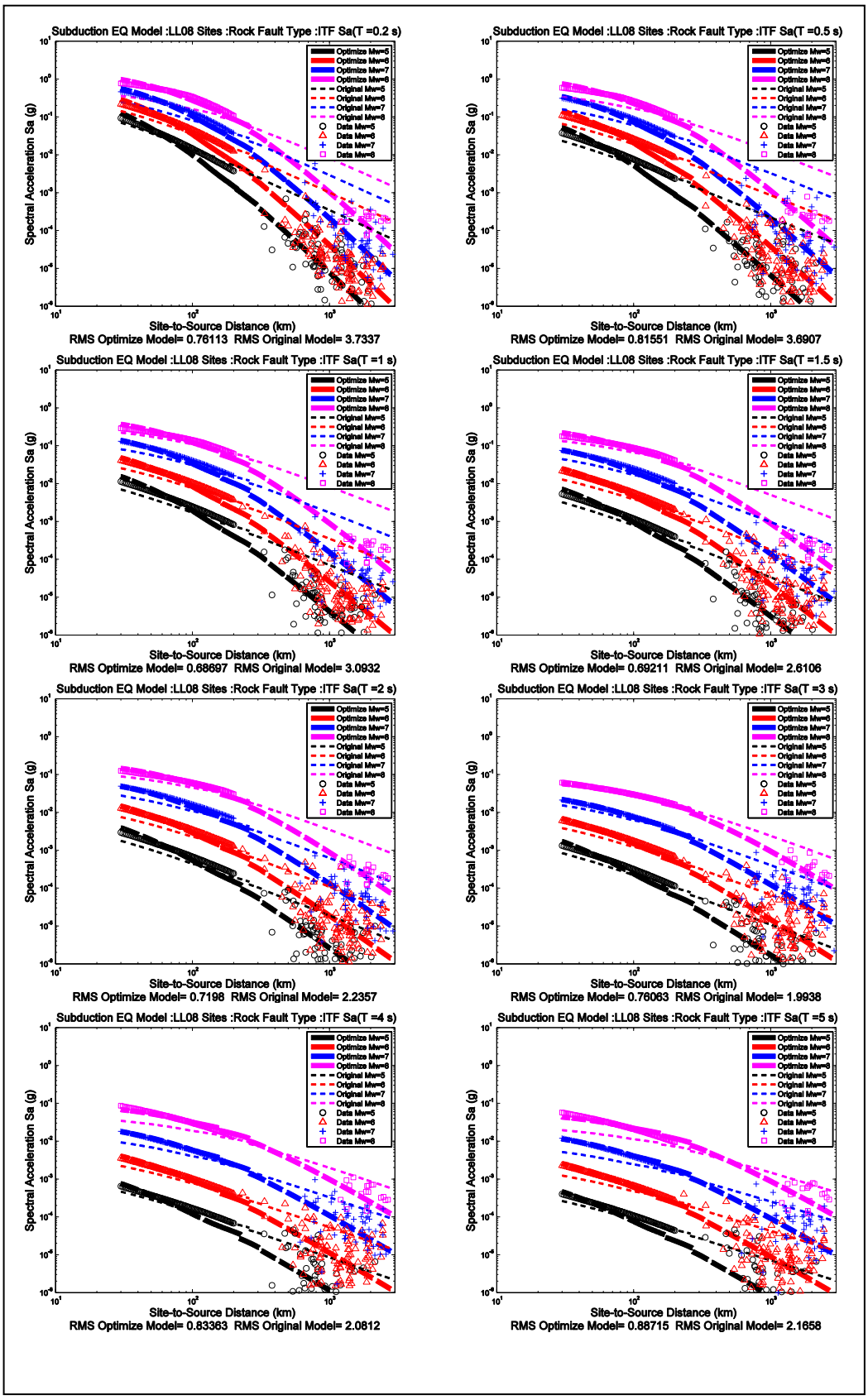
T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.616	1.870	-3.602	1.304	0.573	0.003	0.257
0.1	1.892	1.671	-3.654	1.820	0.507	0.015	0.431
0.2	16.308	1.794	-3.841	3.580	0.448	-0.049	-0.657
0.5	0.798	1.856	-3.578	4.430	0.415	0.030	-3.068
1	19.684	1.903	-3.311	6.226	0.355	-0.108	3.121
1.5	9.278	1.996	-3.055	4.865	0.380	-0.049	-0.999
2	0.354	2.058	-2.851	3.371	0.425	-0.015	-0.736
3	-10.156	2.198	-2.329	0.129	0.808	0.009	0.193
4	-8.154	2.367	-2.410	1.346	0.569	-0.004	0.128
5	-9.921	2.447	-2.341	1.035	0.619	-0.004	0.660

ตารางที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน เหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส (interface)

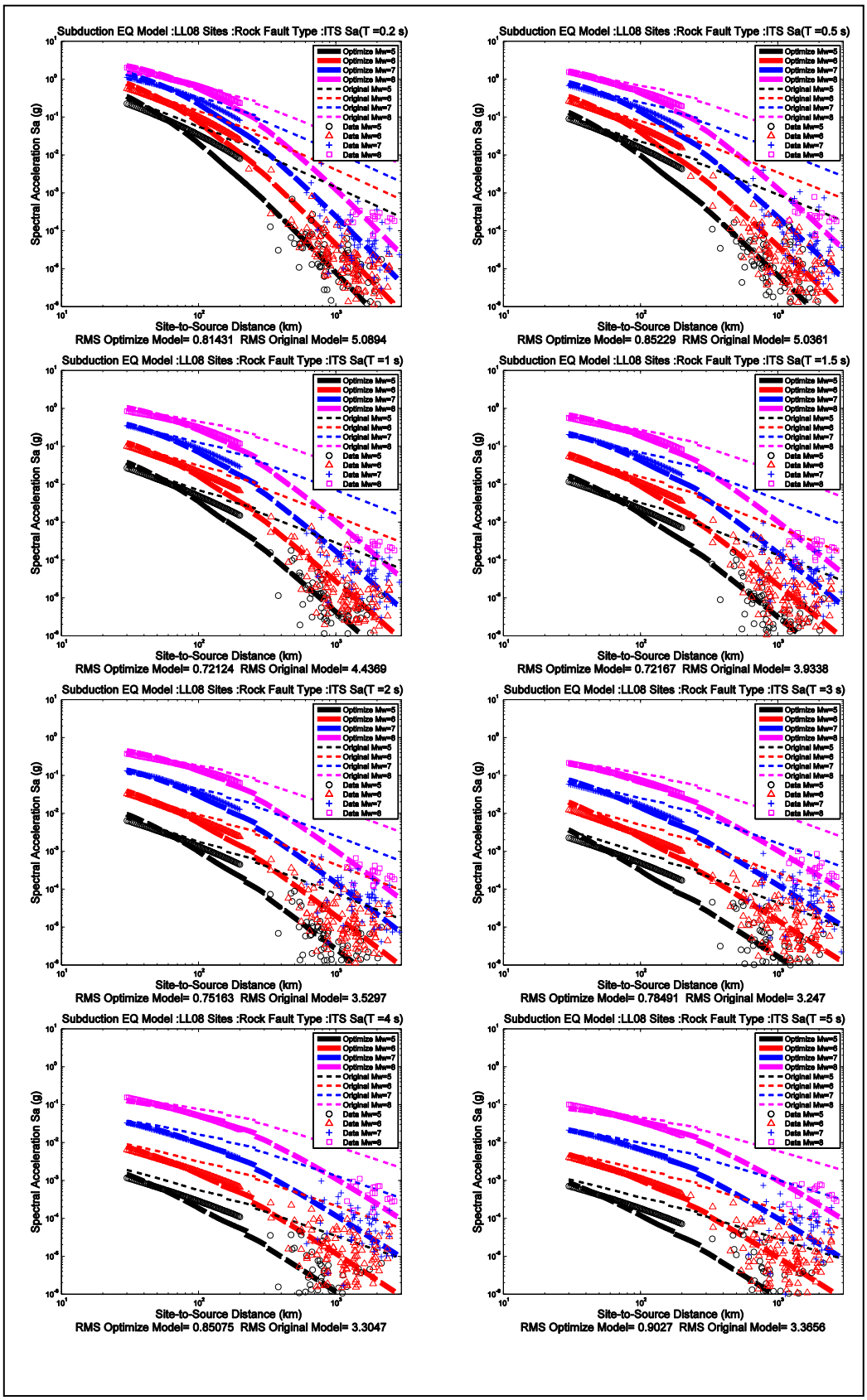
T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.568	1.538	-3.186	2.640	0.465	0.000	0.680
0.1	1.976	1.246	-2.742	0.011	1.031	-0.006	13.061
0.2	5.901	1.482	-3.533	8.182	0.321	-0.003	2.038
0.5	4.284	1.670	-3.581	10.441	0.301	0.008	0.272
1	-3.157	1.771	-3.283	14.428	0.254	0.098	16.446
1.5	1.072	1.834	-3.027	21.723	0.197	-0.033	-2.492
2	-0.071	1.876	-2.784	26.195	0.167	-0.051	-4.834
3	-7.527	2.034	-2.411	8.847	0.313	0.022	-0.482
4	-8.480	2.107	-2.217	7.730	0.326	0.001	0.148
5	-9.197	2.104	-2.095	3.985	0.370	-0.007	-0.924

ตารางที่ 5.13 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน เหตุการณ์ภายในแผ่น (intraslab)

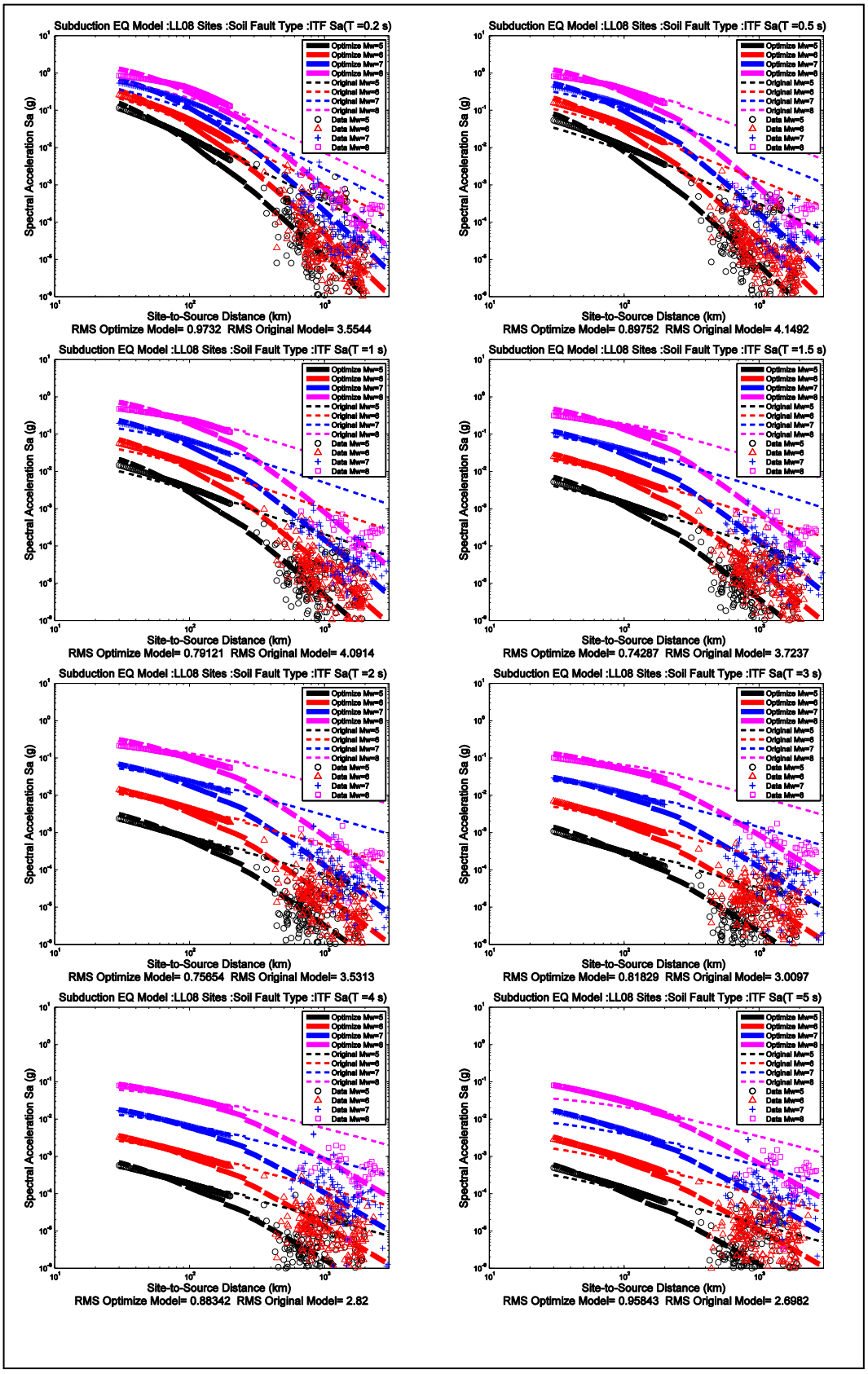
T (s)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0	2.925	1.624	-3.567	2.023	0.494	0.003	1.185
0.1	-0.178	1.013	-2.868	-2.433	-0.780	0.017	0.834
0.2	2.941	1.549	-3.699	2.846	0.437	0.008	1.956
0.5	2.557	1.695	-3.774	8.791	0.304	0.009	1.497
1	5.662	1.798	-3.467	13.182	0.239	0.004	-3.693
1.5	11.107	1.869	-3.239	22.161	0.165	-0.046	-1.204
2	12.533	1.918	-3.029	30.518	0.119	-0.069	0.176
3	-9.253	1.859	-2.047	2.837	-1.556	0.002	0.893
4	-7.251	2.168	-2.427	6.641	0.322	-0.002	0.264
5	-14.180	2.130	-2.242	3.879	0.373	0.026	0.391



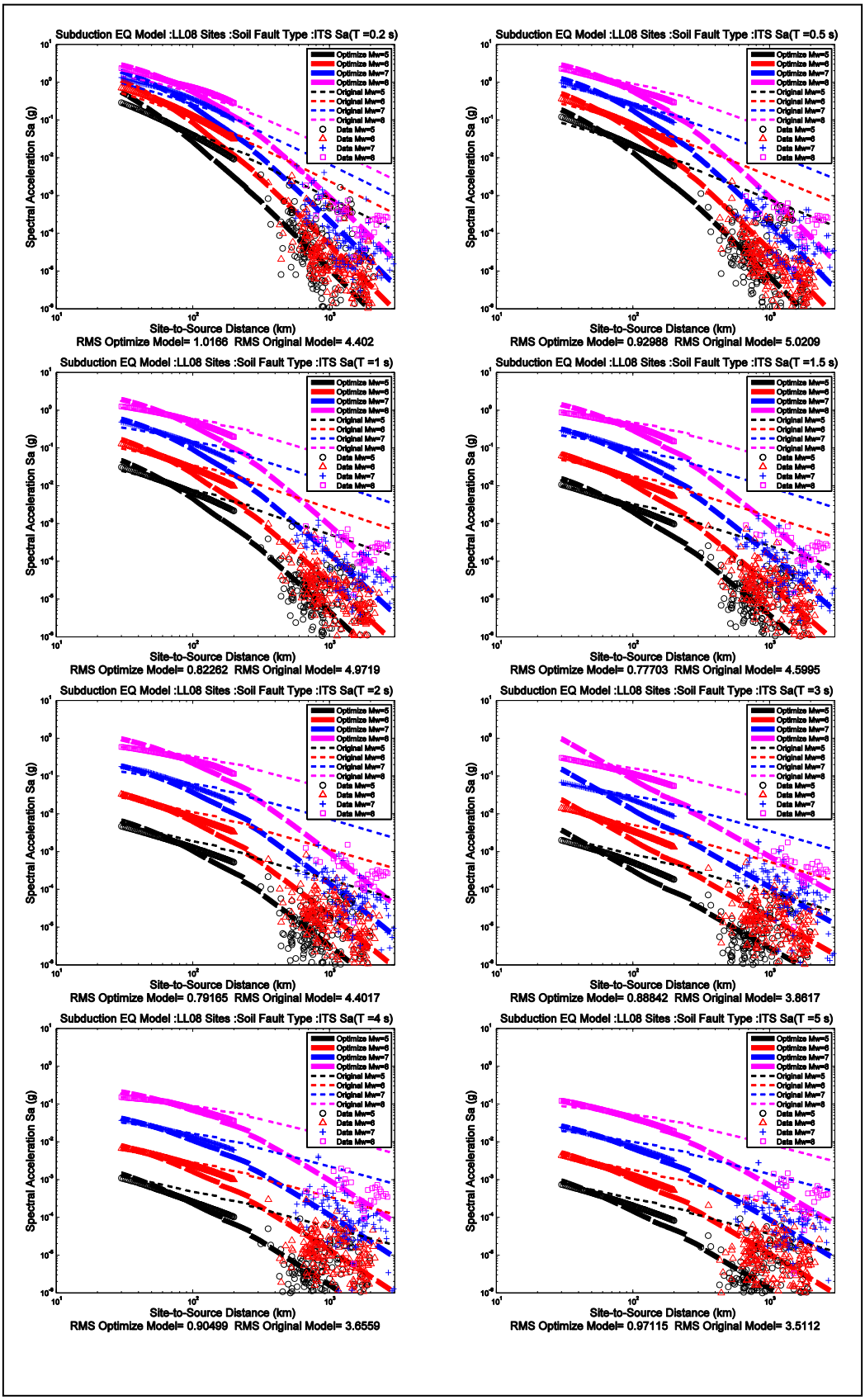
รูปที่ 5.30 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ผิวสัมผัส



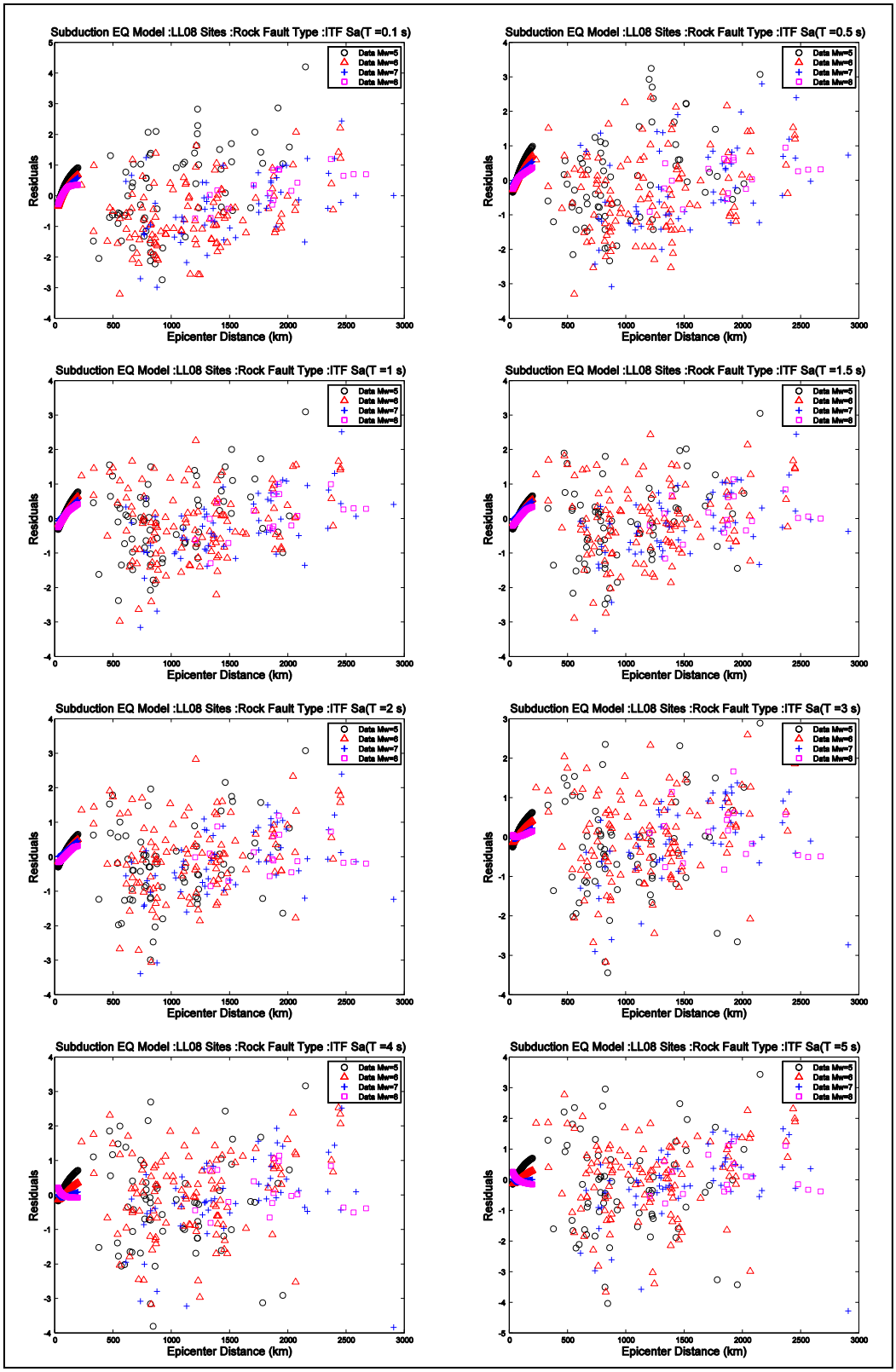
รูปที่ 5.31 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



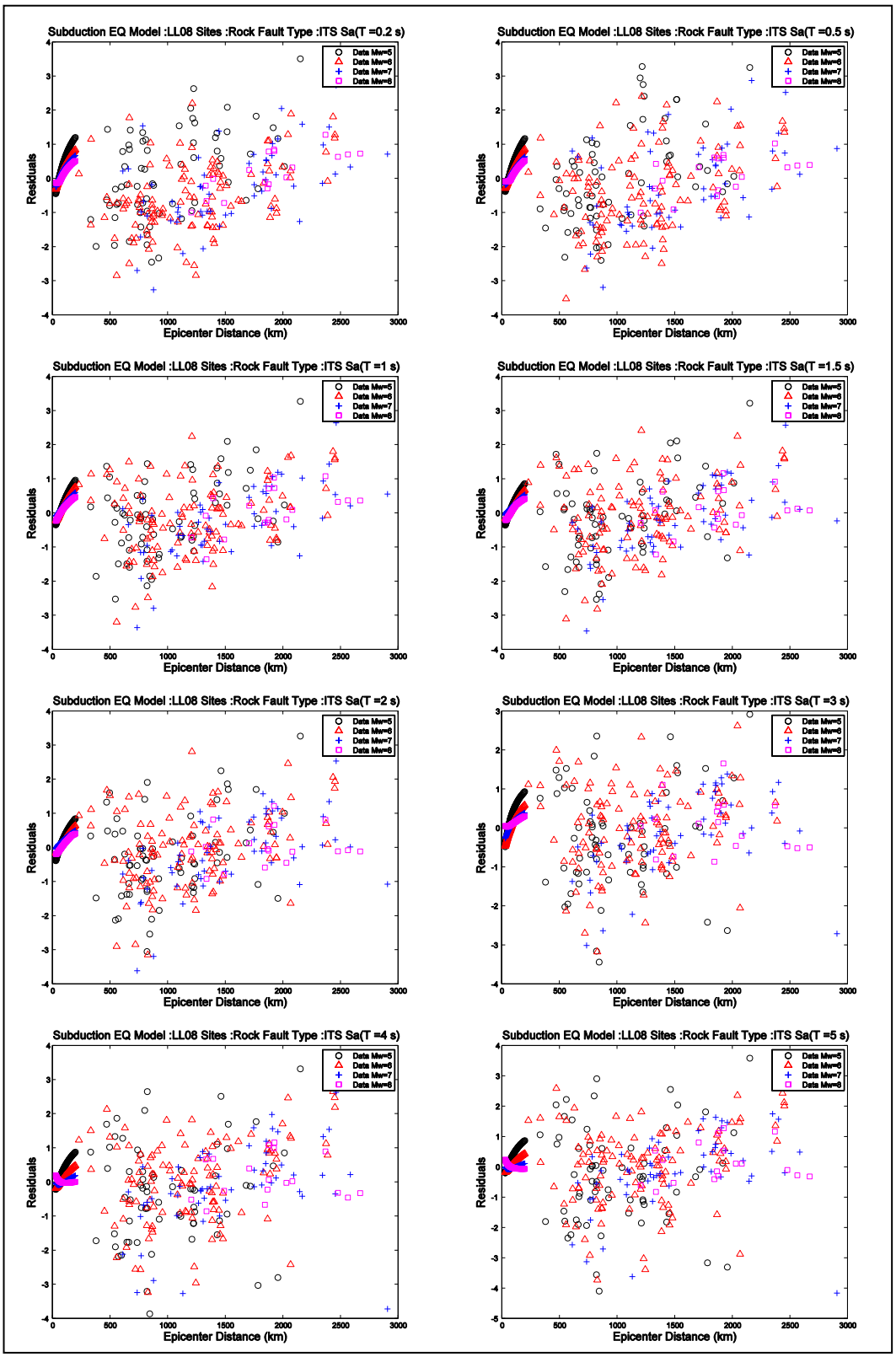
รูปที่ 5.32 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ผิวสัมผัส



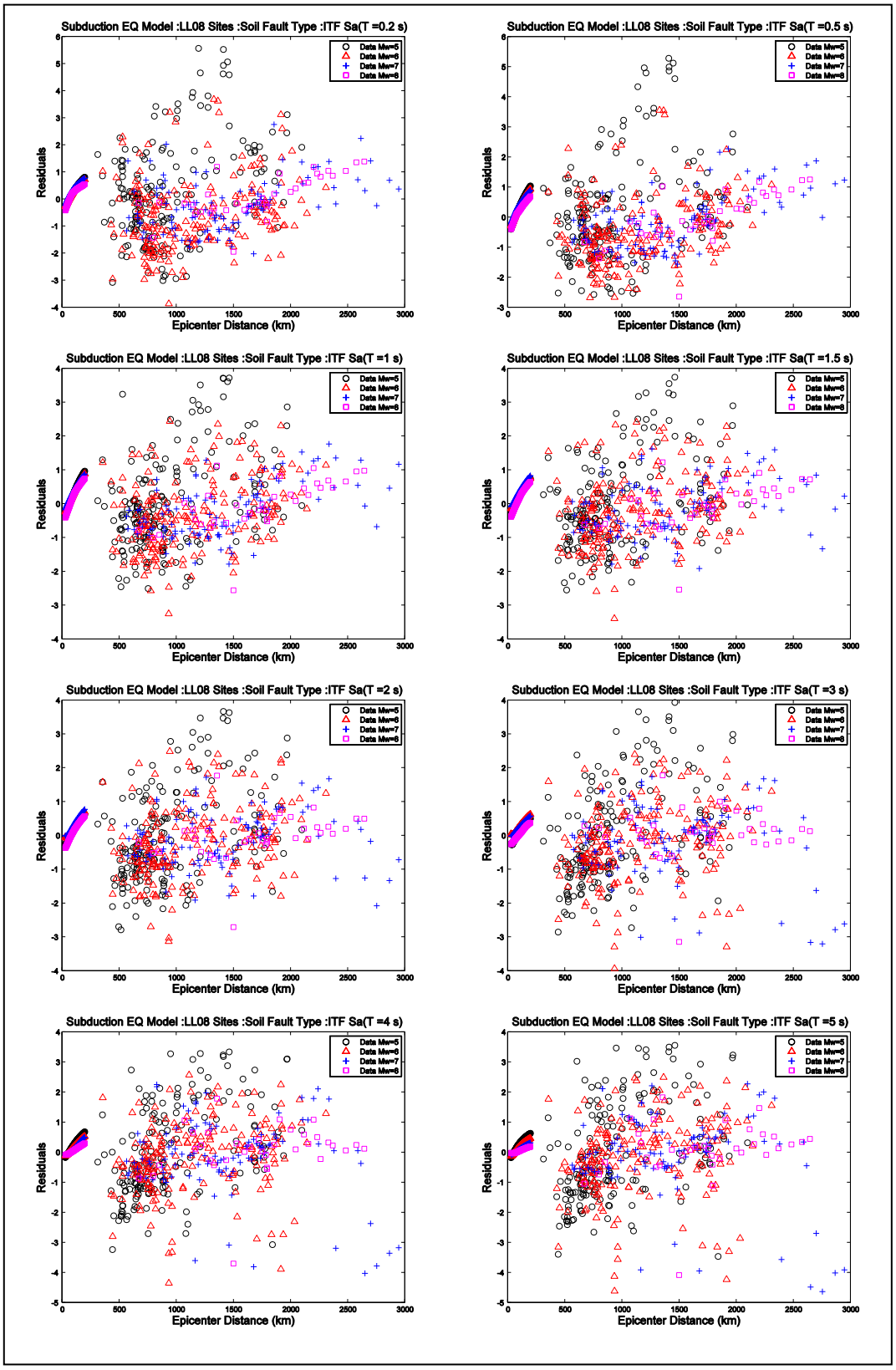
รูปที่ 5.33 กราฟการลดทอนของความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



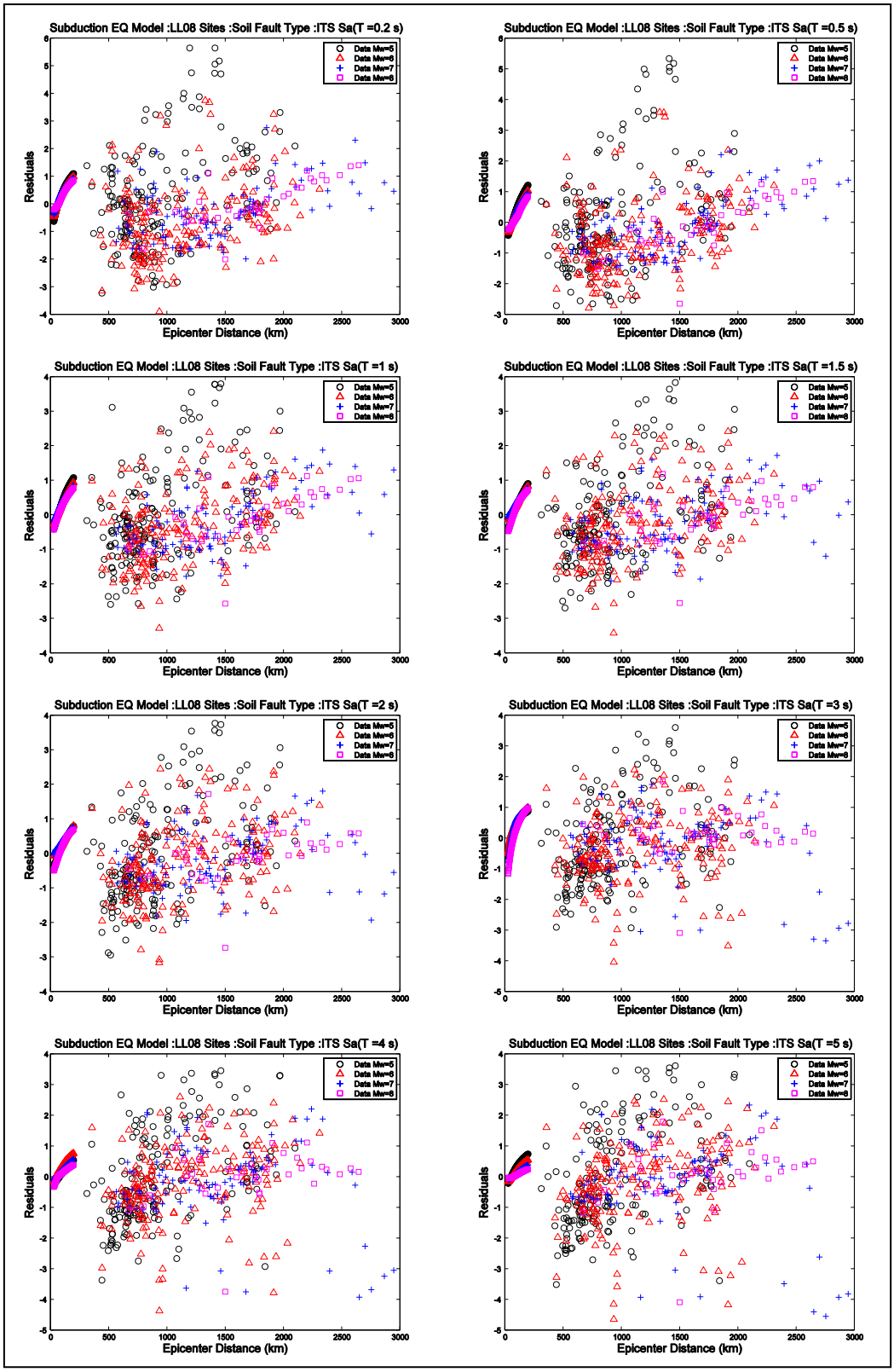
รูปที่ 5.34 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.35 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น



รูปที่ 5.36 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 5.37 กราฟค่าคงเหลือของความเร่งสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน สำหรับเหตุการณ์ภายในแผ่น

5.2.3 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดิน

การศึกษานี้เลือกพิจารณาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศทั้งหมด 3 สมการ ได้แก่ Akkar และ Bommer (2010) , Campbell (1997) สมการสำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง และสมการของ Kanno และคณะ (2006) สมการสำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังและสำหรับบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก

การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลเสริมในระยะทางใกล้ๆ สำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน ตั้งแต่ ระยะทางที่ 1 ถึง 100 กิโลเมตร สำหรับที่ระยะทางไกลๆ ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยเพื่อพิจารณาหารูปแบบของสมการลดทอนของต่างประเทศ ที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยและข้อมูลเสริมในระยะทางใกล้

จากการประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดินพบว่า รูปแบบสมการบริเวณการแปรสัณฐาน สมการของ Akkar และ Bommer (2010) มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ระยะทางไกล และมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทางใกล้แต่ให้ค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทาง 50 ถึง 100 กิโลเมตร ทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน แสดงดังรูปที่ 5.38 และ 5.39

รูปแบบสมการของ Campbell (1997) มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยที่ระยะทางไกล และมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทางใกล้เฉพาะสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนแนวระดับ นอกจากนั้นรูปแบบสมการยังไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลระยะทางใกล้และระยะทางไกลเท่าที่ควร สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนย้อน และสถานีที่ตั้งบนดิน ทั้งรอยเลื่อนแนวระดับและรอยเลื่อนย้อน แสดงดังรูปที่ 5.40 ถึง 5.43

รูปแบบสมการของ Kanno และคณะ (2006) สำหรับที่ตั้งสถานีบนหินและบนดิน สมการการประมาณค่าได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศที่ช่วงระยะทางใกล้ที่ขนาดโมเมนต์ 5 และ 6 ที่ระยะทาง 1 ถึง 100 กิโลเมตร ที่ขนาดโมเมนต์ 7 ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ และที่ขนาดโมเมนต์ 8 ให้ค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากสมการลดทอนของต่างประเทศ แสดงดังรูปที่ 5.40 ถึง 5.43

รูปแบบสมการลดทอนที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดินทั้งสถานีที่ตั้งบนหินและบนดิน ได้แก่ รูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) สมการที่ 5.8 โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและบนดินได้แก่ ตารางที่ 5.14 และ 5.15

$$\log(PGV) = c_1 + c_2 M_W - c_3 M_W{}^2 + (c_4 - c_5 M_W)\log\sqrt{R_{jb}^2 + c_6{}^2} + c_7 S_S + c_8 S_A - c_9 F_N + c_{10} F_R \quad (5.8)$$

โดย

PGV = ความเร็ว (เซนติเมตร/วินาที)

M_W = ขนาดโมเมนต์

R_{jb} = ระยะทางในแนวราบที่สั้นที่สุดถึงบริเวณภาพฉายบนผิวดินของระนาบแตกร้าว (Joyner-Boore distance) (กิโลเมตร)

S_S = 1 สำหรับที่ตั้งชั้นดินอ่อน และ 0 สำหรับที่ตั้งแบบอื่น ($Vs_{30} < 360$)

S_A = 1 สำหรับที่ตั้งชั้นดินแข็ง และ 0 สำหรับที่ตั้งแบบอื่น ($360 < Vs_{30} \leq 760$)

F_N = 1 สำหรับการเลื่อนแบบปกติ (normal slip) และ 0 สำหรับการเลื่อนแบบอื่น

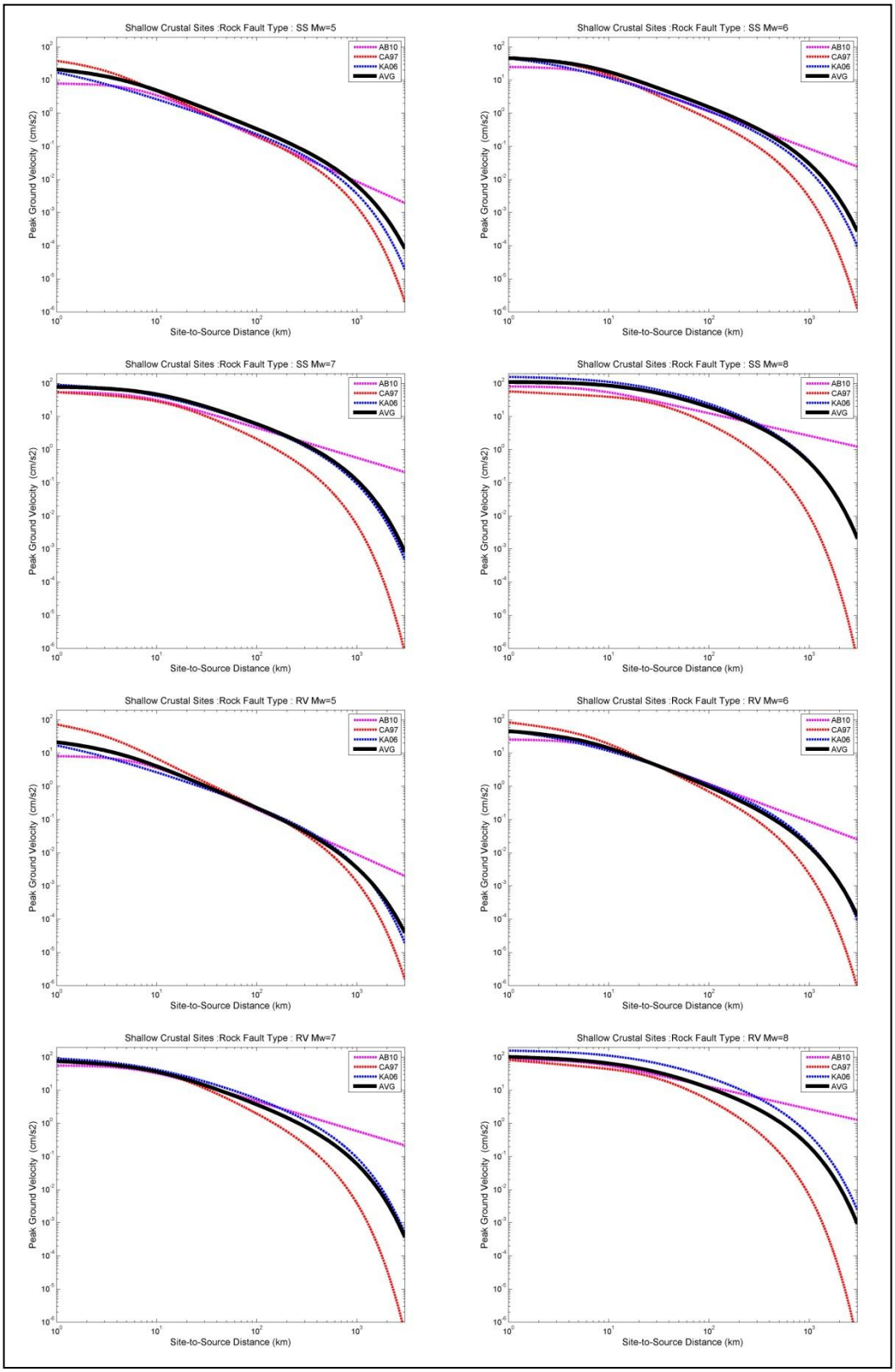
F_R = 1 สำหรับการเลื่อนแบบย้อน (reverse) และ 0 สำหรับการเลื่อนแบบอื่น

ตารางที่ 5.14 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหิน

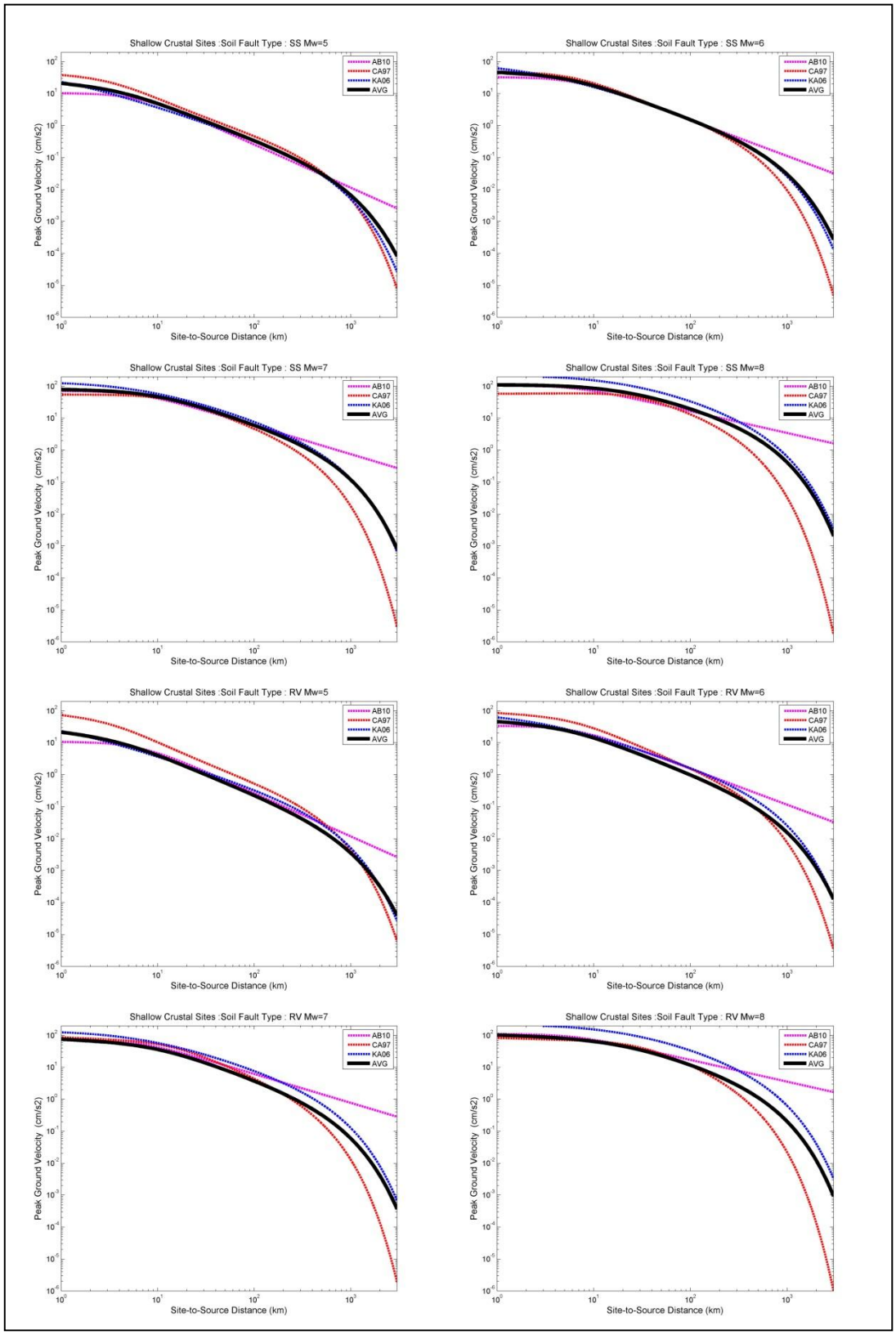
Parameters	SS	RV
c1	4.473	4.597
c2	0.755	0.756
c3	-0.068	-0.067
c4	-4.180	-4.170
c5	0.378	0.377
c6	12.072	10.842
c7	2.939	0.580
c8	-0.125	0.117
c9	0.288	-0.512
c10	-0.017	-0.147

ตารางที่ 5.15 ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010) ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนดิน

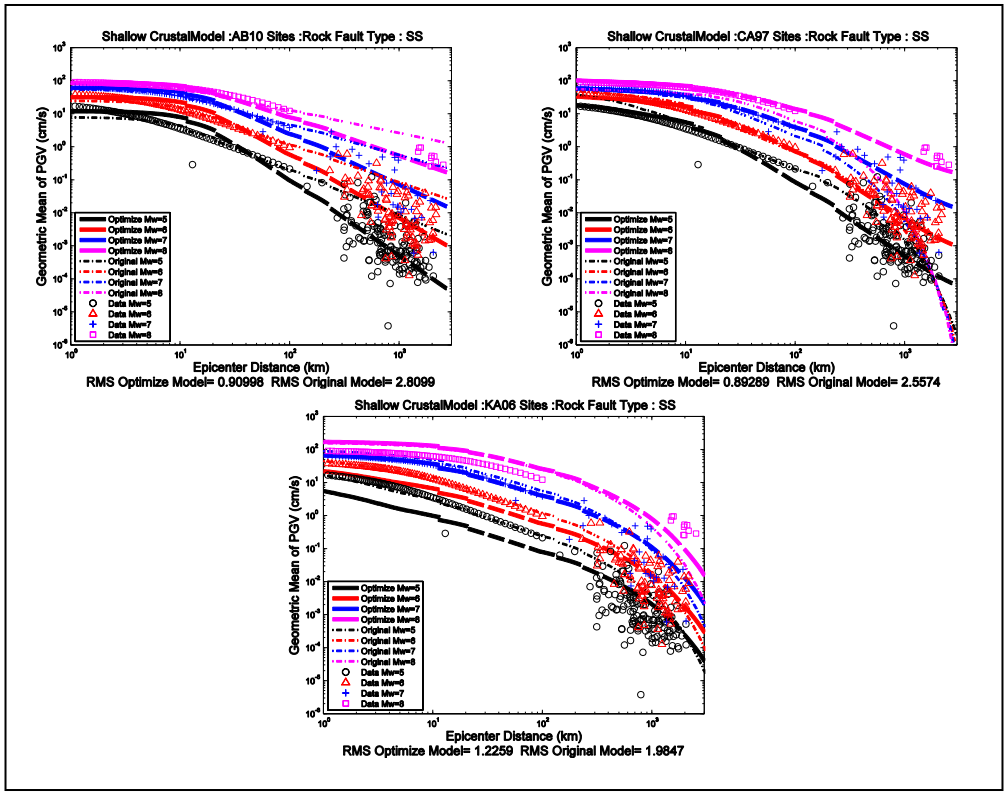
Parameters	SS	RV
c1	3.415	3.083
c2	0.857	0.899
c3	-0.072	-0.073
c4	-4.089	-3.909
c5	0.371	0.358
c6	9.106	7.011
c7	0.466	0.242
c8	0.775	0.050
c9	-0.641	-0.115
c10	-0.156	0.024



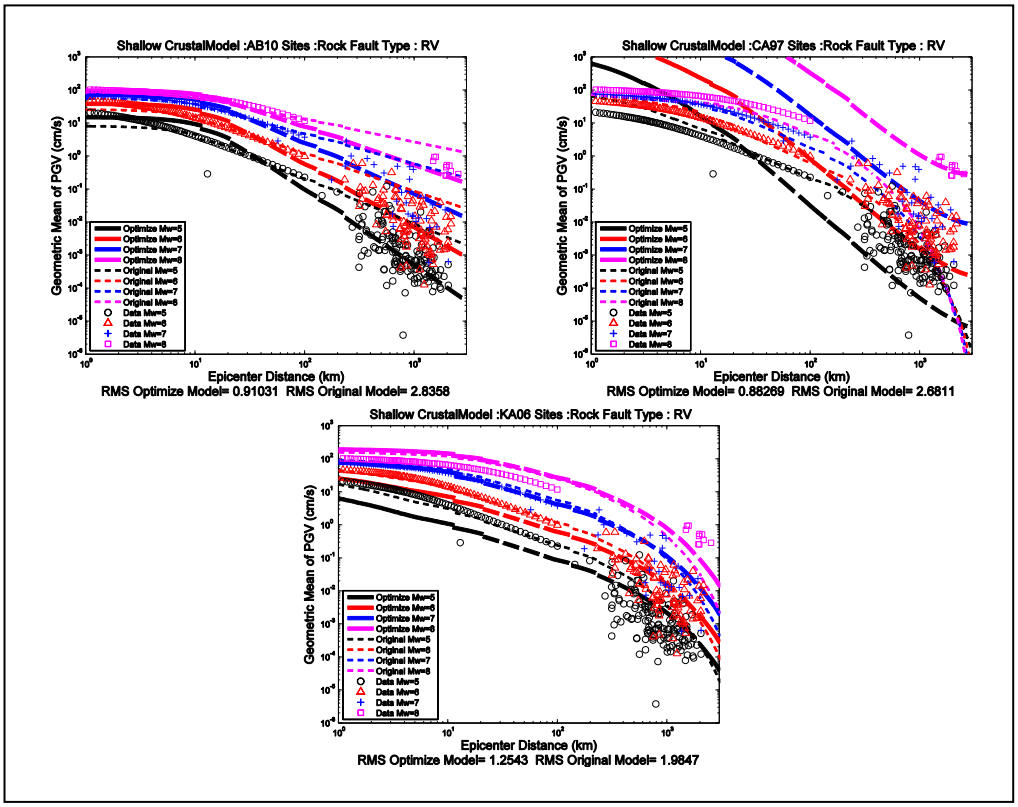
รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน



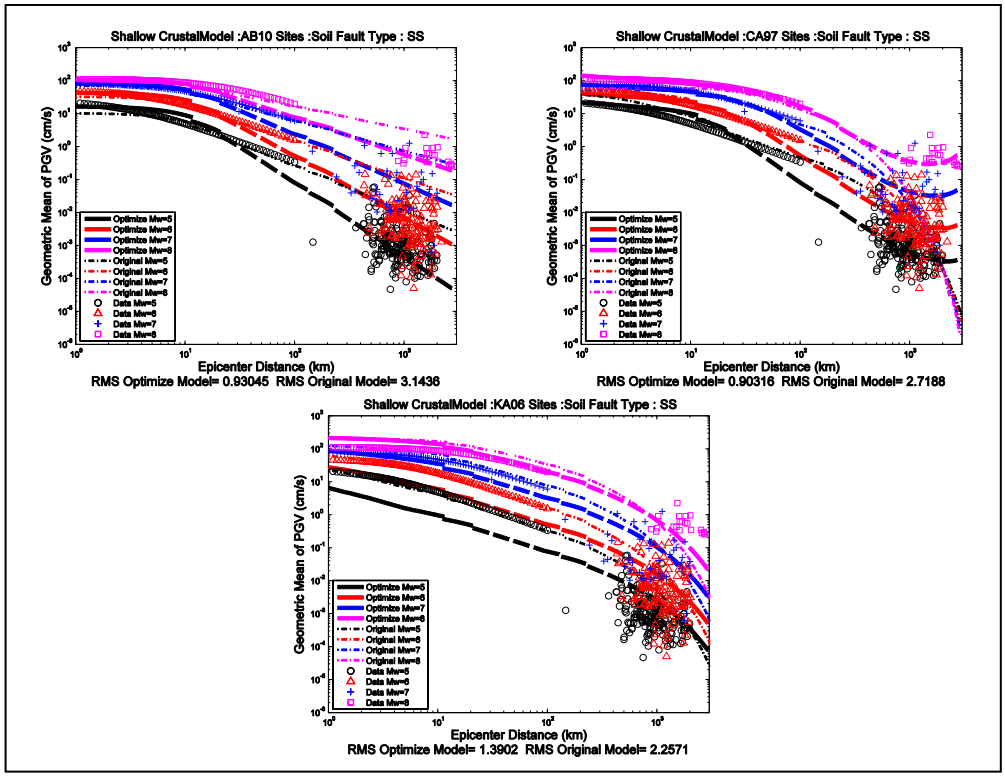
รูปที่ 5.39 กราฟเปรียบเทียบสมการลดทอนของต่างประเทศสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน



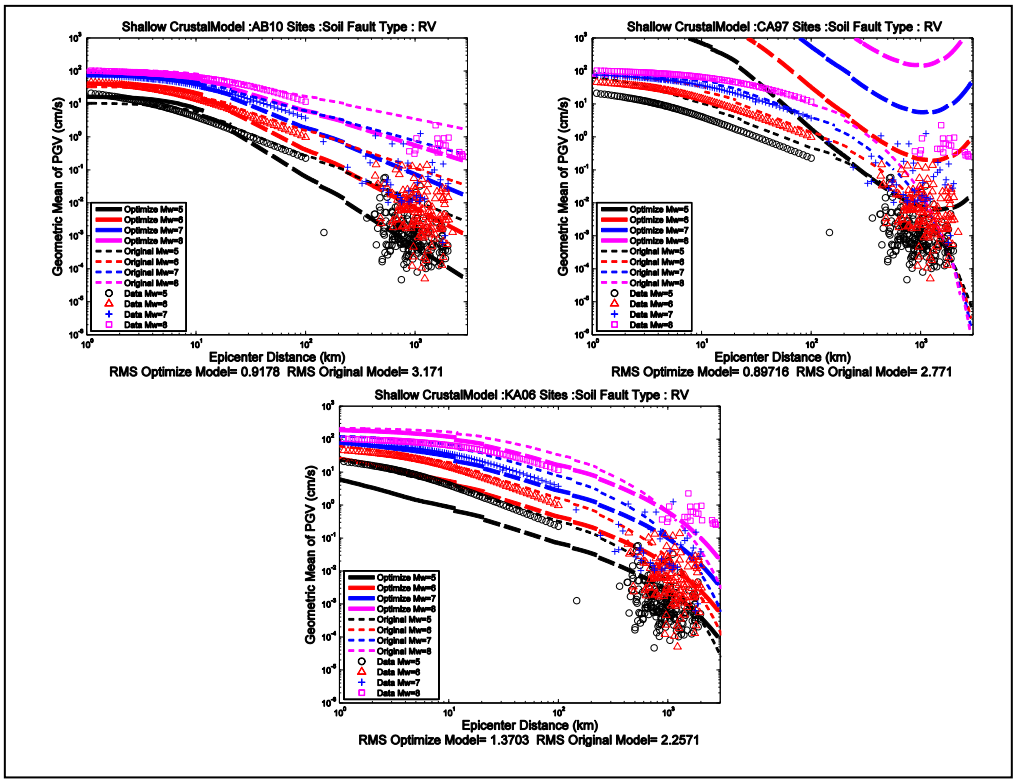
รูปที่ 5.40 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.41 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานีที่ตั้งบนหิน รอยเลื่อนย้อน



รูปที่ 5.42 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 5.43 กราฟการลดทอนของความเร็วสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังสถานีที่ตั้งบนดิน รอยเลื่อนย้อน

5.2.4 สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน

การศึกษานี้พิจารณาหารูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินที่มีค่าพารามิเตอร์สอดคล้องเฉพาะกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยในระยะทางไกล เนื่องจากยังไม่มีสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินเพียงพอต่อการนำมาเป็นข้อมูลเสริมในช่วงระยะทางใกล้

การสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินนั้นใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนาม (multiple regression analysis) สำหรับการลดทอนการกระจัดสูงสุดของพื้นดินตามระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดและขนาดโมเมนต์ โดยพิจารณารูปแบบสมการอย่างง่ายดังสมการที่ 5.9

$$\ln(PGD) = C_0 + C_1 \ln(Dis) + C_2 \ln(M_W) \tag{5.9}$$

โดย

PGD = การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (เซนติเมตร)

Dis = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัด (กิโลเมตร)

M_W = ขนาดโมเมนต์

ผลการวิเคราะห์รูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว และกราฟการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังบนที่ตั้งหินและที่ตั้งดิน แสดงดังตารางที่ 5.16, 5.17 และรูปที่ 5.44, 5.45 สำหรับบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกบนที่ตั้งหินและที่ตั้งดิน แสดงดังตารางที่ 5.18, 5.19 และรูปที่ 5.46, 5.47

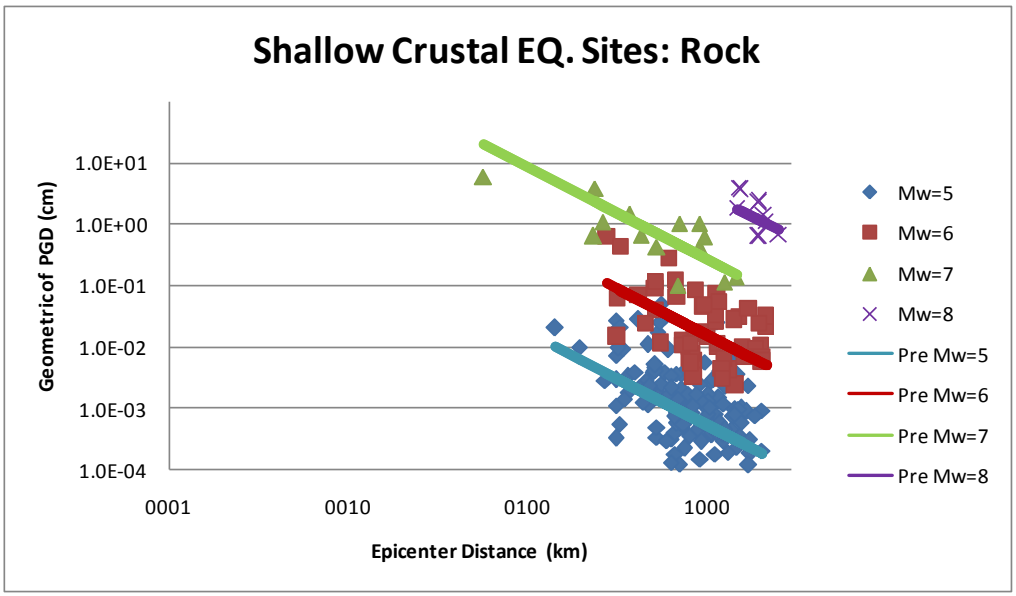
ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังบนที่ตั้งหิน

Model 1: OLS, using observations 1-202

Dependent variable: ln_PGD_

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-26.90526	1.197657964	-22.4649	1.76E-56
ln_Dis_	-1.497374	0.131498915	-11.38697	1.86E-23
ln_Mw_	18.47815	0.61463701	30.06351	6.33E-76

Mean dependent va	-5.105708	S.D. dependent var	2.530371
Sum squared resid	229.07	S.E. of regression	1.072896
R-squared	0.822007	Adjusted R-squarec	0.820218



รูปที่ 5.44 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนหิน

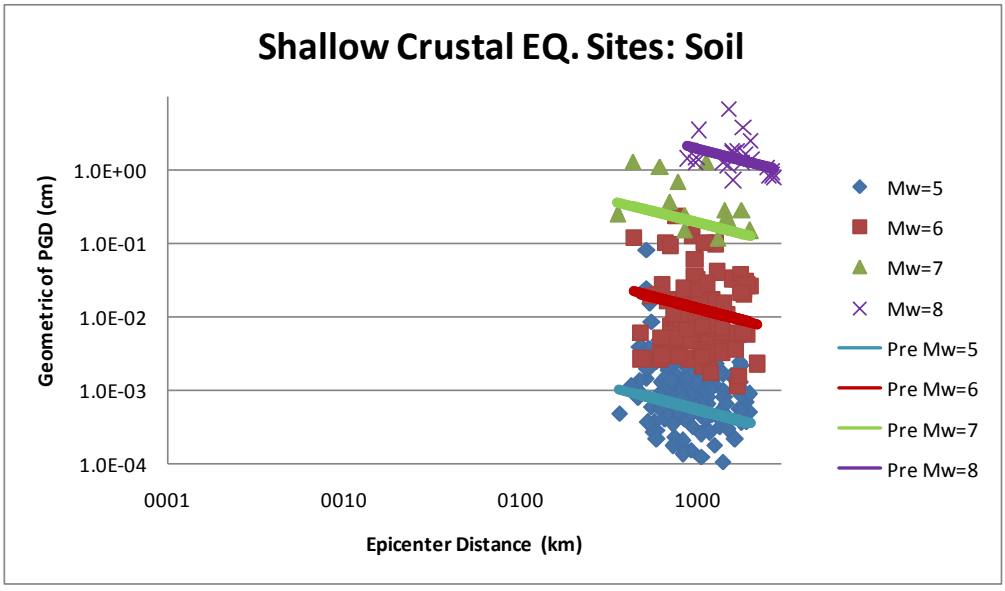
ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลังบนที่ตั้งดิน

Model 1: OLS, using observations 1-302

Dependent variable: ln_PGD_

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-31.24137	1.063761007	-29.36879	4.16E-90
ln_Dis_	-0.630004	0.148355398	-4.246589	2.90E-05
ln_Mw_	17.45094	0.469484675	37.17042	4.08E-114

Mean dependent va	-5.327551	S.D. dependent var	2.402377
Sum squared resid	293.73	S.E. of regression	0.991148
R-squared	0.830917	Adjusted R-squarec	0.829786
F(2, 299)	734.6818	P-value(F)	3.99E-116



รูปที่ 5.45 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง สถานีที่ตั้งบนดิน

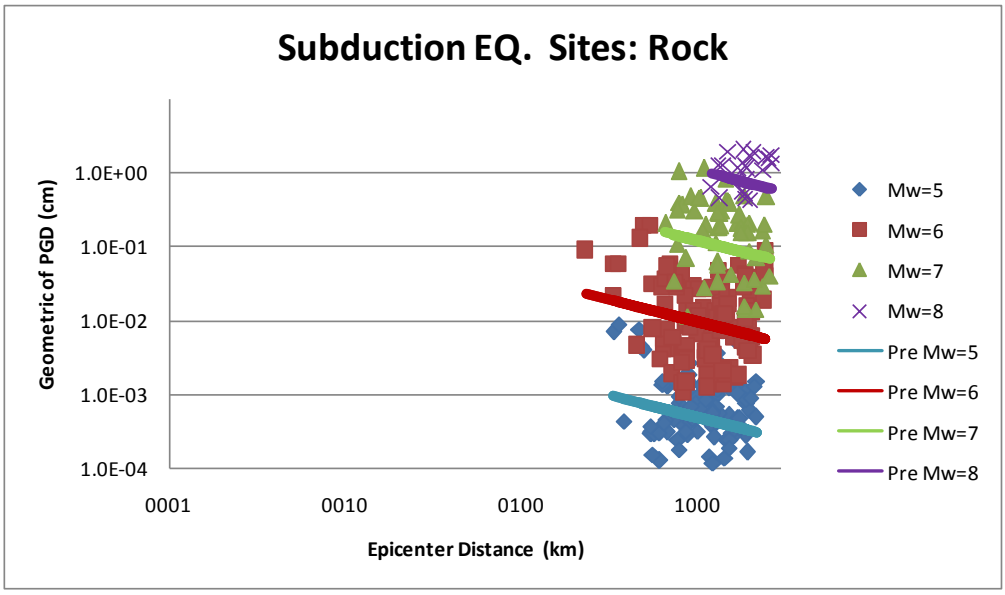
ตารางที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกบนที่ตั้งหิน

Model 1: OLS, using observations 1-294

Dependent variable: ln_PGD_

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-29.91871	1.049494812	-28.50773	3.15E-86
ln_Dis_	-0.594211	0.145034057	-4.097043	5.43E-05
ln_Mw_	16.39309	0.459172802	35.70136	2.43E-108

Mean dependent va	-4.60684	S.D. dependent var	2.517287
Sum squared resid	323.8016	S.E. of regression	1.054856
R-squared	0.8256	Adjusted R-squarec	0.824402
F(2, 291)	688.7903	P-value(F)	4.41E-111



รูปที่ 5.46 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนหิน

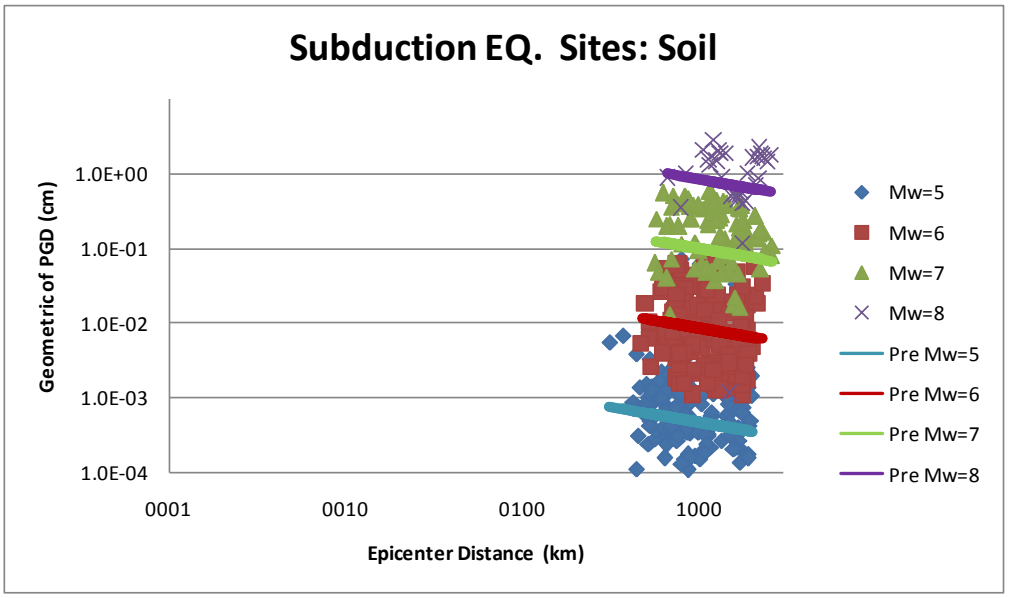
ตารางที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์สมการลดทอนสำหรับประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลกบนที่ตั้งดิน

Model 1: OLS, using observations 1-475

Dependent variable: ln_PGD_

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-30.50558	0.785263191	-38.84758	4.00E-149
ln_Dis_	-0.408343	0.114155415	-3.577084	0.000383
ln_Mw_	15.93977	0.331375191	48.10188	4.44E-184

Mean dependent va	-4.753669	S.D. dependent var	2.477775
Sum squared resid	448.3842	S.E. of regression	0.974662
R-squared	0.845919	Adjusted R-squarec	0.845266
F(2, 472)	1295.665	P-value(F)	2.04E-192



รูปที่ 5.47 กราฟการลดทอนของการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน บริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก สถานีที่ตั้งบนดิน

บทที่ 6
การสร้างฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบ

6.1 บทนำ

สืบเนื่องจากกฎกระทรวงมหาดไทยโดยกรมโยธาธิการและผังเมืองว่าด้วยการกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทานความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ได้กำหนดให้วิศวกรต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนหรือที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ภายใต้ผลกระทบจากแผ่นดินไหวให้มีความสมจริงโดยใช้วิธีเชิงพลศาสตร์ ซึ่งในกรณีที่วิศวกรต้องการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลา วิศวกรจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหว แต่ทว่าในปัจจุบันวิศวกรในประเทศไทยยังไม่มีฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่สามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก จึงสมควรที่จะมีการจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาคารในประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อจัดเตรียมฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวให้วิศวกรสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้างและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลา โดยคัดเลือกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวในรูปของอัตราเร่งของพื้นดินจากฐานข้อมูลของ Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) ที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยและทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302-52) ให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐาน โดยมีข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแนวราบสำหรับพื้นที่อำเภอเมืองของจังหวัดต่างๆ ในภาคเหนือ กาญจนบุรี และกรุงเทพมหานคร ที่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบของแผ่นดินไหวตามข้อบังคับของกฎกระทรวงเพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก

6.2 วัตถุประสงค์

6.2.1 เพื่อจัดเตรียมฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสามารถนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้างและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว

6.3 ระเบียบวิธีวิจัย

6.3.1 ทำการศึกษาฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือก และคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับการออกแบบอาคาร

6.3.2 รวบรวมและคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระยะไกลที่สามารถใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว ความเร็ว และอัตราเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้จากสถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว เนื่องจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมได้ในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมและเหมาะสมที่จะนำมาใช้จึงได้มีการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวจากต่างประเทศ

6.3.3 รวบรวมข้อมูลการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย เช่น ข้อมูลที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย เพื่อกำหนดลักษณะสถานการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด

6.3.4 คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ เช่น ในจังหวัดต่างๆ ที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว

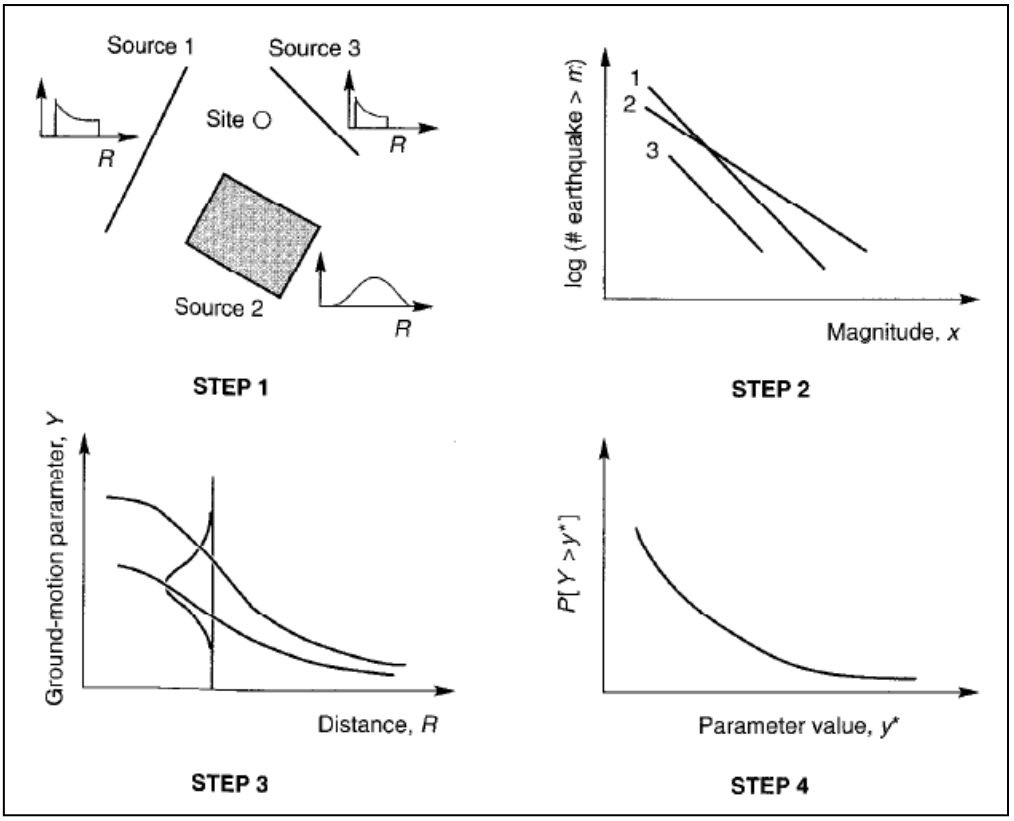
6.3.5 ทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปกระทำต่อโครงสร้างอาคารในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1302-52) โดยมีทั้ง 2 ทิศทางในแนวราบ

6.3.6 จัดทำฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่คูณปรับค่าให้เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์และออกแบบอาคาร

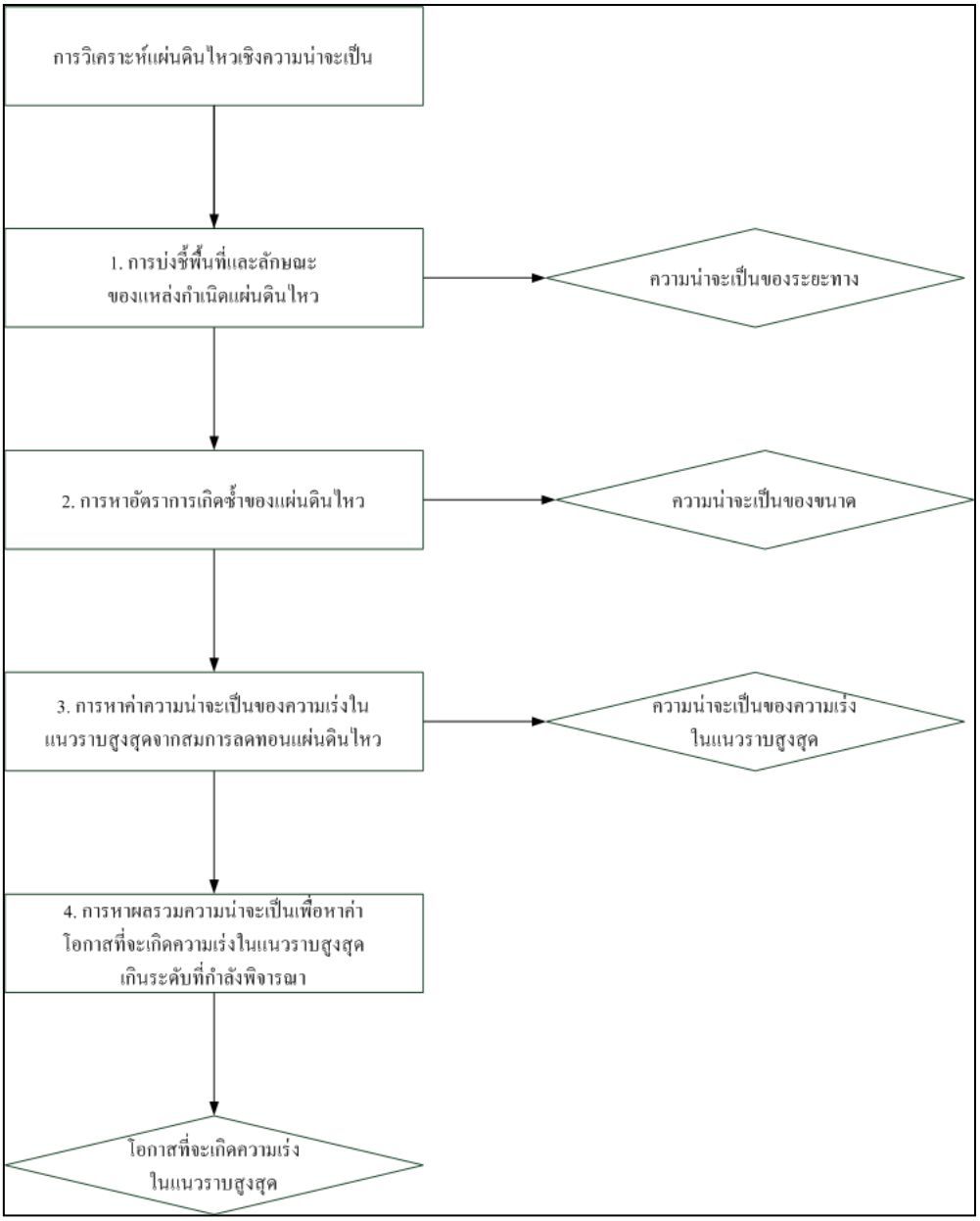
6.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

6.4.1 การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็น (probabilistic seismic hazard analysis) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาโดย Cornell (1968) และ Algermissen และคณะ (1982) วิธีการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน (Kramer, 1996) ได้แสดงในรูปที่ 6.1 และ 6.2 โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การบ่งชี้พื้นที่และลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 2) การหาอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว 3) การหาค่าความน่าจะเป็นของความเร่งในแนวราบสูงสุดจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว และ 4) การรวมผลของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด จากวิธีดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทยได้โดยหาระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี หรือรอบของการเกิดประมาณ 2475 ปี



รูปที่ 6.1 การวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวด้วยวิธีความน่าจะเป็นทั้ง 4 ขั้นตอน (Kramer, 1996)

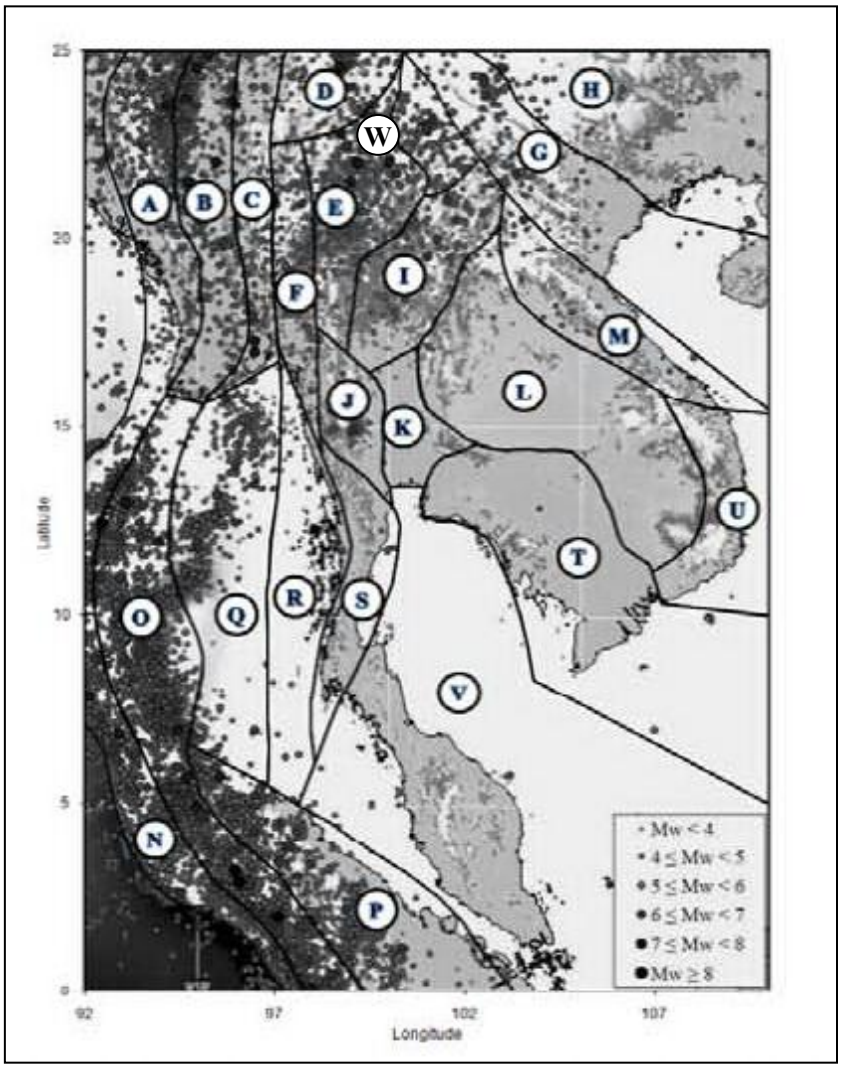


รูปที่ 6.2 การหาโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดตามขั้นตอนการวิเคราะห์แผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

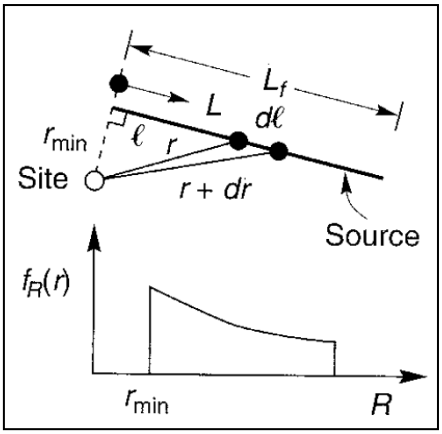
6.4.1.1 การบ่งชี้พื้นที่และลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

การบ่งชี้พื้นที่ลักษณะของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (earthquake source characterization) จะต้องมีการเตรียมข้อมูลแผ่นดินไหวประกอบด้วย ขนาด ความถี่ของการเกิด และพิกัด เมื่อได้รวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวครบถ้วนให้ทำการแบ่งแยกข้อมูลแผ่นดินไหวออกในแต่ละโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวและจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหว เพื่อใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากที่ตั้งอาคารที่กำลังพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว จากการพิจารณาระยะทางถึงตำแหน่งต่าง ๆ ในพื้นที่แหล่งกำเนิดได้ผลการวิเคราะห์อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) ของระยะทางในแต่ละโซนที่มีอิทธิพลต่อตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร จากรูปที่ 6.1

ได้แสดงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดรอยเลื่อน (Source 1 และ Source 3) และแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดพื้นที่ (Source 2) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดพื้นที่เท่านั้นโดยไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดรอยเลื่อนซึ่งพิจารณาแหล่งกำเนิด 17 พื้นที่ ได้แก่ A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W แสดงดังรูปที่ 6.3 ตามการศึกษาของ Palasri และ Ruangrassamee (2010)



รูปที่ 6.3 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zones) ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Saithong และคณะ, 2004)



รูปที่ 6.4 การหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากสถานีวัดถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)

จากรูปที่ 6.4 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวในแหล่งกำเนิดช่วง l ถึง $l + dl$ จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่ระยะ r ถึง $r + dr$

$$f_L(l)dl = f_R(r)dr \tag{6.1}$$

$$f_R(r) = f_L(l)\frac{dl}{dr} \tag{6.2}$$

$$l^2 = r^2 - r_{\min}^2 \tag{6.3}$$

$$f_R(r) = \frac{r}{L_f\sqrt{r^2 - r_{\min}^2}} \tag{6.4}$$

เมื่อ

$f_L(l)$ = ความน่าจะเป็นของระยะทางจากจุดที่เกิดแผ่นดินไหวถึงจุดบนแหล่งกำเนิดที่ใกล้สถานีวัดที่สุด

$f_R(r)$ = ความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดที่จะเกิดแผ่นดินไหว

L_f = ความยาวของแหล่งกำเนิด

l = ระยะทางจากจุดที่เกิดแผ่นดินไหวถึงจุดบนแหล่งกำเนิดที่ใกล้สถานีวัดที่สุด

r = ระยะทางจากสถานีวัดถึงแหล่งกำเนิด

6.4.1.2 การหาอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว

จากการจำแนกข้อมูลแผ่นดินไหวตามความรุนแรงและความถี่ในการเกิดแผ่นดินไหวแล้วทำการหาอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) ที่นำเสนอโดย Gutenberg และ Richter (1944) ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวดังสมการที่ 6.5 ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ a และ b ในแต่ละโซน จากข้อมูลที่ผ่านมาสังเกตได้ว่าแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีอัตราการเกิดต่ำหรือเป็นศูนย์ดังนั้น McGuire และ Arabasz (1990) จึงได้เสนอดังสมการที่ 6.10 แทน

การหาความสัมพันธ์ในการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวได้แบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้ คือ วิธีแรกนำเสนอโดย Gutenberg และ Richter (1944) ส่วนอีกวิธีนำเสนอโดย McGuire และ Arabasz (1990)

6.4.1.2.1 Gutenberg – Richter (1944)

การหาความสัมพันธ์ในการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) ในแต่ละเขตที่แบ่งไว้ โดย Gutenberg และ Richter (1944) ได้เสนอความสัมพันธ์คือ

$$\log \lambda_m = a - bm \tag{6.5}$$

เมื่อ

λ_m คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหว (mean of annual rates of exceedence) ที่มีขนาดเกินกว่า m ในโซนนั้นๆ

a และ b คือ ค่าคงที่ในสมการของ Gutenberg และ Richter (1944) ซึ่งมาจากข้อมูลทางสถิติของจำนวนครั้งที่เกิดแผ่นดินไหวในอดีต

m คือ ขนาดแผ่นดินไหว

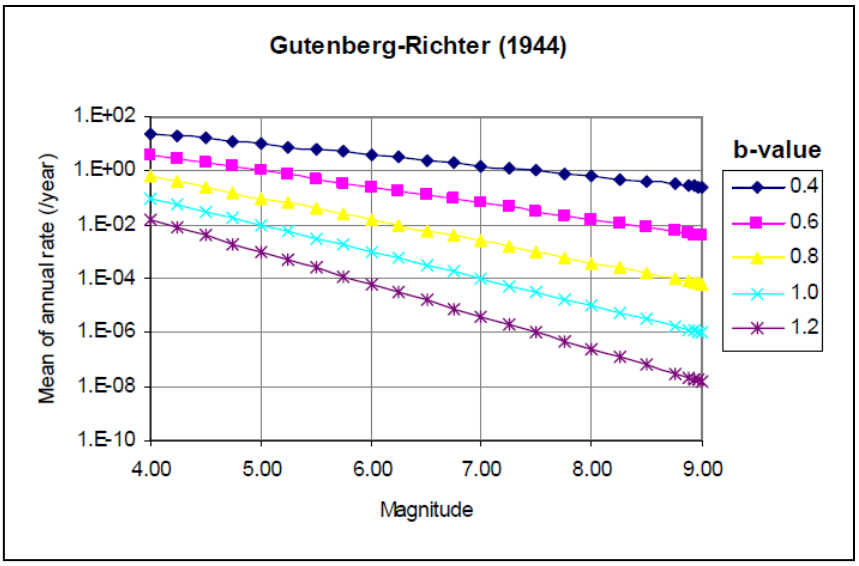
จากนั้นทำการหาค่าความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวดังนี้

$$\lambda_m = 10^{a-bm} = e^{\alpha-\beta m} \tag{6.6}$$

เมื่อ

$$\alpha = 2.303a \quad \text{และ} \quad \beta = 2.303b \tag{6.7}$$

สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (6.6) ได้แสดงในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ Gutenberg และ Richter (1944) โดยใช้ค่า a เท่ากับ 3 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

ผลของความน่าจะเป็นตามกฎของ Gutenberg และ Richter (1944) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) เป็น

$$F_M(m) = P[M < m \mid M > m_0] = \frac{\lambda_{m_0} - \lambda_m}{\lambda_{m_0}} = 1 - e^{-\beta(m-m_0)} \tag{6.8}$$

ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด m (probability density function, PDF) เป็น

$$f_M(m) = \frac{d}{dm} F_M(m) = \beta e^{-\beta(m-m_0)} \tag{6.9}$$

เมื่อ m_0 คือ ขนาดของแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดที่พิจารณา

6.4.1.2.2 McGuire – Arabasz (1990)

หากกำหนดให้ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดเป็น m_0 อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) จะเป็นไปตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) คือ

$$\lambda_m = \nu e^{-\beta(m-m_0)} \tag{6.10}$$

$$\nu = e^{(\alpha-\beta m_0)} \tag{6.11}$$

เมื่อ $m_0 < m$

λ_m คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหว (mean of annual rates of exceedence) ที่มีขนาดเกินกว่า m ในโซนนั้นๆ

ν คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด (ขนาดเกินกว่า ขนาดต่ำสุดที่พิจารณา) ในโซนนั้นๆ

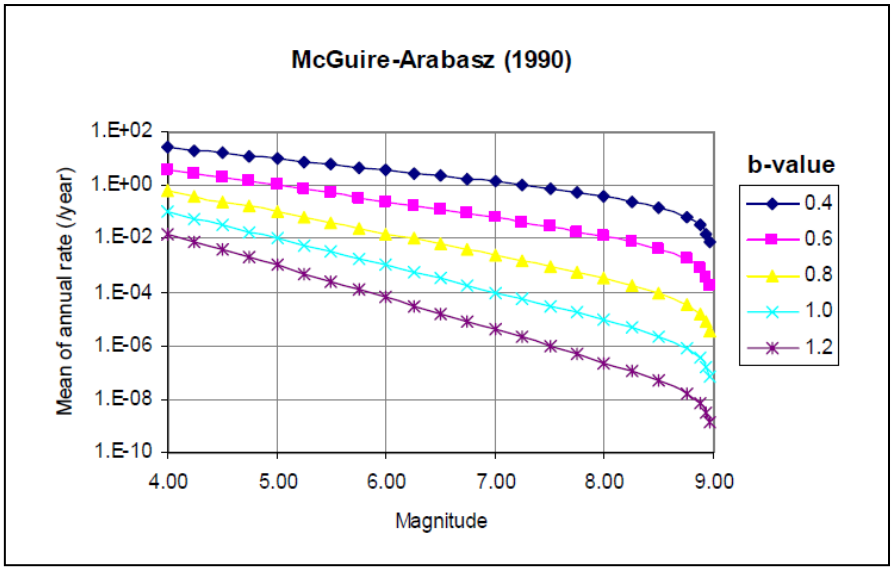
m_0 คือ ขนาดของแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดที่พิจารณา

หรือหากกำหนดให้ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดเป็น m_0 และค่าสูงสุดเป็น $m_{\max}$ อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) จะเป็นไปตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) คือ

$$\lambda_m = \nu \frac{e^{-\beta(m-m_0)} - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \tag{6.12}$$

เมื่อ $m_0 < m < m_{\max}$

สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (6.12) ได้แสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) โดยใช้ค่า a เท่ากับ 3 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

จากรูปที่ 6.6 เห็นได้ว่าจากสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) มีการปรับโค้งให้ลู่ลงช่วงปลายและมีขนาดที่สูงของแผ่นดินไหว โดยมีความใกล้เคียงกับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง

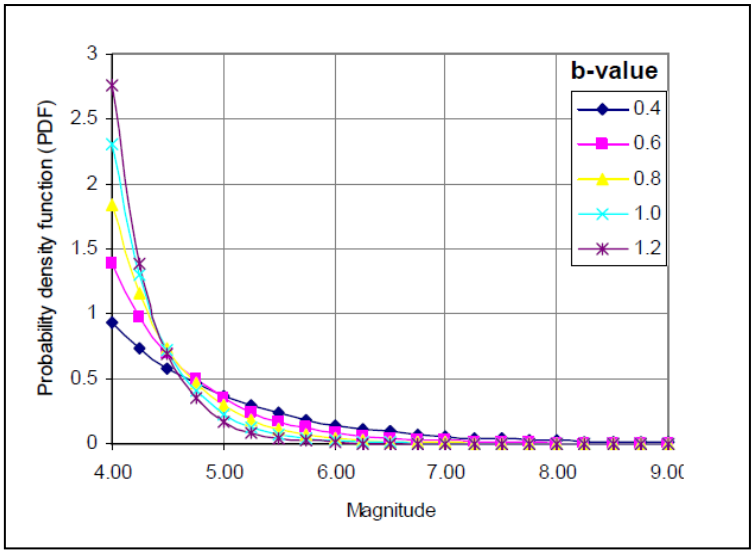
ผลของความน่าจะเป็นตามกฎของ McGuire และ Arabasz (1990) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) เป็น

$$F_M(m) = P[M < m \mid m_0 \le M \le m_{\max}] = \frac{1 - e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \tag{6.13}$$

ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด m (Probability Density Function, PDF) เป็น

$$f_M(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - \beta e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \tag{6.14}$$

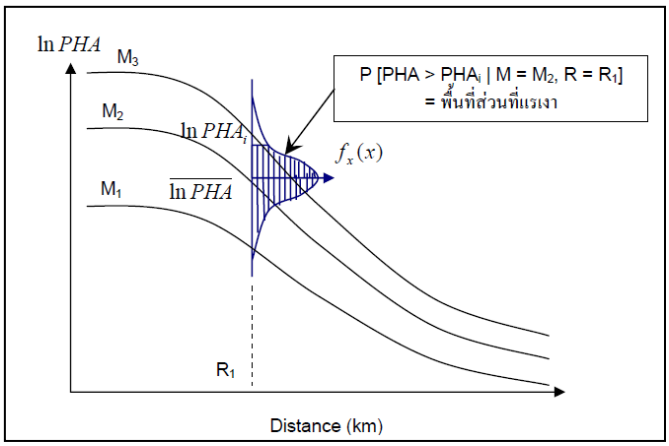
สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (6.14) ได้แสดงในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) โดยพื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากับ 1 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

6.4.1.3 การหาค่าความน่าจะเป็นของความเร่งในแนวราบสูงสุดจากแบบจำลองการลดทอน

การหาค่าความน่าจะเป็น (probability) ของความเร่งในแนวราบสูงสุด (Peak Horizontal Acceleration, PHA) จากแบบจำลองการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว (attenuation model) ซึ่งในแต่ละแบบจำลองการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจะแฝงความคลาดเคลื่อนไว้ ได้แสดงในรูปที่ 6.8 ดังนั้นจึงต้องหาค่าความน่าจะเป็นตามวิธีการทางสถิติแบบการแจกแจงปกติ (normal distribution) เพื่อนำความน่าจะเป็นที่ได้ไปรวมกับกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 6.8 การหาค่าความน่าจะเป็นเนื่องจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดจากแผ่นดินไหวขนาด M_2 ที่ระยะทาง R_1 (จิตติ ปาลศรี, 2549)

ค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (normal distribution) ที่ตำแหน่ง $\ln x$ ของข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\overline{\ln x}$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ_x หรือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) เป็นไปตามสมการ

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_x} \right) \right] \tag{6.15}$$

ความเร่งในแนวราบสูงสุดของพื้นดินสามารถประมาณค่าได้จากแบบจำลองการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว (Attenuation Model หรือ Ground Motion Prediction Equation, GMPE) ความเร่งของพื้นดินมีความไม่แน่นอนโดยมักจะถูกสมมุติให้มีการแจกแจงแบบล็อกปกติ (lognormal distribution) ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวจะถูกนำไปใช้หาความน่าจะเป็นที่ความเร่งสูงสุดของพื้นดินจะมีค่าเกินระดับที่กำลังพิจารณาเมื่อกำหนดขนาดและระยะห่างของแผ่นดินไหว สำหรับแผ่นดินไหวในบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction earthquakes) โซน A, N และ O การศึกษานี้ได้ใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Youngs และคณะ (1997) ส่วนแผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) โซน B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W ใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 2 สมการประกอบด้วย 1) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Idriss (1993) และ 2) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Sadigh และคณะ (1997)

6.4.1.4 การหาผลรวมความน่าจะเป็นเพื่อหาโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดเกินระดับที่กำลังพิจารณา

การหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดเกินระดับที่กำลังพิจารณาโดยคำนึงถึงผลกระทบจากทุกๆ แหล่งกำเนิด จะต้องมีการหาผลรวมความน่าจะเป็นดังสมการที่ 6.16 ประกอบไปด้วยค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากที่ตั้งอาคารที่กำลังพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว $P\left[R = r_k\right]$ อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว $\nu_i P\left\lfloor M = m_j \right\rfloor$ และค่าความน่าจะเป็นที่ความเร่งสูงสุดของพื้นดินจะมีค่าเกินระดับที่กำลังพิจารณาโดยใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว เมื่อกำหนดขนาดและระยะห่างของแผ่นดินไหว $P\left[Y > y^* \mid m_j, r_k\right]$

$$\lambda_{y^*} = \sum_{i=1}^{N_S}\sum_{j=1}^{N_M}\sum_{k=1}^{N_R} \nu_i P\left[Y > y^* \mid m_j, r_k\right] P\left[M = m_j\right] P\left[R = r_k\right] \tag{6.16}$$

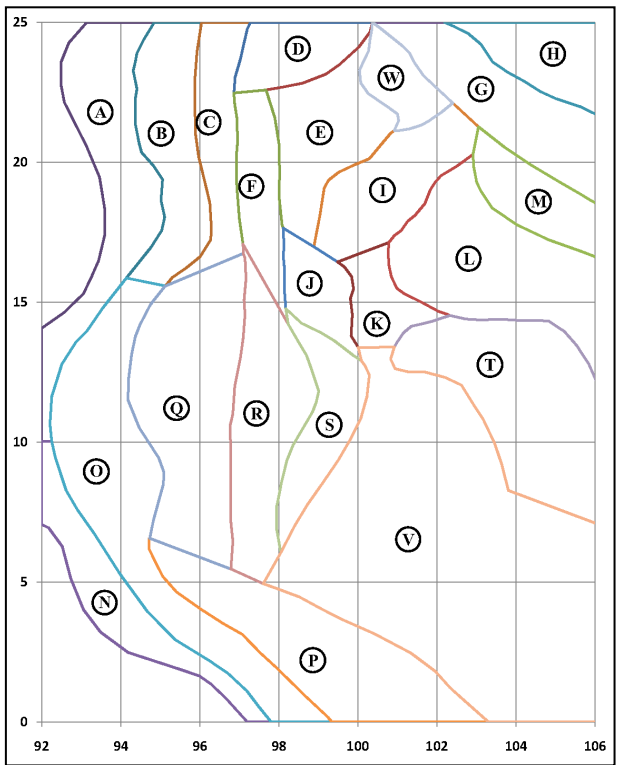
เมื่อ

λ_{y^*} คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้มีความรุนแรงเกินระดับที่กำลังพิจารณาโดยคำนึงถึงผลกระทบจากแหล่งกำเนิดบริเวณต่างๆ มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อปี

6.4.2 แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

แผนที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2548) ได้จำแนกลักษณะของบริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zones) ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อมูลทางธรณีแปรสัณฐานไหวสะเทือน (seismotectonic) หรือข้อมูลการไหวสะเทือนของบริเวณการเกิดการไหวสะเทือน (seismogenic structure or zone) โดยปรับปรุงจากปัญญา จารุศิริ และคณะ (2543) และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2548) สามารถแบ่งพื้นที่บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวครอบคลุมแผนที่ระหว่างละติจูดตั้งแต่ 0 องศาเหนือ ถึง 25 องศาเหนือ ส่วนลองจิจูดตั้งแต่ 92 องศาตะวันออก ถึง 106 องศาตะวันออก ออกเป็น 24 บริเวณ จากสภาพทางธรณีวิทยาสามารถกำหนดชนิดของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ทำการวิเคราะห์ได้ 2 ชนิดคือ 1) บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดจากรอยเลื่อนที่ยังมีการเคลื่อนตัวอยู่ (active tectonic regions) พบว่ามีค่าความลึกต่ำสุดของแผ่นดินไหวประมาณ 10 กิโลเมตร ได้แก่ โซน B, C, D, E, F, H, J, K, L, N, O, P, U, V, W และ X 2) บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction zones) พบว่ามีค่าความลึกต่ำสุดของแผ่นดินไหวประมาณ 33 กิโลเมตร ได้แก่ โซน A, M และ T

คุณลักษณะของเขตกำเนิดแผ่นดินไหว (seismic source zones) ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อมูลทางธรณีแปรสัณฐานไหวสะเทือน (seismotectonic) หรือข้อมูลการไหวสะเทือนของบริเวณการเกิดการไหวสะเทือน (seismogenic structure or zone) อ้างอิงตาม Saithong และคณะ (2004) โดยสามารถแบ่งพื้นที่บริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดตั้งแต่ 0 องศาเหนือ ถึง 25 องศาเหนือ และลองจิจูดตั้งแต่ 92 องศาตะวันออก ถึง 106 องศาตะวันออก ออกเป็น 23 บริเวณ



รูปที่ 6.9 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาบริเวณผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เนื่องจากข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มาจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีน้อยมากและไม่เพียงพอที่จะนำไปคำนวณหาอัตราการเกิดแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาตาม Palasri และ Ruangrassamee (2010) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นโดยพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเพียง 17 บริเวณ คือ โซน A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W แสดงดังตารางที่ 6.1 โดยสมมุติว่าไม่มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวในโซน K, L, S, T, U และ V เนื่องจากโซนดังกล่าวมีข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวน้อยหรือเป็นศูนย์

ตารางที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)

แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว	ค่าคงที่ในสมการของ Gutenberg-Richter		ขนาดแผ่นดินไหวสูงสุดที่เคยเกิด
	a	b	
Zone A	6.111	1.148	7.2
Zone B	3.430	0.616	7.4
Zone C	3.177	0.700	7.7
Zone D	2.745	0.616	7.0
Zone E	2.927	0.582	7.5
Zone F	5.178	1.159	7.9
Zone G	3.629	0.805	6.6
Zone H	4.294	0.961	6.7
Zone I	4.032	0.923	7.5
Zone J	2.892	0.752	7.5
Zone M	3.387	0.883	6.7
Zone N	2.771	0.439	7.5
Zone O	4.953	0.784	9.0
Zone P	5.512	0.982	7.4
Zone Q	5.112	0.981	6.5
Zone R	3.548	0.906	5.6
Zone W	3.775	0.825	6.7

6.4.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

กรณีการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นสำหรับกรุงเทพมหานคร โซน J โดยวิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอน คือ 1) หาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งที่ตั้งอาคารถึงแหล่งกำเนิด 2) หาค่าความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว 3) หาค่าความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบจากสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 4) รวมผลของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด

6.4.3.1 หาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากตำแหน่งที่ตั้งอาคารถึงแหล่งกำเนิด

จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย ได้ผลการวิเคราะห์หาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) ของระยะทางในแต่ละโซน

สำหรับโซน J จะได้ค่าความน่าจะเป็นของระยะทางที่มีระยะทางประมาณ 70.58 กิโลเมตร หรือ P_J (70.58-5.39 < R < 70.58+5.39) = 0.010821

6.4.3.2 หาค่าความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว

เนื่องจากขนาดของแผ่นดินไหวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ได้แก่ ค่า a และ b ในสมการของ Gutenberg-Richter ดังนั้น ในแผนที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเดียวกัน จะมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของขนาดแผ่นดินไหว ไม่ว่าจะวิเคราะห์จากจุดใดก็ตามบนแผนที่เดียวกันจะมีค่าเท่ากันในโซนเดียวกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย ได้ผลการวิเคราะห์หาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function, PDF) ของขนาดแผ่นดินไหวในแต่ละโซน

สำหรับโซน J จะได้ค่าความน่าจะเป็นของขนาดแผ่นดินไหวที่มีขนาดประมาณ 4.175 หรือ P_J (4.175-0.175 < M < 4.175+0.175) = 0.448661

6.4.3.3 หาค่าความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุดจากสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว

ในส่วนนี้เป็นการหาความน่าจะเป็นเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว ซึ่งมีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) โดยสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบจากสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับโซน J ที่เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดจากแผ่นดินไหวตื้นใต้แผ่นเปลือกโลกจะใช้สมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Idriss (1993) และ Sadigh และคณะ (1997) ในการคำนวณหาค่าความเร่งในแนวราบสูงสุด

ที่ระยะทาง 70.58 กิโลเมตร และแผ่นดินไหวขนาด 4.175 จะได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุด (Peak Horizontal Acceleration, PHA) ln PHA = 1.1389

เมื่อได้ค่าความเร่งในแนวราบสูงสุดแล้วนำไปหาค่าความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบ a มากกว่า 0.045g จากวิธีการแจกแจงปกติจะได้ P_J (PHA > 0.045g | 4 < M < 4.35, 70.58-5.39 < R < 70.58+5.39) = 0.00001473

$$z = \frac{\ln a - \ln PHA}{\sigma} = \frac{\ln(0.045*981) - (1.1389)}{0.8055} = 3.2881$$

P_J (PHA > 0.045g | 4 < M < 4.35, 65.19 < R < 75.97) = P (z > 3.2881)

= 1 - P (z < 3.2881

= 0.0005044

6.4.3.4 รวมผลของความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด

สำหรับโซน J โอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุดเกินกว่า 0.045g โดยมีแผ่นดินไหวขนาด 4.175 ที่ระยะห่าง 70.58 กิโลเมตร $\lambda_{J0.045g}$ = 0.000001875

$\lambda_{J0.045g}$ = ν_J * P_J (PHA > 0.045g | 4 < M < 4.35, 65.19 < R < 75.97) * P_J (4 < M < 4.35) * P_J (65.19 < R < 75.97)

= (0.76556) (0.0005044) (0.448661) (0.010821) = 0.000001875

6.4.4 การคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตาม มยผ.1302-52

การวิเคราะห์จะต้องใช้ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดิน (ground acceleration time histories) ที่เหมาะสมกระทำที่ฐานอาคารไม่น้อยกว่า 7 ชุด และวิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวแต่ละชุด โดยการสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้จะต้องสอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

6.4.4.1 การวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ การสั่นไหวของพื้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละชุดจะต้องประกอบด้วยคู่ของความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทางที่ตั้งฉากกัน ซึ่งบันทึกได้จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันที่สถานีเดียวกัน โดยจะต้องเลือกการสั่นไหวของพื้นดินจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาด กลไกของแหล่งกำเนิด ระยะห่างจากจุดกำเนิด และระดับความรุนแรงของการสั่นไหว สอดคล้องกับแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา

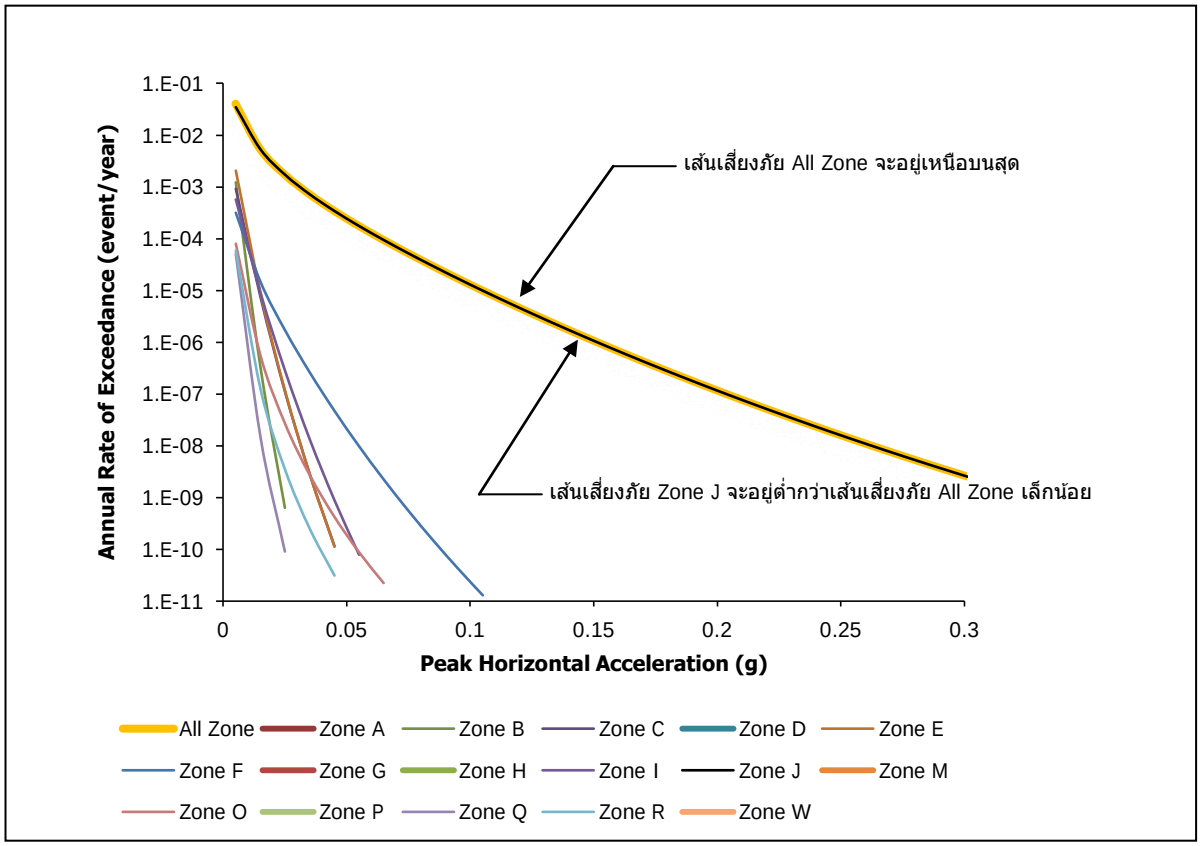
สำหรับแต่ละชุดข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินซึ่งประกอบด้วยความเร่งของพื้นดินในแนวราบสองทิศทาง ให้คำนวณสเปกตรัม SRSS ซึ่งเป็นค่ารากที่สองของผลรวมของค่ายกกำลังสอง (square root of sum of squares) ของสเปกตรัมการตอบสนองสำหรับสองทิศทางนั้น สำหรับอัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 5% ความเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแต่ละชุดต้องถูกคูณปรับค่าด้วยค่าคงที่เดียวกัน โดยการคูณปรับค่าจะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม SRSS มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมสำหรับออกแบบ ที่ทุกคาบการสั่นระหว่าง $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ ค่าคาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้างในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์

6.5 การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

6.5.1 การแยกแยะความเสี่ยงภัยจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวลักษณะต่าง ๆ

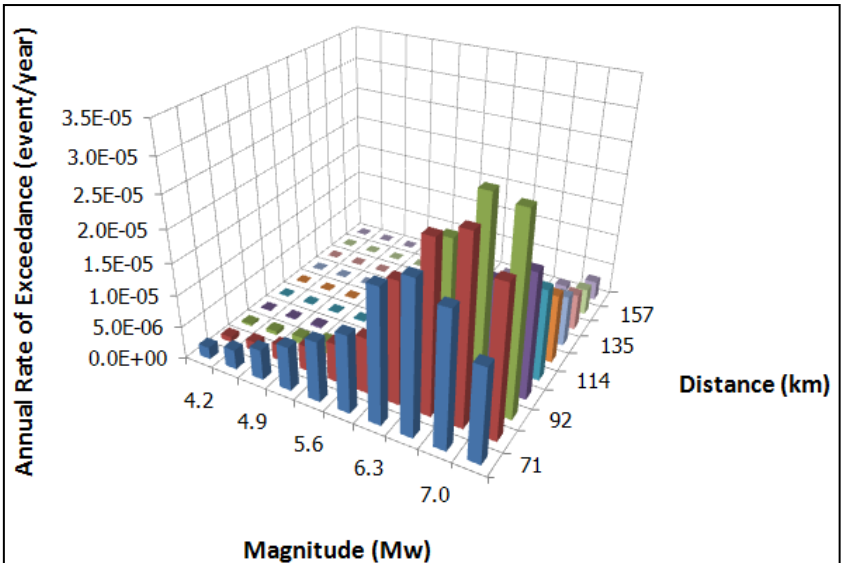
ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างด้วยวิธีแบบประวัติเวลาตาม มยผ.1302-52 โครงสร้างจะต้องสามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้โดยมีการตอบสนองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้เมื่อโครงสร้างได้รับการสั่นสะเทือนจากคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับลักษณะเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่อาคารตั้งอยู่ยกตัวอย่างเช่น ขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดและที่ตั้งอาคารอยู่ในกรณีที่มีความน่าจะเป็นที่มากที่สุด (most probable scenario) จากการวิเคราะห์ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น

จากการศึกษาของ Palasri และ Ruangrassamee (2010) ได้มีการสร้างเส้นกราฟความเสี่ยงภัย (hazard curve) ตัวอย่างสำหรับพื้นที่ตั้งอาคารแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 6.10 กราฟนี้แสดงให้ทราบว่า พื้นที่ตั้งอาคารนั้นจะมีความน่าจะเป็นที่จะได้รับความสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดบริเวณต่างๆ มากแค่ไหนและความน่าจะเป็น (อัตราการเกิด) รวมที่จะเกิดความสั่นสะเทือนเกินกว่าระดับหนึ่งๆ เนื่องจากแหล่งกำเนิดใดก็ตามเป็นเท่าใด กราฟผลรวมความน่าจะเป็น (เส้นบนสุด) นี้จะเป็นกราฟที่นำไปใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว ยกตัวอย่าง เช่น ระดับความรุนแรง (PGA) ที่มีโอกาสเกิดขึ้นรุนแรงกว่านั้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (รอบการเกิดซ้ำ 2475 ปี) จะสอดคล้องกับ λ = 0.000404 ซึ่ง PGA = 0.043g ค่า PGA = 0.043g จะเป็นค่าที่แสดงบนแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่มีความน่าจะเป็น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (Maximum Credible Earthquake, MCE) ในมาตรฐานการออกแบบ มยผ.1302-52 อย่างไรก็ดีกราฟผลรวม (เส้นบนสุด) ไม่สามารถบอกได้ว่าแหล่งกำเนิดใดที่มีอิทธิพลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดแผ่นดินไหวที่ระดับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี มากที่สุดจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าของ hazard curve ที่แยกตามแหล่งกำเนิดต่างๆ ทั้งหมด จะเห็นได้ว่าที่โซน J (เส้นสีดำทับกับเส้นกราฟผลรวม) เป็นแหล่งกำเนิดที่ส่งผลกระทบมากที่สุด จึงควรตรวจสอบในรายละเอียดความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเนื่องจากโซน J โดยพิจารณาอัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้ PGA มีค่าเกินกว่า 0.043g เนื่องจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะทางต่างๆ กัน ดังรูปที่ 6.11 และสังเกตได้ว่าอัตราการเกิดมีค่ามากที่สุดในกรณีของแผ่นดินไหวที่มีขนาดประมาณ 6.7 ถึง 7.0 และเกิดที่ระยะห่างจากอาคารประมาณ 81 ถึง 92 กิโลเมตร

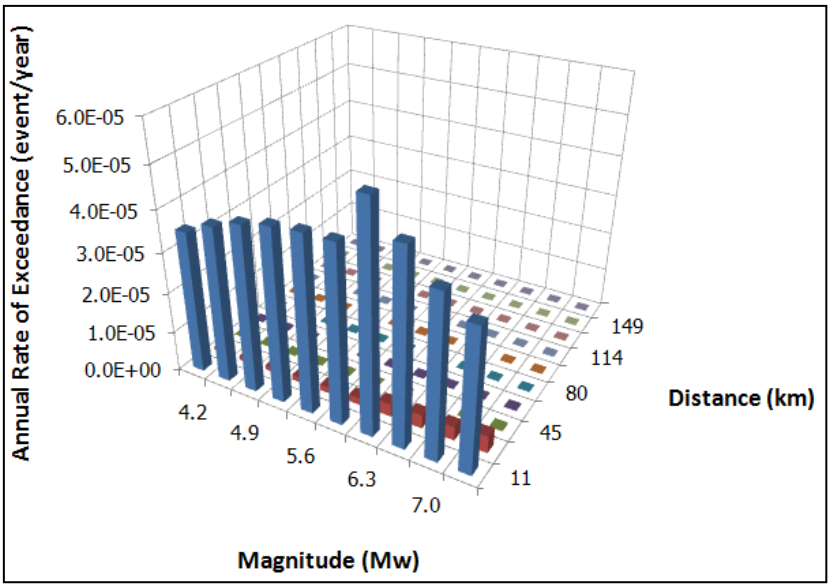


รูปที่ 6.10 เส้นเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (hazard curve) ของกรุงเทพมหานคร

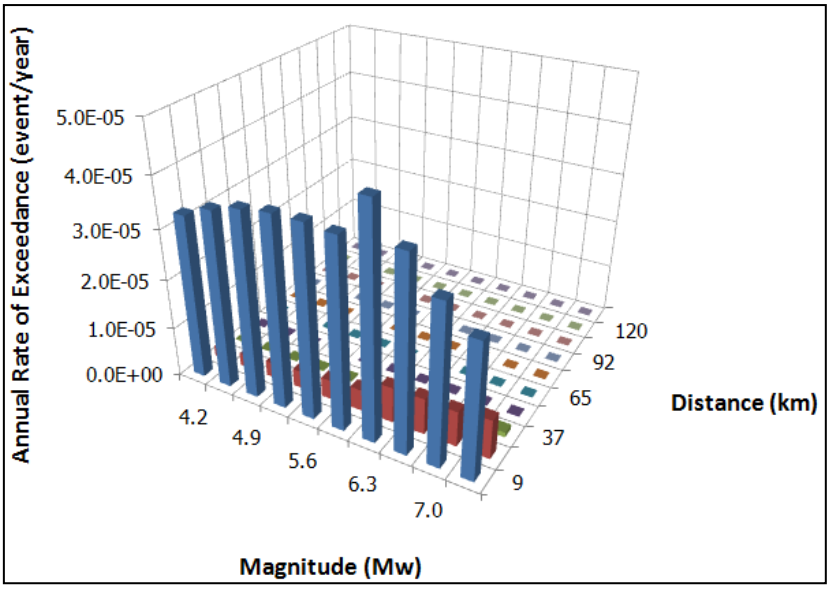
รูปที่ 6.11 ถึง 6.55 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยที่เป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่าง ๆ เรียกว่า hazard deaggregation analysis โดยทำให้ทราบลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีโอกาสมากที่สุดที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ที่ตั้งอาคาร ก่อนที่วิศวกรจะสามารถเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบอาคาร การพิจาณาระดับความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวอาจพิจารณาให้ความเร่งเชิงสเปกตรัมเป็นตัวบ่งชี้ระดับความรุนแรงแทนที่จะใช้ค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน รูปที่ 6.11 ถึง 6.24 แสดงผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี โดยพิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินตามลำดับ ส่วนรูปที่ 6.25 ถึง 6.38 แสดงผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 6.39 ถึง 6.55 แสดงผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรีโดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที ตามลำดับ ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ได้พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที และ 1 วินาที โดยพิจารณาความรุนแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี สรุปดังตารางที่ 6.2 6.3 และ 6.4



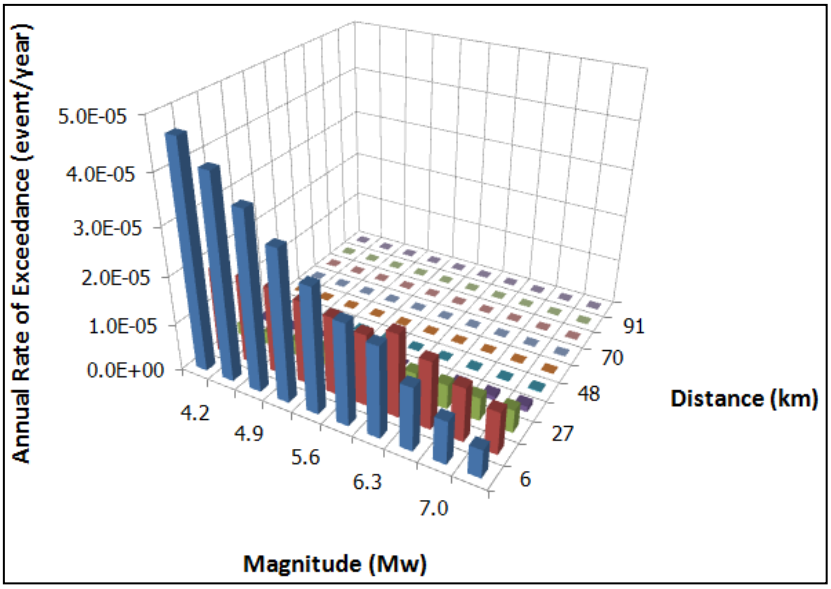
รูปที่ 6.11 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของกรุงเทพมหานคร พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.043g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



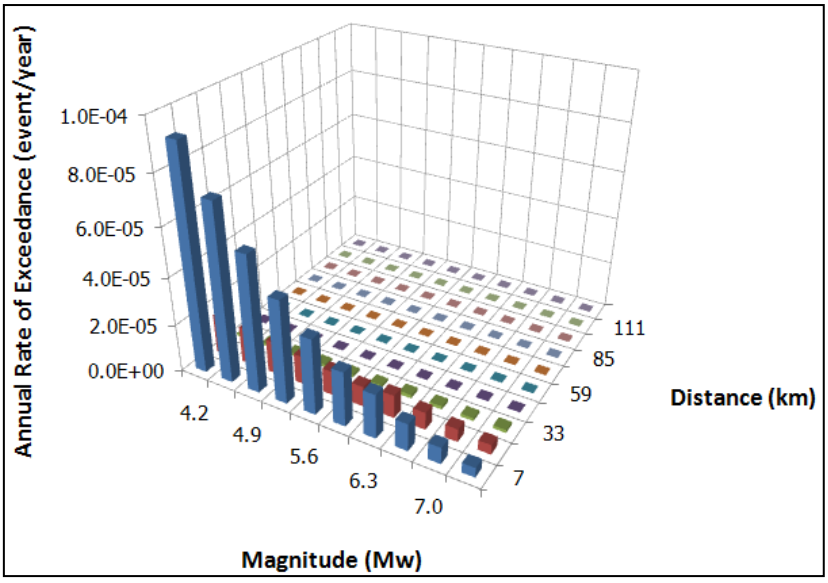
รูปที่ 6.12 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.417g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



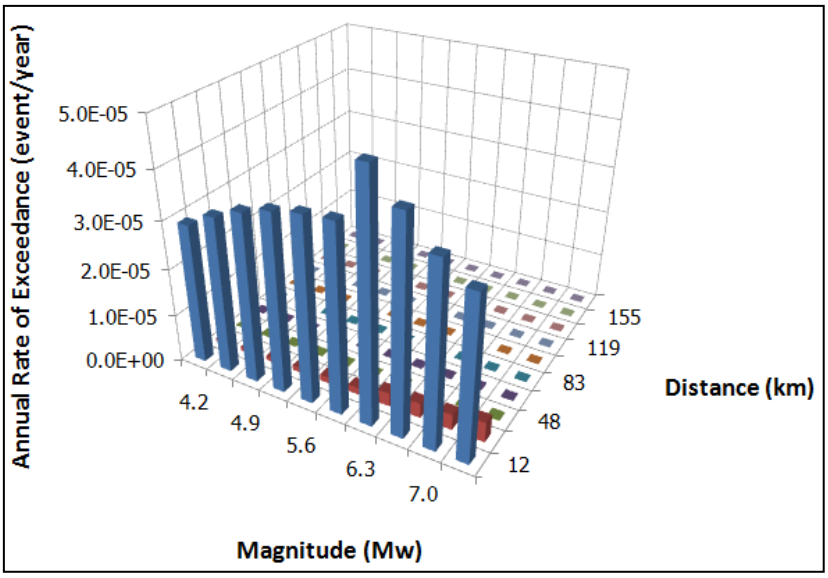
รูปที่ 6.13 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.399g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



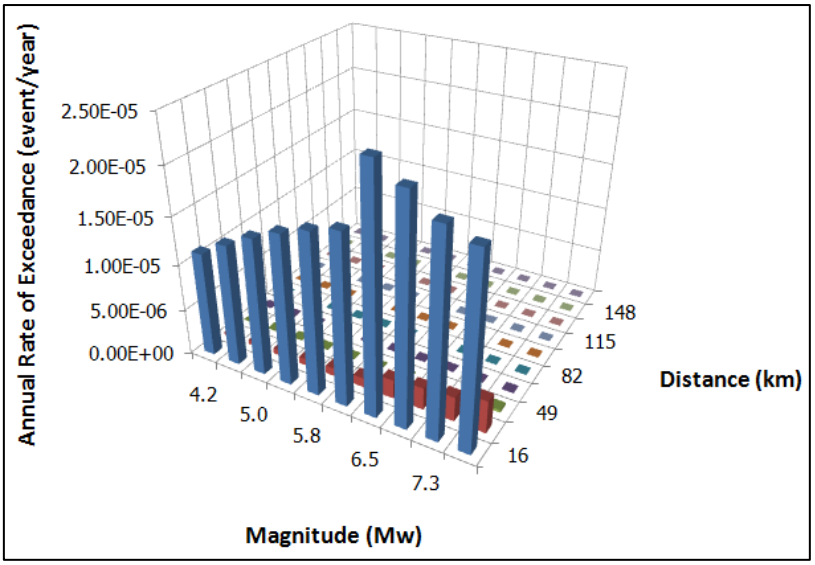
รูปที่ 6.14 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.293g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



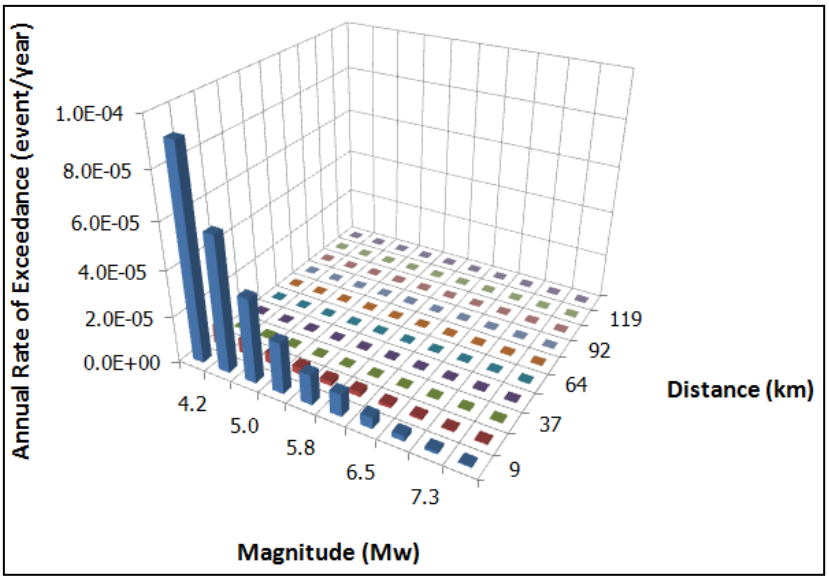
รูปที่ 6.15 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.299g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



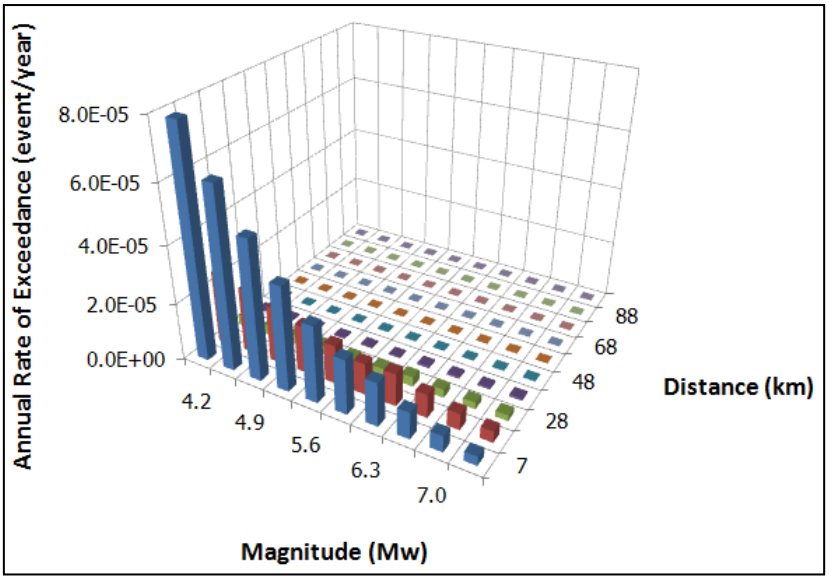
รูปที่ 6.16 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.391g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



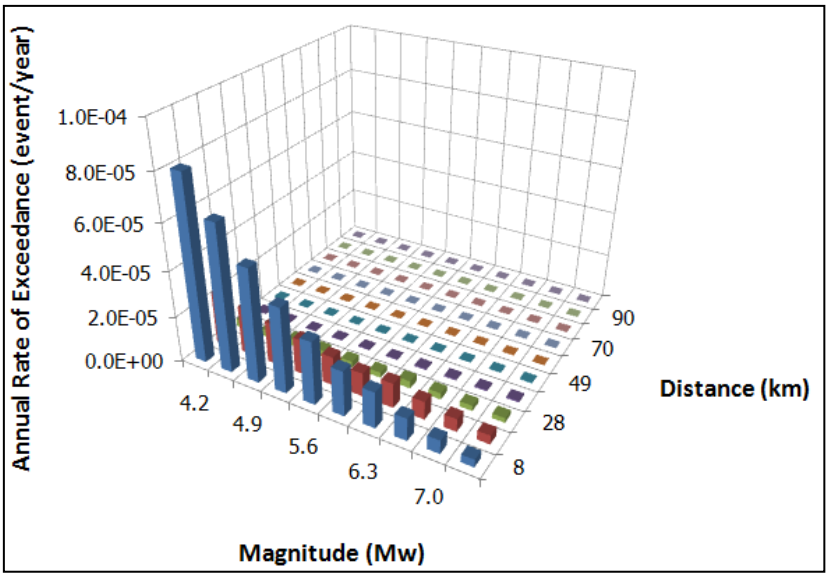
รูปที่ 6.17 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.365g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



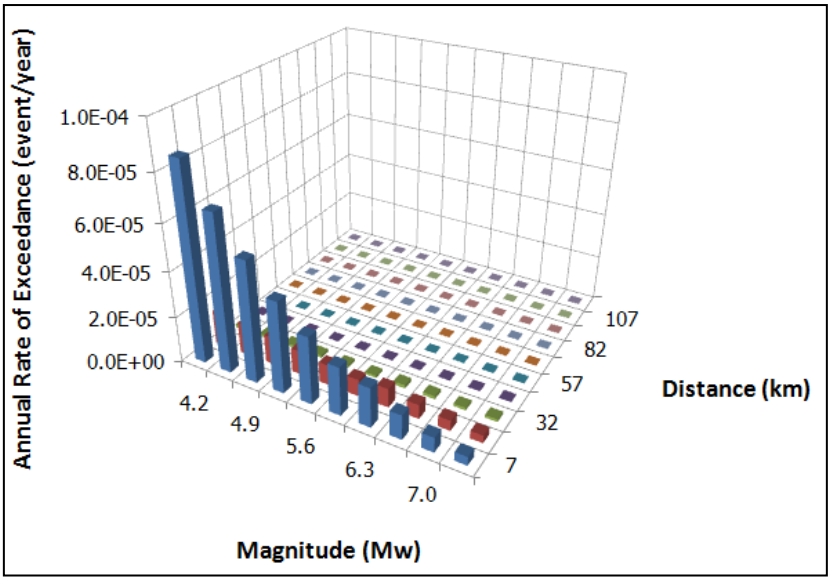
รูปที่ 6.18 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.365g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน F



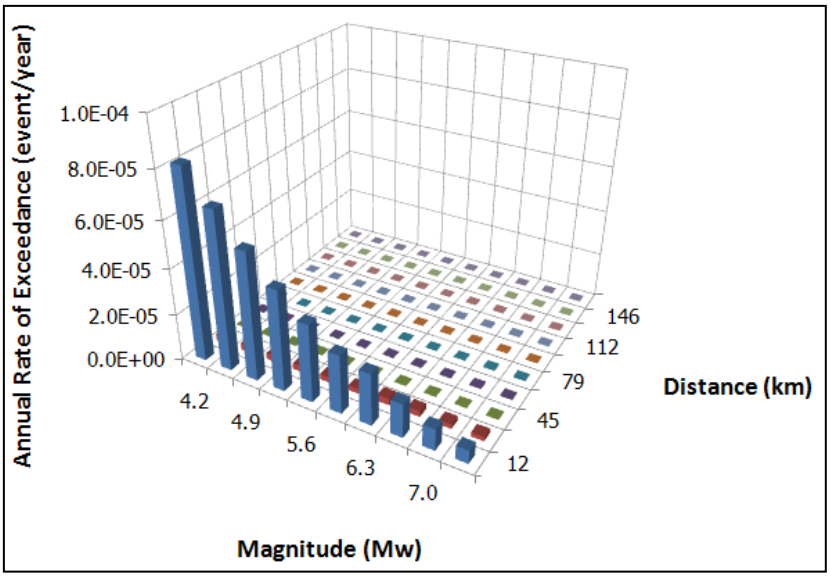
รูปที่ 6.19 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.288g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



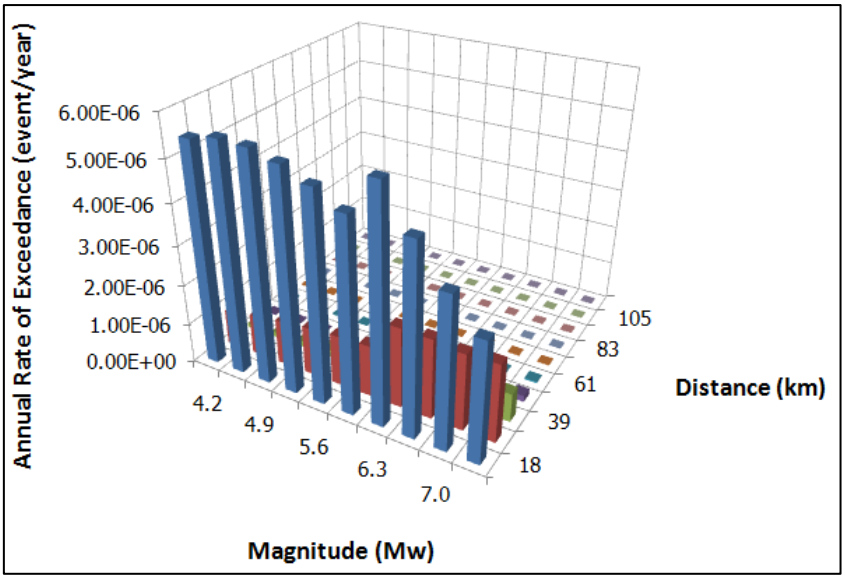
รูปที่ 6.20 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.288g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



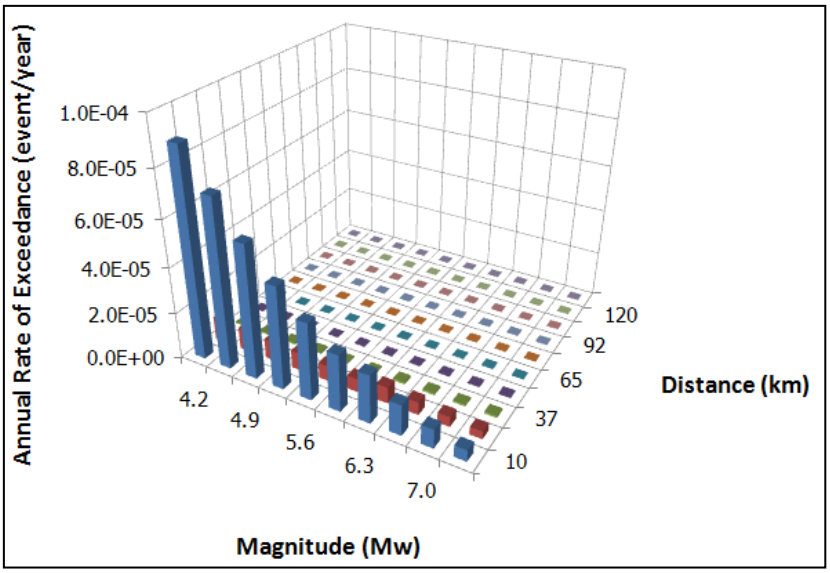
รูปที่ 6.21 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.301g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



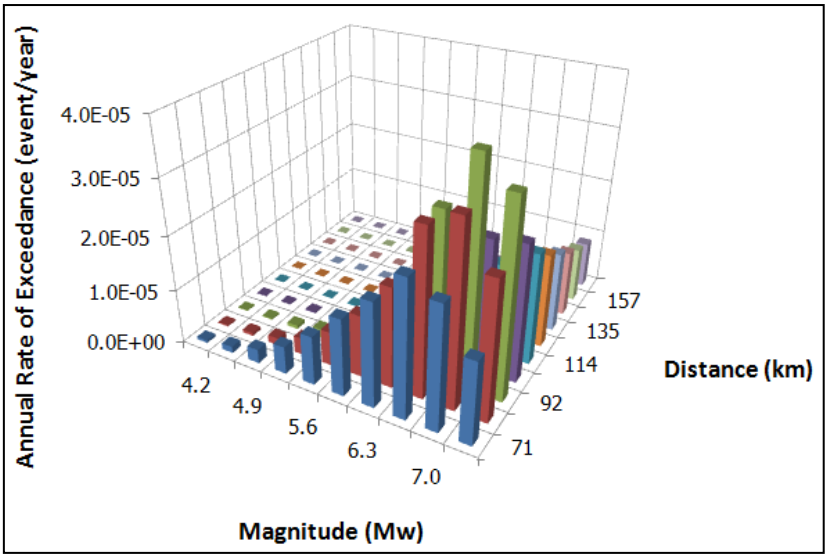
รูปที่ 6.22 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.283g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



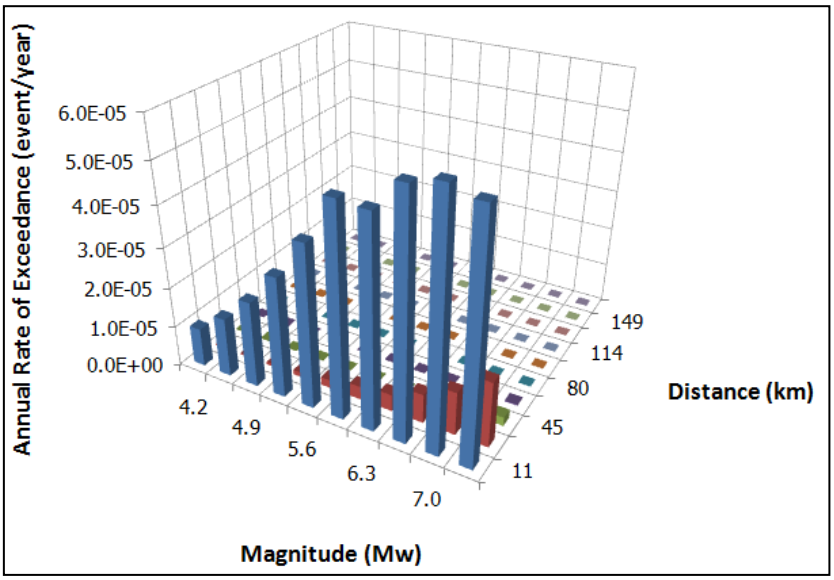
รูปที่ 6.23 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.283g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



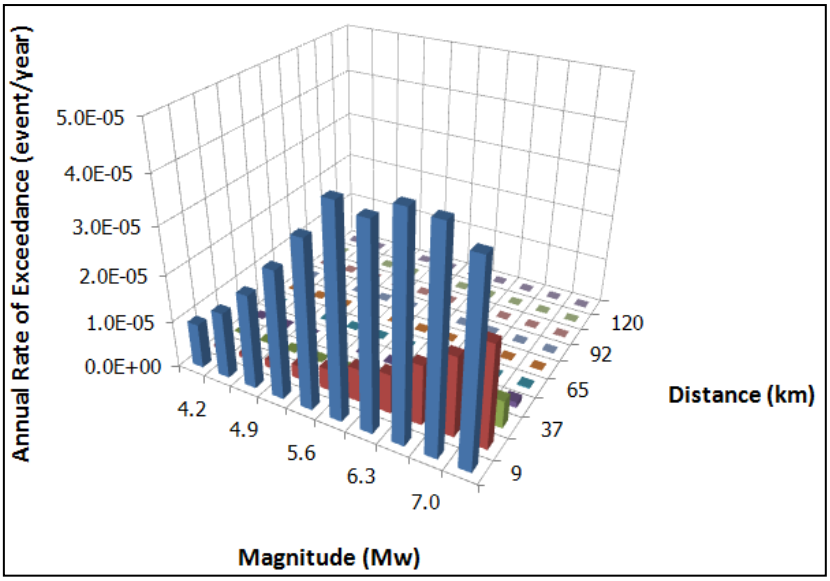
รูปที่ 6.24 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดินโดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.292g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



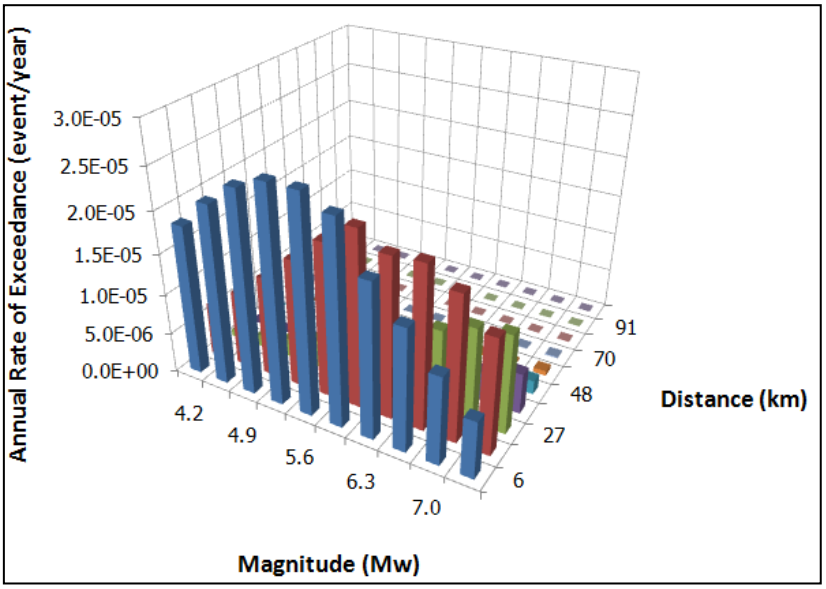
รูปที่ 6.25 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของกรุงเทพมหานคร พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.116g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



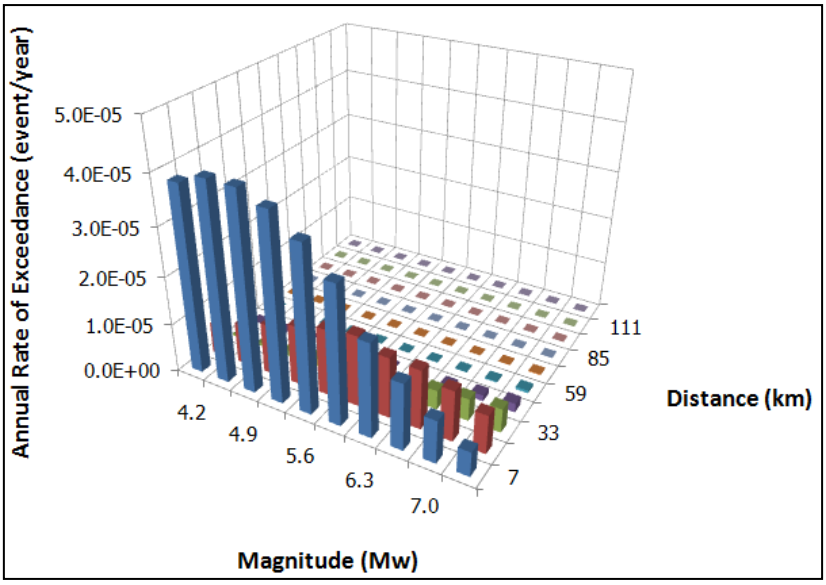
รูปที่ 6.26 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.999g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



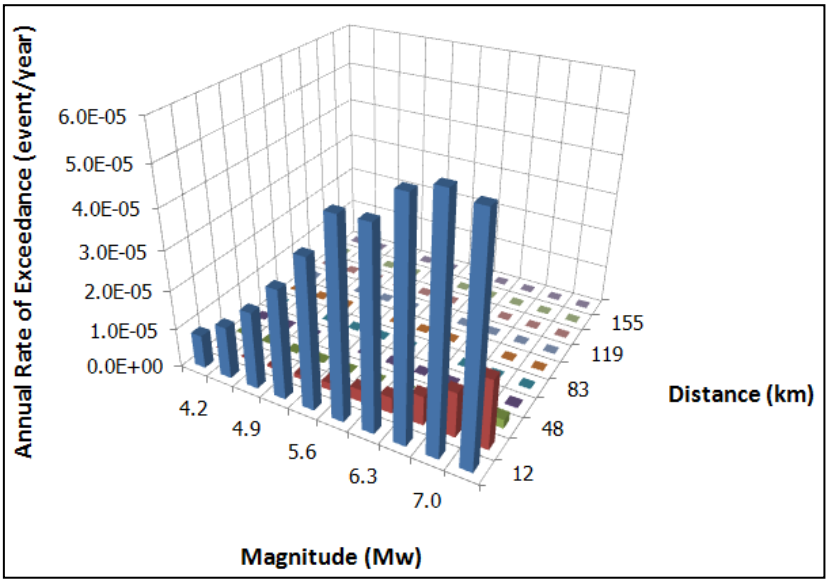
รูปที่ 6.27 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.946g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



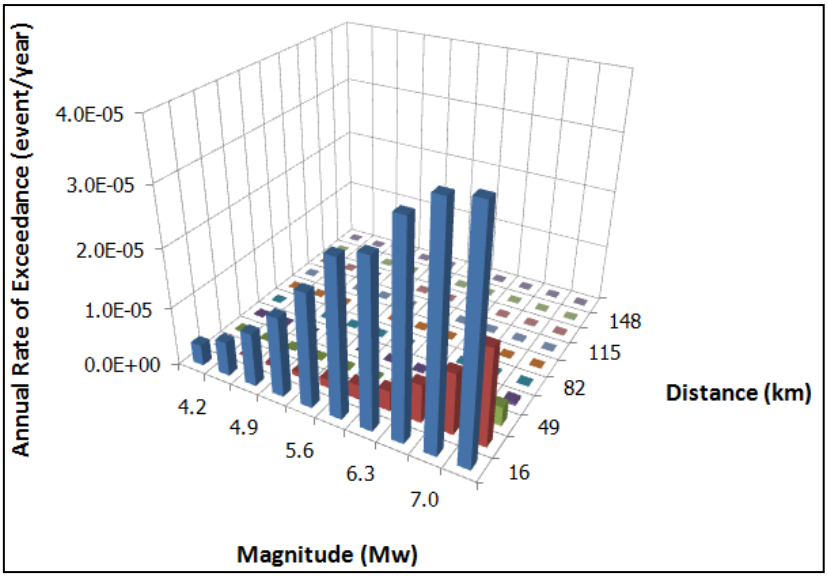
รูปที่ 6.28 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.665g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



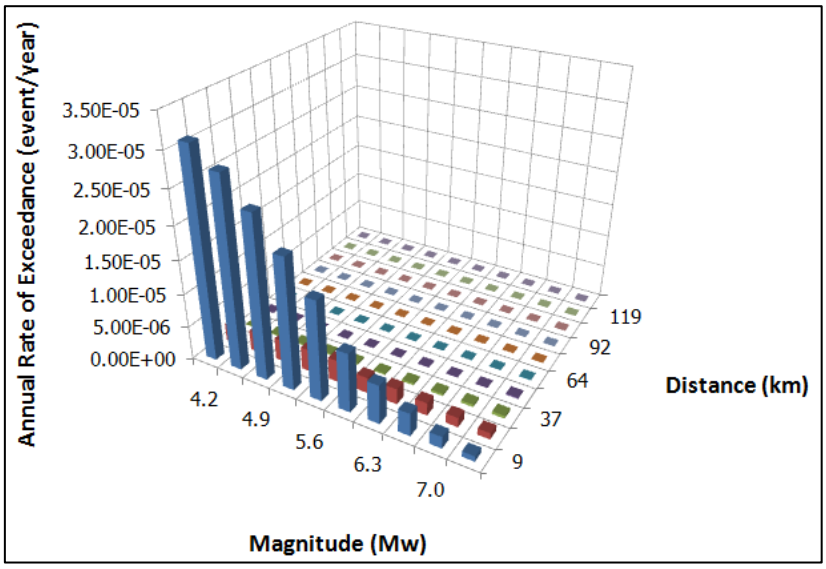
รูปที่ 6.29 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.656g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



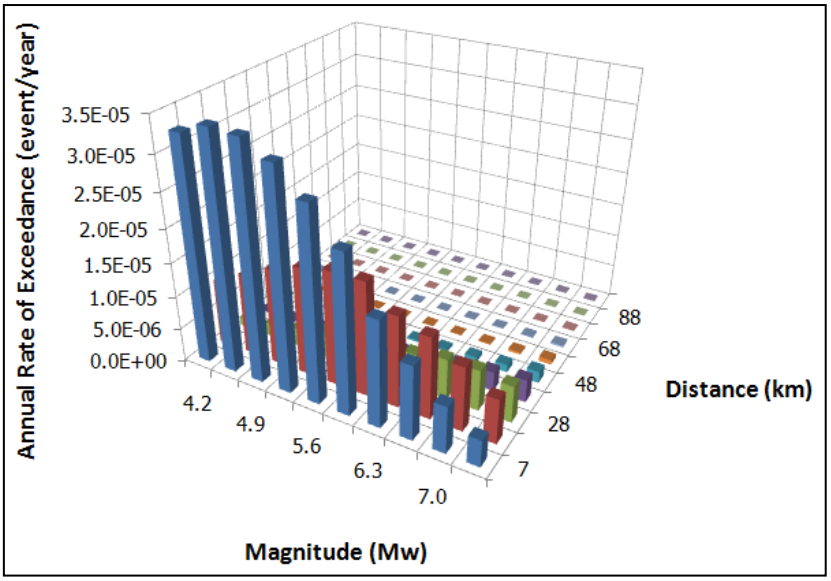
รูปที่ 6.30 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.937g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



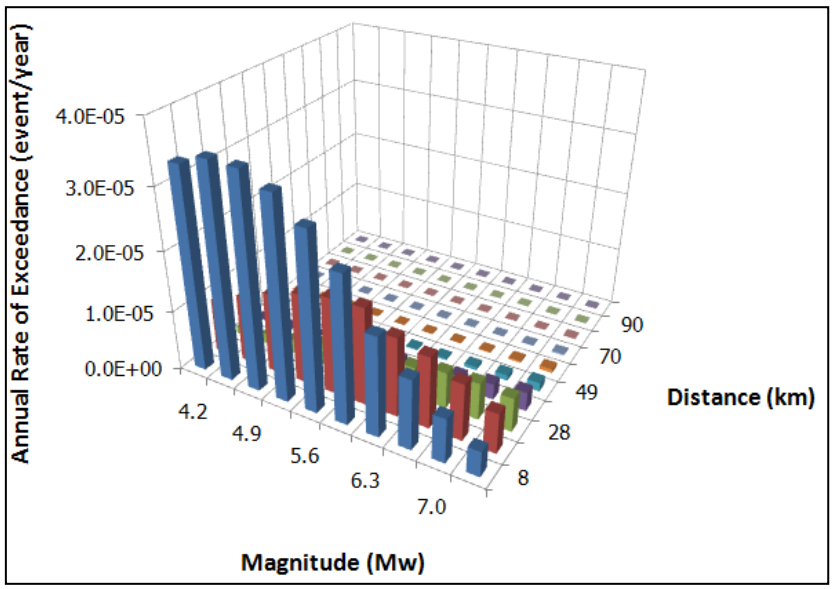
รูปที่ 6.31 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.842g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



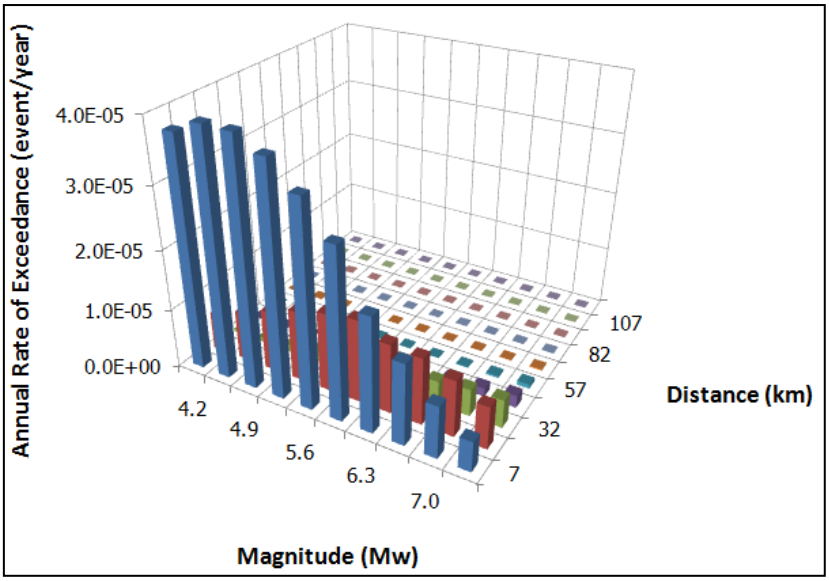
รูปที่ 6.32 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.842g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน F



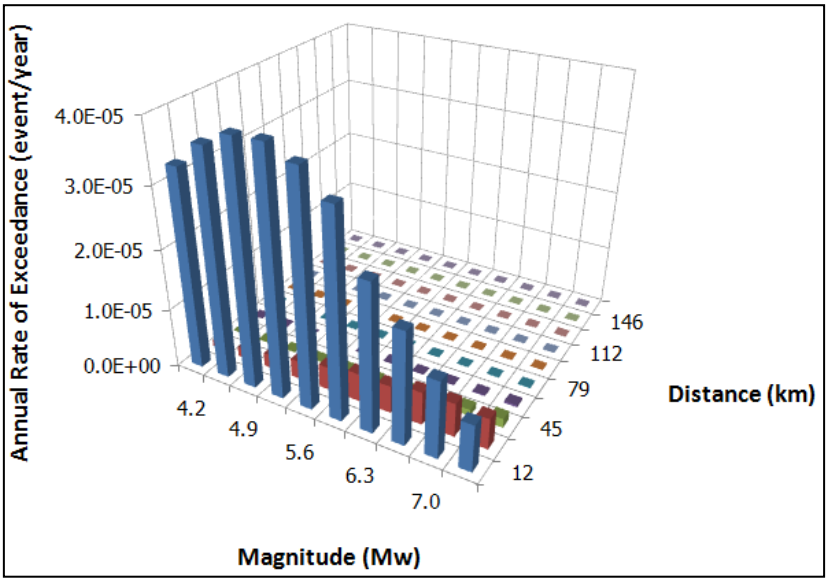
รูปที่ 6.33 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.635g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



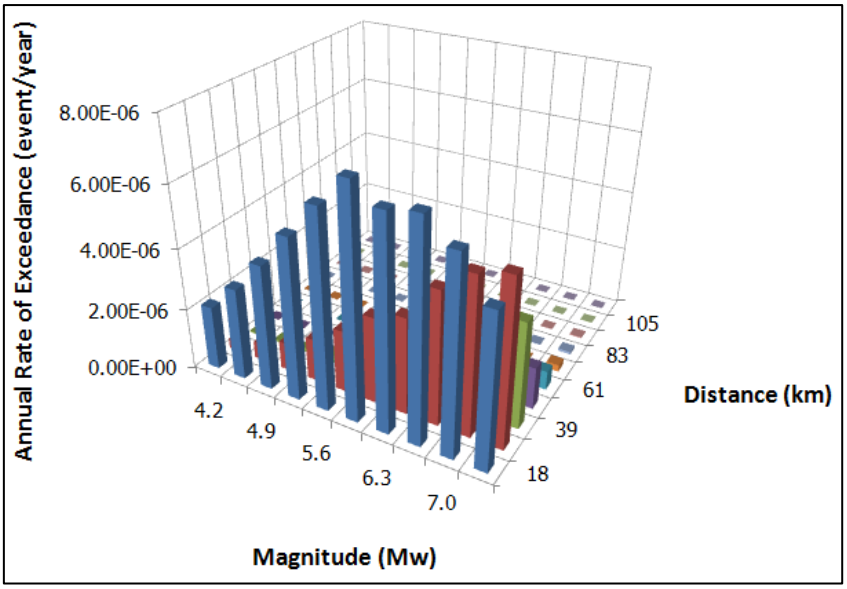
รูปที่ 6.34 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.634g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



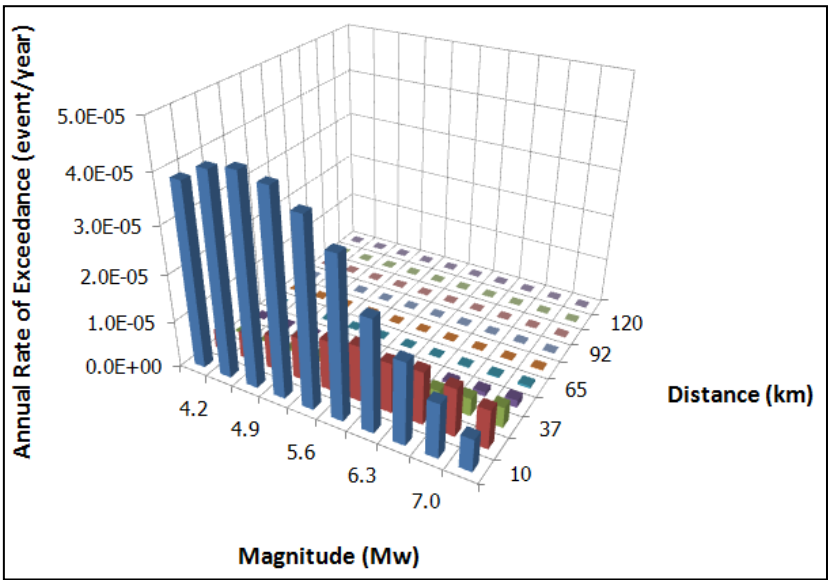
รูปที่ 6.35 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.660g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



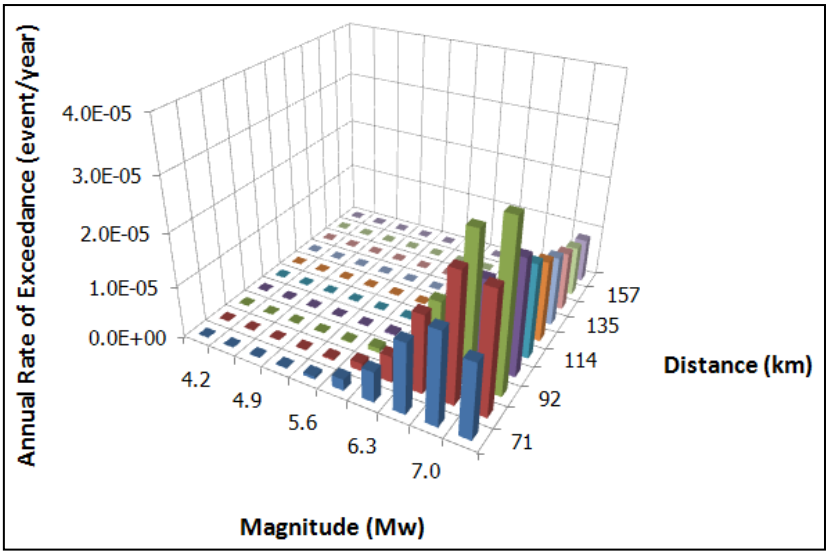
รูปที่ 6.36 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.636g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



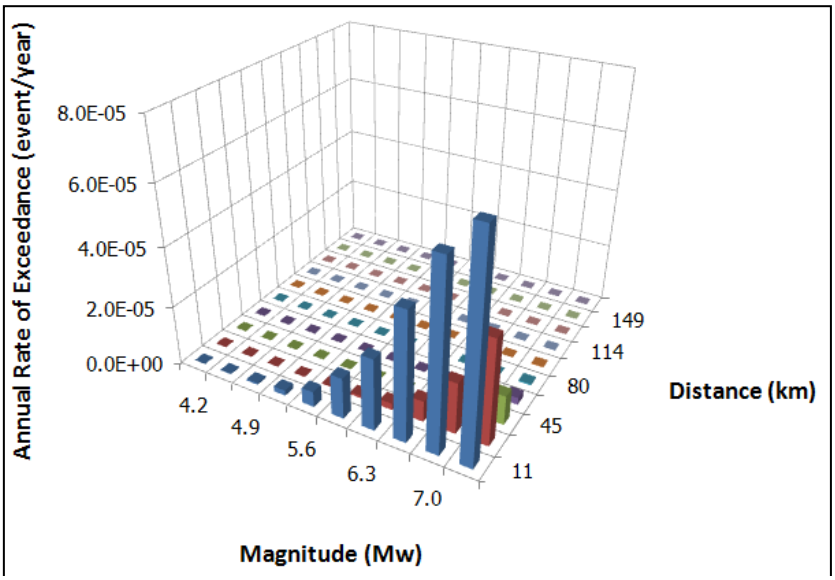
รูปที่ 6.37 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.636g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



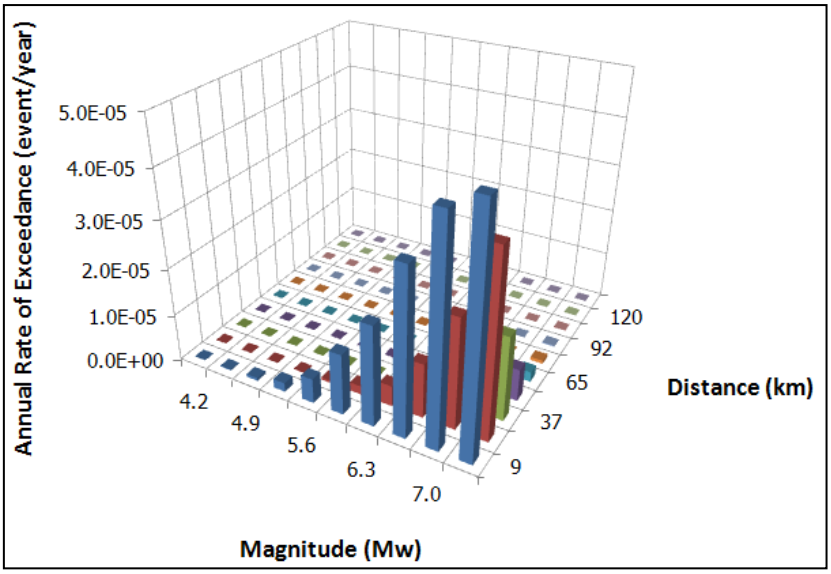
รูปที่ 6.38 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.643g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



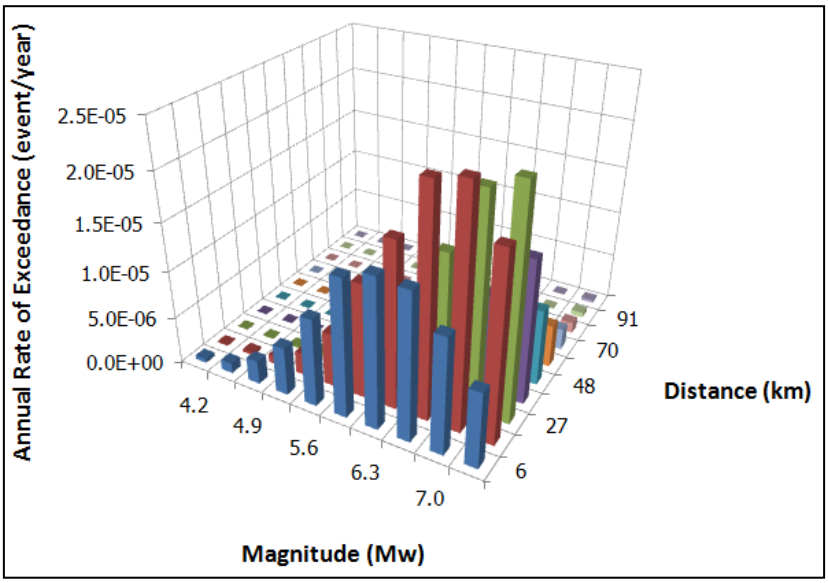
รูปที่ 6.39 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของกรุงเทพมหานคร พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.044g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



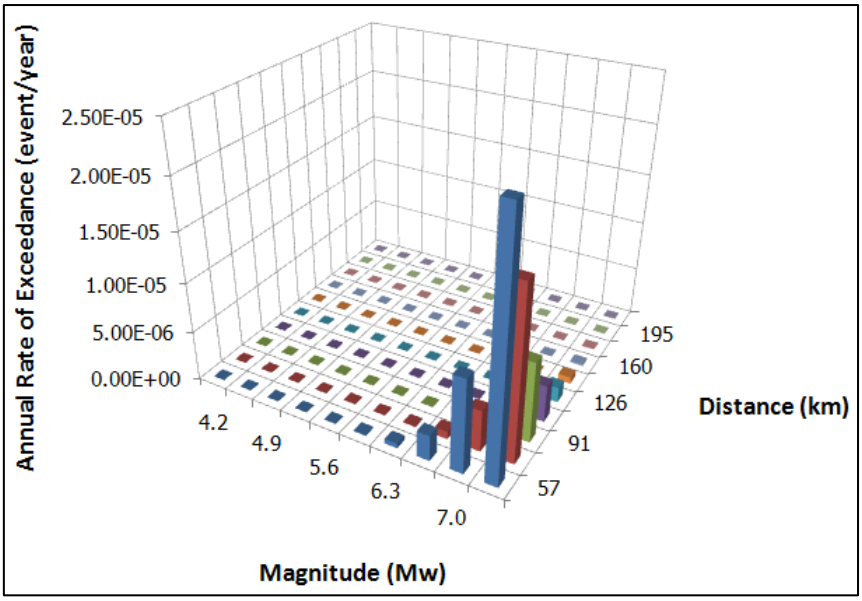
รูปที่ 6.40 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.314g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



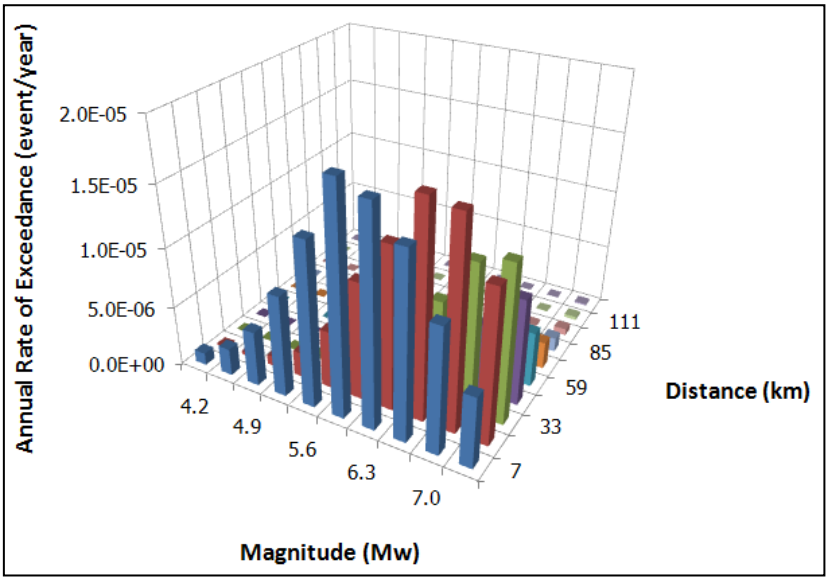
รูปที่ 6.41 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.292g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



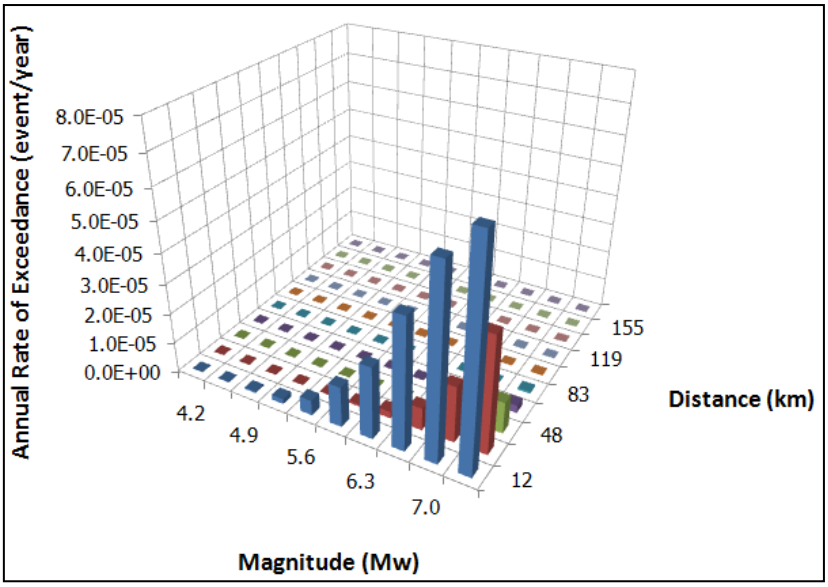
รูปที่ 6.42 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.171g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



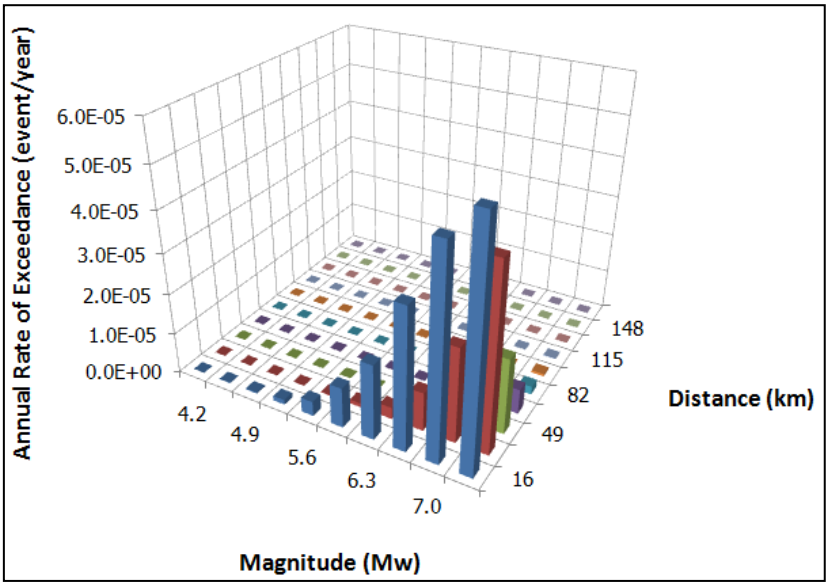
รูปที่ 6.43 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.161g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



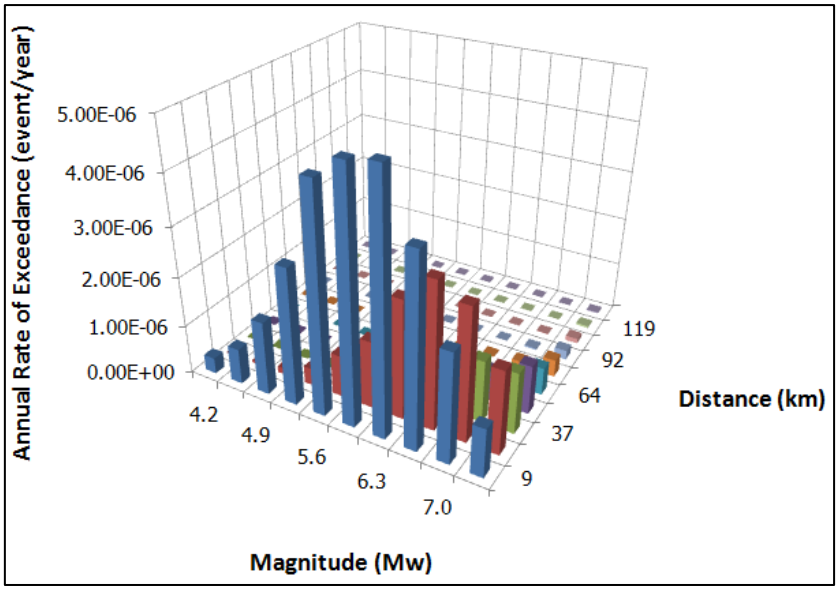
รูปที่ 6.44 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.161g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



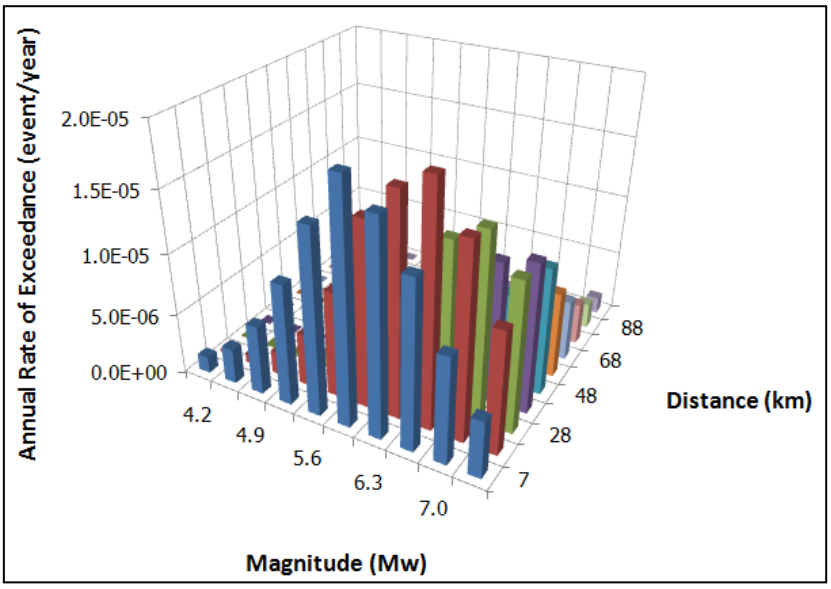
รูปที่ 6.45 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.296g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



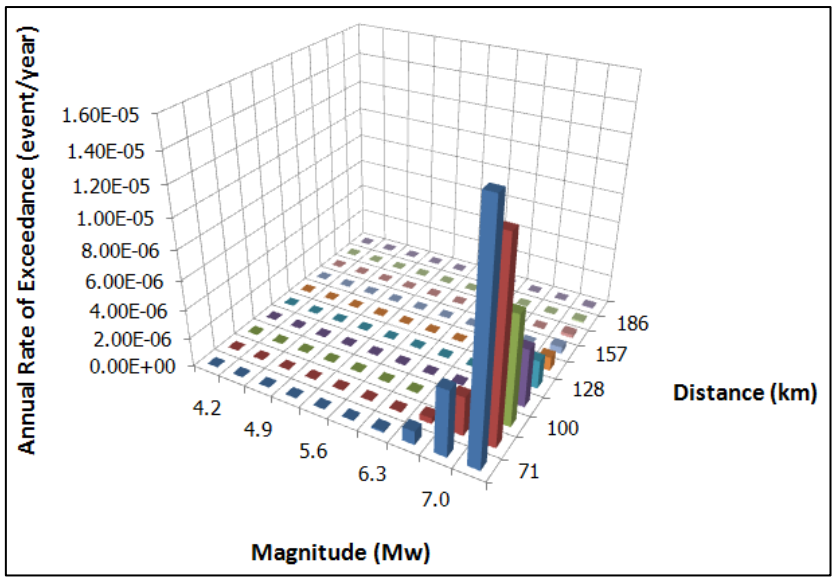
รูปที่ 6.46 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.249g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



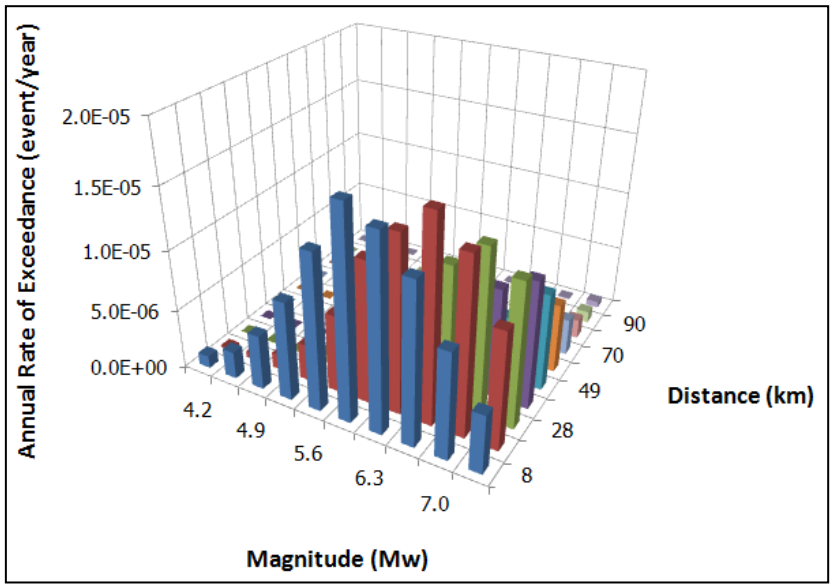
รูปที่ 6.47 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.249g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน F



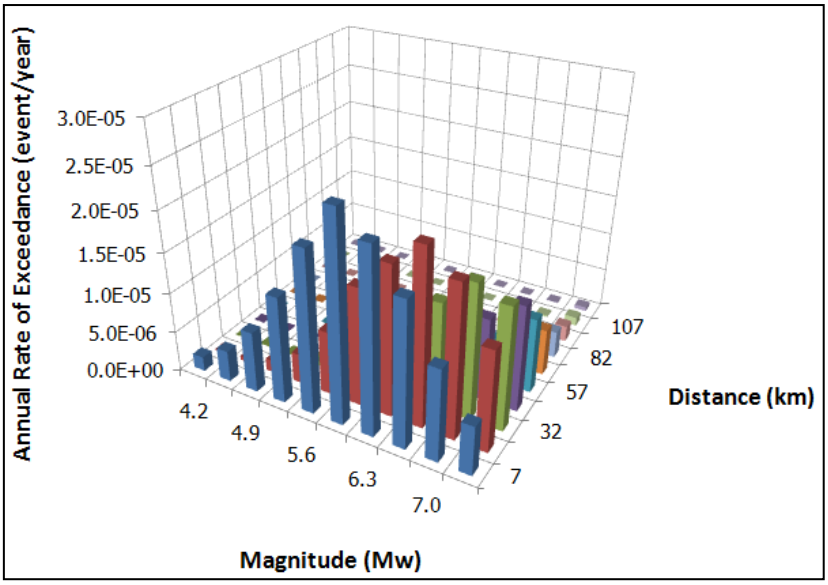
รูปที่ 6.48 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.144g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



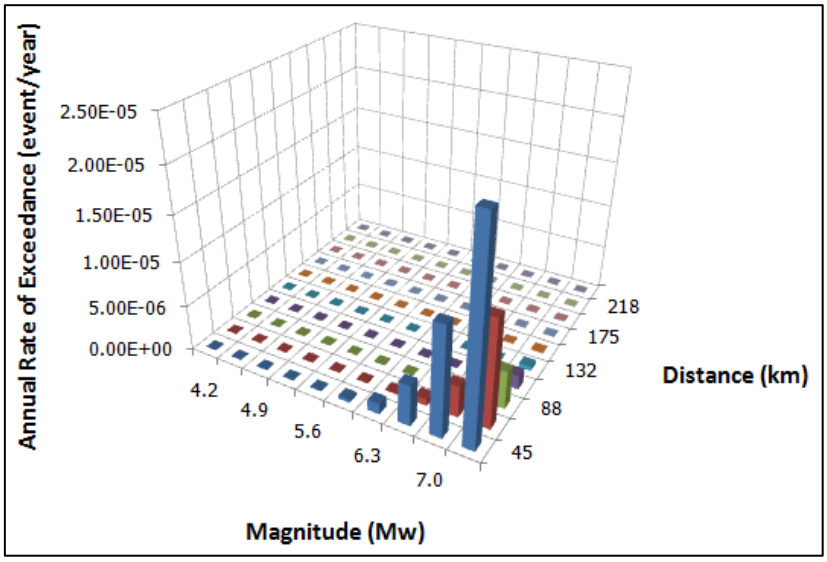
รูปที่ 6.49 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.152g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



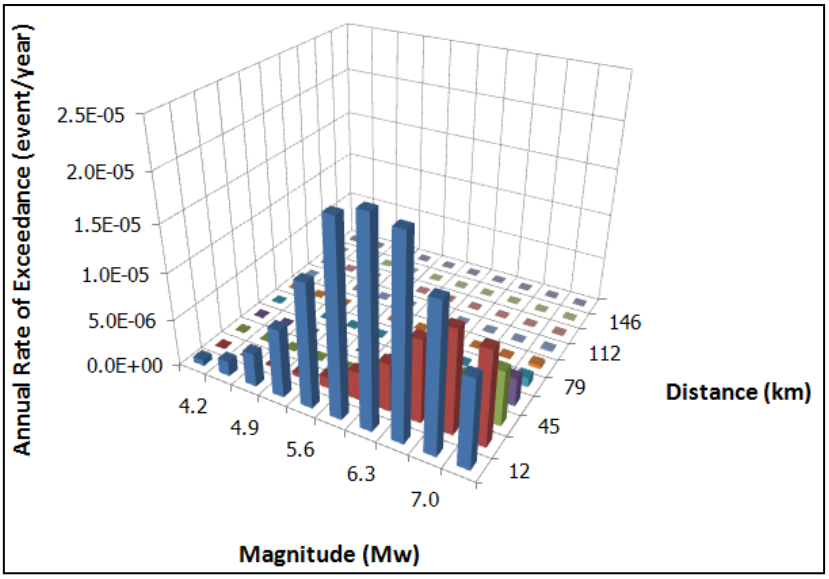
รูปที่ 6.50 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.152g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



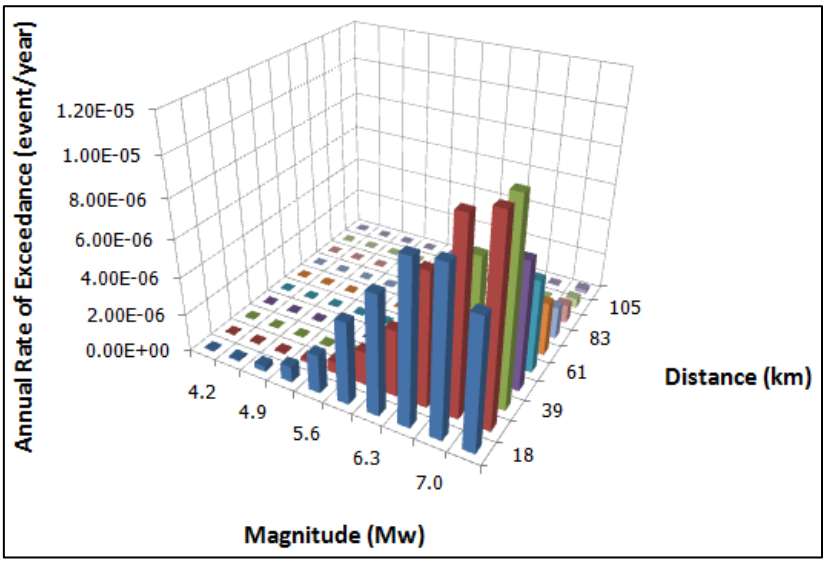
รูปที่ 6.51 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.147g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



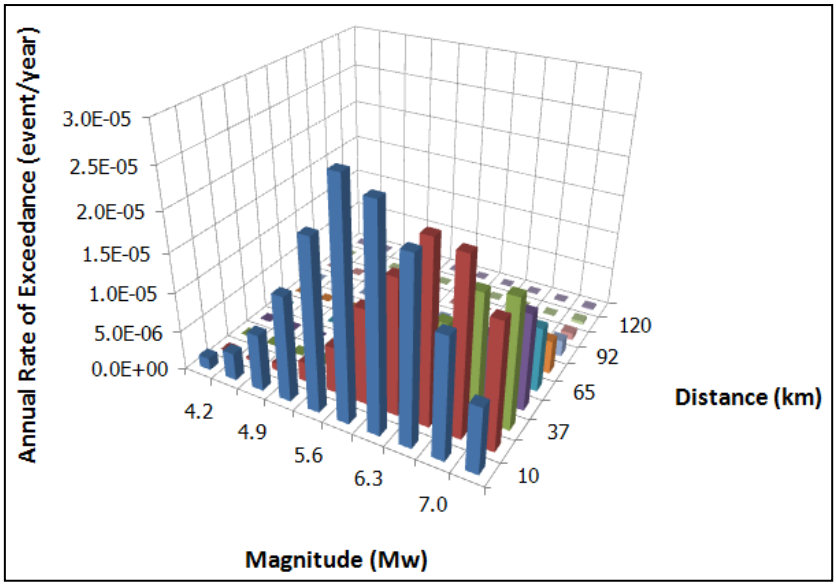
รูปที่ 6.52 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.167g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



รูปที่ 6.53 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.167g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



รูปที่ 6.54 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.167g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



รูปที่ 6.55 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่า 0.145g เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I

จังหวัดในภาคเหนือบางจังหวัดอาจจะได้รับผลกระทบเนื่องจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอย่างรุนแรงมากกว่า 1 โซน ได้แก่ จังหวัดลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E (21%) และโซน I (79%) ส่วนจังหวัดแม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดิน พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E (43%) และโซน F (57%) พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E (56%) และโซน F (44%) และพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E (86%) และโซน F (14%) ส่วนจังหวัดพะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E (14%) และโซน I (86%) ส่วนจังหวัดตาก พิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดิน พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I (85%) และโซน J (15%) พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I (79%) และโซน J (19%) และพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที พบว่าได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E (17%) I (49%) และโซน J (34%) แสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินโดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร่งเกินค่าในตารางที่เท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี และโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดในภาคเหนือ

จังหวัด	PGA		0.2 วินาที		1 วินาที	
	PHA (g)	โซน	PHA (g)	โซน	PHA (g)	โซน
กรุงเทพมหานคร	0.043	J	0.116	J	0.044	J
เชียงใหม่	0.417	E	0.999	E	0.314	E
เชียงราย	0.399	E	0.946	E	0.292	E
กาญจนบุรี	0.293	J	0.665	J	0.171	J
ลำปาง	0.299	I	0.656	I	0.161	E (21%) I (79%)
ลำพูน	0.391	E	0.937	E	0.296	E
แม่ฮ่องสอน	0.365	E (43%) F (57%)	0.842	E (56%) F (44%)	0.249	E (86%) F (14%)
น่าน	0.288	I	0.635	I	0.144	I
พะเยา	0.288	I	0.634	I	0.152	E (14%) I (86%)
แพร่	0.301	I	0.660	I	0.147	I
ตาก	0.283	I (85%) J (15%)	0.636	I (79%) J (19%)	0.167	E (17%) I (49%) J (34%)
อุตรดิตถ์	0.292	I	0.643	I	0.145	I

สำหรับกรุงเทพมหานคร จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดในภาคเหนือที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอย่างรุนแรงเพียงโซนเดียว หมายความว่าในโซนนั้นเพียงโซนเดียวมีโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อจังหวัดต่างๆ มากกว่า 90% ของโอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินระดับที่พิจารณาเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี

ตารางที่ 6.3 ขนาดของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้การสั่นไหวของพื้นดินมีความรุนแรงตามแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ที่ กทม. และ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ

จังหวัด	Magnitude (Mw)		
	PGA	0.2 วินาที	1 วินาที
กรุงเทพมหานคร	6.3 – 7.3	6.3 – 7.3	6.6 – 7.3
เชียงใหม่	4.9 – 7.0	5.6 – 7.3	6.6 – 7.3
เชียงราย	4.5 – 7.0	4.9 – 7.3	6.3 – 7.3
กาญจนบุรี	4.2 – 6.3	4.5 – 7.0	6.3 – 7.3
ลำปาง	4.2 – 6.3	4.2 – 5.9	5.9 – 7.3
ลำพูน	4.9 – 7.0	5.6 – 7.3	6.6 – 7.3
แม่ฮ่องสอน	4.2 – 7.3	4.2 – 7.3	5.4 – 7.3
น่าน	4.2 – 5.6	4.2 – 6.3	5.6 – 7.3
พะเยา	4.2 – 5.6	4.2 – 6.3	5.6 – 7.3
แพร่	4.2 – 6.3	4.2 – 5.9	5.6 – 7.3
ตาก	4.2 – 7.3	4.2 – 7.3	5.9 – 7.3
อุตรดิตถ์	4.2 – 5.9	4.2 – 7.0	5.6 – 7.3

ช่วงของขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ที่แสดงในตารางที่ 6.3 และ 6.4 จะครอบคลุมผลกระทบของลักษณะเหตุการณ์อย่างน้อย 70% ของค่าความน่าจะเป็นรวม

ตารางที่ 6.4 ระยะทางของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้การสั่นไหวของพื้นดินมีความรุนแรงตามแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ที่ กทม. และ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ

จังหวัด	Distance (km)		
	PGA	0.2 วินาที	1 วินาที
กรุงเทพมหานคร	71 – 114	71 – 124	71 – 114
เชียงใหม่	0 – 11	0 – 11	0 – 28
เชียงราย	0 – 9	0 – 9	0 – 23
กาญจนบุรี	0 – 16	0 – 16	0 – 38
ลำปาง	0 – 7	0 – 20	0 – 74
ลำพูน	0 – 12	0 – 12	0 – 30
แม่ฮ่องสอน	0 – 16	0 – 16	0 – 32
น่าน	0 – 18	0 – 18	0 – 38
พะเยา	0 – 18	0 – 18	0 – 100
แพร่	0 – 7	0 – 20	0 – 32
ตาก	0 – 16	0 – 28	0 – 67
อุตรดิตถ์	0 – 10	0 – 10	0 – 37

สังเกตได้ว่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (PGA) จังหวัดในภาคเหนือได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาด 4.2 ถึง 7.3 ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 0 ถึง 18 กิโลเมตร เมื่อพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวที่ยาวขึ้นเป็น 0.2 และ 1 วินาที จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ไกลขึ้น ส่วนกรุงเทพมหานครได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาด 6.3 ถึง 7.3 ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 71 ถึง 114 กิโลเมตร

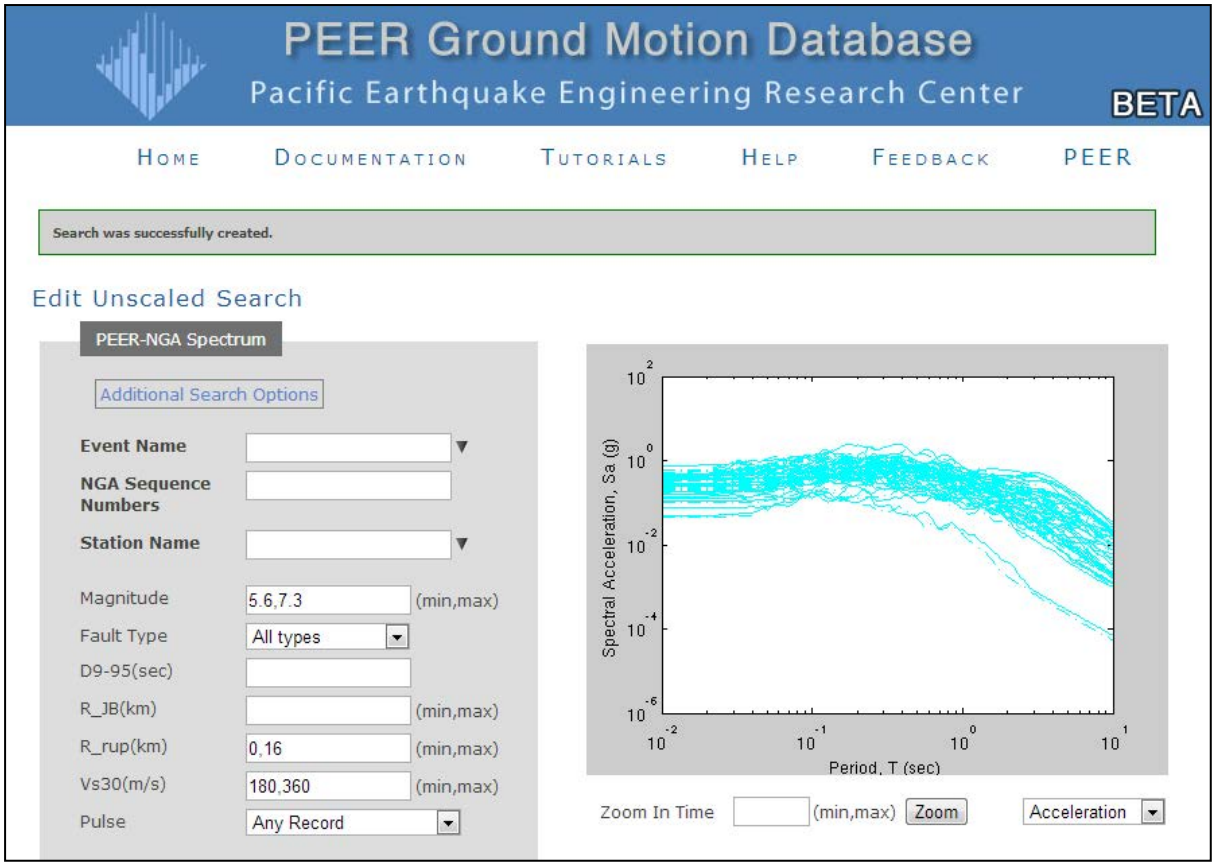
ตารางที่ 6.5 ละติจูดและลองจิจูดของกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี

No.	จังหวัด	Latitude	Longitude
1	กรุงเทพมหานคร	13.753	100.494
2	เชียงใหม่	18.787	98.987
3	เชียงราย	19.909	99.833
4	กาญจนบุรี	14.004	99.550
5	ลำปาง	18.292	99.504
6	ลำพูน	18.578	99.018
7	แม่ฮ่องสอน	19.304	97.977
8	น่าน	18.793	100.729
9	พะเยา	19.192	99.878
10	แพร่	18.146	100.141
11	ตาก	16.882	99.124
12	อุตรดิตถ์	17.626	100.097

6.6 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

6.6.1 การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

หลังจากการหาลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อความเสี่ยงภัยมากที่สุดที่ตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่กำลังพิจารณา จึงทำการคัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวนั้น โดยกำหนดขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มาจะเป็นประวัติเวลาของอัตราเร่งของพื้นดิน การศึกษานี้ได้คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER)



รูปที่ 6.56 การกำหนดคุณลักษณะแผ่นดินไหวและสเปกตรัมของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ต้องการพิจารณาของ PEER สำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

รูปที่ 6.56 แสดงการกำหนดคุณลักษณะของแผ่นดินไหวที่ใช้ในการคัดเลือกข้อมูล หลังจากทำการค้นหาข้อมูลที่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวนั้น พบข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดหลายข้อมูลแสดงได้เป็นกราฟสเปกตรัมของความเร่งสีฟ้าในรูปที่ 6.56 วิศวกรจะต้องนำคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้คัดเลือกจากฐานข้อมูลไปคูณปรับค่าทางวิธีการที่กำหนดใน มยผ.1302-52 ก่อนที่จะนำไปกระทำต่อโครงสร้างต่อไป การคัดเลือกคลื่นนั้นจะพยายามเลือกคลื่นโดยคำนึงถึงรูปร่างสเปกตรัมให้สอดคล้องกับสเปกตรัมตาม มยผ.1302-52 ด้วย

สำหรับจังหวัดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยา แพร่ ตาก และอุตรดิตถ์ รวมทั้งกาญจนบุรี สมมุติให้เป็นชั้นดินแข็งปานกลาง (site class D) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน (shear wave velocity, Vs_{30}) ประมาณ 180 ถึง 360 เมตรต่อวินาที และได้กำหนดคุณลักษณะแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหวประมาณ 5.6 ถึง 7.3 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวประมาณ 0 ถึง 16 กิโลเมตร ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกคัดเลือกนั้นได้แสดงในตารางที่ 6.6 6.7 และ 6.8 จากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกมีกลไกการเลื่อนแนวระดับ (strikeslip) เมื่อ R คือ rupture distance (km)

ตารางที่ 6.6 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาสำหรับเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และแม่ฮ่องสอน

NGA No.	Event	Year	Station	Mw	R (km)	Vs_{30} (m/s)
30	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #5	6.19	9.6	290
95	Managua-Nicaragua-01	1972	Managua-ESSO	6.24	4.1	289
147	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #2	5.74	9.0	271
148	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #3	5.74	7.4	350
149	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #4	5.74	5.7	222
159	Imperial Valley-06	1979	Agrarias	6.53	0.7	275
161	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	6.53	10.4	209
162	Imperial Valley-06	1979	Calexico Fire Station	6.53	10.4	231
179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	6.53	7.0	209
185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	6.53	7.7	203

ตารางที่ 6.7 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาสำหรับกาญจนบุรี ลำปาง และแพร่

NGA No.	Event	Year	Station	Mw	R (km)	Vs_{30} (m/s)
30	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #5	6.19	9.6	290
31	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #8	6.19	12.9	257
147	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #2	5.74	9.0	271
148	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #3	5.74	7.4	350
149	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #4	5.74	5.7	222
161	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	6.53	10.4	209
162	Imperial Valley-06	1979	Calexico Fire Station	6.53	10.4	231
167	Imperial Valley-06	1979	Compuertas	6.53	15.3	275
179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	6.53	7.0	209
185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	6.53	7.7	203

ตารางที่ 6.8 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาสำหรับน่าน พะเยา ตาก และอุตรดิตถ์

NGA No.	Event	Year	Station	Mw	R (km)	Vs_{30} (m/s)
30	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #5	6.19	9.6	290
31	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #8	6.19	12.9	257
147	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #2	5.74	9.0	271
148	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #3	5.74	7.4	350
149	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #4	5.74	5.7	222
161	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	6.53	10.4	209
162	Imperial Valley-06	1979	Calexico Fire Station	6.53	10.4	231
167	Imperial Valley-06	1979	Compuertas	6.53	15.3	275
185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	6.53	7.7	203
187	Imperial Valley-06	1979	Parachute Test Site	6.53	12.7	349

6.6.2 การคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

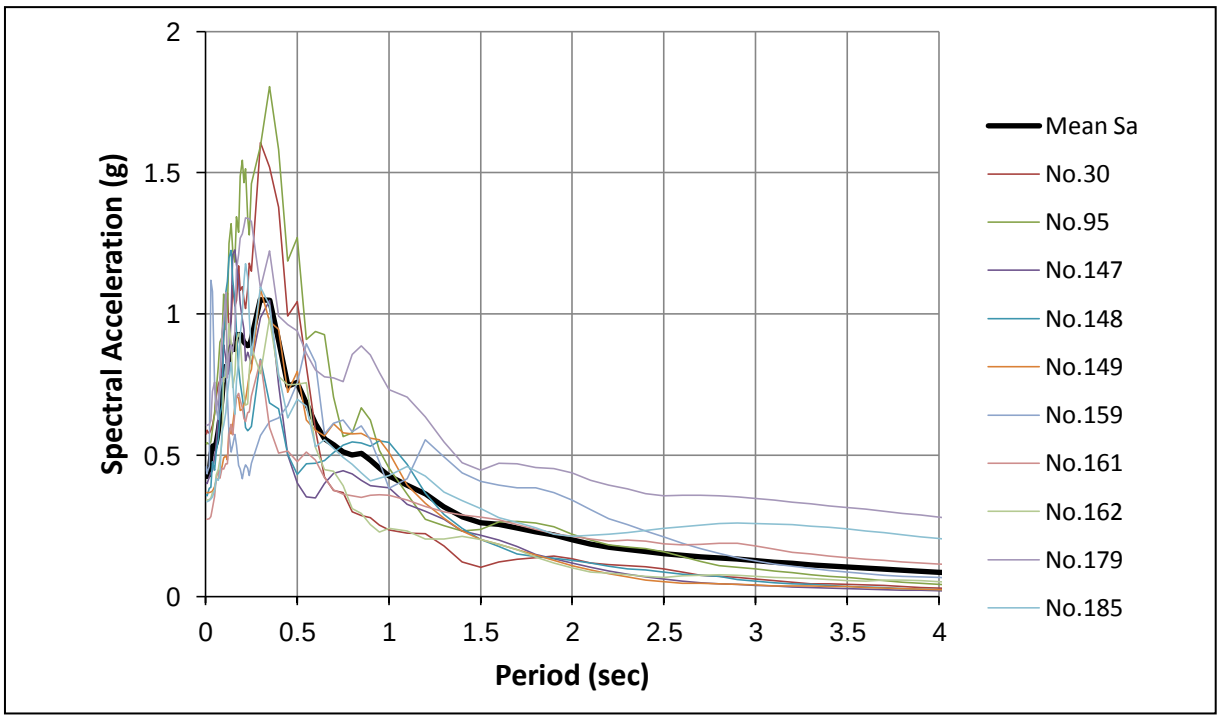
หลังจากคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์ที่เหมาะสมแล้วจะต้องทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302-52) ให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐาน โดยมีข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแนวราบสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี การศึกษานี้จะทำการจัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางในแนวราบสำหรับคลื่นแผ่นดินไหวในแต่ละคู่ และจะจัดเตรียมไว้อย่างน้อย 10 คู่ สำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

ตาม มยผ.1302-52 วิธีการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวสองทิศทางในแนวราบ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแบบ 3 มิติ สรุปโดยสังเขปได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกจะต้องคำนวณสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหวแต่ละทิศทางของข้อมูลคู่หนึ่ง ๆ จากนั้นคำนวณค่าสเปกตรัม SRSS (square root of sum of square) จากสองทิศทาง ซึ่งเป็นการหารากที่สองของผลรวมของค่ากำลังสองของสเปกตรัมผลตอบสนองในแต่ละทิศทาง โดยทำการคำนวณที่แต่ละคาบการสั่นในช่วงตั้งแต่ $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง ดังนั้นจะได้หนึ่งสเปกตรัม SRSS สำหรับข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวแต่ละคู่ ซึ่งจากชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกมา 10 คู่ จะได้ 10 สเปกตรัม SRSS ซึ่งสามารถนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม SRSS ทั้ง 10 ได้ ทั้งนี้ มยผ.1302-52 ระบุว่าจะต้องคูณปรับค่าจนทำให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัม SRSS มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ โดยพิจารณาที่ทุกคาบการสั่นในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 4 วินาที ซึ่งคลื่นที่คัดเลือกในจังหวัดเดียวกันในแต่ละคู่คลื่นจะถูกปรับค่าด้วยตัวคูณค่าเดียวกันแต่ค่าตัวคูณปรับค่าของคลื่นในจังหวัดที่แตกต่างกันไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ผลการคำนวณความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 10 ชุด

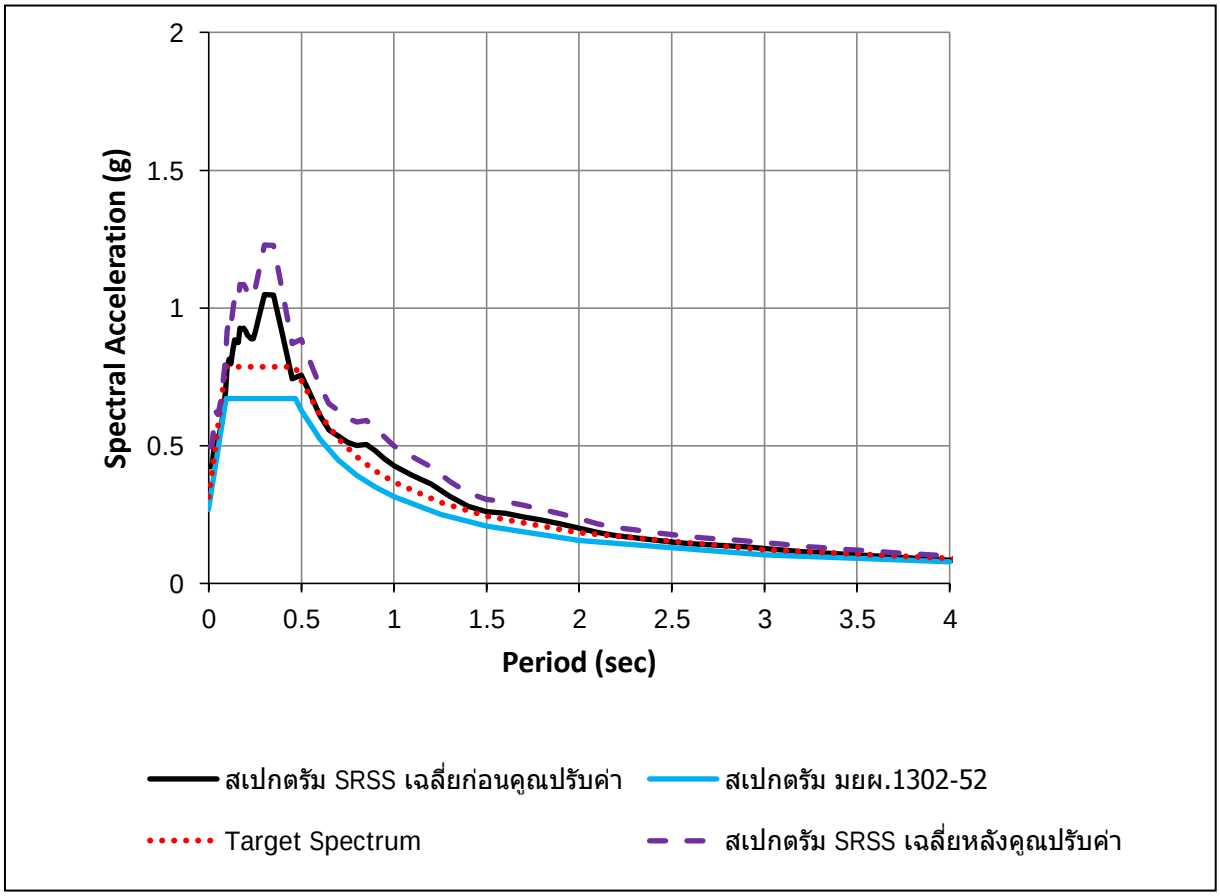
เป็นคลื่นก่อนที่ไม่มีการทำการคูณปรับค่า (รูปที่ 6.57) จากรูปที่ 6.57 ได้แสดงความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่กระทำพร้อมกัน 2 ทิศทาง สำหรับเชียงใหม่ สังเกตได้ว่าสเปกตรัมเส้นสีดำเป็นสเปกตรัมที่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยสเปกตรัม SRSS ทั้ง 10 คู่คลื่นแผ่นดินไหว และจากรูปที่ 6.58 แสดงค่าเฉลี่ยเชิงสเปกตรัม SRSS ที่ถูกคูณปรับค่ามีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ โดยนำสเปกตรัมเฉลี่ย SRSS ก่อนคูณปรับค่า (เส้นสีดำ) เปรียบเทียบกับสเปกตรัมตาม มยผ.1302-52 เส้นสีน้ำเงินและทำการคูณปรับค่า 1.17 เท่า เป็นสเปกตรัมเส้นสีแดง จะได้ผลสเปกตรัม SRSS หลังคูณปรับค่า (เส้นสีม่วง) และได้สรุปผลตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมของจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรีในตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ค่าของตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

จังหวัด	ค่าของตัวคูณปรับค่า
เชียงใหม่	1.17145
เชียงราย	1.03544
กาญจนบุรี	1.10122
ลำปาง	1.19649
ลำพูน	1.13076
แม่ฮ่องสอน	1.15462
น่าน	1.08490
พะเยา	1.14166
แพร่	1.24392
ตาก	1.01782
อุตรดิตถ์	1.10271



รูปที่ 6.57 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่กระทำพร้อมกัน 2 ทิศทาง สำหรับเชียงใหม่



รูปที่ 6.58 ค่าเฉลี่ยเชิงสเปกตรัม SRSS ที่ถูกคูณปรับค่ามีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ สำหรับเชียงใหม่

เมื่อมีการคูณปรับค่าเพิ่มขึ้น 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองของการออกแบบตาม มยผ. 1302-52 (เส้นสีน้ำเงิน) กลายเป็นสเปกตรัมเส้นสีแดงจะเรียกว่า target spectrum แสดงดังรูปที่ 6.58

ผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 6.58 พบว่าสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยก่อนคูณปรับค่า (เส้นสีดำ) มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.35 วินาที มีค่าประมาณ 1.05g จากนั้นเมื่อมีการคูณปรับค่า สเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่า (เส้นสีม่วง) ค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.35 วินาที มีค่าประมาณ 1.23g ทำให้มีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถนำสเปกตรัม SRSS หลังคูณปรับค่าไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างต่อไป

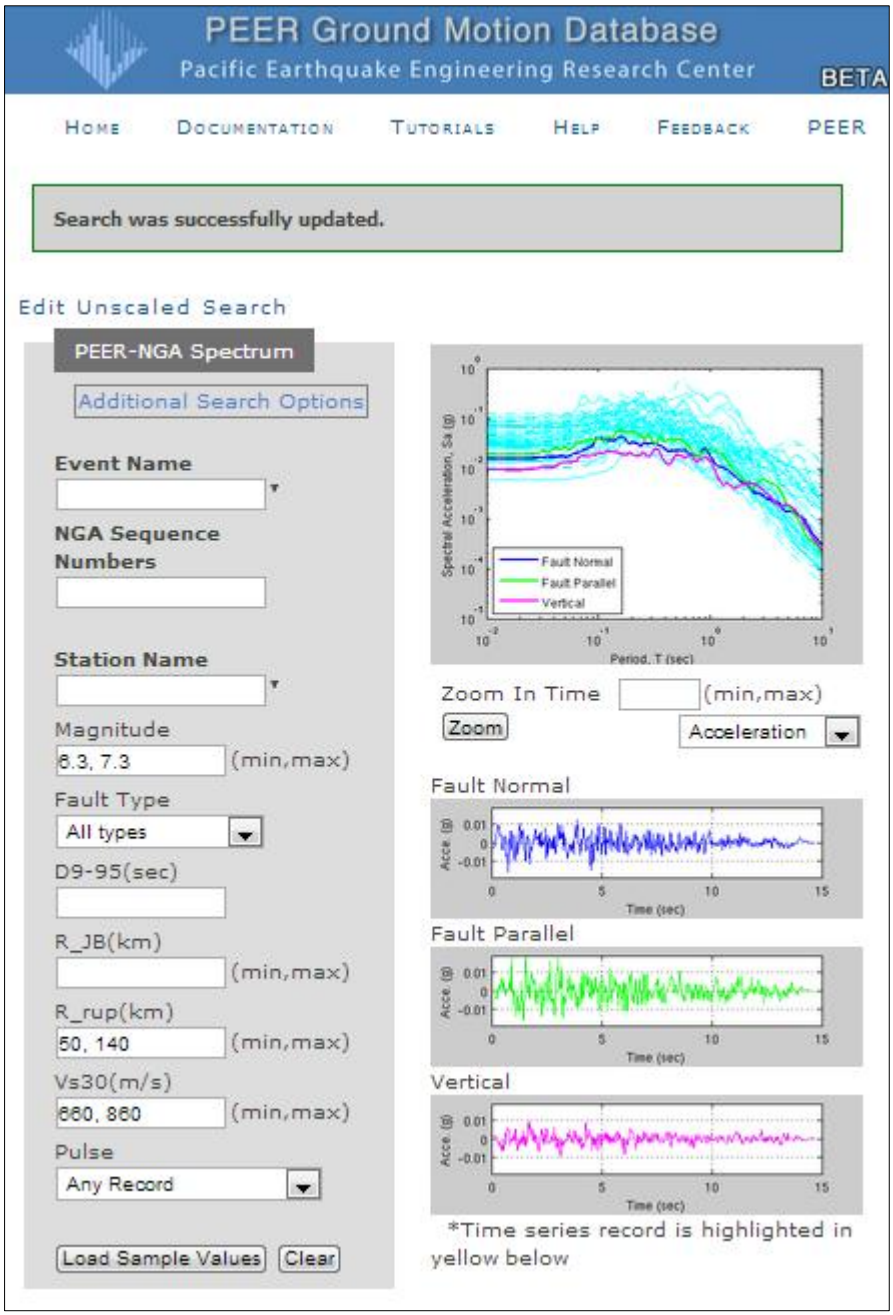
6.7 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดกรุงเทพมหานคร

6.7.1 การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร

หลังจากการหาลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อความเสี่ยงภัยมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่กำลังพิจารณา จึงทำการคัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวนั้น โดยกำหนดขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มาจะเป็นประวัติเวลาของอัตราเร่งของพื้นดิน การศึกษานี้ได้คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER)

รูปที่ 6.59 แสดงการกำหนดคุณลักษณะของแผ่นดินไหวที่ใช้ในการคัดเลือกข้อมูลสำหรับกรุงเทพมหานคร หลังจากทำการค้นหาข้อมูลที่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวนั้นพบข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดหลายข้อมูลแสดงได้เป็นกราฟสเปกตรัมของความเร่งสีฟ้าในรูปที่ 6.59 นอกจากนี้ยังแสดงประวัติเวลาของความเร่งของพื้นดินทั้งสามแกน (ในทิศทางตั้งฉากกับรอยเลื่อน ขนานกับรอยเลื่อน และแนวดิ่ง) ที่สถานีเดียวกัน วิศวกรจะต้องนำคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้คัดเลือกจากฐานข้อมูลไปคูณปรับค่าทางวิธีการที่กำหนดใน มยผ.1302-52 ก่อนที่จะนำไปกระทำต่อโครงสร้างต่อไป ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างได้แสดงในตารางที่ 6.10

สำหรับกรุงเทพมหานครจะต้องทำการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินอ่อนด้วย โดยใช้ข้อมูลจากชั้นหิน (Vs_{30} ประมาณ 760 เมตรต่อวินาที) เป็นข้อมูลดิบแล้วจำลองการแพร่ของคลื่นผ่านชั้นดินอ่อนที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 100 เมตรต่อวินาที ในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน) และได้กำหนดคุณลักษณะแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหวประมาณ 6.3 ถึง 7.3 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวประมาณ 40 ถึง 140 กิโลเมตร เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่ต้องการคัดเลือกจาก PEER มีไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องมีการขยายช่วงระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวให้มีช่วงที่กว้างขึ้นเป็น 40 ถึง 140 กิโลเมตร ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างได้แสดงในตารางที่ 6.10 จากข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกมีกลไกการเลื่อนด้านข้าง (strike slip) และการเลื่อนแบบกลับทิศ (reverse fault)



รูปที่ 6.59 การกำหนดคุณลักษณะแผ่นดินไหวและแสดงผลสเปกตรัมของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ต้องการพิจารณาของ PEER สำหรับกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 6.10 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาสำหรับกรุงเทพมหานคร

NGA No.	Event	Year	Station	Mw	R (km)	Vs_{30} (m/s)
782	Loma Prieta	1989	Monterey City Hall	6.93	44.4	685
1033	Northridge-01	1994	Littlerock-Brainard Can	6.69	46.6	822
1074	Northridge-01	1994	Sandberg-Bald Mtn	6.69	41.6	822
1096	Northridge-01	1994	Wrightwood-Jackson Flat	6.69	64.7	822
1767	Hector Mine	1999	Banning-Twin Pines Road	7.13	83.4	685
1786	Hector Mine	1999	Heart Bar State Park	7.13	61.2	685
1795	Hector Mine	1999	Joshua Tree N.M.-Keysview	7.13	50.4	685
1836	Hector Mine	1999	Twenty-nine Palms	7.13	42.1	685
3453	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	TCU044	6.3	48.5	668
3542	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	TTN042	6.3	86.4	845

โดยที่ R คือ Rupture distance (km)

6.7.2 การคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานคร

หลังจากเลือกคลื่นแผ่นดินไหวจากเหตุการณ์ที่เหมาะสมแล้วจะต้องทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302-52) ให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐาน โดยมีข้อมูลอัตราเร่งของพื้นดินทั้งสองทิศทางในแนวราบสำหรับกรุงเทพมหานคร การศึกษานี้จะทำการจัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางในแนวราบสำหรับคลื่นแผ่นดินไหวในแต่ละคู่ และจะจัดเตรียมไว้อย่างน้อย 10 คู่ สำหรับกรุงเทพมหานคร วิธีการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหว 2 ทิศทางในแนวราบสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแบบ 3 มิติ สรุปได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกจะต้องคำนวณสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหวแต่ละทิศทางของข้อมูลคู่หนึ่งๆ จากนั้นคำนวณค่าสเปกตรัม SRSS (square root of sum of square) จากสองทิศทาง ซึ่งเป็นการหารากที่สองของผลรวมของค่ากำลังสองของสเปกตรัมผลตอบสนองในแต่ละทิศทาง โดยทำการคำนวณที่แต่ละคาบการสั่นในช่วงตั้งแต่ $0.2T$ ถึง $1.5T$ โดยที่ T คือ คาบการสั่นพื้นฐานของโครงสร้าง ดังนั้นจะได้หนึ่งสเปกตรัม SRSS สำหรับข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวแต่ละคู่ ซึ่งจากชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกมา 10 คู่ จะได้ 10 สเปกตรัม SRSS จะต้องมีการคูณปรับค่าสเปกตรัมรอบแรกโดยนำทั้ง 10 สเปกตรัม SRSS ทำการคูณปรับค่าเพื่อให้ทั้ง 10 สเปกตรัม SRSS มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยสเปกตรัม SRSS และนำค่าเฉลี่ยสเปกตรัม SRSS ทำการคูณปรับค่าสเปกตรัมรอบที่สองให้มีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ การหาค่าตัวคูณปรับค่ารอบแรก (SF1) จะพิจารณาทุกคาบการสั่นในช่วงตั้งแต่ 0 วินาที ครอบคลุมถึง 4 วินาที แต่ค่าตัวคูณปรับค่ารอบที่สอง (SF2) นั้นจะ

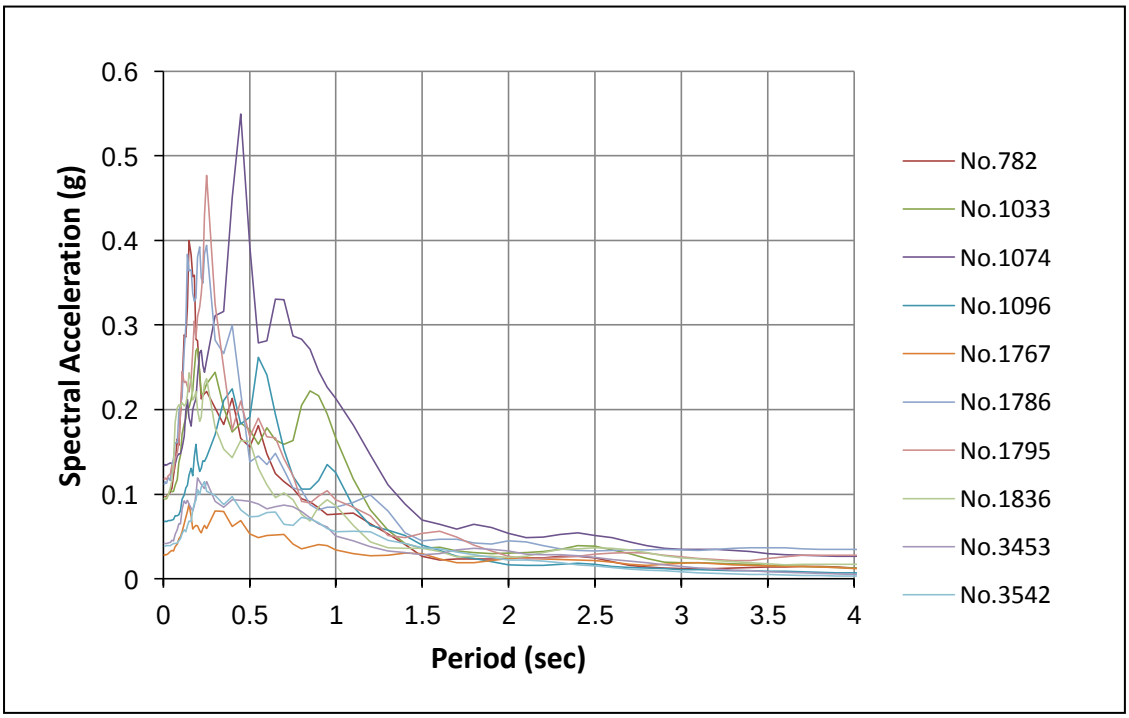
พิจารณาคาบการสั่นในช่วง 0.13 วินาที ครอบคลุมถึง 3 วินาที จากคลื่นที่คัดเลือกในกรุงเทพมหานคร ค่าของตัวคูณปรับค่ารอบแรกจะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละชุดคลื่นแผ่นดินไหวแต่ค่าของตัวคูณปรับค่ารอบที่สองจะใช้ค่าเดียวกัน แล้วหาผลคูณของ SF1 และ SF2 จะได้ตัวคูณปรับค่าค่าเดียว (SF) นำไปคูณในแต่ละชุดคลื่นแผ่นดินไหวเพื่อนำไปใช้ในการขยายคลื่นแผ่นดินไหวผ่านชั้นดินอ่อนต่อไป

จากผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของกรุงเทพมหานคร โอกาสที่จะเกิดความเร่งเกินค่าความเร่งที่พิจารณาเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี สำหรับการพิจารณาความเร่งสูงสุดของพื้นดิน พบว่าความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.043g ส่วนการพิจารณาสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที พบว่าความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.116g ส่วนการพิจารณาสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที พบว่าความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.044g ส่วนการพิจารณาสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1.5 วินาที พบว่าความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.029g ส่วนการพิจารณาสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที พบว่าความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.022g ส่วนการพิจารณาสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที พบว่าความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.014g มีความสอดคล้องกับการสร้างสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบตาม มยผ.1302-52 โดยมีการกำหนดค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปคตรัมที่คาบ 0.2 วินาที (S_S) และที่คาบ 1 วินาที (S_1) ตามความเร่งที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 0.116g และ 0.044g ตามลำดับ การศึกษานี้จึงได้ใช้สเปกตรัมที่สร้างขึ้นที่มีการคูณปรับค่าเพิ่มขึ้น 1.17 เท่า เป็น target spectrum

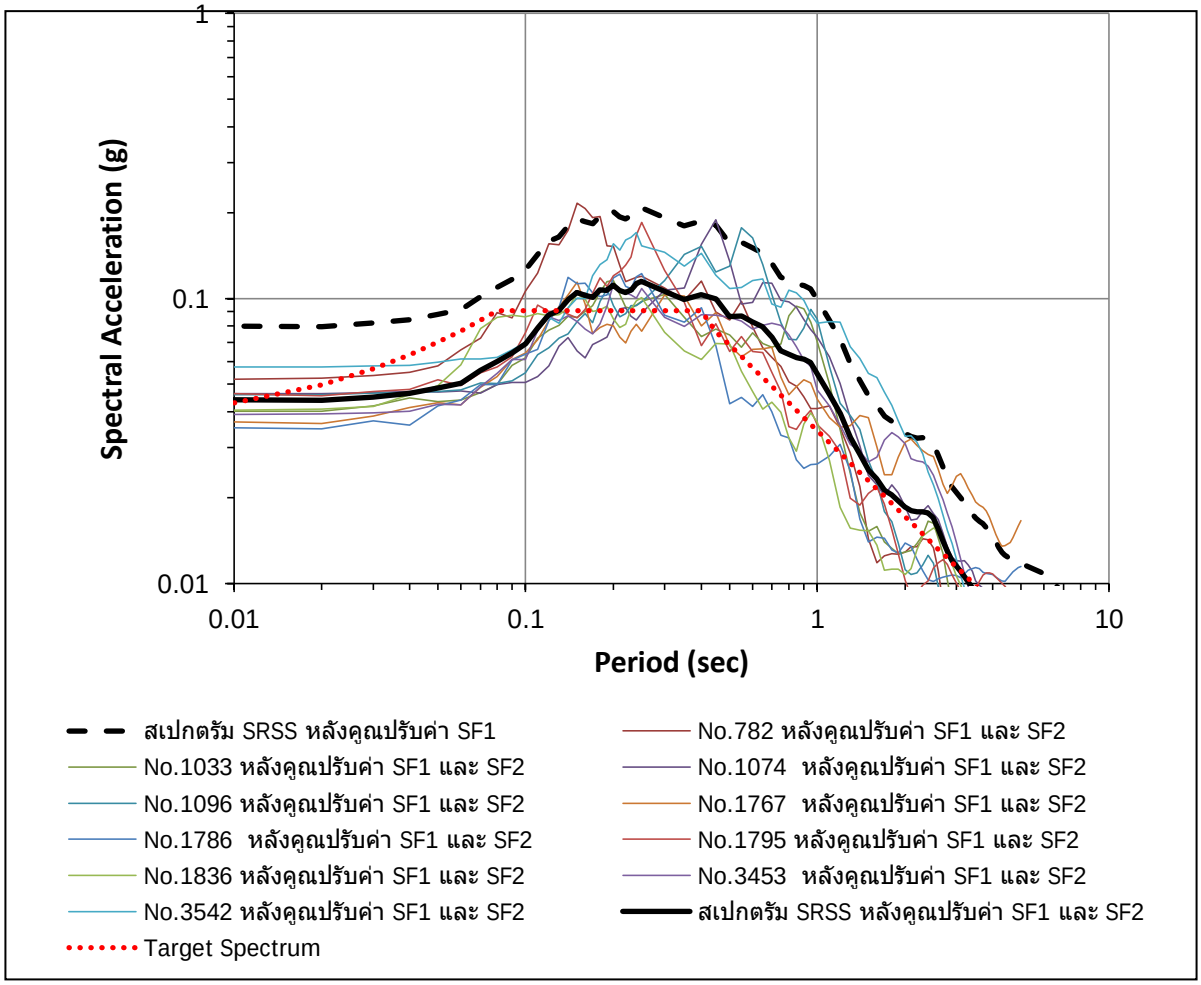
ผลการคำนวณความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 10 ชุด เป็นคลื่นที่ไม่มีการคูณปรับค่าสเปกตรัม (รูปที่ 6.60) จากรูปที่ 6.60 ได้แสดงความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่กระทำพร้อมกัน 2 ทิศทาง สำหรับกรุงเทพมหานคร และจากรูปที่ 6.61 แสดงผลความเร่งตอบสนองทั้ง 10 สเปกตรัม SRSS ที่ได้มีการคูณปรับค่าจาก SF1 และ SF2 ซึ่งได้ผลสรุปค่าของตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมของกรุงเทพมหานครในตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ค่าของตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมสำหรับกรุงเทพมหานคร

NGA No.	Event	Year	Station	SF1	SF2	SF
782	Loma Prieta	1989	Monterey City Hall	0.97960	0.55099	0.53975
1033	Northridge-01	1994	Littlerock-Brainard Canyon	0.76960	0.55099	0.42404
1074	Northridge-01	1994	Sandberg-Bald Mtn	0.62379	0.55099	0.34370
1096	Northridge-01	1994	Wrightwood-Jackson Flat	1.22877	0.55099	0.67704
1767	Hector Mine	1999	Banning-Twin Pines Road	2.33700	0.55099	1.28766
1786	Hector Mine	1999	Heart Bar State Park	0.58541	0.55099	0.32256
1795	Hector Mine	1999	Joshua Tree N.M.-Keysview	0.70317	0.55099	0.38744
1836	Hector Mine	1999	Twenty-nine Palms	0.77174	0.55099	0.42522
3453	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	TCU044	1.70530	0.55099	0.93960
3542	Chi-Chi-Taiwan-06	1999	TTN042	2.68251	0.55099	1.47804



รูปที่ 6.60 ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่กระทำพร้อมกัน 2 ทิศทาง สำหรับกรุงเทพมหานคร บนชั้นหิน



รูปที่ 6.61 สเปกตรัม SRSS ที่ถูกคูณปรับค่ามีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ สำหรับกรุงเทพมหานคร

เมื่อมีการคูณปรับค่าเพิ่มขึ้น 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองของการออกแบบตาม มยผ. 1302-52 กลายเป็นสเปกตรัมเส้นสีแดงจะเรียกว่า target spectrum แสดงดังรูปที่ 6.61

6.7.3 การขยายคลื่นแผ่นดินไหวผ่านชั้นดินอ่อนโดยใช้โปรแกรม ProShake

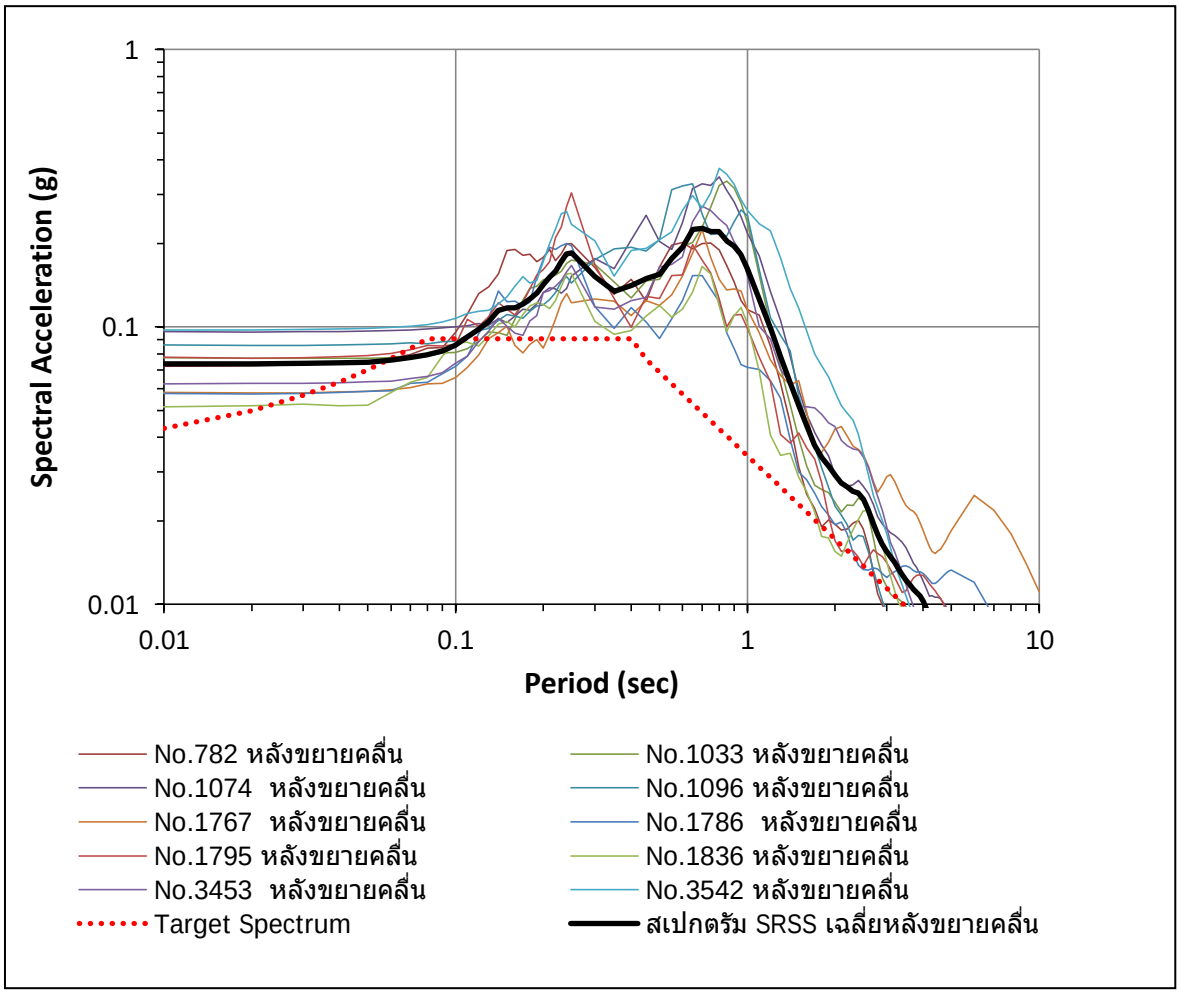
เนื่องจากกรุงเทพมหานครตั้งอยู่บริเวณบนชั้นดินอ่อนมาก เมื่อคลื่นแผ่นดินไหวเคลื่อนที่จากชั้นหินดาน (bedrock) ผ่านชั้นดินอ่อนจะเกิดการขยายความรุนแรงมากขึ้น จึงจำลองการตอบสนองของชั้นดินโดยใช้โปรแกรม ProShake เพื่อศึกษาระดับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นใน กทม. โดยใช้คุณสมบัติของดินชั้นต่าง ๆ บริเวณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ บางเขน ได้แสดงในตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 คุณสมบัติของดินชั้นต่าง ๆ บริเวณบางเขน

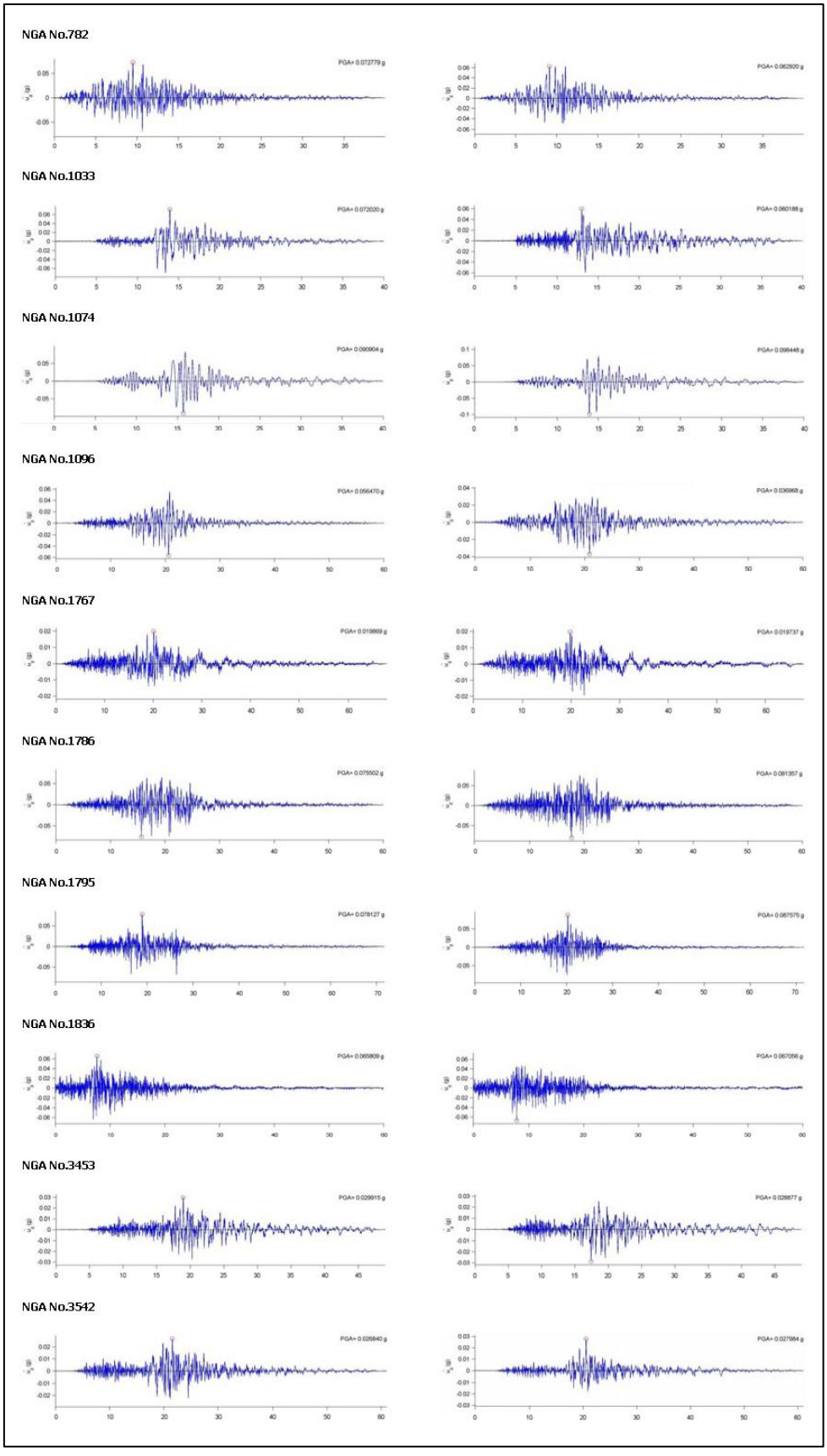
Layer No.	Depth, m	Thickness, m	Soil Classification	Wet Unit Weight (t/m^3)	Vs (m/s) Downhole
1	3.3	4.05	CH	1.93	74
2	4.8	1.50	CH	1.58	79
3	6.3	1.50	CH	1.78	78
4	7.8	1.50	CH	1.62	80
5	9.3	2.25	CH	1.60	79
6	12.3	2.25	CH	1.67	107
7	13.8	1.50	CH	1.62	191
8	15.3	1.00	CH	1.95	301
9	15.8	0.75	CL	2.17	271
10	16.8	1.25	SC/CL	2.14	198
11	18.3	2.25	SM	2.17	307
12	21.3	2.25	SM	2.10	326
13	22.8	1.5	SM	2.17	423
14	24.3	1.5	SM	2.10	234
15	25.8	1.5	SM	2.09	261
16	27.3	1.5	SM	2.12	369
17	28.8	1.5	SM	2.10	280
18	30.3	0.75	CL	2.13	280

การวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดินอ่อนโดยใช้ข้อมูลจากชั้นหิน (Vs_{30} ประมาณ 760 เมตรต่อวินาที) เป็นข้อมูลดิบแล้วจำลองการแพร่ของคลื่นผ่านชั้นดินอ่อนที่มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 100 เมตรต่อวินาที ในช่วงความลึก 30 เมตร จากผิวดิน) แสดงดังตารางที่ 6.12 และคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษาสำหรับกรุงเทพมหานคร มีขนาดแผ่นดินไหวอยู่ในช่วง 6.3 ถึง 7.13 และมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวประมาณ 41.6 ถึง 86.4 กิโลเมตร การศึกษานี้สมมุติให้ชั้นดินที่อยู่ในช่วงความลึก 30.3 ถึง 90.3 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือนประมาณ 400 เมตรต่อวินาที ส่วนชั้นดินที่อยู่ในช่วงความลึก 90.3 ถึง 150.3 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือนประมาณ 450 เมตรต่อวินาที ส่วนชั้นดินที่อยู่ในช่วงความลึก 150.3 ถึง 450.3 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือนประมาณ 550 เมตรต่อวินาที ส่วนชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าความลึก 450.3 เมตร มีความเร็วคลื่นเฉือนประมาณ 600 เมตรต่อวินาที และได้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการลดค่าของโมดูลัสความหน่วงที่ขึ้นอยู่กับความเครียดของดินเหนียวที่เสนอโดย Vucetic และ Dobry (1991) สำหรับทรายใช้ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Seed และ Idriss (1970) ในการคำนวณของโปรแกรม ProShake คลื่นบนชั้นหินที่ถูกคัดเลือกจะถูกแปลงให้เป็นคลื่นที่ชั้นหินดานก่อนที่

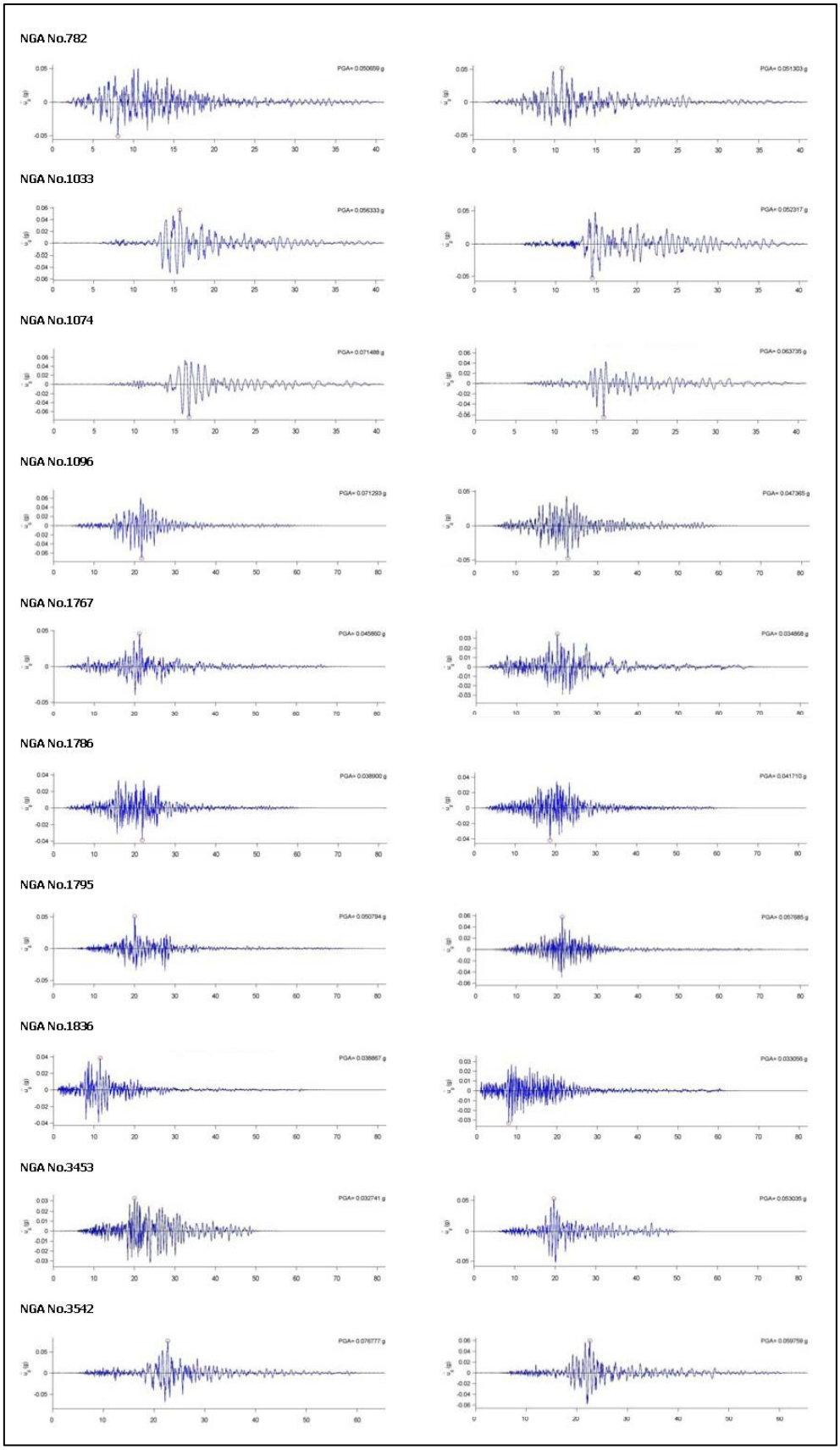
จะถูกจำลองการแพร่กระจายของคลื่นผ่านชั้นดินอ่อน จากรูปที่ 6.61 และ 6.62 พบว่าก่อนการขยายคลื่นผ่านชั้นดินอ่อน สเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่าทั้ง 10 คู่ ที่คาบ 1 วินาที มีค่าเท่ากับ 0.054g หลังจากมีการขยายคลื่นผ่านชั้นดินอ่อน สเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังขยายคลื่นทั้ง 10 คู่ มีค่าเพิ่มขึ้น 3 เท่า เป็น 0.162g และค่าสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังขยายคลื่นสูงสุดอยู่ในช่วง 0.65 - 0.75 วินาที มีค่าสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.97 เท่า เป็น 0.227g ซึ่งสามารถนำสเปกตรัม SRSS หลังขยายคลื่นไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างต่อไป



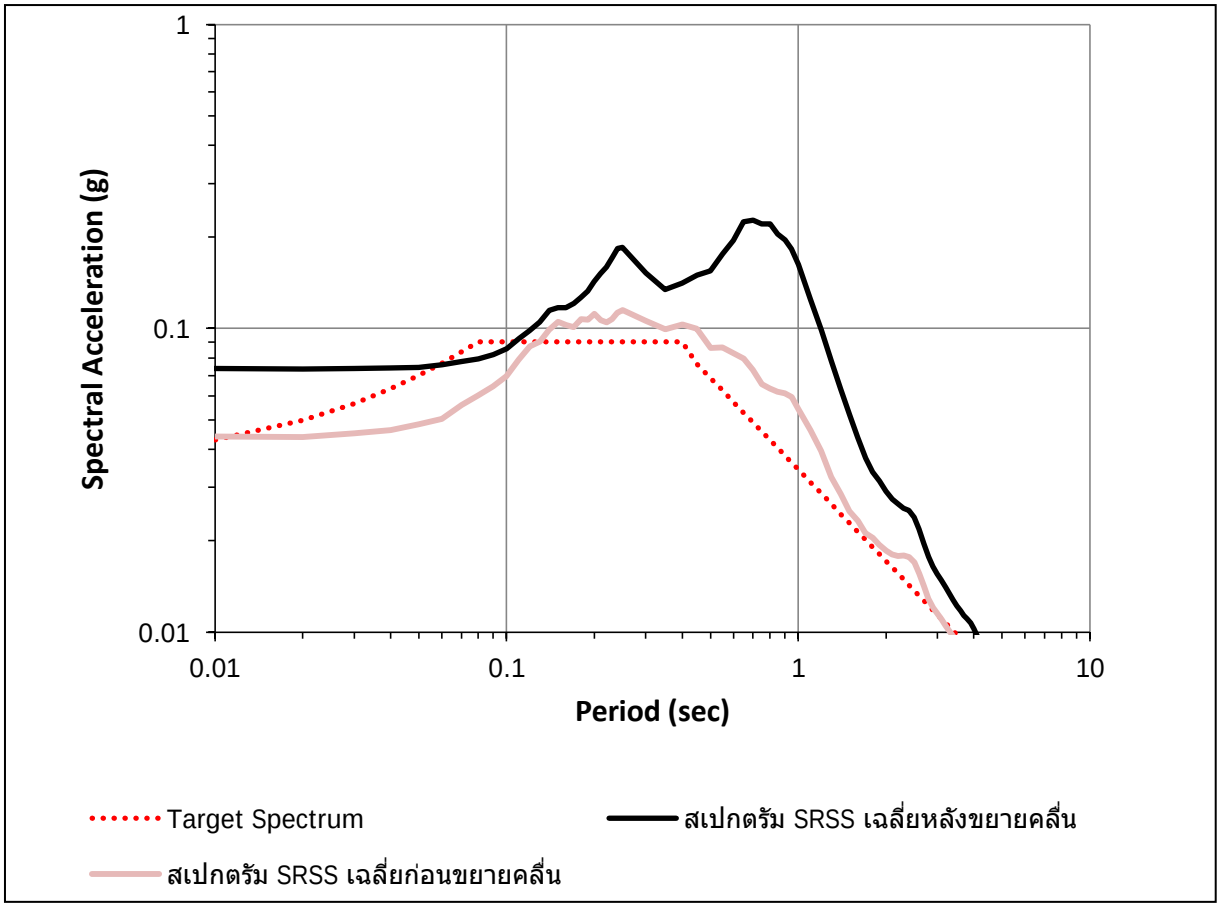
รูปที่ 6.62 สเปกตรัม SRSS ที่ถูกคูณปรับค่ามีค่าไม่น้อยกว่า 1.17 เท่าของสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ และมีการขยายคลื่นผ่านชั้นดินอ่อน สำหรับกรุงเทพมหานคร



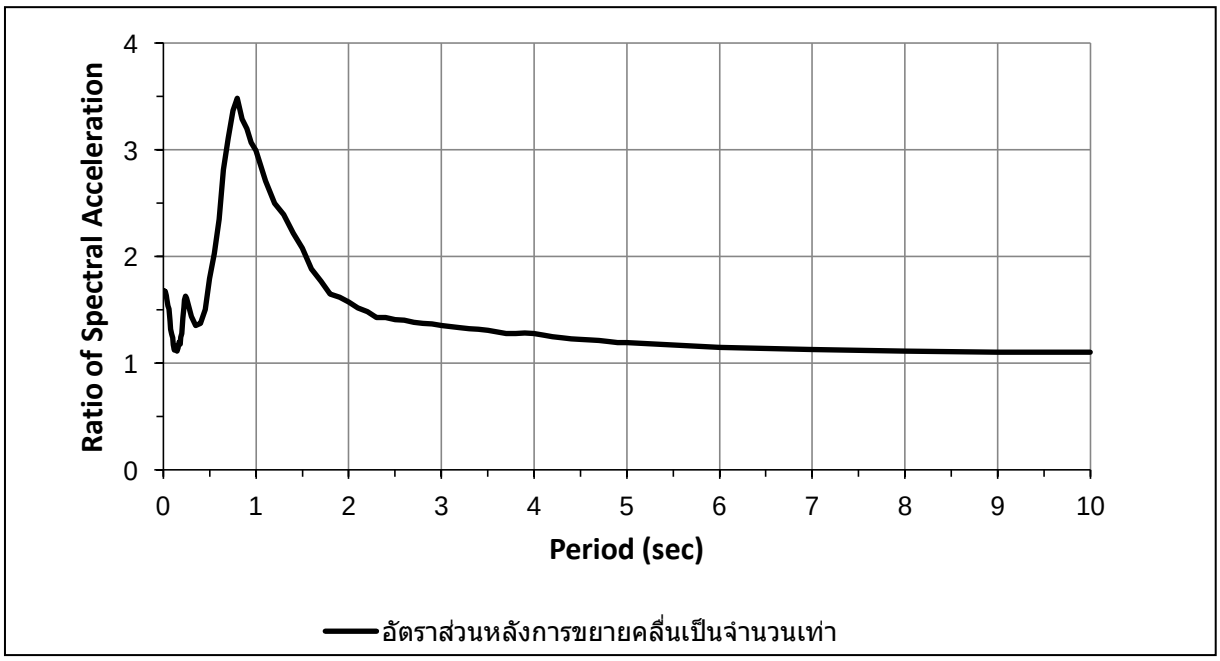
รูปที่ 6.63 ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินทั้ง 2 ทิศทางในแนวราบก่อนคูณปรับแก้และขยายคลื่น



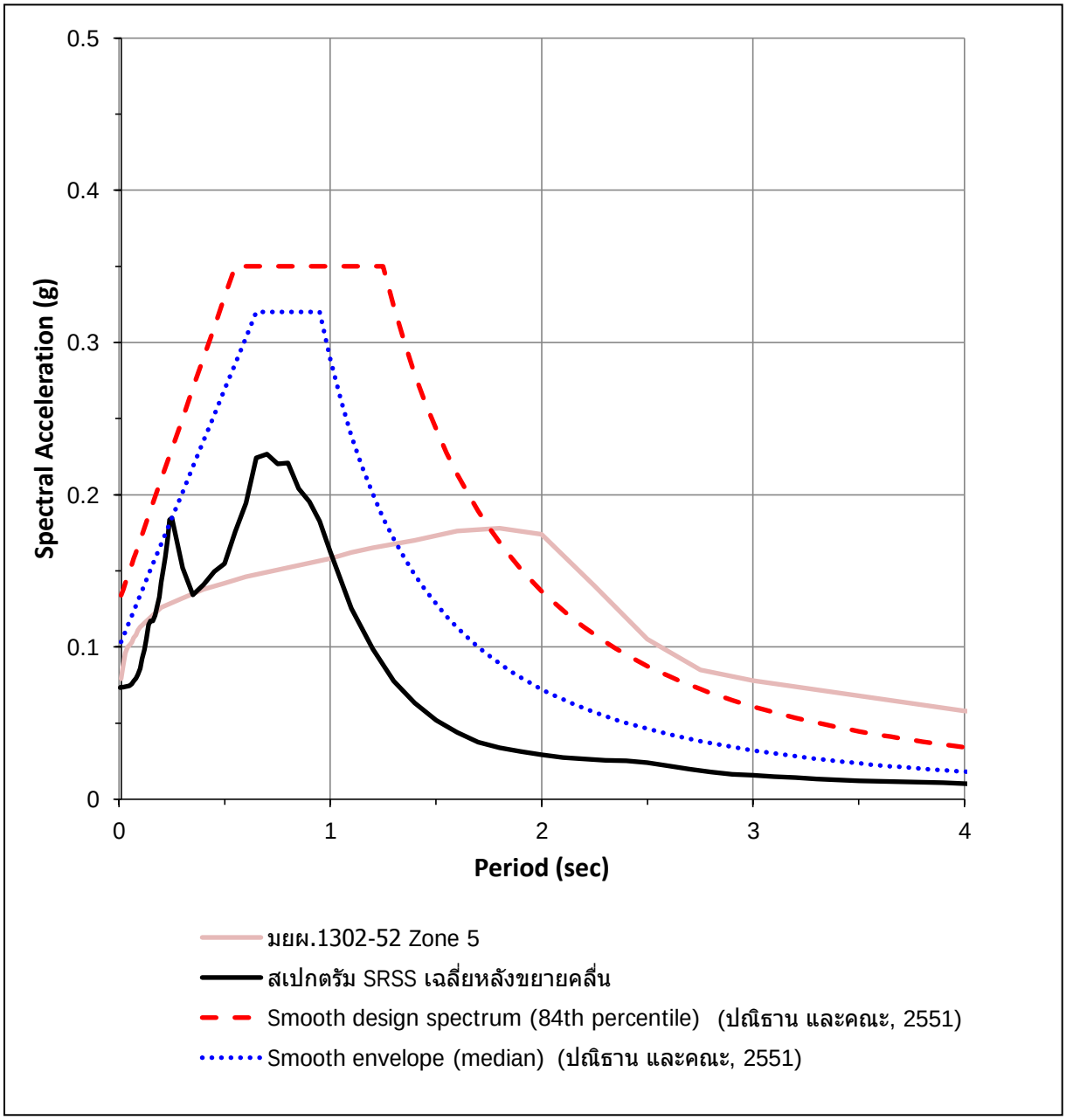
รูปที่ 6.64 ประวัติเวลาความเร่งของพื้นดินทั้ง 2 ทิศทางในแนวราบหลังการขยายคลื่นผ่านชั้นดินอ่อน



รูปที่ 6.65 เปรียบเทียบสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยก่อนขยายคลื่นและหลังขยายคลื่น



รูปที่ 6.66 อัตราส่วนของสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังขยายคลื่นหารด้วยก่อนขยายคลื่น



รูปที่ 6.67 เปรียบเทียบสเปกตรัมกรุงเทพมหานคร

6.8 สรุปผลการศึกษา

1. ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้เพื่อจัดเตรียมเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการออกแบบอาคาร สำหรับกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี ซึ่งได้ใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยนั้นยังไม่ครอบคลุมและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ต้องการใช้ในการศึกษาการแยกแยะความเสี่ยงภัยของแผ่นดินไหว

2. ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ลักษณะแผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อกรุงเทพมหานครมีขนาดประมาณ 6.3 ถึง 7.3 ระยะห่างประมาณ 71 ถึง 114 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน มีขนาดประมาณ 4.5 ถึง 7.0 ระยะห่างประมาณ 0 ถึง 12 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดอื่นในภาคเหนือมีขนาดประมาณ 4.2 ถึง 6.3 ระยะห่างประมาณ 0 ถึง 18 กิโลเมตร และเมื่อพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปคตรัมที่คาบการสั่นไหวที่ยาวขึ้นเป็น 0.2 และ 1 วินาที จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น
3. จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 และ 1 วินาที พบว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร และกาญจนบุรี คือ โซน J ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน คือ โซน E ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อแม่ฮ่องสอน คือโซน E และ F ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อลำปาง และพะเยา คือโซน E และ I ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อน่าน แพร่ และอุตรดิตถ์ คือโซน I ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อตาก คือโซน E I และ J และพบว่าความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินที่ใช้พิจารณาความเสี่ยงภัยโดยมีโอกาสที่จะเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ที่มีความสอดคล้องกับสถานการณ์นั้น ๆ จากการพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.043g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA = 0.25g ถึง 0.4g และจากการพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.116g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA = 0.6g ถึง 1g และจากการพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.044g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA = 0.14g ถึง 0.32g
4. เมื่อเลือกคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี พบว่ามีตัวคูณปรับค่าอยู่ในช่วง 1.03 ถึง 1.25 ก็จะทำให้ไม่ต้องมีการปรับแก้มาก คลื่นที่คัดเลือกก็มีความรุนแรงใกล้เคียงกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ (target spectrum) โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มหรือลด ส่วนกรุงเทพมหานคร พบว่ามีตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมรอบแรก (scaling factor, SF1) มีค่าอยู่ในช่วง 0.58 ถึง 2.68 และตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมรอบสอง (scaling factor, SF2) มีค่าเท่ากับ 0.55099 เมื่อหาผลคูณของ SF1 และ SF2 จะได้สเปกตรัมค่าเดียว (scaling factor, SF) มีค่าอยู่ในช่วง 0.32 ถึง 1.48 จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้คลื่นที่คัดเลือกเพื่อให้มีความรุนแรงใกล้เคียงกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ (target spectrum)

5. ผลการวิเคราะห์ของจังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี พบว่าสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่ามีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงคาบสั้น ได้แก่ สเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่ามีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.35 วินาที โดยมีค่าสูงสุด 1.23g สำหรับเชียงใหม่ ส่วนผลการวิเคราะห์ของกรุงเทพมหานคร พบว่าสเปกตรัม SRSS เฉลี่ยหลังคูณปรับค่าและขยายคลื่นผ่านชั้นดินอ่อนมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.65 ถึง 0.75 วินาที โดยมีค่าสูงสุด 0.227g ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 1.97 เท่า เมื่อเทียบจากเดิมก่อนการขยายคลื่นมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.30 วินาที โดยมีค่าสูงสุด 0.115g ซึ่งสามารถนำค่าสเปกตรัม SRSS หลังคูณปรับค่าของจังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี รวมทั้งสเปกตรัม SRSS หลังคูณปรับค่าและขยายคลื่นของกรุงเทพมหานคร เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างต่อไป

บทที่ 7
สรุปผลการศึกษา

การรวบรวมคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทย และศึกษาสมการลดทอนที่เหมาะสมกับบริเวณประเทศไทย สรุปได้ดังนี้

1. การศึกษานี้รวบรวมข้อมูลจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งหมด 198 เหตุการณ์ ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 แบ่งเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก 38 เหตุการณ์ และแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก 160 เหตุการณ์ ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 1335 บันทึก แบ่งเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวตื้นในแผ่นเปลือกโลก 356 บันทึก และแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก 979 บันทึก

2. ประเทศไทยยังมีข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดโมเมนต์มากกว่า 4 ขึ้นไป และที่ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดน้อยกว่า 200 กิโลเมตร ไม่เพียงพอสำหรับการสร้างสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย การศึกษานี้จึงประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย โดยใช้รูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของต่างประเทศที่ทำให้การประมาณค่ามีความใกล้เคียงมากที่สุดกับค่าที่บันทึกได้จริงในประเทศไทยที่ระยะทางมากกว่า 200 กิโลเมตร ประกอบกับข้อมูลเสริมที่ระยะทางน้อยกว่า 200 กิโลเมตร ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของสมการลดทอนของต่างประเทศ

3. รูปแบบสมการลดทอนที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินและความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม สำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ที่ตั้งสถานีบนหินและบนดิน ได้แก่ รูปแบบสมการของ Sadigh และคณะ (1997) และสำหรับบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก ที่ตั้งสถานีบนหินและบนดินได้แก่ รูปแบบสมการของ Lin และ Lee (2008)

4. รูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร็วสูงสุดของพื้นดิน สำหรับบริเวณการแปรสัณฐานที่มีพลัง ที่ตั้งสถานีบนหินและบนดินได้แก่ รูปแบบสมการของ Akkar และ Bommer (2010)

5. รูปแบบสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกใช้สำหรับการประมาณค่าการกระจัดสูงสุดของพื้นดินได้แก่ รูปแบบสมการเส้นตรง 2 ตัวแปร

6. ในอนาคตหากประเทศไทยมีข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของพื้นดินที่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดโมเมนต์มากกว่า 4 ขึ้นไป และมีระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงสถานีตรวจวัดน้อยกว่า 200 กิโลเมตร ในปริมาณที่เพียงพอจึงจะสามารถปรับปรุงสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยให้มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อการสั่นไหวของพื้นดินที่อำเภอเมืองของจังหวัดต่างๆ ในภาคเหนือ และกรุงเทพมหานคร และจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว สรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน แสดงให้เห็นว่าแผ่นดินไหวที่ส่งผลต่อกรุงเทพมหานครมีขนาดประมาณ 6.3 ถึง 7.3 จากระยะทางประมาณ 71 ถึง 114 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน มีขนาดประมาณ 4.5 ถึง 7.0 จากระยะทางประมาณ 0 ถึง 12 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดอื่นในภาคเหนือมีขนาดประมาณ 4.2 ถึง 6.3 จากระยะทางประมาณ 0 ถึง 18 กิโลเมตร และเมื่อพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปคตรัมที่คาบการสั่นไหวที่ยาวขึ้นเป็น 0.2 และ 1 วินาที จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น

2. จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน และความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 และ 1 วินาที พบว่าแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร และกาญจนบุรี คือโซน J ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน คือโซน E ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อแม่ฮ่องสอน คือโซน E และ F ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อลำปาง และพะเยา คือโซน E และ I ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อน่าน แพร่ และอุตรดิตถ์ คือโซน I ส่วนแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อตาก คือโซน E, I และ J นอกจากนี้พบว่าความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินที่ใช้พิจารณาความเสี่ยงภัยโดยมีโอกาสที่จะเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ที่มีความสอดคล้องกับสถานการณ์นั้นๆ จากการพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.043g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA ในช่วง 0.25g ถึง 0.4g และจากการพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.116g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA ในช่วง 0.6g ถึง 1g และจากการพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า PGA = 0.044g ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า PGA ในช่วง 0.14g ถึง 0.32g

3. ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการจัดเตรียมเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการออกแบบอาคาร สำหรับกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี ได้มาจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยนั้นยังมีจำกัด และไม่ครอบคลุมขนาดและระยะทางที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวที่ได้จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยของแผ่นดินไหว

4. เมื่อเลือกคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี พบว่าต้องใช้ตัวคูณปรับค่าในช่วง 1.03 ถึง 1.25 ซึ่งหมายความว่าไม่ต้องมีการปรับแก้มากนัก คลื่นที่คัดเลือกมาก็จะมีความรุนแรงใกล้เคียงกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ (target spectrum) ส่วนกรณีของกรุงเทพมหานคร พบว่าต้องใช้ตัวคูณปรับค่าสเปกตรัมในช่วง 0.32 ถึง 1.48 เพื่อให้มีความรุนแรงใกล้เคียงกับสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับออกแบบ (target spectrum)

5. คลื่นแผ่นดินไหวในบริเวณกรุงเทพมหานครต้องคำนึงถึงการขยายความรุนแรงเนื่องจากชั้นดินอ่อน ซึ่งในการศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์การแพร่ของคลื่น (wave propagation) จำลองพฤติกรรมดังกล่าว ทำให้ได้ชุดคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ออกแบบโครงสร้างในบริเวณกรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก

ตารางแสดง V-model ของแต่ละสถานี

1 CHAI อ่างเก็บน้ำซ่อระกา จ. ชัยภูมิ

V-model of CHAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	4.5876	2.5589	2.4103
4	5.2263	2.9151	2.5436
6	5.6261	3.1382	2.6233
8	5.6108	3.1296	2.6247
10	6.3302	3.5307	2.8003
12	6.4326	3.588	2.8331
14	6.6875	3.7301	2.9002
16	6.4949	3.6228	2.8523
18	6.4997	3.6253	2.8514
20	6.657	3.7131	2.8911
22	6.5576	3.6577	2.8673
24	6.8997	3.8485	2.9521
26	7.0734	3.9454	3.0014
28	6.6604	3.7149	2.8903
30	6.8434	3.8171	2.9376
32	7.2258	4.0303	3.0523
34	7.611	4.2451	3.1799
36	8.1871	4.5667	3.3787
38	8.1057	4.5212	3.3517
40	8.0926	4.5138	3.3444
42	8.3144	4.6377	3.4219

V-model of CHAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
44	8.5207	4.7525	3.4953
46	8.6245	4.8105	3.5314
48	8.7695	4.8915	3.5808
50	8.6862	4.845	3.5538
55	8.6196	4.8078	3.5301
60	7.9663	4.4441	3.3013
65	7.8332	4.3709	3.2558
70	7.6677	4.2795	3.2009
75	7.4811	4.1761	3.141
80	7.5353	4.1985	3.1588
85	7.6208	4.2556	3.187
90	7.6483	4.2719	3.1963
95	7.6518	4.273	3.1975
100	7.6549	4.2772	3.1984
110	7.6653	4.2806	3.2019
120	7.6558	4.2797	3.1988
130	7.7042	4.3003	3.2147
140	7.7668	4.322	3.2354
150	7.808	4.3315	3.2492
160	7.8528	4.3444	3.2641
170	7.9082	4.3623	3.2824
180	7.9654	4.3802	3.3014
190	8.0038	4.3887	3.3146
200	8.0422	4.3969	3.3283

V-model of CHAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
210	8.0805	4.4048	3.3419
220	8.1231	4.4209	3.3571
230	8.1705	4.4452	3.374
240	8.2174	4.4692	3.3907
250	8.2649	4.4936	3.4077
260	8.3125	4.5179	3.4247
270	8.3597	4.5416	3.4415
280	8.4071	4.5651	3.4584
290	8.4544	4.5883	3.4753
300	8.5021	4.6118	3.4922
310	8.5495	4.635	3.5082
320	8.597	4.6584	3.5241
330	8.6442	4.6814	3.54
340	8.6917	4.7047	3.5561
350	8.7384	4.7278	3.5718
360	8.7855	4.751	3.5877
370	8.8328	4.7739	3.6036
380	8.8801	4.7974	3.6195
390	8.9277	4.8205	3.6356
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375

V-model of CHAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
450	9.4777	5.1546	3.8511
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

2 CHBT เขื่อนคีรีธาร จ.จันทบุรี

V-model of CHBT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.0139	2.7968	2.5055
4	6.098	3.4013	2.7254
6	6.3241	3.5276	2.7958
8	6.5687	3.664	2.8715
10	6.5412	3.6487	2.8672
12	6.8702	3.8322	2.9502
14	6.5509	3.6539	2.8668
16	6.5861	3.6735	2.8709
18	6.5641	3.6613	2.8642
20	6.7382	3.7583	2.9108
22	6.9028	3.8505	2.9517
24	6.7328	3.7553	2.9068
26	6.7167	3.7463	2.9024
28	6.9459	3.8744	2.9635
30	7.2887	4.0655	3.0704
32	7.5575	4.2154	3.158
34	7.3794	4.1162	3.1006
36	7.2523	4.0451	3.0619
38	7.4066	4.1311	3.113
40	7.7256	4.3092	3.2213
42	7.946	4.4319	3.2963
44	8.3577	4.6617	3.4421

V-model of CHBT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.3198	4.6407	3.4294
48	8.2316	4.5915	3.3973
50	8.2756	4.616	3.4148
55	8.4151	4.6937	3.4648
60	8.1422	4.5424	3.3671
65	8.0392	4.4858	3.3286
70	8.013	4.4722	3.3182
75	7.9781	4.4532	3.3071
80	7.8877	4.3949	3.2775
85	7.711	4.3061	3.2196
90	7.6895	4.2949	3.2124
95	7.6976	4.2985	3.215
100	7.7112	4.3087	3.2194
110	7.7395	4.3223	3.2287
120	7.7265	4.3192	3.2243
130	7.7649	4.334	3.2367
140	7.8081	4.345	3.2511
150	7.8458	4.3523	3.2638
160	7.8783	4.3584	3.2748
170	7.9203	4.369	3.2887
180	7.9561	4.3752	3.3006
190	7.9959	4.3845	3.3141
200	8.0349	4.3926	3.3279
210	8.0733	4.4007	3.3414

V-model of CHBT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1164	4.4174	3.3567
230	8.1639	4.4417	3.3735
240	8.2115	4.4661	3.3904
250	8.2591	4.4904	3.4073
260	8.3073	4.515	3.4243
270	8.3547	4.5388	3.4411
280	8.4025	4.5625	3.4581
290	8.4504	4.5859	3.4751
300	8.4985	4.6098	3.492
310	8.5461	4.6331	3.5079
320	8.594	4.6568	3.524
330	8.6418	4.6801	3.5399
340	8.6891	4.7034	3.5558
350	8.7367	4.7268	3.5717
360	8.7842	4.7504	3.5876
370	8.8319	4.7735	3.6036
380	8.8797	4.797	3.6196
390	8.9277	4.8206	3.6357
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of CHBT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

3 CMAI สถานีอุตุฯดอยอ่างขาง จ.เชียงใหม่

V-model of CMAI			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.956	3.3221	2.6976
4	6.9954	3.902	2.9803
6	7.4058	4.1307	3.1132
8	7.706	4.2981	3.2172
10	6.9852	3.8961	2.9958
12	6.8755	3.835	2.9587
14	7.0103	3.9101	2.9926
16	6.7371	3.7579	2.9191
18	6.6633	3.7167	2.8972
20	6.8961	3.8465	2.9495
22	7.097	3.9586	3.0133
24	7.1274	3.9755	3.0196
26	7.3527	4.1013	3.0868
28	7.3823	4.1176	3.097
30	7.5292	4.1994	3.1418
32	7.9639	4.442	3.2893
34	8.4024	4.6868	3.4505
36	8.7321	4.8705	3.5689
38	9.1379	5.0972	3.7174
40	9.1195	5.0866	3.7146
42	8.775	4.8945	3.59
44	8.7502	4.8807	3.5781

V-model of CMAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.8682	4.9464	3.6152
48	8.9413	4.9874	3.6385
50	8.8691	4.947	3.6133
55	8.6671	4.8342	3.5442
60	8.6927	4.8494	3.5493
65	8.5088	4.748	3.4888
70	8.4441	4.7127	3.466
75	8.3688	4.6715	3.4402
80	8.3421	4.6481	3.4304
85	8.2266	4.594	3.3902
90	8.1729	4.5648	3.3719
95	8.1715	4.5632	3.3714
100	8.1759	4.5683	3.3728
110	8.1787	4.5674	3.3739
120	8.1547	4.5584	3.3655
130	8.1612	4.5553	3.368
140	8.2	4.5631	3.3815
150	8.2393	4.5703	3.3952
160	8.2566	4.5678	3.4016
170	8.2793	4.567	3.4099
180	8.3049	4.5671	3.419
190	8.333	4.5691	3.4291
200	8.3553	4.5681	3.4371
210	8.3787	4.5674	3.4456

V-model of CMAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.4061	4.5751	3.4555
230	8.4376	4.5905	3.4669
240	8.4689	4.6062	3.4782
250	8.5008	4.6218	3.4897
260	8.5324	4.6374	3.5005
270	8.5639	4.6524	3.5112
280	8.5957	4.6675	3.5221
290	8.6273	4.6819	3.5328
300	8.6591	4.6969	3.5437
310	8.6908	4.7116	3.5545
320	8.7225	4.7263	3.5653
330	8.7542	4.741	3.5762
340	8.7856	4.7555	3.5869
350	8.8172	4.7703	3.5976
360	8.8486	4.7851	3.6084
370	8.8804	4.7998	3.6192
380	8.9121	4.8146	3.63
390	8.9435	4.8292	3.6408
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of CMAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

4 CMMT ดอยสุเทพ จ.เชียงใหม่

V-model of CMMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.8479	3.262	2.6705
4	6.0133	3.354	2.7027
6	6.044	3.3713	2.7128
8	5.9663	3.3278	2.6942
10	6.4026	3.5713	2.8219
12	6.6115	3.6879	2.8789
14	6.7122	3.7439	2.9043
16	6.5431	3.6495	2.8607
18	6.4903	3.62	2.8493
20	6.6832	3.7278	2.8985
22	6.9255	3.8628	2.9597
24	6.894	3.8454	2.9523
26	6.979	3.8929	2.9735
28	7.3326	4.0898	3.0857
30	7.5991	4.2386	3.1721
32	7.676	4.2815	3.2012
34	8.0003	4.4624	3.3103
36	8.0527	4.4916	3.3298
38	8.2089	4.5789	3.3866
40	8.2922	4.6251	3.4169
42	8.3608	4.6634	3.4403
44	8.13	4.5348	3.3602

V-model of CMMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.167	4.5554	3.3727
48	8.3254	4.6437	3.4286
50	8.1732	4.5587	3.3748
55	8.1	4.5178	3.3468
60	8.2269	4.5896	3.3904
65	8.2406	4.5983	3.3956
70	8.1642	4.5564	3.3708
75	7.9175	4.4194	3.2876
80	7.6461	4.2603	3.1996
85	7.481	4.1776	3.1463
90	7.475	4.1751	3.1443
95	7.479	4.1766	3.1456
100	7.4889	4.1845	3.1487
110	7.5144	4.1965	3.1568
120	7.5392	4.2145	3.1645
130	7.5905	4.2367	3.1811
140	7.6505	4.2574	3.2008
150	7.6992	4.2711	3.2169
160	7.7315	4.2773	3.2278
170	7.78	4.2915	3.2436
180	7.8335	4.3077	3.2613
190	7.8765	4.3189	3.2756
200	7.9208	4.3303	3.2903
210	7.9646	4.3417	3.3049

V-model of CMMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.0133	4.3611	3.3217
230	8.0665	4.3885	3.3405
240	8.12	4.4163	3.3594
250	8.1738	4.4439	3.3783
260	8.2274	4.4715	3.3972
270	8.2808	4.4986	3.4161
280	8.3342	4.5257	3.4349
290	8.3879	4.552	3.4539
300	8.4416	4.5788	3.4728
310	8.495	4.6053	3.4916
320	8.5486	4.6322	3.5094
330	8.6016	4.6582	3.5271
340	8.6545	4.6849	3.5447
350	8.7078	4.7112	3.5625
360	8.7609	4.7375	3.5802
370	8.8144	4.764	3.598
380	8.868	4.7908	3.6159
390	8.9218	4.8173	3.6338
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of CMMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

5 CRAI อ่างเก็บน้ำห้วยช้าง จ.เชียงราย

V-model of CRAI			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.2748	2.9421	2.5597
4	6.147	3.4286	2.7419
6	6.2875	3.5071	2.7868
8	6.3467	3.5401	2.812
10	6.4213	3.5816	2.8341
12	6.5732	3.6662	2.8736
14	6.7464	3.763	2.9151
16	6.6259	3.6959	2.8821
18	6.6913	3.7321	2.8989
20	6.78	3.7818	2.9204
22	6.9269	3.8637	2.958
24	6.9841	3.8955	2.9715
26	7.0732	3.9454	2.9989
28	7.3076	4.076	3.0763
30	7.44	4.15	3.1208
32	7.878	4.3942	3.2683
34	8.3804	4.6744	3.4495
36	8.2041	4.576	3.3881
38	8.0869	4.5106	3.3448
40	8.1686	4.5563	3.3756
42	8.1063	4.5216	3.355
44	8.0799	4.5067	3.3456

V-model of CRAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.0114	4.4686	3.3209
48	8.0479	4.489	3.3334
50	8.1752	4.5598	3.3794
55	8.1093	4.5233	3.3558
60	8.0247	4.4769	3.3242
65	7.9248	4.422	3.289
70	7.8801	4.3979	3.2743
75	7.6294	4.2587	3.1939
80	7.5082	4.1834	3.1546
85	7.6192	4.2548	3.1892
90	7.7324	4.3189	3.2254
95	7.7421	4.3233	3.2286
100	7.7348	4.3218	3.2263
110	7.7415	4.3233	3.2285
120	7.7476	4.3313	3.2303
130	7.7875	4.3468	3.2433
140	7.8377	4.3617	3.2597
150	7.8815	4.3722	3.2743
160	7.9072	4.3743	3.2831
170	7.9531	4.3871	3.2983
180	7.9962	4.3971	3.3129
190	8.033	4.4047	3.3259
200	8.0702	4.4122	3.3391
210	8.1071	4.4194	3.3522

V-model of CRAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1485	4.4348	3.3669
230	8.1944	4.4583	3.3833
240	8.2402	4.4817	3.3995
250	8.2862	4.5052	3.4159
260	8.3323	4.5287	3.4323
270	8.3781	4.5515	3.4486
280	8.424	4.5744	3.4649
290	8.47	4.5968	3.4813
300	8.5163	4.6196	3.4973
310	8.5621	4.6419	3.5127
320	8.608	4.6643	3.5281
330	8.6539	4.6866	3.5436
340	8.6994	4.709	3.5589
350	8.7454	4.7314	3.5743
360	8.7911	4.7539	3.5897
370	8.837	4.7761	3.6051
380	8.8831	4.7989	3.6206
390	8.9294	4.8216	3.6362
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of CRAI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

6 KHLT เขื่อนวชิราลงกรณ์ จ.กาญจนบุรี

V-model of KHLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	6.315	3.5223	2.795
4	5.9852	3.3384	2.6972
6	6.0628	3.3816	2.7196
8	5.9047	3.2933	2.6819
10	6.4782	3.6135	2.8446
12	7.2503	4.0441	3.0596
14	7.5478	4.2098	3.1564
16	7.4131	4.1348	3.1121
18	7.1954	4.0134	3.0451
20	6.9911	3.8994	2.9796
22	6.8467	3.8188	2.9418
24	6.8608	3.8269	2.9447
26	6.9607	3.8824	2.9713
28	7.0646	3.9403	3.0014
30	7.2303	4.0328	3.0549
32	7.2975	4.0705	3.0757
34	7.4729	4.1682	3.1332
36	7.6402	4.2616	3.1895
38	7.6748	4.2809	3.2026
40	7.7486	4.3219	3.2269
42	7.8599	4.3839	3.2645
44	7.6816	4.2847	3.2057

V-model of KHLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.5226	4.1957	3.1506
48	7.6886	4.2884	3.2047
50	7.8595	4.3838	3.264
55	8.0989	4.5173	3.3446
60	8.4894	4.7358	3.4825
65	8.4194	4.6983	3.4585
70	8.2841	4.6234	3.4108
75	8.0776	4.5091	3.3387
80	7.897	4.3999	3.2788
85	7.8646	4.3917	3.2679
90	7.8213	4.3686	3.2542
95	7.8056	4.3589	3.2492
100	7.8002	4.3586	3.2475
110	7.8181	4.3659	3.2532
120	7.8457	4.3859	3.2618
130	7.8702	4.3929	3.2699
140	7.8991	4.3958	3.2798
150	7.9272	4.3975	3.2893
160	7.962	4.4048	3.3011
170	8.0146	4.421	3.3191
180	8.0473	4.4254	3.3309
190	8.0775	4.4293	3.3418
200	8.112	4.4348	3.354
210	8.1469	4.4409	3.3664

V-model of KHLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1862	4.4555	3.3803
230	8.23	4.4775	3.3959
240	8.2738	4.4999	3.4115
250	8.3178	4.5223	3.4272
260	8.3619	4.5446	3.4428
270	8.4058	4.5666	3.4585
280	8.4496	4.5882	3.4741
290	8.4938	4.6095	3.4897
300	8.5379	4.6311	3.5046
310	8.5818	4.6522	3.5193
320	8.6257	4.6738	3.5341
330	8.6692	4.6952	3.5487
340	8.7129	4.7164	3.5634
350	8.7565	4.7373	3.5781
360	8.8002	4.7587	3.5927
370	8.8439	4.7798	3.6074
380	8.8878	4.8012	3.6222
390	8.9314	4.8225	3.6368
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of KHLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

7 KHON สถานีอากาศเกษตรท่าพระ จ. ขอนแก่น

V-model of KHON			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	4.3401	2.4207	2.369
4	5.0523	2.818	2.509
6	5.8381	3.2563	2.6651
8	5.4631	3.0471	2.5947
10	5.4669	3.0494	2.5968
12	5.8312	3.2525	2.668
14	6.1874	3.4511	2.7553
16	6.6311	3.6986	2.8804
18	6.7866	3.7853	2.922
20	6.7854	3.7846	2.9225
22	7.0378	3.9253	2.9875
24	6.9341	3.8677	2.9576
26	6.8185	3.8033	2.9272
28	7.0113	3.9108	2.976
30	6.9675	3.8862	2.9655
32	7.1171	3.9697	3.0116
34	7.1998	4.0158	3.0391
36	7.4044	4.1301	3.1082
38	7.8275	4.366	3.2501
40	7.9676	4.4439	3.2985
42	7.9141	4.4144	3.2803
44	7.6243	4.2528	3.1818

V-model of KHON			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.4032	4.1292	3.1123
48	7.3009	4.0724	3.0812
50	7.1331	3.9785	3.0297
55	7.097	3.9585	3.0209
60	7.3189	4.083	3.09
65	7.2853	4.0653	3.0788
70	7.3037	4.0762	3.0835
75	7.5767	4.2294	3.1694
80	7.7439	4.3149	3.2259
85	7.7539	4.3301	3.2301
90	7.7573	4.3327	3.2315
95	7.7633	4.3352	3.2335
100	7.7733	4.3435	3.2368
110	7.7903	4.3505	3.2424
120	7.7884	4.3536	3.2417
130	7.8165	4.363	3.251
140	7.8601	4.374	3.2656
150	7.9	4.3825	3.2788
160	7.9414	4.3934	3.2925
170	7.9939	4.4095	3.3099
180	8.0315	4.4167	3.3232
190	8.0663	4.4229	3.3357
200	8.1019	4.4294	3.3484
210	8.1372	4.4357	3.361

V-model of KHON			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.177	4.4503	3.3753
230	8.2214	4.4729	3.3912
240	8.2653	4.4954	3.4069
250	8.3101	4.518	3.4229
260	8.3543	4.5408	3.4388
270	8.3985	4.5626	3.4546
280	8.4429	4.5845	3.4705
290	8.4873	4.606	3.4864
300	8.532	4.6281	3.5017
310	8.5763	4.6493	3.5167
320	8.6206	4.6714	3.5317
330	8.6648	4.6925	3.5466
340	8.7089	4.7141	3.5615
350	8.753	4.7355	3.5764
360	8.7973	4.7573	3.5914
370	8.8418	4.7789	3.6065
380	8.8865	4.8007	3.6216
390	8.9309	4.8223	3.6366
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of KHON			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

8 KRAB อ่างเก็บน้ำบางกำปรัด จ. กระบี่

V-model of KRAB			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.8761	2.7197	2.4736
4	5.9707	3.3304	2.6934
6	6.7064	3.7406	2.9006
8	7.3376	4.0928	3.0875
10	7.529	4.1995	3.1513
12	7.0386	3.9261	2.9953
14	7.6687	4.2775	3.1959
16	7.3876	4.1205	3.1058
18	7.2305	4.0327	3.0571
20	7.8063	4.3541	3.2423
22	7.5778	4.2266	3.1652
24	7.6994	4.2944	3.2069
26	7.6753	4.2811	3.1977
28	7.708	4.2996	3.2057
30	7.3589	4.1045	3.0898
32	7.281	4.0612	3.0701
34	7.7067	4.2985	3.2096
36	7.6746	4.2807	3.1987
38	7.6579	4.2712	3.1946
40	7.9935	4.4586	3.3076
42	8.0241	4.4756	3.3195
44	7.4915	4.1786	3.1436

V-model of KRAB			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.7604	4.3286	3.237
48	7.9183	4.4167	3.288
50	7.4705	4.1666	3.139
55	7.7108	4.301	3.2174
60	7.3833	4.1192	3.1086
65	6.9875	3.899	2.987
70	6.6336	3.702	2.8973
75	6.7572	3.7718	2.9284
80	6.9427	3.8683	2.9766
85	6.9639	3.889	2.9828
90	7.0338	3.9288	3.0039
95	7.0698	3.9481	3.0149
100	7.1095	3.9724	3.0272
110	7.1607	3.9991	3.043
120	7.1966	4.0228	3.054
130	7.26	4.0522	3.0736
140	7.3185	4.0726	3.0919
150	7.3768	4.0922	3.1099
160	7.4556	4.1245	3.1343
170	7.5237	4.1502	3.1568
180	7.5837	4.1703	3.1769
190	7.6381	4.1882	3.195
200	7.6915	4.205	3.2128
210	7.7462	4.2226	3.2311

V-model of KRAB			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	7.8061	4.2484	3.251
230	7.8709	4.2822	3.2727
240	7.9359	4.3163	3.2944
250	8.0015	4.3504	3.3167
260	8.0663	4.3841	3.3396
270	8.1308	4.4172	3.3625
280	8.1959	4.4505	3.3855
290	8.2609	4.483	3.4085
300	8.3262	4.5163	3.4315
310	8.3907	4.5487	3.4544
320	8.4546	4.5813	3.477
330	8.5192	4.6138	3.4993
340	8.5836	4.6463	3.5208
350	8.649	4.6793	3.5426
360	8.7146	4.7126	3.5645
370	8.7797	4.7452	3.5863
380	8.8449	4.7785	3.608
390	8.91	4.811	3.6298
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of KRAB			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

9 KRDT ขื่อนลำพระเพลิง จ.นครราชสีมา

V-model of KRDT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.3091	2.4036	2.3689
4	6.2967	3.5122	2.7788
6	7.2598	4.0495	3.055
8	7.3779	4.1151	3.0991
10	7.2109	4.0221	3.0616
12	7.1506	3.9884	3.053
14	7.3776	4.1149	3.1249
16	7.3663	4.1087	3.1123
18	6.9805	3.8937	2.9808
20	6.814	3.8007	2.9276
22	6.7591	3.77	2.9115
24	6.91	3.8542	2.9424
26	7.2171	4.0255	3.0319
28	7.1474	3.9866	3.0067
30	7.0375	3.9253	2.9736
32	7.2125	4.023	3.03
34	7.2099	4.0215	3.034
36	7.166	3.9971	3.0227
38	7.2117	4.0224	3.0441
40	7.5621	4.218	3.1592
42	7.7543	4.3253	3.2286
44	7.889	4.4005	3.2782

V-model of KRDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.9637	4.4419	3.3078
48	8.0306	4.4792	3.3362
50	8.0363	4.4824	3.3415
55	8.1536	4.5478	3.3825
60	8.5724	4.7825	3.5205
65	8.8304	4.9273	3.6002
70	8.4584	4.7206	3.4744
75	8.1514	4.5501	3.3693
80	8.1386	4.5347	3.3644
85	8.0056	4.4705	3.3184
90	7.9366	4.4331	3.2953
95	7.9292	4.4278	3.2927
100	7.9332	4.4328	3.2937
110	7.9456	4.4373	3.2976
120	7.941	4.4391	3.2957
130	7.9679	4.4474	3.3044
140	7.9936	4.4484	3.3132
150	8.0153	4.4463	3.321
160	8.0336	4.4443	3.3277
170	8.0735	4.4535	3.3418
180	8.121	4.4657	3.3585
190	8.1526	4.4703	3.3697
200	8.1845	4.4745	3.3809
210	8.2161	4.4785	3.3921

V-model of KRDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.2518	4.4909	3.4047
230	8.2918	4.5112	3.4189
240	8.3316	4.5315	3.433
250	8.3723	4.552	3.4474
260	8.4125	4.5722	3.4617
270	8.4526	4.5919	3.4759
280	8.4929	4.6117	3.4901
290	8.5335	4.631	3.5037
300	8.5736	4.6506	3.5172
310	8.6139	4.6698	3.5306
320	8.6543	4.6894	3.5442
330	8.6945	4.7086	3.5576
340	8.7345	4.7281	3.571
350	8.775	4.7475	3.5846
360	8.8149	4.7668	3.5979
370	8.855	4.7859	3.6113
380	8.8952	4.8055	3.6248
390	8.9352	4.8245	3.6382
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of KRDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

10 LAMP เขื่อนกิ่วลม จ.ลำปาง

V-model of LAMP			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	6.3314	3.5316	2.809
4	6.8928	3.8447	2.9568
6	7.4119	4.1341	3.1147
8	7.3738	4.1129	3.1077
10	6.957	3.8805	2.9815
12	7.2395	4.038	3.0659
14	7.1844	4.0071	3.0534
16	7.1144	3.9683	3.0288
18	7.3192	4.0824	3.0899
20	7.5627	4.2183	3.1681
22	7.2262	4.0306	3.0664
24	7.3743	4.1133	3.0988
26	7.4367	4.1479	3.1234
28	7.4235	4.1406	3.1149
30	7.6611	4.2732	3.1859
32	8.19	4.5682	3.369
34	8.5353	4.7608	3.4962
36	8.9059	4.9673	3.6238
38	9.285	5.179	3.7709
40	9.6124	5.3615	3.9019
42	9.4691	5.2817	3.8546
44	9.0563	5.0515	3.6902

V-model of LAMP			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.9505	4.9925	3.6417
48	8.8067	4.9122	3.5906
50	8.7102	4.8581	3.5565
55	8.5458	4.7666	3.5016
60	8.5039	4.7443	3.488
65	8.4426	4.7108	3.4686
70	8.4885	4.7375	3.4833
75	8.3735	4.6743	3.4429
80	8.2751	4.6107	3.4082
85	8.2545	4.6097	3.3997
90	8.2745	4.6218	3.406
95	8.2795	4.6235	3.4077
100	8.263	4.6169	3.4021
110	8.2329	4.5976	3.3921
120	8.2265	4.5988	3.3897
130	8.2508	4.6055	3.3982
140	8.2826	4.6091	3.4094
150	8.3262	4.6186	3.4246
160	8.342	4.6151	3.4303
170	8.3557	4.6093	3.4355
180	8.3644	4.5995	3.4391
190	8.3899	4.6005	3.4482
200	8.412	4.5988	3.4562
210	8.4328	4.5966	3.4638

V-model of LAMP			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.4571	4.6028	3.4726
230	8.4857	4.6167	3.4831
240	8.5143	4.6307	3.4933
250	8.5428	4.6448	3.5031
260	8.5712	4.6586	3.5128
270	8.5998	4.6722	3.5226
280	8.6287	4.6853	3.5326
290	8.6573	4.6982	3.5424
300	8.6862	4.7115	3.5523
310	8.7149	4.7246	3.5622
320	8.7439	4.7379	3.5721
330	8.7726	4.751	3.582
340	8.8013	4.7643	3.5919
350	8.8302	4.7774	3.6018
360	8.8591	4.7907	3.6117
370	8.8882	4.8039	3.6217
380	8.9174	4.8174	3.6317
390	8.9463	4.8306	3.6416
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of LAMP			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

11 LOEI อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหนาม จ. เลย

V-model of LOEI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.0166	2.7982	2.5072
4	5.7852	3.227	2.6569
6	5.9884	3.3401	2.6984
8	5.9541	3.3208	2.6959
10	5.8899	3.2852	2.6846
12	6.0459	3.3722	2.7196
14	6.0285	3.3625	2.7131
16	5.9872	3.3396	2.6986
18	6.3775	3.5573	2.8117
20	6.6811	3.7266	2.8969
22	6.4973	3.624	2.8489
24	6.7578	3.7695	2.9118
26	7.0132	3.9117	2.9802
28	6.9107	3.8546	2.9554
30	6.9369	3.8692	2.9626
32	7.2763	4.0585	3.0654
34	7.6276	4.2544	3.1806
36	7.9577	4.4386	3.2934
38	7.9249	4.4203	3.2847
40	7.9444	4.4313	3.2923
42	8.0992	4.5174	3.347
44	8.1186	4.5282	3.3544

V-model of LOEI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.1611	4.5519	3.3698
48	8.1332	4.5363	3.3597
50	8.0361	4.4823	3.3243
55	7.9817	4.452	3.3035
60	7.8421	4.3751	3.2561
65	8.3381	4.6528	3.4291
70	8.3092	4.6374	3.4213
75	8.0633	4.5008	3.3357
80	7.9507	4.43	3.2966
85	7.9068	4.4154	3.2816
90	7.9287	4.4285	3.2885
95	7.9352	4.4311	3.2905
100	7.9305	4.4312	3.289
110	7.9287	4.4279	3.2885
120	7.9206	4.4277	3.2858
130	7.9398	4.4319	3.2923
140	7.978	4.4397	3.305
150	8.0165	4.447	3.3182
160	8.0559	4.4567	3.3321
170	8.089	4.4621	3.3438
180	8.1293	4.4704	3.3581
190	8.1599	4.4743	3.369
200	8.1917	4.4784	3.3804
210	8.2227	4.4821	3.3915

V-model of LOEI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.2581	4.4945	3.4042
230	8.2978	4.5146	3.4184
240	8.3379	4.5348	3.4328
250	8.3782	4.5551	3.4472
260	8.4182	4.5751	3.4615
270	8.4582	4.5949	3.4758
280	8.4979	4.6143	3.49
290	8.5379	4.6335	3.5036
300	8.5779	4.6529	3.5171
310	8.6177	4.6718	3.5306
320	8.6575	4.6911	3.5441
330	8.697	4.7101	3.5574
340	8.7366	4.7292	3.5708
350	8.7764	4.7481	3.5843
360	8.8161	4.7676	3.5977
370	8.8558	4.7864	3.6112
380	8.8955	4.8058	3.6246
390	8.9356	4.8249	3.6382
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of LOEI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

12 MHIT ด่านตรวจคนเข้าเมือง จ.แม่ฮ่องสอน

V-model of MHIT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.4751	3.0538	2.5989
4	5.9064	3.2944	2.6825
6	6.0668	3.384	2.7251
8	5.9265	3.3055	2.6902
10	6.2061	3.4616	2.761
12	6.3733	3.555	2.812
14	6.4344	3.5891	2.8294
16	6.8151	3.8013	2.9264
18	6.6075	3.6855	2.8764
20	6.9316	3.8662	2.9592
22	7.0567	3.9359	2.9926
24	7.2587	4.0487	3.0598
26	7.3142	4.0795	3.0772
28	7.3664	4.1089	3.0941
30	7.7529	4.3245	3.2232
32	7.8042	4.3531	3.2447
34	8.0926	4.5138	3.3442
36	8.6216	4.809	3.5321
38	8.5641	4.7769	3.5118
40	8.701	4.8533	3.5562
42	8.673	4.8377	3.5437
44	8.3504	4.6575	3.431

V-model of MHIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.1741	4.5591	3.3677
48	8.0188	4.4728	3.3097
50	7.8862	4.3987	3.2703
55	8.3339	4.6485	3.4291
60	8.0968	4.5169	3.3459
65	7.7459	4.3223	3.2265
70	7.972	4.4491	3.3
75	7.8891	4.4036	3.2731
80	7.7123	4.2971	3.2161
85	7.6977	4.2985	3.2118
90	7.6966	4.2989	3.2115
95	7.7089	4.3048	3.2154
100	7.7276	4.3178	3.2214
110	7.7332	4.3186	3.2234
120	7.717	4.3138	3.2181
130	7.7766	4.3407	3.2376
140	7.821	4.3522	3.2524
150	7.8799	4.3714	3.2718
160	7.9142	4.3784	3.2834
170	7.9602	4.3908	3.2988
180	8	4.3994	3.3123
190	8.0355	4.4063	3.325
200	8.0721	4.4131	3.3381
210	8.1088	4.4202	3.3512

V-model of MHIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1498	4.4356	3.3658
230	8.1956	4.4589	3.3822
240	8.2413	4.4822	3.3986
250	8.2874	4.5057	3.415
260	8.3331	4.5292	3.4314
270	8.3789	4.552	3.4478
280	8.4248	4.5747	3.4642
290	8.4707	4.597	3.4806
300	8.5168	4.6198	3.4967
310	8.5627	4.642	3.5122
320	8.6086	4.6645	3.5277
330	8.6542	4.687	3.5431
340	8.6997	4.7092	3.5585
350	8.7452	4.7316	3.5739
360	8.791	4.7539	3.5893
370	8.8372	4.7763	3.605
380	8.8831	4.7989	3.6205
390	8.9294	4.8215	3.6361
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of MHIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

13 MHMT สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน

V-model of MHMT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.8747	3.2766	2.6778
4	6.5241	3.6389	2.8546
6	6.8767	3.8356	2.9476
8	6.1922	3.4538	2.7648
10	6.3346	3.5332	2.8057
12	6.5067	3.6293	2.8531
14	6.8713	3.8325	2.9443
16	6.8671	3.8304	2.9463
18	7.0321	3.9225	2.9903
20	7.1007	3.9606	3.0098
22	7.2054	4.019	3.0406
24	7.3964	4.1256	3.1025
26	7.5403	4.2058	3.1489
28	7.898	4.405	3.2752
30	7.9391	4.4282	3.2882
32	8.0971	4.5164	3.3495
34	8.6806	4.8419	3.5536
36	8.7845	4.9	3.5885
38	8.2951	4.6267	3.4204
40	8.4163	4.6945	3.4617
42	8.4057	4.6885	3.459
44	8.359	4.6625	3.4414

V-model of MHMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.1414	4.5411	3.3632
48	8.3154	4.6379	3.4222
50	8.5776	4.7844	3.5127
55	8.4343	4.7046	3.465
60	8.6726	4.8384	3.5449
65	8.938	4.9872	3.6307
70	8.2841	4.6232	3.4108
75	7.8739	4.3954	3.271
80	7.871	4.3856	3.2697
85	7.8164	4.3648	3.2522
90	7.8753	4.3988	3.2709
95	7.8853	4.4032	3.274
100	7.8847	4.4056	3.2737
110	7.883	4.4023	3.2731
120	7.914	4.424	3.283
130	7.9588	4.4426	3.2977
140	7.9886	4.4455	3.3078
150	7.9994	4.4375	3.3119
160	8.0424	4.4493	3.3271
170	8.0819	4.4583	3.3411
180	8.1132	4.4615	3.3525
190	8.1324	4.4593	3.3596
200	8.1653	4.4639	3.3713
210	8.1974	4.4685	3.3828

V-model of MHMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.2343	4.4812	3.396
230	8.2751	4.5022	3.4106
240	8.316	4.5229	3.4252
250	8.3573	4.5438	3.44
260	8.3986	4.5645	3.4548
270	8.4395	4.5848	3.4694
280	8.4804	4.605	3.4841
290	8.5216	4.6248	3.4983
300	8.5631	4.6448	3.5123
310	8.6044	4.6646	3.5263
320	8.6457	4.6846	3.5403
330	8.6866	4.7045	3.5541
340	8.7276	4.7243	3.5679
350	8.7687	4.7443	3.5818
360	8.81	4.7641	3.5958
370	8.8513	4.7838	3.6097
380	8.8926	4.804	3.6237
390	8.934	4.8239	3.6377
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of MHMT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

14 NAN ฝายน้ำกอน จ.น่าน

V-model of NAN			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	4.959	2.7661	2.4931
4	5.7409	3.2021	2.6475
6	6.4171	3.5795	2.8224
8	6.4284	3.5857	2.8303
10	6.4076	3.5741	2.8267
12	6.8456	3.8183	2.9404
14	6.7234	3.7501	2.9095
16	6.8347	3.8121	2.9377
18	7.0788	3.9484	3.0056
20	7.1733	4.0012	3.0351
22	6.5575	3.6577	2.8647
24	6.3903	3.5644	2.8149
26	6.4916	3.6208	2.843
28	6.8614	3.827	2.9414
30	7.0769	3.9471	3.0019
32	6.9288	3.8648	2.9586
34	7.0332	3.923	2.9889
36	7.0428	3.9282	2.9923
38	6.9521	3.8777	2.9684
40	7.1206	3.9718	3.0222
42	7.9751	4.4482	3.3043
44	8.2967	4.6277	3.4198

V-model of NAN			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.3087	4.6344	3.4219
48	8.1866	4.5663	3.3768
50	8.1984	4.5729	3.3791
55	8.0734	4.5032	3.335
60	7.8946	4.4043	3.2758
65	8.0506	4.4922	3.3289
70	8.3082	4.6369	3.4167
75	8.217	4.5867	3.3851
80	8.1702	4.5524	3.3694
85	8.1448	4.5485	3.3607
90	8.1216	4.5363	3.3529
95	8.117	4.5328	3.3514
100	8.1194	4.5368	3.3523
110	8.1212	4.5354	3.3531
120	8.114	4.5359	3.3505
130	8.1078	4.5255	3.3486
140	8.1445	4.5322	3.3617
150	8.1807	4.5383	3.3746
160	8.2129	4.5438	3.3861
170	8.2364	4.5433	3.3946
180	8.2554	4.54	3.4015
190	8.2821	4.5412	3.4112
200	8.3084	4.5423	3.4206
210	8.3341	4.5429	3.4299

V-model of NAN			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.3637	4.5519	3.4406
230	8.3976	4.5687	3.4528
240	8.4313	4.5856	3.465
250	8.4652	4.6024	3.4772
260	8.4993	4.6195	3.4895
270	8.5334	4.6358	3.5011
280	8.5673	4.6521	3.5127
290	8.6016	4.6679	3.5243
300	8.6359	4.6843	3.536
310	8.6696	4.7	3.5475
320	8.7039	4.7163	3.5592
330	8.7377	4.7323	3.5707
340	8.7716	4.748	3.5822
350	8.8057	4.764	3.5938
360	8.8394	4.7801	3.6053
370	8.8733	4.7959	3.6169
380	8.9071	4.812	3.6284
390	8.9415	4.8277	3.6401
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of NAN			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

15 NAYO อ่างเก็บน้ำคลองท่าด่าน จ. นครนายก

V-model of NAYO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.4999	3.0677	2.6022
4	6.1803	3.4473	2.7503
6	6.3768	3.5568	2.8125
8	6.3435	3.5383	2.8073
10	6.4283	3.5854	2.8327
12	6.9826	3.8948	2.9736
14	7.0371	3.9251	2.9908
16	7.1758	4.0024	3.0314
18	7.0365	3.9247	2.9899
20	7.2723	4.0564	3.063
22	7.2473	4.0423	3.054
24	7.2039	4.0181	3.0402
26	7.1739	4.0015	3.0322
28	7.2923	4.0674	3.0698
30	7.0776	3.9476	3.0027
32	7.0856	3.9522	3.0076
34	7.4472	4.1539	3.1238
36	7.5543	4.2136	3.1625
38	7.9799	4.451	3.3083
40	8.0806	4.5071	3.344
42	7.8392	4.3726	3.2608
44	7.83	4.3676	3.2585

V-model of NAYO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.9766	4.449	3.305
48	7.8752	4.3927	3.2717
50	8.0198	4.4732	3.3194
55	8.0479	4.4891	3.3276
60	7.9331	4.4258	3.2871
65	7.8402	4.3749	3.2591
70	7.8855	4.4008	3.2738
75	7.7231	4.3109	3.2215
80	7.7094	4.2953	3.2172
85	7.7784	4.344	3.2391
90	7.807	4.3607	3.2483
95	7.8067	4.3596	3.2482
100	7.8059	4.3615	3.2479
110	7.808	4.3606	3.2488
120	7.8072	4.3641	3.2484
130	7.8438	4.3782	3.2605
140	7.8933	4.3926	3.2768
150	7.928	4.398	3.2885
160	7.9557	4.4012	3.2981
170	7.9997	4.4129	3.3128
180	8.0486	4.4261	3.3301
190	8.0826	4.432	3.3422
200	8.1175	4.4379	3.3547
210	8.1519	4.4438	3.367

V-model of NAYO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1911	4.458	3.381
230	8.2345	4.4801	3.3964
240	8.2782	4.5024	3.4121
250	8.3221	4.5247	3.4277
260	8.3655	4.5469	3.4432
270	8.4094	4.5684	3.4589
280	8.4527	4.5899	3.4744
290	8.4966	4.6108	3.4901
300	8.5404	4.6324	3.5048
310	8.5838	4.6535	3.5195
320	8.6276	4.6748	3.5343
330	8.6708	4.6961	3.5489
340	8.7139	4.7167	3.5634
350	8.7572	4.7379	3.578
360	8.8008	4.7594	3.5927
370	8.8444	4.7802	3.6074
380	8.888	4.8014	3.6222
390	8.9315	4.8228	3.6368
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of NAYO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

16 NONG อ่างเก็บน้ำห้วยเปลวเหงือก จ. หนองคาย

V-model of NONG			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.8865	2.7254	2.4782
4	5.8115	3.2414	2.6591
6	6.4999	3.6253	2.8462
8	6.158	3.4347	2.7503
10	6.0281	3.3625	2.7147
12	6.3196	3.5247	2.7997
14	6.6325	3.6992	2.883
16	6.5279	3.6409	2.854
18	6.1253	3.4165	2.7352
20	5.8514	3.2637	2.6685
22	6.0356	3.3664	2.705
24	6.2033	3.4599	2.7542
26	6.2561	3.4895	2.7699
28	6.1459	3.4279	2.7358
30	5.9033	3.2928	2.6796
32	6.119	3.413	2.7355
34	6.439	3.5917	2.8342
36	6.8177	3.8027	2.9346
38	7.1438	3.9847	3.0295
40	7.1406	3.9827	3.03
42	6.8612	3.8271	2.9513
44	6.8991	3.8481	2.9603

V-model of NONG			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.2208	4.0276	3.0551
48	7.3225	4.0845	3.0877
50	7.4152	4.136	3.117
55	7.7201	4.3061	3.2125
60	8.2201	4.5859	3.3784
65	8.3262	4.6461	3.4167
70	8.3033	4.634	3.4117
75	8.3169	4.6424	3.4184
80	8.2166	4.578	3.3855
85	8.0931	4.5196	3.3436
90	8.0374	4.489	3.3247
95	8.0265	4.482	3.3209
100	8.0195	4.4809	3.3183
110	8.0312	4.4851	3.3222
120	8.0375	4.4932	3.3241
130	8.0574	4.4974	3.3312
140	8.0802	4.4964	3.3396
150	8.0877	4.4866	3.3427
160	8.1113	4.4874	3.3512
170	8.1317	4.4855	3.3587
180	8.1565	4.4854	3.3677
190	8.1866	4.4888	3.3785
200	8.2168	4.4921	3.3893
210	8.2466	4.4952	3.3999

V-model of NONG			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.2806	4.5068	3.4121
230	8.3192	4.5262	3.426
240	8.3577	4.5455	3.4397
250	8.3964	4.5649	3.4536
260	8.4349	4.5843	3.4674
270	8.4735	4.6034	3.4812
280	8.5124	4.6223	3.4949
290	8.5514	4.6407	3.5081
300	8.5902	4.6595	3.5212
310	8.629	4.6779	3.5343
320	8.6678	4.6968	3.5475
330	8.7059	4.7149	3.5604
340	8.7443	4.7334	3.5734
350	8.783	4.7518	3.5865
360	8.8215	4.7704	3.5995
370	8.8599	4.7885	3.6125
380	8.8987	4.8074	3.6257
390	8.9368	4.8255	3.6386
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of NONG			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

17 PANO อ่างเก็บน้ำห้วยแคน จ. นครพนม

V-model of PANO			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	3.265	1.8211	2.1936
4	3.9356	2.1951	2.3068
6	4.4344	2.4734	2.3798
8	4.5068	2.5139	2.3903
10	4.6065	2.5695	2.4162
12	4.9476	2.7596	2.4906
14	5.4418	3.0354	2.5867
16	5.5318	3.0854	2.6022
18	5.2253	2.9147	2.5415
20	5.1461	2.8704	2.5264
22	5.2292	2.9168	2.5447
24	5.6585	3.156	2.6279
26	5.6012	3.1241	2.6186
28	5.7963	3.2331	2.6568
30	6.0176	3.3565	2.702
32	6.3146	3.5221	2.791
34	6.4205	3.5812	2.8185
36	6.1363	3.4227	2.7338
38	6.3031	3.5156	2.7878
40	6.6545	3.7118	2.8815
42	6.3718	3.5541	2.8058
44	6.1959	3.456	2.7565

V-model of PANO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	6.147	3.4288	2.7443
48	6.2038	3.4603	2.7625
50	6.1667	3.4396	2.7555
55	6.1573	3.4343	2.7571
60	6.3902	3.5648	2.8277
65	6.2975	3.5142	2.8018
70	6.6758	3.7258	2.9019
75	7.1224	3.9758	3.0223
80	7.3498	4.0951	3.0952
85	7.4202	4.1437	3.1181
90	7.4972	4.1876	3.1419
95	7.5157	4.197	3.1483
100	7.5256	4.2049	3.1518
110	7.5378	4.2097	3.156
120	7.5523	4.2218	3.1608
130	7.5831	4.2327	3.1713
140	7.6261	4.2441	3.1859
150	7.6612	4.2501	3.1978
160	7.7147	4.2683	3.2157
170	7.7624	4.282	3.2318
180	7.807	4.2931	3.2468
190	7.8523	4.3055	3.2621
200	7.8975	4.3176	3.2774
210	7.9428	4.3296	3.2927

V-model of PANO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	7.9928	4.3501	3.3096
230	8.0476	4.3784	3.3291
240	8.1022	4.4068	3.3487
250	8.1571	4.4349	3.3683
260	8.2117	4.4632	3.3878
270	8.2667	4.4911	3.4075
280	8.3215	4.5186	3.4271
290	8.3765	4.5458	3.4468
300	8.4309	4.5732	3.4663
310	8.4854	4.6001	3.4858
320	8.5396	4.6272	3.5043
330	8.5939	4.6543	3.5227
340	8.6481	4.6811	3.541
350	8.7026	4.7083	3.5594
360	8.7567	4.7354	3.5777
370	8.8116	4.7625	3.5963
380	8.8661	4.7897	3.6147
390	8.9207	4.8168	3.6331
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PANO			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

18 PATY สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา จ.ชลบุรี

V-model of PATY			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.9744	3.3325	2.6959
4	6.4309	3.5872	2.8268
6	6.757	3.7688	2.9134
8	6.377	3.557	2.815
10	6.4566	3.6014	2.8378
12	6.5196	3.6365	2.8545
14	6.7053	3.74	2.9019
16	6.8093	3.7982	2.9288
18	7.0597	3.9376	2.9965
20	7.2822	4.0617	3.065
22	7.3917	4.1228	3.0983
24	7.2489	4.0434	3.0519
26	7.4234	4.1405	3.1091
28	7.6223	4.2514	3.1761
30	7.8837	4.3974	3.2727
32	8.3916	4.6807	3.4495
34	8.3237	4.6428	3.4217
36	8.2265	4.5886	3.3879
38	8.3153	4.6381	3.4227
40	8.4908	4.7358	3.4817
42	8.3211	4.6415	3.4228
44	8.4915	4.7364	3.4867

V-model of PATY			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.6289	4.8129	3.5311
48	8.5405	4.7637	3.4986
50	8.3495	4.6571	3.4301
55	8.3383	4.6511	3.428
60	8.5211	4.7539	3.4938
65	8.5738	4.7842	3.5107
70	8.3463	4.6581	3.4328
75	8.1759	4.5636	3.3741
80	8.1674	4.5509	3.3699
85	8.0901	4.518	3.3428
90	8.0845	4.5157	3.3406
95	8.0759	4.5098	3.3375
100	8.0725	4.5107	3.3365
110	8.1117	4.5303	3.3499
120	8.1272	4.5432	3.3547
130	8.1348	4.5405	3.3576
140	8.1588	4.5402	3.3663
150	8.1957	4.5466	3.3793
160	8.2292	4.5525	3.3912
170	8.2805	4.5677	3.409
180	8.3018	4.5653	3.4168
190	8.3281	4.5666	3.4263
200	8.3518	4.5658	3.4349
210	8.3753	4.5655	3.4435

V-model of PATY			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.4026	4.5731	3.4534
230	8.4346	4.5888	3.465
240	8.4659	4.6045	3.4764
250	8.4979	4.6204	3.4879
260	8.5299	4.6358	3.499
270	8.561	4.6511	3.5097
280	8.5931	4.666	3.5207
290	8.6247	4.6805	3.5315
300	8.6566	4.6957	3.5424
310	8.6882	4.7104	3.5533
320	8.7203	4.725	3.5643
330	8.7518	4.74	3.5751
340	8.7835	4.7543	3.5859
350	8.8151	4.7692	3.5968
360	8.8475	4.7843	3.6078
370	8.8796	4.7993	3.6188
380	8.9113	4.814	3.6297
390	8.9433	4.829	3.6407
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PATY			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

19 PAYA อ่างเก็บน้ำแม่ปืม จ.พะเยา

V-model of PAYA			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.9702	2.7722	2.4967
4	6.0617	3.3809	2.715
6	6.4883	3.6192	2.8452
8	6.572	3.6658	2.8717
10	6.6517	3.7102	2.895
12	6.7734	3.7781	2.9248
14	6.6707	3.7207	2.8964
16	6.596	3.6791	2.8756
18	6.6231	3.6942	2.8806
20	6.6428	3.7051	2.8849
22	6.9895	3.8985	2.9726
24	7.1947	4.0129	3.0364
26	7.0828	3.9506	3.0005
28	7.3154	4.0805	3.076
30	7.8765	4.3932	3.2622
32	7.7153	4.3033	3.2067
34	7.6362	4.2589	3.1827
36	8.2613	4.6078	3.4015
38	8.3238	4.643	3.4219
40	7.8932	4.4029	3.2719
42	8.2059	4.577	3.3828
44	8.4714	4.7254	3.4775

V-model of PAYA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.3991	4.6848	3.451
48	8.2269	4.5887	3.3862
50	8.1246	4.5317	3.3513
55	8.447	4.7114	3.4685
60	8.5472	4.7683	3.4995
65	8.0474	4.4904	3.3248
70	7.7687	4.3358	3.2331
75	7.8442	4.3787	3.2587
80	7.7506	4.3185	3.2291
85	7.6002	4.2445	3.18
90	7.579	4.2331	3.173
95	7.6002	4.2441	3.1799
100	7.6261	4.2613	3.1883
110	7.6499	4.272	3.1962
120	7.6747	4.2903	3.2042
130	7.6975	4.2966	3.2118
140	7.7547	4.3153	3.2307
150	7.8051	4.3296	3.2476
160	7.8369	4.3354	3.2584
170	7.9004	4.358	3.2794
180	7.9361	4.3641	3.2915
190	7.9769	4.3739	3.3052
200	8.0169	4.3829	3.3192
210	8.056	4.3914	3.3331

V-model of PAYA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1001	4.4085	3.3489
230	8.1486	4.4334	3.3662
240	8.1968	4.4583	3.3834
250	8.2459	4.4831	3.4009
260	8.2946	4.5083	3.4183
270	8.3432	4.5326	3.4356
280	8.3918	4.5568	3.4529
290	8.4405	4.5808	3.4703
300	8.4893	4.6049	3.4877
310	8.5378	4.6286	3.5042
320	8.5868	4.6527	3.5207
330	8.6352	4.6768	3.537
340	8.6836	4.7004	3.5533
350	8.732	4.7241	3.5696
360	8.78	4.7479	3.5858
370	8.8289	4.7718	3.6023
380	8.8777	4.796	3.6187
390	8.9265	4.8198	3.6351
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PAYA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

20 PBKT เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์

V-model of PBKT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.8216	3.2469	2.667
4	6.4725	3.6102	2.8405
6	6.8469	3.819	2.9404
8	6.953	3.8782	2.9708
10	6.5901	3.6757	2.8795
12	7.0234	3.9175	2.9906
14	7.3469	4.0979	3.0921
16	7.0914	3.9553	3.0131
18	7.1822	4.0061	3.0412
20	7.2035	4.0178	3.0478
22	7.2782	4.0596	3.0727
24	7.0903	3.9548	3.0116
26	6.7829	3.7834	2.9265
28	7.0577	3.9363	3
30	7.2975	4.0704	3.0774
32	7.0438	3.9288	3.0022
34	6.9828	3.8948	2.9777
36	7.251	4.0446	3.0649
38	7.6733	4.28	3.2019
40	7.9826	4.4525	3.3114
42	7.8845	4.3977	3.281
44	8.2158	4.5827	3.3919

V-model of PBKT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.3302	4.6464	3.4357
48	8.3095	4.6348	3.4254
50	8.3044	4.6318	3.4224
55	8.4721	4.7257	3.4782
60	8.261	4.6086	3.4023
65	8.2296	4.5923	3.3911
70	8.1983	4.5754	3.3828
75	8.106	4.525	3.3501
80	8.2207	4.5805	3.3876
85	8.1943	4.576	3.3779
90	8.1457	4.5496	3.3616
95	8.1352	4.5428	3.3581
100	8.1238	4.5392	3.3541
110	8.11	4.5291	3.3495
120	8.074	4.5135	3.3372
130	8.0791	4.5098	3.3392
140	8.1252	4.5215	3.3553
150	8.185	4.5407	3.3762
160	8.2042	4.5387	3.3833
170	8.2393	4.5451	3.3957
180	8.2773	4.5518	3.4091
190	8.2988	4.5506	3.417
200	8.3236	4.5506	3.4259
210	8.3485	4.5509	3.4349

V-model of PBKT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.3774	4.5592	3.4453
230	8.4105	4.576	3.4573
240	8.4435	4.5922	3.4692
250	8.4769	4.6089	3.4813
260	8.5102	4.6253	3.4931
270	8.5433	4.6413	3.5043
280	8.5768	4.6573	3.5158
290	8.6104	4.673	3.5272
300	8.6437	4.6886	3.5386
310	8.6771	4.7041	3.5499
320	8.7103	4.7196	3.5613
330	8.7435	4.7352	3.5726
340	8.7765	4.7509	3.5838
350	8.8095	4.766	3.5951
360	8.8424	4.7818	3.6063
370	8.8759	4.797	3.6177
380	8.9087	4.8129	3.6289
390	8.942	4.8281	3.6402
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PBKT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

21 PHET อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน จ. เพชรบุรี

V-model of PHET			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.4261	3.0266	2.5869
4	6.1928	3.4542	2.7548
6	6.4431	3.594	2.8331
8	6.4482	3.5966	2.8382
10	6.8549	3.8235	2.9454
12	7.0101	3.91	2.985
14	6.908	3.8531	2.956
16	6.9692	3.8874	2.9699
18	6.9944	3.9013	2.9774
20	7.1706	3.9994	3.0318
22	7.2544	4.0465	3.0592
24	7.4016	4.1284	3.1067
26	7.2278	4.0316	3.0506
28	7.6447	4.2638	3.1857
30	7.7749	4.3364	3.2337
32	7.9869	4.4549	3.3056
34	8.2459	4.5993	3.3991
36	8.4251	4.6991	3.4645
38	8.4502	4.7134	3.473
40	8.2891	4.6234	3.4158
42	8.3717	4.6695	3.4454
44	8.2121	4.5802	3.3886

V-model of PHET			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.3064	4.6332	3.4216
48	8.6042	4.7991	3.526
50	8.6046	4.7994	3.5257
55	8.5756	4.7832	3.517
60	8.8116	4.916	3.5939
65	8.4071	4.6912	3.4574
70	8.2643	4.6123	3.4059
75	8.2826	4.6235	3.4108
80	8.2454	4.5943	3.3976
85	8.0353	4.4873	3.3242
90	7.9535	4.4424	3.297
95	7.9697	4.4506	3.3022
100	7.9805	4.4591	3.3056
110	8.0058	4.471	3.314
120	8.012	4.4786	3.3159
130	8.0297	4.482	3.3222
140	8.097	4.5059	3.3454
150	8.1172	4.503	3.3529
160	8.1197	4.492	3.3544
170	8.1442	4.4925	3.3633
180	8.18	4.4981	3.3759
190	8.2079	4.5007	3.3859
200	8.2377	4.5035	3.3965
210	8.2666	4.5061	3.4069

V-model of PHET			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.2998	4.517	3.4188
230	8.337	4.5357	3.4321
240	8.3743	4.5547	3.4455
250	8.4124	4.5736	3.4592
260	8.4498	4.5926	3.4726
270	8.4875	4.6109	3.4861
280	8.5248	4.6289	3.499
290	8.5628	4.6467	3.5118
300	8.6006	4.6652	3.5246
310	8.6382	4.6829	3.5374
320	8.6759	4.7011	3.5501
330	8.7134	4.7189	3.5629
340	8.7507	4.7367	3.5755
350	8.7881	4.7544	3.5882
360	8.8256	4.7725	3.6009
370	8.8623	4.7899	3.6133
380	8.9002	4.8081	3.6262
390	8.9383	4.826	3.6391
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PHET			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

22 PHIT เขื่อนแควน้อย จ.พิษณุโลก

V-model of PHIT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.5054	3.0708	2.6038
4	6.72	3.7482	2.9066
6	7.5697	4.2221	3.16
8	8.0346	4.4816	3.3204
10	7.6536	4.269	3.1978
12	7.5219	4.1956	3.1534
14	7.5414	4.2065	3.1576
16	7.1678	3.9979	3.038
18	7.0215	3.9162	2.99
20	7.1674	3.9978	3.0332
22	7.0781	3.9479	3.0013
24	6.9262	3.8633	2.9582
26	7.0694	3.9431	2.9987
28	7.4382	4.1488	3.1132
30	7.1943	4.0129	3.0368
32	7.4415	4.1508	3.1128
34	7.3309	4.0892	3.084
36	7.6605	4.2728	3.1909
38	7.8353	4.3704	3.2554
40	8.6847	4.8441	3.5522
42	9.3981	5.2419	3.8158
44	8.9425	4.9879	3.6391

V-model of PHIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.7021	4.8539	3.556
48	8.3991	4.6848	3.4501
50	8.2612	4.6078	3.3998
55	8.4401	4.7076	3.4633
60	8.62	4.8089	3.5234
65	8.2556	4.6064	3.3995
70	8.0844	4.5118	3.3393
75	8.1482	4.5484	3.3607
80	8.0989	4.5126	3.3446
85	8.1052	4.5263	3.347
90	8.1009	4.5247	3.3455
95	8.1005	4.5236	3.3453
100	8.0974	4.5243	3.3443
110	8.0831	4.514	3.3394
120	8.0685	4.5104	3.3343
130	8.1094	4.5262	3.3488
140	8.137	4.528	3.3586
150	8.1624	4.528	3.3677
160	8.1979	4.5353	3.3804
170	8.2224	4.5358	3.3893
180	8.2503	4.5371	3.3993
190	8.2768	4.5385	3.4089
200	8.3042	4.54	3.4188
210	8.3298	4.5408	3.428

V-model of PHIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.3596	4.5496	3.4388
230	8.3935	4.5667	3.451
240	8.4273	4.5834	3.4632
250	8.4616	4.6004	3.4756
260	8.4953	4.6173	3.4878
270	8.5294	4.6337	3.4995
280	8.5638	4.6499	3.5113
290	8.5976	4.6657	3.5228
300	8.6318	4.6821	3.5345
310	8.6663	4.6982	3.5462
320	8.7006	4.7145	3.5579
330	8.735	4.7308	3.5697
340	8.7691	4.7469	3.5813
350	8.8038	4.763	3.5931
360	8.8379	4.7792	3.6047
370	8.8722	4.7953	3.6164
380	8.9064	4.8116	3.6281
390	8.941	4.828	3.6399
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PHIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

23 PHRA อ่างเก็บน้ำสอง จ.แพร่

V-model of PHRA			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	3.6269	2.023	2.2538
4	4.104	2.2893	2.3348
6	4.6603	2.5993	2.4244
8	4.7463	2.6475	2.445
10	4.896	2.7307	2.4798
12	4.9831	2.7793	2.4998
14	5.2801	2.9451	2.5582
16	5.2985	2.9553	2.5616
18	5.1197	2.8555	2.526
20	5.3189	2.9667	2.5641
22	5.6262	3.1382	2.627
24	5.8157	3.2439	2.6628
26	6.2287	3.4742	2.7681
28	6.1421	3.4259	2.7429
30	6.312	3.5207	2.7919
32	6.4928	3.6214	2.847
34	6.4138	3.5773	2.8248
36	6.6185	3.6915	2.879
38	6.797	3.7911	2.927
40	6.8443	3.8178	2.9395
42	6.8556	3.8237	2.9421
44	6.7257	3.7516	2.9111

V-model of PHRA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	6.7459	3.7626	2.9162
48	6.8368	3.8133	2.9383
50	6.8929	3.8448	2.954
55	6.9042	3.8508	2.9605
60	7.0962	3.9587	3.0184
65	7.22	4.0288	3.0595
70	7.0076	3.9109	2.9959
75	6.9301	3.8685	2.9719
80	7.1599	3.9894	3.0412
85	7.3065	4.0804	3.0872
90	7.3496	4.1053	3.1012
95	7.3645	4.1126	3.1058
100	7.3902	4.1295	3.1137
110	7.4243	4.1462	3.1243
120	7.4398	4.1586	3.129
130	7.4755	4.1724	3.1401
140	7.5116	4.18	3.1523
150	7.5525	4.1897	3.166
160	7.6022	4.2057	3.1825
170	7.6526	4.2211	3.1993
180	7.7023	4.2358	3.2159
190	7.7512	4.2504	3.2322
200	7.8013	4.2651	3.2489
210	7.851	4.2798	3.2655

V-model of PHRA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	7.9057	4.3025	3.2838
230	7.9655	4.3336	3.3038
240	8.0248	4.3646	3.3244
250	8.0848	4.3955	3.3457
260	8.1441	4.4264	3.3667
270	8.2041	4.4568	3.3879
280	8.264	4.4873	3.4091
290	8.3235	4.5172	3.4302
300	8.3833	4.5472	3.4514
310	8.442	4.5766	3.4722
320	8.5011	4.6065	3.493
330	8.56	4.6358	3.5127
340	8.6188	4.6655	3.5324
350	8.6782	4.6949	3.5522
360	8.7374	4.7249	3.572
370	8.7969	4.7545	3.5919
380	8.8562	4.7846	3.6118
390	8.9159	4.8142	3.6317
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PHRA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

24 PKDT เขื่อนบางวาด จ.ภูเก็ต

V-model of PKDT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.8874	3.2839	2.6793
4	6.317	3.5233	2.7935
6	6.5521	3.6545	2.8636
8	6.1842	3.4495	2.7592
10	6.4734	3.6109	2.8451
12	6.7332	3.7557	2.9105
14	6.838	3.8142	2.9374
16	6.9729	3.8894	2.9725
18	6.9432	3.8725	2.9653
20	7.0128	3.9117	2.9831
22	7.3186	4.0823	3.0779
24	7.6421	4.2626	3.1843
26	7.4761	4.17	3.13
28	7.5538	4.2133	3.1574
30	7.8283	4.3664	3.2505
32	7.8044	4.3532	3.2447
34	8.1193	4.5287	3.3558
36	8.1813	4.5632	3.3777
38	8.1778	4.5614	3.377
40	8.1452	4.5432	3.3659
42	8.1989	4.5732	3.3846
44	8.1169	4.5273	3.3558

V-model of PKDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.7241	4.3084	3.2205
48	7.8532	4.3805	3.2624
50	7.9382	4.4277	3.291
55	7.8789	4.3948	3.2705
60	7.9794	4.4515	3.3045
65	7.861	4.3865	3.2663
70	7.7135	4.3049	3.2188
75	7.6673	4.2799	3.2057
80	7.6511	4.2628	3.2014
85	7.6653	4.2806	3.2047
90	7.6764	4.2877	3.2076
95	7.6698	4.2831	3.2053
100	7.6685	4.2847	3.2046
110	7.6872	4.2929	3.2106
120	7.7094	4.3096	3.2175
130	7.7551	4.3286	3.2325
140	7.8058	4.3437	3.2492
150	7.836	4.3471	3.2595
160	7.8711	4.3544	3.2713
170	7.9114	4.3642	3.2848
180	7.9521	4.3732	3.2984
190	7.9923	4.3824	3.3119
200	8.0313	4.3906	3.3258
210	8.0698	4.3989	3.3394

V-model of PKDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1132	4.4155	3.3548
230	8.161	4.4399	3.3718
240	8.2087	4.4646	3.3887
250	8.2566	4.4892	3.4057
260	8.3046	4.5137	3.4228
270	8.3524	4.5375	3.4397
280	8.4004	4.5615	3.4568
290	8.4482	4.5849	3.4738
300	8.4964	4.6087	3.4909
310	8.5446	4.6322	3.507
320	8.5924	4.6556	3.5231
330	8.6402	4.6793	3.5391
340	8.6876	4.7026	3.555
350	8.7355	4.7259	3.5711
360	8.7832	4.7495	3.5871
370	8.8312	4.773	3.6033
380	8.8795	4.7967	3.6194
390	8.9273	4.8204	3.6355
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PKDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

25 PRAC เขื่อนปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธุ์

V-model of PRAC			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.6666	3.1609	2.6335
4	6.1357	3.4222	2.7385
6	6.5031	3.6274	2.8486
8	6.4226	3.5824	2.8279
10	6.6532	3.7111	2.8913
12	6.8952	3.8459	2.9534
14	7.236	4.0359	3.054
16	7.1603	3.9939	3.0302
18	7.0294	3.9207	2.9912
20	7.3114	4.0781	3.0794
22	7.1547	3.9909	3.0268
24	7.0566	3.936	2.9961
26	7.4178	4.1373	3.1115
28	7.6089	4.2442	3.1728
30	7.5087	4.1881	3.1421
32	7.9033	4.4084	3.2778
34	7.7731	4.3357	3.2324
36	7.5535	4.2133	3.1578
38	7.6721	4.2793	3.1998
40	8.0041	4.4644	3.3131
42	7.9567	4.4378	3.2966
44	7.7761	4.3373	3.2371

V-model of PRAC			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.7886	4.3444	3.2405
48	7.5614	4.2175	3.1617
50	7.4538	4.1576	3.127
55	7.7398	4.3171	3.2201
60	7.8369	4.3721	3.2518
65	8.1957	4.5731	3.3759
70	7.8626	4.3883	3.2643
75	7.6576	4.2745	3.1974
80	7.7421	4.3139	3.2255
85	7.7009	4.3004	3.2126
90	7.7026	4.3023	3.2132
95	7.7056	4.3029	3.2142
100	7.7253	4.3165	3.2205
110	7.7713	4.3398	3.2354
120	7.7806	4.3493	3.2382
130	7.823	4.3666	3.2523
140	7.8428	4.3643	3.2592
150	7.867	4.364	3.2676
160	7.906	4.3739	3.2807
170	7.9575	4.3897	3.2979
180	7.981	4.389	3.3061
190	8.0179	4.3963	3.319
200	8.0556	4.4042	3.3325
210	8.0932	4.4116	3.3459

V-model of PRAC			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1351	4.4276	3.3609
230	8.1816	4.4512	3.3775
240	8.228	4.4751	3.3941
250	8.2746	4.4989	3.4107
260	8.3214	4.5228	3.4274
270	8.368	4.5459	3.4441
280	8.4147	4.5692	3.4608
290	8.4615	4.5921	3.4775
300	8.5081	4.6152	3.4939
310	8.5551	4.6379	3.5098
320	8.602	4.661	3.5256
330	8.6481	4.6837	3.5412
340	8.6947	4.7066	3.5569
350	8.7413	4.7294	3.5726
360	8.788	4.7522	3.5884
370	8.8351	4.7749	3.6043
380	8.8819	4.7982	3.6201
390	8.9285	4.8209	3.6358
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of PRAC			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

26 RNTT ระนอง

V-model of RNTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.4645	3.0478	2.5946
4	6.0253	3.3608	2.7065
6	6.2186	3.4686	2.765
8	6.2491	3.4855	2.7776
10	6.3095	3.5193	2.7963
12	6.1889	3.4521	2.7592
14	6.2024	3.4595	2.762
16	6.3516	3.5428	2.8058
18	6.5766	3.6685	2.8699
20	6.6536	3.7111	2.8877
22	6.9234	3.8617	2.9574
24	6.894	3.8454	2.9503
26	6.7953	3.79	2.924
28	7.0506	3.9327	2.9937
30	7.4346	4.1465	3.1163
32	7.6147	4.2476	3.1783
34	7.9713	4.4464	3.2981
36	8.1293	4.5343	3.3549
38	8.3503	4.6575	3.4356
40	8.5977	4.7957	3.5223
42	8.6173	4.8062	3.5276
44	8.4986	4.7404	3.4898

V-model of RNTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.3662	4.6664	3.4417
48	8.2578	4.6062	3.4013
50	8.1959	4.5714	3.3796
55	8.3499	4.6573	3.4365
60	8.4951	4.7393	3.4854
65	8.0001	4.4643	3.313
70	7.7595	4.3305	3.233
75	7.7679	4.336	3.2359
80	7.8045	4.3485	3.2483
85	7.7394	4.3221	3.2269
90	7.7569	4.3326	3.2324
95	7.7568	4.3315	3.2324
100	7.7613	4.3366	3.2339
110	7.7792	4.3445	3.2399
120	7.7907	4.3551	3.2435
130	7.8208	4.3653	3.2534
140	7.8597	4.3738	3.2664
150	7.8914	4.3775	3.277
160	7.9371	4.3909	3.292
170	7.9728	4.3981	3.304
180	8.0152	4.4077	3.3186
190	8.0546	4.4167	3.3326
200	8.091	4.4235	3.3455
210	8.1271	4.4301	3.3584

V-model of RNTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1674	4.445	3.3728
230	8.2122	4.4679	3.3887
240	8.257	4.4909	3.4047
250	8.3022	4.5136	3.4208
260	8.3471	4.5368	3.4369
270	8.3919	4.5589	3.4528
280	8.4368	4.5812	3.4689
290	8.4819	4.6029	3.485
300	8.527	4.6253	3.5004
310	8.5719	4.647	3.5156
320	8.6171	4.6692	3.5308
330	8.6614	4.6908	3.5458
340	8.7061	4.7128	3.5609
350	8.7508	4.7344	3.5759
360	8.7954	4.7564	3.5909
370	8.8404	4.7781	3.6061
380	8.8853	4.8003	3.6213
390	8.9303	4.822	3.6364
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of RNTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

27 SKLT สงขลา

V-model of SKLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	6.3411	3.5369	2.8025
4	6.2952	3.5115	2.7888
6	6.2562	3.4897	2.7774
8	6.2465	3.4842	2.7744
10	6.3699	3.5528	2.8112
12	6.6055	3.6844	2.8771
14	6.3872	3.5626	2.8168
16	6.2681	3.496	2.7805
18	6.3448	3.5387	2.8049
20	6.5599	3.659	2.8668
22	6.6273	3.6966	2.8837
24	7.1955	4.0133	3.0429
26	7.4721	4.1679	3.1322
28	7.8209	4.3624	3.2489
30	7.9986	4.4613	3.311
32	7.8998	4.4063	3.2771
34	7.857	4.3823	3.2627
36	7.7097	4.3002	3.2132
38	7.7702	4.3341	3.2323
40	7.9724	4.4468	3.3012
42	8.0309	4.4794	3.3218
44	7.9148	4.4145	3.2816

V-model of SKLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.8745	4.3923	3.2671
48	8.0752	4.5042	3.3365
50	8.2539	4.6037	3.4014
55	8.1721	4.558	3.372
60	8.2852	4.6223	3.4121
65	8.325	4.6453	3.4265
70	8.2333	4.5949	3.3949
75	8.1096	4.5269	3.3511
80	7.9458	4.4274	3.2955
85	7.8253	4.3699	3.2569
90	7.8145	4.3646	3.2533
95	7.8288	4.3716	3.2579
100	7.8524	4.3876	3.2654
110	7.8695	4.3948	3.2709
120	7.8809	4.4054	3.2742
130	7.897	4.4077	3.2797
140	7.9355	4.416	3.2925
150	7.9721	4.4225	3.3047
160	8.0161	4.4345	3.3199
170	8.0556	4.4435	3.3338
180	8.0907	4.4492	3.3462
190	8.1255	4.4555	3.3585
200	8.1585	4.4604	3.3702
210	8.1912	4.4651	3.3819

V-model of SKLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.2285	4.4783	3.3951
230	8.2697	4.4993	3.4098
240	8.3109	4.5203	3.4245
250	8.3525	4.5411	3.4393
260	8.3943	4.5624	3.4542
270	8.4356	4.5828	3.4689
280	8.477	4.6031	3.4836
290	8.5188	4.6231	3.498
300	8.5604	4.6434	3.512
310	8.6023	4.6635	3.5261
320	8.6435	4.6837	3.54
330	8.6848	4.7034	3.5539
340	8.7261	4.7234	3.5678
350	8.7675	4.7436	3.5817
360	8.8087	4.7633	3.5956
370	8.8501	4.7834	3.6095
380	8.8922	4.8037	3.6237
390	8.9334	4.8238	3.6375
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SKLT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

28 SKNT เขื่อนน้ำพุง จ.สกลนคร

V-model of SKNT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.4203	2.4656	2.3794
4	4.9715	2.773	2.4921
6	5.3786	2.9999	2.5754
8	5.7938	3.2317	2.6584
10	5.733	3.1977	2.6482
12	5.987	3.3393	2.6985
14	6.5796	3.6697	2.8689
16	6.7446	3.7619	2.9114
18	6.8189	3.8033	2.9308
20	6.7807	3.782	2.9205
22	6.7407	3.76	2.9106
24	6.7841	3.7841	2.9209
26	6.6101	3.687	2.8766
28	6.7523	3.7664	2.9154
30	6.8627	3.8279	2.9426
32	6.6692	3.7199	2.8907
34	6.5215	3.6377	2.8547
36	6.5666	3.6627	2.8658
38	6.4088	3.5746	2.8222
40	6.5507	3.6538	2.8653
42	7.0268	3.9192	2.9899
44	6.9795	3.893	2.977

V-model of SKNT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	6.9019	3.8498	2.9587
48	6.8295	3.8093	2.9415
50	6.8141	3.8007	2.9406
55	7.1751	4.0024	3.043
60	7.2135	4.0244	3.0566
65	7.3891	4.1233	3.1093
70	7.4056	4.133	3.1151
75	7.5119	4.1931	3.1486
80	7.6181	4.2446	3.1849
85	7.6	4.2442	3.1797
90	7.6143	4.253	3.1844
95	7.6287	4.2599	3.189
100	7.6544	4.277	3.1973
110	7.6895	4.2945	3.2089
120	7.6951	4.3015	3.2106
130	7.7256	4.3122	3.2208
140	7.762	4.3195	3.2331
150	7.8086	4.3316	3.2487
160	7.8457	4.3405	3.2612
170	7.8748	4.3437	3.2712
180	7.9114	4.3506	3.2834
190	7.9509	4.3598	3.2967
200	7.9918	4.3692	3.3105
210	8.0322	4.3783	3.3249

V-model of SKNT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.0773	4.396	3.341
230	8.1269	4.4216	3.3586
240	8.1767	4.4473	3.3764
250	8.227	4.4728	3.3943
260	8.2765	4.4984	3.412
270	8.3266	4.5234	3.4298
280	8.3765	4.5482	3.4476
290	8.4267	4.573	3.4655
300	8.4767	4.5979	3.4833
310	8.5266	4.6227	3.5005
320	8.5762	4.647	3.5172
330	8.626	4.6715	3.534
340	8.6756	4.6965	3.5507
350	8.7253	4.7207	3.5674
360	8.7754	4.7454	3.5843
370	8.8254	4.7698	3.6011
380	8.8755	4.7949	3.618
390	8.9253	4.8193	3.6348
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SKNT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

29 SRAK อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ. สระแก้ว

V-model of SRAK			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.1873	2.8934	2.539
4	5.4418	3.0354	2.5876
6	5.3369	2.9766	2.569
8	5.8279	3.2508	2.6679
10	6.279	3.5023	2.7862
12	6.7198	3.7481	2.908
14	6.5228	3.638	2.8583
16	6.6581	3.7138	2.8908
18	6.5037	3.6275	2.8495
20	6.5417	3.6487	2.8608
22	6.5363	3.6458	2.8584
24	6.5715	3.6655	2.869
26	6.1921	3.4538	2.7594
28	6.4101	3.5753	2.8227
30	6.2874	3.507	2.7889
32	6.5482	3.6525	2.8637
34	6.2859	3.5061	2.7906
36	6.5778	3.6691	2.8716
38	6.9355	3.8684	2.9669
40	7.2297	4.0327	3.0585
42	7.4188	4.1379	3.1206
44	7.4472	4.154	3.126

V-model of SRAK			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.523	4.1962	3.1524
48	7.6574	4.2712	3.1984
50	7.6154	4.2476	3.1847
55	7.6411	4.2619	3.1931
60	7.419	4.139	3.1233
65	7.3482	4.1003	3.0995
70	7.3087	4.079	3.0867
75	7.485	4.1784	3.1403
80	7.65	4.2625	3.1961
85	7.6385	4.2656	3.1927
90	7.6485	4.2722	3.1954
95	7.6666	4.281	3.2012
100	7.684	4.2935	3.207
110	7.7	4.2998	3.2124
120	7.6924	4.3003	3.2101
130	7.7202	4.3091	3.2194
140	7.7491	4.3122	3.2294
150	7.7861	4.3193	3.2419
160	7.8234	4.328	3.2545
170	7.8593	4.3353	3.2667
180	7.8951	4.3416	3.2787
190	7.9353	4.3511	3.2922
200	7.9767	4.3611	3.3061
210	8.018	4.3706	3.3205

V-model of SRAK			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.0638	4.3887	3.3367
230	8.1143	4.4147	3.3547
240	8.1646	4.4408	3.3726
250	8.2156	4.4668	3.3907
260	8.2662	4.4929	3.4087
270	8.3168	4.5184	3.4267
280	8.368	4.5438	3.445
290	8.4188	4.5688	3.463
300	8.4696	4.594	3.4811
310	8.5203	4.6189	3.4986
320	8.5711	4.6442	3.5157
330	8.6212	4.669	3.5326
340	8.6718	4.694	3.5496
350	8.7221	4.7189	3.5665
360	8.7728	4.744	3.5835
370	8.8235	4.769	3.6006
380	8.8738	4.794	3.6175
390	8.9248	4.8191	3.6346
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SRAK			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

30 SRDT เขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี

V-model of SRDT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.3882	3.0054	2.5792
4	6.0799	3.3912	2.7213
6	6.2509	3.4865	2.7752
8	6.2848	3.5054	2.7887
10	6.7653	3.7735	2.9207
12	6.7076	3.7414	2.9059
14	6.5974	3.6798	2.8761
16	6.9531	3.8785	2.9653
18	7.0072	3.9082	2.981
20	6.8433	3.817	2.9386
22	7.2244	4.0295	3.0486
24	7.069	3.9428	3.0006
26	7.2017	4.017	3.0416
28	7.4549	4.158	3.1251
30	7.7224	4.3075	3.2147
32	7.9686	4.4447	3.3011
34	8.0432	4.4862	3.3287
36	8.2565	4.605	3.4038
38	8.3658	4.6661	3.4451
40	8.4155	4.694	3.461
42	8.2193	4.5845	3.3898
44	8.165	4.5544	3.37

V-model of SRDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.1185	4.5284	3.3553
48	8.311	4.6356	3.4233
50	8.2739	4.615	3.4126
55	8.361	4.6638	3.446
60	8.2721	4.6148	3.4144
65	7.9477	4.4348	3.2987
70	7.8642	4.3891	3.2684
75	7.8208	4.3657	3.2547
80	7.6311	4.252	3.1935
85	7.595	4.2412	3.1814
90	7.6181	4.255	3.1891
95	7.6182	4.2543	3.1892
100	7.6234	4.2596	3.1908
110	7.638	4.2654	3.1956
120	7.6739	4.2898	3.2069
130	7.711	4.3039	3.2191
140	7.7571	4.3165	3.2343
150	7.8077	4.3309	3.251
160	7.8509	4.3432	3.2655
170	7.8885	4.3517	3.278
180	7.9373	4.3648	3.294
190	7.9798	4.3753	3.3082
200	8.0191	4.3841	3.322
210	8.0585	4.3927	3.3359

V-model of SRDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1022	4.4094	3.3514
230	8.1507	4.4345	3.3686
240	8.1989	4.4591	3.3857
250	8.2477	4.4842	3.403
260	8.2963	4.5092	3.4203
270	8.3447	4.5334	3.4374
280	8.3933	4.5577	3.4547
290	8.4419	4.5814	3.4719
300	8.4906	4.6054	3.4892
310	8.5393	4.6295	3.5055
320	8.588	4.6534	3.5219
330	8.6362	4.6771	3.538
340	8.6843	4.701	3.5541
350	8.7323	4.7244	3.5702
360	8.7808	4.7484	3.5865
370	8.8291	4.772	3.6026
380	8.8779	4.7962	3.619
390	8.9265	4.82	3.6352
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SRDT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

31 SRIT อ่างเก็บน้ำคลองดินแดง จ.นครศรีธรรมราช

V-model of SRIT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.571	2.5496	2.406
4	4.7528	2.651	2.4447
6	4.7337	2.6403	2.4423
8	5.2156	2.9088	2.544
10	5.6022	3.1247	2.6209
12	5.7145	3.1874	2.6437
14	5.7148	3.1875	2.6439
16	5.7218	3.1915	2.6444
18	5.9242	3.3045	2.6831
20	5.752	3.2082	2.6493
22	5.9803	3.3357	2.6954
24	5.9364	3.311	2.6863
26	5.9796	3.3353	2.6958
28	6.3804	3.5589	2.8127
30	6.0745	3.3881	2.7223
32	5.9817	3.3365	2.6965
34	6.1547	3.433	2.7476
36	6.2483	3.4853	2.7753
38	6.232	3.476	2.7701
40	6.123	3.4154	2.7383
42	6.1219	3.4147	2.7383
44	6.401	3.5703	2.821

V-model of SRIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	6.6481	3.7082	2.8886
48	6.6545	3.7118	2.8919
50	6.5671	3.6628	2.8713
55	6.6334	3.6999	2.8879
60	6.7555	3.7688	2.9225
65	6.7023	3.7397	2.9126
70	6.7235	3.7523	2.9186
75	6.9997	3.9073	2.9899
80	7.1306	3.9732	3.0337
85	7.141	3.988	3.037
90	7.1933	4.0177	3.0527
95	7.2187	4.0312	3.0604
100	7.2599	4.0565	3.0729
110	7.3168	4.0861	3.0904
120	7.3302	4.0976	3.0945
130	7.3734	4.1156	3.1079
140	7.4259	4.1323	3.1245
150	7.4704	4.144	3.1385
160	7.5169	4.1585	3.1541
170	7.5684	4.1747	3.1712
180	7.621	4.1911	3.1888
190	7.6734	4.2078	3.2063
200	7.727	4.2245	3.2242
210	7.78	4.241	3.2419

V-model of SRIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	7.8384	4.266	3.2614
230	7.9018	4.2989	3.2826
240	7.9649	4.332	3.3037
250	8.0284	4.3649	3.3258
260	8.0919	4.3979	3.3483
270	8.1551	4.4303	3.3707
280	8.2187	4.4627	3.3932
290	8.2819	4.4945	3.4156
300	8.3454	4.5268	3.4381
310	8.408	4.5582	3.4602
320	8.4708	4.5899	3.4825
330	8.5333	4.6213	3.5038
340	8.5961	4.6531	3.5248
350	8.6589	4.6848	3.5458
360	8.7221	4.7167	3.5669
370	8.7854	4.7481	3.5881
380	8.8486	4.7803	3.6092
390	8.9118	4.812	3.6304
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SRIT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

32 SUKH อ่างเก็บน้ำห้วยท่าแพร่ จ.สุโขทัย

V-model of SUKH			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.7347	3.1988	2.6507
4	6.8982	3.8476	2.9511
6	7.4767	4.1705	3.1301
8	7.3401	4.0942	3.0936
10	7.1518	3.9891	3.0377
12	7.2448	4.0409	3.0639
14	7.0845	3.9517	3.0101
16	7.0234	3.9175	2.9873
18	6.9984	3.9034	2.9777
20	6.8967	3.8467	2.9512
22	7.1207	3.9717	3.0125
24	7.2175	4.0255	3.0428
26	7.488	4.1766	3.1309
28	7.5129	4.1906	3.1393
30	7.8077	4.3549	3.2416
32	8.0767	4.5048	3.3333
34	8.1508	4.5464	3.3653
36	8.529	4.7572	3.5023
38	9.0769	5.0631	3.6904
40	8.8901	4.9587	3.6242
42	8.5576	4.7731	3.5113
44	8.7431	4.8766	3.5733

V-model of SUKH			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.9939	5.0166	3.6542
48	8.6565	4.8284	3.5417
50	8.7431	4.8768	3.573
55	9.1716	5.1156	3.722
60	8.8904	4.9601	3.6211
65	8.8447	4.9353	3.6036
70	8.6975	4.854	3.5538
75	8.3181	4.6431	3.4245
80	8.1071	4.5171	3.3515
85	8.092	4.5189	3.3457
90	8.1074	4.5283	3.3504
95	8.1107	4.5293	3.3514
100	8.1066	4.5296	3.3498
110	8.0941	4.5201	3.3455
120	8.1047	4.5306	3.349
130	8.1287	4.5372	3.3572
140	8.1808	4.5526	3.3754
150	8.2006	4.5492	3.3826
160	8.2384	4.5578	3.3959
170	8.2537	4.5531	3.4016
180	8.3058	4.5676	3.4197
190	8.3399	4.5731	3.4317
200	8.3645	4.5729	3.4405
210	8.3877	4.5721	3.4489

V-model of SUKH			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.4151	4.5798	3.4588
230	8.4463	4.5953	3.47
240	8.4775	4.6109	3.4813
250	8.509	4.6263	3.4925
260	8.5401	4.6416	3.5031
270	8.5715	4.6566	3.5138
280	8.6027	4.6712	3.5245
290	8.6338	4.6857	3.5351
300	8.6651	4.7001	3.5458
310	8.6962	4.7147	3.5564
320	8.7274	4.7291	3.567
330	8.7584	4.7434	3.5776
340	8.7894	4.7578	3.5882
350	8.8205	4.7721	3.5988
360	8.8516	4.7869	3.6094
370	8.8825	4.8008	3.6199
380	8.9132	4.8152	3.6304
390	8.9442	4.8298	3.641
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SUKH			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

33 SURA ฝายเก็บน้ำท่าทอง จ. สุราษฎร์ธานี

V-model of SURA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	4.5499	2.5377	2.4012
4	4.6324	2.5838	2.4184
6	4.7635	2.6568	2.4487
8	4.9921	2.7846	2.4988
10	5.2742	2.9418	2.5559
12	5.7219	3.1917	2.6446
14	5.8747	3.2766	2.675
16	5.8853	3.2825	2.6767
18	5.8421	3.2587	2.6679
20	5.8198	3.2462	2.6632
22	6.208	3.4627	2.7622
24	6.3737	3.555	2.8129
26	6.5596	3.6589	2.8657
28	6.8493	3.8204	2.9413
30	6.7048	3.7397	2.9041
32	6.6625	3.7159	2.8933
34	6.9413	3.8719	2.9646
36	6.8355	3.8124	2.9386
38	6.8649	3.8291	2.9446
40	6.8771	3.8358	2.9483
42	6.9435	3.8728	2.9673
44	6.793	3.7891	2.9294

V-model of SURA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	6.9511	3.8772	2.968
48	6.8657	3.8297	2.9482
50	6.7196	3.748	2.9125
55	6.8759	3.8351	2.9511
60	7.1056	3.9641	3.017
65	7.1773	4.0049	3.0413
70	7.2832	4.0647	3.0762
75	7.3832	4.1213	3.1073
80	7.6215	4.2466	3.1837
85	7.7256	4.3142	3.219
90	7.7717	4.3408	3.2343
95	7.7804	4.3446	3.2373
100	7.7864	4.3507	3.2393
110	7.8051	4.3589	3.2456
120	7.8145	4.3682	3.2485
130	7.8491	4.3812	3.26
140	7.8887	4.3901	3.2733
150	7.9186	4.3927	3.2834
160	7.9552	4.4011	3.2957
170	7.9957	4.4106	3.3094
180	8.0302	4.4159	3.3217
190	8.0654	4.4226	3.3343
200	8.1013	4.4291	3.3472
210	8.1366	4.4353	3.3599

V-model of SURA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1768	4.4501	3.3743
230	8.2212	4.4729	3.3902
240	8.2656	4.4956	3.4062
250	8.3101	4.5182	3.4222
260	8.3545	4.5405	3.4381
270	8.3985	4.5626	3.4539
280	8.4431	4.5847	3.4699
290	8.4876	4.6062	3.4859
300	8.5323	4.6281	3.5013
310	8.5766	4.6495	3.5163
320	8.6206	4.6711	3.5313
330	8.6647	4.6926	3.5462
340	8.7088	4.7141	3.5612
350	8.753	4.7356	3.5762
360	8.7975	4.7574	3.5913
370	8.8419	4.7787	3.6063
380	8.8865	4.8009	3.6215
390	8.9311	4.8222	3.6366
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SURA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

34 SURI อ่างเก็บน้ำอำปึม จ. สุรินทร์

V-model of SURI			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.3106	2.4043	2.369
4	5.4503	3.04	2.5905
6	6.5331	3.6441	2.8584
8	6.6078	3.6855	2.8867
10	6.5385	3.6469	2.8746
12	6.9163	3.8578	2.9709
14	7.4144	4.1356	3.1257
16	7.7099	4.3005	3.2217
18	7.6673	4.2767	3.2065
20	7.5106	4.1891	3.1552
22	7.2904	4.0663	3.0825
24	7.2971	4.0701	3.0786
26	7.3734	4.1126	3.1036
28	7.2048	4.0187	3.0477
30	7.1068	3.9639	3.0144
32	7.1015	3.9612	3.0093
34	7.1586	3.993	3.0279
36	7.1904	4.0105	3.0377
38	7.1397	3.9822	3.0246
40	7.4278	4.1433	3.1081
42	7.825	4.3646	3.2473
44	7.7672	4.3325	3.2389

V-model of SURI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.7189	4.3054	3.2198
48	7.7989	4.3499	3.2477
50	7.7948	4.3475	3.252
55	7.8628	4.3856	3.2733
60	8.1317	4.5366	3.3628
65	8.2253	4.5898	3.3897
70	8.3809	4.6775	3.4395
75	8.399	4.6883	3.4462
80	8.3865	4.6729	3.4437
85	8.3533	4.6646	3.4334
90	8.3271	4.6511	3.4247
95	8.3167	4.6442	3.4212
100	8.3017	4.6386	3.4161
110	8.2884	4.6287	3.4116
120	8.2578	4.6161	3.4009
130	8.2582	4.6093	3.4011
140	8.2858	4.6111	3.4108
150	8.3037	4.6061	3.4172
160	8.3161	4.6007	3.4219
170	8.336	4.5983	3.4292
180	8.3647	4.6	3.4393
190	8.3811	4.5955	3.4454
200	8.3983	4.5916	3.4517
210	8.416	4.5877	3.4582

V-model of SURI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.4379	4.5923	3.4661
230	8.4641	4.6049	3.4756
240	8.4901	4.6175	3.4851
250	8.5169	4.6305	3.4945
260	8.5482	4.6459	3.5053
270	8.5794	4.6609	3.5159
280	8.6104	4.6754	3.5266
290	8.6412	4.6895	3.5371
300	8.6715	4.7037	3.5475
310	8.7019	4.7176	3.5579
320	8.7322	4.7314	3.5683
330	8.7625	4.7453	3.5786
340	8.7925	4.7595	3.5889
350	8.8226	4.7733	3.5993
360	8.8535	4.7876	3.6099
370	8.8844	4.8017	3.6204
380	8.9146	4.816	3.6308
390	8.945	4.8299	3.6412
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SURI			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

35 SURT เขื่อนรัชประภา จ.สุราษฎร์ธานี

V-model of SURT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	5.8509	3.2636	2.6726
4	6.252	3.4871	2.7754
6	6.503	3.6272	2.8504
8	6.4269	3.5848	2.8325
10	6.5365	3.6458	2.8616
12	6.751	3.7656	2.9167
14	6.8647	3.8289	2.9464
16	7.2429	4.0401	3.0574
18	7.8151	4.3591	3.2461
20	7.9507	4.4345	3.2922
22	8.0757	4.5044	3.3339
24	7.5723	4.2236	3.1644
26	7.5368	4.2039	3.1494
28	7.6233	4.2521	3.1812
30	7.4432	4.1515	3.124
32	7.8366	4.371	3.2566
34	7.9799	4.451	3.3076
36	8.1643	4.5541	3.3724
38	8.2386	4.5951	3.3991
40	8.2773	4.6165	3.4143
42	8.0024	4.4635	3.318
44	7.8254	4.3648	3.2545

V-model of SURT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.5921	4.2346	3.1771
48	7.5602	4.2169	3.1648
50	7.9433	4.4303	3.2923
55	7.9465	4.4323	3.2976
60	7.9692	4.4459	3.3064
65	7.7624	4.3313	3.2394
70	7.612	4.2481	3.1888
75	7.618	4.2522	3.1885
80	7.6358	4.2547	3.1925
85	7.7068	4.3039	3.2149
90	7.7383	4.3222	3.2254
95	7.7364	4.3202	3.2248
100	7.7425	4.3262	3.2267
110	7.7727	4.3408	3.2366
120	7.7943	4.3572	3.2435
130	7.8203	4.3652	3.2522
140	7.8639	4.3763	3.2668
150	7.8953	4.3798	3.2773
160	7.9381	4.3915	3.2917
170	7.96	4.391	3.2994
180	7.9968	4.3977	3.3118
190	8.0344	4.4053	3.3252
200	8.0711	4.4125	3.3383
210	8.1079	4.4195	3.3514

V-model of SURT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.1492	4.435	3.3662
230	8.1949	4.4585	3.3825
240	8.2406	4.4819	3.3988
250	8.2869	4.5055	3.4153
260	8.3328	4.5291	3.4317
270	8.3788	4.5517	3.4481
280	8.4248	4.5747	3.4645
290	8.4706	4.5969	3.4809
300	8.5167	4.6198	3.4969
310	8.5628	4.6421	3.5125
320	8.6088	4.6646	3.528
330	8.6544	4.687	3.5434
340	8.7	4.7093	3.5587
350	8.7457	4.7315	3.5742
360	8.7912	4.7541	3.5895
370	8.8376	4.7764	3.6052
380	8.8836	4.7992	3.6207
390	8.9295	4.8215	3.6362
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of SURT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

36 TRTT เขื่อนท่างิ้ว จ.ตรัง

V-model of TRTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.4116	3.0185	2.5831
4	5.6848	3.1709	2.6364
6	5.5029	3.0695	2.6011
8	6.2334	3.4768	2.7711
10	6.3743	3.5552	2.8136
12	6.4253	3.5838	2.8288
14	6.5653	3.6619	2.8669
16	6.5228	3.6382	2.8567
18	6.8019	3.7942	2.9284
20	6.9991	3.904	2.9794
22	6.8769	3.8358	2.9481
24	7.0379	3.9257	2.9916
26	7.1039	3.9623	3.0138
28	7.4607	4.1614	3.1272
30	7.6923	4.2907	3.2065
32	7.8047	4.3532	3.2441
34	7.8177	4.3603	3.2485
36	7.6935	4.2913	3.2074
38	7.5474	4.2097	3.1578
40	7.5772	4.2264	3.1678
42	7.6882	4.2882	3.2065
44	7.5559	4.2144	3.1617

V-model of TRTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.8051	4.3535	3.2459
48	7.9063	4.41	3.2826
50	7.774	4.3361	3.2381
55	7.6869	4.2876	3.2082
60	7.8697	4.3905	3.2692
65	7.754	4.3269	3.2322
70	7.512	4.1926	3.1531
75	7.3926	4.1265	3.1149
80	7.3483	4.0944	3.1011
85	7.4276	4.1479	3.1245
90	7.4729	4.174	3.1383
95	7.4929	4.1842	3.1447
100	7.5319	4.2086	3.1573
110	7.5718	4.2284	3.1705
120	7.6024	4.2497	3.1803
130	7.6401	4.2645	3.1929
140	7.6806	4.2742	3.2064
150	7.7325	4.2895	3.2234
160	7.7976	4.314	3.245
170	7.8332	4.3208	3.2571
180	7.876	4.3313	3.2714
190	7.9181	4.3418	3.2856
200	7.9604	4.3521	3.2998
210	8.0025	4.3624	3.3142

V-model of TRTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.0493	4.3807	3.3309
230	8.1008	4.4072	3.3492
240	8.1523	4.4339	3.3676
250	8.2042	4.4606	3.3861
260	8.2557	4.4871	3.4045
270	8.3071	4.513	3.4228
280	8.3586	4.5386	3.4411
290	8.41	4.5639	3.4595
300	8.4617	4.5899	3.4779
310	8.5132	4.6154	3.4959
320	8.5644	4.6407	3.5132
330	8.6151	4.6658	3.5303
340	8.6662	4.6912	3.5475
350	8.717	4.7161	3.5646
360	8.7684	4.7416	3.5819
370	8.8206	4.7672	3.5995
380	8.872	4.7932	3.6168
390	8.9237	4.8183	3.6342
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of TRTT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

37 UBPT เขื่อนปากมูล จ.อุบลราชธานี

V-model of UBPT			
D(KM)	VP(KM/S)	VS(KM/S)	RHO(GM/CC)
2	4.1522	2.3159	2.3446
4	5.132	2.8624	2.5249
6	5.6823	3.1696	2.6375
8	5.2996	2.9561	2.5667
10	5.6354	3.1433	2.6342
12	6.0812	3.3921	2.7339
14	6.4811	3.6152	2.8475
16	6.6494	3.7087	2.8907
18	6.5505	3.6538	2.8623
20	6.541	3.6484	2.8614
22	6.7263	3.7517	2.9086
24	6.7146	3.7454	2.9064
26	6.7534	3.7669	2.9139
28	6.789	3.7866	2.9219
30	6.7497	3.7649	2.9115
32	6.8977	3.8474	2.9492
34	7.1486	3.9872	3.0267
36	7.4557	4.1586	3.1258
38	7.5648	4.2193	3.1648
40	7.5104	4.1892	3.147
42	7.4829	4.1738	3.1398
44	7.4187	4.1378	3.1201

V-model of UBPT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	7.4129	4.1348	3.119
48	7.3617	4.1061	3.1051
50	7.3712	4.1113	3.1123
55	7.3738	4.113	3.1144
60	7.1781	4.0046	3.0515
65	7.3869	4.1217	3.1119
70	7.492	4.1813	3.1417
75	7.5918	4.2376	3.1748
80	7.7539	4.3202	3.2293
85	7.7686	4.3381	3.2359
90	7.7607	4.3349	3.2342
95	7.7608	4.3338	3.2343
100	7.7634	4.3379	3.2352
110	7.7729	4.3411	3.2382
120	7.7728	4.345	3.2381
130	7.79	4.3483	3.2439
140	7.836	4.3605	3.259
150	7.8831	4.3729	3.2744
160	7.9302	4.3871	3.29
170	7.9664	4.3944	3.3022
180	8.0014	4.4	3.3142
190	8.0372	4.407	3.3269
200	8.074	4.4142	3.34
210	8.1108	4.4213	3.3531

V-model of UBPT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.152	4.4367	3.3678
230	8.1975	4.4599	3.384
240	8.2433	4.4833	3.4003
250	8.2891	4.5065	3.4166
260	8.3349	4.53	3.4329
270	8.3808	4.5529	3.4492
280	8.4265	4.5756	3.4656
290	8.4723	4.5979	3.4819
300	8.5185	4.6208	3.4979
310	8.5644	4.643	3.5133
320	8.6102	4.6655	3.5287
330	8.6556	4.6876	3.544
340	8.7011	4.7102	3.5593
350	8.7465	4.7319	3.5746
360	8.7921	4.7546	3.59
370	8.8378	4.7766	3.6053
380	8.8836	4.7994	3.6207
390	8.9294	4.8214	3.6362
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of UBPT			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

38 UMPA สถานีอุตุฯอุ้มผาง จ.ตาก

V-model of UMPA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	4.1524	2.3161	2.3426
4	4.6567	2.5973	2.4242
6	4.9085	2.7379	2.4802
8	5.1141	2.8524	2.5236
10	4.843	2.7014	2.4692
12	4.9923	2.7845	2.5019
14	5.2308	2.9176	2.5475
16	5.2511	2.9289	2.5516
18	5.2112	2.9066	2.5439
20	5.31	2.9619	2.5625
22	5.5326	3.086	2.6087
24	5.9148	3.2991	2.6826
26	6.0191	3.3573	2.7066
28	6.1003	3.4027	2.7318
30	6.5119	3.632	2.8513
32	6.7998	3.7927	2.9284
34	6.5777	3.6689	2.8693
36	6.6486	3.7084	2.8873
38	6.4293	3.5862	2.8297
40	6.5551	3.6562	2.8635
42	6.6177	3.6912	2.8813
44	6.5537	3.6556	2.867

V-model of UMPA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	6.6897	3.7314	2.9023
48	6.759	3.7702	2.9221
50	6.7491	3.7645	2.9214
55	6.6627	3.7162	2.8999
60	6.6018	3.683	2.8838
65	6.975	3.8919	2.9776
70	7.138	3.9837	3.0304
75	7.1329	3.9816	3.0305
80	7.2694	4.0505	3.073
85	7.3407	4.0993	3.096
90	7.3857	4.1254	3.11
95	7.4141	4.1402	3.1187
100	7.4435	4.1593	3.1278
110	7.4693	4.1715	3.1359
120	7.4925	4.1882	3.143
130	7.5324	4.2043	3.1565
140	7.5807	4.2185	3.1726
150	7.6224	4.2285	3.1866
160	7.6733	4.2451	3.2036
170	7.7182	4.2574	3.2187
180	7.7641	4.2695	3.2341
190	7.8103	4.2825	3.2497
200	7.8573	4.2958	3.2654
210	7.9046	4.3089	3.2813

V-model of UMPA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	7.9564	4.3303	3.2987
230	8.0133	4.3596	3.3183
240	8.0698	4.3892	3.3384
250	8.1268	4.4187	3.3587
260	8.1836	4.4476	3.379
270	8.2403	4.4767	3.3992
280	8.2971	4.5053	3.4194
290	8.3537	4.5335	3.4396
300	8.4105	4.5621	3.4598
310	8.4667	4.5901	3.4799
320	8.5229	4.6182	3.4994
330	8.5791	4.6462	3.5183
340	8.6354	4.6743	3.5372
350	8.6916	4.7024	3.5561
360	8.7485	4.7309	3.5753
370	8.8051	4.759	3.5943
380	8.862	4.7876	3.6135
390	8.9185	4.8157	3.6325
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of UMPA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

39 UTHA เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี

V-model of UTHA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.0769	2.8318	2.5172
4	5.5936	3.12	2.6185
6	5.9575	3.3229	2.6901
8	5.8302	3.2517	2.6687
10	5.7711	3.2189	2.6579
12	5.9253	3.3049	2.6867
14	6.2088	3.4631	2.764
16	6.4682	3.6078	2.8418
18	6.5876	3.6745	2.8739
20	6.6536	3.7111	2.8911
22	6.5548	3.6561	2.8631
24	6.5395	3.6475	2.8579
26	6.671	3.721	2.8917
28	6.9293	3.865	2.9594
30	7.6933	4.2911	3.2021
32	7.8161	4.3596	3.2482
34	7.9154	4.4149	3.2813
36	7.8846	4.3978	3.2714
38	7.7608	4.3287	3.2316
40	7.7456	4.3203	3.2284
42	7.8626	4.3855	3.2663
44	7.9677	4.4442	3.3039

V-model of UTHA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.0566	4.4938	3.3371
48	8.1213	4.53	3.3602
50	8.0788	4.5061	3.3443
55	7.9122	4.4133	3.2856
60	7.7228	4.3085	3.2225
65	7.7483	4.3235	3.2299
70	7.6496	4.2693	3.1978
75	7.4783	4.1744	3.142
80	7.5476	4.2055	3.1645
85	7.6593	4.2774	3.2007
90	7.7226	4.3136	3.2213
95	7.7343	4.3189	3.2251
100	7.7495	4.3304	3.23
110	7.7779	4.3434	3.2394
120	7.7888	4.3538	3.2428
130	7.8145	4.3621	3.2512
140	7.8527	4.3699	3.264
150	7.8889	4.3761	3.2761
160	7.9251	4.3843	3.2882
170	7.9671	4.3947	3.3022
180	8.0098	4.4049	3.3168
190	8.0456	4.4118	3.3295
200	8.0819	4.4184	3.3425
210	8.1179	4.4254	3.3553

V-model of UTHA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.159	4.4404	3.3699
230	8.2044	4.4635	3.3861
240	8.2494	4.4867	3.4022
250	8.295	4.5098	3.4185
260	8.3403	4.5331	3.4346
270	8.3858	4.5558	3.4508
280	8.4311	4.5781	3.467
290	8.4765	4.6002	3.4832
300	8.522	4.6227	3.4989
310	8.5675	4.6444	3.5142
320	8.6129	4.6669	3.5295
330	8.6578	4.6886	3.5446
340	8.703	4.7107	3.5599
350	8.748	4.7328	3.575
360	8.7934	4.7552	3.5903
370	8.8389	4.7775	3.6057
380	8.8844	4.7998	3.621
390	8.93	4.8218	3.6363
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of UTHA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

40 UTTA เขื่อนสิริกิต จ.อุตรดิตถ์

V-model of UTTA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
2	5.5128	3.075	2.6044
4	6.0887	3.3962	2.7242
6	6.2267	3.473	2.7687
8	6.2368	3.4787	2.7743
10	6.5125	3.6326	2.8558
12	6.7848	3.7845	2.9237
14	6.7665	3.7743	2.9182
16	6.9951	3.9019	2.9766
18	6.9746	3.8904	2.9712
20	6.7024	3.7384	2.9009
22	6.7908	3.7877	2.9239
24	7.1304	3.977	3.0191
26	7.1504	3.9884	3.026
28	7.1175	3.9701	3.0153
30	6.8756	3.835	2.9474
32	7.1155	3.9687	3.0162
34	7.3907	4.1224	3.1058
36	7.924	4.4198	3.2857
38	8.081	4.5075	3.3408
40	7.9931	4.4585	3.3092
42	8.089	4.5116	3.3432
44	8.1674	4.5557	3.3713

V-model of UTTA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
46	8.246	4.5995	3.3997
48	8.3115	4.636	3.4212
50	8.1463	4.5439	3.3608
55	8.1784	4.5617	3.374
60	8.5095	4.7474	3.4899
65	8.2875	4.6242	3.411
70	8.1397	4.5428	3.3571
75	8.1004	4.5216	3.3433
80	8.1206	4.5246	3.3517
85	8.1246	4.5372	3.3534
90	8.1097	4.5298	3.3484
95	8.1082	4.5276	3.3479
100	8.1024	4.5273	3.3458
110	8.0948	4.5208	3.3433
120	8.0901	4.5225	3.3417
130	8.1058	4.5244	3.3474
140	8.1438	4.5318	3.3609
150	8.1682	4.531	3.3698
160	8.1898	4.5306	3.3775
170	8.2009	4.5235	3.3819
180	8.2475	4.5356	3.3984
190	8.2804	4.5404	3.4101
200	8.3074	4.5415	3.4198
210	8.3327	4.5423	3.429

V-model of UTTA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
220	8.3626	4.5512	3.4398
230	8.3965	4.568	3.4521
240	8.4302	4.5851	3.4642
250	8.4644	4.602	3.4766
260	8.4982	4.6191	3.4888
270	8.5326	4.6353	3.5006
280	8.5667	4.6517	3.5122
290	8.6007	4.6677	3.5238
300	8.6352	4.6838	3.5356
310	8.6691	4.6996	3.5472
320	8.7033	4.7159	3.5588
330	8.7376	4.732	3.5705
340	8.7715	4.748	3.5821
350	8.8054	4.7641	3.5936
360	8.8395	4.7803	3.6053
370	8.8733	4.7958	3.6168
380	8.9073	4.8122	3.6284
390	8.9416	4.8281	3.6401
400	8.9754	4.8442	3.6516
410	9.0119	4.8615	3.6648
420	9.3769	5.0911	3.8108
430	9.4105	5.1123	3.8242
440	9.4438	5.1336	3.8375
450	9.4777	5.1546	3.8511

V-model of UTTA			
D(KM)	**VP(KM/S)**	**VS(KM/S)**	**RHO(GM/CC)**
460	9.5112	5.1758	3.8643
470	9.5449	5.197	3.8771
480	9.5785	5.2181	3.8898
490	9.6119	5.2394	3.9025
500	9.6458	5.2604	3.9154
510	9.6794	5.2816	3.9282
520	9.713	5.3029	3.9409
530	9.7466	5.3242	3.9537
540	9.7799	5.3454	3.9664
550	9.8137	5.3669	3.9792
560	9.8473	5.3883	3.992
570	9.8808	5.4094	4.0047
570	9.9144	5.4306	4.0175

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมหลัก	กิจกรรมรอง	ผลที่ได้รับ
(1) เพื่อศึกษาความหนาของเปลือกโลกในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทยด้วยวิธี receiver function และ (2) คำนวณหาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน ที่เดินทางผ่านในชั้นต่างๆ ของแผ่นเปลือกโลก (crustal seismic velocity) ในประเทศไทย	1-2.1 รวบรวมข้อมูลเก่าที่มีอยู่เดิม เพื่อหาแนวทางการศึกษาวิจัยและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยจะเน้นที่เรื่องการคำนวณหาความหนาของเปลือกโลกและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านเปลือกโลก โดยวิธี Receiver Function	1-2.1.1 ทำการติดตั้งโปรแกรมต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ เช่น Linux, GMT, REFUNC เป็นต้น 1-2.1.2 ศึกษาและและพัฒนาโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา แบบ Receiver Function อย่างละเอียด รวมทั้งทดลองใช้โปรแกรมเพื่อทดสอบการคำนวณหาของชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก จากข้อมูลตัวอย่าง	1.1 ผลการคำนวณความหนาของแผ่นเปลือกโลกบริเวณสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจำนวน 40 สถานี 1.2 แผนที่แสดงความหนาของเปลือกโลกทั่วประเทศไทยทั้ง 40 สถานี
	1-2.2 รวบรวมและคัดกรองข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นระยะไกลที่สามารถใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหว และ ความเร็วและอัตราเร่งของพื้นดิน ณ สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว ของกรมอุตุนิยมวิทยาที่บันทึกได้		
	1-2.3 คำนวณหาความหนา (crustal thickness) และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก (crustal velocity) ในประเทศไทย จากข้อมูลแผ่นดินไหวระยะไกลที่ถูกบันทึกโดยสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว ที่ติดตั้งไว้ตามจังหวัดต่างๆ ที่ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออก ตะวันตก และภาคใต้ ของประเทศไทยทั้งประเทศ	1-2.3.1 จัดทำแผนที่แสดงความหนาของเปลือกโลกและสร้างแบบ จำลองความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก ในบริเวณต่างๆ ของไทย วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของเปลือกโลกในไทย กับลักษณะการแปรธรณีสัณฐานของไทยและบริเวณใกล้เคียง ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ประมวลผล และสรุปผลการศึกษา	

(3) เพื่อตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนในช่วงความลึก 30 เมตรจากผิวดิน (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อให้ทราบผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ทำให้สามารถแยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดิน ณ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดที่มีผลต่อค่าอัตราเร่งของพื้นดินที่ตรวจวัดได้	3.1 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ด้วยวิธี MASW ประมาณ 10 พื้นที่ และด้วยวิธี downhole ประมาณ 4 พื้นที่ พร้อมทั้งจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาของใช้ดินในบริเวณที่มีการเจาะหลุมสำรวจเพื่อวัดความเร็วคลื่นเฉือนโดยวิธี downhole เพื่อใช้แยกแยะผลกระทบของลักษณะชั้นดินที่มีต่อการสั่นไหวที่ผิวดิน โดยจะคัดเลือกจากพื้นที่ที่มีสถานีติดตั้งอยู่ในแอ่งตะกอนอายุน้อยและอยู่ใกล้ชุมชนขนาดใหญ่	3.1.1 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ด้วยวิธี MASW ประมาณ 10 พื้นที่ 3.1.2 ทำการตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยคลื่นเฉือนที่ระดับความลึก 30 เมตร (Vs_{30}) ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่างๆ ด้วยวิธี downhole ประมาณ 4 พื้นที่	3.1 ผลการตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือนจากการสำรวจด้วยวิธี MASW ณ สถานีตรวจวัดอัตราเร่งของกรมอุตุนิยมวิทยาบริเวณภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคกลางของประเทศไทย 3.2 ผลการตรวจวัดความเร็วคลื่นเฉือนจากการสำรวจด้วยวิธี downhole test ที่หลุมเจาะทั้ง 4 แห่ง
(4)เพื่อพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดินได้แก่ อัตราเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด การกระจัดสูงสุด และความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทย	4.1 แยกแยะข้อมูลความเร็วและอัตราเร่งที่บันทึกได้ตามลักษณะชั้นดินของที่ตั้งสถานีที่คลื่นถูกบันทึกมา และคัดแยกข้อมูลตามกลไกการเกิดแผ่นดินไหวพร้อมทั้งคำนวณค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นในช่วง 0 ถึง 5 วินาที		4.1 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทยสำหรับแผ่นดินไหวตื้น

	4.2 ทำการวิเคราะห์การถดถอยทางสถิติ regression analysis และพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว สำหรับประมาณความรุนแรงของการสั่นไหว (attenuation equation) เช่นอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) ความเร็วสูงสุดของพื้นดิน (peak groundvelocity, PGV) การกระจัดสูงสุดของพื้นดิน (peak grounddisplacement, PGD) และ ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม (Spectral Acceleration, Sa)		4.2 รูปแบบสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเทศไทย สำหรับแผ่นดินไหวบริเวณเขตมุดตัวของเปลือกโลก
(5) เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่วิศวกรนำไปใช้กระทำต่อโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบประวัติเวลาในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว	5.1 รวบรวมข้อมูลการศึกษาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่พื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทย เช่น ข้อมูลที่ใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย เพื่อกำหนดลักษณะสถานการณ์แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด	5.1.1 คัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่เช่น ในจังหวัดต่างๆ ที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว	5.1 ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวเพื่อเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหว สำหรับใช้ในการออกแบบอาคาร สำหรับกรุงเทพมหานคร จังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี

	5.2 ทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความรุนแรงตามระดับความเสี่ยงที่กำหนดในมาตรฐานการออกแบบอาคาร เพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปกระทำต่ออาคารในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว ตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1302-52) โดยมีทั้ง 2 ทิศทางในแนวราบ	5.2.1 จัดทำฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวที่คูณปรับค่าให้เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์และออกแบบอาคาร	