ฐานข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย

นายมาณพ เจริญยุทธ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATABASE OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS RECORDED IN THAILAND

Mr.Manop Charoenyuth

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฐานข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย
โดย	นายมาณพ เจริญยุทธ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัศมี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาณพ เจริญยุทธ : ฐานข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย. (DATABASE OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS RECORDED IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี, 169 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลอัตราเร่งและนำมาศึกษาอย่างเป็นระบบ การศึกษานี้พยายามรวบรวมบันทึกการสั่นไหวของพื้นดินจากหลายหน่วยงานในประเทศไทย แต่ได้ข้อมูลประวัติเวลาความเร่งและความเร็วส่วนใหญ่มาจากกรมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากไม่สามารถได้ข้อมูลดังกล่าวจากหน่วยงานอื่น กรมอุตุนิยมวิทยามีการติดตั้งเครื่องตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวระบบใหม่จำนวน 15 สถานี ในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นระบบดิจิทัลที่ทันสมัยและสะดวก เพราะสามารถดึงข้อมูลได้จากอินเทอร์เน็ต ข้อมูลจากเครื่องระบบใหม่นี้ได้ถูกรวบรวมประมวลผลและตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปจัดทำฐานข้อมูล ซึ่งสะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์และใช้งานทางวิศวกรรม คลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ถูกแปลงให้เป็นประวัติเวลาของความเร่ง ความเร็ว และการกระจัด และถูกสร้างเป็นสเปกตรัมผลตอบสนองความเร่งเทียม ความเร็วเทียม และการเสียรูปสูงสุด จากนั้นงานวิจัยได้นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยคำนวณค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าความเร่งสูงสุดที่บันทึกได้กับค่าจากสมการลดทอน ซึ่งขึ้นกับขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด ผลการศึกษาพบว่า สมการลดทอนของ Sadigh และคณะ (1997) และ Idriss (1993) ทำนายความเร่งสูงสุดได้ใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้ในประเทศไทยมากที่สุด และการศึกษานี้ได้นำคลื่นแผ่นดินไหวที่รวบรวมได้ไปใช้ศึกษาการขยายความรุนแรงของคลื่นเนื่องจากชั้นดินอ่อนใน กทม. ซึ่งพบว่าสามารถขยายความรุนแรงได้ 3-4 เท่า ทำให้ความเร่งสูงสุดบนผิวดินอ่อนใน กทม. มีค่าประมาณ 0.097g โดยมีโอกาสรุนแรงกว่าค่านี้เท่ากับ 10% ในช่วงเวลา 50 ปี ท้ายที่สุดงานวิจัยนี้ได้เสนอสเปกตรัมเพื่อการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งได้จากสเปกตรัมแบบมัธยฐานและค่าที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์

ภาควิชา......วิศวกรรมโยธา...................... ลายมือชื่อนิสิต......มาณพ เจริญยุทธ.............
สาขาวิชา......วิศวกรรมโยธา...................... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..............................
ปีการศึกษา 2550

4870428321 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: GROUND MOTIONS / PEAK GROUND ACCELERATION / ATTENUATION MODEL

MANOP CHAROENYUTH : DATABASE OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS RECORDED IN THAILAND. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHATPAN CHINTANAPAKDEE, Ph.D., 169 pp.

The objective of this research is to collect and study the earthquake ground motions recorded in Thailand because there is not yet any easily accessible database of ground motion data in Thailand that is convenient for engineering analysis and applications. This study tried to collect ground motions from various agencies, but most of the collected ground motion time history records were obtained from the Thai Meteorological Department (TMD), which has recently deployed new recording instruments at 15 stations across the country in 2006. Data from the new system can be downloaded from the internet and were processed and verified before included in the ground motion database. The processed data include ground accelerations, velocities, and displacements, and the pseudo-acceleration, pseudo-velocity, and deformation response spectra are also provided. Next, peak ground acceleration (PGA) data from the database were used in an analysis to determine the attenuation model suitable for Thailand. The square-root-of-mean-of-error-squares (RMS) was computed for each attenuation model. Lower RMS indicates lower error; thus, a more suitable model. It was found that the attenuation models for active tectonic regions proposed by Sadigh et al. (1997) and Idriss (1991) have the lowest RMS; thus, they are the most suitable attenuation models for Thailand. Ground motions from the database were also used in the study of amplification of earthquake ground motions due to soft soil deposit at Bangkok. It was found that the ground motion in Bangkok can be amplified by 3 to 4 times due to site response and the peak ground acceleration on soft soil in Bangkok could be about 0.097g, which has 10% probability of exceedence in 50 years. Lastly, smooth design response spectra derived from 84^{th} percentile and median spectra were provided.

Department :......CIVIL ENGINEERING.........Student's signature :.....มานพ เจริญยุทธ

Field of study :...CIVIL ENGINEERING.........Advisor's signature :..........

Academic year : 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในงานวิจัยในครั้งนี้มาโดยตลอด รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของอาจารย์เป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ในฐานะประธานกรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัศมี ในฐานะกรรมการสอบที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณบุรินทร์ เวชบรรเทิง จากกรมอุตุนิยมวิทยา และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กรมชลประทาน เจ้าหน้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เจ้าหน้าที่กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลด้วยเช่นกัน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนทั้งในอดีตและปัจจุบันและที่สำคัญผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย พี่สาว รวมถึงญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจ รวมทั้งเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ........ ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง........ ฌ

สารบัญภาพ........ ฏ

บทที่ 1 บทนำ........ 1

1.1 ความเป็นมา........ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย........ 5

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 5

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ........ 6

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง........ 9

2.1 พื้นฐานวิศวกรรมแผ่นดินไหว 9

2.1.1 การเกิดแผ่นดินไหว 9

2.1.2 การวัดขนาดของแผ่นดินไหว 12

2.1.3 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว 13

2.2 การคำนวณความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดิน 15

2.2.1 การหาปริพันธ์ (integration) 15

2.2.2 การหาอนุพันธ์ (differentiation) 16

2.3 ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ทและการหาระยะทางบนผิวโลก 17

2.3.1 ตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ท 17

2.3.2 การหาระยะทางบนผิวโลก 18

2.4 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว........ 19

2.5 สเปกตรัมผลตอบสนอง (response spectrum) 31

บทที่ 3 การรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว........ 34

3.1 รายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว (catalog) 34

3.2 สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวและเครื่องมือตรวจวัด 42

3.3 การปรับแก้เส้นฐานและการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว 52

หน้า

3.3.1 การปรับแก้เส้นฐาน..52
3.3.2 การกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว 54
3.4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล 61
3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล..68
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว 73
4.1 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย 73
4.2 การขยายคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานคร 88
4.3 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับกรุงเทพมหานครเพื่อการออกแบบโครงสร้าง.......99
บทที่ 5 ฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว 111
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา 117
รายการอ้างอิง..119
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล...125
ภาคผนวก ข รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้และอัตราการขยายตัว
ของคลื่นแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร 144
ภาคผนวก ค การจำแนกลักษณะของดิน 150
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 169

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548) ... 9
2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548) ... 13
3.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ ... 35
3.2 รายละเอียดเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548) ... 43
3.3 เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งก่อนปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549) ... 46
3.4 รายละเอียดเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549) ... 47
3.5 เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่เมื่อปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549) ... 49
3.6 เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาศึกษา ... 52
3.7 ชนิดของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ ... 68
3.8 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวทั้ง 4 เครื่องของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่ กรมอุตุนิยมวิทยา ... 70
3.9 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดนครราชสีมา เพชรบูรณ์ และ สกลนคร ... 71
4.1 ลักษณะดินที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 ของกรมอุตุนิยมวิทยา ... 74
4.2 การจำแนกจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ตามจุดกำเนิดแผ่นดินไหวและลักษณะดินที่ตั้งระหว่าง กค. 2549 ถึง กค. 2550 ... 76
4.3 ค่าคุณลักษณะต่างๆ ของแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ ... 78
4.4 ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวแต่ละชุด ... 79
4.5 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของผลต่าง (RMS) ... 87
4.6 คุณลักษณะของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร (Ashford et al., 1997) ... 88
4.7 ตัวแปรต่างๆของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร (Ashford et al., 1997) ... 89
4.8 รายการคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ ... 92
4.9 ค่าคาดการณ์ค่าสูงสุดของความเร่งบนหินโผล่ (PRA) ในกรุงเทพมหานคร ... 96

ตารางที่ หน้า

4.10 ค่ามัธยฐานของอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวที่ค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่ (PRA) ต่างๆ โดยใช้ข้อมูลดินจากค่าการประมาณที่ดีที่สุด (best-estimate) 97
5.1 โครงสร้างของฐานข้อมูล 116

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 สถิติแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ.2526–2547 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547)........ 3

1.2 รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)........ 4

1.3 ผังงานขั้นตอนการดำเนินการของการศึกษานี้........ 8

2.1 การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลายภายในโลก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547)........ 11

2.2 แนวแผ่นดินไหวของโลก (http://bingweb.binghamton.edu/~ajones/)........ 11

2.3 จุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้พื้นโลก (hypocenter) และ จุดกำเนิดแผ่นดินไหวบนผิวดิน (epicenter)........ 12

2.4 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ (ก) P-wave (ข) S-wave (ค) LR-wave (ง) LQ-wave (Kramer, 1996)........ 14

2.5 การหาปริพันธ์ (integration) (Kreyszig, 1999)........ 15

2.6 ฟังก์ชันผลตอบสนองเชิงแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน บัตเตอร์เวิร์ท (ลัญฉกร, 2549)........ 18

2.7 ความพลิ้ว (ripple) (ลัญฉกร, 2549)........ 18

2.8 (ก) ความเร่งของแผ่นดินไหว (ข) ผลตอบสนองการเสียรูปของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดียว 3 ระบบ ที่มีค่า ζ = 2% และ T_n = 0.5, 1, และ 2 วินาที (ค) สเปกตรัมผลตอบสนองการเสียรูป ที่มีค่า ζ = 2% (Chopra, 2001)........ 32

2.9 สเปกตรัมผลตอบสนอง ที่มีค่า ζ = 0.02 ของคลื่นแผ่นดินไหวที่สถานี El Centro จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Imperial Valley ปี 1940 (ก) สเปกตรัมผลตอบสนองการเสียรูป (ข) สเปกตรัมผลตอบสนองความเร็วเทียม (ค) สเปกตรัมผลตอบสนองความเร่งเทียม (Chopra, 2001)........ 33

3.1 ตัวอย่างรายการเหตุการณ์แผ่นดินไหวจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด (www.globalcmt.org)........ 34

3.2 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งตามขนาดแผ่นดินไหว ระหว่าง เดือน ก.ค. 2549-ก.ค. 2550........ 37

3.3 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งตามเหตุการณ์ที่เกิดในเขตมุดตัวของเปลือกโลก และ เหตุการณ์ที่ไม่เกิดในเขตมุดตัวของเปลือกโลก ระหว่าง เดือน ก.ค. 2549-ก.ค. 2550........ 38

รูปที่ หน้า

3.4 เว็บของฮาร์วาร์ดที่แสดงรูปแบบการสืบค้นรายการแผ่นดินไหว (www.globalcmt.org)... 39

3.5 เว็บของกรมอุตุนิยมวิทยา (www.tmdseismology.com)..39

3.6 หน้าจอแสดงโปรแกรม SeisGram2K (www.alomax.net) 41

3.7 ตัวอย่างแฟ้มข้อความจากโปรแกรม SeisGram2K... 41

3.8 เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวก่อนปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)..45

3.9 สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งเมื่อปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)..48

3.10 ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนคงที่ a_0 ในประวัติเวลาของความเร่งซึ่งทำให้ความเร็วและการกระจัดหลังการสั่นสะเทือนสิ้นสุดไม่สมจริง (Hudson, 1979) 53

3.11 ประวัติเวลาของความเร่งของพื้นดินของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของสถานีจังหวัดจันทบุรี 55

3.12 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม (ค่าความหน่วง = 0.05) ของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของสถานีจังหวัดจันทบุรี 55

3.13 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม (ค่าความหน่วง = 0.05) ของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก (ก) วันที่ 12 กันยายน 2007 เวลา 11:11:17 M_W =8.4 (ข) วันที่ 12 กันยายน 2007 เวลา 23:49:34 M_W =7.9 และ (ค) วันที่ 13 กันยายน 2007 เวลา 03:35:37 M_W =7.0...58

3.14 กราฟความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับเวลา ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 M_W =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎร์ธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics (ก) ก่อนการกรองสัญญาณ (ข) หลังการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน HP= 0.01 Hz... 59

3.15 ฟูเรียร์สเปกตรัมของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับความถี่ ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 M_W =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎร์ธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics (ก) ก่อนการกรองสัญญาณ (ข) หลังการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน HP= 0.01 Hz. 60

รูปที่		หน้า

3.16 กราฟความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับเวลา ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎร์ธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics หลังการกรองสัญญาณ HP= 0.01 Hz. LP=10 Hz 61

3.17 เว็บของกรมอุตุนิยมวิทยา หัวข้อระบบเครือข่ายแผ่นดินไหว Online (www.tmdseismology.com) 62

3.18 เว็บสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ (www.tmdseismology.com) 62

3.19 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อสืบค้นข้อมูล 63

3.20 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อชนิดข้อมูล 63

3.21 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อการเลือกสัญญาณ 64

3.22 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อเวลาที่ดาว์นโหลด 64

3.23 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อรูปแบบข้อมูล 65

3.24 ภาพหน้าจอจากโปรแกรม SeisGram2K เมื่อเปิดไฟล์ miniseed 65

3.25 ภาพหน้าจอจากโปรแกรม SeisGram2K เมื่อต้องการแปลงข้อมูล 66

3.26 ความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดินในแนวดิ่ง ที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องตรวจแผ่นดินไหวทั้ง 4 แบบที่สถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด M_W = 6.3 เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม เวลา 15.56 น. เกิดในประเทศลาว ห่างจากสถานี 278 กม 72

4.1 ลักษณะดินที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งปี 2549 ของกรมอุตุนิยมวิทยา..... 75

4.2 ระยะทางกับขนาดแผ่นดินไหว (M_W) ของข้อมูลที่ใช้ 77

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งสูงสุดของพื้นดิน PGA กับ ระยะห่างจากจุดกำเนิด (ไม่ได้แยกตามขนาดของแผ่นดินไหว) 77

4.4 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน active tectonic region 81

4.5 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน stable continental region 82

4.6 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน subduction zone 83

4.7 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน โดยใช้แบบจำลองใน active tectonic region 85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ หน้า

4.8 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน โดยใช้แบบจำลองใน stable continental region....86

4.9 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน โดยใช้แบบจำลองใน subduction zone....87

4.10 ค่าประมาณที่ดีที่สุดของความเร็วคลื่นเฉือนของกรุงเทพมหานคร (Ashford et al., 1997)....90

4.11 แผนผังแสดงการใส่ข้อมูลคลื่นเฉือนที่ชั้นหินดานหรือชั้นหินโผล่ (Schnabel et al., 1972)....91

4.12 ประวัติเวลาความเร่งของสถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ในประเทศลาว วันที่ 16 พฤษภาคม 2007....92

4.13 ประวัติเวลาความเร่งของสถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ในประเทศเมียนมาร์ วันที่ 23 มิถุนายน 2007....93

4.14 ประวัติเวลาความเร่งของสถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ในประเทศเมียนมาร์ วันที่ 30 กรกฎาคม 2007....93

4.15 ประวัติเวลาความเร่งของสถานี Cliffhouse จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ใน Loma Prieta ประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 17 ตุลาคม 1989....94

4.16 ประวัติเวลาความเร่งของสถานี Diamond Heights จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ใน Loma Prieta ประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 17 ตุลาคม 1989....94

4.17 ประวัติเวลาความเร่งของสถานี Pasadena จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ใน Kern County ประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 12 กรกฎาคม 1952....95

4.18 ความสัมพันธ์ของค่าการขยายตัวของคลื่นเทียบกับที่หินดานกับค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่....98

4.19 ความสัมพันธ์ของค่าการขยายตัวของคลื่นเทียบกับที่หินโผล่กับค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่....98

4.20 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ (PRA=0.03g, ความหน่วง= 0.05)....100

4.21 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของคลื่นที่ชั้นหินดาน (PRA=0.03g, ความหน่วง= 0.05)....100

รูปที่ หน้า

4.22 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของคลื่นที่ผิวดินอ่อน (PRA=0.03g, ความหน่วง= 0.05) 101

4.23 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05) 102

4.24 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินดานที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05) 102

4.25 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ผิวดินที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05) 103

4.26 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05) 103

4.27 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินดานที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05) 104

4.28 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ผิวดินที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05) 104

4.29 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินดาน 105

4.30 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ 106

4.31 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินดาน.... 106

4.32 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ 107

4.33 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม และการเสียรูปเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ผิวดิน 108

4.34 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม และการเสียรูปเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ 108

4.35 มัธยฐานและค่าที่ 84 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของสเปกตรัมผลตอบสนองอีลาสติกของความเร่งเทียม (PRA=0.03g, ความหน่วง 5%).... 110

รูปที่ หน้า
5.1 หน้าเว็บไซต์ให้ค้นหาข้อมูล 111
5.2 หน้าเว็บไซต์แสดงผลการค้นหาข้อมูล 112
5.3 หน้าเว็บไซต์แสดงรายละเอียดของแต่ละเหตุการณ์ 112
5.4 แฟ้มข้อความที่มีข้อมูลความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน 114
5.5 ประวัติเวลาของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน 114
5.6 แฟ้มข้อความที่มีข้อมูลสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม การเสียรูป ที่ค่าความหน่วงต่างๆ 115
5.7 กราฟสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม การเสียรูป ที่ค่าความหน่วงต่างๆ 115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

แผ่นดินไหวเป็นภัยธรรมชาติที่ก่อความเสียหายอย่างร้ายแรง ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ โดยปกติแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่มักเกิดบริเวณแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ได้แก่ แนวแผ่นดินไหวของโลก หรือแนวรอยเลื่อนที่ยังสามารถเคลื่อนตัว เป็นต้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายรุนแรง เช่น ขนาดแผ่นดินไหว ตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ใกล้ชุมชนมากน้อยเพียงใด สภาพทางธรณีวิทยาของบริเวณที่ได้รับผลกระทบ มาตรฐานการก่อสร้างอาคาร รวมถึงการตระหนักถึงภัยแผ่นดินไหว ถ้ามีการเตรียมพร้อมที่ดีจะสามารถบรรเทาภัยภิบัติจากแผ่นดินไหวได้มาก เป็นต้น

การเกิดแผ่นดินไหวแม้เพียงขนาดปานกลาง สามารถทำให้เกิดความเสียหายกับสิ่งก่อสร้างที่ไม่แข็งแรงได้ ทั้งนี้เนื่องจากขาดการเตรียมพร้อมล่วงหน้า ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 11 กันยายน 2537 บริเวณ อ.พาน จ.เชียงราย ขนาด 5.1 ริคเตอร์ ก่อให้เกิดความเสียหายกับโรงเรียน วัดและเจดีย์เป็นจำนวนราว 50 แห่ง รวมถึงอาคารในโรงพยาบาลพาน 1 อาคารเสียหายจนต้องระงับการใช้งานโดยทำให้เสาสั้นของอาคารโรงพยาบาลพานแตกร้าวมากกว่า 10 ต้น (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และเป็นหนึ่ง วานิชชัย, 2538) และวันที่ 12 กรกฎาคม 2538 ได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.2 หน่วยริคเตอร์ ที่พรมแดนพม่าและจีน ซึ่งมีผลทำให้ยอดพระธาตุดอยสุเทพหักลงมา และมีอาคารในจังหวัดเชียงรายได้รับความเสียหายบ้างเล็กน้อย เป็นต้น สำหรับสถิติแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีจุดกำเนิดอยู่บริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันตก และบริเวณทะเลอันดามัน (รูปที่ 1.1)

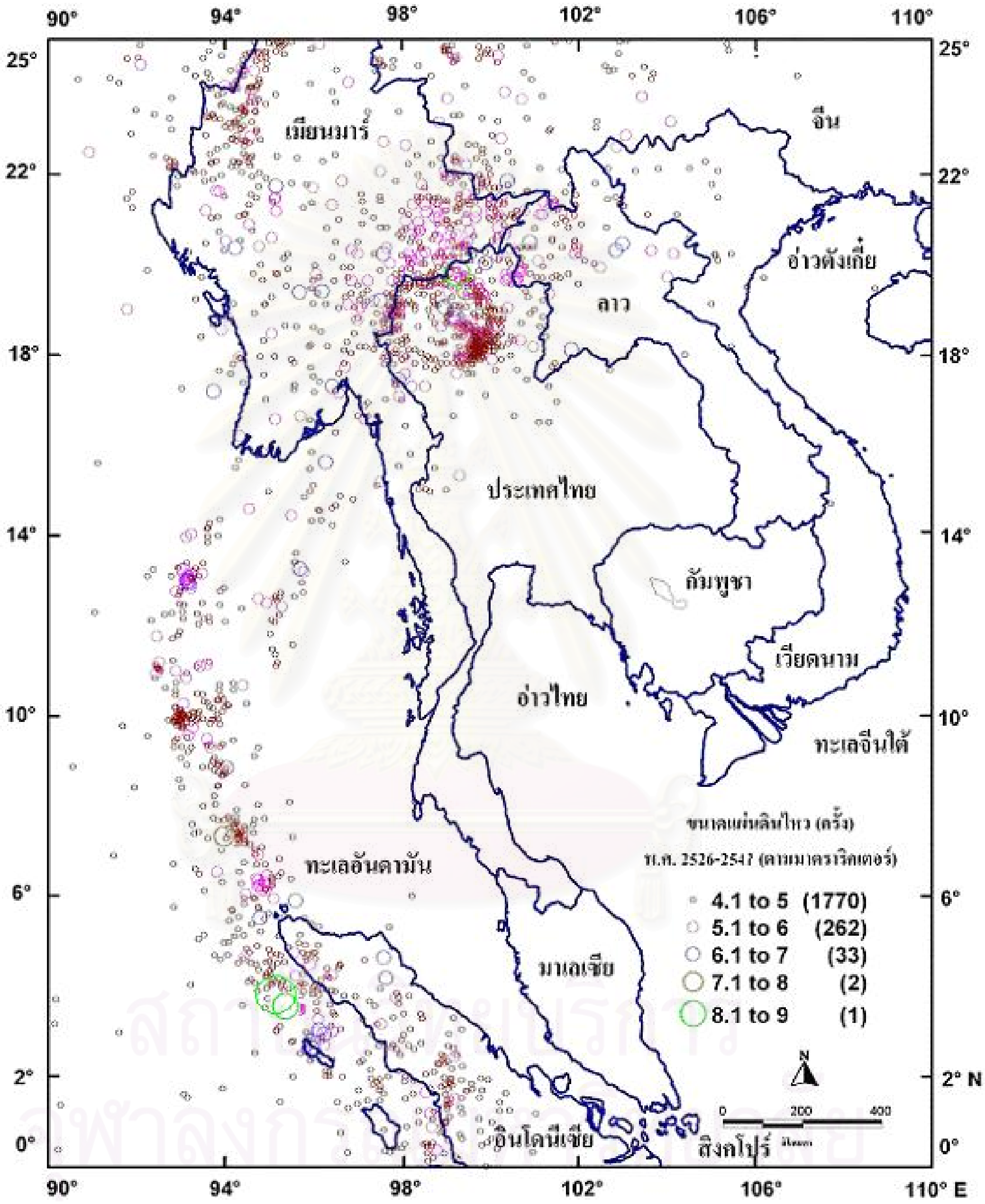
ซึ่งหลักฐานจากการตรวจวัดเหล่านี้สอดคล้องกับคุณลักษณะทางธรณีวิทยาของประเทศไทย ที่ปรากฏมีแนวรอยเลื่อนอยู่หลายแนวดังรูปที่ 1.2 และมีศักยภาพพอจะทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดปานกลางได้ในบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตก จนอาจส่งผลกระทบเกิดความเสียหายได้เป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นจึงมิอาจมองข้ามผลของแผ่นดินไหวในการออกแบบโครงสร้างอาคารดังเช่นที่เคยปฏิบัติมาอีกต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยการออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันภัยจากแผ่นดินไหวนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐานหลายประการเป็นอย่างมาก สำหรับการดำเนินการเพื่อให้เหมาะสมกับความเสี่ยงแผ่นดินไหวในพื้นที่ต่างๆกัน เช่น ข้อมูลแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ข้อมูลรอยเลื่อนต่างๆทั้งทางด้านธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ ข้อมูลสถิติแผ่นดินไหว ข้อมูลคลื่นความสั่นสะเทือนของพื้นดิน ข้อมูลความเร่งของพื้นดิน ข้อมูลสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ต่างๆ เป็นต้น ข้อมูลพื้นฐานด้านแผ่นดินไหวเหล่านี้ยังขาดแคลนและมีไม่มากนัก กระจัดกระจายอยู่หลายแหล่งและไม่เป็นปัจจุบัน อีกทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลยังไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว ของหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ ที่มีเครือข่ายตรวจวัดแผ่นดินไหว

ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานเริ่มมีการนำเครื่องมือตรวจวัดที่ทันสมัย ในระบบดิจิทัลมาทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนของพื้นดิน แต่ยังไม่มีการวิเคราะห์และรวมรวมได้อย่างสมบูรณ์และเป็นปัจจุบัน หากข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้ยังไม่ชัดเจน การดำเนินการจัดการที่จะเผชิญภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย ก็จะเกิดการผิดพลาดและส่งผลร้ายสะท้อนต่อชีวิตและทรัพย์สิน ความเป็นอยู่ของประชาชนเป็นจำนวนมากได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการรวบรวมข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 สถิติแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ.2526–2547 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.2 รอยเลื่อนที่มีพลังในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์

1) เพื่อรวบรวมข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว ของแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยโดยรวบรวมจากแหล่งข้อมูลภายในประเทศ เพื่อใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรม

2) เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาปรับรูปแบบให้มีความเหมาะสมและสะดวกต่อการนำไปใช้งานในทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างและวิศวกรรมแผ่นดินไหว

3) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความเร่งของพื้นดินสำหรับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยหรือประเทศใกล้เคียงที่มีคลื่นเดินทางมาถึงประเทศไทย โดยเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบดิจิทัล

4) เพื่อหาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย เพื่อใช้ในการประมาณความรุนแรงของการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่พื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทย

5) เพื่อหาค่าการขยายคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานคร และประมาณค่าความเร่งที่ผิวดินอ่อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้

6) เพื่อหาค่าสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับกรุงเทพมหานครเพื่อการออกแบบโครงสร้าง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นถึงการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหว เพื่อนำไปประยุกต์ต่อซึ่งมีขอบเขตดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหว ที่สำคัญจากหน่วยงานต่างๆของภาครัฐ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน และกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ แต่ข้อมูลที่ได้รับจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน และกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ ไม่ได้ให้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวในระบบดิจิทัล แบบประวัติเวลา (time history) จึงไม่ได้นำมารวมในการศึกษานี้

2) รายการแผ่นดินไหวนำมาจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด โดยเลือกพิจารณาแผ่นดินไหวที่มีขนาด M_W (moment magnitude) ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิกัด 0 ถึง 25 องศาเหนือ และ 90 ถึง 110 องศาตะวันออก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยและบริเวณประเทศใกล้เคียงที่ส่งผลกระทบถึงประเทศไทย และรายการแผ่นดินไหวอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง กรกฎาคม 2549 ถึง กรกฎาคม 2550

3) หาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทยจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 18 ชุดสมการ

4) หาค่าการขยายคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากดินอ่อนเฉพาะที่กรุงเทพมหานคร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1) รวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากสถานีตรวจวัดทั่วประเทศไทย จากกรมอุตุนิยมวิทยา

2) คัดเลือกข้อมูลตามวันที่เกิดแผ่นดินไหวจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด

3) วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการกระจัดผิวดินสูงสุด (PGD) ความเร็วผิวดินสูงสุด (PGV) ความเร่งผิวดินสูงสุด (PGA)

3.1) แปลงไฟล์ข้อมูลแผ่นดินไหวจากสัญญาณดิจิทัลให้เป็นแฟ้มข้อความแบบ ASCII (text file)

3.2) <u>ในกรณีที่ใช้เครื่องตรวจวัดแบบวัดความเร็ว (seismograph)</u>

- แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของความเร็วของพื้นดิน แล้วให้แสดงรูปกราฟออกมาโดยใช้โปรแกรม MATLAB

- แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของความเร่งของพื้นดินโดยการหาอนุพันธ์ (differentiation) ความเร็วของพื้นดิน แล้วให้แสดงรูปกราฟออกมาโดยใช้โปรแกรม MATLAB

- แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของการกระจัดของพื้นดินโดยการหาปริพันธ์ (Integration) ความเร็วของพื้นดิน แล้วให้แสดงรูปกราฟ ออกมาโดยใช้โปรแกรม MATLAB

<u>ในกรณีที่ใช้เครื่องตรวจวัดแบบวัดแบบวัดความเร่ง (accelerograph)</u>

- แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของความเร่งของพื้นดิน แล้วให้แสดงรูปกราฟออกมาโดยใช้โปรแกรม MATLAB

- แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของความเร็วของพื้นดินโดยการหาหาปริพันธ์ (Integration) ความเร่งของพื้นดิน แล้วให้แสดงรูปกราฟออกมาโดยใช้โปรแกรม MATLAB

- แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของการกระจัดของพื้นดินโดยการหาปริพันธ์ (Integration) ความเร็วของพื้นดิน แล้วให้แสดงรูปกราฟออกมาโดยใช้โปรแกรม MATLAB

4) หาระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดที่วัดได้

5) แยกประเภทข้อมูล เช่น ความเร็ว ความเร่ง การกระจัด ระยะทาง ข้อมูลเครื่องตรวจวัดให้สอดคล้องกัน

6) จัดทำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวโดยใช้โปรแกรม MySQL ในการจัดเก็บข้อมูล

7) หาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทยโดยหาได้จากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 18 สมการ ที่เลือกมาแล้วหาสมการที่เหมาะสม

8) หาค่าการขยายคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานคร โดยนำคลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกไว้จากเงื่อนไขที่กำหนดมาทำการหาค่าการขยายตัวของดินโดยใช้โปรแกรม ProShake ช่วยในการหา

9) หาค่าสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับกรุงเทพมหานครเพื่อการออกแบบโครงสร้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปขั้นตอนการดำเนินการในรูปแบบผังงานสามารถดูได้จากรูปที่ 1.3

รูปที่ 1.3 ผังงานขั้นตอนการดำเนินการของการศึกษานี้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานวิศวกรรมแผ่นดินไหว

2.1.1 การเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวคือการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

เกิดใต้เปลือกโลก	เกิดบนเปลือกโลก	ทั้งใต้และบนเปลือกโลก
1.แผ่นดินไหวจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกตามแนวรอยเลื่อน 2.การระเบิดใต้ดิน 3.การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลาย 4.การทำเหมือง 5.การยุบตัวใต้ดิน	1.การชนของอุกาบาต 2.ความสั่นสะเทือนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จราจร ระเบิด เป็นต้น	1.การระเบิดของภูเขาไฟ 2.แผ่นดินถล่ม

แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่

- แผ่นดินไหวเกิดจากแรงภายในเปลือกโลก (tectonic earthquake)
- แผ่นดินไหวเกิดจากภูเขาไฟระเบิด (volcano eruption)
- แผ่นดินไหวเกิดจากการยุบตัวหรือพังทลายของโพรงใต้ดิน (implosion)

แผ่นดินไหวที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่

- การจราจร การใช้เครื่องจักรกล การระเบิดบนพื้นผิวหรือใต้ดิน เป็นต้น
- แผ่นดินไหวอาจเกิดจากการกระตุ้น (induced or triggered events) เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำ การทำเหมือง การฉีดของเหลวลงใต้ดิน เป็นต้น

โดยทั่วไปแผ่นดินไหวที่ทำความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นจำนวนมาก ได้แก่แผ่นดินไหวซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวนี้ คือ

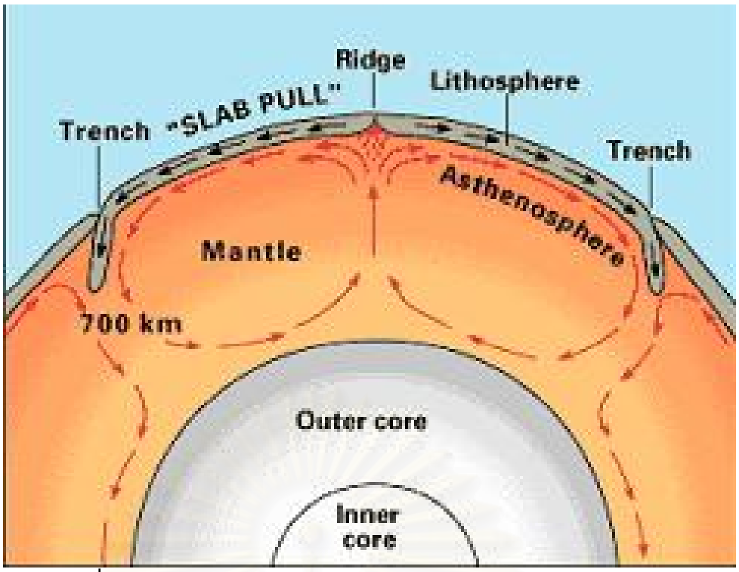
ก. ลักษณะโครงสร้างของโลก ซึ่งสามารถแบ่งได้คร่าวๆ เป็น 3 ส่วน คือ

- แกนโลก (core) ซึ่งอยู่ลึกที่สุดและมีอุณหภูมิสูงมาก แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนนอกเป็นแร่ธาตุที่หลอมเหลว ส่วนชั้นในเป็นแกนแข็ง

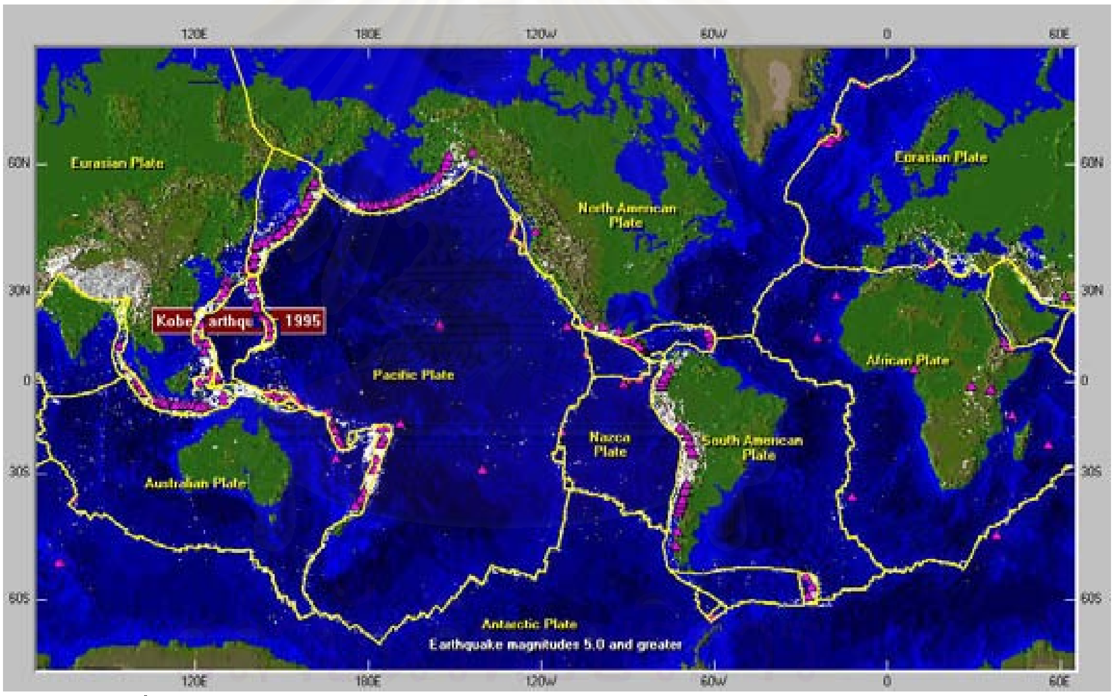
- ชั้นหินหลอมละลาย (mantle) เป็นของแข็งซึ่งมีคุณสมบัติหนืด (viscoelastic) มีการเคลื่อนตัวคล้ายของเหลวแต่ช้ามากอยู่ในระดับหลายเซนติเมตรต่อปี

- เปลือกโลก (crust) คือ ส่วนที่ห่อหุ้มโลกอยู่ชั้นนอกสุดมีความหนาน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของโลกและไม่ได้เป็นชิ้นเดียวกันทั้งหมด แบ่งออกเป็นชิ้นใหญ่ๆ ได้ประมาณ 10 ชิ้น

ข. การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกชิ้นต่างๆ เกิดจากชั้นหินหลอมละลายได้รับพลังงานความร้อนจากแกนโลกและลอยตัวขึ้นผลักดันเปลือกโลกอยู่ตลอดเวลาดังรูปที่ 2.1 เปลือกโลกแต่ละชิ้นจะมีทิศทางการเคลื่อนตัวต่างๆ กันและมีพลังงานจลน์ของการเลื่อนตัวของมวลอย่างช้าๆ บริเวณตรงขอบของเปลือกโลกเป็นส่วนที่เกิดการชนกันหรือเสียดสีกันหรือแยกจากกันทำให้เกิดการสะสมพลังงานความเครียดไว้และอาจผลักดันให้เปลือกโลกอีกชิ้นคดโค้ง หากบริเวณขอบของชิ้นส่วนของแผ่นเปลือกโลก ไม่สามารถทนความเค้นได้ก็จะเกิดการไถลบริเวณรอยต่อที่เรียกว่ารอยเลื่อน (fault) และมีการเคลื่อนตัวโดยฉับพลัน ในแผ่นเปลือกโลกพลังงานความเครียดที่สะสมไว้จำนวนมากก็จะดีดตัวทำให้เกิดคลื่นความสั่นสะเทือนในแผ่นเปลือกโลกแผ่กระจายไปทุกทิศทาง บริเวณนั้นจะเป็นบริเวณที่กำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ บริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกต่างๆ จึงเป็นบริเวณที่กำเนิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ของโลกอยู่บ่อยครั้งดังแสดงในรูปที่ 2.2 หากแนวดังกล่าวพาดผ่านหรืออยู่ใกล้กับประเทศใด ประเทศนั้นจะมีความเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหวค่อนข้างสูง เช่น ประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ชิลี สหรัฐอเมริกา เป็นต้น ตำแหน่งที่รอยต่อของแผ่นเปลือกโลก หรือรอยเลื่อน (fault) เริ่มเกิดการไถลภายในเปลือกโลกเรียกว่าจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ดิน (hypocenter) และตำแหน่งบนผิวดินที่ตรงดิ่งกับจุดกำเนิดใต้ดินเรียกว่า จุดกำเนิดแผ่นดินไหวบนผิวดิน (epicenter) ซึ่งสามารถกำหนดพิกัดโดยใช้ค่า ละติจูดและลองจิจูด ส่วนตำแหน่งของจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ดิน สามารถกำหนดได้โดย ใช้ค่าความลึกร่วมกับพิกัดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบนผิวดิน ดังรูปที่ 2.3

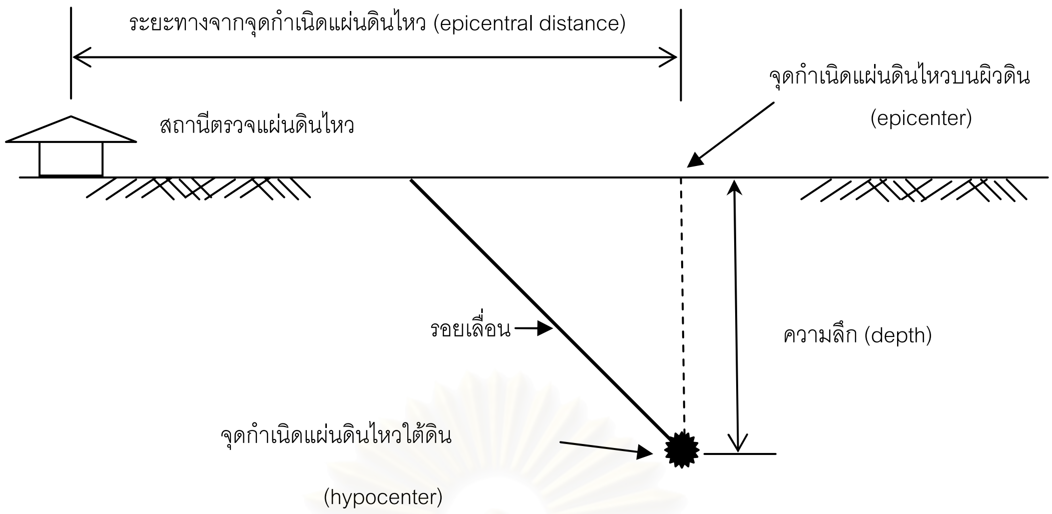


รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวของหินหลอมละลายภายในโลก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547)



รูปที่ 2.2 แนวแผ่นดินไหวของโลก (http://bingweb.binghamton.edu/~ajones/)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 จุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้พื้นโลก (hypocenter) และ จุดกำเนิดแผ่นดินไหวบนผิวพื้น (epicenter)

2.1.2 การวัดขนาดของแผ่นดินไหว

ขนาด (magnitude) เป็นปริมาณที่ใช้บ่งบอกความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่แผ่นเปลือกโลกปลดปล่อยออกมาในรูปของการสั่นสะเทือน ได้มีการเสนอให้วัดขนาดของแผ่นดินไหวด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่

- M_L (local magnitude) เป็นการวัดขนาดแผ่นดินไหวในยุคเริ่มแรก ขนาดประเภทนี้เสนอโดย C. F. Richter นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน ดังนั้นหน่วยของขนาด M_L ที่ใช้จึงเป็น “ริคเตอร์” การวัดขนาดนี้ใช้ได้ดีกับแผ่นดินไหวในท้องถิ่นซึ่งอยู่ในระยะใกล้ (ระยะทางน้อยกว่า 1,000 กิโลเมตร) M_L คำนวณได้จากความสูง (amplitude) ของคลื่นซึ่งตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนแบบ การกระจัด (displacement) เรียกว่า เครื่อง Wood Anderson โดยนำค่าของความสูงของคลื่นที่สูงที่สุดของคลื่น S ซึ่งมีคาบของช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 วินาที มาใช้ในการคำนวณ

- m_b เรียกว่าขนาดของคลื่นภายใน (body-wave magnitude) ใช้วัดขนาดของเหตุการณ์แผ่นดินไหวทั้งระยะใกล้และระยะไกล (ระยะทางมากกว่า 1,000 กิโลเมตร) ในการคำนวณใช้คลื่นหลักซึ่งได้แก่คลื่น P ที่มีคาบของช่วงคลื่นประมาณ 1.0-5.0 วินาที

- M_S เรียกว่าขนาดคลื่นผิวพื้น (surface-wave magnitude) ใช้วัดขนาดของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ ในการคำนวณใช้คลื่นผิวพื้นที่มีคาบของช่วงคลื่นประมาณ 18-22 วินาที

- M_W ขนาดโมเมนต์ (moment magnitude) เป็นขนาดแผ่นดินไหวที่อ้างอิงกับปริมาณพลังงานที่ปล่อยออกมา ซึ่งทำให้สามารถวัดขนาดของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ๆ ได้ดีกว่าขนาดชนิดอื่น M_W สามารถคำนวณได้จาก โมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment, M_0) โดยที่ M_0 สามารถคำนวณได้จากหลายวิธี เช่น จากการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งค่อนข้างซับซ้อนหรือจากการสำรวจทางธรณีวิทยาเพื่อหาการกระจัดของการไถลของรอยเลื่อนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว (fault slip) และขนาดพื้นที่ของรอยเลื่อน (fault rupture area) ขนาด M_W เป็นการวัดขนาดของแผ่นดินไหวที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุดในขณะนี้

ตารางที่ 2.2 การคำนวณขนาดแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

ขนาด	**สูตรคำนวณ**	**คลื่นแผ่นดินไหว**	**คาบช่วงคลื่น (วินาที)**	**การตรวจวัด**
M_L	$\log A - \log A_0$	S	0.1-1.0	displacement
m_b	$\log (A/T) + Q (d,R)$	P	1.0-5.0	velocity
M_S	$\log A + 1.66 \log R + 2.0$	Surface	20	velocity
M_W	$(2/3 \log M_0) - 10.7$	Surface	>200	velocity

เมื่อ T = คาบของการสั่นไหว

A = แอมปลิจูดของการเคลื่อนที่ของคลื่น

R = ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด (distance) และ

d = ความลึก (depth)

ขนาดของแผ่นดินไหวประเภทหนึ่งอาจเทียบเท่ากับขนาดประเภทอื่นได้จากสูตรซึ่ง Gutenberg และ Richter ได้เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1956 ดังนี้

$$M_S - m_b = 0.40(M_S - 7.0) \quad (2.1)$$

$$M_L - m_b = 0.40(M_B - 6.0) \quad (2.2)$$

$$M_S - M_L = 0.32(M_L - 6.6) \quad (2.3)$$

$$M_S - M_L = 0.47(M_S - 6.7) \quad (2.4)$$

2.1.3 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว

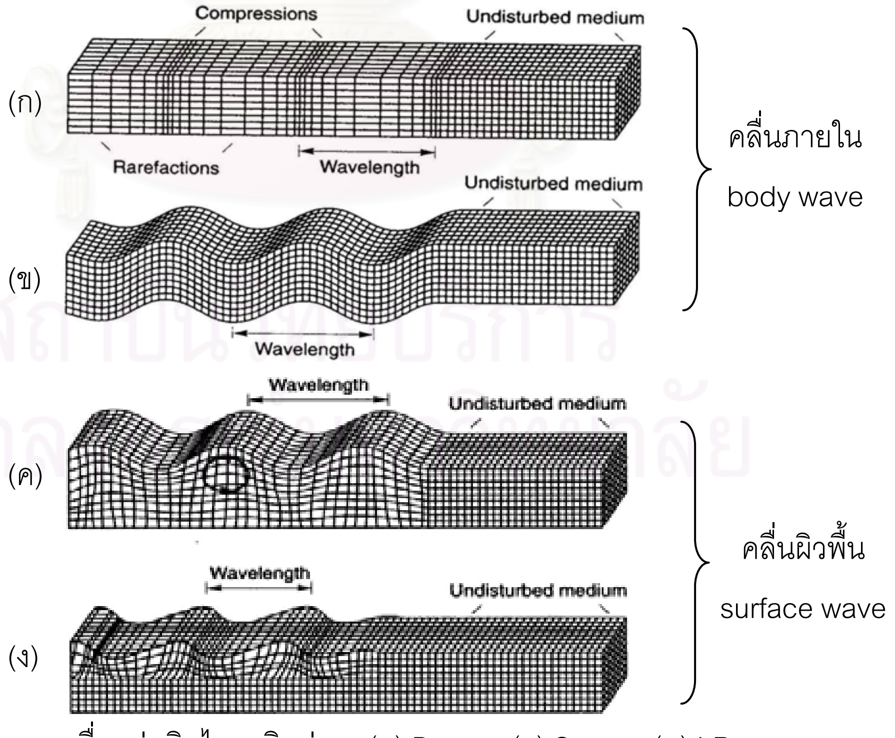
ความสั่นสะเทือนของพื้นดินนั้นมีลักษณะการเคลื่อนตัวของอนุภาคหินหรือดินแบบ 3 มิติ คือเคลื่อนตัวในแนวระนาบของทิศเหนือ-ใต้ ตะวันออก-ตะวันตก และแนวดิ่ง ทั้งนี้คลื่น

แผ่นดินไหวสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน 2 แบบ ได้แก่ (1) แบบวัดความเร็วของอนุภาคดินหรือหิน (seismograph) ซึ่งสามารถวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวเพื่อการกำหนดตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหว ขนาด เวลาเกิด ตลอดจนสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโลก ลักษณะของแนวรอยเลื่อน กลไกการเกิดแผ่นดินไหว และ (2) เครื่องมือแบบวัดความเร่งของพื้นดิน ได้แก่ เครื่องวัดความเร่งของพื้นดิน (accelerograph) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหว ในบริเวณพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

คลื่นแผ่นดินไหวแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักแสดงดังรูปที่ 2.4 ได้แก่

- คลื่นภายใน (body wave) เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ภายใต้โลก ได้แก่ คลื่น P (primary) อนุภาคของดินเคลื่อนที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น และคลื่น S (secondary) อนุภาคดินเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น หากคลื่นเคลื่อนที่จากใต้ผิวดินขึ้นสู่ผิวดินในแนวดิ่ง อนุภาคของดินเนื่องจากคลื่น S จะเคลื่อนที่ในแนวระนาบ เช่น ทิศเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก คาบช่วงคลื่นภายในอยู่ระหว่าง 0.01-50 วินาที

- คลื่นผิวพื้น (surface wave) เป็นคลื่นที่เคลื่อนตัวบริเวณผิวดิน ได้แก่ คลื่นเลิฟ (love : LQ) ซึ่งอนุภาคดินเคลื่อนที่ในแนวระนาบเหมือนการเคลื่อนที่ของงูเลื้อย และคลื่น เรย์เลห์ (rayleigh : LR) ซึ่งอนุภาคของดินเคลื่อนที่เป็นวงรีอยู่ในระนาบดิ่ง คล้ายคลื่นผิวน้ำ คาบของช่วงคลื่นผิวพื้นอยู่ในช่วงประมาณ 10-350 วินาที



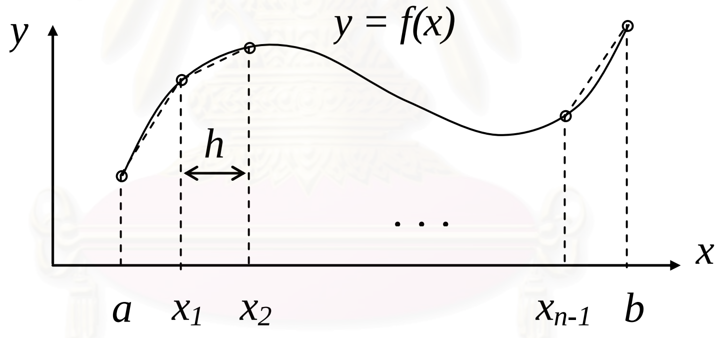
รูปที่ 2.4 ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวชนิดต่างๆ (ก) P-wave (ข) S-wave (ค) LR-wave (ง) LQ-wave (Kramer, 1996)

2.2 การคำนวณความเร่งความเร็ว และการกระจัดของพื้นดิน

2.2.1 การหาปริพันธ์ (integration)

ในการศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยทั่วไปตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาและใช้ในการวิเคราะห์แผ่นดินไหวประกอบด้วย ความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดินโดยตัวแปรทั้ง 3 ตัวมีความสัมพันธ์กันซึ่งเมื่อเราทราบค่าใดค่าหนึ่งก็จะสามารถคำนวณหาค่าอื่นได้โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยการหาปริพันธ์ (integration) ของค่าความเร่งจะได้ค่าความเร็วและหาปริพันธ์ของค่าความเร็วจะได้การกระจัดของพื้นดินตามลำดับ และในทางกลับกันเราสามารถใช้การหาอนุพันธ์ (differentiation) ของค่าการกระจัดของพื้นดินจะได้ค่าความเร็ว และหาอนุพันธ์ของค่าความเร็วก็จะได้ค่าความเร่งของพื้นดิน

การหาปริพันธ์ (integration) ของข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกค่าเป็นช่วงๆ ของเวลาสามารถทำโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal rule) ซึ่งสมมติว่าค่าการเคลื่อนที่ระหว่างช่วงเวลาแปรเปลี่ยนแบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การหาปริพันธ์ (integration) (Kreyszig, 1999)

$$J = \int_a^b f(x)dx \approx h\left[\frac{1}{2}f(a) + f(x_1) + f(x_2) + \ldots + f(x_{n\text{-}1}) + \frac{1}{2}f(b)\right] \tag{2.5}$$

โดยที่ J = พื้นที่ใต้กราฟระหว่างช่วง a ถึง b

h = $(b-a)/n$

n = จำนวนช่วงย่อย

เมื่อนำมาประยุกต์สามารถใช้แปลงความเร่งให้เป็นความเร็วได้ดังสมการที่ 2.6 หรือแปลงความเร็วให้เป็นการกระจัดดังสมการที่ 2.7

$$V_n = V_{n\text{-}1} + \frac{h}{2}(A_n + A_{n\text{-}1}) \tag{2.6}$$

$$D_n = D_{n\text{-}1} + \frac{h}{2}(V_n + V_{n\text{-}1}) \tag{2.7}$$

โดยที่ h = ช่วงเวลาของการบันทึกข้อมูลแต่ละค่า (time step, Δt) มีค่าเท่ากับ = $1/Fs$

Fs = ความถี่ของการบันทึกข้อมูล (sampling frequency)

D = การกระจัดของพื้นดิน (ground displacement)

V = ความเร็วของพื้นดิน (ground velocity)

A = ความเร่งของพื้นดิน (ground acceleration)

n = ลำดับที่ n ของข้อมูล

2.2.2 **การหาอนุพันธ์** (differentiation)

วีธีการหาอนุพันธ์ (differentiation) ที่นิยมใช้ได้แก่ วิธีผลต่างกลาง (central difference method) เพราะสามารถให้ค่าประมาณที่มีความถูกต้องมากขึ้น วิธีนี้มีหลักการโดยประมาณค่า $f\,'(x)$ ด้วยพหุนาม $p_2'(x)$ ดังสมการที่ 2.8 ซึ่ง $p_2(x)$ คือ พหุนามลากรานจ์ (Lagrange polynomial)

$$f\,'(x) \approx p_2'(x) = \frac{2x - x_1 - x_2}{2h^2} f_0 - \frac{2x - x_0 - x_2}{h^2} f_1 + \frac{2x - x_0 - x_1}{2h^2} f_2 \tag{2.8}$$

เมื่อแทนค่า x ด้วย x_0, x_1, x_2 จะได้

$$f_0'(x) \approx \frac{1}{2h}(-3f_0 + 4f_1 - f_2) \tag{2.9}$$

$$f_1'(x) \approx \frac{1}{2h}(-f_0 + f_2) \tag{2.10}$$

$$f_2'(x) \approx \frac{1}{2h}(f_0 - 4f_1 + 3f_2) \tag{2.11}$$

แทนค่าสมการที่ 2.9 และ 2.10 ลงไปในสมการที่ 2.11 จะได้

$$f_2'(x) \approx \frac{1}{12h}(f_0 - 8f_1 + 8f_3 - f_4) \tag{2.12}$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้สูตรการคำนวณอนุพันธ์ด้วยวิธีผลต่างกลางอันดับ 4

$$f_n^{'}(x) \approx \frac{1}{12h}(f_{n-2} - 8f_{n-1} + 8f_{n+1} - f_{n+2}) \qquad (2.13)$$

สมการที่ 2.13 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแปลงข้อมูลค่าความเร็วให้เป็นความเร่ง หรือ แปลงค่าการกระจัดให้เป็นความเร็ว

2.3 ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ทและการหาระยะทางบนผิวโลก

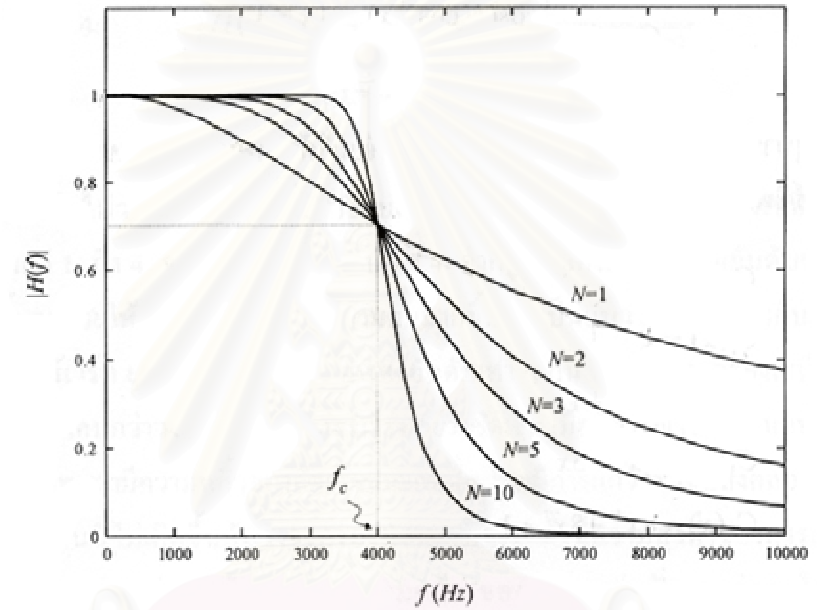
2.3.1 ตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ท

ตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ N (N^{th} order Butterworth filter) มีผลตอบสนองเชิงแอมพลิจูด (amplitude response) ดังนี้

$$|H(f)| = \frac{G}{\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_c}\right)^{2N}}} \qquad (2.14)$$

เมื่อ G คืออัตราการขยายแถบผ่าน (passband gain) ซึ่งในกรณีของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านบัตเทอร์เวิร์ท กำหนดให้มีค่าเท่ากับอัตราการขยายที่ความถี่เท่ากับ 0 เฮิรตซ์ กล่าวคือ $G = |H(0)|$ สำหรับ f_c แทนความถี่ตัด (cutoff frequency) ของตัวกรอง ที่ความถี่ดังกล่าวผลตอบสนองเชิงแอมพลิจูดจะลดลงเหลือเท่ากับ $|H(f_c)| = G/\sqrt{2}$ นั่นคือมีอัตราการขยายลดลงเหลือ $1/\sqrt{2}$ เท่าเทียบกับอัตราขยายแถบผ่าน พิจารณาจากรูปที่ 2.6 ที่แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองเชิงแอมพลิจูด ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านบัตเทอร์เวิร์ทอันดับต่างๆ กัน โดยกำหนดความถี่ตัดที่เดียวกันคือ 4000 เฮิรตซ์ สังเกตได้ว่าเมื่อตัวกรองมีอันดับเพิ่มมากขึ้นอัตราขยายมีการเปลี่ยนแปลงจากแถบผ่าน (passband) คือ แถบที่ความถี่สามารถผ่านได้ ไปสู่แถบหยุด (stopband) คือ แถบที่ความถี่ไม่สามารถผ่านได้ ได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น นั่นคือตัวกรองมีความคมมากขึ้น นอกจากนี้ให้สังเกตด้วยว่าในช่วงแถบผ่านหรือแถบหยุดไม่มีการแกว่งตัวขึ้นลงของอัตราขยายแต่อย่างใด (maximally flat) เนื่องจากผลตอบสนองเชิงแอมพลิจูดมีค่าลดลงตลอดตามการเพิ่มขึ้นของความถี่ จึงจัดว่ามีคุณลักษณะของฟังก์ชันโมโนโทนิก (monotonic function) และเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านบัตเทอร์เวิร์ท เนื่องจากมีอันดับให้เลือก

หลายอันดับ ถ้าเลือกที่อันดับสูงๆ จะมีความคมมากขึ้นทำให้ในโดเมนของเวลามีความพลิ้ว (ripple) เกิดขึ้น ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งรูปทางด้านซ้ายอยู่ในโดเมนของ ω เมื่อแปลงกลับมาในโดเมนของเวลาแล้วจะได้รูปทางด้านขวามือ แต่ถ้าเลือกอันดับน้อยๆ ก็จะมีการลดทอนของแอมพลิจูดช้ากว่า ทำให้ความถี่ที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ตัดไม่ได้ถูกกรองออกไปหมดในแถบหยุด ในกระบวนการจัดการข้อมูลของสำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา (USGS, http://nsmp.wr.usgs.gov/processing.html) ได้เลือกใช้ตัวกรองความถี่บัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ตามนั้น



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันผลตอบสนองเชิงแอมพลิจูดของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านบัตเตอร์เวิร์ท (ลัญฉกร, 2549)

รูปที่ 2.7 ความพลิ้ว (ripple) (ลัญฉกร, 2549)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 การหาระยะทางบนผิวโลก

เมื่อเราทราบค่าละติจูดและลองจิจูดของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (epicenter) และสถานีตรวจวัด เราสามารถหาระยะทางระหว่าง 2 จุดบนผิวโลก ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta\sigma = \cos^{-1}(\sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos|\Delta\lambda|) \tag{2.15}$$

เมื่อ ϕ = ละติจูด

λ = ลองจิจูด

$\Delta\lambda$ = ผลต่างของลองจิจูด

$\Delta\sigma$ = มุมระหว่างเส้นที่ลากจากจุด 2 จุดบนผิวโลกไปยังจุดศูนย์กลางโลก

1° ของ $\Delta\sigma$ = 111.23 กิโลเมตร ซึ่งเทียบได้กับระยะบนผิวโลกของมุมลองจิจูด 1° ที่เส้นศูนย์สูตร (www.ncgia.ucsb.edu)

2.4 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว 18 ชุดสมการ โดยแบ่งกลุ่มชุดสมการเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) พื้นที่มีการแปรธรณีสัณฐาน (active tectonic region) (2) ภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental region) และ (3) เขตมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zone)

2.4.1 พื้นที่มีการแปรธรณีสัณฐาน (active tectonic region)

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพื้นที่มีการแปรธรณีสัณฐาน (active tectonic region) มี 9 ชุดสมการ ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ

2.4.1.1 สมการของ Abrahamson and Silva (1997)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Abrahamson and Silva (1997) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.4-7.4 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 0–220 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.16

$$\ln Y = f_1(M_W, r_{rup}) + f_2(M_W)F + f_3(M_W, r_{rup})HW + f_4(S, A_{rock}) \tag{2.16}$$

$$f_1(M_W, r_{rup}) = \begin{cases} 1.64 + 0.512(M_W - 6.4) + [-1.145 + 0.17(M_W - 6.4)]\ln R \;; M_W \le 6.4 \\ 1.64 - 0.144(M_W - 6.4) + [-1.145 + 0.17(M_W - 6.4)]\ln R \;; M_W > 6.4 \end{cases}$$

$$f_1(M_W) = \begin{cases} 0.610 & ;\ M_W \le 5.8 \\ 0.610 - \dfrac{0.35}{0.60} & ;\ 5.8 < M_W < 6.4 \\ 0.260 & ;\ M_W \ge 6.4 \end{cases}$$

$$f_3(M_W, r_{rup}) = f_{HW}(M_W)\, f_{HW}(r_{rup})$$

$$f_{HW}(M_W) = \begin{cases} 0 & ;\ M_w \le 5.5 \\ M_W - 5.5 & ;\ 5.5 < M_w < 6.5 \\ 1 & ;\ M_w \ge 6.5 \end{cases}$$

$$f_{HW}(r_{rup}) = \begin{cases} 0 & ;\ r_{rup} \le 4\ \text{km} \\ 0.370[(r_{rup} - 4)/4] & ;\ 4 < r_{rup} \le 8\ \text{km} \\ 0.370 & ;\ 8 < r_{rup} \le 18\ \text{km} \\ 0.370[1 - ((r_{rup} - 18)/7)] & ;\ 18 < r_{rup} \le 25\ \text{km} \\ 0 & ;\ r_{rup} > 25\ \text{km} \end{cases}$$

$$f_4(S, A_{rock}) = [-0.417 - 0.230\ln(A_{rock} + 0.03)]S$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยในแนวราบ หรือแนวดิ่ง ของ PGA (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

r_{rup} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดจากรอยเลื่อนที่เกิดการไถล (rupture distance) (กิโลเมตร)

R = $\sqrt{{r_{rup}}^2 + 5.60^2}$

F = ชนิดของรอยเลื่อน

= 1 สำหรับการเคลื่อนที่แบบย้อน (reverse)

= 0.5 สำหรับการเคลื่อนที่แบบเฉียง (oblique)

= 0 สำหรับการเคลื่อนที่แบบอื่นๆ

HW = ตัวแปรสำหรับพิจารณาว่าที่ตั้งอยู่ในแผ่นเปลือกโลกที่อยู่ด้านบนของรอยเลื่อน (hanging wall effect)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= 1 สำหรับพื้นที่ที่อยู่ในแผ่นเปลือกโลกแผ่นบนของรอยเลื่อน

= 0 สำหรับพื้นที่อื่นๆ

S = ประเภทของดินที่พื้นที่ที่กำลังพิจารณา

= 0 สำหรับพื้นที่ที่เป็นหิน

= 1 สำหรับพื้นที่ที่เป็นดิน และ

A_{rock} = ค่าเฉลี่ยของความเร่งสูงสุดบนพื้นที่ที่เป็นหินโผล่

2.4.1.2 **สมการของ** Ambraseys et al. (2005)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Ambraseys et al. (2005) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 5.0–7.6 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 0–120 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.17

$$\log Y = 2.522 - 0.142M_W + (-3.184 + 0.314M_W)\log\sqrt{{r_{jb}}^2 + 7.6^2} + 0.137S_S + 0.05S_A - 0.084F_N + 0.062F_T - 0.044F_O \quad (2.17)$$

โดยที่ Y = ความเร่งในแนวราบของ PGA (เมตรต่อวินาที^{2})

M_W = ขนาดโมเมนต์

r_{jb} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดถึงภาพฉายบนผิวดินของรอยเลื่อนส่วนที่เกิดการไถล นิยามตาม Joyner และ Boore

S_S = 1 สำหรับพื้นที่ที่อยู่บนดินอ่อนและอ่อนมาก

= 0 สำหรับพื้นที่อื่นๆ

S_A = 1 สำหรับพื้นที่ที่อยู่บนดินแข็ง

= 0 สำหรับพื้นที่อื่นๆ

F_N = 1 สำหรับรอยเลื่อนแผ่นดินไหวแบบธรรมดา (normal fault)

= 0 สำหรับแบบอื่นๆ

F_T = 1 สำหรับรอยเลื่อนแผ่นดินไหวแบบย้อนมุมต่ำ (thrust fault)

= 0 สำหรับแบบอื่นๆ และ

F_0 = 1 สำหรับรอยเลื่อนแผ่นดินไหวแบบแปลก (odd fault)

= 0 สำหรับแบบอื่นๆ

2.4.1.3 **สมการของ** Boore, Joyner and Fumal (1997)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Boore, Joyner and Fumal (1997) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 5.5–7.5 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 0–80 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.18

$$\ln Y = -0.242 + 0.527(M_W - 6) - 0.778\ln r - 0.371\ln\left(\frac{V_s}{1396}\right) \qquad (2.18)$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของความเร่งในแนวราบทั้งสองแกน (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

r = $\sqrt{{r_{jb}}^2 + h^2}$ โดยที่ r_{jb} = ระยะทางแบบ Joyner-Boore เท่ากับ ระยะทางในแนวราบที่ใกล้ที่สุดจากสถานีไปยังพื้นที่ภายฉายบนผิวดินของรอยเลื่อนที่เกิดการไถล และ h = 5.57 กิโลเมตร และ

V_s = ค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนในชั้นดินตั้งแต่ผิวดินลึกลงไป 30 เมตร (เมตรต่อวินาที)

2.4.1.4 **สมการของ** Campbell (1997)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Campbell (1997) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.7–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 3-60 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.19

$$\begin{aligned}\ln Y = &-3.512 + 0.904M_W - 1.328\ln\sqrt{{r_{seis}}^2 + [0.149\exp(0.647M_W)]^2} \\ &+ [1.125 - 0.112\ln(r_{seis}) - 0.0957M_W]F + [0.440 - 0.171\ln(r_{seis})]S_{SR} \\ &+ [0.405 - 0.222\ln(r_{seis})]S_{HR}\end{aligned} \qquad (2.19)$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของ PGA ในแนวราบทั้งสองแกน (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

r_{seis} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดจากพื้นที่ที่บันทึกได้ไปยังรอยเลื่อนที่เกิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร)

F = ลักษณะของรอยเลื่อน

= 0 สำหรับแบบชนและไถลในแนวราบ (strike-slip)

= 1 สำหรับแบบย้อนกลับ (reverse), แบบย้อนมุมต่ำ (thrust), แบบเฉียง (oblique) และ แบบย้อนมุมต่ำและเฉียง (thrust-oblique) และ

S_{SR}, S_{HR} = ตัวแปรเพื่อพิจารณาสภาพชั้นดินที่ตั้ง

โดยที่

S_{SR} = S_{HR} = 0 สำหรับดินที่ตะกอนน้ำพัดมา หรือ ดินแข็ง

S_{SR} = 1, S_{HR} = 0 สำหรับหินผุ

S_{SR} = 0, S_{HR} = 1 สำหรับหินแข็ง

2.4.1.5 สมการของ Esteva and Villaverde (1973)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Esteva and Villaverde (1973) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวที่สถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 15-150 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.20

$$Y = \frac{1230\exp^{0.8M}}{(R+25)^2} \qquad (2.20)$$

โดยที่ Y = PGA (เซนติเมตรต่อวินาที^{2})

M = ขนาดแผ่นดินไหว และ

R = ระยะทางถึงจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ผิวโลก (hypocentral) (กิโลเมตร)

2.4.1.6 สมการของ Idriss (1993)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Idriss (1993) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.6–7.4 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 1-100 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.21

$$\ln Y = [C_1 + \exp(C_2 + C_3 M)] - [\exp(C_4 + C_5 M)]\ln(r_{rup} + 20) + 0.2F \qquad (2.21)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ Y = PGA ในแนวราบ (g)

M = ขนาดแผ่นดินไหว

r_{rup} = ระยะทางน้อยที่สุดไปยังรอยเลื่อนส่วนที่เกิดการไถล (กิโลเมตร) และ

F = ชนิดของรอยเลื่อน

= 1 สำหรับการเคลื่อนที่แบบย้อน (reverse)

= 0.5 สำหรับการเคลื่อนที่แบบเฉียง (oblique)

= 0 สำหรับการเคลื่อนที่แบบอื่นๆ

C_1 = -0.150, C_2 = 2.261, C_3 = -0.083, C_4 = 1.602 และ C_5 = -0.142 เมื่อ $M \leq 6.0$

C_1 = -0.050, C_2 = 3.477, C_3 = -0.284, C_3 = 2.475 และ C_3 = -0.286 เมื่อ $M > 6.0$

2.4.1.7 **สมการของ** Sabetta and Pugliese (1987)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Sabetta and Pugliese (1987) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.6–6.8 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 1.5-180 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ 2.22

$$\log_{10} Y = -1.562 + 0.306M - \log_{10} \sqrt{r^2 + 5.8^2} + 0.169S \quad (2.22)$$

โดยที่ Y = ค่า PGA ในแนวราบที่มากที่สุด (g)

M = ขนาดแผ่นดินไหว

r = ระยะทางถึงภาพฉายบนผิวดินของรอยเลื่อน (กิโลเมตร) และ

S = ประเภทของพื้นดินที่ตั้ง

= 0 สำหรับพื้นที่ที่เป็นดินแข็งและลึก (stiff and deep soil) ที่มี V_s > 800 เมตรต่อวินาที

= 1 สำหรับพื้นที่ที่เป็นดินตื้น (shallow soil)

2.4.1.8 **สมการของ** Sadigh et al. (1997)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Sadigh et al. (1997) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.0–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 0-100 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ 2.23

$$\ln Y = C_1 + C_2 M_W + C_3 \left[\ln r_{rup} + \exp(C_4 + C_5 M_W) \right] \qquad (2.23)$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยแบบเรขาคณิตของ PGA ในแนวราบทั้งสองแกน (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์ และ

r_{rup} = ระยะทางน้อยที่สุดไปยังรอยเลื่อนส่วนที่เกิดการไถล (กิโลเมตร)

C_1 = -0.624, C_2 = 1.0, C_3 = -2.1, C_4 = 1.29649 และ C_5 = 0.250 เมื่อ $M \leq 6.5$

C_1 = -1.274, C_2 = 1.1, C_3 = -2.1, C_4 = -0.48451 และ C_5 = 0.524 เมื่อ $M > 6.5$

2.4.1.9 **สมการของ** Spudich et al. (1997)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Spudich et al. (1997) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 5.0–7.7 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 1.5-180 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.24

$$\log_{10} Y = 0.156 + 0.229(M_W - 6) - 0.945 \log_{10} R + 0.077S \qquad (2.24)$$

โดยที่ Y = ความเร่งสูงสุดในแนวราบ (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

R = $\sqrt{{r_{jb}}^2 + 5.57^2}$ โดยที่ r_{jb} = ระยะทางแบบ Joyner-Boore (กิโลเมตร) และ

S = 0 สำหรับพื้นที่ที่เป็นหิน

= 1 สำหรับพื้นที่ที่เป็นดิน

2.3.2 **ภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ** (stable continental region)

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental region) มี 4 ชุดสมการ ดังนี้

2.4.2.1 **สมการของ** Atkinson and Boore (1997b)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Atkinson and Boore (1997b) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.0–7.5 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 10-500 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.25

$$\ln Y = 1.841 + 0.686(M_W - 6) - 0.123(M_W - 6) - \ln r_{hypo} - 0.00311 r_{hypo} \quad (2.25)$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยของ PGA (g) ในแนวราบ

M_W = ขนาดโมเมนต์ และ

r_{hypo} = ระยะทางถึงจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ผิวโลก = $\sqrt{R_0{}^2 + h^2}$ โดยที่ R_0 คือ ระยะทางที่ใกล้ที่สุดจากสถานีไปยังภาพฉายบนผิวดินของจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ผิวโลก และ h = ความลึก (กิโลเมตร)

2.4.2.2 **สมการของ** Dahle et al. (1995)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Dahle et al. (1995) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 3.0–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 6-490 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ 2.26

$$\ln Y = -1.579 + 0.554 M_W - 0.560 \ln\sqrt{r_{hypo}{}^2 + 6^2} - 0.0032\sqrt{r_{hypo}{}^2 + 6^2} + 0.326 S \quad (2.26)$$

โดยที่ Y = ค่า PGA ในแนวราบ (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

r_{hypo} = ระยะทางถึงจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ผิวโลก และ

S = 0 สำหรับพื้นที่ที่เป็นหิน

= 1 สำหรับพื้นที่ที่เป็นดิน

2.4.2.3 **สมการของ** Hwang and Huo (1997)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Hwang and Huo (1997) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 5.0–7.5 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 5-200 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.27

$$\ln Y = -2.904 + 0.926M_W - 1.271\ln[\sqrt{r_{epi}^{\ 2} + h^2} + 0.06\exp(0.7M_W)] - 0.0032\sqrt{r_{epi}^{\ 2} + h^2} \tag{2.27}$$

โดยที่ Y = ค่า PGA ที่ชั้นหินดาน (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

r_{epi} = ระยะทางถึงจุดกำเนิดแผ่นดินไหวฉายในแนวดิ่งบนผิวโลก และ

h = ความลึก (กิโลเมตร)

2.4.2.4 **สมการของ** Toro (2002)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Toro (2002) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 5.0–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 1-500 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.28

$$\ln Y = C_1 + C_2(M_W - 6) - C_3\ln R_M - (C_4 - C_3)f(R_M) - C_5R_M \tag{2.28}$$

โดยที่ Y = PGA ในแนวราบ (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

R_M = $\sqrt{r_{jb}^{\ 2} + C_6^{\ 2}[\exp(-1.25 + 0.227M_W)]^2}$ (กิโลเมตร) และ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$f(R_M)$ = 0 สำหรับ $r_{jb} \leq 100$ กิโลเมตร และ $f(R_M) = \ln(r_{jb}/100)$ สำหรับ $r_{jb} > 100$ กิโลเมตร

C_1 = 2.91, C_2 = 0.92, C_3 = 1.49, C_4 = 1.61, C_5 = 0.0014 และ C_6 = 10.9 สำหรับเขตอ่าว

C_1 = 2.20, C_2 = 0.81, C_3 = 1.27, C_4 = 1.16, C_5 = 0.0021 และ C_6 = 9.3 สำหรับเขตกลางทวีป

2.4.3 **เขตมุดตัวของเปลือกโลก** (subduction zone)

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับเขตมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zone) มี 5 ชุดสมการ ดังนี้

2.4.3.1 **สมการของ** Atkinson and Boore (1997a)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Atkinson and Boore (1997a) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.0–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 10-400 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.29

$$\ln Y = 0.680 + 0.733(M_W - 6) - \ln r_{hypo} - 0.006451 r_{hypo} \tag{2.29}$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยของ PGA ในแนวราบ (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์ และ

r_{hypo} = ระยะทางถึงจุดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวใต้ผิวโลก = $\sqrt{R_0^{\,2} + h^2}$

2.4.3.2 **สมการของ** Crouse (1991)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Crouse (1991) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.8–8.2 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 8-850 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.30

$$\ln Y = 6.36 + 1.76 M_W - 2.73 \ln[R + 1.58 \exp(0.608 M_W)] + 0.00916 h \tag{2.30}$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยของ PGA ในแนวราบ (เซนติเมตรต่อวินาที^{2})

M_W = ขนาดโมเมนต์

R = ระยะทางถึงจุดกำเนิดแผ่นดินไหว (กิโลเมตร) และ

h = ความลึก (กิโลเมตร)

2.4.3.3 **สมการของ** Megawati et al. (2005)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Megawati et al. (2005) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.5–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 198-1422 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.31

$$\ln Y = -7.198 + 2.3691 M_W - 0.013856 {M_W}^2 - \ln r - 0.001548 r - 0.08909 h \quad (2.31)$$

โดยที่ Y = ค่า PGA ในแนวราบ (เซนติเมตรต่อวินาที^{2})

M_W = ขนาดโมเมนต์

r = ระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวไปยังสถานีตรวจวัด และ

h = ความลึก (กิโลเมตร)

2.4.3.4 **สมการของ** Petersen et al. (2004)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Petersen et al. (2004) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.5–8.0 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 198-1422 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังในสมการที่ 2.32 สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน และสมการที่ 2.33 สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน

$$\ln Y = 0.2418 + 1.414 M_W - 2.552 \ln(r_{rup} + 1.7818 e^{0.554 M_W}) + 0.00607 H + 0.3846 Z_T - 0.0038(r_{rup} - 200) \quad (2.32)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\ln Y = -0.6687 + 1.438M_W - 2.329\ln(r_{rup} + 1.097e^{0.617M_W}) + 0.00648H + 0.3643Z_T - 0.0038(r_{rup} - 200) \quad (2.33)$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของ PGA ของสองแกนในแนวราบ (g)

M_W = ขนาดโมเมนต์

r_{rup} = ระยะทางที่ใกล้ที่สุดไปยังรอยเลื่อนส่วนที่เกิดการไถล (กิโลเมตร)

H = ความลึก (กิโลเมตร) และ

Z_T = ชนิดของแหล่งกำเนิด (0 สำหรับ interface และ 1 สำหรับ intraslab)

2.4.3.5 **สมการของ** Fukushima and Tanaka (1991)

ในการหาสมการลดทอนแผ่นดินไหว Fukushima and Tanaka (1991) ได้ใช้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวขนาด 4.5–8.2 และสถานีตรวจวัดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 10-300 กิโลเมตร สมการที่ได้แสดงดังสมการที่ 2.34

$$\log_{10} Y = 0.41M_S - \log_{10}[R + (0.032 \times 10^{0.41M_S})] - 0.0034R + 1.30 \quad (2.34)$$

โดยที่ Y = ค่าเฉลี่ย PGA ของสองแกนในแนวราบ (เซนติเมตรต่อวินาที^{2})

M_S = ขนาดแผ่นดินไหวแบบคลื่นผิวดิน และ

R = ระยะทางน้อยที่สุดระหว่างสถานีไปยังรอยเลื่อน (กิโลเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 **สเปกตรัมผลตอบสนอง** (response spectrum)

สเปกตรัมผลตอบสนองเป็นการแสดงความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวโดยการแสดงค่าการตอบสนองสูงสุดของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดียวที่มีคาบธรรมชาติของการสั่นไหวต่างๆ เช่นแสดงค่าความเร่ง ความเร็ว หรือ การเสียรูป ของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดียว (single degree of freedom, SDF) ที่สนองต่อการสั่นสะเทือนหนึ่งๆ โดยแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองสูงสุดกับคาบธรรมชาติ (natural period) หรือ ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) โดยมีค่าความหน่วงคงที่ สมการที่ควบคุมการกระจัดของระบบ SDF แสดงดังสมการที่ 2.35 การเสียรูปสูงสุด หรือการกระจัดสูงสุด นิยามตามสมการที่ 2.36 รูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว Imperial Valley ที่บันทึกได้ที่สถานี El Centro เมื่อวันที่ 1940/05/18 (Chopra, 2001) โดยรูปที่ 2.8 (ก) แสดงความเร่งของพื้นดิน และรูปที่ 2.8 (ข) แสดงผลตอบสนองการเสียรูปของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดียว 3 ระบบ ที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงคงที่ ζ = 2% และคาบธรรมชาติต่างกัน T_n = 0.5, 1 และ 2 วินาที ข้อมูลการตอบสนองของระบบ SDF ที่มีค่า T_n ต่างๆ ถูกพล็อตเป็นสเปกตรัมผลตอบสนองการเสียรูป ที่มีค่า ζ = 2% ดังรูปที่ 2.8(ค)

$$\ddot{u}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{u}(t) + \omega_n^2 u(t) = -\ddot{u}_g(t) \tag{2.35}$$

$$D \equiv u_0 \equiv \max|u(t)| \tag{2.36}$$

โดยที่ $\ddot{u}$ = ความเร่งของระบบ SDF

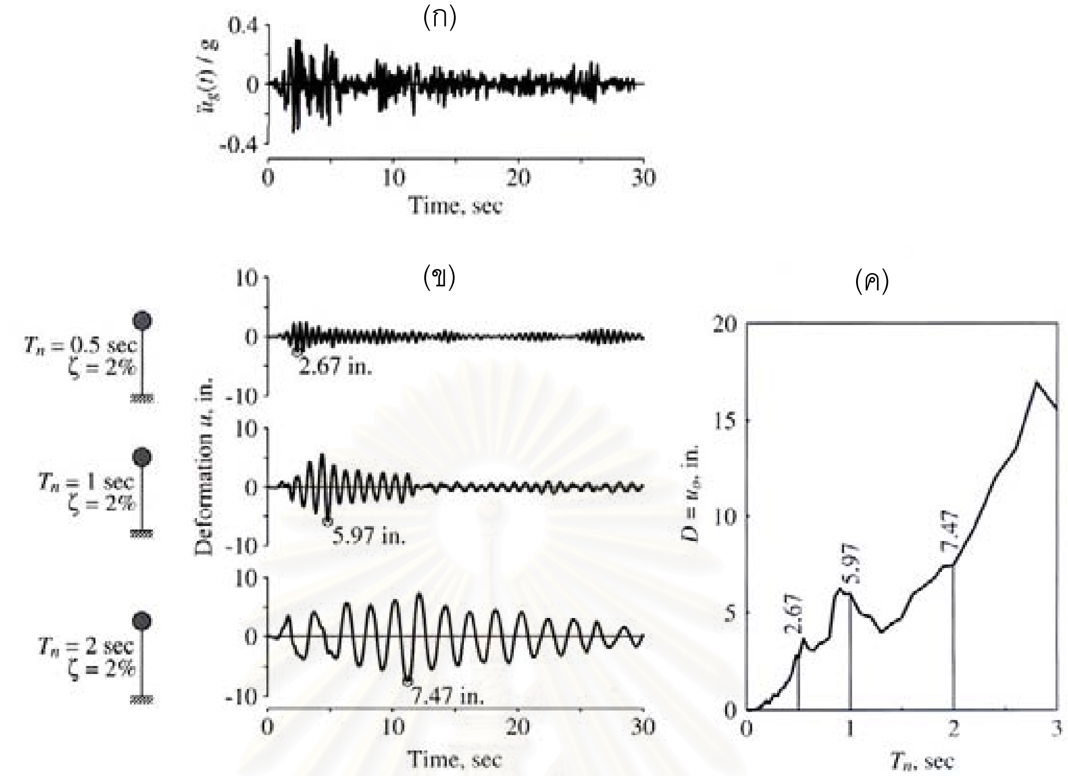
$\dot{u}$ = ความเร็วของระบบ SDF

u = การกระจัดรูปของระบบ SDF

u_0 = การกระจัดสูงสุดตลอดเวลาของช่วงการตอบสนอง

D = การเสียรูปสูงสุดของระบบ SDF มีค่าเท่ากับการกระจัดสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 (ก) ความเร่งของพื้นดิน (ข) ผลตอบสนองการเสียรูปของระบบที่มีระดับขั้นความเสรีเดียว 3 ระบบ ที่มีค่า ζ = 2% และ T_n = 0.5, 1, และ 2 วินาที (ค) สเปกตรัมผลตอบสนองการเสียรูป ที่มีค่า ζ = 2% (Chopra, 2001)

สเปกตรัมผลตอบสนองความเร็วเทียม (pseudo-velocity response spectrum) หาได้จากสมการที่ 2.37

$$V = \omega_n D = \frac{2\pi}{T_n} D \tag{2.37}$$

โดยที่ V = ผลตอบสนองความเร็วเทียม (pseudo-velocity)

ω_n = ความถี่ธรรมชาติเชิงมุมของระบบ SDF (เรเดียนต่อวินาที) = $\frac{2\pi}{T_n}$

D = ผลตอบสนองการเสียรูปสูงสุด และ

T_n = คาบธรรมชาติของการสั่นไหวของระบบ SDF

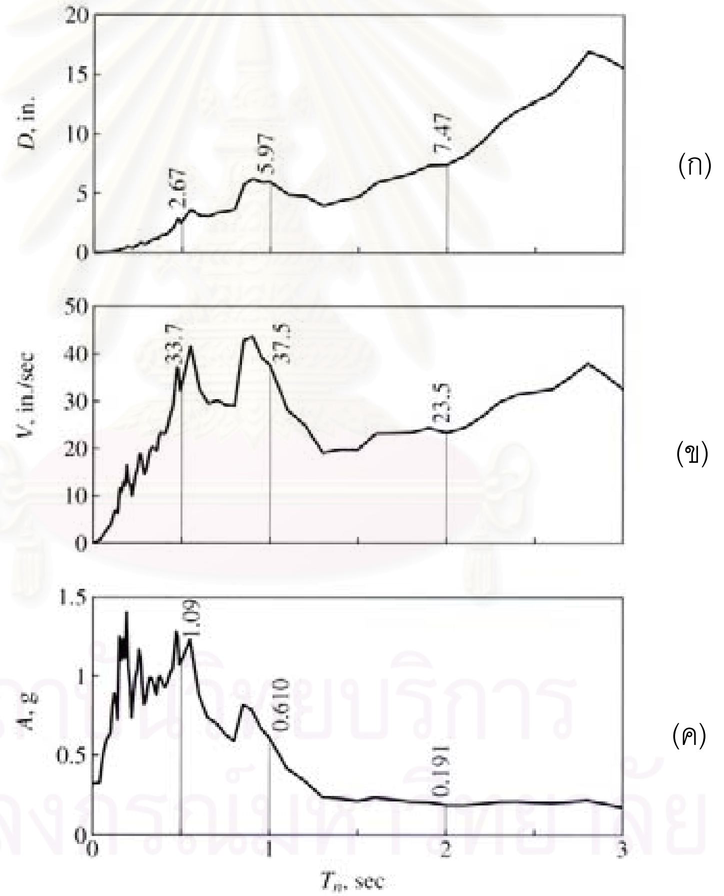
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สเปกตรัมผลตอบสนองความเร่งเทียม (pseudo-acceleration response spectrum) หาได้จากความเร็วเทียมหรือการเสียรูปสูงสุดดังสมการที่ 2.38

$$A = \omega_n^2 D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D \qquad (2.38)$$

โดยที่ A = ผลตอบสนองความเร่งเทียม

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมผลตอบสนอง (response spectrrum) ที่มี ζ = 0.02 ของคลื่นแผ่นดินไหวที่สถานี El Centro จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Imperial Valley เมื่อปี 1940 รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา



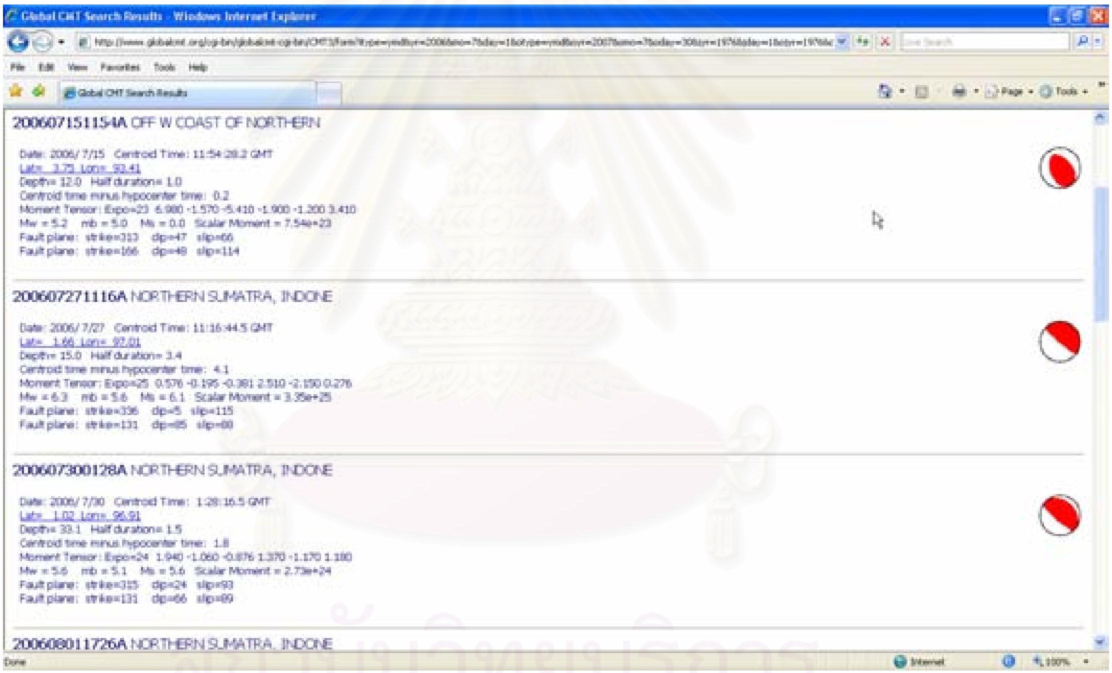
รูปที่ 2.9 สเปกตรัมผลตอบสนอง ที่มีค่า ζ = 0.02 ของคลื่นแผ่นดินไหวที่สถานี El Centro จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Imperial Valley ปี 1940 (ก) สเปกตรัมผลตอบสนองการเสียรูป (ข) สเปกตรัมผลตอบสนองความเร็วเทียม (ค) สเปกตรัมผลตอบสนองความเร่งเทียม (Chopra, 2001)

บทที่ 3

การรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว

3.1 รายการเหตุการณ์แผ่นดินไหว (catalog)

ในการรวบรวมข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว จำเป็นต้องทราบวัน เวลา ตำแหน่ง และ ขนาดของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น ซึ่งการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด (Harvard Central Moment Tensor Catalog) ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยบอกถึงเวลาที่เกิด ขนาดแผ่นดินไหว ตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหว



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างรายการเหตุการณ์แผ่นดินไหวจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด (www.globalcmt.org)

การศึกษานี้ต้องการพิจารณาแผ่นดินไหวที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างในประเทศไทยได้จึงพิจารณาแผ่นดินไหวที่มีขนาด M_W (moment magnitude) ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิกัด 0 ถึง 25 องศาเหนือ และ 90 ถึง 110 องศาตะวันออก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยและบริเวณประเทศใกล้เคียงที่ส่งผลกระทบถึงประเทศไทยได้ และรายการแผ่นดินไหวอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง กรกฎาคม 2549 ถึง กรกฎาคม 2550 ได้รายการแผ่นดินไหวที่

ใช้ในการศึกษานี้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งบอกถึง วัน เวลา ความลึก จุดกำเนิดแผ่นดินไหว และ ขนาดแผ่นดินไหว

ตารางที่ 3.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้

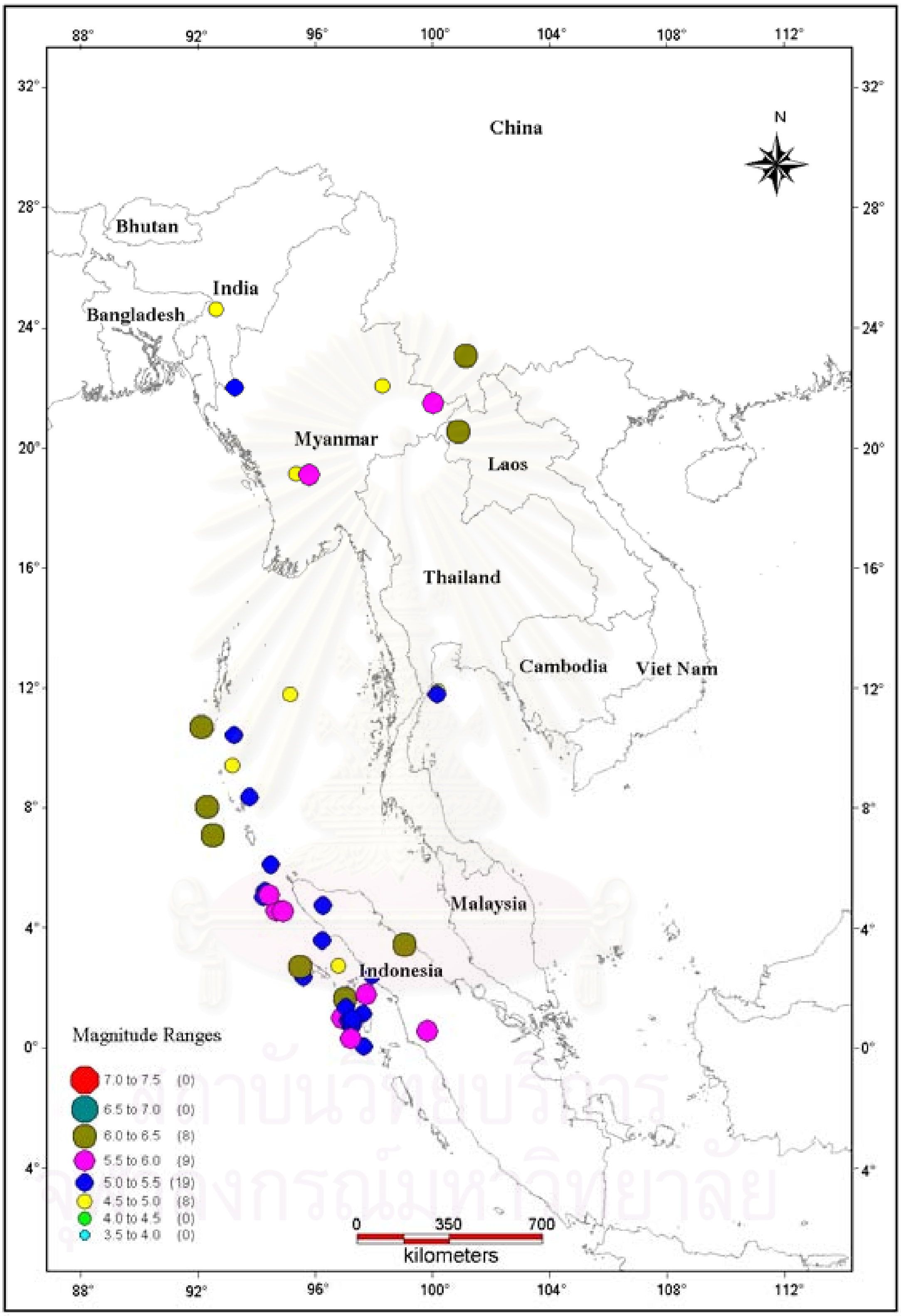
ลำดับที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	จุดกำเนิด (°E)	M_w	ความลึก (กม.)	บริเวณ
1	2006/07/27	11:16:44	1.66	97.01	6.3	15.0	NORTHERN SUMATRA, INDONE
2	2006/07/30	01:28:16	1.02	96.91	5.6	33.1	NORTHERN SUMATRA, INDONE
3	2006/08/02	10:42:01	19.08	95.74	4.7	20.7	MYANMAR
4	2006/09/27	18:46:06	11.89	100.18	4.7	16.7	GULF OF THAILAND
5	2006/09/28	14:39:18	11.79	95.15	4.9	16.9	ANDAMAN ISLANDS, INDIA R
6	2006/10/04	13:33:49	1.15	97.61	5.0	37.3	NORTHERN SUMATRA, INDONE
7	2006/10/06	04:23:09	9.43	93.17	4.9	53.9	NICOBAR ISLANDS, INDIA R
8	2006/10/06	14:49:04	0.76	97.22	5.3	34.5	NORTHERN SUMATRA, INDONE
9	2006/10/07	21:12:28	11.78	100.15	5.0	12.0	GULF OF THAILAND
10	2006/10/25	05:06:06	0.93	97.12	5.2	30.8	NORTHERN SUMATRA, INDONE
11	2006/10/25	05:19:48	0.78	97.26	5.0	35.7	NORTHERN SUMATRA, INDONE
12	2006/11/03	14:43:12	21.99	93.26	5.0	34.5	MYANMAR-INDIA BORDER REG
13	2006/11/09	15:55:48	1.03	97.19	5.2	18.2	NORTHERN SUMATRA, INDONE
14	2006/11/10	13:21:28	24.61	92.61	4.9	31.8	INDIA-BANGLADESH BORDER
15	2006/11/18	13:57:57	4.6	94.67	5.9	23.0	OFF W COAST OF NORTHERN
16	2006/11/25	18:50:24	2.76	96.79	4.9	44.7	NORTHERN SUMATRA, INDONE
17	2006/12/01	03:58:24	3.46	99.05	6.3	208.4	NORTHERN SUMATRA, INDONE
18	2006/12/06	12:06:39	4.76	96.27	5.2	22.4	NORTHERN SUMATRA, INDONE
19	2006/12/17	21:10:26	4.58	94.89	5.8	54.4	NORTHERN SUMATRA, INDONE
20	2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	5.8	18.2	NORTHERN SUMATRA, INDONE
21	2006/12/19	12:48:17	2.42	97.94	5.0	61.9	NORTHERN SUMATRA, INDONE
22	2006/12/22	19:50:49	10.7	92.11	6.2	22.0	ANDAMAN ISLANDS, INDIA R
23	2007/01/03	12:47:33	5.25	94.28	5.4	44.0	NORTHERN SUMATRA, INDONE
24	2007/01/05	11:54:08	0.07	97.65	5.3	31.1	NORTHERN SUMATRA, INDONE
25	2007/01/07	10:47:07	22.04	98.3	4.8	20.0	MYANMAR-CHINA BORDER REG
26	2007/01/08	12:48:44	8.03	92.3	6.1	12.0	NICOBAR ISLANDS, INDIA R
27	2007/01/09	05:27:24	19.13	95.35	4.9	97.6	MYANMAR
28	2007/01/22	16:44:35	2.36	95.58	5.3	36.8	OFF W COAST OF NORTHERN
29	2007/01/25	15:18:40	1.36	97.03	5.0	39.6	NORTHERN SUMATRA, INDONE
30	2007/01/29	19:48:40	8.37	93.76	5.4	77.3	NICOBAR ISLANDS, INDIA R

ตารางที่ 3.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ (ต่อ)

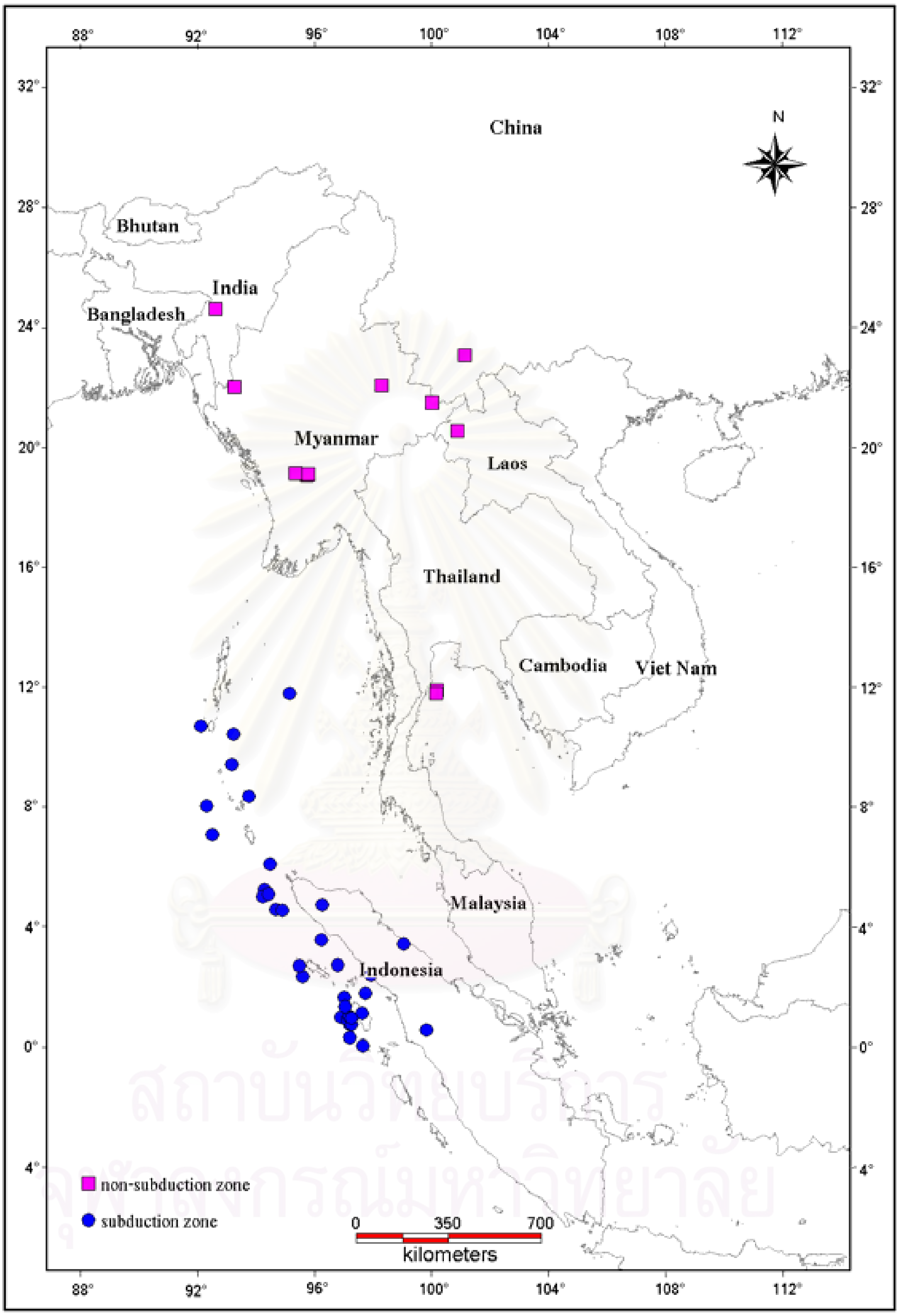
ลำดับที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	(°E)	M_W	ความลึก (กม.)	บริเวณ
34	2007/02/18	10:45:29	0.98	97.26	5.1	30.9	NORTHERN SUMATRA, INDONE
35	2007/03/01	02:01:05	3.6	96.23	5.2	43.4	NORTHERN SUMATRA, INDONE
36	2007/03/01	05:08:23	10.42	93.23	5.0	89.2	ANDAMAN ISLANDS, INDIA R
37	2007/03/07	10:53:42	1.8	97.74	5.9	49.0	NORTHERN SUMATRA, INDONE
38	2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	6.1	12.0	SIMEULUE, INDONESIA
39	2007/04/27	08:02:52	5.1	94.42	5.9	49.5	NORTHERN SUMATRA, INDONE
40	2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	6.3	14.3	LAOS
41	2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	6.1	12.0	YUNNAN, CHINA
42	2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	5.6	17.5	MYANMAR
43	2007/07/25	23:37:35	7.08	92.5	6.0	12.0	NICOBAR ISLANDS, INDIA R
44	2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	5.6	12.0	MYANMAR

ตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหวในรายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งบอกตำแหน่งจุดกำเนิดแผ่นดินไหวและขนาดแผ่นดินไหว สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่แบ่งเป็น เหตุการณ์ที่เกิดในเขตมุดตัวของเปลือกโลก (subduction) และ เหตุการณ์ที่ไม่เกิดในเขตมุดตัวของเปลือกโลก (non-subduction) แสดงดังรูปที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



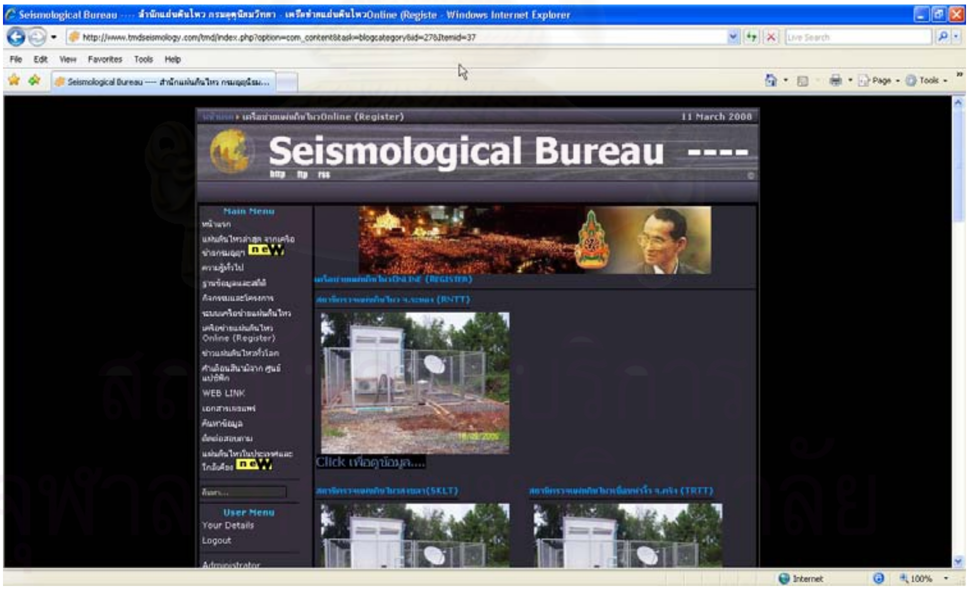
รูปที่ 3.2 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งตามขนาดแผ่นดินไหว ระหว่างเดือน ก.ค. 2549-ก.ค. 2550



รูปที่ 3.3 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งตามเหตุการณ์ที่เกิดในเขตมุดตัวของเปลือกโลก และ เหตุการณ์ที่ไม่เกิดในเขตมุดตัวของเปลือกโลก ระหว่างเดือน ก.ค. 2549-ก.ค. 2550

ข้อมูลรายการแผ่นดินไหวของฮาร์วาร์ดสามารถสืบค้นได้จาก www.globalcmt.org (รูปที่ 3.4) ส่วนข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถสืบค้นได้จาก www.tmdseismology.com (รูปที่ 3.5)

รูปที่ 3.4 เว็บของฮาร์วาร์ดที่แสดงรูปแบบการสืบค้นรายการแผ่นดินไหว (www.globalcmt.org)

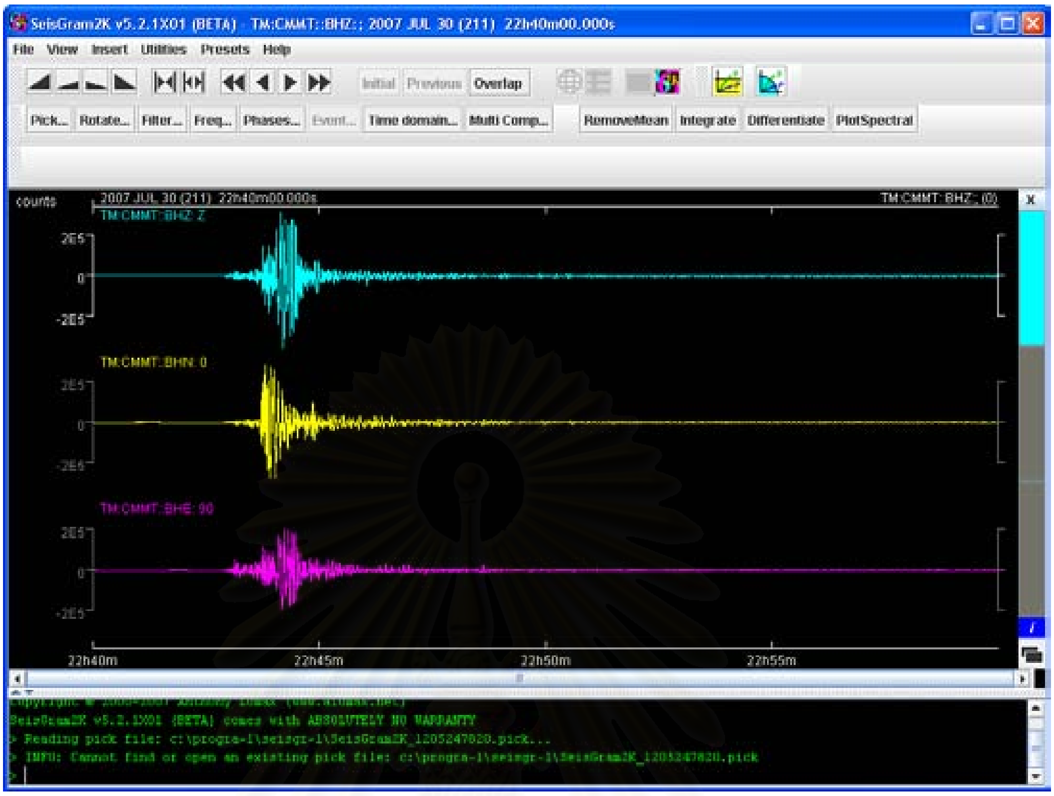


รูปที่ 3.5 เว็บของกรมอุตุนิยมวิทยา (www.tmdseismology.com)

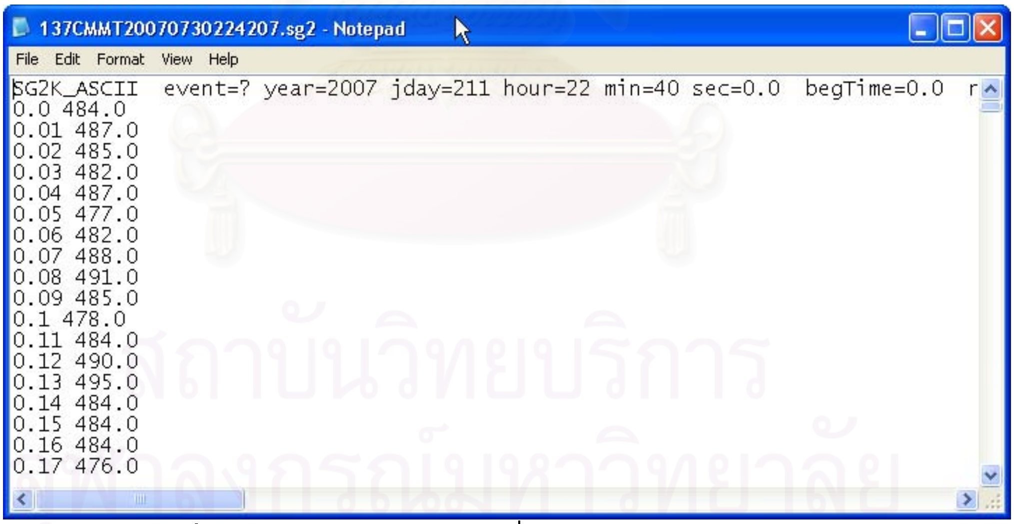
เมื่อรวบรวมการเหตุการณ์แผ่นดินไหวต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ก็ทำการดาว์นโหลดคลื่นแผ่นดินไหวจากเว็บของกรมอุตุนิยมวิทยา ตามวันเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวในรายการที่รวบรวมไว้ ไฟล์ที่ได้จะเป็นรูปแบบ miniseed โดย seed ย่อมาจาก Standard for the Exchange of Earthquake Data เป็น ไบนารี่ไฟล์ชนิดหนึ่ง ซึ่งจะต้องนำไปแปลงเป็นแฟ้มข้อความแบบ ASCII (text file) โดยใช้โปรแกรม SeisGram2K ซึ่งพัฒนาโดย Anthony Lomax นักวิทยาศาสตร์ด้านแผ่นดินไหว ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยสามารถดาว์นโหลดโปรแกรม SeisGram2K ได้จากเว็บไซต์ www.alomax.net

แฟ้มข้อความที่แปลงเรียบร้อยแล้ว (รูปที่ 3.7) มีส่วนหัวเรื่องอยู่ 1 บรรทัด ซึ่งบอกรายละเอียดของข้อมูล เช่น เวลาที่เริ่มต้นบันทึกข้อมูล ชื่อสถานีที่บันทึก ทิศทาง ระยะเวลาระหว่างการบันทึกข้อมูลแต่ละค่า และจำนวนข้อมูล เป็นต้น และบรรทัดถัดๆ ไป เป็นคู่ลำดับของเวลา และค่านับ (count) ของข้อมูลตามลำดับ ซึ่งค่านับต้องถูกแปลงให้เป็นความเร็วหรือความเร่ง ตามประเภทและความไวของเครื่องมือตรวจวัดแล้วแต่กรณีซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 หน้าจอแสดงโปรแกรม SeisGram2K (www.alomax.net)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างแฟ้มข้อความที่ได้จากโปรแกรม SeisGram2K

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวและเครื่องมือตรวจวัด

ประเทศไทยมีสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวซึ่งมีเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนของพื้นดินอยู่หลายชนิด อีกทั้งมีหลายหน่วยงานที่ทำการตรวจวัดตามวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน เช่น

1. เพื่อการตรวจหาจุดกำเนิด ขนาด และเวลาเกิดของแผ่นดินไหว ซึ่งเกี่ยวข้องกับทางด้านวิทยาการแผ่นดินไหว (seismology) เครื่องมือตรวจวัดส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องมือตรวจความเร็วของพื้นดิน (velocity seismometer) ซึ่งอาจตอบสนองต่อคลื่นที่มีคาบเวลาต่างๆ กัน หากเครื่องมือตอบสนองต่อคลื่นที่มีคาบสั้นได้ดี เรียกว่า short period seismograph หรือตอบสนองต่อคลื่นที่มีคาบยาว เรียกว่า long period seismograph หรือแบบที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นสามารถตอบสนองต่อคลื่นได้ทั้งที่มีคาบสั้นและยาวเป็นช่วงกว้าง เรียกว่า broadband seismograph

2. เพื่องานด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหว (earthquake engineering) ส่วนใหญ่เครื่องมือตรวจวัดเป็นเครื่องมือตรวจวัดความเร่ง (accelerometer) ซึ่งสามารถติดตั้งบนพื้นดินเพื่อหาความเร่งของพื้นดินเมื่อเกิดแผ่นดินไหว หรือบางครั้งติดตั้งบนอาคารเพื่อศึกษาค่าความเร่งของโครงสร้างอาคารที่สั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว

3. เพื่องานด้านการตรวจสอบ การทดสอบระเบิดนิวเคลียร์ใต้ดิน ซึ่งมีเครือข่ายสถานีตรวจทั่วโลก โดยแบ่งชั้นของชนิดและคุณภาพของสถานีตรวจเป็นสถานีหลัก (primary station) และสถานีสนับสนุน (auxiliary station) ในการตรวจสอบ

ชนิดและระบบของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว

1. ระบบแอนะล็อกเฉพาะช่วงคลื่นสั้นในแนงดิ่ง (short period vertical, SPZ) เครื่องมือทำการบันทึกเฉพาะช่วงคลื่นสั้นที่มีคาบของคลื่นอยู่ระหว่าง 0.2-2 วินาที ในแนวดิ่งเท่านั้น (short period vertical component) และทำการบันทึกลงในกระดาษบันทึก (seismogram) ในรูปของแอนะล็อก ซึ่งจะต้องทำการเปลี่ยนกระดาษทุกวัน และทำการวิเคราะห์คลื่นที่ปรากฏบนกระดาษตรวจวัดแผ่นดินไหวชนิดนี้เหมาะที่จะตรวจแผ่นดินไหวในท้องถิ่นที่มีระยะใกล้ไม่เกิน 1200 กิโลเมตร เพราะสามารถบันทึกได้ทั้งคลื่น P และคลื่น S ส่วนแผ่นดินไหวระยะไกลจะมีการบันทึกได้เฉพาะคลื่น P เท่านั้น ข้อมูล รุ่นและบริษัทที่ผลิต ไม่มีข้อมูล

2. ระบบอัตโนมัติ

2.1 เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบวัดความเร็วของพื้นดินชนิดตอบสนองต่อคลื่นที่มีคาบสั้น (short period seismometer, SP) กรมอุตุนิยมวิทยาใช้เครื่องมือรุ่น L4C3D ของบริษัท Mark Products

2.2 เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบวัดความเร็วของพื้นดินชนิดตอบสนองต่อคลื่นได้ทั้งที่มีคาบสั้นและยาวเป็นช่วงกว้าง (broadband seismometer, BB) กรมอุตุนิยมวิทยาใช้เครื่องมือรุ่น CMT-40T ของบริษัท Guralp

2.3 เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบวัดความเร่งแบบรุนแรง (Strong motion accelerometer, SMA) กรมอุตุนิยมวิทยาใช้เครื่องมือรุ่น SSA-320 ของบริษัท Terra Technology

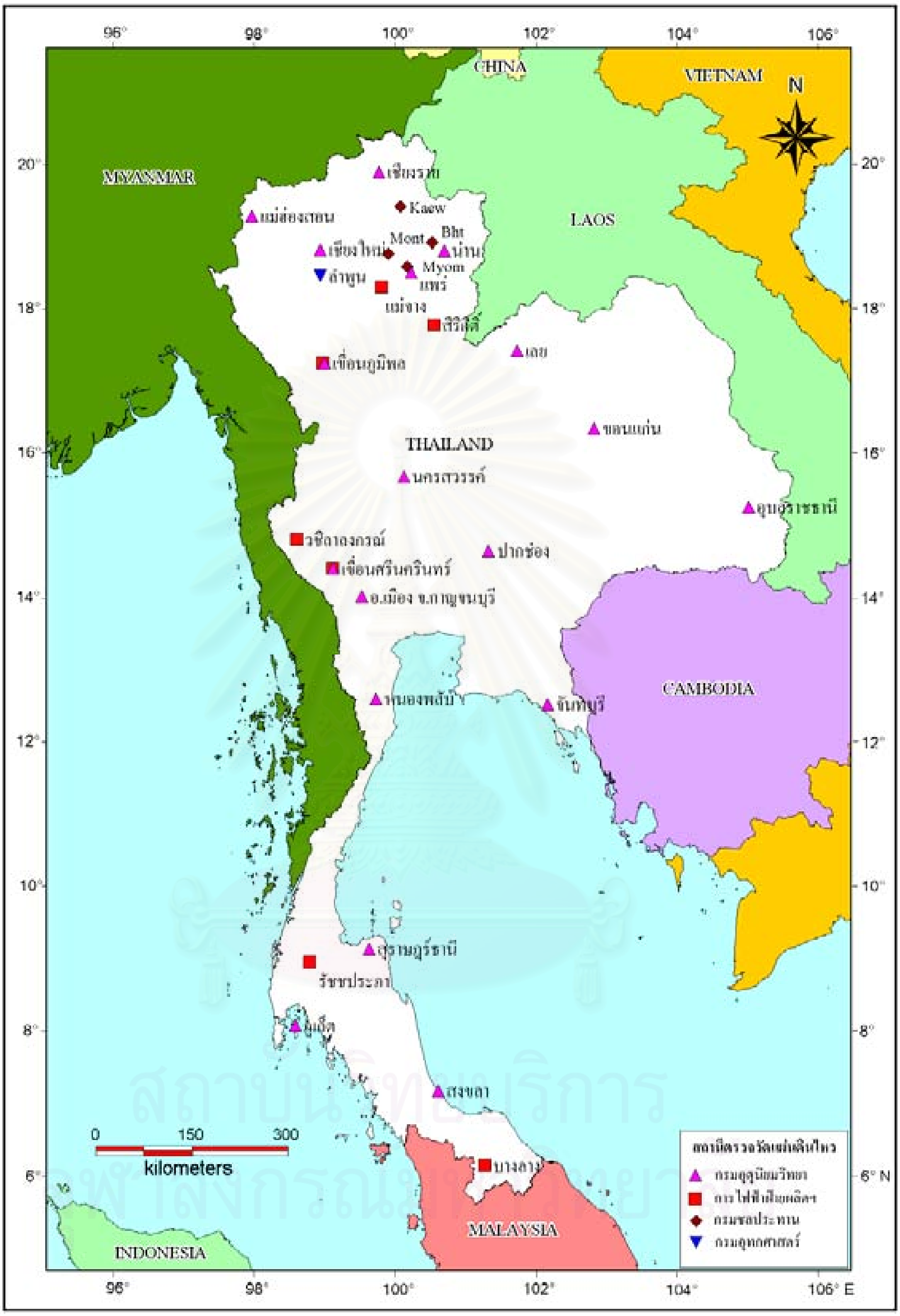
รายละเอียดข้อมูลของเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา เช่น ชนิดเครื่องมือ กำลังขยาย (gain) ค่าความไวของเครื่องมือ (sensitivity) ค่าคงที่ของเครื่องแปลงสัญญานเป็นดิจิทัล (digitizer) และช่วงความถี่ที่ตอบสนองได้ดี แสดงในตารางที่ 3.2 ส่วนข้อมูลรายละเอียดของเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน และกรมอุทกศาสตร์ ไม่มีข้อมูล และไม่ได้ให้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวในระบบดิจิทัล แบบประวัติเวลา (time history) จึงไม่ได้นำมารวมในการศึกษานี้ จึงใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาเท่านั้น

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

ชนิดเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหว	**รุ่น**	**บริษัท**	**กำลังขยาย**	**ค่าความไว** v/(m/s)	**ค่าคงที่** v/counts	**ช่วงความถี่** (Hz)	
						ความเร็ว	**ความเร่ง**
Seismometer - SP	L4C3D	Mark Products	32	171	1.907×10^{-6}	0.050-50	-
Seismometer - BB	CMG-40T	Guralp	1	400	1.907×10^{-6}	0.033-50	-
Accerograph-SMA	SSA-320	Terra Technology	1	-	4.477×10^{-7}	-	DC-50

ระบบการตรวจแผ่นดินไหวที่มีใช้งานอยู่ตามสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว ดังรูปที่ 3.8 มีทั้งระบบแอนะล็อก (analog) ซึ่งมีลักษณะการบันทึกการสั่นสะเทือนบนแผ่นกระดาษหรือบนแผ่นฟิลม์ และระบบดิจิทัล (digital) ซึ่งเป็นระบบที่ทันสมัยสามารถบันทึกข้อมูลลงบนคอมพิวเตอร์และมีซอฟท์แวร์ช่วยในการวิเคราะห์ด้านแผ่นดินไหวและวิศวกรรมแผ่นดินไหว เครือข่ายการตรวจวัดแผ่นดินไหวมีหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน กรมอุทกศาสตร์ ดังตารางที่ 3.3 โดยบอกถึงหน่วยงานที่รับผิดชอบสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด จำนวนเครื่องมือ ชนิดของเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว และระบบที่ใช้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งก่อนปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)

ตารางที่ 3.3 เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งก่อนปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)

หน่วยงาน	สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	จำนวน/ชนิด ของเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหว (ระบบ)
กรมอุตุนิยมวิทยา	เชียงราย (CH)	19.8775	99.7739	1/SPZ(A),1/SP(D),1/SMA(D)
	แม่ฮ่องสอน (MA)	19.2703	97.9706	1/SP(D),1/SMA(D)
	เขื่อนภูมิพล (TA)	17.2436	99.0022	1/SPZ(A),1/SP(D),1/SMA(D)
	แพร่ (PH)	18.4989	100.2292	1/BB(D),1/SMA
	เลย (LO)	17.4097	101.7297	1/SPZ(A),1/SP(D),1/SMA(D)
	ขอนแก่น (KH)	16.3378	102.8231	1/BB(D),1/SMA
	เขื่อนศรีนครินทร์ (KA)	14.3946	99.1213	1/BB(D),1/SMA
	ปากช่อง (PA)	14.6395	101.3247	1/SP(D),1/SMA(D)
	หนองพลับ (NO)	12.5903	99.7333	1/SPZ(A),1/SP(D),1/SMA(D)
	สุราษฎร์ธานี (SU)	9.1447	99.6333	1/SP(D),1/SMA(D)
	สงขลา (SO)	7.1755	100.6155	1/BB(D),1/SMA
	เชียงใหม่ (CM)	18.8138	98.9438	1/BB(D),1/SP(D),1/SMA(D)
	น่าน (NA)	18.8000	100.7000	1/SPZ(A),1/SP(D),1/SMA(D)
	นครสวรรค์ (NST)	15.6727	100.1330	1/SPZ(A)
	อ.เมือง จ.กาญจนบุรี (KBR)	14.0167	99.5333	1/SPZ(A)
	อุบลราชธานี (UBT)	15.2456	105.0183	1/SPZ(A)
	จันทบุรี (CHA)	12.5167	102.1667	1/SPZ(A)
	ภูเก็ต (PKT)	8.0800	98.5833	1/SPZ(A)
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	ศรีนครินทร์	14.4000	99.1167	2/SMA(A),1/SMA(D),1/SP(A)
	วชิลาลงกรณ์	14.8000	98.6000	4/SMA(A),1/SMA(D),1/SP(D)
	รัชชประภา	8.9667	98.7833	1/SMA(A),2/SMA(D),1/SP(A)
	บางลาง	6.1536	101.2758	1/SMA(D)
	ภูมิพล	17.2419	98.9753	1/SMA(A),2/SMA(D)
	สิริกิติ์	17.7680	100.5542	1/SP(A), 2/SMA(D)
	แม่จาง	18.3039	99.8117	1/SP(A)
กรมชลประทาน	ดอยม่อนทลายนอน (Mont)	18.7600	99.9000	1/SMA(D)
	ดอยกิ่วแก้ว (Kaew)	19.4100	100.0800	1/SMA(D)
	อุทยานแห่งชาติแม่ยม (Myom)	18.5800	100.1750	1/SMA(D)
	บ้านห้วยตึม (Bht)	18.9100	100.5300	1/SMA(D)
กรมอุทกศาสตร์	ลำพูน	18.4575	98.9431	6/LP,18/SP (ARRAY)

ความหมายของตัวย่อต่างๆ ในตารางที่ 3.3 มีดังนี้

SPZ = Short Period Vertical

SMA = Strong Motion Accelerograph

BB = Broadband

SP = Short Period Seismograph

LP = Long Period Seismograph

A = Analog

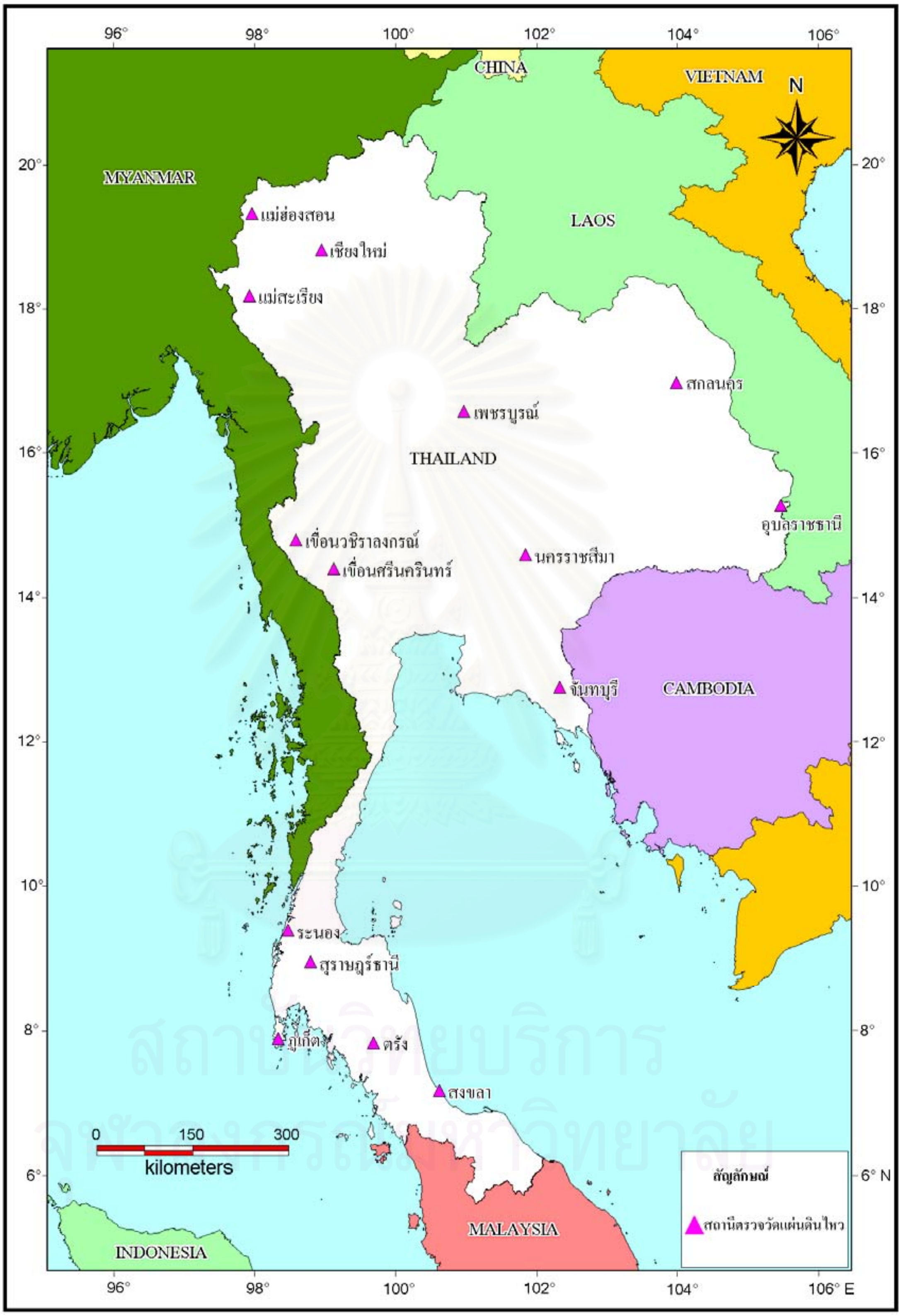
D = Digital และ

ARRAY = เครือข่ายตรวจวัดที่ประกอบด้วยเครื่องตรวจความสั่นสะเทือนหลายชนิดทำการวิเคราะห์จากหน้าคลื่นเพื่อหาตำแหน่งจากระยะทางและแอซิมัท (azimuth)

เมื่อปี 2549 กรมอุตุนิยมวิทยาได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวใหม่อีกจำนวน 15 สถานี ติดตั้งที่จังหวัดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ทุกสถานีมีการติดตั้งเครื่องมือวัดคลื่นแผ่นดินไหวทั้งแบบวัดความเร่งและวัดความเร็ว โดยทุกสถานีใช้เครื่องวัดความเร่งรุ่น TSA 100 ของบริษัท Metrozet บางสถานีใช้เครื่องวัดความเร็วเป็นแบบ short period ซึ่งเป็นเครื่องรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics และบางสถานีติดตั้งเครื่องวัดความเร็วแบบ broadband ซึ่งเป็นเครื่องรุ่น Trillium 120 ของบริษัท Nanometrics รายละเอียดเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 แสดงในตารางที่ 3.4 โดยบอกถึงชนิดของเครื่องมือ รุ่น บริษัทที่ผลิต ค่าความไว และช่วงความถี่ที่ตอบสนองได้ดี

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดเครื่องมือตรวจแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)

ชนิดเครื่องมือ	**รุ่น**	**บริษัท**	**ค่าความไว** count/(m/s)	**ค่าความไว** count/(m/s^2)	**ช่วงความถี่ (Hz)**	
					ความเร็ว	**ความเร่ง**
Seismometer - SP	Trillium 40	Nanometrics	1.572864 x10^9	-	0.025-50	-
Seismometer - BB	Trillium 120	Nanometrics	503316480	-	0.008-175	-
Accerograph-SMA	TSA100	Metrozet	-	213909.504	-	DC-225



รูปที่ 3.9 สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งเมื่อปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)

เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่เมื่อปี 2549 แสดงดังในตารางที่ 3.5 โดยบอกถึง รหัสสถานี ชื่อสถานี ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ความสูง ช่วงระยะเวลาดำเนินการ และระบบที่ใช้ เช่นที่ สถานีเชียงใหม่ (CMMT) ใช้ระบบ Trillium 120 กับ TSA 100 ก็จะสามารถหาคุณสมบัติของเครื่องมือได้จากตารางที่ 3.4 ได้ว่า เครื่องรุ่น Trillium 120 ของบริษัท Nanometrics เป็นเครื่องวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบวัดความเร็ว ชนิด broadband ส่วนเครื่องรุ่น TSA 100 ของบริษัท Metrozet เป็นเครื่องวัดคลื่นแผ่นดินไหวแบบวัดความเร่ง เป็นต้น

ตารางที่ 3.5 เครือข่ายที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่เมื่อปี 2549 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549)

รหัส	สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง (ม.)	ช่วงดำเนินงาน	ระบบ
KHLT	เขื่อนวชิราลงกรณ์ กาญจนบุรี (D)	14.7970	98.5890	164	ก.ย. 2006-	Trillium 40,TSA100
SRDT	เขื่อนศรีนครินทร์ กาญจนบุรี (D)	14.3945	99.1212	122	ก.ย. 2006-	Trillium 120,TSA100
CHBT	เขื่อนคีรีธาร จันทบุรี (D)	12.7526	102.3297	4	ต.ค. 2006-	Trillium 120,TSA100
KRDT	เขื่อนลำพระเพลิง นครราชสีมา (D)	14.5905	101.8442	266	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
SKNT	เขื่อนน้ำพุง สกลนคร (D)	16.9742	103.9815	254	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
PBKT	เขาค้อ เพชรบูรณ์ (D)	16.5733	100.9687	8	ต.ค. 2006-	Trillium 120,TSA100
UBPT	เขื่อนปากมูล อุบลราชธานี (D)	15.2773	105.4695	120	ต.ค. 2006-	Trillium 120,TSA100
CMMT	ดอยสุเทพ เชียงใหม่ (D)	18.8128	98.9476	399.7	ต.ค. 2006-	Trillium 120,TSA100
MHMT	แม่สะเรียง แม่ฮ่องสอน (D)	18.1764	97.9310	164	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
MHIT	แม่ฮ่องสอน (D)	19.3148	97.9632	270	ต.ค. 2006-	Trillium 120,TSA100
RNTT	ระนอง (D)	9.3904	98.4778	38	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
SURT	เขื่อนรัชชประภา สุราษฎร์ธานี (D)	8.9580	98.7950	31	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
TRTT	เขื่อนท่างิ้ว ตรัง (D)	7.8362	99.6912	71	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
PKDT	เขื่อนบางวาด ภูเก็ต (D)	7.8920	98.3350	53	ต.ค. 2006-	Trillium 40,TSA100
SKLT	สงขลา (D)	7.1735	100.6188	14.5	ต.ค. 2006-	Trillium 120,TSA100

การคำนวณความเร็วของพื้นดินสำหรับเครื่อง Trillium 40 เป็นไปตามสมการที่ 3.1

$$V = \frac{count}{1.572864 \times 10^{9} (count/(m/s))} \qquad (3.1)$$

โดยที่ V = ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)

count = ค่านับ

การคำนวณความเร็วของพื้นดินสำหรับเครื่อง Trillium 120 เป็นไปตามสมการที่ 3.2

$$V = \frac{count}{503316480\ (count/(m/s))} \tag{3.2}$$

โดยที่ V = ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)

count = ค่านับ

การคำนวณความเร่งของพื้นดินสำหรับเครื่อง TSA 100 เป็นไปตามสมการที่ 3.3

$$A = \frac{count}{213909.504\ (count/(m/s^2))} \tag{3.3}$$

โดยที่ A = ความเร่ง (เมตรต่อวินาที^{2})

count = ค่านับ

สำหรับการหาความเร็วความเร่งของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวระบบดิจิทัลของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ติดตั้งก่อนปี 2549 สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

การคำนวณความเร่งของพื้นดินสำหรับเครื่อง SSA-320 ของบริษัท Terra Technology เป็นไปตามสมการที่ 3.4

$$A = \frac{C(count) \times 1.907 \times 10^{-6}(volt/count)}{G(volt/(cm/s^2)) \times Gain} \tag{3.4}$$

โดยที่ A = ความเร่งของพื้นดิน (เซนติเมตรต่อวินาที^{2})

C = ค่านับ (count)

G = ค่าคงที่ของเครื่อง SSA-320 = 2.5 โวลต์/980 เซนติเมตรต่อวินาที^{2}

Gain = กำลังขยายของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหว = 1

การคำนวณความเร็วของพื้นดินสำหรับเครื่องรุ่น CMG–40T ของบริษัท Guralp และเครื่องรุ่น L4C3D ของบริษัท Mark Products เป็นไปตามสมการที่ 3.4

$$V = \frac{C(count) \times 1.907 \times 10^{-6} (volt/count) \times 100}{G(volt/(cm/s)) \times Gain} \tag{3.5}$$

โดยที่ V = ความเร็วของพื้นดิน (เซนติเมตรต่อวินาที)

C = ค่านับ (count)

G = ค่าความไว (sensitivity) ของเครื่องตรวจวัดความสั่นสะเทือน

= 400 โวลต์ต่อ(เมตรต่อวินาที) สำหรับเครื่องรุ่น CMG–40T ของบริษัท Guralp ซึ่งเป็นแบบ broadband

= 171 โวลต์ต่อ(เมตรต่อวินาที) สำหรับเครื่องรุ่น L4C3D ของบริษัท Mark Products ซึ่งเป็นแบบ SP

$Gain$ = กำลังขยายของเครื่องตรวจวัดความสั่นสะเทือน

= 1 สำหรับเครื่องรุ่น CMG–40T ของบริษัท Guralp ซึ่งเป็นแบบ broadband

= 32 สำหรับเครื่องรุ่น L4C3D ของบริษัท Mark Products ซึ่งเป็นแบบ SP

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การปรับแก้เส้นฐานและการกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว

3.3.1 การปรับแก้เส้นฐาน

ผลกระทบจากการที่มีความคลาดเคลื่อนคงที่ a_0 ในประวัติเวลาของความเร่งซึ่งเมื่อนำไปหาปริพันธ์แล้วทำให้ความเร็วของพื้นดินหลังจากการสั่นสะเทือนสิ้นสุดแล้วไม่เท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งไม่สมเหตุสมผลกับความเป็นจริงที่ว่า ความเร็วของพื้นดินหลังจากการสั่นสะเทือนสิ้นสุดแล้วต้องเป็นศูนย์เพราะพื้นดินหยุดนิ่ง สาเหตุที่ความเร็วที่ได้จากการหาปริพันธ์ของความเร่งไม่เป็นศูนย์หลังจากการสั่นสะเทือนสิ้นสุด อาจเป็นเพราะประวัติเวลาของความเร่งมีความคลาดเคลื่อนแบบคงที่รวมอยู่ด้วย a_0 ซึ่งเมื่อหาปริพันธ์ของค่าคงที่จะได้ค่าที่เพิ่มขึ้นตามเวลา ($a_0 t$) เมื่อสิ้นสุดการสั่นสะเทือนที่เวลา $t = T$ ความคลาดเคลื่อนของความเร็วจะมีค่าเป็น $a_0 T$ (Hudson,1979) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้เส้นฐานของความเร่ง เพื่อให้ความเร็วที่ได้จากการหาปริพันธ์ของความเร่งเป็นไปตามที่ปรากฏในความเป็นจริงดังกล่าว

การปรับแก้เส้นฐานของความเร่งทำได้ดังสมการที่ 3.6 โดยสมมติว่าความเร็วของพื้นดินที่ขณะเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ และความเร่งมีความคลาดเคลื่อนคงที่ a_0

$$a^*(t) = a(t) - a_0 \tag{3.6}$$

โดยที่ a = ความเร่งที่ยังไม่ได้ปรับแก้เส้นฐาน ซึ่งมีความเร็วหลังสิ้นสุดการสั่นสะเทือน $v(T) = \int_0^T a(t)dt$

a^* = ความเร่งที่ควรจะเป็นหลังการปรับแก้เส้นฐานซึ่งจะมีความเร็วหลังสิ้นสุดการสั่นสะเทือน $v^*(T) = \int_0^T a^*(t)dt = 0$

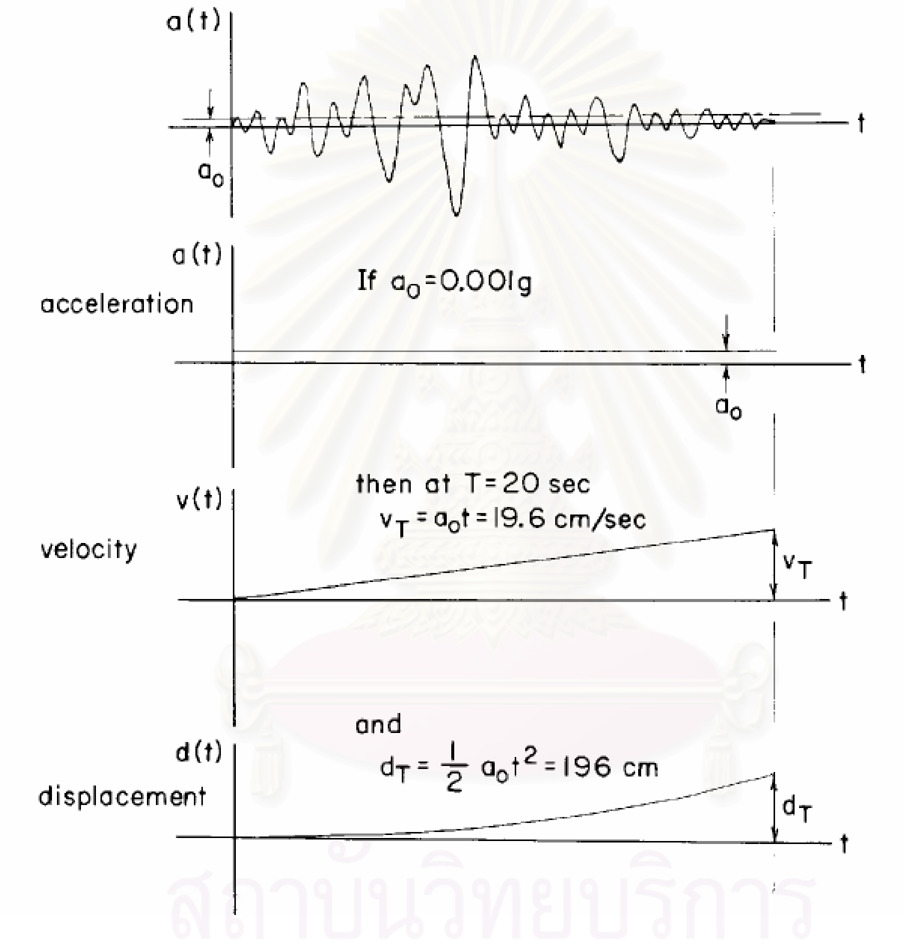
a_0 = ความคลาดเคลื่อนคงที่ ซึ่งเทียบเท่ากับค่าเฉลี่ยของความเร่งที่ยังไม่ได้ปรับแก้เส้นฐานในช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = T$

$$= \frac{\int_0^T a(t)dt}{T}$$

v = ความเร็วจากการที่ไม่ได้ปรับแก้เส้นฐานที่ความเร่ง

v^* = ความเร็วจากการที่ปรับแก้เส้นฐานที่ความเร่งแล้ว

ด้วยหลักการเดียวกันหากทำการปรับแก้เส้นฐานของความเร็ว โดยหักลบความเร็วด้วยค่าเฉลี่ยของความเร่ง ในช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = T$ จะทำให้การกระจัดหลังการสั่นสะเทือนสิ้นสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งสมจริงหากเป็นสถานีที่อยู่ไกลจากรอยเลื่อนมาก เช่น ไกลมากกว่า 50 กิโลเมตร แต่ถ้าสถานีอยู่ใกล้รอยเลื่อน การกระจัดหลังจากการสั่นสะเทือนสิ้นสุดไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์ เพราะพื้นดินอาจเกิดการเคลื่อนที่แบบถาวร ดังนั้นจึงไม่ควรปรับแก้เส้นฐานของความเร็วด้วยหลักการนี้



รูปที่ 3.10 ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนคงที่ a_0 ในประวัติเวลาของความเร่งซึ่งทำให้ความเร็วและการกระจัดหลังการสั่นสะเทือนสิ้นสุดไม่สมจริง (Hudson, 1979)

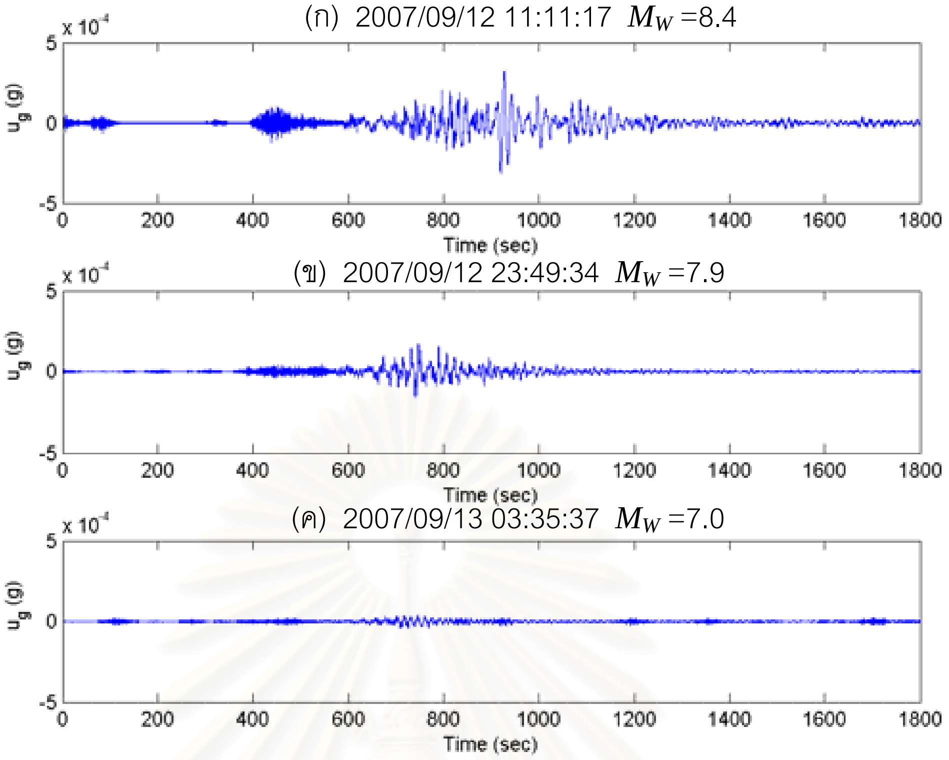
3.3.2 การกรองสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหว

เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดระยะไกล ถึงแม้มีขนาดใหญ่แต่คลื่นที่มาถึงสถานีตรวจวัดมีความรุนแรงน้อย ทำให้ผลของสัญญาณรบกวนมีค่ามากเมื่อเทียบกับสัญญาณจากคลื่นแผ่นดินไหว ในที่นี้ได้เลือกเหตุการณ์แผ่นดินไหว 3 เหตุการณ์ ที่มีจุดกำเนิดอยู่ในประเทศอินโดนีเซีย เมื่อวันที่ 12 ถึง 13 กันยายน 2550 มีขนาดแผ่นดินไหว M_W = 8.4, 7.9 และ 7.0 ตามตารางที่ 3.6 เพื่อศึกษาลักษณะและผลกระทบของสัญญาณรบกวน และกำหนดเกณฑ์ในการกรองสัญญานรบกวนคลื่นแผ่นดินไหวต่างๆ ที่รวบรวมได้

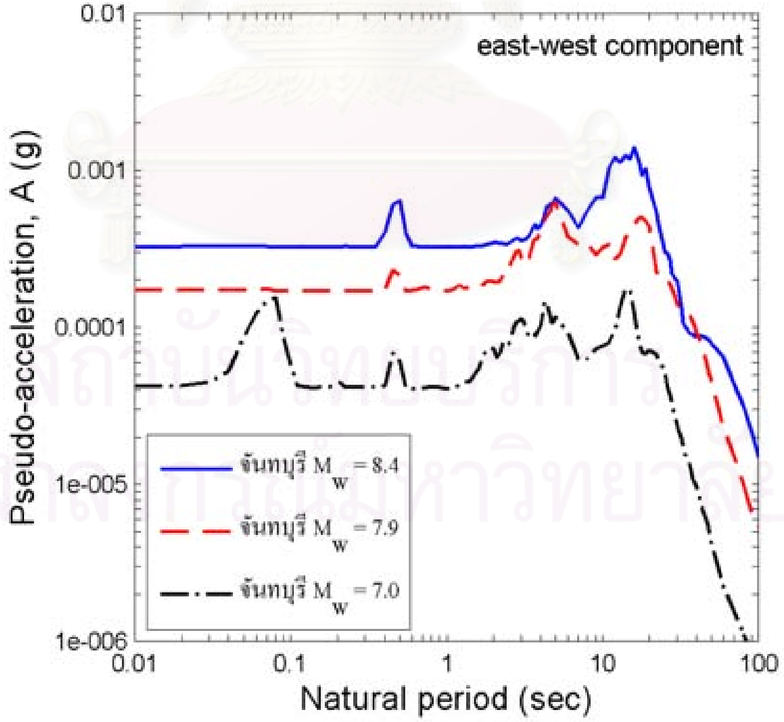
ตารางที่ 3.6 เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่นำมาศึกษา

ลำดับ	วันที่	เวลา(UTC)	ละติจูด	ลองจิจูด	M_W	จุดกำเนิดแผ่นดินไหว
1	2007/09/12	11:11:17	-3.78	101.00	8.4	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA
2	2007/09/12	23:49:34	-2.50	100.15	7.9	KEP. MENTAWAI REGION, INDONESIA
3	2007/09/13	03:35:37	-2.26	99.37	7.0	KEP. MENTAWAI REGION, INDONESIA

โดยหลักการแล้ว ความเร่งของพื้นดินที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวก่อนที่คลื่นแผ่นดินไหวเดินทางมาถึงควรจะเป็นศูนย์ แต่จากรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นประวัติเวลาของความเร่งของพื้นดินของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์จากตารางที่ 3.5 ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของสถานีจังหวัดจันทบุรี บันทึกได้จากเครื่องมือวัดความเร็ว และถูกปรับแก้เส้นฐานแล้ว แต่ยังไม่ได้กรองสัญญาณรบกวน จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วและความเร่งในช่วงเวลาก่อนคลื่นแผ่นดินไหวมาถึงค่าความเร่งไม่เป็นศูนย์ แต่มีความเร่งแกว่งตัวอยู่ ซึ่งก็คือสัญญานรบกวน และยังพบอีกว่าระดับของสัญญาณรบกวนเทียบกับคลื่นแผ่นดินไหวแตกต่างกัน เมื่อคลื่นรุนแรงน้อย สัญญาณรบกวนจะมีอิทธิพลมาก ส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า ดูได้จาก ระดับของสัญญาณรบกวนเทียบกับคลื่นแผ่นดินไหวของรูปที่ 3.11 (ก) ซึ่งมีค่า M_W =8.4 มีระดับของสัญญาณรบกวนเทียบกับคลื่นแผ่นดินไหวเด่นชัดน้อยกว่า รูปที่ 3.11 (ข) ซึ่งมีค่า M_W =7.9 และรูปที่ 3.11 (ค) ซึ่งมีค่า M_W =7.0



รูปที่ 3.11 ประวัติเวลาของความเร่งของพื้นดินของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของสถานีจังหวัดจันทบุรี



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม (ค่าความหน่วง = 0.05) ของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของสถานีจังหวัดจันทบุรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

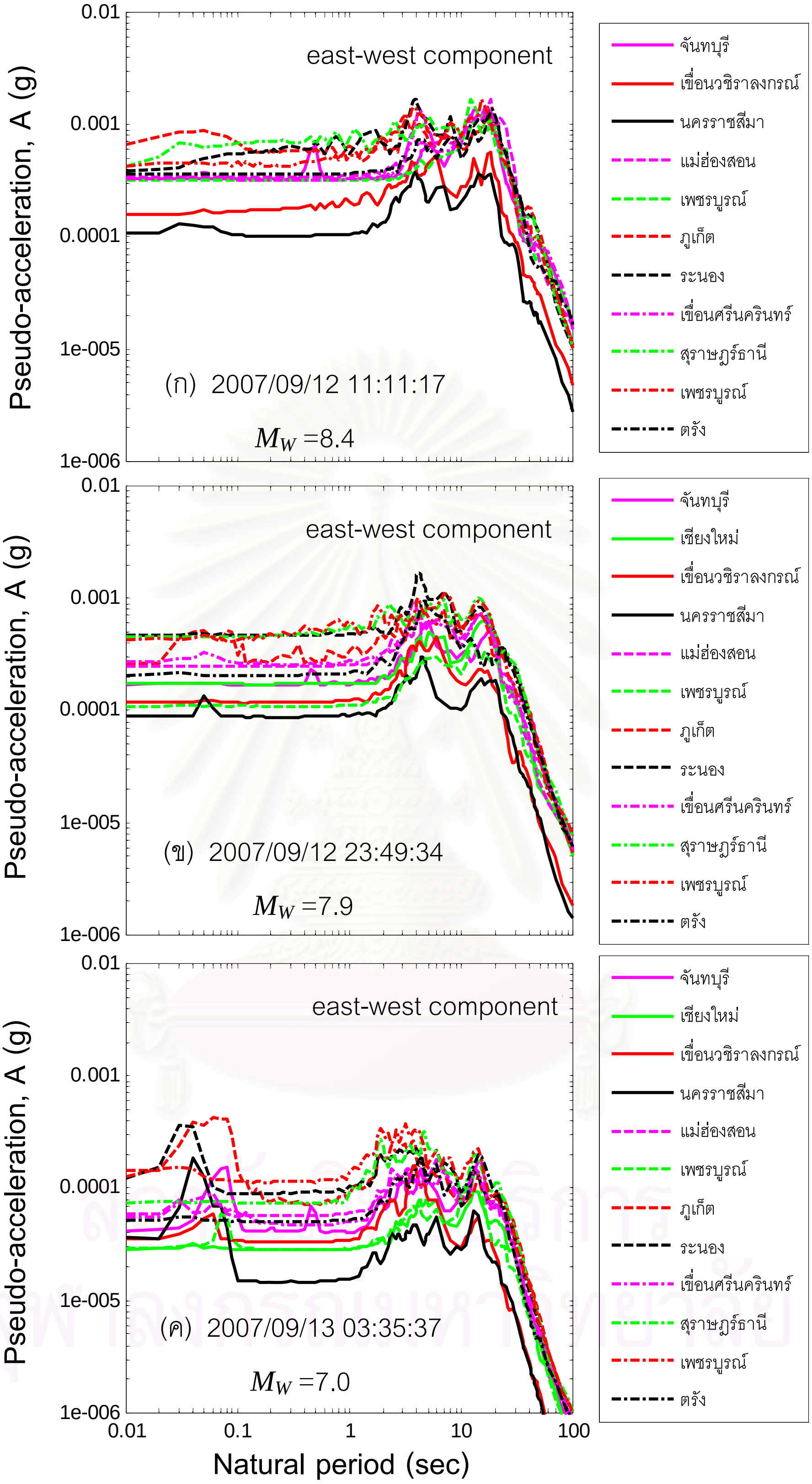
ช่วงคาบเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวทั่วๆ ไปจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.1 ถึง 20 วินาที (0.05-10 Hz) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม (ค่าความหน่วง = 0.05) ของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของสถานีจังหวัดจันทบุรี ซึ่งสังเกตได้ว่าสเปกตรัมของเหตุการณ์ M_W =7 มีค่าสูงสุดผิดปกติในช่วงคาบต่ำกว่า 0.1 วินาที น่าจะเป็นผลของสัญญาณรบกวนช่วงความถี่สูง ในขณะที่สเปกตรัมของเหตุการณ์ M_W =8.4 ไม่ปรากฏยอดแหลมในช่วงความถี่ดังกล่าว เพราะสัญญาณรบกวนมีผลกระทบน้อยเทียบกับความแรงของคลื่นแผ่นดินไหว ข้อสังเกตนี้พบได้ในบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวที่สถานีอื่นๆ ด้วยดังรูปที่ 3.13 สัญญานรบกวนของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีค่า M_W =8.4 และ M_W =7.9 ตามรูปที่ 3.13 (ก) และ 3.13 (ข) ตามลำดับ พบว่าสัญญานรบกวนยังไม่ค่อยเด่นชัดมากนัก แต่เมื่อขนาดแผ่นดินไหวมีขนาดความรุนแรงน้อยลงหรือค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g สัญญานรบกวนก็จะมีค่าเด่นชัดมากขึ้น ดูได้จากรูปที่ 3.13 (ค) สัญญานรบกวนจะแสดงให้เห็นช่วงคาบธรรมชาติ ต่ำกว่า 0.1 วินาที ลงไป ดังนั้นจึงเห็นว่าควรจะกำหนดตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filter) LP = 10 Hz (0.1 วินาที)

นอกจากสัญญาณรบกวนจะมีผลกระทบในช่วงความถี่สูงแล้วยังอาจมีผลกระทบในช่วงความถี่ต่ำ (คาบยาว) ได้อีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่อหาปริพันธ์ เช่น จากความเร่งเป็นความเร็วหรือจากความเร็วเป็นการกระจัด ถ้ามีคลื่นรบกวนที่มีความถี่ต่ำมากแฝงอยู่ จะได้กราฟที่มีลักษณะไม่สั่นสะเทือนรอบแกนศูนย์ ตัวอย่างดังกราฟการกระจัดในรูปที่ 3.14 (ก) ซึ่งแสดงความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับเวลา ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 M_W =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎร์ธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics ก่อนการกรองสัญญาณ เมื่อกรองสัญญาณให้ความถี่สูงผ่าน HP = 0.1 Hz จะได้กราฟการกระจัดที่มีสั่นสะเทือนรอบแกนศูนย์ดังรูปที่ 3.14 (ข) สมเหตุสมผลกว่ารูปที่ 3.14 (ก)

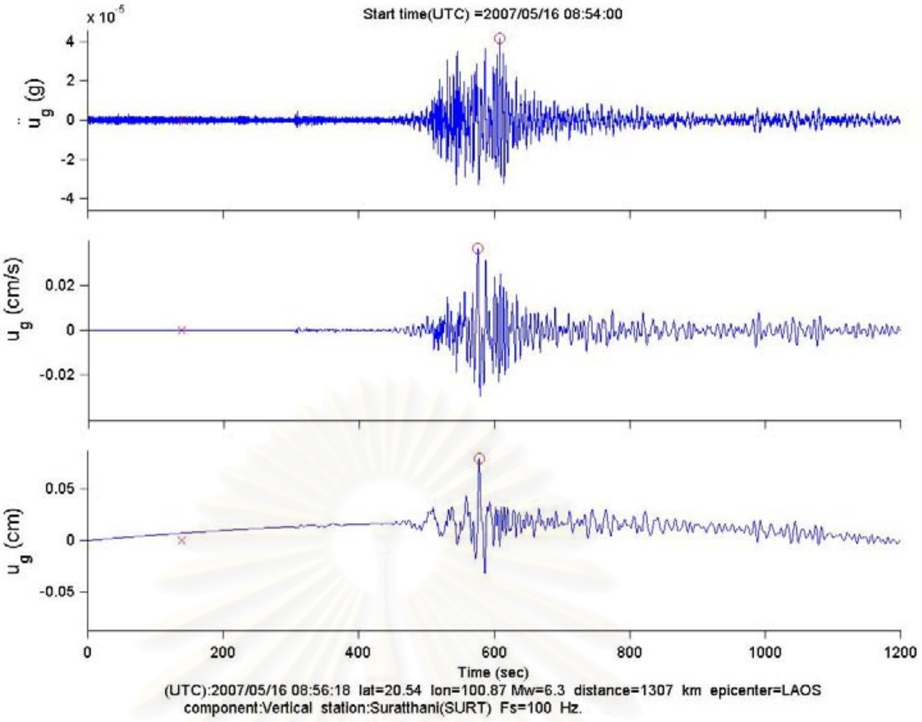
รูปที่ 3.15 เป็นกราฟฟูเรียร์สเปกตรัมของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับความถี่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวเดียวกันนี้ ในรูปที่ 3.15 (ก) เป็นฟูเรียร์สเปกตรัมก่อนการกรองสัญญาณ พบว่าที่ฟูเรียร์สเปกตรัมของการกระจัดที่ความถี่ต่ำกว่า 0.01 Hz มีค่ามากเมื่อเทียบกับความถี่อื่นๆ ซึ่งก็คือสัญญาณรบกวนของคลื่นแผ่นดินไหวนี้ คลื่นรบกวนที่มีความถี่ต่ำจะไม่เห็นได้ชัดในประวัติเวลาของความเร่ง แต่จะปรากฏชัดเจนขึ้นในประวัติเวลาของการกระจัดซึ่งได้จากการหาปริพันธ์ของความเร่งเป็นความเร็วและหาปริพันธ์ของความเร็วเป็นการกระจัดดังรูปที่ 3.14 (ก) จึงทำการกรองคลื่นรบกวนความถี่ต่ำออกจากประวัติเวลาความเร็วของพื้นดินด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 ให้ความถี่สูงกว่า 0.01 Hz ผ่านได้ จากนั้นหาอนุพันธ์ของความเร็วได้ความเร่ง และ

หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด จะได้กราฟฟูเรียร์สเปกตรัมในรูปที่ 3.15 (ข) ซึ่งเป็นกราฟฟูเรียร์สเปกตรัมของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับความถี่ หลังการกรองสัญญาณ HP=0.01 Hz พบว่าค่าฟูเรียร์สเปกตรัมของการกระจัดที่ความถี่ต่ำกว่า 0.01 Hz มีค่าลดลงมาก แต่ยังไม่เท่ากับศูนย์โดยสิ้นเชิงในช่วงความถี่ต่ำกว่า 0.01 Hz เพราะตัวกรองแบบกรองบัตเทอร์เวิร์ทยังยอมให้มีความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่ตัด (cut-off frequency) ผ่านได้อยู่บ้าง อย่างไรก็ดีในการศึกษานี้พยายามกรองสัญญาณทิ้งไปให้น้อยที่สุด และพบว่าการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ด้วยตัวกรองกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 HP = 0.01 Hz ให้การกระจัดของคลื่นแผ่นดินไหวที่ยอมรับได้ จึงเห็นว่าควรจะกำหนดตัวกรองความถี่สูงผ่าน (high-pass filter) HP = 0.01 Hz

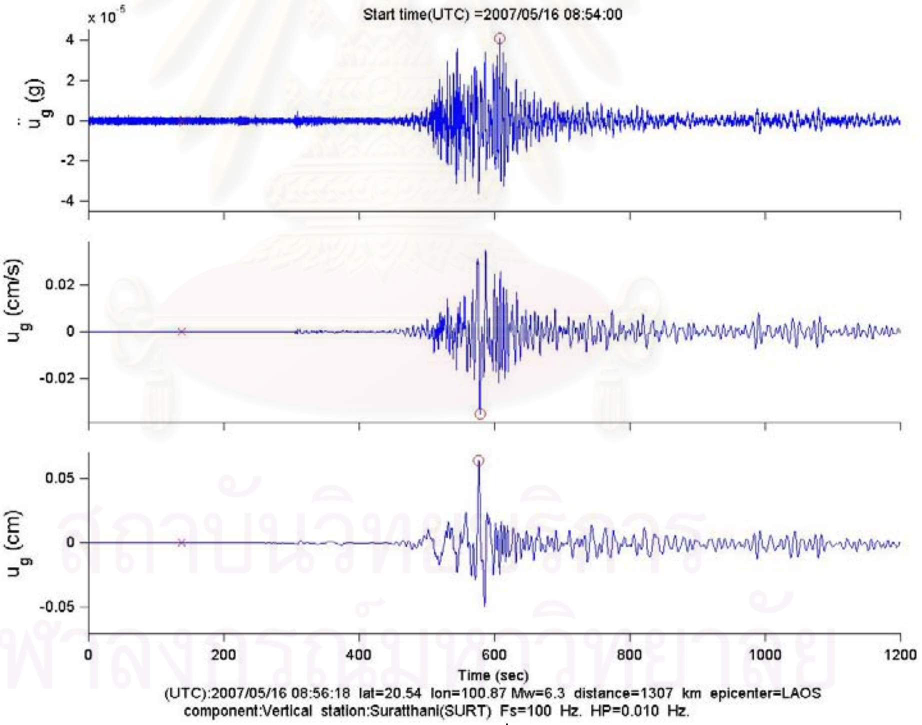
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม (ค่าความหน่วง = 0.05) ของแผ่นดินไหวทั้ง 3 เหตุการณ์ ทิศทางในแนวตะวันออก-ตะวันตก (ก) วันที่ 12 กันยายน 2007 เวลา 11:11:17 M_W =8.4 (ข) วันที่ 12 กันยายน 2007 เวลา 23:49:34 M_W =7.9 และ (ค) วันที่ 13 กันยายน 2007 เวลา 03:35:37 M_W =7.0



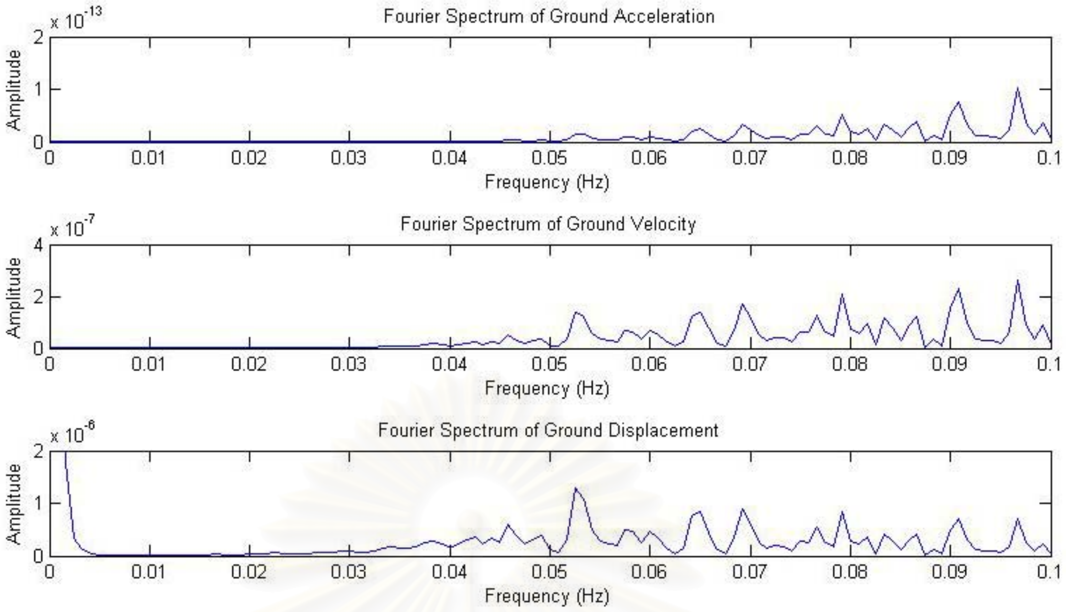
(ก) ก่อนการกรองสัญญาณ



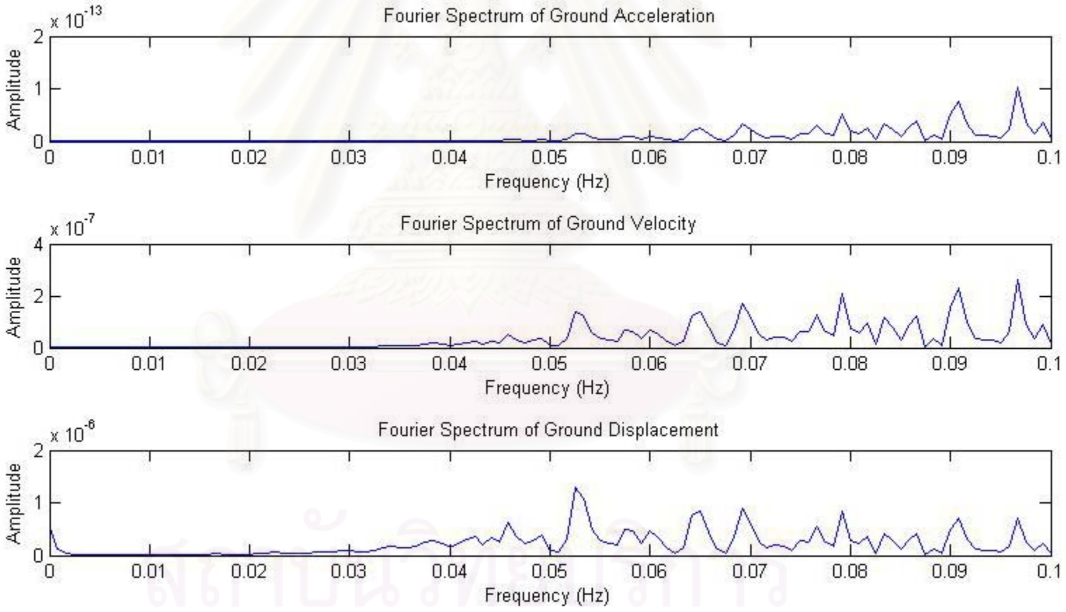
(ข) หลังการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน HP= 0.01 Hz

รูปที่ 3.14 กราฟความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับเวลา ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 M_W =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎร์ธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics (ก) ก่อนการกรองสัญญาณ (ข) หลังการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน HP= 0.01 Hz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



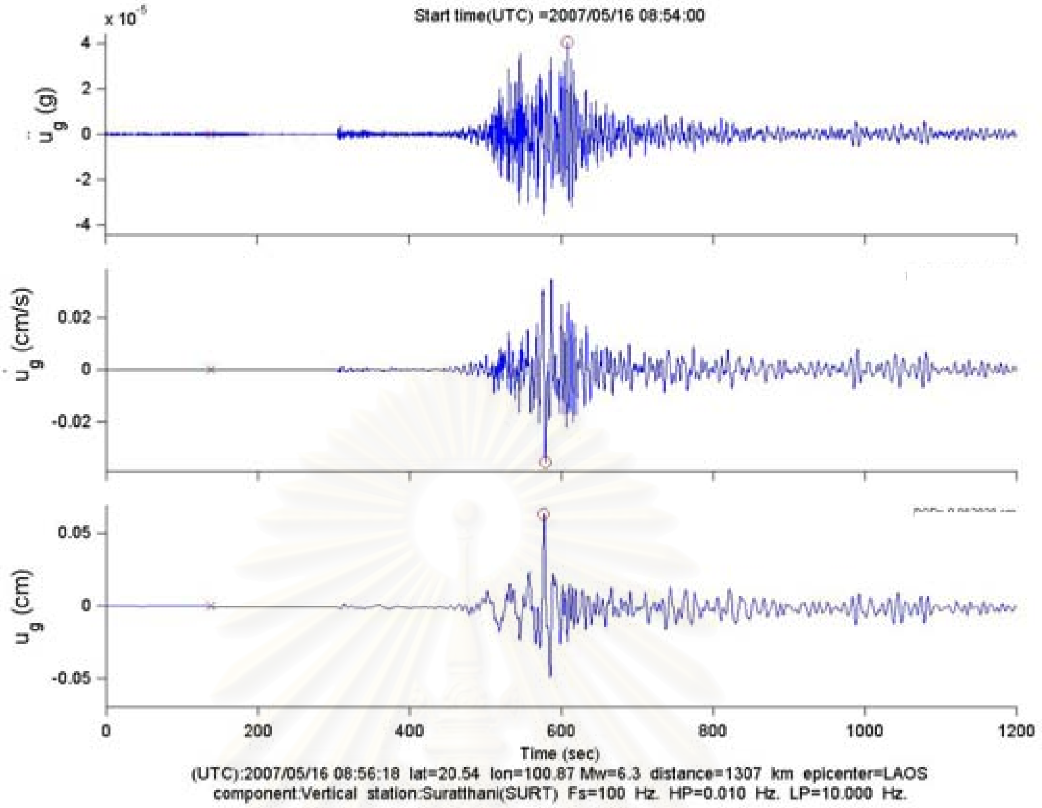
(ก) ก่อนการกรองสัญญาน



(ข) หลังการกรองสัญญานความถี่สูงผ่าน HP= 0.01 Hz

รูปที่ 3.15 ฟูเรียร์สเปกตรัมของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับความถี่ ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 M_W =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎรธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics (ก) ก่อนการ**กรองสัญญาณ** (ข) หลังการกรอง**สัญญาณ**ความถี่สูงผ่าน HP= 0.01 Hz

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.16 กราฟความเร่ง ความเร็ว การกระจัดกับเวลา ของแผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 08:56:16 M_W =6.3 ในแนวดิ่ง สถานีสุราษฎร์ธานี จากเครื่องตรวจวัดรุ่น Trillium 40 ของบริษัท Nanometrics หลังการกรองสัญญาณ HP= 0.01 Hz LP=10 Hz

เมื่อทำการกรองสัญญาณโดยการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงเกิน LP = 10 Hz และที่มีความถี่ต่ำกว่า HP = 0.01 Hz ทิ้งไป ซึ่งเรียกว่าความถี่ผ่านเป็นช่วง (band pass) จะได้คลื่นแผ่นดินไหวที่ผ่านการกรองสัญญาณแล้วดังเช่นในรูปที่ 3.16 สังเกตได้ว่ามีความเร่งช่วงต้นใกล้ศูนย์ซึ่งต่างจากรูปที่ 3.14 ที่ยังไม่ถูกกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงทิ้งไป และการกระจัดแกว่งรอบแกนศูนย์ ซึ่งสมเหตุสมผลกว่ารูปที่ 3.14 (ก) ที่ยังไม่ถูกกรองสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำทิ้งไป ซึ่งข้อมูลที่ถูกกรองสัญญาณรบกวนให้ความถี่เป็นช่วงผ่านแล้วนี้น่าจะมีความถูกต้องสมเหตุสมผลมากกว่าข้อมูลที่ยังไม่ได้ถูกกรองสัญญาณรบกวน

3.4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

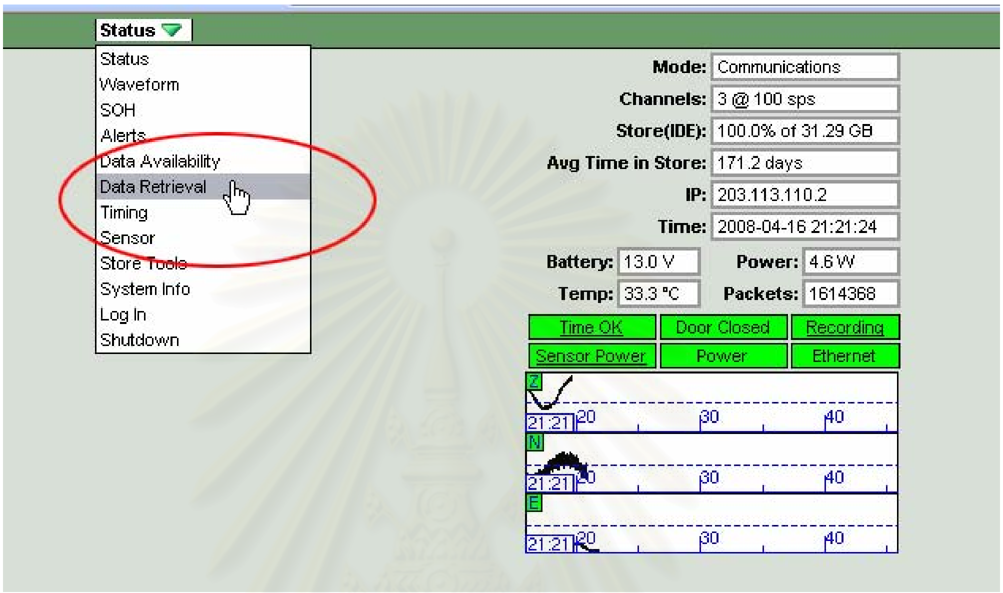
1. หารายการแผ่นดินไหวจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด ดังได้กล่าวไปแล้วจากหัวข้อที่ 3.1

2. หาข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก www.tmdseismology.com เข้าไปที่หัวข้อ ระบบเครือข่ายแผ่นดินไหว Online (Register) อยู่ทางด้านซ้ายของเว็บไซต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 อยู่ในบริเวณที่วงสัญลักษณ์เอาไว้ เมื่อคลิกเข้ามาจะพบว่ามีสถานีให้เลือกอยู่หลายสถานี ในที่นี้ ยกตัวอย่างของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ คลิกเข้าไปยังบริเวณที่วงสัญลักษณ์เอาไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

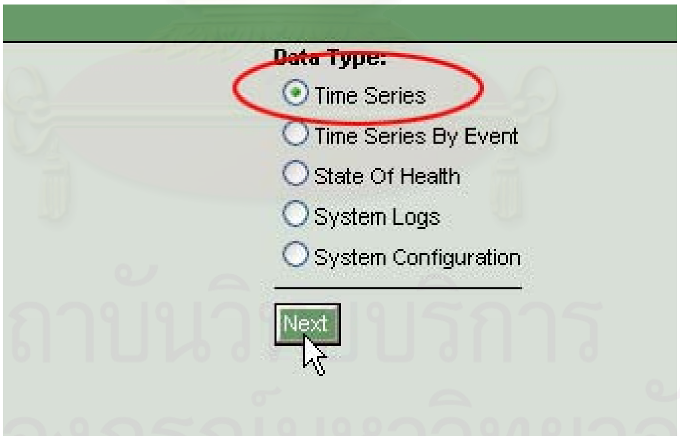
รูปที่ 3.17 เว็บของกรมอุตุนิยมวิทยา หัวข้อระบบเครือข่ายแผ่นดินไหว Online (www.tmdseismology.com)

รูปที่ 3.18 เว็บสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ (www.tmdseismology.com)

เมื่อคลิกเข้ามาให้เลือกหัวข้อ data retrieval เพื่อการค้นข้อมูล โดยคลิกเข้าไปยังบริเวณที่วงสัญลักษณ์เอาไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 แล้วให้คลิกเข้ามาให้เลือก data type คือชนิดข้อมูล และให้เลือกหัวข้อ time series คือ ชุดเวลาของข้อมูล คลิกเข้าไปยังบริเวณที่วงสัญลักษณ์เอาไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 แล้ว คลิกไปที่ next

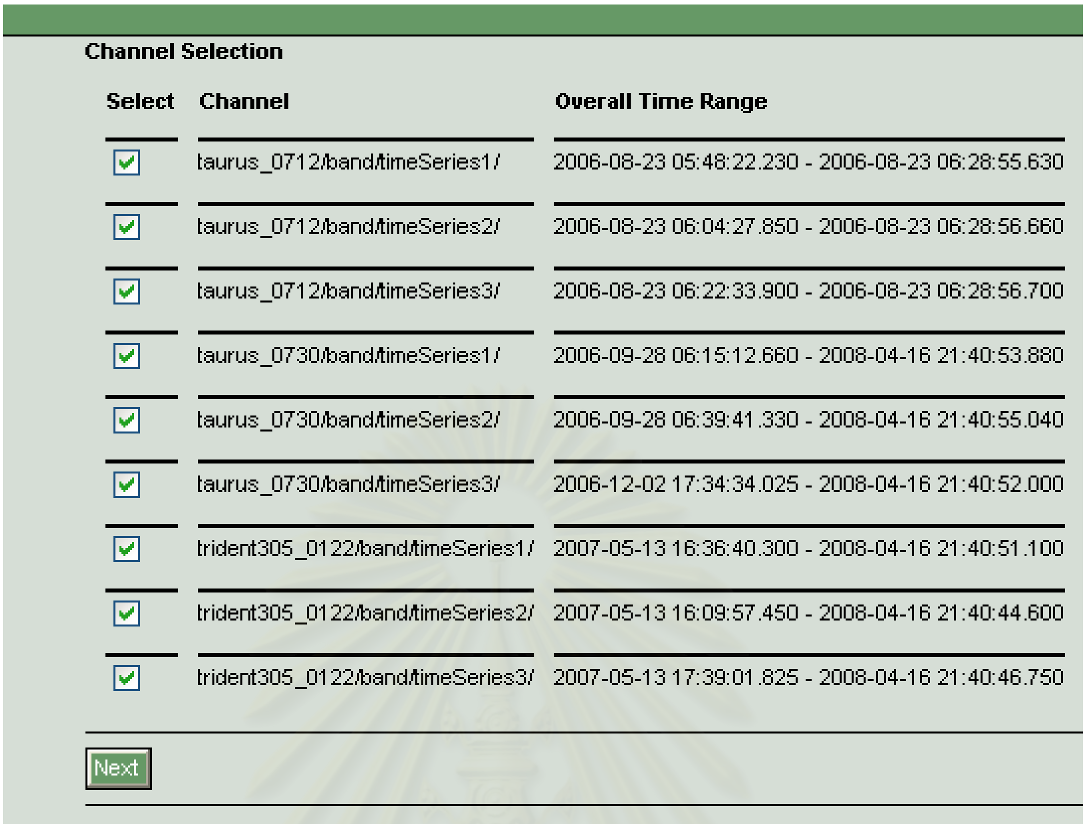


รูปที่ 3.19 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อสืบค้นข้อมูล



รูปที่ 3.20 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อชนิดข้อมูล

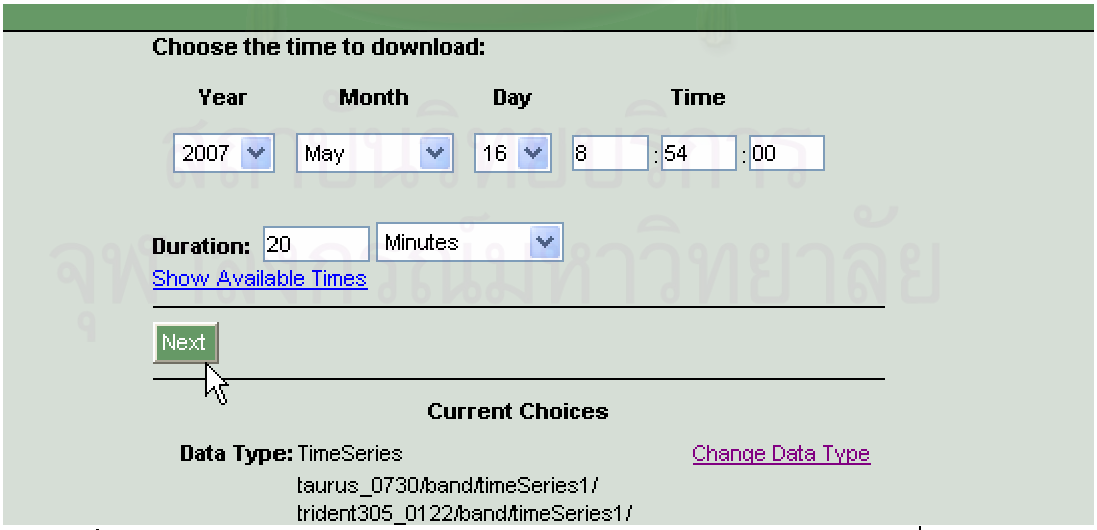
เมื่อคลิกเข้ามาแล้วพบหัวข้อ channel selection คือให้เลือกสัญญาณว่าจะเอาคลื่นแผ่นดินไหวแกนไหน ณ ช่วงตำแหน่งเวลาเท่าไร ถ้าเลือกในช่องสัญญาณของ taurus จะเป็นข้อมูลประวัติเวลาของความเร็ว แต่ถ้าเลือกในช่องสัญญาณของ trident จะเป็นข้อมูลประวัติเวลาของความเร่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.21 เมื่อเลือกเสร็จแล้ว ให้คลิก next



รูปที่ 3.21 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อการเลือกสัญญาณ

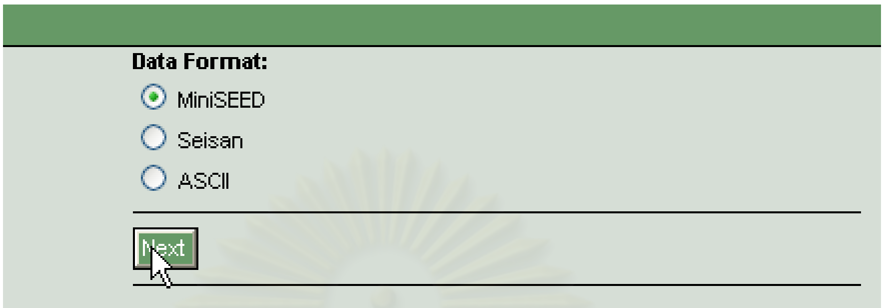
เมื่อคลิกเข้ามาแล้วพบหัวข้อ choose the time to download คือ เลือกเวลาที่จะดาว์นโหลด โดยใส่เวลาเริ่มต้น และระยะเวลาของช่วงข้อมูลที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.22 แล้วให้คลิก next

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



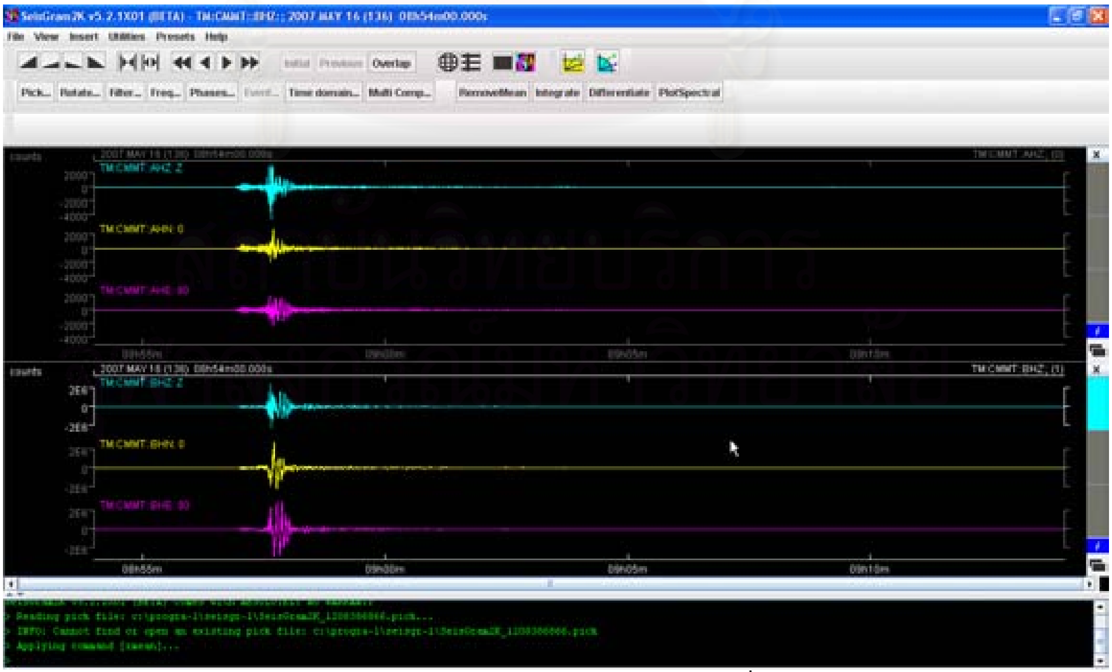
รูปที่ 3.22 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อเวลาที่ดาว์นโหลด

เมื่อคลิกเข้ามาแล้วพบหัวข้อ data format คือ รูปแบบของข้อมูลโดยในที่นี้ เลือกแบบ miniseed ดังแสดงในรูปที่ 3.23 แล้ว ให้คลิก next เมื่อแล้วเสร็จก็จะสามารถดาว์นโหลดข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวได้

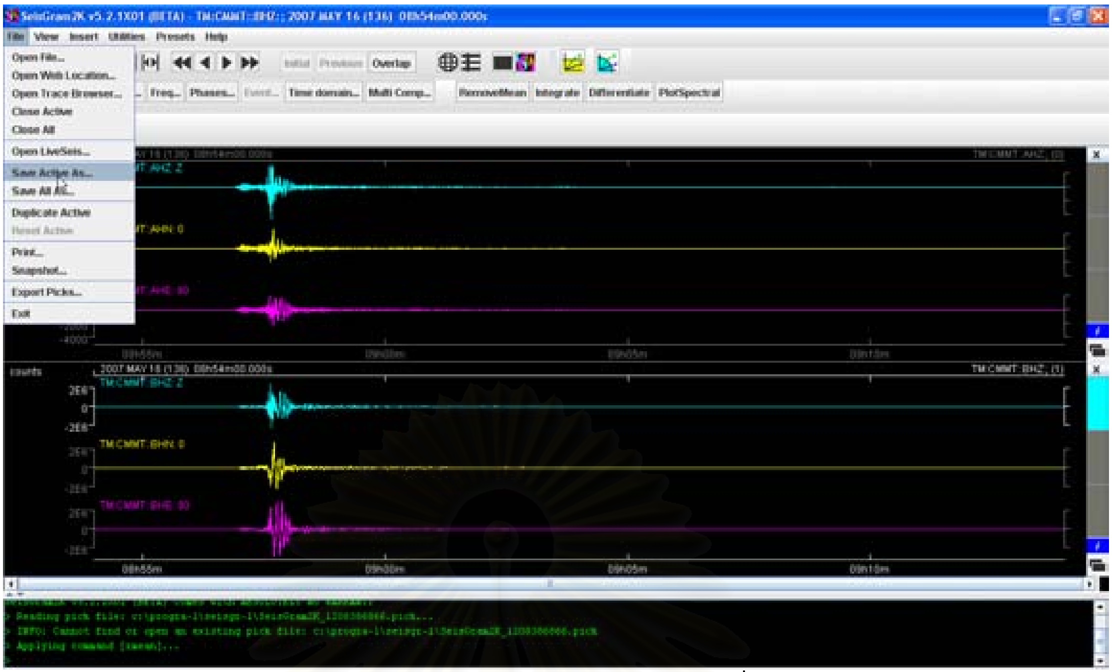


รูปที่ 3.23 เว็บของสถานีตรวจแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ แสดงหัวข้อรูปแบบข้อมูล

3. แปลงข้อมูลจากรูปแบบ miniseed ไปเป็นแฟ้มข้อความแบบ ASCII (text file) โดยใช้โปรแกรม SeisGram2K เมื่อเปิดไฟล์ miniseed โปรแกรม SeisGram2K จะพบประวัติเวลาของความเร็วและความเร่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.24 จากนั้นให้เลือก File แล้วเลือก Save Active As ดังแสดงในรูปที่ 3.25 เพื่อที่จะแปลงเป็นแฟ้มข้อความแบบ ASCII เมื่อแล้วเสร็จจะให้ตั้งชื่อไฟล์ใหม่ และเลือกชนิดของไฟล์ใหม่ ให้เลือกเป็น ASCII Files แล้วจะได้ไฟล์ในรูปแบบแฟ้มข้อความแบบ ASCII



รูปที่ 3.24 ภาพหน้าจอจากโปรแกรม SeisGram2K เมื่อเปิดไฟล์ miniseed



รูปที่ 3.25 ภาพหน้าจอจากโปรแกรม SeisGram2K เมื่อต้องการแปลงข้อมูล

4. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab

4.1 โปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลประวัติเวลามาเก็บไว้

4.1.1 กรณีข้อมูลเป็นความเร็ว

1. กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 ในกรณีที่ค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g และระยะห่างจากจุดกำเนิดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร สัญญานรบกวนสามารถตัดออกได้โดยใช้ ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = 10 Hz และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.01 Hz ถ้าไม่อยู่ในกรณีนี้ ใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = $Fs/2$ โดยที่ Fs = ค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็น จำนวนข้อมูลต่อวินาที (sampling frequency) และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.01 Hz

2. ปรับแก้เส้นฐาน ให้ค่าเฉลี่ยของความเร็วเป็นศูนย์ ซึ่งจะทำให้การกระจัดหลังสิ้นสุดการสั่นสะเทือนเป็นศูนย์

3. หาอนุพันธ์ของความเร็วได้ความเร่ง

4. หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด

4.1.2 กรณีข้อมูลเป็นความเร่ง

1. กรองสัญญาณรบกวนออกด้วยตัวกรองบัตเทอร์เวิร์ทอันดับที่ 4 ในกรณีที่ค่า PGA น้อยกว่า 0.0003g และระยะห่างจากจุดกำเนิดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร สัญญานรบกวนสามารถตัดออกได้โดยใช้ ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = 10 Hz และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน HP = 0.01 Hz ถ้าไม่อยู่ในกรณีนี้ ใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน LP = $Fs/2$ โดยที่ Fs =

ค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลมีหน่วยเป็น จำนวนข้อมูลต่อวินาที และค่าตัวกรองความถี่สูงผ่าน LP = 0.01 Hz

2. ปรับแก้เส้นฐาน ให้ค่าเฉลี่ยของความเร่งเป็นศูนย์ ทำให้ความเร็วหลังสิ้นสุดการสั่นสะเทือนเป็นศูนย์

3. หาปริพันธ์ของความเร่งได้ความเร็ว

4. ปรับแก้เส้นฐาน โดยหักลบค่าเฉลี่ยของความเร็ว เพื่อให้ความเร็วมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และการกระจัดหลังสิ้นสุดการสั่นสะเทือนเป็นศูนย์

5. หาปริพันธ์ของความเร็วได้การกระจัด

4.2 โปรแกรมหาค่าความเร่งสูงสุด ความเร็วสูงสุด และการกระจัดสูงสุดของพื้นดิน

4.3 โปรแกรมหาสเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว โดยจะใช้โปรแกรม speceq ช่วยในการคำนวณ โดยกำหนดค่าอัตราความหน่วงเท่ากับ 0.5%, 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, 10%, 15% และ 20%

4.4 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลทั้งในรูปแบบรูปภาพและแฟ้มข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่รวบรวมได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาหลังจากแปลงค่าให้เป็นความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดินแล้ว ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวหลายๆ เครื่องที่ติดตั้งที่สถานีเดียวกัน ระหว่างเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวหนึ่งๆ ซึ่งที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่มีเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวอยู่ 4 เครื่อง คือ เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบวัดความเร็วและความเร่งที่ติดตั้งตั้งแต่ ปี พ.ศ.2541 ได้แก่ เครื่องหมายเลข 1 และ 2 ในตารางที่ 3.7 และเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวแบบวัดความเร็วและความเร่งที่ติดตั้งตั้งแต่ ปี พ.ศ.2549 ได้แก่ เครื่องหมายเลข 3 และ 4 ในตารางที่ 3.7 รายละเอียดชนิดของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ดูได้จากตารางที่ 3.7 ซึ่งแสดงบริษัทผู้ผลิตและรุ่นของเครื่องมือ ลักษณะการตรวจวัด และปีที่ติดตั้ง

ตารางที่ 3.7 ชนิดของเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่

บริษัทที่ผลิตและรุ่นของเครื่องมือ	ลักษณะการตรวจวัด	ปีที่ติดตั้ง
1. Mark Products รุ่น L4C3D	ความเร็ว	พ.ศ.2541
2. Terra Technology รุ่น SSA-320	ความเร่ง	พ.ศ.2541
3. Nanometrics รุ่น Trillium 120	ความเร็ว	พ.ศ.2549
4. Metrozet รุ่น TSA 100	ความเร่ง	พ.ศ.2549

เพื่อเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือแต่ละชนิด การศึกษานี้ได้หาเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เครื่องมือทั้ง 4 เครื่องตรวจวัดได้พร้อมกันและมีลักษณะคลื่นเห็นได้อย่างชัดเจน เหตุการณ์ที่มีลักษณะดังกล่าวที่เลือกมามี 3 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ในประเทศลาว เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2007 มีขนาดแผ่นดินไหว M_W =6.3 จุดกำเนิดอยู่ห่างจากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่ 278 กม., เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ในมลฑลยูนนานประเทศจีน เมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2007 มีขนาดแผ่นดินไหว M_W =6.1 จุดกำเนิดอยู่ห่างจากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่ 523 กม. และเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีจุดกำเนิดอยู่ในประเทศเมียนมาร์ เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน 2007 มีขนาดแผ่นดินไหว M_W =5.6 จุดกำเนิดอยู่ห่างจากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่ 318 กม. รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.8 ซึ่งเป็นตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่ ในตารางยังบอกถึงค่าการกระจัดสูงสุด (PGD) ความเร็วสูงสุด (PGV) ความเร่ง

สูดสุด (PGA) ในทิศทางแนวราบ (vertical, VE) แนวเหนือ-ใต้ (north-south, NS) และแนวตะวันออก-ตะวันตก (east-west, EW) ตามลำดับ และยังบอกถึงอัตราส่วนของค่าที่ได้จากเครื่อง TSA 100 หารด้วยค่าที่ได้จากเครื่องมืออื่นๆ พบว่าส่วนใหญ่แล้วค่าที่ได้จากเครื่อง Trillium 120 และ TSA 100 มีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งค่าความเร่ง ความเร็ว การกระจัดของแผ่นดินไหว ส่วนค่าที่ได้จากเครื่อง Terra มีค่าใกล้เคียงกับเครื่อง Trillium 120 และ TSA 100 เป็นบางเหตุการณ์และบางเหตุการณ์ก็มีค่าต่างกันมาก 25% สำหรับค่าความเร่งสูงสุด ส่วนค่าที่ได้จากเครื่อง Mark Products ไม่มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่อง Trillium 120, TSA 100 และ Terra โดยบางเหตุการณ์มีค่าต่างกันถึง 550% สำหรับค่าความเร่งสูงสุด เพื่อให้มีความเข้าใจยิ่งขึ้น จึงได้ยกตัวอย่างเหตุการณ์แผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2007 เวลา 15.56 น. เกิดบริเวณประเทศลาว ห่างจากสถานี 278 กม. มีขนาด M_W =6.3 ในแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือทั้ง 4 ชนิด พบว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Trillium 120, TSA 100 และ Terra มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง ค่าความเร่ง ความเร็ว การกระจัดของแผ่นดินไหวและลักษณะของคลื่นก็ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับค่าที่ได้จากเครื่อง Mark จะมีลักษณะของคลื่นไม่เหมือนกันแล้วค่าที่ได้ยังแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาจากระบบเก่าคือจากเครื่อง Terra และ Mark พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่เก็บไว้มีแต่ข้อมูลของเครื่อง Mark เพราะฉะนั้นจึงควรระมัดระวังในการนำไปใช้ ส่วนของระบบใหม่คือจากเครื่อง Trillium 120 และ TSA 100 มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ได้ สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งเครื่องมือเมื่อปี 2549 นอกเหนือจากที่จังหวัดเชียงใหม่ไม่มีเครื่องมือระบบเก่าติดตั้งอยู่ จึงไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบเก่ากับระบบใหม่ได้ ทำได้เพียงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องตรวจวัดระบบใหม่ TSA 100 กับ Trillium เท่านั้นซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าโดยส่วนใหญ่ สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งเครื่องมือเมื่อปี 2549 มีความน่าเชื่อถือโดยที่ค่าจาก TSA 100 มีความสอดคล้องกับค่าจาก Trillium ยกเว้นที่สถานีตรวจวัดจังหวัด นครราชสีมา เพชรบูรณ์ และ สกลนคร ที่มีความไม่สอดคล้องตามตารางที่ 3.9 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดนครราชสีมา เพชรบูรณ์ และ สกลนคร ข้อมูลจึงยังไม่น่าเชื่อถือ ควรจะต้องทำการตรวจสอบเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

ส่วนสถานีที่ยังไม่สามารถดาว์นโหลดได้ ได้แก่ สถานีสงขลา, ตราด และแม่สะเรียง ดังนั้นโดยสรุปแล้วมีสถานีที่ใช้ได้คือสถานี จันทบุรี, เชียงใหม่, เขื่อนวชิราลงกรณ์, แม่ฮ่องสอน, ภูเก็ต, ระนอง, เขื่อนศรีนครินทร์ สุราษฎร์ธานี และ อุบลราชธานี รวม 9 สถานี (ตรวจสอบเมื่อเดือนกรกฎาคม 2550)

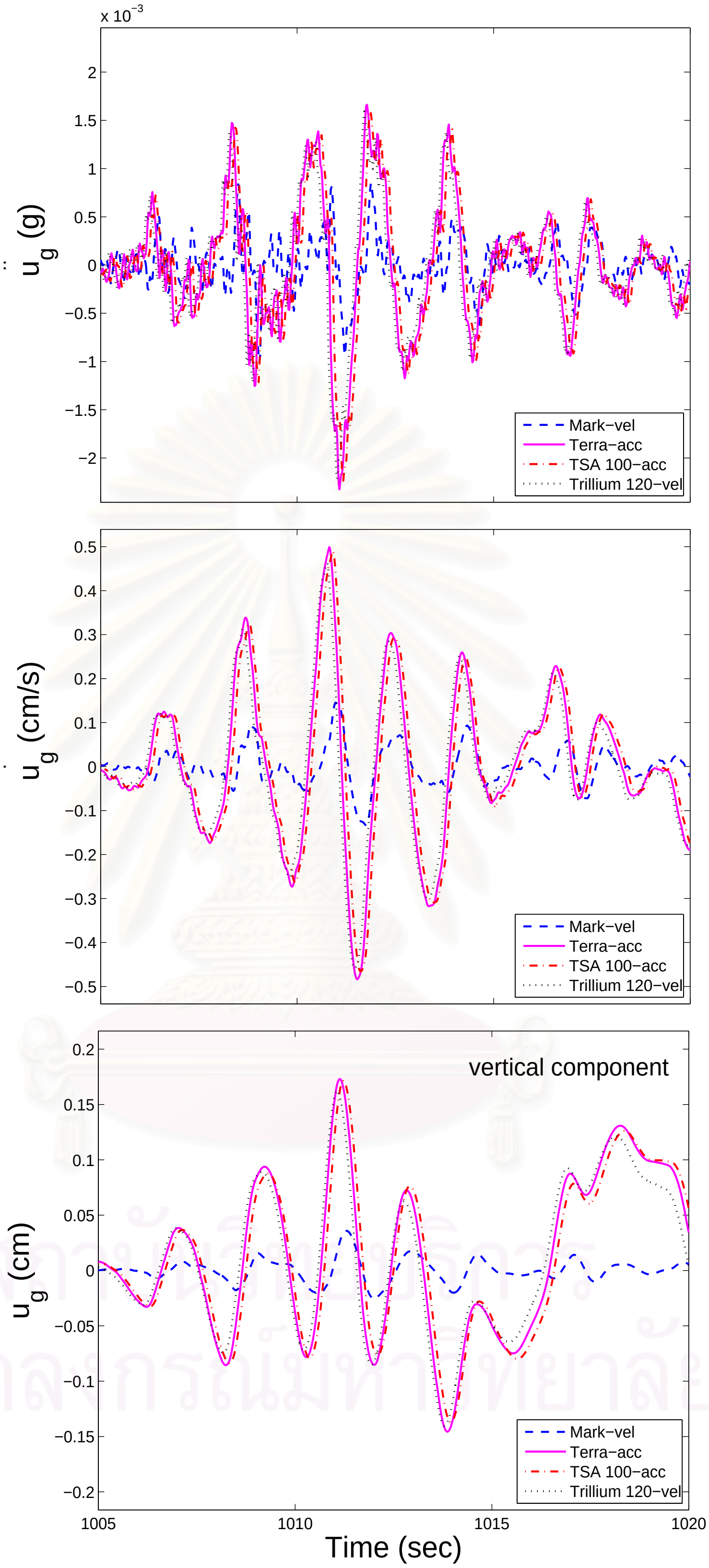
ตารางที่ 3.8 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวทั้ง 4 เครื่องของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดเชียงใหม่ กรมอุตุนิยมวิทยา

ลำดับ	จุดกำเนิด	เวลา (UTC)	สถานี	ขนาดแผ่นดินไหว	ระยะทาง (km.)	VE_PGD (cm)	VE_PGV (cm/s)	VE_PGA (g)	NS_PGD (cm)	NS_PGV (cm/s)	NS_PGA (g)	EW_PGD (cm)	EW_PGV (cm/s)	EW_PGA (g)	หมายเหตุ
1	ลาว	2007/05/16 08:56:18	เชียงใหม่	6.3	278	0.196730	0.490409	0.002236	0.379677	0.437282	0.001280	0.569199	0.604137	0.001038	TSA100
						0.194499	0.462381	0.002214	0.380121	0.420505	0.001281	0.565098	0.594517	0.001030	Trillium120
						0.204471	0.499015	0.002326	0.603048	0.635954	0.001098	0.406017	0.466687	0.001390	TERRA
						0.035885	0.145625	0.001009	0.027472	0.086542	0.000663	0.018094	0.062128	0.000521	MARK
						1.01	1.06	1.01	1.00	1.04	1.00	1.01	1.02	1.01	TSA/TRI
						0.96	0.98	0.96	0.63	0.69	1.17	1.40	1.29	0.75	TSA/TERRA
						5.48	3.37	2.22	13.82	5.05	1.93	31.46	9.72	1.99	TSA/MARK
2	ยูนนาน , จีน	2007/06/02 21:35:02	เชียงใหม่	6.1	523	0.040995	0.071729	0.000216	0.042046	0.042474	0.000110	0.061858	0.062879	0.000121	TSA100
						0.038596	0.067865	0.000208	0.041319	0.043914	0.000113	0.061294	0.060350	0.000121	Trillium120
						0.038800	0.072400	0.000234	0.067500	0.069300	0.000136	0.046300	0.047600	0.000130	TERRA
						0.000505	0.003676	0.000039	0.000783	0.005840	0.000054	0.000404	0.002627	0.000022	MARK
						1.06	1.06	1.04	1.02	0.97	0.97	1.01	1.04	1.00	TSA/TRI
						1.06	0.99	0.92	0.62	0.61	0.81	1.34	1.32	0.93	TSA/TERRA
						81.19	19.52	5.53	53.67	7.27	2.01	153.04	23.93	5.46	TSA/MARK
3	เมียนมาร์	2007/06/23 08:17:21	เชียงใหม่	5.6	318	0.017301	0.048336	0.000330	0.012065	0.026215	0.000213	0.014578	0.031062	0.000277	TSA100
						0.016857	0.047143	0.000346	0.012083	0.027010	0.000258	0.014155	0.030356	0.000291	Trillium120
						0.019692	0.052302	0.000347	0.014268	0.031535	0.000278	0.016085	0.030528	0.000255	TERRA
						0.002659	0.019312	0.000376	0.001836	0.017171	0.000220	0.001991	0.012369	0.000237	MARK
						1.03	1.03	0.96	1.00	0.97	0.83	1.03	1.02	0.95	TSA/TRI
						0.88	0.92	0.95	0.85	0.83	0.77	0.91	1.02	1.09	TSA/TERRA
						6.51	2.50	0.88	6.57	1.53	0.97	7.32	2.51	1.17	TSA/MARK

ตารางที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่จังหวัดนครราชสีมา เพชรบูรณ์ และ สกลนคร

ลำดับ	จุดกำเนิด	เวลา (UTC)	สถานี	ขนาดแผ่นดินไหว	ระยะทาง (km.)	VE_PGD (cm)	VE_PGV (cm/s)	VE_PGA (g)	NS_PGD (cm)	NS_PGV (cm/s)	NS_PGA (g)	EW_PGD (cm)	EW_PGV (cm/s)	EW_PGA (g)	หมายเหตุ
1	เมียนมาร์	2007/06/23 08:17:21	นครราชสีมา	5.6	791	0.010516	0.020050	0.000067	0.011158	0.025144	0.000075	0.025631	0.039689	0.000082	TSA100
						0.014300	0.026700	0.000143	0.016300	0.032300	0.000099	0.033800	0.045600	0.000160	Trillium40
						0.74	0.75	0.47	0.68	0.78	0.76	0.76	0.87	0.51	TSA/TRI
2	อินโดนีเซีย	2007/03/01 02:01:05	เพชรบูรณ์	5.2	1533	0.000204	0.000418	0.000006	0.000137	0.000401	0.000006	0.000097	0.000152	0.000004	TSA100
						0.000071	0.000429	0.000008	0.000089	0.000353	0.000008	0.000039	0.000223	0.000007	Trillium120
						2.88	0.97	0.76	1.54	1.14	0.74	2.50	0.68	0.55	TSA/TRI
3	เมียนมาร์	2007/06/23 08:17:21	สกลนคร	5.6	652	0.004948	0.009958	0.000042	0.022223	0.026955	0.000072	0.037711	0.035116	0.000080	TSA100
						0.013800	0.019500	0.000105	0.019400	0.025300	0.000117	0.041100	0.037400	0.000161	Trillium40
						0.36	0.51	0.40	1.15	1.07	0.61	0.92	0.94	0.50	TSA/TRI

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.26 ความเร่ง ความเร็ว และการกระจัดของพื้นดินในแนวดิ่ง ที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องตรวจแผ่นดินไหวทั้ง 4 แบบที่สถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด M_W =6.3 เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม เวลา 15.56 น. เกิดในประเทศลาว ห่างจากสถานี 278 กม.

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว

4.1 สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย

การประมาณความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหว ณ ตำแหน่งที่ต้องการออกแบบโครงสร้าง จำเป็นต้องใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหว (attenuation relationship) โดยสมการนี้ใช้ในการประมาณค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak ground acceleration, PGA) เมื่อกำหนดขนาดของแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว ซึ่งสมการลดทอนแผ่นดินไหวมีหลักการพื้นฐานที่ว่า PGA จะมีค่ามากเมื่อแผ่นดินไหวมีขนาดใหญ่ และPGA จะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดกำเนิดเพิ่มขึ้น แต่ทว่าขณะนี้ยังมีข้อมูลความเร่งของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่วัดตรวจได้ในประเทศไทยไม่เพียงพอที่จะพัฒนาสมการนี้สำหรับประเทศไทย ในขณะที่สมการลดทอนที่มีในต่างประเทศมีอยู่มากมายหลายชุดซึ่งเสนอโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ค่าที่ได้จากสมการเหล่านั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยอาจต่างกันได้เป็นหลายเท่าตัว

ข้อมูลจากระบบตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหวใหม่ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2549 ทำให้เราสามารถเปรียบเทียบสมการลดทอนต่างๆ ที่มีอยู่ในต่างประเทศกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทย การศึกษานี้ได้พิจารณาสมการลดทอนทั้งหมด 18 สมการ เพื่อค้นหาสมการที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า PGA ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา กับค่าที่ได้จากสมการลดทอน โดยแปรเปลี่ยนขนาดและระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว

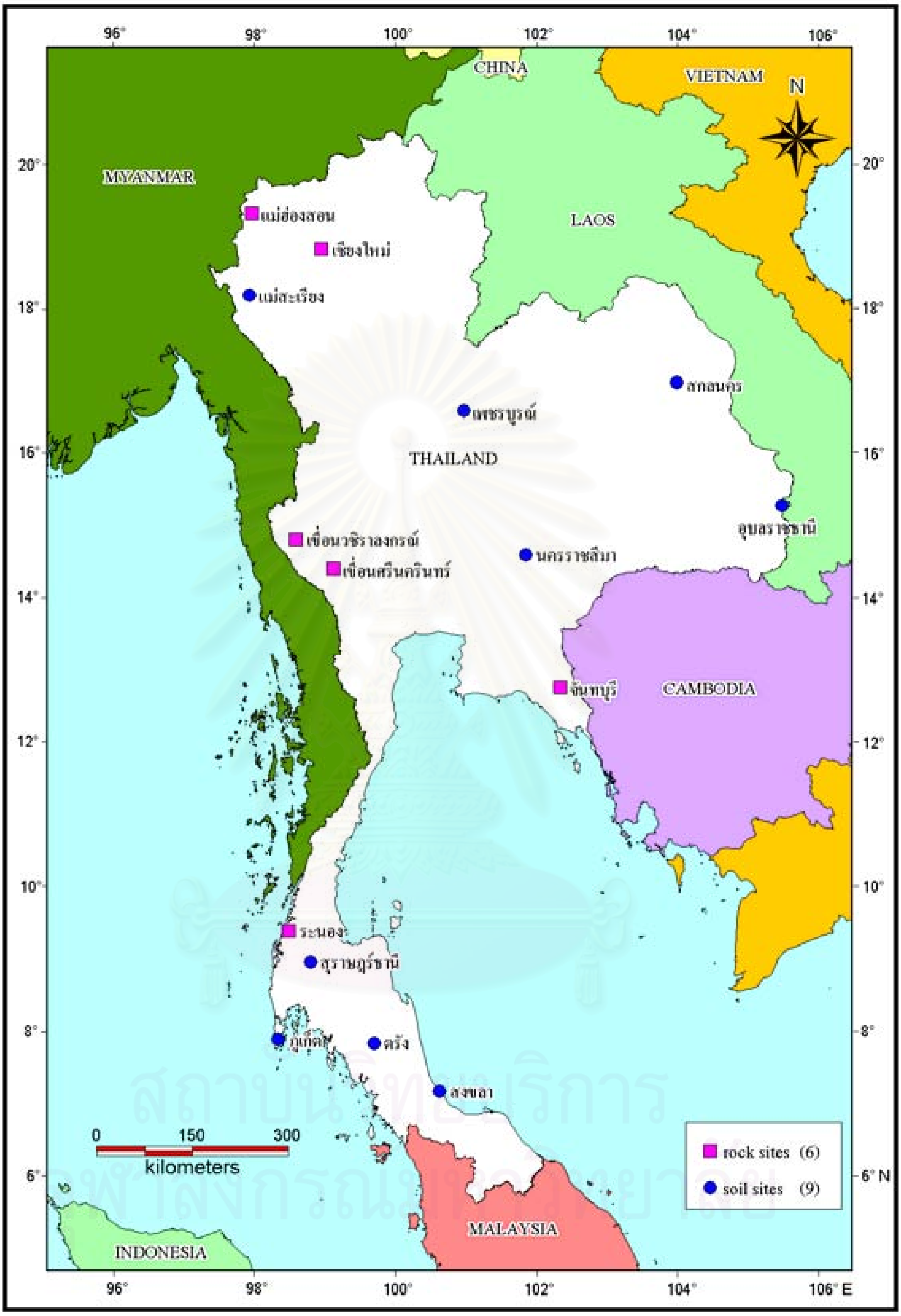
การศึกษานี้ใช้ข้อมูลความเร่งที่พื้นดินเนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2549 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550 จากระบบตรวจวัดแผ่นดินไหวชุดใหม่ของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ถูกติดตั้งในปี 2549 จำนวน 15 สถานี โดยเวลาที่เกิด ตำแหน่ง และขนาดของแผ่นดินไหวอ้างอิงจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด (Harvard Central Moment Tensor Catalog) โดยพิจารณาแผ่นดินไหวที่มีขนาด M_W (moment magnitude) ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป จุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิกัด 0 ถึง 25 องศาเหนือ และ 90 ถึง 110 องศาตะวันออก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยและบริเวณประเทศใกล้เคียงที่ส่งผลกระทบถึงประเทศไทย

สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 สถานีตั้งอยู่บนดินที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ดินแน่นมากและหินผุ ดินแข็ง หิน เป็นต้น การศึกษานี้ได้ทำการจำแนกลักษณะดินที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งบอกถึง สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว รหัสสถานี ความเร็วคลื่นเฉือน ลักษณะดินที่ตั้งสถานี การแบ่งลักษณะดินในการศึกษานี้ใช้ ความเร็วคลื่นเฉือนเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง รายละเอียดดูได้จากภาคผนวก ค สำหรับรูปที่แสดงลักษณะดินที่ตั้งของของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 แสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะดินที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว	**รหัสสถานี**	**ประเภทดิน***	**ความเร็วคลื่นเฉือน (เมตร/วินาที)**	**ลักษณะดินที่ตั้งสถานี**
เขื่อนวชิราลงกรณ์ กาญจนบุรี	KHLT	C	387	ดินแน่นมากและหินผุ
เขื่อนศรีนครินทร์ กาญจนบุรี	SRDT	C	387	ดินแน่นมากและหินผุ
เขื่อนคีรีธาร จันทบุรี	CHBT	C	487	ดินแน่นมากและหินผุ
เขื่อนลำพระเพลิง นครราชสีมา	KRDT	D	348	ดินแข็ง
เขื่อนน้ำพุง สกลนคร	SKNT	D	254	ดินแข็ง
เขาค้อ เพชรบูรณ์	PBKT	D	245	ดินแข็ง
เขื่อนปากมูล อุบลราชธานี	UBPT	D	294	ดินแข็ง
ดอยสุเทพ เชียงใหม่	CMMT	-	-	หิน
แม่สะเรียง แม่ฮ่องสอน	MHMT	D	330	ดินแข็ง
แม่ฮ่องสอน	MHIT	C	377	ดินแน่นมากและหินผุ
ระนอง	RNTT	C	417	ดินแน่นมากและหินผุ
เขื่อนรัชชประภา สุราษฎร์ธานี	SURT	D	290	ดินแข็ง
เขื่อนท่างิ้ว ตรัง	TRTT	D	342	ดินแข็ง
เขื่อนบางวาด ภูเก็ต	PKDT	D	215	ดินแข็ง
สงขลา	SKLT	D	340	ดินแข็ง

* ประเภทดินตามเกณฑ์ของ NEHRP (ICBO, 1997)



รูปที่ 4.1 ลักษณะดินที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งปี 2549 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

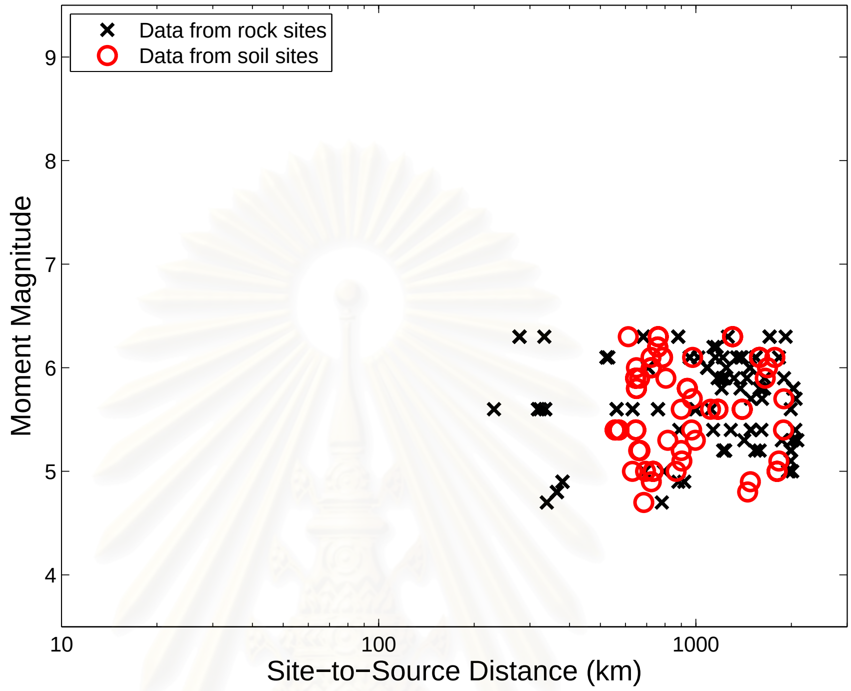
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากแผ่นดินไหว 44 เหตุการณ์ โดยมีข้อมูลความเร่งของพื้นดินที่บันทึกได้ 163 บันทึก ซึ่งแบ่งกลุ่มข้อมูลตามกลไกการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีจุดกำเนิดอยู่ในเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction) จำนวน 108 บันทึก และที่จุดกำเนิดไม่อยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก (non-subduction) จำนวน 55 บันทึก หากจำแนกข้อมูลตามลักษณะชั้นดินที่สถานีที่ตรวจวัดความเร่งได้ จะว่าได้มีข้อมูลมาจากสถานีที่ตั้งอยู่บนหินผุหรือดินแข็งมาก (ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยช่วง 30 เมตรจากผิวดิน $V_{s,30}$ มากกว่า 360 เมตรต่อวินาที) จำนวน 101 บันทึกและจากสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน ($V_{s,30}$ น้อยกว่า 360 เมตรต่อวินาที) จำนวน 62 บันทึก ตามเกณฑ์ของ NEHRP (ICBO, 1997) ซึ่งการศึกษานี้ประมาณค่า $V_{s,30}$ จากข้อมูล blow count ของหลุมเจาะสำรวจดินของกรมโยธาธิการและผังเมือง (http://www.dpt.go.th/soil/index.html) ที่อยู่ใกล้สถานีตรวจวัดที่สุดประกอบกับสมการทำนายความเร็วคลื่นเฉือน (Naguit, 2006) สรุปการจำแนกข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การจำแนกจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ตามจุดกำเนิดแผ่นดินไหวและลักษณะดินที่ตั้งระหว่าง ก.ค. 2549 ถึง ก.ค. 2550

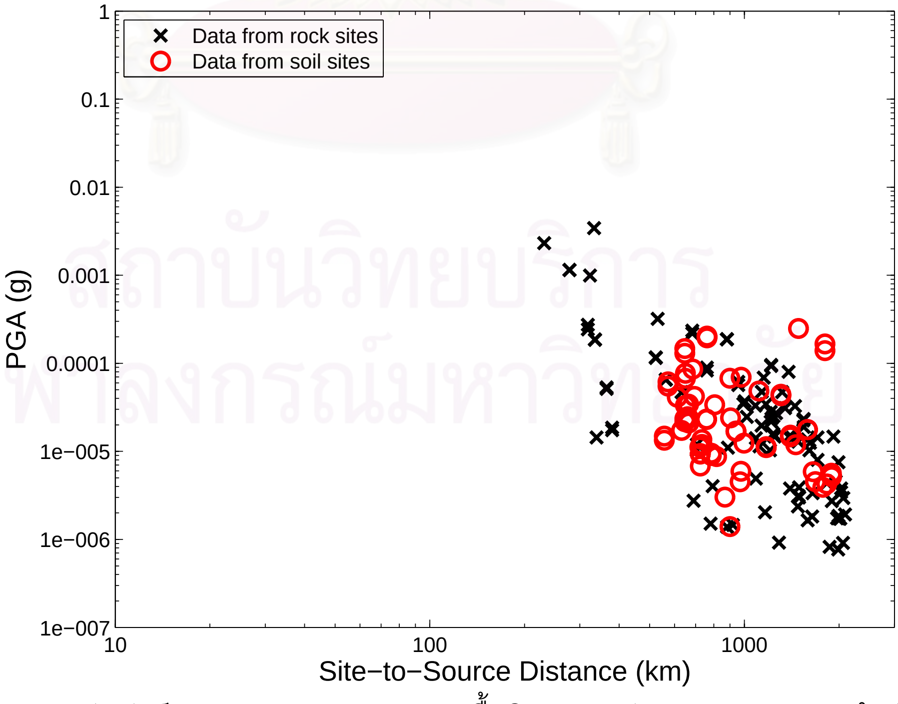
จุดกำเนิดแผ่นดินไหว	**ลักษณะดินที่ตั้ง**		**รวม**
	หิน	**ดิน**	
เขตมุดตัวของเปลือกโลก	62	46	108
เขตที่ไม่ใช่เขตมุดตัวของเปลือกโลก	39	16	55
รวม	101	62	163

การกระจายข้อมูลตามขนาดของแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด (รูปที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่บันทึกได้มาจากแผ่นดินไหวที่ระยะห่างตั้งแต่ 231 ถึง 2090 กิโลเมตร และมีขนาดระหว่าง 4.7 ถึง 6.3 ซึ่งยังไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ และระยะใกล้ ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่มีอยู่ในขณะนี้จึงยังไม่เพียงพอที่จะสร้างสมการลดทอนคลื่นขึ้นใหม่สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะ แต่อาจพอที่จะใช้เปรียบเทียบกับสมการที่มีอยู่ในต่างประเทศเพื่อเลือกใช้สมการที่ใกล้เคียงกับข้อมูลในประเทศไทยที่สุด การลดทอนของค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน (peak horizontal ground acceleration, PGA) ตามระยะห่างจากจุดกำเนิด แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งข้อมูลมีค่า PGA ตั้งแต่ประมาณ 0.000001g ถึง 0.00343g ในการศึกษานี้พิจารณาค่าเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของ PGA ใน 2 ทิศทางหลักในแนวราบที่ตั้งฉากกัน ซึ่งคำนวณจากรากที่สองของผลคูณของ PGA ใน 2 ทิศทางนั้น

รูปที่ 4.3 ยังแสดงด้วยว่าความเร่งของพื้นดินที่ตั้งบนดินมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงกว่าที่ตั้งอยู่บนหินเพราะเป็นที่ทราบกันดีว่าดินอ่อนสามารถขยายความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวได้ นอกจากค่าคุณลักษณะของข้อมูลข้างต้นที่กล่าวถึง ตารางที่ 4.3 ยังบอกค่าความลึกของข้อมูลที่นำมาใช้ซึ่งอยู่ระหว่าง 12-209 กิโลเมตร



รูปที่ 4.2 ระยะทางกับขนาดแผ่นดินไหว (M_W) ของข้อมูลที่ใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งสูงสุดของพื้นดิน PGA กับ ระยะห่างจากจุดกำเนิด (ไม่ได้แยกตามขนาดของแผ่นดินไหว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าคุณลักษณะต่างๆ ของแผ่นดินไหวที่นำมาใช้

ตัวแปร	ค่าขอบเขตของตัวแปร
ความเร่งสูงสุด (PGA), g	0.000001 - 0.003432
ขนาดแผ่นดินไหว (M_W)	4.7 - 6.3
ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง, กม.	231 - 2090
ความลึก, กม.	12.0 - 208.4

สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือสำหรับแผ่นดินไหวในเขตมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zone, SDZ) และแผ่นดินไหวที่อยู่ตื้นในแผ่นเปลือกโลก (shallow crustal earthquakes) ซึ่งกลุ่มนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็นพื้นที่ที่มีการแปรธรณีสัณฐาน (active tectonic region, ATR) และภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental region, SCR) ซึ่งได้แก่ ภาคตะวันตกและตะวันออกของทวีปอเมริกาเหนือ ตามลำดับ การศึกษานี้พิจารณาสมการลดทอนในแต่ละกลุ่มที่เป็นที่ยอมรับ รวมทั้งสิ้น 18 สมการ ดังรายการในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าสมการเหล่านี้ถูกพัฒนาโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ซึ่งใช้ข้อมูลจากหลายแหล่งและใช้ช่วงตัวแปรที่แตกต่างกัน สมการเหล่านี้จึงใช้ได้ดีกับช่วงของตัวแปรที่ใช้ในการสร้างสมการ ในกรณีของสมการลดทอนสำหรับแผ่นดินไหวที่ไม่อยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก โดยมากใช้ข้อมูลที่ระยะห่างประมาณไม่เกิน 200 ถึง 500 กิโลเมตร ดังนั้นสมการเหล่านี้จึงให้ค่าที่ไม่ต่างกันมากนักที่ระยะห่างไม่เกิน 200 กิโลเมตร แต่อาจให้ค่าแตกต่างกันมากเป็นหลายเท่าตัวที่ระยะห่างมากกว่า 200 กิโลเมตร

จุดกำเนิดของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยมักจะอยู่ตามแนวชายแดนทางภาคตะวันตกและภาคเหนือ ติดกับประเทศพม่าและลาว ซึ่งมีระยะห่างจากเมืองใหญ่ค่อนข้างมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถใช้ข้อมูลที่ระยะห่างมากในการเลือกสมการลดทอนที่เหมาะสมกับประเทศไทยในการประมาณค่า PGA ที่ระยะห่างมาก และหากนำสมการนั้นไปใช้ที่ระยะห่างน้อยก็ให้ค่าที่ไม่แตกต่างจากสมการอื่นมากนักดังที่กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4.4 ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวแต่ละชุด

สมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว	**ระยะทาง (กม.)**	**ขนาด แผ่นดินไหว**
Active Tectonic Regions		
Ambraseys et al. (2005)	0-100	5.0-7.6
Abrahamson and Silva (1997)	0-220	4.4-7.4
Boore et al. (1997)	0-118	5.2-7.7
Campbell (1997)	3-60	4.7-8.0
Esteva and Villaverde (1973)	15-150	-
Idriss (1993)	1-100	4.6-7.4
Sadigh et al. (1997)	0-100	4.0-8.0
Spudich et al. (1997)	0-70	5.0-7.7
Sabetta and Pugliese (1987)	1.5-180	4.6-6.8
Stable Continental Regions		
Atkinson and Boore (1997)	10-500	4.0-7.5
Dahle et al. (1995)	6-490	3.0-8.0
Hwang and Huo (1997)	5-200	5.0-7.5
Toro (2002)	1-500	5.0-8.0
Subduction Zones		
Atkinson and Boore (1997)	10-400	4.0-8.0
Crouse (1991)	8-850	4.8-8.2
Fukushima and Tanaka (1991)	10-300	4.5-8.2
Megawati et al. (2005)	198-1422	4.5-8.0
Petersen et al. (2004)	10-500	5.0-8.2

ในการศึกษานี้ค่า PGA ที่ประมาณโดยใช้สมการต่างๆ ถูกเปรียบเทียบกับ PGA ที่บันทึกได้ในประเทศไทย ซึ่งแปรตามระยะห่างและขนาดแผ่นดินไหวต่างๆ ดังรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 สำหรับที่ตั้งบนหินในพื้นที่ที่มีการแปรธรณีสัณฐาน (active tectonic region), ภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable continental region), และเขตมุดตัวของเปลือกโลก (subduction zone) ตามลำดับ ส่วน

กรณีที่ตั้งอยู่บนดินแสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.9 สำหรับพื้นที่ที่มีการแปรธรณีสัณฐาน ภาคพื้นทวีปที่มีเสถียรภาพ และเขตมุดตัวของเปลือกโลก จุดข้อมูลที่บันทึกได้จริงถูกแสดงโดยการจัดกลุ่ม (bin) ให้ข้อมูลจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดระหว่าง 4.5 ถึง 5.5 เป็นตัวแทนข้อมูลที่มาจากแผ่นดินไหวขนาด M_W =5.0 และในทำนองเดียวกันสำหรับ M_W =6.0 ส่วนเส้นกราฟที่มีค่า M_W =4.0 และ M_W =7.0 มีไว้เพื่อดูแนวโน้มว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดแผ่นดินไหว ทำให้ค่า PGA เปลี่ยนไปอย่างไร จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.9 สังเกตได้ว่าเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น PGA จะมีค่าลดลง และเมื่อขนาดของแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น PGA จะมีค่าสูงขึ้น

การศึกษานี้ใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าจากสมการลดทอนและค่าที่บันทึกได้จริง (square root of mean of square of error, RMS) ในการชี้วัดว่าสมการใดสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้ในประเทศไทยมากที่สุด โดยพิจารณาผลต่างของค่าลอการิทึมของ PGA สูตรคำนวณค่า RMS แสดงดังสมการที่ 4.1

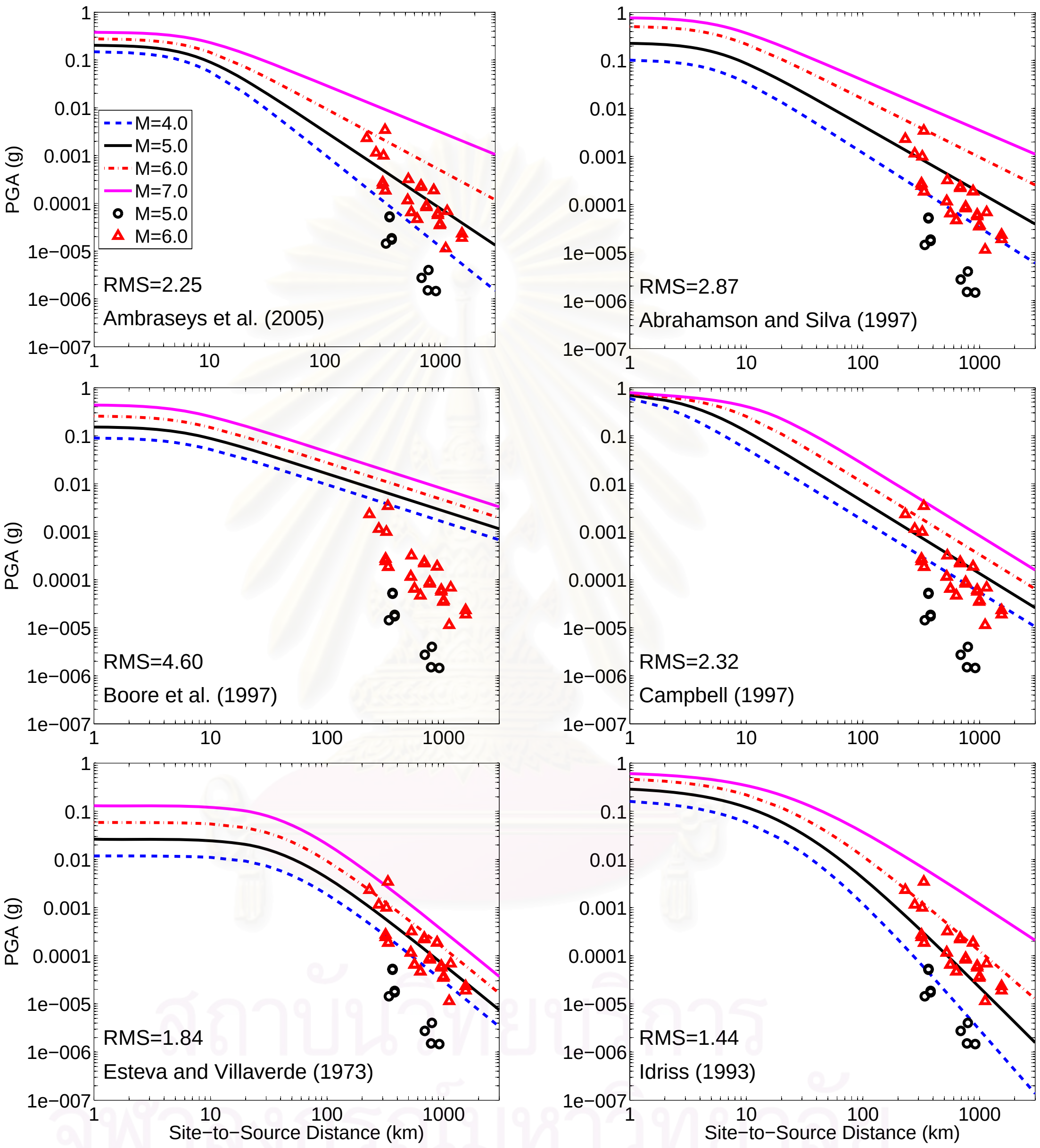
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (\ln y - \ln \hat{y})^2}{n}} \qquad (4.1)$$

เมื่อ y = ค่าที่บันทึกได้, $\hat{y}$ = ค่าจากสมการลดทอน, n = จำนวนข้อมูล

ซึ่งค่า RMS ของแต่ละสมการแสดงอยู่ในรูปที่ 4.4 ถึง 4.9 และสรุปไว้ในตารางที่ 4.5 สมการที่มีค่า RMS ต่ำที่สุดจะมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้จริงมากที่สุด ซึ่งได้แก่ สมการที่เสนอโดย Idriss (1993), Sadigh et al. (1997) และ Toro: Gulf Regions (2002) สำหรับที่ตั้งบนหินและแผ่นดินไหวไม่อยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก ซึ่งมีค่า RMS เท่ากับ 1.44 1.55 และ 1.88 ตามลำดับ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ซึ่งสมการสำหรับ active tectonic region (ATR) มีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกได้มากกว่า stable continental region (SCR)

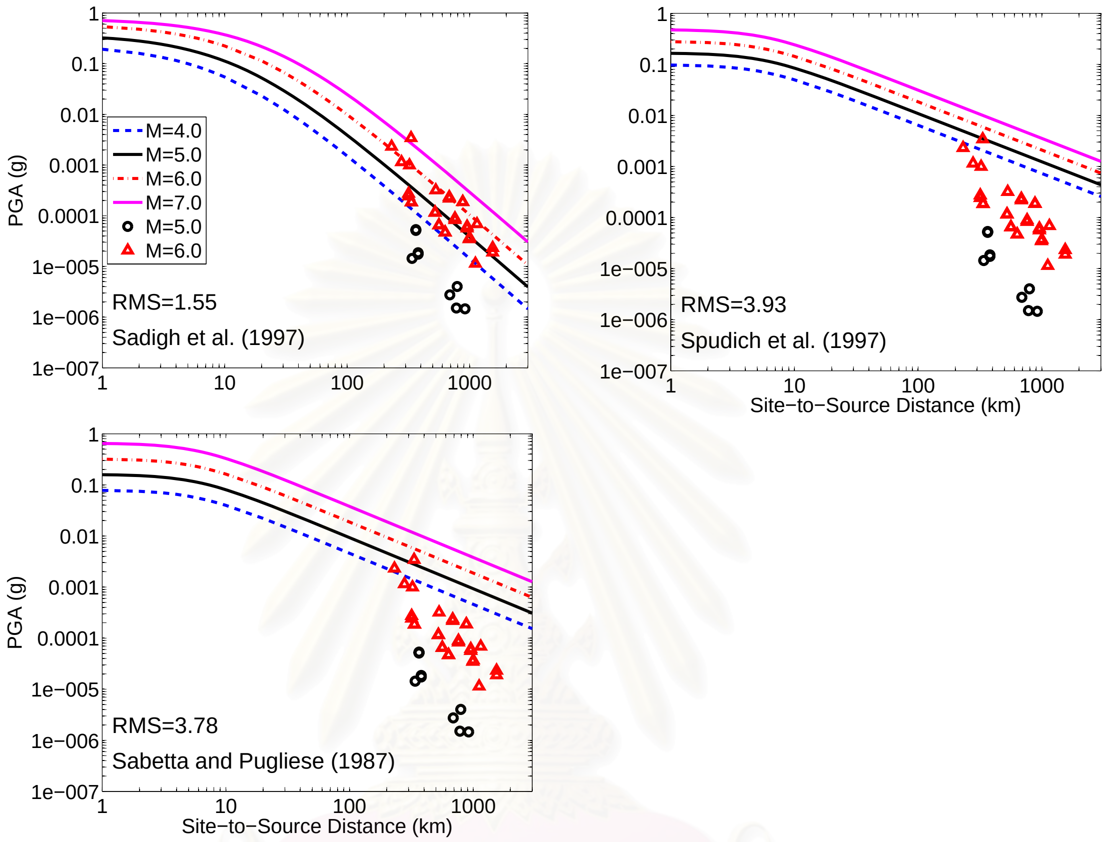
ในกรณีที่แผ่นดินไหวอยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก subduction zone (SDZ) สมการที่เสนอโดย Crouse (1991) มีค่า RMS น้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.6 ส่วนกรณีที่ที่ตั้งอยู่บนดิน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.7 ถึง 4.9 สมการที่เสนอโดย Ambraseys et al. (2005), Dahle et al. (1995), และ Petersen et al. (2004) มีค่า RMS ต่ำที่สุด สำหรับ ATR, SCR, และ SDZ ตามลำดับ

ในขณะนี้ประเทศไทยยังขาดแคลนข้อมูลความเร่งของพื้นดินที่ระยะห่างจากจุดกำเนิดน้อยกว่า 200 กิโลเมตร ถ้ามีข้อมูลที่บันทึกได้มากกว่านี้ในอนาคต ก็จะสามารถสร้างสมการลดทอนแผ่นดินไหวของประเทศไทยได้



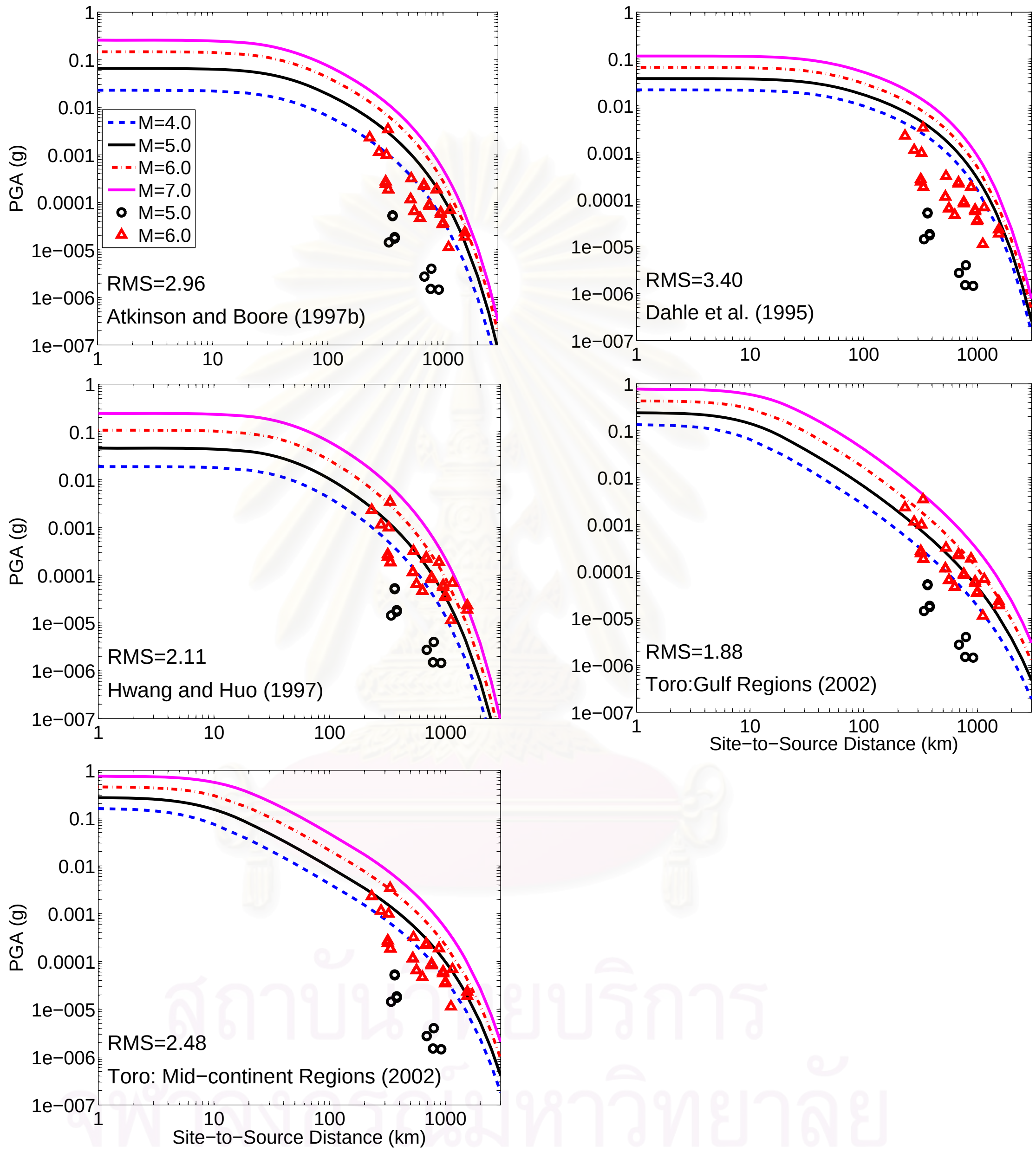
รูปที่ 4.4 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน active tectonic region

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



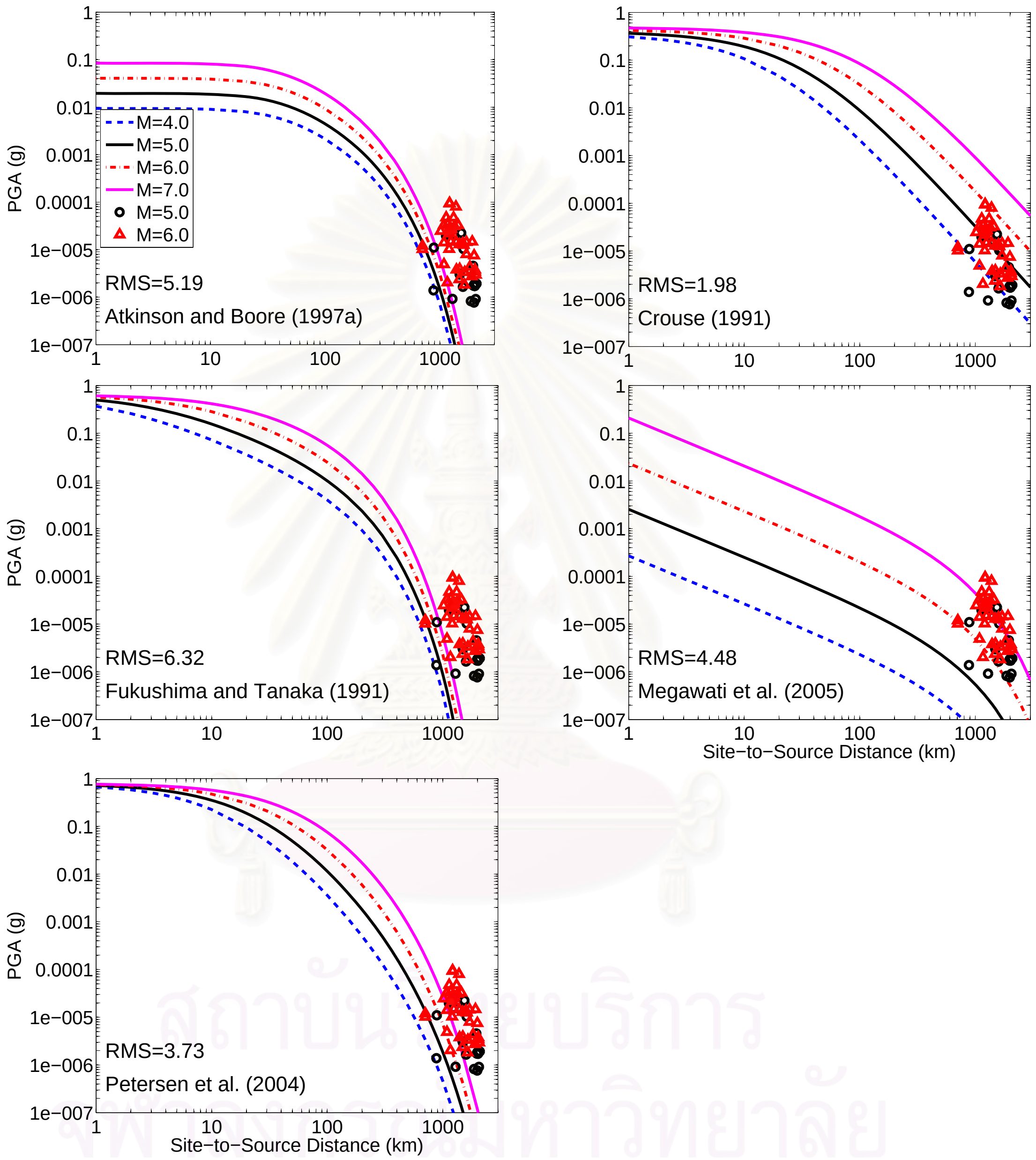
รูปที่ 4.4 **(ต่อ)** กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน active tectonic region

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



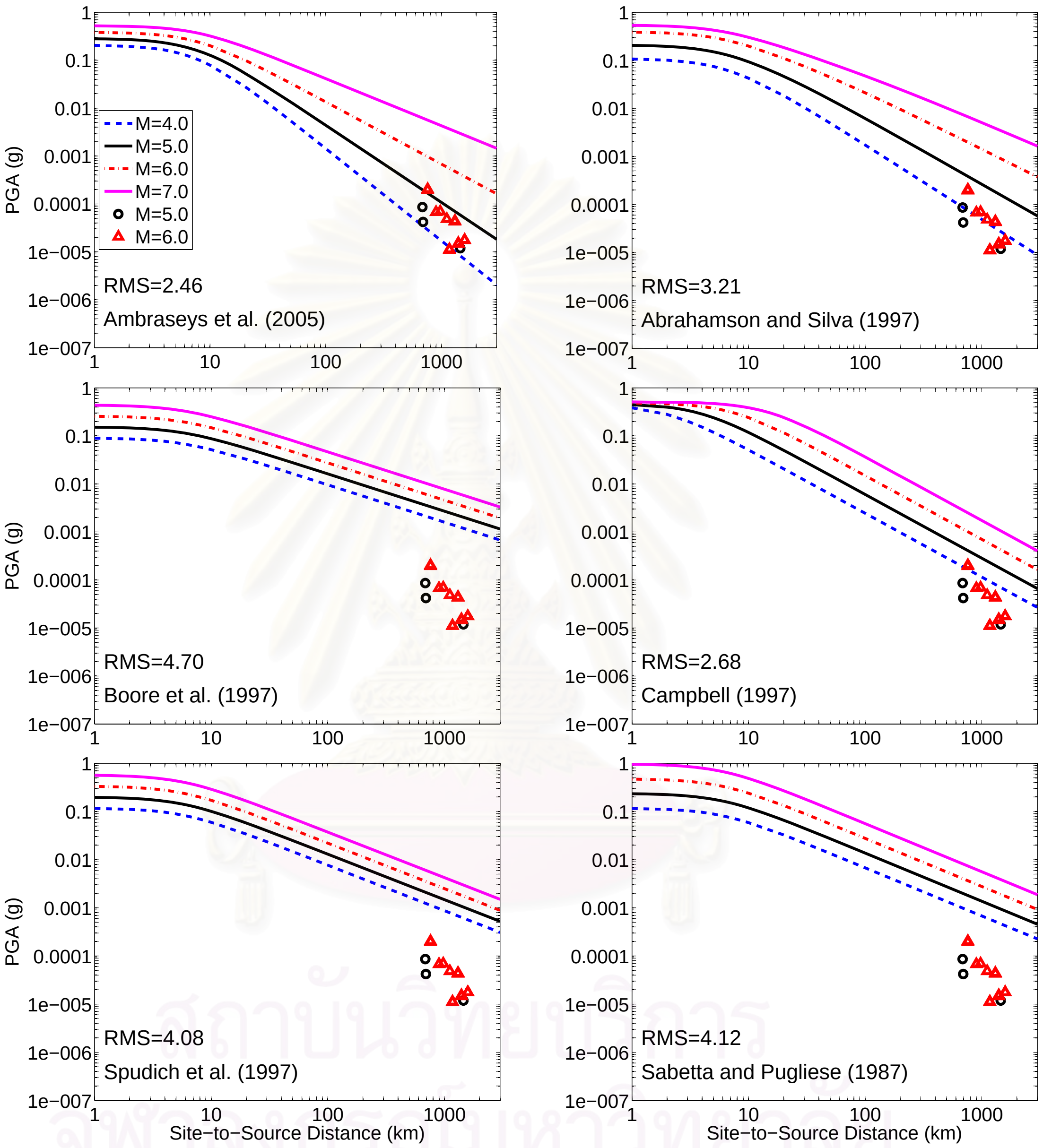
รูปที่ 4.5 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน stable continental region

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

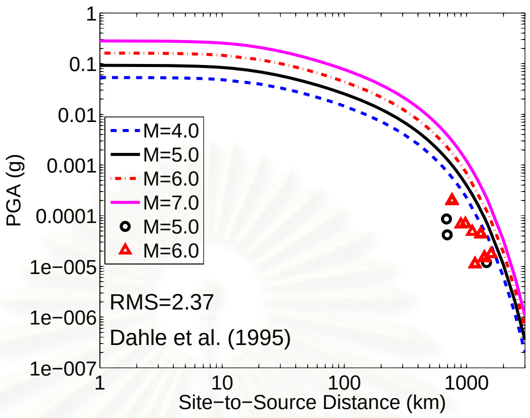


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

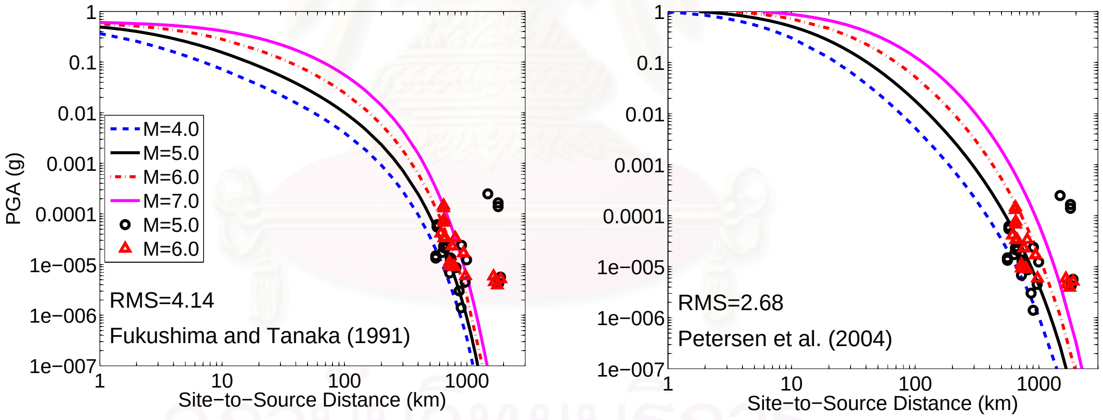
รูปที่ 4.6 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนหิน โดยใช้แบบจำลองใน subduction zone



รูปที่ 4.7 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน โดยใช้แบบจำลองใน active tectonic region



รูปที่ 4.8 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน โดยใช้แบบจำลองใน stable continental region



รูปที่ 4.9 กราฟการลดทอนของ PGA สำหรับสถานีที่ตั้งอยู่บนดิน โดยใช้แบบจำลองใน subduction zone

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของผลต่าง (RMS)

สมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว	**ลักษณะดินที่ตั้ง**	
	หิน	**ดิน**
Active Tectonic Regions		
Ambraseys et al. (2005)	2.25	2.46
Abrahamson and Silva (1997)	2.87	3.21
Boore et al. (1997)	4.60	4.70
Campbell (1997)	2.32	2.68
Esteva and Villaverde (1973)	1.84	-
Idriss (1993)	1.44	-
Sadigh et al. (1997)	1.55	-
Spudich et al. (1997)	3.93	4.08
Sabetta and Pugliese (1987)	3.78	4.12
Stable Continental Regions		
Atkinson and Boore (1997)	2.96	-
Dahle et al. (1995)	3.40	2.37
Hwang and Huo (1997)	2.11	-
Toro:Gulf Regions (2002)	1.88	-
Toro: Mid-continent Regions (2002)	2.48	-
Subduction Zones		
Atkinson and Boore (1997)	5.19	-
Crouse (1991)	1.98	-
Fukushima and Tanaka (1991)	6.32	4.14
Megawati et al. (2005)	4.48	-
Petersen et al. (2004)	3.73	2.68

4.2 การขยายคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากดินอ่อนในกรุงเทพมหานคร

เนื่องจากกรุงเทพมหานครตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งมีการทับถมของตะกอนเป็นชั้นดินที่อ่อนมาก เมื่อคลื่นแผ่นดินไหวเคลื่อนที่จากชั้นหินดาน (bedrock) ผ่านชั้นดินอ่อนนี้จะเกิดการขยายความรุนแรงขึ้นได้มากถึงประมาณ 4 เท่า (Ashford et al., 2000) สังเกตได้จากหลายครั้งที่เกิดแผ่นดินไหวระยะไกลมาก แต่มีการสั่นสะเทือนจนสามารถรู้สึกได้บนอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร ซึ่งพฤติกรรมการขยายคลื่นเช่นนี้ได้เคยปรากฏแล้วที่กรุงเม็กซิโก ในเหตุการณ์แผ่นดินไหว เมื่อปีค.ศ.1985 และได้ทำให้เกิดความเสียหายอย่างร้ายแรง

ลักษณะของชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร ประกอบด้วยชั้นของดินเหนียวและทรายซึ่งสามารถแบ่งแยกย่อยลักษณะของชั้นดินดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 คุณลักษณะของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร (Ashford et al., 1997)

ชั้นดิน	ความลึก (เมตร)	หน่วยน้ำหนัก (ตันต่อเมตร^3)
ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร	0-15	1.60
ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1	15-25	1.92
ทรายชั้นที่ 1	25-80	2.08
ดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2	50-80	2.16

ในการหาค่าการขยายคลื่นแผ่นดินไหวได้ใช้ตัวแปรต่างๆตามคุณสมบัติของดินดังตารางที่ 4.7 โดยได้แบ่งดินเป็นชั้นๆ จำนวน 14 ชั้น โดยที่ตัวแปรต่างๆ ได้มาจากค่าประมาณที่ดีที่สุดจากข้อมูลดินของ 4 แห่ง คือ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU) ลาดกระบัง และหนองงูเห่า โดยในความลึกที่ต่ำกว่า 80 เมตรลงไป ไม่มีข้อมูลดิน ได้กำหนดให้เป็นชั้นคล้ายหินไปจนความลึกที่อนันต์ และมีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเท่ากับ 900 เมตร/วินาที (Ashford et al., 1997) ค่าความเร็วคลื่นเฉือนซึ่งค่าที่ได้จากค่าประมาณที่ดีที่สุดจากข้อมูลดินของ 4 แห่งได้แสดงในรูปที่ 4.10 และยังบอกถึงชนิดของดินและหน่วยน้ำหนักของดินอีกด้วย จากรูปยังแสดงได้อย่างคร่าวๆ ว่า ที่ความลึกมากๆค่าความเร็วคลื่นเฉือนจะเพิ่มขึ้น

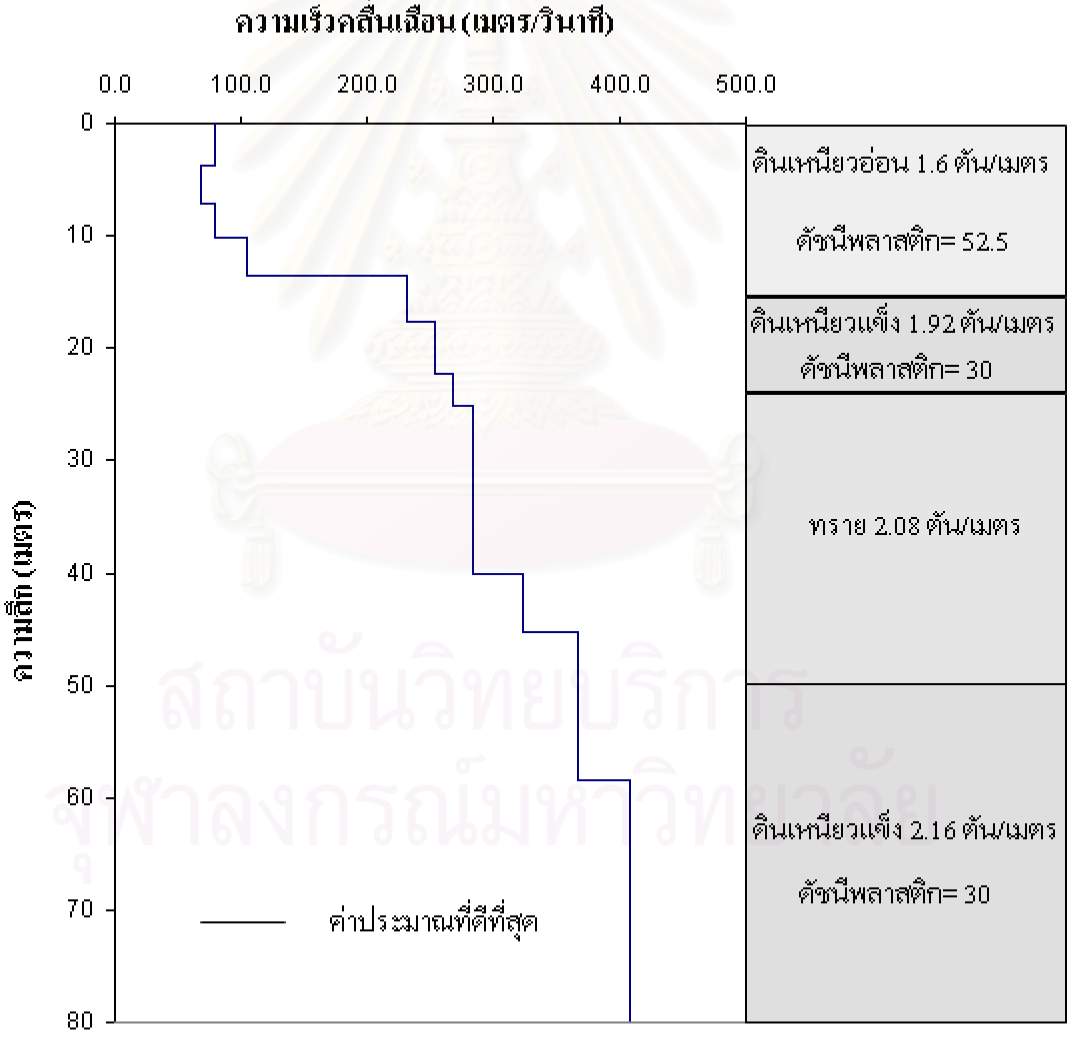
ตารางที่ 4.7 ตัวแปรต่างๆของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร (Ashford et al., 1997)

ชั้นที่	**ชนิดของดิน**	**ความหนา (เมตร)**	**หน่วยน้ำหนัก (กิโลนิวตัน/ลบ.ม.)**	**ความเร็วคลื่นเฉือน (เมตร/วินาที)**	**ดัชนีพลาสติก**
1	ดินเหนียวอ่อน	3.7	14.9	79.6	52.5
2	ดินเหนียวอ่อน	3.5	14.9	68.0	52.5
3	ดินเหนียวอ่อน	3.0	14.9	79.6	52.5
4	ดินเหนียวอ่อน	3.3	14.9	104.9	52.5
5	ดินเหนียวอ่อน	1.5	14.9	231.1	52.5
6	ดินเหนียวแข็ง	2.7	18.8	231.1	30
7	ดินเหนียวแข็ง	4.6	18.8	254.4	30
8	ดินเหนียวแข็ง	2.8	18.8	268.0	30
9	ทราย	14.9	20.4	283.5	-
10	ทราย	5.3	20.4	324.3	-
11	ทราย	4.7	20.4	367.0	-
12	ดินเหนียวแข็ง	8.4	19.6	367.0	30
13	ดินเหนียวแข็ง	21.6	19.6	407.8	30
14	หิน	อนันต์	23.5	900.0	-

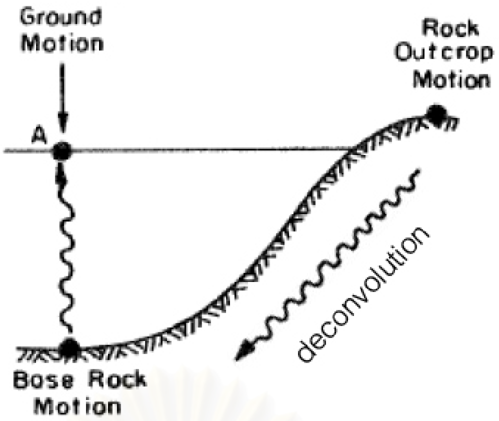
ในการหาค่าการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหว ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยหา นั้นก็คือ โปรแกรม ProShake โดยป้อนข้อมูลชั้นดินตามตารางที่ 4.7 ซึ่งบอกถึงชนิดของดิน ความหนา หน่วยน้ำหนักของดิน (ρ) ความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) และดัชนีพลาสติก และจากความสัมพันธ์ $G = V_s^2 \times \rho$ สามารถคำนวณมอดุลัสเฉือน (G) ได้ โปรแกรม ProShake จำลองดินเป็นวัสดุเอกพันธุ์ (homogenous) ที่มีพฤติกรรมหนืดยืดหยุ่น (viscoelastic) เป็นชั้นๆ ในแนวราบเพื่อจำลองการแพร่ของคลื่นเฉือนในแนวดิ่ง โดยพิจารณาดินแต่ละชั้นเป็นระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นที่มีความหนาแน่นมวลคงที่ แต่มอดุลัสเฉือน และอัตราส่วนความหน่วงแปรตามความเครียดสูงสุดของการตอบสนองโดยไม่ได้ขึ้นกับความถี่ การแพร่ขึ้นของคลื่นเฉือนจากชั้นหินดานทำให้เกิดการตอบสนองในตัวกลาง ส่งต่อไปยังชั้นดินที่อยู่เหนือขึ้นไปจนถึงผิวดินซึ่งการตอบสนองของชั้นผิวดิน เป็นผลการวิเคราะห์ที่จะถูกนำไปใช้ต่อไป เช่น คำนวณสเปกตรัมผลตอบสนอง เพื่อการออกแบบโครงสร้าง (Schnabel et al., 1972)

ในกระบวนการคำนวณได้เลือกใช้ค่ามอดุลัสเฉือนและค่าความหน่วง ซึ่งแปรตามความเครียดเฉือนสูงสุด ตามความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Vucetic and Dobry (1991) สำหรับดินเหนียว และความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Seed et al. (1970) สำหรับทราย

ในการวิเคราะห์การตอบสนองของชั้นดิน จำเป็นต้องใส่ข้อมูลความเร่งของดินที่ชั้นหินดาน (bedrock motion) แต่ถ้าไม่มีข้อมูลที่ชั้นหินดานอาจใช้อาจใช้ข้อมูลที่หินโผล่ได้ (rock outcrop motion) แต่ต้องมีการแปลงคลื่นหินโผล่เป็นคลื่นที่หินดาน (de-convolution) ซึ่ง ProShake สามารถทำการคำนวณให้ได้ คลื่นที่บันทึกได้ที่สถานีต่างๆ ที่ตั้งบนหินจะถือเป็นคลื่นหินโผล่ที่จะนำมาใช้ในโปรแกรม Proshake



รูปที่ 4.10 ค่าประมาณที่ดีที่สุดของความเร็วคลื่นเฉือนของกรุงเทพมหานคร (Ashford et al., 1997)



รูปที่ 4.11 แผนผังการใส่ข้อมูลคลื่นเฉือนที่ชั้นหินดานหรือชั้นหินโผล่ (Schnabel et al., 1972)

กรมทรัพยากรธรณีได้ทำแผนที่รอยเลื่อนมีพลัง (active faults) ในประเทศไทยจากผลการศึกษาของนักธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมทรัพยากรธรณี (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2543) สำหรับรอยเลื่อนที่มีพลัง เช่น รอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ และ รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ นักธรณีวิทยาคาดว่ามีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวขนาด 7 หรือกว่านั้น และคาบเวลาการเกิดซ้ำยาวนานประมาณ 2,000 ปี ไม่ใช่ระดับร้อยปีเหมือนในญี่ปุ่นและแคลิฟอร์เนีย นอกจากนี้ ยังมีรอยเลื่อนสะแกง (Sagaing fault) ในพม่าและรอยเลื่อนในทะเลอันดามัน ซึ่งมีศักยภาพที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาด 8 และส่งผลกระทบมายังประเทศไทยได้ โดยเฉพาะทางภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศที่ใกล้ประเทศพม่า

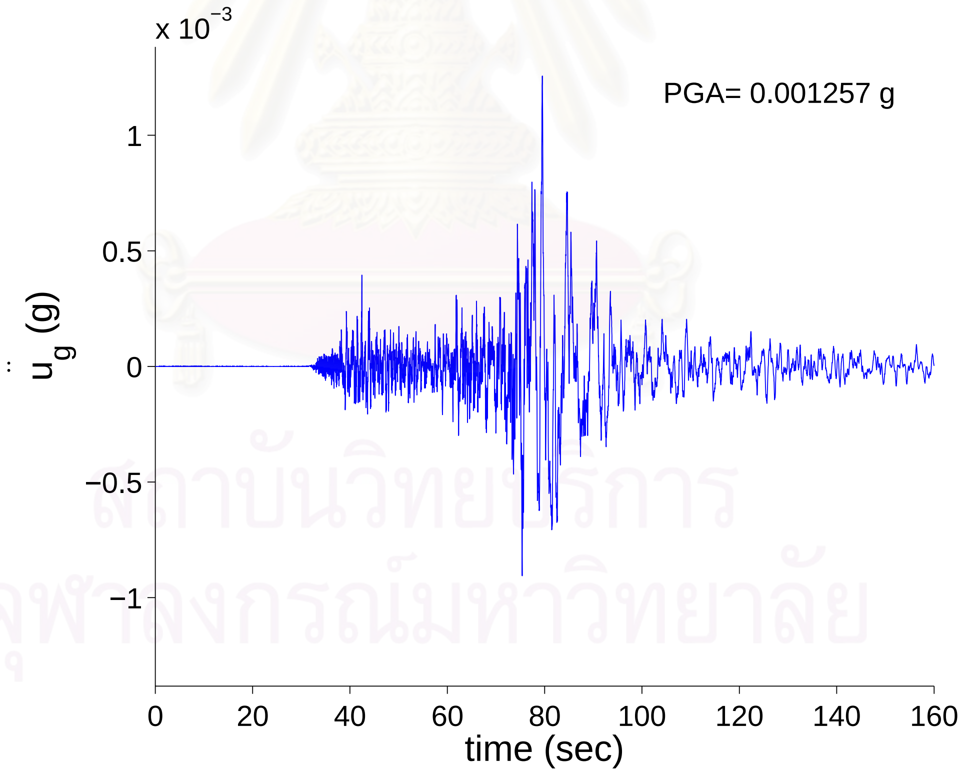
ดังนั้นในการเลือกคลื่นแผ่นดินไหวมาใช้ในการหาค่าการขยายตัว จึงได้เลือกคลื่นที่มีขนาดแผ่นดินไหว 5.6 ถึง 7.7 และมีระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว 80 ถึง 335 กิโลเมตร ซึ่งมีคลื่นแผ่นดินไหวจากประเทศไทย 3 คลื่นที่บันทึกได้ที่สถานีเชียงใหม่ และคลื่นจากแคลิฟอร์เนียอีก 3 คลื่น รวมเป็นคลื่นที่ใช้ในการหาค่าการขยายคลื่นทั้งหมด 6 คลื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.8

รอยเลื่อนมีพลังสามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.5 ที่จุดกำเนิดแผ่นดินไหวห่าง 120 ถึง 300 กิโลเมตร จากกรุงเทพมหานคร (EGAT, 1998) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้กำหนดค่าให้สอดคล้องกับกรณีดังกล่าว โดยกำหนดระยะทางที่ห่างจากจุดกำเนิดไว้ที่ 150, 200 และ 300 กิโลเมตร สำหรับขนาดแผ่นดินไหว กำหนดไว้ที่ 6.5, 7.0 และ 7.5 เพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่คาดว่าอาจจะเกิดขึ้นได้

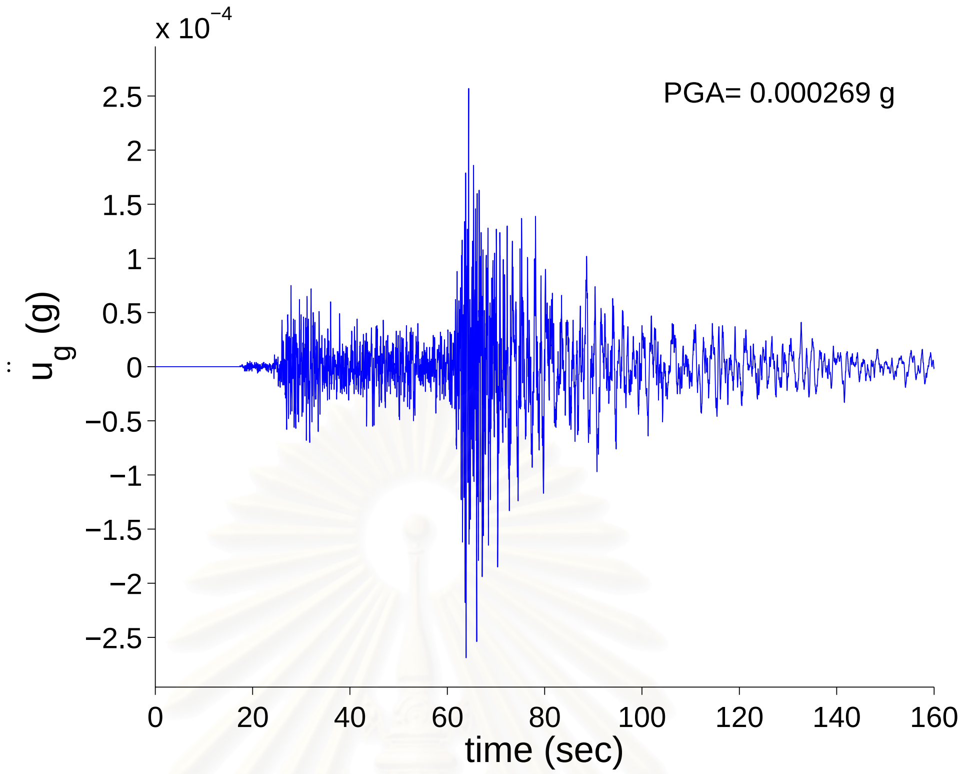
ตารางที่ 4.8 รายการคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้

จุดกำเนิด	**วันที่**	**สถานีตรวจวัด**	**ระยะห่าง (กม.)**	**ขนาดแผ่นดินไหว**
ลาว	2007/05/16	เชียงใหม่	278	M_W 6.3
เมียนมาร์	2007/06/23	เชียงใหม่	318	M_W 5.6
เมียนมาร์	2007/07/30	เชียงใหม่	335	M_W 5.6
Loma Prieta	1989/10/17	Cliffhouse	80	M_S 7.1
Loma Prieta	1989/10/17	Diamond Heights	80	M_S 7.1
Kern County	1952/07/12	Pasadena	127	M_S 7.7

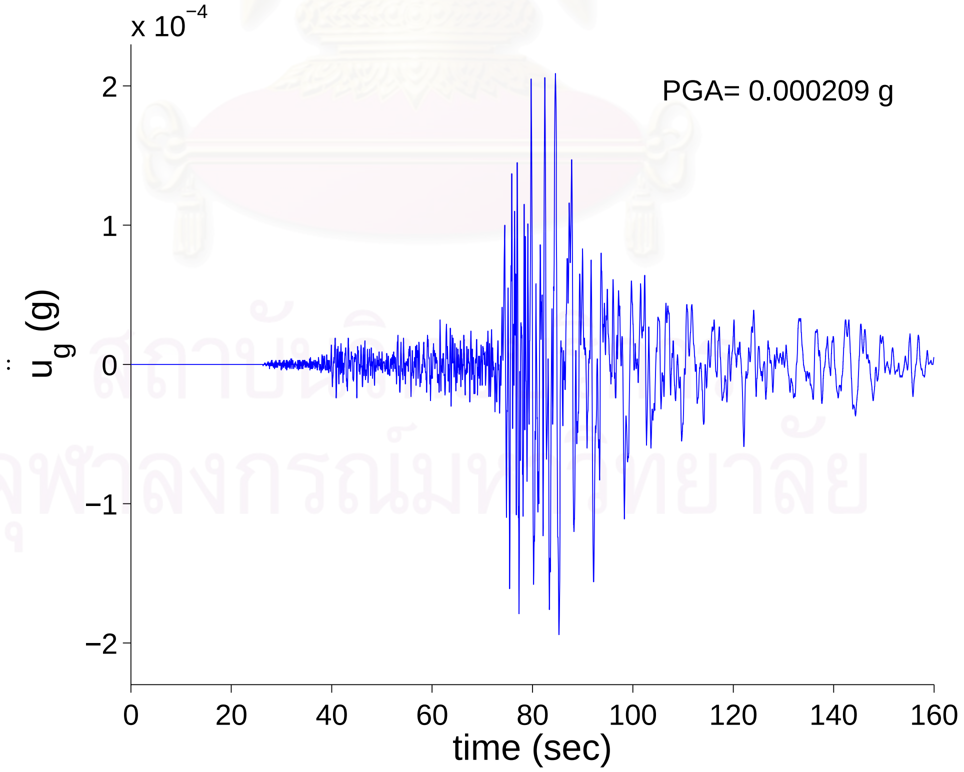
ประวัติเวลาความเร่งของคลื่นทั้ง 6 คลื่น สามารถดูได้จากรูปที่ 4.12 ถึง 4.17 ซึ่งจากรูปสามารถสังเกตลักษณะรูปแบบของคลื่นได้ ทำให้ทราบได้ว่าคลื่นมีองค์ประกอบความถี่สูงหรือต่ำและมีระยะเวลาที่สั่นสะเทือนรุนแรงยาวนานเพียงใด



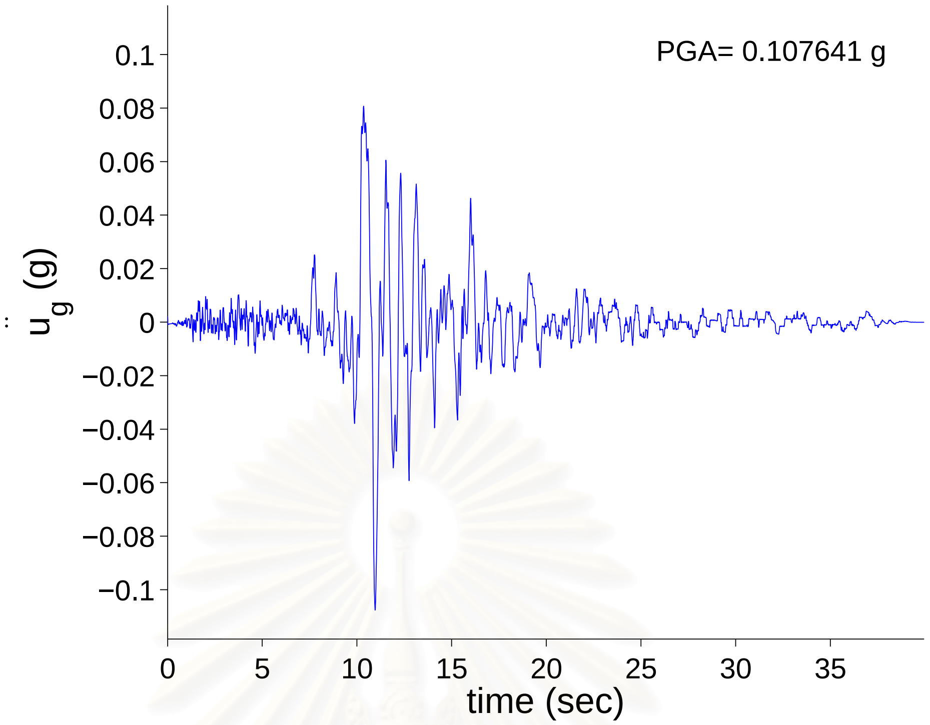
รูปที่ 4.12 ประวัติเวลาความเร่งของสถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ในประเทศลาว วันที่ 16 พฤษภาคม 2007



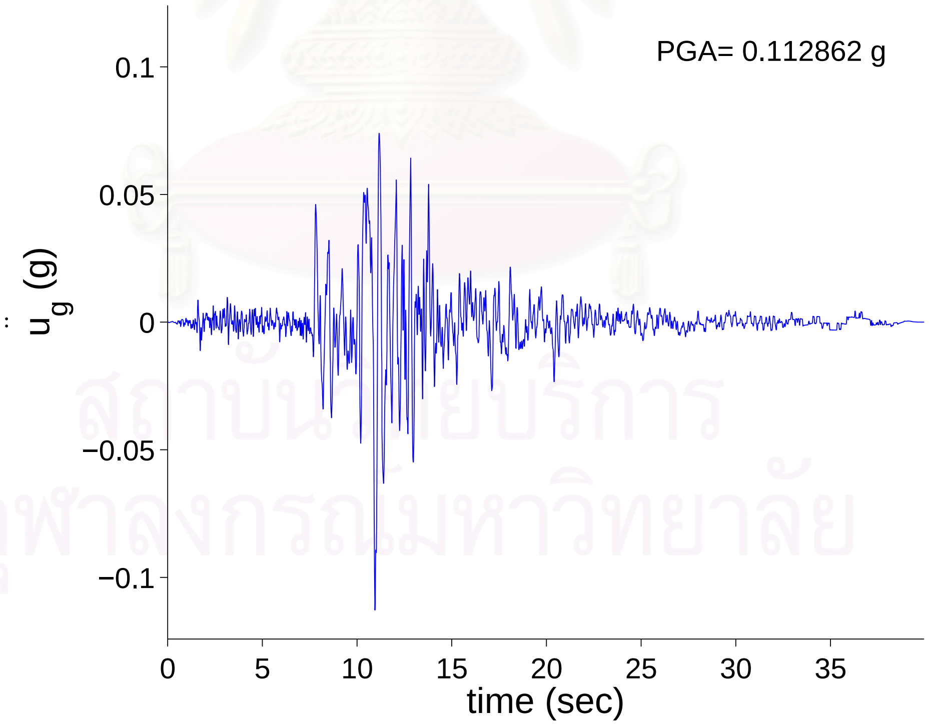
รูปที่ 4.13 ประวัติเวลาความเร่งของสถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ในประเทศเมียนมาร์ วันที่ 23 มิถุนายน 2007



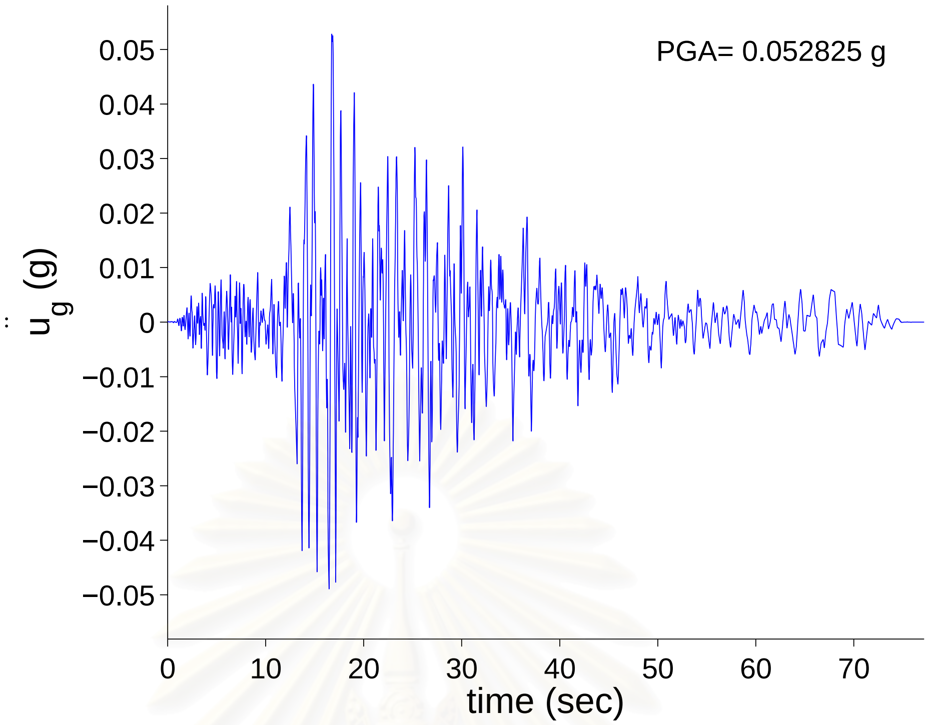
รูปที่ 4.14 ประวัติเวลาความเร่งของสถานีเชียงใหม่ จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ในประเทศเมียนมาร์ วันที่ 30 กรกฎาคม 2007



รูปที่ 4.15 ประวัติเวลาความเร่งของสถานี Cliffhouse จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ใน Loma Prieta ประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 17 ตุลาคม 1989



รูปที่ 4.16 ประวัติเวลาความเร่งของสถานี Diamond Heights จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ใน Loma Prieta ประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 17 ตุลาคม 1989



รูปที่ 4.17 ประวัติเวลาความเร่งของสถานี Pasadena จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่จุดกำเนิดอยู่ใน Kern County ประเทศสหรัฐอเมริกา วันที่ 12 กรกฎาคม 1952

ในการคาดการณ์ความเร่งสูงสุดบนหินโผล่ (peak rock outcrop acceleration, PRA) ที่จะเกิดขึ้น หาได้จากการใช้สมการลดทอนที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.1 โดยใช้ค่าระยะห่างจากจุดกำเนิดและขนาดแผ่นดินไหวตามสถานการณ์ที่คาดว่าอาจจะเกิดขึ้นได้ ในที่นี้ใช้สมการของ Idriss (1993), Sadigh et al. (1997) and Campbell (1997) ซึ่งได้ค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่ (PRA) แสดงดังตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่า PGA มีค่าสูงสุดอยู่ประมาณ 0.035g และมีค่าต่ำสุดประมาณ 0.002g จึงได้กำหนดค่า PRA ที่จะใช้ในการศึกษาการขยายความรุนแรงของคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากชั้นดินอ่อนดังนี้ 0.002g, 0.020g, 0.030g, 0.050g, 0.070g, 0.100g สำหรับค่าที่เพิ่มเข้ามาคือตั้งแต่ 0.050g ขึ้นไป ใช้เพื่อดูแนวโน้มของค่าอัตราการขยายของคลื่นที่ค่า PRA มีค่าสูงว่าจะเป็นอย่างไร

จากผลการศึกษาค่าการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวที่ค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่ (PRA) ขนาดต่างๆ โดยใช้ข้อมูลดินจากค่าการประมาณที่ดีที่สุด (best-estimate) พบว่าอัตราการขยายตัวของคลื่นบนหินดาน (bedrock) คือค่าความเร่งบนผิวดิน (ground surface) ส่วนด้วยค่าความเร่งบนหินดาน มีค่าอยู่ระหว่าง 4.05 ถึง 4.97 ส่วนอัตราการขยายตัวของคลื่นบนหินโผล่ คือค่าความเร่งบนผิวดิน ส่วนด้วยค่าความเร่งบนหินโผล่ (outcrop) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.88 ถึง 3.84 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 จากการศึกษาของจิตติ ปาลศรี (2549) ค่าที่คาดการณ์ไว้ในแผนที่เสี่ยงภัย

แผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นรุนแรงกว่านั้นเท่ากับ 10% ในช่วงเวลา 50 ปี ค่าความเร่งที่หินโผล่ใน กทม.จากแผนที่เสี่ยงภัยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.015g ถึงประมาณ 0.03g ในที่นี้จะพิจารณาใช้ค่า PRA เท่ากับ 0.03g ซึ่งน้อยกว่าค่า PRA ของ Warnitchai และคณะ (2000) เนื่องจากใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหวต่างกัน ดังนั้นสำหรับค่า PGA ที่น่าจะเกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร คือค่า PRA ที่ 0.030g มีค่ามัธยฐานของอัตราการขยายตัวของคลื่นบนหินโผล่เท่ากับ 3.25 ดังนั้นค่ามัธยฐานของความเร่งสูงสุดบนผิวดิน คือ 0.097g โดยที่ค่ามัธยฐานอาจคำนวณได้จากเอ็กโพเน้นเชียลของค่าเฉลี่ยของค่าลอการิทึมของข้อมูล โดยมีสมมติฐานว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบล็อกปกติ (log-normal distribution)

ตารางที่ 4.9 ค่าคาดการณ์ค่าสูงสุดของความเร่งบนหินโผล่ (PRA) ในกรุงเทพมหานคร

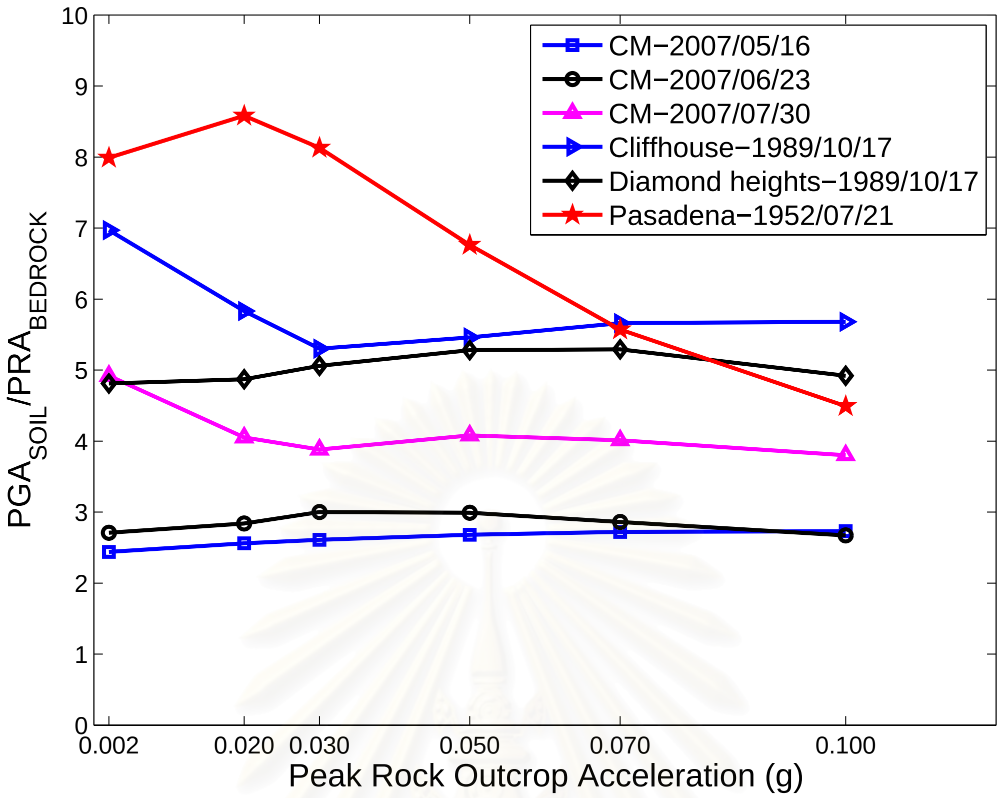
ขนาดแผ่นดินไหว	**ระยะห่าง (กม.)**	Peak Rock outcrop Acceleration (g)		
		Idriss (1993)	Sadigh et al. (1997)	Campbell (1997)
7.5	150	0.035	0.019	0.017
	200	0.025	0.012	0.011
	250	0.018	0.008	0.008
	300	0.015	0.005	0.006
7	150	0.021	0.012	0.011
	200	0.014	0.007	0.007
	250	0.010	0.005	0.005
	300	0.008	0.003	0.004
6.5	150	0.012	0.008	0.007
	200	0.007	0.004	0.004
	250	0.005	0.003	0.003
	300	0.004	0.002	0.002

ตารางที่ 4.10 ค่ามัธยฐานของอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวที่ค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่ (PRA) ต่างๆ โดยใช้ข้อมูลดินจากค่าการประมาณที่ดีที่สุด (best-estimate)

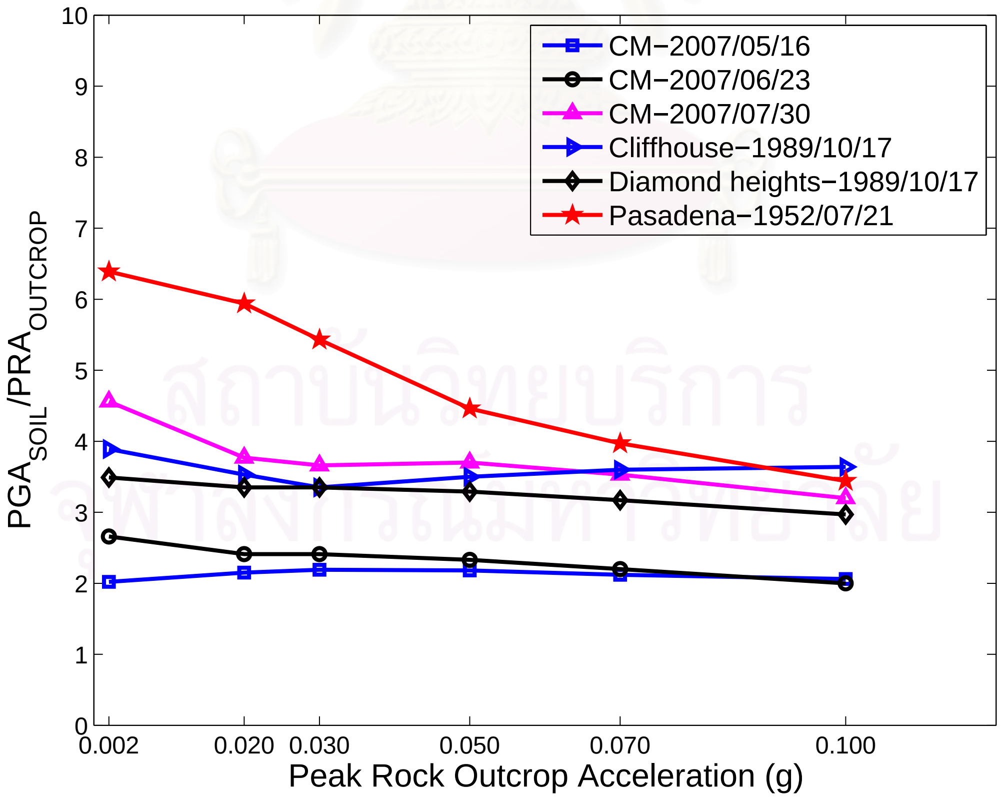
PRA (g)	**ค่ามัธยฐานของอัตราการขยาย PGA ของคลื่นแผ่นดินไหว**	
	Soil Surface/bedrock	Soil Surface/Outcrop
0.002	4.54	3.59
0.020	4.39	3.33
0.030	4.33	3.25
0.050	4.31	3.14
0.070	4.16	3.01
0.100	3.89	2.81

ความสัมพันธ์ของค่าการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวบนหินดานและบนหินโผล่ กับค่าความเร่งสุงสุดบนหินโผล่ แสดงดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการขยายตัวของคลื่นที่ค่า PRA ต่ำกว่าจะมีค่าการขยายตัวของคลื่นมากกว่าที่ที่มีค่า PRA สูง และค่าการขยายตัวของคลื่นบนดินดานมีค่ามากกว่าการขยายตัวของคลื่นบนหินโผล่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของค่าการขยายตัวของคลื่นเทียบกับที่หินดานกับค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่

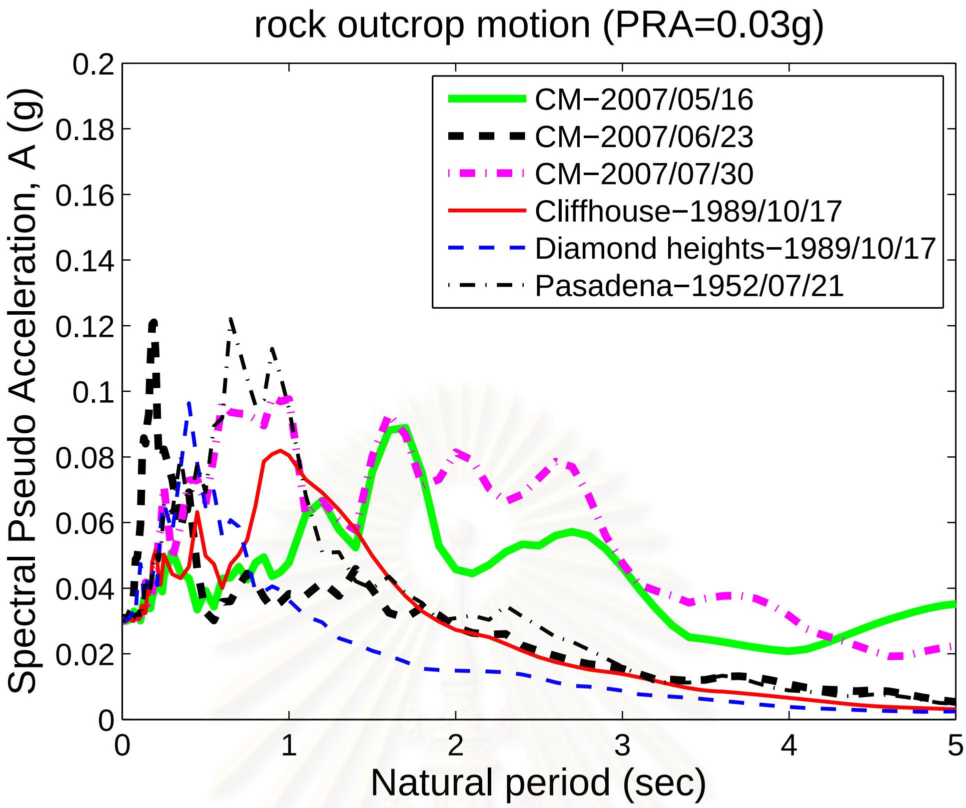


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของค่าการขยายตัวของคลื่นเทียบกับที่หินโผล่กับค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่

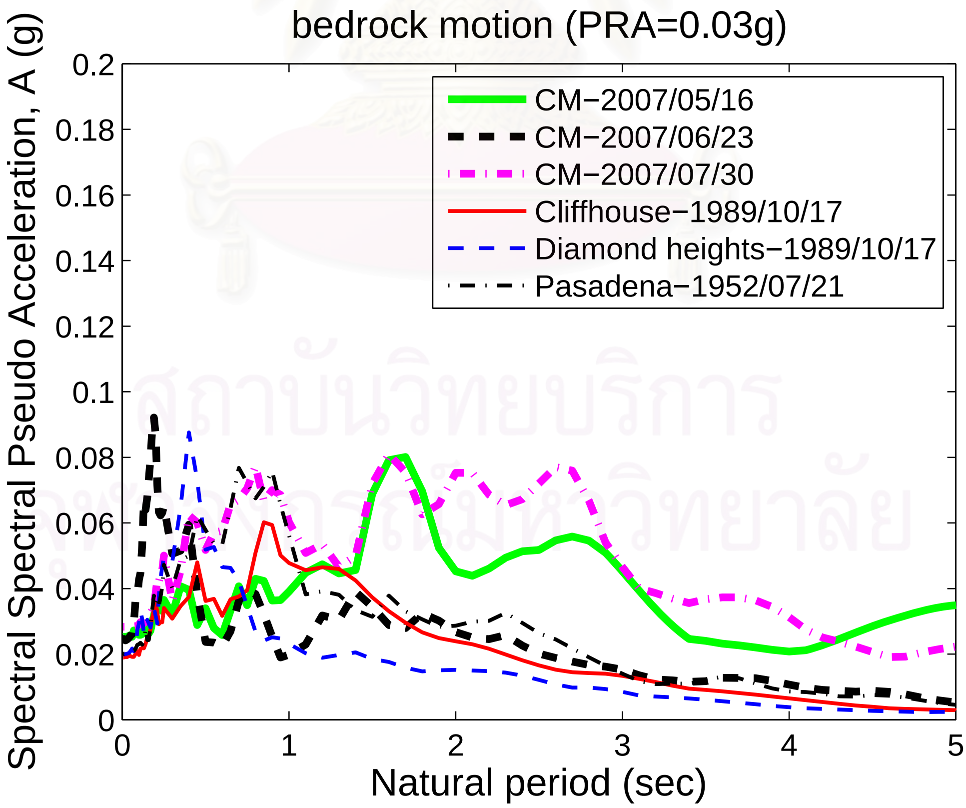
4.3 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับกรุงเทพมหานครเพื่อการออกแบบโครงสร้าง

ในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว จำเป็นต้องประมาณความเร่งสูงสุดของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวจากสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว และเนื่องจากกรุงเทพมหานครตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนซึ่งคลื่นแผ่นดินไหวสามารถขยายตัวได้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2 การหาค่าสเปกตรัมผลตอบสนองในการศึกษานี้ได้จากการนำคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 6 คลื่น ซึ่งสอดคล้องกับแผ่นดินไหวที่สามารถจะเกิดได้ในกรุงเทพมหานคร โดยคลื่นที่บันทึกได้จริงบนหินโผล่จะถูกปรับให้มีความเร่งสูงสุด (peak rock outcrop acceleration, PRA) เท่ากับค่าที่คาดการณ์ไว้ในแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นรุนแรงกว่านั้นเท่ากับ 10% ในช่วงเวลา 50 ปี ทั้งนี้ค่าความเร่งที่หินโผล่ในกทม.จากแผนที่เสี่ยงภัยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.015g ถึงประมาณ 0.03g (จิตติ, 2549) ในที่นี้จะใช้ค่า PRA เท่ากับ 0.03g แล้วใช้โปรแกรม ProShake ช่วยในการคำนวณ โดยคลื่นที่หินโผล่จะถูกแปลงให้เป็นคลื่นที่ชั้นหินดาน (bedrock motions) ก่อนจะถูกจำลองการแพร่กระจายของคลื่น (wave propagation) ผ่านชั้นดินอ่อนแบบ 1 มิติ แล้วก็จะได้คลื่นที่ผิวดิน รายละเอียดของคลื่นทั้ง 6 คลื่นได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8

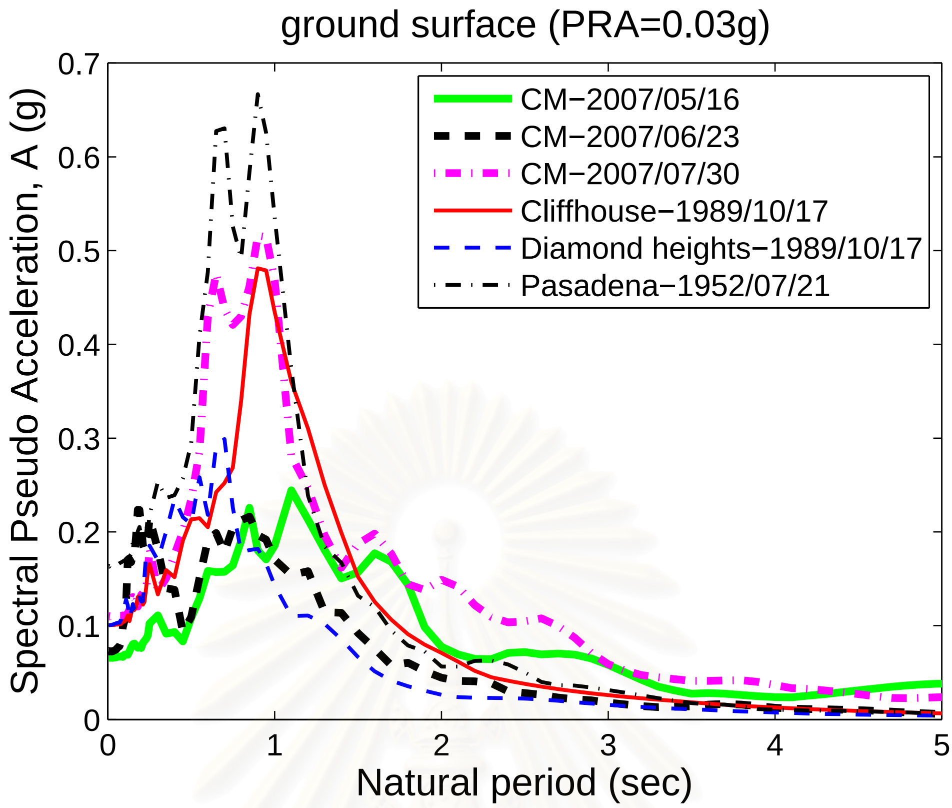
เมื่อถึงขั้นตอนนี้จะมีค่าความเร่งที่ชั้นหินโผล่ ชั้นหินดาน และที่ผิวดิน ในการหาค่าสเปกตรัมผลตอบสนองของระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นที่มีระดับขั้นความเสรีเดียวของคลื่นต่างๆ สามารถใช้โปรแกรม speceq (Nigam and Jennings, 1968) ช่วยในการคำนวณ เมื่อแล้วเสร็จจะได้ค่าสเปกตรัมที่คาบต่างๆ ตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวที่ค่า PRA=0.03g และค่าความหน่วงเท่ากับ 0.05 แสดงดังรูปที่ 4.20 ถึง รูปที่ 4.22 ตามลำดับ จากรูปทั้งสามจะพบว่าค่าสเปกตรัมผลตอบสนองที่ชั้นหินโผล่มีค่ามากกว่าชั้นหินดาน และที่ผิวดินมีค่าสเปกตรัมผลตอบสนองมากที่สุด และจากรูปที่ 4.22 แสดงคลื่นที่ผิวดินที่ถูกนำไปคำนวณเป็นสเปกตรัมผลตอบสนองของระบบยืดหยุ่นเชิงเส้นที่มีระดับขั้นความเสรีเดียว สังเกตได้ว่าคลื่นที่ผิวดินอ่อนที่คำนวณได้มีความแปรปรวนสูง และมีทั้งลักษณะตอบสนองมากในแถบความถี่แคบๆ และแถบความถี่กว้างกว่า ทำให้ลดการลำเอียง (bias) ของผลที่ได้ อย่างไรก็ตามกราฟมีค่าสูงสุดที่คาบธรรมชาติประมาณ 0.5 ถึง 1 วินาที คล้ายกันทั้ง 6 คลื่น แสดงว่าชั้นดินของกทม.มีลักษณะเฉพาะที่ขยายคลื่นในช่วงคาบธรรมชาตินี้



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ (PRA=0.03g, ความหน่วง= 0.05)

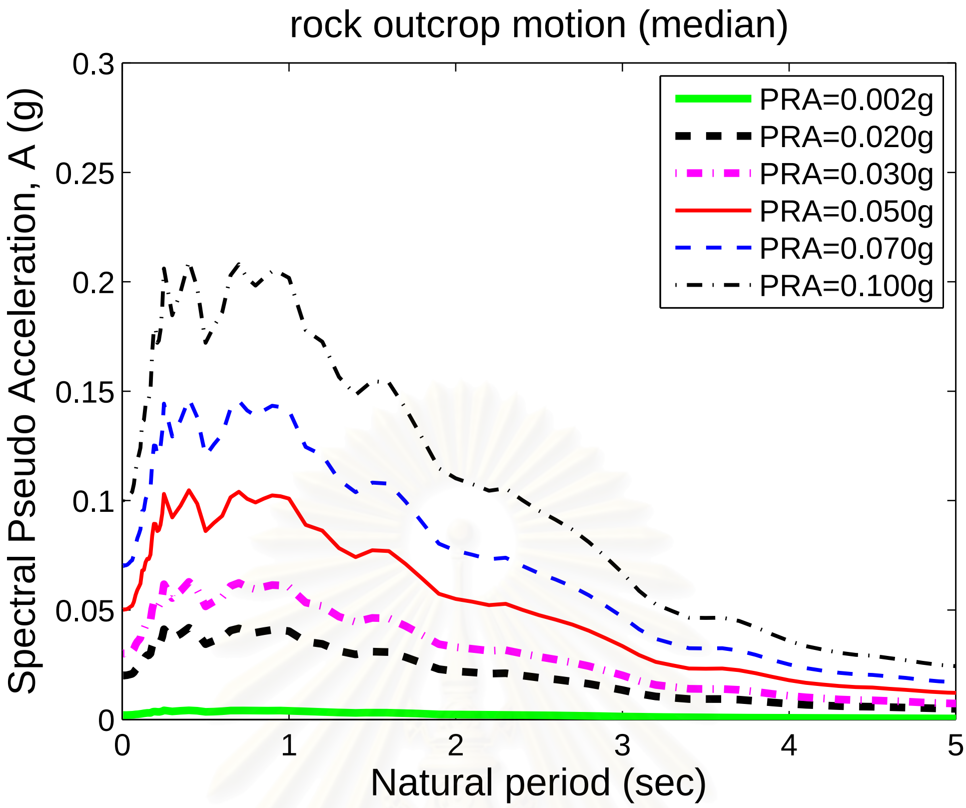


รูปที่ 4.21 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของคลื่นที่ชั้นหินดาน (PRA=0.03g, ความหน่วง= 0.05)

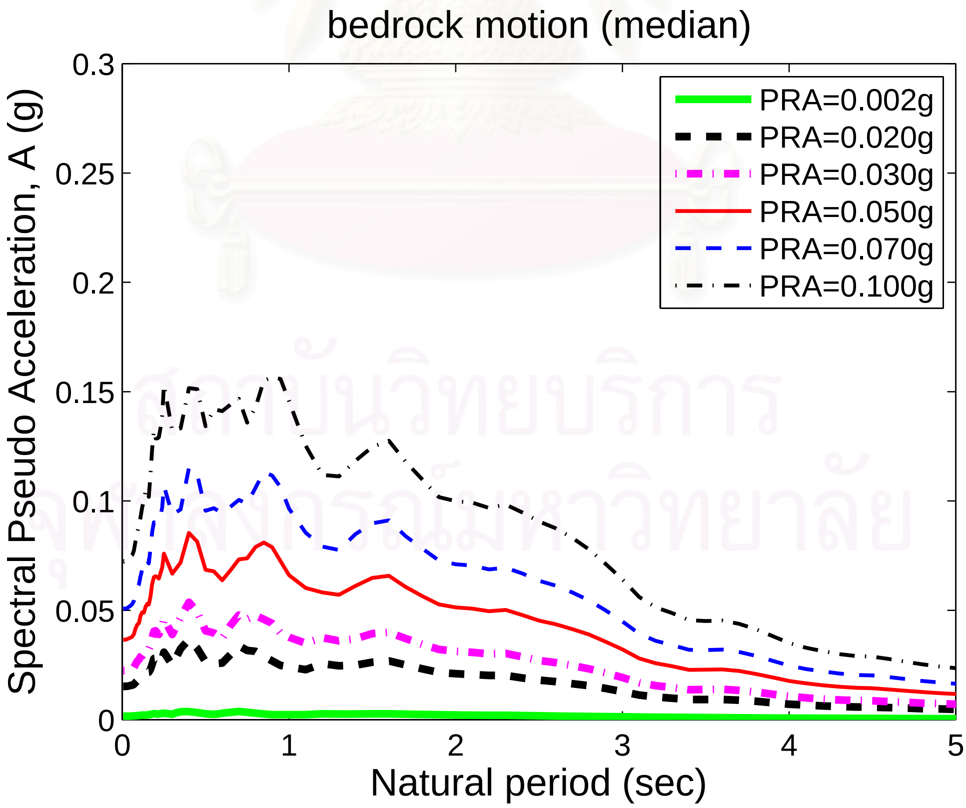


รูปที่ 4.22 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมของคลื่นที่ผิวดินอ่อน (PRA=0.03g, ความหน่วง= 0.05)

สเปกตรัมผลตอบสนองของคลื่นที่ผิวดินจากแต่ละคลื่นทั้ง 6 มีความแปรปรวนสูงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างโดยตรง จึงถูกนำไปคำนวณค่ามัธยฐาน (median) และค่าที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ ซึ่งเป็นค่าที่มีโอกาสเกินค่านั้นไม่เกิน 16% และมีค่าสูงกว่ามาพิจารณาประกอบด้วย โดยมีสมมติฐานว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบล็อกปกติ (log-normal distribution) ซึ่งค่ามัธยฐานอาจคำนวณได้จากเอ็กโพเน้นเชียลของค่าเฉลี่ยของค่าลอการิทึมของข้อมูล และค่าที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ คำนวณได้จากเอ็กโพเน้นเชียลของค่าเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าลอการิทึมของข้อมูล โดยรูปที่ 4.23 ถึง รูปที่ 4.25 แสดงสเปกตรัมผลตอบสนองที่คำนวณจากค่ามัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ ชั้นหินดาน และผิวดิน ตามลำดับ และรูปที่ 4.26 ถึง รูปที่ 4.28 แสดงสเปกตรัมผลตอบสนองที่คำนวณจากค่าที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ ชั้นหินดาน และผิวดิน ตามลำดับเช่นกัน จากรูปจะพบว่า ค่าการตอบสนองที่ค่า PRA สูงกว่า จะมากกว่าค่าการตอบสนองที่ค่า PRA ต่ำกว่า ทั้งแบบมัธยฐานและที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ ค่าการตอบสนองจะมากเมื่อมีคาบประมาณ 1 วินาที เฉพาะที่ผิวดิน สำหรับชั้นหินโผล่และชั้นหินดาน ค่าการตอบสนองจะมากเมื่อมีคาบประมาณ 0.3 ถึง 1 วินาที และค่าการตอบสนองที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ จะมากกว่าค่าการตอบสนองแบบมัธยฐาน

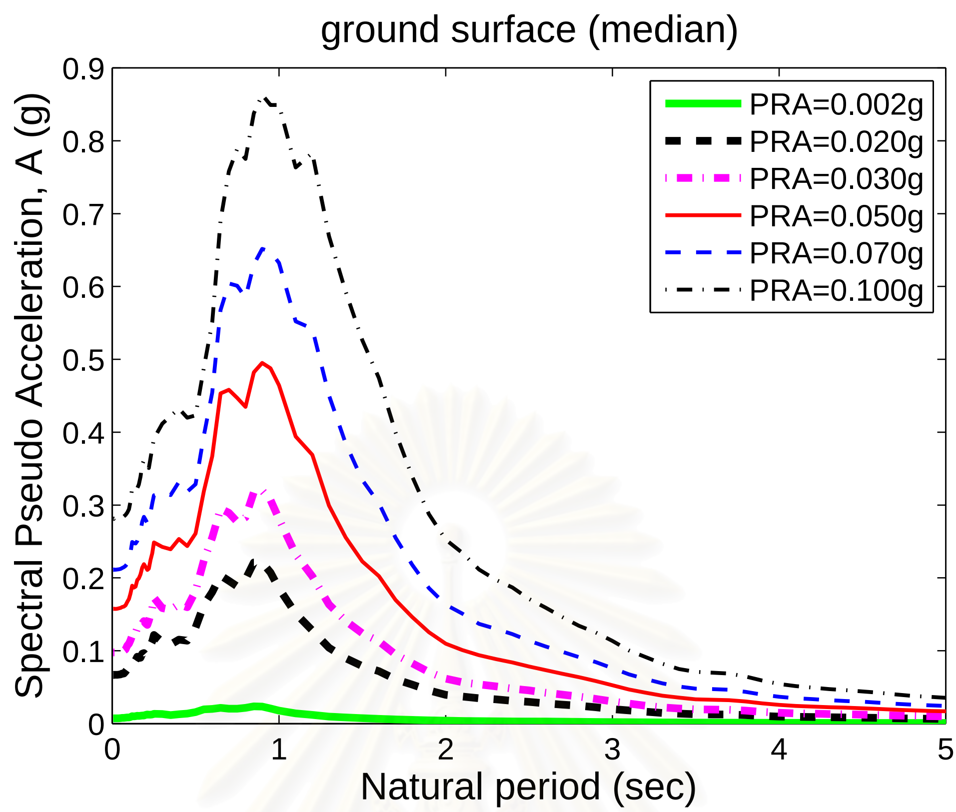


รูปที่ 4.23 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05)

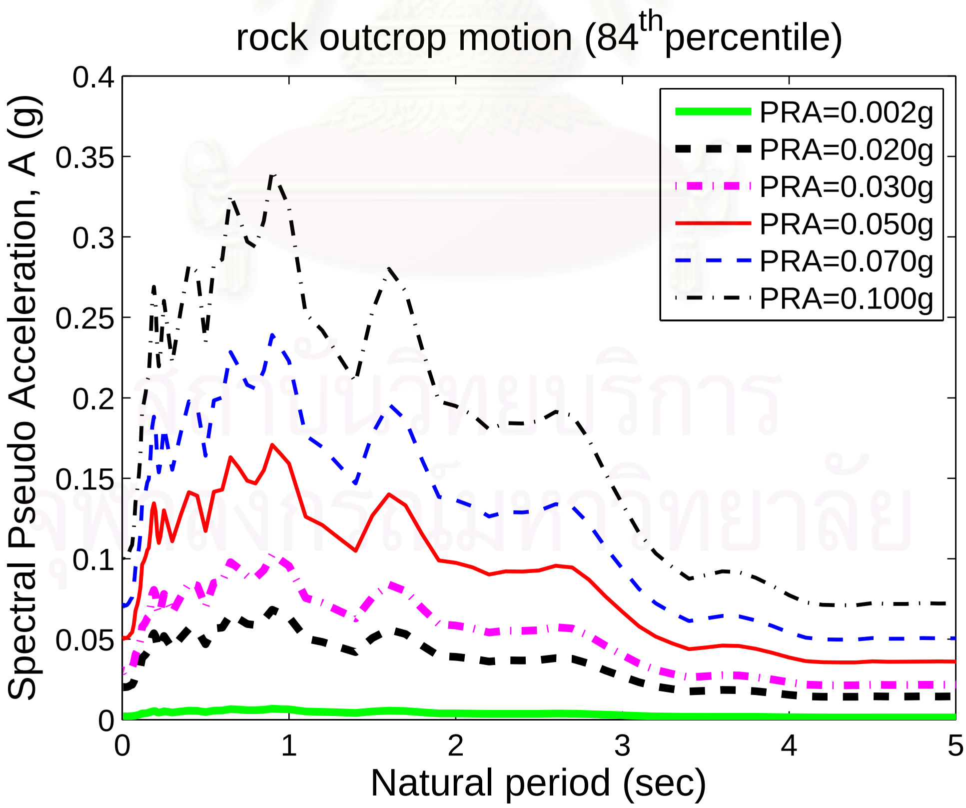


รูปที่ 4.24 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินดานที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05)

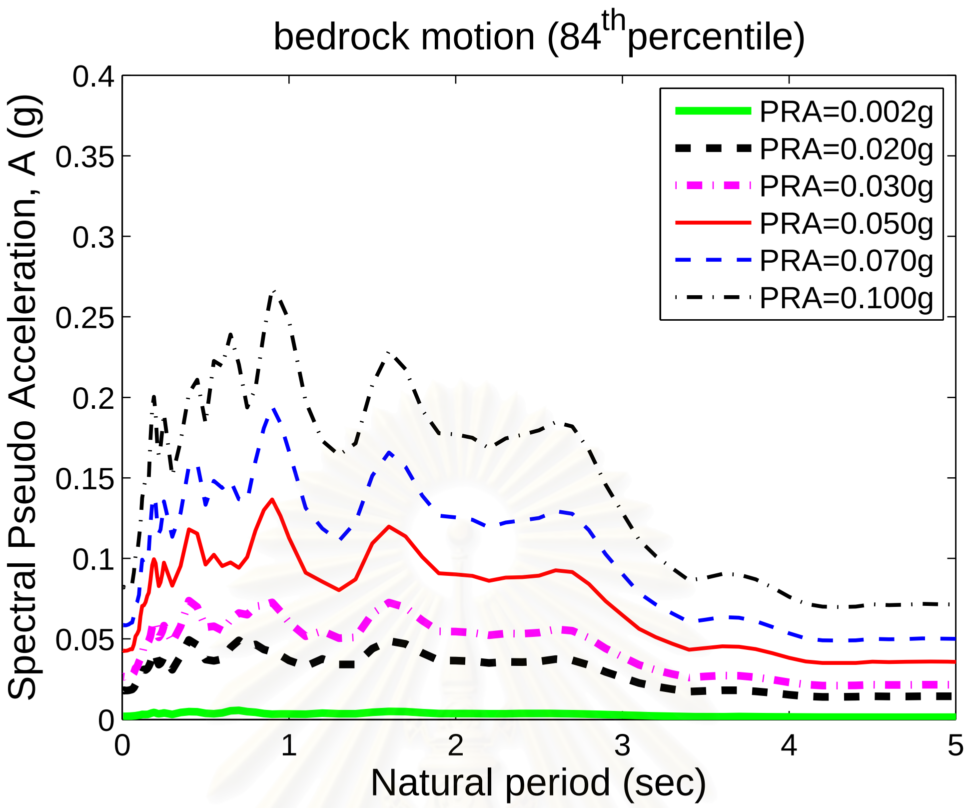
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



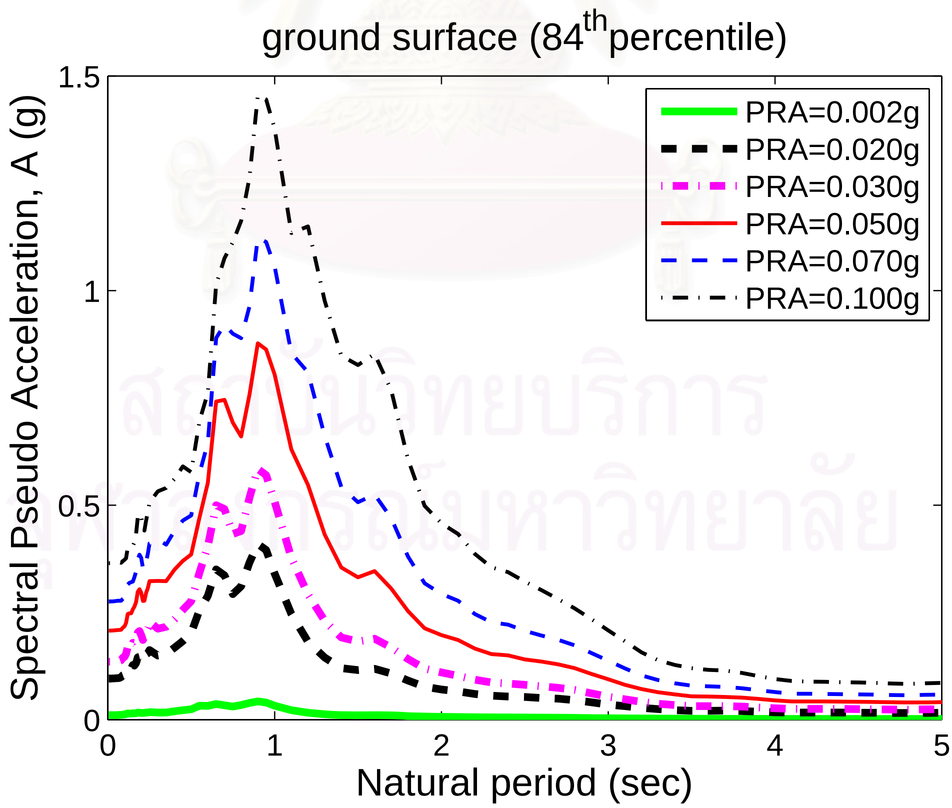
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ผิวดินที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05)



รูปที่ 4.26 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05)



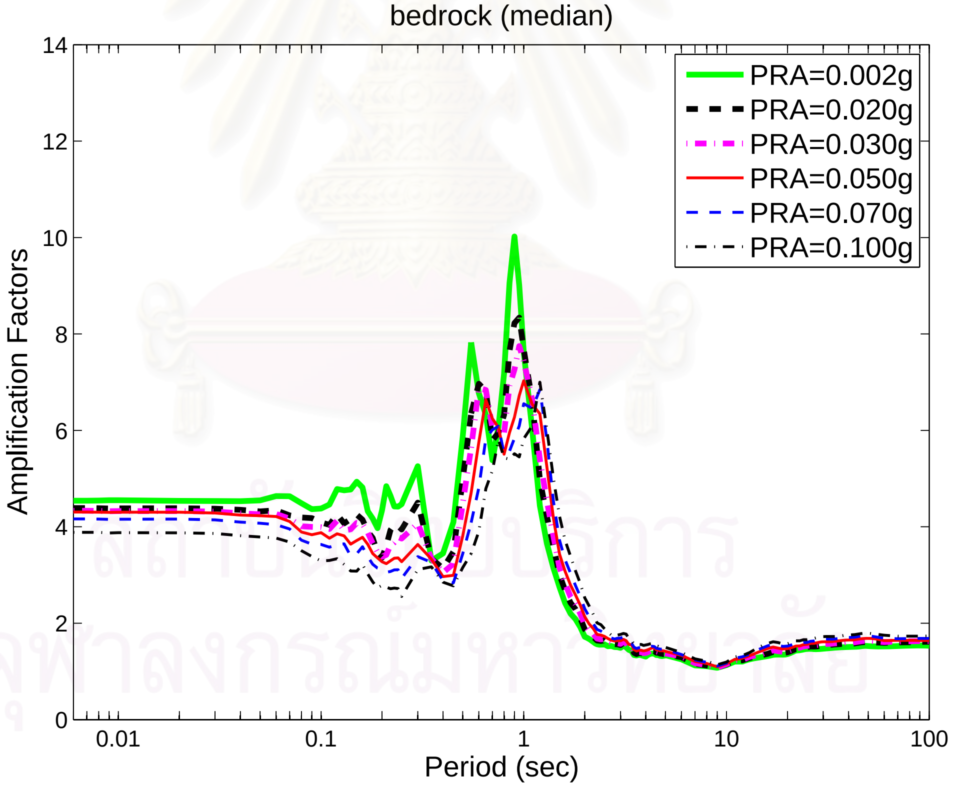
รูปที่ 4.27 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินดานที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05)



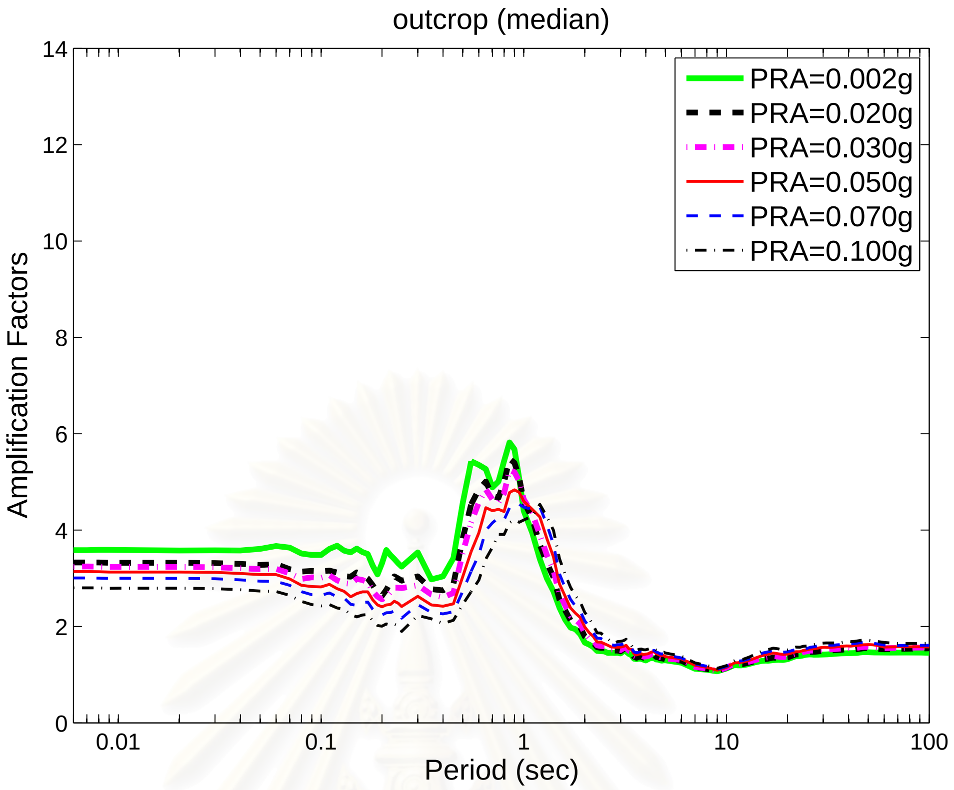
รูปที่ 4.28 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ผิวดินที่ค่า PRA ต่างๆ (ความหน่วง= 0.05)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

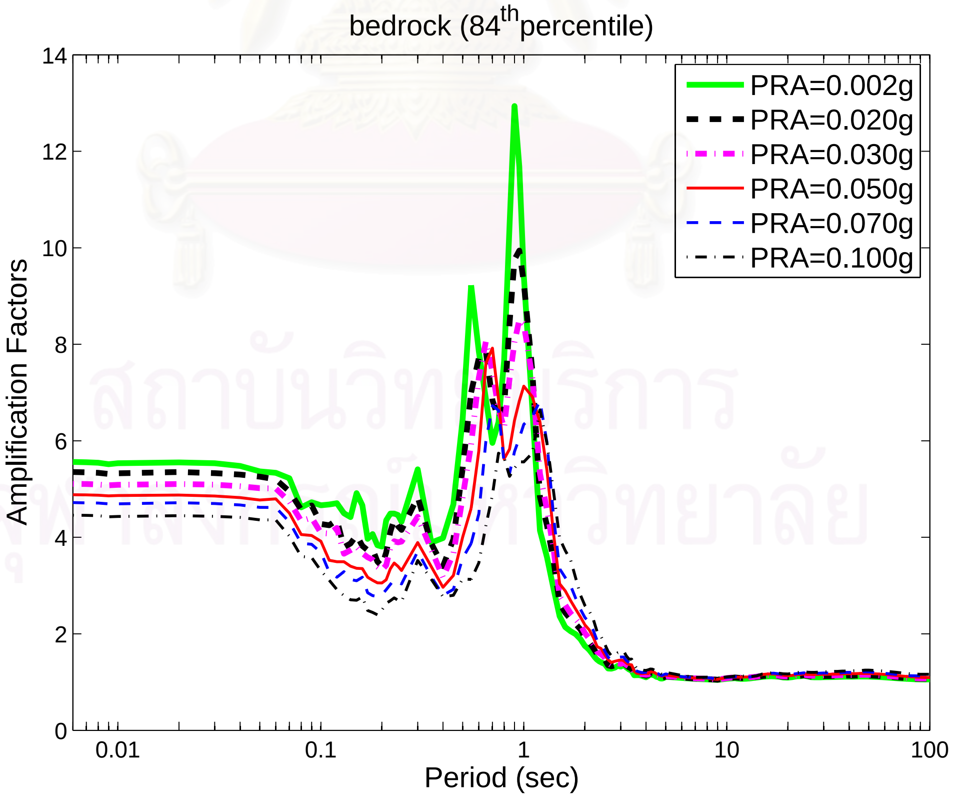
ค่าอัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินดาน เท่ากับค่า สเปกตรัมผลตอบสนองที่ผิวดินหารด้วยสเปกตรัมผลตอบสนองที่ชั้นหินดาน ส่วนค่าค่าอัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินโผล่ เท่ากับสเปกตรัมผลตอบสนองที่ผิวดินหารด้วยสเปกตรัมผลตอบสนองที่ชั้นหินโผล่ แสดงดังในรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 ตามลำดับ สำหรับค่าอัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินดานและที่ชั้นหินโผล่ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน แสดงดังในรูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าค่าอัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองเทียบกับที่ชั้นหินดานจะมากกว่าเทียบกับที่ชั้นหินโผล่ และจะมีอัตราการขยายมากที่ช่วงคาบประมาณ 1 วินาที และอัตราการขยายจะลดลงจนเกือบคงที่ตั้งแต่คาบธรรมชาติมากกว่า 2 วินาที เป็นต้นไป และยังพบว่าค่าอัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองที่ค่า PRA ต่ำกว่า จะมีค่ามากกว่าอัตราการขยายที่ค่า PRA สูงกว่า ในช่วงคาบที่ต่ำกว่า 1 วินาที



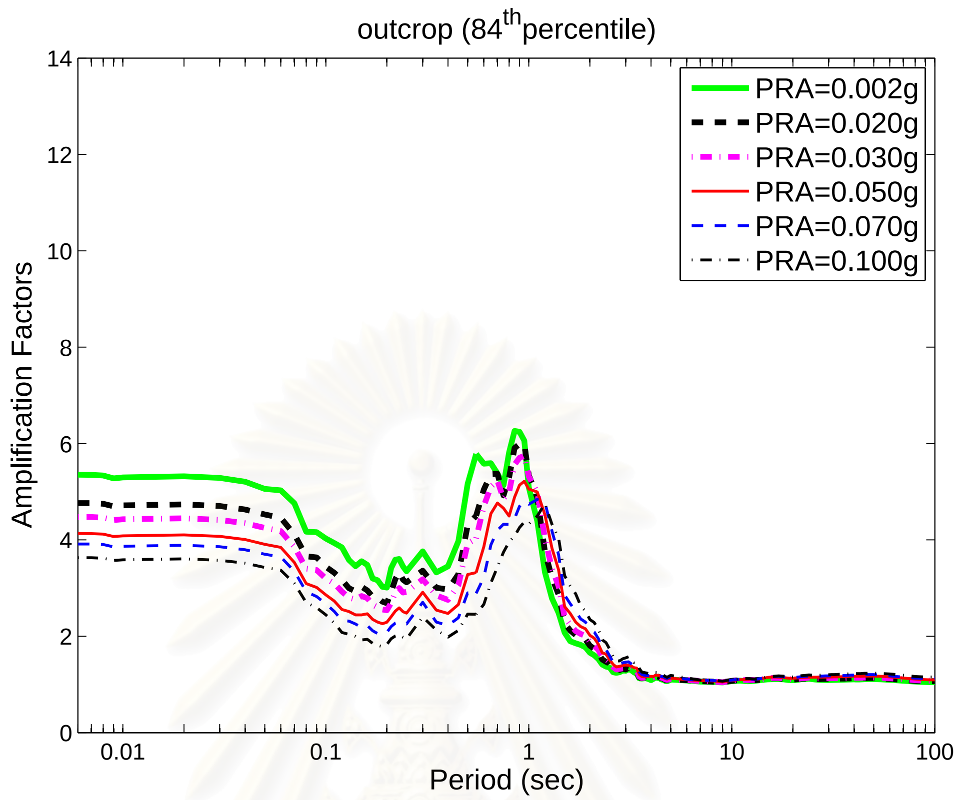
รูปที่ 4.29 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินดาน



รูปที่ 4.30 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมแบบมัธยฐานของคลื่นที่ชั้นหินโผล่



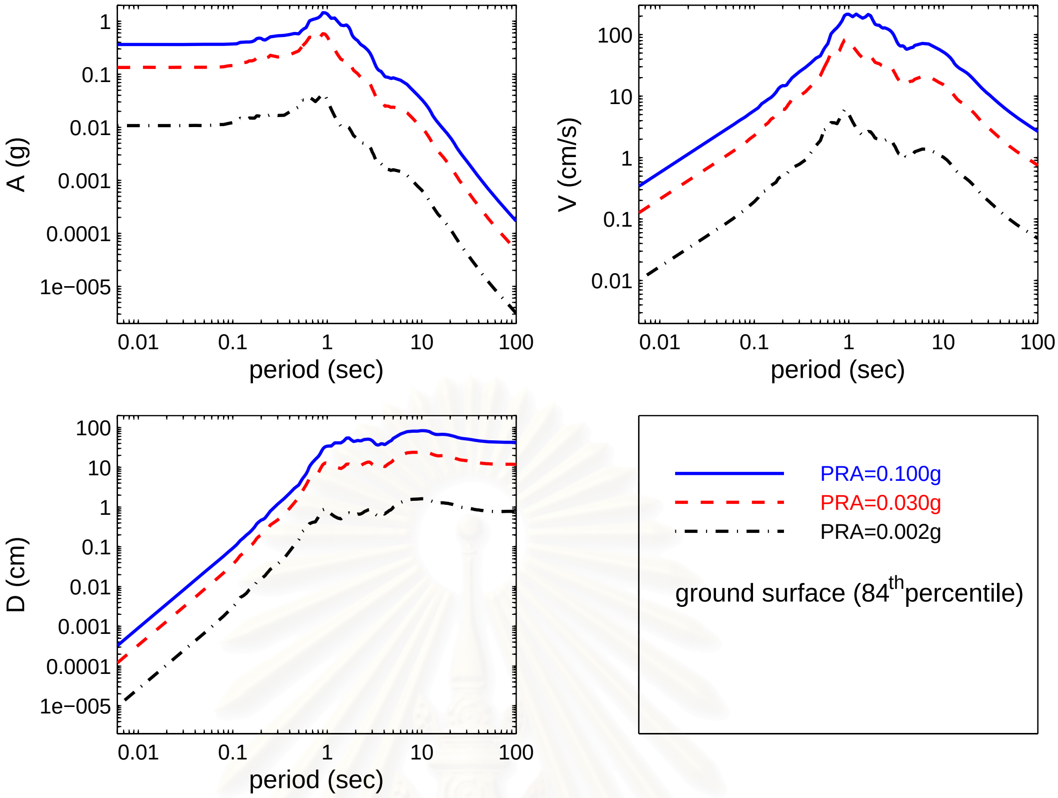
รูปที่ 4.31 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินดาน



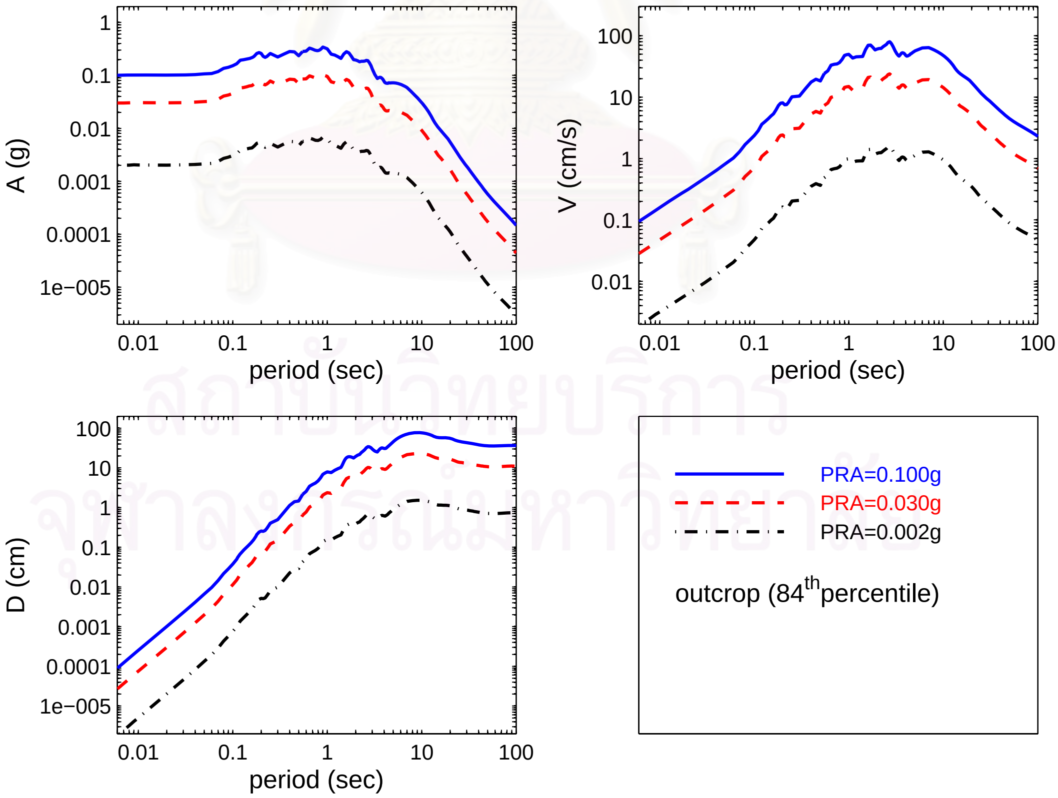
รูปที่ 4.32 อัตราการขยายของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียมที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่

สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม และการเสียรูปเทียม ที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ผิวดิน และที่ชั้นหินดาน แสดงในรูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34 ตามลำดับ โดยในรูปได้มีการเปรียบเทียบที่ค่า PRA = 0.002g, 0.030g และ 0.100g เพื่อที่จะดูลักษณะแนวโน้มของค่าสเปกตรัมผลตอบสนอง ที่มี ค่า PRA ต่ำ กลาง และสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.33 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม และการเสียรูปเทียม ที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ผิวดิน



รูปที่ 4.34 สเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม และการเสียรูปเทียม ที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ของคลื่นที่ชั้นหินโผล่

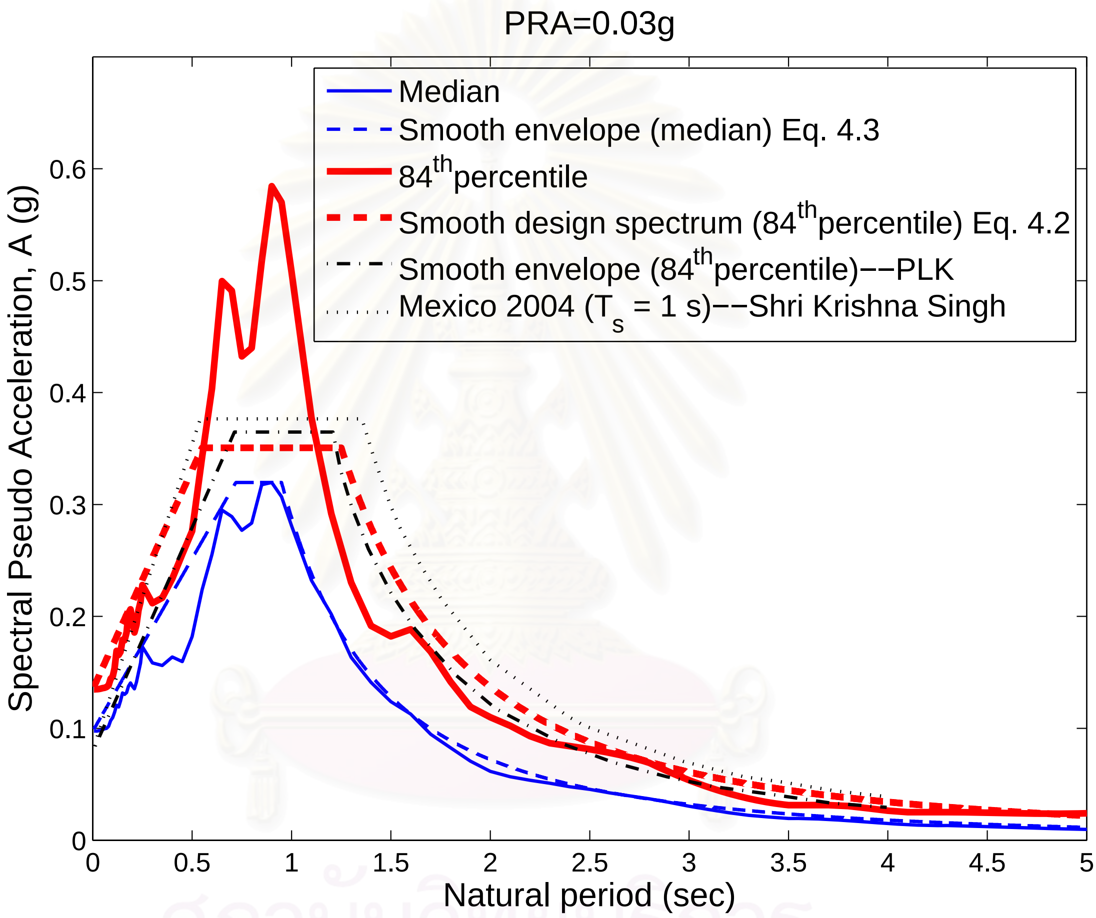
จากค่ามัธยฐานซึ่งเป็นค่ากลางซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด มาตรฐาน IBC (2003) กำหนดให้ใช้ค่ามัธยฐานในกรณีที่พิจารณาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวแบบดีเทอร์มินิสติก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้มีจำนวนจำกัด จึงนำค่าที่ 84 เปอร์เซ็นต์ไทล์ซึ่งเป็นค่าที่มีโอกาสเกินค่านั้นไม่เกิน 16% และมีค่าสูงกว่ามาพิจารณาประกอบด้วย จะเห็นว่าค่าที่ยอดแหลมของเส้นที่ 84 เปอร์เซ็นต์ไทล์มีค่าสูงมาก ซึ่งอาจจะมากเกินไปและไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการออกแบบจึงอาจจะต้องยอมที่จะไม่คำนึงถึงยอดแหลมที่เกิดขึ้นในช่วงคาบธรรมชาติที่แคบนั้น แล้วลดค่าความเร่งในช่วงคาบที่มีความเร่งคงที่ลง ซึ่งจากมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวของที่กรุงเม็กซิโกซึ่งมีลักษณะดินคล้ายกับกทม. ก็มีการใช้สเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่ต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ดังเช่นที่ตรวจวัดได้ที่สถานี SCT เมื่อปี 1985 โดยสเปกตรัมสำหรับการออกแบบต่ำกว่ายอดแหลมประมาณ 40% บนชั้นดินอ่อนมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเสนอให้ใช้ค่าในช่วงคาบที่มีความเร่งคงที่เท่ากับ 60% ของยอดแหลม (0.584g) เท่ากับ 0.35g ดังแสดงในรูปที่ 4.35 สังเกตว่าสเปกตรัมผลตอบสนองแบบเรียบที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ที่ปรับโดยวิธีดังกล่าวยังคงสูงกว่าผลที่ครอบคลุมค่ามัธยฐานราว 10% ที่ค่าสูงสุด แต่มีฐานของส่วนราบกว้างกว่ามาก รูปที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมผลตอบสนองที่เสนอโดยปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2548) และที่กำหนดในมาตรฐานกรุงเม็กซิโก 2004 สำหรับชั้นดินอ่อนที่มีคาบธรรมชาติเด่นชัดเท่ากับ 1 วินาที (T_s = 1 sec) ไว้เพื่อเปรียบเทียบด้วย

สมการของสเปกตรัมสำหรับออกแบบโครงสร้างตามที่ได้จากค่าที่ 84 เปอร์เซ็นต์ไทล์แสดงดังสมการที่ 4.2

$$A = \begin{cases} 0.13g + 0.22g(T/T_b) & T < T_b = 0.55\ s \\ 0.35g & T_b \le T \le T_d \\ 0.35g(T_d/T)^2 & T > T_d = 1.25\ s \end{cases} \tag{4.2}$$

สมการของสเปกตรัมครอบคลุมแบบเรียบที่ได้จากค่ามัธยฐานแสดงดังสมการที่ 4.3

$$A = \begin{cases} 0.10g + 0.22g(T/T_b) & T < T_b = 0.72\ s \\ 0.32g & T_b \le T \le T_d \\ 0.32g(T_d/T)^2 & T > T_d = 0.95\ s \end{cases} \tag{4.3}$$



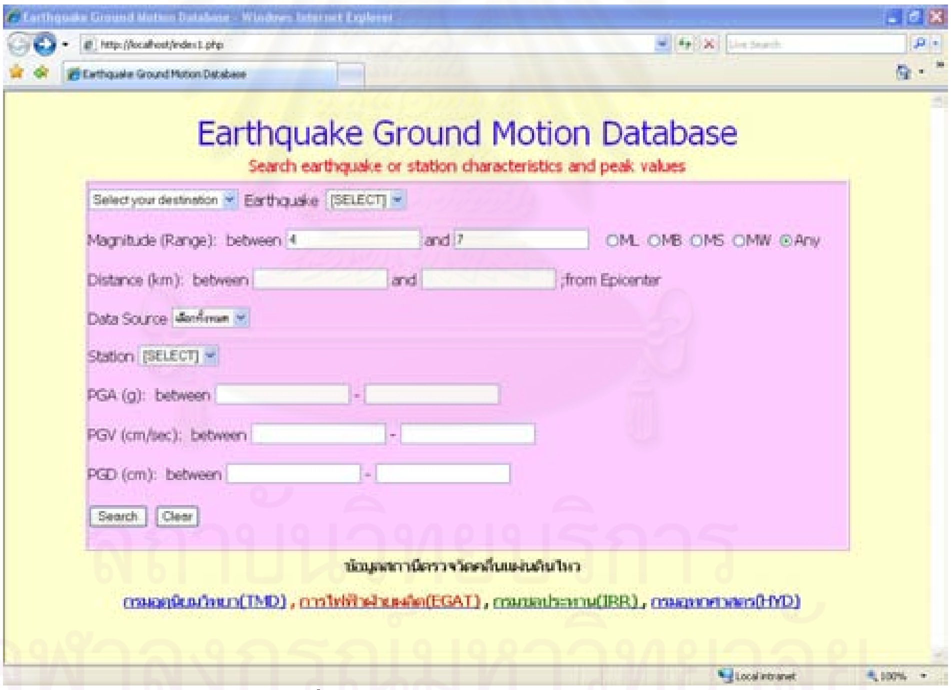
รูปที่ 4.35 มัธยฐานและค่าที่ 84 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของสเปกตรัมผลตอบสนองอีลาสติกของความเร่งเทียม (PRA=0.03g ความหน่วง 5%) (PLK-ปณิธาน, 2548)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว

ฐานข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวได้นำเสนอในรูปแบบของเว็บไซต์เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวก โดยเลือกรายการแผ่นดินไหวนำมาจากสารบัญแฟ้มของฮาร์วาร์ด และเลือกพิจารณาแผ่นดินไหวที่มีขนาด M_W ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างพิกัด 0 ถึง 25 องศาเหนือ และ 90 ถึง 110 องศาตะวันออก และอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง กรกฎาคม 2549 ถึง กรกฎาคม 2550 โดยสามารถค้นหาได้จาก สถานที่เกิดแผ่นดินไหว วันที่เกิดแผ่นดินไหว ขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) ระยะทาง (distance) แหล่งข้อมูล (data source) สถานี (station) ความเร่งสูงสุด (PGA) ความเร็วสูงสุด (PGV) การกระจัดสูงสุด (PGD) สำหรับตัวอย่างการค้นหาในตัวอย่างนี้ค้นหาโดย ขนาดแผ่นดินไหว (magnitude) ระหว่าง 4–7 ริกเตอร์ ดังรูปที่ 5.1

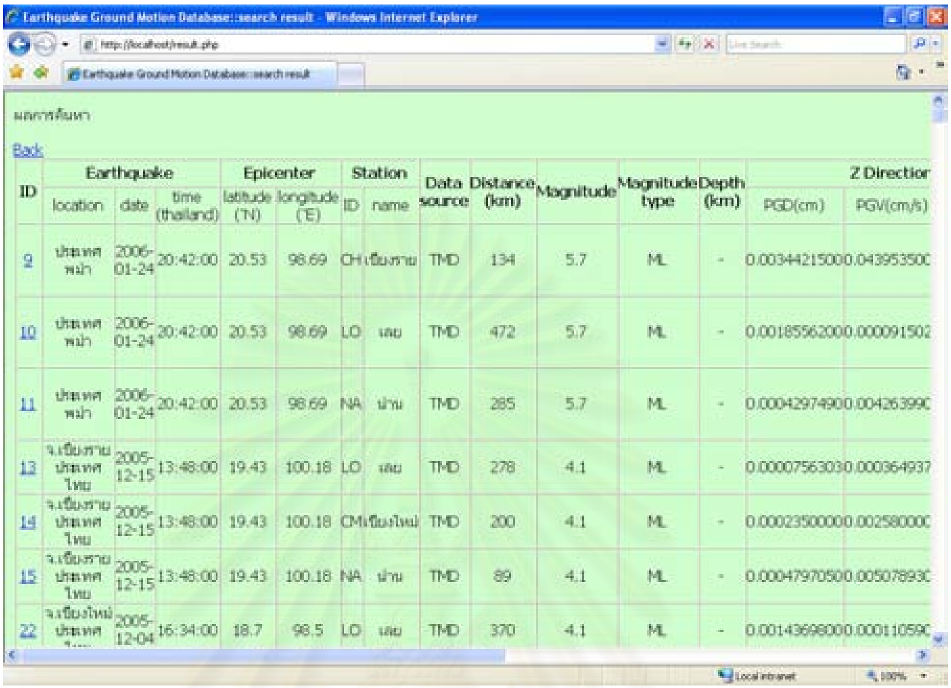


รูปที่ 5.1 หน้าเว็บไซต์ให้ค้นหาข้อมูล

เมื่อได้ทำการค้นหาโดยใส่ข้อมูลที่ต้องการแล้วเว็บไซต์จะทำการแสดงผลของการค้นหาโดยจะแสดง หมายเลข (ID) ตำแหน่ง วันที่ เวลาที่เกิดแผ่นดินไหว จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว สถานีที่ตรวจวัดแผ่นดินไหวได้ ระยะทาง ขนาดแผ่นดินไหว รูปแบบของขนาดแผ่นดินไหว ความลึก ค่า

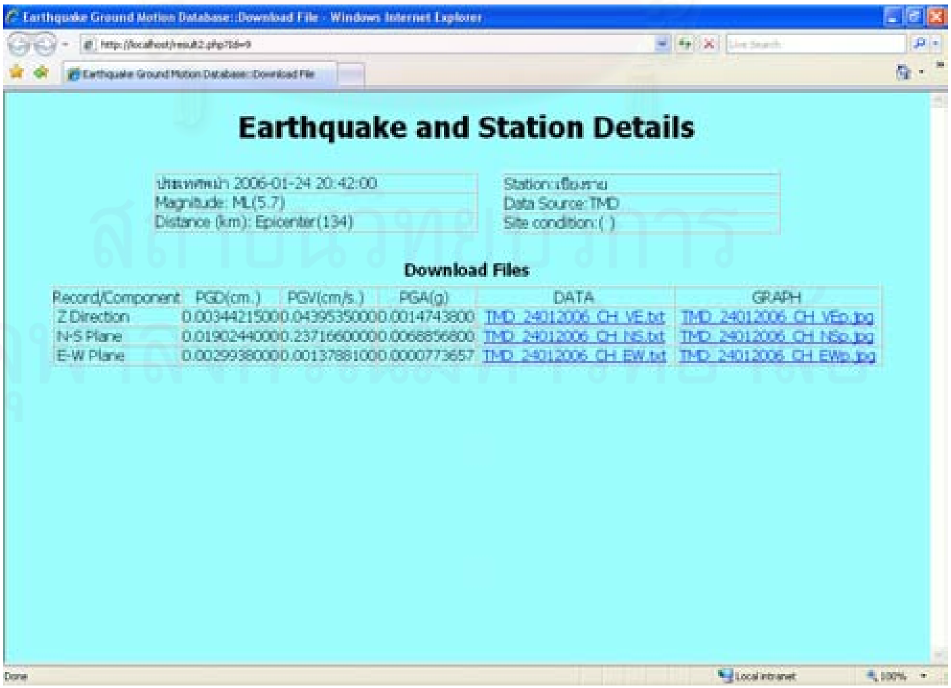
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกระจัดสูงสุด ความเร็วสูงสุด ความเร่งสูงสุด ของแกนดิ่ง แกนเหนือ–ใต้ แกนตะวันออก–ตะวันตก ตามลำดับและเหตุการณ์ความเสียหาย ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 หน้าเว็บไซต์แสดงผลการค้นหาข้อมูล

ถ้าอยากรู้ในรายละเอียดของแต่ละเหตุการณ์การสามารถทำได้โดยการคลิกที่หมายเลข (ID) ผลที่ได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 หน้าเว็บไซต์แสดงรายละเอียดของแต่ละเหตุการณ์

จากรูปที่ 5.3 เราสามารถดาวน์โหลดข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหว และกราฟได้ทั้ง 3 แนวแกน ในตัวอย่างนี้ได้ดาวน์โหลดแฟ้มข้อความที่มีข้อมูลความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน และประวัติเวลาของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน ดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ

รูปที่ 5.4 ใน 4 บรรทัดแรก บอกถึงรายละเอียดต่างๆของข้อมูล โดยที่ในบรรทัดแรกจะบอกว่าทิศทางไหนในที่นี้คือ แกนเหนือ-ใต้ บรรทัดที่ 2 จะบอกว่าเริ่มเก็บข้อมูลที่เวลาเท่าไร ตัวกรองความถี่สูงผ่าน และตัวกรองความถี่ต่ำผ่านเท่าไร บรรทัดที่ 3 บอกจำนวนข้อมูล และ ระยะเวลาระหว่างจุดที่บันทึก ปรรทัดที่ 4 บอกว่า บรรทัดต่อๆไป แถวแรกคือเวลา แถว 2 คือการกระจัดที่ผิวดิน แถว 3 คือ ความเร็วที่ผิวดิน แถว 4 คือ ความเร่งที่ผิวดิน ส่วนบรรทัดถัดๆไป ก็เป็นข้อมูลดังที่กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 5.5 เป็นกราฟของประวัติเวลาของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน คำอธิบายใต้รูป ยังบอกว่า เหตุการณ์แผ่นดินไหวนี้เกิดที่เวลาเท่าไร วันไหน ละติจูด ลองจิจูดที่เท่าไร ระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเกิดที่ไหน ความถี่ในการบันทึกข้อมูลเป็นเท่าไร ตัวกรองความถี่สูงผ่าน และตัวกรองความถี่ต่ำผ่านเท่าไร ในมุมขวาบนของแต่ละกราฟจากบนลงล่าง บอกว่า ค่า PGA, PGV และ PGD มีค่าเท่าไร ตามลำดับ

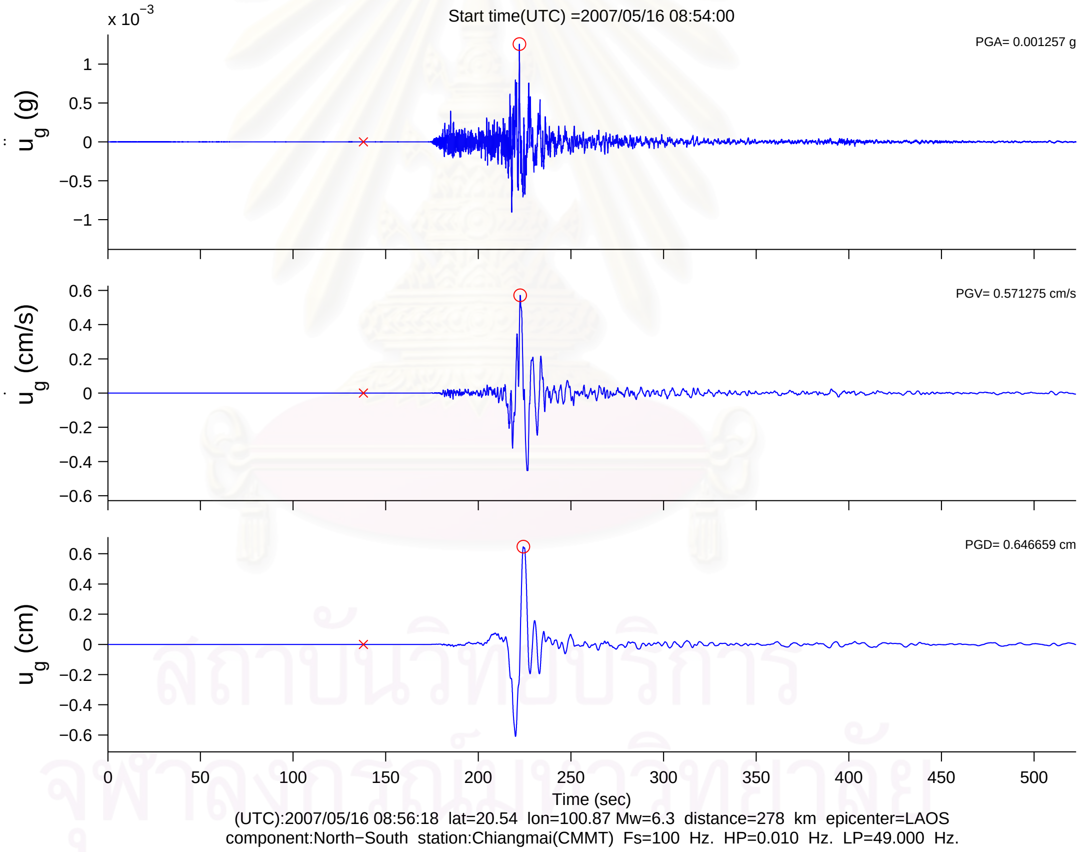
นอกจากนี้ยังสามารถดาวน์โหลดแฟ้มข้อความและกราฟประวัติเวลาของสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม การเสียรูป ที่ค่าความหน่วงต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ตามลำดับ รูปที่ 5.6 เป็นข้อมูลค่าต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีค่าที่ความหน่วงดังนี้ 0.5%, 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, 10%, 15% และ 20% ส่วนในรูปที่ 5.7 จะสามารถดูลักษณะของกราฟต่างๆว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร ที่ค่าความหน่วงต่างๆกัน คำอธิบายใต้รูปบอกค่าของเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว ขนาดแผ่นดินไหว จุดกำเนิดแผ่นดินไหว สถานีที่ตรวจวัด และทิศทาง

ข้อมูลทั้งหมดต่างๆเหล่านี้ เชื่อว่าน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาต่อๆไป เช่น หาสมการการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหว หรือหาค่าการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหว ณ ที่แห่งอื่น เป็นต้น

North-South component
Start time: 2007/05/16 08:54:00 HP= 0.01 Hz. LP= 49.00 Hz.
No.= 52263 points. dt= 0.01000

time (sec)	Displacement (cm)	Velocity (cm/s)	Acceleration (g)
0.0000	-6.73562e-004	2.64756e-005	-7.95012e-010
0.0100	-6.73276e-004	3.07743e-005	-7.95012e-010
0.0200	-6.73001e-004	2.41999e-005	-1.59402e-007
0.0300	-6.72734e-004	2.91807e-005	5.36787e-007
0.0400	-6.72426e-004	3.23981e-005	1.89736e-007
0.0500	-6.72099e-004	3.30756e-005	1.38826e-008
0.0600	-6.71769e-004	3.29298e-005	-6.13092e-008
0.0700	-6.71445e-004	3.17069e-005	-2.99350e-007
0.0800	-6.71144e-004	2.85725e-005	1.99044e-007
0.0900	-6.70834e-004	3.33629e-005	-4.13784e-007
0.1000	-6.70554e-004	2.26524e-005	-8.43931e-008
0.1100	-6.70276e-004	3.29628e-005	8.98442e-007
0.1200	-6.69935e-004	3.52135e-005	-3.82360e-007
0.1300	-6.69619e-004	2.79934e-005	-4.77494e-007
0.1400	-6.69340e-004	2.78144e-005	1.86934e-007

รูปที่ 5.4 แฟ้มข้อความที่มีข้อมูลความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน

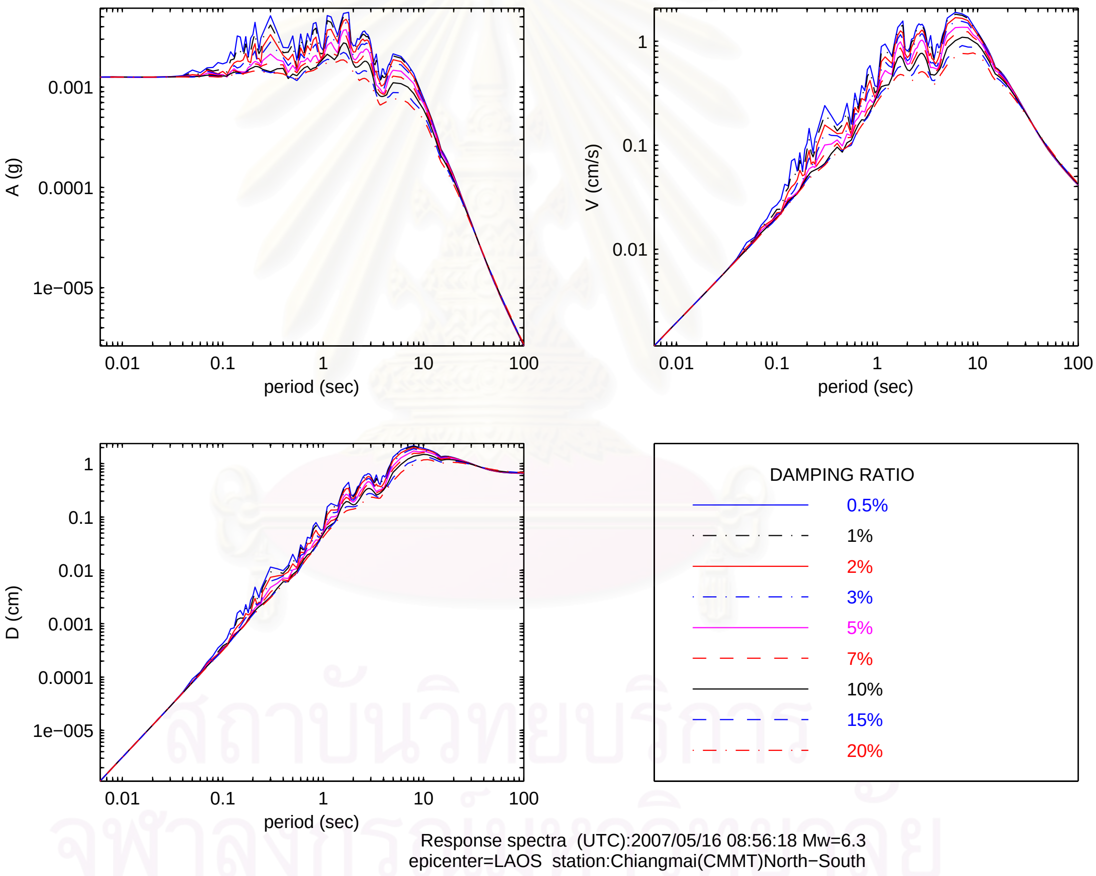


รูปที่ 5.5 ประวัติเวลาของความเร่ง ความเร็ว การกระจัดที่ผิวดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERIOD (sec)	DISPLACEMENT SD(cm)	PSEUDO VELOCITY SD*W(cm/s)	PSEUDO ACCELERATION SD*W**2(g)
DAMPING RATIO = 0.005			
0.0060	1.12474e-006	1.17782e-003	1.25730e-003
0.0070	1.53138e-006	1.37456e-003	1.25770e-003
0.0080	2.00605e-006	1.57555e-003	1.26140e-003
0.0090	2.54414e-006	1.77615e-003	1.26400e-003
0.0100	3.13147e-006	1.96756e-003	1.26020e-003
0.0200	1.25110e-005	3.93044e-003	1.25870e-003
0.0300	2.82213e-005	5.91065e-003	1.26190e-003
0.0400	5.18211e-005	8.14005e-003	1.30340e-003
0.0500	9.18544e-005	1.15428e-002	1.47860e-003
0.0600	1.24210e-004	1.30073e-002	1.38850e-003

รูปที่ 5.6 แฟ้มข้อความที่มีข้อมูลสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม การเสียรูป ที่ค่าความหน่วงต่างๆ



รูปที่ 5.7 กราฟสเปกตรัมผลตอบสนองของความเร่งเทียม ความเร็วเทียม การเสียรูป ที่ค่าความหน่วงต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงสร้างของฐานข้อมูล แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งบอกถึง ชื่อของข้อมูล ชนิดของข้อมูล และ คำอธิบายของชื่อของข้อมูล

ตารางที่ 5.1 โครงสร้างของฐานข้อมูล

ชื่อ	ชนิด	คำอธิบาย
Id	int	ลำดับ
Date	date	วันที่
Time	varchar	เวลา
Epicenter_N	varchar	ละติจูดของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว
Epicenter_E	varchar	ลองจิจูดของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว
Station_ID	varchar	รหัสสถานี
Station_Name	varchar	ชือสถานี
Distance	varchar	ระยะทาง (กม)
Area	varchar	บริเวณจุดกำเนิดแผ่นดินไหว
Magnitude	varchar	ขนาดแผ่นดินไหว
Magnitude_Type	varchar	ชนิดของขนาดแผ่นดินไหว
Depth	varchar	ความลึก (กม)
Source	varchar	แหล่งข้อมูล
Z_PGD	varchar	การกระจัดสูงสุดในแนวดิ่ง (g)
Z_PGV	varchar	ความเร็วสูงสุดในแนวดิ่ง (g)
Z_PGA	varchar	ความเร่งสูงสุดในแนวดิ่ง (g)
NS_Plane_PGD	varchar	การกระจัดสูงสุดในแนวเหนือ-ใต้ (g)
NS_Plane_PGV	varchar	ความเร็วสูงสุดในแนวเหนือ-ใต้ (g)
NS_Plane_PGA	varchar	ความเร่งสูงสุดในแนวเหนือ-ใต้ (g)
EW_Plane_PGD	varchar	การกระจัดสูงสุดในแนวตะวันออก-ตะวันตก (g)
EW_Plane_PGV	varchar	ความเร็วสูงสุดในแนวตะวันออก-ตะวันตก (g)
EW_Plane_PGA	varchar	ความเร่งสูงสุดในแนวตะวันออก-ตะวันตก (g)

คำอธิบายชนิดข้อมูล int เป็นข้อมูลชนิดตัวเลข, date เป็นข้อมูลชนิดวันที่ และ varchar เป็นข้อมูลชนิดตัวอักษร

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการสั่นไหวของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย และได้หาสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย หาค่าการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากชั้นดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานคร และหาสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับกรุงเทพมหานครเพื่อการออกแบบโครงสร้าง จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวสามารถรวบรวมได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ส่วนข้อมูลที่ได้จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน และกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ ไม่ได้ให้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวในระบบดิจิทัล แบบประวัติเวลา (time history) จึงไม่ได้นำมารวมในการศึกษานี้

2) ข้อมูลไม่ว่ามาจากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวชนิดไหน ต้องทำการตรวจสอบข้อมูลก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง เพื่อความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูล

3) ความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งเมื่อปี 2549 มีความน่าเชื่อมากกว่าเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งตั้งแต่เมื่อปี 2541 โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจแผ่นดินไหวแบบที่วัดความเร็ว

4) สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสมกับประเทศไทย สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและแผ่นดินไหวไม่อยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก คือ สมการที่เสนอโดย Idriss (1993), Sadigh et al. (1997) และ Toro: Gulf Regions (2002) สำหรับสถานีที่ตั้งบนหินและแผ่นดินไหวอยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก คือ สมการที่เสนอโดย Crouse (1991) สำหรับที่ตั้งบนดินและแผ่นดินไหวไม่อยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก คือ สมการที่เสนอโดย Dahle et al. (1995) และ Ambraseys et al. (2005) สำหรับที่ตั้งบนดินและแผ่นดินไหวอยู่ในเขตมุดตัวของเปลือกโลก คือ สมการที่เสนอโดย Petersen et al. (2004)

5) ในการศึกษาการขยายคลื่นแผ่นดินไหวเนื่องจากดินอ่อนในเขตกรุงเทพมหานคร ได้เลือกคลื่นแผ่นดินไหว ที่ระยะห่างจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว และขนาดแผ่นดินไหว ที่มีความ

สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่อาจส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร 6 คลื่น และจากค่าความเร่งที่หินโผล่ในกรุงเทพมหานครจากแผนที่เสี่ยงภัยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.015g ถึงประมาณ 0.03g (จิตติ, 2549) ในที่นี้จะใช้ค่า PRA เท่ากับ 0.03g ดังนั้นสำหรับค่า PGA ที่น่าจะเกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร คือค่า PRA ที่ 0.030g มีค่ามัธยฐานของอัตราการขยายตัวของคลื่นบนหินโผล่เท่ากับ 3.25 ดังนั้น ค่ามัธยฐานของความเร่งสูงสุดบนผิวดิน คือ 0.097g

6) ในการศึกษาสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับกรุงเทพมหานครเพื่อการออกแบบโครงสร้าง ผู้วิจัยได้เสนอให้ใช้สเปกตรัมผลตอบสนองแบบเรียบที่ 84 เปอร์เซ็นไทล์ ทำให้ได้ค่าความเร่งสูงสุดในแนวราบที่ผิวดินมีค่าประมาณ 0.13g

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จิตติ ปาลศรี. (2549). แผ่นดินเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์. (2548). ภัยจากแผ่นดินไหว-สภาพการณ์ทั่วไปและข้อพิจารณาสำหรับการออกแบบอาคารใน กทม. การอบรมเรื่องการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และ เป็นหนึ่ง วานิชชัย. (2538). ความเสียหายจากแผ่นดินไหวที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย. โยธาสาร 7, 1 : 9-16.

ปราณนา บุญชาญ. (2547). คลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในจังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปัญญา จารุศิริ, สุวิทย์ โคสุวรรณ, วิโรจน์ ดาวฤกษ์, บุรินทร์ เวชบรรเทิง และ สุทธิพันธ์ ขุทรานนท์. (2543). รายงานวิจัยแผ่นดินไหวในประเทศไทยและพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. รายงานวิจัยเสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพมหานคร.

ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, ธงชัย โรจน์กังสดาล และ พิสิฐ วนิชชานันท์. (2549). การใช้งาน MATLAB เบื้องต้น. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สุพจน์ เตชวรสินสกุล. (2549). พฤติกรรมของดินทางพลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สุมาลี ประจวบ, บุรินทร์ เวชบรรเทิง และ กมลรัตน์ ศฤงคารภาษิต. (2548). การสร้างฐานข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยเครือข่ายสถานีวัด. กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพมหานคร.

ภาษาอังกฤษ

Abrahamson, N. A. and Silva, W.J. (1997). Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes. Seismological Research Letters. 68, 1: 94-109.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ambraseys, N., Douglas, J., Sarma, S. and Smit, P. (2005). Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. Bulletin of Earthquake Engineering:1-53.

Ashford, S., Jakrapiyanun, W. and Lukkunaprasit, P. (1997). Amplification of Earthquake Ground Motions in Bangkok. Chulalongkorn University, bangkok.

Ashford, S., Jakrapiyanun, W. and Lukkunaprasit, P. (2000). Amplification of Earthquake Ground Motions in Bangkok. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland. New Zealand.

Atkinson, G.M. and Boore, D.M. (1997). Some Comparisons Between Recent Ground Motion Relations. Seismological Research Letters. 68, 1: 24-40.

Atkinson, G.M. and Boore, D.M. (1997). Stochastic Point-Source Modeling of Ground Motions in Cascadia Region. Seismological Research Letters. 68, 1: 74-85.

Boore, D., Joyner, W. and Fumal, T. (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. Seismological Research Letters. 68, 1: 128-153.

Campbell, K.W. (1997). Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra. Seismological Research Letters. 68, 1: 154-179.

Chopra, A. K. (2001). Dynamics of structures: Theory and Application to Earthquake Engineering. 2nd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Crouse, C.B. (1991). Ground Motion Attenuation Equation for Earthquakes on Cascadia Subduction Zones. Earthquake Spectra. 7, 2: 201-236.

Dickenson, S.E. (1994). Dynamic Response of Soft and Deep Cohesive Soils During the Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989. Ph.D. thesis. University of California at Berkeley.

Douglas, J. (2001). A Comprehensive Worldwide Summary of Strong-Motion Attenuation Relationships for Peak Ground Acceleration and Spectral Ordinates (1969 to 2000). Engineering Seismology and Earthquake Engineering. Report No. 01-1.

Hudson, D., (1979). Reading and interpreting strong motion accelerograms. Earthquake engineering research institute, California.

Douglas, J. (2003). Earthquake Ground Motion Estimation Using Strong-Motion Records: A Review of Equations for the Estimation of Peak Ground Acceleration and Response Spectral Ordinates. Elsevier Science. Earth Science Reviews: 43-104.

EduPro Civil Systems, Inc., (2003). ProShake Ground Response Analysis Program Version 1.1 User's Manual, Redmond, Washington.

Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). (1998). Preliminary seismic hazard evaluation of Khao Laem and Srinagarind dams. Thailand.

Esteva, L. and Villaverde, R. (1973). Seismic Risk, Design Spectra and Structural Reliability. Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering. Rome.

Fukushima, Y. and Tanaka, T. (1991). A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan. Shimizu Technical Research Bulletin. 1, 10: 1-11.

Hwang, H. and Huo, J. (1997). Attenuation Relations of Ground Motions for Rock and Soil Sites in Eastern United States. Elsevier Science Limited: 363-372.

Idriss, I.M. (1995). An Overview of Earthquake Ground Motions Pertinent to Seismic Zonation. Proceedings of Fifth International Conference on Seismic Zonation. Nice. France. October 1995. Vol. III.

Imai, T. and Tonouchi, K. (1982). Correlation of N-Value with S-Wave Velocity and Shear Modulus. Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing. Amsterdam. The Netherlands: 67-72.

International Code Council. (2003), International Building Code. Country Club Hills, Illinois.

International Conference of Building Officials, ICBO. (1997). Uniform Building code. Structural Engineering Design provisions.

Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Printice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Kreyszig, E. (1999). Advanced Engineering Mathematics. 8th edition. John Wiley & Sons, Singapore.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Megawati, K., Pan, T. and Koketsu, K. (2005). Response Spectral Attenuation Relationships for Sumatran-Subduction Earthquakes and the Seismic Hazard Implications to Singapore and Kuala Lumpur. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25: 11-25.

Naguit, M. E. (2006). Estimation of Probable Earthquake Ground Motions in Bangkok. Master thesis. Department of Civil Engineering Chulalongkorn University

Nigam, N. C. and Jennings, P. C. (1968). Digital calculation of response spectra from strong-motion earthquake records. Pasadena,California.

Ohsaki, Y. and Iwasaki, R. (1973). On Dynamic Shear Moduli and Poisson's Ratio of Soil Deposits. Soil and Foundations. 13, 4: 61-73.

Ohta, Y. and Goto, N. (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 6, 2: 167-187.

Petersen, M., Dewey, J., Hartzell, S., Mueller, C., Harmsen, S., Frankel, A. and Rukstales, K. (2004). Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Sumatra Indonesia and Across the Southern Malaysian Peninsula. Elsevier, Tectonophysics, 141-158.

Sadigh, K., Chang, C., Egan, J., Makdisi, F. and Youngs, R. (1997). Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data, Seismological Research Letters. 68, 1: 180-189.

Schnabel, P., Lysmer, J. and Seed, B. (1972). Shake: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. Earthquake Engineering Research Center. University of California. Berkeley. Report No. EERC 72-12.

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1970). Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses. University of California. Berkeley. Earthquake Engineering Research Center, Report No. EERC 70-10.

Seed, H.B., Idriss, I.M. and Arango, I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 109, 3:458-482.

Spudich, P., Fletcher, J., Hellweg, M., Boatwright, J., Sullivan, C., Joyner, W., Hanks, T., Boore, D., McGarr, A., Baker, L. and Lindh, A. (1997). SEA96-A New Predictive Relation for Earthquake Ground Motions in Extensional Tectonic Regimes, Seismological Research Letters, 68, 1: 190-198.

Sykora, D.W. and Stokoe, K.H. (1983). Correlations of In-Situ Measurements in Sands with Shear Wave Velocity, Geotechnical Engineering Report GR 83-33. The University of Texas at Austin, Texas.

Toro, G.R. (2002). Modification of the Toro et al. (1997) Attenuation Equations for Large Magnitudes and Short Distances. Risk Engineering. : 4-1 to 4-10.

Toro, G.R., Abrahamson, N.A. and Schneider, J.F. (1997). Model of Strong Ground Motions from Earthquakes in Central and Eastern North America: Best Estimates and Uncertainties. Seismological Research Letters. 68, 1: 41-57.

Vucetic, M. and Dorby, R. (1991). Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. 117, 1: 78-107.

Warnitchai, P., Sangarayakul, C. and Ashford, S., (2000). Seismic hazard in Bangkok due to long-distance earthquakes, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.

Youngs, R., Chiou, S., Silva, W. and Humphrey, J. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. Seismological Research Letters. 68, 1: 58-73.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

ก.1 โปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าลักษณะต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว

```
clear all;
tofile=fopen('totalfile.txt','w');
fprintf(tofile,'%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t%s\t
%s\t%s\n'...
,'No.','date','time','epN','epE','staID','staN','staE','Distance(km)'...
,'magnitude','type mag.','depth(km)','file','PGD(cm)','PGV(cm/s)'...
,'PGA(g)','cover','dif.time','Fs','HP','LP','start time_du');
tic

fnameinp = dir;
na1=length(dir);

eval(['!copy C:\!!!TEST_matlab\Programnop\Speceq3.exe']);%เปลี่ยนเป็น path ทีมี Speceq3.exe อยู่

for ina=3:na1

fnamen=fnameinp(ina).name;
[a na2]=size(fnamen);

if strcmp(fnamen(na2-2:na2),'sg2')
%%%%%%%%%%
fin=fopen(fnamen);
ln=fgetl(fin);
lenl=length(ln);

   j=1;
for i=1:lenl

   if   strcmp(ln(i),'=')
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        eq(j)=i;
        j=j+1;
    end
end
    k=1;
for i=1:lenl
    if   strcmp(ln(i),'h')
        eh(k)=i;
        k=k+1;
    end
end
hyears=ln(eq(2)+1:eq(2)+4);
hjday=str2num(ln(eq(3)+1:eh(1)-1));
hhour=ln(eq(4)+1:eq(4)+2);
hmin=ln(eq(5)+1:eq(5)+2);
hsec=ln(eq(6)+1:eq(6)+4);
sta=ln(eq(9)+1:eq(9)+4);
chan=ln(eq(11)+1:eq(11)+3);
nPoints=str2num(ln(eq(19)+1:eq(19)+7));
dt=str2num(ln(eq(20)+1:eq(20)+5));
Fs=1/dt;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
data=fscanf(fin,'%f',[2 inf]);
t1=data(1,:)';
data1=data(2,:)';
n1=length(data1);
fclose(fin);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

datejds=strcat(hyears,'/01/01');
timejds=strcat(datejds,'-',hhour,':',hmin,':',hsec);
timejdayn=datenum(timejds,'yyyy/mm/dd-HH:MM:SS.FFF');
datestartn=timejdayn+(hjday-1);
datestarts=datestr(datestartn,'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
```

```
dateendn=datestartn+(n1-1)*dt/(24*3600);
dateends=datestr(dateendn,'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
%------------------

for inum=1:imno
   cbdateexcel=cbdate(inum)+693960;%-7/24; %change date if transformed by excel
if (cbdateexcel-datestartn)>=0 && (dateendn-cbdateexcel)>=0

%***********duration
waveduration=300;                %+-  60 second from max.data1
[mdata1 ptdata1]=max(abs(data1));
istadu=ptdata1-waveduration*Fs;
if istadu<1
   istadu=1;
end
ienddu=ptdata1+waveduration*Fs;
if ienddu>n1
   ienddu=n1;
end

numdu=ienddu-istadu+1;
stadutimen=datestartn+(istadu-1)*dt/(24*3600);
stadutimes=datestr(stadutimen,'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
enddutimen=stadutimen+(numdu-1)*dt/(24*3600);
enddutimes=datestr(enddutimen,'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
   cbnos=datestr(cbdateexcel,'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
   cbnosd=datestr(cbdateexcel,'yyyy/mm/dd');
   cbnost=datestr(cbdateexcel,'HH:MM:SS');
   cbnosna=datestr(cbdateexcel,'yyyymmddHHMMSS');
   yys=cbnosna(1:4);
   mms=cbnosna(5:6);
   dds=cbnosna(7:8);
   hhs=cbnosna(9:14);
%-------fname-------------
```

```
if strcmp(chan(3),'Z')
cpms='VE';
end
if strcmp(chan(3),'N')
cpms='NS';
end
if strcmp(chan(3),'E')
cpms='EW';
end
if strcmp(chan(1),'A')
   chan01='a';
elseif strcmp(chan(1),'B')
   chan01='b';
elseif strcmp(chan(1),'C')
   chan01='c';
end
   fname=strcat(cbnosna,sta,cpms,chan01);
%-------------------------
   ptocaldu=cbdateexcel-stadutimen;
   ptocaldus=ptocaldu*24*3600;
   difdun=cbdateexcel-stadutimen;
   if difdun >=0
   difdus=datestr(difdun,'HH:MM:SS');
   end
   if difdun <0
    difdunl=abs(difdun);
   difdusl=datestr(difdunl,'HH:MM:SS');
   difdus=strcat('-',difdusl);
   end
   nfol=' c:\!Run';              %change path to output Folder
   nafo=strcat(nfol,'\',yys,'\',mms,'\',dds,'\',hhs);
   eval(['!md',nafo]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if strcmp(chan(1),'A')
```

```
    sens=213909.504;
elseif strcmp(chan(1),'B')
    sens=503316480;
elseif strcmp(chan(1),'C')
    sens=1572864000;
end

fname24=strcat(fname,'.txt');

if strcmp(chan(1),'B')|strcmp(chan(1),'C')



    if strcmp(sta,'CHBT')
        staN=12.7526; staE=102.3297; staT='เขื่อนคีรีธาร จ.จันทบุรี'; staEng='Chanthaburi';
    elseif strcmp(sta,'CMMT')
        staN=18.8128; staE=98.9476; staT='เชียงใหม่'; staEng='Chiangmai';
    elseif strcmp(sta,'KHLT')
        staN=14.797; staE=98.589; staT='เขื่อนวชิราลงกรณ์(เขื่อนเขาแหลม) จ.กาญจนบุรี';
staEng='Wachiralongkon Dam Kanchanaburi';
    elseif strcmp(sta,'KRDT')
        staN=14.5905; staE=101.8442; staT='เขื่อนลำพระเพลิง  จ.นครราชสีมา';
staEng='Nakhonratchasima';
    elseif strcmp(sta,'MHIT')
        staN=19.3148; staE=97.9632; staT='แม่ฮ่องสอน'; staEng='Maehongson';
    elseif strcmp(sta,'MHMT')
        staN=18.1764; staE=97.931; staT='แม่สะเรียง'; staEng='Maesariang';
    elseif strcmp(sta,'PBKT')
        staN=16.5733; staE=100.9687; staT='อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์'; staEng='Phetchabun';
    elseif strcmp(sta,'PKDT')
        staN=7.892; staE=98.335; staT='เขื่อนบางวาด จ.ภูเก็ต'; staEng='Phuket';
    elseif strcmp(sta,'RNTT')
        staN=9.3904; staE=98.4778; staT='กิ่งอ.สุขสำราญ จ.ระนอง'; staEng='Ranong';
    elseif strcmp(sta,'SKLT')
        staN=7.1735; staE=100.6188; staT='สงขลา'; staEng='Songkhla';
    elseif strcmp(sta,'SKNT')
```

```
        staN=16.9742; staE=103.9815; staT='เขื่อนน้ำพุง จ.สกลนคร'; staEng='Sakonnakhon';
    elseif strcmp(sta,'SRDT')
        staN=14.3945; staE=99.1212; staT='เขื่อนศรีนครินทร์  จ.กาญจนบุรี'; staEng='Srinagarindra Dam
Kanchanaburi';
    elseif strcmp(sta,'SURT')
        staN=8.958; staE=98.795; staT='เขื่อนรัชชประภา จ.สุราษฎร์ธานี'; staEng='Suratthani';
    elseif strcmp(sta,'TRTT')
        staN=7.8362; staE=99.6912; staT='เขื่อนท่างิ้ว จ.ตรัง'; staEng='Trang';
    elseif strcmp(sta,'UBPT')
        staN=15.2773; staE=105.4695; staT='เขื่อนปากมูล จ.อุบลราชธานี'; staEng='Ubonratchathani';
    else
        break;
    end %---strcmp(sta,'CHBT')
epiN=cblat(inum);
epiE=cblon(inum);

epidis=(acos(sin(epiN*pi/180)*sin(staN*pi/180)+cos(epiN*pi/180)*cos(staN*pi/180)*cos(abs(epiE-
staE)*pi/180)))*180/pi*111.23;


%----------vel lp----
vel24=zeros(n1,1);
vel24=data1/sens*100;  %cm/s

%**********velocity formula****************
vel24m=mean(vel24(1:n1));
vel24=vel24-vel24m;
%***********************
acc24=zeros(n1,1);
for i=3:n1-2
    acc24(i)=(-vel24(i+2)+8*vel24(i+1)-8*vel24(i-1)+vel24(i-2))/12/dt/981;% g
end
acc24m=mean(acc24(1:n1));
acc24=acc24-acc24m;
```

```
%---hp&lp--------
%********high Pass*******************
if Fs>100
   hp=0.025;
else
hp=0.01;                                %high pass (Hz)
end
%********Low Pass********************

pgalp=max(abs(acc24));
if pgalp<3*10^-4 || epidis>1000
   lp=10;
else
  if Fs/2<49
   lp=Fs/2-1;
  else
   lp=49;
  end
end %----if pgalp<3*10^-4 || epidis>1000

%----------vel----
vel24=zeros(n1,1);
vel24=data1/sens*100;  %cm/s

%**********velocity formula****************
vel24m=mean(vel24(1:n1));
vel24=vel24-vel24m;

[bbu,abu]=butter(4,[hp lp]/Fs*2);
vel24=filter(bbu,abu,vel24);
vel24m=mean(vel24(1:n1));
vel24=vel24-vel24m;
%************************
acc24=zeros(n1,1);
for i=3:n1-2
```

```
   acc24(i)=(-vel24(i+2)+8*vel24(i+1)-8*vel24(i-1)+vel24(i-2))/12/dt/981;% g
end
acc24m=mean(acc24(1:n1));
acc24=acc24-acc24m;

%************************
dis24=zeros(n1,1);
dis24(1)=0;
for i=2:n1
   dis24(i)=dis24(i-1)+dt/2*(vel24(i)+vel24(i-1));
end
dis24m=mean(dis24(1:n1));
dis24=dis24-dis24m;

%********printout*********
fout24=fopen(fname24,'w');

if strcmp(chan(3),'Z')
fprintf(fout24,'Vertical component\n');
end
if strcmp(chan(3),'N')
fprintf(fout24,'North-South component\n');
end
if strcmp(chan(3),'E')
fprintf(fout24,'East-West component\n');
end

fprintf(fout24,'Start time: %s HP=%7.2f Hz. LP=%7.2f Hz.\n',stadutimes,hp,lp);
fprintf(fout24,'No.= %7.0f points. dt= %7.5f\n',numdu,dt);
fprintf(fout24,'time (sec)\tDisplacement (cm)\tVelocity (cm/s)\tAcceleration (g)\n');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
numnr=ienddu-istadu+1+1;
acc24r=zeros(numnr,1);
acc24r(1)=0;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for numn=istadu:ienddu
fprintf(fout24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[t1(numn-(istadu-1)) dis24(numn) vel24(numn)
acc24(numn)]');
acc24r(numn-istadu+1+1)=acc24(numn);
end
fclose(fout24);
%%%%%%%%%%%%%Response spectra%%%%%%%%%%%%%%
iddam= 9; %Number of damping values
ipc= 6  ; %Number of lines specifying the periods
sf= 1   ; %Scale Factor to be applied to the acceleration values
ipr= 0  ; %Time-history print control: 1=yes, 0=no
vari=30.48;%เปลี่ยนหน่วย ft.=> cm.
% numnr= Number of ground acceleration points
% dt= Time Interval of the specified acceleration data

speceq=fopen('speceq.dat','w');
fprintf(speceq,'Response spectra\n');
fprintf(speceq,'%4.0f\t%4.0f\t%10.0f\t%8.5f\t%4.0f\t%4.0f\n',[iddam ipc numnr dt sf ipr]);
fprintf(speceq,'0.005 0.01 0.02 0.03 0.05 0.07 0.10 0.15 0.20\n');
fprintf(speceq,'0.006 0.009 3\n');
fprintf(speceq,'0.01 0.25 24\n');
fprintf(speceq,'0.30 1.00 14\n');
fprintf(speceq,'1.10 5.00 39\n');
fprintf(speceq,'6.00 50.00 44\n');
fprintf(speceq,'60.00 100.00 4\n');
fclose(speceq);
%%%%%%%%response spectra-VE%%%%%
acc24rdat=fopen('acc.dat','w');
for iacc24rdat=1:numnr
fprintf(acc24rdat,'%8.5e\n',acc24r(iacc24rdat));
end
fclose(acc24rdat);
eval(['!Speceq3.exe']);

finr=fopen('spectra.dat');
```

```
lnr=fgetl(finr);
lnr=fgetl(finr);
data01=fscanf(finr,'%f',[19 inf]);
fclose(finr);

data01=data01';
data01_1=data01(:,1);
data01_2=data01(:,2);
data01_3=data01(:,3);
data01_4=data01(:,4);
data01_5=data01(:,5);
data01_6=data01(:,6);
data01_7=data01(:,7);
data01_8=data01(:,8);
data01_9=data01(:,9);
data01_10=data01(:,10);

data01_2sdw = (data01_2.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_2sd = (data01_2sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_3sdw = (data01_3.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_3sd = (data01_3sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_4sdw = (data01_4.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_4sd = (data01_4sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_5sdw = (data01_5.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_5sd = (data01_5sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_6sdw = (data01_6.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_6sd = (data01_6sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_7sdw = (data01_7.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_7sd = (data01_7sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_8sdw = (data01_8.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_8sd = (data01_8sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_9sdw = (data01_9.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_9sd = (data01_9sdw.*data01_1)/(2*pi);
data01_10sdw = (data01_10.*data01_1)*9.81/(2*pi*0.3048)*vari;
data01_10sd = (data01_10sdw.*data01_1)/(2*pi);
```

```
%%%%%%%%%response spectra-VE%%%%%

fname24r=strcat(fname,'res','.txt');
resp24=fopen(fname24r,'w');

fprintf(resp24,'%s\t%s\t%s\t%s\n','PERIOD','DISPLACEMENT','PSEUDO VELOCITY','PSEUDO
ACCELERATION');
fprintf(resp24,'%s\t%s\t%s\t%s\n','(sec)','SD(cm)','SD*W(cm/s)','SD*W**2(g)');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.005\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_2sd data01_2sdw data01_2]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.01\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_3sd data01_3sdw data01_3]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.02\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_4sd data01_4sdw data01_4]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.03\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_5sd data01_5sdw data01_5]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.05\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_6sd data01_6sdw data01_6]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.07\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_7sd data01_7sdw data01_7]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.10\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_8sd data01_8sdw data01_8]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.15\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_9sd data01_9sdw data01_9]');
fprintf(resp24,'DAMPING RATIO = 0.20\n');
fprintf(resp24,'%8.4f\t%8.5e\t%8.5e\t%8.5e\n',[data01_1 data01_10sd data01_10sdw data01_10]');

fclose(resp24);
eval(['!del acc.dat']);
eval(['!del speceq.out']);
eval(['!del spectra.dat']);
eval(['!del speceq.dat']);

%plot response  spectra-VE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
mdata01_2sd=max(data01_2sd);
mdata01_2sdw=max(data01_2sdw);
mdata01_2=max(data01_2);

mndata01_2sd=min(data01_2sd);
mndata01_2sdw=min(data01_2sdw);
mndata01_2=min(data01_2);
%------prepare plot-----------------
if cbIDM(inum)==1
   IDM=' Ml';
elseif cbIDM(inum)==2
   IDM=' Mb';
elseif cbIDM(inum)==3
   IDM=' Ms';
elseif cbIDM(inum)==4
   IDM=' Mw';
elseif cbIDM(inum)==0
   IDM=' M';
end

if strcmp(chan(3),'Z')
cpms='Vertical';
end
if strcmp(chan(3),'N')
cpms='North-South';
end
if strcmp(chan(3),'E')
cpms='East-West';
end

epiNs=num2str(epiN,'%6.2f');
epiEs=num2str(epiE,'%6.2f');
cbMs=num2str(cbM(inum),'%5.1f');
epidiss=num2str(epidis,'%5.0f');
%cbdepths=num2str(cbdepth(inum),'%5.1f');
```

```
%sa=strcat('{\bf\fontname{AngsanaUPC}\fontsize{9}',staT,'}');
Fss=num2str(Fs,'%10.0f');
hps=num2str(hp,'%10.3f');
lps=num2str(lp,'%10.3f');

lapi01=strcat('(UTC): ',cbnos,'  lat= ',epiNs,'  lon= ',epiEs,IDM,'=',cbMs,'  distance= ',epidiss,'  km
epicenter=  ',lnla{inum});
lapi02=strcat('component: ',cpms,'  station: ',staEng,'(',sta,')  Fs= ',Fss,'  Hz.  HP=',hps,'  Hz.
LP=',lps,'  Hz.');
lapi03=strcat('Response spectra ','  (UTC): ',cbnos,IDM,'=',cbMs);
lapi04=strcat('epicenter=  ',lnla{inum},'  station: ',staEng,'(',sta,') ',cpms);
%lapi05=strcat(IDM,'=',cbMs,'epzone=  ',lnla{inum});
%-----------------------------------------------------------------------

figure(4);
subplotx(2,2,1,0.15,0.1,0.06,0.15,0.1,0.1);
loglog(data01_1,data01_2,'-b',data01_1,data01_3,'-.k',data01_1,data01_4,'-r',data01_1,data01_5,'-
.b',data01_1,data01_6,'-m',data01_1,data01_7,'--r',data01_1,data01_8,'-k',data01_1,data01_9,'--
b',data01_1,data01_10,'-.r');
set(gca,'FontSize',8);
xlabel('period (sec)');
ylabel('A (g)');
axis([0.006 100 mndata01_2 mdata01_2*1.10]);
ca=gca;
setxticklog(ca);
setyticklog(ca);
set(gca,'XMinorTick','on');
set(gca,'YMinorTick','on');

subplotx(2,2,2,0.15,0.1,0.06,0.15,0.1,0.1);
loglog(data01_1,data01_2sdw,'-b',data01_1,data01_3sdw,'-.k',data01_1,data01_4sdw,'-
r',data01_1,data01_5sdw,'-.b',data01_1,data01_6sdw,'-m',data01_1,data01_7sdw,'--
r',data01_1,data01_8sdw,'-k',data01_1,data01_9sdw,'--b',data01_1,data01_10sdw,'-.r');
set(gca,'FontSize',8);
xlabel('period (sec)');
```

```
ylabel('V (cm/s)');
axis([0.006 100 mndata01_2sdw mdata01_2sdw*1.10]);
ca=gca;
setxticklog(ca);
setyticklog(ca);
set(gca,'XMinorTick','on');
set(gca,'YMinorTick','on');

subplotx(2,2,3,0.15,0.1,0.06,0.15,0.1,0.1);
loglog(data01_1,data01_2sd,'-b',data01_1,data01_3sd,'-.k',data01_1,data01_4sd,'-
r',data01_1,data01_5sd,'-.b',data01_1,data01_6sd,'-m',data01_1,data01_7sd,'r--
',data01_1,data01_8sd,'-k',data01_1,data01_9sd,'--b',data01_1,data01_10sd,'-.r');
set(gca,'FontSize',8);
xlabel('period (sec)');%;lapi03;lapi04,});
ylabel('D (cm)');
axis([0.006 100 mndata01_2sd mdata01_2sd*1.10]);
ca=gca;
setxticklog(ca);
setyticklog(ca);
set(gca,'XMinorTick','on');
set(gca,'YMinorTick','on');

subplotx(2,2,4,0.15,0.1,0.06,0.15,0.1,0.1);
plot([1:4],[9 9 9 9],'-b',[1:4],[8 8 8 8],'-.k',[1:4],[7 7 7 7],'-r',[1:4],[6 6 6 6],'-.b',[1:4],[5 5 5 5],'-
m',[1:4],[4 4 4 4],'--r',[1:4],[3 3 3 3],'-k',[1:4],[2 2 2 2],'--b',[1:4],[1 1 1 1],'-.r');
text(5,1,'\color{red}20%','FontSize',8)
text(5,2,'\color{blue}15%','FontSize',8)
text(5,3,'\color{black}10%','FontSize',8)
text(5,4,'\color{red}7%','FontSize',8)
text(5,5,'\color{magenta}5%','FontSize',8)
text(5,6,'\color{blue}3%','FontSize',8)
text(5,7,'\color{red}2%','FontSize',8)
text(5,8,'\color{black}1%','FontSize',8)
text(5,9,'\color{blue}0.5%','FontSize',8)
text(3,10,'DAMPING RATIO','FontSize',8)
```

```
axis([0 11 0 11]);
%set(gca,'FontSize',8);
xlabel({'';'';lapi03;lapi04},'FontSize',8,'HorizontalAlignment','right')

set(gca,'Xtick',[]);
set(gca,'Ytick',[]);

fname24pres=strcat(fname,'res');
eval(['print -djpeg ',fname24pres]);
eval(['print -depsc ',fname24pres]);
saveas(gcf,fname24pres, 'fig');



%*****************max point of them****************
[mvel24 ptvel24]=max(abs(vel24(istadu:ienddu)));
mvel24=vel24(ptvel24+(istadu-1));
[macc24 ptacc24]=max(abs(acc24(istadu:ienddu)));
macc24=acc24(ptacc24+(istadu-1));
[mdis24 ptdis24]=max(abs(dis24(istadu:ienddu)));
mdis24=dis24(ptdis24+(istadu-1));

tvel24=(ptvel24+(istadu-1)-1)*dt;
tacc24=(ptacc24+(istadu-1)-1)*dt;
tdis24=(ptdis24+(istadu-1)-1)*dt;

datepeaksvel24=datestr(datestartn+tvel24/(24*3600),'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
datepeaksacc24=datestr(datestartn+tacc24/(24*3600),'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');
datepeaksdis24=datestr(datestartn+tdis24/(24*3600),'yyyy/mm/dd HH:MM:SS');

xmax=(ienddu-istadu+1)*dt;
accmax=max(abs(acc24(istadu:ienddu)))*1.1;
velmax=max(abs(vel24(istadu:ienddu)))*1.1;
dismax=max(abs(dis24(istadu:ienddu)))*1.1;

%************************************************
```

```
if (cbdateexcel-stadutimen)>=0 && (enddutimen-cbdateexcel)>=0
   cov='cover';
%*********plot graph***********
%*********Z Direction**********
figure(1);
subplotx(3,1,1,0.15,0.05,0.06,0.15,0,0.04);
plot(t1(1:numdu),acc24(istadu:ienddu),t1(ptacc24),macc24,'ro',ptocaldus,0,'rx');
set(gca,'FontSize',8);
ylabel({'_{\cdot\cdot}';'      u_g (g)'},'FontSize',12);
title(['Start time(UTC) =',stadutimes]);
axis([0 xmax -accmax accmax]);
text(xmax,accmax,['PGA= ',num2str(max(abs(acc24(istadu:ienddu))'),'%f'), '
g'],'FontSize',6,'HorizontalAlignment','right','VerticalAlignment','top');
set(gca,'XColor','w');
set(gca,'XTickLabel',{});
set(gca,'TickDir','out');
set(gca,'Box','off');

subplotx(3,1,2,0.15,0.05,0.06,0.15,0,0.04);
plot(t1(1:numdu),vel24(istadu:ienddu),t1(ptvel24),mvel24,'ro',ptocaldus,0,'rx');
set(gca,'FontSize',8);
ylabel({'_{\cdot}';'          u_g (cm/s)'},'FontSize',12);
axis([0 xmax -velmax velmax]);
text(xmax,velmax,['PGV= ',num2str(max(abs(vel24(istadu:ienddu))'),'%f'), '
cm/s'],'FontSize',6,'HorizontalAlignment','right','VerticalAlignment','top');
set(gca,'XColor','w');
set(gca,'XTickLabel',{});
set(gca,'TickDir','out');
set(gca,'Box','off');

subplotx(3,1,3,0.15,0.05,0.06,0.15,0,0.04);
plot(t1(1:numdu),dis24(istadu:ienddu),t1(ptdis24),mdis24,'ro',ptocaldus,0,'rx');
set(gca,'FontSize',8);
xlabel({'Time (sec)';lapi01;lapi02});
ylabel('u_g (cm)','FontSize',12);
```

```
axis([0 xmax -dismax dismax]);
text(xmax,dismax,['PGD= ',num2str(max(abs(dis24(istadu:ienddu))'),'%f'), '
cm'],'FontSize',6,'HorizontalAlignment','right','VerticalAlignment','top');
set(gca,'Box','off');
set(gca,'TickDir','out');

fname24p=fname;
eval(['print -djpeg ',fname24p]);
%eval(['print -dpdf ',fname24p]);
eval(['print -depsc ',fname24p]);
saveas(gcf,fname24p, 'fig');
%%%%%%%%%%
else
   cov='not cover';
%*********plot graph***********
%*********Z Direction**********
figure(1);
subplotx(3,1,1,0.15,0.05,0.06,0.15,0,0.04);
plot(t1(1:numdu),acc24(istadu:ienddu),t1(ptacc24),macc24,'ro');
set(gca,'FontSize',8);
ylabel({'_{\cdot\cdot}';'      u_g (g)'},'FontSize',12);
title(['Start time(UTC) =',stadutimes]);
axis([0 xmax -accmax accmax]);
text(xmax,accmax,['PGA= ',num2str(max(abs(acc24(istadu:ienddu))'),'%f'), '
g'],'FontSize',6,'HorizontalAlignment','right','VerticalAlignment','top');
set(gca,'XColor','w');
set(gca,'XTickLabel',{});
set(gca,'Box','off');
set(gca,'TickDir','out');

subplotx(3,1,2,0.15,0.05,0.06,0.15,0,0.04);
plot(t1(1:numdu),vel24(istadu:ienddu),t1(ptvel24),mvel24,'ro');
set(gca,'FontSize',8);
ylabel({'_{\cdot}';'           u_g (cm/s)'},'FontSize',12);
axis([0 xmax -velmax velmax]);
```

```
text(xmax,velmax,['PGV= ',num2str(max(abs(vel24(istadu:ienddu))'),'%f'), '
cm/s'],'FontSize',6,'HorizontalAlignment','right','VerticalAlignment','top');
set(gca,'XColor','w');
set(gca,'XTickLabel',{});
set(gca,'Box','off');
set(gca,'TickDir','out');

subplotx(3,1,3,0.15,0.05,0.06,0.15,0,0.04);
plot(t1(1:numdu),dis24(istadu:ienddu),t1(ptdis24),mdis24,'ro');
set(gca,'FontSize',8);
xlabel({'Time (sec)';lapi01;lapi02});
ylabel('u_g (cm)','FontSize',12);
axis([0 xmax -dismax dismax]);
text(xmax,dismax,['PGD= ',num2str(max(abs(dis24(istadu:ienddu))'),'%f'), '
cm'],'FontSize',6,'HorizontalAlignment','right','VerticalAlignment','top');
set(gca,'Box','off');
set(gca,'TickDir','out');

fname24p=fname;
eval(['print -djpeg ',fname24p]);
eval(['print -depsc ',fname24p]);
saveas(gcf,fname24p, 'fig');
end     %end of printout*******************

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf(tofile,'%6.0f\t%s\t%s\t%7.4f\t%7.4f\t%s\t%7.4f\t%7.4f\t%6.0f\t%5.1f\t%s\t%7.1f\t%s\t%8.5e\t%8.
5e\t%8.5e\t%s\t%s\t%5.0f\t%10.3f\t%10.3f\t%s\n'...
    ,cbno(inum),cbnosd,cbnost,epiN,epiE,sta,staN,staE,epidis,cbM(inum),IDM...
    ,cbdepth(inum),fnamen...
    ,[max(abs(dis24(istadu:ienddu))) max(abs(vel24(istadu:ienddu)))
max(abs(acc24(istadu:ienddu)))]...
    ,cov,difdus,Fs,hp,lp,stadutimes);

%************ ย้ายข้อมูลไปรวมไว้ Folder เดียวกัน********************
eval(['!move ',fname24,nafo]);
```

```
eval(['!move ',fname24p,'.jpg ',nafo]);
eval(['!move ',fname24r,nafo]);
eval(['!move ',fname24pres,'.jpg ',nafo]);
%%%%%%

end  %end of -if strcmp(chan(1),'B')|strcmp(chan(1),'C')

end  %if (cbdateexcel-datestartn)>=0 && (dateendn-cbdateexcel)>=0
end  %for inum=1:imno
end  %end of -if strcmp(fnamen(na2-2:sg2),'sg2')

end %end of -for ina=3:na1
eval(['!del Speceq3.exe']);
fclose(tofile);
toc
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้และอัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ ข.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้

ลำดับที่	เหตุการณ์ที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	จุดกำเนิด (°E)	รหัสสถานี	ระยะทาง (กม.)	M_w	ความลึก (กม.)	แหล่งข้อมูล	ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของ PGA (g)
1	1	2006/07/27	11:16:44	1.66	97.01	CMMT	1920	6.3	15	TMDnewV	0.000015
2	2	2006/07/30	01:28:16	1.02	96.91	CMMT	1992	5.6	33	TMDnewV	0.000008
3	3	2006/08/02	10:42:01	19.08	95.74	CMMT	339	4.7	21	TMDnewV	0.000014
4	4	2006/09/27	18:46:06	11.89	100.18	CMMT	781	4.7	17	TMDnewV	0.000002
5		2006/09/27	18:46:06	11.89	100.18	UBPT	685	4.7	17	TMDnewV	0.000086
6	5	2006/09/28	14:39:18	11.79	95.15	CMMT	881	4.9	17	TMDnewV	0.000001
7	6	2006/10/04	13:33:49	1.15	97.61	CMMT	1970	5.0	37	TMDnewV	0.000002
8	7	2006/10/06	04:23:09	9.43	93.17	UBPT	1486	4.9	54	TMDnewV	0.000249
9	8	2006/10/06	14:49:04	0.76	97.22	CMMT	2017	5.3	35	TMDnewV	0.000002
10	9	2006/10/07	21:12:28	11.78	100.15	CMMT	793	5.0	12	TMDnewV	0.000004
11		2006/10/07	21:12:28	11.78	100.15	UBPT	694	5.0	12	TMDnewV	0.000042
12	10	2006/10/25	05:06:06	0.93	97.12	CMMT	1999	5.2	31	TMDnewV	0.000002
13	11	2006/10/25	05:19:48	0.78	97.26	CMMT	2014	5.0	36	TMDnewV	0.000002
14	12	2006/11/03	14:43:12	21.99	93.26	CMMT	690	5.0	35	TMDnewV	0.000003
15	13	2006/11/09	15:55:48	1.03	97.19	CMMT	1987	5.2	18	TMDnewV	0.000001
16		2006/11/09	15:55:48	1.03	97.19	KHLT	1539	5.2	18	TMDnewV	0.000022
17		2006/11/09	15:55:48	1.03	97.19	SURT	900	5.2	18	TMDnewV	0.000001
18	14	2006/11/10	13:21:28	24.61	92.61	CMMT	919	4.9	32	TMDnewV	0.000001
19	15	2006/11/18	13:57:57	4.60	94.67	CHBT	1237	5.9	23	TMDnewV	0.000025
20		2006/11/18	13:57:57	4.60	94.67	CMMT	1648	5.9	23	TMDnewV	0.000003
21		2006/11/18	13:57:57	4.60	94.67	KHLT	1213	5.9	23	TMDnewV	0.000028
22		2006/11/18	13:57:57	4.60	94.67	SURT	665	5.9	23	TMDnewV	0.000034
23	16	2006/11/25	18:50:24	2.76	96.79	SURT	724	4.9	45	TMDnewV	0.000007
24	17	2006/12/01	03:58:24	3.46	99.05	CMMT	1708	6.3	208	TMDnewV	0.000014
25		2006/12/01	03:58:24	3.46	99.05	CMMT	1708	6.3	208	TMDnewA	0.000008
26		2006/12/01	03:58:24	3.46	99.05	KHLT	1262	6.3	208	TMDnewV	0.000027
27		2006/12/01	03:58:24	3.46	99.05	SURT	612	6.3	208	TMDnewV	0.000041
28	18	2006/12/06	12:06:39	4.76	96.27	CMMT	1590	5.2	22	TMDnewV	0.000002
29	19	2006/12/17	21:10:26	4.58	94.89	CMMT	1643	5.8	54	TMDnewV	0.000002
30		2006/12/17	21:10:26	4.58	94.89	KHLT	1206	5.8	54	TMDnewV	0.000010
31		2006/12/17	21:10:26	4.58	94.89	SURT	650	5.8	54	TMDnewV	0.000077
32		2006/12/17	21:10:26	4.58	94.89	SURT	650	5.8	54	TMDnewA	0.000067

ตารางที่ ข.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ (ต่อ)

ลำดับที่	เหตุการณ์ที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	จุดกำเนิด (°E)	รหัสสถานี	ระยะทาง (กม.)	M_w	ความลึก (กม.)	แหล่งข้อมูล	ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของ PGA (g)
33	20	2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	CHBT	1383	5.8	18	TMDnewV	0.000080
34		2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	CMMT	2031	5.8	18	TMDnewV	0.000004
35		2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	CMMT	2031	5.8	18	TMDnewA	0.000003
36		2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	KHLT	1588	5.8	18	TMDnewV	0.000014
37		2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	SURT	940	5.8	18	TMDnewV	0.000017
38		2006/12/17	21:39:17	0.57	99.83	SURT	940	5.8	18	TMDnewA	0.000017
39	21	2006/12/19	12:48:17	2.42	97.94	SURT	733	5.0	62	TMDnewV	0.000014
40		2006/12/19	12:48:17	2.42	97.94	SURT	733	5.0	62	TMDnewA	0.000012
41	22	2006/12/22	19:50:49	10.70	92.11	CHBT	1136	6.2	22	TMDnewV	0.000047
42		2006/12/22	19:50:49	10.70	92.11	CMMT	1164	6.2	22	TMDnewV	0.000002
43		2006/12/22	19:50:49	10.70	92.11	SURT	758	6.2	22	TMDnewV	0.000023
44		2006/12/22	19:50:49	10.70	92.11	SURT	758	6.2	22	TMDnewA	0.000023
45	23	2007/01/03	12:47:33	5.25	94.28	SURT	647	5.4	44	TMDnewV	0.000023
46		2007/01/03	12:47:33	5.25	94.28	SURT	647	5.4	44	TMDnewA	0.000022
47	24	2007/01/05	11:54:08	0.07	97.65	CMMT	2090	5.3	31	TMDnewV	0.000002
48		2007/01/05	11:54:08	0.07	97.65	SURT	997	5.3	31	TMDnewV	0.000012
49	25	2007/01/07	10:47:07	22.04	98.30	CMMT	365	4.8	20	TMDnewV	0.000053
50		2007/01/07	10:47:07	22.04	98.30	CMMT	365	4.8	20	TMDnewA	0.000051
51		2007/01/07	10:47:07	22.04	98.30	SURT	1456	4.8	20	TMDnewV	0.000012
52	26	2007/01/08	12:48:44	8.03	92.30	CHBT	1216	6.1	12	TMDnewV	0.000022
53		2007/01/08	12:48:44	8.03	92.30	CMMT	1398	6.1	12	TMDnewV	0.000004
54		2007/01/08	12:48:44	8.03	92.30	KHLT	1018	6.1	12	TMDnewV	0.000025
55		2007/01/08	12:48:44	8.03	92.30	SURT	722	6.1	12	TMDnewV	0.000011
56	27	2007/01/09	05:27:24	19.13	95.35	CMMT	380	4.9	98	TMDnewV	0.000019
57		2007/01/09	05:27:24	19.13	95.35	CMMT	380	4.9	98	TMDnewA	0.000017
58	28	2007/01/22	16:44:35	2.36	95.58	CMMT	1866	5.3	37	TMDnewV	0.000001
59		2007/01/22	16:44:35	2.36	95.58	KHLT	1422	5.3	37	TMDnewV	0.000014
60		2007/01/22	16:44:35	2.36	95.58	SURT	816	5.3	37	TMDnewV	0.000009
61	29	2007/01/25	15:18:40	1.36	97.03	CMMT	1953	5.0	40	TMDnewV	0.000005
62		2007/01/25	15:18:40	1.36	97.03	SURT	867	5.0	40	TMDnewV	0.000003
63		2007/01/25	15:18:40	1.36	97.03	UBPT	1804	5.0	40	TMDnewV	0.000166
64		2007/01/25	15:18:40	1.36	97.03	UBPT	1804	5.0	40	TMDnewA	0.000139
65	30	2007/01/29	19:48:40	8.37	93.76	CMMT	1289	5.4	77	TMDnewV	0.000001
66		2007/01/29	19:48:40	8.37	93.76	KHLT	887	5.4	77	TMDnewV	0.000011
67		2007/01/29	19:48:40	8.37	93.76	SURT	557	5.4	77	TMDnewV	0.000015
68		2007/01/29	19:48:40	8.37	93.76	SURT	557	5.4	77	TMDnewA	0.000013

ตารางที่ ข.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ (ต่อ)

ลำดับ ที่	เหตุการณ์ ที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	จุดกำเนิด (°E)	รหัส สถานี	ระยะทาง (กม.)	M_w	ความลึก (กม.)	แหล่ง ข้อมูล	ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ของ PGA (g)
69		2007/02/11	10:47:37	6.12	94.47	CHBT	1134	5.4	64	TMDnewV	0.000020
70	31	2007/02/11	10:47:37	6.12	94.47	CMMT	1493	5.4	64	TMDnewV	0.000003
71		2007/02/11	10:47:37	6.12	94.47	SURT	572	5.4	64	TMDnewV	0.000061
72		2007/02/11	10:47:37	6.12	94.47	SURT	572	5.4	64	TMDnewA	0.000055
73		2007/02/14	19:50:02	0.33	97.22	CHBT	1492	5.7	12	TMDnewV	0.000004
74		2007/02/14	19:50:02	0.33	97.22	CMMT	2064	5.7	12	TMDnewV	0.000003
75	32	2007/02/14	19:50:02	0.33	97.22	KHLT	1616	5.7	12	TMDnewV	0.000013
76		2007/02/14	19:50:02	0.33	97.22	SURT	975	5.7	12	TMDnewV	0.000006
77		2007/02/14	19:50:02	0.33	97.22	UBPT	1894	5.7	12	TMDnewV	0.000005
78		2007/02/14	20:12:00	5.04	94.23	CHBT	1236	5.2	34	TMDnewV	0.000016
79		2007/02/14	20:12:00	5.04	94.23	CHBT	1236	5.2	34	TMDnewA	0.000015
80		2007/02/14	20:12:00	5.04	94.23	SURT	666	5.2	34	TMDnewV	0.000024
81		2007/02/14	20:12:00	5.04	94.23	SURT	666	5.2	34	TMDnewA	0.000021
82	33	2007/02/14	20:46:34	0.39	97.17	CHBT	1488	5.4	12	TMDnewV	0.000003
83		2007/02/14	20:46:34	0.39	97.17	CMMT	2058	5.4	12	TMDnewV	0.000001
84		2007/02/14	20:46:34	0.39	97.17	KHLT	1610	5.4	12	TMDnewV	0.000010
85		2007/02/14	20:46:34	0.39	97.17	SURT	970	5.4	12	TMDnewV	0.000005
86		2007/02/14	20:46:34	0.39	97.17	UBPT	1890	5.4	12	TMDnewV	0.000006
87		2007/02/18	10:45:29	0.98	97.26	CMMT	1992	5.1	31	TMDnewV	0.000002
88	34	2007/02/18	10:45:29	0.98	97.26	SURT	904	5.1	31	TMDnewV	0.000024
89		2007/02/18	10:45:29	0.98	97.26	UBPT	1828	5.1	31	TMDnewV	0.000004
90	35	2007/03/01	02:01:05	3.60	96.23	CHBT	1219	5.2	43	TMDnewV	0.000023
91		2007/03/01	02:01:05	3.60	96.23	SURT	660	5.2	43	TMDnewV	0.000025
92	36	2007/03/01	05:08:23	10.42	93.23	SURT	631	5.0	89	TMDnewV	0.000017
93		2007/03/07	10:53:42	1.80	97.74	CHBT	1319	5.9	49	TMDnewV	0.000047
94	37	2007/03/07	10:53:42	1.80	97.74	CMMT	1897	5.9	49	TMDnewV	0.000003
95		2007/03/07	10:53:42	1.80	97.74	KHLT	1449	5.9	49	TMDnewV	0.000033
96		2007/03/07	10:53:42	1.80	97.74	SURT	805	5.9	49	TMDnewV	0.000034
97		2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	CHBT	1347	6.1	12	TMDnewV	0.000031
98		2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	CMMT	1830	6.1	12	TMDnewV	0.000004
99	38	2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	KHLT	1386	6.1	12	TMDnewV	0.000015
100		2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	SURT	785	6.1	12	TMDnewV	0.000010
101		2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	SURT	785	6.1	12	TMDnewA	0.000009
102		2007/04/07	09:51:54	2.72	95.47	UBPT	1776	6.1	12	TMDnewV	0.000004

ตารางที่ ข.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ (ต่อ)

ลำดับ ที่	เหตุการณ์ ที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	จุดกำเนิด (°E)	รหัส สถานี	ระยะทาง (กม.)	M_w	ความลึก (กม.)	แหล่ง ข้อมูล	ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ของ PGA (g)
103		2007/04/27	08:02:52	5.10	94.42	CHBT	1216	5.9	50	TMDnewV	0.000096
104		2007/04/27	08:02:52	5.10	94.42	CHBT	1216	5.9	50	TMDnewA	0.000093
105	39	2007/04/27	08:02:52	5.10	94.42	KHLT	1171	5.9	50	TMDnewV	0.000034
106		2007/04/27	08:02:52	5.10	94.42	SURT	646	5.9	50	TMDnewV	0.000147
107		2007/04/27	08:02:52	5.10	94.42	SURT	646	5.9	50	TMDnewA	0.000130
108		2007/04/27	08:02:52	5.10	94.42	UBPT	1655	5.9	50	TMDnewV	0.000006
109		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	CHBT	880	6.3	14	TMDnewV	0.000187
110		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	CHBT	880	6.3	14	TMDnewA	0.000188
111		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	CMMT	278	6.3	14	TMDnewV	0.001148
112		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	CMMT	278	6.3	14	TMDnewA	0.001153
113		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	KHLT	683	6.3	14	TMDnewV	0.000235
114	40	2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	KHLT	683	6.3	14	TMDnewA	0.000219
115		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	MHIT	333	6.3	14	TMDnewV	0.003432
116		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	SURT	1307	6.3	14	TMDnewV	0.000045
117		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	SURT	1307	6.3	14	TMDnewA	0.000043
118		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	UBPT	761	6.3	14	TMDnewV	0.000204
119		2007/05/16	08:56:18	20.54	100.87	UBPT	761	6.3	14	TMDnewA	0.000195
120		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	CHBT	1152	6.1	12	TMDnewV	0.000069
121		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	CMMT	523	6.1	12	TMDnewV	0.000117
122		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	CMMT	523	6.1	12	TMDnewA	0.000115
123		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	KHLT	956	6.1	12	TMDnewV	0.000062
124		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	KHLT	956	6.1	12	TMDnewA	0.000057
125	41	2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	MHIT	530	6.1	12	TMDnewV	0.000320
126		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	RNTT	1545	6.1	12	TMDnewV	0.000023
127		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	RNTT	1545	6.1	12	TMDnewA	0.000019
128		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	SURT	1587	6.1	12	TMDnewV	0.000018
129		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	SURT	1587	6.1	12	TMDnewA	0.000018
130		2007/06/02	21:35:02	23.05	101.13	UBPT	977	6.1	12	TMDnewV	0.000070
131		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	CHBT	1002	5.6	18	TMDnewV	0.000037
132		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	CMMT	318	5.6	18	TMDnewV	0.000274
133		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	CMMT	318	5.6	18	TMDnewA	0.000243
134		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	KHLT	760	5.6	18	TMDnewV	0.000090
135	42	2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	KHLT	760	5.6	18	TMDnewA	0.000083
136		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	MHIT	323	5.6	18	TMDnewV	0.000995
137		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	SURT	1400	5.6	18	TMDnewV	0.000015
138		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	SURT	1400	5.6	18	TMDnewA	0.000015
139		2007/06/23	08:17:21	21.49	100.02	UBPT	899	5.6	18	TMDnewV	0.000068

ตารางที่ ข.1 รายการแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษานี้ (ต่อ)

ลำดับ ที่	เหตุการณ์ ที่	วันที่	เวลา (GMT)	จุดกำเนิด (°N)	จุดกำเนิด (°E)	รหัส สถานี	ระยะทาง (กม.)	M_w	ความลึก (กม.)	แหล่ง ข้อมูล	ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ของ PGA (g)
140	43	2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	CHBT	1248	6.0	12	TMDnewV	0.000015
141		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	CMMT	1480	6.0	12	TMDnewV	0.000002
142		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	KHLT	1085	6.0	12	TMDnewV	0.000033
143		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	MHIT	1483	6.0	12	TMDnewV	0.000013
144		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	PKDT	650	6.0	12	TMDnewV	0.000033
145		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	RNTT	706	6.0	12	TMDnewV	0.000012
146		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	RNTT	706	6.0	12	TMDnewA	0.000010
147		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	SRDT	1088	6.0	12	TMDnewV	0.000014
148		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	SRDT	1088	6.0	12	TMDnewA	0.000005
149		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	SURT	724	6.0	12	TMDnewV	0.000009
150		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	SURT	724	6.0	12	TMDnewA	0.000009
151		2007/07/25	23:37:35	7.08	92.50	UBPT	1682	6.0	12	TMDnewV	0.000005
152	44	2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	CHBT	993	5.6	12	TMDnewV	0.000035
153		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	CMMT	335	5.6	12	TMDnewV	0.000187
154		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	CMMT	335	5.6	12	TMDnewA	0.000185
155		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	KHLT	563	5.6	12	TMDnewV	0.000065
156		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	KHLT	563	5.6	12	TMDnewA	0.000065
157		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	MHIT	231	5.6	12	TMDnewV	0.002316
158		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	RNTT	1117	5.6	12	TMDnewV	0.000011
159		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	SRDT	632	5.6	12	TMDnewV	0.000047
160		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	SRDT	632	5.6	12	TMDnewA	0.000047
161		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	SURT	1173	5.6	12	TMDnewV	0.000011
162		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	SURT	1173	5.6	12	TMDnewA	0.000011
163		2007/07/30	22:42:07	19.09	95.78	UBPT	1113	5.6	12	TMDnewV	0.000048

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2อัตราการขยายตัวของคลื่นแผ่นดินไหวที่ค่าความเร่งสูงสุดบนหินโผล่ (PRA) ขนาดต่างๆ โดยใช้ข้อมูลดินจากค่าการประมาณที่ดีที่สุด (best-estimate)

PRA (g)	PGA (g)	PGA (g)	ค่าอัตราการขยายตัว	
	ground surface	*bedrock*	*(ground surface/bedrock)*	*(ground surface/outcrop)*
0.002				
Chiang Mai-2007/05/16	0.004	0.002	2.4	2.0
Chiang Mai-2007/06/23	0.005	0.002	2.7	2.7
Chiang Mai-2007/07/30	0.009	0.002	4.9	4.6
Cliffhouse-1989/10/17	0.008	0.001	7.0	3.9
Diamond Heights-1989/10/17	0.007	0.001	4.8	3.5
Pasadena-1952/07/21	0.013	0.002	8.0	6.4
Average	**0.008**	**0.002**	**5.0**	**3.8**
0.020				
Chiang Mai-2007/05/16	0.043	0.017	2.6	2.1
Chiang Mai-2007/06/23	0.048	0.017	2.8	2.4
Chiang Mai-2007/07/30	0.075	0.019	4.0	3.8
Cliffhouse-1989/10/17	0.071	0.012	5.8	3.5
Diamond Heights-1989/10/17	0.067	0.014	4.9	3.4
Pasadena-1952/07/21	0.119	0.014	8.6	5.9
Average	**0.071**	**0.015**	**4.8**	**3.5**
0.030				
Chiang Mai-2007/05/16	0.066	0.025	2.6	2.2
Chiang Mai-2007/06/23	0.072	0.024	3.0	2.4
Chiang Mai-2007/07/30	0.110	0.028	3.9	3.7
Cliffhouse-1989/10/17	0.101	0.019	5.3	3.4
Diamond Heights-1989/10/17	0.101	0.020	5.1	3.4
Pasadena-1952/07/21	0.163	0.020	8.1	5.4
Average	**0.102**	**0.023**	**4.7**	**3.4**
0.050				
Chiang Mai-2007/05/16	0.109	0.041	2.7	2.2
Chiang Mai-2007/06/23	0.116	0.039	3.0	2.3
Chiang Mai-2007/07/30	0.185	0.045	4.1	3.7
Cliffhouse-1989/10/17	0.175	0.032	5.5	3.5
Diamond Heights-1989/10/17	0.164	0.031	5.3	3.3
Pasadena-1952/07/21	0.223	0.033	6.8	4.5
Average	**0.162**	**0.037**	**4.5**	**3.2**
0.070				
Chiang Mai-2007/05/16	0.148	0.055	2.7	2.1
Chiang Mai-2007/06/23	0.154	0.054	2.9	2.2
Chiang Mai-2007/07/30	0.247	0.062	4.0	3.5
Cliffhouse-1989/10/17	0.252	0.044	5.7	3.6
Diamond Heights-1989/10/17	0.222	0.042	5.3	3.2
Pasadena-1952/07/21	0.278	0.050	5.6	4.0
Average	**0.217**	**0.051**	**4.4**	**3.1**
0.100				
Chiang Mai-2007/05/16	0.206	0.075	2.7	2.1
Chiang Mai-2007/06/23	0.200	0.075	2.7	2.0
Chiang Mai-2007/07/30	0.320	0.084	3.8	3.2
Cliffhouse-1989/10/17	0.364	0.064	5.7	3.6
Diamond Heights-1989/10/17	0.297	0.060	4.9	3.0
Pasadena-1952/07/21	0.344	0.077	4.5	3.4
Average	**0.288**	**0.073**	**4.0**	**2.9**

ภาคผนวก ค

การจำแนกลักษณะของดิน

ในการจำแนกลักษณะของดินในการศึกษานี้แยกตามเกณฑ์ของ NEHRP ดังตารางที่ ค.1 ซึ่งแบ่งประเภทของดินตามความเร็วคลื่นเฉือน

ตารางที่ ค.1 การแยกประเภทของดินตามเกณฑ์ของ NEHRP

ประเภท	ชนิดของดิน	ความเร็วคลื่นเฉือน (เมตร/วินาที)
A	หินแข็ง	$\bar{V}_{s,30} > 1500$
B	หิน	$760 < \bar{V}_{s,30} \leq 1500$
C	ดินแน่นมากและหินผุ	$360 < \bar{V}_{s,30} \leq 760$
D	ดินแข็ง	$180 < \bar{V}_{s,30} \leq 360$
E	ดินอ่อน	$\bar{V}_{s,30} < 180$

ในการศึกษานี้ประเภท A, B และ C ถือเป็นหิน สำหรับประเภท D และ E ถือเป็นดิน ความเร็วคลื่นเฉือน (V_s) ถ้าชั้นนั้นเป็นทราย ให้คำนวณจาก 3 สมการข้างล่างนี้ แล้วนำมาเฉลี่ยกัน

1. Dickenson (1994): $V_s = 88.392(N+1)^{0.3}$ (ค.1)
2. Seed, Idriss and Arango (1983) $V_s = 56.388N^{0.5}$ (ค.2)
3. Sykora and Stokoe (1983) $V_s = 100.584N^{0.29}$ (ค.3)

ถ้าชั้นนั้นเป็นทราย ให้คำนวณจาก 3 สมการข้างล่างนี้ แล้วนำมาเฉลี่ยกัน

4. Imai and Tonouchi (1982) $V_s = 96.926N^{0.341}$ (ค.4)
5. Ohsaki and Iwasaki (1973) $V_s = 81.686N^{0.39}$ (ค.5)
6. Ohta and Goto (1978) $V_s = 85.344N^{0.341}$ (ค.6)

ความเร็วคลื่นเฉือนสำหรับความลึก 30 เมตรแรกของดิน ($\overline{V}_{s,30}$) หาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\overline{V}_{s,30} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}} \qquad (ค.7)$$

โดยที่ n = จำนวนของชั้นดินที่แบ่งใน 30 เมตรแรกของดิน

d_i = ความหนาของดินที่ชั้นที่ i ใน 30 เมตรแรกของดิน

V_{si} = ความเร็วคลื่นเฉือนที่ชั้นที่ i

สถานีสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 ของกรมอุตุนิยมวิทยา ทั้ง 15 สถานี มีลักษณะดินที่ตั้งสถานีเป็นหินอยู่ 6 สถานี และมีลักษณะดินที่ตั้งสถานีเป็นดินอยู่ 9 สถานี ลักษณะของดินที่แบ่งตามเกณฑ์ของ NEHRP ความเร็วคลื่นเฉือน และลักษณะดินที่ตั้งของสถานี

ข้อมูลหลุมดินเจาะได้จากกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยสามารถดาว์นโหลดข้อมูลหลุมดินเจาะได้ใกล้เคียงมากที่สุดระดับอำเภอจาก www.dpt.go.th/soil/index.html รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวที่ติดตั้งใหม่ปี 2549 ของกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงดังตารางที่ ค.2 ถึง ค.14 ซึ่งในแต่ละตารางจะบอกถึง ลักษณะดิน ความลึกของดิน จุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุด ความหนาของชั้นนั้นๆ (d) SPT N-value ค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่คำนวณได้จากสมการที่ ค.1 ถึง ค.6 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นนั้นๆ และค่าความหนาส่วนด้วยความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นนั้นๆ

ตัวอย่างการหาค่า $\overline{V}_{s,30}$ ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเพชรบูรณ์ (PBKT) จากตารางที่ ค.2 จะได้

$\sum_{i=1}^{n} d_i$ = 30 เมตร, $\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}$ = 0.122663 วินาที

$$\overline{V}_{s,30} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}} = 30/0.122663 = 245 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

ตารางที่ ค.2 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเพชรบูรณ์ (PBKT)

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
	1.00	1.45	0.45	20				248	263	237	249	0.001805
	1.45	2.00	0.55								267	0.002063
	2.00	2.45	0.45	29				279	304	269	284	0.001585
	2.45	3.00	0.55								282	0.001949
	3.00	3.45	0.45	28				276	300	266	280	0.001604
	3.45	4.50	1.05								275	0.003818
ดิน	4.50	4.95	0.45	25				266	287	256	270	0.001669
เหนียว	4.95	6.00	1.05								278	0.003771
	6.00	6.45	0.45	30				282	308	272	287	0.001566
	6.45	7.50	1.05								268	0.003913
	7.50	7.95	0.45	20				248	263	237	249	0.001805
	7.95	9.00	1.05								226	0.004639
	9.00	9.45	0.45	13	195	203	212				203	0.002213
ทราย	9.45	10.50	1.05								232	0.004520
ละเอียด	10.50	10.95	0.45	26	238	288	259				261	0.001722
	10.95	12.00	1.05								217	0.004836
	12.00	12.45	0.45	7				179	174	166	173	0.002602
ดิน	12.45	13.50	1.05								163	0.006427
เหนียว	13.50	13.95	0.45	5				161	153	148	154	0.002926
	13.95	15.00	1.05								163	0.006457
ทราย	15.00	15.45	0.45	8	171	159	184				171	0.002625
ละเอียด	15.45	16.50	1.05								157	0.006694
	16.50	16.95	0.45	4				150	140	137	142	0.003162
	16.95	18.00	1.05								206	0.005098
	18.00	18.45	0.45	25				266	287	256	270	0.001669
ดิน	18.45	19.50	1.05								255	0.004118
เหนียว	19.50	19.95	0.45	18				240	252	229	240	0.001872
	19.95	21.00	1.05								278	0.003782
	21.00	21.45	0.45	39				306	341	298	315	0.001429
	21.45	31.00	9.55								315	0.030323
		รวม	30								รวม	0.122663

$\overline{V}_{s,30}$ = 245 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างเขื่อนกันดินริมคลองศาลาและริมแม่น้ำป่าสัก อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 245 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3ก รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดจันทบุรี (CHBT) หลุมดินเจาะที่ 1

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ดินเหนียวแข็ง	1.00	1.45	0.45	42				313	351	305	323	0.001392
	1.45	2.00	0.55								351	0.001567
	2.00	2.45	0.45	66				361	419	356	379	0.001188
	2.45	3.00	0.55								351	0.001567
	3.00	3.45	0.45	42				313	351	305	323	0.001392
	3.45	4.50	1.05								263	0.003988
ทรายแน่น	4.50	4.95	0.45	13	195	203	212				203	0.002213
	4.95	6.00	1.05								264	0.003972
	6.00	6.45	0.45	47	282	387	307				325	0.001383
	6.45	7.50	1.05								395	0.002659
	7.50	7.95	0.45	120	373	618	403				464	0.000969
	7.95	9.00	1.05								546	0.001923
	9.00	9.45	0.45	260	469	909	505				628	0.000717
	9.45	31.00	21.55								628	0.034334
		Σ	30								Σ	0.059264

$\overline{V}_{s,30}$ = 506 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.3ข รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดจันทบุรี (CHBT) หลุมดินเจาะที่ 2

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ดินเหนียวแข็ง	1.00	1.45	0.45	9				193	192	181	189	0.002384
	1.45	2.00	0.55								192	0.002861
	2.00	2.45	0.45	10				200	201	187	196	0.002298
	2.45	3.00	0.55								229	0.002404
	3.00	3.45	0.45	23				259	277	249	262	0.001719
	3.45	4.50	1.05								313	0.003359
ทรายแน่น	4.50	4.95	0.45	63	308	448	334				363	0.001239
	4.95	6.00	1.05								505	0.002080
	6.00	6.45	0.45	280	480	944	515				646	0.000696
	6.45	7.50	1.05								595	0.001765
	7.50	7.95	0.45	180	420	757	453				543	0.000828
	7.95	31.00	23.05								543	0.042411
		Σ	30								Σ	0.064045

$\overline{V}_{s,30}$ = 468 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างอาคารสำนักงานอัยการจังหวัดจันทบุรี อ.เมือง จ.จันทบุรี เนื่องจากมีหลุมดินเจาะ 2 หลุม จึงทำการเฉลี่ยค่า $\overline{V}_{s,30}$ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้ $\overline{V}_{s,30}$ = (506+468)/2 = 487 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นหิน

ตารางที่ ค.4 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดอุบลราชธานี (UBPT)

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ดินเหนียวละเอียด	1.00	1.45	0.45	22				256	273	245	258	0.001746
	1.45	1.50	0.05								262	0.000191
	1.50	1.95	0.45	24				263	282	252	266	0.001693
	1.95	2.00	0.05								278	0.000180
	2.00	2.45	0.45	31				285	312	275	291	0.001548
	2.45	3.00	0.55								282	0.001951
ดินเหนียว	3.00	3.45	0.45	26				270	291	259	273	0.001647
	3.45	4.50	1.05								273	0.003842
	4.50	4.95	0.45	26				270	291	259	273	0.001647
	4.95	6.00	1.05								265	0.003956
ทรายละเอียดมาก	6.00	6.45	0.45	25	235	282	256				258	0.001747
	6.45	7.50	1.05								225	0.004675
	7.50	7.95	0.45	11	186	187	202				192	0.002348
	7.95	9.00	1.05								188	0.005571
ทรายละเอียด	9.00	9.45	0.45	10	181	178	196				185	0.002428
	9.45	10.50	1.05								202	0.005194
	10.50	10.95	0.45	16	207	226	225				219	0.002054
	10.95	12.00	1.05								208	0.005040
	12.00	12.45	0.45	12	191	195	207				198	0.002277
	12.45	13.50	1.05								222	0.004736
	13.50	13.95	0.45	22	226	264	247				246	0.001831
	13.95	15.00	1.05								246	0.004272
	15.00	15.45	0.45	22	226	264	247				246	0.001831
	15.45	16.50	1.05								230	0.004567
ดินเหนียวละเอียด	16.50	16.95	0.45	15	203	218	221				214	0.002103
	16.95	18.00	1.05								198	0.005314
	18.00	18.45	0.45	8				186	184	173	181	0.002484
	18.45	19.50	1.05								227	0.004621
	19.50	19.95	0.45	26				270	291	259	273	0.001647
	19.95	21.00	1.05								241	0.004357
	21.00	21.45	0.45	12				211	215	199	209	0.002157
	21.45	22.50	1.05								516	0.002036
	22.50	22.53	0.03	600				722	990	756	823	0.000036
	22.53	31.00	8.47								823	0.010294
		Σ	30								Σ	0.102019

$\overline{V}_{s,30}$ = 294 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการเพื่อการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำโขง บริเวณบ้านด่านเก่า อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 294 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

ตารางที่ ค.5 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดระนอง (RNTT)

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทราย	1.00	1.45	0.45	24				263	282	252	266	0.001693
	1.45	2.00	0.55								312	0.001765
ทรายแน่น	2.00	2.45	0.45	56				343	393	337	357	0.001259
	2.45	3.00	0.55								391	0.001405
	3.00	3.45	0.45	92				401	476	399	425	0.001058
	3.45	31.00	27.55								425	0.064760
		Σ	30								Σ	0.071940

$\overline{V}_{s,30}$ = 417 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างอนุสาวรีย์จำลองเจ้าแม่กวนอิม เกาะสะระณีย์ อ.เมือง จ.ระนอง มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 417 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นหิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดภูเก็ต (PKDT)

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายละเอียด	0.50	0.95	0.45	1	109	56	101				89	0.005079
	0.95	1.00	0.05								89	0.000564
	1.00	1.45	0.45	1	109	56	101				89	0.005079
	1.45	1.50	0.05								89	0.000564
	1.50	1.95	0.45	1	109	56	101				89	0.005079
	1.95	2.00	0.05								89	0.000564
	2.00	2.45	0.45	1	109	56	101				89	0.005079
	2.45	2.50	0.05								89	0.000564
	2.50	2.95	0.45	1	109	56	101				89	0.005079
	2.95	3.00	0.05								112	0.000446
	3.00	3.45	0.45	4	143	113	150				135	0.003322
	3.45	4.50	1.05								141	0.007463
	4.50	4.95	0.45	5	151	126	160				146	0.003084
	4.95	6.00	1.05								146	0.007195
	6.00	6.45	0.45	5	151	126	160				146	0.003084
	6.45	7.50	1.05								146	0.007195
	7.50	7.95	0.45	5	151	126	160				146	0.003084
	7.95	9.00	1.05								146	0.007195
	9.00	9.45	0.45	5	151	126	160				146	0.003084
	9.45	10.50	1.05								187	0.005608
ทรายละเอียดปานกลาง	10.50	10.95	0.45	18	214	239	233				229	0.001969
	10.95	12.00	1.05								213	0.004928
	12.00	12.45	0.45	12	191	195	207				198	0.002277
	12.45	13.50	1.05								215	0.004876
	13.50	13.95	0.45	19	217	246	236				233	0.001931
	13.95	15.00	1.05								289	0.003632
ทรายละเอียดมาก	15.00	15.45	0.45	55	296	418	322				345	0.001304
	15.45	16.50	1.05								360	0.002920
	16.50	16.95	0.45	68	315	465	342				374	0.001203
	16.95	30.50	13.55								374	0.036238
		Σ	30								Σ	0.139689

$\overline{V}_{s,30}$ = 215 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างระบบระบายน้ำและบำบัดน้ำเสียหาดป่าตอง อ.กะทู้ จ.ภูเก็ต มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 215 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7ก รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี (KHLT) หลุมดินเจาะที่ 1

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายหยาบ	1.50	1.95	0.45	50	288	399	313				333	0.001351
	1.95	3.00	1.05								268	0.003915
	3.00	3.45	0.45	13	195	203	212				203	0.002213
	3.45	4.50	1.05								203	0.005164
	4.50	4.95	0.45	13	195	203	212				203	0.002213
	4.95	6.00	1.05								217	0.004839
ดินเหนียว	6.00	6.45	0.45	16				231	241	220	231	0.001951
	6.45	7.50	1.05								217	0.004849
	7.50	7.95	0.45	11				206	208	193	202	0.002223
	7.95	9.00	1.05								221	0.004743
	9.00	9.45	0.45	18				240	252	229	240	0.001872
	9.45	10.50	1.05								320	0.003281
ทราย	10.50	10.95	0.45	81	332	507	360				400	0.001126
	10.95	12.00	1.05								407	0.002580
	12.00	12.45	0.45	89	341	532	370				414	0.001086
	12.45	13.50	1.05								431	0.002437
	13.50	13.95	0.45	109	362	589	392				448	0.001005
	13.95	31.50	17.55								448	0.039206
		Σ	30								Σ	0.086056

$\overline{V}_{s,30}$ = 349 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.7ข รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี (KHLT) หลุมดินเจาะที่ 2

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายแน่น	1.50	1.95	0.45	65	311	455	337				368	0.001224
	1.95	3.00	1.05								392	0.002680
	3.00	3.45	0.45	90	342	535	371				416	0.001082
	3.45	31.50	28.05								416	0.067432
		Σ	30								Σ	0.072418

$\overline{V}_{s,30}$ = 414 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.7ค รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี (KHLT) หลุมดินเจาะที่ 3

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ดินเหนียว	1.50	1.95	0.45	11				206	208	193	202	0.002223
	1.95	3.00	1.05								219	0.004794
	3.00	3.45	0.45	17				236	247	224	236	0.001910
	3.45	4.50	1.05								320	0.003278
	4.50	4.95	0.45	80				384	451	380	405	0.001111
	4.95	6.00	1.05								414	0.002539
	6.00	6.45	0.45	90				398	472	396	422	0.001066
	6.45	7.50	1.05								426	0.002464
	7.50	7.95	0.45	95				405	482	403	430	0.001046
	7.95	31.50	23.55								430	0.054738
		Σ	30								Σ	0.075168

$\overline{V}_{s,30}$ = 399 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโรงพยาบาล อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี เนื่องจากมีหลุมดินเจาะ 3 หลุม จึงทำการเฉลี่ยค่า $\overline{V}_{s,30}$ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้ $\overline{V}_{s,30}$ = (349+414+399)/3 = 387 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นหิน

ข้อมูลหลุมดินเจาะจากโรงพยาบาล อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี มีตำแหน่งของหลุมดินเจาะใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี (KHLT) แล้วยังมีตำแหน่งของหลุมดินเจาะใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี (SRDT) โดยอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลหลุมดินเจาะของกรมโยธาธิการและผังเมือง จึงใช้ค่า $\overline{V}_{s,30}$ ของสถานี KHLT ให้เท่ากับค่า $\overline{V}_{s,30}$ ของสถานี SRDT คือมีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 387 เมตรต่อวินาที และจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นหิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8ก รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHIT) หลุมดินเจาะที่ 1

ลักษณะ ดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายแน่น	1.00	1.45	0.45	56	297	422	323				347	0.001295
	1.45	2.00	0.55								389	0.001415
	2.00	2.45	0.45	98	351	558	380				430	0.001047
	2.45	3.00	0.55								427	0.001287
	3.00	3.45	0.45	95	348	550	377				425	0.001060
	3.45	31.00	27.55								425	0.064876
		Σ	30								Σ	0.070980

$\overline{V}_{s,30}$ = 423 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.8ข รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHIT) หลุมดินเจาะที่ 2

ลักษณะ ดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายแน่น	1.00	1.45	0.45	66	312	458	339				370	0.001217
	1.45	2.00	0.55								361	0.001524
	2.00	2.45	0.45	58	300	429	327				352	0.001278
	2.45	3.00	0.55								360	0.001528
	3.00	3.45	0.45	65	311	455	337				368	0.001224
	3.45	31.00	27.55								368	0.074948
		Σ	30								Σ	0.081719

$\overline{V}_{s,30}$ = 367 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.8ค รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHIT) หลุมดินเจาะที่ 3

ลักษณะ ดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายแน่น	1.00	1.45	0.45	52	291	407	316				338	0.001332
	1.45	2.00	0.55								353	0.001559
	2.00	2.45	0.45	65	311	455	337				368	0.001224
	2.45	31.00	28.55								368	0.077668
		Σ	30								Σ	0.081783

$\overline{V}_{s,30}$ = 367 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.8ง รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHIT) หลุมดินเจาะที่ 4

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทรายแน่น	1.00	1.45	0.45	38	265	348	289				301	0.001497
	1.45	2.00	0.55								323	0.001704
	2.00	2.45	0.45	55	296	418	322				345	0.001304
	2.45	31.00	28.55								345	0.082719
		Σ	30								Σ	0.087223

$\overline{V}_{s,30}$ = 344 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.8จ รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHIT) หลุมดินเจาะที่ 5

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทรายแน่น	1.00	1.45	0.45	45	279	378	303				320	0.001406
	1.45	2.00	0.55								328	0.001678
	2.00	2.45	0.45	51	289	403	315				335	0.001341
	2.45	3.00	0.55								373	0.001474
	3.00	3.45	0.45	87	339	526	367				411	0.001096
	3.45	31.00	27.55								411	0.067093
		Σ	30								Σ	0.074087

$\overline{V}_{s,30}$ = 405 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.8ฉ รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHIT) หลุมดินเจาะที่ 6

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทรายแน่น	1.00	1.45	0.45	35	259	334	282				292	0.001543
	1.45	2.00	0.55								323	0.001703
	2.00	2.45	0.45	59	302	433	328				354	0.001270
	2.45	31.00	28.55								354	0.080561
		Σ	30								Σ	0.085077

$\overline{V}_{s,30}$ = 353 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการถนนผังเมืองรวมแม่ฮ่องสอน สาย ค.1 และ ข.2 อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน เนื่องจากมีหลุมดินเจาะ 6 หลุม จึงทำการเฉลี่ยค่า $\overline{V}_{s,30}$ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้ $\overline{V}_{s,30}$ = (423+367+367+344+405+353)/6 = 377 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นหิน

ตารางที่ ค.9ก รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนลำพระเพลิง จังหวัดนครราชสีมา (KRDT) หลุมดินเจาะที่ 1

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
	0.50	0.95	0.45	16				231	241	220	231	0.001951
	0.95	1.00	0.05								259	0.000193
	1.00	1.45	0.45	30				282	308	272	287	0.001566
	1.45	1.50	0.05								300	0.000167
	1.50	1.95	0.45	38				304	337	295	312	0.001442
	1.95	2.00	0.05								306	0.000163
ดิน	2.00	2.45	0.45	34				293	323	284	300	0.001499
เหนียว	2.45	3.00	0.55								318	0.001729
	3.00	3.45	0.45	47				325	367	317	336	0.001339
	3.45	4.50	1.05								324	0.003239
	4.50	4.95	0.45	38				304	337	295	312	0.001442
	4.95	6.00	1.05								311	0.003380
	6.00	6.45	0.45	37				301	334	292	309	0.001455
	6.45	30.50	24.05								309	0.077784
		Σ	30								Σ	0.097349

$\overline{V}_{s,30}$ = 308 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.9ข รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนลำพระเพลิง จังหวัดนครราชสีมา (KRDT) หลุมดินเจาะที่ 2

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
	0.50	0.95	0.45	18				240	252	229	240	0.001872
	0.95	1.00	0.05								262	0.000191
	1.00	1.45	0.45	29				279	304	269	284	0.001585
	1.45	1.50	0.05								289	0.000173
	1.50	1.95	0.45	32				288	316	278	294	0.001531
	1.95	2.00	0.05								291	0.000172
ดิน	2.00	2.45	0.45	30				282	308	272	287	0.001566
เหนียว	2.45	3.00	0.55								307	0.001794
	3.00	3.45	0.45	43				316	354	308	326	0.001381
	3.45	4.50	1.05								356	0.002948
	4.50	4.95	0.45	70				368	428	363	387	0.001164
	4.95	6.00	1.05								396	0.002653
	6.00	6.45	0.45	80				384	451	380	405	0.001111
	6.45	30.50	24.05								405	0.059373
		Σ	30								Σ	0.077514

$\overline{V}_{s,30}$ = 387 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างและปรับปรุงสิ่งก่อสร้างของอุทยานเขาใหญ่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เนื่องจากมีหลุมดินเจาะ 2 หลุม จึงทำการเฉลี่ยค่า $\overline{V}_{s,30}$ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้ $\overline{V}_{s,30}$ = (308+387)/2 = 348 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

ตารางที่ ค.10ก รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดสงขลา (SKLT) หลุมดินเจาะที่ 1

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทราย หยาบ	1.50	1.95	0.45	11	186	187	202				192	0.002348
	1.95	3.00	1.05								230	0.004564
	3.00	3.45	0.45	28	243	298	264				268	0.001676
	3.45	4.50	1.05								261	0.004021
	4.50	4.95	0.45	24	232	276	253				254	0.001773
	4.95	6.00	1.05								265	0.003969
	6.00	6.45	0.45	30	248	309	270				275	0.001634
	6.45	7.50	1.05								230	0.004558
ทราย ละเอียด	7.50	7.95	0.45	10	181	178	196				185	0.002428
	7.95	9.00	1.05								218	0.004826
	9.00	9.45	0.45	23	229	270	250				250	0.001801
	9.45	10.50	1.05								333	0.003154
	10.50	10.95	0.45	90	342	535	371				416	0.001082
	10.95	12.00	1.05								397	0.002645
	12.00	12.45	0.45	70	318	472	345				378	0.001190
	12.45	31.50	19.05								378	0.050391
		Σ	30								Σ	0.092061

$\overline{V}_{s,30}$ = 326 เมตรต่อวินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.10ข รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดสงขลา (SKLT) หลุมดินเจาะที่ 2

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทรายหยาบ	1.50	1.95	0.45	16	207	226	225				219	0.002054
	1.95	3.00	1.05								242	0.004339
	3.00	3.45	0.45	27	240	293	262				265	0.001699
	3.45	4.50	1.05								259	0.004049
	4.50	4.95	0.45	24	232	276	253				254	0.001773
	4.95	6.00	1.05								226	0.004652
	6.00	6.45	0.45	12	191	195	207				198	0.002277
	6.45	7.50	1.05								273	0.003852
ทรายละเอียด	7.50	7.95	0.45	56	297	422	323				347	0.001295
	7.95	9.00	1.05								359	0.002928
	9.00	9.45	0.45	66	312	458	339				370	0.001217
	9.45	10.50	1.05								381	0.002757
	10.50	10.95	0.45	77	327	495	354				392	0.001148
	10.95	31.50	20.55								392	0.052427
		Σ	30								Σ	0.086468

$\overline{V}_{s,30}$ = 347 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.10ค รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดสงขลา (SKLT) หลุมดินเจาะที่ 3

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทรายหยาบ	1.50	1.95	0.45	11	186	187	202				192	0.002348
	1.95	3.00	1.05								230	0.004564
	3.00	3.45	0.45	28	243	298	264				268	0.001676
	3.45	4.50	1.05								277	0.003792
	4.50	4.95	0.45	33	255	324	277				285	0.001577
	4.95	6.00	1.05								257	0.004087
ทรายละเอียด	6.00	6.45	0.45	18	214	239	233				229	0.001969
	6.45	7.50	1.05								219	0.004802
	7.50	7.95	0.45	14	199	211	216				209	0.002155
	7.95	9.00	1.05								267	0.003931
	9.00	9.45	0.45	47	282	387	307				325	0.001383
	9.45	10.50	1.05								332	0.003166
	10.50	10.95	0.45	52	291	407	316				338	0.001332
	10.95	12.00	1.05								328	0.003204
	12.00	12.45	0.45	44	277	374	301				317	0.001418
	12.45	15.00	2.55								375	0.006795
very dense sand	15.00	15.45	0.45	100	353	564	382				433	0.001039
	15.45	31.50	16.05								433	0.037060
		Σ	30								Σ	0.086299

$\overline{V}_{s,30}$ = 348 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากบริเวณอาคารศาล อ.เมือง จ.สงขลา เนื่องจากมีหลุมดินเจาะ 3 หลุม จึงทำการเฉลี่ยค่า $\overline{V}_{s,30}$ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้ $\overline{V}_{s,30}$ = (326+347+348)/3 = 340 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

ตารางที่ ค.11 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (SURT)

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ดินเหนียวละเอียด	1.00	1.45	0.45	22				256	273	245	258	0.001746
	1.45	2.00	0.55								274	0.002006
	2.00	2.45	0.45	31				285	312	275	291	0.001548
	2.45	3.00	0.55								250	0.002203
ทรายละเดียด	3.00	3.45	0.45	14	199	211	216				209	0.002155
	3.45	4.50	1.05								211	0.004967
	4.50	4.95	0.45	15	203	218	221				214	0.002103
	4.95	6.00	1.05								217	0.004849
	6.00	6.45	0.45	16	207	226	225				219	0.002054
	6.45	7.50	1.05								228	0.004601
	7.50	7.95	0.45	20	220	252	240				237	0.001895
	7.95	9.00	1.05								223	0.004706
	9.00	9.45	0.45	14	199	211	216				209	0.002155
	9.45	10.50	1.05								242	0.004337
	10.50	10.95	0.45	30	248	309	270				275	0.001634
	10.95	12.00	1.05								326	0.003224
	12.00	12.45	0.45	69	316	468	343				376	0.001197
	12.45	13.50	1.05								324	0.003241
	13.50	13.95	0.45	29	245	304	267				272	0.001655
	13.95	15.00	1.05								274	0.003836
	15.00	15.95	0.95	30	248	309	270				275	0.003450
	15.95	18.00	2.05								326	0.006288
ดินเหนียวแข็ง	18.00	18.45	0.45	65				359	416	354	377	0.001195
	18.45	21.00	2.55								329	0.007761
	21.00	21.45	0.45	28				276	300	266	280	0.001604
	21.45	24.00	2.55								322	0.007913
	24.00	24.45	0.45	59				349	401	343	364	0.001236
	24.45	31.00	6.55								364	0.017991
		Σ	30								Σ	0.103549

$\overline{V}_{s,30}$ = 290 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างอาคารกองร้อยและอาคารหอพัก โรงเรียนตำรวจภูธร 8 อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 290 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

ตารางที่ ค.12 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนน้ำพุง จังหวัดสกลนคร (SKNT)

ลักษณะดิน	ความลึก (m)			SPT N-value	ทราย			ดินเหนียว			V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d		1	2	3	4	5	6		
ทรายละเอียด	1.00	1.45	0.45	6	158	138	169				155	0.002899
	1.45	2.00	0.55								151	0.003652
	2.00	2.45	0.45	5	151	126	160				146	0.003084
	2.45	3.00	0.55								141	0.003909
	3.00	3.45	0.45	4	143	113	150				135	0.003322
	3.45	4.50	1.05								164	0.006420
	4.50	4.95	0.45	11	186	187	202				192	0.002348
	4.95	6.00	1.05								188	0.005571
	6.00	6.45	0.45	10	181	178	196				185	0.002428
	6.45	7.50	1.05								197	0.005329
	7.50	7.95	0.45	14	199	211	216				209	0.002155
	7.95	9.00	1.05								214	0.004908
	9.00	9.45	0.45	16	207	226	225				219	0.002054
	9.45	10.50	1.05								219	0.004794
	10.50	10.95	0.45	16	207	226	225				219	0.002054
	10.95	12.00	1.05								267	0.003933
ดินเหนียว	12.00	12.45	0.45	39				306	341	298	315	0.001429
	12.45	13.50	1.05								318	0.003305
	13.50	13.95	0.45	41				311	348	303	320	0.001404
	13.95	31.00	17.05								320	0.053198
		Σ	30								Σ	0.118197

$\overline{V}_{s,30}$ = 254 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างอัยการจังหวัดสกลนคร อ.เมือง จ.สกลนคร มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 254 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.13 รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (MHMT)

ลักษณะดิน	ความลึก (m) เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	SPT N-value	ทราย 1	2	3	ดินเหนียว 4	5	6	V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
ทราย	1.50	1.95	0.45	25	235	282	256				258	0.001747
	1.95	3.00	1.05								214	0.004896
	3.00	3.45	0.45	8	171	159	184				171	0.002625
	3.45	4.50	1.05								250	0.004205
	4.50	4.95	0.45	48	284	391	309				328	0.001372
	4.95	6.00	1.05								300	0.003500
	6.00	6.45	0.45	29	245	304	267				272	0.001655
	6.45	7.50	1.05								302	0.003471
	7.50	7.95	0.45	50	288	399	313				333	0.001351
	7.95	9.00	1.05								345	0.003045
	9.00	9.45	0.45	60	303	437	330				357	0.001262
	9.45	31.50	22.05								357	0.061826
		Σ	30								Σ	0.090956

$\overline{V}_{s,30}$ = 330 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำยวม บริเวณบ้านหนองป่าแซม หมู่ 10 อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน มีค่า $\overline{V}_{s,30}$ = 330 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

ตารางที่ ค.14ก รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนท่างิ้ว จังหวัดตรัง (TRTT) หลุมดินเจาะที่ 1

ลักษณะดิน	ความลึก (m) เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	SPT N-value	ทราย 1	2	3	ดินเหนียว 4	5	6	V_{si} (m/s)	d/V_{si} (sec)
ทราย	1.50	1.95	0.45	5	151	126	160				146	0.003084
	1.95	3.00	1.05								162	0.006471
	3.00	3.45	0.45	9	176	169	190				179	0.002520
	3.45	4.50	1.05								175	0.006000
	4.50	4.95	0.45	8	171	159	184				171	0.002625
	4.95	6.00	1.05								302	0.003474
	6.00	6.45	0.45	100	353	564	382				433	0.001039
	6.45	31.50	25.05								433	0.057842
		Σ	30								Σ	0.083055

$\overline{V}_{s,30}$ = 361 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.14ข รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนท่างิ้ว จังหวัดตรัง (TRTT) หลุมดินเจาะที่ 2

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ดินเหนียว	1.50	1.95	0.45	30				282	308	272	287	0.001566
	1.95	3.00	1.05								315	0.003329
	3.00	3.45	0.45	50				331	376	324	344	0.001310
	3.45	4.50	1.05								338	0.003104
ทราย	4.50	4.95	0.45	50	288	399	313				333	0.001351
	4.95	31.50	26.55								333	0.079728
		Σ	30								Σ	0.090387

$\overline{V}_{s,30}$ = 332 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ค.14ค รายการคำนวณความเร็วคลื่นเฉือน ($\overline{V}_{s,30}$) ที่สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวเขื่อนท่างิ้ว จังหวัดตรัง (TRTT) หลุมดินเจาะที่ 3

ลักษณะ	ความลึก (m)			SPT	ทราย			ดินเหนียว			V_{si}	d/V_{si}
ดิน	เริ่มต้น	สิ้นสุด	d	N-value	1	2	3	4	5	6	(m/s)	(sec)
ทราย	1.50	1.95	0.45	3	134	98	138				123	0.003649
	1.95	3.00	1.05								151	0.006956
	3.00	3.45	0.45	9	176	169	190				179	0.002520
	3.45	4.50	1.05								191	0.005498
	4.50	4.95	0.45	13	195	203	212				203	0.002213
	4.95	6.00	1.05								295	0.003560
ดินเหนียว	6.00	6.45	0.45	70				368	428	363	387	0.001164
	6.45	31.50	25.05								387	0.064806
		Σ	30								Σ	0.090366

$\overline{V}_{s,30}$ = 332 เมตรต่อวินาที

ข้อมูลหลุมดินเจาะมาจากโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมคลองท่างิ้ว บ้านสะพานยาว หมู่ 7 ปากห้วยตราบ อ.ห้วยยอด จ.ตรัง เนื่องจากมีหลุมดินเจาะ 3 หลุม จึงทำการเฉลี่ยค่า $\overline{V}_{s,30}$ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังนี้ $\overline{V}_{s,30}$ = (361+332+332)/3 = 342 เมตรต่อวินาที จึงจัดเป็นสถานีที่มีลักษณะดินที่ตั้งเป็นดิน

ลักษณะดินที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ (CMMT) นั้นจากการสำรวจภาคสนามพบว่าสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวตั้งอยู่บนหิน ซึ่งรูปที่ ค.1 แสดงบริเวณสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่บนเชิงเขาดอยสุเทพ และรูปที่ ค.2 แสดงลักษณะชั้นหินบริเวณสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่

รูปที่ ค.1 บริเวณสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่บนเชิงเขาดอยสุเทพ

รูปที่ ค.2 ลักษณะชั้นหินบริเวณสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวจังหวัดเชียงใหม่

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมาณพ เจริญยุทธ เกิดวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อ พ.ศ. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย