

การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับภาคเหนือของประเทศไทยและจังหวัดกาญจนบุรี โดยวิธี  
สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SELECTION OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS FOR NORTHERN THAILAND AND  
KANCHANABURI BY CONDITIONAL MEAN SPECTRUM METHOD

Mr. Chatchanun Boonchoo



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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับภาคเหนือของ  
ประเทศไทยและจังหวัดกาญจนบุรี โดยวิธีสเปกตรัม  
ค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

โดย

นายชัชพันธ์ บุญชู

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัมย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพันธ์ อรรถธรรมรัตน์)

ชัชชนันท์ บุญชู : การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับภาคเหนือของประเทศไทยและจังหวัดกาญจนบุรี โดยวิธีสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (SELECTION OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS FOR NORTHERN THAILAND AND KANCHANABURI BY CONDITIONAL MEAN SPECTRUM METHOD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี, 142 หน้า.

ในการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบประวัติเวลาโดยจำลองคลื่นแผ่นดินไหวในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีเลือกคลื่นแผ่นดินไหวหลายวิธี ในแต่ละวิธีจะมีการปรับคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความใกล้เคียงกับคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงตามมาตรฐานการออกแบบและทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้าง การเลือกคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งการเลือกคลื่นด้วยวิธีนี้มีการใช้ข้อมูลจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว ขนาดของแผ่นดินไหว ระยะทางจากแหล่งกำเนิด และส่วนเบี่ยงเบนของความเร่งสเปกตรัม ในการทำนายรูปร่างสเปกตรัม เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มีรูปร่างเหมือนสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยทำการศึกษาค้นคว้าแผ่นดินไหวสำหรับภาคเหนือของประเทศไทยและจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆ โดยพิจารณาว่าแหล่งกำเนิดใดมีผลต่อความน่าจะเป็นมากที่สุด และพิจารณาขนาดและระยะทางของแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิดนั้น เพื่อให้ทราบลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีโอกาสมากที่สุดที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ที่ตั้งของอาคาร จากการศึกษาพบว่าเมื่อพิจารณาค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวที่มากขึ้น จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น จากนั้นทำการคัดเลือกสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิกที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยและสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข และทำการคูณปรับค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นที่พิจารณา ซึ่งสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างได้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5670162421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: EARTHQUAKE GROUND MOTIONS / CONDITIONAL MEAN SPECTRUM

CHATCHANUN BOONCHOO: SELECTION OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS FOR NORTHERN THAILAND AND KANCHANABURI BY CONDITIONAL MEAN SPECTRUM METHOD. ADVISOR: ASST. PROF. CHATPAN CHINTANAPAKDEE, Ph.D., 142 pp.

When structural engineers use response history analysis in design and evaluation of buildings, earthquake ground motion records are necessary. Conditional mean spectrum method is a new approach which selects earthquake ground motions according hazard de-aggregation study by considering the earthquake scenario that is most likely to occur at the building site. The earthquake scenario involves seismic source zone, magnitude, distance and deviation of spectral acceleration from median value. The shape of response spectrum from conditional mean spectrum method will be more similar to spectral shape of real earthquake ground motion than uniform hazard spectrum is. This study aims to prepare a database of sets of ground motions selected by conditional mean spectrum method for building locations at city center of all Northern provinces of Thailand and Kanchanaburi. First, the most influential seismic source zone, and most likely magnitude and distance were obtained from hazard de-aggregation analysis. The results showed that the spectral acceleration at longer conditioned period is affected by larger magnitude and longer distance. Subsequently, ground motion records corresponding to the determined scenarios were downloaded from Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) strong motion database for each area in Thailand. Lastly, the ground motion records were scaled with appropriate scaling factors to match with the conditional mean spectrum at conditioned period and become ready for use in structural analysis and design.

Department: Civil Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้านายชัชฉันท บัญชู ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งให้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและความรู้ทางด้านอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัมย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพันธ์ อรรถธรรมรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ หลวงพีจิตติ ปาลศรี และคุณภควัสน์ มินชัยนันท์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นและมีประโยชน์ต่อการศึกษา และขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนๆ สาขา วิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้กำลังใจ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ที่สำคัญที่สุดข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคือ บิดา มารดา ที่ช่วยอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู และให้กำลังใจ รวมถึงญาติ พี่น้องและแฟน ที่คอยเป็นกำลังใจทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป .....	ญ
สารบัญตาราง.....	ภ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 พื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นดินไหว.....	13
2.1.1 การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน .....	13
2.1.2 คลื่นแผ่นดินไหว.....	15
2.1.3 ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude).....	16
2.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น (probabilistic seismic hazard analysis, PSHA).....	17
2.3 สเปกตรัมความเสี่ยงสม่ำเสมอ (uniform hazard spectrum, UHS).....	25
2.4 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum, CMS).....	26
2.4.1 ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) .....	26
2.4.2 ลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวจริง .....	28
2.4.3 ขั้นตอนการคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข .....	31

2.4.4 การเลือกคลื่นแผ่นดินไหว .....	33
2.4.5 การวัดความสอดคล้องของสเปกตรัม .....	34
2.4.6 การพิจารณาคาบการสั่นไหว .....	36
2.4.7 ข้อดีและข้อเสียของสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข .....	37
บทที่ 3 การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว .....	39
3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว .....	39
3.2 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว.....	39
3.2.1 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที.....	46
3.2.2 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที.....	52
3.2.3 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที.....	58
3.2.4 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที.....	64
3.2.5 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที.....	70
3.2.6 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที.....	76
บทที่ 4 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี .....	82
4.1 พิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที .....	83
4.2 พิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที .....	89
4.3 พิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที.....	95
4.4 พิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที.....	101
4.5 พิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที.....	107
4.6 พิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที.....	113
บทที่ 5 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรี .....	119
5.1 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที .....	121
5.2 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที .....	123



5.3	คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที.....	125
5.4	คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที .....	127
5.5	คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที .....	129
5.6	คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที .....	131
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษา.....	134
	ข้อเสนอแนะ.....	135
	รายการอ้างอิง .....	136
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	142



## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวในสหรัฐอเมริกาปี 1996 (ในหน่วยร้อยละของความโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Frankel และคณะ, 1996)[1].....	3
รูปที่ 1.2 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวในสหรัฐอเมริกาปี 2002 (ในหน่วยร้อยละของความเร่งโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Frankel และคณะ, 2002)[8].....	4
รูปที่ 1.3 แผนที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Notalaya และคณะ, 1985)[12].....	4
รูปที่ 1.4 แผนที่แสดงตำแหน่งและขนาดของแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย และประเทศข้างเคียง ตั้งแต่ พ.ศ.2453 ถึง 2539 (Warnitchai และ Lisantono, 1996)[14].....	5
รูปที่ 1.5 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวที่ผิวดินในประเทศไทย (ในหน่วยความเร่งโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินคิดเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Warnitchat และ Lisantono, 1996)[14] .....	6
รูปที่ 1.6 เขตแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบนพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ปัญญา และคณะ, 2543)[18].....	7
รูปที่ 1.7 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวที่ผิวดินบริเวณเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย และแหลมมลายู (ในหน่วยความเร่งโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินคิดเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Petersen และคณะ, 2004)[19] .....	8
รูปที่ 1.8 เส้นเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (hazard curve) ของ (a) เชียงใหม่ (b) กาญจนบุรี (c) กรุงเทพมหานคร (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21] .....	9
รูปที่ 1.9 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (Seismic source zone) ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21].....	10
รูปที่ 1.10 แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยสำหรับความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ที่มีความน่าจะเป็นในการเกิด 2% ใน 50 ปี (Ornthammarath และคณะ, 2011)[22].....	11
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (Kramer, 1996)[25] .....	15

รูปที่ 2.2 คลื่นแผ่นดินไหวประเภทต่างๆ (จาก <http://www.darylscience.com>)..... 16

รูปที่ 2.3 การหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)[25]..... 18

รูปที่ 2.4 การหาค่า a และ b จากกราฟความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)..... 19

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ Gutenberg-Richter (1944) โดยค่า a = 3 (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]..... 20

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) โดยค่า a = 3 (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21] ..... 21

รูปที่ 2.7 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)[27]..... 22

รูปที่ 2.8 การหาความน่าจะเป็นเนื่องจากสมการลดทอนแผ่นดินไหวที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด  $PHA_i$  จากแผ่นดินไหวขนาด  $M_2$  ที่ระยะ  $R_1$  (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]..... 24

รูปที่ 2.9 (a) สเปกตรัม MCE จากมาตรฐานการออกแบบและสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ..... 27

รูปที่ 2.10 การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของริเวอร์ไซด์ โดย  $Sa(1s) > 0.89g$  Emphasis on mean deaggregation values added (Baker, 2011)[31] ..... 27

รูปที่ 2.11 สเปกตรัมการตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว 20 คลื่น ซึ่งมีขนาดประมาณ 7 และระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร ตัวอย่างสเปกตรัมที่เป็นเส้นทึบของ Castaic Old Ridge Route โดยมีขนาดเท่ากับ 6 ชั้นดินประเภท C ระยะทาง 20 กิโลเมตร (Baker, 2011)[31] ..... 28

รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ Castaic Old Ridge Route โดยคำนวณค่า  $\varepsilon$  ที่คาบการสั่น 3 คาบ (Baker, 2011)[31]..... 29

รูปที่ 2.13 การกระจายตัวของค่า  $\varepsilon$  จากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ระหว่าง (a)  $\mathcal{E}(1s)$  กับ  $\mathcal{E}(2s)$  ..... 30

รูปที่ 2.14 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่คาบการสั่นต่างๆ โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาทีและตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ Castaic Old Ridge Route (Baker, 2011)[31]..... 31

รูปที่ 2.15 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของ Riverside ( $T^* = 1$ วินาที).....	35
รูปที่ 2.16 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยมีเงื่อนไขของ $S_a$ ที่คาบการสั่นต่างๆ แต่มี โอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากัน (Baker, 2011)[31].....	37
รูปที่ 3.1 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E.....	46
รูปที่ 3.2 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E.....	47
รูปที่ 3.3 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J.....	47
รูปที่ 3.4 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	48
รูปที่ 3.5 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E.....	48
รูปที่ 3.6 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E.....	49
รูปที่ 3.7 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	49
รูปที่ 3.8 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	50

รูปที่ 3.9 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	50
รูปที่ 3.10 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	51
รูปที่ 3.11 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	51
รูปที่ 3.12 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	52
รูปที่ 3.13 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	53
รูปที่ 3.14 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J .....	53
รูปที่ 3.15 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	54
รูปที่ 3.16 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	54
รูปที่ 3.17 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	55

รูปที่ 3.18 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	55
รูปที่ 3.19 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	56
รูปที่ 3.20 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	56
รูปที่ 3.21 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	57
รูปที่ 3.22 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	57
รูปที่ 3.23 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	58
รูปที่ 3.24 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	59
รูปที่ 3.25 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J .....	59
รูปที่ 3.26 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	60

รูปที่ 3.27 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E.....	60
รูปที่ 3.28 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E.....	61
รูปที่ 3.29 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	61
รูปที่ 3.30 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	62
รูปที่ 3.31 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	62
รูปที่ 3.32 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	63
รูปที่ 3.33 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	63
รูปที่ 3.34 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E.....	64
รูปที่ 3.35 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E.....	65

รูปที่ 3.36 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน J.....	65
รูปที่ 3.37 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน I.....	66
รูปที่ 3.38 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E.....	66
รูปที่ 3.39 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E.....	67
รูปที่ 3.40 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	67
รูปที่ 3.41 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน I.....	68
รูปที่ 3.42 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	68
รูปที่ 3.43 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I.....	69
รูปที่ 3.44 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน I.....	69



รูปที่ 3.45 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E .....	70
รูปที่ 3.46 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E .....	71
รูปที่ 3.47 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน J .....	71
รูปที่ 3.48 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน I .....	72
รูปที่ 3.49 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E .....	72
รูปที่ 3.50 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน E .....	73
รูปที่ 3.51 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	73
รูปที่ 3.52 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โซน I .....	74
รูปที่ 3.53 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	74

รูปที่ 3.54 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	75
รูปที่ 3.55 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	75
รูปที่ 3.56 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	76
รูปที่ 3.57 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	77
รูปที่ 3.58 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J .....	77
รูปที่ 3.59 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	78
รูปที่ 3.60 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	78
รูปที่ 3.61 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E .....	79
รูปที่ 3.62 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I .....	79

รูปที่ 3.63 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โชน I .....	80
รูปที่ 3.64 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I .....	80
รูปที่ 3.65 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่ง สเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I .....	81
รูปที่ 3.66 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ พิจารณา ความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วง เวลา 50 ปี โชน I .....	81
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไซ สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ .....	83
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไซ สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย.....	84
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไซ สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.58 และระยะทางเท่ากับ 5.8 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี.....	84
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไซ สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง .....	85
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไซ สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน .....	85















รูปที่ 4.60	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน.....	115
รูปที่ 4.61	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน.....	116
รูปที่ 4.62	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 17.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน.....	116
รูปที่ 4.63	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 18.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ของ อ.เมือง จ.พะเยา.....	117
รูปที่ 4.64	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 19.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่.....	117
รูปที่ 4.65	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก.....	118
รูปที่ 4.66	สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 23.3 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์.....	118
รูปที่ 5.1	การกำหนดคุณลักษณะเหตุการณ์ของแผ่นดินไหว และการแสดงผลสเปกตรัมของ เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ต้องการพิจารณาของ PEER สำหรับจังหวัดในภาคเหนือและ กาญจนบุรี.....	120
รูปที่ 5.2	สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหว โดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6.5 ถึง 7.5 และ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 14 ถึง 18 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที.....	122

รูปที่ 5.3 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที.....	122
รูปที่ 5.4 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6 ถึง 7 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 14 ถึง 18 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดกาญจนบุรี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที .....	124
รูปที่ 5.5 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดกาญจนบุรีที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที.....	124
รูปที่ 5.6 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 5.5 ถึง 6.5 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 6 ถึง 10 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดพะเยา โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที.....	126
รูปที่ 5.7 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดพะเยาที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที.....	126
รูปที่ 5.8 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 7 ถึง 8 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 7 ถึง 11 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดเชียงราย โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที.....	128
รูปที่ 5.9 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดเชียงรายที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที.....	128
รูปที่ 5.10 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6 ถึง 7 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 9 ถึง 15 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดตาก โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที.....	130
รูปที่ 5.11 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดตากที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที .....	130

- รูปที่ 5.12 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6 ถึง 7 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 15 ถึง 19 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดน่าน โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ..... 132
- รูปที่ 5.13 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดน่านที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที ..... 132



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละแหล่งกำเนิด แผ่นดินไหว (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)[27].....	23
ตารางที่ 3.1 ละติจูดและลองจิจูดของจังหวัดในภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรี .....	40
ตารางที่ 3.2 ความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินโดยมีค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร่ง เกินค่าในตารางเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี และโซนของแหล่งกำเนิด แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ.....	41
ตารางที่ 3.3 ขนาดของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสั่นไหวของพื้นดินในโซนของ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ.....	43
ตารางที่ 3.4 ระยะทางของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสั่นไหวของพื้นดินในโซน ของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ .....	44
ตารางที่ 3.5 ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสั่นไหว ของพื้นดินในโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ. เมือง จังหวัดต่างๆ.....	45
ตารางที่ 5.1 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีในจังหวัดต่างๆ.....	121
ตารางที่ 5.2 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาทีในจังหวัดต่างๆ.....	123
ตารางที่ 5.3 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาทีในจังหวัดต่างๆ.....	125
ตารางที่ 5.4 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาทีในจังหวัดต่างๆ.....	127
ตารางที่ 5.5 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาทีในจังหวัดต่างๆ.....	129
ตารางที่ 5.6 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาทีในจังหวัดต่างๆ.....	131

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

แผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรงต่อชีวิตและทรัพย์สินได้เป็นบริเวณกว้าง เพราะเป็นภัยพิบัติที่สามารถเกิดขึ้นโดยไม่มีการเตือนหรือสามารถรับรู้ได้ล่วงหน้า ทำให้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างได้รับความเสียหายเนื่องจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ซึ่งในภาคเหนือของประเทศไทยก็เริ่มมีแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่ออาคารบ้านเรือนรุนแรงขึ้น สิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเผชิญภัยแผ่นดินไหวคือการเตรียมพร้อมที่ดี จึงต้องมีการศึกษาค้นแผ่นดินไหวและมีการกำหนดมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เพื่อให้อาคารและสิ่งปลูกสร้างมีความมั่นคงแข็งแรง ก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เนื่องจากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งมีคลื่นแผ่นดินไหวและส่งผลกระทบที่ต่างกัน ทำให้การศึกษารวบรวมคลื่นแผ่นดินไหวและการคัดเลือกคลื่นที่จะนำมาวิเคราะห์โครงสร้างจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง

ในการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวด้วยวิธีวิเคราะห์แบบประวัติเวลา โดยจำลองคลื่นแผ่นดินไหวในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีเลือกคลื่นแผ่นดินไหวหลายวิธี ในแต่ละวิธีจะมีการปรับคลื่นแผ่นดินไหวให้มีความใกล้เคียงกับคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงตามมาตรฐานการออกแบบและทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อโครงสร้าง การเลือกคลื่นแผ่นดินไหวด้วยวิธีสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum) เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง การเลือกคลื่นด้วยวิธีนี้มีการใช้ข้อมูลจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวขนาดของแผ่นดินไหว ระยะทางจากแหล่งกำเนิด และส่วนเบี่ยงเบนของความเร่งสเปกตรัม ในการทำนายรูปร่างสเปกตรัม จึงทำให้ได้สเปกตรัมที่มีรูปร่างเหมือนคลื่นแผ่นดินไหวจริงทางธรรมชาติ

จากเหตุผลในข้างต้น จึงทำให้การศึกษาเรื่องสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขมีความน่าสนใจในการศึกษานี้จะทำการศึกษาค้นแผ่นดินไหวในประเทศไทย โดยใช้วิธีสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อจัดเตรียมคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับวิเคราะห์โครงสร้าง โดยวิธีสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum) ในการออกแบบอาคารให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหว

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

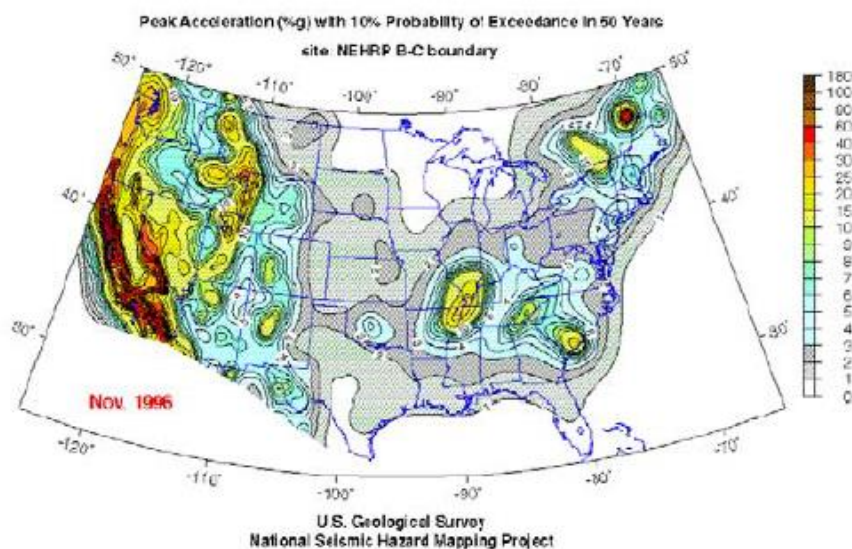
1. การสร้างฐานข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับให้วิศวกรใช้ในการออกแบบอาคารจะใช้คลื่นแผ่นดินไหวจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพราะคลื่นที่บันทึกได้ในประเทศไทยอาจจะยังไม่ครอบคลุมทุกรูปแบบสถานการณ์ในเชิงขนาดของแผ่นดินไหวและระยะห่างจากจุดกำเนิด แต่การเลือกคลื่นแผ่นดินไหวจะคำนึงถึงสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในประเทศไทย

2. ทำการศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยาแพร่ ตาก อุตรดิตถ์ และจังหวัดกาญจนบุรี

## 1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกา Frankel และคณะ (1996)[1] ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกา (1996 US National Seismic Hazard Maps) ซึ่งใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหวที่พิจารณาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกในบริเวณตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้สมการของ Campbell (1997)[2] และสมการของ Boore และคณะ (1997)[3] สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดน้อยกว่า 100 กิโลเมตร และใช้สมการของ Sadigh และคณะ (1997)[4] สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดน้อยกว่า 300 กิโลเมตร สำหรับสมการลดทอนแผ่นดินไหวที่พิจารณาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณภายในแผ่นเปลือกโลกในตอนกลางและบริเวณตะวันออกของสหรัฐอเมริกา Frankel และคณะ (1996)[1] และ Toro และคณะ (1997)[5] ได้ดัดแปลงสมการของ Atkinson และ Boore (1995)[6] ซึ่งใช้วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดไม่เกิน 1,000 กิโลเมตร จึงทำให้สมการใหม่ที่ดัดแปลงนี้สามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีระยะทางไกลกว่า 500 กิโลเมตรได้ สำหรับสมการลดทอน

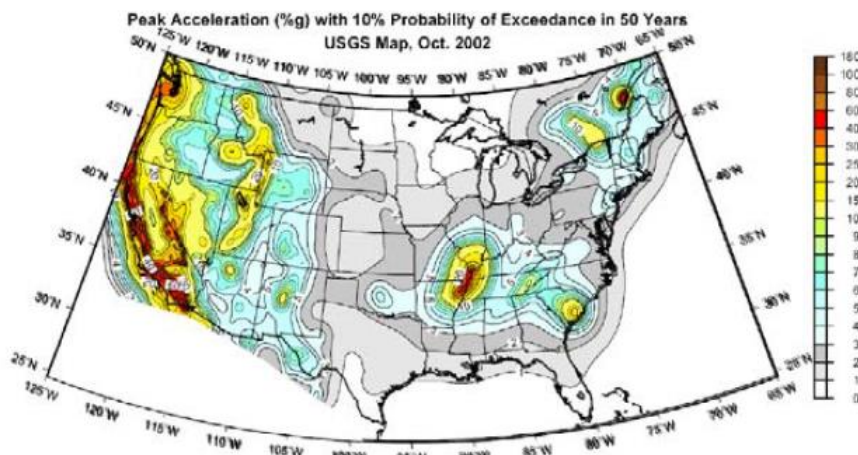
แผ่นดินไหวที่เกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ใช้สมการของ Youngs และคณะ (1997)[7] สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดน้อยกว่า 500 กิโลเมตร ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวในสหรัฐอเมริกาปี 1996 (ในหน่วยร้อยละของความโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Frankel และคณะ, 1996)[1]

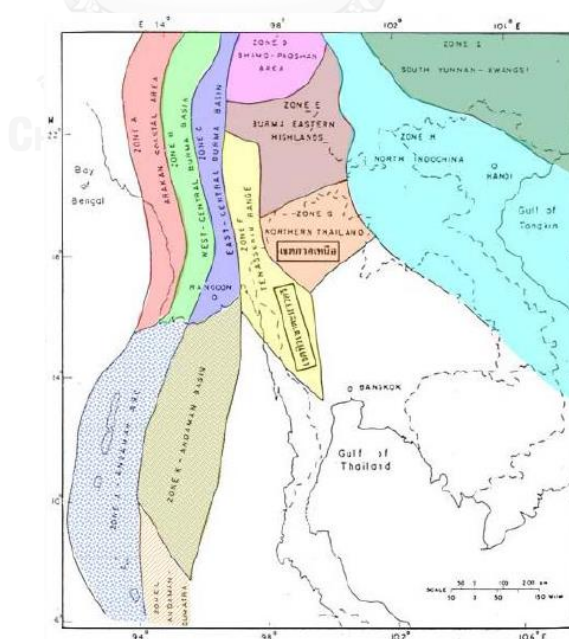
ต่อมา Frankel และคณะ (2002)[8] ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกาขึ้นมาใหม่ โดยปรับปรุงจากแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวฉบับเดิมในปี 1996 ซึ่งใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหวใหม่ โดยแบ่งเป็นเขตตะวันตกของอเมริกา และเขตตอนกลางและตะวันออกของอเมริกา ในเขตตะวันตกของอเมริกาใช้สมการของ Abrahamson และ Silva (1997)[9], สมการของ Boore และคณะ (1997)[3], สมการของ Campbell (1997)[2], สมการของ Idriss (1993)[10] และสมการของ Sadigh และคณะ (1997)[4] ในเขตตอนกลางและตะวันออกของอเมริกาใช้สมการของ Toro และคณะ (1997)[5] และสมการของ Atkinson และ Boore (1997)[11] ดังรูปที่ 1.2





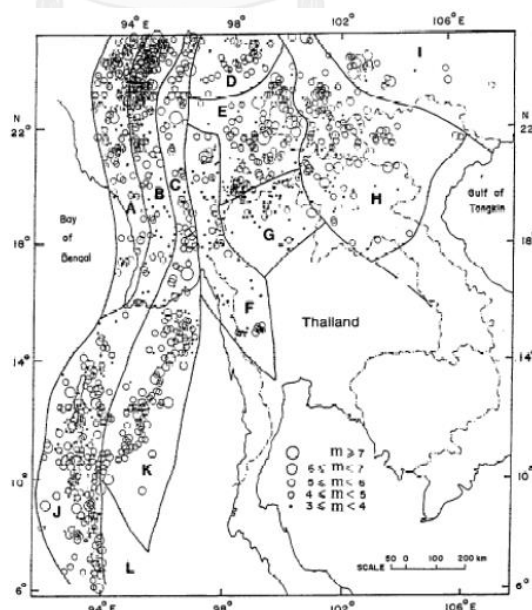
รูปที่ 1.2 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวในสหรัฐอเมริกาปี 2002 (ในหน่วยร้อยละของความเร่งโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Frankel และคณะ, 2002)[8]

ในปี 1985 เริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดย Nuttallaya และคณะ (1985)[12] ได้ศึกษาหลักการเกิดแผ่นดินไหว (seismicity) และข้อมูลการไหวสะเทือนของบริเวณที่เกิดการไหวสะเทือน (seismogenic structure or zone) และได้ทำการแบ่งแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ออกเป็น 12 โซน ดังรูปที่ 1.3

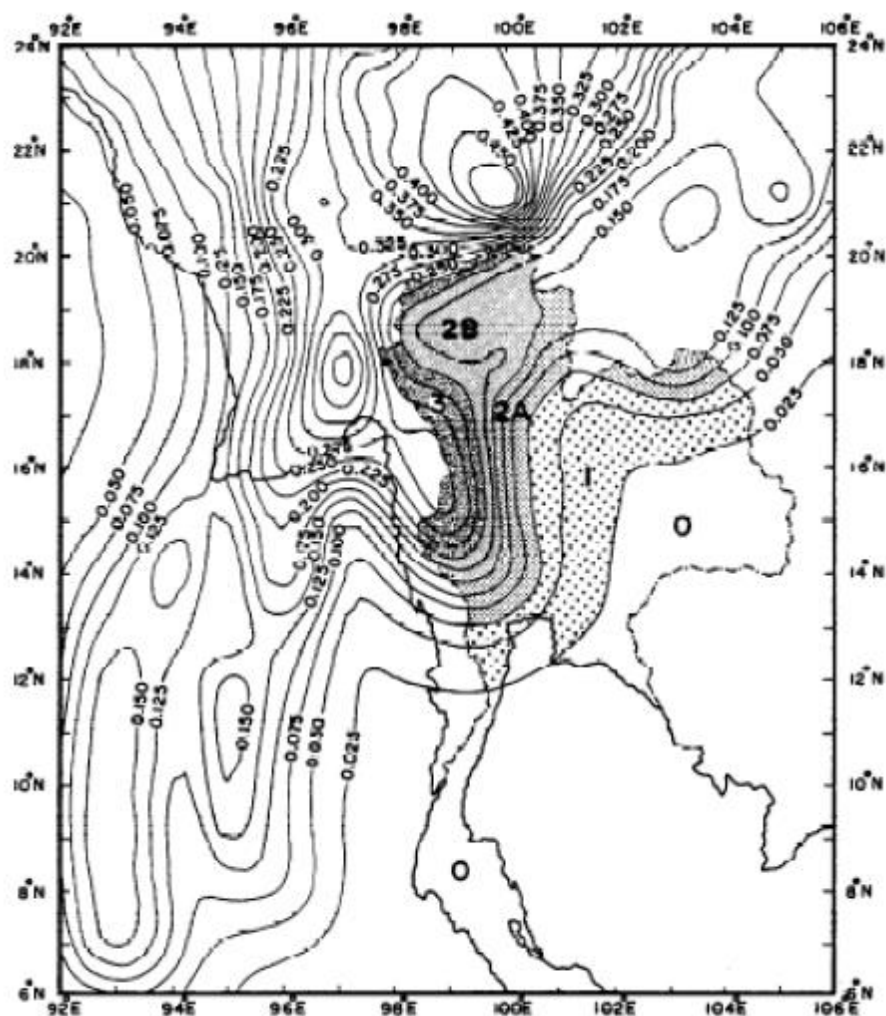


รูปที่ 1.3 แผนที่แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Nuttalaya และคณะ, 1985)[12]

การศึกษาแผ่นดินไหวในประเทศไทย ปณิธานและนพดล (2536)[13] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดิน (PGA) เนื่องจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย พบว่า ในภาคเหนือของประเทศไทยที่มีพรมแดนติดกับประเทศพม่า มีค่าอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินประมาณ 14% ของอัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผลงานวิจัยที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับผลงานวิจัยของ ปริญญา และคณะ (2533) ซึ่งพบว่า อัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินมีค่าประมาณ 11% ของอัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก ต่อมามีการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย โดย Warnitchai และ Lisantono (1996)[14] ซึ่งใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวในรอบ 80 ปี จาก Nutalaya และคณะ (1985)[12] หาขนาดของแผ่นดินไหวของแหล่งกำเนิดโดยแบ่งเป็นพื้นที่ตั้งรูปที่ 1.4 และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความเร่งสูงสุดของพื้นดิน โดยใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหวของ Esteva (1973)[15] จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์แผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นโดยใช้วิธีของ Cornell (1968)[16] และจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นที่มีโอกาสเกิน 10% ในรอบ 50 ปี ผลที่ได้พบว่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินในประเทศไทยมีค่าประมาณ 27% ของอัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยทางภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตแผ่นดินไหวปานกลาง 2B และ 3 ตามการแบ่งเขตความรุนแรงแผ่นดินไหวของ Uniform Building Code (UBC) ดังรูปที่ 1.5 ซึ่งผลงานวิจัยที่ได้นี้มีความแตกต่างจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาค่อนข้างมากเนื่องจากสมมติฐานในการใช้ข้อมูล จึงต้องมีการตรวจสอบทางธรณีวิทยาเพิ่มเติม



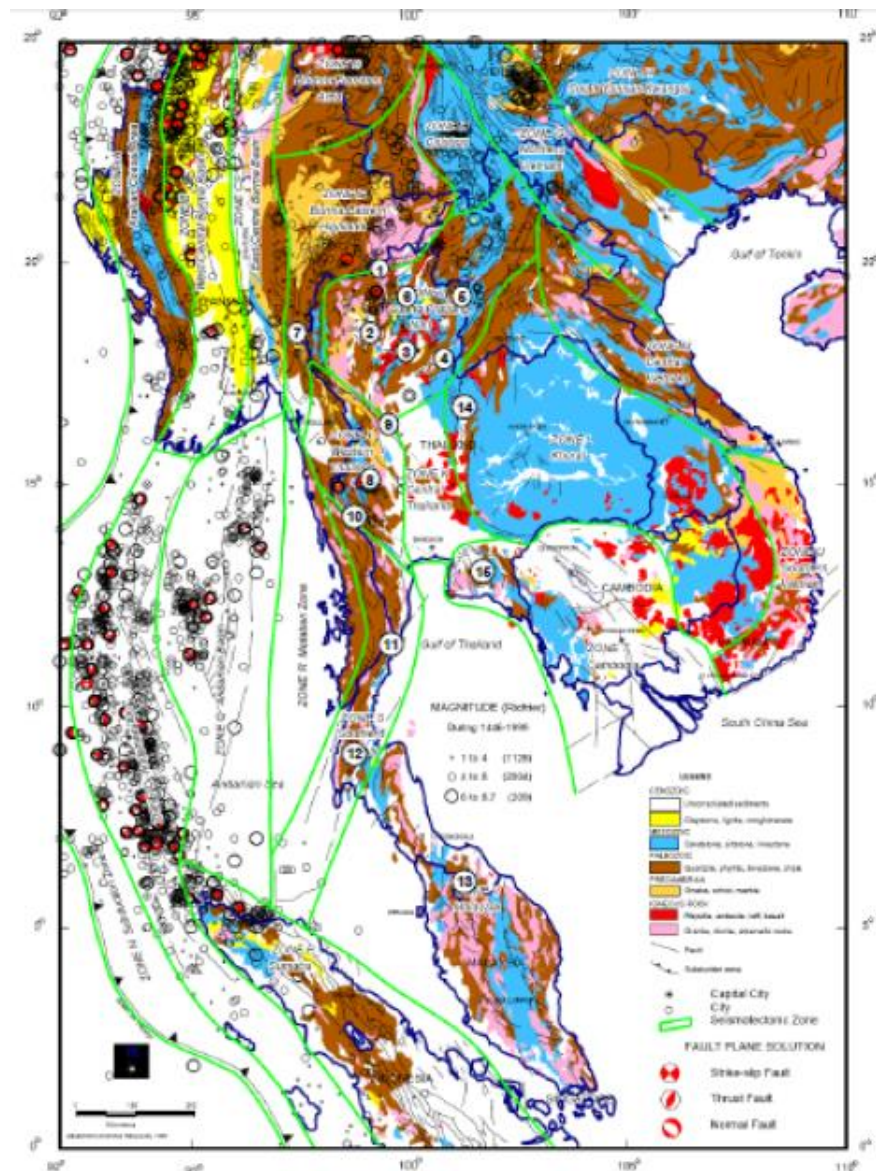
รูปที่ 1.4 แผนที่แสดงตำแหน่งและขนาดของแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย และประเทศข้างเคียง ตั้งแต่ พ.ศ.2453 ถึง 2539 (Warnitchai และ Lisantono, 1996)[14]



รูปที่ 1.5 แผนที่เส้นชั้นความเข้มสูงสุดของแผ่นดินไหวที่ผิวดินในประเทศไทย (ในหน่วยความเข้มโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินคิดเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Warnitchat และ Lisantono, 1996)[14]

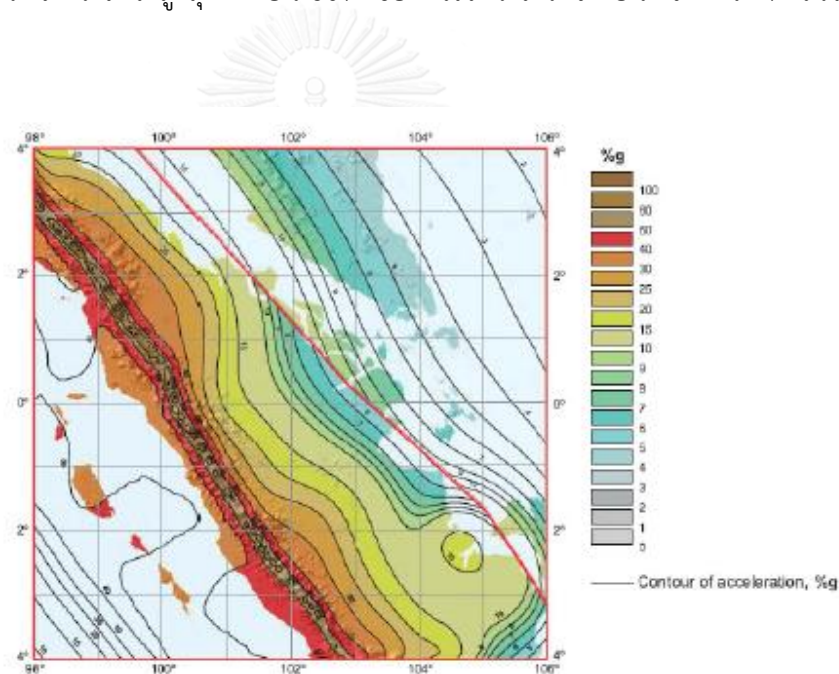
สำหรับการศึกษาแนวรอยเลื่อนบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย Fenton และคณะ (1997)[17] พบแนวรอยเลื่อนสำคัญภายในรัศมี 150 กิโลเมตรรอบแก่งเสือเต้น คือ รอยเลื่อนแพร์, รอยเลื่อนแอ่งแพร์, รอยเลื่อนพะเยา, รอยเลื่อนน้ำปาด, รอยเลื่อนบัว, รอยเลื่อนลอง และ รอยเลื่อนเถิน รวม 7 รอยเลื่อน ซึ่งต่อมาปัญญา และคณะ (2543)[18] ได้ศึกษาแผ่นดินไหวบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแผ่นดินไหวในประเทศไทย พบว่าพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทยเคยมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นมาแล้วหลายครั้งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจะเกิดบริเวณใกล้ชิดกับรอยเลื่อนที่มีพลัง จากการศึกษาสามารถจำแนกรอยเลื่อนมีพลังที่สำคัญภายในประเทศได้ 15 รอยเลื่อน คือ รอยเลื่อนเถิน-ลอง-แพร์, รอยเลื่อนพะเยา,

รอยเลื่อนปัว, รอยเลื่อนน้ำปัด, รอยเลื่อนแม่จัน, รอยเลื่อนแม่ทา, รอยเลื่อนแม่ปิง, รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน, รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์, รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์, รอยเลื่อนเลย-เพชรบูรณ์, รอยเลื่อนคลองมะรุย-คลองท่อม, รอยเลื่อนระนอง, รอยเลื่อนระยอง-แกลง และรอยเลื่อนโคกโพธิ์-สะบ้าย้อย-ยะลา-เบตง สำหรับรอยเลื่อนมีพลังที่สำคัญนอกประเทศจำแนกได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มรอยเลื่อนแม่น้ำแดง-แม่น้ำมา-แม่น้ำตา, กลุ่มรอยเลื่อนสะแกง-ตองยี-พานหลวง, กลุ่มรอยเลื่อนนานติง-เปาซาน-เซียงราย และกลุ่มรอยเลื่อนอินโด-พม่า ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 เขตแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวบนพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ปัญญา และคณะ, 2543)[18]

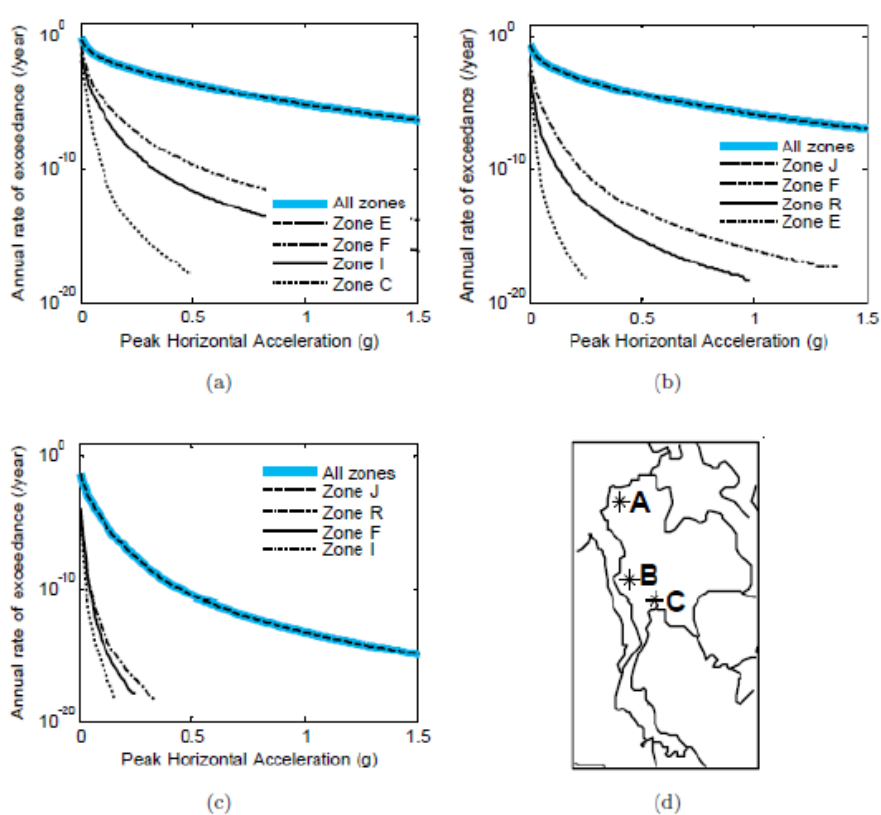
Petersen และคณะ (2004)[19] ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวบริเวณเกาะสุมาตรา และแหลมมลายู โดยใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่รวบรวมจากแหล่งข้อมูล 3 แหล่ง คือ EHB Catalog (Engdahl และ คณะ , 1998)[20], ISC Catalog (various Bulletins of the International Seismological Centre) และ PDE Catalog (various Preliminary Determination of Epicenters catalogs of the US Geological Survey) ใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหวที่มีการปรับแก้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ดังกล่าวมาวิเคราะห์ความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิน 2% ในรอบ 50 ปี พบว่า บริเวณเกาะสุมาตรามีค่าความเร่งอยู่ระหว่างช่วง 10% g ถึง 100% g และบริเวณแหลมมลายูมีค่าความเร่งน้อยกว่า 20% g วิเคราะห์ความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิน 10% ในรอบ 50 ปี พบว่า มีความเร่งสูงสุดคิดเป็น 60% ของกรณีความน่าจะเป็นที่จะเกิน 2% ในรอบ 50 ปี ดังรูปที่ 1.7



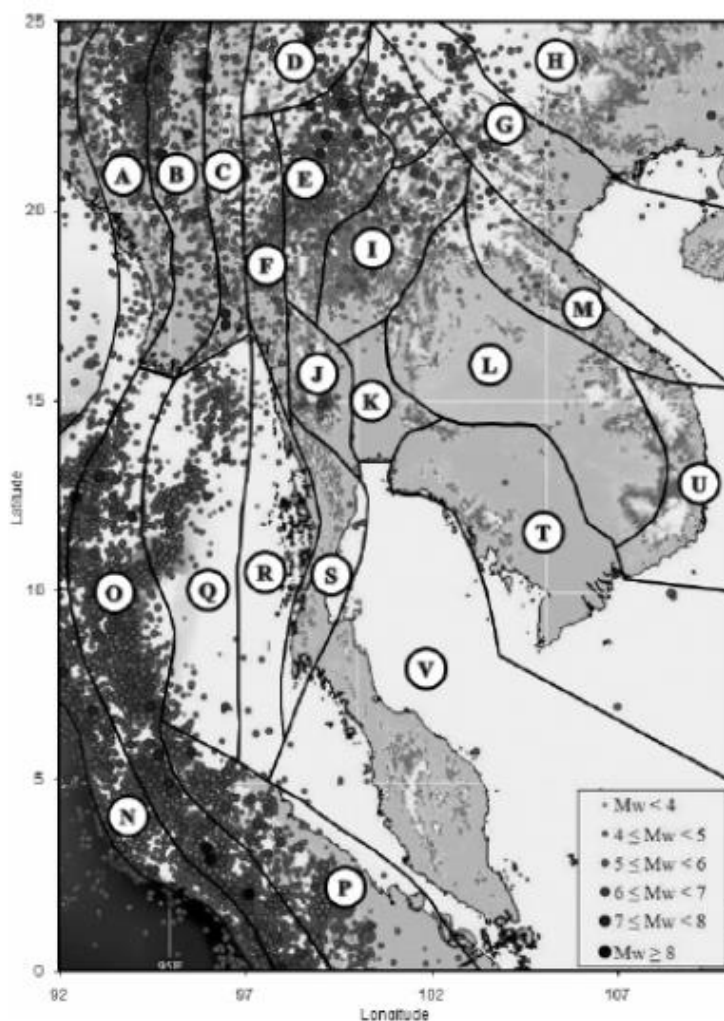
รูปที่ 1.7 แผนที่เส้นชั้นความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวที่ผิวดินบริเวณเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย และแหลมมลายู (ในหน่วยความเร่งโน้มถ่วง, g) โดยมีโอกาสเกินคิดเป็น 10% ในรอบ 50 ปี (Petersen และคณะ, 2004)[19]

จิตติ ปาลศรี (2549)[21] ได้ศึกษาและทำการแยกแยะความน่าจะเป็นหรือความเสี่ยงจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆในประเทศไทย โดยแบ่งแหล่งกำเนิดต่างๆดังรูปที่ 1.9 และได้สร้างเส้นกราฟความเสี่ยงภัย (hazard curve) สำหรับที่ตั้งอาคารในกรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 1.8 ซึ่งทำให้ทราบว่าตำแหน่งที่ตั้งนั้นมีความเสี่ยงหรือความน่าจะเป็นที่จะได้รับการสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิด

ต่างๆ และทราบความน่าจะเป็นของผลรวมที่จะเกิดการสั่นสะเทือนเกินกว่าค่าที่ยอมรับเนื่องจากแหล่งกำเนิดใดแหล่งกำเนิดหนึ่งเป็นเท่าใด ซึ่งกราฟผลรวมความน่าจะเป็นนี้สามารถนำไปใช้สร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยได้ ซึ่งหากตรวจสอบระยะห่างจากแหล่งกำเนิดกับที่ตั้งอาคารก็จะสามารถทราบระยะห่างจากแหล่งกำเนิด และพิจารณาขนาดแผ่นดินไหวที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดที่อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดนั้นได้ และจะทำให้สามารถทำนายลักษณะเหตุการณ์การเกิดแผ่นดินไหวทั้งขนาดและระยะทาง (Scenario) ที่จะส่งผลกระทบต่อที่ตั้งอาคาร ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้สร้างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวในการวิเคราะห์โครงสร้างได้



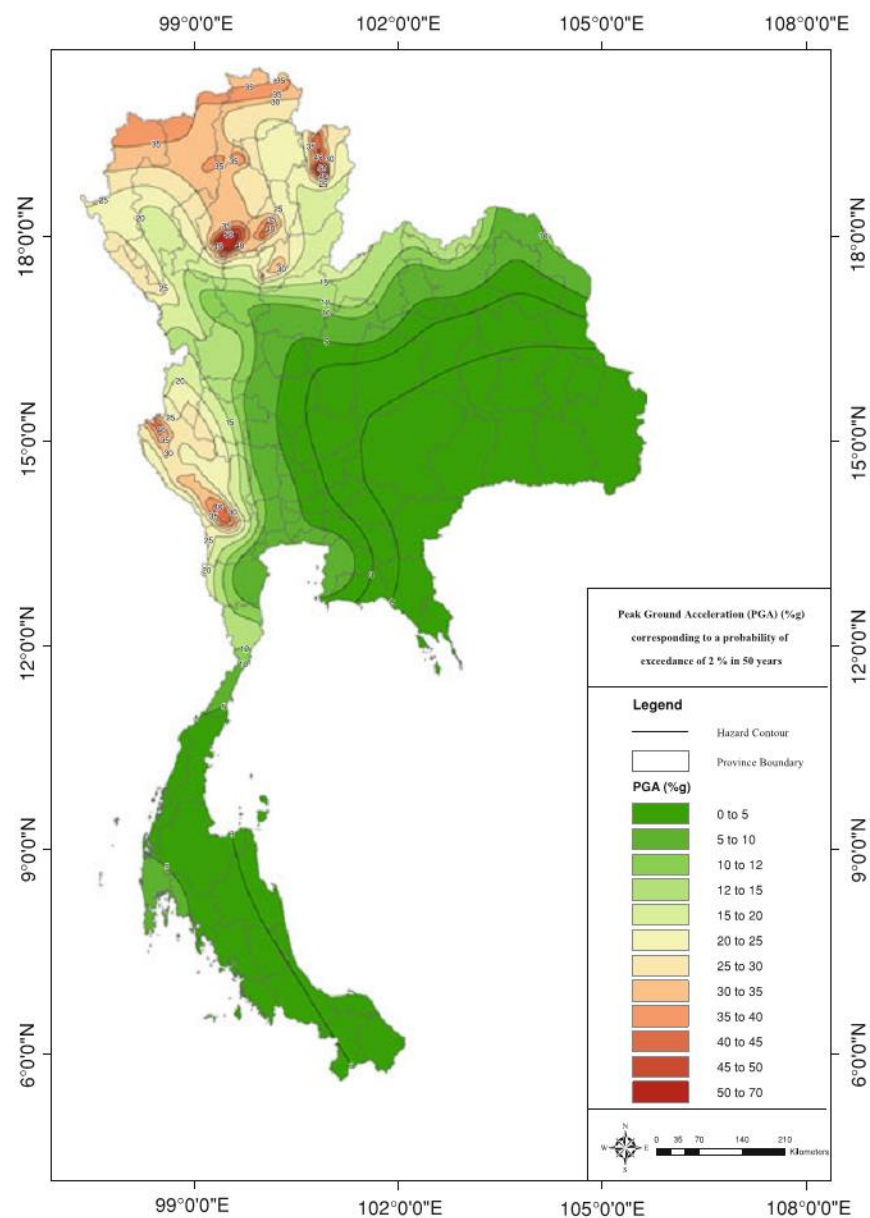
รูปที่ 1.8 เส้นเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (hazard curve) ของ (a) เชียงใหม่ (b) กรุงเทพมหานคร (c) กรุงเทพมหานคร (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]



รูปที่ 1.9 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหว (Seismic source zone) ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]

Ornthammarath และคณะ (2011)[22] ได้ประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวและจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย ดังรูปที่ 1.10 ซึ่งแผนที่เสี่ยงภัยที่น่าเสนอในครั้งนี้มาจากแหล่งข้อมูลพื้นฐานที่กว้างขวางมากขึ้น โดยใช้แบบจำลองของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 3 แบบ คือ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวแบบพื้นที่ แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากรอยเลื่อน และแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่เกิดจากการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก จากการศึกษาพบว่าพื้นที่บริเวณรอยเลื่อนในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยมีความเสี่ยงมากที่สุด โดยมีความเร่งของพื้นดินมากที่สุดมีค่าเกิน 65%g ในสภาพดินแข็งที่โอกาสความน่าจะเป็นในการเกิด 2% ใน 50 ปี และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวบริเวณกรุงเทพมหานครมาจากรอยเลื่อนที่มีพลังและเขตมุด

ตัวของเปลือกโลกซุนดา นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะแนวทางในการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น โดยการศึกษาทางธรณีวิทยาควบคู่กับการศึกษาข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตเป็นสิ่งสำคัญ และสามารถเลือกสมการทำนายแผ่นดินไหว (ground-motion prediction equations , GMPEs) ที่มีความแม่นยำมากขึ้น แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีข้อมูลเพิ่มเติมมากขึ้น



รูปที่ 1.10 แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทยสำหรับความเร่งสูงสุดของพื้นดิน ที่มีความน่าจะเป็นในการเกิด 2% ใน 50 ปี (Ornthammarath และคณะ, 2011)[22]



ภควัสน์ มินชัยนันท์ (2555)[23] ได้จัดทำฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบอาคารในประเทศไทย โดยมีการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวจากแหล่งกำเนิด ต่างๆ เพื่อคัดเลือกข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของต่างประเทศจากฐานข้อมูล แผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) ที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ ต้องการใช้ในการศึกษา และทำการคูณปรับค่าคลื่นแผ่นดินไหวตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานการ ออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1302-52[24] ให้มีความรุนแรงตาม ระดับความเสี่ยงที่กำหนด โดยใช้เขตแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวดังรูปที่ 1.9 การแยกแยะความเสี่ยงภัย แผ่นดินไหวในโซน A, N และ O ใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Youngs และคณะ (1997)[7] ส่วนแผ่นดินไหวที่ตื่นในแผ่นเปลือกโลกโซน B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W ใช้ สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Idriss (1993)[10] และสมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Sadigh และคณะ (1997)[4] จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่ง สูงสุดของพื้นดินและความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 และ 1 วินาที พบว่าแหล่งกำเนิด แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อกรุงเทพมหานคร และกาญจนบุรี คือโซน J แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ ส่งผลกระทบต่อเชียงใหม่ เชียงราย และลำพูน คือโซน E แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อ แม่ฮ่องสอน คือโซน E และ F แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อลำปางและพะเยา คือโซน E และ I แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อ่าน แพร่ และอุตรดิตถ์ คือโซน I และแหล่งกำเนิด แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อตาก คือโซน E, I และ J และพบว่าความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินที่ ใช้พิจารณาค่าความเสี่ยงภัยโดยมีโอกาที่จะเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ที่มีความสอดคล้องกับ สถานการณ์นั้นๆ จากการพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน สำหรับกรุงเทพมหานคร มีค่า  $PGA = 0.043g$  ส่วนจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี มีค่า  $PGA = 0.25g - 0.4g$

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวเกิดจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดตรงบริเวณขอบและรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก การเคลื่อนตัวดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากชั้นหินหลอมละลายที่อยู่ภายใต้เปลือกโลกได้รับพลังงานความร้อนจากแกนโลก และลอยตัวผลักดันแผ่นเปลือกโลกตอนบนตลอดเวลา ทำให้เปลือกโลกแต่ละแผ่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ กันพร้อมกับสะสมพลังงานไว้ภายในบริเวณขอบของเปลือกโลก จึงทำให้แผ่นเปลือกโลกชนกัน แยกตัวกัน หรือแยกจากกัน นอกจากนี้พลังงานที่สะสมในแผ่นเปลือกโลกถูกส่งผ่านไปยังบริเวณรอยร้าวของแผ่นหินใต้พื้นโลกหรือที่เรียกว่า รอยเลื่อน (fault) หลังจากนั้นแผ่นหินก็จะคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม พลังงานที่ปลดปล่อยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับด้วยการเคลื่อนตัวและเปลี่ยนแปลงสภาพของเนื้อหินเป็นพลังงานความร้อนบริเวณรอยเลื่อน พลังงานบางส่วนที่เหลือจะกระจายออกเป็นคลื่นแผ่นดินไหว โดยความรุนแรงของแผ่นดินไหวขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน

##### 2.1.1 การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน

ลักษณะการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ คือ การเลื่อนแบบปกติ (normal fault หรือ dip-slip fault), การเลื่อนแบบกลับทิศ (reverse fault หรือ thrust fault), การเลื่อนด้านข้าง (lateral fault หรือ strike-slip fault), การเลื่อนแบบเอียงปกติ (lateral normal fault หรือ oblique normal fault) และการเลื่อนแบบเอียงกลับทิศ (lateral reverse fault หรือ oblique reverse fault)

##### 2.1.1.1 การเลื่อนแบบปกติ

การเลื่อนแบบปกติ (normal fault หรือ dip-slip fault) เป็นลักษณะการเคลื่อนตัวไปในแนวลาดชันของรอยแตก โดยที่เปลือกแผ่นหินด้านบนมีการเคลื่อนตัวลงต่ำกว่าเปลือกแผ่นหินด้านล่าง ซึ่งการเคลื่อนตัวในลักษณะนี้เป็นไปตามแรงโน้มถ่วงโดยธรรมชาติ

### 2.1.1.2 การเลื่อนแบบกลับทิศ

การเลื่อนแบบกลับทิศ (reverse fault หรือ thrust fault) เป็นลักษณะการเลื่อนตัวไปในแนวลาดชันของรอยแตก แต่เนื่องจากเปลือกแผ่นหินด้านล่างมีการมุดตัวลงทำให้เกิดแรงผลักเปลือกแผ่นหินด้านบนให้ดันเลื่อนตัวสูงขึ้น

### 2.1.1.3 การเลื่อนด้านข้าง

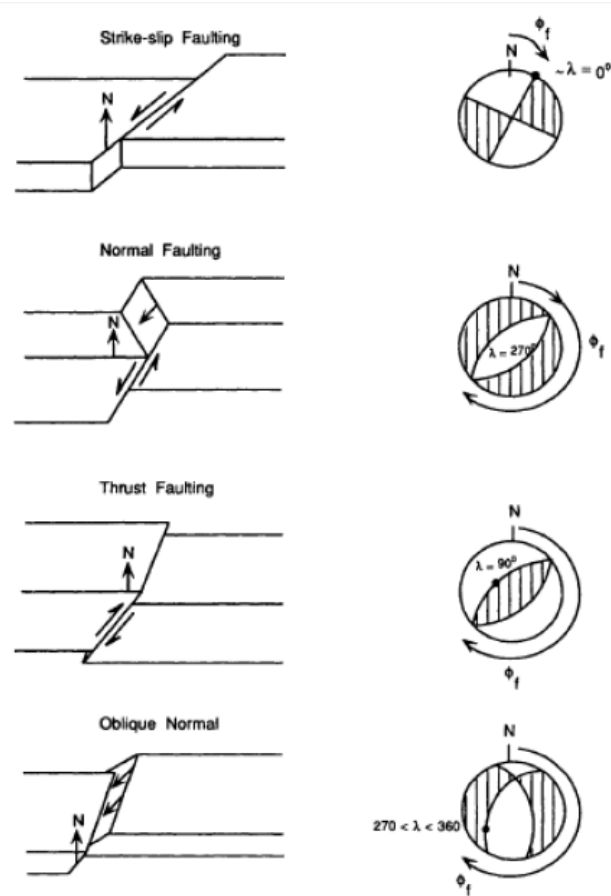
การเลื่อนด้านข้าง (lateral fault หรือ strike-slip fault) เป็นลักษณะการเลื่อนตัวไปทางด้านข้างเพียงอย่างเดียว โดยเปลือกแผ่นหินอาจเลื่อนไปทางด้านซ้ายหรือด้านขวาขึ้นอยู่กับมุมมองจากเปลือกแผ่นหินด้านใดด้านหนึ่ง

### 2.1.1.4 การเลื่อนแบบเอียงปกติ

การเลื่อนแบบเอียงปกติ (lateral normal fault หรือ oblique normal fault) เป็นลักษณะการเลื่อนตัวที่รวมทั้งแบบปกติและการเลื่อนด้านข้างเข้าด้วยกัน ทำให้เปลือกแผ่นหินส่วนบนเกิดการเลื่อนตัวโดยเอียงลงไปจากแนวเดิม

### 2.1.1.5 การเลื่อนแบบเอียงกลับทิศ

การเลื่อนแบบเอียงกลับทิศ (lateral reverse fault หรือ oblique reverse fault) เป็นลักษณะการเลื่อนตัวที่รวมทั้งการเลื่อนด้านข้างและการเลื่อนแบบกลับทิศเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดแรงผลักเปลือกแผ่นหินส่วนบนให้เอียงขึ้นไปจากแนวเดิม



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (Kramer, 1996)[25]

## 2.1.2 คลื่นแผ่นดินไหว

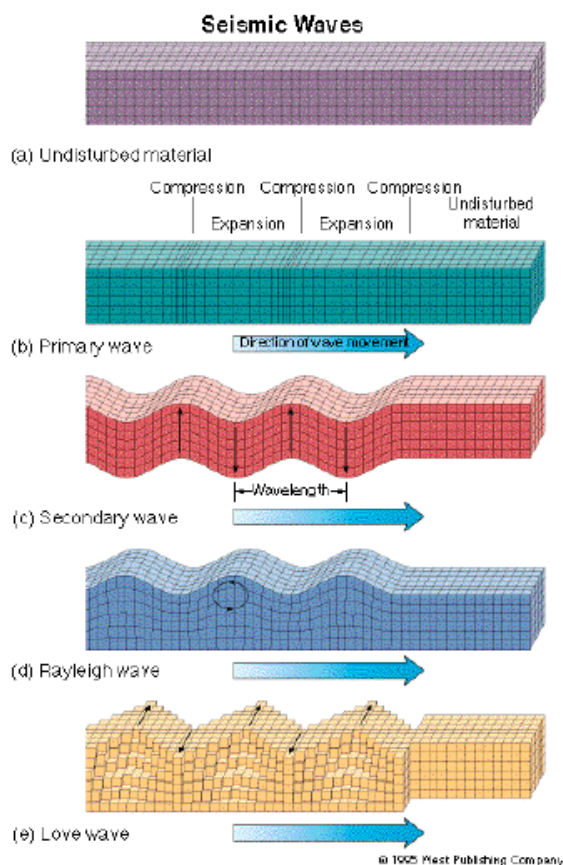
เมื่อเกิดแผ่นดินไหว จะเกิดการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนตัวอย่างกะทันหันของผิวโลก ทำให้อุณหภูมิของดินเกิดการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องกันไปเป็นแบบ 3 มิติ คือ มีการเคลื่อนตัวในแนวราบและการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง สามารถแบ่งคลื่นออกเป็น 2 ชนิด คือ

### 2.1.2.1 คลื่นในตัวกลาง (body wave)

เป็นคลื่นที่มีลักษณะแผ่เป็นวงรอบรอบจุดกำเนิด โดยประกอบด้วยคลื่นปฐมภูมิ (P-wave) ซึ่งทำให้อุณหภูมิเกิดการสั่นในแนวที่คลื่นเดินทาง และคลื่นทุติยภูมิ (S-wave) ซึ่งทำให้อุณหภูมิสั่นในทิศทางตั้งฉากกับที่คลื่นเดินทาง

### 2.1.2.2 คลื่นพื้นผิว (surface wave)

เป็นคลื่นที่มีลักษณะแผ่เหนือบริเวณจุดกำเนิด บนพื้นผิวโลก โดยแบ่งได้เป็นคลื่นเรย์เล (Rayleigh wave) ที่อนุภาคสั่นในแนวราบ มีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น และคลื่นเลฟ (Love wave) ที่อนุภาคสั่นเป็นรูปวงรี ในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 2.2 คลื่นแผ่นดินไหวประเภทต่างๆ (จาก <http://www.darylscience.com>)

### 2.1.3 ขนาดของแผ่นดินไหว (magnitude)

ขนาดของแผ่นดินไหว คือ จำนวนหรือปริมาณของพลังงานของพื้นโลกที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของการสั่นสะเทือน การหาขนาดของแผ่นดินไหวทำได้โดยการวัดค่าความสูงของคลื่นแผ่นดินไหวจากเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว มีหลายมาตราที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

### 2.1.3.1 มาตรการคลื่นท้องถิ่น (local magnitude, $M_L$ )

มาตรการคลื่นท้องถิ่น แสดงขนาดของแผ่นดินไหวในสมัยยุคเริ่มแรก บ่งบอกปริมาณของแผ่นดินไหวท้องถิ่นหรือในระยะใกล้กับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (ระยะทางน้อยกว่า 1,000 กิโลเมตร) คำนวณได้จากความสูงของคลื่นจากเครื่องมือตรวจการสั่นสะเทือนแบบวัดการขจัด (displacement) หน่วยของขนาด  $M_L$  ใช้เป็นหน่วย “มาตราริกเตอร์” ซึ่งนำเสนอโดย C.F. Richter นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน โดยนำค่าความสูงของคลื่นทุติยภูมิ (S-Waves) ที่สูงที่สุดในความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 0.1 – 1.0 วินาที มาใช้ในการคำนวณ

### 2.1.3.2 มาตรการคลื่นหลัก (body wave magnitude, $m_b$ )

มาตรการคลื่นหลัก แสดงขนาดของแผ่นดินไหวทั้งระยะใกล้และระยะไกล (ระยะทางมากกว่า 1,000 กิโลเมตร) คำนวณโดยใช้คลื่นปฐมภูมิ (P-Waves) ในความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 1.0 – 5.0 วินาที

### 2.1.3.3 มาตรการคลื่นพื้นผิว (surface wave magnitude, $M_S$ )

มาตรการคลื่นพื้นผิว แสดงขนาดของแผ่นดินไหวระยะไกลและมีขนาดใหญ่ คำนวณโดยใช้คลื่นพื้นผิวในความยาวช่วงคลื่นประมาณ 18 – 22 วินาที

### 2.1.3.4 มาตรการขนาดโมเมนต์ (moment magnitude, $M_W$ )

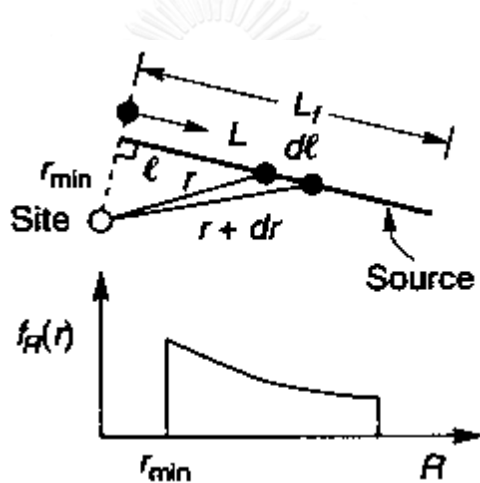
มาตรการโมเมนต์ แสดงถึงปริมาณพลังงานของคลื่นแผ่นดินไหว ใช้สำหรับกรณีแผ่นดินไหวระยะไกลที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากโมเมนต์แผ่นดินไหว (seismic moment,  $M_0$ ) โดยสามารถคำนวณได้หลายวิธีเช่น จากการสำรวจทางธรณีวิทยาเพื่อหาผลคูณของการกระจัดของรอยเลื่อนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว หรือจากการวิเคราะห์คลื่นแผ่นดินไหวซึ่งค่อนข้างซับซ้อน มาตรการขนาดโมเมนต์จึงแสดงปริมาณพลังงานของแผ่นดินไหวได้ดีกว่าขนาดชนิดอื่น

## 2.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น (probabilistic seismic hazard analysis, PSHA)

การวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น คือวิธีการประมาณโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวระดับต่างๆ ซึ่งทำให้การเคลื่อนไหวของพื้นดินมีค่าสูงที่สถานที่ที่พิจารณาในช่วงเวลาใน

อนาคต โดยผลของการวิเคราะห์จะแสดงเป็นความน่าจะเป็นที่คาดการณ์ต่อปีหรือความถี่ในการเกิดต่อปีที่คาดการณ์ วิธีนี้คิดค้นโดย Cornell (1968)[16] และพัฒนาโดย Algermissen และคณะ (1982)[26] โดยวิธีการวิเคราะห์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ (Kramer, 1996)[25]

1) เตรียมข้อมูลของแผ่นดินไหวและแหล่งกำเนิด รวมทั้งขนาดของแผ่นดินไหว เวลาที่เกิด และพิภคของแผ่นดินไหว โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นเขตตามความรุนแรงและความถี่ในการเกิดแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดพื้นที่เท่านั้นโดยไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวชนิดรอยเลื่อนซึ่งพิจารณาแหล่งกำเนิด 17 พื้นที่ ได้แก่ A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R และ W ดังแสดงในรูปที่ 1.9 ตามการศึกษาของ Palasri และ Ruangrassamee (2010) [27] และหาความน่าจะเป็นของระยะทางจากสถานีวัดถึงแหล่งกำเนิด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)[25]

จากรูปที่ 2.3 ความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวของแหล่งกำเนิดในช่วง  $l$  ถึง  $l + dl$  จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่ระยะ  $r$  ถึง  $r + dr$

$$f_L(l) dl = f_R(r) dr \quad (2.1)$$

$$f_R(r) = f_L(l) \frac{dl}{dr} \quad (2.2)$$

$$l^2 = r^2 - r_{\min}^2 \quad (2.3)$$

$$f_R(r) = \frac{r}{L_f \sqrt{r^2 - r_{\min}^2}} \quad (2.4)$$

โดย  $f_L(l)$  คือ ความน่าจะเป็นของระยะทางจากจุดที่เกิดแผ่นดินไหวถึงจุดบนแหล่งกำเนิดที่ใกล้สถานีวัดที่สุด

$f_R(r)$  คือ ความน่าจะเป็นของระยะทางจากแหล่งกำเนิดที่จะเกิดแผ่นดินไหว

$L_f$  คือ ความยาวของแหล่งกำเนิด

$l$  คือ ระยะทางจากจุดที่เกิดแผ่นดินไหวถึงจุดบนแหล่งกำเนิดที่ใกล้สถานีวัดที่สุด

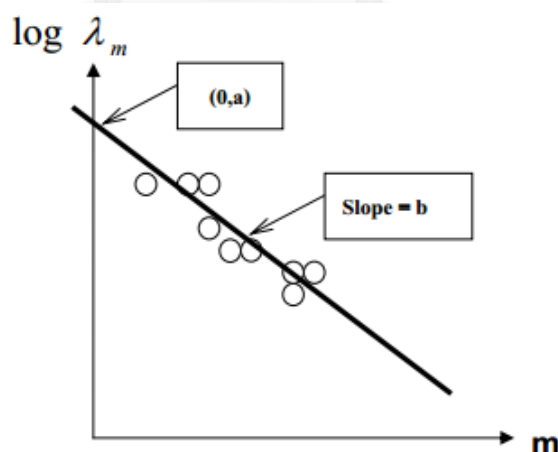
$r$  คือ ระยะทางจากสถานีวัดถึงแหล่งกำเนิด

2) หาความสัมพันธ์ในการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว (recurrence relationships) ในแต่ละเขตที่แบ่งไว้ ซึ่ง Gutenberg และ Richter (1944)[28] ได้เสนอความสัมพันธ์ไว้ดังนี้

$$\log \lambda_m = a - bm \quad (2.5)$$

โดย  $\lambda_m$  คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหว (mean of annual rate of exceedance) ที่มีขนาดมากกว่า  $m$  ใน 1 ปี

$a$  และ  $b$  คือ ค่าคงที่ โดยสามารถหาค่าได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log \lambda_m$  กับ  $m$



รูปที่ 2.4 การหาค่า  $a$  และ  $b$  จากกราฟความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดแผ่นดินไหว (Kramer, 1996)

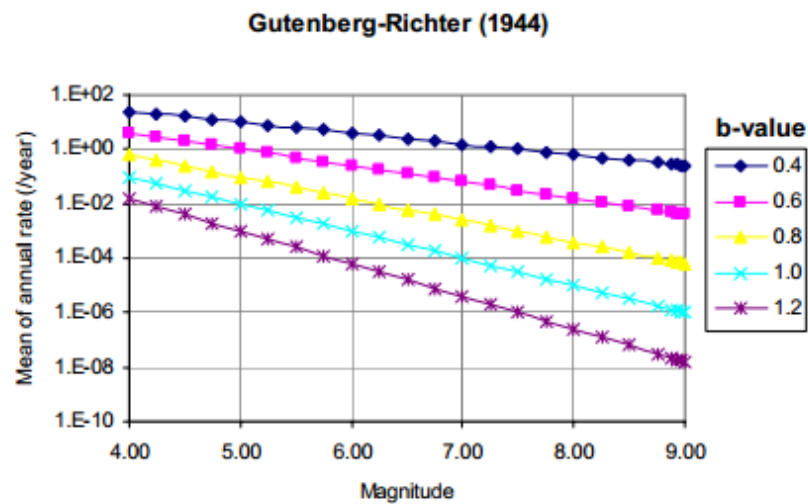
สามารถหาความน่าจะเป็นของอัตราการเกิดแผ่นดินไหวดังนี้



$$\text{จาก } \lambda_m = 10^{a-bm} = e^{\alpha-\beta m} \quad (2.6)$$

$$\text{โดย } \alpha = 2.303a \text{ และ } \beta = 2.303b \quad (2.7)$$

สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์จากสมการที่ (2.6) ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ Gutenberg-Richter (1944) โดยค่า  $a = 3$  (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]

หากกำหนดให้ขนาดของแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดเป็น  $m_0$  อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวจะเป็นไปตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990)[29] คือ

$$\lambda_m = v \exp[-\beta(m - m_0)] \quad ; m > m_0 \quad (2.8)$$

$$\text{โดย } v = \exp(\alpha - \beta m_0) \quad (2.9)$$

ผลของความน่าจะเป็นตามกฎของ Gutenberg-Richter สามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function, CDF) เป็น

$$F_M(m) = P[M < m | M > m_0] = \frac{\lambda_{m_0} - \lambda_m}{\lambda_{m_0}} = 1 - e^{-\beta(m - m_0)} \quad (2.10)$$

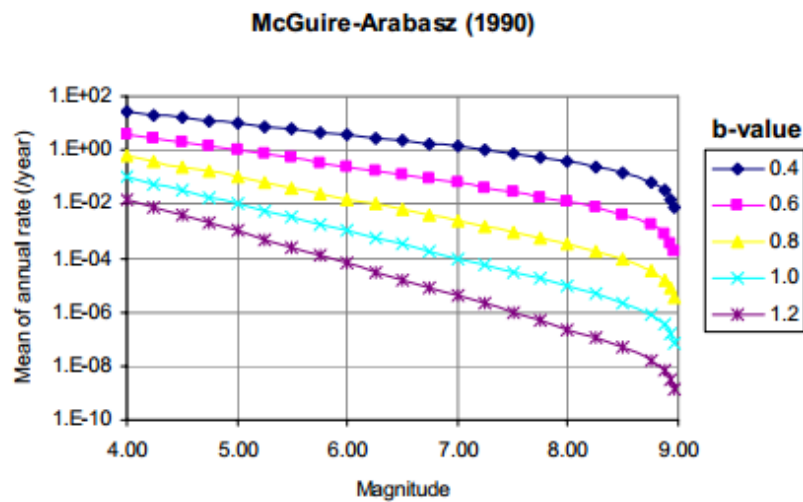
หรือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function, PDF) ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด  $m$  เป็น

$$f_M(m) = \frac{d}{dm} F_M(m) = \beta e^{-\beta(m-m_0)} \quad (2.11)$$

หรือกำหนดให้ขนาดของแผ่นดินไหวมีค่าต่ำสุดเป็น  $m_0$  และค่าสูงสุดเป็น  $m_{\max}$  อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวจะเป็นไปตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990)[29] คือ

$$\lambda_m = \nu \frac{\exp[-\beta(m-m_0)] - \exp[-\beta(m_{\max}-m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max}-m_0)]}; m_0 < m < m_{\max} \quad (2.12)$$

สามารถเขียนกราฟจากสมการที่ (2.12) ได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหวตามสมการของ McGuire และ Arabasz (1990) โดยค่า  $a = 3$  (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าสมการของ McGuire และ Arabasz (1990)[29] จะทำการปรับโค้งให้ลู่อลงตรงช่วงปลายให้ใกล้เคียงกับข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง

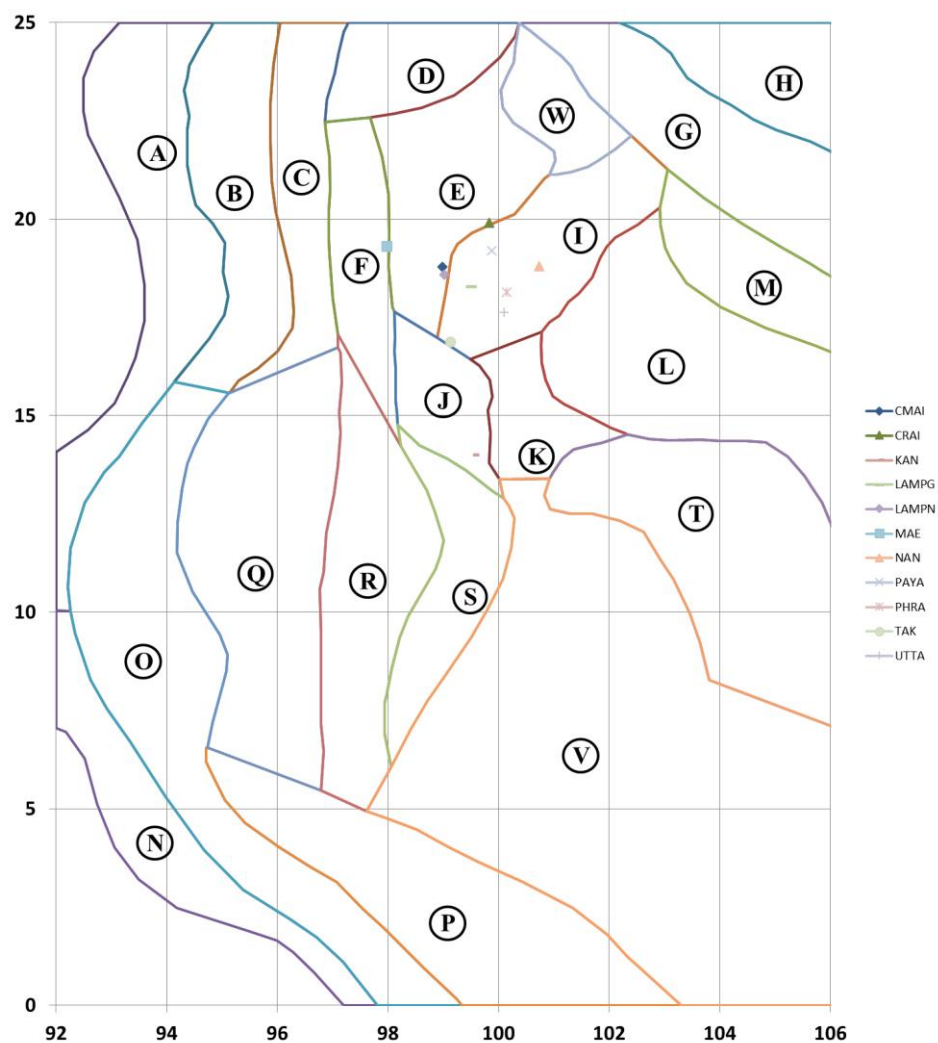
ผลของความน่าจะเป็นสามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function, CDF) เป็น

$$F_M(m) = P[M < m | m_0 < M < m_{\max}] = \frac{1 - \exp[-\beta(m-m_0)]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max}-m_0)]} \quad (2.13)$$

และฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function, PDF) ของการเกิดแผ่นดินไหวขนาด  $m$  เป็น

$$f_M(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_0)]}{1 - \beta \exp[-\beta(m_{\max} - m_0)]} \quad (2.14)$$

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาตาม Palasri และ Ruangrassamee (2010)[27] ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น โดยพิจารณาแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวเพียง 17 บริเวณ คือ โซน A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, M, N, O, P, Q, R, และ W ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และตารางที่ 2.1 โดยสมมุติว่าไม่มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวในโซน K, L, S, T, U และ V เนื่องจากโซนดังกล่าวมีข้อมูลเหตุการณ์แผ่นดินไหวน้อยหรือเป็นศูนย์



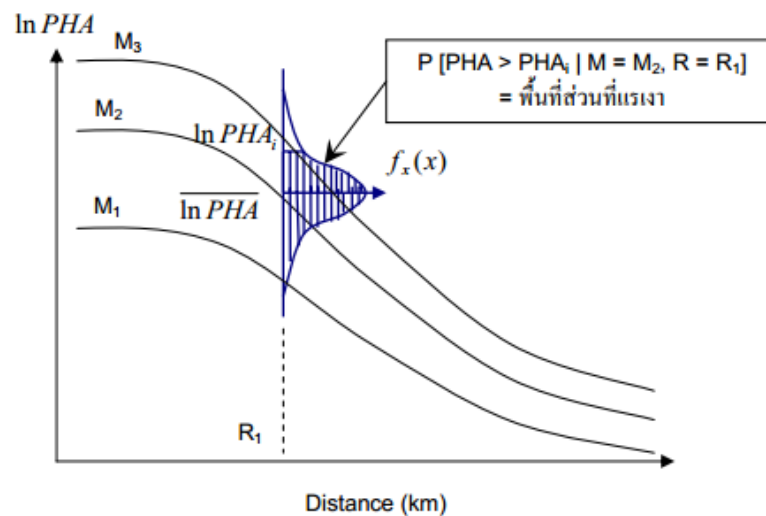
รูปที่ 2.7 แผนที่เขตกำเนิดแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)[27]

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวในแต่ละแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)[27]

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

หมายเหตุ \*อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหวโซน I ในการการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที เนื่องจากอัตราการเกิดซ้ำทำให้แผ่นดินไหวขนาดเล็กมีโอกาสเกิดสูง จึงต้องปรับแก้ค่าโดย ค่า a=3.331 และ b=0.725 (จิตติ ปาลศรี, 2012)[30]

3) หาค่าความเร่งในแนวราบสูงสุด (peak horizontal acceleration, PHA) จากแบบจำลองการลดทอนของแผ่นดินไหว (attenuation model) ซึ่งในแต่ละแบบจำลองการลดทอนแผ่นดินไหวจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นจึงต้องหาค่าความน่าจะเป็นตามวิธีการทางสถิติแบบการแจกแจงปกติ (normal distribution) เพื่อนำความน่าจะเป็นที่ได้ไปรวมกับกรณีต่างๆ



รูปที่ 2.8 การหาความน่าจะเป็นเนื่องจากสมการลดทอนแผ่นดินไหวที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด PHA<sub>i</sub> จากแผ่นดินไหวขนาด M<sub>2</sub> ที่ระยะ R<sub>1</sub> (จิตติ ปาลศรี, 2549)[21]

ค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (normal distribution) ที่ตำแหน่ง  $\ln x$  ของข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $\overline{\ln x}$  และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $\sigma_x$  หรือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function, PDF) เป็นไปตามสมการ

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad (2.15)$$

4) นำค่าความน่าจะเป็นของแต่ละขั้นตอน (ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3) มารวมกัน จะได้ค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะเกิดความเร่งในแนวราบสูงสุด ในบริเวณต่างๆ ในรอบการเกิดแผ่นดินไหวที่กำหนด เป็นไปตามสมการ

$$\lambda_{y^*} \approx \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{j=1}^{N_M} \sum_{k=1}^{N_R} v_i P[Y > y^* | m_j, r_k] P[M = m_j] P[R = r_k] \quad (2.16)$$

โดย  $\lambda_{y^*}$  คือ อัตราการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้มีความรุนแรงเกินระดับที่พิจารณา โดยคำนึงถึงผลกระทบจากแหล่งกำเนิดต่างๆ มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อปี

$P[Y > y^* | m_j, r_k]$  คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ความเร่งสูงสุดของพื้นดินมีค่าเกินระดับที่พิจารณาโดยใช้สมการลดทอนแผ่นดินไหว เมื่อกำหนดขนาดและระยะทาง

$\nu_i P[M = m_j]$  คือ อัตราการเกิดซ้ำของแผ่นดินไหว

$P[R = r_k]$  คือ ความน่าจะเป็นของระยะทาง

จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นสามารถสร้างเส้นกราฟเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (seismic hazard curves) ที่เหมือนกันกับขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีการคำนวณความจะเป็น ข้อดีของวิธีการวิเคราะห์คือสามารถดูบันทึกทั้งหมดและเห็นจุดที่มีความเสี่ยงจากขั้นตอนต่างๆ ทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ

### 2.3 สเปกตรัมความเสี่ยงสม่ำเสมอ (uniform hazard spectrum, UHS)

สเปกตรัมความเสี่ยงสม่ำเสมอ เป็นสเปกตรัมที่ได้มาจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น ในการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวนิยมใช้วิธีความน่าจะเป็นมากกว่าวิธีการเชิงกำหนด แนวคิดของสเปกตรัมความเสี่ยงสม่ำเสมอจึงเป็นที่แพร่หลายและพบได้ในการทำวิจัย สเปกตรัมความเสี่ยงสม่ำเสมอสามารถคำนวณหรือพัฒนาจากเส้นกราฟเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (seismic hazard curves) ซึ่งจะทำโดยใช้เส้นกราฟเสี่ยงภัย (ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งสเปกตรัมกับโอกาสความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวที่จะเกินค่าที่ยอมรับ) สำหรับคาบการสั่นต่างๆเพื่อสร้างสเปกตรัมการตอบสนอง ดังนั้นเมื่อกำหนดโอกาสความน่าจะเป็นของการเกิดแผ่นดินไหวหรือคาบเวลาการเกิด จะได้พิกัดของเส้นกราฟเสี่ยงภัยสำหรับความเร่งสเปกตรัม และสามารถสร้างสเปกตรัมการตอบสนองที่มีความเสี่ยงที่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.9a ซึ่งสเปกตรัมเส้นสีน้ำเงินคือสเปกตรัมความเสี่ยงสม่ำเสมอที่ความเร่งสเปกตรัมมีโอกาสเกิด 2% ในรอบ 50 ปี หรือประมาณ 2475 ปี

## 2.4 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum, CMS)

สเปกตรัมของค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข คือ สเปกตรัมการตอบสนองที่ให้ค่าเฉลี่ยของความเร่งสเปกตรัมจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว โดยมีเงื่อนไขในการเกิดค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นที่พิจารณา ซึ่งเป็นสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง เป็นเครื่องมือในการเลือกคลื่นแผ่นดินไหวที่จะนำมาวิเคราะห์โครงสร้างดีกว่าสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมมติ (UHS) เนื่องจากสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมมติเป็นการรวมความเร่งสเปกตรัมที่มีโอกาสในการเกิดที่เท่ากันที่คาบการสั่นไหวต่างๆ ทำให้ความเร่งสเปกตรัมมีค่าสูงตลอดคาบการสั่นไหว และมีรูปร่างของสเปกตรัมไม่เหมือนสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง (Baker, 2011)[31]

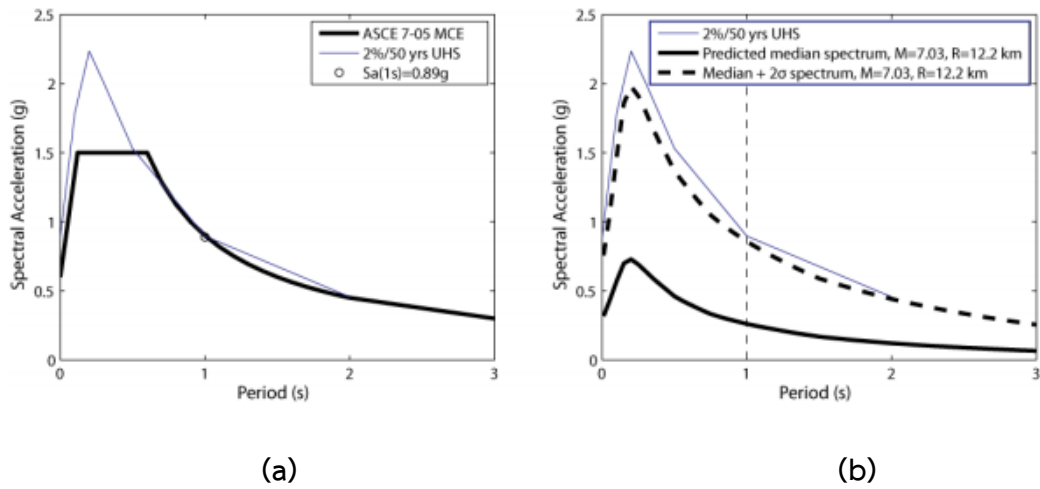
### 2.4.1 ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ )

รูปที่ 2.9a แสดงเส้นสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมมติที่ความเร่งสเปกตรัมมีโอกาสเกิน 2% ในช่วงเวลา 50 ปี และเส้นสเปกตรัม MCE (Maximum Considered Earthquake) สำหรับการออกแบบจากมาตรฐาน ASCE 7-05 ของริเวอร์ไซด์ แคลิฟอร์เนีย โดยในที่นี้พิจารณาที่คาบการสั่นไหวที่ 1 วินาที มีค่าความเร่งสเปกตรัมประมาณ 0.89g รูปที่ 2.10 แสดงการแยกแยะความเสี่ยงของขนาด(magnitude, M) ระยะทาง(distance, R) และส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ของความเร่งสเปกตรัม 0.89g โดยในรูปที่ 2.9a ค่าเฉลี่ยของขนาดเท่ากับ 7.03 ค่าเฉลี่ยของระยะทางเท่ากับ 12.2 กิโลเมตร และค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) เท่ากับ 2.02 ค่าเหล่านี้สามารถเขียนเป็นสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 2.8b (คำนวณโดยใช้สมการ Abrahamson and Silva 1997) จะเห็นได้ว่า ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีนี้มีค่าความเร่งสเปกตรัมน้อยกว่า 0.89g โดยความต่างนี้บอกจำนวนของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) คือ ค่าเบี่ยงเบนซึ่งได้มาจากลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมที่ต่างจากลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมของขนาดและระยะทาง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

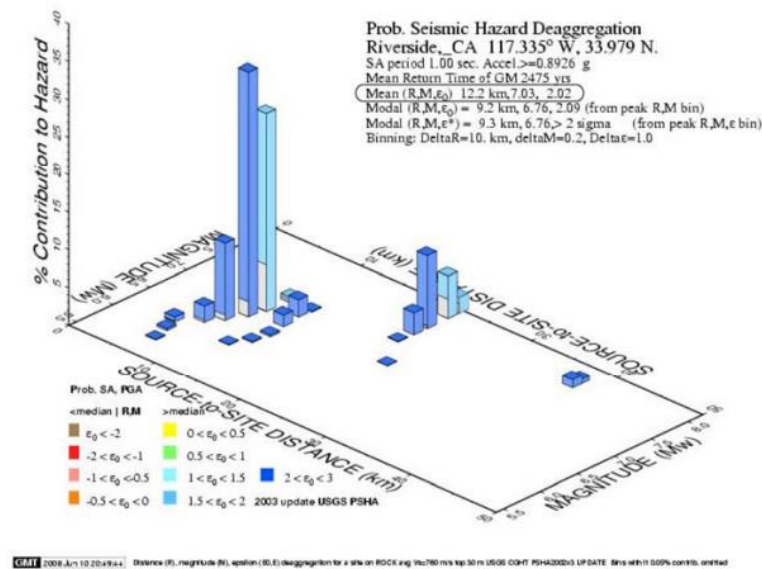
$$\mathcal{E}(T) = \frac{\ln Sa(T) - \mu_{\ln Sa}(M, R, T)}{\sigma_{\ln Sa}(T)} \quad (2.17)$$

โดย  $\mu_{\ln Sa}(M, R, T)$  และ  $\sigma_{\ln Sa}(T)$  คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวที่พิจารณา ตามลำดับ โดยตัวแปรสองตัวนี้สามารถคำนวณโดยใช้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว (สมการลดทอนแผ่นดินไหว)

และ  $\ln Sa(T)$  คือ ลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมที่พิจารณา



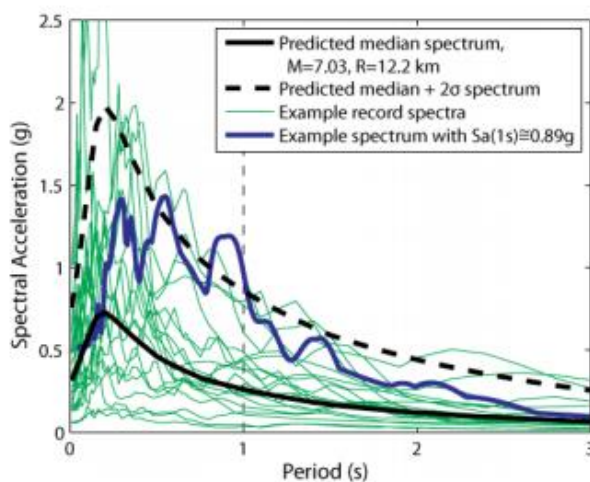
รูปที่ 2.9 (a) สเปกตรัม MCE จากมาตรฐานการออกแบบและสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอของ ริเวอร์ไซด์ แคลิฟอร์เนีย (Baker, 2011)[31]  
 (b) สเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอของริเวอร์ไซด์กับสเปกตรัมค่ามัธยฐาน และสเปกตรัมค่ามัธยฐานรวมกับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.03 และระยะทางเท่ากับ 12.2 กิโลเมตร (Baker, 2011)[31]



รูปที่ 2.10 การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของริเวอร์ไซด์ โดย  $Sa(1s) > 0.89g$  Emphasis on mean deaggregation values added (Baker, 2011)[31]



จากรูปที่ 2.9b สเปกตรัมค่ามัธยฐานรวมกับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\text{median}+2\sigma$ ) จะมีค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที ประมาณ 0.89g เท่ากับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอที่ความเร่งสเปกตรัมมีโอกาสเกิน 2% ในช่วงเวลา 50 ปี



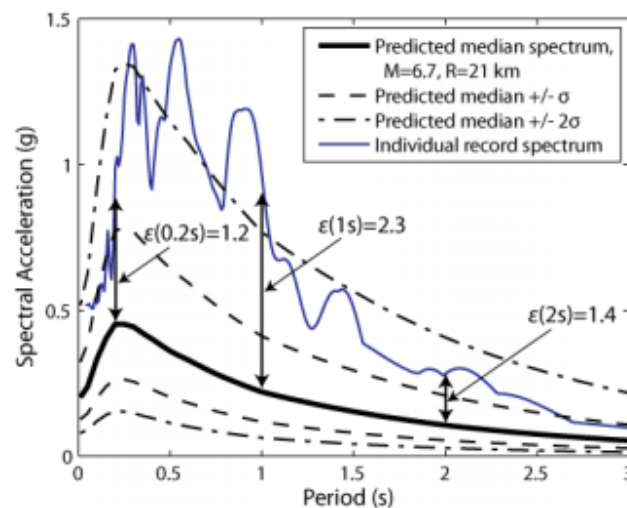
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมการตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหว 20 คลื่น ซึ่งมีขนาดประมาณ 7 และระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร ตัวอย่างสเปกตรัมที่เป็นเส้นทึบของ Castaic Old Ridge Route โดยมีขนาดเท่ากับ 6 ชั้นดินประเภท C ระยะทาง 20 กิโลเมตร (Baker, 2011)[31]

จากรูปที่ 2.11 สเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวจริงจำนวน 20 คลื่น ซึ่งมีขนาดประมาณ 7 และระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร ( $6.7 < M < 7.1$ ,  $5 \text{ km} < R < 21 \text{ km}$ ) ซึ่งสเปกตรัมเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมค่ามัธยฐานที่คำนวณได้ เส้นสเปกตรัมของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงเส้นหนึ่ง (เส้นทึบ) มีค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที ประมาณ 0.89g และมีส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ประมาณ 2 ในขณะที่คาบการสั่นไหวอื่นๆ ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) มีค่าน้อยกว่าคาบการสั่นนี้ แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ (ที่มี  $\text{median}+2\sigma$ ) ไม่เป็นตัวแทนของคลื่นแผ่นดินไหว แต่ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าในหลายๆกรณี (Baker and Cornell, 2005[32] และ Baker and Cornell, 2006[33])

#### 2.4.2 ลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวจริง

พิจารณาตัวอย่างสเปกตรัมในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดง สเปกตรัมค่ามัธยฐานสำหรับแผ่นดินไหวที่ทราบขนาดและระยะทาง (รูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 มีความแตกต่างกันเล็กน้อย รูปที่ 2.11 แสดงสเปกตรัมค่ามัธยฐานสำหรับแผ่นดินไหวที่ทราบขนาดและระยะทาง รูปที่

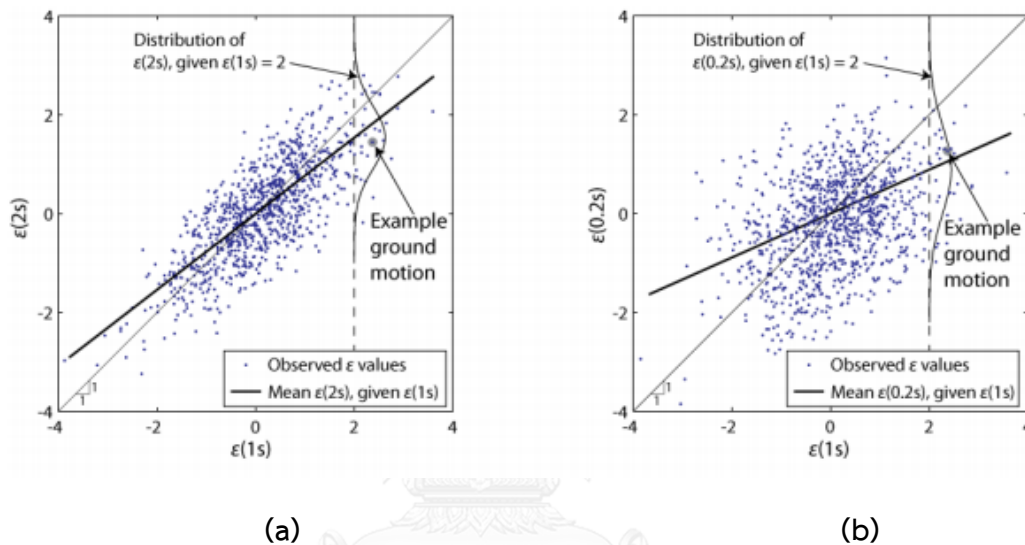
2.12 แสดงสเปกตรัมค่ามัธยฐานสำหรับขนาดและระยะทางของตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหว โดยมีการคำนวณส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) โดยคำนวณจากสมการที่ 2.17 ซึ่งได้ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวที่คาบการสั่นไหวที่พิจารณาเป็นค่าความต่างของค่าลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหวกับค่าลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมมัธยฐาน ในรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวมีค่ามากกว่าสเปกตรัมค่ามัธยฐานรวมกับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีอยู่เล็กน้อย ซึ่งมีส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีเท่ากับ 2.3 ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหวอื่นๆได้ ในที่นี้คำนวณส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที 2 วินาที ได้ 1.2 และ 1.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ Castaic Old Ridge Route โดยคำนวณค่า  $\mathcal{E}$  ที่คาบการสั่น 3 คาบ (Baker, 2011)[31]

การศึกษาข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มาจากฐานข้อมูลของ NGA (Chiou และคณะ, 2008[34]) โดยแต่ละจุดในรูปที่ 2.13a บอกถึงส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีและ 2 วินาทีที่ได้จากคลื่นแผ่นดินไหว โดยมีค่า 2.3 และ 1.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นจุดที่เน้นไว้ในรูปเพื่อแสดงตำแหน่งของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ของคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง จะเห็นได้ว่าส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีและ 2 วินาที มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ที่มีค่ามาก ( $\rho = 0.75$ ) ในรูปที่ 2.13b แสดงข้อมูลที่คล้ายกันสำหรับส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีและ 0.2 วินาที แสดงให้เห็นว่าส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ทั้งสองคาบการสั่นไหวมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่น้อยกว่าข้อมูลของรูปที่ 2.13a ( $\rho = 0.44$ )

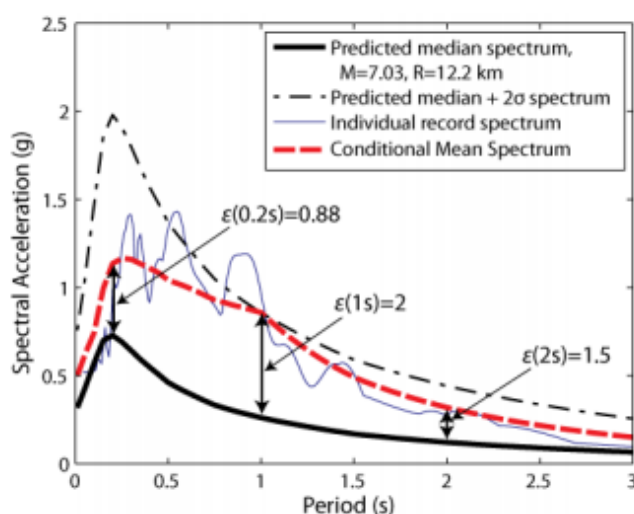
สำหรับตัวอย่างข้างต้น การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวแสดงให้เห็นว่าส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที มีค่าประมาณ 2 และสามารถใช้อัตราส่วนของรูปที่ 2.13 ในการคำนวณการกระจายตัวของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที เทียบกับคาบการสั่น 1 วินาทีได้จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที มีค่าเท่ากับ 2 ส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีและ 1 วินาที มีแนวโน้มที่จะมีค่าน้อยกว่า 2 แต่มากกว่า 0



รูปที่ 2.13 การกระจายตัวของค่า  $\mathcal{E}$  จากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ระหว่าง (a)  $\mathcal{E}(1s)$  กับ  $\mathcal{E}(2s)$   
(b)  $\mathcal{E}(1s)$  กับ  $\mathcal{E}(0.2s)$  (Baker, 2011)[31]

ในการสร้างสเปกตรัมจากข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นต่างๆ เมื่อทราบส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ของคาบการสั่นไหวที่พิจารณา โดยการคำนวณความน่าจะเป็นของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหวอื่นๆ โดยคูณกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในรูปที่ 2.13a และ 2.13b มีค่า 0.75 และ 0.44 ตามลำดับ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที จะมีค่า  $0.75 \times \mathcal{E}(1s) = 1.5$  และค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีจะมีค่า  $0.44 \times \mathcal{E}(1s) = 0.88$  ค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) นี้เป็นค่าที่แปรผันกับส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที คือเส้นทึบที่แสดงในรูปที่ 2.12 สามารถใช้ในการคำนวณความเร่งสเปกตรัมของคาบการสั่นไหวทั้งสองคาบโดยการแก้สมการที่ 2.16 และสามารถคำนวณได้ทุกคาบการสั่นไหว เพื่อสร้างสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 2.14 สเปกตรัมนี้มีจุดสูงสุดใกล้กับคาบการสั่นที่ 1 วินาทีเนื่องจากส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง

เมื่อใกล้กับคาบการสั่นไหวที่พิจารณาและลดลงไปสู่สเปกตรัมค่ามัธยฐานที่คาบการสั่นไหวที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลง สเปกตรัมที่สอดคล้องกับสเปกตรัมของตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวนี้ที่มีขนาด ระยะทาง และความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่น 1 วินาที คือ สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข ซึ่งประกอบไปด้วยสเปกตรัมค่ามัธยฐานที่คาบการสั่นไหวต่างๆ และเงื่อนไขของค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหวนั้น



รูปที่ 2.14 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่คาบการสั่นต่างๆ โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที และตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่ Castaic Old Ridge Route (Baker, 2011)[31]

### 2.4.3 ขั้นตอนการคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

สำหรับการคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum) สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

#### 2.4.3.1 กำหนดค่าความเร่งสเปกตรัม ( $S_a$ ) ที่พิจารณา และหาค่าเฉลี่ยของขนาด ( $M$ ) ระยะทาง ( $R$ ) และส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

สำหรับขั้นตอนนี้ กำหนดค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวที่พิจารณา ( $T^*$ ) โดยส่วนใหญ่ นิยมใช้เท่ากับโหมดการสั่นที่หนึ่ง (first mode period) ของโครงสร้าง หรืออาจกำหนดเป็นช่วงเวลา ดังนั้นจากตัวอย่างข้างต้น คาบการสั่นไหวที่พิจารณาคือ 1 วินาที นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องกำหนดขนาด ( $M$ ) ระยะทาง ( $R$ ) และส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่เกี่ยวข้องกับความเร่งสเปกตรัมที่พิจารณา โดยถ้าความเร่งสเปกตรัมนั้นได้มาจากวิธีวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น (PSHA)

แล้ว ขนาด (M) ระยะทาง (R) และส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) สามารถใช้ค่าเฉลี่ยจากวิธีการแยกแยะความเสี่ยงภัย (deaggregation) ในการคำนวณได้ โดยส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) คือค่าเบี่ยงเบนที่ทำให้ความเร่งสเปกตรัมมีค่ามากกว่าความเร่งสเปกตรัมค่ามัธยฐานของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีขนาด (M) ระยะทาง (R)

#### 2.4.3.2 คำนวณสเปกตรัมค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีขนาด (M) ระยะทาง (R) จากสมการลดทอนแผ่นดินไหว

ขั้นตอนต่อมาคือการคำนวณสเปกตรัมค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีขนาด (M) ระยะทาง (R) แบบ log scale

$$\mu_{\ln Sa}(M, R, T) \quad (2.18)$$

$$\sigma_{\ln Sa}(T) \quad (2.19)$$

โดย  $\mu_{\ln Sa}(M, R, T)$  และ  $\sigma_{\ln Sa}(T)$  คือ ค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวที่พิจารณา ตามลำดับ โดยตัวแปรสองตัวนี้สามารถคำนวณโดยใช้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว (สมการลดทอนแผ่นดินไหว)

#### 2.4.3.3 คำนวณค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหวต่างๆ

ในขั้นตอนนี้ค่าเฉลี่ยของเงื่อนไข (conditional mean) ที่แสดงในรูปที่ 2.13 ที่คาบการสั่นไหวต่างๆ สามารถคำนวณได้โดยนำส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ ) ที่คาบการสั่นไหวที่พิจารณาคู่ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสองคาบการสั่นไหวนั้น

$$\mu_{\mathcal{E}(T_i)|\mathcal{E}(T^*)} = \rho(T_i, T^*) \mathcal{E}(T^*) \quad (2.20)$$

โดย  $\mu_{\mathcal{E}(T_i)|\mathcal{E}(T^*)}$  คือค่าเฉลี่ยของ  $\mathcal{E}(T_i)$  เมื่อทราบค่า  $\mathcal{E}(T^*)$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $\rho(T_i, T^*)$  จากการศึกษาสามารถใช้สมการการทำนาย สำหรับคาบการสั่น 0.05 วินาทีถึง 5 วินาที ดังสมการ

$$\rho(T_{\min}, T_{\max}) = 1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \left(0.359 + 0.163I_{(T_{\min} < 0.189)} \ln \frac{T_{\min}}{0.189}\right) \ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}\right) \quad (2.21)$$

โดย  $I_{(T_{\min} < 0.189)}$  คือฟังก์ชันตัวชี้วัด มีค่าเท่ากับ 1 ถ้า  $T_{\min} < 0.189$  s และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

โดย  $T_{\min}$  และ  $T_{\max}$  คือค่าน้อยและค่ามากของสองคาบการสั่นที่สนใจตามลำดับ

#### 2.4.3.4 คำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

สามารถคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขโดยใช้สเปกตรัมค่ามัธยฐานและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากขั้นตอนที่ 2 และค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean) จากขั้นตอนที่ 3 โดยแทนค่าค่าเฉลี่ย  $\varepsilon(T_i)$  ที่ได้จากสมการที่ 2.20 ลงในสมการที่ 2.17 และแก้สมการหาค่า  $\ln Sa(T)$  ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยเงื่อนไขของ  $\ln Sa(T_i)$  เมื่อทราบค่า  $\ln Sa(T^*)$

$$\mu_{\ln Sa(T_i) | \ln Sa(T^*)} = \mu_{\ln Sa}(M, R, T_i) + \rho(T_i, T^*) \varepsilon(T^*) \sigma_{\ln Sa}(T_i) \quad (2.22)$$

โดย  $\mu_{\ln Sa}(M, R, T_i)$  และ  $\sigma_{\ln Sa}(T_i)$  ได้จากสมการที่ 2.18 และสมการที่ 2.19  $\rho(T_i, T^*)$  ได้จากสมการที่ 2.21 โดยค่าเอกซ์โพเนนเชียลของ  $\mu_{\ln Sa(T_i) | \ln Sa(T^*)}$  นี้ให้ค่าสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13

สรุปได้ว่าการคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข ต้องมีแบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวและผลของ PSHA และสองสมการเพิ่มเติม (สมการที่ 2.21 และ 2.22) ในขั้นตอนที่ 2.4.3.2

#### 2.4.4 การเลือกคลื่นแผ่นดินไหว

เมื่อทราบลักษณะเหตุการณ์จากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวและคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขได้แล้ว สามารถเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสำหรับวิเคราะห์โครงสร้าง โดยสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขจะบ่งบอกค่าเฉลี่ยของรูปร่างสเปกตรัมที่สัมพันธ์กับความเร่งสเปกตรัมที่สนใจ ดังนั้นคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับรูปร่างสเปกตรัมนี้สามารถใช้เป็นตัวแทนคลื่นแผ่นดินไหวได้

สำหรับการหาคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขนั้น ต้องระบุขอบเขตของคาบการสั่นในช่วงที่ต้องการให้สเปกตรัมสอดคล้อง ซึ่งช่วงของคาบการสั่นนี้อาจจะรวมคาบการสั่นของโหมดการสั่นที่สูง (ในโครงข้อแข็ง  $T_2 \cong T_1 / 3$  และ  $T_3 \cong T_1 / 5$ ,  $T_i$  คือคาบการสั่นของโหมดการสั่นที่ i) เช่นเดียวกับคาบการสั่นที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างที่มีพฤติกรรมแบบไม่เป็นไม่เชิง

เส้นที่โหมดการสั่นที่ 1 โดยช่วงของคาบการสั่น  $0.2T_1$  ถึง  $2T_1$  จะมีประสิทธิผลสำหรับตึกสูงปานกลาง ซึ่งช่วงของคาบการสั่นนี้มีความใกล้เคียงกับช่วงของคาบการสั่นที่ ASCE 7-05 แนะนำ ( $0.2T_1$  ถึง  $1.5T_1$ ) แต่การศึกษาในเชิงสถิติระบุว่าโครงสร้างที่มีพฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้นจะมีความอ่อนไหวกับสเปกตรัมการตอบสนองที่คาบการสั่นไวกว่า  $1.5T_1$  (Baker และ Cornell, 2008[35]; Cordova และคณะ, 2001[36]; Haselton และ Baker, 2006[37]; Vamvatsikos และ Cornell, 2005[38])

#### 2.4.5 การวัดความสอดคล้องของสเปกตรัม

เมื่อระบุช่วงของคาบการสั่นที่สนใจได้แล้ว สามารถพิจารณาคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยมีเกณฑ์การพิจารณาสำหรับคำนวณความใกล้เคียงโดยใช้วิธีผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (sum of squared errors) ระหว่างลอการิทึมของสเปกตรัมคลื่นแผ่นดินไหวกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข ดังสมการ

$$SSE = \sum_{j=1}^n (\ln Sa(T_j) - \ln Sa_{CMS}(T_j))^2 \quad (2.23)$$

โดย  $\ln Sa(T_j)$  คือ ลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่คาบการสั่น  $T_j$  และ  $\ln Sa_{CMS}(T_j)$  คือ ลอการิทึมของความเร่งสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่คาบการสั่น  $T_j$  จากสมการที่ 2.22 ซึ่งคาบการสั่น  $T_j$  ควรครอบคลุมช่วงของคาบการสั่นประสิทธิผล จากการศึกษาก่อนหน้านี้ แนะนำให้ใช้คาบการสั่นจำนวน 50 คาบ ( $50 T_j$ ) ตัวอย่างเช่นถ้าพิจารณาคาบการสั่นที่  $0.2T_1$  ถึง  $2T_1$  ในสมการที่ 2.23 ควรพิจารณาลำดับของความเร่งอย่างน้อยที่สุด 50 คาบในช่วงคาบการสั่นนี้

การเลือกคลื่นแผ่นดินไหวสามารถใช้สมการที่ 2.23 ในการประเมินผลได้ โดยคลื่นที่มีค่าผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดจะถูกนำไปใช้ วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถ้ามีการสเกลคลื่น โดยการสเกลสามารถใช้ในการสร้างความเร่งสเปกตรัมโดยมีค่าประมาณกับความเร่งสเปกตรัมเป้าหมาย และใช้สมการที่ 2.23 ในการพิจารณาคลื่นแผ่นดินไหวที่สเกลว่ามีความใกล้เคียงหรือสอดคล้องกับสเปกตรัมเป้าหมาย ในกรณีนี้ค่าความเร่งสเปกตรัม  $Sa(T_j)$  ในสมการที่ 2.23 จะ เป็นความเร่งสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่สเกลที่คาบการสั่น  $T_j$

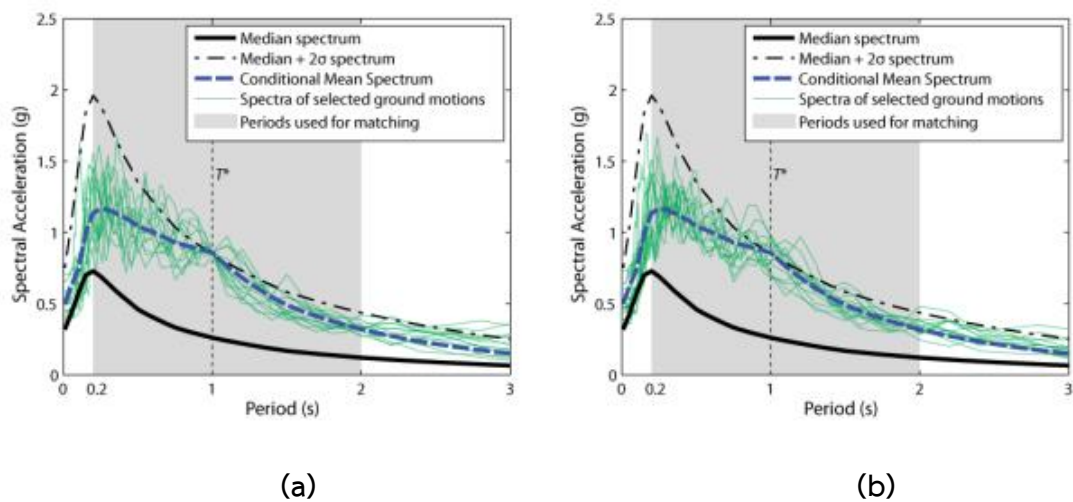
ตัวคูณปรับค่า (scaling factor) นี้ใช้อัตราส่วนระหว่าง  $Sa_{CMS}(T^*)$  และ  $Sa(T^*)$  ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ยังไม่ได้สเกล ดังสมการนี้

$$\text{scaling factor} = \frac{Sa_{CMS}(T^*)}{Sa(T^*)} \quad (2.24)$$

วิธีการนี้ยังสามารถใช้การสเกลคลื่นแผ่นดินไหวตลอดทั้งคาบการสั่นของคลื่นแผ่นดินไหวที่พิจารณา ดังสมการนี้

$$\text{scaling factor} = \frac{\sum_{j=1}^n Sa_{CMS}(T^*)}{\sum_{j=1}^n Sa(T^*)} \quad (2.25)$$

ตัวอย่างคลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่พิจารณา โดยใช้การสเกลทั้งสองวิธี โดยรูปที่ 2.15a และ 2.15b แสดงคลื่นแผ่นดินไหวหลังจากสเกลโดยใช้สมการที่ 2.24 และสมการที่ 2.25 ตามลำดับ รูปที่ 2.15a แสดงเส้นสเปกตรัมที่มีลักษณะบังคับที่คาบการสั่น  $T^*$  เพราะเป็นการสเกลที่ตำแหน่งนั้น แต่อย่างไรก็ตามสเปกตรัมทั้งสองรูปนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างได้ การสเกลโดยใช้สมการที่ 2.23 ง่ายต่อการคำนวณมากกว่าโดยให้คลื่นแผ่นดินไหวที่สอดคล้องอย่างถูกต้องกับ  $Sa(T^*)$  ที่พิจารณา และไม่ลดระดับความสำคัญที่คาบการสั่นอื่นๆ ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่แนะนำ



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของ Riverside ( $T^* = 1$  วินาที)

และสเปกตรัมการตอบสนองของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้อง (Baker, 2011)[31]

(a) คลื่นแผ่นดินไหวหลังจากการสเกลให้มีความสอดคล้องกับ  $Sa(T^*)$

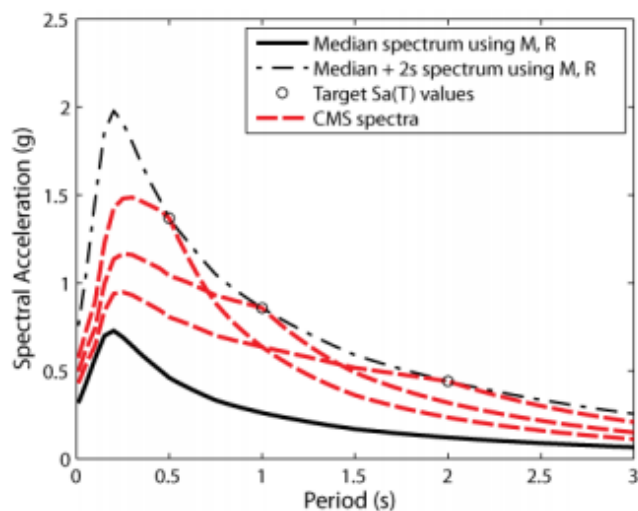
(b) คลื่นแผ่นดินไหวหลังจากการสเกลให้มีความสอดคล้องสเปกตรัมเป้าหมายบนช่วงของคาบการสั่นที่สนใจ



จากการศึกษาและทดลองวิเคราะห์โครงสร้าง คลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกและสเกลให้สอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง สามารถเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนที่ของโครงสร้างจากคลื่นแผ่นดินไหวที่ไม่ได้สเกลหรือคลื่นแผ่นดินไหวที่สเกลโดยใช้วิธีอื่นๆ (Baker และ Cornell, 2005[39]; Goulet และคณะ, 2008[40]; Luco และ Bazzurro, 2007[41]) สามารถสรุปได้ว่า วิธีการสเกลคลื่นแผ่นดินไหวนี้สามารถใช้ได้และไม่ส่งผลกระทบต่อ การตอบสนองของโครงสร้าง

#### 2.4.6 การพิจารณาคาบการสั่นไหว

ขั้นตอนในการสร้างสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข เริ่มจากการออกแบบความเร่งสเปกตรัมที่ คาบการสั่นที่พิจารณา ( $T^*$ ) นั่นคือการสร้างเงื่อนไขของค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นอื่นๆ จะต้องมีค่าน้อยกว่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นที่พิจารณามากๆ ถ้าผลกระทบของโครงสร้างที่ สนใจมีผลกระทบในคาบการสั่นที่ไม่ใช่คาบการสั่นที่พิจารณาแล้ว คลื่นแผ่นดินไหวที่เลือกมาให้ สอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่คาบการสั่นที่พิจารณานั้นอาจให้ค่าตอบสนองที่ไม่ เหมาะสม ซึ่งโดยปกติมักใช้คาบการสั่นที่พิจารณาคือโหมดที่หนึ่งของโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์การ เคลื่อนที่ที่มากที่สุดของโครงสร้าง (Bazzurro และ Cornell, 1994[42]; Cornell และคณะ, 2002[43]) แต่ตัวเลือกคาบการสั่นนี้อาจไม่เหมาะสมเสมอไป ตัวอย่างเช่น ความเร่งของพื้นและแรง ฉีดของเสาชั้นบนอาจมีความอ่อนไหวกับโหมดการสั่นที่สูงกว่าโหมดที่หนึ่ง ดังนั้นในการวิเคราะห์ โครงสร้างอาจจะต้องมีการระบุคาบการสั่นที่พิจารณา ( $T^*$ ) ที่ทำให้โครงสร้างมีการตอบสนองที่มากที่สุด รูปที่ 2.16 แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขโดยพิจารณาคาบการสั่น 3 ค่า โดยใช้เลือกกลุ่ม คลื่นแผ่นดินไหวร่วมกัน ซึ่งสเปกตรัมเหล่านี้จะถูกใช้แทนสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอบนช่วง ของคาบการสั่นที่ครอบคลุมคาบการสั่นที่พิจารณา (Baker และ Cornell, 2006[33])



รูปที่ 2.16 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยมีเงื่อนไขของ  $S_a$  ที่คาบการสั่นต่างๆ แต่มีโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากัน (Baker, 2011)[31]

ดังนั้นวิธีการนี้ไม่สามารถเลือกคลื่นแผ่นดินไหวชุดเดียวมาเป็นตัวแทนที่เทียบเท่ากับระดับความเสี่ยงภัยของทุกคาบการสั่น จะเห็นได้จากในรูปที่ 2.16 คลื่นแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสเปกตรัมมากที่สุดที่คาบการสั่น 1 วินาที ไม่ใช่คลื่นแผ่นดินไหวที่มีค่ามากที่สุดที่คาบการสั่น 0.2 วินาที หรือ 2 วินาที คลื่นแผ่นดินไหวที่ต่างกันจึงส่งผลกระทบต่อต่างกัน การใช้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขจึงเหมือนกับการใช้กฎการรวมแรงทั่วไปในการวิเคราะห์โครงสร้าง ใช้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขคล้ายกับการพิจารณาแรง(load) ที่มากที่สุดของแต่ละชนิด

#### 2.4.7 ข้อดีและข้อเสียของสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

สำหรับข้อดีและข้อเสียของสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สามารถสรุปได้ดังนี้

##### 2.4.7.1 ข้อดี

- เป็นสเปกตรัมที่เป็นมีรูปร่างคล้ายสเปกตรัมของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง
- ใช้ข้อมูลจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (ขนาดของแผ่นดินไหว ระยะทางจากแหล่งกำเนิด และส่วนเบี่ยงเบน ( $\mathcal{E}$ )) ในการทำนายรูปร่างสเปกตรัม
- การเปลี่ยนแปลงรูปร่างสเปกตรัมของสอดคล้องกับธรรมชาติ

#### 2.4.7.2 ข้อเสีย

- เป็นวิธีที่ยังไม่นิยมใช้
- ที่ตั้งและโครงสร้างอาคารที่เฉพาะ จำเป็นต้องใช้คลื่นแผ่นดินไหวหลายตัวเลือก
- การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสเปกตรัมเมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของคลื่นต้องใช้คลื่นแผ่นดินไหวหลายชุด



### บทที่ 3

#### การแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

##### 3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

จากการศึกษาข้อมูลของ Palasri และ Ruangrassamee (2010)[27] ได้มีการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นของประเทศไทย และมีการสร้างกราฟความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว (seismic hazard curve) เพื่อให้ทราบว่า พื้นที่ตั้งอาคารมีความน่าจะเป็นที่จะได้รับผลกระทบจากการสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆมากเท่าใด และความน่าจะเป็นรวมที่จะเกิดการสั่นสะเทือนเกินระดับหนึ่งๆเนื่องจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวใดก็ตามเป็นเท่าใด เมื่อพิจารณาค่าของ hazard curve ที่แยกตามแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวต่างๆทั้งหมด และทราบแหล่งกำเนิดที่มีผลกระทบมากที่สุดแล้ว จึงต้องมีการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นผลเนื่องจากแหล่งกำเนิดต่างๆ (hazard de-aggregation analysis) ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะทางต่างๆ เพื่อให้ทราบลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดมากที่สุดที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ตั้งอาคาร โดยภควัสน์ มินชัยนันท์ (2555)[23] ได้มีการแยกแยะความเสี่ยงภัยของจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที และคาบการสั่นไหว 1 วินาที และพิจารณาความรุนแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (รอบการเกิดซ้ำ 2475 ปี) เพื่อให้ทราบความเร่งในราบสูงสุด โชนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ขนาดของแผ่นดินไหว และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบ

##### 3.2 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

การศึกษานี้ได้ทำการแยกแยะความเสี่ยงภัยของจังหวัดในภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรี โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที 0.5 วินาที 0.75 วินาที 1 วินาที 2 วินาที และคาบการสั่นไหว 3 วินาที และพิจารณาความรุนแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ตัวแปรในการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ได้แสดงดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.5 ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขในบทต่อไป

ตารางที่ 3.1 ละติจูดและลองจิจูดของจังหวัดในภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรี

ลำดับ	จังหวัด		Latitude	Longitude
1	เชียงใหม่	CMAI	18.787	98.987
2	เชียงราย	CRAI	19.909	99.833
3	กาญจนบุรี	KAN	14.004	99.55
4	ลำปาง	LAMPG	18.292	99.504
5	ลำพูน	LAMPN	18.578	99.018
6	แม่ฮ่องสอน	MAE	19.304	97.977
7	น่าน	NAN	18.793	100.729
8	พะเยา	PAYA	19.192	99.878
9	แพร่	PHRA	18.146	100.141
10	ตาก	TAK	16.882	99.124
11	อุตรดิตถ์	UTTA	17.626	100.097

ตารางที่ 3.2 ความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินโดยมีค่าความน่าจะเป็นที่ที่จะเกิดความเร่งเกินค่าในตารางเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี และโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่ออ.เมือง จังหวัดต่างๆ

จังหวัด		0.2 วินาที		0.5 วินาที		0.75 วินาที	
		Sa (g)	โซน	Sa (g)	โซน	Sa (g)	โซน
เชียงใหม่	CMAI	0.999	E	0.647	E	0.433	E
เชียงราย	CRAI	0.946	E	0.603	E	0.403	E
กาญจนบุรี	KAN	0.665	J	0.373	J	0.241	J
ลำปาง	LAMPG	0.82	I	0.346	I	0.225	I (83%) E (17%)
ลำพูน	LAMPN	0.937	E	0.609	E	0.408	E
แม่ฮ่องสอน	MAE	0.842	E (56%) F (44%)	0.513	E (81%) F (19%)	0.343	E (84%) F (16%)
น่าน	NAN	0.797	I	0.326	I	0.206	I
พะเยา	PAYA	0.796	I	0.332	I	0.214	I (89%) E (11%)
แพร่	PHRA	0.825	I	0.333	I	0.210	I
ตาก	TAK	0.767	I (89%)	0.356	I (59%)	0.233	I (53%)
			J (10%)		J (31%)		J (33%)
					E (10%)		E (14%)
อุตรดิตถ์	UTTA	0.806	I	0.329	I	0.207	I

ตารางที่ 3.2(ต่อ) ความเร่งในแนวราบสูงสุดบนชั้นหินโดยมีค่าความน่าจะเป็นที่ที่จะเกิดความเร่งเกินค่าในตารางเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี และโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ

จังหวัด		1 วินาที		2 วินาที		3 วินาที	
		Sa (g)	โซน	Sa (g)	โซน	Sa (g)	โซน
เชียงใหม่	CMAI	0.314	E	0.135	E	0.077	E
เชียงราย	CRAI	0.292	E	0.125	E	0.072	E
กาญจนบุรี	KAN	0.171	J	0.071	J	0.040	J
ลำปาง	LAMPG	0.161	I (79%)	0.070	I (67%)	0.041	I (61%)
			E (21%)		E (33%)		E (38%)
ลำพูน	LAMPN	0.296	E	0.128	E	0.073	E
แม่ฮ่องสอน	MAE	0.249	E (86%)	0.108	E (88%)	0.063	E (89%)
			F (14%)		F (12%)		F (11%)
น่าน	NAN	0.144	I	0.059	I	0.034	I
พะเยา	PAYA	0.152	I (86%)	0.065	I (76%)	0.039	I (69%)
			E (14%)		E (24%)		E (31%)
แพร่	PHRA	0.147	I	0.060	I	0.034	I
ตาก	TAK	0.167	I (49%)	0.072	I (41%)	0.042	I (38%)
			J (34%)		J (36%)		J (36%)
			E (17%)		E (22%)		E (25%)
อุตรดิตถ์	UTTA	0.145	I	0.06	I	0.034	I

ตารางที่ 3.3 ขนาดของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสั่นไหวของพื้นดินในโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ

จังหวัด		Magnitude (Mw)					
		0.2 วินาที	0.5 วินาที	0.75 วินาที	1 วินาที	2 วินาที	3 วินาที
เชียงใหม่	CMAI	6.8 - 7.2	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5
เชียงราย	CRAI	6.5 - 6.8	6.8 - 7.2	7.2 - 7.5	5.1 - 5.4	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5
กาญจนบุรี	KAN	5.4 - 5.8	6.5 - 6.8	6.5 - 6.8	6.8 - 7.2	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5
ลำปาง	LAMPG	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	6.8 - 7.2	6.8 - 7.2
ลำพูน	LAMPN	6.8 - 7.2	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5
แม่ฮ่องสอน	MAE	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5	7.2 - 7.5
น่าน	NAN	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	6.5 - 6.8	6.5 - 6.8	6.5 - 6.8
พะเยา	PAYA	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	6.5 - 6.8	6.5 - 6.8
แพร่	PHRA	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	6.8 - 7.2	6.8 - 7.2
ตาก	TAK	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	6.5 - 6.8	6.5 - 6.8	6.5 - 6.8
อุตรดิตถ์	UTTA	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	4.0 - 4.4	6.1 - 6.5	6.8 - 7.2



ตารางที่ 3.4 ระยะทางของแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบให้เกิดการสั่นไหวของพื้นดินในโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ

จังหวัด		Distance (km)					
		0.2 วินาที	0.5 วินาที	0.75 วินาที	1 วินาที	2 วินาที	3 วินาที
เชียงใหม่	CMAI	8 - 13	8 - 13	8 - 13	8 - 13	8 - 13	8 - 13
เชียงราย	CRAI	7 - 11	7 - 11	7 - 11	7 - 11	7 - 11	7 - 11
กาญจนบุรี	KAN	4 - 7	15 - 18	15 - 18	15 - 18	26 - 28	26 - 28
ลำปาง	LAMPG	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	19 - 22	19 - 22
ลำพูน	LAMPN	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14
แม่ฮ่องสอน	MAE	14 - 18	14 - 18	14 - 18	14 - 18	14 - 18	14 - 18
น่าน	NAN	6 - 9	6 - 9	6 - 9	16 - 19	16 - 19	16 - 19
พะเยา	PAYA	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	17 - 19	17 - 19
แพร่	PHRA	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	18 - 21	18 - 21
ตาก	TAK	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14	10 - 14
อุตรดิตถ์	UTTA	8 - 11	8 - 11	8 - 11	8 - 11	8 - 11	22 - 25

ตารางที่ 3.5 ส่วนเบี่ยงเบน (E) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดการสั่นไหวของพื้นดินในโซนของแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อ อ.เมือง จังหวัดต่างๆ

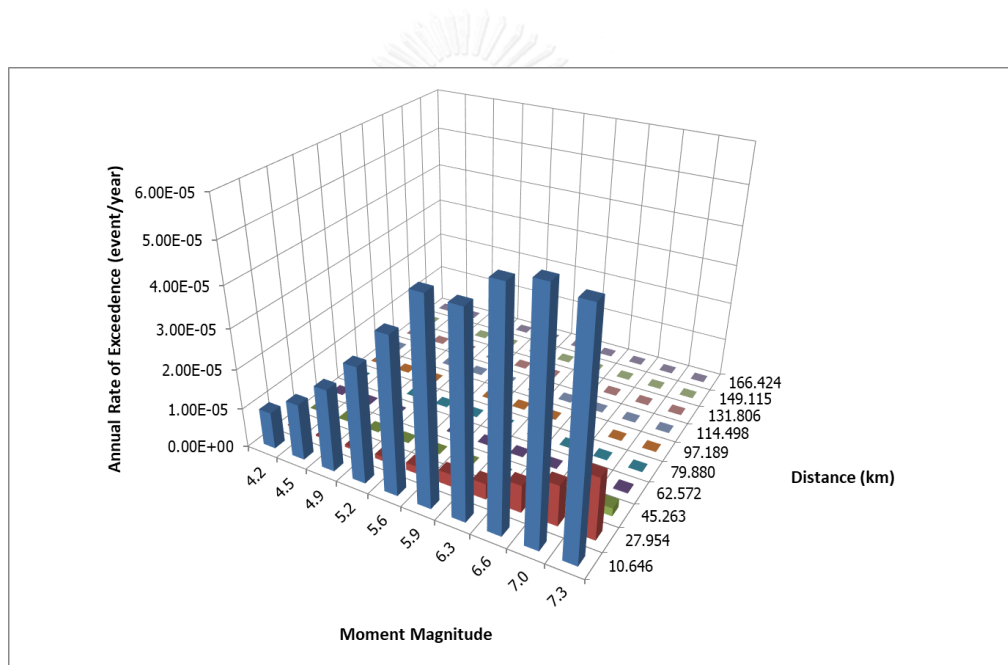
จังหวัด		ส่วนเบี่ยงเบน (E)					
		0.2 วินาที	0.5 วินาที	0.75 วินาที	1 วินาที	2 วินาที	3 วินาที
เชียงใหม่	CMAI	0.793	0.097	0.113	0.183	0.255	0.141
เชียงราย	CRAI	0.908	0.315	-0.137	-0.054	0.016	-0.227
กาญจนบุรี	KAN	1.082	0.408	0.485	-0.046	-0.005	-0.471
ลำปาง	LAMPG	1.123	0.661	0.828	1.050	0.092	-0.025
ลำพูน	LAMPN	0.755	0.009	0.045	0.198	0.179	0.215
แม่ฮ่องสอน	MAE	0.397	-0.090	-0.051	0.061	0.059	0.153
น่าน	NAN	1.076	1.090	0.680	0.329	0.340	0.567
พะเยา	PAYA	1.092	0.625	0.768	0.964	0.651	0.596
แพร่	PHRA	1.130	0.603	0.746	0.942	0.050	-0.066
ตาก	TAK	1.309	0.979	1.157	0.284	0.509	0.640
อุตรดิตถ์	UTTA	1.244	0.699	0.812	1.080	0.548	0.133

จากตารางที่ 3.1 ถึง 3.5 เมื่อพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวต่างๆ พบว่าจังหวัดในภาคเหนือบางจังหวัดอาจได้รับผลกระทบเนื่องจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวอย่างรุนแรงมากกว่า 1 โซน ได้แก่ จังหวัดลำปาง เมื่อพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาทีได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I (83%) และโซน E (17%) และเมื่อคาบการสั่นไหวเพิ่มขึ้น ทำให้ผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I ลดลง และโซน E เพิ่มขึ้น ส่วนจังหวัดแม่ฮ่องสอนเมื่อพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน F (56%) และโซน E (44%) เมื่อพิจารณาคาบการสั่นไหวเพิ่มขึ้น แหล่งกำเนิดโซน F มีแนวโน้มลดลง และโซน E มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนจังหวัดพะเยาได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I แต่เมื่อพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีเป็นต้นไป จะได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I และโซน E ส่วนจังหวัดตาก เมื่อพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที จะได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน I และโซน J เมื่อพิจารณาคาบการสั่นไหวเพิ่มขึ้น แหล่งกำเนิดโซน I มีแนวโน้มลดลง และโซน J มี

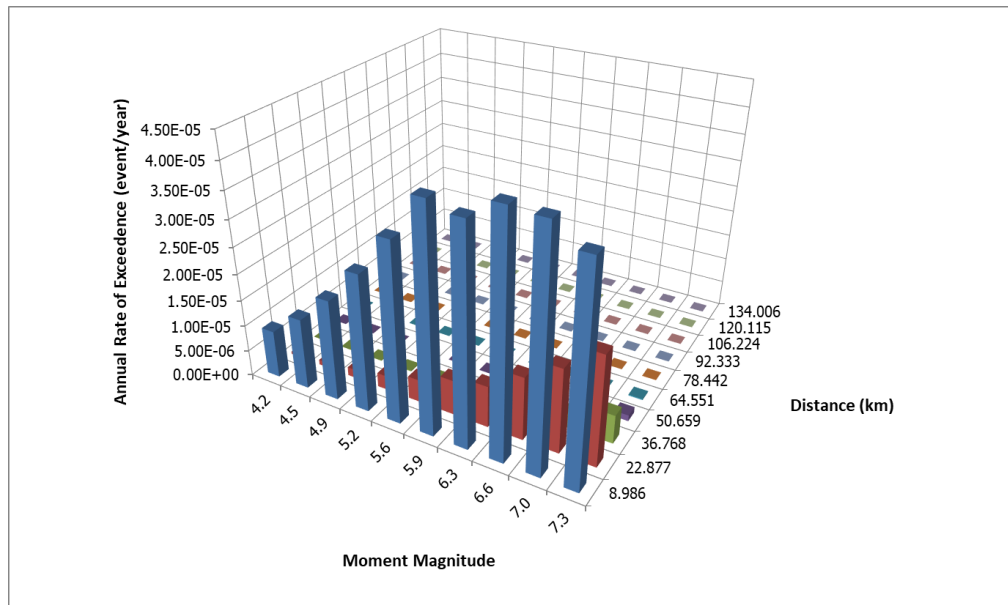
แนวโน้มเพิ่มขึ้น และพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาทีเป็นต้นไป จะได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวโซน E ด้วย

### 3.2.1 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที

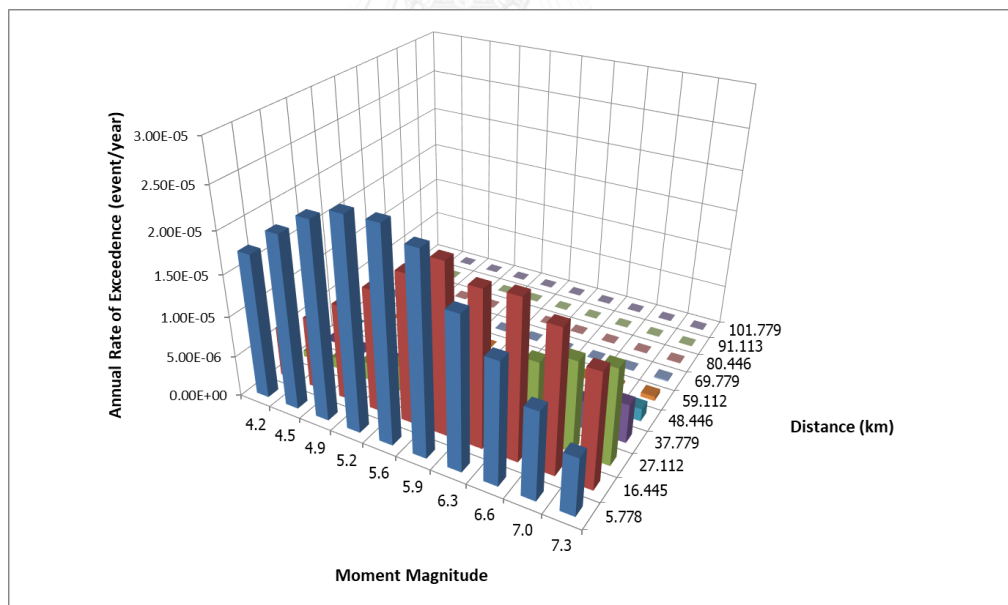
รูปที่ 3.1 ถึง 3.11 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่างๆ โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที



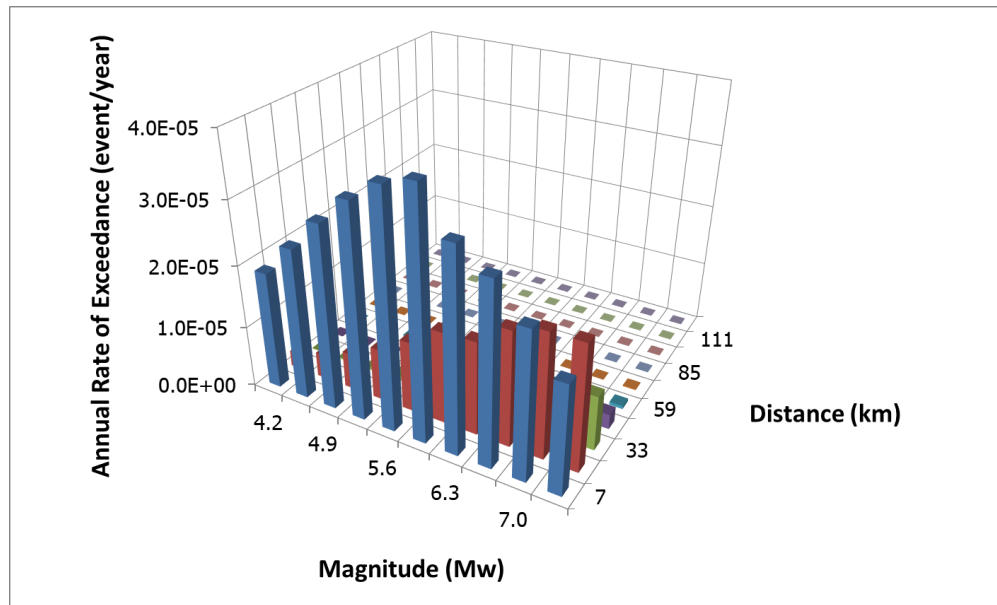
รูปที่ 3.1 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



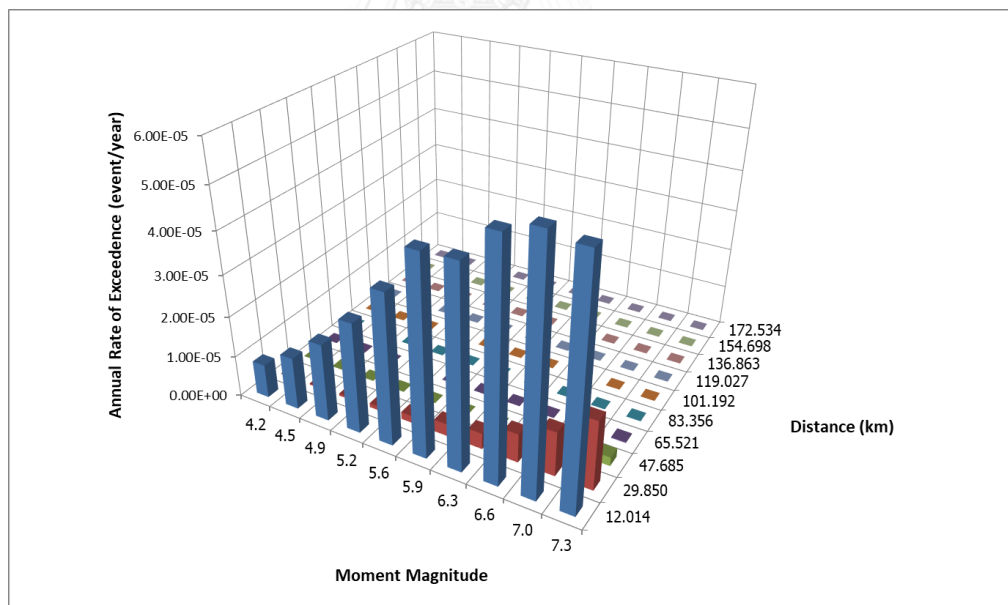
รูปที่ 3.2 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



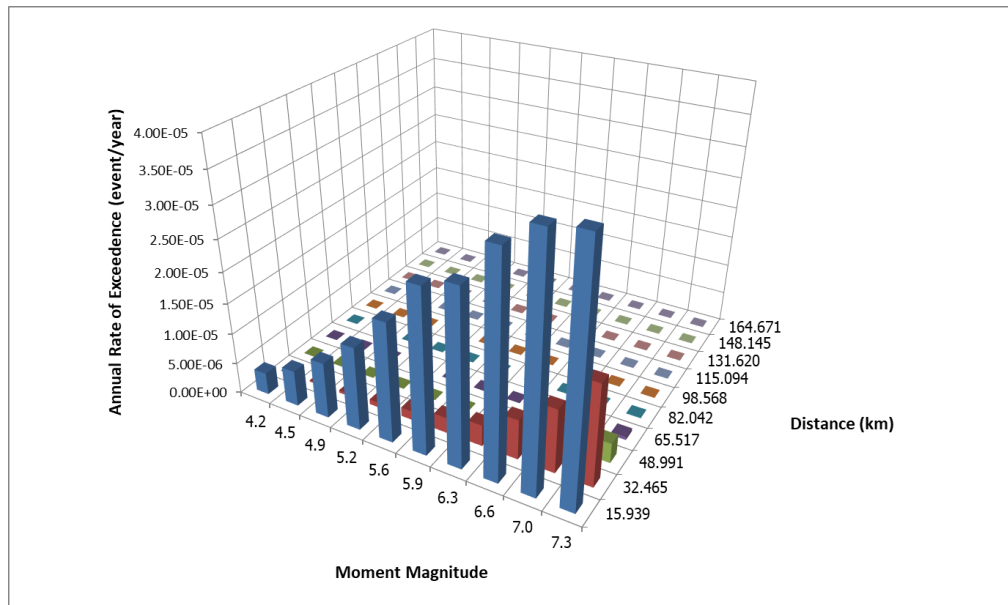
รูปที่ 3.3 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



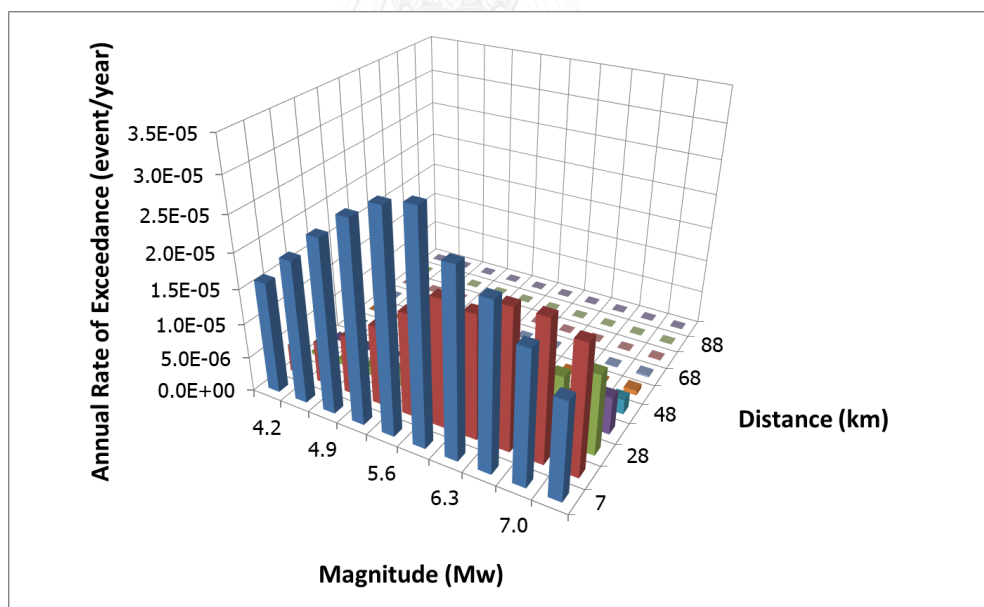
รูปที่ 3.4 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



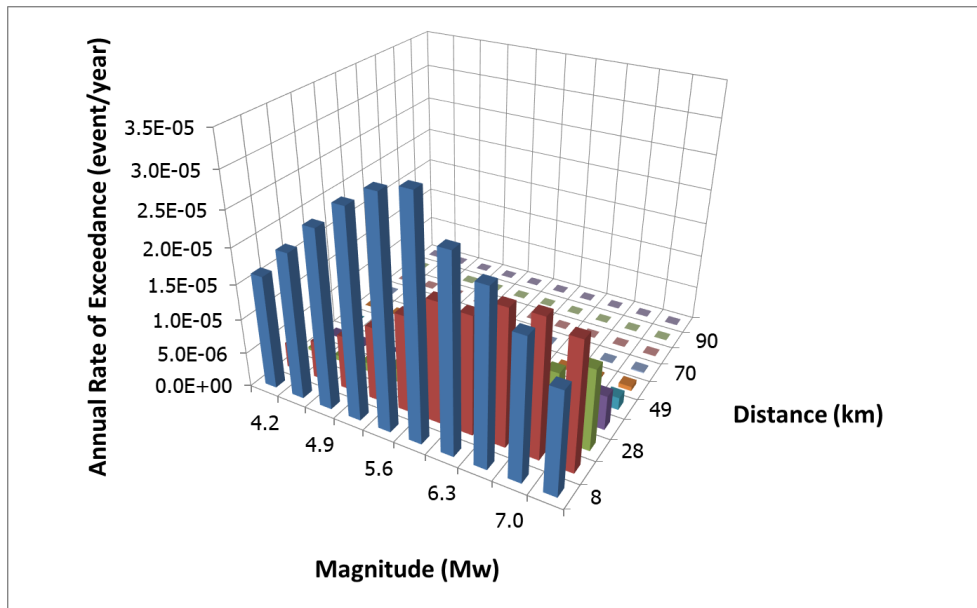
รูปที่ 3.5 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



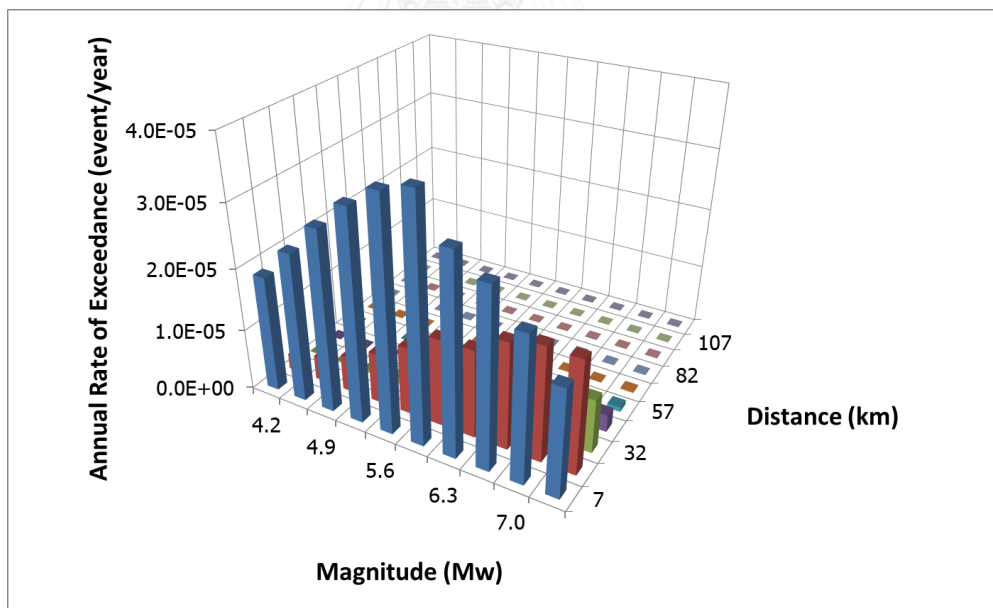
รูปที่ 3.6 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



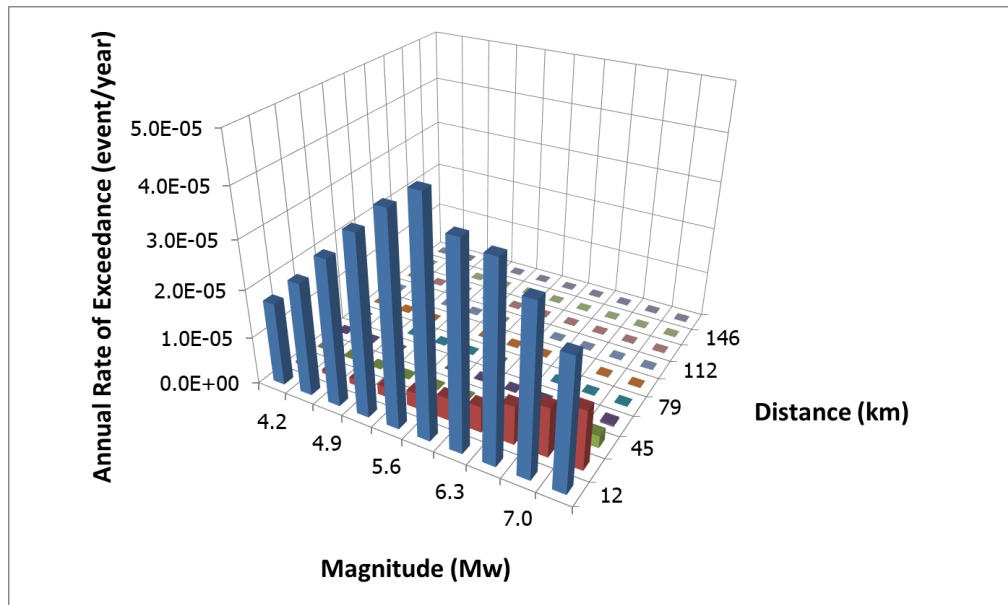
รูปที่ 3.7 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



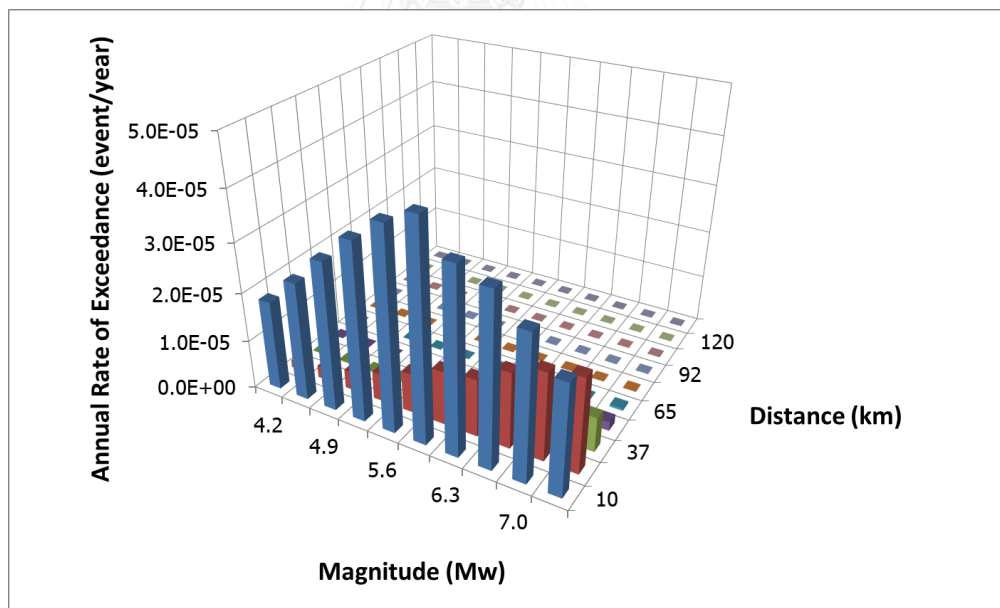
รูปที่ 3.8 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน ।



รูปที่ 3.9 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน ।



รูปที่ 3.10 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน ।

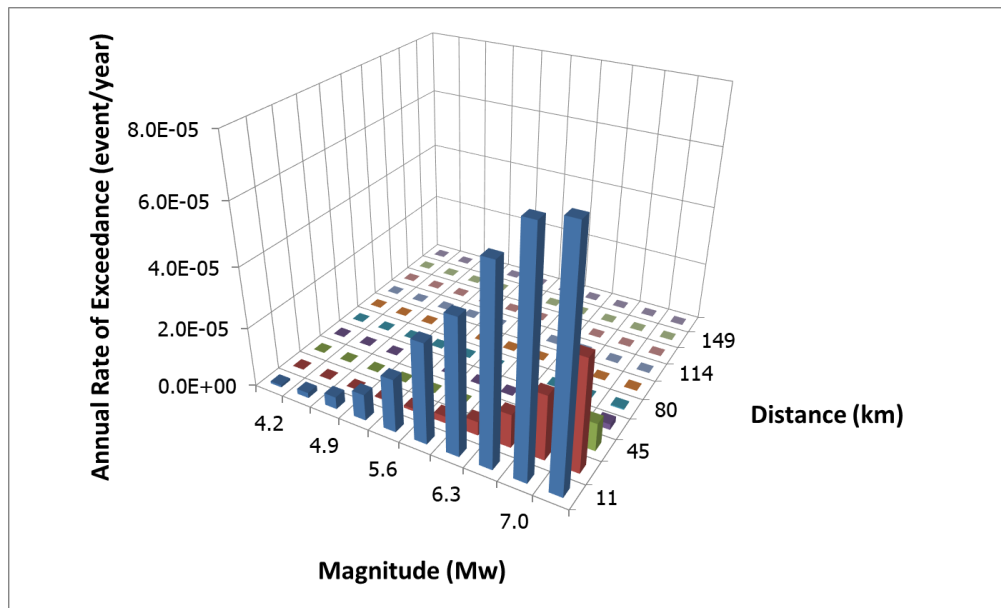


รูปที่ 3.11 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน ।

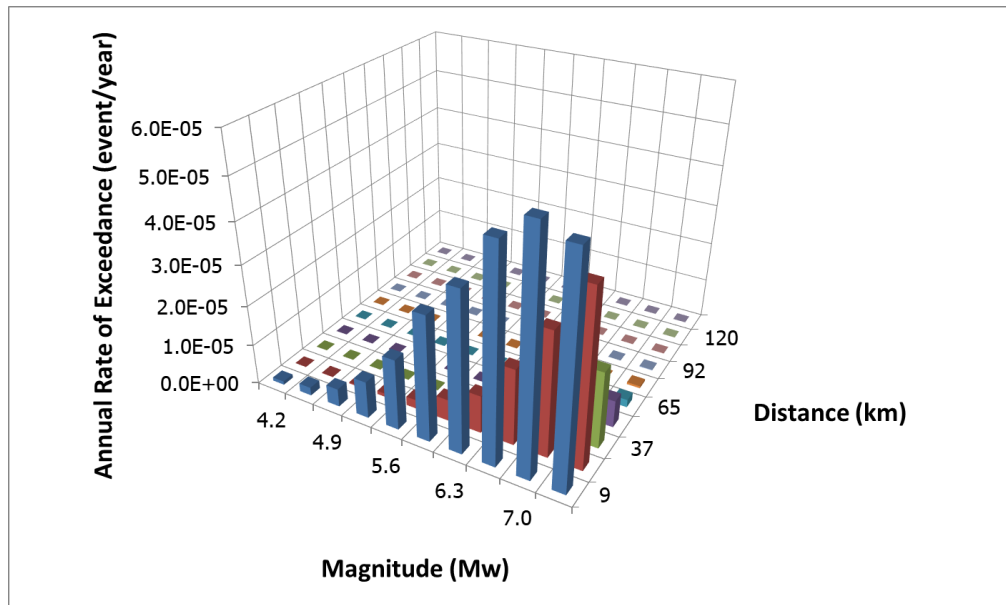


### 3.2.2 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที

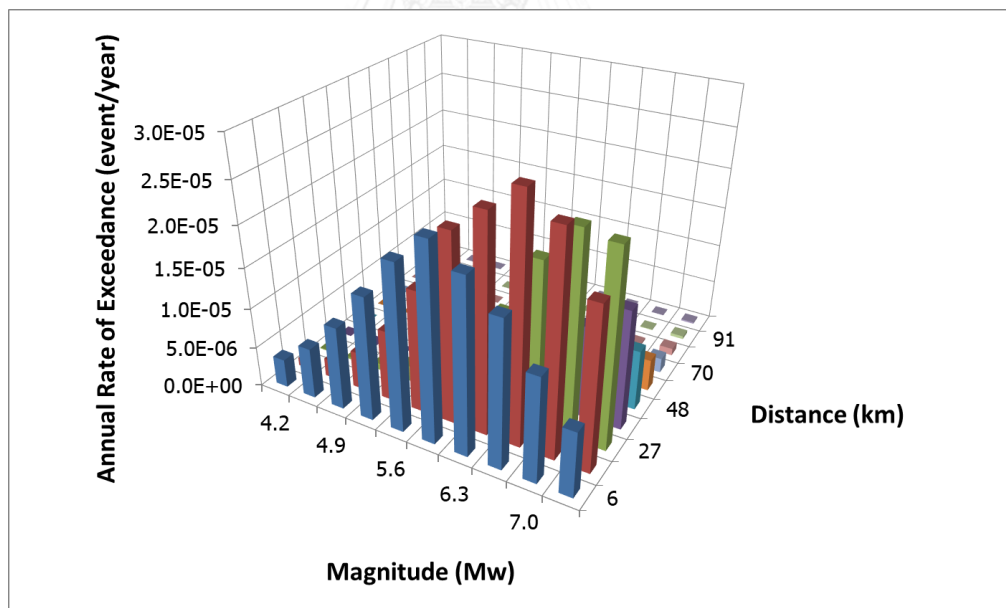
รูปที่ 3.12 ถึง 3.22 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่างๆ โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที



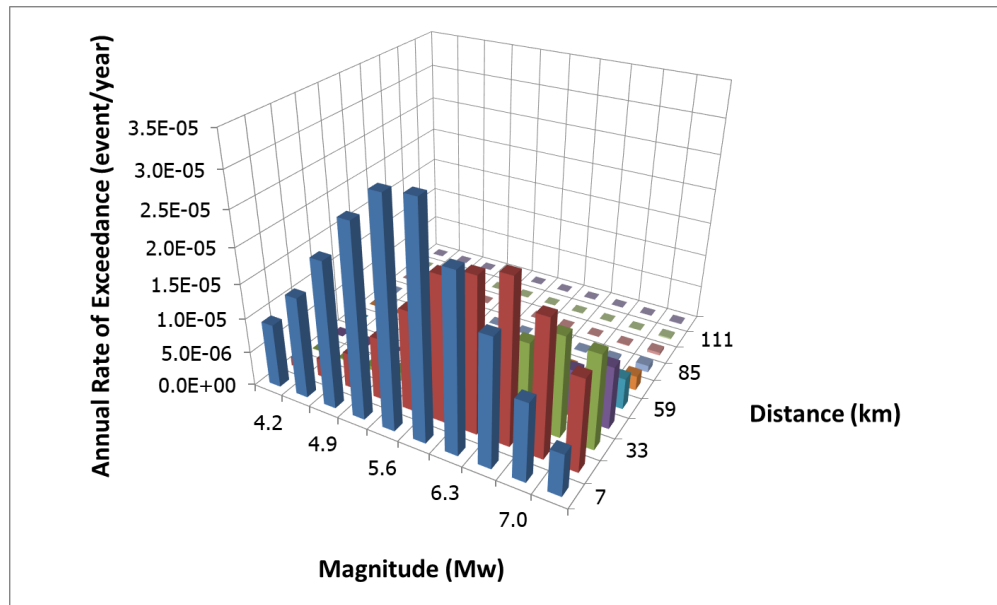
รูปที่ 3.12 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



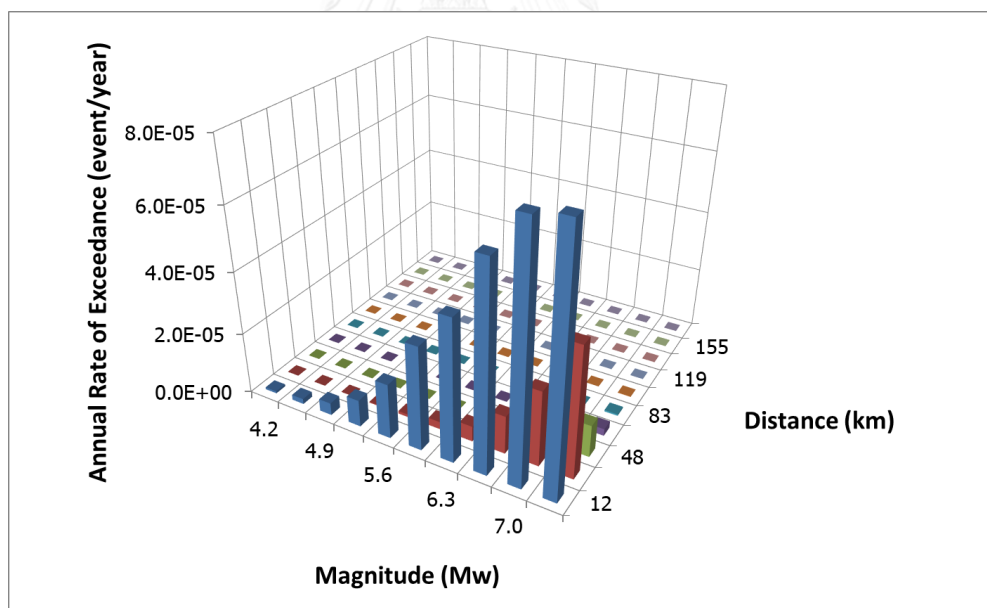
รูปที่ 3.13 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



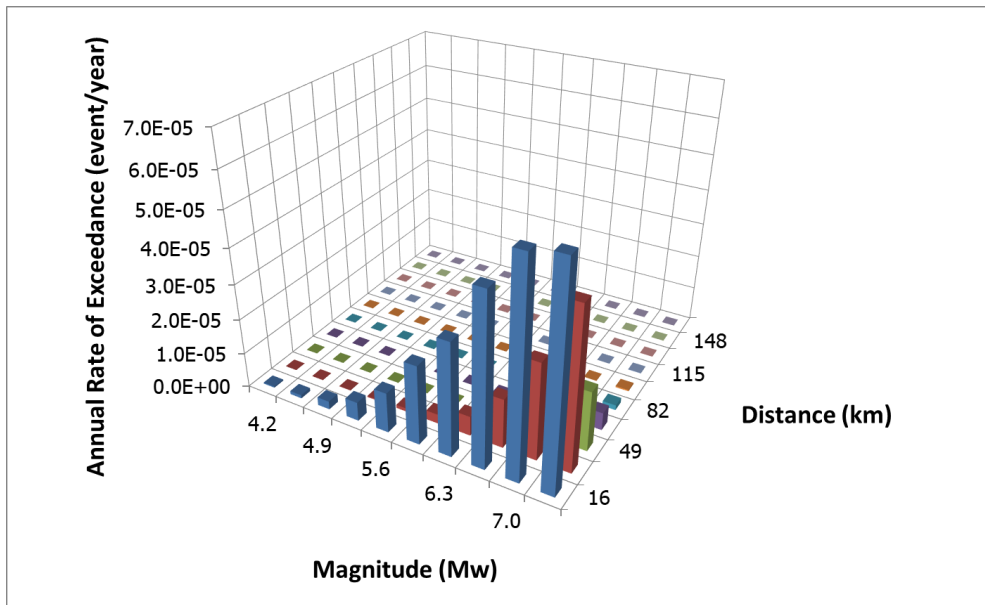
รูปที่ 3.14 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



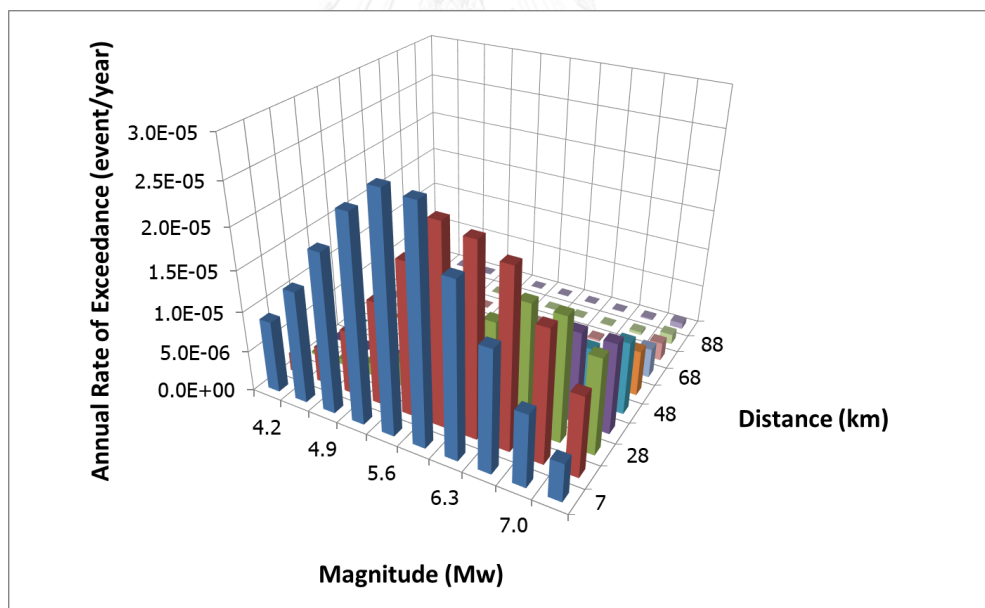
รูปที่ 3.15 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



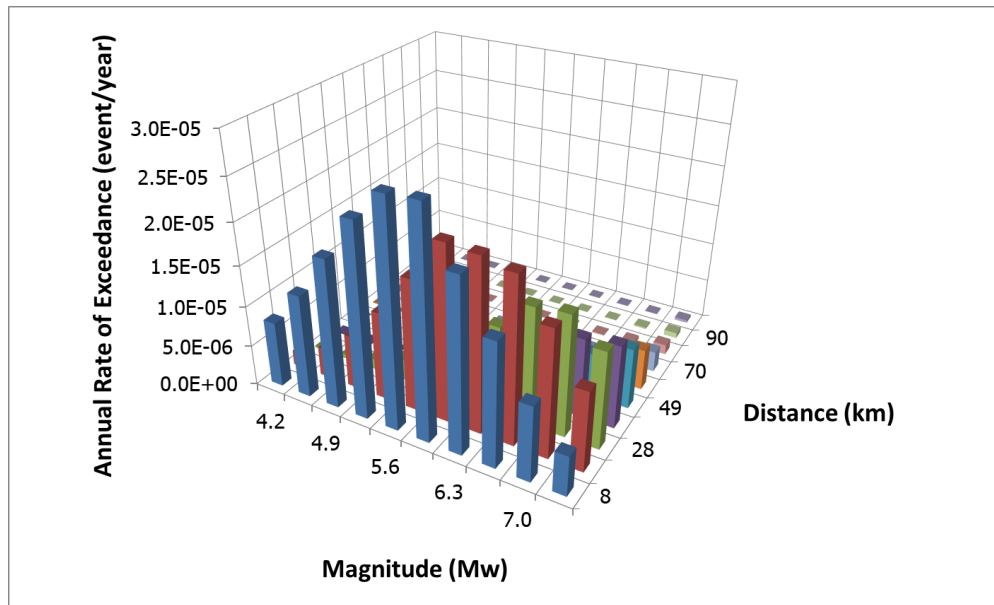
รูปที่ 3.16 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



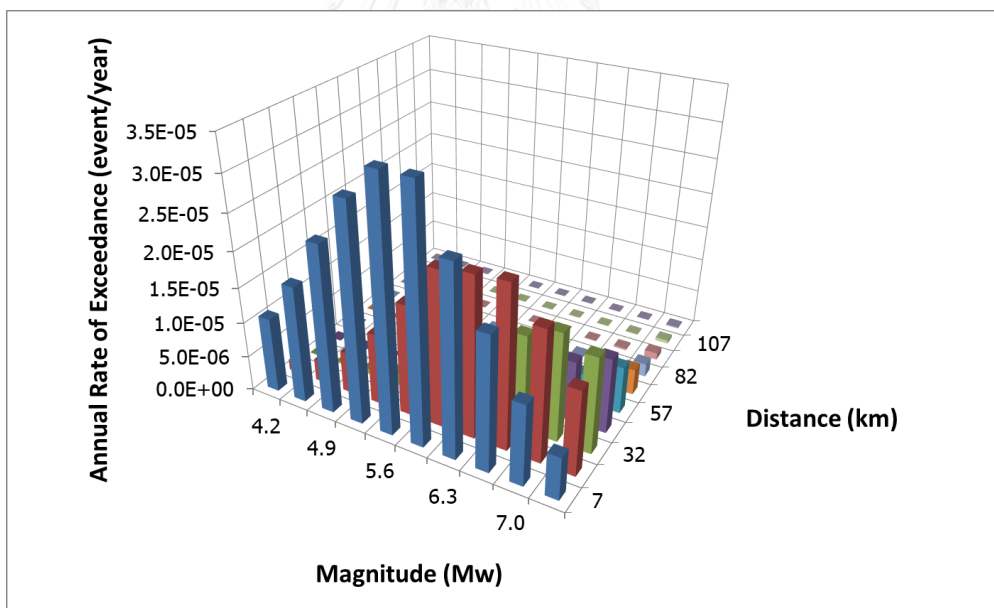
รูปที่ 3.17 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่ค่าการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



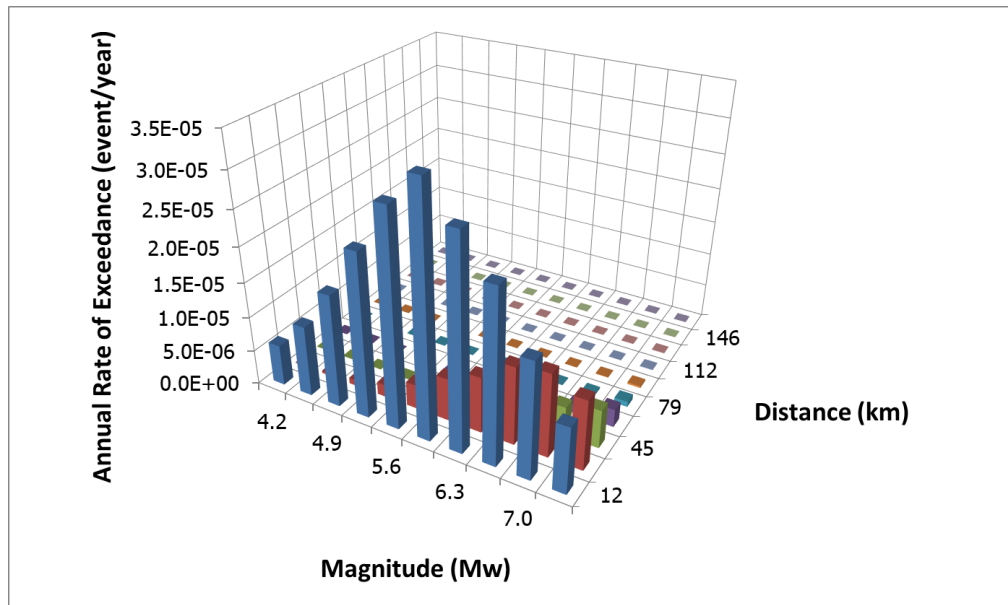
รูปที่ 3.18 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่ค่าการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



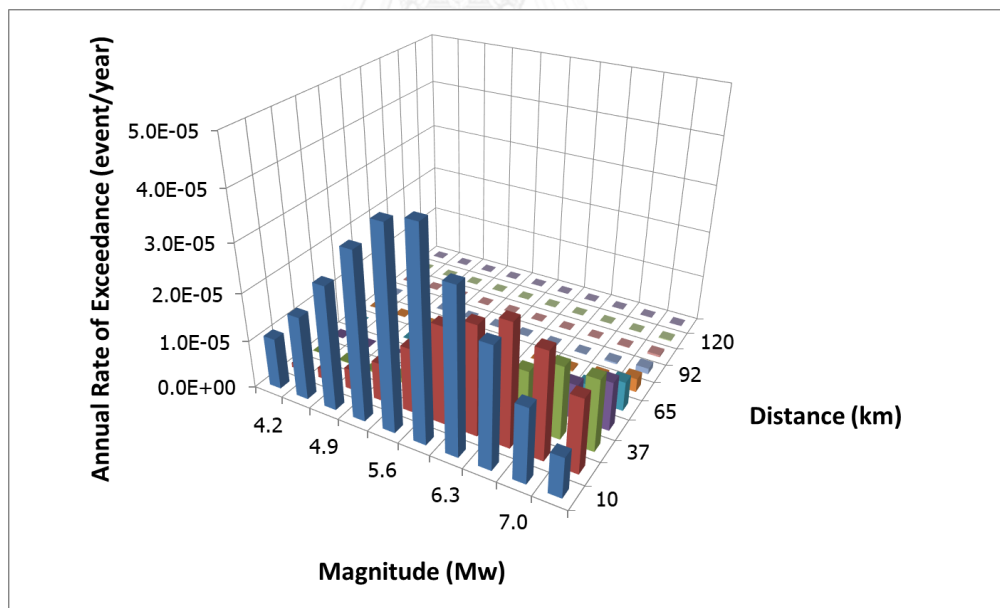
รูปที่ 3.19 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่ค่าการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.20 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่ค่าการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



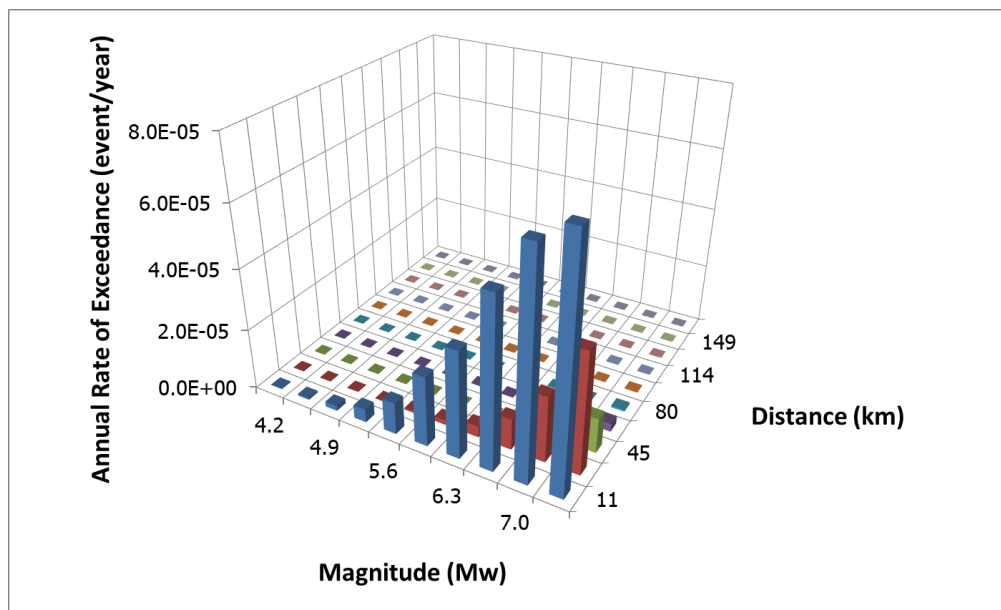
รูปที่ 3.21 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



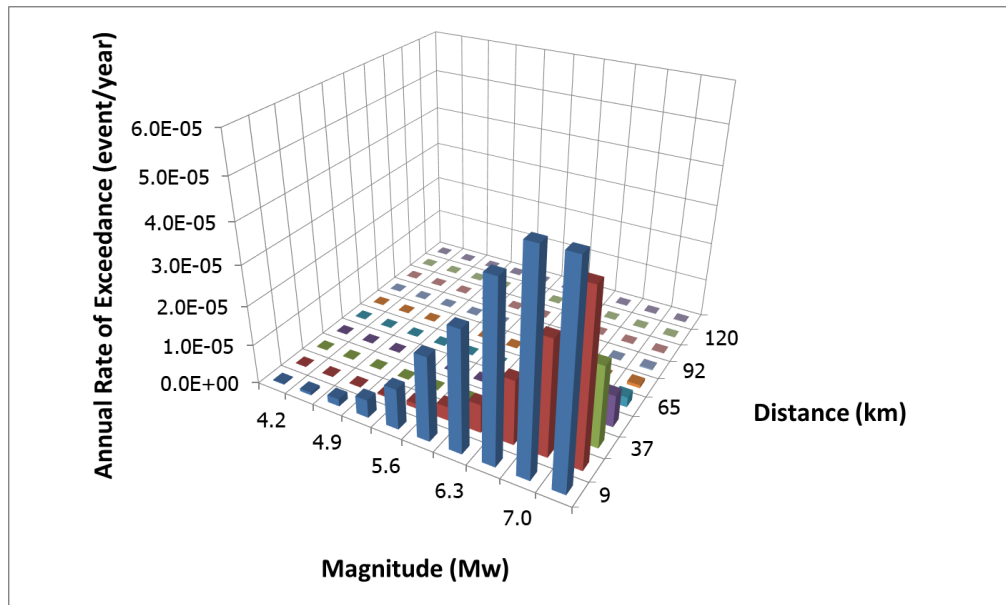
รูปที่ 3.22 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1

### 3.2.3 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที

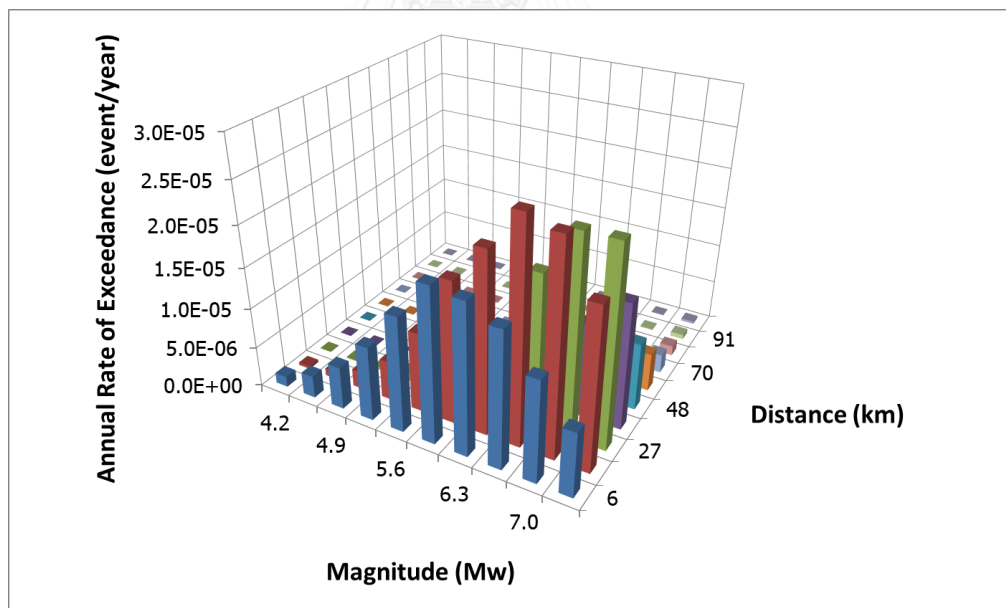
รูปที่ 3.23 ถึง 3.33 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่างๆ โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที



รูปที่ 3.23 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E

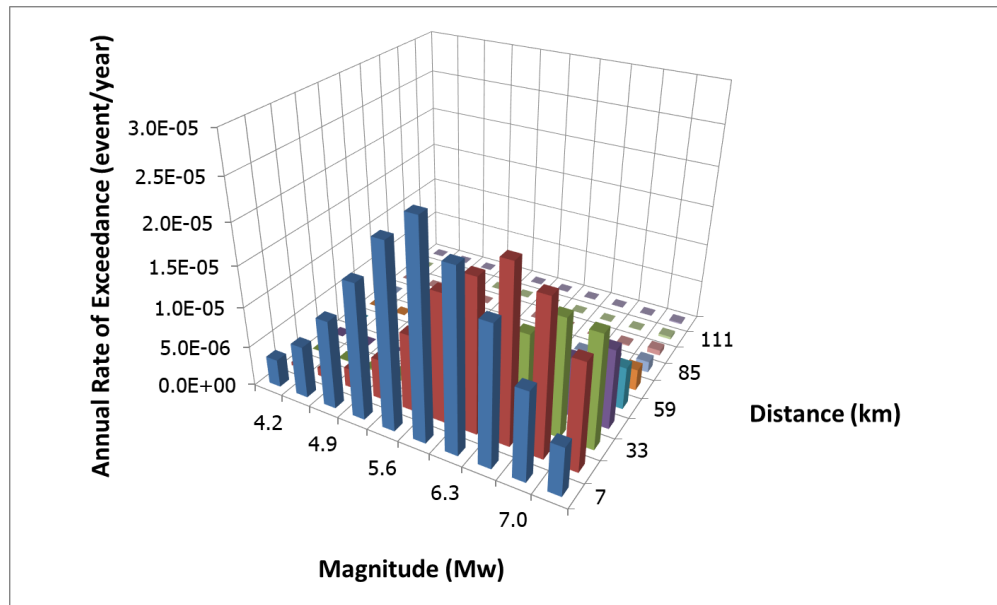


รูปที่ 3.24 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E

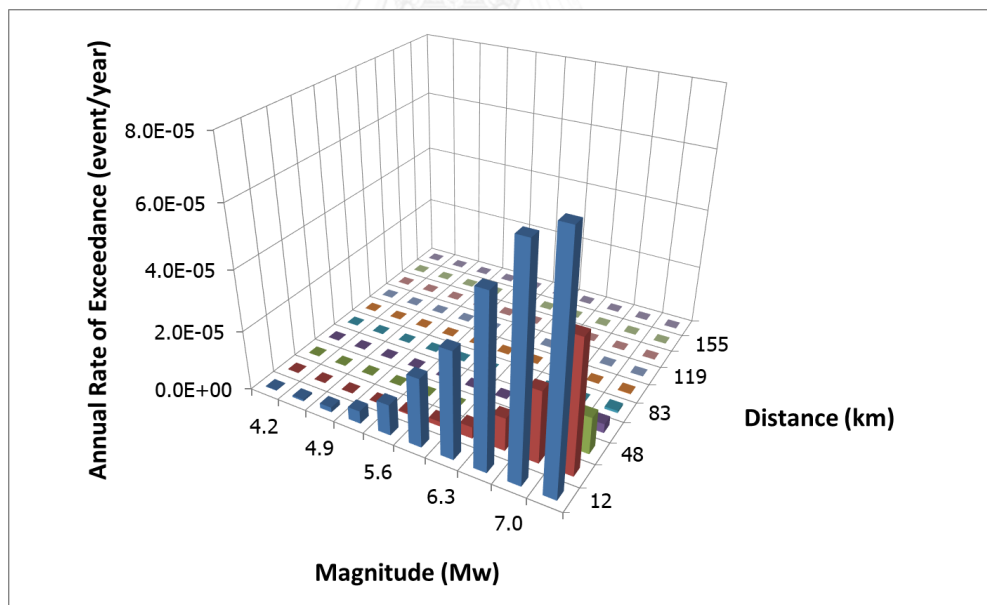


รูปที่ 3.25 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาฬจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J

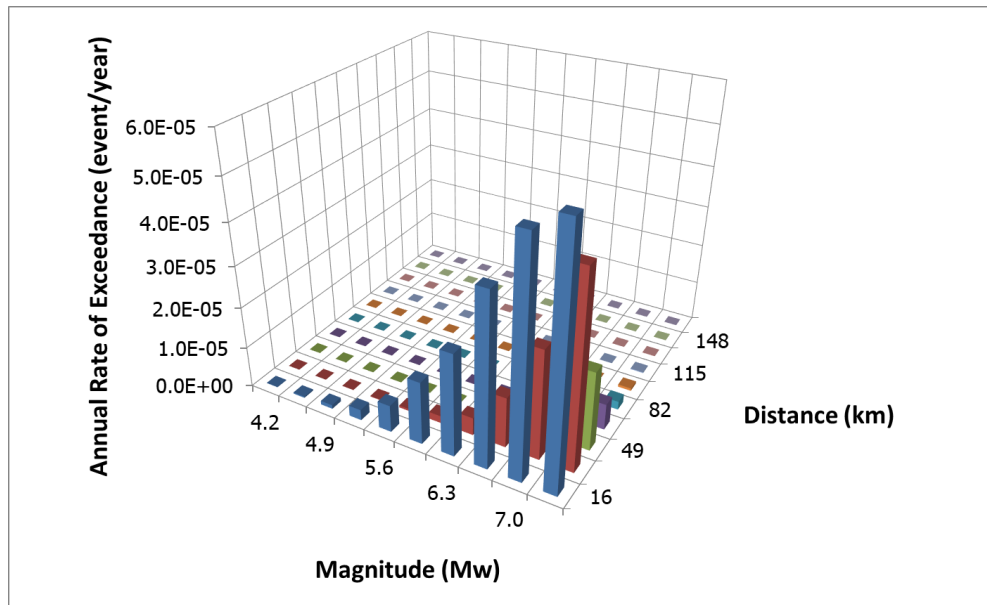




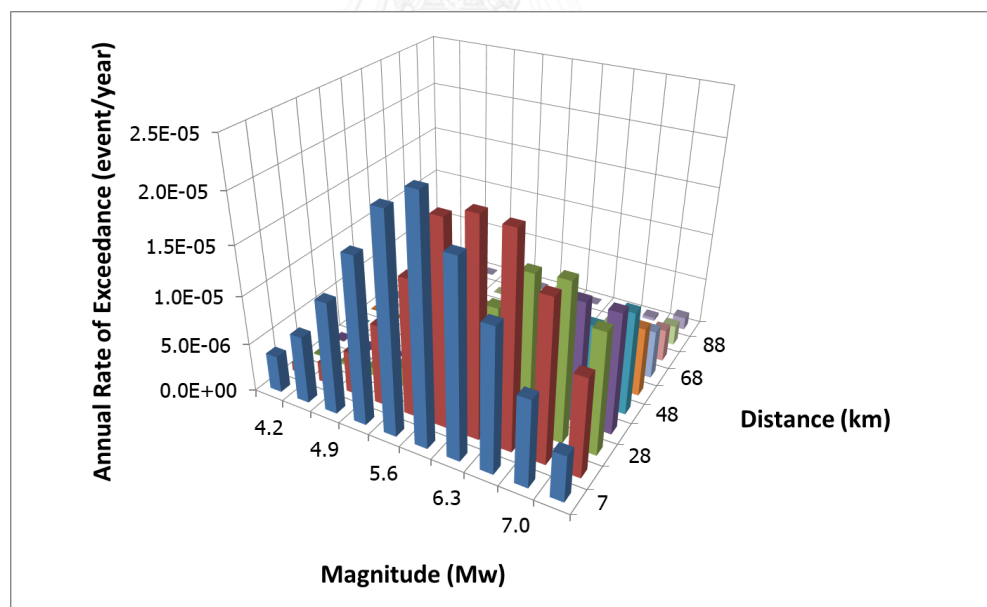
รูปที่ 3.26 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I



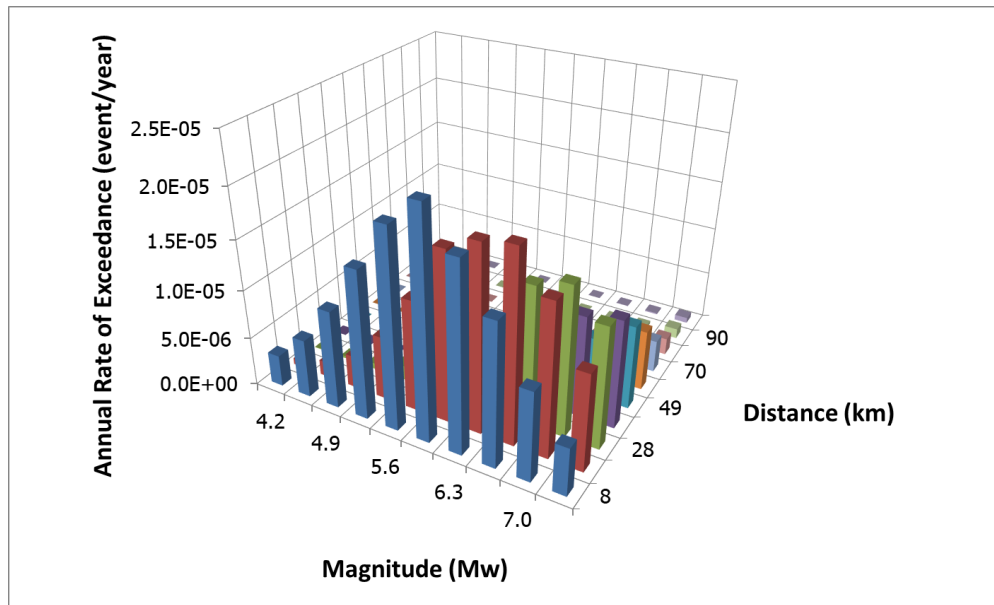
รูปที่ 3.27 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน E



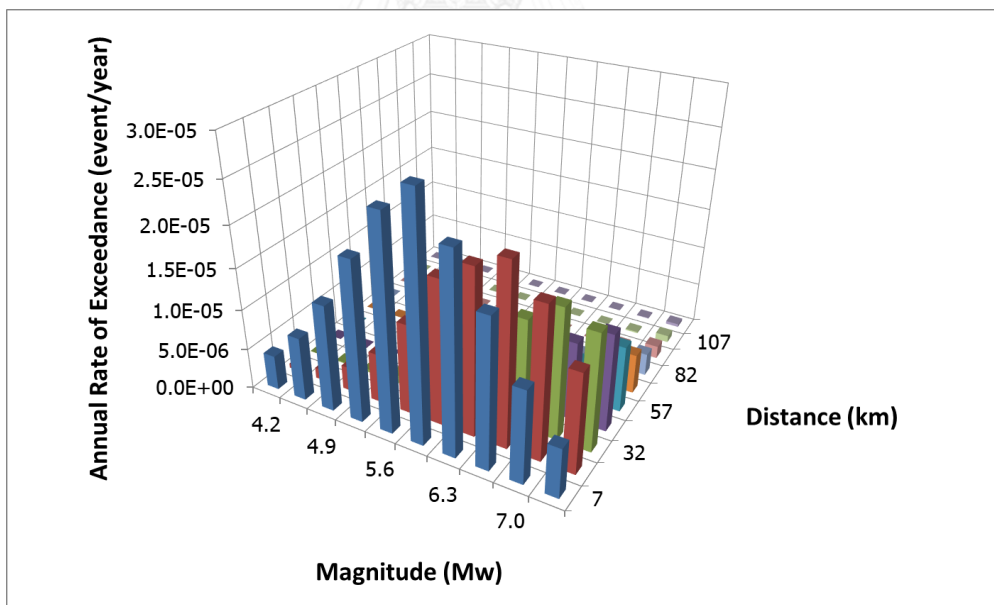
รูปที่ 3.28 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



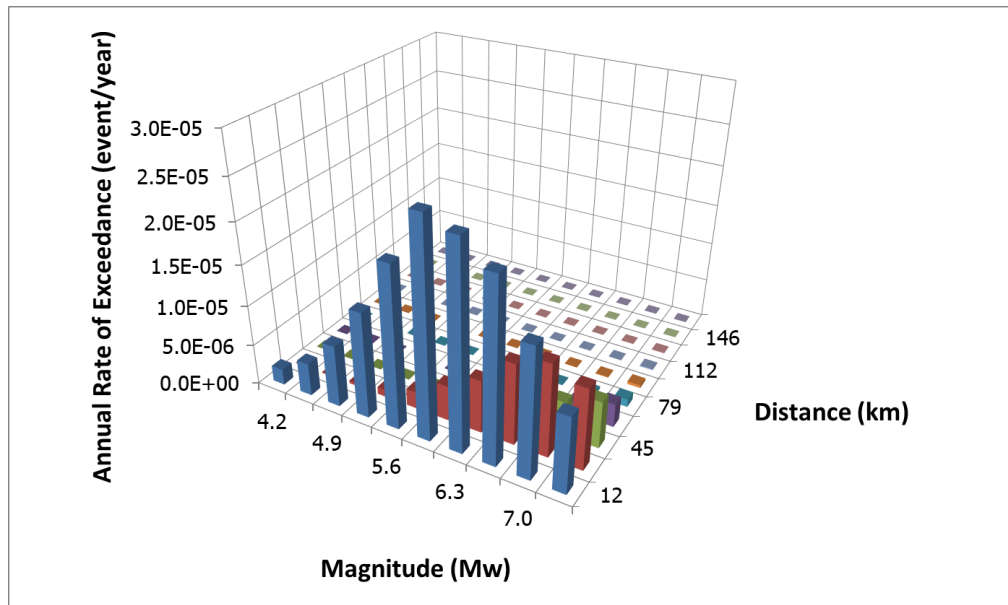
รูปที่ 3.29 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



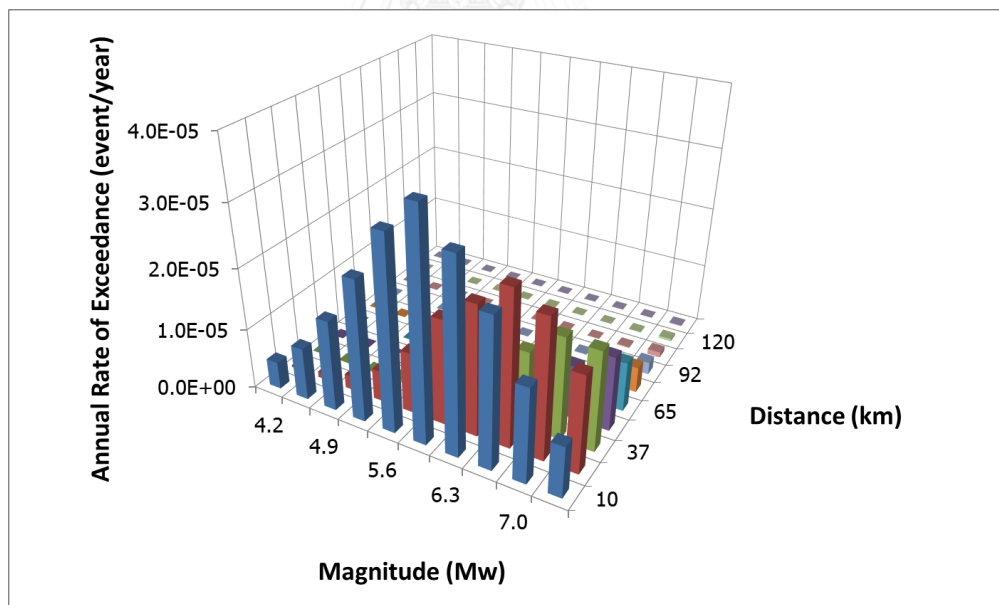
รูปที่ 3.30 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.31 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



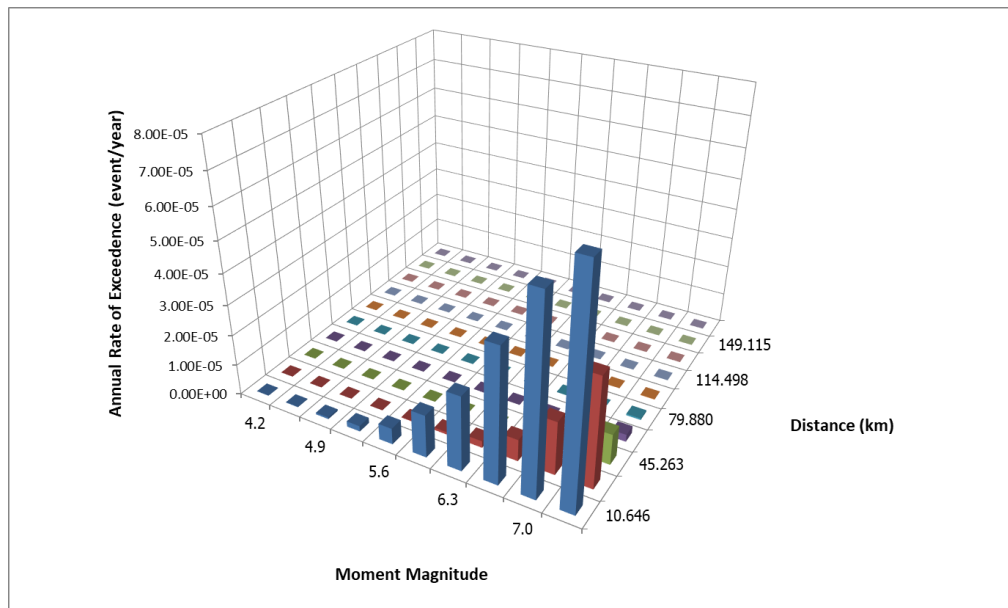
รูปที่ 3.32 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



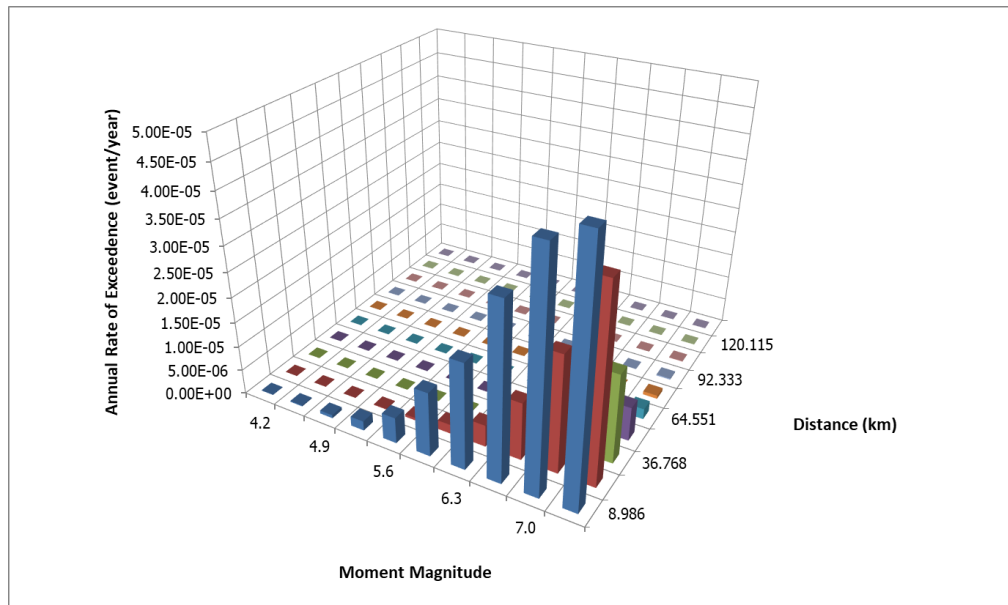
รูปที่ 3.33 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1

### 3.2.4 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที

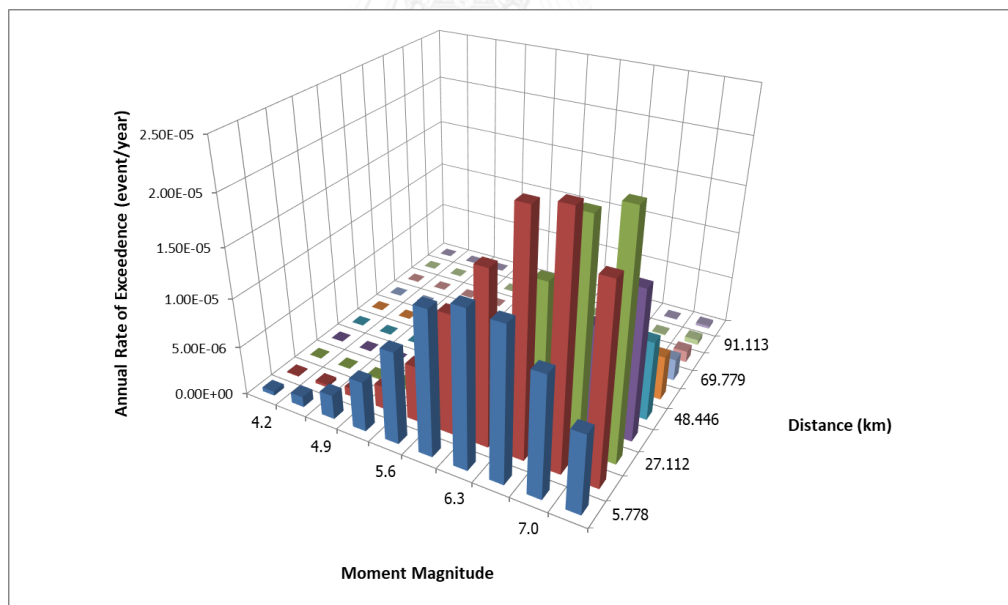
รูปที่ 3.34 ถึง 3.44 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่างๆ โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที



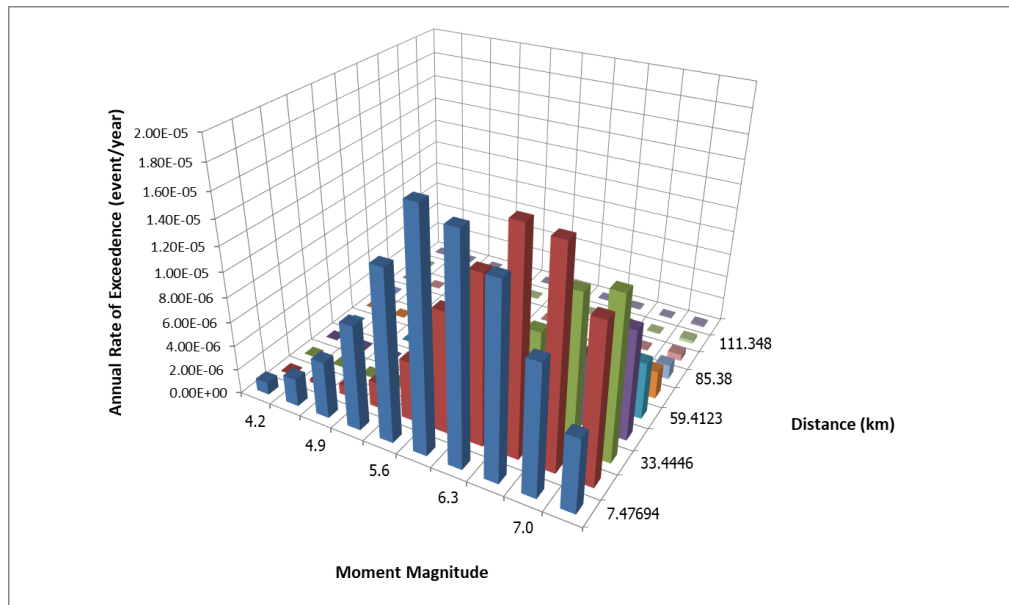
รูปที่ 3.34 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



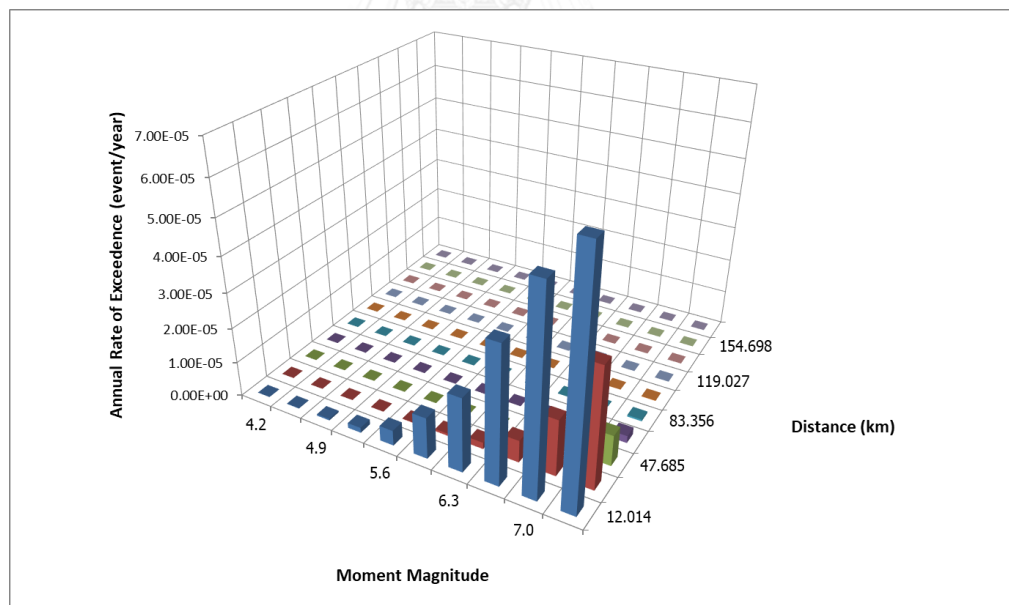
รูปที่ 3.35 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



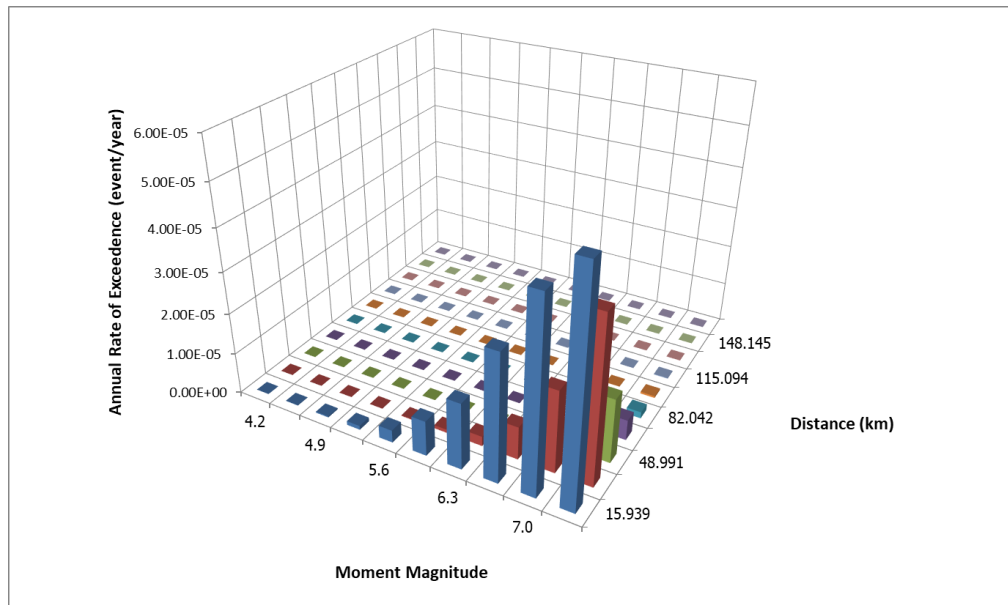
รูปที่ 3.36 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาฬจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



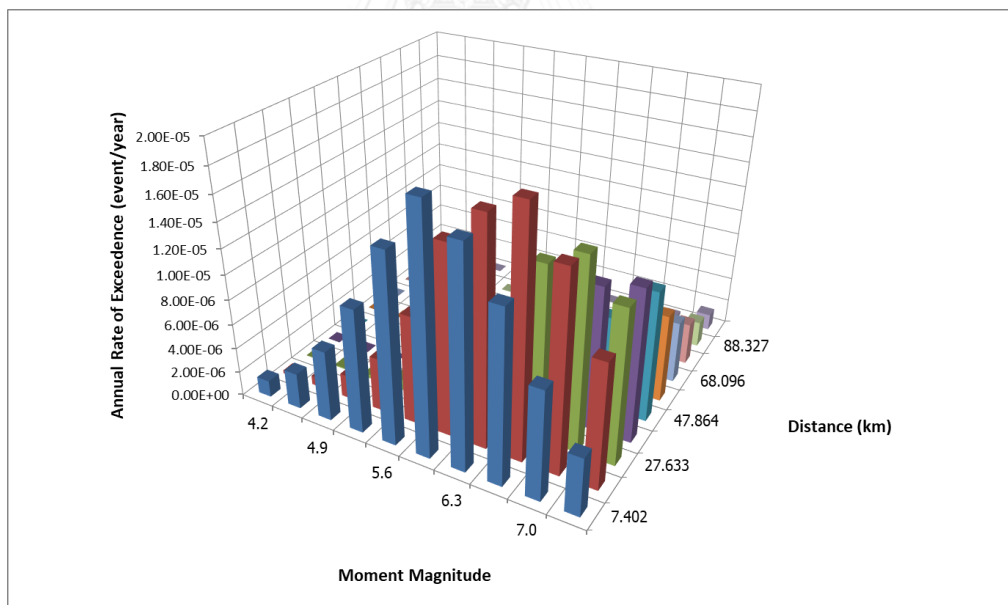
รูปที่ 3.37 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



รูปที่ 3.38 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E

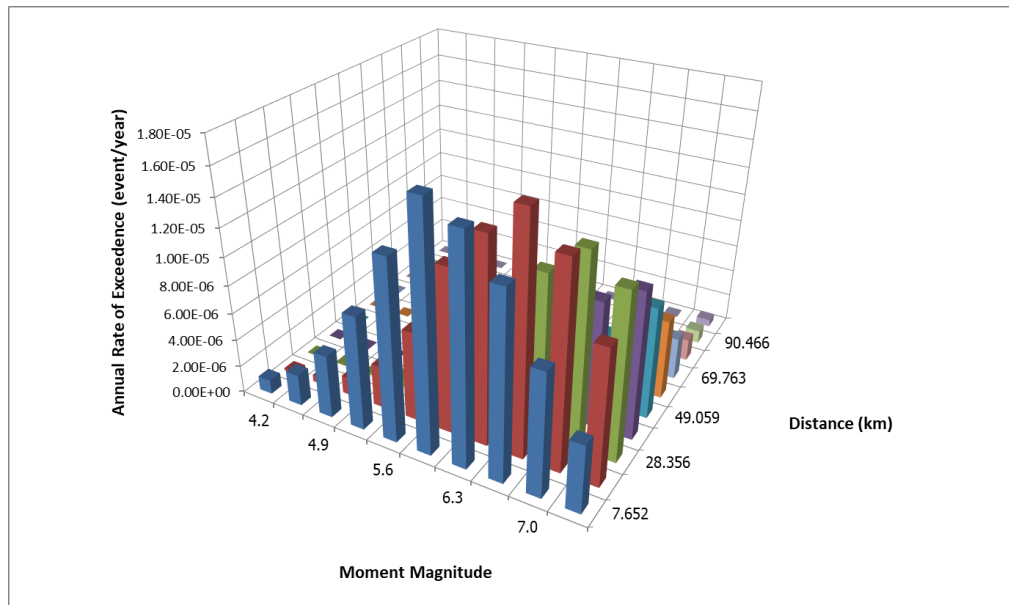


รูปที่ 3.39 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E

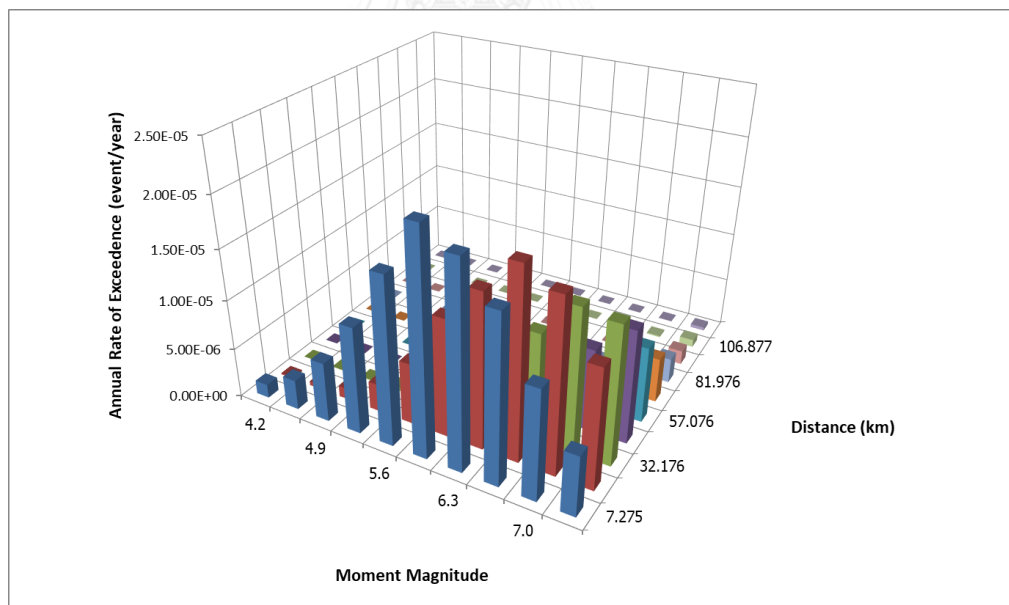


รูปที่ 3.40 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I

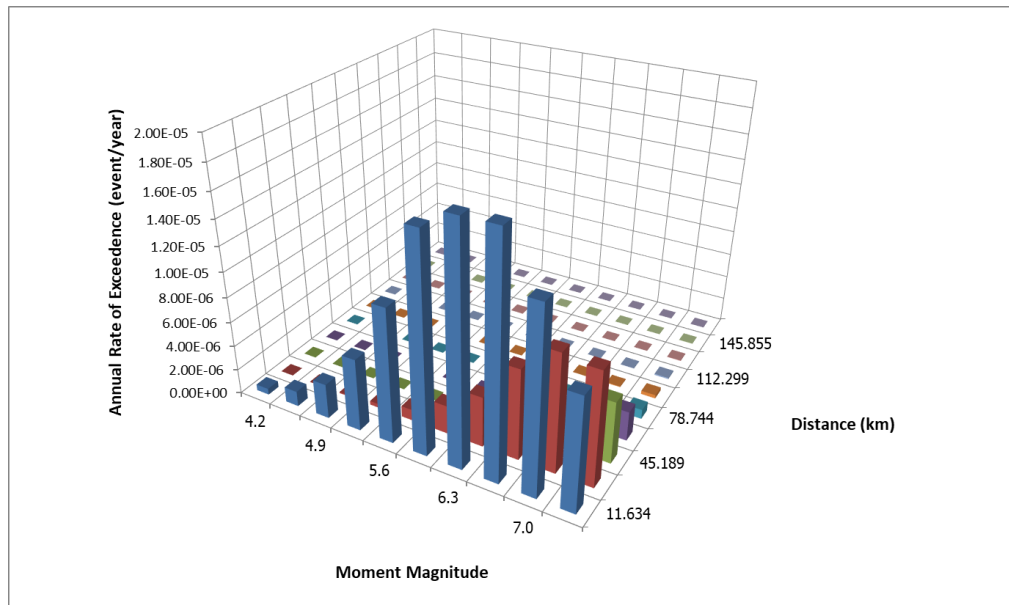




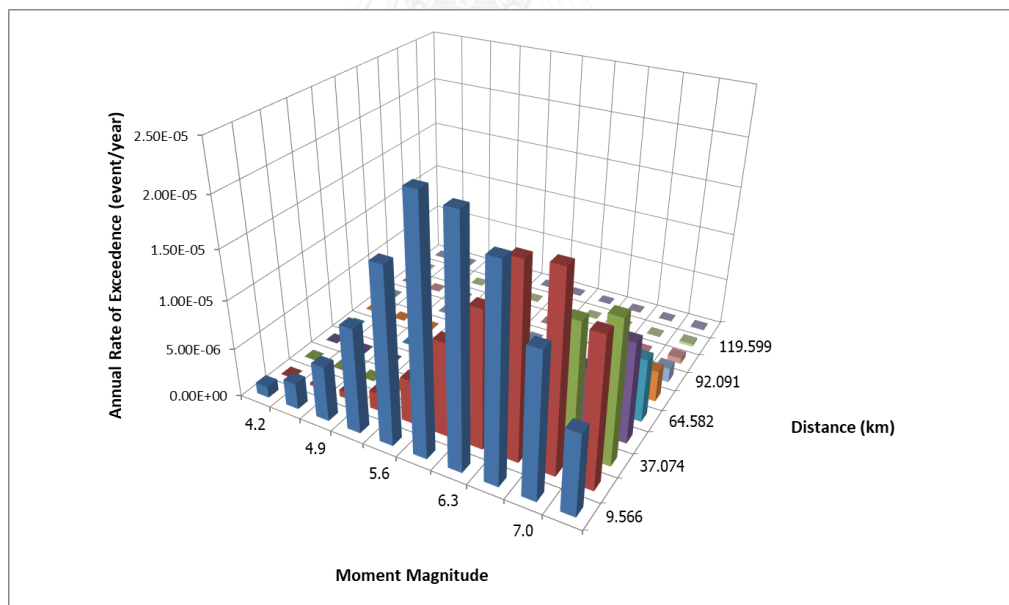
รูปที่ 3.41 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.42 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



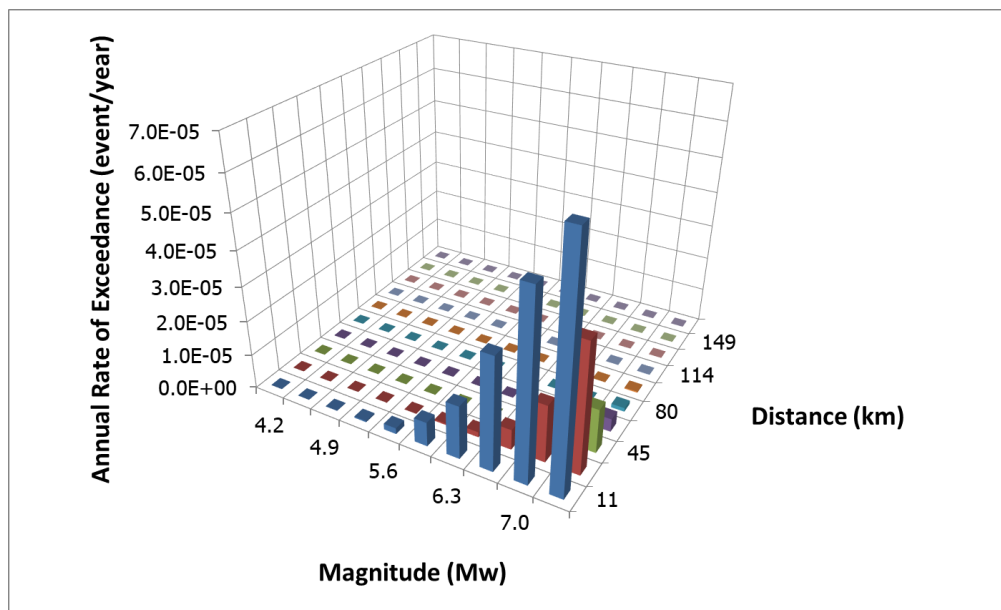
รูปที่ 3.43 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I



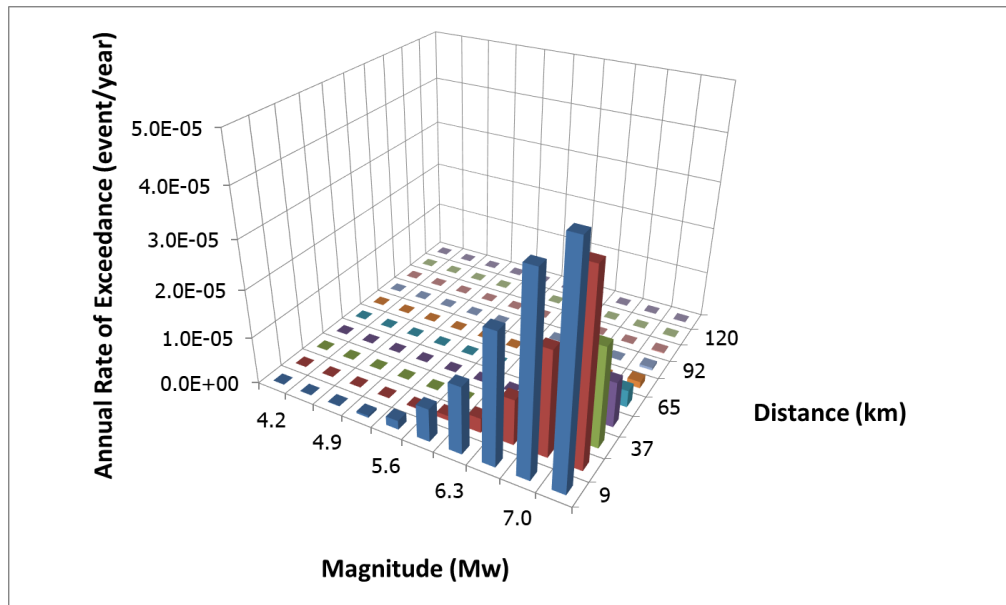
รูปที่ 3.44 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I

### 3.2.5 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที

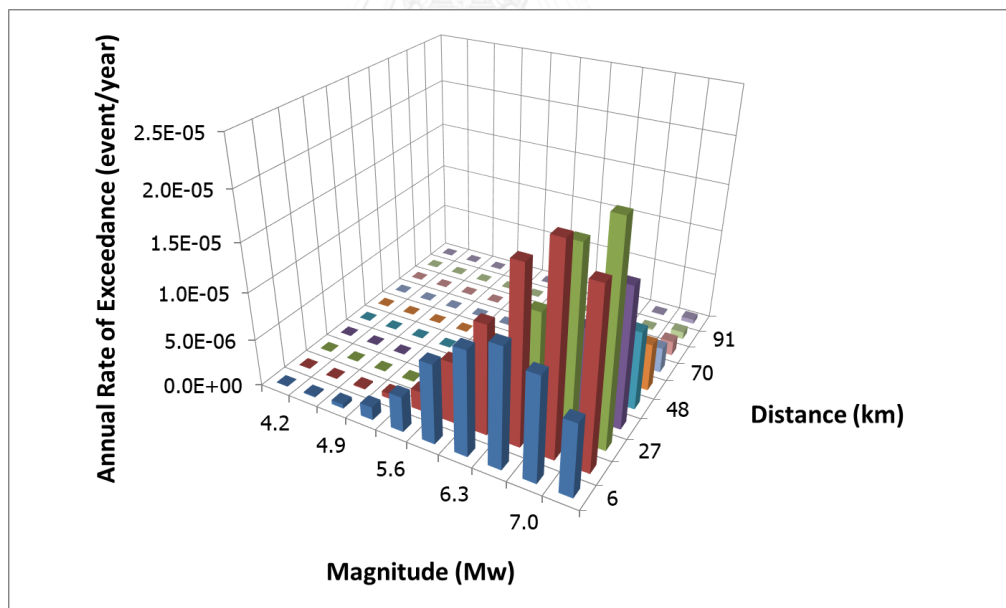
รูปที่ 3.45 ถึง 3.55 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่างๆ โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที



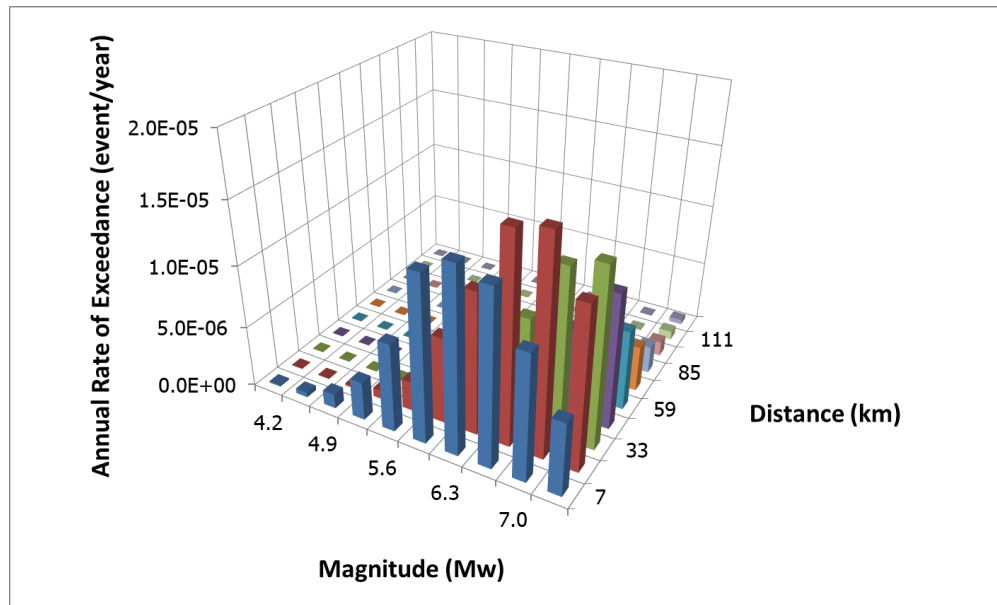
รูปที่ 3.45 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



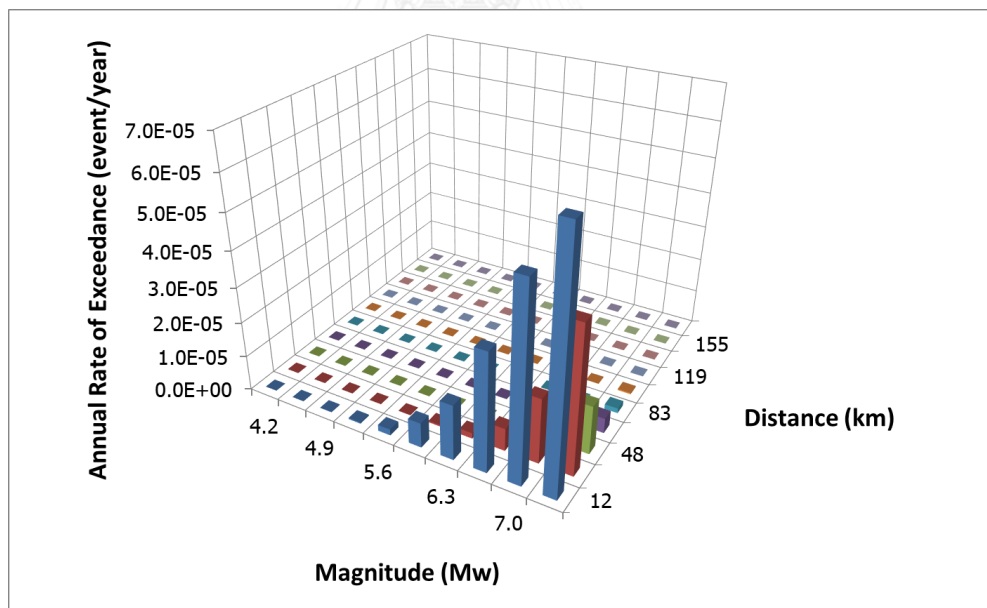
รูปที่ 3.46 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



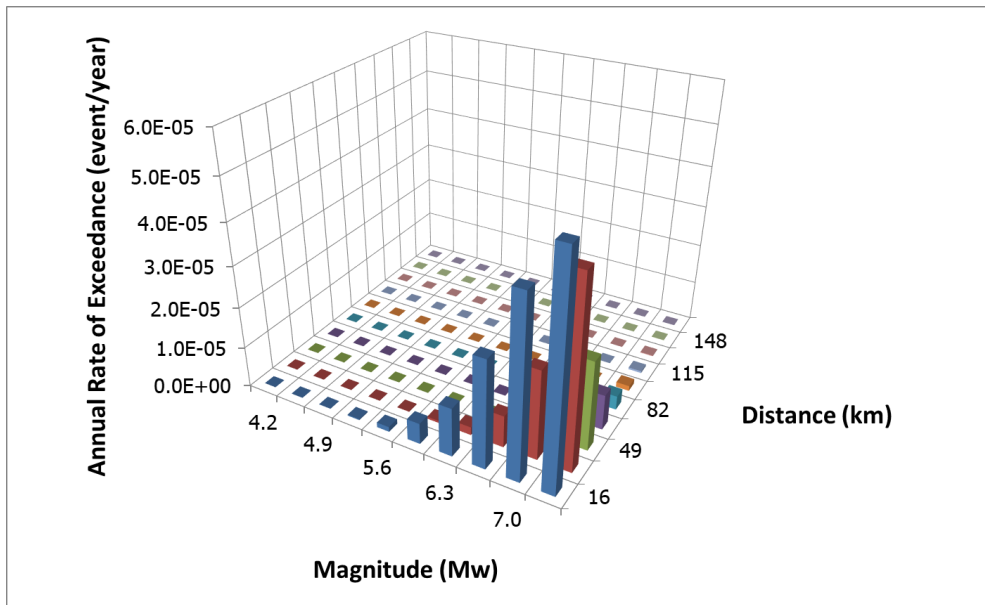
รูปที่ 3.47 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



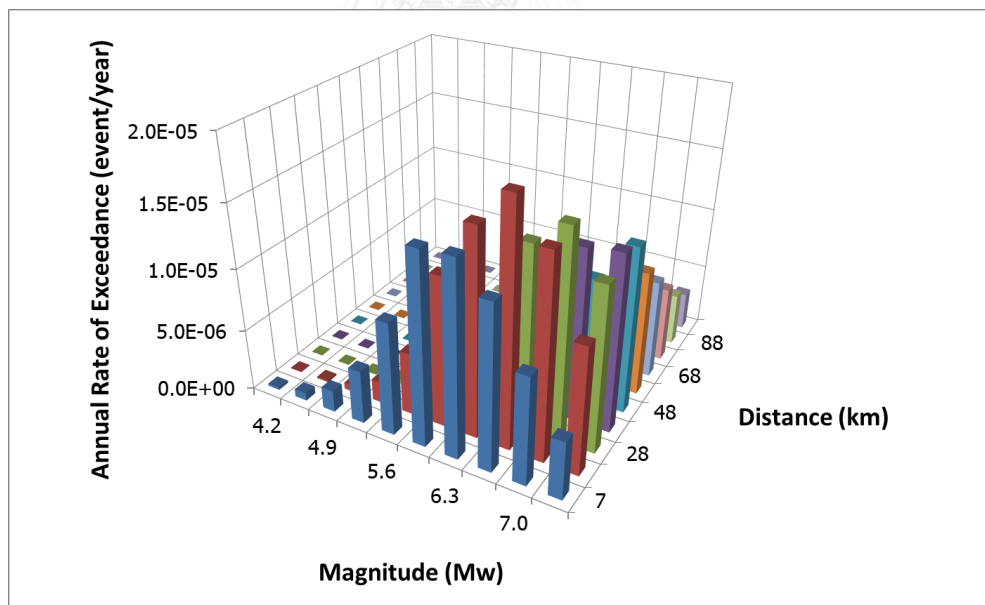
รูปที่ 3.48 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I



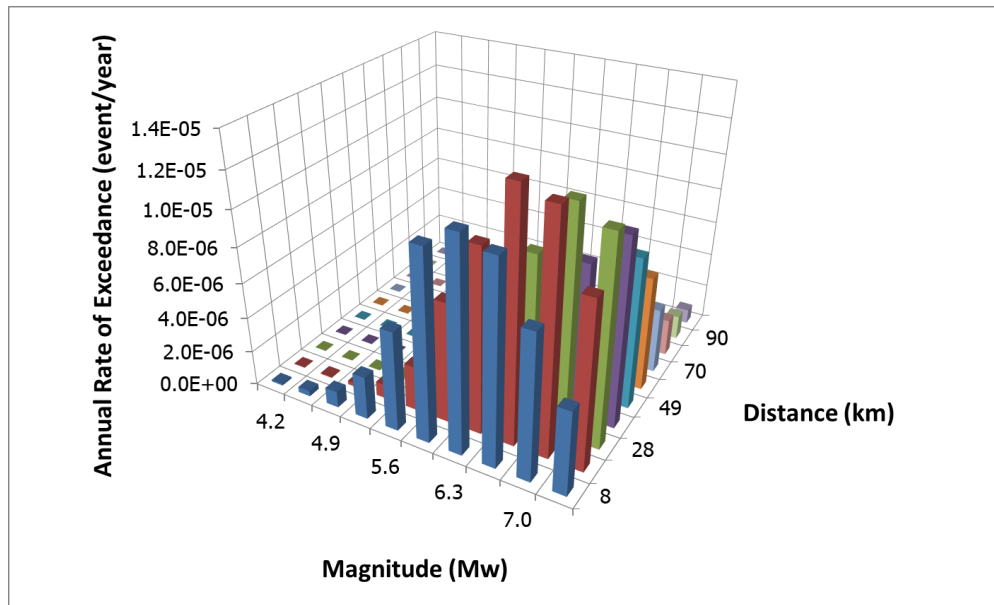
รูปที่ 3.49 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน E



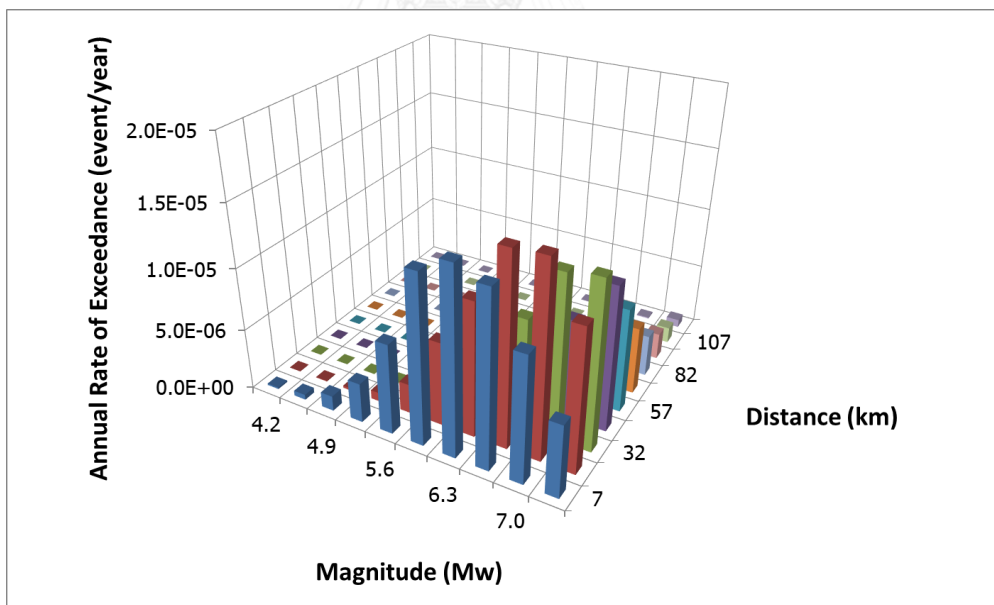
รูปที่ 3.50 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



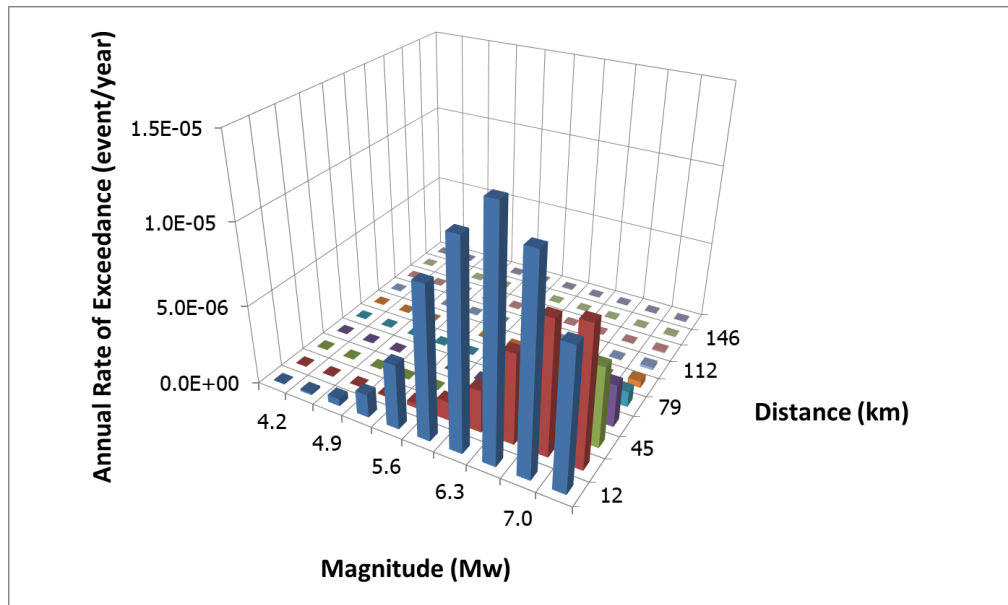
รูปที่ 3.51 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



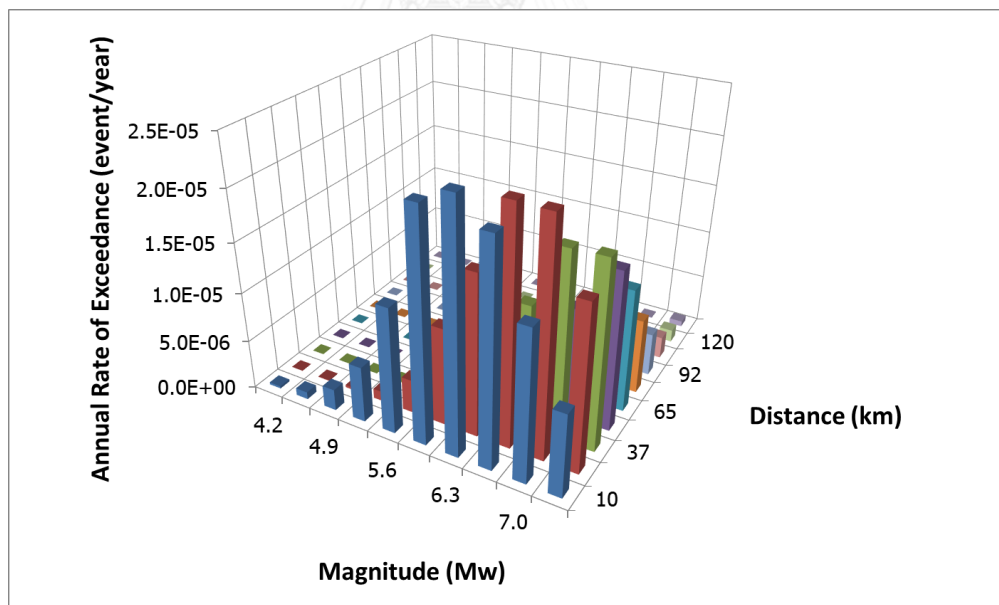
รูปที่ 3.52 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.53 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.54 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1

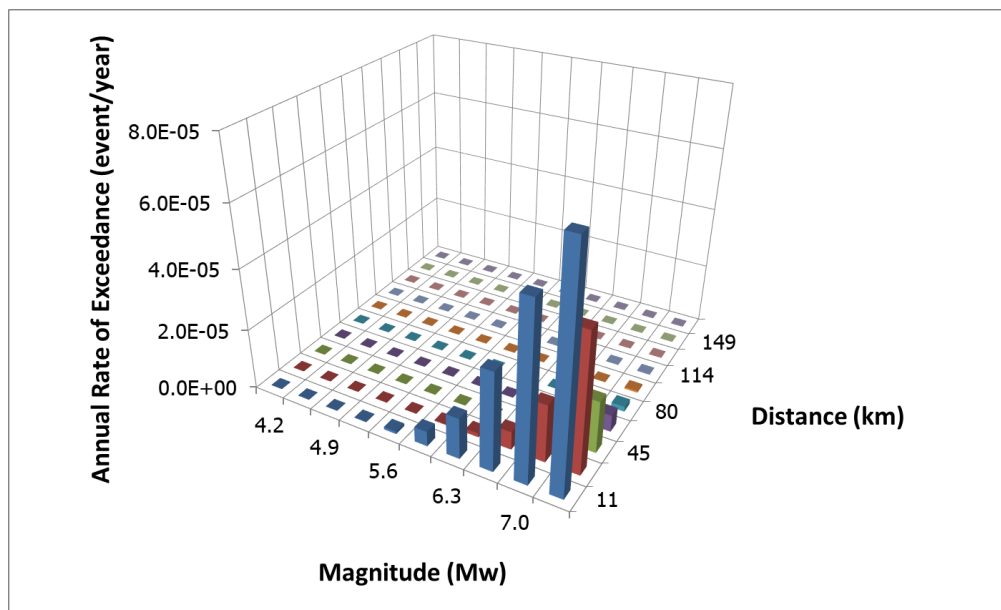


รูปที่ 3.55 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1

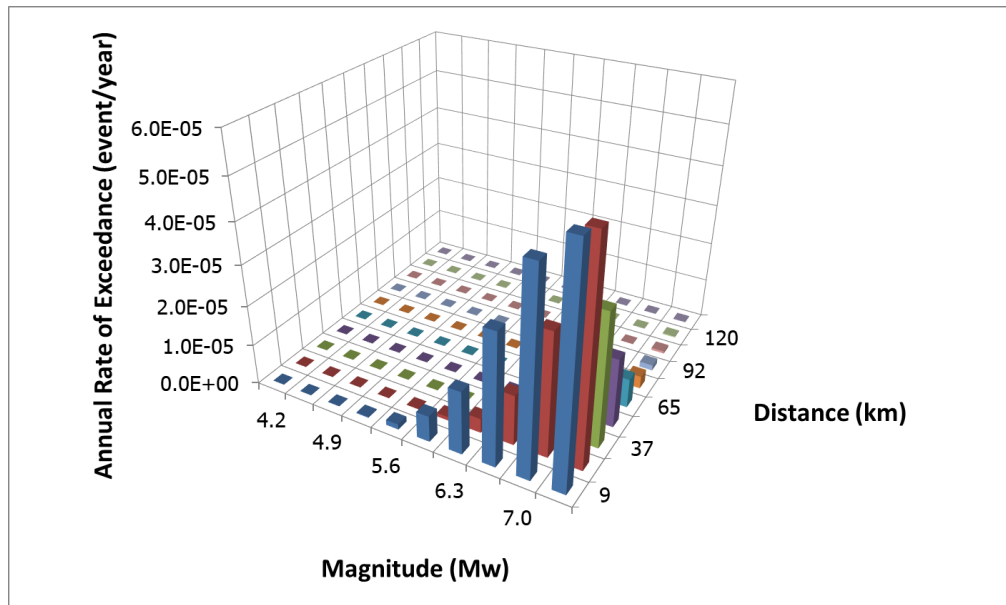


### 3.2.6 พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที

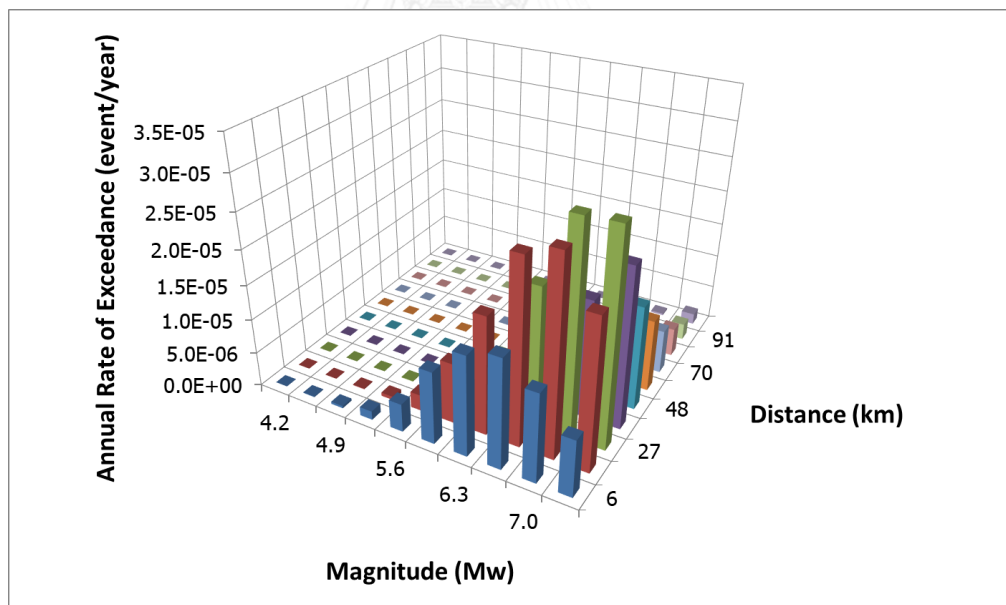
รูปที่ 3.56 ถึง 3.66 เป็นการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่เป็นเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ซึ่งเกิดจากขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างต่างๆ โดยพิจารณาความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที



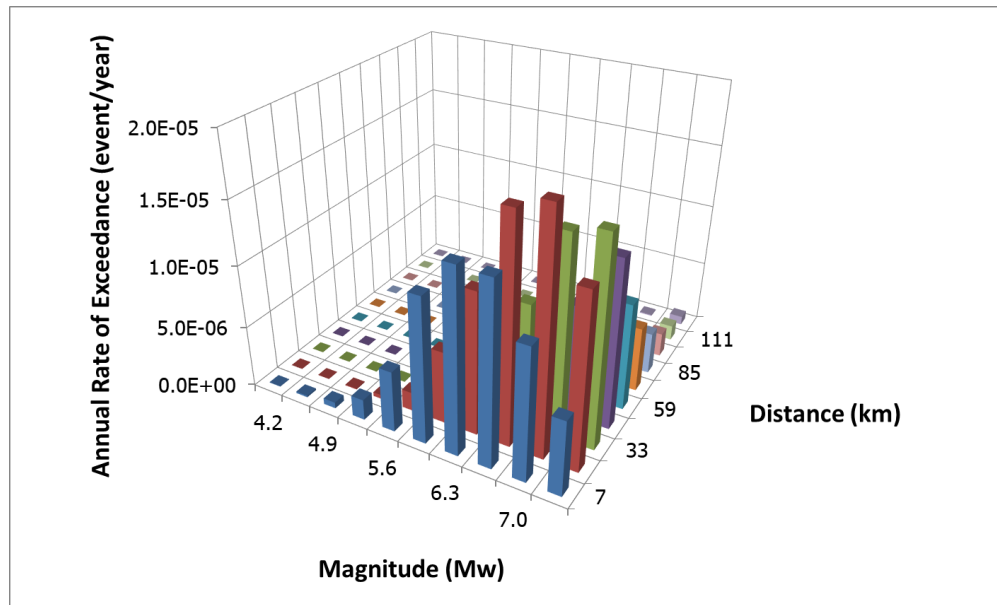
รูปที่ 3.56 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



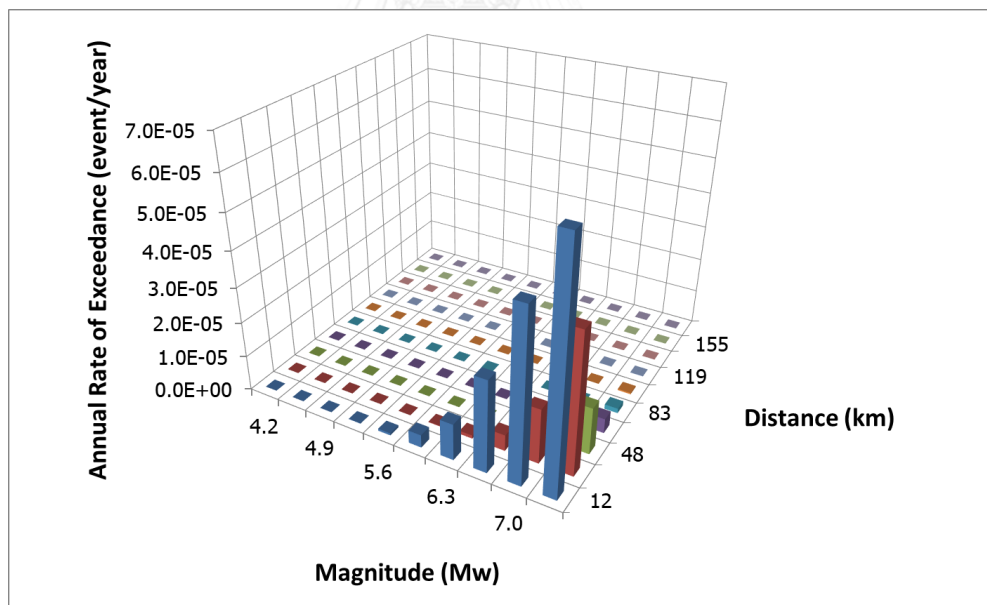
รูปที่ 3.57 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.เชียงราย พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



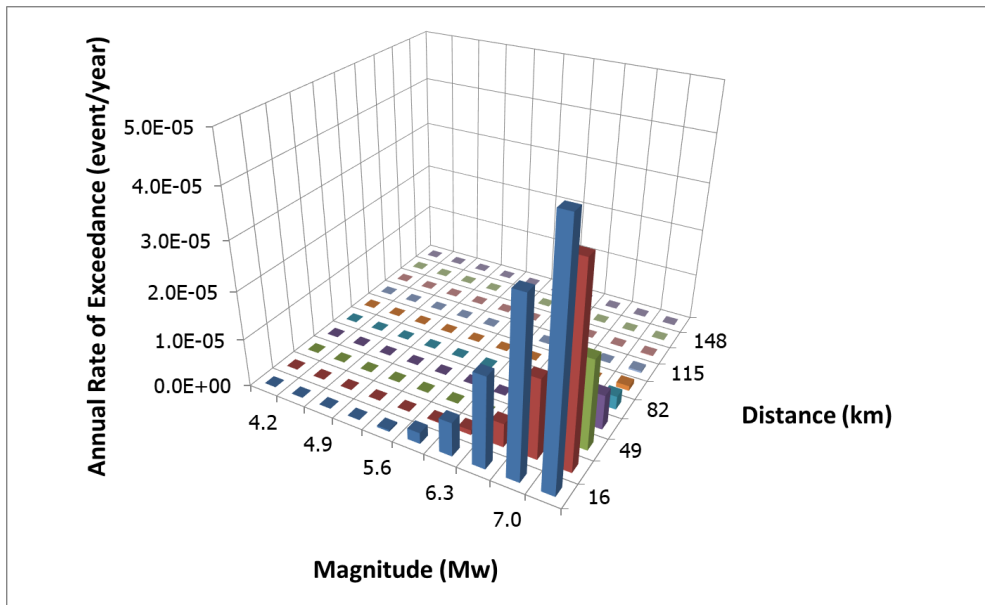
รูปที่ 3.58 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน J



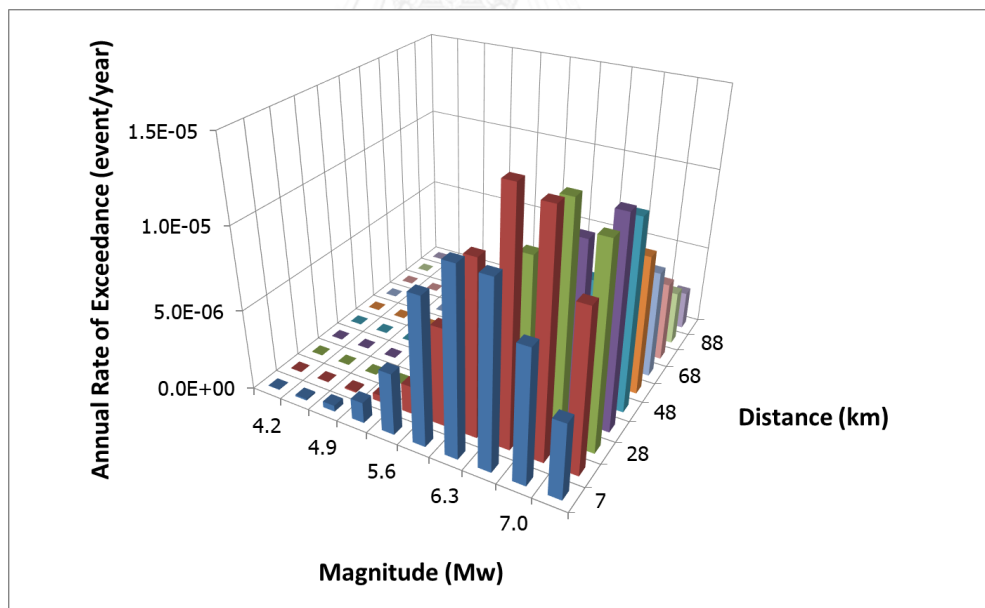
รูปที่ 3.59 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำปาง พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน I



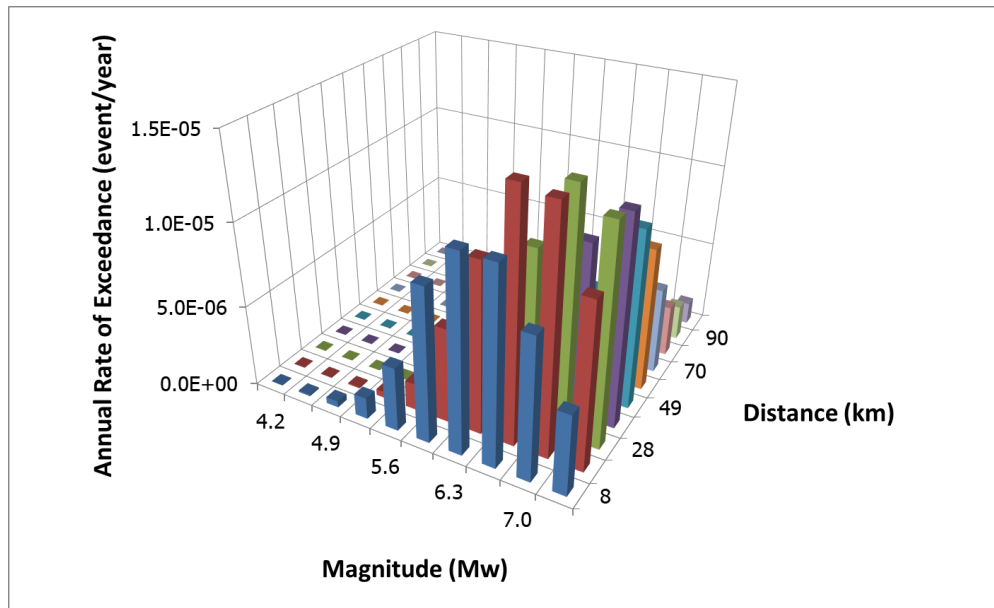
รูปที่ 3.60 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ลำพูน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน E



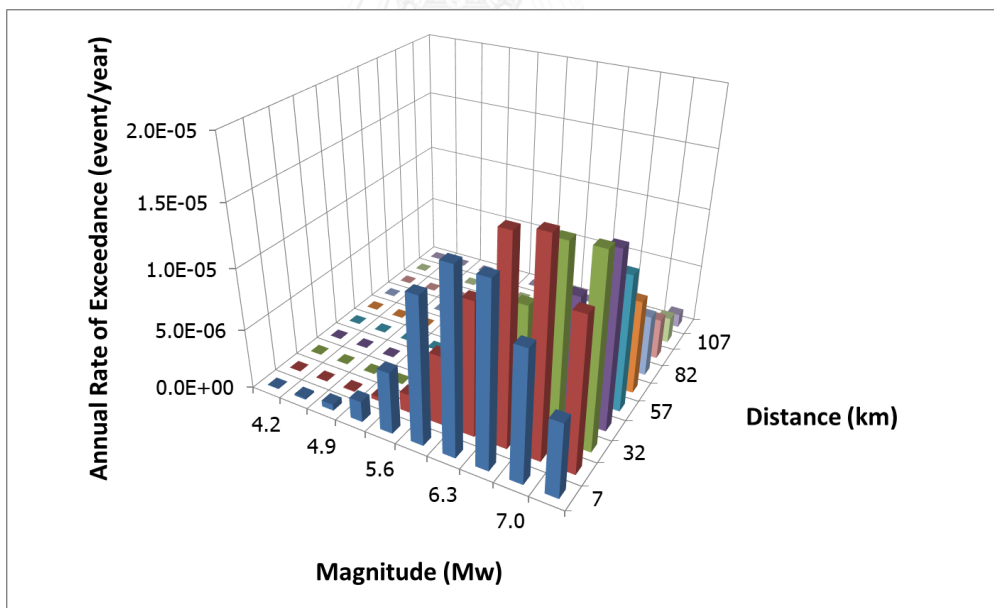
รูปที่ 3.61 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน E



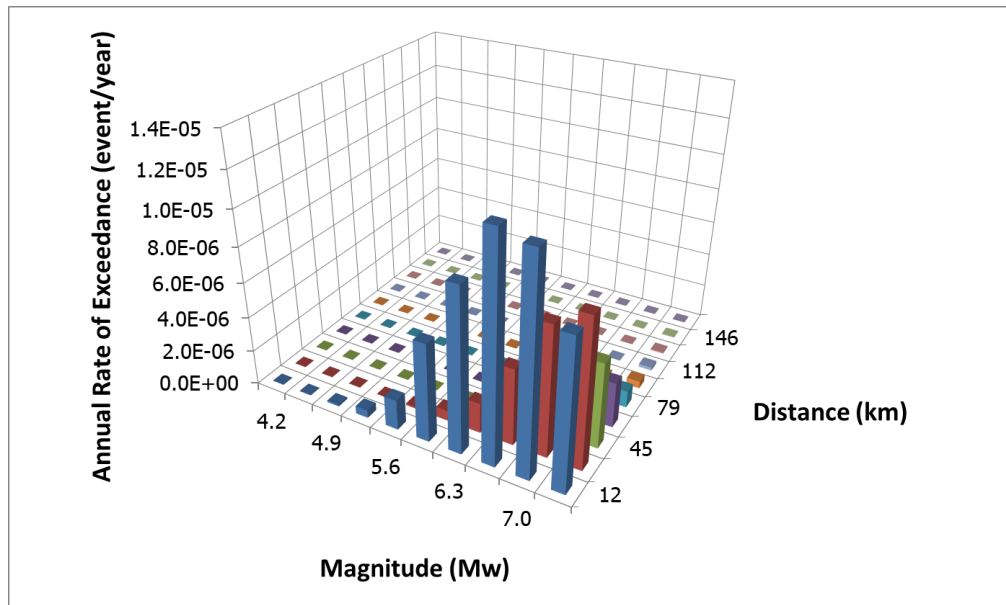
รูปที่ 3.62 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.น่าน พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โซน I



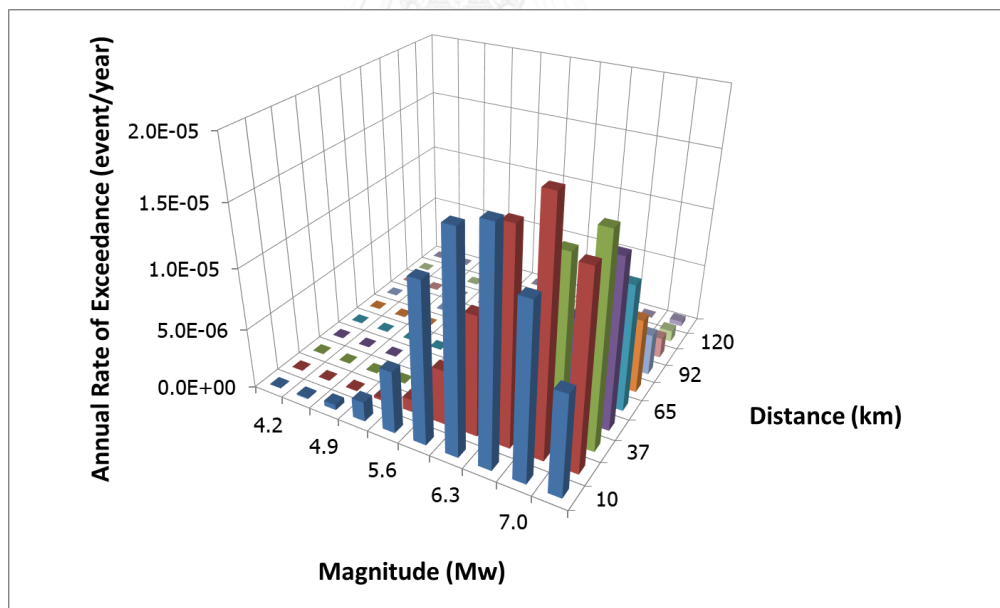
รูปที่ 3.63 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.พะเยา พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.64 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.แพร่ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.65 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.ตาก พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1



รูปที่ 3.66 ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของ อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์ พิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาที โดยมีโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โชน 1

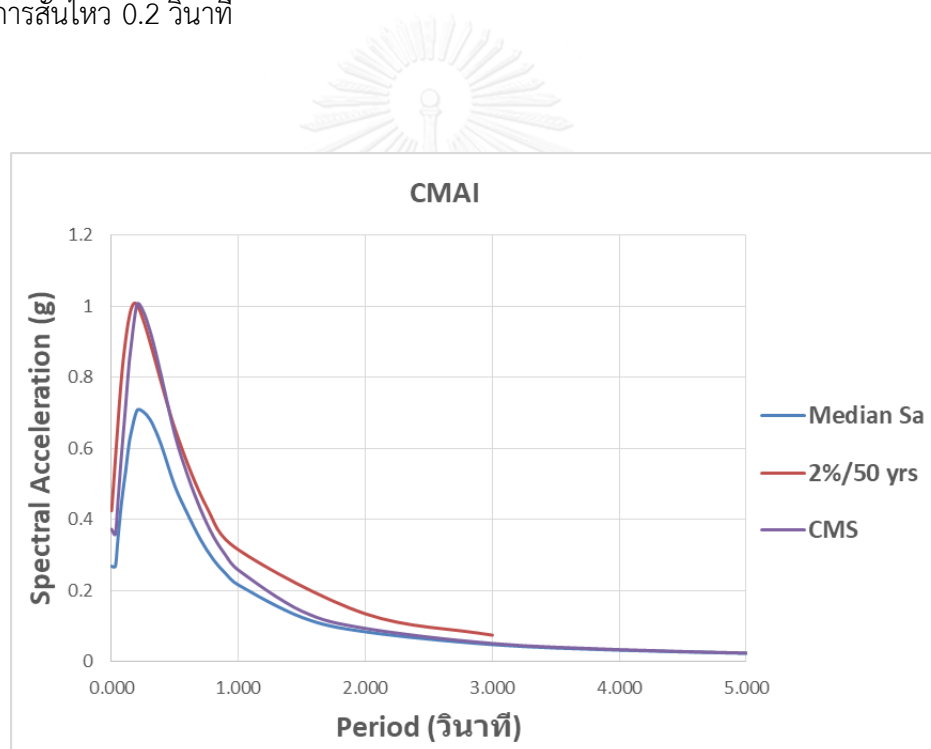
#### บทที่ 4

### สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

เมื่อทราบลักษณะเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงภัยมากที่สุดจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในบทที่ 3 ทำให้ทราบค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวต่างๆที่พิจารณา (0.2, 0.5, 0.75, 1, 2, และ 3 วินาที) ขนาดของแผ่นดินไหว ( $M_w$ ) และระยะห่าง ( $R$ ) และสามารถคำนวณส่วนเบี่ยงเบน ( $\epsilon$ ) ของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดการสั่นไหวของพื้นดินแล้ว จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณหาค่าความเร่งสเปกตรัมค่ามัธยฐาน (median spectrum) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวต่างๆ โดยใช้สมการลดทอนคลื่นแผ่นดินไหวของ Idriss (1993)[10] จากนั้นสามารถคำนวณสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (conditional mean spectrum) โดยใช้สมการที่ 2.21 ในการคำนวณส่วนเบี่ยงเบน ( $\epsilon$ ) ที่คาบการสั่นไหวต่างๆ และใช้สมการที่ 2.22 ในการสร้างสเปกตรัมการตอบสนอง

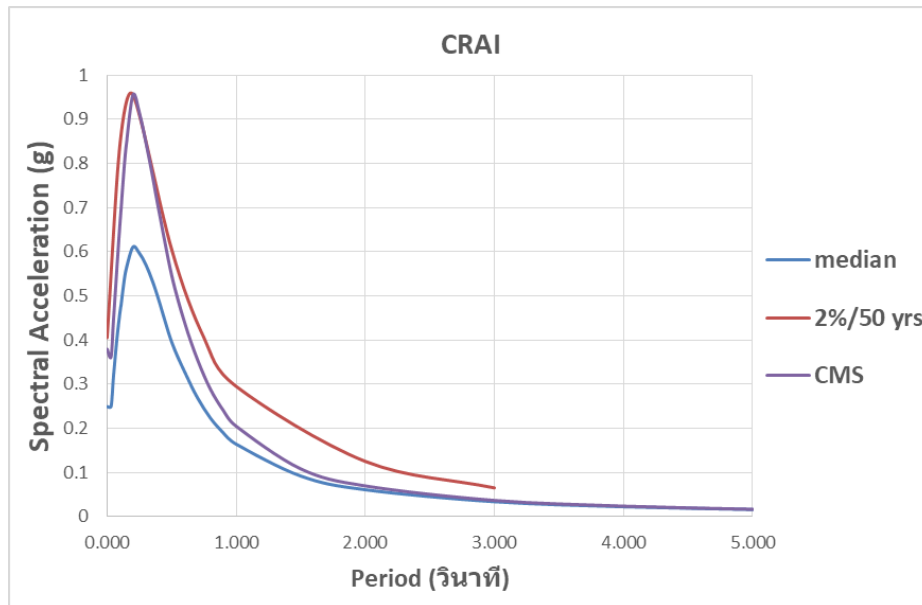
#### 4.1 พิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที

รูปที่ 4.1 ถึง 4.11 ได้แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีของแต่ละจังหวัด ดังนี้ 1.005g (เชียงใหม่), 0.955g (เชียงราย), 0.675g (กาญจนบุรี), 0.815g (ลำปาง), 0.945g (ลำพูน), 0.845g (แม่ฮ่องสอน), 0.795g (น่าน), 0.795g (พะเยา), 0.825g (แพร่), 0.765g (ตาก) และ 0.805g (อุตรดิตถ์) จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมค่ามัธยฐานของแต่ละจังหวัด (เส้นสีฟ้า) มีค่าน้อยกว่าสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) แต่เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบน  $\varepsilon$  ของแต่ละจังหวัดมีค่ามาก จึงทำให้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (เส้นสีม่วง) มีค่าเท่ากับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) ที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที

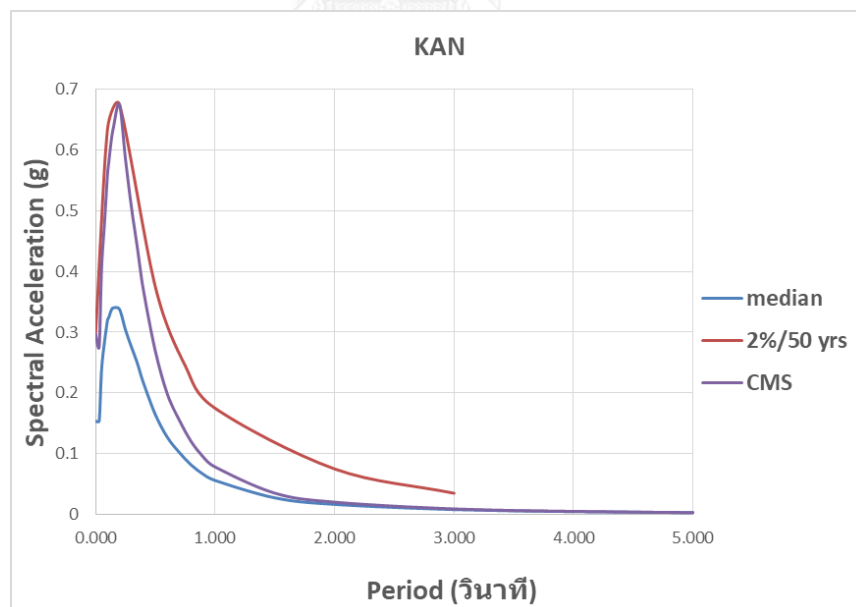


รูปที่ 4.1 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

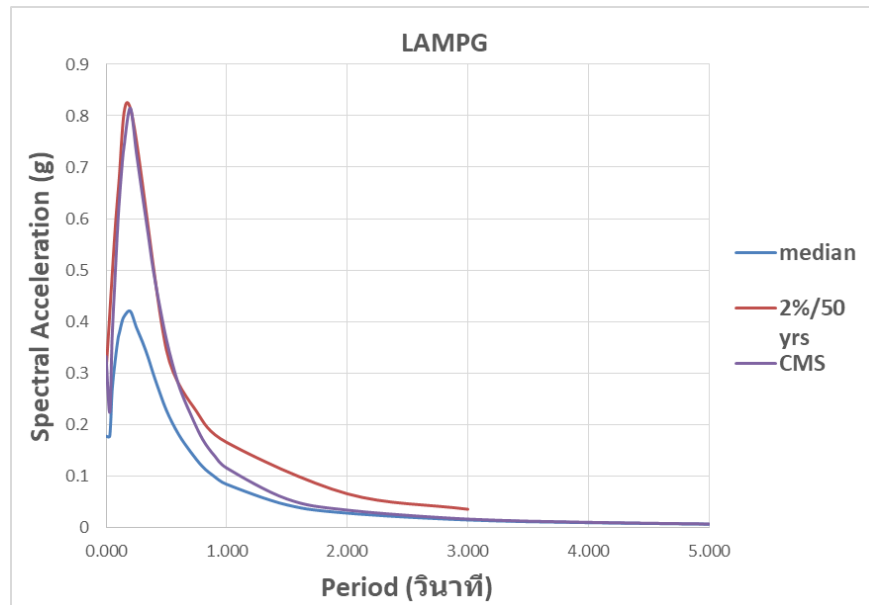




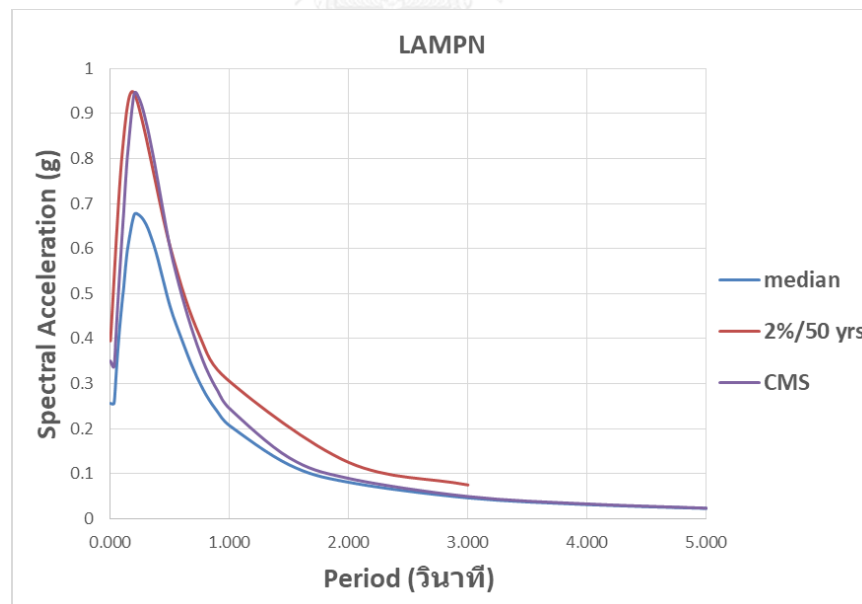
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย



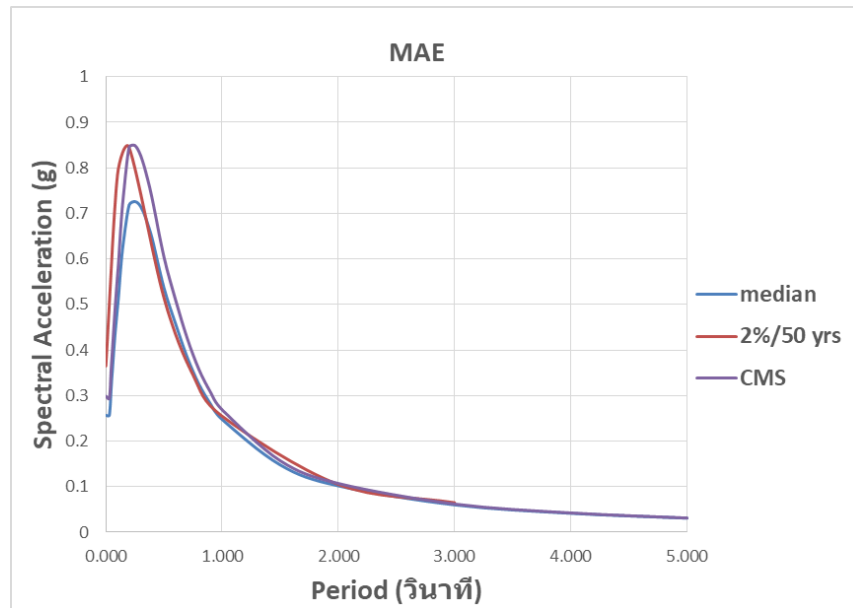
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.58 และระยะทางเท่ากับ 5.8 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี



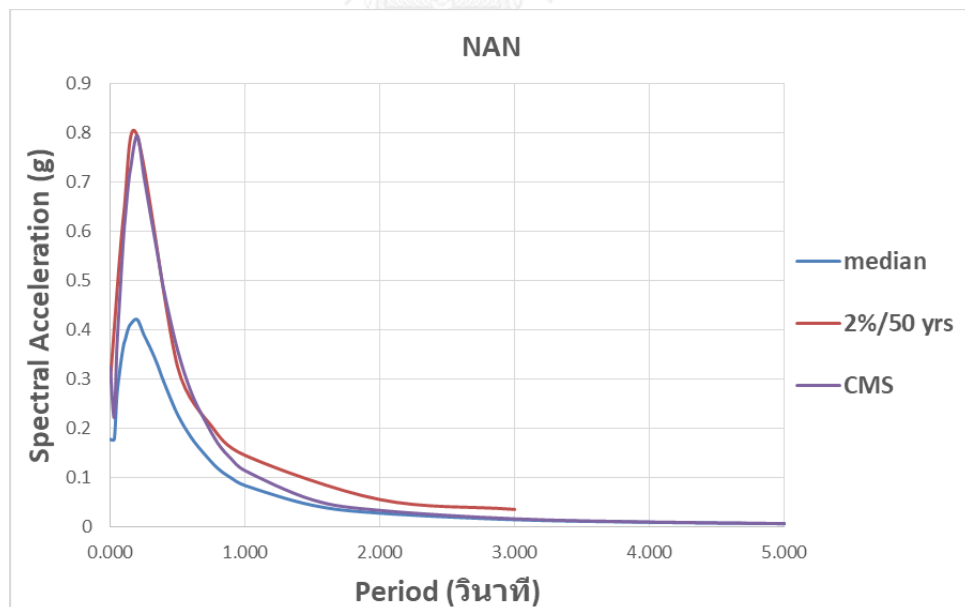
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง



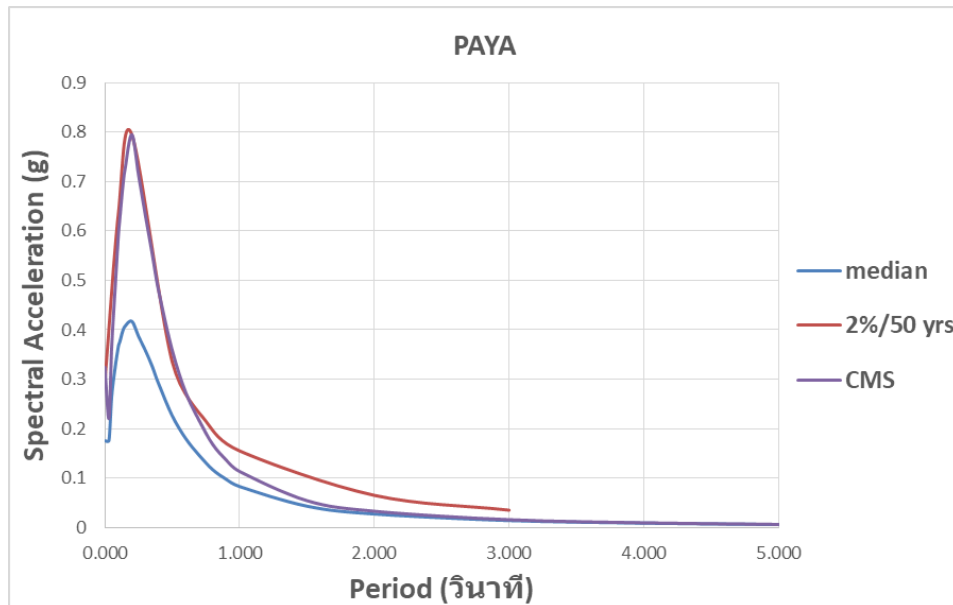
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน



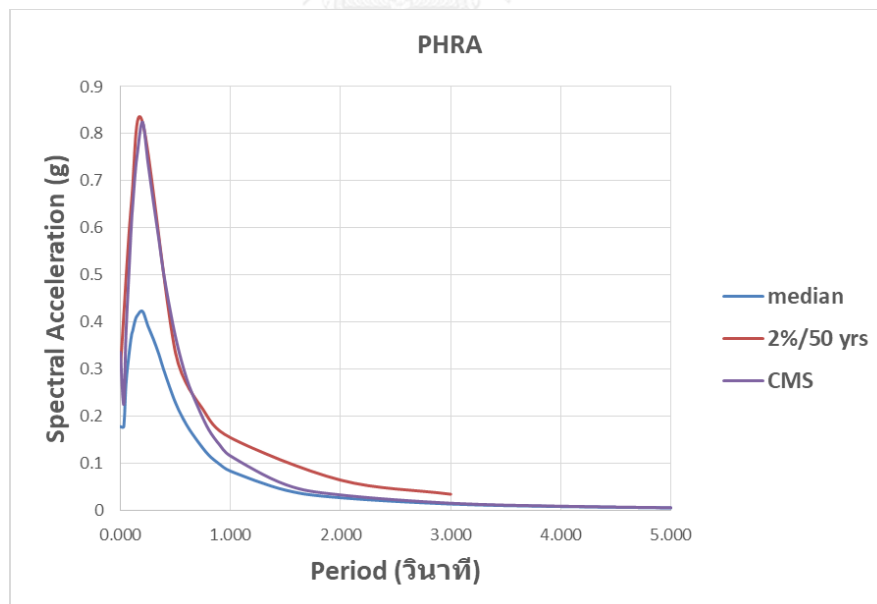
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน



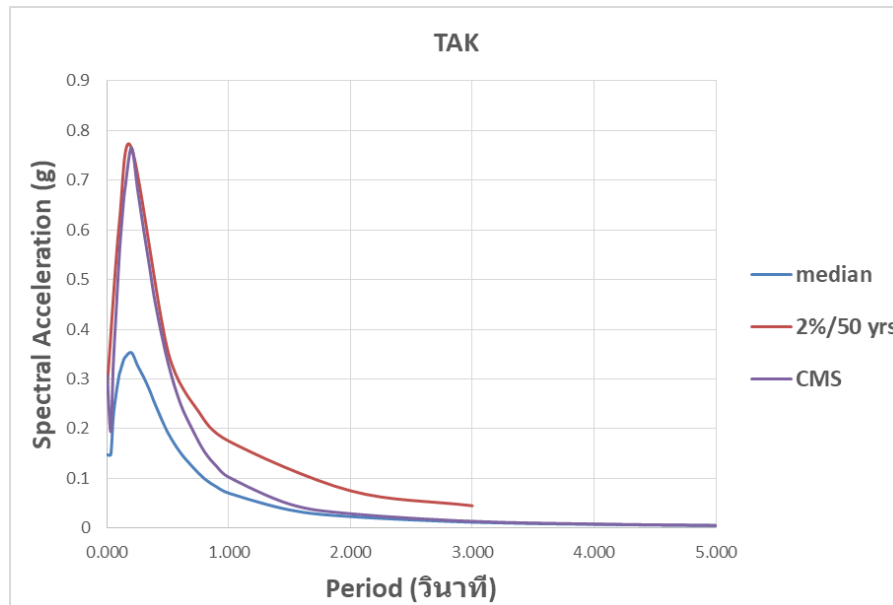
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.4 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน



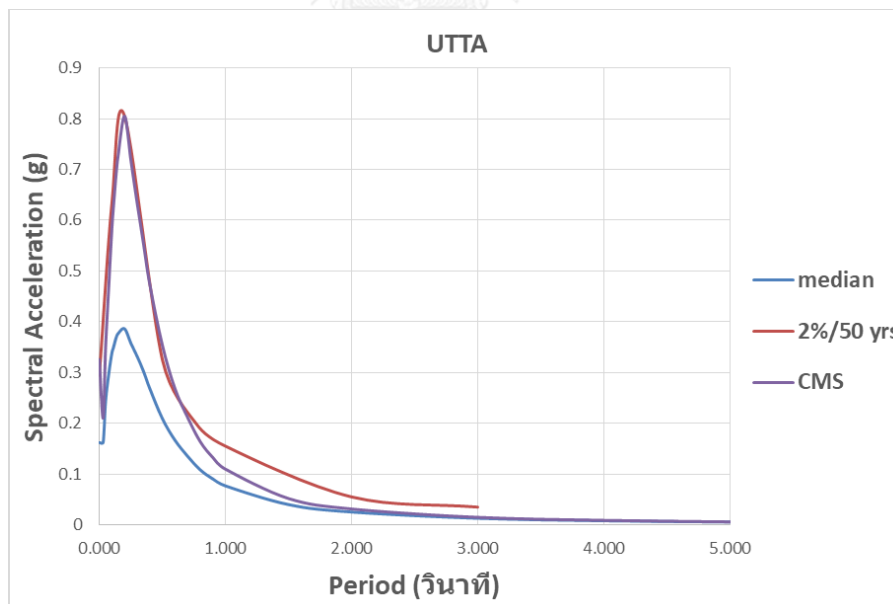
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.พะเยา



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 4.53 และระยะทางเท่ากับ 7.3 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่



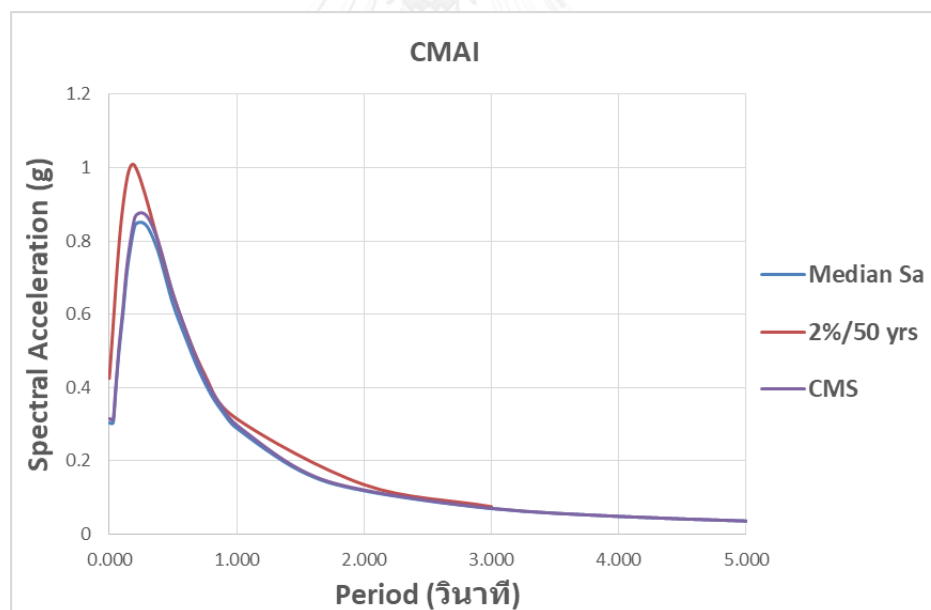
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.23 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก



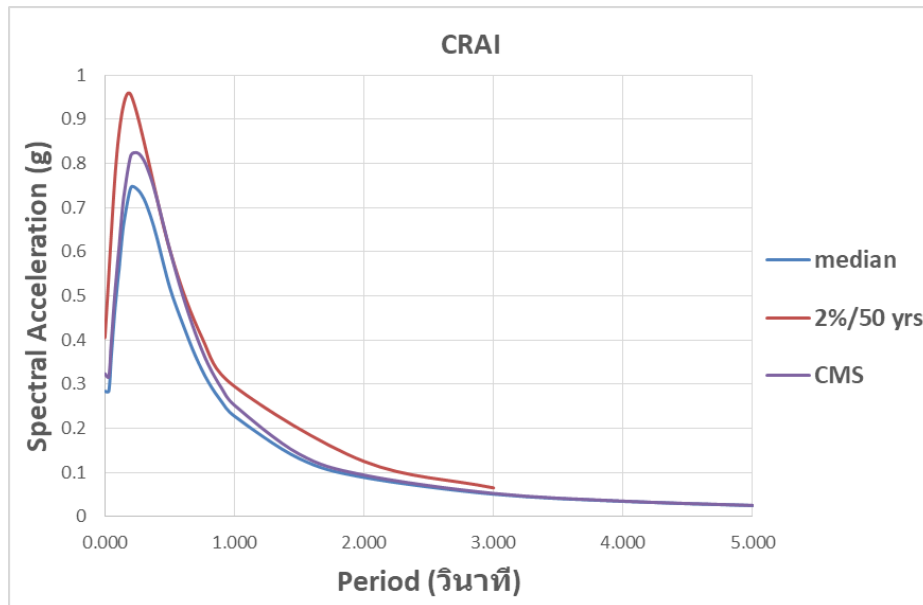
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 4.89 และระยะทางเท่ากับ 9.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์

#### 4.2 พิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที

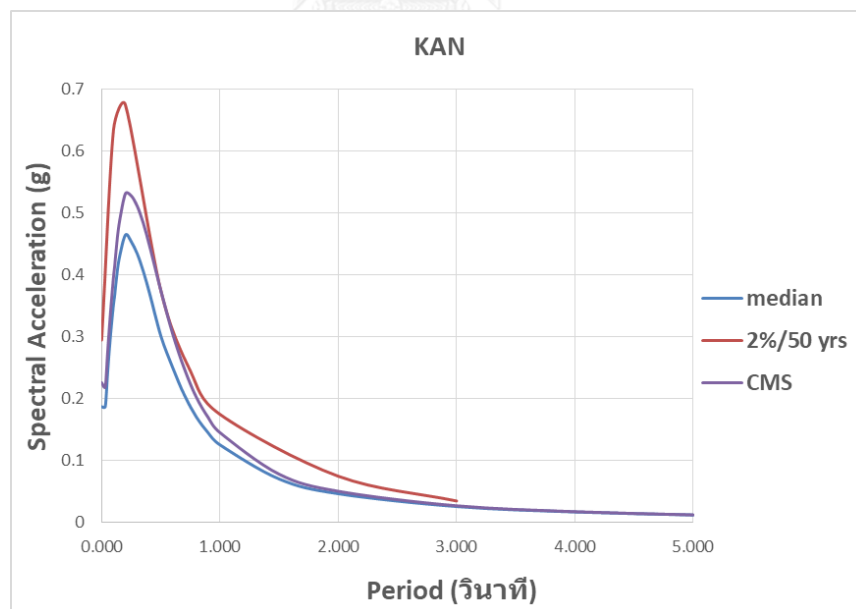
รูปที่ 4.12 ถึง 4.22 ได้แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาทีของแต่ละจังหวัด ดังนี้ 0.655g (เชียงใหม่), 0.605g (เชียงราย), 0.375g (กาญจนบุรี), 0.345g (ลำปาง), 0.605g (ลำพูน), 0.515g (แม่ฮ่องสอน), 0.325g (น่าน), 0.335g (พะเยา), 0.335g (แพร่), 0.355g (ตาก) และ 0.325g (อุตรดิตถ์) จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมค่ามัธยฐานของแต่ละจังหวัด (เส้นสีฟ้า) มีค่าน้อยกว่าสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) แต่เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบน  $\varepsilon$  ของแต่ละจังหวัดมีค่ามาก จึงทำให้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (เส้นสีม่วง) มีค่าเท่ากับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) ที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ยกเว้นจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน แม่ฮ่องสอน ซึ่งสเปกตรัมค่ามัธยฐาน (เส้นสีฟ้า) มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) และส่วนเบี่ยงเบน  $\varepsilon$  มีค่าน้อย ทำให้สเปกตรัมทั้ง 3 เส้นมีค่าใกล้เคียงกัน



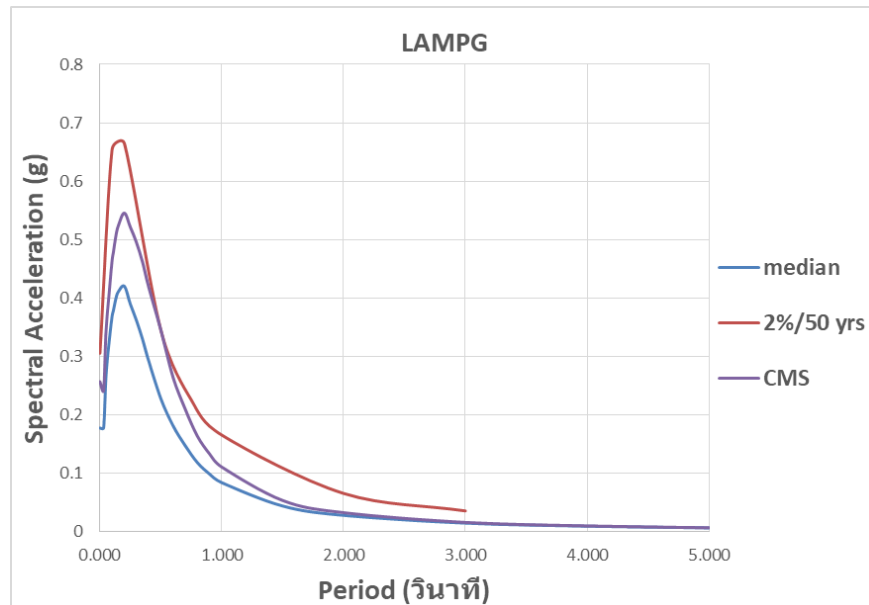
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



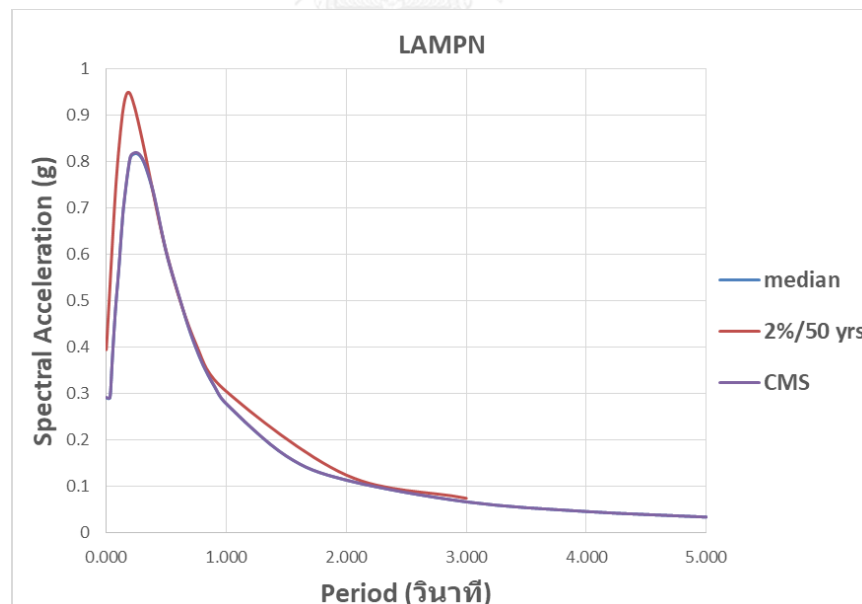
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 16.4 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี

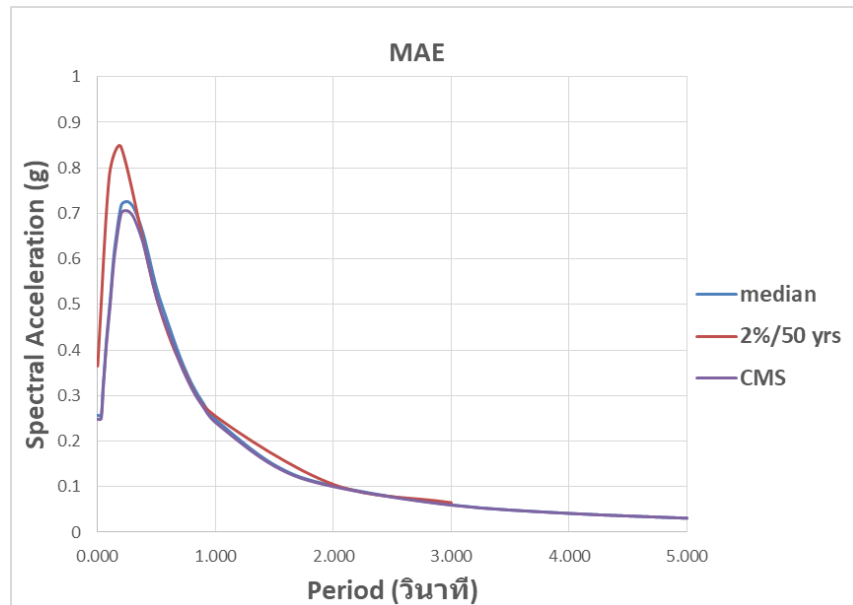


รูปที่ 4.15 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง

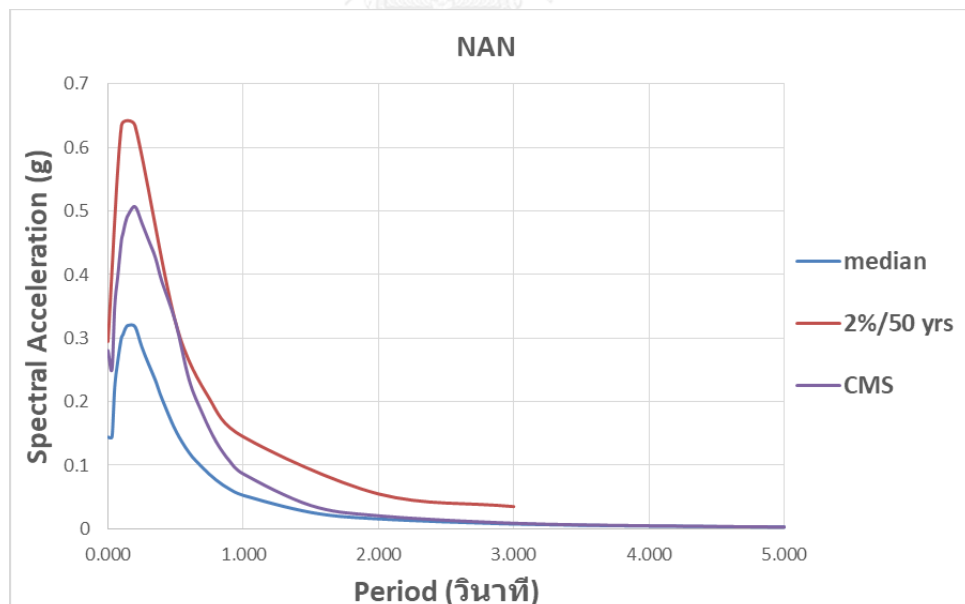


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน

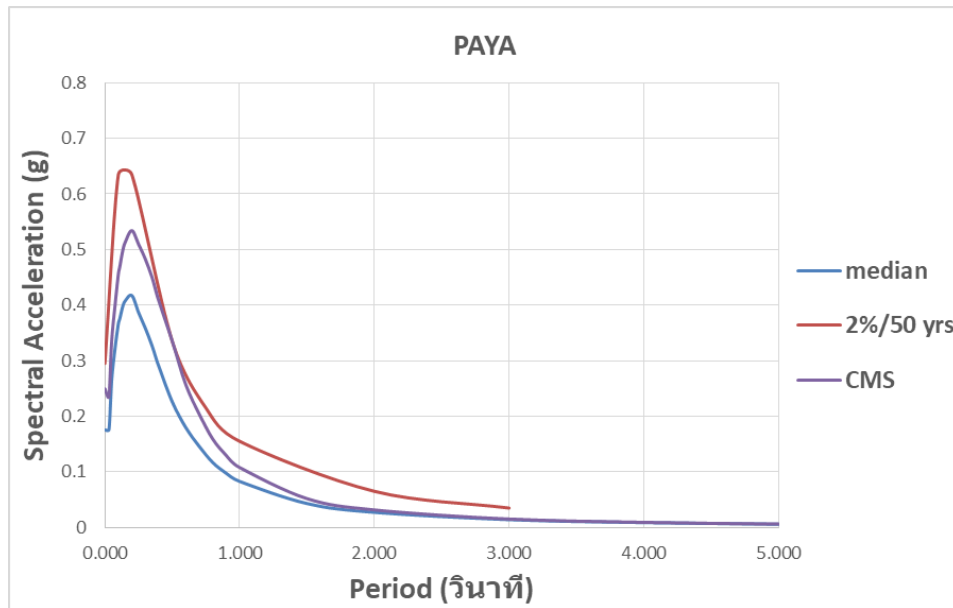




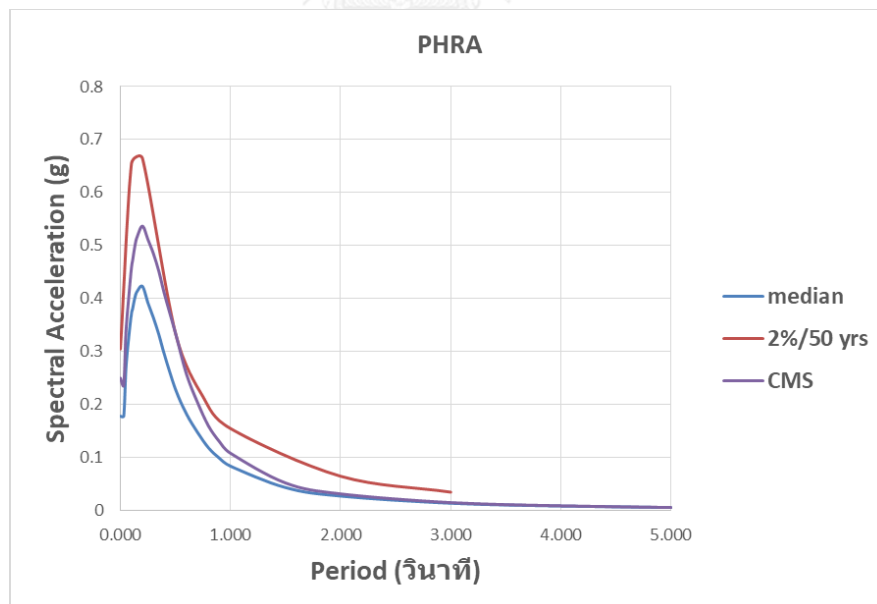
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน



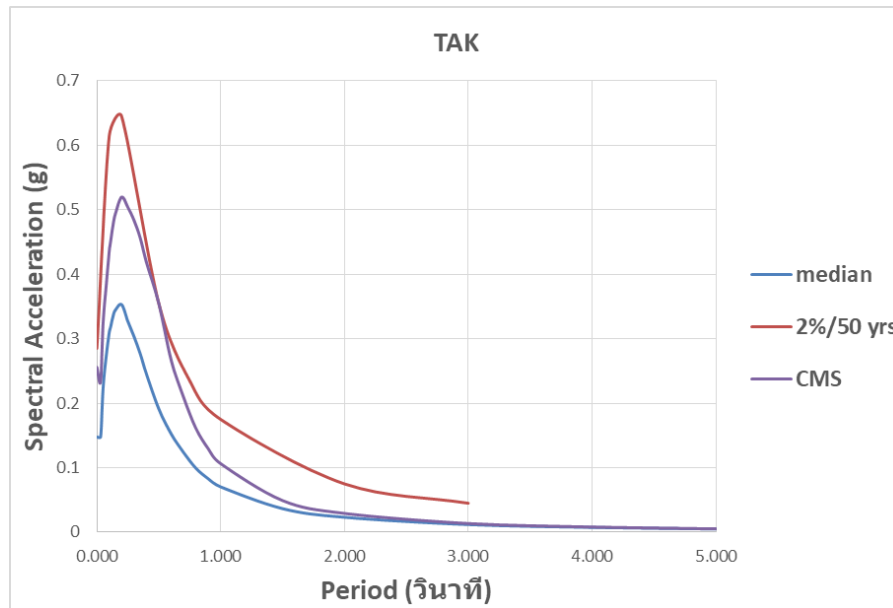
รูปที่ 4.18 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.58 และระยะทางเท่ากับ 7.4 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน



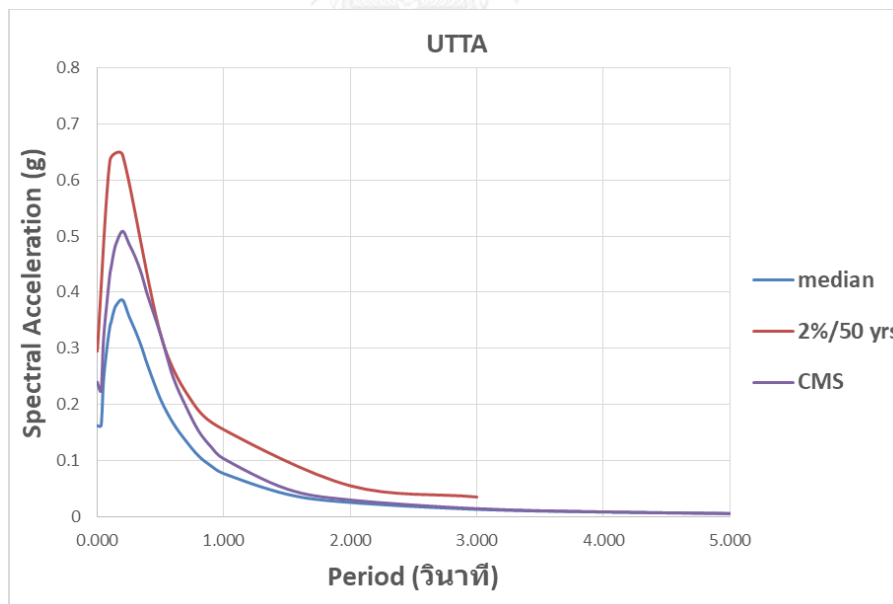
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.พะเยา



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.3 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่



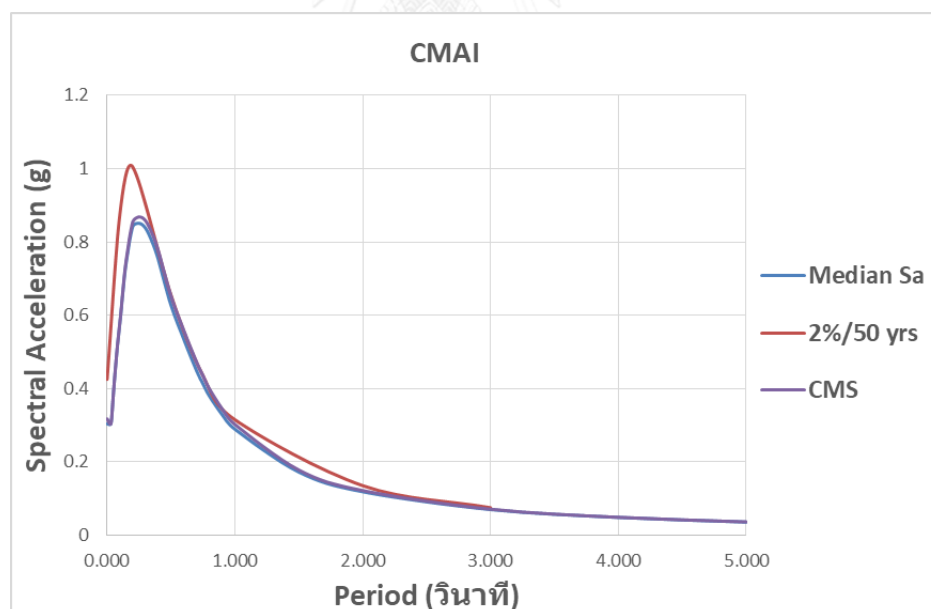
รูปที่ 4.21 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก



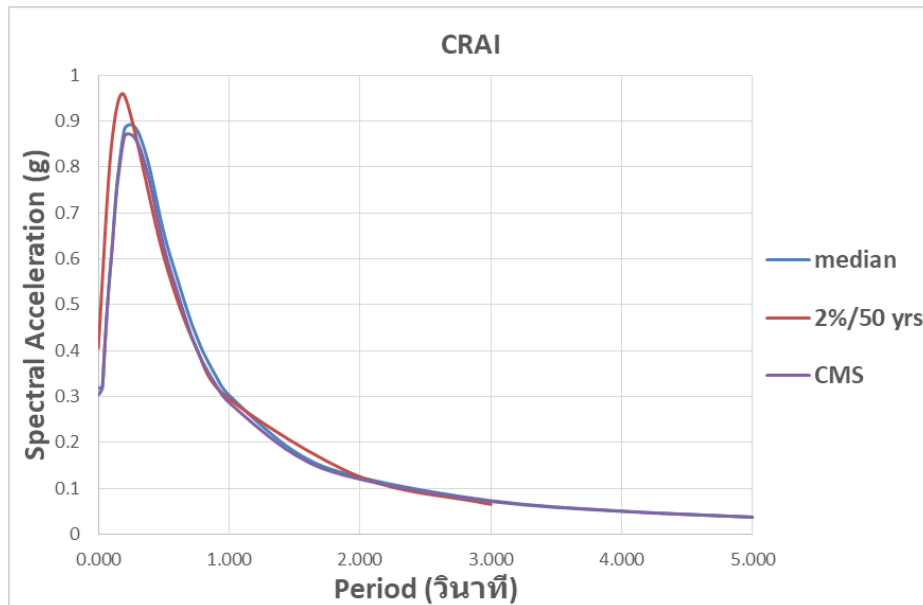
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 9.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.5 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์

### 4.3 พิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที

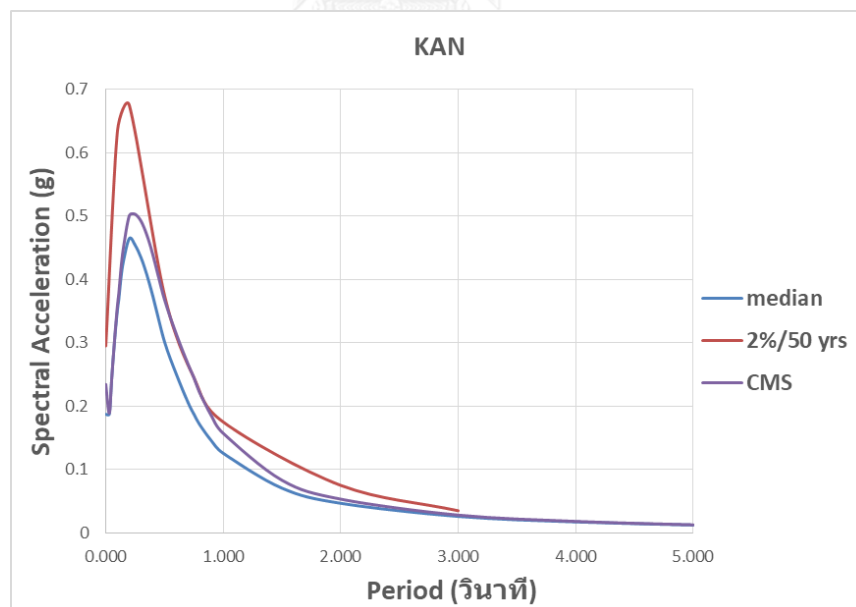
รูปที่ 4.23 ถึง 4.33 ได้แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาทีของแต่ละจังหวัด ดังนี้ 0.435g (เชียงใหม่), 0.405g (เชียงราย), 0.245g (กาญจนบุรี), 0.225g (ลำปาง), 0.405g (ลำพูน), 0.345g (แม่ฮ่องสอน), 0.205g (น่าน), 0.215g (พะเยา), 0.215g (แพร่), 0.235g (ตาก) และ 0.205g (อุตรดิตถ์) จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมค่ามัธยฐานของจังหวัดกาญจนบุรี ลำปาง น่าน พะเยา แพร่ ตาก อุตรดิตถ์ (เส้นสีฟ้า) มีค่าน้อยกว่าสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) แต่เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบน  $\epsilon$  ของแต่ละจังหวัดมีค่ามาก จึงทำให้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (เส้นสีม่วง) มีค่าเท่ากับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) ที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที แต่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และแม่ฮ่องสอน สเปกตรัมค่ามัธยฐาน (เส้นสีฟ้า) มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) และส่วนเบี่ยงเบน  $\epsilon$  มีค่าน้อย ทำให้สเปกตรัมทั้ง 3 เส้นมีค่าใกล้เคียงกัน



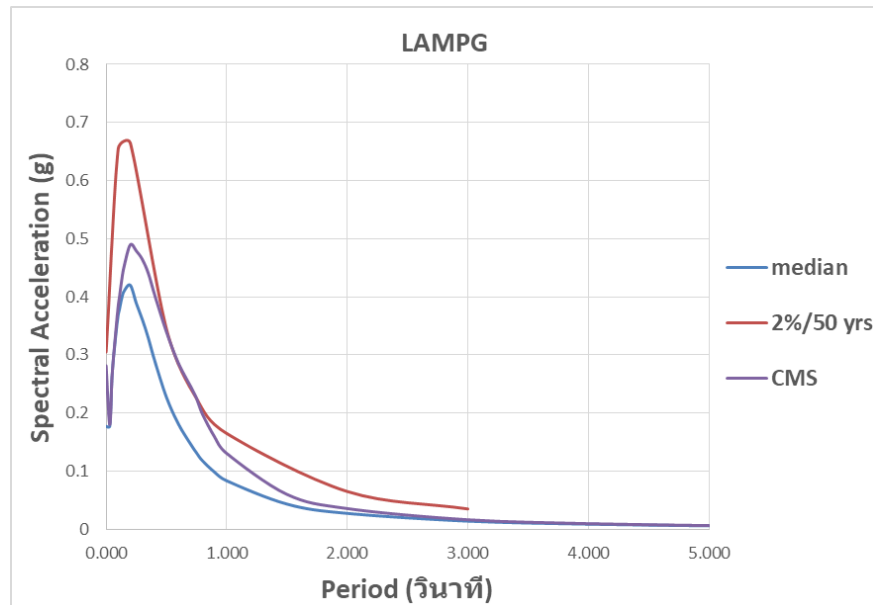
รูปที่ 4.23 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



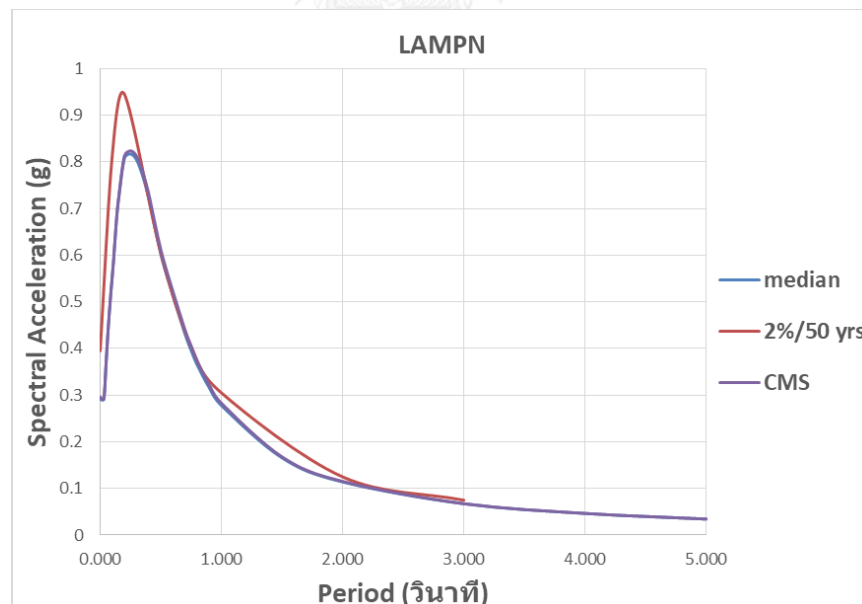
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย



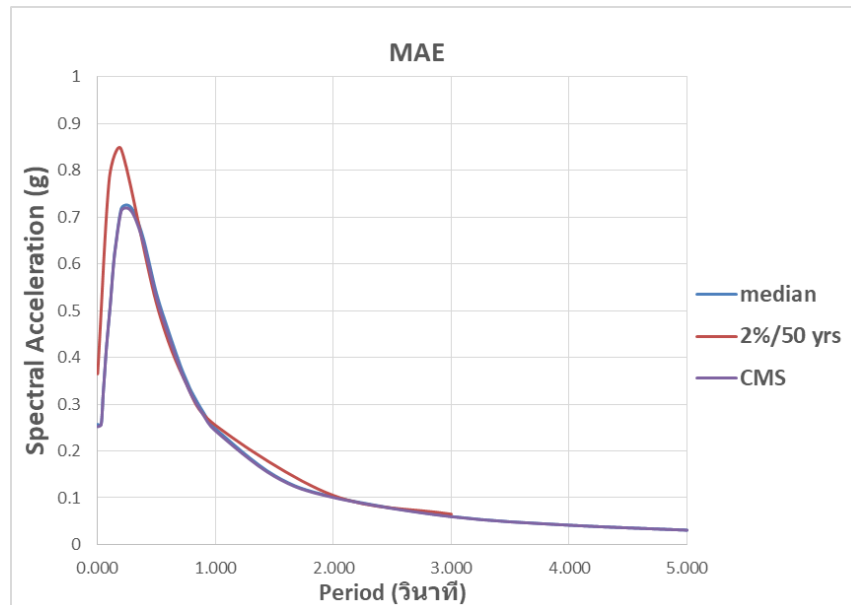
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 16.4 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี



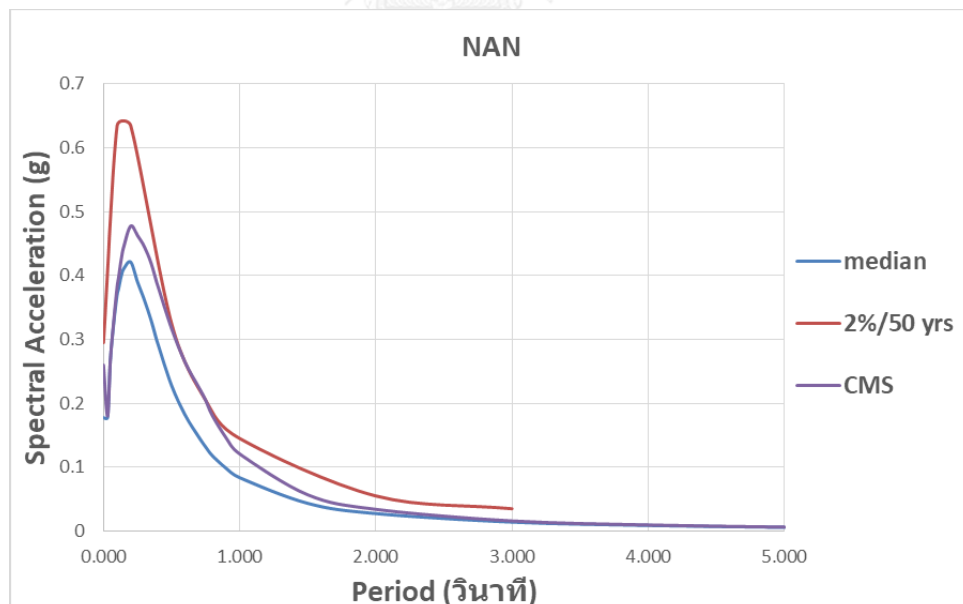
รูปที่ 4.26 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง



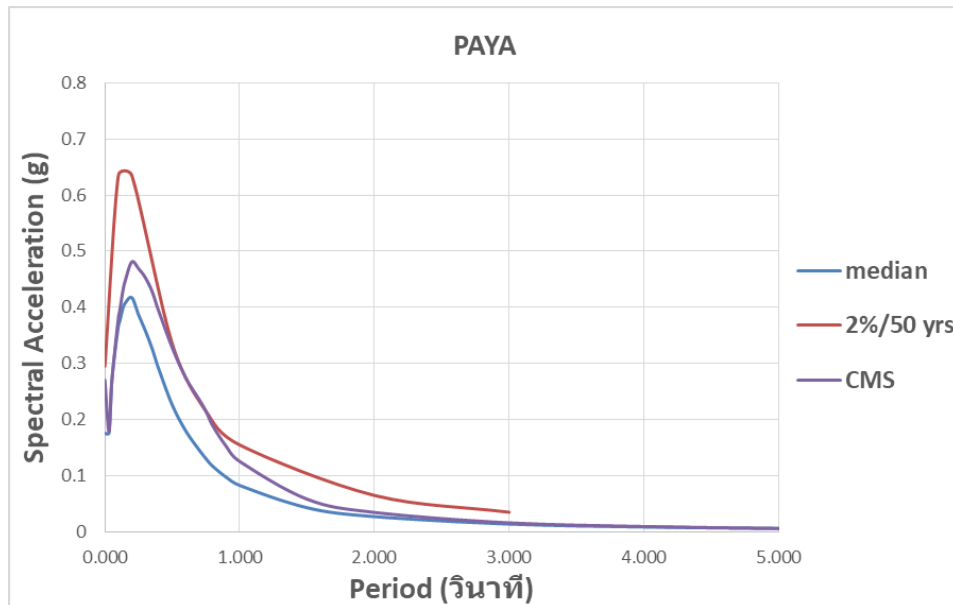
รูปที่ 4.27 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน



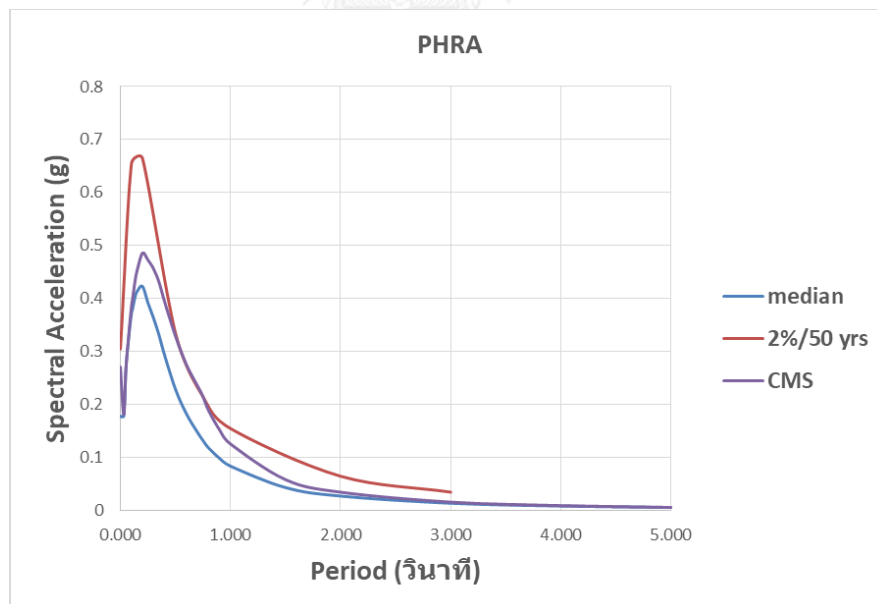
รูปที่ 4.28 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.4 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน

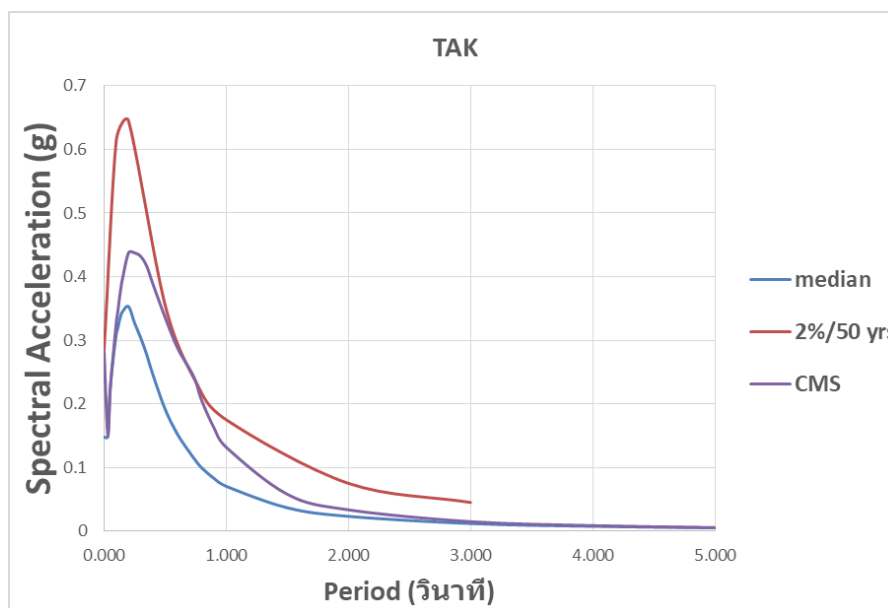


รูปที่ 4.30 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.พะเยา

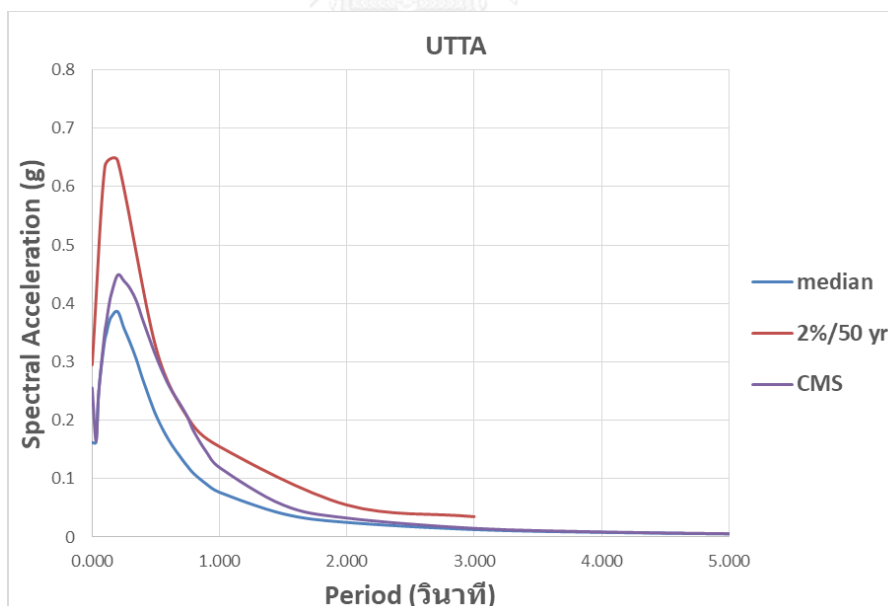


รูปที่ 4.31 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.3 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่





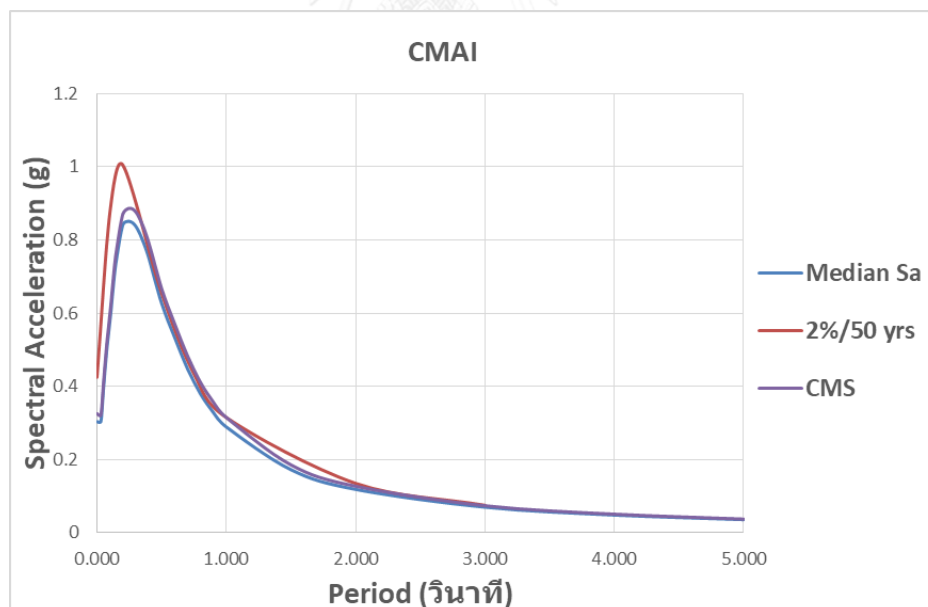
รูปที่ 4.32 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก



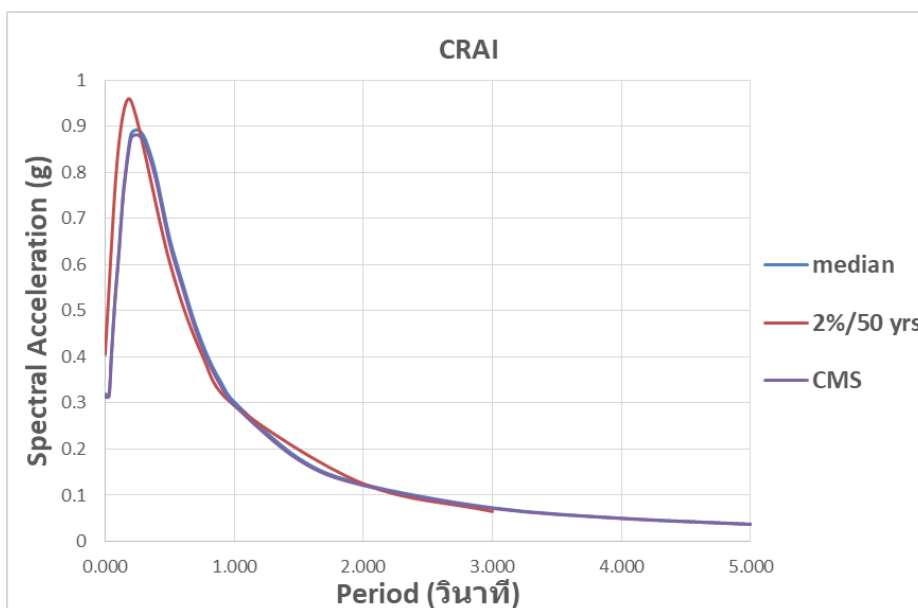
รูปที่ 4.33 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 9.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 0.75 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์

#### 4.4 พิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที

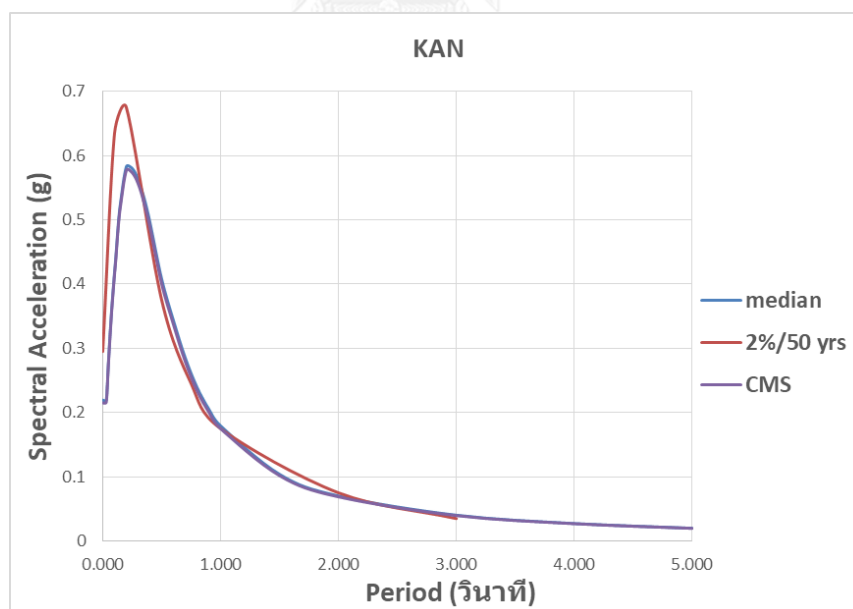
รูปที่ 4.34 ถึง 4.44 ได้แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีของแต่ละจังหวัด ดังนี้ 0.315g (เชียงใหม่), 0.295g (เชียงราย), 0.175g (กาญจนบุรี), 0.165g (ลำปาง), 0.305g (ลำพูน), 0.255g (แม่ฮ่องสอน), 0.145g (น่าน), 0.155g (พะเยา), 0.155g (แพร่), 0.175g (ตาก) และ 0.155g (อุตรดิตถ์) จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมค่ามัธยฐานของจังหวัดลำปาง พะเยา แพร่ และอุตรดิตถ์ (เส้นสีฟ้า) มีค่าน้อยกว่าสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) แต่เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบน  $\epsilon$  ของแต่ละจังหวัดมีค่ามาก จึงทำให้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (เส้นสีม่วง) มีค่าเท่ากับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) ที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที แต่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย กาญจนบุรี ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน และตาก สเปกตรัมค่ามัธยฐาน (เส้นสีฟ้า) มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) และส่วนเบี่ยงเบน  $\epsilon$  มีค่าน้อย ทำให้สเปกตรัมทั้ง 3 เส้นมีค่าใกล้เคียงกัน



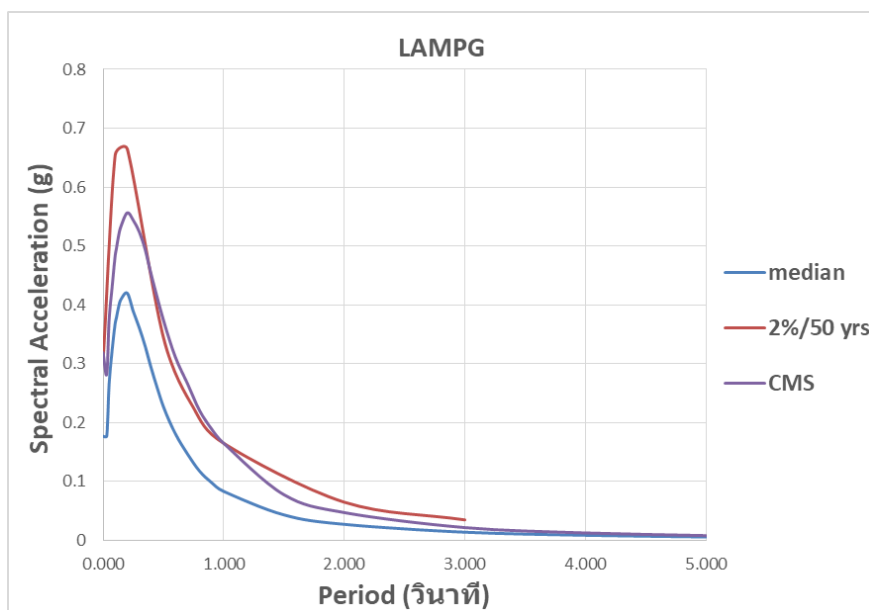
รูปที่ 4.34 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



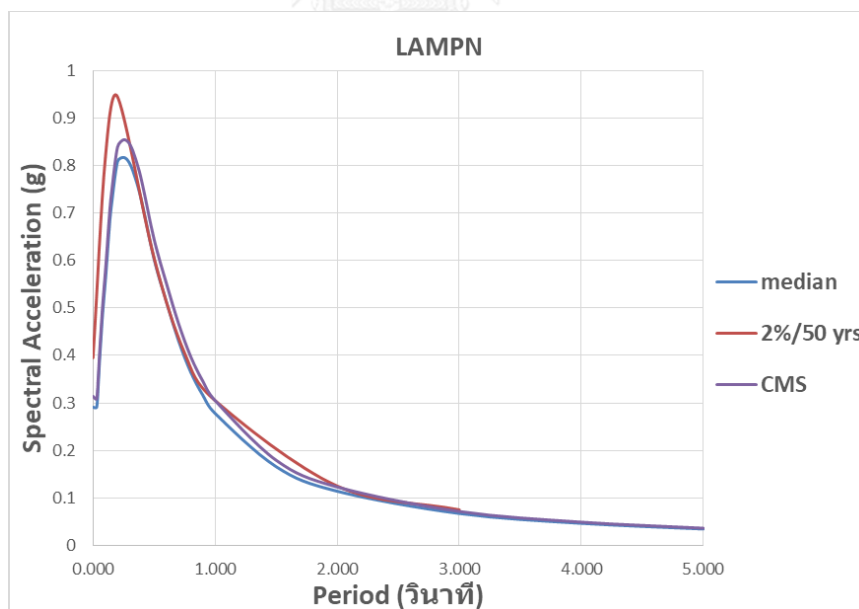
รูปที่ 4.35 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย



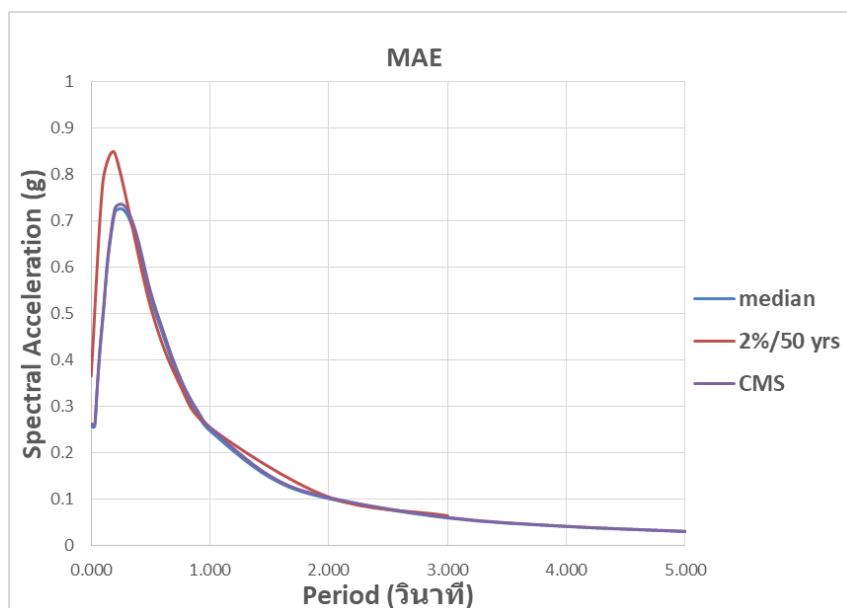
รูปที่ 4.36 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 16.4 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี



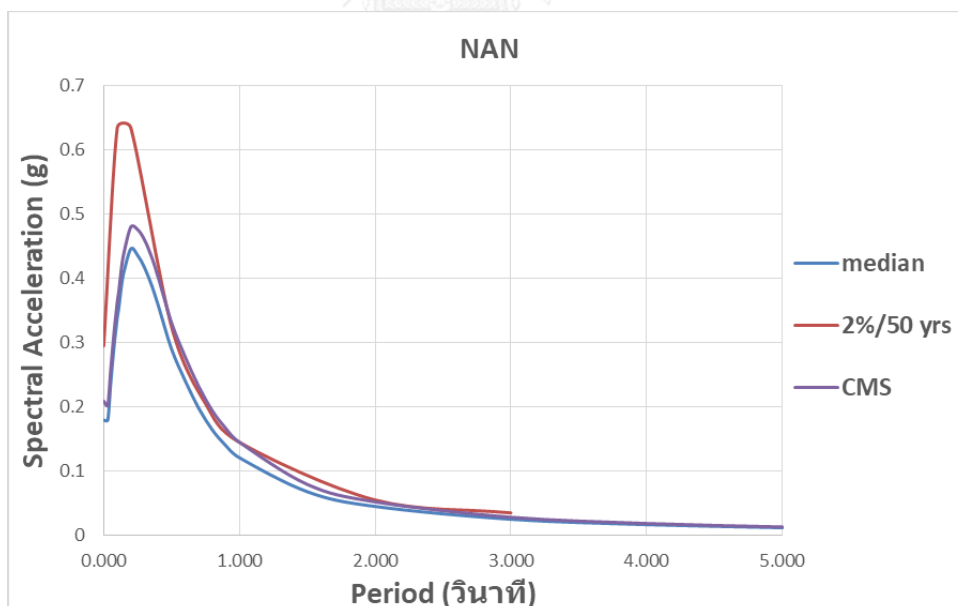
รูปที่ 4.37 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง



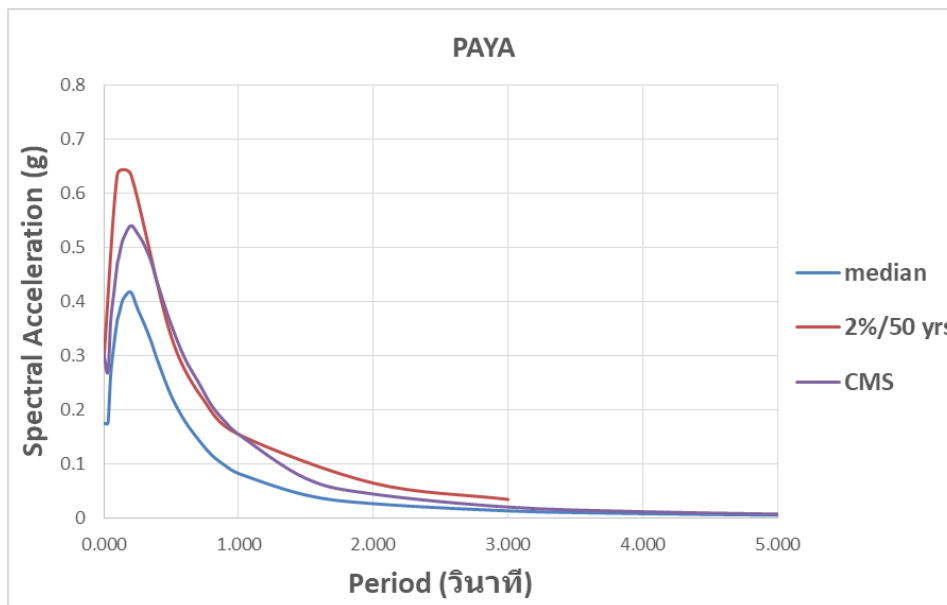
รูปที่ 4.38 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน



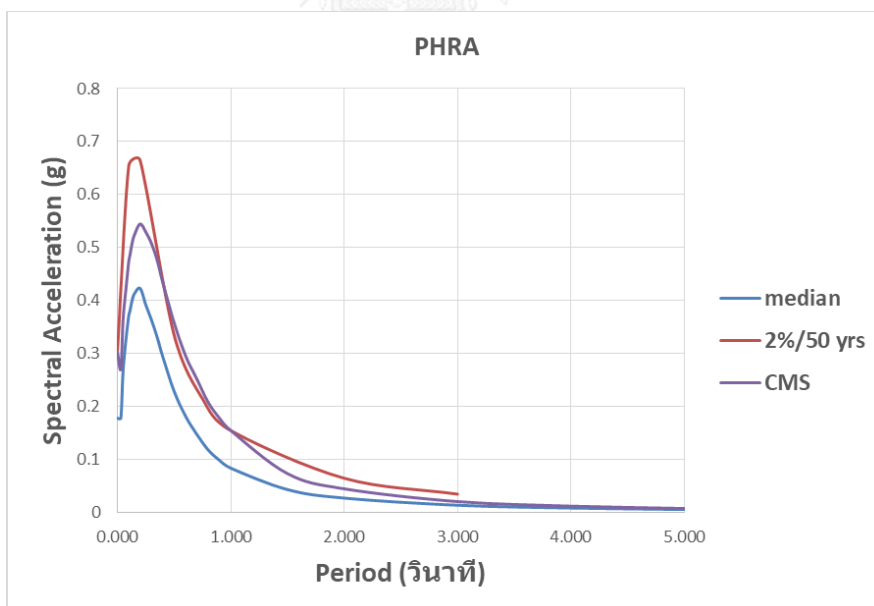
รูปที่ 4.39 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน



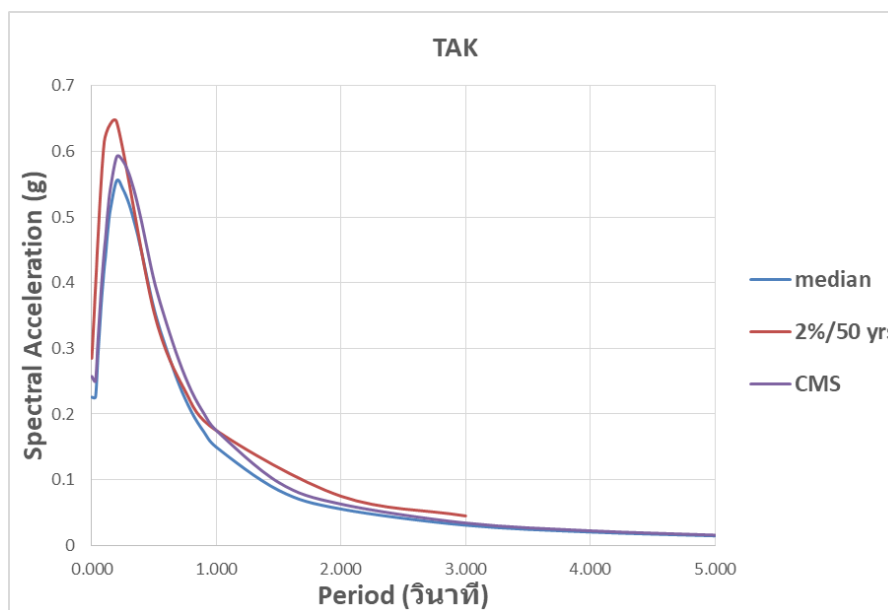
รูปที่ 4.40 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 17.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน



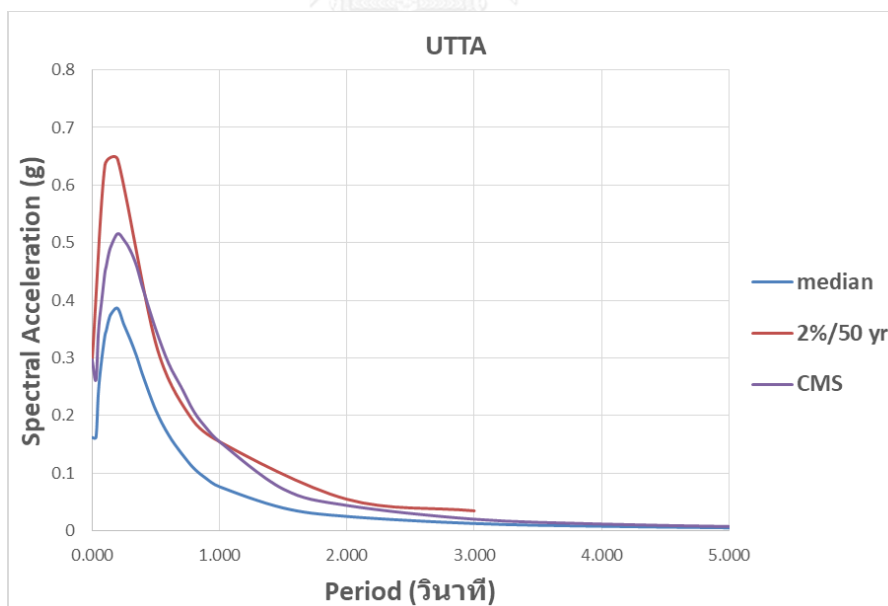
รูปที่ 4.41 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.พะเยา



รูปที่ 4.42 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 7.3 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่



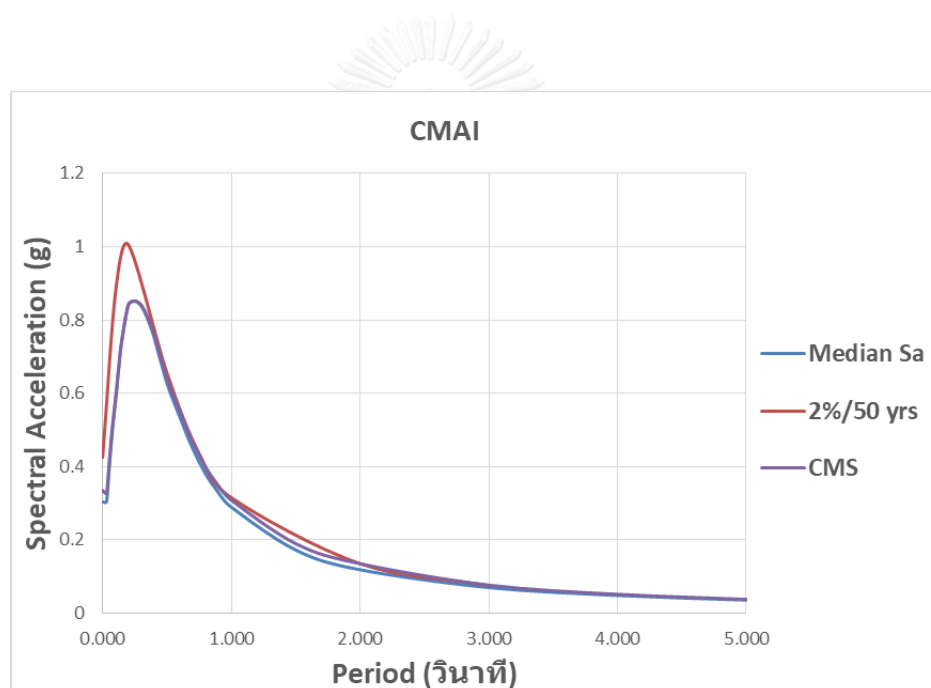
รูปที่ 4.43 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก



รูปที่ 4.44 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 5.93 และระยะทางเท่ากับ 9.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 1 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์

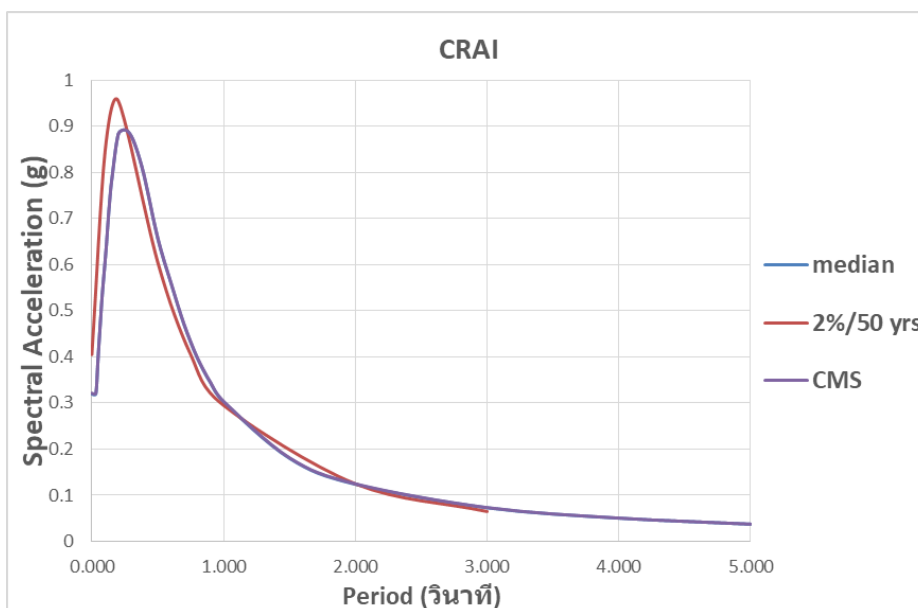
#### 4.5 พิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที

รูปที่ 4.45 ถึง 4.55 ได้แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาทีของแต่ละจังหวัด ดังนี้ 0.135g (เชียงใหม่), 0.125g (เชียงราย), 0.075g (กาญจนบุรี), 0.065g (ลำปาง), 0.125g (ลำพูน), 0.105g (แม่ฮ่องสอน), 0.055g (น่าน), 0.065g (พะเยา), 0.065g (แพร่), 0.075g (ตาก) และ 0.055g (อุตรดิตถ์) จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมค่ามัธยฐานของแต่ละจังหวัด (เส้นสีฟ้า) มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) และส่วนเบี่ยงเบน  $\epsilon$  ของแต่ละจังหวัดมีค่าน้อย จึงทำให้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (เส้นสีม่วง) ใกล้เคียงกับสเปกตรัมค่ามัธยฐาน (เส้นสีฟ้า)

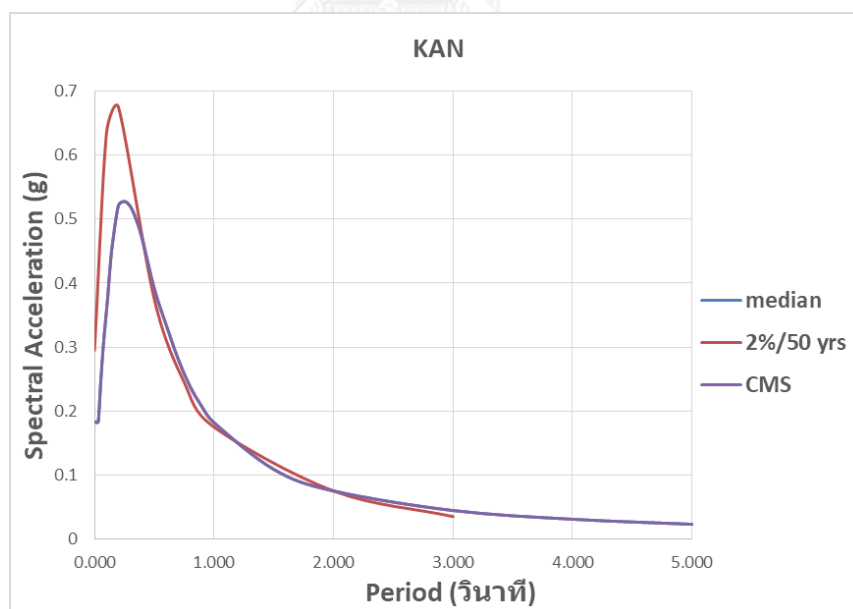


รูปที่ 4.45 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

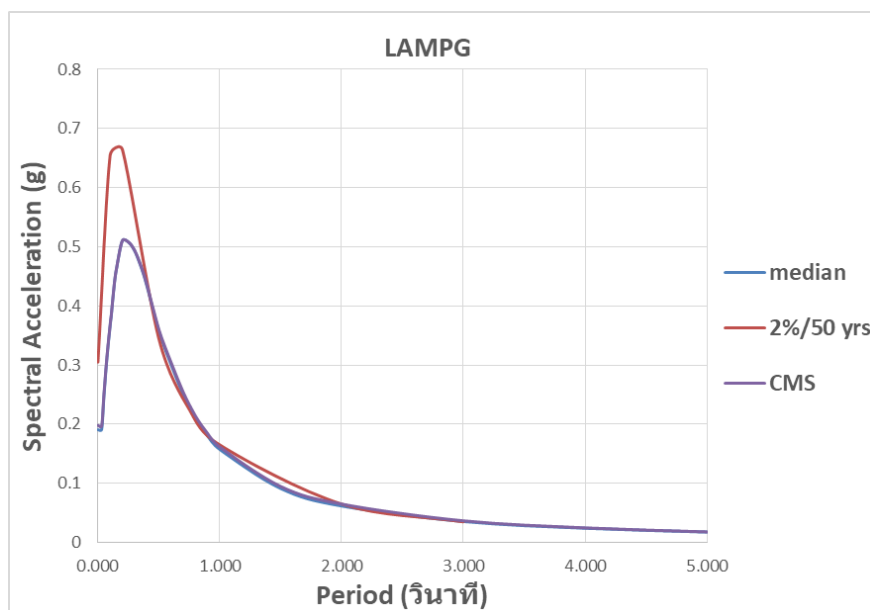




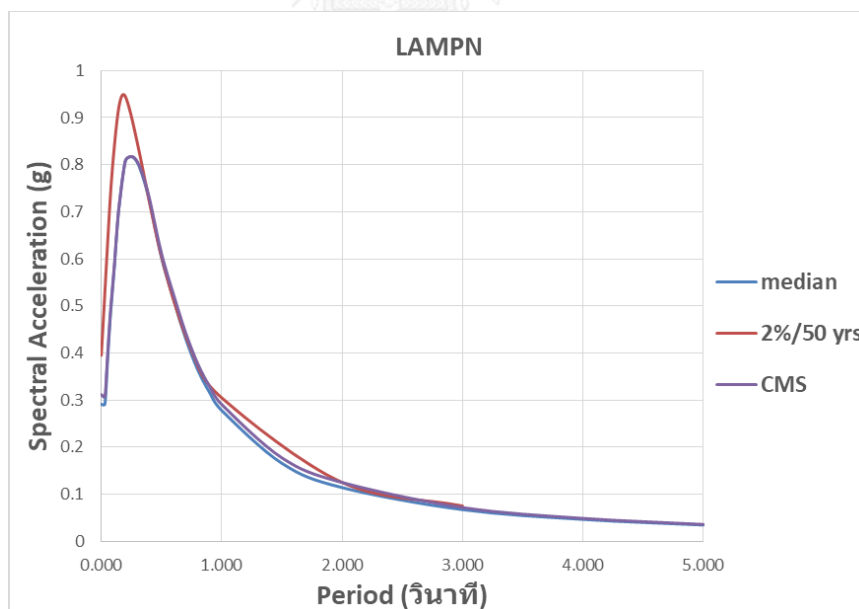
รูปที่ 4.46 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย



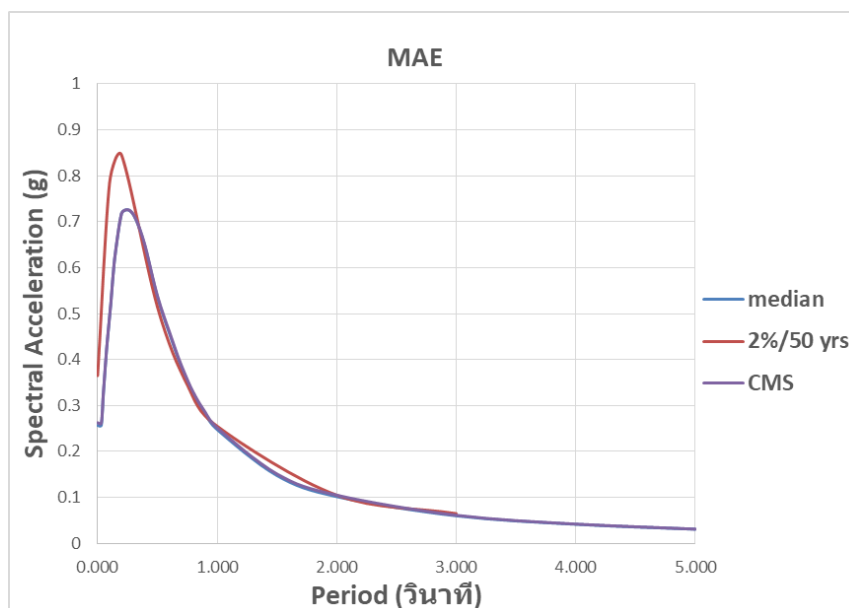
รูปที่ 4.47 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 27.1 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี



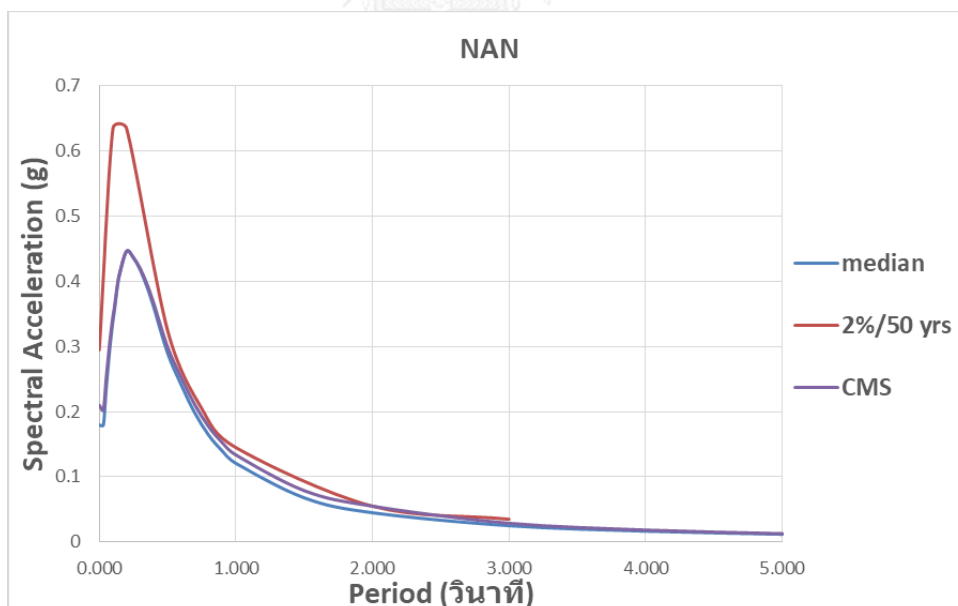
รูปที่ 4.48 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 20.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง



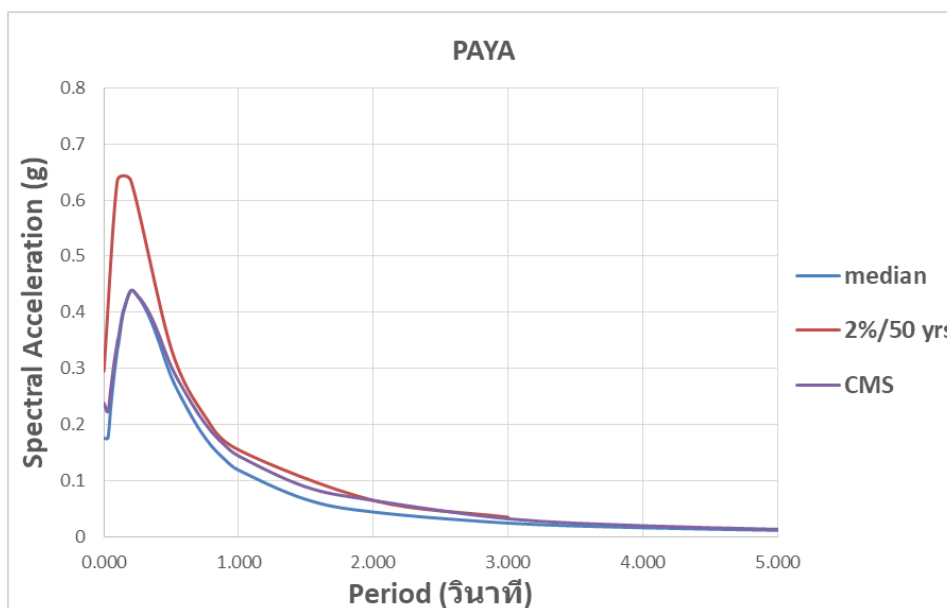
รูปที่ 4.49 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน



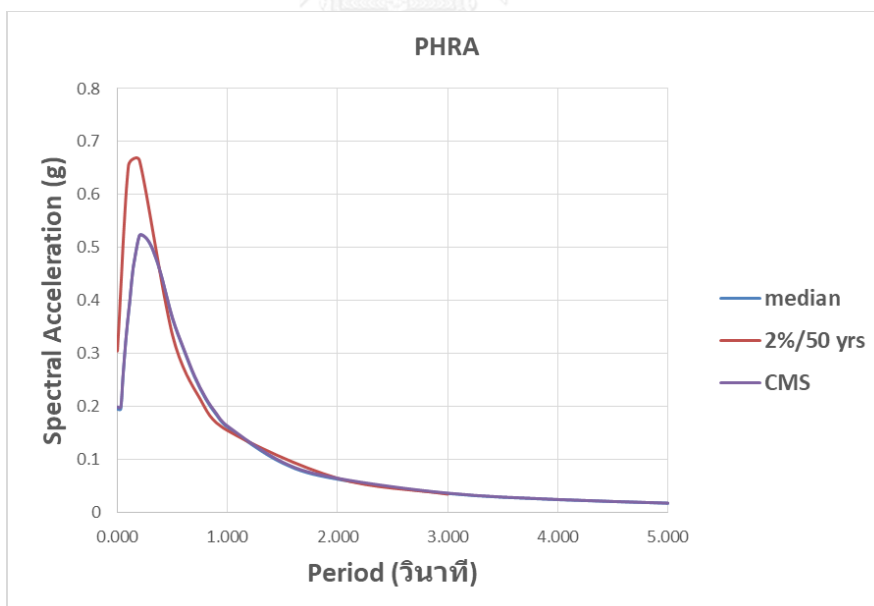
รูปที่ 4.50 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน



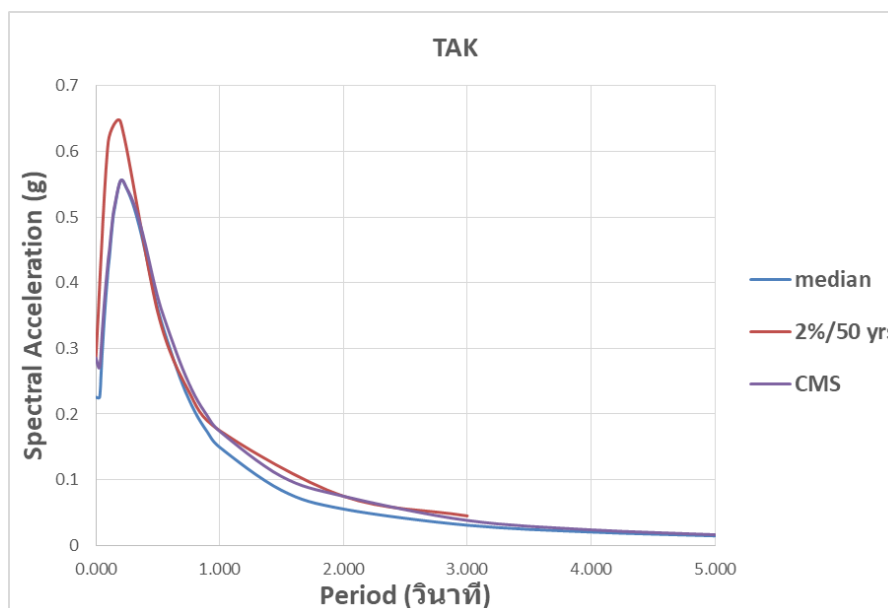
รูปที่ 4.51 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 17.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน



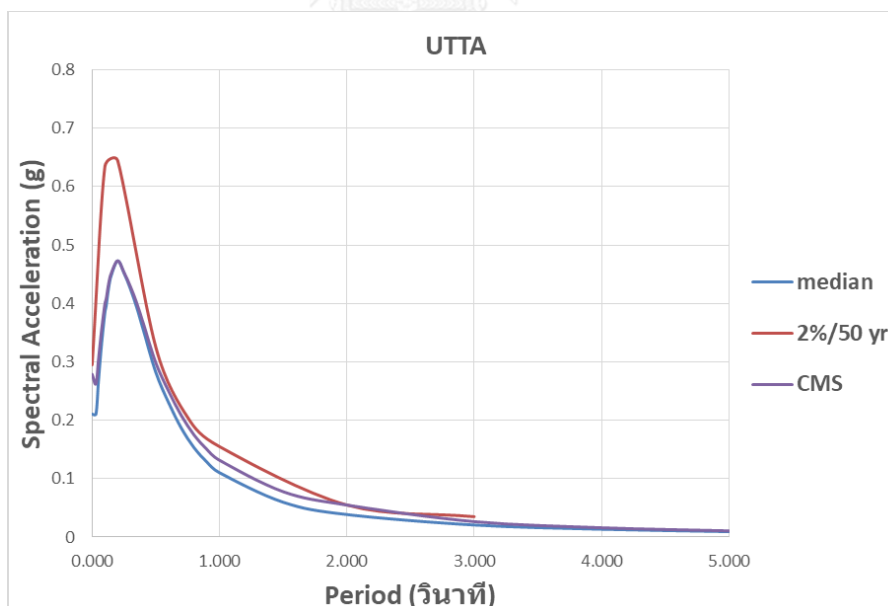
รูปที่ 4.52 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 18.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.พะเยา



รูปที่ 4.53 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 19.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่



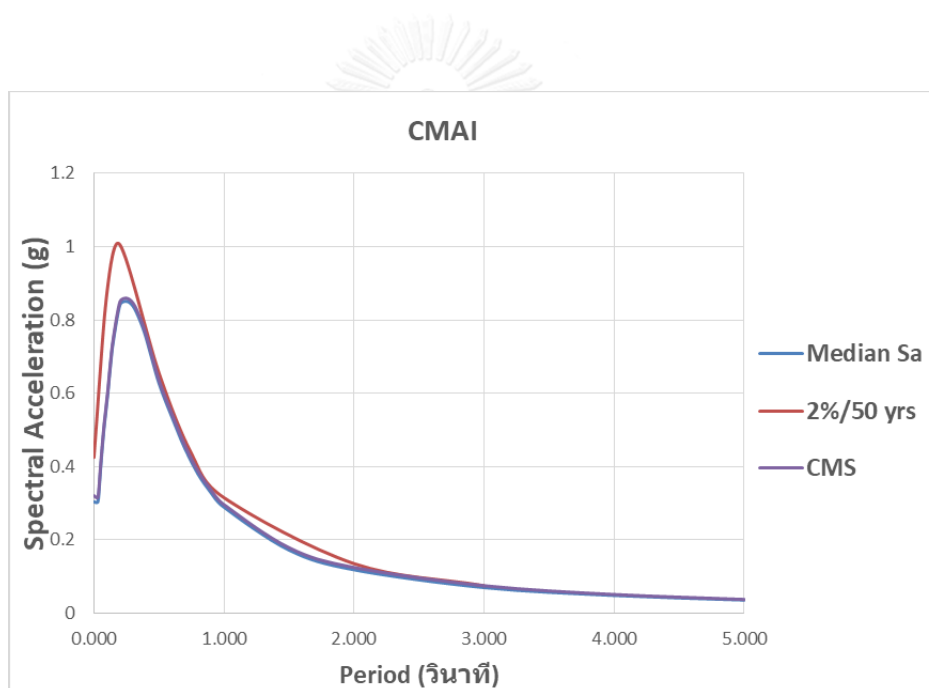
รูปที่ 4.54 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก



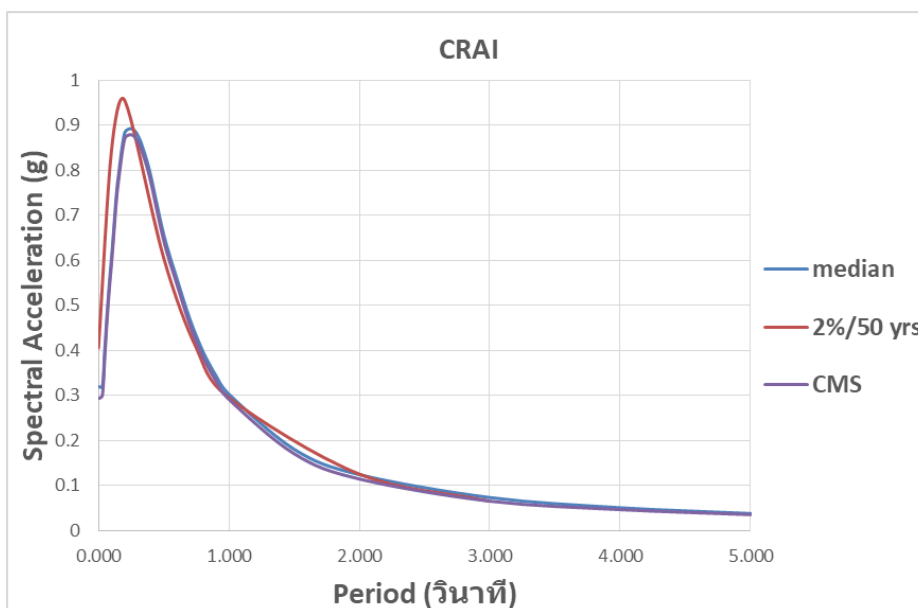
รูปที่ 4.55 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.28 และระยะทางเท่ากับ 9.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 2 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์

#### 4.6 พิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที

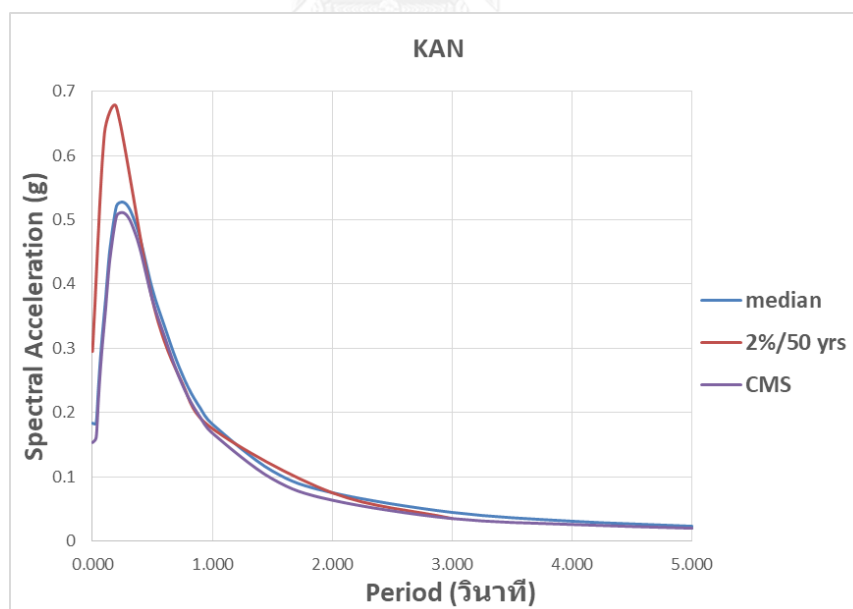
รูปที่ 4.56 ถึง 4.66 ได้แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 3 วินาทีของแต่ละจังหวัด ดังนี้ 0.075g (เชียงใหม่) 0.065g (เชียงราย) 0.035g (กาญจนบุรี) 0.035g (ลำปาง) 0.075g (ลำพูน) 0.065g (แม่ฮ่องสอน) 0.035g (น่าน) 0.035g (พะเยา) 0.035g (แพร่) 0.045g (ตาก) และ 0.035g (อุตรดิตถ์) จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมค่ามัธยฐานของแต่ละจังหวัด (เส้นสีฟ้า) มีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี (เส้นสีแดง) และส่วนเบี่ยงเบน  $\varepsilon$  ของแต่ละจังหวัดมีค่าน้อย จึงทำให้สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข (เส้นสีม่วง) ใกล้เคียงกับสเปกตรัมค่ามัธยฐาน (เส้นสีฟ้า)



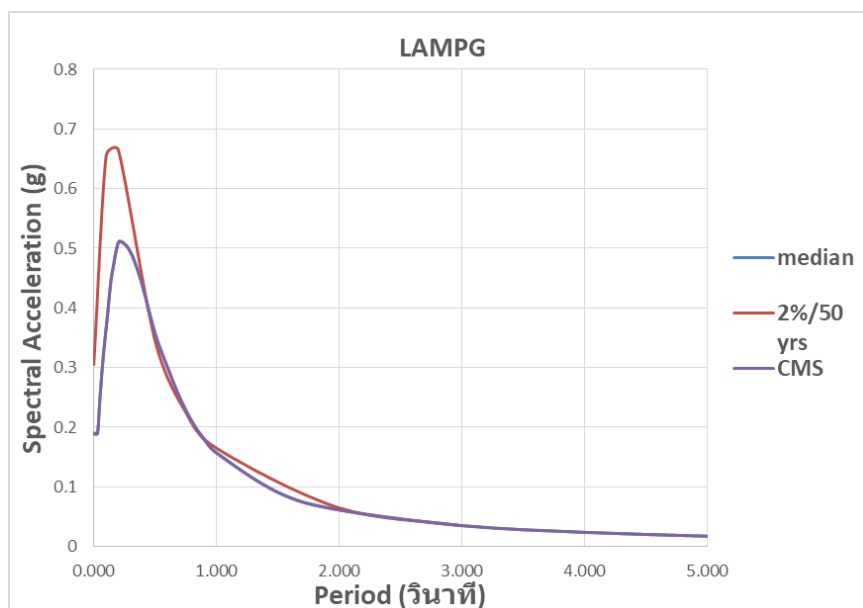
รูปที่ 4.56 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 10.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมร่าเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



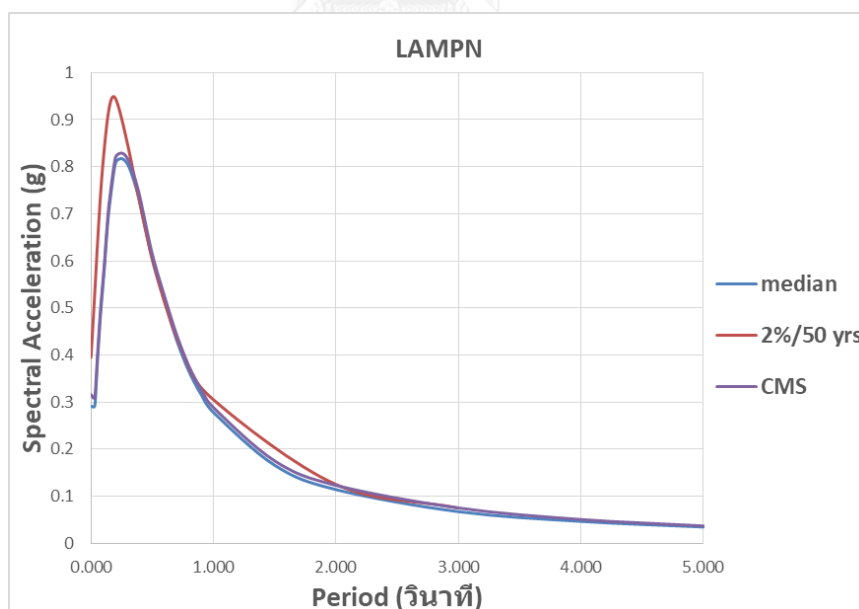
รูปที่ 4.57 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 9.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.เชียงราย



รูปที่ 4.58 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 27.1 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี

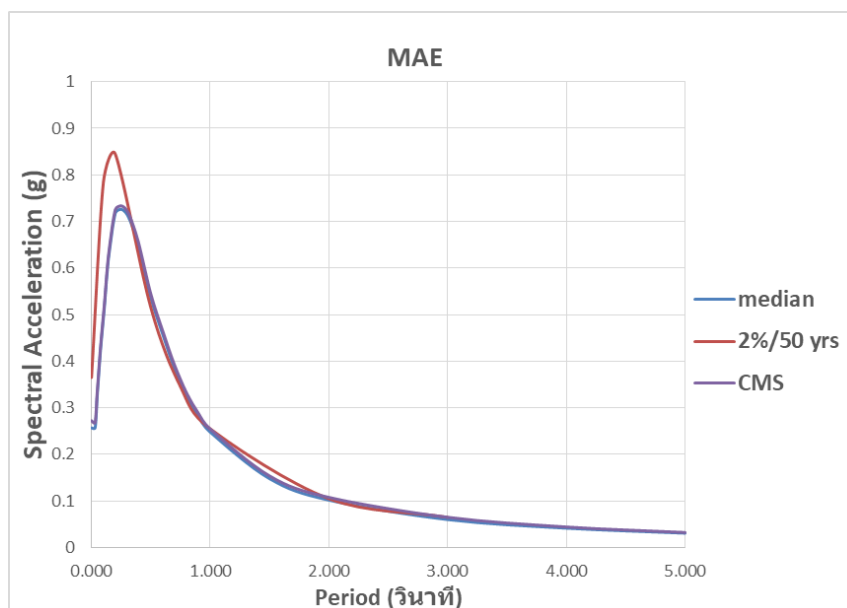


รูปที่ 4.59 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 20.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำปาง

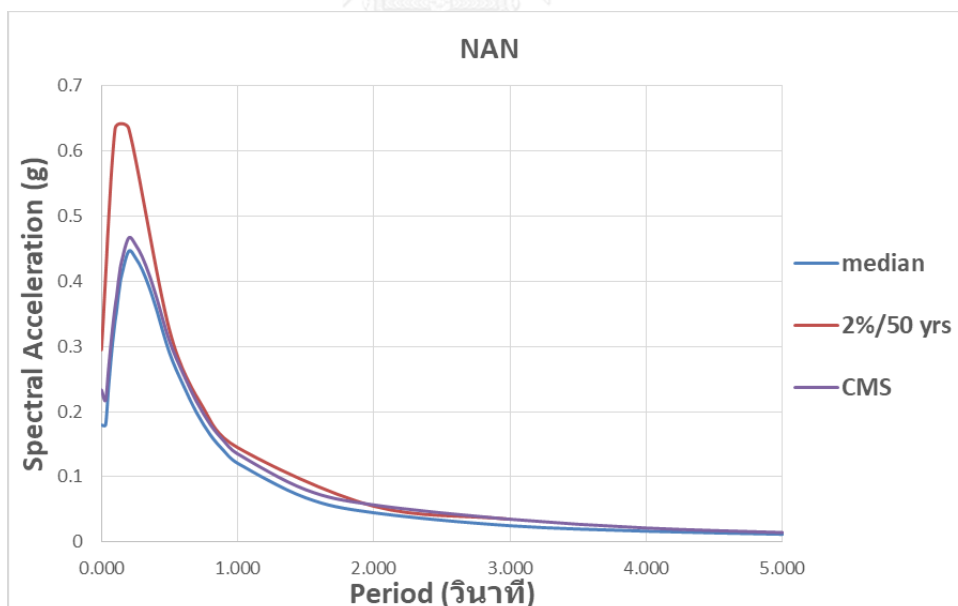


รูปที่ 4.60 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 12.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.ลำพูน

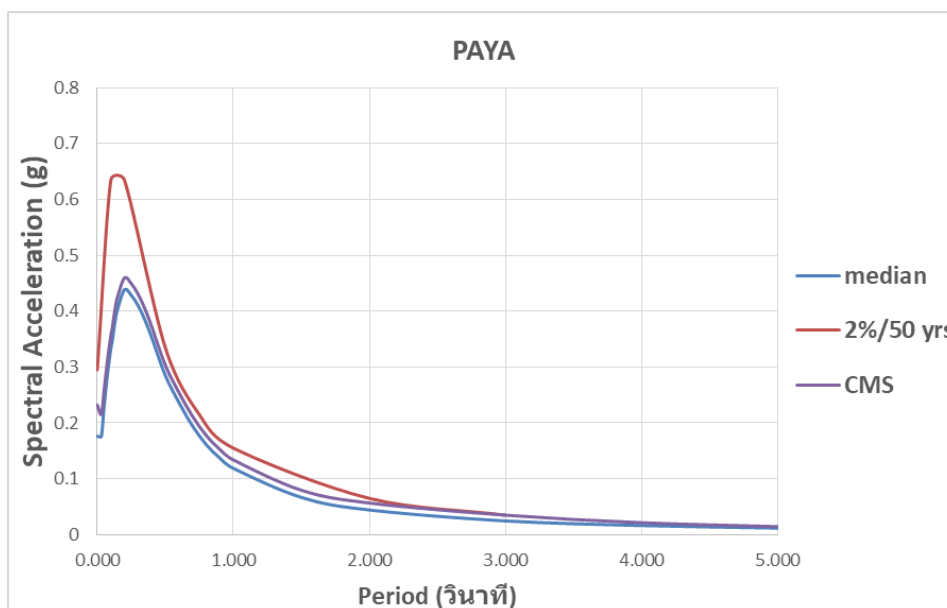




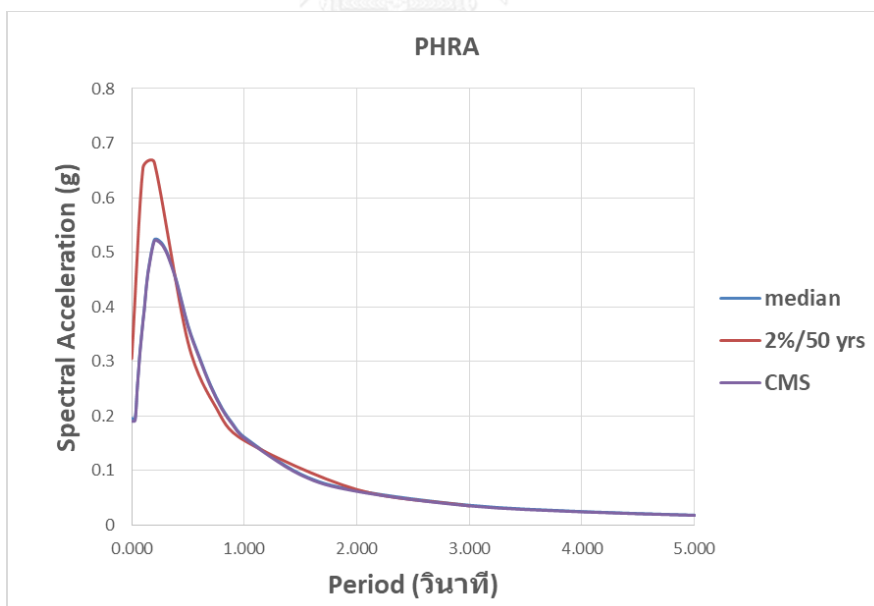
รูปที่ 4.61 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 7.33 และระยะทางเท่ากับ 15.9 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน



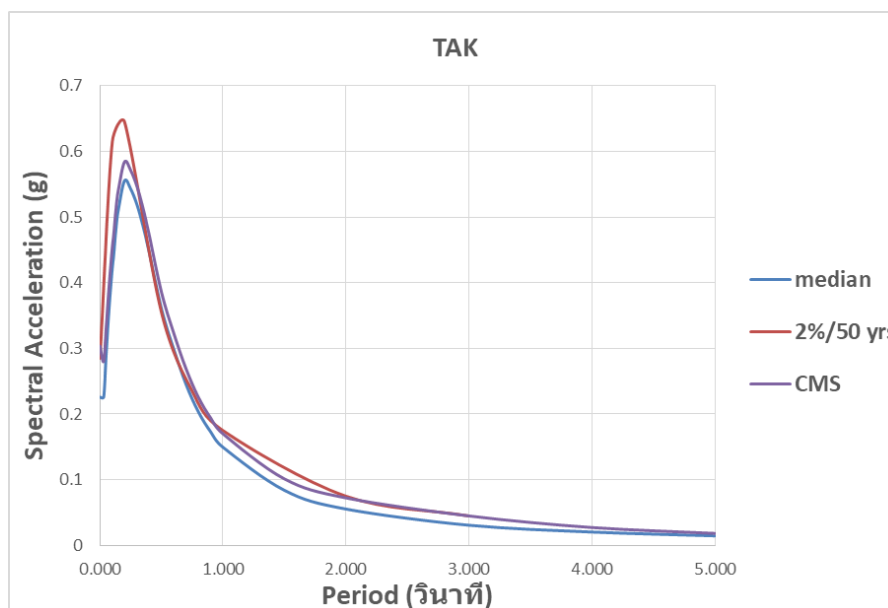
รูปที่ 4.62 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 17.5 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.น่าน



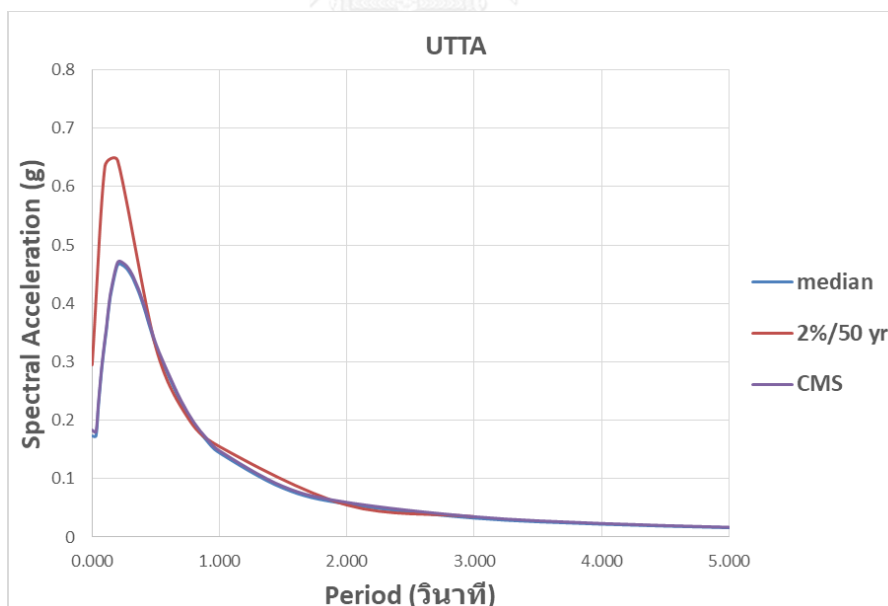
รูปที่ 4.63 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 18.0 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี ของ อ.เมือง จ.พะเยา



รูปที่ 4.64 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามาตรฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 19.7 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสม่ำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.แพร่



รูปที่ 4.65 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.63 และระยะทางเท่ากับ 11.6 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.ตาก



รูปที่ 4.66 สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สเปกตรัมค่ามัธยฐาน โดยมีขนาดเท่ากับ 6.98 และระยะทางเท่ากับ 23.3 กิโลเมตร และสเปกตรัมความเสี่ยงแบบสมำเสมอ 2% ในช่วงเวลา 50 ปี โดยพิจารณาการสั่นไหว 3 วินาที ของ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์

## บทที่ 5

### คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับจังหวัดในภาคเหนือและจังหวัดกาญจนบุรี

เมื่อทราบลักษณะเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงภัยมากที่สุดจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวในบทที่ 3 และทราบสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวจากบทที่ 4 ซึ่งในบทนี้จะทำการคัดเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่สอดคล้องกับสถานการณ์แผ่นดินไหวนั้น ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ฐานข้อมูลของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) โดยเลือกคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

รูปที่ 5.1 แสดงการกำหนดคุณลักษณะเหตุการณ์ของแผ่นดินไหว และทำการค้นหาข้อมูลที่สอดคล้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวนั้น เมื่อพบข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดแสดงได้เป็นกราฟสเปกตรัมของความเร่งในรูปที่ 5.1 สามารถนำคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้คัดเลือกจากฐานข้อมูลไปคูณปรับค่าให้มีค่าความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่คาบการสั่นไหวที่พิจารณา การคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวจะพยายามเลือกคลื่นโดยคำนึงถึงรูปร่างสเปกตรัมให้สอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สำหรับจังหวัดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยา แพร่ ตาก อุตรดิตถ์ และจังหวัดกาญจนบุรี โดยสมมติให้เป็นดินชั้นหินกึ่งดินแน่น (Site Class B/C) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วง 30 เมตร จากผิวดิน (Shear Wave Velocity,  $V_{s30}$ ) ประมาณ 660 ถึง 860 เมตรต่อวินาที และได้กำหนดคุณลักษณะเหตุการณ์แผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการคัดเลือกคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่ได้ศึกษาในบทที่ 3 และบทที่ 4 ซึ่งข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้รับการคัดเลือกนั้น มีดังนี้

**PEER Ground Motion Database** *NGA-West2*  
Pacific Earthquake Engineering Research Center

HOME   DOCUMENTATION   HELP   FEEDBACK   PEER  
ZAKUDO@GMAIL.COM   SIGN\_OUT

Search was successfully created. Please allow time to render the graphics.

**Edit Search**

**Search**

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

**Record Characteristics:**

RSN(s) :  (RSN1,...RSNn)

Event Name :

Station Name :

**Search Parameters:**

Fault Type :  All Types

Magnitude :  5.7 min,max

R\_IB(km) :  min,max

R\_rup(km) :  14,18 min,max

Vs30(m/s) :  560,850 min,max

DS-95(sec) :  min,max

Pulse :  Any Record

**Additional Characteristics:**

Max No. Records :  (<=100)

**Suite**

Spectral Ordinate :  SRSS

Damping Ratio :  5%

Suite Average :  Arithmetic

**Controls**

[Search Records](#)   [Rerun Suite](#)

**Search Results -- Response Spectra**

Unscaled Spectra : All Record SRSS

Period (sec)

**Show:**

Suite Mean (-----)

Suite Mean + StDev (- - -)

Suite Mean - StDev (- - -)

**Spectra Axis:**  Loglog

- Hover over an individual curve to view its info.  
- Click on an individual curve to view its spectra and time series.  
- Window Zooming is possible only in Linear plot.  
- Some cases may have such large variation that the Mean +/- Standard Deviation curves look awkward. Refining the search criteria, or even reducing the number of records, is recommended for such cases.

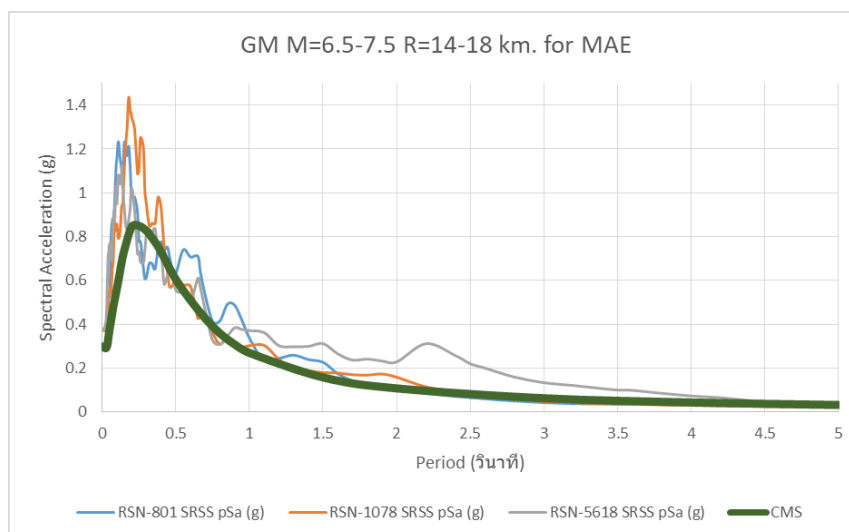
รูปที่ 5.1 การกำหนดคุณลักษณะเหตุการณ์ของแผ่นดินไหว และการแสดงผลสเปกตรัมของเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่ต้องการพิจารณาของ PEER สำหรับจังหวัดในภาคเหนือและกาญจนบุรี

## 5.1 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที

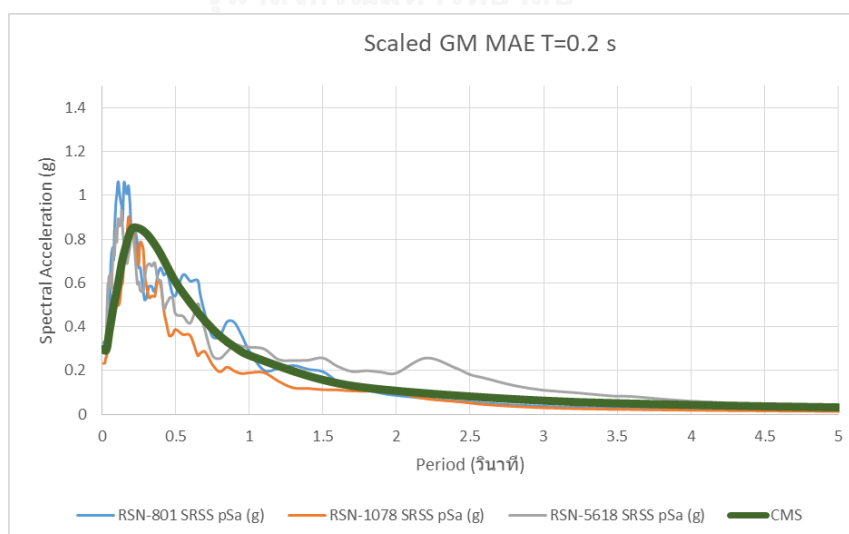
ตารางที่ 5.1 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีในจังหวัดต่างๆ

จังหวัด	NGA No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Mw	R (km)	Vs30 (m/s)	ตัวคูณปรับค่า
เชียงใหม่	763	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy - Gavilan Coll."	6.93	9.96	729.65	0.713
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.963
เชียงราย	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.691
	763	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy - Gavilan Coll."	6.93	9.96	729.65	0.678
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	2.903
กาญจนบุรี	106	"Oroville-01"	1975	"Oroville Seismograph Station"	5.89	7.99	680.37	2.234
ลำปาง	106	"Oroville-01"	1975	"Oroville Seismograph Station"	5.89	7.99	680.37	2.698
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.651
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	1.102
ลำพูน	1633	"Manjil_Iran"	1990	"Abbar"	7.37	12.55	723.95	0.432
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.905
แม่ฮ่องสอน	801	"Loma Prieta"	1989	"San Jose - Santa Teresa Hills"	6.93	14.69	671.77	0.861
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.628
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.826
น่าน	106	"Oroville-01"	1975	"Oroville Seismograph Station"	5.89	7.99	680.37	2.631
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.635
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	1.075
พะเยา	106	"Oroville-01"	1975	"Oroville Seismograph Station"	5.89	7.99	680.37	2.631
	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.575
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	2.417
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.635
แพร่	106	"Oroville-01"	1975	"Oroville Seismograph Station"	5.89	7.99	680.37	2.731
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.659
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	1.115
ตาก	1645	"Sierra Madre"	1991	"Mt Wilson - CIT Seis Sta"	5.61	10.36	680.37	1.024
	4369	"a Marche (aftershock 1)"	1997	"Nocera Umbra-Salmata"	5.5	12.45	694	1.509
	4513	"quila (aftershock 1)"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	2.660
อุตรดิตถ์	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.582
	1645	"Sierra Madre"	1991	"Mt Wilson - CIT Seis Sta"	5.61	10.36	680.37	1.077
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	2.447
	4513	"quila (aftershock 1)"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	2.799

รูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยรูปที่ 5.3 มีการปรับแก้ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาทีให้มีค่าเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



รูปที่ 5.2 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6.5 ถึง 7.5 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 14 ถึง 18 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.2 วินาที



รูปที่ 5.3 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที

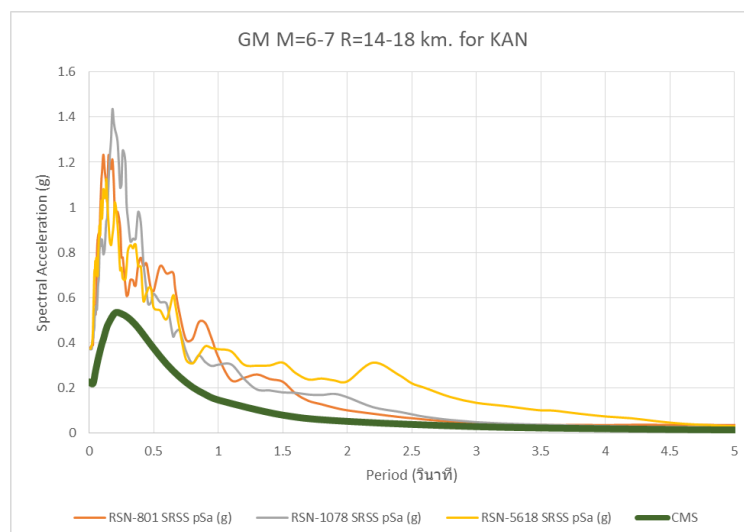
## 5.2 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที

ตารางที่ 5.2 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาทีในจังหวัดต่างๆ

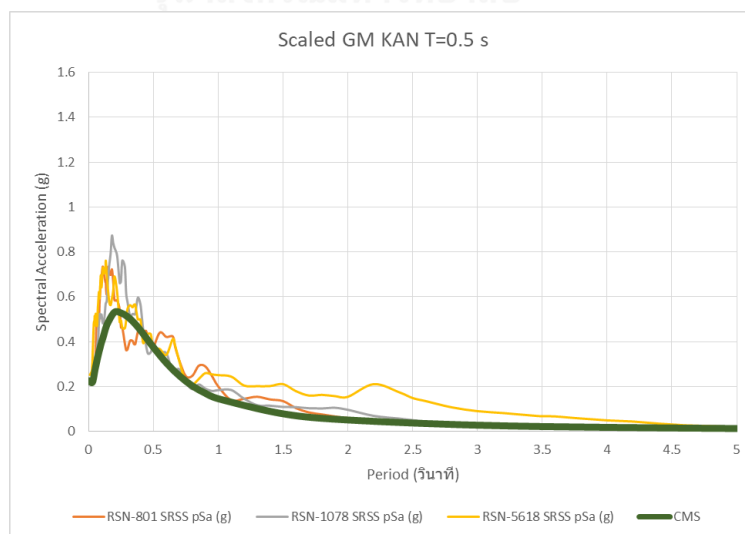
จังหวัด	NGA No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Mw	R (km)	Vs30 (m/s)	ตัวคูณปรับค่า
เชียงใหม่	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	1.026
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.890
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.443
เชียงราย	763	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy - Gavilan Coll."	6.93	9.96	729.65	0.687
กาญจนบุรี	801	"Loma Prieta"	1989	"San Jose - Santa Teresa Hills"	6.93	14.69	671.77	0.596
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.608
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.676
ลำปาง	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.849
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.355
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.583
ลำพูน	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.947
	1633	"Manjil_Iran"	1990	"Abbar"	7.37	12.55	723.95	0.530
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.409
แม่ฮ่องสอน	1520	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU088"	7.62	18.16	665.2	1.252
น่าน	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.800
พะเยา	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.633
	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.824
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.893
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	1.559
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.345
แพร่	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.824
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.345
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.566
ตาก	1645	"Sierra Madre"	1991	"Mt Wilson - CIT Seis Sta"	5.61	10.36	680.37	0.848
	2399	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU089"	5.9	12.02	671.52	3.165
	4369	"Umbria Marche"	1997	"Nocera Umbra-Salmata"	5.5	12.45	694	1.054
	4513	"L'Aquila"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	1.843
อุตรดิตถ์	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.614
	1645	"Sierra Madre"	1991	"Mt Wilson - CIT Seis Sta"	5.61	10.36	680.37	0.776
	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.800
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.866
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	1.512
	4513	"L'Aquila"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	1.687



รูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที ของจังหวัดกาญจนบุรี โดยรูปที่ 5.5 มีการปรับแก้ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาทีให้มีค่าเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



รูปที่ 5.4 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6 ถึง 7 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 14 ถึง 18 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดกาญจนบุรี โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.5 วินาที



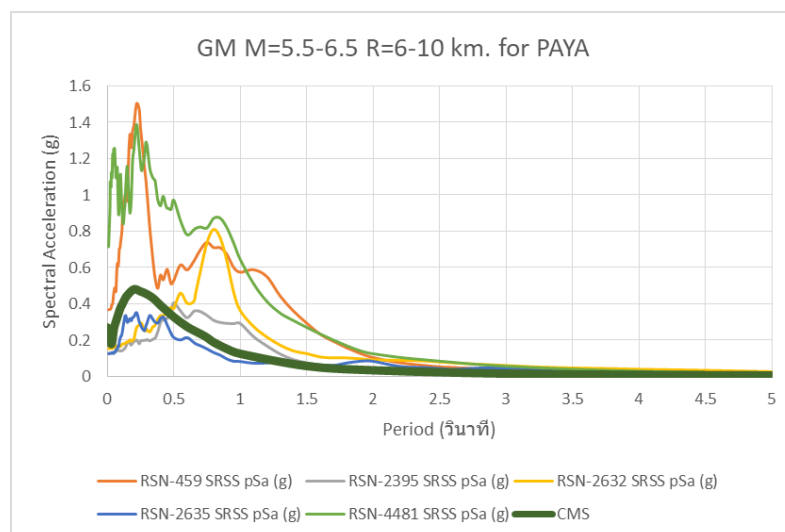
รูปที่ 5.5 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดกาญจนบุรีที่คาบการสั่นไหว 0.5 วินาที

### 5.3 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที

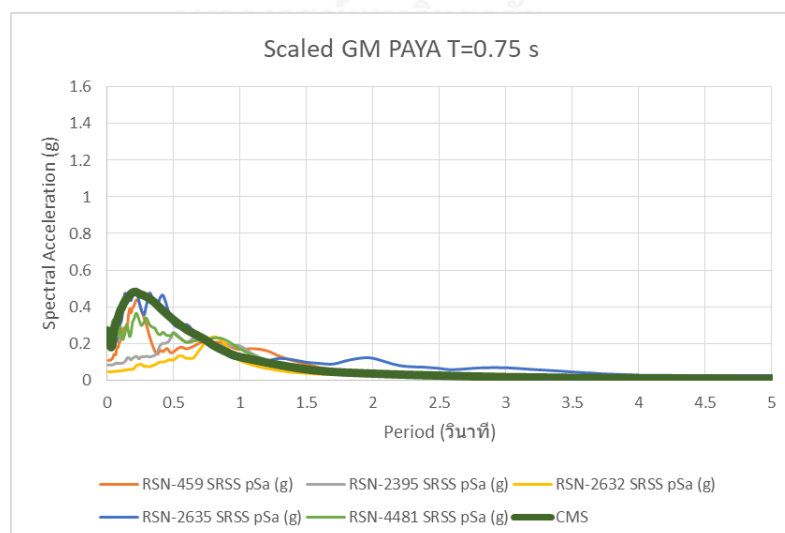
ตารางที่ 5.3 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาทีในจังหวัดต่างๆ

จังหวัด	NGA No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Mw	R (km)	Vs30 (m/s)	ตัวคูณปรับค่า
เชียงใหม่	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	1.387
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.708
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.945
เชียงราย	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	1.292
	1165	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Izmit"	7.51	7.21	811	1.149
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.660
กาญจนบุรี	801	"Loma Prieta"	1989	"San Jose - Santa Teresa Hills"	6.93	14.69	671.77	0.593
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.677
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.752
ลำปาง	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.668
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.275
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.373
ลำพูน	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	1.292
	1633	"Manjil_Iran"	1990	"Abbar"	7.37	12.55	723.95	0.455
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.880
แม่ฮ่องสอน	1520	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU088"	7.62	18.16	665.2	0.703
น่าน	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.608
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.250
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.340
พะเยา	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.291
	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.638
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.291
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	1.411
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.263
แพร่	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.638
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.263
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.357
ตาก	2399	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU089"	5.9	12.02	671.52	5.466
	4369	"Umbria Marche"	1997	"Nocera Umbra-Salmata"	5.5	12.45	694	1.305
	4513	"L'Aquila"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	1.505
อุดรดิตถ์	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.277
	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.608
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.278
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	1.345
	4513	"L'Aquila"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	1.313

รูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที ของจังหวัดพะเยา โดยรูปที่ 5.7 มีการปรับแก้ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาทีให้มีค่าเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



รูปที่ 5.6 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 5.5 ถึง 6.5 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 6 ถึง 10 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดพะเยา โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 0.75 วินาที



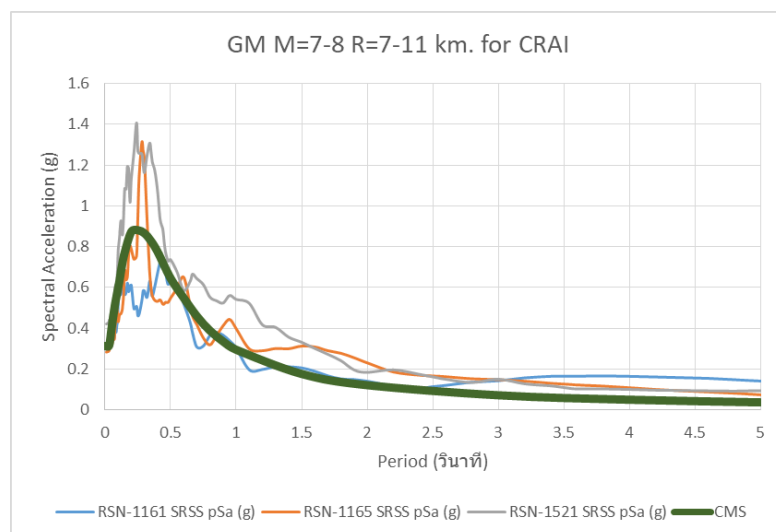
รูปที่ 5.7 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดพะเยาที่คาบการสั่นไหว 0.75 วินาที

## 5.4 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที

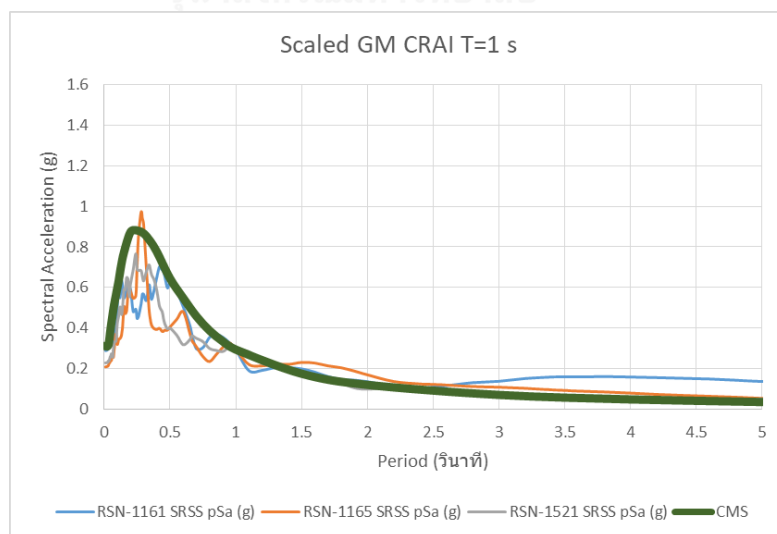
ตารางที่ 5.4 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาทีในจังหวัดต่างๆ

จังหวัด	NGA No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Mw	R (km)	Vs30 (m/s)	ตัวคูณปรับค่า
เชียงใหม่	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	1.038
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.581
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.618
เชียงราย	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.972
	1165	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Izmit"	7.51	7.21	811	0.740
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.544
กาญจนบุรี	801	"Loma Prieta"	1989	"San Jose - Santa Teresa Hills"	6.93	14.69	671.77	0.520
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.580
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.472
ลำปาง	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.565
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.256
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.304
ลำพูน	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	1.005
	1633	"Manjil_Iran"	1990	"Abbar"	7.37	12.55	723.95	0.472
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.598
แม่ฮ่องสอน	1520	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU088"	7.62	18.16	665.2	1.543
น่าน	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.507
	809	"Loma Prieta"	1989	"UCSC"	6.93	18.51	713.59	0.547
	810	"Loma Prieta"	1989	"UCSC Lick Observatory"	6.93	18.41	713.59	0.474
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.480
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.391
พะเยา	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.270
	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.530
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.426
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	1.872
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.240
แพร่	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.530
	4481	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - V. Aterno -Colle Grilli"	6.3	6.81	685	0.240
	4483	"L'Aquila_Italy"	2009	"L'Aquila - Parking"	6.3	5.38	717	0.285
ตาก	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.304
	763	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy - Gavilan Coll."	6.93	9.96	729.65	0.652
	801	"Loma Prieta"	1989	"San Jose - Santa Teresa Hills"	6.93	14.69	671.77	0.520
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.481
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	2.113
อุตรดิตถ์	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	0.530
	2632	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.426
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	1.872
	4513	"L'Aquila"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	1.478

รูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที ของจังหวัดเชียงราย โดยรูปที่ 5.9 มีการปรับแก้ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 1 วินาทีให้มีค่าเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



รูปที่ 5.8 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 7 ถึง 8 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 7 ถึง 11 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดเชียงราย โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 1 วินาที



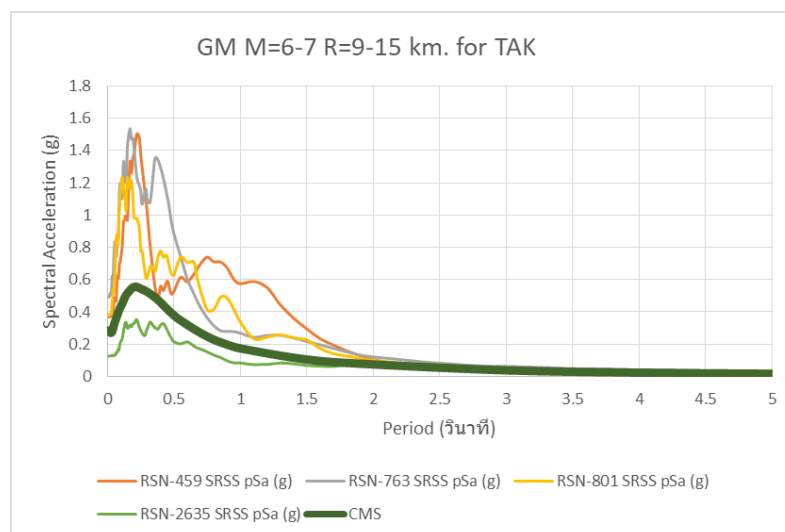
รูปที่ 5.9 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดเชียงรายที่คาบการสั่นไหว 1 วินาที

## 5.5 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที

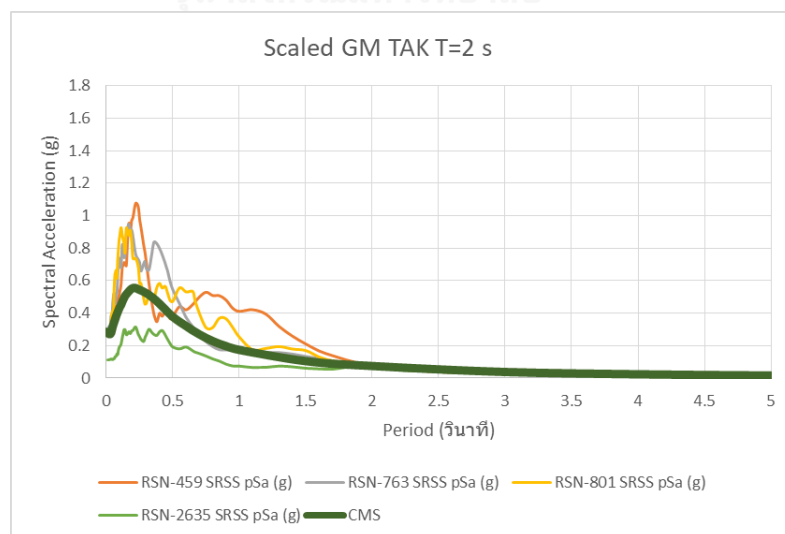
ตารางที่ 5.5 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาทีในจังหวัดต่างๆ

จังหวัด	NGA No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Mw	R (km)	Vs30 (m/s)	ตัวคูณ ปรับค่า
เชียงใหม่	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.958
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.732
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.565
เชียงราย	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.887
	1165	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Izmit"	7.51	7.21	811	0.542
	1521	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.678
กาญจนบุรี	2871	"Chi-Chi_Taiwan-04"	1999	"TCU084"	6.2	27.13	665.2	1.751
	2873	"Chi-Chi_Taiwan-04"	1999	"TCU089"	6.2	27.52	671.52	3.365
ลำปาง	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.646
	989	"Northridge-01"	1994	"LA - Chalon Rd"	6.69	20.45	740.05	0.527
	1012	"Northridge-01"	1994	"LA 00"	6.69	19.07	706.22	0.693
ลำพูน	1161	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.887
	1633	"Manjil_Iran"	1990	"Abbar"	7.37	12.55	723.95	0.264
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.523
แม่ฮ่องสอน	1520	"Chi-Chi_Taiwan"	1999	"TCU088"	7.62	18.16	665.2	0.851
น่าน	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.547
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.348
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.241
พะเยา	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.646
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.412
	5618	"Iwate_Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.285
แพร่	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.646
	989	"Northridge-01"	1994	"LA - Chalon Rd"	6.69	20.45	740.05	0.527
	1012	"Northridge-01"	1994	"LA 00"	6.69	19.07	706.22	0.693
ตาก	459	"Morgan Hill"	1984	"Gilroy Array #6"	6.19	9.87	663.31	0.716
	763	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy - Gavilan Coll."	6.93	9.96	729.65	0.618
	801	"Loma Prieta"	1989	"San Jose - Santa Teresa Hills"	6.93	14.69	671.77	0.752
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	0.894
อุตรดิตถ์	2395	"Chi-Chi_Taiwan-02"	1999	"TCU084"	5.9	8.55	665.2	1.666
	2635	"Chi-Chi_Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	0.655
	4513	"L'Aquila"	2009	"L'Aquila - Parking"	5.6	11.19	717	1.067

รูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที ของจังหวัดตาก โดยรูปที่ 5.11 มีการปรับแก้ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 2 วินาทีให้มีค่าเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



รูปที่ 5.10 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6 ถึง 7 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 9 ถึง 15 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดตาก โดยพิจารณาคาบการสั่นไหว 2 วินาที



รูปที่ 5.11 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดตากที่คาบการสั่นไหว 2 วินาที

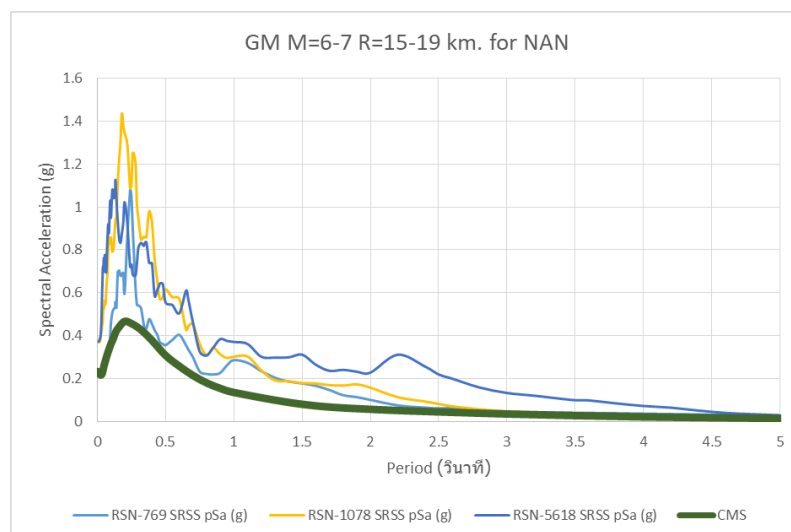
## 5.6 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาที

ตารางที่ 5.6 คลื่นแผ่นดินไหวสำหรับพิจารณาคาบการสั่นไหว 3 วินาทีในจังหวัดต่างๆ

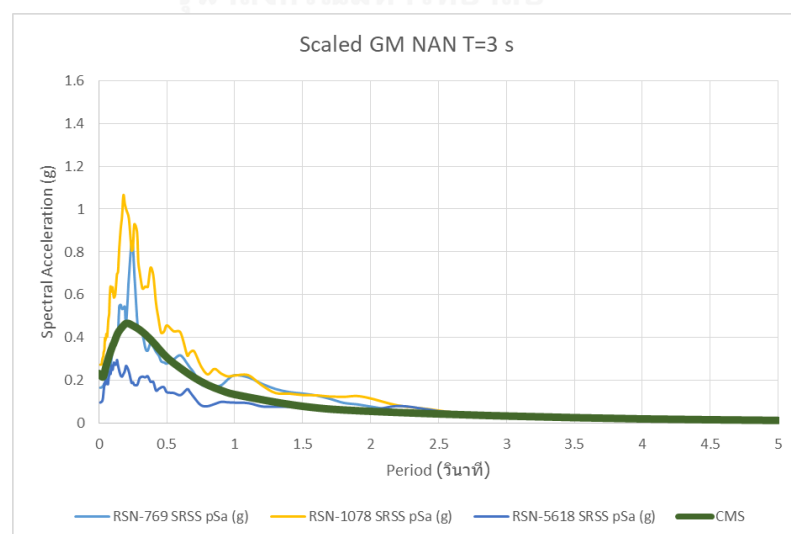
จังหวัด	NGA No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Mw	R (km)	Vs30 (m/s)	ตัวคูณปรับค่า
เชียงใหม่	1161	"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.525
	1521	"Chi-Chi_ Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.498
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.701
เชียงราย	1161	"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.455
	1165	"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Izmit"	7.51	7.21	811	0.439
	1521	"Chi-Chi_ Taiwan"	1999	"TCU089"	7.62	9	671.52	0.431
กาญจนบุรี	1206	"Chi-Chi_ Taiwan"	1999	"CHY042"	7.62	28.17	665.2	0.757
	1613	"Duzce_ Turkey"	1999	"Lamont 1060"	7.14	25.88	782	1.335
ลำปาง	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.787
	989	"Northridge-01"	1994	"LA - Chalon Rd"	6.69	20.45	740.05	0.618
ลำพูน	1161	"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Gebze"	7.51	10.92	792	0.525
	1633	"Manjil_ Iran"	1990	"Abbar"	7.37	12.55	723.95	0.290
	1787	"Hector Mine"	1999	"Hector"	7.13	11.66	726	0.701
แม่ฮ่องสอน	1520	"Chi-Chi_ Taiwan"	1999	"TCU088"	7.62	18.16	665.2	1.048
น่าน	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.787
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.742
	5618	"Iwate_ Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.263
พะเยา	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.787
	1078	"Northridge-01"	1994	"Santa Susana Ground"	6.69	16.74	715.12	0.742
	5618	"Iwate_ Japan"	2008	"IWT010"	6.9	16.27	825.83	0.263
แพร่	769	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy Array #6"	6.93	18.33	663.31	0.787
	989	"Northridge-01"	1994	"LA - Chalon Rd"	6.69	20.45	740.05	0.618
ตาก	763	"Loma Prieta"	1989	"Gilroy - Gavilan Coll."	6.93	9.96	729.65	0.723
	2632	"Chi-Chi_ Taiwan-03"	1999	"TCU084"	6.2	9.32	665.2	0.740
	2635	"Chi-Chi_ Taiwan-03"	1999	"TCU089"	6.2	9.81	671.52	0.951
อุตรดิตถ์	73	"San Fernando"	1971	"Lake Hughes #9"	6.61	22.57	670.84	3.033
	3926	"Tottori_ Japan"	2000	"OKYH08"	6.61	24.84	694.21	1.151



รูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 เป็นตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยพิจารณาจากการสั้นไหว 3 วินาที ของจังหวัดน่าน โดยรูปที่ 5.13 มีการปรับแก้ค่าความเร่งสเปกตรัมที่คาบการสั้นไหว 3 วินาทีให้มีค่าเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข



รูปที่ 5.12 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวโดยมีขนาดแผ่นดินไหว 6 ถึง 7 และระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว 15 ถึง 19 กิโลเมตร และสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดน่าน โดยพิจารณาจากการสั้นไหว 3 วินาที



รูปที่ 5.13 สเปกตรัม SRSS ของชุดคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขของจังหวัดน่านที่คาบการสั้นไหว 3 วินาที

จากตารางที่ 5.1 ถึงตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่คัดเลือกโดยคำนึงถึงรูปร่างสเปกตรัมที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข สำหรับจังหวัดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยา แพร่ ตาก อุตรดิตถ์ และจังหวัดกาญจนบุรี ของแต่ละคาบการสั่นไหวต่างๆที่ได้พิจารณา

จากรูปที่ 5.2 ถึงรูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหว โดยมีขนาดแผ่นดินไหวและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของแต่ละจังหวัด ที่คาบการสั่นไหวต่างๆ และได้ทำการปรับค่าให้มีความเร่งสเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข จะเห็นได้ว่า รูปร่างสเปกตรัมของชุดคลื่นแผ่นดินไหวมีความคล้ายกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข ทั้งก่อนและหลังการปรับค่าความเร่งสเปกตรัม สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขจึงเป็นตัวแทนของคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างต่อไปได้



## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษามีข้อสรุปผลดังต่อไปนี้

1. ผลการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวโดยพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหว 0.2 วินาที ลักษณะแผ่นดินไหวที่ส่งผลกระทบต่อจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และลำพูน คือแหล่งกำเนิดโซน E มีขนาดประมาณ 6.8 ถึง 7.2 ระยะห่างประมาณ 8 ถึง 14 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดอื่นในภาคเหนือได้รับผลจากแหล่งกำเนิดโซน I มีขนาดประมาณ 5.8 ถึง 6.1 ระยะห่างประมาณ 6 ถึง 14 กิโลเมตร ส่วนจังหวัดกาญจนบุรีได้รับผลจากแหล่งกำเนิดโซน J มีขนาดประมาณ 5.4 ถึง 5.8 ระยะห่างประมาณ 4 ถึง 7 กิโลเมตร และเมื่อพิจารณาค่าความเร่งเชิงสเปกตรัมที่คาบการสั่นไหวที่มากขึ้น จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น

2. ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้คัดเลือกสำหรับจังหวัดในภาคเหนือ และกาญจนบุรี โดยใช้ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวที่ได้มาจากรฐานข้อมูลแผ่นดินไหวของศูนย์วิจัยด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวแห่งแปซิฟิก (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) ที่สอดคล้องกับลักษณะเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงภัยมากที่สุดจากการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว เป็นคลื่นที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้กับคลื่นแผ่นดินไหวบนดินชั้นหินกึ่งดินแข็ง (site class B/C) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วง 30 เมตร จากผิวดิน (shear wave velocity,  $V_{s30}$ ) ประมาณ  $760 \pm 100$  เมตรต่อวินาที เท่านั้น เนื่องจากข้อมูลการแยกแยะความเสี่ยงภัยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว (สมการลดทอนแผ่นดินไหว) บนดินชั้นหินแข็ง

### ข้อเสนอแนะ

1. สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขที่ได้จากการศึกษานี้ เป็นสเปกตรัมที่ใช้วิเคราะห์บนดินชั้น หินกึ่งดินแข็ง (site class B/C) มีค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วง 30 เมตร จากผิวดิน (shear wave velocity,  $V_{s30}$ ) ประมาณ  $760 \pm 100$  เมตรต่อวินาที สำหรับการวิเคราะห์บนชั้นดินอื่นๆ ควร ทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยการใช้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว (สมการลดทอนแผ่นดินไหว) สมัยใหม่ที่เหมาะสมกับประเทศไทย ในการแยกแยะความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวและคำนวณหา สเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข

2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแยกแยะความเสี่ยงภัย แผ่นดินไหวและคำนวณหาสเปกตรัมค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไข ต่อไปในอนาคต



## รายการอ้างอิง

- [1] Frankel A.D., et al. National Seismic Hazard Map. U.S. Geological Survey Open-File Report 1996-532 (1996).
- [2] Campbell K.W. 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) (1997): 154-179.
- [3] Boore D.M., Joyner W.B., and Fumal T.E. Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. Seismological Research Letters 68(1) (1997): 128-153.
- [4] Sadigh K., Chang C., Egan J., Makdisi F., and Youngs R. Attenuation relationships for Shallow Crustal Earthquakes based on California Strong Motion Data. Seismological Research Letters 68(180-189) (1997).
- [5] Toro G.R., Abrahamson N.A., and Schneider J.F. Model of Strong Ground Motions from Earthquake in Central and Eastern North America: Best Estimates and Uncertainties. Seismological Research Letters 68(41-57) (1997).
- [6] Atkinson G.M. and Boore D.M. New Ground Motion Relations for Eastern North America. Bulletin of the Seismological Society of America 85 (1995): 17-30.
- [7] Youngs R.R., Chiou S.J., Silva W.J., and Humphrey J.R. Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone. Seismological Research Letters 68(1) (1997): 74-85.
- [8] Frankel A.D., et al. Update of National Seismic Hazard Map. U.S. Geological Survey Open-File Report 2002-420 (2002).
- [9] Abrahamson N.A. and Silva W.J. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes. Seismological Research Letters 68(1) (1997): 94-127.
- [10] Idriss I.M. Procedures for Selecting Earthquake Ground Motions at Rock Sites. Report to National Institute of Standards and Technology Center for

- Geotechnical Modeling(Department of Civil and Environmental Engineering)  
(1993): University of California at Davis.
- [11] Atkinson G.M. and Boore D.M. Some Comparisons Between Recent Ground Motion Relations. Seismological Research Letters 68(1) (1997): 24-40.
- [12] Nuttallaya P., Sodsri S., and Arnold E.P. Series on Seismology-Volume II- Thailand. In E.P Arnold (ed.) Southeast Asia Association of Seismology and Earthquake Engineering (1985): 1-402.
- [13] ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และนภดล คูหาทสันะติกุล. เขตแผ่นดินไหวและสัมประสิทธิ์แผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย. เอกสารการประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2536 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, (2536): 268-287.
- [14] Warnitchai P. and Lisantono A. Probabilistic Seismic Risk Mapping for Thailand. Proceedings, 11th World Conference on Earthquake Engineering Acapulco Mexico (1996).
- [15] Esteva L. and Villaverde R. Seismic Risk, Design Spectra and Structural Reliability. in Proceedings of Fifth World Conference on Earthquake Engineering, pp. 2586-2596, 1973.
- [16] Cornell C.A. Engineering Seismic Risk Analysis. Bulletin of the Seismological Society of America 58 (1968): 1583-1606.
- [17] Fenton C.H., Charusiri P., Hinthong C., Lumjuan A., and Mangkonkarn B. Late Quaternary Faulting in Northern Thailand. The International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific Bangkok Department of Mineral Resources (August) (1997): 436-452.
- [18] ปัญญา จารุศิริ สุวิทย์ โคสุวรรณ วิโรจน์ ดาวฤกษ์ บุรินทร์ เวชบัณฑิต และสุทธิพัทธ์ ขุทรานนท์. รายงานวิจัย (ฉบับสมบูรณ์) แผ่นดินไหวในประเทศไทยและพื้นที่แผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) (2543): 1-171.
- [19] Petersen M.D., et al. Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Sumatra, Indonesia and Across the Southern Malaysian Peninsula. Tectonophysics 390(141-158) (2004).
- [20] Engdahl E.R., van der Hilst R., and Buland R. Global Teleseismic Earthquake Relocation with Improved Travel Times and Procedures for Depth

- Determination. Bulletin of the Seismological Society of America 88(3) (1998): 722-743.
- [21] จิตติ ปาลศรี. แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [22] Ornthammarath T., Warnitchai P., Worakanchana K., Zaman S., Sigbjörnsson R., and Lai C.G. Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Thailand. Bulletin of Earthquake Engineering 9(2) (2011): 367-394.
- [23] ภควัสน์ มินชัยนันท์. ฐานข้อมูลแผ่นดินไหวสำหรับใช้ในการออกแบบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [24] กรมโยธาธิการและผังเมือง. มยผ.1302-52: มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. 2552.
- [25] Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. Vol. Prentice-Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, 1996.
- [26] Algermissen S.T., Perkin D.M., Thenhaus P.C., Hanson S.L., and Bender B.L. Probabilistic Estimates of Maximum Acceleration and Velocity in Rock in the Contiguous United States. U.S. Geological Survey Open-File Report 1982-1033 (1982).
- [27] Palasri C. and Ruangrassamee A. Probabilistic Seismic Hazard Maps of Thailand. Journal of Earthquake and Tsunami 4(04) (2010): 369-386.
- [28] Gutenberg B. and Richter C.F. Frequency of Earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America 34(4) (1944): 1985-1988.
- [29] McGuire R.K. and Arabasz W.J. An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis. In S. H. Ward ed. Geotechnical and Environmental Geophysics Review and Tutorial, SEG( I) (1990): 333-352.
- [30] Palasri C. Seismic Hazard of Thailand and Bi-Directional Response Spectra. Doctor of Philosophy Program, Civil Engineering Chulalongkorn University, 2012.
- [31] Baker J.W. Conditional Mean Spectrum: Tool for Ground Motion Selection. Journal of Structural Engineering 137(3) (2011): 322-311.

- [32] Baker J.W. and Cornell C.A. A Vector-Valued Ground Motion Intensity Measure Consisting of Spectral Acceleration and Epsilon. Earthquake Engineering & Structural Dynamics 34(10) (2005a): 1193-1217.
- [33] Baker J.W. and Cornell C.A. Spectral Shape, Epsilon and Record Selection. Earthquake Engineering & Structural Dynamics 35(9) (2006b): 1077-1095.
- [34] Chiou B., Darragh R., Gregor N., and Silva W. NGA Project Strong-Motion Database. Earthquake Spectra 24(1) (2008): 23-44.
- [35] Baker J.W. and Cornell C.A. Vector-Valued Intensity Measures Incorporating Spectral Shape for Prediction of Structural Response. Journal of Earthquake Engineering 12(4) (2008): 534-554.
- [36] Cordova P.P., Deierlein G.G., Mehanny S.S.F., and Cornell C.A. Development of a Two Parameter Seismic Intensity Measure and Probabilistic Assessment Procedure. The Second U.S.-13 Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures Sapporo, Hokkaido(187-206) (2001).
- [37] Haselton C. and Baker J.W. Ground Motion Intensity Measures for Collapse Capacity Prediction: Choice of Optimal Spectral Period and Effect of Spectral Shape. Proceedings 8th National Conference on Earthquake Engineering San Francisco, California(10p) (2006).
- [38] Vamvatsikos D. and Cornell C.A. Developing Efficient Scalar and Vector Intensity Measures for IDA Capacity Estimation by Incorporating Elastic Spectral Shape Information. Earthquake Engineering & Structural Dynamics 34(13) (2005): 1573-1600.
- [39] Baker J.W. and Cornell C.A. Vector-Valued Ground Motion Intensity Measures for Probabilistic Seismic Demand Analysis. in *Blume Center Technical Report #150*. 2005b: Stanford University.
- [40] Goulet C.A., Watson-Lamprey J., Baker J.W., Luco N., and Yang T.Y. Assessment of Ground Motion Selection and Modification (GMSM) Methods for Non-Linear Dynamic Analyses of Structures. Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV Sacramento, California(10p) (2008).



- [41] Luco N. and Bazzurro P. Does Amplitude Scaling of Ground Motion Records Result in Biased Nonlinear Structural Drift Responses? Earthquake Engineering & Structural Dynamics 36(13) (2007): 1813-1835.
- [42] Bazzurro P. and Cornell C.A. Seismic Hazard Analysis of Nonlinear Structure I:Methodology. Journal of Structural Engineering 120(11) (1994): 3320-3344.
- [43] Cornell C.A., Jalayer F., Hamburger R.O., and Foutch D.A. Probabilistic Basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Moment Frame Guidelines. Journal of Structural Engineering 128(4) (2002): 526.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชัชฉันท บัญชู เกิดเมื่อวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ ต่อมาได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2555 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2556

