



โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาณัติ เรืองรัมย์ และจิตติ ปาลศรี

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิศวกรรมศาส

แผ่นดินไหวที่ประเทศพม่า

ในวันที่ 24 มีนาคม 2554

กับบทเรียนทางวิศวกรรม



1. บทนำ

ในวันที่ 24 มีนาคม 2554 เวลา 20:55 น. ตามเวลาในประเทศไทยได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.8 มีศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด 20.705 องศาเหนือ ลองจิจูด 99.949 องศาตะวันออก (ตามข้อมูลจาก USGS) โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ลึก 10 กิโลเมตร แผ่นดินไหวนี้ได้ทำให้เกิดความเสียหายกับอาคารหลายแห่งใน อ.แม่สาย จ.เชียงรายซึ่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางประมาณ 30 กิโลเมตร และมีโบราณสถานใน อ.เชียงแสนเกิดความเสียหายเช่นกัน รวมทั้งอาคารสูงตั้งแต่ประมาณ 10 ชั้นในกรุงเทพมหานครสามารถรับรู้การสั่นสะเทือนได้ หลังจากเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวทางผู้เขียนได้รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลความแรงที่ผิวดินที่สถานีต่างๆ ของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา และได้สำรวจความเสียหายพร้อมกับคณะสำรวจจากหน่วยงานต่างๆ บทความนี้นำเสนอข้อมูลทางวิศวกรรมที่รวบรวมและวิเคราะห์เบื้องต้นจากเหตุการณ์นี้ เพื่อเป็นแนวในการออกแบบและเตรียมพร้อมทางวิศวกรรมต่อไป



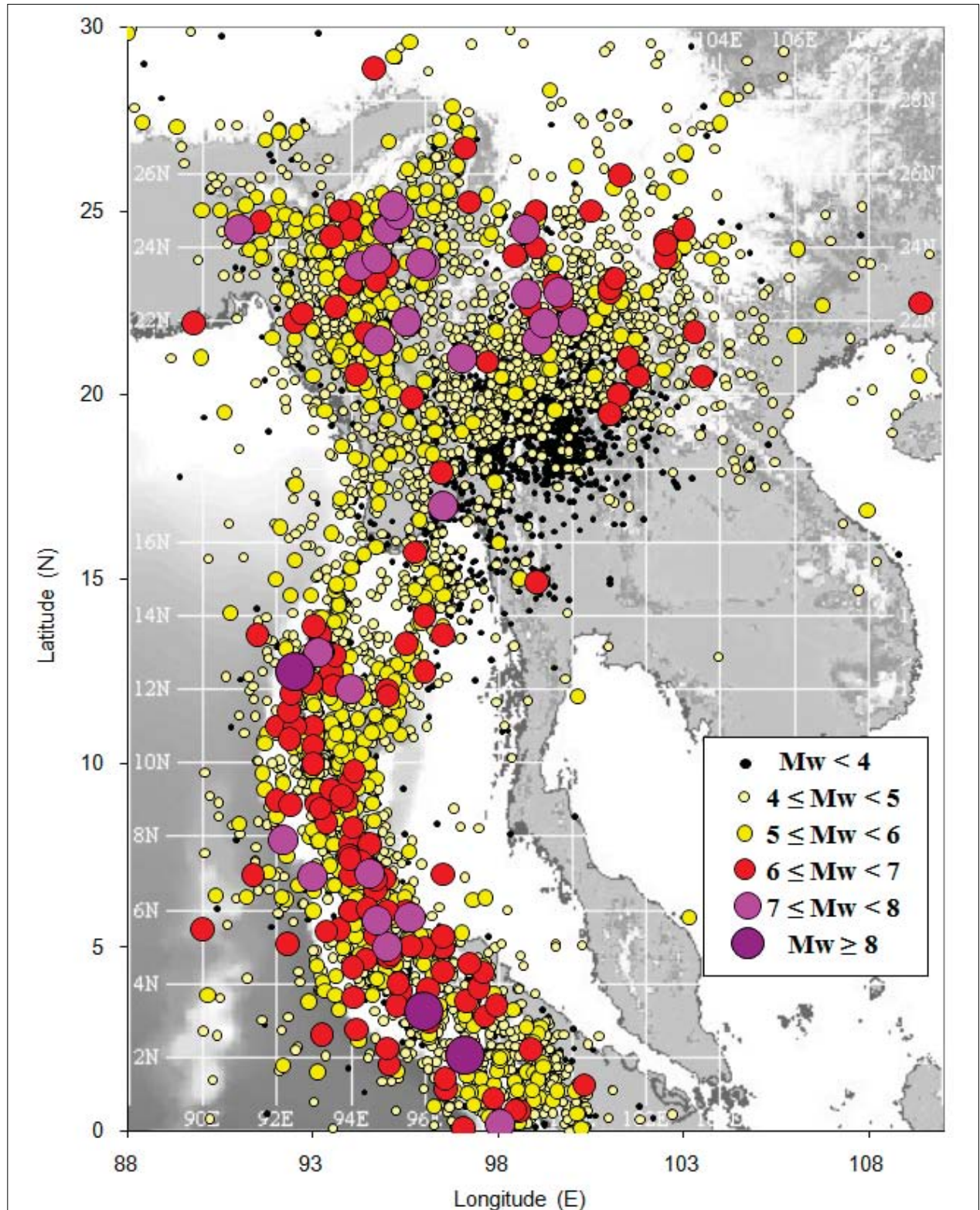
2. ลักษณะทางธรณีวิทยาและแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคเหนือ

ในบริเวณภาคเหนือและในประเทศพม่าได้เกิดแผ่นดินไหวอยู่บ่อยครั้ง รูปที่ 1 แสดงจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวขนาดต่างๆ ที่เคยเกิดรอบประเทศไทย จะเห็นว่าบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยได้เกิดแผ่นดินไหวขนาดเกิด 5.0 อยู่เป็นระยะ ตารางที่ 1 แสดงแผ่นดินไหวที่ได้ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมาได้เกิดแผ่นดินไหวบริเวณใกล้เคียงเป็นระยะโดยครั้งล่าสุดได้เกิดแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ที่ประเทศลาวในวันที่ 16 พ.ค. 2550 แผ่นดินไหวนี้ได้ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารหลายแห่งใน จ.เชียงราย และยอดฉัตรของพระธาตุดอยจอมกิตติได้หักลงมา

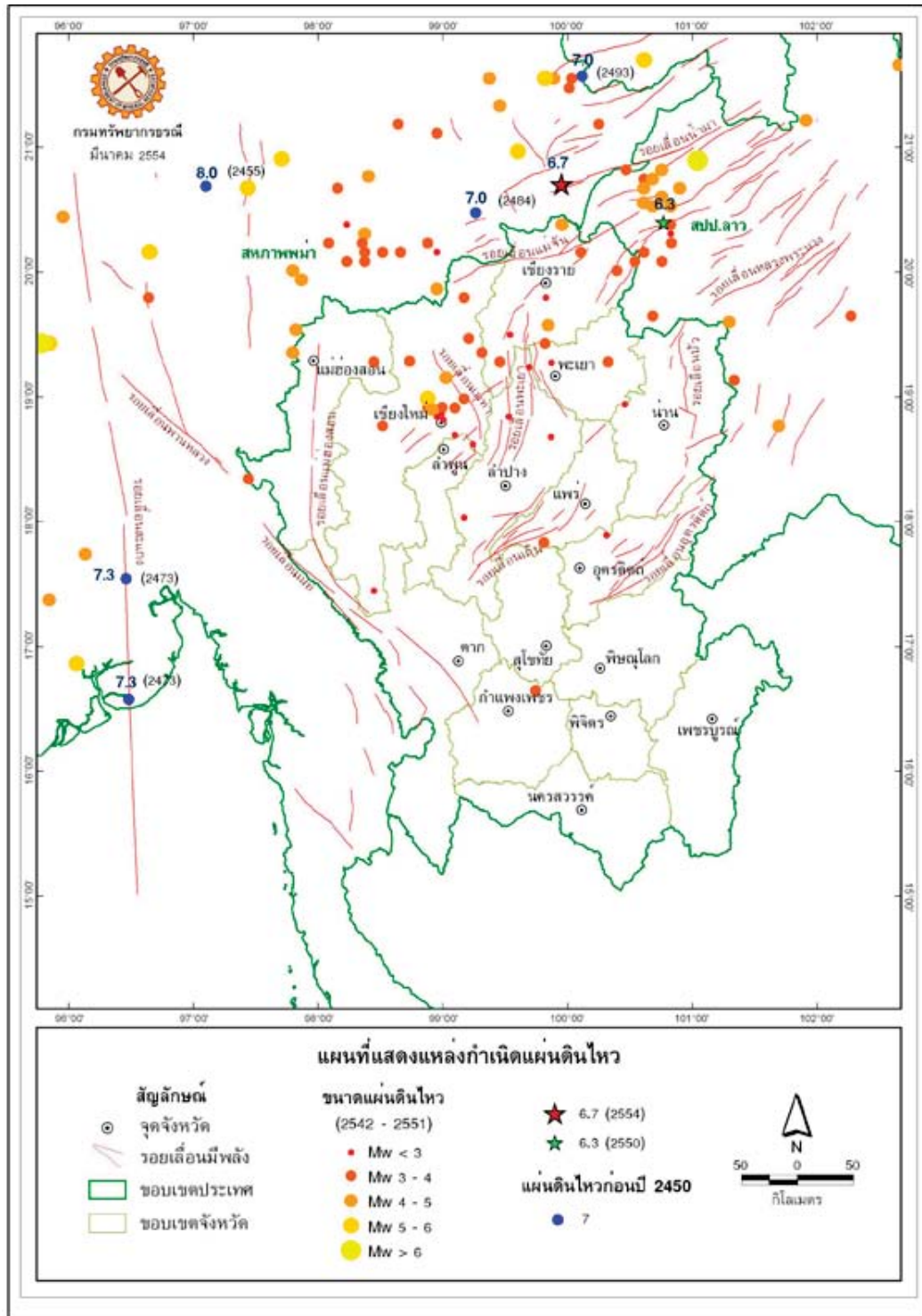
แผ่นดินไหวมักเกิดในบริเวณที่มีรอยเลื่อนมีพลัง โดยในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยมีรอยเลื่อนหลักๆ คือรอยเลื่อนแม่จัน รอยเลื่อนแม่ทา รอยเลื่อนพะเยา รอยเลื่อนปัว รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน และรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ ดังแสดงในรูปที่ 2 แผ่นดินไหวครั้งนี้เกิดในบริเวณรอยเลื่อนน้ำมาที่ผ่านประเทศลาวและประเทศพม่าซึ่งวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตกโดยประมาณ

ตารางที่ 1 เหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สำคัญในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมาที่ส่งผลต่อภาคเหนือของประเทศไทย
(ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และคณะ 2551)

วันที่	ขนาด	จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว	ความเสียหายที่เกิดขึ้น
11 ก.ย. 2537	5.1	อ.พาน จ.เชียงราย	โรงเรียนและวัดกว่า 50 แห่ง เกิดความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพานเสียหายปานกลาง เกิดการแตกร้าวทแยงในเสาเอ็น
12 ก.ย. 2538	7.2	ประเทศพม่า	เกิดการแตกร้าวเล็กน้อยในส่วนโครงสร้างของอาคารผู้โดยสาร สนามบิน หอบังคับการบิน โรงพยาบาล และโรงเรียนบางแห่ง ในจังหวัดเชียงราย
22 ธ.ค. 2539	5.5	พรมแดนไทย-ลาว	เกิดการแตกร้าวเล็กน้อยในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักของอาคาร และวัดราว 13 หลังในจังหวัดเชียงราย ยอดเจดีย์ประมาณ 6 เมตรของ วัดพระธาตุเจดีย์หลวง อ.เชียงแสน ร่วงหลุดลงมา
22 ก.ย. 2546	6.7	ประเทศพม่า	รู้สึกสั่นไหวรุนแรงในอาคารสูงอาคาร 28-52 ชั้น บางหลังใน กทม. เกิดรอยร้าวในผนังอิฐก่อ
13 ธ.ค. 2549	5.1	อ.แมริม จ.เชียงใหม่	เกิดความเสียหายเล็กน้อย แก่องค์อาคารที่ไม่ใช่เป็นส่วนโครงสร้าง (เช่น ผนังอิฐก่อ) ใน อ.แมริม จ.เชียงใหม่ และอำเภอใกล้เคียง
16 พ.ค. 2550	6.3	ประเทศลาว	อาคาร 68 ป้อนุสรณ์ โรงพยาบาลจังหวัดเชียงรายผนังอิฐก่อแตกร้าวขนาดเล็ก รอยต่อระหว่างส่วนของอาคารเกิดการกระแทกกันทำให้เกิดรอยร้าว ยอดฉัตรพระธาตุดอยจอมกิตติหัก (อ.เชียงแสน จ.เชียงราย) สุสานพระธาตุเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ราว 15 มม. อาคาร คสล. 2 ชั้นหลังหนึ่งของโรงเรียนเม็งรายมหาวชิราวุธวิทยาเขตเกิดความเสียหายค่อนข้างมากในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ต้น โดยเกิดรอยร้าวทแยงแบบการเฉือน



รูปที่ 1 ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวระหว่างปี พ.ศ. 2455 - 2549 (จาก Palasri and Ruangrassamee, 2010)



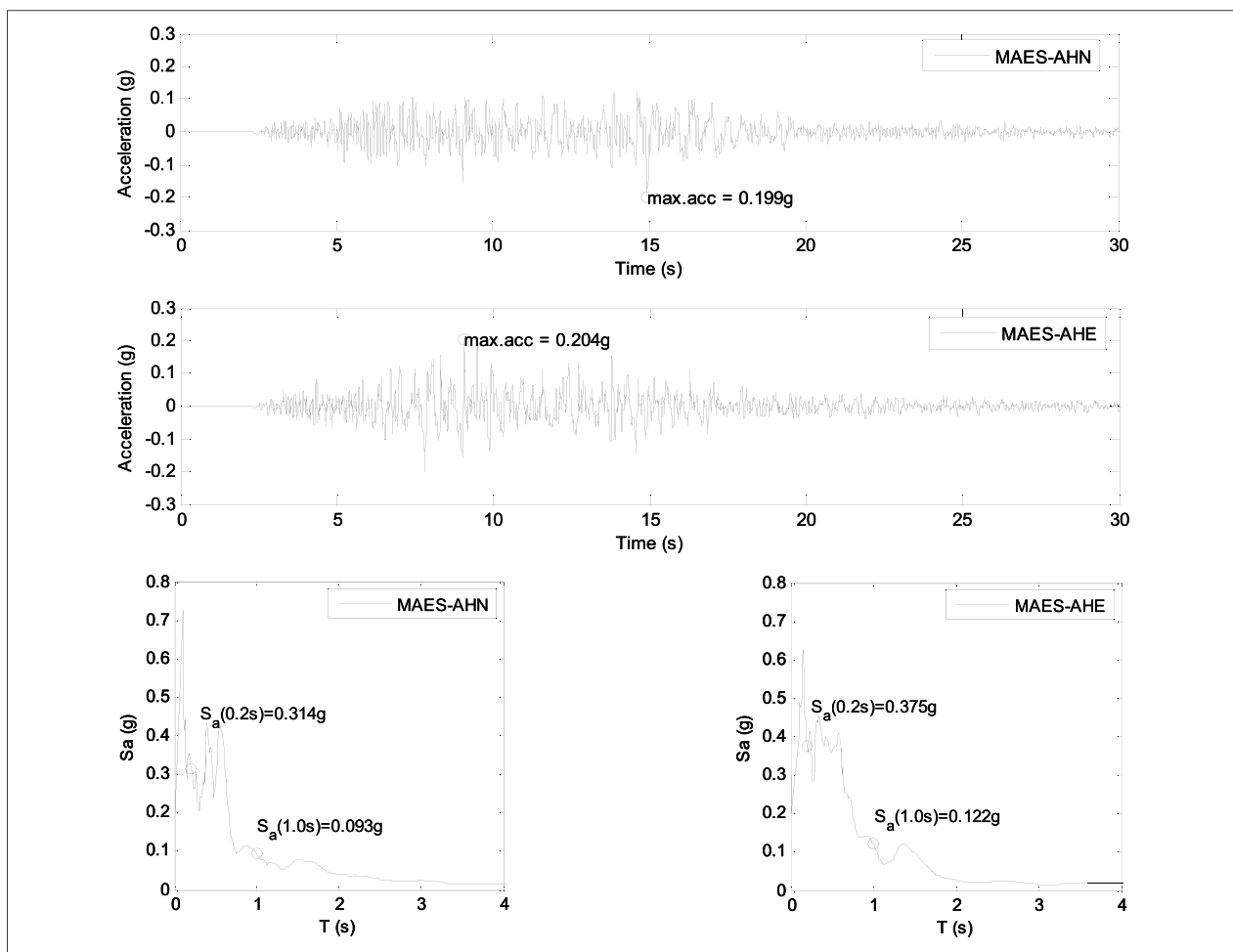
รูปที่ 2 แผนที่รอยเลื่อนมีพลังบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย โดยกรมทรัพยากรธรณี (2554)



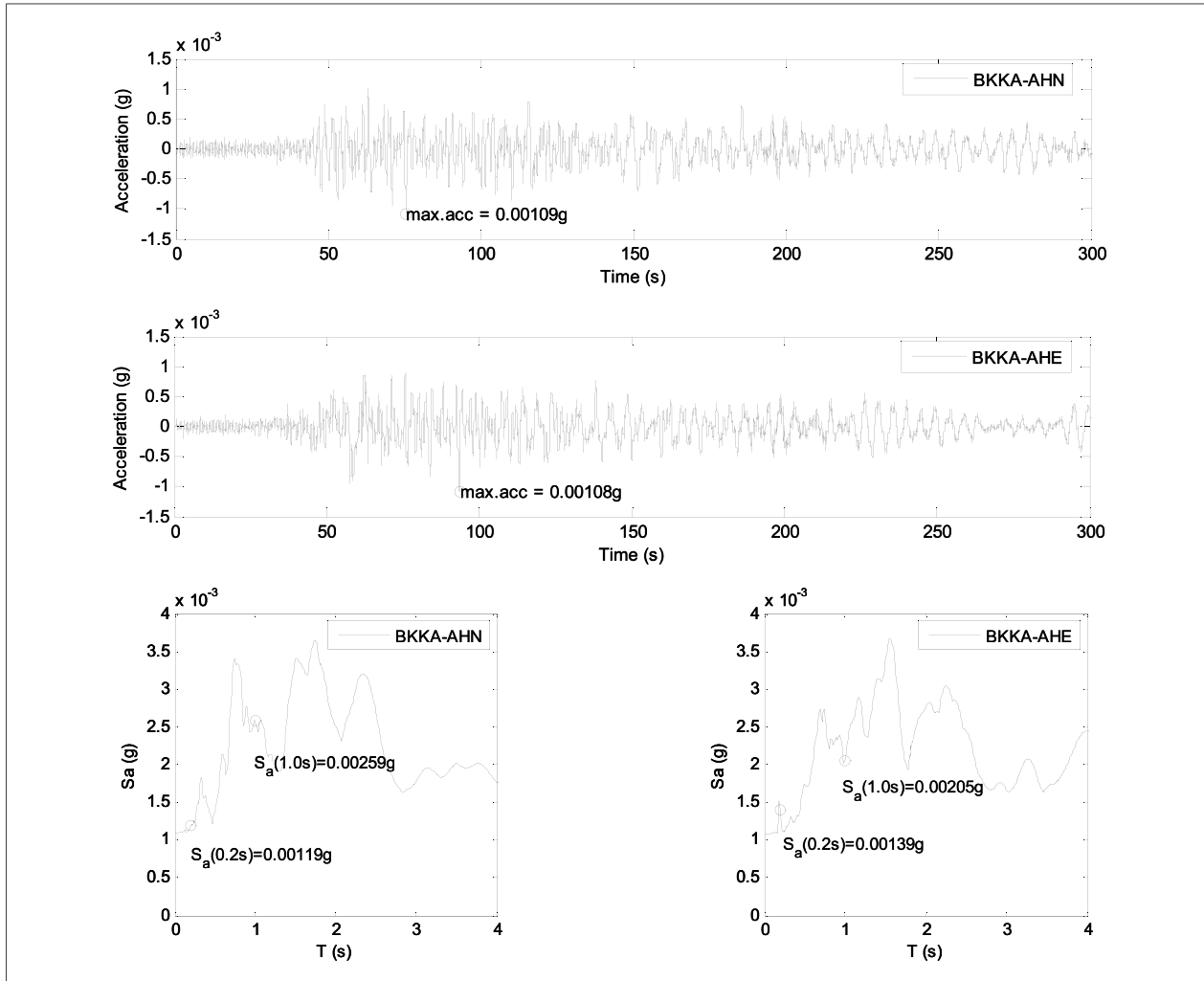
3. ค่าความเร่งที่ผิวดิน การสั่นไหวของอาคารตามระยะทาง และการขยายตัวเนื่องจากดินอ่อน

ภายหลังจากปี พ.ศ. 2548 กรมอุตุนิยมวิทยาได้ติดตั้งระบบตรวจวัดความเร่งของพื้นดินควบคู่กับเครื่องตรวจวัดความเร็วโดยเฟสแรก (ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2549) ได้ติดตั้งจำนวน 15 สถานี และในเฟสที่ 2 (ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2551) ได้ติดตั้งอีก 25 สถานี รวมเป็น 40 สถานีในบริเวณต่างๆของประเทศไทย โดยสถานีเหล่านี้จะข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหวที่กรุงเทพมหานคร นอกจากนี้แล้วยังมีการติดตั้งสถานีที่วัดความเร่งของพื้นดินโดยเฉพาะอีกหลายจุดโดยใช้การดึงข้อมูลผ่านทางโมเด็ม โดยได้ติดตั้งที่ อ. แม่สาย เช่นกัน

รูปที่ 3 แสดงกราฟความเร่งที่ผิวดินที่วัดได้ที่สถานีตรวจวัดที่ อ.แม่สาย รวมทั้งแสดงสเปกตรัมความเร่งตอบสนองในแกนเหนือ-ใต้ (MAES-AHN) และแกนตะวันออก-ตะวันตก (MAES-AHE) ค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้คือ 0.2g (หรือ 20% ของความเร่งโน้มถ่วงของโลก) ความเร่งที่ผิวดินที่วัดได้นี้มีค่าสูงที่สุดเท่าที่เคยวัดได้ในประเทศไทย เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมความเร่งตอบสนองจะเห็นว่าคาบการสั่นหลักอยู่ที่ประมาณ 0.1-0.2 วินาที โดยมีค่าความเร่งตอบสนองในโครงสร้างประมาณ 0.6g - 0.7g รูปที่ 4 แสดงกราฟความเร่งที่ผิวดินที่วัดได้ที่สถานีตรวจวัดที่สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว บางนา กรุงเทพมหานคร รวมทั้งแสดงสเปกตรัมความเร่งตอบสนองในแกนเหนือ-ใต้ (BKKA-AHN) และแกนตะวันออก-ตะวันตก (BKKA - AHE) ค่าความเร่งสูงสุดมีค่า 0.001g และค่าความเร่งตอบสนองในโครงสร้างประมาณ 0.0035g โดยมีคาบการสั่นเป็นช่วงกว้างตั้งแต่ 0.8 ถึง 3.0 วินาที ซึ่งเป็นคาบการสั่นของอาคาร 10 - 30 ชั้น



รูปที่ 3 กราฟความเร่งที่ผิวดินและสเปกตรัมความเร่งตอบสนองที่สถานีตรวจวัดความเร่งที่ อ.แม่สาย จ.เชียงราย



รูปที่ 4 กราฟความเร่งที่ผิวดินและสเปกตรัมความเร่งตอบสนองที่สถานีตรวจวัดความเร่งที่กรุงเทพมหานคร

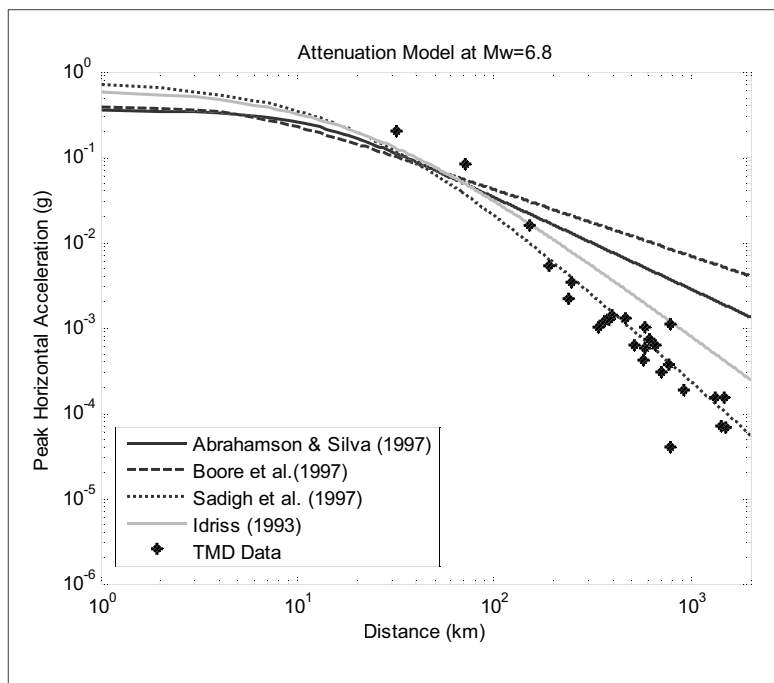
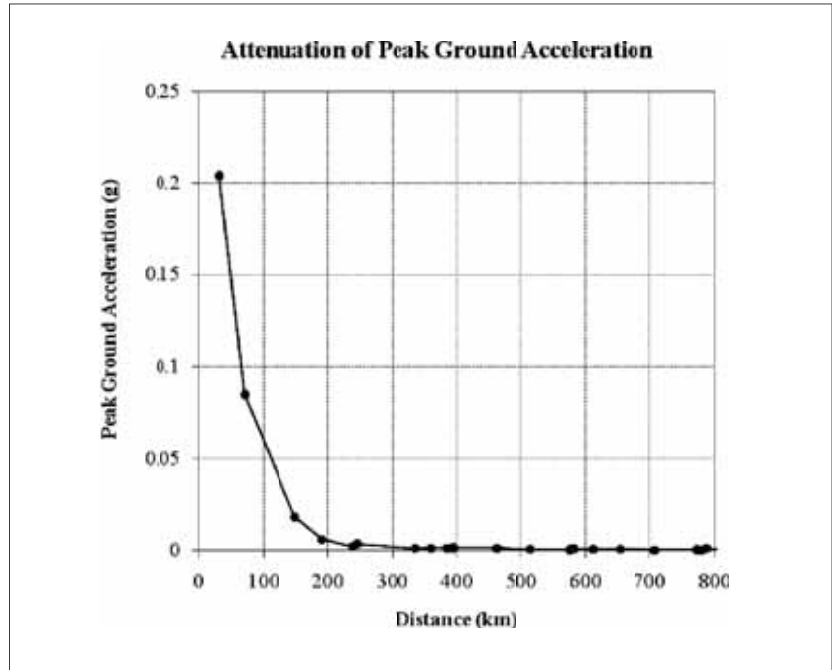
ระดับความเร่งของพื้นดินจะลดลงตามระยะทางจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหว ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งสูงสุดที่สถานีต่างๆ และระยะทางจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงสถานีนั้นๆ จะได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงการลดทอนของความเร่งสูงสุดตามระยะทาง จะเห็นว่าค่าความเร่งลดลงอย่างรวดเร็วในระยะ 200 กิโลเมตรจากจุดศูนย์กลาง เมื่อนำค่ามาแสดงในสเกลล็อก (log scale) จะได้ดังรูปที่ 6 โดยได้นำค่าที่ตรวจวัดได้มาเทียบกับสมการการลดทอนที่ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้เสนอไว้ โดยพบว่าค่าความเร่งสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกับสมการของ Sadigh และคณะ (1997) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์สำหรับแผ่นดินไหวในโซนตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Chintanapakdee และคณะ (2008) ซึ่งเสนอว่าสมการของ Sadigh และคณะ (1997) และ Idriss (1993) สามารถทำนายการลดทอนแผ่นดินไหวได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในประเทศไทย โดย Palasri และ Ruangrassamee (2010) ได้ใช้สมการลดทอนนี้ในการพัฒนาแผนที่ภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย

หากพิจารณาค่าความเร่งที่ระยะทางจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวถึงสถานีที่กรุงเทพมหานคร (BKK) และจังหวัดอื่นๆ ใกล้เคียงกันตามรูปที่ 7 จะเห็นว่าค่าความเร่งสูงสุดที่กรุงเทพมหานครมีค่าเป็น 2 เท่าหรือมากกว่า เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้ที่จังหวัดอื่นๆ สิ่งนี้เป็นการยืนยันการขยายตัวของความเร่งที่ผิวดินในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของคลื่นเฉือนในดินเมื่อมีการ

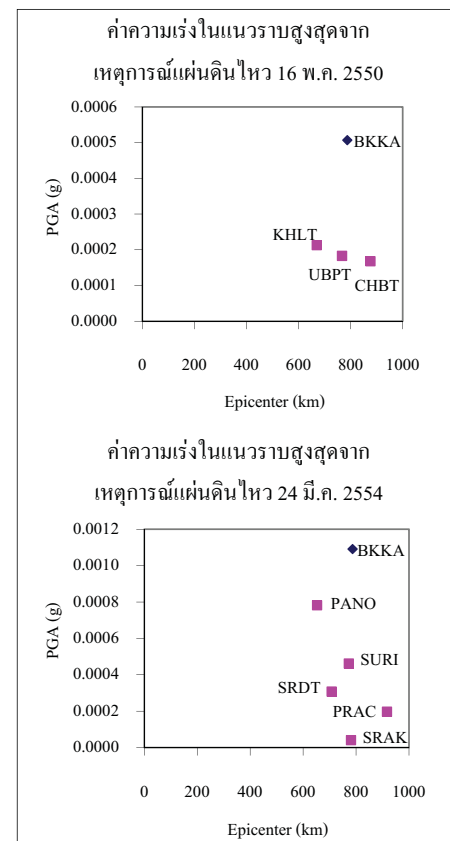


แผ่กระจายมายังผิวดิน การวิเคราะห์ผลอย่างละเอียดสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ผลตอบสนองแผ่นดินไหวของชั้นดินโดยจะต้องใช้ค่าความเร็วคลื่นเฉือนในดิน ซึ่งอาจได้มาจากการทดสอบแบบดาวนโฮล (จิตติ ปาลศรี และอาณัติ เรืองศรี, 2552) หรือการทดสอบและวิเคราะห์คลื่นพื้นผิว (Multi-channel Analysis of Surface Wave, MASW) (Seng และคณะ, 2009)

รูปที่ 5 การลดทอนของความเร่งที่ผิวดินตามระยะทาง



รูปที่ 6 การลดทอนของความเร่งที่ผิวดินตามระยะทางและเปรียบเทียบกับสมการต่างๆ



รูปที่ 7 ค่าความเร่งสูงสุดที่ระยะทางจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวใกล้เคียงกัน



4. ความเสียหาย และข้อพิจารณาในการออกแบบ

4.1 ความเสียหายของโบราณสถาน

ใน อ.เชียงแสน ซึ่งเป็นที่ตั้งของโบราณสถานหลายแห่ง พบว่ายอดของพระธาตุเจดีย์หลวงซึ่งยาวประมาณ 5 เมตรได้หักลงมา และยอดฉัตรของพระธาตุจอมกิตติเอียงและเกิดรอยร้าว รูปที่ 8 แสดงความเสียหายของพระธาตุเจดีย์หลวง และรูปที่ 9 แสดงความเสียหายของพระธาตุจอมกิตติ



รูปที่ 8 ความเสียหายของพระธาตุเจดีย์หลวง



รูปที่ 9 ความเสียหายของพระธาตุจอมกิตติ

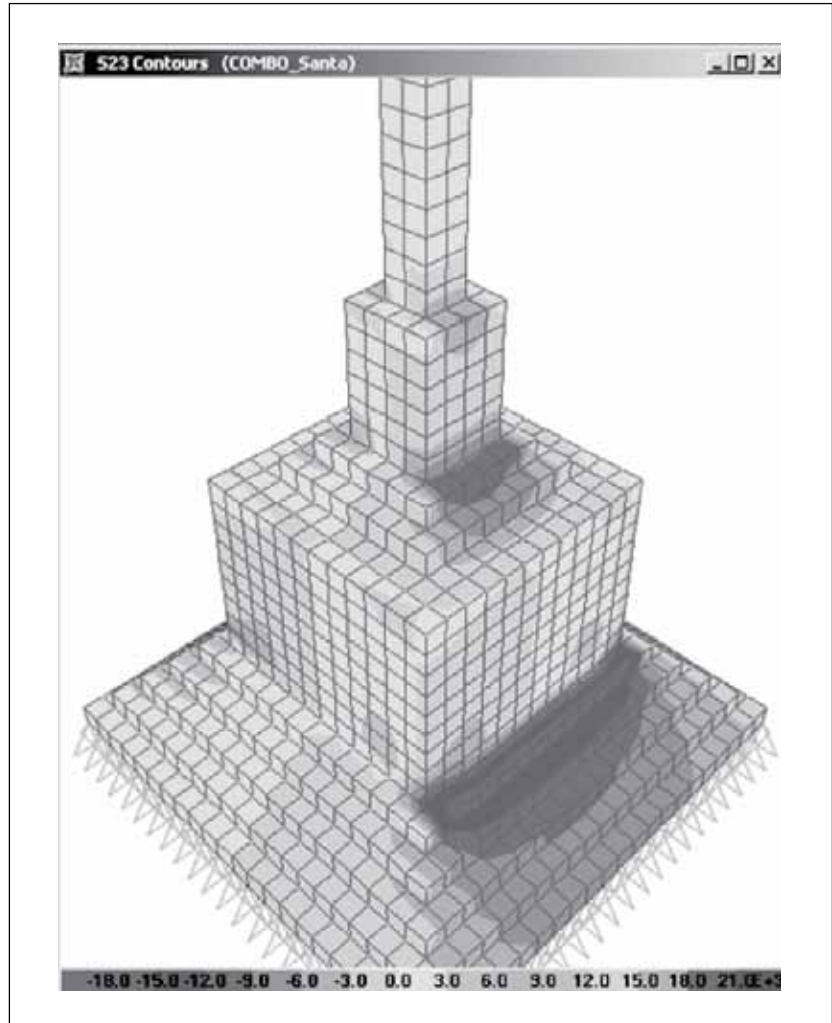


กวิน สายประเสริฐ และอาณัติ เรืองรัมย์ (2551) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรม การสั่นไหวของพระธาตุจอมกิตติซึ่งเกิด ความเสียหายในเหตุการณ์แผ่นดินไหว ขนาด 6.3 ที่ประเทศลาวในวันที่ 16 พฤษภาคม 2550 โดยได้ทำการจำลอง พระธาตุด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยพบว่าเมื่อเกิดการสั่นไหวที่ฐานเนื่อง จากแผ่นดินไหวจะเกิดความเค้นดึงสูง ที่บริเวณจุดที่มีการลดความกว้างของ พระธาตุลงดังรูปที่ 10 ฉะนั้นในจุดที่มีการ ลดความกว้างลงควรจะมีการปรับปรุง โดยการเสริมเหล็กเพื่อให้ความเค้นดึง มีการส่งถ่ายไปได้อย่างสมบูรณ์ และ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเจดีย์หรือ พระธาตุมักเป็นอิฐ ควรมีการศึกษาใช้ วัสดุเสริมเส้นใยเพื่อเพิ่มความสามารถ ในการรับแรงดึงของวัสดุโดยไม่มีผล กระทบต่อความสวยงามทางสถาปัตยกรรม ของโบราณสถาน

4.2 ความเสียหายของกำแพงอิฐ

กำแพงก่ออิฐเมื่อเกิดการโยกตัว ไปมาจะเกิดรอยร้าวเป็นแนวทแยงมุมดัง รูปที่ 11 (ก) แล้วจากนั้นจะมีพฤติกรรม เป็นชิ้นส่วนแนวทแยงมุมซึ่งรับแรงอัด (compression strut) ดังรูปที่ 12 โดยหาก มีแรงที่เข้าสู่ชิ้นส่วนนี้เกินกว่ากำลังรับ แรงอัดของกำแพงแล้วก็จะเกิดการวิบัติ แบบอัดในกำแพงดังที่ปรากฏที่บริเวณ กลางของกำแพงอิฐในรูปที่ 11 (ข) ใน ขณะเดียวกันก็จะส่งถ่ายแรงไปยังคาน และเสาซึ่งเพิ่มแรงเฉือนในคานและเสา อาคาร และหากมีการเสริมเหล็กรับแรง เฉือนไม่มากพอก็จะเกิดการวิบัติในคาน หรือเสาได้ดังจะกล่าวต่อไป

รูปที่ 11 ความเสียหายและการวิบัติของกำแพง

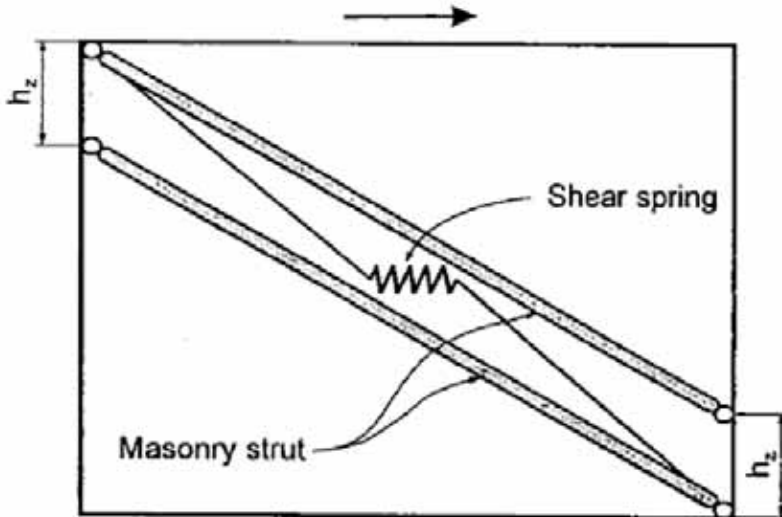


รูปที่ 10 ความเค้นหลักในพระธาตุจอมกิตติ (จาก กวิน สายประเสริฐ และอาณัติ เรืองรัมย์, 2551)



ก) ความเสียหายของกำแพง

ข) การวิบัติแบบอัดที่กลางกำแพง



รูปที่ 12 ชั้นส่วนแนวทแยงมุมซึ่งรับแรงในกำแพง
(จาก Crisafulli and Carr, 2007)

4.3. การวิบัติแบบเฉือนในเสาอาคาร

การวิบัติในโครงสร้างหลักที่พบเป็นรูปแบบการวิบัติแบบเฉือนในเสาโดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะที่เด่นชัดคือการวิบัติเนื่องจากพฤติกรรมแบบเสาสั้น และการวิบัติเนื่องจากการถ่ายแรงจากกำแพงอิฐ

4.3.1 การวิบัติเนื่องจากพฤติกรรมแบบเสาสั้น

ในเสาที่มีสัดส่วนรูปร่าง (aspect ratio) ซึ่งค่าเป็นความยาวต่อความกว้างมีค่าน้อย เมื่อมีแรงดันข้างมากระทำ จะทำให้น้ำตมมีแรงเฉือนถึงกำลังรับแรงเฉือนก่อนที่แรงดัดถึงกำลังรับแรงดัด ส่งผลให้เกิดการวิบัติแบบเฉือนซึ่งเป็นรอยร้าวในแนวทแยง ในทางวิศวกรรมแล้วการวิบัติแบบเฉือนเป็นรูปแบบการวิบัติที่ไม่พึงประสงค์ รูปที่ 13 แสดงการวิบัติแบบเฉือนของเสาซึ่งเกิดจากการก่อกำแพงไม่เต็มความสูง การวิบัติในรูปแบบนี้เป็นสาเหตุหลักในการวิบัติขององค์อาคารในแผ่นดินไหวที่ผ่านมา ได้แก่การวิบัติแบบเฉือนในเสาของโรงพยาบาลพาน อ.พาน จ.เชียงราย เนื่องจากแผ่นดินไหวขนาด 5.1 ที่ อ.พาน จ.เชียงราย ในวันที่ 11 กันยายน 2537 และการวิบัติแบบเฉือนในเสาของอาคารเรียน 2 ชั้นของโรงเรียนเม็กรายมหาวิทยาลัย อ.เมือง จ.เชียงราย เนื่องจากแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2550 ตามที่แสดงในรูปที่ 14 ภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหววันที่ 16 พฤษภาคม 2550 ทางศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือนได้แนะนำให้ทำการค้ำยันเสา เพิ่มเหล็กปลอก เทคอนกรีตใหม่ และปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างโดยการแยกผนังออกหรือโดยการก่อผนังให้เต็มความสูง ผลปรากฏว่าในเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งนี้อาคารดังกล่าวไม่มีความเสียหายที่เสาแต่อย่างใดดังรูปที่ 15



รูปที่ 13 แสดงการวิบัติแบบเฉือนของเสาสั้นในอาคารพักอาศัย 4 ชั้นของตำบลเกาะแม่สาย



รูปที่ 14 การวิบัติแบบเฉือนของเสาต้นของอาคาร 2 ชั้นของโรงเรียนเม้งรายมหาวิทยาลัยราชภัฏ อ.เมือง จ.เชียงราย เนื่องจากแผ่นดินไหวขนาด 6.3 ในวันที่ 16 พฤษภาคม 2550



รูปที่ 15 สภาพภายหลังแผ่นดินไหวครั้งนี้ของเสาอาคาร 2 ชั้นของโรงเรียนเม้งรายมหาวิทยาลัยราชภัฏ ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

4.3.2 การวิบัติเนื่องจากการ ถ่ายแรงจากกำแพงอิฐ การวิบัติในรูปแบบนี้

เกิดขึ้นเพราะแรงจากผนังอิฐได้ถ่ายเข้าสู่เสาในบริเวณหัวเสาและโคนเสาดังแบบจำลองในรูปที่ 12 โดยกระทำในระยะที่ใกล้เคียงกับปลายเสา หากแรงที่ถ่ายจากผนังมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดซึ่งรับโดยคอนกรีตและเหล็กปลอกก็จะนำไปสู่การวิบัติขึ้น ดังรูปที่ 16 และยังพบว่าได้เกิดการโก่งเดาะของเหล็กเสริมซึ่งหมายถึงความสามารถในการรับน้ำหนักในแนวตั้งของเสาลดลงอย่างมาก อาคารที่เกิดการวิบัติแบบนี้จะต้องมีการค้ำยันโครงสร้างโดยเร่งด่วน การซ่อมแซมจะต้องใช้วิศวกรผู้ชำนาญการ

การโก่งเดาะของเหล็กเสริมทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักในแนวตั้งของเสาลดลงอย่างมาก ทางผู้เขียนได้พัฒนาวิธีการป้องกันการโก่งเดาะของเหล็กเสริมโดยการใช้ “ปลอกยัดรังเหล็กเสริม” (Ruangrassamee และ Saworoj, 2011) ดังรูปที่ 17 ซึ่งใส่รอบเหล็กเสริมหลักเพื่อป้องกันการโก่งเดาะของเหล็กเสริม เมื่อทำการทดสอบพบว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงความเหนียวและช่วยลดความเสียหายบริเวณโคนเสาลงได้อย่างมาก (รูปที่ 18)



(ก) อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น



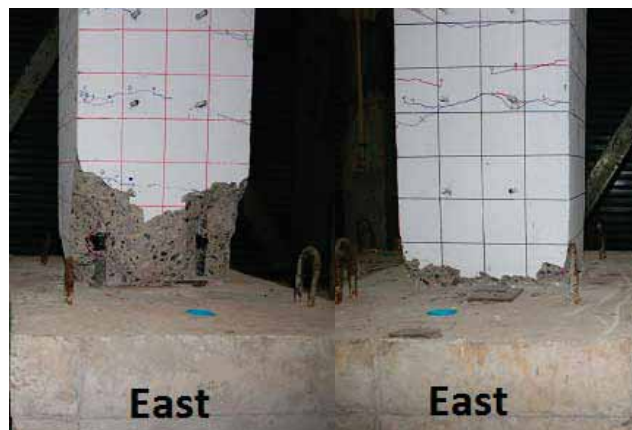
(ข) อาคารพาณิชย์ 4 ชั้น



รูปที่ 16 การวิบัติแบบเฉือนของเสาเนื่องจากการถ่ายแรงจากกำแพงอิฐ



รูปที่ 17 ปลอกยี่ดั่งเหล็กเสริม (Ruangrassamee และ Saworoj, 2011)



(ก) เสาที่ไม่ได้ใช้ปลอกยี่ดั่งเหล็กเสริม (ข) เสาที่ใช้ปลอกยี่ดั่งเหล็กเสริม

รูปที่ 18 การทดสอบเสาที่ไม่ได้ใช้และใช้ปลอกยี่ดั่งเหล็กเสริม (Ruangrassamee และ Saworoj, 2011)



นอกจากรูปแบบการวิบัติทั้งสองแบบแล้วก็ยังมีกรณีการวิบัติเกิดจากการกำลังรับแรงเฉือนของเสา และจุดต่อไม่เพียงพอ โดยสรุปแล้วการป้องกันการวิบัติแบบเฉือนของเสาทำได้โดยการหลีกเลี่ยงการก่อผนังอิฐไม่เต็มความสูงในบริเวณที่ติดกับเสา และต้องมีการเสริมเหล็กปลอกที่เพียงพอในช่วง H/6 (โดย H คือความสูงของเสา) หรือ 50 เซนติเมตร หรือความกว้างของเสา โดยวัดจากปลายเสา ควรมีการศึกษาแรงเฉือนที่ถ่ายจากผนังอิฐเข้าสู่เสาเพื่อให้คำนวณระดับของแรงเฉือนที่ต้องการและออกแบบเสาให้มีกำลังรับแรงเฉือนที่เพียงพอ

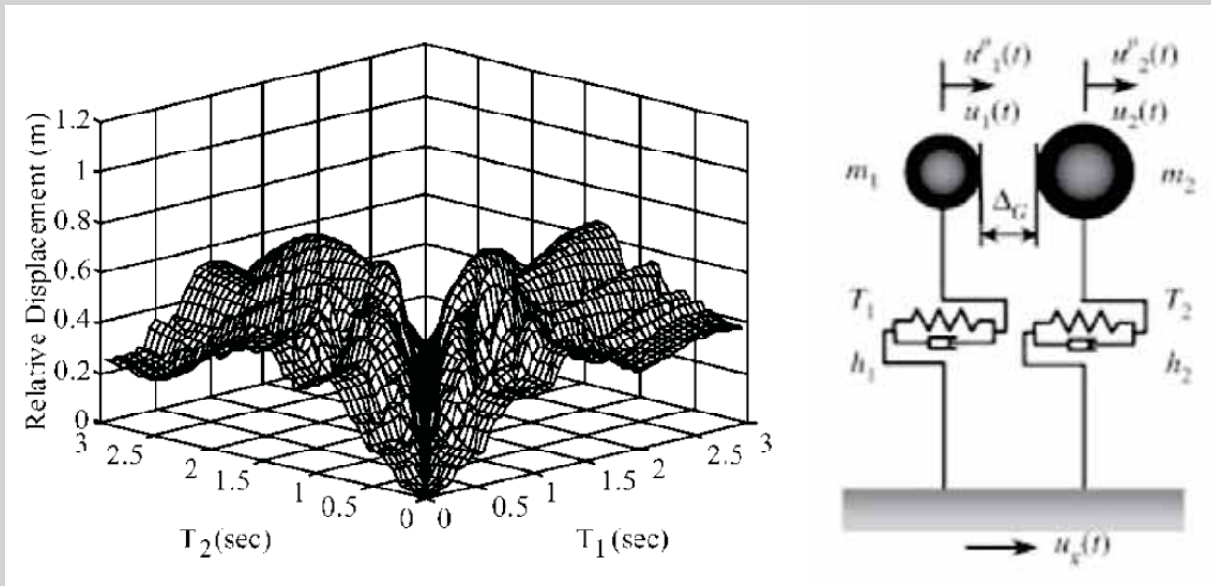
4.4 การแยกตัวและกระแทกกันของโครงสร้าง (separation and pounding)

ได้พบความเสียหายเนื่องจากการกระแทกกันของโครงสร้างในอาคาร 68 ปิณสุรณ โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ อ.เมือง จ.เชียงราย ซึ่งเป็นอาคารสูง 5 ชั้น อาคารนี้ได้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือบริเวณที่เป็นอาคารรับถังน้ำซึ่งอยู่บนเสา 4 ต้นที่มุม และส่วนที่เป็นอาคารผู้ป่วย โดย 2 ส่วนนี้เป็นโครงสร้างที่แยกกันแต่มีรอยต่อที่ยึดติดกันเป็นบางบริเวณ ได้เกิดความเสียหายตรงรอยต่อที่ชั้น 5 ของอาคารดังรูปที่ 19 การแก้ไขทำได้ 2 วิธีคือ 1) ทำการแยกโครงสร้างออกจากกันโดยเด็ดขาดและใช้รอยต่อแบบเคลื่อนที่ได้บริเวณช่องว่างระหว่างอาคารเพื่อไม่ให้เกิดการกระแทกตรงรอยต่อ หรือ 2) ทำการยึดอาคารทั้งสองหลังโดยสมบูรณ์ วิธีการนี้ต้องทำการวิเคราะห์แรงที่ถ่ายระหว่าง 2 อาคารเพื่อทำการออกแบบรอยต่อแบบยึดแน่นให้เหมาะสม

โครงสร้าง 2 ส่วนที่มีคาบการสั่นที่ต่างกันเมื่อเกิดการสั่นไหวจะมีการเคลื่อนที่ต่างเฟสกัน จะมีการแยกตัวและมีการชนกันของโครงสร้างที่บริเวณรอยต่อได้ Ruangrassamee และ Kawashima (2001) ได้ทำการศึกษารูปแบบจำลองโครงสร้างดังรูปที่ 20 ซึ่งมีคาบการสั่นที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาค้นแผ่นดินไหวหนึ่งกระทำกับโครงสร้างจะเห็นได้ว่าถ้าคาบการสั่นมีค่าเท่ากันโครงสร้างจะมีระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์เป็นศูนย์คือจะไม่มีการแยกตัวกันหรือมีการกระแทกกัน แต่ถ้าคาบการสั่นต่างกันจะมีระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างกันมากขึ้น ในการออกแบบอาคารที่อยู่ใกล้กันมากๆ จะสามารถหลีกเลี่ยงการชนกันของโครงสร้างได้โดยการคำนวณระยะเคลื่อนที่สูงสุดของ 2 โครงสร้าง ระยะห่างระหว่างโครงสร้างจะต้องมากกว่าระยะเคลื่อนที่สูงสุดของ 2 โครงสร้างรวมกัน



รูปที่ 19 อาคาร 68 ปิณสุรณ โรงพยาบาลเชียงรายประชานุเคราะห์ อ.เมือง จ.เชียงราย



รูปที่ 20 สเปกตรัมการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่าง 2 โครงสร้างที่มีคาบการสั่น T_1 และ T_2 (จาก Ruangrassamee และ Kawashima, 2001)

4.5 การเกิดลิกวิแฟกชัน

(liquefaction)

การเกิดลิกวิแฟกชัน (liquefaction)

เป็นการเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำ

ในดินและน้ำในดินแทรกตัวขึ้นมามากขึ้นในดินดังรูปที่ 21 ซึ่งเกิดเป็นบริเวณกว้างใน ต.เกาะช้าง และ ต.แม่สาย อ.แม่สาย จ.เชียงราย ซึ่งได้นำไปสู่การวิบัติของถนน (รูปที่ 22) Teachavorasinskun และคณะ (2009) ได้ศึกษาเรื่องการเกิดลิกวิแฟกชันในภาคเหนือของประเทศไทยโดยพบว่า จ.เชียงราย มีดินทราน้ำหนักถึงแน่นปานกลางในผิวดินชั้นบนโดยมีค่า N ของดินประมาณ 5 ถึง 20 จากการทดสอบและวิเคราะห์ทางผู้วิจัยได้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนแรงดันน้ำสูงสุดและค่าความเร่งที่ผิวดินสูงสุด ดังรูปที่ 23 โดยพบว่าแรงดันน้ำสูงสุดมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเร่งสูงสุดที่ผิวดินมีค่า 0.2g หรือมากกว่าซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง

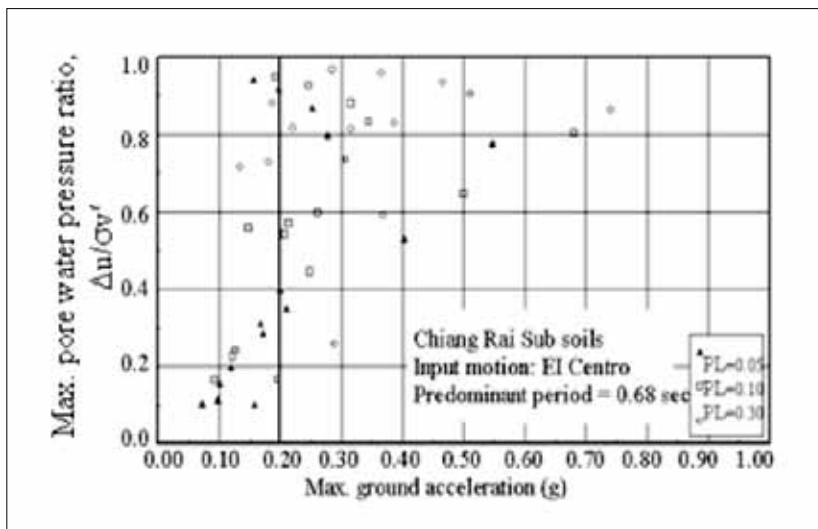
วัดความเร่ง การเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำจะทำให้ความเค้นประสิทธิภาพ (effective stress) มีค่าลดลง ซึ่งอาจส่งผลให้ฐานรากดินสูญเสียเสถียรภาพได้



รูปที่ 21 การเกิดลิกวิแฟกชันที่สนามกีฬาตำบลแม่สาย ต.แม่สาย อ.แม่สาย จ.เชียงราย (ภาพโดย คุณนคร อภิไชย)



รูปที่ 22 การวิบัติของถนน

รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนแรงดันน้ำสูงสุดและค่าความเร่งที่ผิวดินสูงสุด
(จาก Teachavorasinskun และคณะ, 2009)

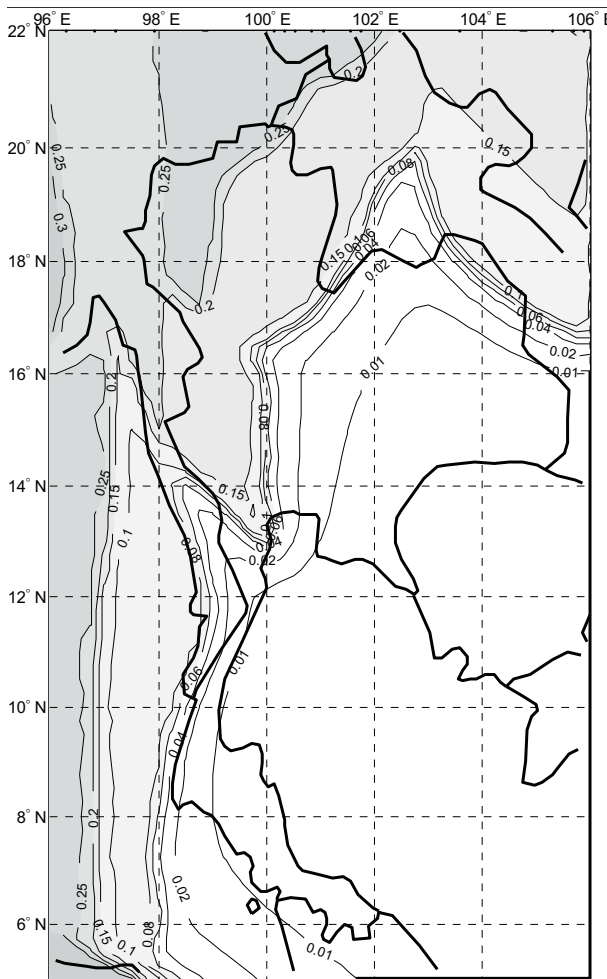
5. การออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

ในปัจจุบันประเทศไทยได้บังคับใช้กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ซึ่งกำหนดให้มีการออกแบบอาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน และอาคารสาธารณะ ให้ต้านทานแผ่นดินไหวได้ ในเขตจังหวัดที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนได้แก่ กาญจนบุรี เชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยาแพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง และลำพูน เขตที่ตั้งอยู่บริเวณที่เป็นดินอ่อนได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ และสมุทรสาคร

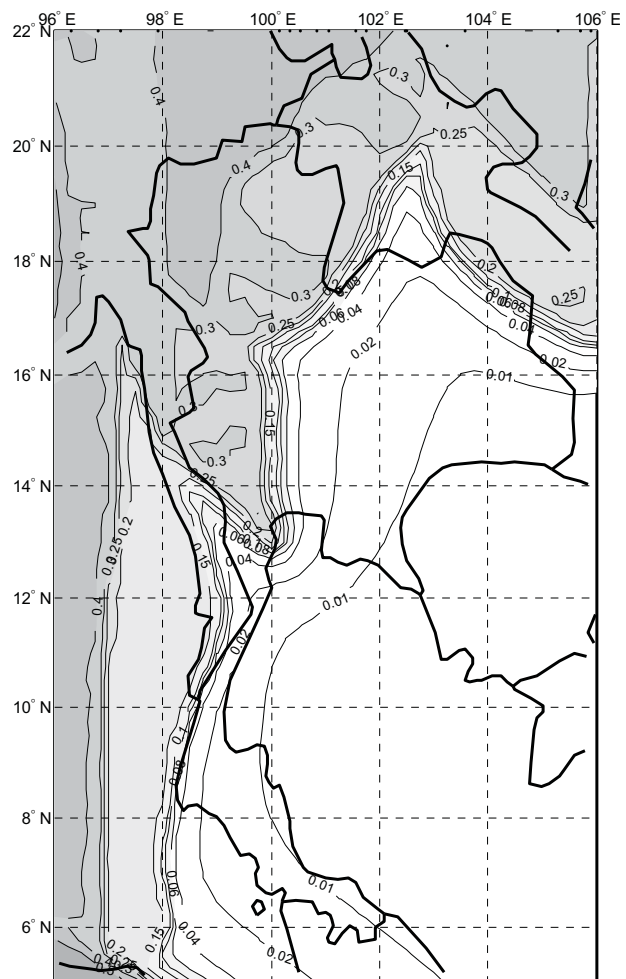
ในการพิจารณาแรงจากแผ่นดินไหว ผู้เขียนได้พัฒนาแผนที่ภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นที่แสดงค่าอัตราเร่งสูงสุดบนชั้นหินที่คาบการเกิด 475 ปี และ 2,475 ปี ดังรูปที่ 24 (Palasri และ Ruangrassamee, 2010) สำหรับคาบการกลับ 475 ปี ค่าความเร่งสูงสุดมีค่า 0.25g ที่ภาคเหนือ และ 0.15g ที่ภาคตะวันตก แผนที่นี้ได้ใช้ประกอบในการร่างมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302) หากเปรียบเทียบสเปกตรัมความเร่งตอบสนองที่วัดได้ที่ อ.แม่สาย กับค่าที่ใช้ในการออกแบบที่ อ.แม่สาย ตามมยผ. 1302 จะแสดงได้ดังรูปที่ 25 จะเห็นได้ว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบยังมีค่าสูงกว่าที่ตรวจวัดได้ ส่วนค่าที่ใช้ออกแบบที่กรุงเทพมหานครมีค่าต่ำกว่าที่วัดได้ที่ อ.แม่สาย ที่คาบการสั่นน้อยกว่า 1 วินาทีโดยประมาณ



ในการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว นอกจากการพิจารณาแรงในโครงสร้างแล้ว การเสริมเหล็กให้มีความเหนียวก็มีความสำคัญเช่นกัน มยผ. 1301 ได้กำหนดรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารตามรูปที่ 26 ซึ่งวิศวกรจะต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดในการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

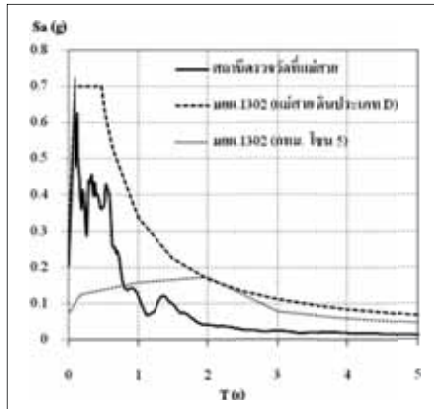


(ก) คาบการกลับ 475 ปี

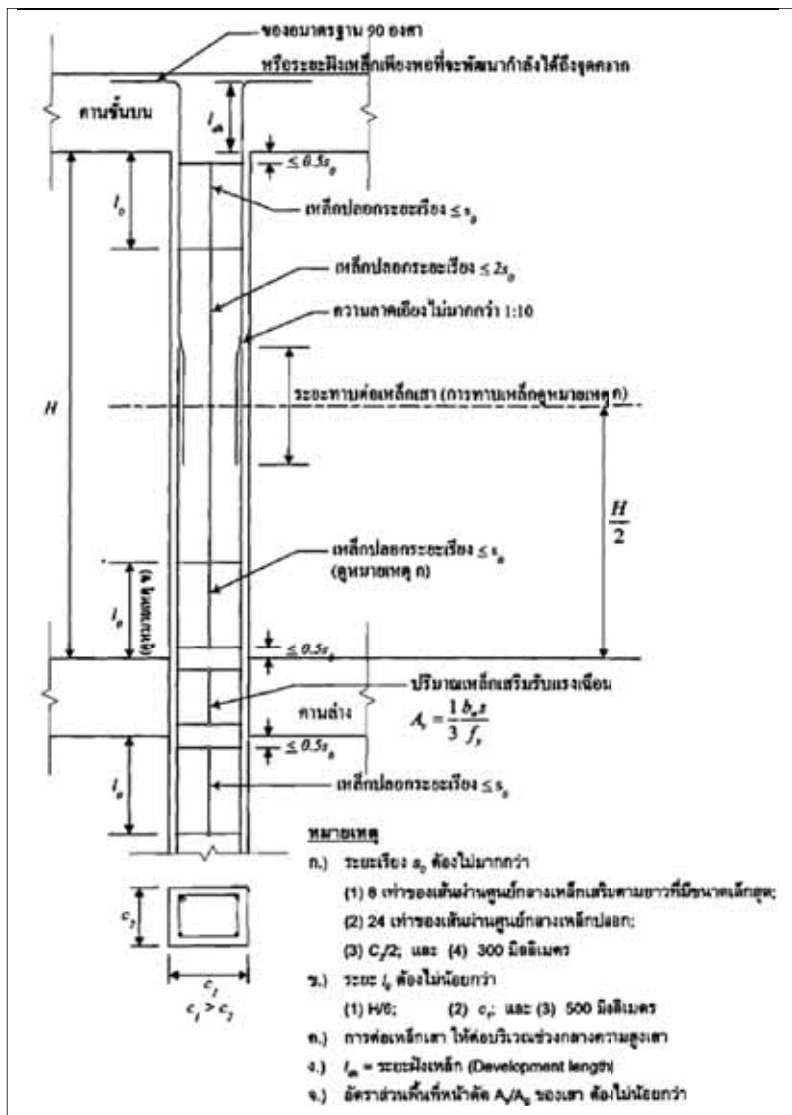


(ข) คาบการกลับ 2,475 ปี

รูปที่ 24 แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเชิงความน่าจะเป็นที่แสดงค่าความเร่งสูงสุดบนชั้นหินในหน่วย g (Palasri และ Ruangrassamee, 2010)



รูปที่ 25 การเปรียบเทียบสเปกตรัม
ความเร่งตอบสนองที่วัดได้ที่
อ.แม่สาย กับค่าที่ใช้ในการ
ออกแบบ



รูปที่ 26 การเสริมเหล็กในเสา (มยผ. 1301)

6. บทสรุป

แผ่นดินไหวนี้ทำให้เกิดความเสียหายในหลากหลายรูปแบบ จากผลการสำรวจและวิเคราะห์ทำให้ได้เรียนรู้จากเหตุการณ์ครั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวในอนาคต โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการสำรวจพบว่าเกิดการวิบัติแบบเฉือนในบางอาคารที่เป็นเสาสั้น และมีกำแพงอิฐ จะต้องมีการประเมินและวิเคราะห์อย่างละเอียดเพื่อหาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนที่เพียงพอในเสาที่มีกำแพงอิฐ

2. ในอาคารที่อยู่ติดกันจะต้องป้องกันการกระแทกกันของอาคารโดยคำนวณระยะเคลื่อนตัวสูงสุดของโครงสร้างที่ระดับหลังคา

3. ควรมีการศึกษาการป้องกันความเสียหายต่อโบราณสถานโดยใช้เทคโนโลยีที่ไม่ทำให้เสียความสวยงามของโครงสร้างไป

4. เหตุการณ์นี้เป็นครั้งแรกที่ได้พบการเกิดลิกนิตแฟกซ์ การเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำจะทำความเค้นประสิทธิผลมีค่าลดลง ซึ่งอาจส่งผลให้ฐานรากต้นอาจสูญเสียเสถียรภาพได้ จะต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดต่อไป

5. ระดับความเร่งที่ผิวดินวัดได้ 0.2 g เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมกับมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวพบว่ายังต่ำกว่าค่าที่กำหนด และได้พบการขยายตัวของความเร่งที่ผิวดินในกรุงเทพมหานครดังปรากฏจากการผลตรวจวัด



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานที่ได้สนับสนุนการสำรวจความเสียหายที่ จ.เชียงรายดังมีรายนามต่อไปนี้
 สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จ. เชียงราย
 คุณนรินทร์ กวางทอง สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จ. เชียงราย
 นายอำเภอแม่สาย
 ที่ว่าการอำเภอแม่สาย
 ที่ว่าการอำเภอเชียงแสน
 เทศบาลเมืองเชียงราย
 เทศบาลอำเภอแม่สาย
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 กรมอุตุนิยมวิทยา
 กรมทรัพยากรธรณี
 กรมโยธาธิการและผังเมือง
 กรมทางหลวงชนบท
 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
 Asian Disaster Preparedness Center
 Regional Integrated Multi-hazard Early Warning System
 ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมโยธาธิการและผังเมือง (2550) มยผ. 1301 มาตรฐานประกอบกรอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง (2552) มยผ. 1302 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว.
- กวิน สายประเสริฐ และอาณัติ เรืองรัมย์ (2551) “การวิเคราะห์ผลตอบสนองของแผ่นดินไหวของเจดีย์ที่เสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว,” โครงการทางวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตติ ปาลศรี และ อาณัติ เรืองรัมย์ (2552) “ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือน ค่าการตอกทดลองมาตรฐาน และกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินในกรุงเทพมหานครและบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย,” การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14.
- ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, ชัตรพันธ์ จินตนาภักดี, อาณัติ เรืองรัมย์, จิตติ ปาลศรี, มานพ เจริญยุทธ และวัช อนันต์ธนวงษ์ (2551) “ความเสียหายของอาคารจากแผ่นดินไหวและข้อพิจารณาสำหรับการออกแบบอาคารในกรุงเทพมหานคร,” การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13.
- Chintanapakdee, C., Naguit, M.E. and Charoenyuth, M. (2008) Suitable attenuation model for Thailand, Proceedings, the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.



Crisafulli, F.J. and Carr, A.J. (2007) Proposed Macro-Model for the Analysis of Infilled Frame Structures, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 40(2).

Idriss, I.M. (1993) Procedures for Selecting Earthquake Ground Motions at Rock Sites, Report No. NIST GCR 93-625, Report to National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, California.

Palasri, C. and Ruangrassamee, A. (2010) Probabilistic seismic hazard maps of Thailand, Journal of Earthquake and Tsunami, 4(4), 369-386.

Ruangrassamee, A. and Kawashima, K. (2001) Relative displacement response spectra with pounding effect, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30: 1511-1538.

Ruangrassamee, A. and Saworoj, A. (2011) Seismic Enhancement of Reinforced-Concrete Columns by Rebar-Restraining Collars, Journal of Earthquake and Tsunami (under review).

Sadigh, K., Chang, C.-Y., Egan, J.A., Makdisi, F. and Youngs, R.R. (1997) Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, Seismological Research Letters, 68(1), 180-189.

Seng, S., Boonyatee, T. and Tanaka, H. (2009) A comparison study of maswm, downhole and boring method for Vs profile determination, The 1st Asean Civil Engineering Conference, Pattaya, Thailand.

Teachavorasinskun, S., Pattararattanakul, P. and Pongvithayapranu, P. (2009) Liquefaction Susceptibility in the Northern Provinces of Thailand, American Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(1):194-201.

