

บทนำ

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งยิ่งใหญ่ในมณฑลเสฉวน ของประเทศจีน เมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 เมื่อเวลา 14.28 น. จนทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนจากศูนย์กลาง ณ ที่ตั้งเมือง เวินชว่น ซึ่งอยู่ห่างจากเมืองเฉิงตูราว 90 ไมล์ (ประมาณ 144 กิโลเมตร) ลึกจากผิวดิน 19 กิโลเมตร วัดขนาดได้ถึง 8.0 ริกเตอร์ นั้น หากเทียบเท่าความร้ายแรงจากแผ่นดินไหวครั้งนี้ ก็ยิ่งกว่าการถล่ม ด้วยระเบิดปรมาณู 500 ลูก มีรายงานว่า มีผู้คนเสียชีวิตโดยประมาณ 69,000 ราย และบาดเจ็บ มากกว่า 370,000 ราย สิ่งปลูกสร้างนับล้านถูกทำลายอันประกอบด้วย โรงเรียนและโรงพยาบาล หลายแห่ง อาคารพาณิชย์ อุตสาหกรรม และที่พักอาศัย โดยทั้งหมดประมาณความสูญเสียเป็น มูลค่ามากกว่า 146 พันล้านเหรียญสหรัฐ และบ้านเรือนเสียหายรวมแล้วกว่า 4.7 ล้านหลังคาเรือน เหตุแผ่นดินไหวครั้งนั้น ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในพื้นที่ และได้ สร้างบทเรียนเพื่อการจัดการภัยแผ่นดินไหวนี้ต่อหน่วยงานในหลายๆระดับ ทั้งผู้ปกครองชุมชน ผู้ประกอบการธุรกิจ และประชาชน ไม่เพียงแต่เฉพาะในกลุ่มคนประเทศจีน แต่รวมถึงชุมชน ของโลก ในเหตุแผ่นดินไหวที่เสฉวน ครั้งนั้น เฉพาะในส่วนอาคารโรงเรียน ซึ่งเป็นกลุ่มอาคาร ที่มีความหนาแน่นของจำนวนประชากรมาก โดยเฉพาะเด็กเล็กที่มีความสามารถในการป้องกันตน จากเหตุการณ์อาคารถล่มได้ต่ำ ทำให้ในเหตุการณ์นั้นพบผู้เสียชีวิตที่คาดว่ามากกว่า 10,000 คนและ ห้องเรียนไม่น้อยกว่า 7,000 ห้องเสียหาย อาคารในกลุ่มที่เสียหายหลายๆอาคารเป็นอาคารสร้างใหม่ แต่ก่อสร้างด้วยอิฐที่ไม่เสริมเหล็กหรือไม่ก็เป็นโครงสร้างแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กคอนกรีตเสริม เหล็กที่ไม่มีความเหนียวพอ รวมทั้งอาคารที่สร้างจากคานพื้นสำเร็จรูปที่วางพาดบนผนังอิฐไม่เสริม เหล็ก โดยทั้งหมดนั้น เป็นระบบโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวใน ระดับต่ำมาก

สำหรับเมืองเชียงใหม่ถือเป็นเมืองศูนย์กลางในเขตภูมิภาคตอนเหนือของประเทสนั้นข้อมูลดังตาราง 1.1 จากสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาจังหวัดเชียงใหม่เขต 1 ปี 2552 (<http://www.chiangmaiarea1.go.th> เข้าถึงวันที่ 10 มิถุนายน 2552) เฉพาะในเขตอำเภอเมือง แสดงให้เห็น ว่ามีอาคารเรียนจำนวนมากอยู่ในพื้นที่ 106 แห่ง มีจำนวนนักเรียนมากกว่า 19,472 คน ครูมากกว่า 861 คน และมีห้องเรียนจำนวนมากกว่า 618 ห้อง (ไม่รวมถึงบางโรงเรียนไม่มีข้อมูล) ทั้งหมดนี้ประกอบไปด้วยโรงเรียนในระดับอนุบาลถึงมัธยม (ไม่รวมอาชีวศึกษา และอุดมศึกษา) ซึ่งถือว่ามีจำนวนมาก

พร้อมกับมีผลงานวิจัยที่บ่งบอกได้ว่า พื้นที่ทางตอนเหนือของประเทส รวมทั้งจังหวัดเชียงใหม่มีโอกาสที่จะเผชิญต่อภัยแผ่นดินไหวในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ในอนาคตได้ จากสถิติการเกิดแผ่นดินไหวจะเห็นได้ว่า ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันแผ่นดินไหวในประเทศไทยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยเกิดขึ้นนั้นมีขนาด 6.5 ริคเตอร์ ในวันที่ 13 พฤษภาคม 2478 มีศูนย์กลางที่จังหวัดน่าน ใกล้กับรอยเลื่อนปัว แต่ไม่มีรายงานความเสียหายเกิดขึ้นเนื่องจากมีศูนย์กลางการเกิดอยู่ในบริเวณป่าเขา และจากการตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยเครื่องตรวจสอบ พบว่ามีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา มีแรงสั่นสะเทือน 2-3 ริคเตอร์เป็นระดับที่ผู้คนไม่สามารถรับรู้ได้ อย่างไรก็ตามแผ่นดินไหวขนาดเล็กเหล่านี้ถือเป็นสัญญาณที่คอยเตือนตลอดว่า พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีความเสี่ยงและเพียงแต่รอคอยถึงวันที่จะสะสมพลังงานและปลดปล่อยให้เกิดการสั่นที่รุนแรงกว่าในอนาคตดังเช่นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2549 ขนาด 5.1 ริคเตอร์ และวันที่ 19 มิถุนายน 2550 ขนาด 4.5 ริคเตอร์ที่เคยทำให้คนเชียงใหม่ตื่นตระหนกมาแล้วรวมถึงเหตุการณ์แผ่นดินไหวจากประเทศใกล้เคียงในประเทศพม่า ดิคชายนแดนด้าน อ.แม่สายเป็นระยะทาง 111 กิโลเมตร มีขนาด 7 ริคเตอร์ ในวันที่ 24 มีนาคม 2554

จากจำนวนนักเรียนที่มากที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จำกัดในโรงเรียนทำให้มีความหนาแน่นมากในพื้นที่บริเวณนั้น ผนวกกับปัจจัยเรื่องของโอกาสที่เชียงใหม่จะเผชิญกับแรงแผ่นดินไหวในระดับปานกลางถึงระดับรุนแรงและอาคาร โรงเรียนที่ส่วนใหญ่ที่ก่อสร้างก่อนที่จะมีกฎกระทรวงฉบับที่ 49 บังคับให้อาคารที่ก่อสร้างต้องออกแบบและก่อสร้างให้สามารถรับแรงแผ่นดินไหวได้ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพื่อประเมินความแข็งแรงของอาคาร โรงเรียนในการต้านทานแรงของแผ่นดินไหว รวมทั้งหาวิธีการเสริมกำลังอาคาร

ตาราง 1.1 ข้อมูลพื้นฐานโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเชียงใหม่ เขต 1 ปีการศึกษา 2552 (ข้อมูล ณ วันที่ 10 มิถุนายน 2552)

ที่	ชื่อโรงเรียน	เปิดสอนชั้น	หมู่	ชื่อหมู่บ้าน	ตำบล	อำเภอ	รหัสไปรษณีย์	นักเรียน	ห้องเรียน	ครู	หมายเหตุ
	อำเภอเมืองเชียงใหม่										
1	ท่าศาลา	อ.1 - ป.6	2	ศรีบัวเงิน	ท่าศาลา	เมืองเชียงใหม่	50000	108	8	6	
2	วัดคอนจั่น	ป.1 - ม.3	4	คอนจั่นพัฒนา	ท่าศาลา	เมืองเชียงใหม่	50000	591	15	14	โรงเรียนขยายโอกาส
3	วัดหนองป่าครั่ง	อ.1 - ป.6	2	หนองป่าครั่ง	หนองป่าครั่ง	เมืองเชียงใหม่	50000	76	8	5	
4	ชุมชนบ้านบวกรคน้อย	อ.1 - ม.3	2	บวกรคน้อย	หนองป่าครั่ง	เมืองเชียงใหม่	50000	368	12	16	โรงเรียนขยายโอกาส
5	วัดเสาหิน	อ.1 - ป.6	3	เสาหิน	หนองหอย	เมืองเชียงใหม่	50000	119	8	8	
6	วัดเมืองสาตร	อ.1 - ป.6	5	เมืองสาตร	หนองหอย	เมืองเชียงใหม่	50000	110	8	7	
7	เชิงคอยสุเทพ	อ.1 - ป.6	1	บ้านเชิงคอยสุเทพ	สุเทพ	เมืองเชียงใหม่	50200	185	8	8	
8	วัดสวนดอก	อ.1 - ป.6		บ้านสวนดอก	สุเทพ	เมืองเชียงใหม่	50200	308	11	16	
9	บ้านโป่งน้อย	อ.1 - ม.3	13	สันลมจอย	สุเทพ	เมืองเชียงใหม่	50200	333	13	16	โรงเรียนขยายโอกาส
10	บ้านห้วยทราย	อ.1 - ป.6	4	ห้วยทราย	สุเทพ	เมืองเชียงใหม่	50200	91	8	5	
11	เจ้าพ่อหลวงอุปถัมภ์ 1	อ.1 - ป.6	11	คอยบุญ	สุเทพ	เมืองเชียงใหม่	50200	119	8	8	
12	สังวาลย์วิทยา	อ.1 - ม.3	9	คอยสุเทพ	สุเทพ	เมืองเชียงใหม่	50200	128	11	11	โรงเรียนขยายโอกาส

ตาราง 1.1 ข้อมูลพื้นฐานโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเชียงใหม่ เขต 1 ปีการศึกษา 2552 (ข้อมูล ณ วันที่ 10 มิถุนายน 2552)(ต่อ)

ที่	ชื่อโรงเรียน	เปิดสอนชั้น	หมู่	ชื่อหมู่บ้าน	ตำบล	อำเภอ	รหัสไปรษณีย์	นักเรียน	ห้องเรียน	ครู	หมายเหตุ
	อำเภอเมืองเชียงใหม่										
13	ศรีเนห์รู	อ.1 - ป.6	4	ขุนช่างเคี่ยน	ช่างเคี่ยน	เมืองเชียงใหม่	50300	156	8	8	
14	วัดช่างเคี่ยน	อ.1 - ม.3	1	ช่างเคี่ยน	ช่างเคี่ยน	เมืองเชียงใหม่	50300	452	19	19	โรงเรียนขยายโอกาส
15	วัดเจ็ดยอด	อ.1 - ป.6	2	เจ็ดยอด	ช่างเคี่ยน	เมืองเชียงใหม่	50300	191	8	7	
17	วัดป่าตัน	อ.1 - ป.6	4	ป่าตัน	ป่าตัน	เมืองเชียงใหม่	50300	167	8	10	
18	บ้านท่าเมืองลิ้ง	อ.1 - ป.6		บ้านท่า	ป่าตัน	เมืองเชียงใหม่	50300	200	8	9	
19	วัดป่าข่อยใต้	อ.1 - ป.6	2	ป่าข่อยใต้	สันผีเสื้อ	เมืองเชียงใหม่	50300	119	8	5	
20	วัดร้องอ้อ	อ.1 - ป.6	3	ร้องอ้อ	สันผีเสื้อ	เมืองเชียงใหม่	50300	157	8	7	
21	ชุมชนวัดท่าเคื่อ	อ.1 - ม.3	6	ท่าเคื่อ	สันผีเสื้อ	เมืองเชียงใหม่	50300	167	13	10	โรงเรียนขยายโอกาส
22	วัดชะจาว	อ.1 - ป.6	2	ฟ้าฮ่าม	ฟ้าฮ่าม	เมืองเชียงใหม่	50000	204	8	10	
23	บ้านท่าหลุกสันทราย	อ.1 - ป.6	8	สันทราย	สันผีเสื้อ	เมืองเชียงใหม่	50300	196	8	7	
24	วัดป่าแดด	อ.1 - ป.6	13	ป่าแดดกลาง	ป่าแดด	เมืองเชียงใหม่	50100	198	8	10	
25	วัดวังสิงห์คำ	อ.1 - ม.3	6	วังสิงห์คำ	ป่าแดด	เมืองเชียงใหม่	50100	139	11	11	โรงเรียนขยายโอกาส

ตาราง 1.1 ข้อมูลพื้นฐานโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเชียงใหม่ เขต 1 ปีการศึกษา 2552 (ข้อมูล ณ วันที่ 10 มิถุนายน 2552)(ต่อ)

ที่	ชื่อโรงเรียน	เปิดสอนชั้น	หมู่	ชื่อหมู่บ้าน	ตำบล	อำเภอ	รหัสไปรษณีย์	นักเรียน	ห้องเรียน	ครู	หมายเหตุ
	อำเภอเมืองเชียงใหม่										
26	บ้านแม่เหิยะสามัคคี	อ.1 - ป.6	2	อุโบสถ	แม่เหิยะ	เมืองเชียงใหม่	50100	112	8	6	
27	บ้านดอนปิน	ป.1 - ม.3	5	ดอนปิน	แม่เหิยะ	เมืองเชียงใหม่	50100	212	9	12	โรงเรียนขยายโอกาส
28	สิริมงคลจารย์	อ.1 - ป.6	1	คำหนัก	แม่เหิยะ	เมืองเชียงใหม่	50100	153	8	7	
29	อนุบาลเชียงใหม่	อ.1 - ป.6			พระสิงห์	เมืองเชียงใหม่	50200	2,312	64	91	
31	พุทธิโสภณ	ป.1 - ป.6			พระสิงห์	เมืองเชียงใหม่	50200	1,086	30	48	
31	คำเที่ยงอนุสรณ์	ป.1 - ป.6			ช้างม่อย	เมืองเชียงใหม่	50300	583	19	37	
32	ยุพราชวิทยาลัย	ม.1 - ม.6	-		ศรีภูมิ	เมืองเชียงใหม่	50200	3,757	81	146	
33	วัดโนทัยพำพ	ม.1 - ม.6	-		หายยา	เมืองเชียงใหม่	50100	2,621	60	98	
34	หอพระ	ม.1 - ม.6	-		ศรีภูมิ	เมืองเชียงใหม่	50200	1,612	45	73	
35	กาวิละวิทยาลัย	ม.1 - ม.6	3	ดอนจั่น	ท่าศาลา	เมืองเชียงใหม่	50000	1,947	53	103	
	รวมอำเภอเมืองเชียงใหม่							19,472	618	861	

1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐวุฒิ (2546) ได้วิเคราะห์ความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คานด้วยวิธี Nonlinear Static Pushover และทำการประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารดังกล่าว จากการวิเคราะห์โดยวิธีดังกล่าวแสดงผลในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานของอาคาร (Base Shear) กับการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคาร (Roof Displacement) หรือเรียกว่า Capacity Curve ในการศึกษาที่ใช้โปรแกรมโดย SAP2000 จากนั้นนำ Capacity Curve ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับ Demand Curve เพื่อประเมินความสามารถด้านทานของอาคารตามวิธีการที่เรียกว่า Capacity Spectrum

ในการศึกษานี้ได้ใช้ตัวอย่างอาคาร 2 ตัวอย่าง อาคารตัวอย่างที่ 1 เป็นอาคารพักอาศัย 9 ชั้น สูง 23.4 เมตร และอาคารตัวอย่างที่ 2 เป็นอาคารสำนักงาน 30 ชั้น สูง 95.25 เมตร แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ได้ พิจารณาผลของ กำแพงอิฐก่อ ฐานราก และแปรงฉนวนอัตราส่วนความเหนียวของอาคารที่พิจารณาเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่พิจารณาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นบริเวณกรุงเทพฯ โดยทำการแปลงขนาดของการสั่นไหวที่คาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี 500 ปี 1,000 ปี และ 2,500 ปี รวมทั้งเสนอวิธีการปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น

ความสามารถด้านทานแผ่นดินไหวของอาคารกรณีอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สรุปได้ดังนี้ สำหรับคลื่น El Centro ที่มีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี โครงสร้างจะไม่เกิดความเสียหายเลย หากคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี โครงสร้างจะเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อพร้อมทั้งเกิดการครากของพื้น-คานเกือบทุกชั้น เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะเกิดการวิบัติเป็นจำนวนมากร่วมกับการครากของพื้น-คานและเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี จะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อทั้งหมด ร่วมกับการครากของจุดต่อพื้นเสาภายใน สำหรับการวิเคราะห์กรณีคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพฯ กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวเกือบทุกชั้น เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อจะเพิ่มขึ้นร่วมกับการครากของพื้นคาน เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อทุกชั้นจะวิบัติร่วมกับการครากของจุดต่อพื้นเสาภายใน และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี จะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อร่วมกับการครากของพื้นคาน และเกิดการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในด้วย แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปอาคารดังกล่าวมีความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่ดี

วัชร (2549) ได้ทำการประเมินความเสียหายของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กจากแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นได้บริเวณกรุงเทพมหานคร โดยวิธีการวิเคราะห์ด้วยแบบต่าง ๆ ตามวิธีที่กำหนดใน FEMA-273 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการศึกษาเป็นอาคารสมมุติที่มีความสูง 9 ชั้นที่มีได้

ออกแบบไว้เพื่อรับแรงแผ่นดินไหว วิธีการวิเคราะห์ได้แก่ (1) วิเคราะห์แบบสถิตเชิงเส้นจะอาศัยการใช้แรงสถิตเทียบเท่า (2) การวิเคราะห์แบบสถิตไม่เชิงเส้น Pushover Analysis (3) การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์เชิงเส้นจะใช้วิธี Response Spectrum Analysis และ (4) วิเคราะห์แบบพลศาสตร์ไม่เชิงเส้นจะใช้วิธีแบบ Time History Analysis จากการวิจัยพบว่าในภาพรวมแล้วความเสียหายในบริเวณชั้นกลาง ๆ ผลการประเมินความเสียหายของเสาในแต่ละวิธีค่อนข้างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ และวิธีพลศาสตร์เชิงเส้น เป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพเมื่อคำนึงถึงความยากง่ายในการใช้และความถูกต้อง เมื่อเทียบกับวิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น

นรเทพ (2547) ได้ทำการประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่ก่อสร้างแล้วในเขตกรุงเทพมหานครโดยวิธี Capacity-Demand-Diagram Method ตามข้อแนะนำของ ATC-40 โดยการจำลองไฟในคัลลิเมนต์และวิเคราะห์ด้วยวิธี Nonlinear Static Pushover โดยโปรแกรม SAP2000 โดยประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และข้อมูลการสั่นไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก 1 กรณีคาบการเกิดซ้ำ 100, 500, 1,000 และ 2,500 ปี ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4

ผลการวิจัยพบว่าอาคารตัวอย่างที่มีความสูง 9 ชั้น และ 20 ชั้น มีสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 14.53 % และ 14.57 % และการเคลื่อนที่ทางด้านข้างประมาณ 2.30 % และ 1.80 % ของความสูงตามลำดับ Rigid Beam-Column Joint เป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับอาคาร กำแพงอิฐก่อเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถด้านทานแรงกระทำด้านข้างในช่วงแรก โดยจะเพิ่มค่าความแข็งแรง (Stiffness) ให้กับโครงสร้างก่อนการวิบัติของอิฐก่อ แต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลังสูงสุดให้กับอาคาร ส่วนเสาเข็มจะไม่ส่งผลต่อความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารมากนักเนื่องจากเสาเข็มโครงสร้างมีความเป็นเสถียรภาพ นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่าทำให้รายละเอียดบริเวณจุดต่อเสา-คานไม่ดีพอ เช่น การไม่เสริมเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่าน้อยไป และความไม่ต่อเนื่องของเหล็กเสริมล่างโดยระยะฝั่งบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่าน้อยไป (15 ซม.) ทำให้ความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารโดยรวมลดลง สำหรับอาคารตัวอย่างที่มีความสูง 9 ชั้น และ 20 ชั้น การไม่เสริมเหล็กปลอกในจุดต่อทำให้ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างอาคารลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือ 74.90 % และ 32 % ตามลำดับ ส่วนกำลังด้านทานแรงด้านข้างสูงสุดของอาคารลดลงเพียง 13.80 % และ 0 % ตามลำดับ เมื่อระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่าน้อยไป ทำให้การเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคารลดลง 18.60 % และ 0 % ตามลำดับ และเมื่อระยะฝั่งของเหล็กล่างบริเวณจุดต่อมีค่า 15 ซม. ทำให้กำลังด้านทานแรงด้านข้างสูงสุดของอาคารลดลง 15.40 % และ 8.90 % ตามลำดับ ดังนั้นการ

ไม่เสริมเหล็กปลอกในจุดต่อมีผลต่อความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารมากที่สุด โดยทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติแบบเปราะที่จุดต่อเสา-คานเนื่องจากโครงสร้างมีความเหนียวและค่าการเสียรูปลดลง

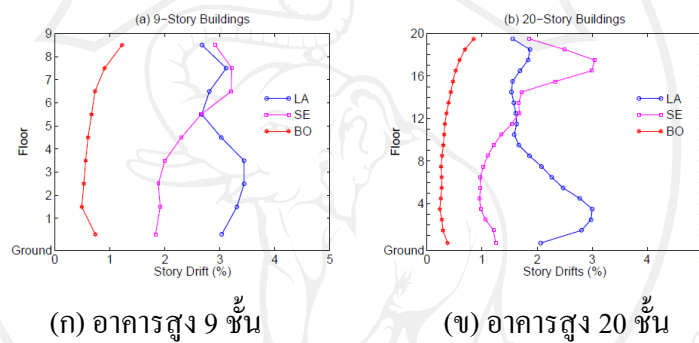
การประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างที่มีความสูง 9 ชั้นและ 20 ชั้น ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ที่คาบการเกิดซ้ำ 500 ปี พบว่าสำหรับอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้น โครงสร้างหลักจะเกิดความเสียหายขององค์อาคารบางส่วน ส่วนอาคารตัวอย่าง 20 ชั้น พฤติกรรมยังคงอยู่ในช่วงอีลาสติกโดยโครงสร้างหลักไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้นอาคารตัวอย่างสูง 20 ชั้น มีความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่ดีและปลอดภัย ส่วนอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้น มีความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่ใช้ได้และปลอดภัย ยกเว้นกรณีที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอกภายในจุดต่อเสา-คานอาคารจะเกิดการวิบัติที่จุดต่อเสา-คาน

การปรับปรุงอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้นให้มีความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น โดยใช้กำแพงรับแรงเฉือน การขยายหน้าตัดเสา และการเพิ่มความสามารถในการเสียรูปขององค์อาคาร ทำให้ค่าความสามารถด้านทานแรงด้านข้างสูงสุดของอาคารเพิ่มขึ้น 26.10 % 4.40 % และ 8.40 % ตามลำดับ ส่วนอาคารตัวอย่างสูง 20 ชั้น การเพิ่มความสามารถในการเสียรูปขององค์อาคาร ทำให้ค่าความสามารถด้านทานแรงด้านข้างสูงสุดของอาคารเพิ่มขึ้น 8.50 %

การประเมินความแข็งแรงอาคารในการด้านทานแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตไร้เชิงเส้น (Nonlinear Static Procedure, NSP) ตามที่ได้กล่าวข้างต้นถือเป็นวิธีมาตรฐานทั่วไปที่กำหนดในข้อแนะนำ FEMA-273(1997) อย่างไรก็ตามแรงผลกระทบทางข้างโดยวิธีดังกล่าวจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในรูปแบบแรงกระทำที่คงรูปเดิมตลอดรูปแบบเดียวซึ่งพิจารณาผลการตอบสนองอาคารในรูปแบบการสั่นโหมดแรกเท่านั้นรวมทั้งไม่ได้พิจารณาผลของการกระจายซ้ำ (Redistribution) ของหน่วยแรงที่เกิดภายหลังจากที่ชิ้นส่วนเกิดการคราก ดังนั้น จึงมีงานวิจัยที่พยายามแก้ไขและนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ใหม่ให้มีความถูกต้องมากขึ้นได้แก่

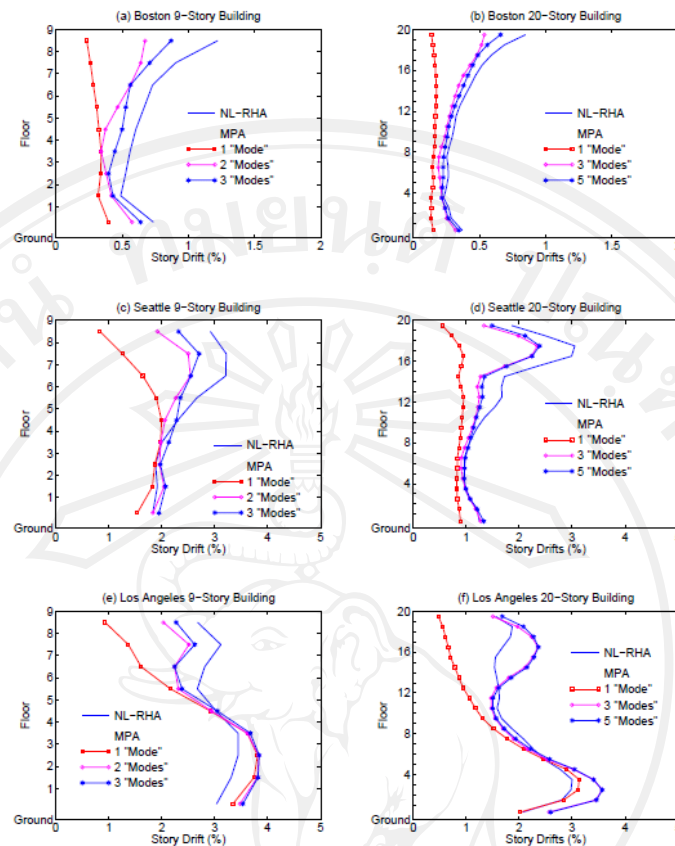
Chopra and Goel (2002) ได้ทำการศึกษาความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pushover ในการประเมินความสามารถรับแรงแผ่นดินไหวของอาคารเฟรมเหล็กด้านทานโมเมนต์ดัด 6 อาคาร ที่ออกแบบตามข้อกำหนดของแต่ละพื้นที่(Local code)ที่แตกต่างกัน 3 เมือง ๆ ละ 2 อาคาร คืออาคาร 9 ชั้น และอาคาร 20 ชั้นของเมือง Los Angeles เมือง Seattle และเมือง Boston โดยไม่คิณน้ำหนักตัวเอง และผลกระทบจาก P-delta พิจารณาการตอบสนองในรูปแบบของโหมดที่สูงขึ้นร่วมด้วย (Model Pushover analysis, MPA) โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ไร้เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response History Analysis)

การวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นด้วยวิธีไร้เชิงเส้นแบบประวัติเวลา (Nonlinear Response History Analysis, NL-RHA) จากแผ่นดินไหว 20 เหตุการณ์ค่าเฉลี่ยของลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นตามความสูงของอาคาร ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง ผลจากการวิเคราะห์อาคารเมือง Boston(BO) การเคลื่อนที่ระหว่างชั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นในชั้นที่สูงขึ้น โดยเฉพาะกรณีของอาคารสูง 20 ชั้น เนื่องจากการตอบสนองของโหนดที่สูงขึ้น อาคารเมือง Seattle(SE) การเคลื่อนที่ระหว่างชั้นมีค่าคงที่ในช่วงครึ่งชั้นล่าง และเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงครึ่งชั้นบน สำหรับอาคารของเมือง Los Angeles(LA) การเคลื่อนที่ระหว่างชั้นมีค่าคงที่ในช่วงครึ่งชั้นบน และมีการเคลื่อนที่มากขึ้นตั้งแต่ชั้นที่ 6 ลงมาสำหรับอาคารสูง 20 ดังแสดงในรูป 1.1



รูป 1.1 ค่าเฉลี่ยลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างชั้นจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี NL-RHA

จากการวิเคราะห์โดยวิธี MPA ทั้ง 6 กรณีมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วย NL-RHA แบ่งเป็น สำหรับอาคาร 9 ชั้นได้นำลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างชั้น 3 โหมดแรกคือ โหมดที่ 1 2 และ 3 มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วย NL-RHA สำหรับอาคาร 20 ชั้นได้นำลักษณะการเคลื่อนที่ระหว่างชั้น 3 โหมดคือ การพิจารณา 1 โหมด 3 โหมด และ 5 โหมด มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วย NL-RHA ดังแสดงในรูป 1.2



รูป 1.2 การเสีรูปทางด้านข้างวิเคราะห์ โดย MPA และ NL-RHA โดยไม่กิดน้ำหนักตัวเอง

จากรูป 1.2 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ที่พิจารณาเพียงแค่โหมดแรกนั้นยังไม่เพียงพอในการประมาณค่าการเสีรูปทางด้านข้าง ดังนั้นเมื่อเพิ่มโหมด สอง และ สาม ในส่วนของอาคาร 9 ชั้น และ พิจารณา 1 โหมด 3 โหมด และ 5 โหมด ในส่วนของอาคาร 20 ชั้น จะทำให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อจำนวนของโหมดนั้นเพียงพอ และความแม่นยำในการประเมินการเสีรูปด้านข้างของวิธี MPA นั้นมีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับวิธี NL-RHA

Kalkan and Kunnath (2006) จึงได้ศึกษาทำการเปรียบเทียบวิธี NSPs ที่แตกต่างกันดังนี้ 1. FEMA-356 2. Modified Modal Pushover Analysis (MMPA) 3. Upper-Bound Pushover Analysis (UBPA) 4. Adaptive Modal Combination Procedure (AMC) ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. วิธี FEMA-356 ไม่เพียงพอที่จะระบุค่า Peak Inter-Story Drift และ Peak Member Plastic Rotations ในกรณีที่โหมดที่สูงขึ้นมีผลต่อการตอบสนองมาก
2. วิธี UBPA ทำการประมาณให้ค่าความถูกต้องต่ำมาก โดยให้ค่าประมาณที่ต่ำกว่าในการประมาณค่า Story Drift และ ค่า Member Rotation ในช่วงชั้นที่ต่ำ และ ให้ค่าประมาณที่มากกว่าในชั้นที่สูง

3. เมื่อเปรียบเทียบวิธี MMPA กับวิธี FEMA และวิธี UBPA นั้นวิธี MMPA ได้ค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับ Nonlinear Time History (NTH) มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ถ้าไม่คิดผลช่วง Inelastic เนื่องจากโมเมนต์ที่สูงกว่าจะไม่สามารถบอกค่า Plastic Rotation ในโมเมนต์ที่สูงกว่าได้
4. สำหรับวิธี Nonlinear Static Procedure ทั้ง 4 วิธีนั้นอยู่บนสมมติฐานที่ว่าโหลดคงที่ การกระจายตัวของแรงเฉือนนั้นมีความสัมพันธ์กับการเสวยรูปของชั้นอาคาร เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามการแปรผันของคาบ และ Mode Shapes ระหว่างการเกิดผลเนื่องมาจากพฤติกรรม Inelastic ดังนั้น ความแปรผันของแรงเฉือนต้องพิจารณาในลักษณะของวิธีทางสถิติศาสตร์
5. AMC เป็นวิธีที่รวม Capacity Spectrum Method, Modal Combination และ Adaptive Loading ไว้ด้วยกันโดยมีเงื่อนไขว่าต้องนำค่าที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับผลของ NTH โดยปกติแล้ววิธีนี้สามารถแสดงผลตอบสนองที่จำเป็นในการสนับสนุนผลที่ได้จากโมเมนต์ที่สูงขึ้นไปในทุกๆ ระยะ

Inel and Ozmen (2006) ได้ทำการศึกษาผลจากคุณสมบัติของจุดหมุนพลาสติกในการวิเคราะห์พฤติกรรมแบบไม่เป็นเส้นตรงโดยวิธีสถิติศาสตร์ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในบางโปรแกรมนั้นสามารถกำหนดคุณสมบัติของจุดหมุนได้สองแบบ คือ กำหนดเอง และ ค่ามาตรฐาน ที่อ้างอิงมาจาก FEMA-356 และ ATC-40 ในขณะที่ข้อมูลของคุณสมบัติของจุดหมุนนั้นมีมากหลายระดับ โปรแกรมอาจจะทำการหาค่าเฉลี่ยให้ ผู้ใช้ต้องระวัง เพราะการนำคุณสมบัติมาตรฐานของจุดหมุนพลาสติกที่ไม่ตรงไปใช้อาจจะนำไปสู่การที่ได้ค่าการเสวยรูปของอาคารที่ผิด ทั้งนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ด้วย Pushover Analysis ที่กำหนดค่าจุดพลาสติกเป็น Default และ User-Defined Hinge Properties ในการวิเคราะห์อาคารสูง 4 และ 7 ชั้น ในการศึกษาครั้งนี้ ความยาวของจุดหมุน และ ระยะห่างของเหล็กกรัดรอบได้ถูกสมมติให้มีผลกระทบต่อพฤติกรรมจุดหมุนพลาสติกในกรณี User-Defined Hinge Properties จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความยาวของจุดหมุน และ ระยะของเหล็กกรัดรอบ นั้นไม่มีผลต่อค่าแรงเฉือน แต่มีผลกระทบมากกับการเสวยรูปทางด้านข้าง จากการเปรียบเทียบได้แสดงให้เห็นชัดว่า การเพิ่มจำนวนเหล็กกรัดรอบนั้นได้ปรับปรุงค่าการเสวยรูปทางด้านข้าง จากการศึกษาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การใช้ User-Defined Hinge Model นั้นให้ผลที่ดีกว่า Default-Hinge Model ในการแสดงคุณสมบัติของชิ้นส่วนอาคารเมื่ออาคารอยู่ในพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น อย่างไรก็ตาม เมื่อต้องการใช้ Default-Hinge Model เนื่องจากสามารถใช้ได้ง่าย นั้น ผู้ใช้ควรตระหนักถึงผลที่จะได้จากโปรแกรม

Badoux M. (1998) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเสริมกำลังด้วยวิธี Capacity spectrum method ทั้งหมด 5 ลักษณะ อาคารเดิม อาคารที่เสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือน อาคารที่เสริมกำลังด้วยการเพิ่มหน้าตัดเสา อาคารที่เสริมกำลังด้วยค้ำยันแนวทแยง และอาคารที่เสริม base

isolators จากการวิจัยพบว่าอาคารเดิมก่อนที่จะทำการเสริมกำลังด้วยวิธีต่าง ๆ เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Capacity spectrum method แสดงให้เห็นถึงความอ่อนแอของอาคาร เนื่องมาจากขนาดของเสาที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับคานหรือที่เรียกกันว่า Weak columns-strong beam เกิดการพังเนื่องจากแรงเฉือน อาคารขาดความเหนียวภายใต้แรงด้านข้างที่มากระทำต่ออาคาร จากการประเมินความสามารถด้านแรงแผ่นดินไหวอาคารมีความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวต่ำ สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยผนังรับแรงเฉือน เป็นการเพิ่มกำลังและความแข็งแรงให้กับอาคาร จากการประเมินอาคารมีความสามารถด้านสติฟเนสและกำลังเพิ่มมากขึ้น แต่เสาของอาคารยังเป็นจุดอ่อนที่อันตรายสำหรับแรงแผ่นดินไหว สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยการเพิ่มหน้าตัดเสา ช่วยเพิ่มความสามารถของอาคารด้านกำลังและความเหนียว และทำให้สมรรถนะของอาคารดีขึ้น สำหรับอาคารที่เสริมกำลังด้วยค้ำยันแนวทแยง และออกแบบให้คานมีความสามารถต่ำลงนั้นช่วยให้อาคารเปลี่ยนพฤติกรรมจาก Weak columns-strong beam เป็น Weak beam-strong columns ภายใต้แรงกระทำด้านข้างทำให้เกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นในคานก่อนที่จะเกิดขึ้นในเสา และยังเพิ่มกำลังและสติฟเนสให้กับอาคารเช่นกัน สุดท้ายการเสริมกำลังโดยเพิ่ม base isolators ให้กับอาคาร ทำให้เส้นสมรรถนะของอาคารนั้นต่ำลงแต่ damping ของอาคารเพิ่มขึ้นทำให้สามารถลดทอนแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นได้มากกว่าวิธีอื่น ๆ

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อวิเคราะห์ประเมินความแข็งแรงต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคารโรงเรียนมาตรฐานในเขตเทศบาลจังหวัดเชียงใหม่

1.3.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงพฤติกรรมให้กับอาคารโรงเรียนที่มีอยู่ในเขตเทศบาลจังหวัดเชียงใหม่

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ทราบสภาพความแข็งแรงของอาคารเรียน และ แนวทางในการเตรียมการปรับปรุงหรือแก้ไขอาคารเรียนในเขตเทศบาลจังหวัดเชียงใหม่ให้มีความแข็งแรงด้านทานแรงแผ่นดินไหว

1.5 สมมุติฐานการวิจัย

- กำลังของเหล็กเสริมคำนึงถึงกำลังครากที่แท้จริงของเหล็กเสริม (Over strength Factor)
- ให้เฟรมทั้งหมดมีลักษณะเหมือนกันกับเฟรมส่วนใหญ่และเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- ในทิศทางของอาคารเรียนไม่คิดโครงหลังคาเนื่องจากเป็นโครงสร้างเหล็ก
- กำหนดฐานรากมีลักษณะเป็นจตุรกรรับแบบยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวราบ

1.6 ขอบเขตของการวิจัย

- วิเคราะห์อาคารโรงเรียนมาตรฐานโดยวิธี Pushover Analysis โดยวิเคราะห์แบบกำหนดหน้าตัดพลาสติกโดยใช้โปรแกรม SAP2000 V. 14.1 และการวิเคราะห์แบบกำหนดคุณสมบัติของวัสดุไร้เชิงเส้นและใช้วิธีแบบจำลองไฟเบอร์ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SeismoStruct V. 5.2.2
- วิเคราะห์ในรูปแบบ 2 มิติ โดยการรวมโครงต้านแรงด้นคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมดเข้าด้วยกันในทิศทางกับแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว
- วิเคราะห์อาคารโรงเรียนในสองทิศทาง
- ทำการวิเคราะห์การเสริมกำลังด้วยวิธีขยายหน้าตัดเสา วิธีเสริมค้ำยันแนวทแยง และวิธีเสริมกำแพงรับแรงเฉือน