

รูปแบบสถาปัตยกรรมกับการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว

บทนำ

จากสถิติการเกิดแผ่นดินไหวสำคัญที่รู้สึกได้ในประเทศไทย (ตารางที่ 1 ท้ายบทความนี้) จะเห็นว่าแนวโน้มการเกิดแผ่นดินไหวทั้งที่มีจุดศูนย์กลางในประเทศและนอกประเทศมีจำนวนมากพอควร โดยเฉพาะหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ที่มีจุดศูนย์กลางที่ตะวันตกของเกาะสุมาตรา ซึ่งก่อให้เกิดคลื่นยักษ์ได้นำที่เรียกว่าสึนามิ ทำให้มีผู้เสียชีวิตประมาณ 300,000 คน และความเสียหายแก่ทรัพย์สินมูลค่ามหาศาลในประเทศอินโดนีเซีย ศรีลังกา อินเดีย บังคลาเทศ ทวีปแอฟริกาและประเทศไทย นอกจากนี้ ยังมีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าผลของแผ่นดินไหวในระยะไกล เช่น ในประเทศพม่า ในทะเลอันดามัน จะสามารถส่งผลกระทบต่ออาคารในกรุงเทพมหานคร และบริเวณโดยรอบอย่างยิ่ง อาคารสูง เนื่องจากการสั่นสะเทือนจากแรงแผ่นดินไหวถูกขยายความรุนแรงขึ้นจากสภาพดินอ่อนในบริเวณนี้ ทางกระทรวงมหาดไทยจึงมีแนวความคิดที่จะแก้ไขกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ให้ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดปทุมธานี จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรสาคร อยู่ในเขตที่ต้องออกแบบอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวจากเดิมที่กำหนดเพียง 10 จังหวัด คือ จังหวัดกาญจนบุรี เชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยาแพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง และลำพูน ซึ่งการแก้ไขกฎกระทรวงดังกล่าวอยู่ในขั้นตอนการพิจารณาของกฤษฎีกา

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวนั้น นอกจากจะต้องออกแบบโครงสร้างให้มีความเหนียว (Ductility) สามารถดูดซับและสลายพลังงานที่เกิดจากการโยกตัวของอาคารระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวโดยไม่สูญเสียกำลังการรับน้ำหนักในแนวตั้งแล้วนั้น การออกแบบทางสถาปัตยกรรมก็มีส่วนอย่างมากต่อความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว โดยรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ใหญ่ ๆ ดังนี้

1) รูปทรงของอาคาร ซึ่งรวมถึงความกว้าง ความสูง สัดส่วนของอาคาร และตำแหน่งของโครงสร้างอาคารส่วนต่าง ๆ เช่น ตำแหน่งเสา ผนังลิฟต์ ความยาวช่วงเสา

2) องค์อาคารต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น ระบบผนังภายนอกของอาคาร ผนังภายใน ส่วนตกแต่งทั้งภายนอกและภายในต่าง ๆ ซึ่งถ้าออกแบบโดยไม่คำนึงถึงแรงจากแผ่นดินไหวก็อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

3) องค์ประกอบของโครงสร้างของอาคารที่ถูกจำกัดโดยรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ทำให้ไม่สามารถออกแบบรายละเอียดชิ้นส่วนของโครงสร้างตามหลักการออกแบบชิ้นส่วนรับแรงแผ่นดินไหวที่ดีได้

บทความฉบับนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะรูปทรงของอาคารและองค์ประกอบของโครงสร้างของอาคารที่ถูกจำกัดโดยรูปแบบทางสถาปัตยกรรม

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดรูปทรงของอาคาร

โดยทั่วไปในการออกแบบอาคารต่าง ๆ นั้น สถาปนิกมักจะคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญอื่นๆ ทำให้เลือกรูปทรงของอาคารที่มักไม่สมมาตรซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวทางการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวที่ดี ปัจจัยสำคัญดังกล่าวคือ

- กฎหมายผังเมือง ทำให้อาคารต้องมี Set-back



รูปที่ 1 ระยะ Set-back ส่งผลต่อรูปร่างของอาคาร เช่น อาคาร Woolworth ประเทศสหรัฐอเมริกา



■ การออกแบบอาคารที่มีพื้นที่มากที่สุดตามที่กฎหมายยินยอมเพื่อให้ได้ผลประโยชน์ทางธุรกิจสูงสุดทำให้บางกรณีจะได้อาคารที่มีอัตราส่วนความชะลูดค่อนข้างมาก (อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของอาคาร)



รูปที่ 2 Highcliff ประเทศฮ่องกงเป็นอาคารที่ชะลูดมาก

■ การวางผังของอาคารตามลักษณะการใช้งาน เช่น การออกแบบอาคารที่เป็น Mixed Used ส่วน Tower เป็นอาคารสำนักงานหรืออาคารพักอาศัยแต่ออกแบบส่วน Podium เป็น Plaza ทำให้เสาหรือผนังลิฟต์ไม่สามารถลงมาถึงฐานราก

■ ความต้องการอาคารที่มีลักษณะโดดเด่นแตกต่างจากอาคารอื่น



รูปที่ 3 Turning Torso ประเทศสวีเดน และ CCTV Headquarters ประเทศจีน เป็นอาคารที่ได้รับการออกแบบให้ดูแปลกตาและโดดเด่นกว่าอาคารอื่น

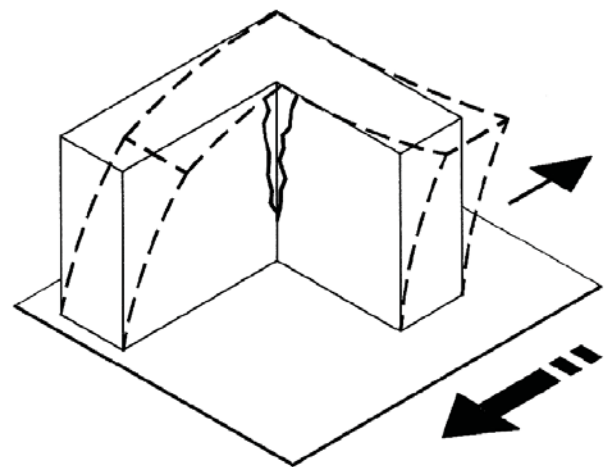
2. ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงอาคารในแนวราบ

2.1 อาคารที่มีการตัดมุมอาคาร (Reentrant Corners) เป็นลักษณะของอาคารที่มีรูปทรงเป็นรูปตัว L, T, H หรือ + ซึ่งมา

จากความต้องการทางด้านสถาปัตยกรรมที่ต้องการ การเข้าถึงของแสงธรรมชาติ และการระบายอากาศที่ดี ห้องส่วนใหญ่สามารถมองเห็นวิวภายนอกได้ดี เหมาะสำหรับโรงแรมและอาคารพักอาศัย

2.1.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

อาคารประเภทนี้จะไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Stiffness) ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของอาคารโยกตัวภายใต้แรงของแผ่นดินไหวไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความเค้น (Stress) สูงสุดบริเวณมุมตัดของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4



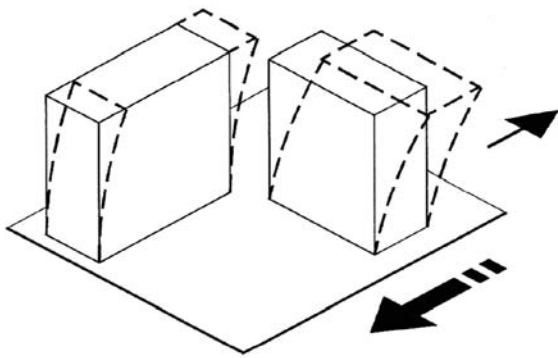
รูปที่ 4 อาคารที่มีรูปทรงเป็นรูปตัว L จะเกิดความเค้นสูงสุดที่มุมตัดของอาคาร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดรอยแตกง่ายที่สุด

นอกจากนี้ จะเกิดการบิดตัว (Torsion) ของอาคาร เนื่องจากจุดศูนย์กลางของมวล (Center of Mass) กับจุดศูนย์กลางของความแข็ง (Center of Rigidity) ไม่ตรงกัน ซึ่งแรงที่เกิดจากการบิดตัวของอาคารนั้นค่อนข้างยากในการวิเคราะห์ และออกแบบ ขนาดของแรงจะขึ้นกับมวลของอาคาร ระบบโครงสร้างความยาวของปีกของอาคารและสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของปีกอาคาร สัดส่วนความสูงต่อความกว้างของปีกอาคาร

2.1.2 ข้อเสนอนแนะ

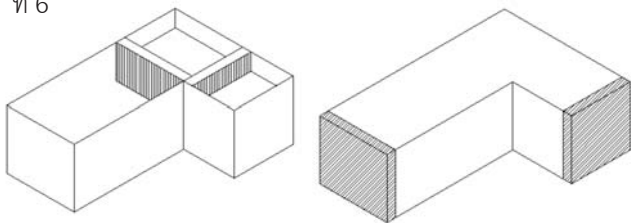
การแก้ไขสามารถทำได้ 2 แนวทาง คือ

(1) แยกตัวอาคารออกเป็นรูปทรงที่เรียบง่าย ดังแสดงในรูปที่ 5 สามารถโยกตัวภายใต้แรงแผ่นดินไหวได้อย่างอิสระจากกัน โดยตัวอาคารแต่ละส่วนต้องออกแบบโครงสร้างให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ วิศวกรโครงสร้างจะต้องกำหนดขนาดของ Expansion Joint โดยคำนวณจากระยะโยกตัวสูงสุดภายใต้แรงแผ่นดินไหว



รูปที่ 5 การตัดแยกอาคารรูปตัว L ออกจากกัน ทำให้แต่ละอาคารสามารถเคลื่อนไหวได้โดยอิสระ ลดปัญหาการแตกร้าวได้

(2) เสริมความแข็งแรงบริเวณตัวมุมอาคาร โดยการเสริมผนังคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณมุม หรือเสริมความแข็งแรงบริเวณปลายของปีกเพื่อลดการโยกตัวบริเวณที่ปลายปีก ดังแสดงในรูปที่ 6

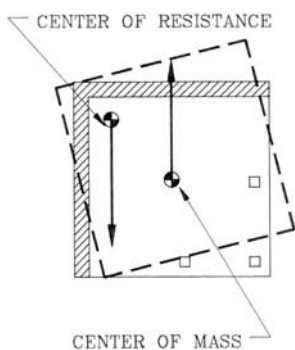


รูปที่ 6 การเสริมความแข็งแรงให้แก่อาคาร ช่วยลดปัญหาการแตกร้าวได้เช่นกัน

2.2 ความไม่สม่ำเสมอในแนวราบที่ก่อให้เกิดการบิดของอาคาร ปัญหานี้มักเกิดกับอาคารที่ถูกออกแบบให้ผนังคอนกรีตหรือผนังลิฟต์อยู่ที่เส้นรอบรูปของอาคาร เพื่อให้สามารถจัดพื้นที่ภายในได้สะดวกขึ้น

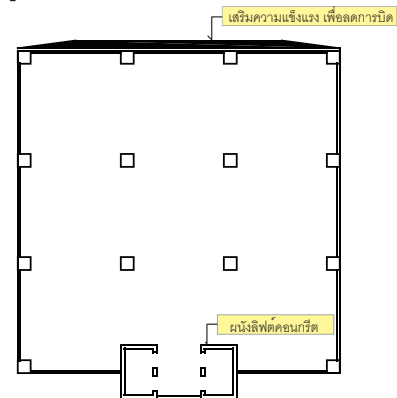
2.2.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

อาคารที่มีผนังคอนกรีตอยู่บริเวณเส้นรอบรูปของอาคาร จะมีผลให้จุดศูนย์กลางของมวลกับจุดศูนย์กลางของความแข็งแรงเยื้องกันภายใต้แรงแผ่นดินไหวอาคารจะบิดตัว ดังแสดงในรูปที่ 7 ทำให้โครงสร้างบริเวณเส้นรอบรูปจะต้องรับแรงเฉือนมากขึ้น



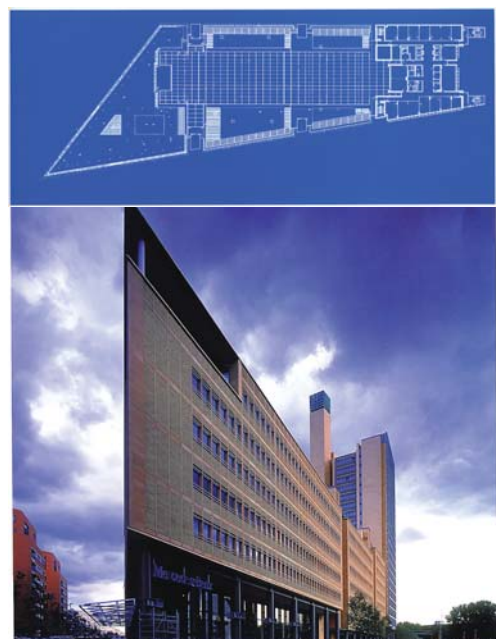
รูปที่ 7 ลักษณะอาคารที่มีจุดศูนย์กลางของมวล กับจุดศูนย์กลางของความแข็งแรงอยู่เยื้องกัน

2.2.2 ข้อเสนอแนะ ลดผลของการบิดโดยการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างบริเวณเส้นรอบรูปเพื่อลดการเยื้องศูนย์ของจุดศูนย์กลางของมวลกับจุดศูนย์กลางของความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยการเพิ่มความลึกของโครงสร้างซึ่งอาจจะเป็นคาน หรือ Band Beam นอกจากนี้ วิศวกรโครงสร้างจะต้องวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีละเอียดเพื่อสามารถคำนวณและออกแบบรับผลของการบิดได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 8 การเสริมความแข็งแรงให้แก่ผนังด้านตรงข้ามกับปล่องลิฟต์ ช่วยลดผลของการบิดตัวจากการเยื้องศูนย์ได้

2.3. ความไม่สม่ำเสมอจากระบบโครงสร้างหลักที่ไม่ขนานกัน (Non Parallel Systems) แนวโน้มการออกแบบอาคารในปัจจุบัน สถาปนิกมีการออกแบบรูปทรงของอาคารเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมหลายเหลี่ยมเพื่อให้ดูแปลกตา หรือทรงอาคารที่โค้งมากกว่าที่จะออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยม ทำให้โครงสร้างหลักของอาคารในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวดิ่ง หรือแรงในแนวราบไม่ขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 อาคาร Debis House, Potsdamer Platz ประเทศเยอรมัน ที่ออกแบบให้มีลักษณะเป็นมุมแหลม

2.3.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

แนวโครงสร้างหลักที่ไม่ขนานกันนั้นทำให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการโยกตัวของจุดศูนย์กลางของมวลกับจุดศูนย์กลางของความแข็งแรงแผ่นดินไหวได้ทุกทิศทางของการเคลื่อนตัวของดิน (Ground Motion) ทำให้เกิดการบิดตัวของอาคาร นอกจากนี้ ส่วนของอาคารที่แคบกว่าส่วนอื่นก็จะโยกตัวมากกว่าทำให้เพิ่มการบิดของอาคาร

2.3.2 ข้อเสนอแนะ วิธีการแก้ไขสามารถทำได้โดยการออกแบบโครงสร้างหลักรับแรงด้านข้างให้มีความแข็งแรงอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทาง ให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อลดผลของการบิดตัวของอาคาร

2.4. ความไม่สม่ำเสมอจากการเจาะช่องเปิดของแผ่นพื้นของอาคารสูงโดยทั่วไป จำเป็นต้องมีช่องเปิดสำหรับลิฟต์ บันได ห้องานระบบในแนวตั้ง Skylight และ Atrium โดยปกติแผ่นพื้นของอาคารในแต่ละชั้นจึงมีช่องเปิดกระจายอยู่ทั่วไป

2.4.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

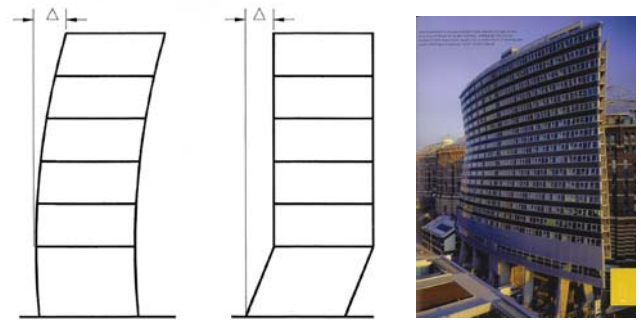
แผ่นพื้นนอกเหนือจากมีหน้าที่ในการกระจายแรงในแนวดิ่งไปที่เสาแล้วยังทำหน้าที่ในการถ่ายแรงด้านข้างจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวไปยังโครงสร้างหลักในการรับแรงแผ่นดินไหว เช่น โครงข้อแข็ง (Frame) หรือผนังลิฟต์ การเจาะช่องเปิดในแผ่นพื้นจะลดประสิทธิภาพในการกระจายแรง และเกิดแรงเค้น (Stress) บริเวณรอบช่องเปิดมากกว่าบริเวณอื่น

2.4.2 ข้อเสนอแนะ เนื่องจากการเจาะช่องเปิดในแผ่นพื้นเป็นสิ่งที่ไม่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่เพื่อลดผลกระทบของช่องเปิด สถาปนิกและวิศวกรจึงควรร่วมกันกำหนดลักษณะของช่องเปิดในลักษณะดังนี้

- (1) ควรหลีกเลี่ยงการกำหนดช่องเปิดบริเวณพื้นที่ติดกับผนังคอนกรีตหรือโครงข้อแข็ง
- (2) กำหนดให้ช่องเปิดแต่ละช่องห่างกันพอที่จะทำให้การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นมีประสิทธิภาพพอเพียงในการรับแรงได้
- (3) เพิ่มความลึกของโครงสร้างรอบช่องเปิดเพื่อรับแรงเค้นที่เกิดขึ้น

3. ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงของอาคารในแนวตั้ง

3.1 อาคารที่ชั้นใดชั้นหนึ่งมีสติฟเนสอ่อนเป็นพิเศษ (Soft Stories) สถาปนิกมักออกแบบชั้น 1 ของอาคารสูงเป็นห้องโถง (Hall) หรือล็อบบี้ (Lobby) ที่มีความสูงของชั้นสูงเป็นพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 10



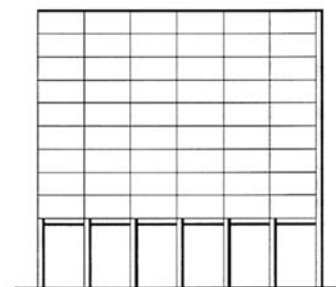
รูปที่ 10 GPA Gasometer Tower กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย มีชั้น Lobby ที่สูงมาก

3.1.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

Soft Stories สามารถเกิดได้ในทุกชั้น ขึ้นกับรูปแบบทางสถาปัตยกรรม แต่จะมีผลมากถ้าเกิดที่ชั้น 1 ลักษณะสำคัญของ Soft Stories คือจะขาดความต่อเนื่องของความแข็งแรงของโครงสร้าง และสติฟเนส จึงทำให้การโยกตัวของอาคารที่ชั้น Soft Stories มากกว่าชั้นอื่น ซึ่งจะทำให้เกิดแรงกระทำกับพื้นชั้นเหนือถัดมาสูงมากกว่าปกติ (รูปที่ 10)

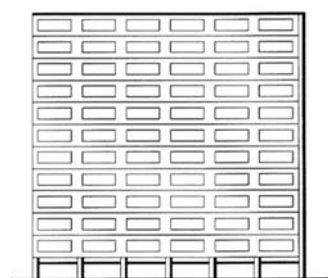
ลักษณะของ Soft Stories ที่ชั้น 1 อาจเกิดได้ใน 3 กรณี ดังนี้

- (1) ความสูงของชั้น 1 สูงกว่าชั้นอื่นมากทำให้สติฟเนสในชั้นที่ 1 น้อยกว่าชั้นอื่น จึงเกิดการโยกตัวสูง ดังรูปที่ 11



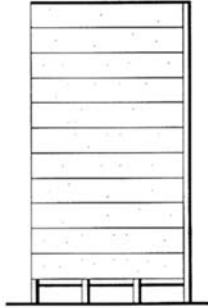
รูปที่ 11 ลักษณะอาคารที่ความสูงของชั้น 1 มากกว่าชั้นอื่น

- (2) อาคารมีความสูงในแต่ละชั้นไม่ต่างกันมากแต่สติฟเนสในชั้น 2 ขึ้นไปมีสติฟเนสสูงกว่า ซึ่งอาจเกิดจากการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปในชั้นบน ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ลักษณะอาคารที่ชั้น 2 ถึงดาดฟ้า มี Stiffness สูงกว่าชั้นล่าง

3) รูปแบบทางสถาปัตยกรรมกำหนดให้ผนังคอนกรีตซึ่งทำหน้าที่ถ่ายแรงแผ่นดินไหวลงไปสู่ฐานรากไม่ต่อเนื่องลงไปสู่ฐานราก ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ลักษณะอาคารที่ออกแบบให้ผนังคอนกรีตทำหน้าที่ถ่ายแรงลงสู่ฐานราก

3.1.2 ข้อเสนอแนะ ในกรณีที่มีความจำเป็นทางรูปแบบสถาปัตยกรรมกำหนดให้เกิด Soft Stories ที่พื้นชั้น 1

วิศวกรโครงสร้างสามารถลดผลกระทบของ Soft Stories ได้โดย

- 1) เพิ่มขนาดของเสาในชั้น 1 เพื่อให้สตีเฟนสรวมของชั้น 1 เกือบเคียงกับชั้นบน
- 2) เพิ่มความหนาของผนังคอนกรีตหรือเพิ่มความลึกของคานชั้น 1 ซึ่งประกอบเป็นโครงข้อแข็งเพื่อให้มีสตีเฟนสที่ใกล้เคียงกับชั้นอื่น ๆ

3.2 อาคารที่มี Set back ในแนวดิ่ง

กฎหมายควบคุมอาคารเป็นตัวกำหนดให้อาคารสูงจำเป็นต้องมี Set back และในบางกรณีสถาปนิกก็ต้องการออกแบบยอดของอาคารให้มีเอกลักษณ์โดยการให้ Step และ Set back

3.2.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

การ set back ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของสตีเฟนสในแนวดิ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงที่ชั้นที่มี set back สูงกว่าชั้นอื่น

3.2.2 ข้อเสนอแนะ ถ้า Set back ในแนวดิ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การเพิ่มเสาเอียงในชั้นที่มี set back ก็ช่วยให้การถ่ายแรงแผ่นดินไหวมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 อาคาร Wan Xiang International Plaza ในมหานครเซี่ยงไฮ้ ใช้เสาเอียงช่วยในการรับแรง

3.3 อาคารที่มีน้ำหนักหรือมวลไม่สม่ำเสมอในแต่ละชั้น
ในกรณีที่รูปแบบทางสถาปัตยกรรมกำหนดให้พื้นที่ชั้นหนึ่งชั้นใดมีน้ำหนักสูงกว่าชั้นอื่น เช่น การจัดสวนที่ชั้นหลังคา หรือรูปทรงของอาคารที่มีความโดดเด่น เช่น รูปพีระมิดกลับหัว ดังแสดงในรูปที่ 15 จะทำให้น้ำหนักของอาคารสูงที่ชั้นบน ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียในแง่การรับแรงแผ่นดินไหว



รูปที่ 15 Dallas City Hall เป็นอาคารทรงพีระมิดกลับหัว

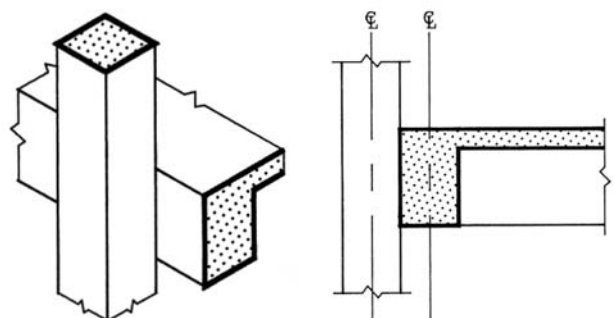
3.3.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

แรงแผ่นดินไหวจะแปรตามมวลหรือน้ำหนักของอาคารที่ชั้นใด ๆ ถ้าชั้นหนึ่งชั้นใดของอาคารมีน้ำหนักมากกว่าชั้นอื่นมาก ๆ การกระจายของแรงแผ่นดินไหวที่โครงสร้างรับแรงด้านข้างก็จะสูงกว่าชั้นอื่น

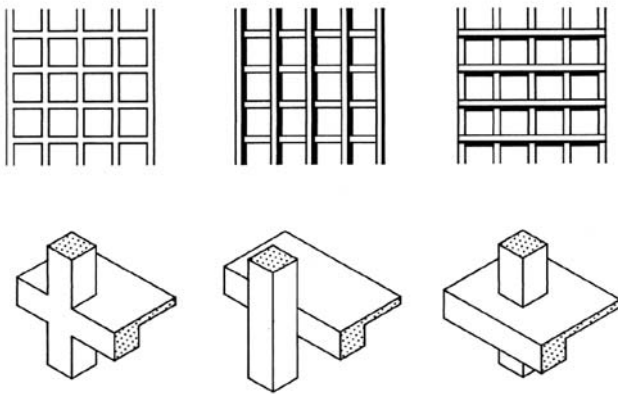
3.3.2 ข้อเสนอแนะ เพิ่มสตีเฟนส และความแข็งแรงของโครงสร้างที่รับพื้นที่นั้นให้สัมพันธ์กับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้การกระจายของแรงแผ่นดินไหวสม่ำเสมอมากขึ้น

4. องค์ประกอบของโครงสร้างที่ถูกจำกัดโดยรูปแบบทางสถาปัตยกรรม

ในบางครั้งสถาปนิกออกแบบรูปด้านที่ทำให้จุดต่อระหว่างเสาและคานไม่สอดคล้องกับการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 16 และ 17



รูปที่ 16 จุดต่อระหว่างเสา-คานที่ไม่ดี



รูปที่ 17 เปรียบเทียบลักษณะจุดต่อเสา-คานที่ดี (ซ้าย) และจุดต่อที่ไม่ดี (กลางและขวา)

4.1 ผลกระทบต่อการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

การที่จุดต่อระหว่างเสาและคานมีการเยื้องศูนย์จะทำให้การถ่ายแรงไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างตรง ๆ ทำให้เกิดการบิดตรงบริเวณรอยต่อ และทำให้เกิดแรงเค้นภายในเสาและคานที่สูง ถ้าไม่ให้ความสำคัญต่อการออกแบบในรายละเอียดบริเวณจุดต่อก็อาจก่อให้เกิดการวิบัติขึ้นได้

4.2 ข้อเสนอนแนะ

การประสานงานที่ใกล้ชิดระหว่างสถาปนิกและวิศวกร โครงสร้างมีความจำเป็นมากที่จะลดหรือหลีกเลี่ยงจุดต่อโครงสร้างในลักษณะดังกล่าว

บทสรุป

ในการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่คืบนั้น ควรจะเริ่มตั้งแต่แบบเบื้องต้นทางสถาปัตยกรรม โดยสถาปนิกและวิศวกรโครงสร้างควรจะร่วมกันกำหนดรูปทรงของอาคารที่สอดคล้องกับมาตรฐานการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในส่วนของการสร้างไม่สูงมากโดยไม่จำเป็น แต่ในกรณีที่ข้อจำกัดทั้งทางด้านกฎหมาย ทางสถาปัตยกรรม และในแง่ธุรกิจ ทำให้รูปทรงของอาคารมีความไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้างในลักษณะต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้ว วิศวกรโครงสร้างต้องชี้ให้สถาปนิกและเจ้าของโครงการเห็นถึงค่าใช้จ่ายทางโครงสร้างที่สูงขึ้นจากการที่ต้องเสริมความแข็งแรงบริเวณจุดอ่อนต่าง ๆ ของอาคารและวิศวกรก็ต้องวิเคราะห์โดยละเอียดเพื่อออกแบบให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะทำได้อาคารที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย



ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลแผ่นดินไหวสำคัญและมีรายงานความเสียหาย (จากเอกสารอ้างอิง 2)

วัน เดือน ปี	เวลาเกิด/ขนาด	ตำแหน่ง ศูนย์กลาง	เหตุการณ์
พ.ศ. 1003	กลางคืน	โยนกนคร	แผ่นดินไหว 3 ครั้ง โยนกนครจมลงใต้ดิน
พ.ศ. 1077	ยามเช้า	โยนกนคร	ยอดเจดีย์หัก 4 แห่ง
พ.ศ. 2088		เชียงใหม่	รู้สึกที่เชียงใหม่ยอดเจดีย์หลังหักจากความสูง 86 เมตร เหลือประมาณ 60 เมตร
พ.ศ. 2258	ขึ้น 6 ค่ำ เดือน 7	เชียงใหม่	รู้สึกแผ่นดินไหว วัดและเจดีย์ 4 ตำบลถูกทำลาย
17 ก.พ. 2518	10:38 19.8/5.6	พรมแดนไทย-พม่า	ศูนย์กลางบริเวณ อ.ท่าสองยาง จ.ตาก เสียหายเล็กน้อยในภาคเหนือ ภาคกลาง และกรุงเทพฯ
26 พ.ค. 2521	06:22 29.1/4.8	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.พร้าว รู้สึกสั่นไหวนาน 15 วินาที ที่ จ.เชียงราย เชียงใหม่ และลำปาง
22 เม.ย. 2526	07:37, 10:21/ 5.9, 5.2	อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	รู้สึกเกือบทุกภาค มีความเสียหายเล็กน้อยในกรุงเทพฯ
1 ต.ค. 2532	10:19:23.3/5.3	พรมแดนไทย-พม่า	รู้สึกสั่นไหว ภาคเหนือตอนบน เสียหายเล็กน้อย เชียงใหม่และเชียงราย
11 ก.ย. 2537	03:34 00/5.1	อ.พาน จ.เชียงราย	มีความเสียหายบริเวณ อ.พาน ต.วัด โรงพยาบาล โรงเรียนหลายแห่ง
12 ก.ค. 2538	04:46 39.8/7.2	ประเทศพม่า	รู้สึกได้บริเวณภาคเหนือตอนบน และอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร
9 ธ.ค. 2538	20:26 00/5.1	อ.ร่องกวาง จ.แพร่	สิ่งก่อสร้างในจังหวัดเชียงรายเสียหายเล็กน้อย
21 ธ.ค. 2538	23:30 00/5.2	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	รู้สึกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ อุตรดิตถ์ และน่าน เสียหายเล็กน้อยที่ จ.แพร่
22 ธ.ค. 2539	00:51 00/5.5	พรมแดนไทย-ลาว	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อยบริเวณใกล้จุดศูนย์กลาง
20 ม.ค. 2543	03:59 00/5.9	ประเทศลาว	มีความเสียหายเล็กน้อยที่ จ.เชียงราย
2 ก.ค. 2545	10:54 00/4.7	อ.เชียงใหม่ จ.เชียงราย	เสียหายเล็กน้อยที่ จ.น่าน, แพร่
22 ก.ย. 2546	10:16 00/6.7	พม่า	เสียหายเล็กน้อย อาคารสูงบางแห่งใน กทม.
3 ก.พ. 2547	24:58 00/1.9	อ.สันทราย จ.เชียงใหม่	เสียหายเล็กน้อยที่ อ.เชียงใหม่ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
27 มี.ค. 2547	11:05 00/3.4	อ.แม่สรวย จ.เชียงราย	รู้สึกที่ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย
6 เม.ย. 2547	11:49 00/3.1	อ.เมือง จ.เชียงราย	รู้สึกที่ อ.เมือง จ.เชียงราย
30 พ.ค. 2547	23:53 00/2.0	อ.สันทราย จ.เชียงใหม่	รู้สึกที่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

วัน เดือน ปี	เวลาเกิด/ขนาด	ตำแหน่ง ศูนย์กลาง	เหตุการณ์
11 ก.ย. 2547	08:30 00/3.7	อ.สมิง จ.เชียงใหม่	รัฐีกที่ อ.สมิง อ.หางดง อ.เมือง จ.เชียงใหม่
17 ก.ย. 2547	18:25 00/5.8	ทะเลอันดามัน	รัฐีกบนอาคารสูงใน กทม.
26 ธ.ค. 2547	07:58 00/9.0	ตะวันตกเกาะสุมาตรา	รัฐีกหลายจังหวัดในภาคใต้ อาคารสูง กทม. มีความเสียหายมากจาก สึนามิ และผู้เสียชีวิตกว่า 10,000 คน
26 ธ.ค. 2547	08:30 00/6.4	ประเทศพม่า	รัฐีกหลายจังหวัดในภาคใต้ อาคารสูง กทม.
27 ธ.ค. 2547	16:39 00/6.6	ทะเลอันดามัน	รัฐีกที่ จ.ภูเก็ต
30 ธ.ค. 2547	08:07, 08:13/5.4, 5.6	ประเทศพม่า	รัฐีกที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่
28 มี.ค. 2548	23:10/8.5	ตะวันตกเกาะสุมาตรา	รัฐีกได้ในจังหวัดภาคใต้ ภูเก็ต เดือนอพยพ
19 พ.ค. 2548	12:05/6.8	ตะวันตกเกาะสุมาตรา	รัฐีกได้ในหลายจังหวัดภาคใต้ อาคารสูง กทม.
5 ก.ค. 2548	22:42/6.8	ตอนบนเกาะสุมาตรา	รัฐีกได้ที่ จ.ภูเก็ต
24 ก.ค. 2548	22:42/7.2	เกาะนิโคบาร์ อินเดีย	รัฐีกได้ที่ จ.ภูเก็ต มีค่าเดือนให้อพยพ
18 ก.ย. 2548	14:26/6.0	พรมแดนพม่า-อินเดีย	รัฐีกได้บนอาคารสูงในจังหวัดเชียงใหม่
11 ต.ค. 2548	22:05/6.2	ตอนเหนือของเกาะสุมาตรา	รัฐีกได้ที่ จ.พังงา จ.ภูเก็ต
19 พ.ย. 2548	21:10/6.1	ตอนเหนือของเกาะสุมาตรา	รัฐีกได้ที่ จ.พังงา จ.ภูเก็ต
4 ธ.ค. 2548	16:34/4.1	จ.เชียงใหม่	รัฐีกได้บนอาคารสูงจ.เชียงใหม่ และลำพูน
7 ธ.ค. 2548	16:02/3.9	จ.เชียงราย	รัฐีกได้ที่ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย
15 ธ.ค. 2548	13:48/4.1	จ.เชียงราย	รัฐีกได้ที่ อ.เมือง อ.เทิง จ.เชียงราย
16 ธ.ค. 2548	09:13, 09:14/3.8, 3.9	จ.เชียงราย	รัฐีกได้ที่ อ.ป่าแดด จ.เชียงราย
24 ม.ค. 2549	20:42/5.7	รัฐฉาน ประเทศพม่า	รัฐีกได้ที่ จ.เชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน

เอกสารอ้างอิง

- 1) Christopher Arnold, Architectural Consideration, pp 275-326, The Seismic Design Handbook, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
- 2) บุรินทร์ เวชบรรเทิง, ความรู้พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับแผ่นดินไหว, เอกสารโครงการอบรมเรื่องการออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว (ครั้งที่ 6)
- 3) Erwin Heinle and Fritz Leonhardt, Towers A Historical Survey, Butterworth Architecture
- 4) Eric Howler, Skyscraper Design Of The Recent Past And For The Near Future, Thames &Hudson
- 5) Matthew Wells, Skyscrapers Structure And Design, Laurence King Publishing



แนะนำผลงานออกแบบของฝ่ายออกแบบโครงสร้างและโยธา

ชื่อโครงการ : อาคารศูนย์สัตว์ทดลองและวิจัย คณะเภสัชศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พื้นที่อาคารรวม : 1,118 ตร.ม.



ชื่อโครงการ : Banyan Estate Hua Hin Golf Resort Villa & Spa
พื้นที่อาคารรวม : N/A ตร.ม.



ชื่อโครงการ : Holiday Inn Hotels-Resorts Pattaya
พื้นที่อาคารรวม : 30,000 ตร.ม.

ฯลฯ