บทที่ 8

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมและความเสียหายที่เกิดขึ้นในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว และศึกษาการปรับปรุงอาคารดังกล่าวมวลหน่วงปรับค่าซึ่งติดตั้งไว้ที่ชั้นบนสุดของอาคาร โดยใช้อาคารตัวอย่างความสูง 20 ชั้น ออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI-1995 และไม่คำนึงถึงแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ได้แก่ คลื่นที่วัดได้จากกรุงเม็กซิโก ปี 1985 (SCT-85 S00E) และ คลื่นที่วัดได้ที่ฐานอาคารใบหยก 1 ปี 1995 (BYK-95)

8.1 สรุปผล

จากการวิเคราะห์ได้ค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารตัวอย่างมีค่าประมาณ 0.46 เฮิรซ์ท ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ทำให้เกิดการกำทอนขึ้นในอาคารตัวอย่าง และจากลักษณะของคลื่นที่เป็นฮาร์โมนิคและมีระยะเวลาการสั่นไหวค่อนข้างนาน ถึงแม้ขนาดความเร่งของแผ่นดินไหวจะไม่รุนแรง แต่ก็ทำให้อาคารตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งและความเสียหายมาก เนื่องจากการกำทอนนั่นเอง

ในการวิเคราะห์โดยวิธีใช้แรงดันด้านข้างแบบสถิตกระทำจนโครงสร้างพัง (Push-over หรือ collapse mode analysis) พบว่าสามารถอธิบายการตอบสนองของโครงสร้างได้ดีระดับหนึ่ง ได้แก่การเปลี่ยนตำแหน่งซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ภายใต้แรงแผ่นดินไหว แต่อย่างไรก็ตามก็มีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องจากการวิเคราะห์ภายใต้แรงแผ่นดินไหวเป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic analysis) แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นวัฏจักรและมีการคิดผลของโหมดการเคลื่อนที่อื่นๆ แต่ในกรณีดันด้วยแรงด้านข้างเป็นการวิเคราะห์แบบสถิตยศาสตร์ (Static analysis) และให้แรงกระทำไปในทิศทางเดียวโดยคิดผลการเคลื่อนที่เฉพาะโหมดที่ 1 เท่านั้น และจากผลที่ได้พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ จากการวิเคราะห์ภายใต้แรงแผ่นดินไหวจะมีลักษณะแตกต่างจากกรณีดันด้วยแรงด้านข้าง เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นมากกว่า ทำให้พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างเปลี่ยนไปเป็นแบบดัด (Bending mode) มากขึ้น จากการที่การยึดรั้งการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างเนื่องจากโครงข้อแข็งต่ำลง และในกรณีของค่าความเสียหายดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าภายใต้แผ่นดินไหวจะได้ค่าความเสียหายที่สูงกว่าค่อนข้างมาก เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร ซึ่งทำให้ความเสียหายเกิดโดยตลอดทั้งชิ้นส่วนและความเสียหายสะสมที่เกิดขึ้น

ภายใต้แผ่นดินไหวขนาดไม่รุนแรง (0.001 และ 0.01 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก) อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่นถึงแม้ที่ขนาดความเร่ง 0.01 อาคารตัวอย่างจะเกิดการร้าวขึ้นบ้างแต่พฤติกรรมโดยรวมยังถือว่าเป็นแบบยืดหยุ่นอยู่ การต้านทานแรงด้านข้างเกิดจากการทำงานร่วมกันของโครงข้อแข็งกับผนัง โดยผนังช่วยยึดรั้งการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นล่าง และโครงข้อแข็งยึดรั้งการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบน ทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์มีค่ามากบริเวณชั้นกลางๆ (ชั้นที่ 8-11) ที่แผ่นดินไหวขนาดรุนแรงปานกลาง (0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก) ลักษณะการเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มไม่มีลักษณะของการกำทอน การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ และความเสียหายมีค่าเพิ่มมากขึ้น เกิดความเสียหายมากในคานตั้งแต่ชั้นกลางๆ จนถึงชั้นบนเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งที่มากขึ้น และเกิดความเสียหาย

ในเสาชั้น 16-20 เนื่องจากมีการลดหน้าตัดเสาในช่วงดังกล่าว และที่แผ่นดินไหวขนาดรุนแรง (0.098 และ 0.2 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก) พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นมาก และไม่มีลักษณะของการกำทอนอาคารตัวอย่างเกิดความเสียหายมากโดยเฉพาะในโครงสร้างแนวดิ่งชั้น 1 ซึ่งเกิดการครากในผนังและเสา ค่าความเสียหายมีค่าเกิน 0.4 ซึ่งหมายความว่าโครงสร้างดังกล่าวมีความเสียหายมากไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีก

เมื่อปรับปรุงอาคารตัวอย่างดังกล่าวด้วยมวลหน่วงปรับค่า พบว่าในแง่การลดการเปลี่ยนตำแหน่ง มวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้ดีในขอบเขตแผ่นดินไหวที่ไม่รุนแรงมากนัก ในงานวิจัยนี้ได้ค่าเท่ากับ 0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และที่แผ่นดินไหวขนาดรุนแรงกว่านี้ มวลหน่วงปรับค่าไม่สามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้ นอกจากนั้นยังอาจทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในแง่การลดความเสียหายที่เกิดขึ้น พบว่าสามารถลดได้ดีในช่วงแผ่นดินไหวขนาดไม่รุนแรงเช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามความเสียหายดังกล่าวถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก การลดความเสียหายที่น้อยอยู่แล้วจึงไม่ค่อยมีประโยชน์เท่าใดนัก และที่แผ่นดินไหวขนาดรุนแรงมวลหน่วงปรับค่ามีโอกาสเป็นได้ทั้งลดและเพิ่มความเสียหายแต่โดยรวมจะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับอาคารที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่า ดังนั้นจึงไม่ถือว่ามวลหน่วงปรับค่าก่อให้เกิดประโยชน์ในแง่การลดความเสียหายมากนัก แต่เมื่อพิจารณาที่รูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น พบว่ามวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการครากที่เกิดกับชิ้นส่วนได้ดีในกรณีแผ่นดินไหวความแรงขนาดปานกลาง (0.05 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)

เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของแผ่นดินไหวที่ทำให้เกิดการครากขึ้นครั้งแรกในคานและเสาสำหรับอาคารตัวอย่างในงานวิจัยนี้พบว่า ภายใต้คลื่น SCT-85 การมีมวลหน่วงปรับค่าสามารถชะลอการเกิดการครากได้ดีในกรณีของคาน กล่าวคือในกรณีอาคารไม่มีมวลหน่วงปรับค่า คานจะครากครั้งแรกที่ความเร่ง 0.017 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก แต่ในอาคารที่มีมวลหน่วงปรับค่าจะเกิดที่ความเร่ง 0.024 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก นั่นก็คืออาคารตัวอย่างที่มีมวลหน่วงปรับค่าสามารถที่จะทนแผ่นดินไหวได้มากกว่าอาคารที่ไม่มีมวลหน่วงปรับค่าได้ถึง 41.2% ก่อนที่คานจะเกิดการครากขึ้น สำหรับเสาพบว่ามวลหน่วงปรับค่าแทบไม่ช่วยชะลอการเกิดการครากครั้งแรกในเสาเลย เนื่องจากที่ขนาดความเร่งดังกล่าวมวลหน่วงปรับค่าแทบไม่ช่วยลดค่าความเสียหายของโครงสร้างเลย

จากการที่ประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าลดลงเมื่อแผ่นดินไหวมีขนาดรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นมาก ทำให้คุณสมบัติด้านพลวัตของอาคารมีค่าเปลี่ยนแปลงไป อาคารจึงไม่เกิดการกำทอนทำให้มวลหน่วงปรับค่าไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนั้นจากการที่การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 20 ของอาคารมีการเปลี่ยนขนาดและเฟสการเคลื่อนที่ที่ไม่คงที่ ทำให้มวลหน่วงปรับค่าต้องปรับการเคลื่อนที่ของตัวมวลหน่วงปรับค่าเองอยู่ตลอดเวลา จึงไม่สามารถทำงานได้ดี แสดงในรูปที่ 7.11 ที่เฟสการเคลื่อนที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อแผ่นดินไหวมีขนาดรุนแรงมากขึ้น การเปลี่ยนตำแหน่งของมวลหน่วงปรับค่ามีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง

8.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่ยืดหยุ่นภายใต้แผ่นดินไหว ซึ่งเป็นการคำนวณที่มีความยุ่งยาก ดังนั้นจึงมีการกำหนดข้อจำกัดในการคำนวณต่างๆ เช่นกำหนดให้การวิเคราะห์เป็นแบบ 2 มิติ, ไม่คิดผลการบิดของโครงสร้าง ดังนั้นอาคารที่นำมาวิเคราะห์จึงต้องมีลักษณะที่สมมาตรและสามารถจำลองเป็นโครงสร้าง 2 มิติได้ง่าย นอกจากนั้นต้อง

กำหนดคุณสมบัติหน้าตัดของชิ้นส่วนต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด สำหรับตัวแปรที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของชิ้นส่วนในช่วงไม่ยืดหยุ่นอันที่จริงต้องได้จากการทดลอง แต่เนื่องจากต้องใช้ค่าใช่จ่ายที่สูงมาก ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการทดลองของนักวิจัยต่างประเทศซึ่งเป็นค่าที่ได้จากโครงสร้างใกล้เคียงกับประเทศไทย นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงการวิบัติแบบเฉือนซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้ และไม่ได้คำนึงถึงผลการช่วยรับแรงของผนังก่ออิฐที่จะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้

สำหรับการศึกษาในเรื่องมวลหน่วงปรับค่าซึ่งพบว่าไม่สามารถช่วยลดการเปลี่ยนตำแหน่งได้ในกรณีแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงนั้น อาจทำการศึกษาต่อไปในเรื่องของมวลหน่วงปรับค่าหลายตัว (Multi-tuned mass damper) หรือมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟซึ่งมีช่วงการใช้ลดความถี่ที่กว้างกว่ามวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย