บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สูงสุดและค่าระดับความเสียหายของอาคารสูงเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมแรงกระทำให้ใกล้เคียงกับสภาพเหตุการณ์แผ่นดินไหวให้มากที่สุด ในการพัฒนาวิธีการนี้ จำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่สูงสุด ซึ่งใช้ในการผลักอาคารแบบวัฏจักร พร้อมทั้งการกำหนดรูปแบบการกระจายของแรงผลักตลอดความสูงอาคาร (Lateral force distribution) และรูปแบบประวัติการเคลื่อนที่ (Displacement History)สำหรับแรงกระทำแบบวัฏจักร ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้รูปแบบของประวัติเวลาของแรงกระทำ (Loading history protocol) จำนวน 4 แบบ เพื่อศึกษาผลของรูปแบบแรงกระทำต่อการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง ผลตอบสนองของอาคารที่ได้จากการผลักอาคารแบบวัฏจักร ได้แก่ ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติก ค่าระดับความเสียหายที่ประเมินด้วยดัชนีความเสียหาย เป็นต้น

ในการศึกษานี้ เลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 9 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารที่พักอาศัยประเภทหอพักมาเป็นกรณีศึกษา และมีการออกแบบรับน้ำหนักบรรทุกปกติ โดยไม่ได้มีการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว โดยทำการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง RUAUMOKO ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าการเคลื่อนที่สูงสุดบนยอดอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของแต่ละชั้นอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติกและระดับความเสียหาย และนำไปเปรียบเทียบกับ วิธีพลศาสตร์ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Dynamic Analysis) ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือ ข้อมูลคลื่นแผ่นดินไหวมีจำนวน 10 คู่ เป็นตัวแทนสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และเปรียบเทียบกับวิธีการผลักแบบรวมโหมด (Modal Pushover Analysis) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ผลตอบสนองของโครงสร้างด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร สรุปได้ ดังนี้

ก) ค่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างสูงสุดบนยอดอาคาร (Peak Roof Displacement)

ผลการประเมินด้วยวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร(Cyclic Pushover Analysis) ให้ค่ามัธยฐาน (Median) ของอัตราส่วนของค่าการเคลื่อนที่สูงสุดบนยอดอาคาร (PDRD) เท่ากับ 0.997, 1.071, 1.078, 1.079 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เท่ากับ 0.161, 0.129, 0.135, 0.137 สำหรับรูปแบบ Laboratory Type, ATC-24, ISO, SPD ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมาก (PDRD = 1.00) และยังมีความเบี่ยงเบนที่อยู่ในเกณฑ์ดี

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Modal Pushover Analysis ให้ค่ามัธยฐาน (Median) ของอัตราส่วนของค่าการเคลื่อนที่สูงสุดบนยอดอาคาร (PDRD) เท่ากับ 0.982, 1.101 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เท่ากับ 0.294, 0.300 สำหรับการผลักแบบ 1 โหมด และ 3 โหมด ตามลำดับ พบว่าวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis) ให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากกว่าและยังมีความเบี่ยงเบนน้อยกว่าวิธี Modal Pushover Analysis

ผลการคำนวณโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักรให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากกว่า เนื่องจากวิธีการผลักอาคารแบบนี้ทำให้โครงสร้างมีค่าสติฟเนสที่ลดลงเนื่องจาก การเสื่อมถอยภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร ทำให้ความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ลดลง ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว เป็นผลทำให้ ค่าการเคลื่อนที่เข้าใกล้กับค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

ข) ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของแต่ละชั้นอาคาร (Peak Floor Displacement)

ผลการคำนวณโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักรให้ค่าใกล้เคียงกับวิธีที่ถูกต้องมากกว่าวิธีการผลักแบบรวมโหมด โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยตลอดความสูงอาคารเพียง 6.65%, 4.43%, 4.14%, 3.88% สำหรับรูปแบบ Laboratory Type, ATC-24, ISO, SPD ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความแตกต่างจากการผลักแบบโหมดที่ 1= 16.99% แบบรวม 2 โหมด = 8.84% แบบรวม 3 โหมด = 11.22%

สาเหตุที่ การผลักแบบวัฏจักรนี้ให้ผลการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับวิธีที่ถูกต้อง เนื่องจาก การผลักแบบวัฏจักรทำให้องค์อาคารบางชิ้นส่วนมีการเคลื่อนที่เกินจุดคราก เป็นผลทำให้ค่าสติฟเนสลดลงตามรอบการผลักที่มากขึ้นจากการเสื่อมลดกำลังต้านทานของโครงสร้างคอนกรีต

ค) ค่าอัตราส่วนระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Inter-storey Drift Ratio)

การผลักแบบวัฏจักรให้ผลการประเมินค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สูงสุดของแต่ละชั้นอาคาร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตลอดความสูงอาคารเท่ากับ 12.59%, 15.76%, 14.99%, 14.23% สำหรับรูปแบบ Laboratory Type, ATC-24, ISO, SPD ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าผลของการผลักแบบรวมโหมด ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตลอดความสูงอาคาร สำหรับการผลักแบบ 1 โหมด = 13.77% การผลักแบบ 2 โหมด = 23.52% การผลักแบบ 3 โหมด = 28.04%

ง) การเกิดข้อหมุนพลาสติกและค่าดัชนีความเสียหาย (Plastic Hinge Formation and Damage Index) การผลักแบบวัฏจักรรูปแบบ ATC-24, ISO, SPD ทำนายตำแหน่งการเกิดข้อหมุนพลาสติกได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ถูกต้อง และทำนายค่าดัชนีความเสียหายได้ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีความเสียหายเท่ากับ 2.08, 2.03, 2.11 สำหรับรูปแบบ ATC-24, ISO, SPD ตามลำดับ เทียบกับค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องเท่ากับ 2.20สำหรับรูปแบบ LAB-Type ไม่อาจทำนายตำแหน่งการเกิดข้อหมุนพลาสติกได้ดีพอ เนื่องจากไม่มีตำแหน่งการเกิดข้อหมุนพลาสติกสำหรับคานช่วงนอกและโคนเสาชั้นล่าง แม้ว่าค่าเฉลี่ยดัชนีความเสียหายเท่ากับ 2.24 จะใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากก็ตาม

เมื่อเปรียบเทียบกับการผลักแบบรวมโหมด พบว่า การผลักอาคารแบบนี้ไม่อาจทำนายตำแหน่งการเกิดข้อหมุนพลาสติกได้ดีพอ โดยให้ผลการทำนายตำแหน่งการเกิดข้อหมุนพลาสติกคล้ายกับการผลักแบบวัฏจักรในรูปแบบ LAB-Type ซึ่งไม่มีตำแหน่งการเกิดข้อหมุนพลาสติกสำหรับคานช่วงนอกและโคนเสาชั้นล่าง นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยดัชนีความเสียหายของการผลักแบบรวมโหมดเท่ากับ 2.76 มีค่าสูงกว่าค่าที่ถูกต้องมาก

โดยภาพรวมแสดงว่า การผลักอาคารแบบวัฏจักรสามารถทำนายการเกิดข้อหมุนพลาสติกและค่าดัชนีความเสียหายได้ดีเพียงพอ

นอกจากนี้ เนื่องจากวิธีการผลักแบบวัฏจักรทำให้เกิดข้อหมุนพลาสติกที่โคนเสาชั้นล่างและปลายคานในบริเวณชั้นล่าง ส่งผลให้โครงสร้างมีค่าสติฟเนสที่ลดลง ทำให้ความสามารถในการต้านทานการเคลื่อนที่ลดลง ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว เป็นผลทำให้ ค่าการเคลื่อนที่เข้าใกล้กับค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

5.3 อภิปรายผล

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักอาคาร (Pushover Analysis) เป็นการจำลองแรงกระทำในการศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างอาคาร จึงควรพิจารณาการใช้รูปแบบของแรงกระทำสำหรับการผลักอาคารให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว ผลการวิเคราะห์พบว่า วิธี Cyclic Pushover ให้ผลการตอบสนองของโครงสร้าง ได้แก่ ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดบนยอดอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของแต่ละชั้นอาคาร ค่าอัตราส่วนระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติกและระดับความเสียหาย ที่ใกล้เคียงกับวิธีที่ถูกต้องมากกว่า วิธีการผลักแบบรวมโหมด Modal Pushover

ทั้งนี้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบวัฏจักร ยังมีผลต่อการทำนายผลตอบสนองที่ถูกต้องอีกด้วย การผลักแบบวัฏจักรรูปแบบ ATC-24, ISO, SPD ให้ผลการทำนายค่าการเคลื่อนที่สูงสุดบนยอดอาคาร ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของแต่ละชั้นอาคาร ค่าอัตราส่วนระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น การเกิดข้อหมุนพลาสติกและระดับความเสียหาย ที่ใกล้เคียงกับวิธีที่ถูกต้องมากกว่า รูปแบบ LAB-Type

5.4 ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยครั้งต่อไป

วิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักรนี้มีประโยชน์ในการทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวได้ดี ควรมีการศึกษาสำหรับอาคารรูปแบบต่างๆ และมีขนาดความสูงต่างๆกัน เพื่อใช้ในการตรวจสอบพฤติกรรมของอาคารอย่างกว้างขวาง เนื่องจากปัจจุบันนี้ อาคารที่ได้มีการออกแบบและก่อสร้างแล้วเป็นจำนวนมาก มิได้มีการออกแบบให้สามารถต้านทานแผ่นดินไหวได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงค่าความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวของอาคารเหล่านี้ในหลายๆรูปแบบ คือ โครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง โครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป โครงสร้างกำแพงรับแรงเฉือน โครงสร้างผสมโครงข้อแข็ง-กำแพง เป็นต้น ทั้งนี้อาคารที่มีความเสี่ยงต่อการวิบัติในรูปแบบต่างๆ ควรมีวิธีการเสริมกำลังและตรวจสอบพฤติกรรมหลังการเสริมกำลังด้วย

นอกจากนี้ในการศึกษาพฤติกรรมต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร ควรมีการจำลองพฤติกรรมโครงสร้างให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงให้มากที่สุด ได้แก่ การจำลองโครงสร้างแบบ 3 มิติ การจำลองพฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรแบบต่างๆ การพิจารณาผลกระทบของแผ่นผนังกำแพงในโครงสร้าง

สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็มีส่วนสำคัญ ควรมีการคัดเลือกและวิเคราะห์หาคลื่นแผ่นดินไหวที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ภาคเหนือ และกรุงเทพรวมทั้งปริมณฑล ซึ่งควรมีการทำวิจัยขยายผลต่อไป อันจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบและหาแนวทางป้องกันภัยพิบัติที่อาจเกิดจากแรงแผ่นดินไหวในอนาคต