บทที่ 9
สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมและความเสียหายที่เกิดขึ้นในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว และศึกษาการปรับปรุงอาคารดังกล่าวมวลหน่วงปรับค่าซึ่งติดตั้งไว้ที่ชั้นบนสุดของอาคาร โดยใช้อาคารตัวอย่างความสูง 10 ชั้น ออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI-1995 และไม่คำนึงถึงแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ได้แก่ คลื่น El Centro (1940), SCT (1985) และ Northridge (1994)

การการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีใช้แรงดันด้านข้างแบบสถิตกระทำจนโครงสร้างพัง (Push-over หรือ collapse mode analysis) พบว่าค่าความถี่ธรรมชาติของอาคารตัวอย่างมีค่าประมาณ 0.46 เฮิรซ์ท ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิจัย

จากการติดตั้งระบบควบคุมการสั่นไหวพบว่าสามารถลดการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนสุดของอาคารได้ดี โดยประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงแบบแอกทีฟจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟและมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟตามลำดับ จากการวิจัยพบว่าระบบแอกทีฟจะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบแพสสีฟเนื่องจากระบบแบบแอกทีฟสามารถปรับค่าแรงให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนตำแหน่งได้ ส่วนประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงแบบแอกทีฟดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟเนื่องจากระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟต้องแบ่งแรงที่ออกโดยตัวออกแรงส่วนหนึ่งให้แก่สปริงและตัวหน่วง ทำให้ระบบมวลหน่วงแบบแอกทีฟมีการตอบสนองที่ไวกว่าจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อคลื่นแผ่นดินไหวมีความเร่งสูงสุดที่พื้นดินเพิ่มขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการลดการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนสุดของอาคารลดลงเนื่องมาจากความเหมาะสมของระบบควบคุมลดลง เพราะระบบควบคุมคิดคุณสมบัติไว้ในช่วงอีลาสติดแต่โครงสร้างเกิดพฤติกรรมในช่วงอินอีลาสติก และเมื่อความเร่งสูงสุดที่พื้นดินเพิ่มขึ้นระบบควบคุมแบบแอกทีฟต้องการแรงที่ออกโดยตัวออกแรงเพิ่มขึ้นเพื่อให้ประสิทธิภาพเท่าเดิม แต่ในการวิจัยนี้ได้กำหนดแรงสูงสุดของตัวออกแรงไว้ และเมื่อความเร่งสูงสุดที่พื้นดินมีค่ามากการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความเสียหาย

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบควบคุมการสั่นไหวในช่วงก่อนโครงสร้างเกิดการครากขึ้นในเสาพบว่าการติดตั้งระบบควบคุมการสั่นไหวสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหวก่อนเกิดการครากได้เพิ่มขึ้นโดยระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟเพิ่มได้ 5 – 12 เปอร์เซ็นต์ ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟเพิ่มได้ 13 – 36 เปอร์เซ็นต์ และระบบมวลหน่วงแบบแอกทีฟเพิ่มได้ 29 – 55 เปอร์เซ็นต์

จากการวิจัยพบว่าชั้นที่มีการลดหน้าตัดเสาจะมีความเสียหายเกิดขึ้นมากเนื่องจากการลดหน้าตัดเสาทำให้กำลังของเสาลดลงมาทำให้โมเมนต์ที่เกิดในเสาชั้นที่ลดหน้าตัดถึงค่าโมเมนต์ที่ออกแบบก่อนเสาชั้นอื่นทำให้เสาที่ชั้นดังกล่าวเกิดการครากก่อนเสาชั้นอื่น และเมื่อเสาดังกล่าวเกิดการครากทำให้กำลังลดลง แม้ว่าจะภายหลังจะเกิดโมเมนต์เท่าเดิมก็ทำให้เสาเกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นได้ เมื่อเสาเกิดการครากขึ้นพบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นเพิ่มขึ้นแม้ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นบนสุดของอาคารลดลงก็ตาม สาเหตุเนื่องมาจากระบบควบคุมพยายามลดพลังงานการสั่นไหวรวมของโครงสร้าง แม้ว่าพลังงานการสั่นไหวจะเพิ่มขึ้นในบางชั้นแต่ถ้าพลังงานรวมลดลงอัลกอริทึมจะคิดว่าการควบคุมดังกล่าวดีอยู่ เมื่อพิจารณาค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดพบว่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความเสียหายรวมเกิดมาจากการเคลื่อนที่

จากการพิจารณาค่าความเสียหายระดับชั้นสูงสุดพบว่าเมื่อมีการติดตั้งระบบควบคุมการสั่นไหวค่าความเสียหายสูงสุดมีแนวโน้มที่จะลดลงในช่วงที่คลื่นแผ่นดินไหวมีความเร่งสูงสุดที่พื้นดินมีค่าน้อย โดยที่ความเร่งดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.40 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในคลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นแผ่นดินไหว Northridge และมีค่าเท่ากับ 0.11 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในคลื่นแผ่นดินไหว SCT-85 โดยที่ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งที่พื้นดินสูงสุดดังกล่าว โครงสร้างที่ไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมการสั่นไหวมีค่าความเสียหายระดับชั้นสูงสุดประมาณ 0.20 จะมีข้อยกเว้นบ้างเช่นในคลื่นแผ่นดินไหว El Centro พบว่าที่ความเร่งสูงสุดที่พื้นดินมีค่าเท่ากับ 0.25 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ระบบควบคุมการสั่นไหวแบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟจะเพิ่มค่าความเสียหายสูงสุด

เมื่อพิจารณาชั้นที่เกิดความเสียหายสูงสุดพบว่าความเสียหายขนาดรุนแรง (DI > 0.77) จะเกิดที่ชั้นบนของโครงสร้างโดยพิจารณาได้จากคลื่นแผ่นดินไหว SCT-85 ที่มีขนาดความเร่งสูงสุดที่พื้นดินเท่ากับ 0.15 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกพบว่าค่าความเสียหายประมาณ 0.6 – 1.0 ซึ่งความเสียหายดังกล่าวเกิดขึ้นที่ชั้นบนของอาคารได้แก่ชั้นที่ 9 และ 10 ค่าความเสียหายที่มากดังกล่าวเกิดได้จากการที่ติดตั้งระบบควบคุมการสั่นไหวที่ชั้นบนสุดของอาคารทำให้ชั้นบนของอาคารรับแรงที่กระทำจากระบบควบคุมการสั่นไหวที่มากกว่าชั้นอื่นๆ เมื่อชั้นดังกล่าวเกิดความเสียหายขึ้นทำให้กำลังรับแรงลดลงและเมื่อรับแรงจากระบบควบคุมการสั่นไหวที่มากทำให้ชั้นดังกล่าวเกิดความเสียหายที่มากได้