บทที่ 7

บทสรุป

การติดตั้งระบบมวลหน่วงที่ประกอบด้วยมวล สปริง และตัวหน่วงที่ออกแบบไว้อย่างเหมาะสม เข้ากับโครงสร้างหลักเพื่อช่วยลดการสั่นไหวนั้น สามารถลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับการที่ไม่ได้ทำติดตั้งระบบมวลหน่วง เนื่องจากระบบมวลหน่วงจะช่วยดูดซับและสลายพลังงานการสั่นไหวมาจากโครงสร้างหลัก ทำให้การสั่นไหวของโครงสร้างหลักมีค่าลดลง โดยความสามารถในการรับและสลายพลังงานที่กล่าวมานั้น ขึ้นอยู่กับขนาดมวลหน่วง ค่าสติฟเนสของสปริงและอัตราส่วนความหน่วงของระบบมวลหน่วงที่เลือกใช้ ซึ่งโดยทั่วไปค่าสติฟเนสของสปริงจะถูกออกแบบเพื่อให้ระบบมวลหน่วงมีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเพื่อให้ระบบมวลหน่วงมีขนาดการสั่นมากในสภาวะที่โครงสร้างเกิดการสั่นพ้อง (เป็นสภาวะที่โครงสร้างมีการสั่นไหวมากสุด) ส่วนอัตราส่วนความหน่วงนั้นมีผลต่อการรับและสลายพลังงานโดยตรง โดยถ้าตัวหน่วงมีความหน่วงน้อย พลังงานการสั่นไหวจากโครงสร้างหลักจะถูกถ่ายเทเข้าสู่ระบบมวลหน่วงได้เป็นอย่างดีในกรณีที่โครงสร้างอยู่ในสภาวะสั่นพ้อง ในขณะเดียวกันความสามารถในการสลายพลังงานของระบบมวลหน่วงก็จะมีค่าน้อยไปด้วย จึงทำให้มีพลังงานบางส่วนถูกถ่ายกลับคืนเข้าสู่โครงสร้างหลักได้เมื่อแรงที่กระทำต่อโครงสร้างมีค่าเปลี่ยนไป ส่วนถ้าตัวหน่วงมีความหน่วงมาก แม้จะทำให้ระบบมวลหน่วงมีความสามารถในการสลายพลังงานได้มากขึ้นแต่ในทางกลับกันจะทำให้รับพลังงานจากโครงสร้างได้น้อยเช่นกัน จึงทำให้พลังงานการสั่นไหวคงเหลือในโครงสร้างหลักอยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นในกรณีที่ระบบมวลหน่วงเป็นแบบแพสสีฟ จึงต้องทำการใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงและความถี่ของมวลหน่วงที่เหมาะสม ซึ่งในอดีตได้มีการศึกษาและสรุปเป็นสมการสำหรับการออกแบบไว้แล้วเช่นการศึกษาของ Den Hartog (1956) ส่วนในกรณีที่ระบบมวลหน่วงเป็นแบบเซมิแอกทีฟนั้น ค่าอัตราส่วนความหน่วงจะสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสภาพการสั่นไหวในขณะใด ๆ ของโครงสร้าง เพื่อให้ระบบมีความใกล้เคียงกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแอกทีฟให้มากที่สุด เนื่องจากมีข้อจำกัดตรงที่ แรงที่กระทำกับโครงสร้างในระบบนี้เป็นผลเนื่องมาจากผลคูณระหว่างค่าความหน่วงของตัวหน่วงปรับค่ากับค่าความเร็วสัมพัทธ์ของระบบมวลหน่วง ซึ่งในความเป็นจริง อุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวหน่วงแม้จะสามารถปรับค่าความหน่วงได้แต่ก็มีขอบเขตของการปรับค่า แต่ระบบนี้ก็มีข้อดีตรงที่ว่าเป็นระบบที่ไม่สามารถเพิ่มพลังงานเข้าสู่ระบบโดยตรงเหมือนระบบแอกทีฟ ดังนั้นจึงมีเสถียรภาพมากกว่าเมื่อระบบควบคุมเกิดการผิดพลาดขึ้น อีกทั้งราคายังถูกกว่าอีกด้วย

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟมีความน่าสนใจในการนำไปใช้จริงกับโครงสร้างเนื่องจากสามารถปรับค่าความหน่วงให้เหมาะสมกับสภาพการสั่นไหวในขณะใด ๆ ซึ่งสามารถรับและสลายพลังงานจากโครงสร้างหลักได้ดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟกับอาคารสูง 76 ชั้น ภายใต้แรงลม ซึ่งเป็นการศึกษาในงานวิจัยนี้

7.1 สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอาคารตัวอย่างสูง 76 ชั้น ที่จะทำการก่อสร้างที่ประเทศออสเตรเลีย โดยค่าเมตริกซ์ของมวล สติฟเนส ความหน่วง และแรงลมที่กระทำ จะใช้ข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลที่ได้จากการทดลองของมหาลัยซิดนีย์ [Samali และคณะ (1998)] ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟ(ค่าอัตราส่วนความหน่วงของระบบมวลหน่วงสามารถปรับค่าได้ในช่วง 0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 300 เปอร์เซ็นต์)เทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟในการลดการสั่นไหวของอาคารภายใต้แรงที่เป็นแบบฮาร์โมนิค และแรงลมที่ได้จากการทดลองในอุโมงค์ลม โดยพิจารณาถึงผลของขนาดมวลหน่วง อัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้าง และความคลาดเคลื่อนของค่าสติฟเนสของโครงสร้าง อีกทั้งยังทำการศึกษาโครงสร้างในแบบระดับขั้นความเสรีเดี่ยว และหลายระดับขั้นความเสรีโดยนำวิธีการลดลำดับของแบบจำลองมาช่วยลดเวลาในการคำนวณ โดยทำการพิจารณาในกรณีที่ค่าอัตราส่วนของมวลหน่วงต่อมวลของโครงสร้างในโหมดที่ 1 อยู่ในช่วง 1 เปอร์เซ็นต์ ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างอยู่ในช่วง 1 เปอร์เซ็นต์ ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ทำการศึกษาความไวของประสิทธิภาพต่อความคลาดเคลื่อนของค่าสติฟเนสของโครงสร้างจะกำหนดให้อัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างมีค่าคงที่เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ และทำการพิจารณาความคลาดเคลื่อนของค่าสติฟเนสของโครงสร้างอยู่ในช่วงบวกลบ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยการวิจัยตามที่กล่าวมานั้นนอกจากจะทำการเปรียบประสิทธิภาพของทั้งสองระบบควบคุมโดยพิจารณาถึงระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่เกิดขึ้นแล้ว ยังได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยพิจารณาขนาดมวลของระบบมวลหน่วงจากทั้งสองระบบควบคุมที่ให้ระยะการเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นวิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงมากกว่า ซึ่งจากการวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ถ้าต้องการให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดและการเคลื่อนที่ในช่วงคงตัวของโครงสร้างภายใต้แรงที่เป็นแบบฮาร์โมนิคได้ใกล้เคียงกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟนั้น จะต้องใช้มวลหน่วงที่มีขนาดอย่างน้อยประมาณ 2 เท่าของมวลเดิม และอย่างน้อยประมาณ 2.4 ถึง 7.3 เท่าของมวลเดิม ตามลำดับ เนื่องจากระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟสามารถปรับค่าอัตราส่วนความหน่วงให้มีค่าลดลงได้ ทำให้สามารถดูดซับพลังงานการสั่นไหวของโครงสร้างในสภาวะสั่นพ้องซึ่งเป็นสภาวะที่โครงสร้างมีการสั่นไหวมากที่สุดได้ดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟที่ค่าอัตราส่วนความหน่วงมีค่าคงที่

- ถ้าต้องการให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดและการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างภายใต้แรงลมที่มีความถี่ของแรงลมส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับความถี่หลักของโครงสร้างได้ใกล้เคียงกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟนั้น จะต้องใช้มวลหน่วงที่มีขนาดประมาณ 1.4 ถึง 5.7 และประมาณ 1.8 ถึง 3.5 เท่าของมวลเดิม ตามลำดับ ในกรณีทำการวิเคราะห์แบบระดับขั้นความเสรีเดี่ยว แต่จะต้องใช้มวลหน่วงที่มีขนาดประมาณ 1.1 ถึง 4.6 และประมาณ 1.6 ถึง 2.8 เท่าของมวลเดิม ตามลำดับ ในกรณีทำการวิเคราะห์แบบหลายระดับขั้นความเสรี ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากพิจารณาการสั่นไหวของโครงสร้างด้วยการจำลองอาคารเป็นแบบหลายระดับขั้นความเสรี ประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟเทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟมีค่าลดลง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการหาค่าเมตริกซ์น้ำหนักสำหรับพลังงานที่ใช้ควบคุมการสั่นไหวที่ทำให้ค่าการสั่นไหวในโหมดแรกน้อยที่สุดเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงค่าการสั่นไหวในโหมดอื่น ๆ ส่วนในกรณีที่โครงสร้างรับแรงที่มีความถี่ส่วนใหญ่ต่างกับความถี่หลักของโครงสร้างมากนั้น ประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของทั้งสองระบบนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน

- เมื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างเปลี่ยนไป ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟและเซมิแอกทีฟมีความไวของประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งระบบมวลหน่วง ซึ่งโดยรวมระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟก็ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า เนื่องจากเมื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างเปลี่ยนไป จะทำให้ค่าความถี่หลักของโครงสร้างเปลี่ยนไป ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟที่ออกแบบค่าความหน่วงที่มีค่าคงที่และมีความเหมาะสม ณ ความถี่หลักของโครงสร้างเดิมจึงสามารถดูดซับพลังงานการสั่นไหวได้ลดลง แต่ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟนั้นสามารถปรับค่าความหน่วงเพื่อให้สามารถดูดซับพลังงานการสั่นไหวของโครงสร้างที่มีลักษณะเปลี่ยนไปเพิ่มขึ้นได้ จึงสามารถดูดซับพลังงานจากโครงสร้างได้ดีกว่า และประสิทธิภาพในการลดระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่ดีกว่านั้นมีค่าลดลงเมื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างมีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งถ้าต้องการให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดและการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของ

โครงสร้างภายใต้แรงลมที่มีความถี่ของแรงลมส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับความถี่หลักของโครงสร้างได้ใกล้เคียงกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟนั้น จะต้องใช้มวลหน่วงที่มีขนาดประมาณ 1.0 ถึง 3.8 เท่าของมวลเดิม และประมาณ 1.0 ถึง 2.8 เท่าของมวลเดิม ตามลำดับ

- การใช้วิธีการลดลำดับของแบบจำลองช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างแบบหลายระดับขั้นความเสรี สามารถลดระยะเวลาในการคำนวนจากเดิมได้ประมาณ 6 ถึง 7 เท่า โดยผลที่ได้จากวิธีนี้มีค่าเท่ากันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างแบบระบบเต็ม

ซึ่งจากผลที่ได้จากการวิจัยที่กล่าวมานั้น สามารถกล่าวได้ว่า ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟสามารถลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้ดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ ในสภาวะที่โครงสร้างเกิดการสั่นพ้องหรือใกล้เคียง ซึ่งเป็นกรณีที่ก่อให้เกิดปัญหาในการใช้งานเนื่องจากโครงสร้างมีการสั่นไหวที่มากที่สุด โดยเทียบเท่ากับการใช้ขนาดมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟที่มากขึ้นเป็นจำนวนหลายเท่า ส่วนในกรณีที่โครงสร้างรับแรงลมที่มีความถี่ส่วนใหญ่ต่างกับความถี่หลักของโครงสร้างมากนั้น ประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของทั้งสองระบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในกรณีนี้เป็นกรณีที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้าง และการออกแบบในการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟนั้นควรทำการเผื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างให้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้มาจากการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อให้ระบบมวลหน่วงคงประสิทธิภาพที่ดีอยู่เมื่อค่าสติฟเนสจริงของโครงสร้างมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

7.2 ข้อเสนอแนะ

หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟให้ดียิ่งขึ้นนั้น จะต้องมีการพัฒนาแอลกอริทึมควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงตามการตอบสนองของระบบและทำงานได้ดีในทุกช่วงความถี่ของแรงภายนอกที่มากระทำต่อโครงสร้าง เนื่องจากแอลกอรึทึมที่ใช้ในการทำการวิจัยนี้นั้นมีรูปแบบตายตัวและทำงานได้ดีในช่วงความถี่ของแรงภายนอกใกล้เคียงกับความถี่หลักของอาคารที่ติดตั้งระบบไว้เท่านั้น อีกทั้งในการวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้เพียงการพิจารณาโครงสร้างเป็นแบบอิลาสติกเชิงเส้นและพิจารณาการสั่นไหวเฉพาะแนวราบในทิศทางเดียว ดังนั้นการศึกษาในกรณีที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น จึงเป็นสิ่งที่น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติม