บทที่ 7
บทสรุป

การติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟซึ่งประกอบด้วยมวล, สปริง และตัวหน่วงที่ออกแบบไว้อย่างเหมาะสมจะทำให้ลดการสั่นไหวของอาคารได้เป็นอย่างดี ซึ่งในอดีตได้มีผลงานการศึกษาเกี่ยวกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟนี้มากมายซึ่งสามารถสรุปได้ว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟจะมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีขึ้นกับ 2 ปัจจัยคือ เฟส และขนาดการสั่นของมวลหน่วง ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้มีผลต่อแรงปฏิกิริยาของตัวหน่วงที่กระทำต่อโครงสร้างทำหน้าที่เสมือนเป็นแรงหน่วงของโครงสร้างเองจึงทำให้พลังงานของโครงสร้างมีค่าลดลง ค่าสติฟเนสของสปริงจะถูกออกแบบเพื่อให้มวลหน่วงมีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเพื่อให้มวลหน่วงมีขนาดการสั่นมากจากการกำทอน การเลือกค่าอัตราส่วนความหน่วงของตัวหน่วงมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟมาก ถ้าตัวหน่วงมีความหน่วงน้อยจะทำให้มวลหน่วงสามารถรับพลังงานที่ถ่ายมาจากโครงสร้างได้เป็นอย่างดีในขณะเดียวกันตัวหน่วงมีความสามารถในการสลายพลังงานที่น้อยจะทำให้พลังงานถูกถ่ายกลับคืนมาสู่โครงสร้างได้ ในขณะที่การเลือกตัวหน่วงที่มีความหน่วงมากจะทำให้มีการสลายพลังงานได้มากแต่ทำให้รับพลังงานจากโครงสร้างได้น้อย ค่าอัตราส่วนความหน่วงและความถี่ของมวลหน่วงที่เหมาะสมได้มีการศึกษาและสรุปเป็นสมการสำหรับการออกแบบไว้แล้วเช่นในผลการศึกษาของ Den hartog (1956)

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟในการลดการสั่นไหวของอาคารจะมีประสิทธิภาพดีโดยเฉพาะในกรณีที่แรงที่มากระทำมีลักษณะใกล้เคียงสัญญาณแบบฮาร์โมนิก เช่น แรงลม แต่จากการศึกษาพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าให้สูงขึ้นได้อย่างมากโดยการกำหนดให้ตัวหน่วงที่ใช้มีความสามารถในการปรับค่าความหน่วงได้ซึ่งเป็นระบบที่มีลักษณะเป็นแบบกึ่งแอกทีฟซึ่งเป็นระบบงานวิจัยนี้ได้ศึกษา

7.1 สรุปผล

ในงานศึกษานี้ได้ใช้อัลกอริทึมควบคุมแบบควอดราติกเชิงเส้นทำให้ได้อัลกอริทึมควบคุมการปรับค่าความหน่วงของตัวหน่วงที่มีรูปแบบอย่างง่ายในการคำนวณค่าแรงควบคุมที่ต้องการ โดยจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟในการลดการสั่นไหวของอาคารภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวทั้งที่เป็นสัญญาณแบบฮาร์โมนิก และการใช้ลักษณะของคลื่นสัญญาณแผ่นดินไหวระยะไกลที่เคยเกิดขึ้นในอดีตผ่านมา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสั่นไหวของโครงสร้างได้แสดงให้เห็นว่าทั้งการใช้มวลหน่วงปรับ

ค่าแบบแพสสีฟหนึ่งหน่วย, มวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟหลายหน่วยและการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟสามารถช่วยในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้เป็นอย่างดีทั้งในกรณีที่คลื่นแผ่นดินไหวเป็นแบบฮาร์โมนิกและกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริง โดยจากผลที่ได้พบว่าการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟที่กำหนดช่วงความสามารถในการปรับค่าของตัวหน่วงเป็น 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าอัตราส่วนความหน่วงวิกฤติสามารถช่วยลดการสั่นไหวของอาคารได้ดีกว่าการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วย ทั้งนี้เพราะการที่ตัวหน่วงสามารถปรับค่าความหน่วงได้ทำให้สามารถรับพลังงานจากโครงสร้างและสลายพลังงานออกได้ในจังหวะที่เหมาะสม

ตัวหน่วงในระบบกึ่งแอกทีฟที่ใช้ในการศึกษานี้กำหนดให้มีความสามารถในการปรับค่าความหน่วงในช่วงจำกัดคือมีค่าอัตราส่วนความหน่วงต่ำสุดและสูงสุดที่ตัวหน่วงสามารถปรับค่าได้ ข้อจำกัดนี้ทำให้ตัวหน่วงทำงานได้ไม่เต็มที่ตามแรงที่ต้องการในอัลกอริทึมควบคุมที่ใช้ นั่นคือในจังหวะที่ต้องการแรงที่มากตัวหน่วงจะปรับค่าความหนืดให้มีค่ามากเพื่อให้เกิดแรงปฏิกิริยามาก แต่ในจังหวะที่แรงควบคุมที่ต้องการมีทิศทางตรงข้ามกับแรงปฏิกิริยาของตัวหน่วง ตัวหน่วงก็จะปรับค่าความหน่วงของตัวเองให้มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขีดจำกัดในการปรับค่าความหน่วงของตัวหน่วงมีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟเป็นอย่างมาก

ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟนี้สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้โดยพิจารณาการวิเคราะห์เป็นสองแนวทางคือการพิจารณาความสามารถในการปรับค่าความหน่วงของตัวหน่วงและการเปลี่ยนอัลกอริทึมที่ใช้ในการปรับค่าความหน่วงโดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์ **R** ในดัชนีคุณภาพของวิธีการควบคุมแบบควอดราติกเชิงเส้น จากการศึกษาพบว่าการเลือกใช้ตัวหน่วงที่มีช่วงความสามารถในการปรับค่ามากจะทำให้ระบบมวลหน่วงมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากเลือกค่าพารามิเตอร์ **R** ที่เหมาะสมกับความสามารถของตัวหน่วงนั้น หากการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ **R** ที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ได้อัลกอริทึมควบคุมที่ไม่ดีซึ่งอาจจะทำให้ตัวหน่วงที่มีความสามารถมากกว่าแต่กลับทำให้มีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวที่ด้อยกว่า

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟในทางปฏิบัติโดยใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าไว้ภายในซึ่งตัวหน่วงชนิดนี้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในตัวหน่วงได้จากการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวหน่วง ตัวหน่วงที่ใช้มีความสามารถในการปรับค่าแรงปฏิกิริยา

ได้สูงสุดประมาณ 1,200 นิวตัน ในงานวิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของตัวหน่วงนี้ในห้องทดสอบ โดยใช้เครื่องออกแรงทำให้ตัวหน่วงยืดหดในลักษณะฮาร์โมนิก ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วยขนาดการยืดหดของตัวหน่วงและค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวหน่วง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบทำให้สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวหน่วงได้ จากแบบจำลองที่ได้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้ตัวหน่วงผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าตัวหน่วงที่ใช้สามารถช่วยในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้เป็นอย่างดีในกรณีที่ค่าความเร่งสูงสุดที่ฐานมีค่าไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากว่าค่าแรงปฏิกิริยาที่ตัวหน่วงสามารถปรับค่าได้มีขนาดแรงน้อย การพิจารณาใช้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีความเร่งสูงมากขึ้นจะทำให้การปรับเปลี่ยนค่าแรงในตัวหน่วงมีผลน้อยมากต่อค่าแรงที่ต้องการในการควบคุม แต่อย่างไรก็ตามตัวหน่วงยังคงมีสภาพเป็นตัวหน่วงที่ใช้ในระบบแพสสีฟได้เพียงแต่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ถ้าต้องการที่จะให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าได้ผลดีกับการสั่นไหวที่มีขนาดมากขึ้นจึงจำเป็นจะต้องใช้ตัวหน่วงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาปรับให้เป็นตัวหน่วงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยอ้างอิงจากข้อมูลการทดสอบตัวหน่วงที่มีขนาดแรงปฏิกิริยาประมาณ 200 กิโลนิวตัน พบว่าสามารถใช้ได้ผลดีกับคลื่นแผ่นดินไหวที่มีขนาดสูงถึงประมาณ 20 gals โดยสามารถลดค่าระยะการสั่นสูงสุดของโครงสร้างและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของระยะการสั่นไหวของโครงสร้าง

7.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาที่ได้เสนอในรายงานฉบับนี้กำหนดให้อัลกอริทึมที่ใช้ควบคุมมีรูปแบบตายตัวซึ่งเชื่อว่าหากมีการพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามการตอบสนองของระบบจะสามารถทำให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและมีช่วงความถี่ประสิทธิผล (Effective bandwidth) มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟนี้ยังคงเป็นระบบที่ทำงานได้จากการสลายพลังงานไม่สามารถสร้างพลังงานขึ้นเองได้จึงทำให้ระบบนี้ทำงานได้ดีในช่วงที่ความถี่ของแรงภายนอกใกล้เคียงกับความถี่ของอาคารที่ติดตั้งระบบไว้เท่านั้น และเนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาขั้นเริ่มต้นของการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟจึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้เพียงการวิเคราะห์แบบยืดหยุ่น ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่พิจาณาโครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบไม่ยืดหยุ่นจึงเป็นสิ่งที่น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติม