บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปผลที่ได้จากการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดผสมแบบเสียดทานที่ปรับค่าได้ (viscous-plus-variable-friction damping force algorithm, VVF) โดยนำข้อดีในด้านการลดระยะเคลื่อนที่ของรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบเสียดทานกับข้อดีในด้านการลดความเร่งของรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดมาผสมกันและทำให้เกิดการสลายพลังงานได้มาก

2. จากการทดสอบตัวหน่วงของเหลวแม่เหล็กภายใต้การเคลื่อนที่แบบวัฏจักร พบว่าค่าแรงหน่วงจะมากขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้า ความถี่ และ ระยะเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวหน่วงของเหลวแม่เหล็กถูกจำลองโดยชิ้นส่วนแรงเสียดทานและชิ้นส่วนความหนืดต่อขนานกัน

3. จากการทดสอบตัวหน่วงของเหลวแม่เหล็กภายใต้รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบเสียดทาน แบบหนืด แบบหนืดไม่เชิงเส้น และแบบ VVF พบว่าค่าแรงหน่วงที่วัดได้น้อยกว่าค่าแรงหน่วงที่สั่งจึงต้องมีการชดเชยความต่างศักย์ที่ป้อนให้กับตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของแรงหน่วง จากผลการทดสอบที่ความถี่ 1 Hz พบว่าเมื่อค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.04 V/N สามารถลดผลต่างของแรงหน่วงได้ดีสุด แต่ในช่วงที่ความเร็วต่ำๆ ค่าแรงหน่วงที่วัดได้จะมากกว่าค่าแรงหน่วงที่สั่งในช่วงที่ความเร็วเปลี่ยนเครื่องหมายโดยค่าผลต่างของแรงจะมากขึ้นเมื่อค่าสัดส่วนมากขึ้น เนื่องจากผลของความล่าช้าของการทำงานของตัวหน่วง เมื่อความถี่เป็น 2 Hz ค่าแรงที่ต่างจะมากขึ้น เพื่อที่จะแก้ปัญหาในส่วนนี้ จึงได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา 2 วิธี คือ (1) วิธีที่ไม่ต้องมีการชดเชยความต่างศักย์เมื่อความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (2) การให้กระแสไฟฟ้าเท่ากับศูนย์เมื่อความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด ผลการทดสอบพบว่าทั้งสองวิธีสามารถลดผลเนื่องจากความล่าช้าของตัวหน่วงได้ดีที่ความถี่ 1 Hz แต่เมื่อความถี่เป็น 2 Hz พบว่าแรงหน่วงมีความแตกต่างกันซึ่งแสดงถึงข้อจำกัดของการใช้ตัวหน่วงของเหลวแม่เหล็กที่ความถี่สูงๆ

4. เพื่อศึกษาประสิทธิผลของตัวหน่วงปรับค่าได้ที่มีรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบ VVF ในการควบคุมผลตอบสนองไม่เชิงเส้นของแบบจำลองอาคาร จึงได้ทำการทดสอบแบบจำลองอาคารโครงสร้างเหล็กสูง 3 ชั้น กว้าง 40 cm ยาว 80 cm สูงประมาณ 1 m มีค่าคาบธรรมชาติของโหมด 1, 2 และ 3 เป็น 0.73, 0.25 และ 0.17 s ตามลำดับ มีการติดตั้งตัวหน่วงของเหลวแม่เหล็กภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว JMA Kobe และ คลื่น El Centro ที่ระดับความเข้มต่างๆ โดยมีรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบเสียดทาน แบบหนืด และ แบบ VVF สำหรับผลการทดสอบกรณีคลื่น JMA Kobe ที่ระดับความเข้ม 20% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการควบคุมพบว่ารูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบ VVF สามารถลดระยะเคลื่อนที่สูงสุดของเสาชั้น 1 และ 3 ได้ 33% และ 14% ตามลำดับ พลังงานที่สลายในเสาชั้น 1 และ 3 ลดลง 80% และ 2% ตามลำดับ ค่าความเร่งของชั้น 1 และ 3 ลดลง 22% และ 14% พลังงานที่สลายในตัวหน่วงสูงสุด 6.4 N.m เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการควบคุมทั้งสามแบบพบว่ารูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบเสียดทานลดระยะเคลื่อนที่และพลังงานที่สลายในเสาได้ดีสุด ส่วนรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบ VVF ลดค่าความเร่งได้ดีใกล้เคียงกับแบบหนืดและมีการสลายพลังงานในตัวหน่วงสูงสุด

5. จากการวิเคราะห์อาคารเหล็กสูง 3 ชั้นขนาดกว้าง 36.58 m ยาว 54.87 m สูง 11.89 m มีค่าคาบธรรมชาติของสามโหมดแรกคือ 1.01 s, 0.33 s และ 0.17 s มีการติดตั้งตัวหน่วงของเหลวแม่เหล็กระหว่างฐานกับพื้นชั้น 1 โดยมีรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบเสียดทาน แบบหนืด และแบบหนืดไม่เชิงเส้นซึ่งใช้แทนแบบ VVF ซึ่งมีลักษณะคล้ายกัน เพื่อลดผลตอบสนองไม่เชิงเส้นของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว JMA Kobe และ El Centro ที่ระดับความเข้มต่างๆกัน สำหรับผลการวิเคราะห์กรณีคลื่น JMA Kobe ที่มีขนาดเท่าของจริง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการควบคุมพบว่ารูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดไม่เชิงเส้นซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง 50 MN.s/m ค่าแรงที่กำหนด 9 MN สามารถลดค่าความเหนียวในเสาสูงสุดได้ 58% และลดค่าความเหนียวในคานสูงสุดได้ 22% ระยะเคลื่อนที่สูงสุดของเสาชั้น 1 และ 3 ลดลง 47% และ 20% ตามลำดับ ค่าความเร่งสูงสุดของชั้น 1 และ 3 ลดลง 28% และ 8% ตามลำดับ พลังงานที่สลายในตัวหน่วงสูงสุดมีค่า 4.2 MN.m จากการเปรียบเทียบทั้งสามรูปแบบการควบคุมพบว่า รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดไม่เชิงเส้นและแบบเสียดทานสามารถลดค่าความเหนียวในเสาและคานได้ดีใกล้เคียงกันและสามารถลดได้ดีกว่าแบบหนืด รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบเสียดทานมีแนวโน้มลดระยะเคลื่อนที่ได้ดี รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดสามารถลดค่าความเร่งสูงสุดได้ดีที่สุด ส่วนรูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดไม่เชิงเส้นสามารถลดระยะเคลื่อนที่สูงสุดได้ดีกว่าแบบหนืด และสามารถลดค่าความเร่งสูงสุดได้ดีกว่าแบบเสียดทาน นอกจากนี้มีการสลายพลังงานในตัวหน่วงได้สูงสุด ซึ่งผลการวิเคราะห์มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์อาคารมาตรฐานไม่สามารถทำการวิเคราะห์รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดผสมแบบเสียดทานที่ปรับค่าได้เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณไม่รองรับคำสั่งที่จำเป็นสำหรับการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดผสมแบบเสียดทานที่ปรับค่าได้จึงใช้รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดไม่เชิงเส้นแทนซึ่งมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน ในอนาคตจึงควรวิเคราะห์รูปแบบการควบคุมแรงหน่วงแบบหนืดผสมแบบเสียดทานที่ปรับค่าได้เพื่อตรวจสอบประสิทธิผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย