บทที่ 6

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างและความไวของประสิทธิภาพต่อความคลาดเคลื่อนของค่าสติฟเนสของโครงสร้างระหว่างการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟกับการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟภายใต้แรงลมที่ได้จากการทดลองในอุโมงค์ลมที่ทำการปรับค่าแล้ว

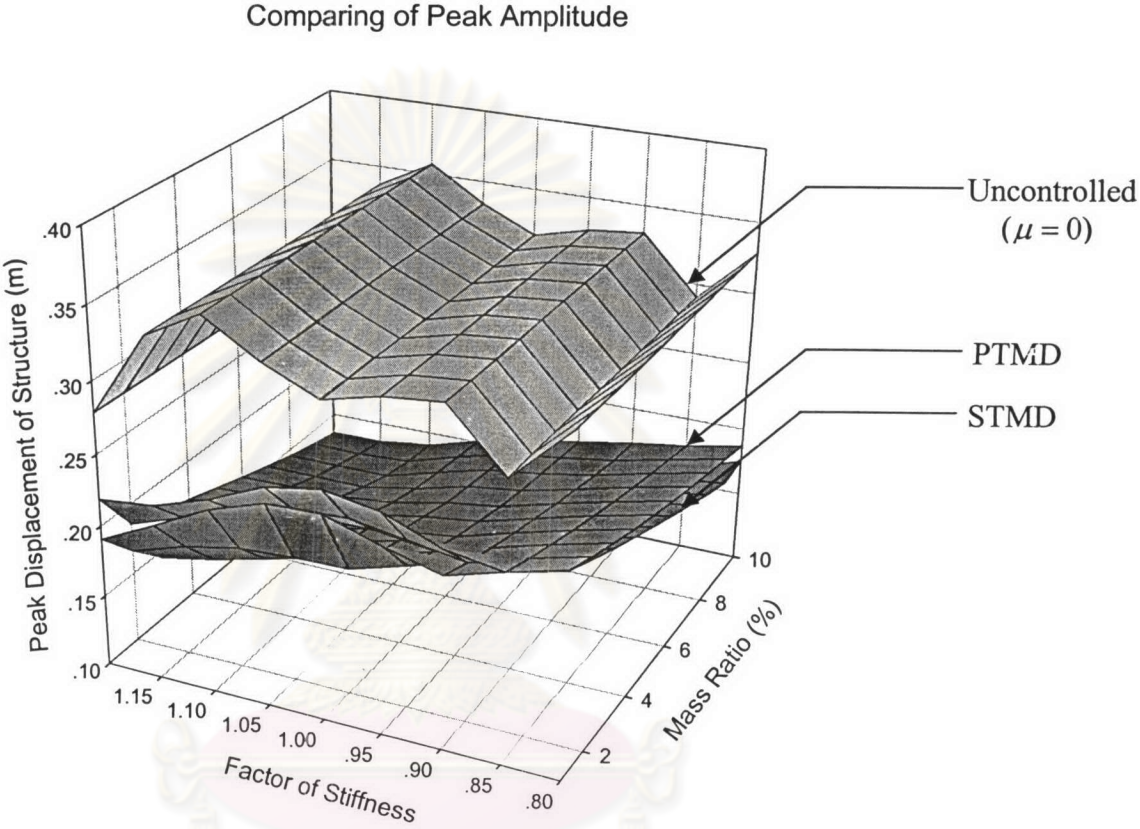
การศึกษาในบทนี้จะทำการศึกษาเฉพาะแรงลมที่ได้ทำการปรับค่าให้มีความถี่ของแรงลมโดยส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับความถี่หลักของโครงสร้างแล้ว เนื่องจากเป็นกรณีที่ทำให้โครงสร้างมีค่าการสั่นไหวมากกว่ากรณีโดยทั่วไป โดยในบทนี้จะทำการศึกษาความไวของประสิทธิภาพต่อความคลาดเคลื่อนของค่าสติฟเนสของโครงสร้างของระบบมวลหน่วงปรับค่า เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว โครงสร้างโดยทั่วไปนั้น ไม่สามารถที่จะทราบถึงค่าสติฟเนสของโครงสร้างที่แท้จริงได้ ค่าที่ได้มานั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไม่มากก็น้อย ดังนั้นค่าสติฟเนสที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลตอบสนองนั้นจึงอาจส่งผลให้ผลตอบสนองที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนด้วย โดยในที่นี้จะทำการปรับค่าสติฟเนสของโครงสร้างโดยการนำค่าคงที่มาคูณทั้งเมตริกซ์ของค่าสติฟเนส โดยค่าความคลาดเคลื่อนนั้นจะพิจารณาในช่วงบวกลบ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าคงที่ที่นำไปคูณจึงเป็นค่าระหว่าง 0.8 ถึง 1.2 นั่นเอง และเรียกค่าคงที่นั้นว่า ค่าแฟคเตอร์ของสติฟเนส โดยที่ค่าเมตริกซ์ความหน่วงของโครงสร้างจะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะใช้ค่าความหน่วงของโครงสร้างอาคารเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์โดยตลอด และทำการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารเป็นแบบหลายระดับขั้นความเสรี เพื่อศึกษาผลของการทำงานของระบบมวลหน่วงปรับค่าทั้งสองระบบ เมื่อสติฟเนสของโครงสร้างมีค่าเปลี่ยนแปลงไป

เพื่อให้เห็นถึงความไวของประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงต่อความคลาดเคลื่อนของค่าสติฟเนสของโครงสร้างได้ดียิ่งขึ้น ในบทนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองของโครงสร้างที่ได้ในกรณีที่ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่ากับในกรณีที่ไม่ได้ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่า เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าทั้งสองระบบ มีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวเมื่อเทียบกับการที่ไม่มีระบบมวลหน่วงมาควบคุมมากน้อยเพียงใด เมื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างมีความคลาดเคลื่อนไปจากเดิม

สำหรับค่าเมตริกซ์น้ำหนักสำหรับพลังงานที่ใช้ในการควบคุมการสั่นไหวนั้น ในบทนี้นั้นจะใช้ค่าเดียวกับที่ใช้ในบทที่ 5 แม้ว่าโครงสร้างที่พิจารณาจะมีค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ก็ตาม เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถที่จะทราบค่าความหน่วงของโครงสร้างได้อย่างถูกต้องนัก ดังนั้นจึงใช้ค่าที่ทำการออกแบบให้ครอบคลุมค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างทั่ว ๆ ไป มาใช้แทน

จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข สามารถนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง เมื่อค่าอัตราส่วนของมวลหน่วงต่อมวลของโครงสร้างและสติฟเนสของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้จากระบบควบคุมทั้งสองระบบ กับกรณีที่ไม่มีระบบควบคุมใด ๆ

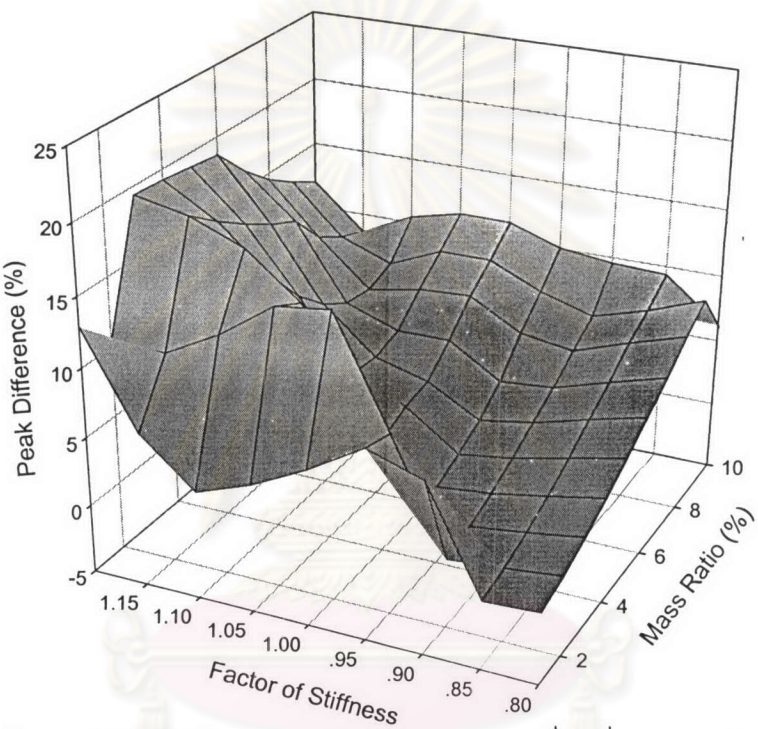
เมื่อพิจารณาระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างที่เกิดขึ้น จะสามารถสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างที่ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าทั้งสองระบบ กับกรณีที่ไม่มีระบบควบคุมใด ๆ ที่รับแรงลมที่ได้จากแฟ้มข้อมูลของการทดลองในอุโมงค์ลมที่ปรับค่าแล้ว

จากกราฟที่ได้ จะเห็นได้ว่า เมื่อระบบโครงสร้างมีค่าสติฟเนสของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป กราฟระยะการเคลื่อนที่สูงสุดในกรณีที่ไม่ได้ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่านั้น จะมีค่าที่แปรปรวนมากดังแสดงในรูป แต่ในกรณีที่ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่านั้น กราฟระยะการเคลื่อนที่สูงสุดที่ได้นั้นมีความต่อเนื่อง โดยที่ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดที่ได้จากทั้งสองระบบนั้นมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ไม่ได้ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าอย่างเห็นได้อย่างชัดเจนดังรูป แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมวลหน่วงปรับค่าทั้งสองระบบ ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่ได้มากกว่า เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้ทำการสร้างกราฟ

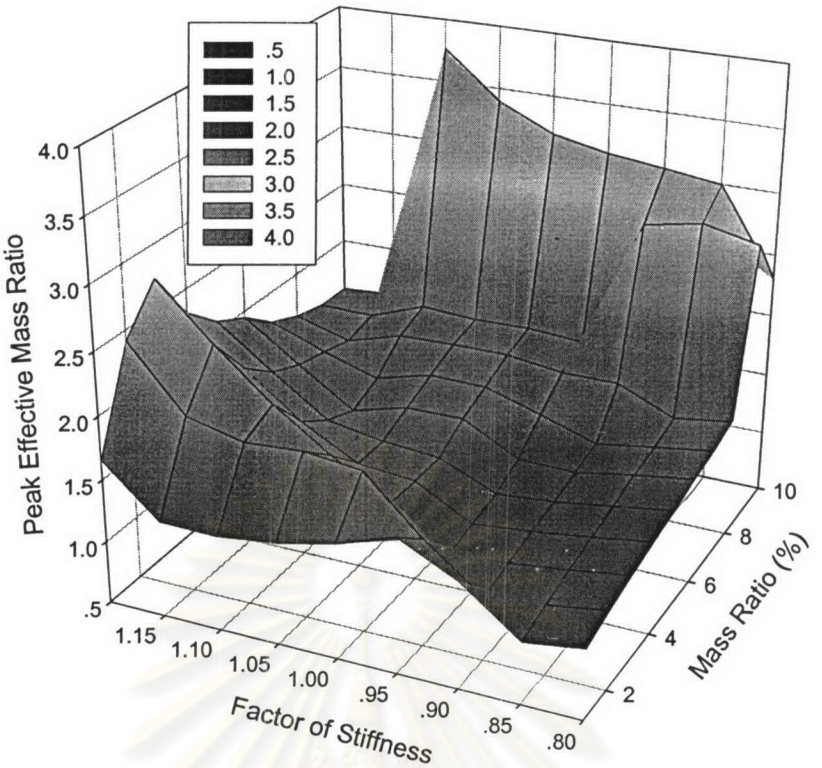
แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลที่ได้จากทั้งสองระบบเทียบกับผลที่ได้จากระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ ดังรูปที่ 6.2 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวคำนวณจากสมการที่ (4.3) จากกราฟที่ได้นั้น จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างมีค่าน้อย ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟจะสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดได้ดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อค่าสติฟเนสของโครงสร้างมีค่ามากขึ้น ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟจะสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดได้ดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟมากขึ้นเช่นกัน โดยระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างได้ประมาณ 0 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ



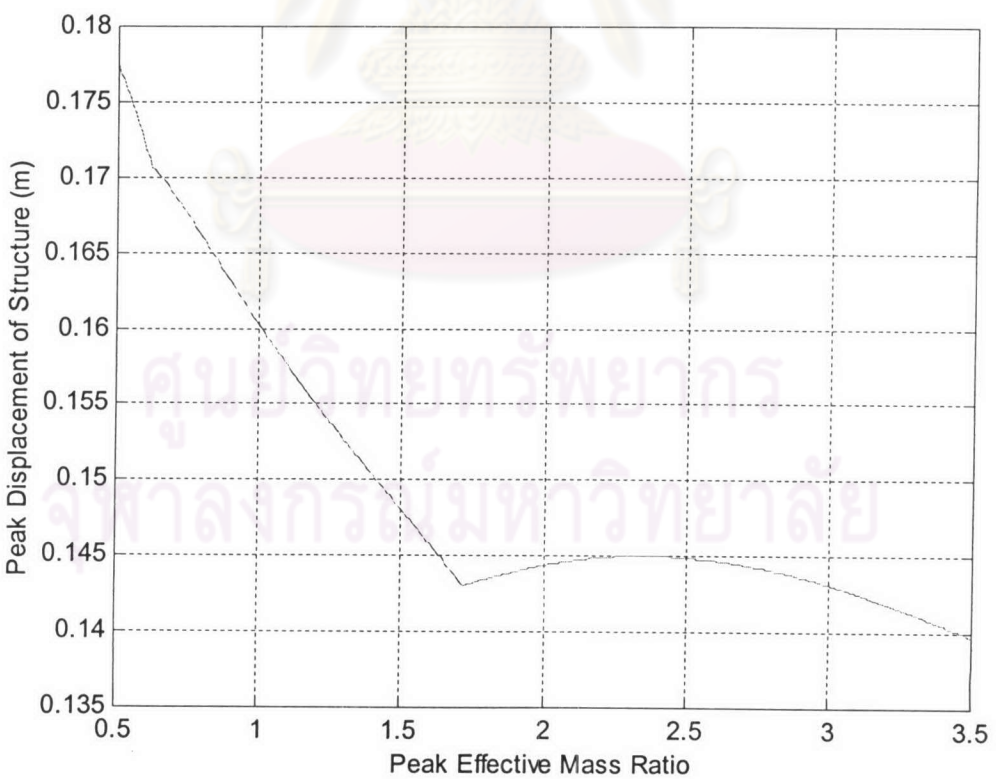
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างที่ได้จากทั้งสองระบบเทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ (รับแรงลมที่ปรับค่าแล้ว)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของระบบมวลหน่วงทั้งสองผ่านทางอัตราส่วนมวลประสิทธิผลแล้ว สามารถสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า ต้องใช้ขนาดของมวลหน่วงประมาณ 1.0 ถึง 3.8 เท่า เพื่อให้ผลตอบสนองที่ได้มีค่าที่เท่ากัน

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ตำแหน่งที่อัตราส่วนของมวลหน่วงต่อมวลของโครงสร้างมีค่ามากจะมีความไม่ต่อเนื่องของกราฟเกิดขึ้น เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ของระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างกับอัตราส่วนมวลประสิทธิผลในบางกรณีนั้นมีลักษณะดังรูปที่ 6.4 โดยกราฟดังกล่าวเป็นกรณีที่อัตราส่วนของมวลหน่วงต่อมวลของโครงสร้างมีเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ และค่าแฟคเตอร์ของค่าสติฟเนส เท่ากับ 1.0



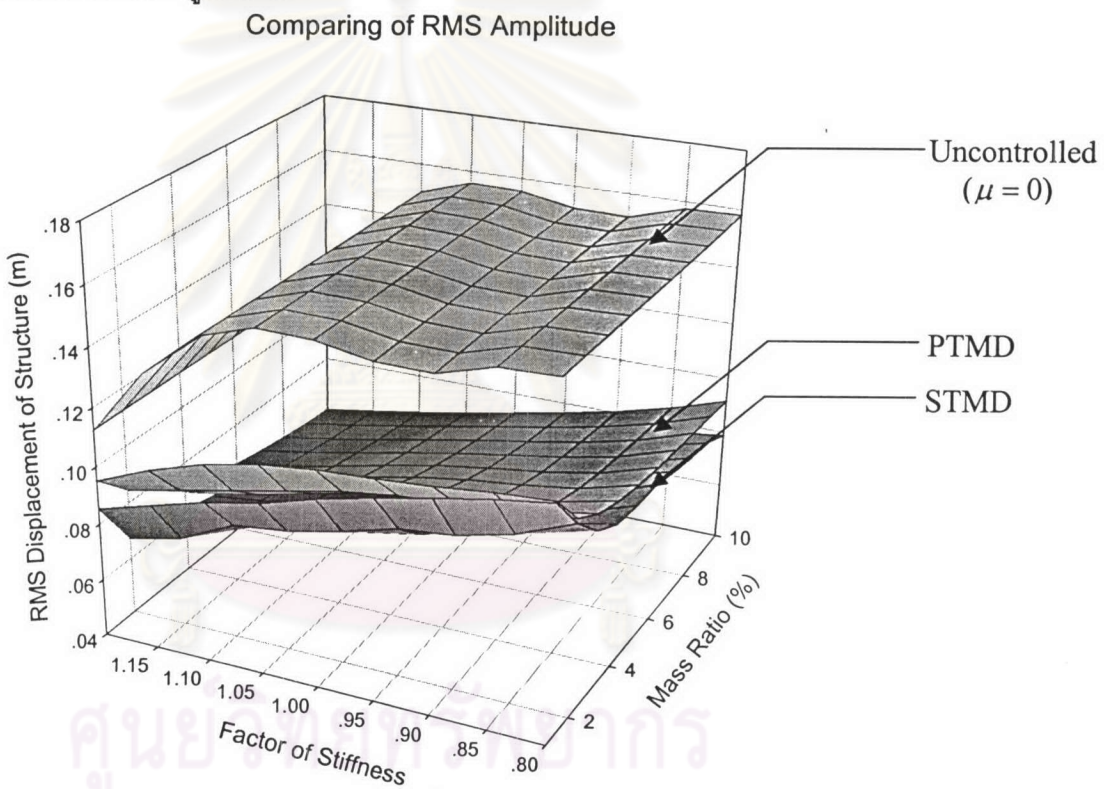
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนมวลประสิทธิผลของระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างที่รับแรงลมที่ได้จากแฟ้มข้อมูลของการทดลองในอุโมงค์ลมที่ปรับค่าแล้ว



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างกับอัตราส่วนมวลประสิทธิผล ($\mu = 10\%, Factor\ of\ stiffness = 1.0$)

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าอัตราส่วนมวลประสิทธิผลเพิ่มขึ้น ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างจะมีค่าลดลง จนเมื่อค่าอัตราส่วนมวลประสิทธิผลมีค่ามากขึ้นถึงค่าหนึ่ง ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แล้วค่อย ๆ ลดลงอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของกราฟในรูปที่ 6.3 เนื่องจากในบางกรณีระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างที่ได้จากระบบเซมิแอกทีฟนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่จุดที่กราฟเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของมวลหน่วง จึงทำให้ขนาดมวลหน่วงของระบบแพสสีฟที่ให้ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างเท่ากับระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างที่ได้จากระบบเซมิแอกทีฟนั้นมีค่ามากขึ้นกว่าในกรณีอื่นค่อนข้างมาก

และเมื่อพิจารณาระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างที่เกิดขึ้น จะสามารถสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 6.5

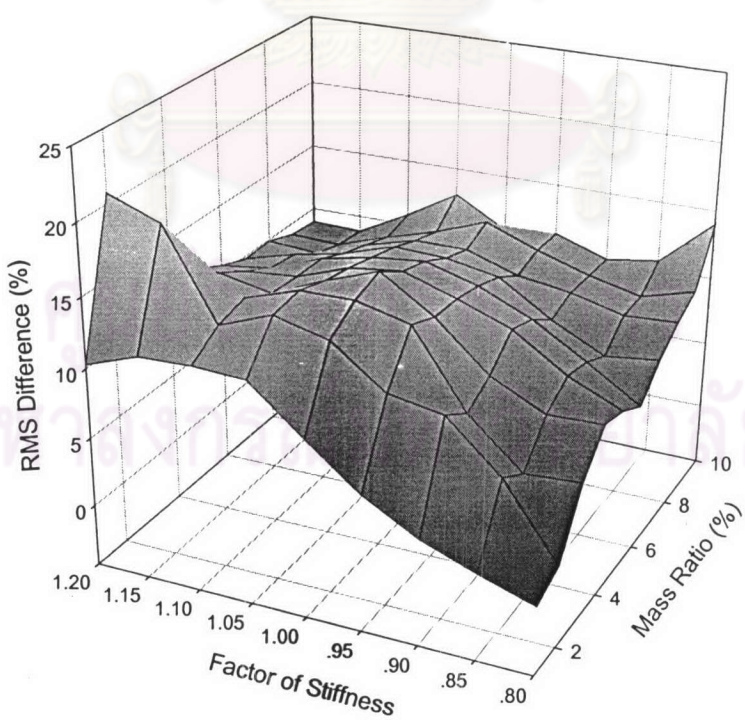


รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างที่ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าทั้งสองระบบ กับกรณีที่ไม่มีระบบควบคุมใด ๆ ที่รับแรงลมที่ได้จากแฟ้มข้อมูลของการทดลองในอุโมงค์ลมที่ปรับค่าแล้ว

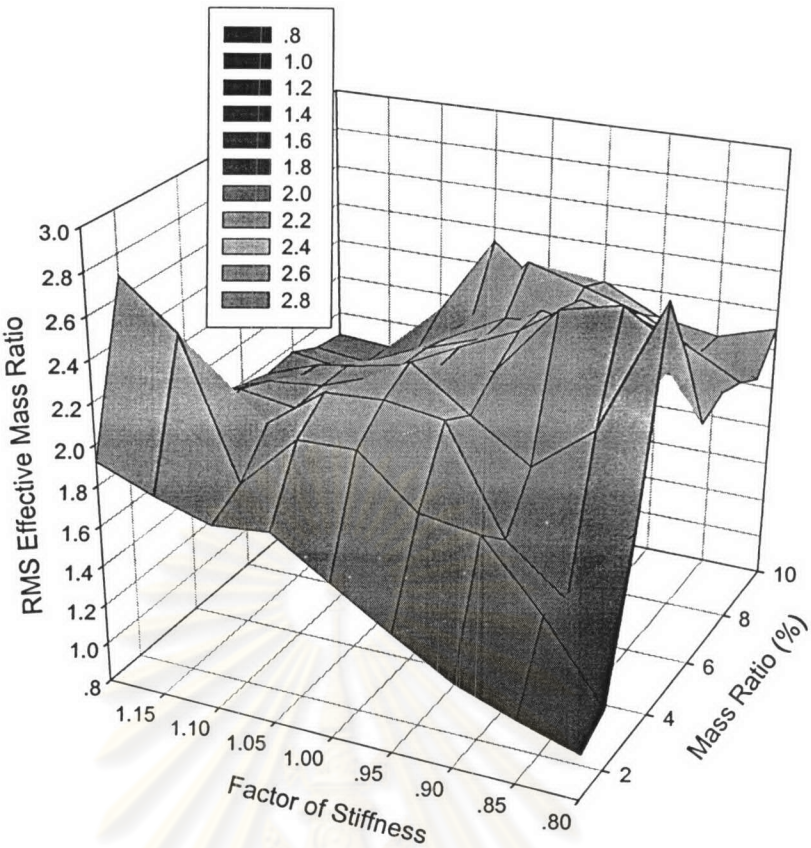
จากกราฟที่ได้ จะเห็นได้ว่า เมื่อระบบโครงสร้างมีค่าสติฟเนสของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป กราฟระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังเฉลี่ยในกรณีที่ไม่ได้ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่านั้นจะมีความต่อเนื่องไม่เหมือนกับในกรณีของระยะการเคลื่อนที่สูงสุดที่มีความแปรปรวนมาก และแนวโน้มของกราฟนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อสติฟเนสของโครงสร้างมีค่ามาก เพราะการที่สติฟ

เนสของโครงสร้างมากขึ้นนั้น ทำให้ความถี่พื้นฐานของโครงสร้างเพิ่มขึ้น จนความถี่ส่วนใหญ่ของแรงลมที่ทำการปรับค่าแล้วนั้นมีค่าน้อยกว่า ทำให้โครงสร้างมีระยะการเคลื่อนที่น้อยลง ส่วนในกรณีที่ทำการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่านั้น กราฟระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังเฉลี่ยของโครงสร้างจะมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับระยะการเคลื่อนที่สูงสุด เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่ได้จากการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าทั้งสองระบบนั้นให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้ทำการสร้างกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลที่ได้จากทั้งสองระบบเทียบกับผลที่ได้จากระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ ดังรูปที่ 6.6 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวคำนวณได้ในทำนองเดียวกับสมการที่ (4.3) จากกราฟที่ได้นั้น จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราส่วนของมวลหน่วงต่อมวลของโครงสร้างและค่าสติฟเนสของโครงสร้างมีค่าน้อย ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟจะสามารถลดระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยได้ดีกว่าระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟเพียงเล็กน้อย ส่วนในกรณีอื่น ๆ เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้างได้ประมาณ 1 ถึง 21 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของระบบมวลหน่วงทั้งสองผ่านทางอัตราส่วนมวลประสิทธิผลแล้ว สามารถสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 6.7 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า ต้องใช้ขนาดของมวลหน่วงประมาณ 1.0 ถึง 2.8 เท่า เพื่อให้ผลตอบสนองที่ได้มีค่าที่เท่ากัน



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างที่ได้จากทั้งสองระบบเทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ (รับแรงลมที่ปรับค่าแล้ว)



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนมวลประสิทธิผลของระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างที่รับแรงลมที่ได้จากแฟ้มข้อมูลของการทดลองในอุโมงค์ลมที่ปรับค่าแล้ว

จากผลการศึกษาที่ได้จะเห็นได้ว่า เมื่อติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่ามาควบคุมโครงสร้าง ไม่ว่าจะใช้แบบแพสสีฟหรือเซมิแอกทีฟนั้น ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดและระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีระบบมวลหน่วงมาควบคุมอยู่มาก แต่เมื่อเทียบทั้งสองระบบแล้ว ระบบเซมิแอกทีฟก็สามารถลดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างได้ดีกว่า แม้ว่าค่าสติฟเนสของโครงสร้างจะเปลี่ยนไปก็ตาม โดยที่ประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟเทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟจะมีค่าลดลงเมื่อค่าสติฟเนสจริงของโครงสร้างมีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ออกแบบโดยถ้าค่าสติฟเนสจริงของโครงสร้างมีค่าน้อยกว่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพนั้นจะลดลงประมาณ 0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าต้องการให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟสามารถลดระยะการเคลื่อนที่สูงสุดและระยะการเคลื่อนที่รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโครงสร้างได้ใกล้เคียงกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบเซมิแอกทีฟ ต้องใช้มวลประมาณ 1.0 ถึง 3.8 เท่าของมวลเดิม และประมาณ 1.0 ถึง 2.8 เท่าของมวลเดิม ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ เป็นค่าที่ดีเพียงพอต่อการใช้งานจริง