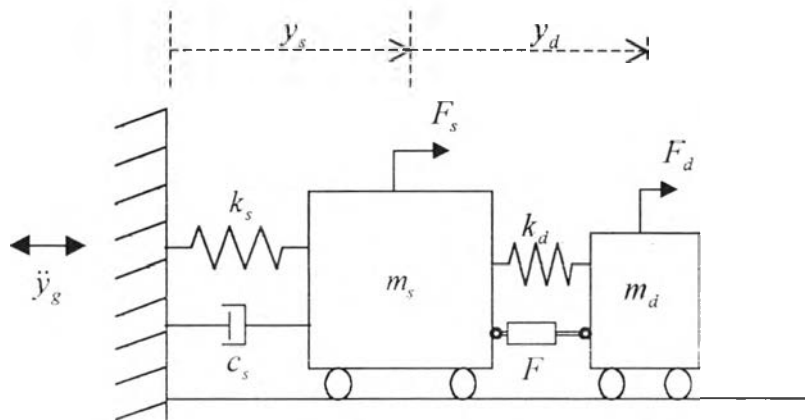




## บทที่ 6

### การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบมวลห่่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟ โดยใช้ตัวห่่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่า

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวห่่วงที่ได้ในบทที่ 5 ทำให้สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อที่จะทำนายประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ตัวห่่วงนี้กับระบบมวลห่่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟในทางปฏิบัติ โดยระบบมวลห่่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟที่ใช้ตัวห่่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่า (MR STMD) นี้จะประกอบไปด้วย มวลห่่วง ( $m_d$ ), สปริง ( $k_d$ ) และตัวห่่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าไว้ภายใน ค่ามวลและค่าความแข็งแรงของสปริงนั้นจะออกแบบอย่างเหมาะสมตามวิธีการในระบบมวลห่่วงปรับค่าแบบพาสซีฟ ตัวห่่วงปรับค่าที่ใช้สามารถทำการปรับค่าจากระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อป้อนค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสมให้แก่ตัวห่่วงเพื่อให้มีค่าแรงในตัวห่่วงมีค่าเป็นไปตามค่าแรงที่ต้องการในระบบกึ่งแอกทีฟมากที่สุด ซึ่งในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวนี้สามารถที่จะวิเคราะห์ในเชิงตัวเลขได้ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบมวลห่่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟที่ใช้ตัวห่่วงปรับค่า

จากแบบจำลองที่แสดงในรูปที่ 6.1 สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การสั่นไหวได้ดังในลักษณะของสมการที่ 2.10 โดยแทนค่าแรงภายนอกที่กระทำระหว่างโครงสร้างและมวลห่่วงในวิธีการแบบแอกทีฟ ( $u$ ) ด้วยค่าแรงที่เกิดขึ้นจากตัวห่่วง ( $f$ ) ดังนั้นจะได้สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ 6.1

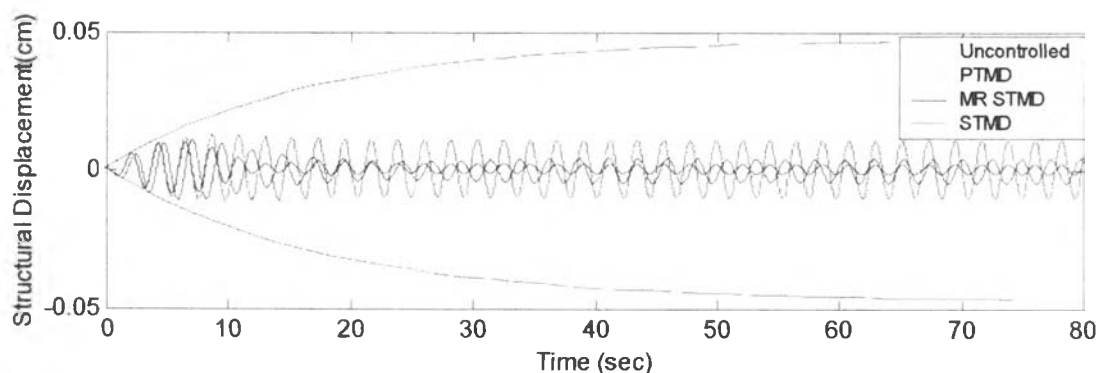
$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B}_r \cdot \mathbf{F} + \mathbf{B}_u \cdot F \quad (6.1)$$

โดยที่  $F$  คือแรงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากตัวหน่วง

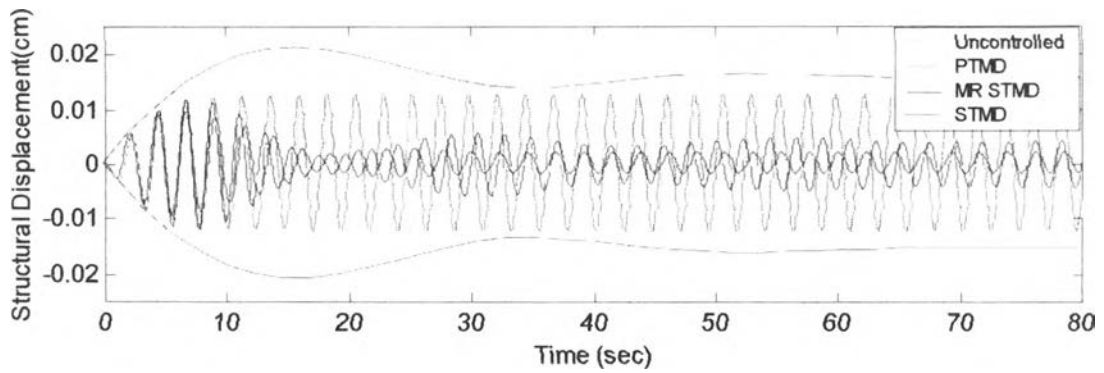
ค่าแรง  $F$  ในสมการที่ 6.1 เป็นค่าแรงหน่วงของตัวหน่วง ดังนั้นจึงมีการปรับค่าในลักษณะฟังก์ชันของความต่างศักย์ที่ป้อนเข้าสู่ตัวหน่วง ดังนั้นค่าแรง  $F$  ที่กระทำนี้จึงมีขอบเขตจำกัดตามข้อจำกัดของตัวหน่วงปรับค่าที่ใช้ โดยจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อปรับค่าให้ความต่างศักย์ที่ป้อนเข้าสู่ตัวหน่วงเป็น 0 โวลต์ และมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้ความต่างศักย์ 12 โวลต์ ซึ่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ในบทที่ 5 ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวหน่วงปรับค่านี้ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่ไฟได้ดังแสดงในกรณีต่างๆดังต่อไปนี้

### 6.1 กรณีลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เป็นฮาร์โมนิก

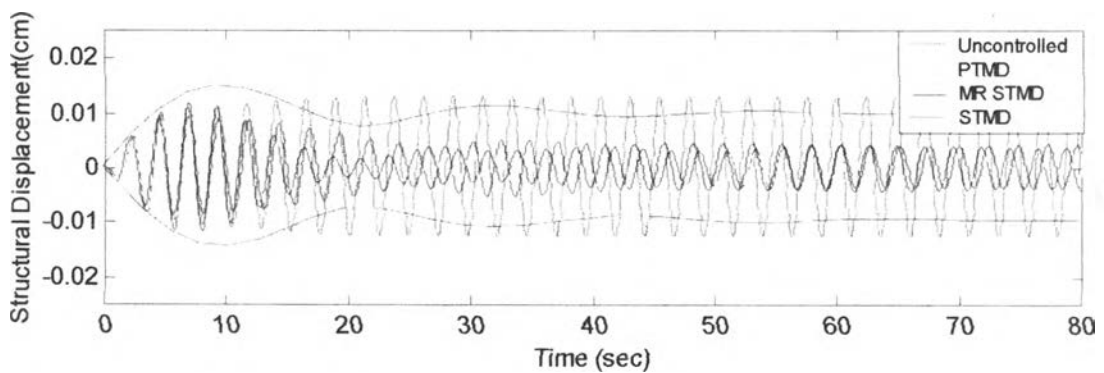
ในกรณีนี้ได้กำหนดให้ลักษณะของสัญญาณแผ่นดินไหวที่กระทำต่อฐานเป็นสัญญาณแบบฮาร์โมนิก โดยในรูปที่ 6.2, 6.3 และ 6.4 เป็นรูปแสดงผลการวิเคราะห์การสั่นไหวของโครงสร้างโดยกำหนดให้ความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวเป็น 1.00, 0.94 และ 0.90 เท่าของความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างตามลำดับ และค่าแอมพลิจูดสูงสุดของความเร่งแผ่นดินไหวมีค่าเท่ากับ 0.01 gal



รูปที่ 6.2 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.01 gal ค่าความถี่ของคลื่นมีค่าเท่ากับของความถี่ของโครงสร้าง ในกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆ



รูปที่ 6.3 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.01 gal ค่าความถี่ของคลื่นมีค่า 0.94 เท่าของความถี่ของโครงสร้าง ในกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆ



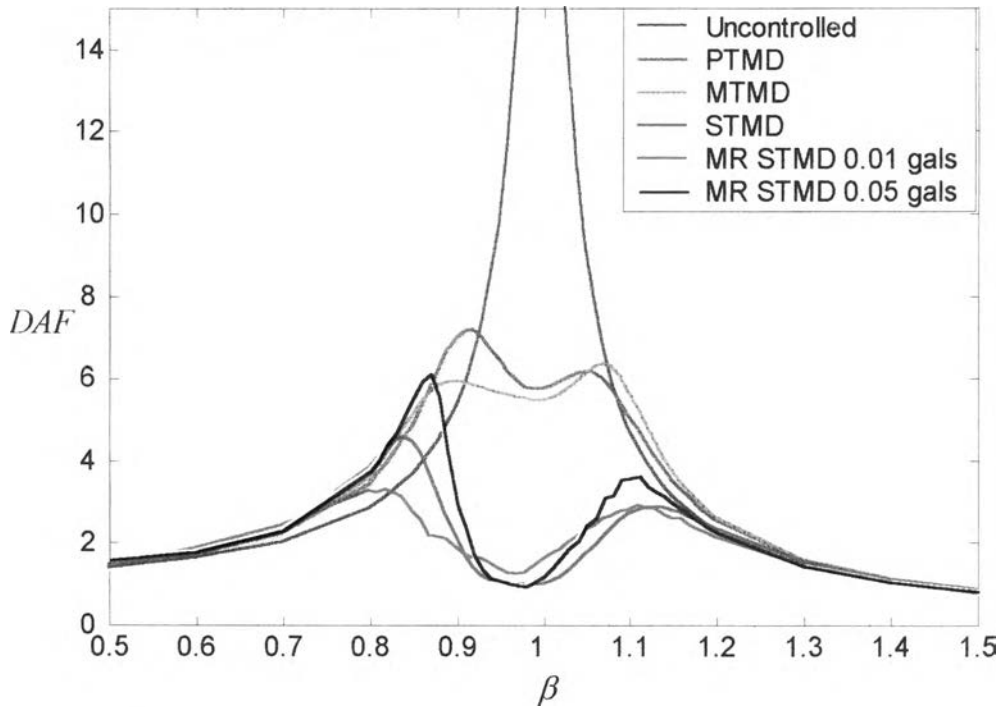
รูปที่ 6.4 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 0.01 gal ค่าความถี่ของคลื่นมีค่า 0.90 เท่าของความถี่ของโครงสร้าง ในกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆ

ตารางที่ 6.1 แสดงขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างในกรณีต่างๆ

ความถี่ของคลื่น แผ่นดินไหวต่อ โครงสร้าง	ขนาดการสั่นไหวของโครงสร้างเทียบกับกรณีที่ยังไม่ถูกควบคุม (%)							
	Peak				Steady state			
	Uncontr.	PTMD	MR STMD	STMD	Uncontr.	PTMD	MR STMD	STMD
1.00	100	25	23	20	100	23	8	4
0.94	100	60	52	45	100	81	28	13
0.90	100	88	71	62	100	134	47	41

จากที่รูปที่ 6.2, 6.3 และ 6.4 จะสังเกตเห็นได้ว่าระบบมวลห้วงปรับค่ามวลห้วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่พีที่ใช้ตัวห้วงที่บรรจของเหลวแม่เหล็กปรับค่าสามารถช่วยลดขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างในกรณีที่ความเร่งสูงสุดที่ฐานมีค่า 0.01 gal ได้ ถึงแม้ว่าค่าความเร่งสูงสุดที่ฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีค่าต่ำทั้งนี้เพราะตัวห้วงที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเล็กแต่จากผลที่ได้ก็แสดงให้เห็นว่าตัวห้วงที่บรรจของเหลวแม่เหล็กใช้ภายในมีพฤติกรรมในการปรับค่าความหนืดเพื่อให้โครงสร้างมีการสั่นไหวต่ำได้ดีกว่าในระบบมวลห้วงปรับค่าแบบแพลตัสฟ

รูปที่ 6.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายพลวัต (Dynamic amplification factor,  $DAF$ ) และค่าอัตราส่วนความถี่ของการสั่นที่ฐานต่อความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง ( $\beta$ ) โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าการใช้ตัวห้วงที่ศึกษาสามารถนำมาใช้กับระบบมวลห้วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่พีได้เป็นอย่างดี การปรับค่าของตัวห้วงทำให้ระบบมวลห้วงนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบมวลห้วงปรับค่าแบบแพลตัสฟที่ขนาดของการสั่นที่ฐานมีค่าน้อยๆคือช่วงที่ค่าความเร่งสูงสุดของการสั่นที่ฐานมีค่าต่ำกว่า 0.05 gal แต่ในคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงมากกว่านี้การใช้ตัวห้วงที่ศึกษาจะทำให้ระบบมวลห้วงมีสภาพเสมือนเป็นระบบมวลห้วงปรับค่าแบบแพลตัสฟที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงค่าหนึ่งซึ่งไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมเพราะการปรับค่าแรงของตัวห้วงที่มีขนาดเล็กตามตัวห้วงที่ศึกษานี้จะมีผลน้อยต่อค่าแรงควบคุมที่ต้องการ



รูปที่ 6.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ตัวหน่วงที่ศึกษา(1200นิวตัน)ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟ

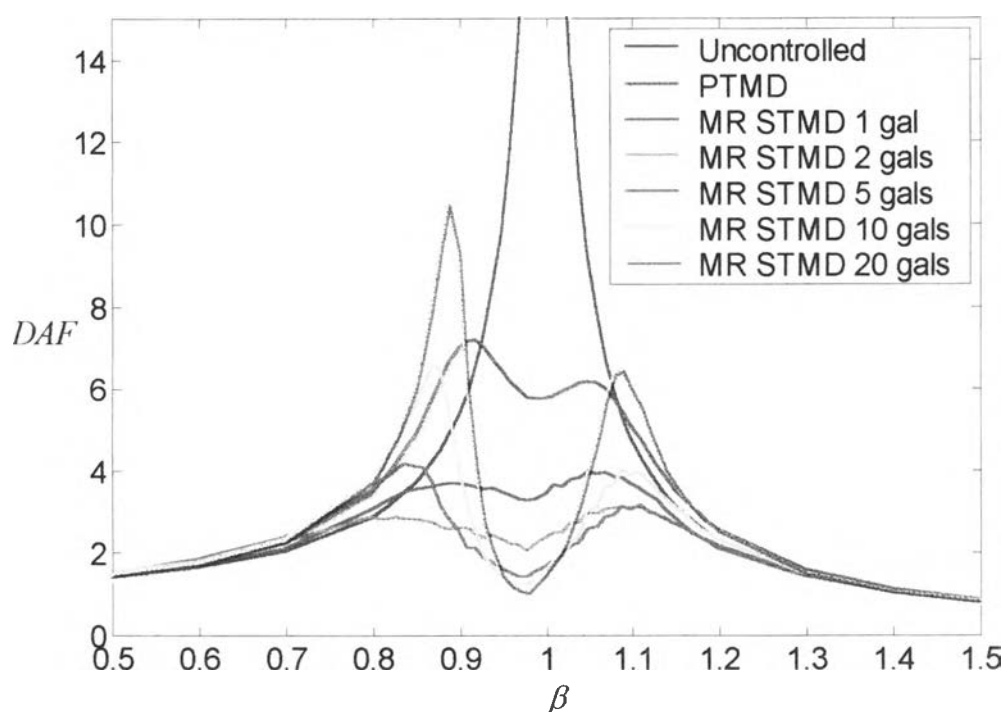
เนื่องจากว่าตัวหน่วงตัวอย่างที่ใช้มีขีดจำกัดในด้านการให้แรงได้ค่อนข้างต่ำ คือมีค่าแรงมากที่สุดประมาณ 1200 นิวตัน ซึ่งการใช้ตัวหน่วงที่เป็นตัวอย่างนี้ให้แรงได้ไม่เพียงพอกับการนำมาใช้ในกรณีที่ต้องรับคลื่นแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงมากขึ้น การปรับค่าของตัวหน่วงแทบจะไม่มีผลต่อการลดการสั่นไหวของโครงสร้างเนื่องจากว่าค่าแรงที่ปรับเปลี่ยนนั้นมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงปฏิกิริยาที่ตัวหน่วงทำต่อโครงสร้าง ดังนั้นระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟที่ใช้ตัวหน่วงที่ทำการศึกษาก็มีสภาพเสมือนกับเป็นระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงปรับไว้ยังไม่เหมาะสมเท่านั้น

แต่อย่างไรก็ตามจากผลที่ได้ในกรณีที่คลื่นแผ่นดินไหวมาค่าน้อยๆนี้พบว่าหลักการทำงานของของเหลวแม่เหล็กที่อยู่ภายในมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาปรับปรุงเพื่อให้ใช้ได้กับการป้องกันแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น โดยการเพิ่มขนาดของแรงหน่วงสูงสุดที่ทำได้ของตัวหน่วงให้มากขึ้นซึ่งในปัจจุบันตัวหน่วงชนิดนี้ได้มีการพัฒนาให้สามารถรับแรง 20 ตันได้ทั้งยังคงมีคุณสมบัติทางการปรับค่าความหนืดและการทำงานในลักษณะเดิม ดังนั้นในการวิเคราะห์ที่ต่อไปนี้จะเป็นการใช้ค่าคุณสมบัติของตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าชนิดเดียวกันนี้แต่เป็นตัวหน่วงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความสามารถในการรับแรงที่มีขนาดสูงขึ้น โดยลักษณะของ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกับสมการที่ 5.2 ดังแสดงในสมการที่ 6.2 (Dyke S.J., 1998), (Spencer B.F. และคณะ, 1998)

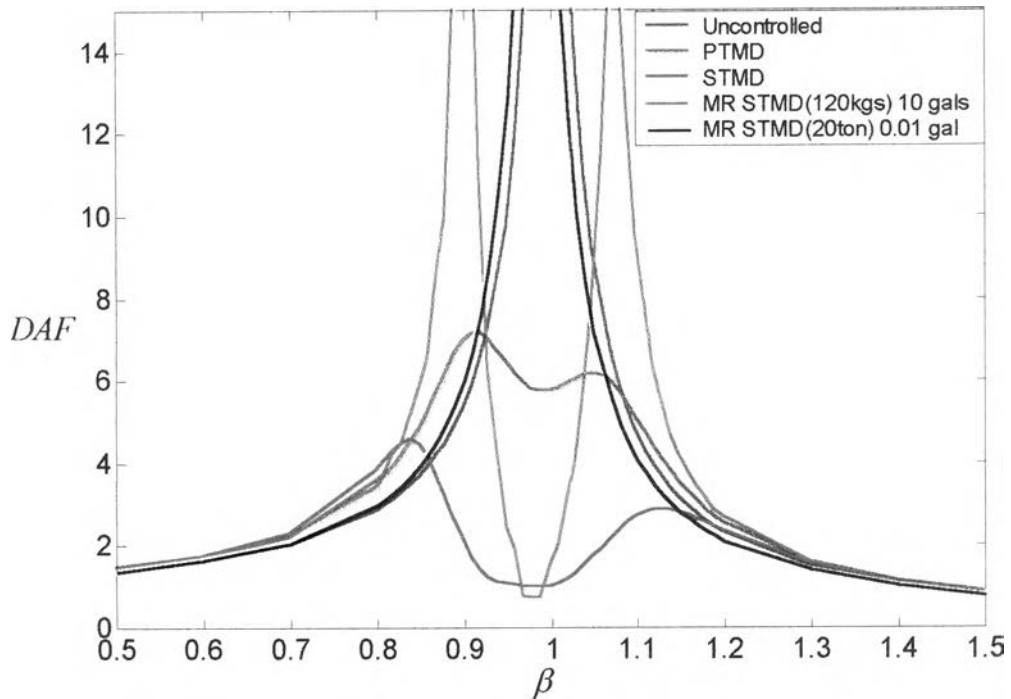
$$F = F_y \cdot \text{sign}(\dot{x}) + c \cdot \dot{x} \quad (6.2)$$

โดยที่ค่าแรงที่จุดครากอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในตัวหน่วง ( $F_y$ ) สามารถปรับค่าได้ในช่วงตั้งแต่ 4 กิโลนิวตันถึง 200 กิโลนิวตัน



รูปที่ 6.6 แสดงประสิทธิภาพของการใช้ตัวหน่วงที่มีค่าแรงสูงสุด 20 กิโลนิวตันในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟ

พิจารณารูปที่ 6.6 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟที่ใช้ตัวหน่วงที่ศึกษาระหว่างค่าความเร่งสูงสุดที่กระทำที่ฐานมีค่าเป็น 1, 2, 5, 10 และ 20 gals เทียบกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟที่ปรับค่าไว้อย่างเหมาะสมซึ่งจะพบว่าในกรณีที่ความเร่งสูงสุดที่ฐานมีค่าเป็น 10 gals ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอ็กทีฟนี้สามารถที่จะทำงานได้ผลดีกว่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟมาก ทั้งนี้เพราะเมื่อใช้ตัวหน่วงที่มีความสามารถในการรับแรงได้มากขึ้นตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ 6.2 จะทำให้ระบบมวลหน่วงมีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างสูงมากขึ้น เนื่องจากสามารถสร้างแรงที่เกิดขึ้นในตัวหน่วงได้มากขึ้น

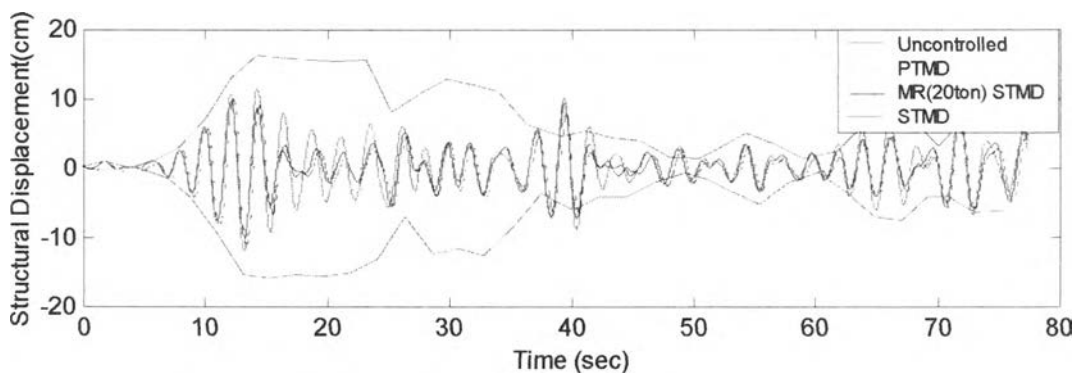


รูปที่ 6.7 แสดงการเลือกใช้ตัวหน่วงขนาดไม่เหมาะสมกับค่าความเร่งที่เกิดขึ้นที่ฐาน

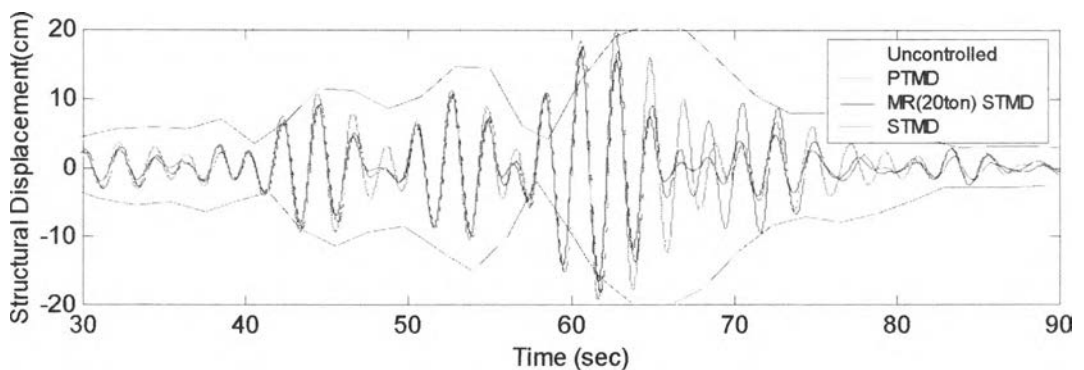
จะสังเกตเห็นได้ว่าการใช้ตัวหน่วงที่มีความสามารถในการให้แรงสูงจะมีประสิทธิภาพดีสำหรับในกรณีที่สัญญาณแผ่นดินไหวรุนแรง แต่เนื่องจากว่าการใช้ตัวหน่วงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่าแรงต่ำสุดของตัวหน่วงจะเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นจะทำให้ตัวหน่วงนี้มีสภาพความหนืดที่มากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นตัวหน่วงตัวใหญ่จึงช่วยลดการสั่นไหวที่มีขนาดเล็กๆได้ไม่ดีนักหรืออาจจะแย่กว่าการใช้มวลหน่วงปรับค่าที่ออกแบบไว้อย่างเหมาะสม ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ขนาดของตัวหน่วงให้เหมาะสมกับขนาดของการสั่นไหวที่ฐาน รูปที่ 6.7 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นผลของการใช้ขนาดของตัวหน่วงที่ไม่เหมาะสมกับขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ตัวหน่วงที่มีขนาดเล็กจะทำให้ผลการปรับค่าความหนืดของตัวหน่วงมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ๆ ดังนั้นพฤติกรรมของระบบมวลหน่วงจึงมีสภาพเป็นระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟที่มีค่าอัตราส่วนความหนืดต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ดังนั้นจึงยังคงทำงานไม่ได้ในช่วงที่คลื่นแผ่นดินไหวมีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ของโครงสร้าง สำหรับในกรณีนี้ที่เลือกตัวหน่วงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะพบว่าแทบจะไม่มีผลในการลดการสั่นไหวที่เกิดจากสัญญาณแผ่นดินไหวมีขนาดเล็กๆเลย ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของมวลหน่วงจะมีขนาดเล็กดังนั้นมวลหน่วงจะเสมือนถูกยึดแน่นอยู่กับโครงสร้างทำให้การสั่นไหวของโครงสร้างมีขนาดเท่าๆกับกรณีที่ยังไม่มีการควบคุมด้วยระบบมวลหน่วง

## 6.2 กรณีลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้

จากผลการศึกษาที่ได้ในกรณีที่สัญญาณแผ่นดินไหวมีลักษณะเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกซึ่งพบว่าการพัฒนาใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่ามีความสามารถที่จะนำมาใช้ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอทีฟ โดยจะต้องคำนึงถึงขนาดของตัวหน่วงที่เหมาะสมดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ในส่วนนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของการใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าในระบบมวลหน่วงภายใต้การสั่นไหวของคลื่นสัญญาณแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ โดยที่ตัวหน่วงที่ใช้เป็นตัวหน่วงที่มีความสามารถในการให้แรงสูงที่สุด 200 กิโลนิวตันและให้แรงต่ำสุดได้ 4 กิโลนิวตัน สัญญาณแผ่นดินไหวที่ใช้เป็นสัญญาณแผ่นดินไหวที่ทำการปรับค่าความเร่งสูงสุดให้มีค่า 20 gals โดยเลือกสัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความถี่หลักของคลื่นต่างๆ ซึ่งจะสามารถแสดงประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าที่ใช้ตัวหน่วงนี้ได้ดังในรูปที่ 6.8 ถึงรูปที่ 6.10

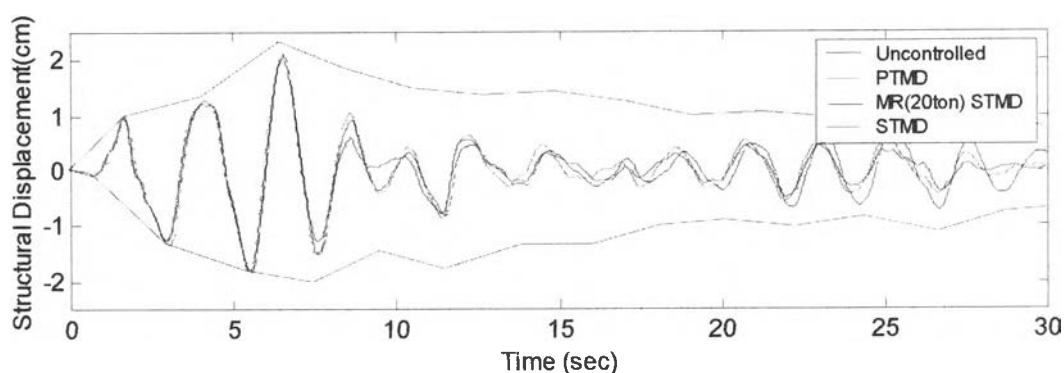


รูป 6.8 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้ลักษณะสัญญาณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานครกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงแบบต่างๆ



รูป 6.9 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้ลักษณะสัญญาณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานครกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงแบบต่างๆ



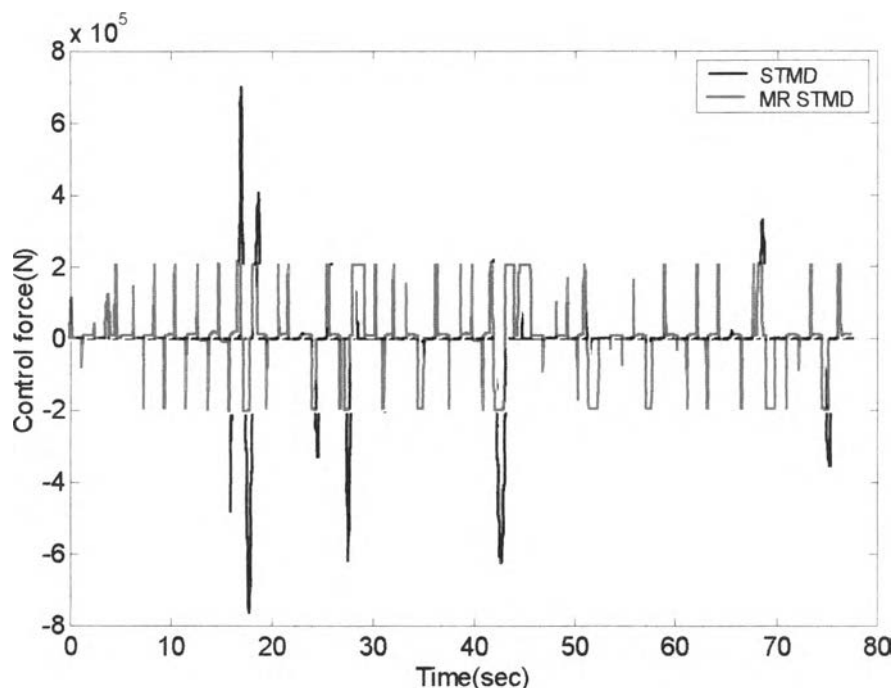


รูป 6.10 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้ลักษณะสัญญาณแผ่นดินไหวเอลเซ็นโทรกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงแบบต่างๆ

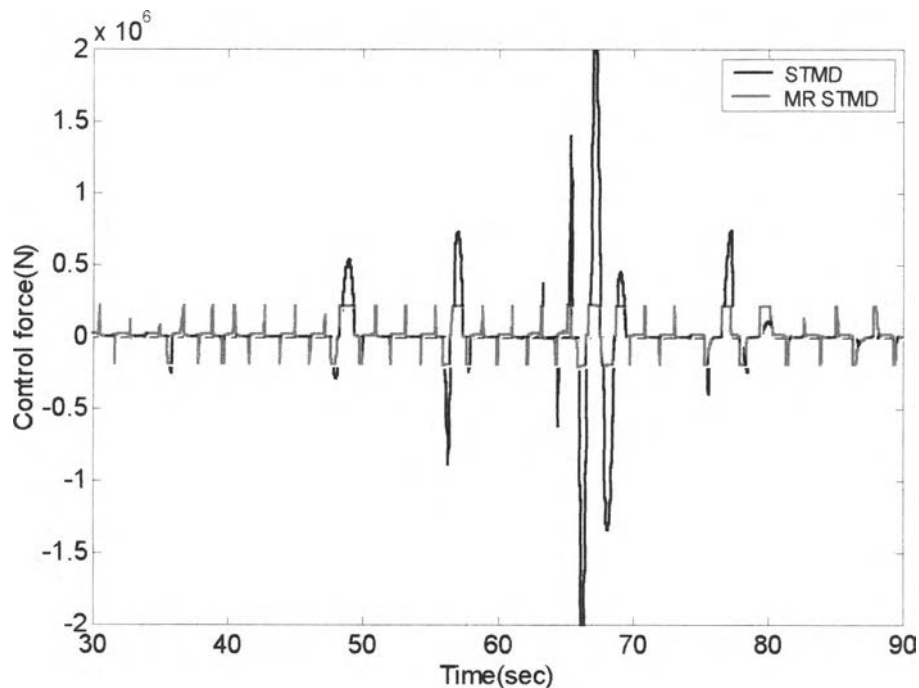
ตารางที่ 6.2 แสดงขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างในกรณีต่างๆ

ลักษณะคลื่น แผ่นดินไหว	ขนาดการสั่นไหวของโครงสร้างเทียบกับกรณีที่ยังไม่ถูกควบคุม (%)							
	Peak				Root mean square (RMS)			
	Uncontr.	PTMD	MR STMD	STMD	Uncontr.	PTMD	MR STMD	STMD
Bangkok	100	76	68	64	100	60	48	49
Mexico	100	94	87	81	100	76	68	58
Elcentro	100	90	90	86	100	64	66	58

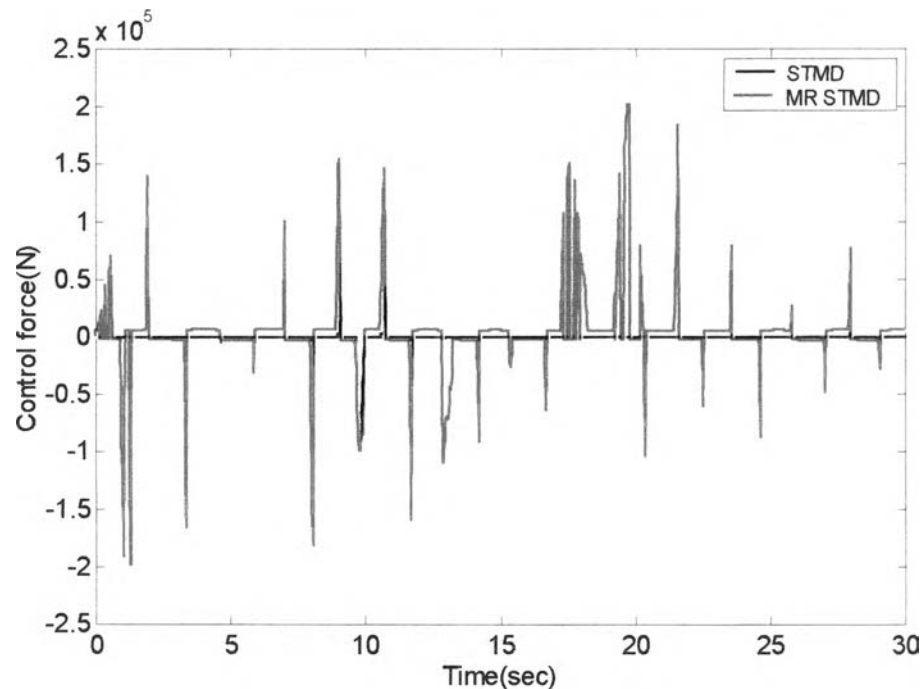
รูปที่ 6.11, 6.12 และ 6.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงที่ต้องการใช้ในการควบคุมและค่าแรงที่ตัวหน่วงสามารถสร้างได้ในกรณีของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟทางทฤษฎีและระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าไว้ภายใน จะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าสามารถปรับค่าความหนืดเพื่อสร้างแรงได้บ้าง โดยในจังหวะที่มีการปรับค่าแรงก็จะสามารถปรับค่าแรงได้ตามค่าแรงที่ต้องการใช้ควบคุมทำให้ลักษณะของการสั่นไหวของโครงสร้างมีรูปแบบเป็นการควบคุมแบบกึ่งแอกทีฟ แต่เนื่องจากตัวหน่วงจะมีขอบเขตของค่าแรงต่ำสุดและแรงสูงสุดจึงทำให้ลักษณะการทำงานไม่เป็นไปตามระบบกึ่งแอกทีฟที่คำนวณทางทฤษฎี



รูปที่ 6.11 แสดงค่าแรงที่ตัวหน่วงทำการปรับค่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่ฟทาง  
ทฤษฎีและระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจของเหลวแม่เหล็กปรับค่า ในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดิน  
ไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานครความเร่งสูงสุด 20 gals

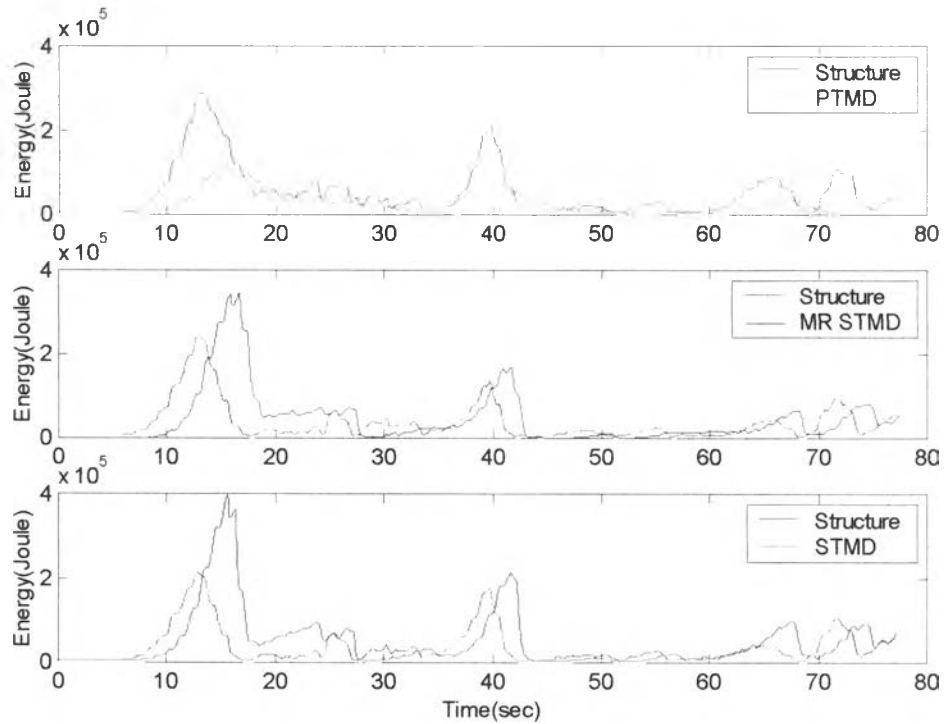


รูปที่ 6.12 แสดงค่าแรงที่ตัวหน่วงทำการปรับค่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่ฟทาง  
ทฤษฎีและระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจของเหลวแม่เหล็กปรับค่า ในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดิน  
ไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโกความเร่งสูงสุด 20 gals

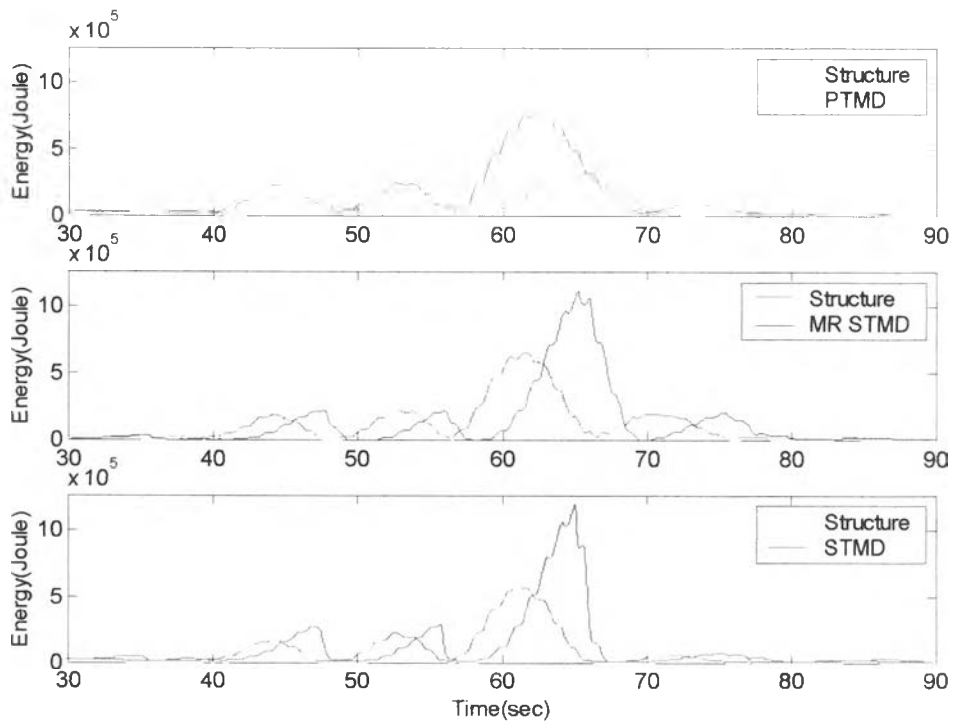


รูปที่ 6.13 แสดงค่าแรงที่ตัวหน่วงทำการปรับค่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟทาง  
ทฤษฎีและระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดิน  
ไหวเอลเซ็นโทรความเร่งสูงสุด 20 gals

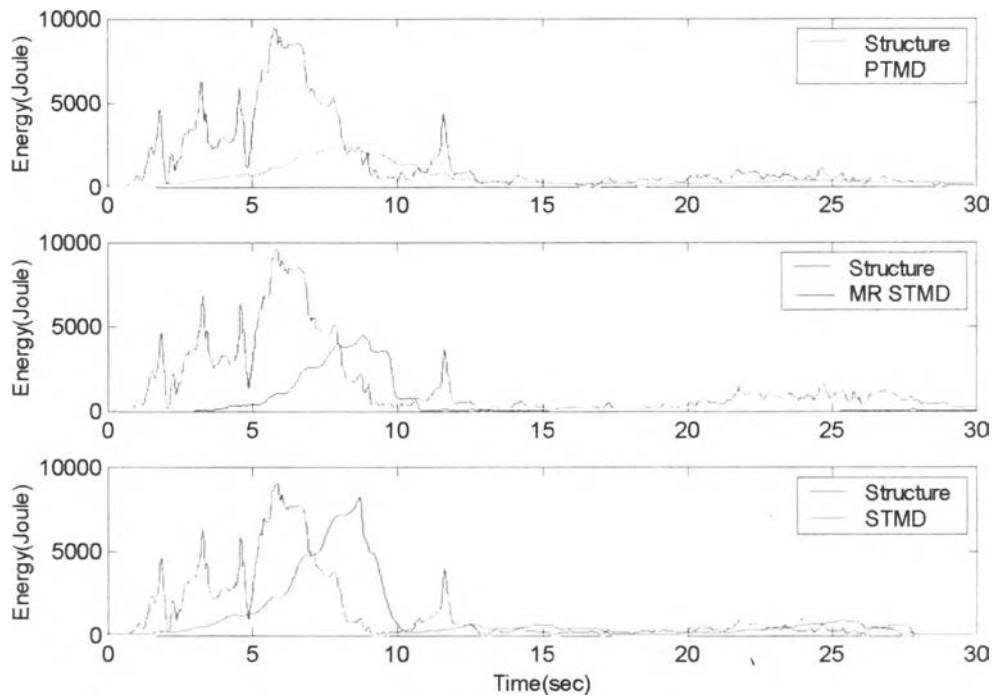
รูปที่ 6.14, 6.15 และ 6.16 เป็นการพิจารณาด้านพลังงานของโครงสร้างและระบบมวลหน่วงซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ใช้ลักษณะแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร ลักษณะการรับและการถ่ายพลังงานระหว่างโครงสร้างและระบบมวลหน่วงในกรณีที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าจะมีลักษณะใกล้เคียงกับในกรณีการใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟทางทฤษฎี ทั้งนี้เพราะการปรับตัวของตัวหน่วงสามารถก่อให้เกิดแรงต้านทานภายในตัวหน่วงที่มีค่าตามความต้องการได้ค่อนข้างดี ในขณะที่กรณีการใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโกซึ่งพบว่าในช่วงก่อนถึงวินาทีที่ 65 ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าสามารถสร้างแรงต้านทานได้ในลักษณะเดียวกับในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟ แต่ในช่วงวินาทีที่ 65 ถึง 68 ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าไม่สามารถสร้างแรงได้พอเพียงกับที่ต้องการอย่างเช่นในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟที่คำนวณตามทฤษฎี ทำให้พลังงานที่มีอยู่ในระบบมวลหน่วงไม่สามารถสลายไปได้อย่างรวดเร็วเช่นในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟดังนั้นทำให้พลังงานที่อยู่ในระบบมวลหน่วงได้ถูกถ่ายกลับไปยังโครงสร้างจึงทำให้ในช่วงวินาทีที่ 65 ถึงวินาทีที่ 75 ระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวมวลหน่วงปรับค่าไว้ภายในมีการสั่นไหวของโครงสร้างมากกว่าในระบบอื่นๆ



รูปที่ 6.14 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วย  
ปรับค่าแบบต่างๆในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร

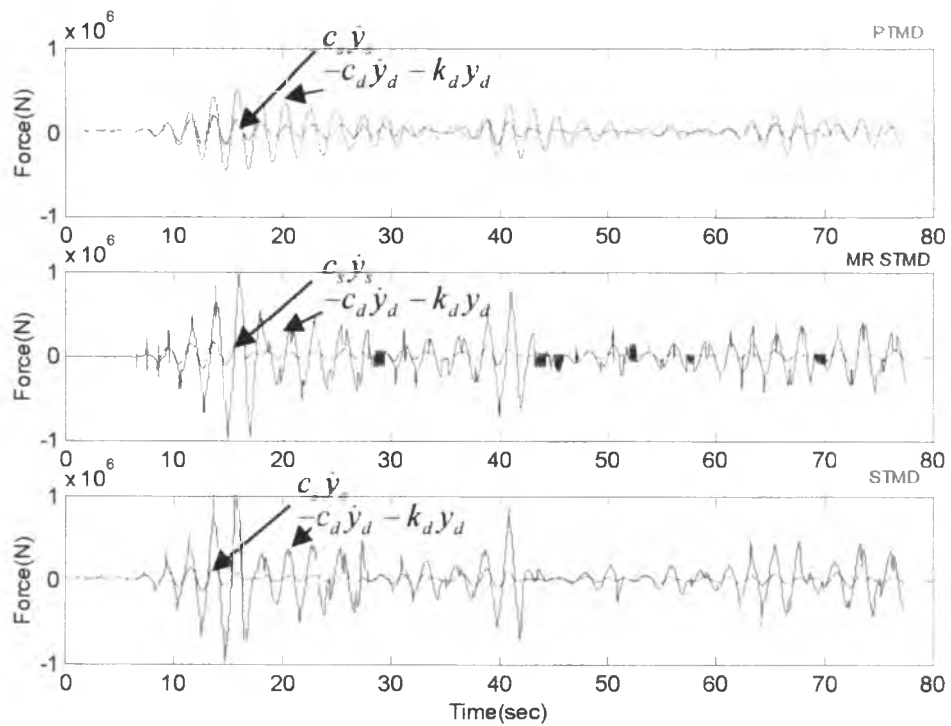


รูปที่ 6.15 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วย  
ปรับค่าแบบต่างๆในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโก

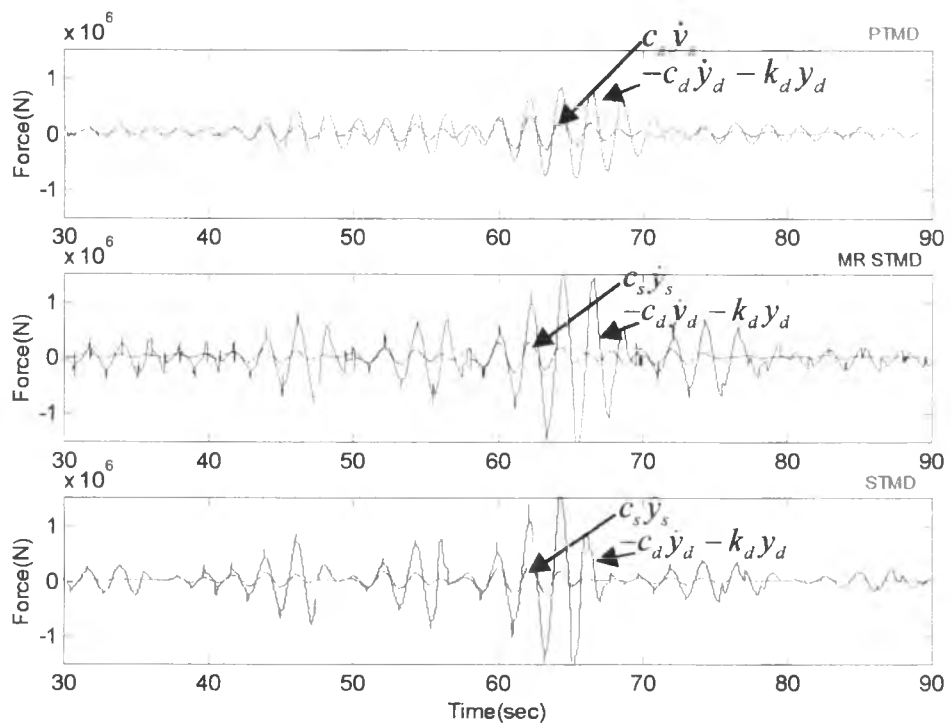


รูปที่ 6.16 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวเอลเซ็นโท

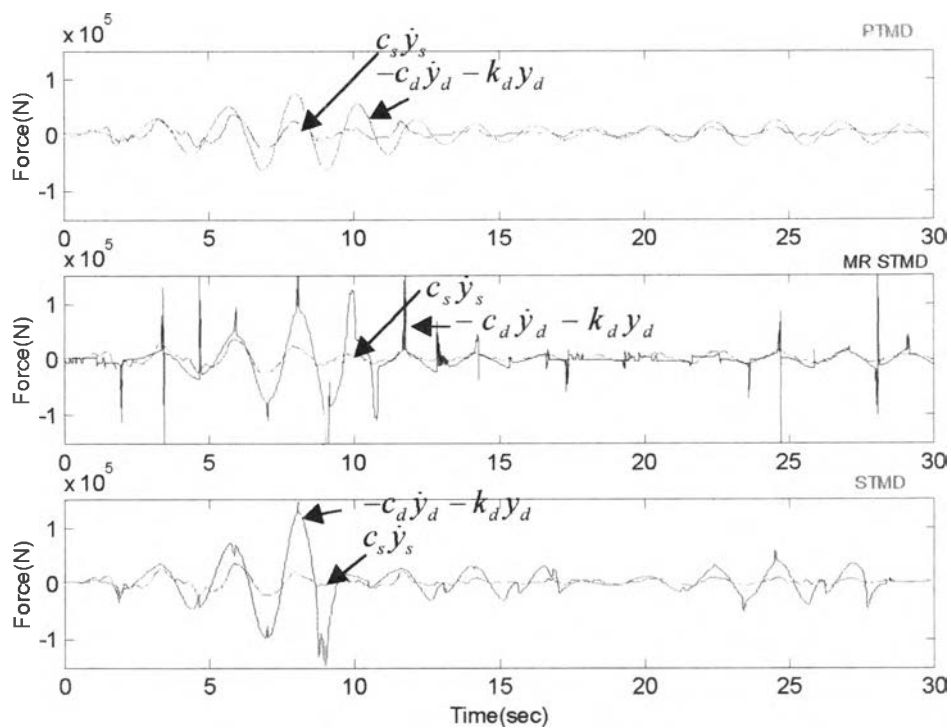
เมื่อพิจารณาค่าแรงหน่วงที่มวลหน่วงกระทำต่อโครงสร้างเทียบกับแรงหน่วงของโครงสร้างเองพบว่าในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานครพบว่าการใช้ตัวหน่วงที่บรรจุของเหลวแม่เหล็กปรับค่าจะสามารถสร้างแรงหน่วงได้ดีเช่นเดียวกับระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟทางทฤษฎีซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาด้านพลังงานของระบบ ส่วนในกรณีที่วิเคราะห์โดยใช้ลักษณะคลื่นที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโกจะพบว่าระบบที่ใช้ตัวหน่วงที่ศึกษาสามารถสร้างแรงหน่วงได้ในลักษณะเดียวกันกับในระบบกึ่งแอกทีฟทางทฤษฎีแต่ในช่วงตั้งแต่วินาทีที่ 65 ถึง 75 แรงหน่วงที่เกิดขึ้นนี้มีทิศทางที่ไม่สอดคล้องกับแรงหน่วงของโครงสร้างจึงทำให้พลังงานในโครงสร้างเพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 6.17 แสดงเทอมของค่าแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงหน่วงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงปฏิกิริยาของมวลหน่วงในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดที่กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 6.18 แสดงเทอมของค่าแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงหน่วงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงปฏิกิริยาของมวลหน่วงในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดที่กรุงเม็กซิโก



รูปที่ 6.19 แสดงเทอมของค่าแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงหน่วงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงปฏิกริยาของมวลหน่วงในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวเอลเซ็นโท