

บทที่ 3

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดการสั่นไหวของโครงสร้างโดยใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟ, มวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟหลายหน่วยและมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟ

ในการศึกษานี้จะใช้อาคารใบหยก 1 ซึ่งเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูงประมาณ 140 เมตรเป็นอาคารตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของระบบมวลหน่วงแบบต่างๆ ในการงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาโหมดการสั่นที่ 1 แทนการสั่นไหวของโครงสร้าง ซึ่งค่ามวลของโครงสร้างในโหมดที่ 1 (1^{st} Model mass, m_s) ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 4,620 ตัน, ค่าสติฟเนส (k_s) มีค่าเท่ากับ 38,600 kN/m ซึ่งจะได้ว่าค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างในโหมดที่ 1 นี้มีค่าประมาณ 0.46 เฮิรตซ์ และสมมติให้ค่าอัตราส่วนความหน่วงในโหมดที่ 1 นี้มีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ของค่าอัตราส่วนความหน่วงวิกฤติ ซึ่งคิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง (c_s) เท่ากับ 534 kN/(m/s) สำหรับค่าพารามิเตอร์ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟจะออกแบบตามค่าที่เหมาะสมตามข้อเสนอของ Den Hartog (1956) ซึ่งเมื่อกำหนดให้ค่ามวลของมวลหน่วงมีค่า 3 เปอร์เซ็นต์ของมวลของโครงสร้างจะสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบมวลหน่วงซึ่งได้แก่ค่ามวลของมวลหน่วง(m_d), ค่าสติฟเนส(k_d) และค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง(c_d) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟ

โครงสร้างหลัก :	$m_s = 4,620$ tons	$k_s = 38,600$ kN/m	$c_s = 534$ kN/(m/s)
มวลหน่วง :	$m_d = 138$ tons	$k_d = 1091$ kN/m	$c_d = 80.8$ kN/(m/s)

สำหรับในกรณีของการควบคุมด้วยระบบมวลหน่วงปรับค่าหลายหน่วยได้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงจากการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์พลวัตของการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้การสั่นไหวที่ฐานที่มีความถี่ในช่วง 0.8 ถึง 1.2 เท่าของความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างมีค่าต่ำที่สุด แต่เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟหลายหน่วยนี้มีหลายค่าอันได้แก่ จำนวนหน่วยของมวลหน่วง, ค่ามวลของมวลหน่วง, ค่าความถี่และค่าอัตราส่วนความหน่วงของมวลหน่วงแต่ละหน่วย ดังนั้นการที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทุกๆพารามิเตอร์สามารถทำได้ยากจึงจำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์บางค่าให้คงที่ไว้ ในที่นี้จึงได้พิจารณาให้มวลของตัวหน่วงแต่ละตัวมีค่าเท่ากันและมีผลรวมของมวลหน่วงทั้งหมดให้มีค่าเท่ากับมวลหน่วงในระบบ

แพลตฟอร์มซึ่งมีค่าเป็น 138 ตัน ให้มวลหน่วงแต่ละหน่วยมีระยะห่างของความถี่คงที่โดยให้มีค่าช่วงความถี่เป็น 0.15 เท่าของค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างและกำหนดให้มวลหน่วงแต่ละหน่วยมีค่าอัตราส่วนความหน่วงเท่ากันหมด ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการหาค่าที่เหมาะสมจึงมีเพียง 2 ค่าซึ่งคือ ค่าความถี่ของมวลหน่วงแต่ละหน่วยและค่าอัตราส่วนความหน่วงของมวลหน่วง ซึ่งสามารถหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ได้โดยวิธีการออปติไมซ์เซชัน (Optimization) โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้พื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายและค่าอัตราส่วนความถี่ของแผ่นดินไหวต่อโครงสร้างมีค่าต่ำที่สุดเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะได้ว่าค่าความถี่ของมวลหน่วงมีค่าเท่ากับ 0.406, 0.423, 0.440, 0.458 และ 0.475 เฮิรตซ์ และค่าอัตราส่วนความหน่วงของตัวหน่วงแต่ละหน่วยมีค่า 6.68 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนความหน่วงวิกฤติ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพลตฟอร์มหลายหน่วยสามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพลตฟอร์มหลายหน่วย

โครงสร้างหลัก :	$m_s = 4,620$ tons	$k_s = 38,600$ kN/m	$c_s = 534$ kN/(m/s)
มวลหน่วง :			
หน่วยที่ 1	$m_d = 27.72$ tons	$k_d = 180.17$ kN/m	$c_d = 0.944$ kN/(m/s)
หน่วยที่ 2	$m_d = 27.72$ tons	$k_d = 195.82$ kN/m	$c_d = 0.984$ kN/(m/s)
หน่วยที่ 3	$m_d = 27.72$ tons	$k_d = 212.11$ kN/m	$c_d = 1.025$ kN/(m/s)
หน่วยที่ 4	$m_d = 27.72$ tons	$k_d = 229.06$ kN/m	$c_d = 1.065$ kN/(m/s)
หน่วยที่ 5	$m_d = 27.72$ tons	$k_d = 246.66$ kN/m	$c_d = 1.105$ kN/(m/s)

ค่าพารามิเตอร์ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่ฟซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ 4 ค่าได้แก่ เมตริกซ์ Q, R, ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงน้อยที่สุด ($c_{d,min}$) และมากที่สุด ($c_{d,max}$) ที่ตัวหน่วงสามารถปรับค่าได้ โดยค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่ฟซึ่งอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้แสดงผลการศึกษาไว้ในบทที่ 4 ในบทนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นมาก่อนเพื่อที่จะศึกษาประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่ฟโดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกทีฟ

โครงสร้างหลัก : $m_s = 4,620$ tons $k_s = 38,600$ kN/m $c_s = 534$ kN/(m/s)

มวลหน่วง :

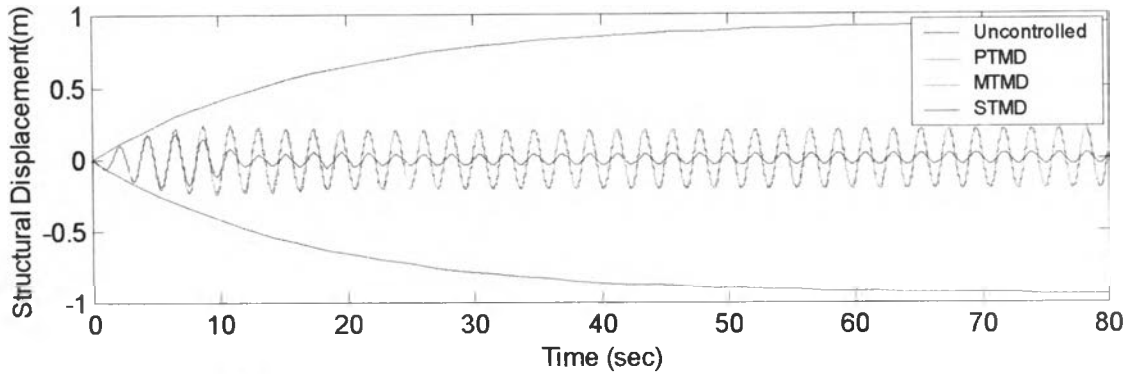
$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} k_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = 1 \times 10^{-3.0} m/N$$

$$c_{d,\min} = 0.00 \text{ kN/(m/s)} \quad c_{d,\max} = 757 \text{ kN/(m/s)} \quad (\text{Damping ratio} = 0.0-1.0)$$

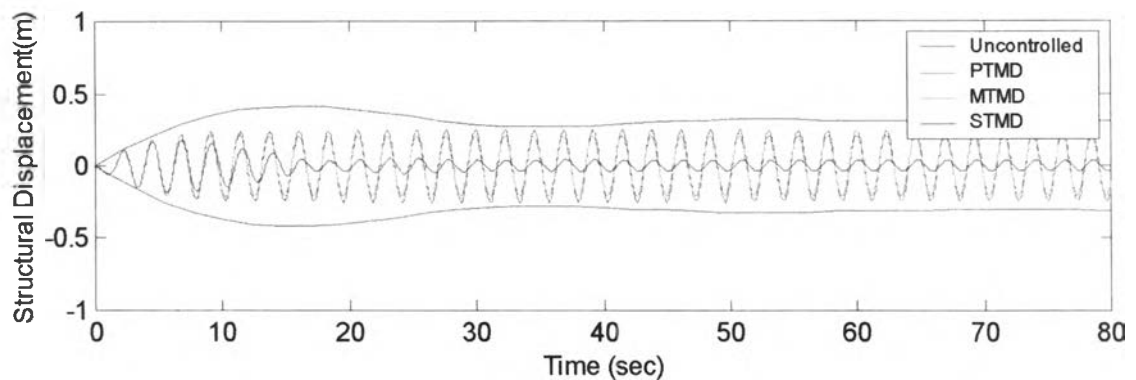
ในบทนี้แสดงรายละเอียดการศึกษาประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของระบบตามที่แสดงในตารางที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 การศึกษาได้แบ่งออกเป็นสองกรณีคือ กรณีสัญญาณแผ่นดินไหวเป็นแบบฮาร์โมนิก และในกรณีสัญญาณแผ่นดินไหวจริงที่ตรวจวัดได้ในอดีต

3.1 กรณีลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เป็นฮาร์โมนิก

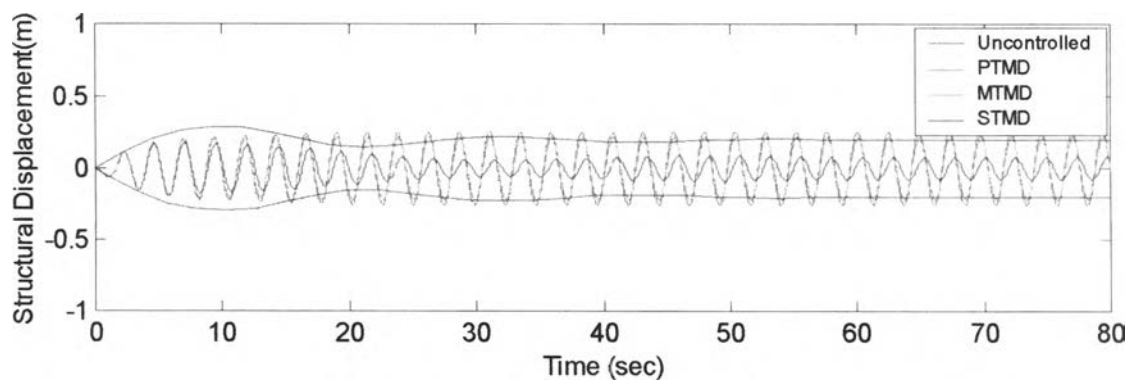
ในกรณีนี้ได้กำหนดให้สัญญาณคลื่นแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างมีลักษณะเป็นแบบฮาร์โมนิกที่มีความถี่ของคลื่นสัญญาณต่อความถี่ของโครงสร้างค่าต่างๆ ค่าความเร่งสูงสุดของคลื่นสัญญาณมีค่าเป็น 20 gals ในรูปที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างแบบยังไม่มี การควบคุมและแบบที่ควบคุมด้วยระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟหนึ่งหน่วย, หลายหน่วย และระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกทีฟ โดยจากรูปจะพบว่าการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกทีฟสามารถช่วยลดขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างได้มากเมื่อเทียบกับการลดการสั่นไหวของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสซีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วย ซึ่งสามารถแสดงค่าประสิทธิภาพของการลดการสั่นไหวได้ดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.1 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 20 gals ค่าความถี่ของคลื่นเท่ากับค่าความถี่ของโครงสร้าง ในกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุม, ควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟหนึ่งหน่วย, หลายหน่วย และมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟ



รูปที่ 3.2 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 20 gals ค่าความถี่ของคลื่น 0.94 เท่าของค่าความถี่ของโครงสร้าง ในกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆ

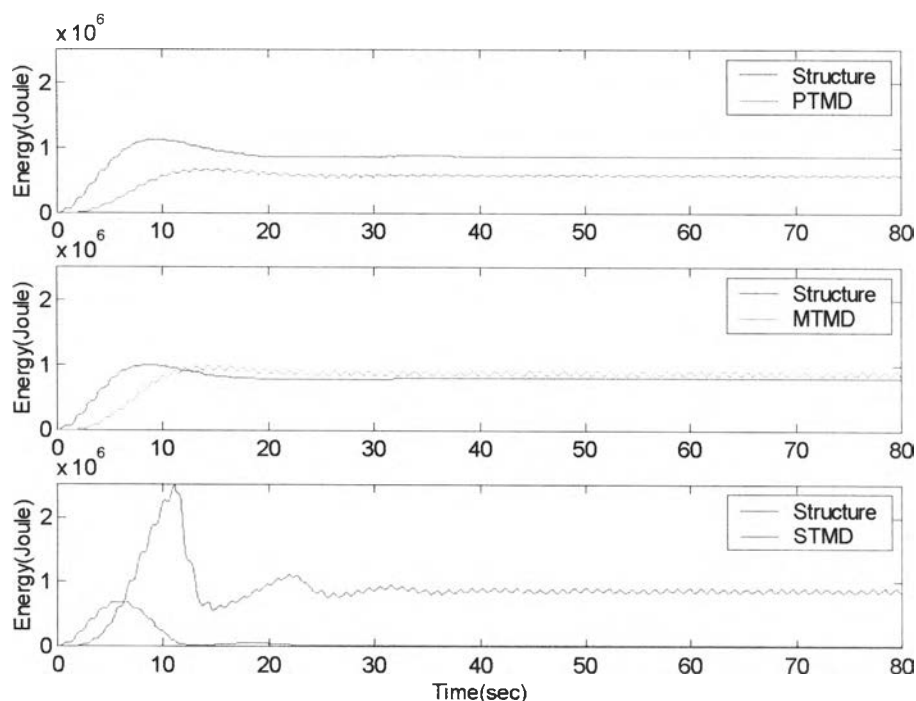


รูปที่ 3.3 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้สัญญาณแผ่นดินไหวที่มีค่าความเร่งสูงสุดเท่ากับ 20 gals ค่าความถี่ของคลื่น 0.90 เท่าของค่าความถี่ของโครงสร้าง ในกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆ

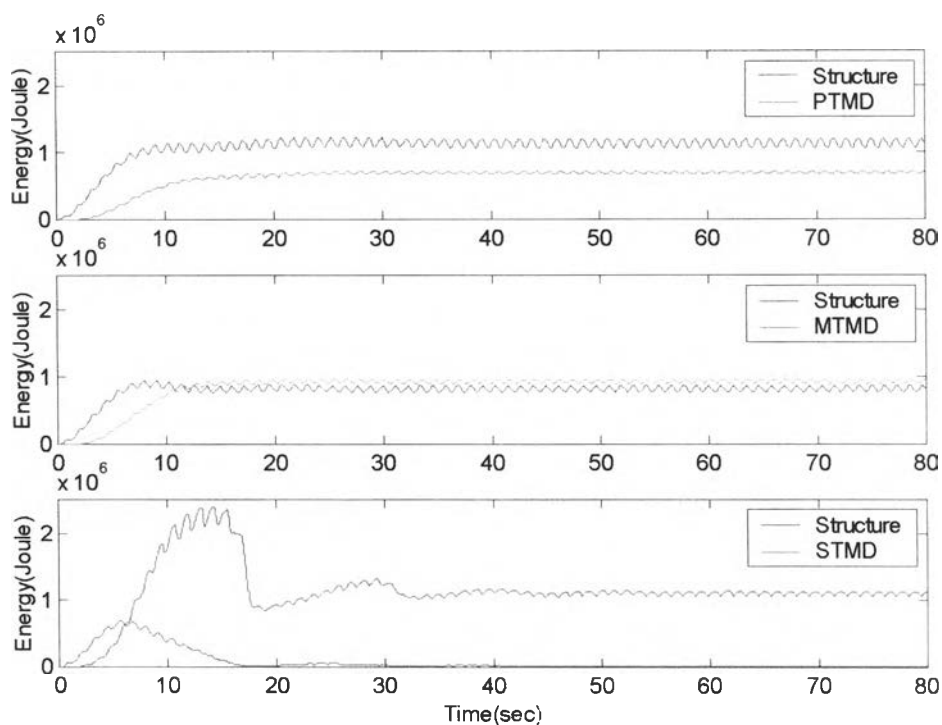
ตารางที่ 3.4 แสดงขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างในกรณีต่างๆ

ความถี่ของคลื่น แผ่นดินไหว ต่อโครงสร้าง	ขนาดการสั่นไหวของโครงสร้างเทียบกับกรณีที่ยังไม่ถูกควบคุม (%)							
	Peak				Steady state			
	Uncontr.	PTMD	MTMD	STMD	Uncontr.	PTMD	MTMD	STMD
1.00	100	25	24	20	100	23	21	4
0.94	100	60	53	45	100	81	69	13
0.90	100	88	76	62	100	134	114	41

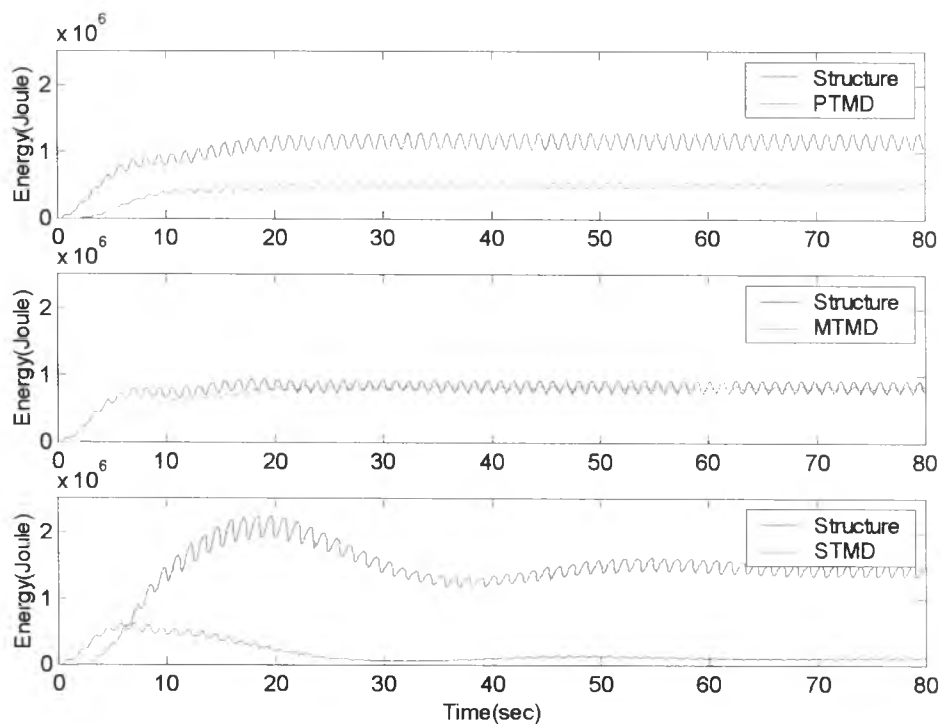
รูปที่ 3.4, 3.5 และ 3.6 เป็นรูปแสดงพลังงานของโครงสร้างและพลังงานของมวล
หน่วงในกรณีต่างๆ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าหลังจากที่โครงสร้างได้รับพลังงานการสั่นไหวจากการ
สั่นที่ฐานจะทำให้พลังงานของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันพลังงานการสั่นไหวของโครง
สร้างนี้จะถูกถ่ายทอดไปยังระบบมวลหน่วงซึ่งจะทำให้โครงสร้างมีพลังงานลดลง การที่ระบบ
มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟสามารถปรับค่าความหนืดของตัวหน่วงได้ทำให้มวลหน่วง
สามารถรับพลังงานจากโครงสร้างและสลายพลังงานได้รวดเร็วกว่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบ
พาสซีฟ โดยในจังหวะที่มวลหน่วงรับพลังงานจากโครงสร้างตัวหน่วงก็จะปรับค่าความหน่วงให้มี
ค่าต่ำลงทำให้พลังงานของโครงสร้างที่มีค่ามากถูกถ่ายทอดมายังมวลหน่วงมากขึ้น และจะปรับ
ค่าความหน่วงให้มีค่ามากเพื่อที่จะสลายพลังงานของมวลหน่วงเองออกไป



รูปที่ 3.4 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงปรับ
ค่าระบบต่างๆในกรณีที่ความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของโครงสร้าง



รูปที่ 3.5 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่าระบบต่างๆในกรณีที่มีความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่า 0.94 เท่าของความถี่ของโครงสร้าง

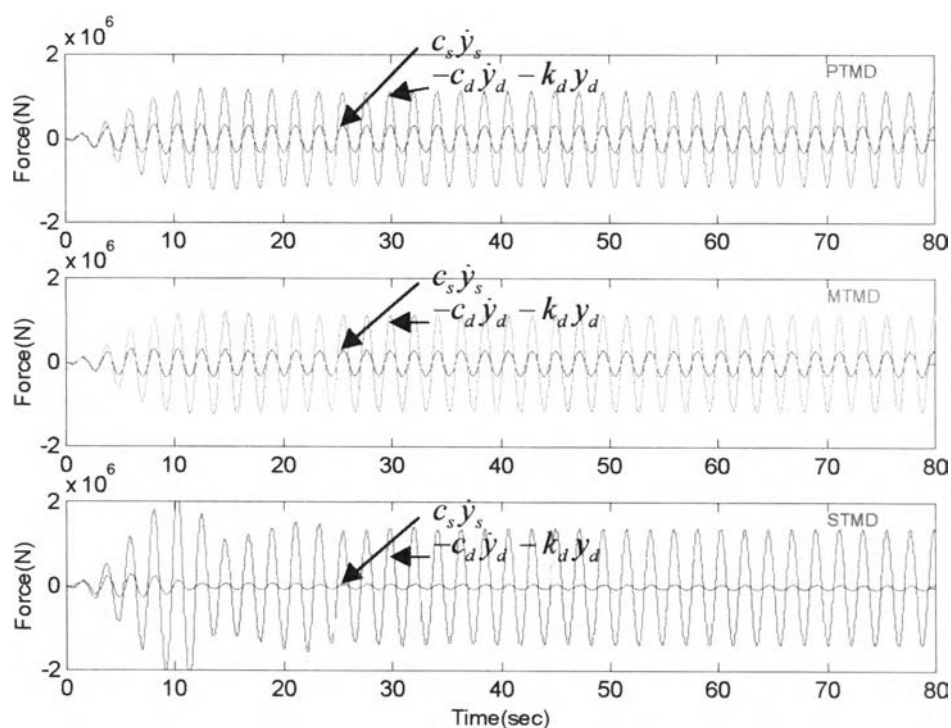


รูปที่ 3.6 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่าระบบต่างๆในกรณีที่มีความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่า 0.90 เท่าของความถี่ของโครงสร้าง

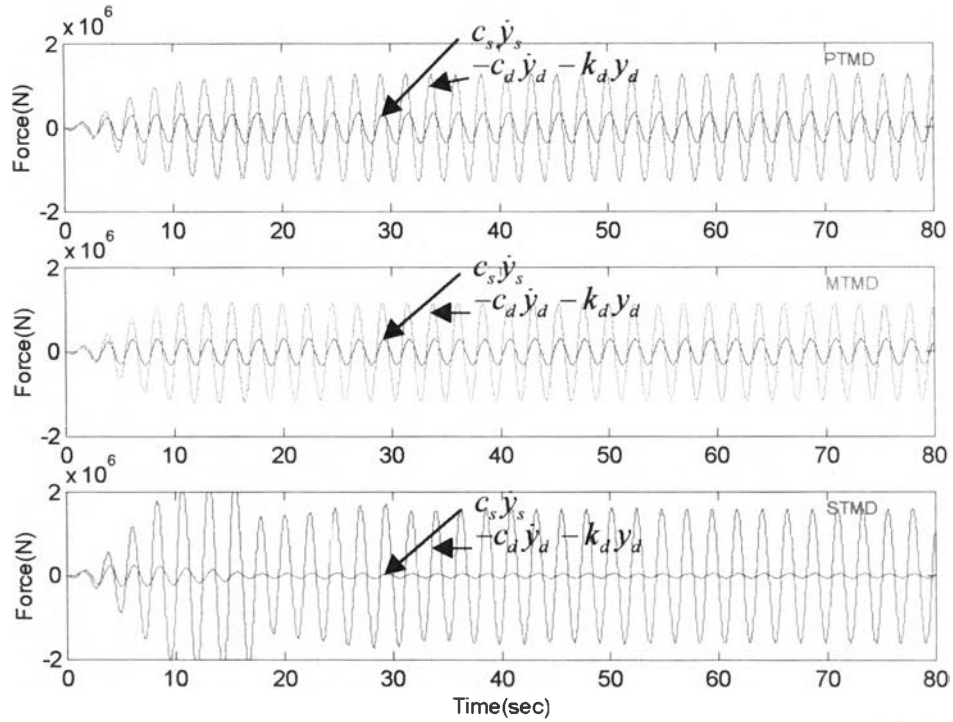
เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับเฟสของการสั่นของโครงสร้างและมวลหน่วงซึ่งสามารถพิจารณาจากสมการการเคลื่อนที่ของโครงสร้างตามสมการที่ 2.1 ซึ่งสามารถนำมาจัดรูปแบบใหม่ จะได้เป็น

$$m_s \ddot{y}_s + (c_s \dot{y}_s - c_d \dot{y}_d - k_d y_d) + k_s y_s = -m_s \ddot{y}_g \quad (3.1)$$

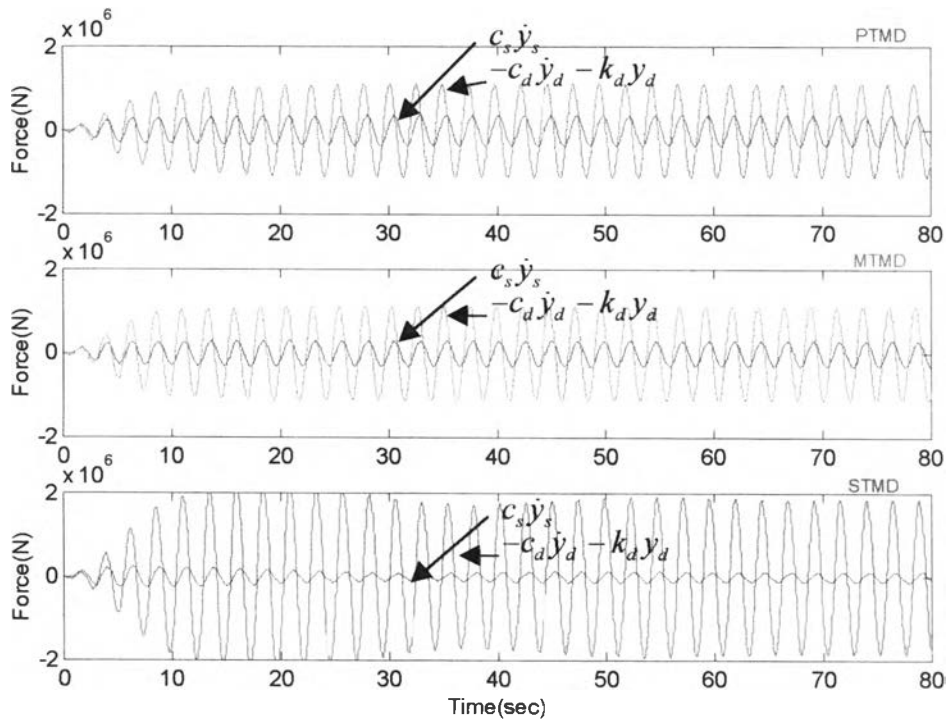
สมการที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้าง ($c_s \dot{y}_s$) สามารถเพิ่มขึ้นได้ถ้าการตอบสนองของมวลหน่วง (y_d, \dot{y}_d) มีทิศทางที่เหมาะสม นั่นคือเทอมแรงหน่วงอันเนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาของมวลหน่วง ($-c_d \dot{y}_d - k_d y_d$) จะต้องมีเครื่องหมายเดียวกับเทอมแรงหน่วงของโครงสร้าง ($c_s \dot{y}_s$) ซึ่งก็จะหมายความว่าระบบมวลหน่วงจะช่วยทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงของโครงสร้างเสมือนว่ามีค่ามากขึ้นจึงทำให้มีการสลายพลังงานออกจากโครงสร้างมากขึ้นและทำให้โครงสร้างมีการสั่นน้อยลง รูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 แสดงให้เห็นถึงเทอมแรงเนื่องจากความหน่วงของโครงสร้าง ($c_s \dot{y}_s$) กับเทอมแรงหน่วงอันเนื่องมาจากการตอบสนองของมวลหน่วง ($-c_d \dot{y}_d - k_d y_d$)



รูปที่ 3.7 แสดงเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงปฏิกิริยาเนื่องจากการสั่นไหวของมวลหน่วงในกรณีของการควบคุมโครงสร้างด้วยมวลหน่วงระบบต่างๆ ในกรณีที่ความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่าเท่ากับของความถี่ของโครงสร้าง



รูปที่ 3.8 แสดงเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงปฏิกิริยาเนื่องจากการสั่นไหวของมวลหน่วงในกรณีของการควบคุมโครงสร้างด้วยมวลหน่วงระบบต่างๆ ในกรณีที่ความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่า 0.94 เท่าของความถี่ของโครงสร้าง



รูปที่ 3.9 แสดงเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงปฏิกิริยาเนื่องจากการสั่นไหวของมวลหน่วงในกรณีของการควบคุมโครงสร้างด้วยมวลหน่วงระบบต่างๆ ในกรณีที่ความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่า 0.90 เท่าของความถี่ของโครงสร้าง

จากรูปการเปรียบเทียบแรงหน่วงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างเองและแรงหน่วงที่เกิดเนื่องจากการตอบสนองของมวลหน่วงพบว่าในกรณีที่ค่าความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของโครงสร้างเป็นสภาวะที่ระบบมวลหน่วงทำงานได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่าเฟสของแรงหน่วงของโครงสร้างมีค่าใกล้เคียงกับเฟสของแรงหน่วงเนื่องจากมวลหน่วงมากที่สุดในขณะที่เมื่อความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวมีค่าต่างจากค่าความถี่ของโครงสร้างมากขึ้นจะทำให้ผลต่างเฟสมีค่ามากขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงด้อยลง ดังแสดงค่าผลต่างเฟสของแรงหน่วงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงผลต่างเฟสระหว่างแรงหน่วงของมวลหน่วงและแรงหน่วงของโครงสร้าง

ความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหวต่อโครงสร้าง	ผลต่างเฟสระหว่างแรงหน่วงของโครงสร้างและมวลหน่วง (องศา)		
	PTMD	MTMD	STMD
1.00	9	11	-11
0.94	-23	-16	-21
0.90	-41	-33	-34

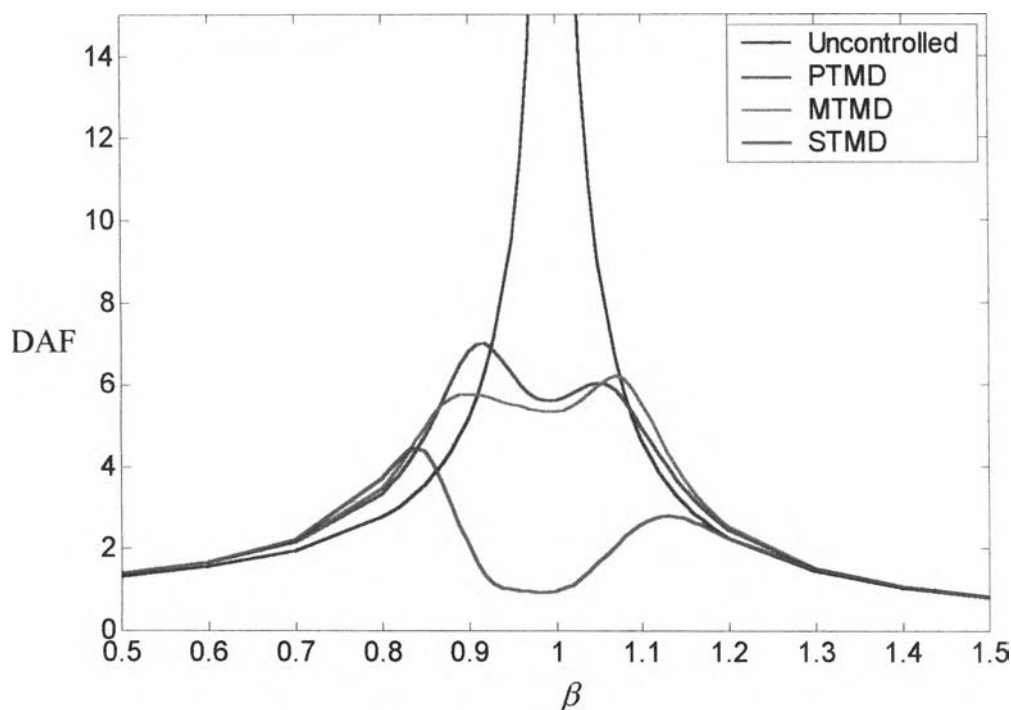
ตารางที่ 3.6 แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างแรงหน่วงจากระบบมวลหน่วงและแรงหน่วงของโครงสร้าง

ความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหวต่อโครงสร้าง	อัตราส่วนระหว่างแรงหน่วงของมวลหน่วงต่อแรงหน่วงของโครงสร้าง		
	PTMD	MTMD	STMD
1.00	3.45	3.67	24.09
0.94	3.51	3.76	26.60
0.90	3.10	3.69	15.46

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าอัตราส่วนของขนาดของแรงหน่วงที่เกิดจากระบบมวลหน่วงเทียบกับขนาดของแรงหน่วงของโครงสร้าง ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟค่าอัตราส่วนของแรงหน่วงนี้มีค่าสูงกว่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบพาสซีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วยจึงทำให้ระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟมีประสิทธิภาพสูงในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างมากกว่าระบบมวลหน่วงแบบอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟเทียบกับระบบอื่นๆโดยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การขยายพลวัต (Dynamic amplification

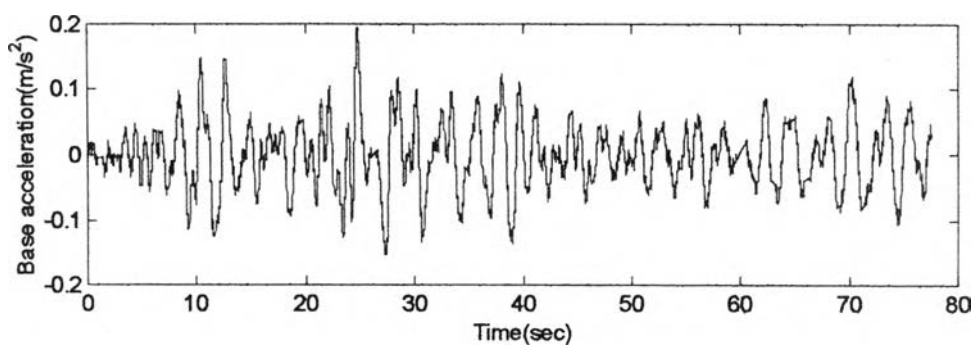
factor, DAF) ต่ออัตราส่วนของความถี่ของสัญญาณแผ่นดินไหวที่มากระทำต่อความถี่ของโครงสร้าง (β) จะพบว่าสัมประสิทธิ์การขยายของระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟมีค่าน้อยกว่าระบบมวลหน่วงแบบอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าในช่วงของความถี่ของคลื่นแผ่นดินไหวที่กว้างกว่าดังแสดงในรูปที่ 3.10



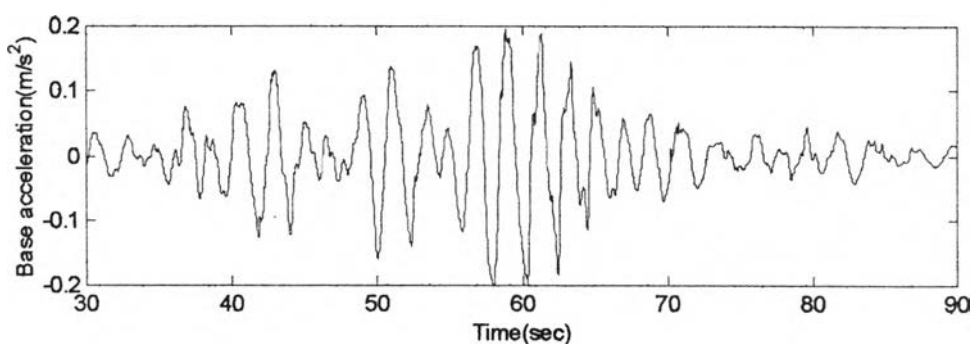
รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายพลศาสตร์และอัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงต่อโครงสร้างในกรณีโครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆ

3.2 กรณีลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในอดีต

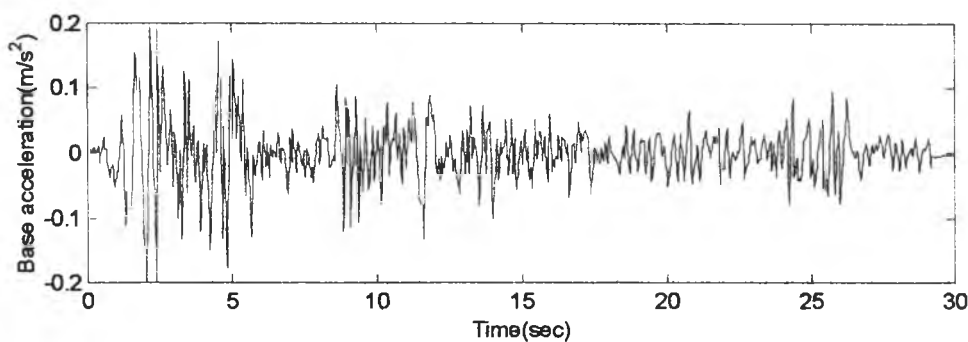
ในกรณีนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าแบบต่างๆโดยใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ในอดีต โดยคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ได้แก่คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร (ค.ศ.1995), คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโก (Mexico City, 1985-SCT N90W) และคลื่นแผ่นดินไหวเอลเซ็นโตร (El Centro, 1940 – S00E) โดยทำการปรับค่าขนาดของความเร่งสูงสุดให้มีค่าเท่ากับ 20 gals เท่ากันหมด ซึ่งลักษณะและสเปกตรัมของคลื่นสัญญาณของคลื่นแผ่นดินไหวต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 3.11, 3.12 และ 3.13 ดังนี้



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร

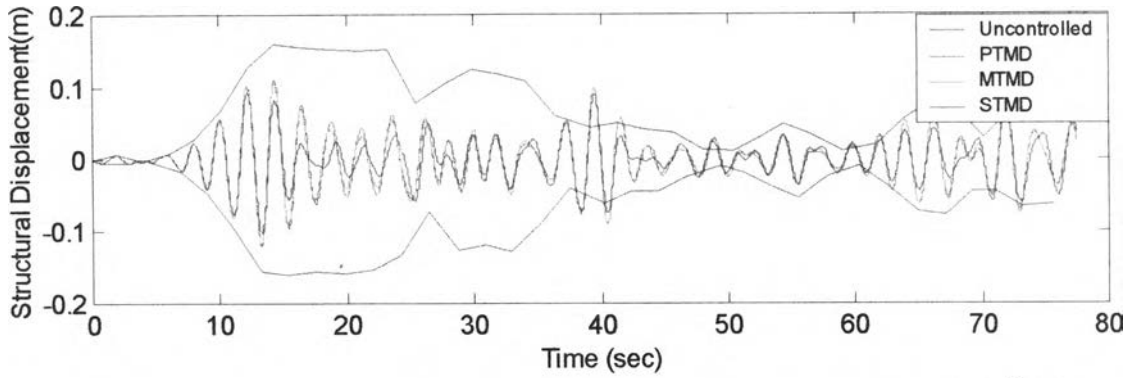


รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโก

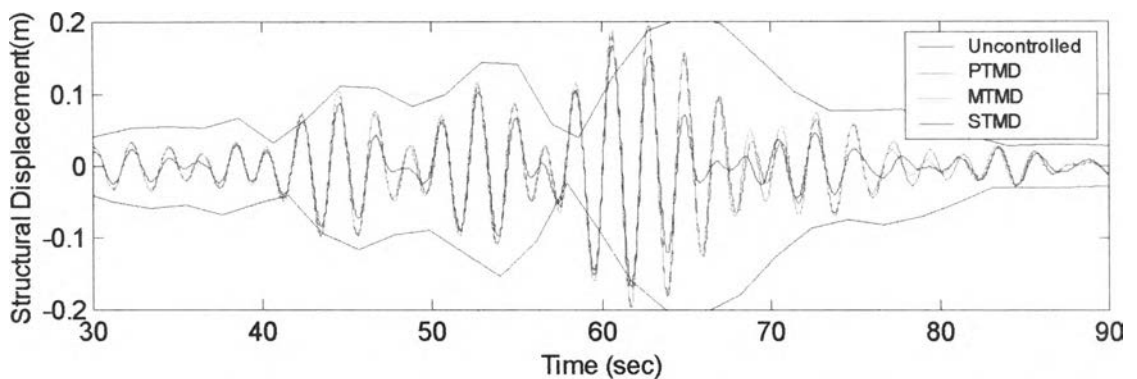


รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวเอลเซ็นโทร

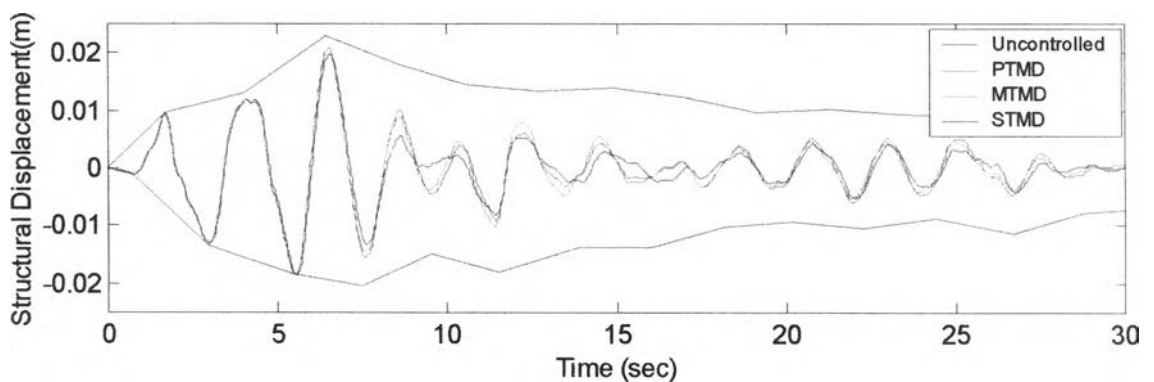
เมื่อใช้ระบบมวลหน่วงปรับค่าในการลดการสั่นไหวที่เกิดจากสัญญาณแผ่นดินไหวทั้งสามสัญญาณตัวอย่างนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแยกที่มีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างดีกว่าการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบพลัสสี่ฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วยดังแสดงในรูปที่ 3.14, 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.14 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้ลักษณะสัญญาณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเทพมหานคร กรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงแบบต่างๆ



รูปที่ 3.15 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้ลักษณะสัญญาณแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นที่กรุงเม็กซิโกกรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงแบบต่างๆ



รูปที่ 3.16 แสดงการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้ลักษณะสัญญาณแผ่นดินไหวเอลเซินโทร กรณีที่โครงสร้างยังไม่ได้ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยมวลหน่วงแบบต่างๆ

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างในกรณีที่ยังไม่ได้ควบคุมและควบคุมด้วยระบบมวลหน่วงแบบต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้มวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟสามารถช่วยลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้ดีกว่าในระบบมวลหน่วงแบบพาสซีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วยทั้งค่าขนาดสูงสุดของการสั่นไหวของโครงสร้างและค่ารากที่สองของค่า

เฉลี่ยของการสั่นไหวยกกำลังสอง สำหรับการลดขนาดสูงสุดของการสั่นไหวในระบบมวลหนึ่ง ปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟสามารถช่วยได้บ้างโดยสามารถลดได้ดีในบางกรณีแต่เมื่อพิจารณาการลดการสั่นไหวโดยดูจากการลดค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของการสั่นไหวยกกำลังสองแล้วพบว่าการใช้มวลหนึ่งปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟสามารถช่วยลดการสั่นไหวได้มากในทุกๆกรณี ซึ่งโดยเฉลี่ยพบว่าการลดการสั่นไหวได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของการสั่นไหวที่ไม่ได้มีการควบคุม

ตารางที่ 3.7 แสดงขนาดของการสั่นไหวของโครงสร้างในกรณีต่างๆ

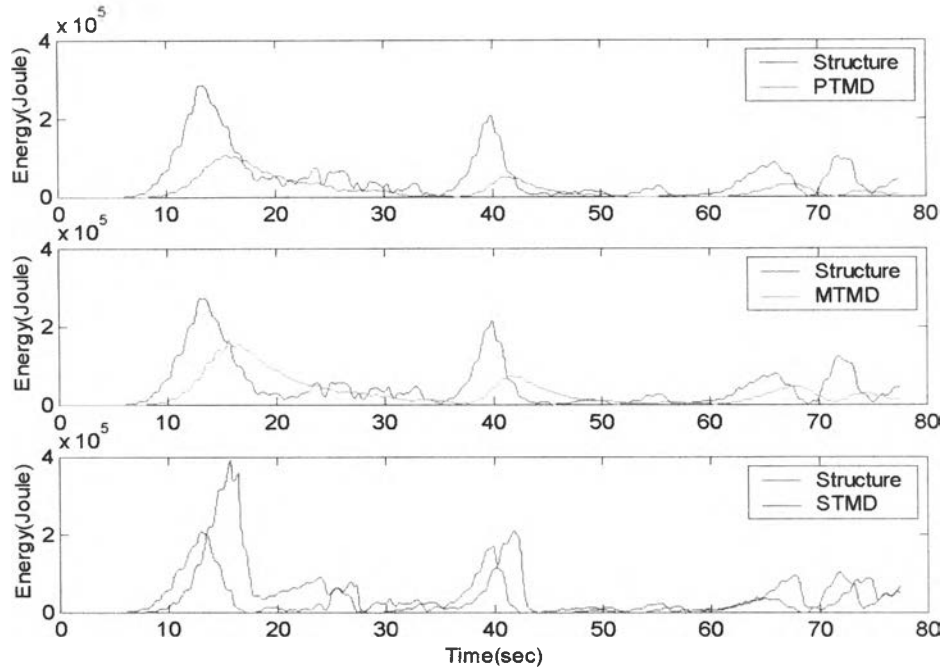
ลักษณะคลื่น แผ่นดินไหว	ขนาดการสั่นไหวของโครงสร้างเทียบกับกรณีที่ยังไม่ถูกควบคุม (%)							
	Peak				Root mean square (RMS)			
	Uncontr.	PTMD	MTMD	STMD	Uncontr.	PTMD	MTMD	STMD
Bangkok	100	76	74	64	100	60	59	49
Mexico	100	94	95	81	100	76	76	58
Elcentro	100	90	88	86	100	64	62	60

เมื่อพิจารณาผลการลดการสั่นไหวสำหรับคลื่นลักษณะต่างๆที่ใช้พบว่ามวลหนึ่งสามารถช่วยลดการสั่นไหวในกรณีของคลื่นกรุงเทพมหานครได้มากกว่าคลื่นเม็กซิโกและคลื่นเอลเซินโตรตามลำดับ ทั้งนี้เพราะคลื่นเม็กซิโกที่เลือกมาใช้ในการศึกษามีการสั่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นช่วงๆทำให้ระบบมวลหนึ่งทำงานได้ไม่ดีเท่าในกรณีของคลื่นโบหยกซึ่งมีแอมพลิจูดของการสั่นที่ฐานค่อนข้างคงที่มากกว่า ส่วนคลื่นเอลเซินโตรนั้นมีความถี่หลักต่างจากความถี่ธรรมชาติของอาคารที่ใช้มากจึงทำให้มีผลการลดการสั่นที่ด้อยกว่า

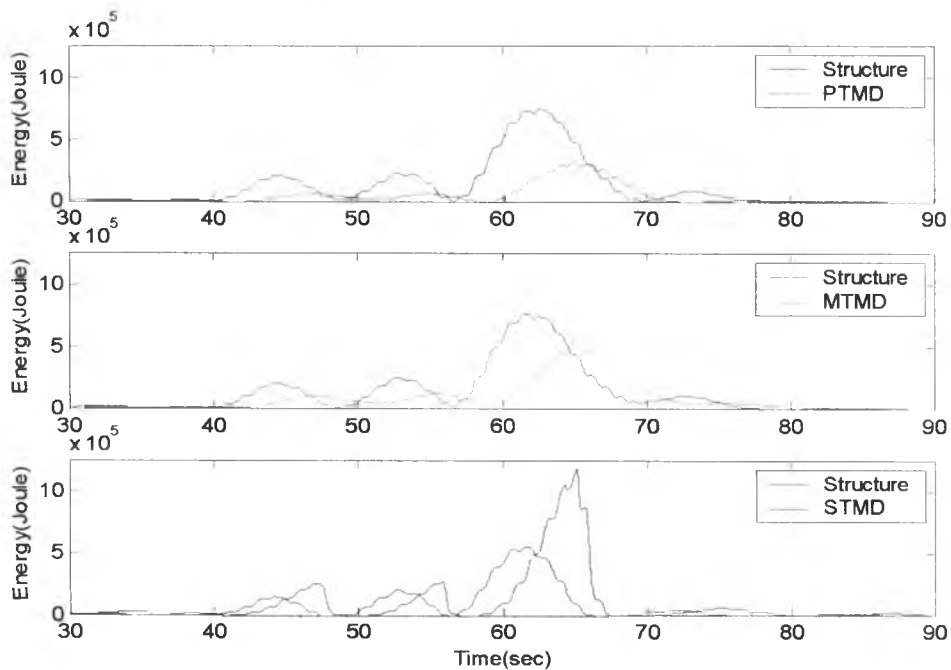
รูปที่ 3.17, 3.18 และ 3.19 เป็นรูปแสดงพลังงานของโครงสร้างและพลังงานของมวลหนึ่งในกรณีต่างๆ จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าระบบมวลหนึ่งปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟสามารถรับพลังงานจากโครงสร้างและสลายพลังงานได้รวดเร็วกว่าในระบบมวลหนึ่งปรับค่าแบบพาสซีฟหนึ่งหน่วยและหลายหน่วย ทำให้โครงสร้างมีพลังงานต่ำลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าพลังงานในระบบมวลหนึ่งปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟลดลงได้รวดเร็วกว่าระบบอื่นๆเพราะการปรับค่าความหน่วงของตัวหน่วงให้มีค่ามากจะทำให้พลังงานของมวลหนึ่งลดลงได้รวดเร็วซึ่งจะทำให้พลังงานที่ถ่ายกลับเข้าสู่โครงสร้างน้อยลง

เมื่อพิจารณาเทอมของแรงหน่วงที่เกิดเนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาของระบบมวลหนึ่งดังในรูปที่ 3.20, 3.21 และ 3.22 จะพบได้ว่าระบบมวลหนึ่งทั้งสามระบบสร้างแรงหน่วงในทิศทางที่ค่อนข้างเหมาะสมกับการเพิ่มแรงหน่วงให้กับโครงสร้างทำให้โดยเฉลี่ยแล้วโครงสร้างมีขนาดการสั่นไหวที่ลดลง แต่เมื่อพิจารณาค่าขนาดของแรงหน่วงที่เกิดจากระบบมวลหนึ่งจะ

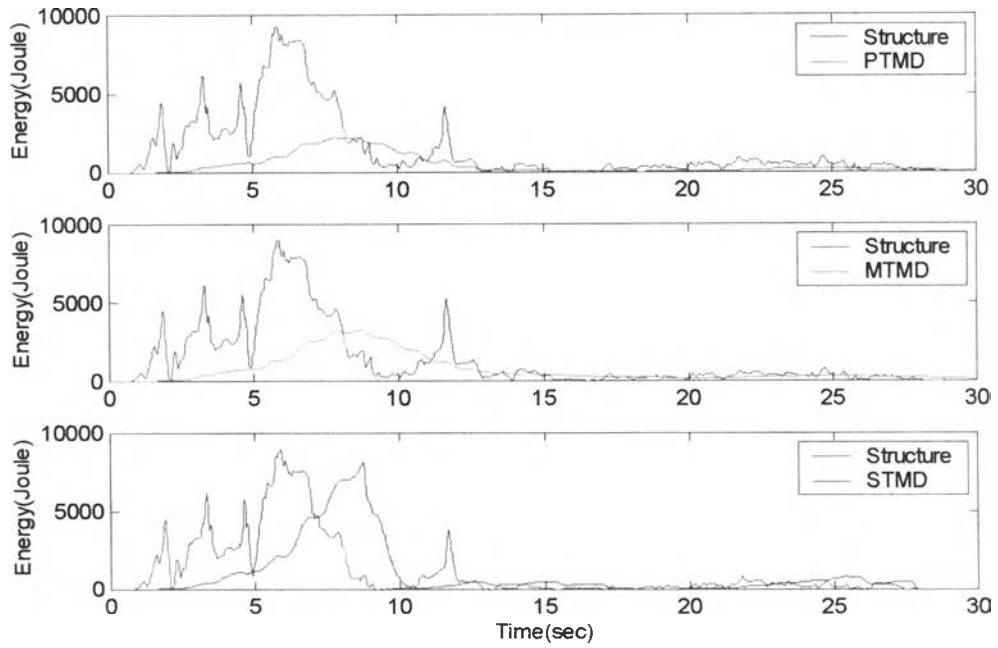
พบว่าในระบบมวลหน่วงปรับค่าแบบกึ่งแอกทีฟที่สามารถสร้างแรงหน่วงได้ค่าที่มากกว่าเนื่องจากสามารถรับพลังงานมาจากโครงสร้างได้มากกว่านั่นเอง นอกจากนี้จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าในสถานะที่โครงสร้างมีขนาดการสั่นไหวน้อยตัวหน่วงจะปรับค่าให้มีค่าความหน่วงให้มีค่ามากซึ่งจะทำให้เกิดการสลายพลังงานที่ตัวหน่วงมีอยู่ในขนาดนั้นมีให้ถ่ายกลับเข้ามาสู่โครงสร้าง



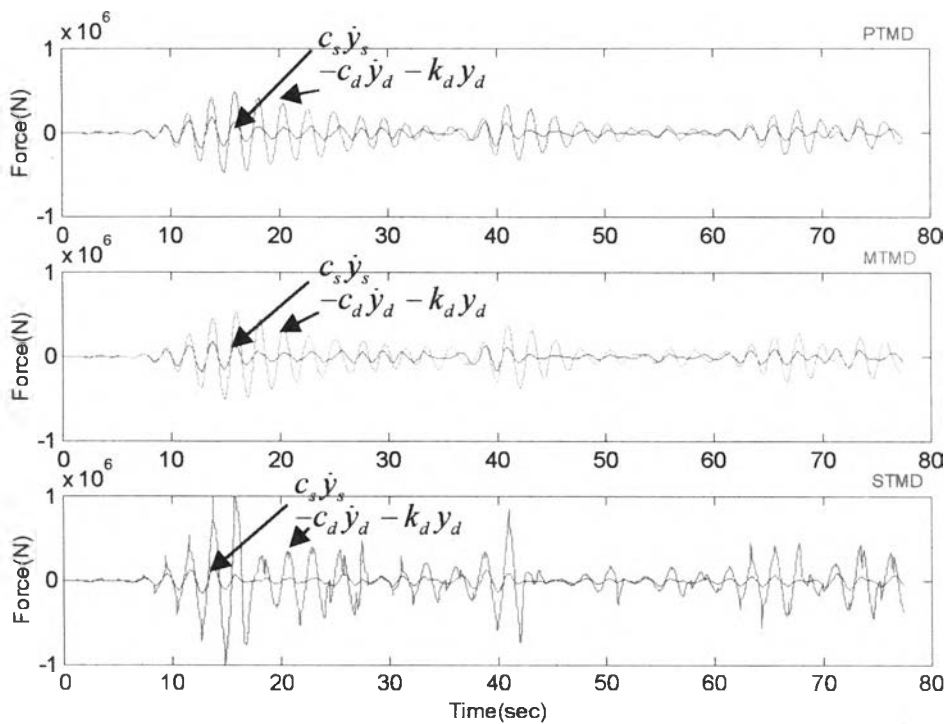
รูปที่ 3.17 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่าระบบต่างๆในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดที่กรุงเทพมหานคร



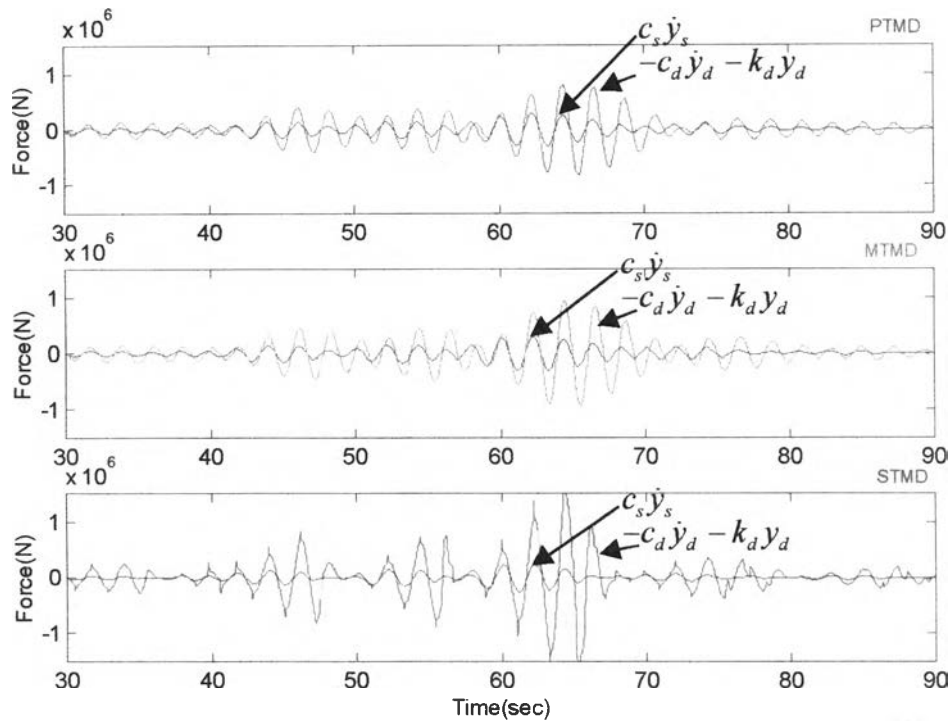
รูปที่ 3.18 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่าระบบต่างๆในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดที่กรุงแม็กซิโก



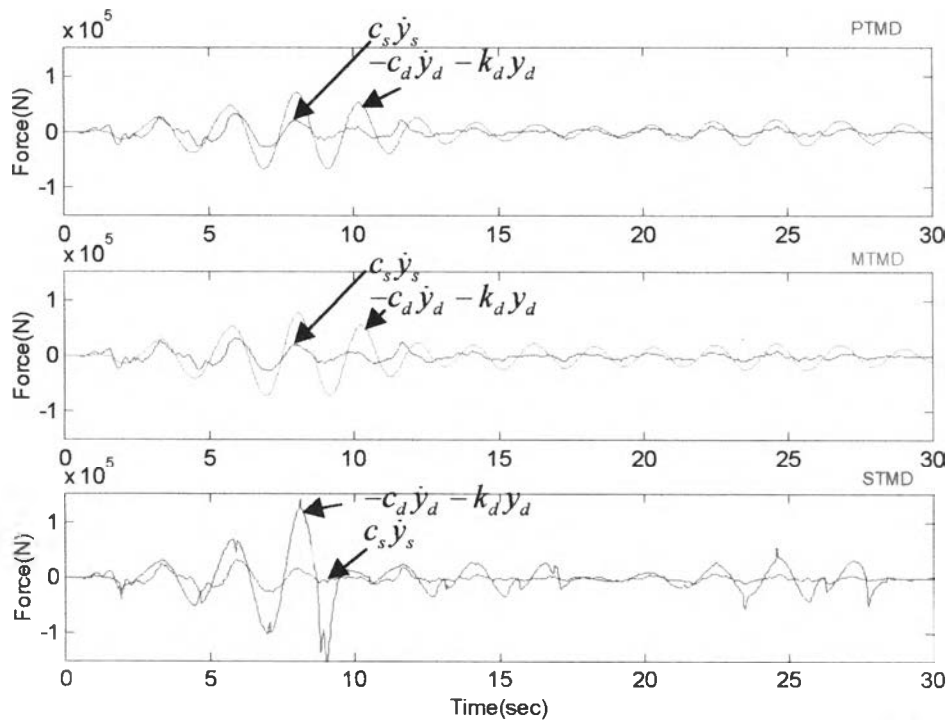
รูปที่ 3.19 แสดงผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างและมวลหน่วง
ปรับค่าระบบต่างๆในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวเอลเซินโท



รูปที่ 3.20 แสดงเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงปฏิกิริยาเนื่องจากการสั่นไหวของ
มวลหน่วงในกรณีของการควบคุมโครงสร้างด้วยมวลหน่วงระบบต่างๆ ในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่น
แผ่นดินไหวที่เกิดที่กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.21 แสดงเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงปฏิกิริยาเนื่องจากการสั่นไหวของมวลหน่วงในกรณีของการควบคุมโครงสร้างด้วยมวลหน่วงระบบต่างๆ ในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดที่กรุงเม็กซิโก



รูปที่ 3.22 แสดงเทอมของแรงหน่วงของโครงสร้างเทียบกับแรงปฏิกิริยาเนื่องจากการสั่นไหวของมวลหน่วงในกรณีของการควบคุมโครงสร้างด้วยมวลหน่วงระบบต่างๆ ในกรณีที่ใช้ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวเอลเซินโท