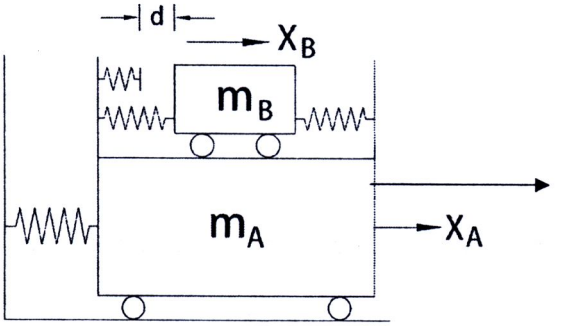
บทที่ 4
ผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟกับมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ โดยจะนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบการลดลงของขนาดการเคลื่อนที่ของอาคารหลักที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟเดิมกับแบบที่พัฒนา โดยใช้การวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนที่ของอาคารชั้นเดียวกับอาคารสามชั้น

4.1.ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวของอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟกับติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษเมื่อรับแรงกระทำแบบคาบ

พิจารณาจากรูปที่ 2.5.1 แบบจำลองอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ



จะใช้สมการที่ 2.6 กับ 2.15 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลA
โดยกำหนดของมวลหน่วงปรับค่าพิเศษเป็นดังนี้

$K_A = 100KN/m \; m_A = 100T \; m_B = 5kg$

$P\sin(\omega t) = 9.81\sin(\omega t)KN$

$K_B = 2KN/m$

$K'_B = 5KN/m$

$d = 0.82\ m$

สามารถคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

ω_A =1 rad/s

ω_B = 0.632 rad/s

ω'_B = 1 rad/s

ω_r = 0.632 rad/s

ω'_r = 1 rad/s

F = 9.81 KN

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

$$\Omega_1 = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{\omega_r^2(1+m_r)}{2} + \sqrt{\frac{\left[1+\omega_r^2(1+m_r)\right]^2}{4} - \omega_r^2}} = 0.622 \text{ rad/s}$$

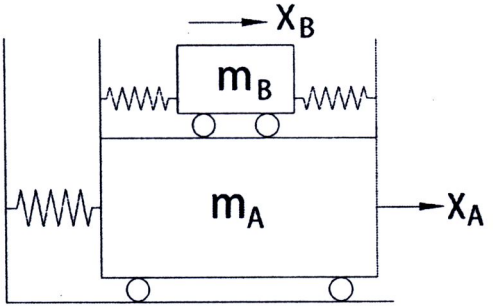
$$\Omega_2 = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{\omega_r^2(1+m_r)}{2} - \sqrt{\frac{\left[1+\omega_r^2(1+m_r)\right]^2}{4} - \omega_r^2}} = 1.016 \text{ rad/s}$$

$$\Omega'_1 = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{\omega_r'^2(1+m_r)}{2} + \sqrt{\frac{\left[1+\omega_r'^2(1+m_r)\right]^2}{4} - \omega_r'^2}} = 0.8944 \text{ rad/s}$$

$$\Omega'_2 = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{\omega_r'^2(1+m_r)}{2} - \sqrt{\frac{\left[1+\omega_r'^2(1+m_r)\right]^2}{4} - \omega_r'^2}} = 1.118 \text{ rad/s}$$

$$X_{PA} = \frac{F}{K_A}\left(\frac{\omega_r'^2 - \Omega^2}{D'_0}\right)\sin(\omega t)$$

จากรูปที่ 2.4 แบบจำลองอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ



กำหนดของมวลหน่วงปรับค่าแพสสีฟดังนี้

$K_A = 100KN/m$ $m_A = 100T$ $m_B = 5kg$

$P\sin(\omega t) = 9.81\sin(\omega t)KN$

$K_B = 5KN/m$

สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

ω_A=1 rad/s ω_B= 1 rad/s ω_r = 1 rad/s

F = 9.81 KN

กำหนดให้

X_{st} คือค่าการเคลื่อนที่ของมวลAเมื่อแรงกระทำเป็นแบบสถิตย์

X_{PA} คือค่าการเคลื่อนที่ของมวลAเมื่อแรงกระทำเป็นแบบคาบ

$$X_{st} = \frac{P}{K_A} = \frac{9.81}{100} = 0.0981m$$

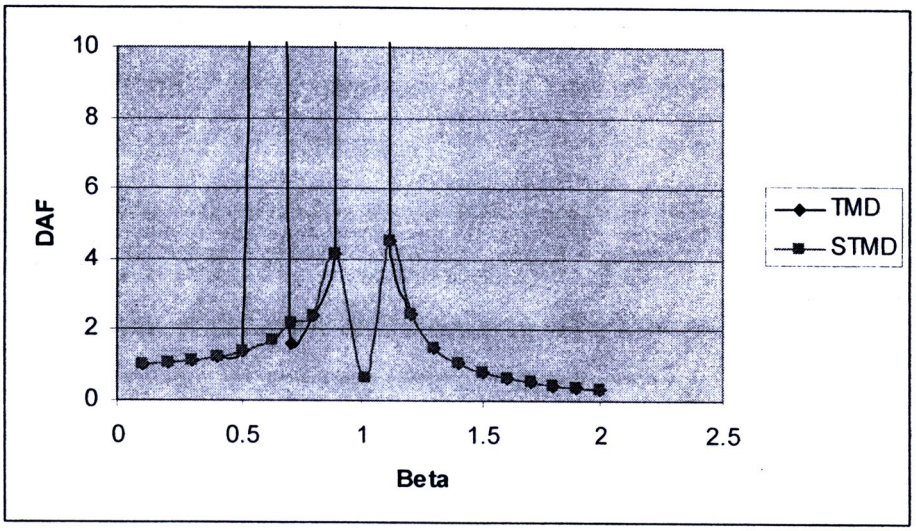
ผลการศึกษาเปรียบเทียบอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟกับที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษจะใช้สมการที่ 2.6 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 อัตรากำลังขยายของมวลหน่วงกับอัตราส่วนความเร็วเชิงมุม

อัตราส่วนความเร็วเชิงมุม $\frac{\omega_A}{\omega}$ (เรเดียน/วินาที)	กำลังขยายของมวลหน่วง ปรับค่าแพสสีฟ(TMD)	กำลังขยายของมวลหน่วง ปรับค่าพิเศษ(STMD)
0.1	1.011	1.01062
0.2	1.044	1.04408
0.3	1.106	1.10596
0.4	1.21	1.20968
0.5	1.395	1.39535
0.622	43.15	1.7195
0.7	1.616	2.16469
0.8	2.419	2.41935
0.8944	4.166	4.16578
1.0	0	0
1.016	2518	0.63782
1.118	4.535	4.53491
1.2	2.425	2.42537
1.3	1.506	1.50648
1.4	1.07	1.06967
1.5	0.816	0.81588
1.6	0.651	0.65092
1.7	0.536	0.53568
1.8	0.451	0.45102
1.9	0.386	0.38647
2	0.336	0.33582

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงอัตราส่วนขนาดขยายของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างหลัก เนื่องจากแรงกระทำแบบคาบ $9.81\sin(\omega t)$KN ต่ออัตรส่วนแรงกระทำแบบสถิตย์ 9.81 KN $\left(\frac{X_{PA}}{X_{st}}\right)$ของมวล

หน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ(TMD) และมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ (STMD) ที่อัตราความเร็วเชิงหมุนของแรงกระทำต่ออัตราเร็วเชิงมุมของความถี่ธรรมชาติของมวล $m_A\left(\frac{\omega_A}{\omega}\right)$ จากกราฟแสดงให้เห็นว่ามวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษไม่มีการสั่นพ้องสำหรับโครงสร้างที่มีดีกรีอิสระเดียว



รูปที่ 4.1 กราฟกำลังขยายของมวลหน่วงTMD&STMDกับอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมเบต้า

กราฟรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งDAF ขนาดขยายการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงกระทำแบบคาบต่อแรงกระทำแบบสถิตย์ $\left(\frac{X_{PA}}{X_{st}}\right)$ กับอัตราส่วน Beta อัตราเร็วเชิงมุมของแรงกระทำแบบคาบต่ออัตราเร็วเชิงมุมของมวล A $\left(\frac{\omega}{\omega_A}\right)$

4.1.1. จากตารางที่ 4.1 เมื่อ $\omega = 0.622$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega_1\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega_1\omega_A$ สมการที่2.9 ทำให้ D_0=0 จากสมการที่ 2.6 มวล B จึงเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวลA เกินระยะ d ทำให้โครงสร้างมีความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องเปลี่ยนเป็น $\Omega_1'\omega_A$ และ $\Omega_2'\omega_A$ จึงไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้

4.1.2. จากตารางที่ 4.1 เมื่อ $\omega = 0.8944$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega'_1\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega'_1\omega_A$ สมการที่2.15a ไม่ทำให้ D_0=0 และมวล B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล Aไม่เกินระยะ d จึงไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้ ข้อควรระวังคือจะต้องให้มีระยะ d เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนความถี่ในช่วงนี้ จะทำให้เกิดการสั่นพ้องได้เนื่องจากค่านิจสปริงของมวลหน่วงเปลี่ยน เป็น K'_B จะทำให้ $D'_0 = 0$ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำด้วย

4.1.3. จากตารางที่ 4.1 เมื่อ $\omega = 1.016$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega_2\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega_2\omega_A$ สมการที่2.10 ทำให้ D_0=0 จากสมการที่ 4 มวล B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล A เกินระยะ d ทำให้โครงสร้างมีความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องที่ $\Omega'_1\omega_A$ และ $\Omega'_2\omega_A$ จึงไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้

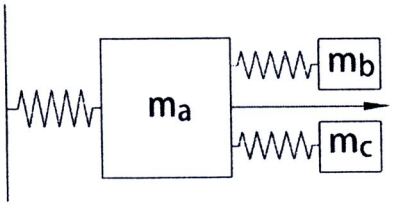
4.1.4. จากตารางที่ 4.1 เมื่อ $\omega = 1.118$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega'_2\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega'_2\omega_A$ สมการที่2.15b ไม่ทำให้ D_0=0 และมวล B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล A ไม่เกินระยะ d ไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้ ข้อควรระวังคือจะต้องให้มีระยะ d เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนความถี่ในช่วงนี้ จะทำให้เกิดการสั่นพ้องได้เนื่องจากค่านิจสปริงของมวลหน่วง เปลี่ยนไปเป็น K'_B จะทำให้ $D'_0 = 0$ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำด้วย

4.1.5. จากตารางที่ 4.1 เมื่อ $\omega = 1$ rad/s เป็นความถี่ธรรมชาติของมวลA มวลB เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล A เกินระยะ d แต่ไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากการเคลื่อนที่ของมวลA เท่ากับ 0

4.1.6. จากตารางที่ 4.1 ขนาดผลตอบสนองสูงสุดของมวล A ที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษเป็น 4.5 เท่าของแรงสถิตย์

4.2.ผลการศึกษาเปรียบเทียบอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ 2 ตัวกับที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ

พิจารณาจากรูปที่ 2.7 แบบจำลองอาคารชั้นเดียวที่ติดต้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ สองตัว



ข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ 2 ตัวเป็นดังนี้

มวลหน่วงปรับค่าหลายตัวกรณีมวลหน่วง 2 ตัว จะใช้สมการที่2.20 วิเคราะห์หาการเคลื่อนที่ของมวล A โดยโครงสร้างมีคุณสมบัติดังนี้โครงสร้างหลักหนัก 100 ตันมีค่าสติฟเนส 100 KN/m มีมวลหน่วงสองตัวหนักตัวละ 2.5 ตัน มีค่านิจสปริง 1 KN/m และ 2.5 KN.m

มวลหน่วงสองตัวจะใช้ข้อมูลตามนี้

$K_A = 100KN/m \; m_A = 100T$

$m_B = 2.5T \; m_C = 2.5T$

$P\sin(\omega t) = 9.81\sin(\omega t)KN$

$K_B = 2.5KN/m$

$K_C = 5KN/m$

โดยกำหนดของมวลหน่วงปรับค่าพิเศษเป็นดังนี้

$K_A = 100KN/m \; m_A = 100T \; m_B = 5kg$

$P\sin(\omega t) = 9.81\sin(\omega t)KN$

$K_B = 2.5KN/m$

$K'_B = 5KN/m$

$d = 1\ m$

สามารถคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

ω_A =1 rad/s

ω_B = 0.632 rad/s

ω'_B = 1 rad/s

ω_r = 0.632 rad/s

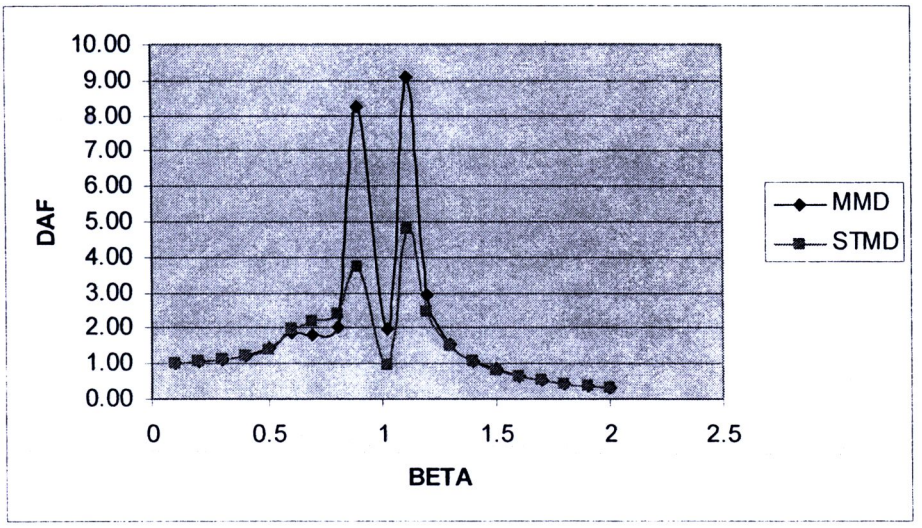
ω'_r = 1 rad/s

F = 9.81 KN

ผลการศึกษาเปรียบเทียบอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟกับที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 อัตรากำลังขยายของมวลหน่วงกับอัตราส่วนความเร็วเชิงมุมของ MMD กับTMD

อัตราส่วนความเร็วเชิงมุม $\frac{\omega_A}{\omega}$ (เรเดียน/วินาที)	กำลังขยายของมวลหน่วงปรับค่าแพสสีฟสองตัว (MMD)	กำลังขยายของมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ(STMD)
0.1	1.01	1.01
0.2	1.05	1.04
0.3	1.11	1.11
0.4	1.22	1.21
0.5	1.41	1.40
0.6	1.87	1.94
0.691	1.78	2.16
0.8	2.00	2.42
0.894	8.25	3.73
1	0	0
1.024	1.97	0.97
1.118	9.08	4.80
1.2	2.90	2.43
1.3	1.56	1.51
1.4	1.09	1.07
1.5	0.83	0.82
1.6	0.66	0.65
1.7	0.54	0.54
1.8	0.45	0.45
1.9	0.39	0.39
2	0.34	0.34



รูปที่ 4.2 กราฟกำลังขยายของมวลหน่วงMMD&STMD กับอัตราส่วนความเร็วเชิงมุม เบต้า

4.2.1. จากตารางที่ 4.2 เมื่อ $\omega = 0.691$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega_1\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega_1\omega_A$ จากสมการที่2.9 ทำให้ D_0=0 จากสมการที่ 2.6 มวล B จึงเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวลA เกินระยะ d ทำให้โครงสร้างมีความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องเปลี่ยนเป็น $\Omega_1'\omega_A$ และ $\Omega_2'\omega_A$ จึงไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้

4.2.2. จากตารางที่ 4.2 เมื่อ $\omega = 0.894$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega_1'\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega_1'\omega_A$ จากสมการที่2.15a ไม่ทำให้ D_0=0 และมวล B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล Aไม่เกินระยะ d จึงไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้ ข้อควรระวังคือจะต้องให้มีระยะ d เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนความถี่ในช่วงนี้ จะทำให้เกิดการสั่นพ้องได้เนื่องจากค่านิจสปริงของมวลหน่วงเปลี่ยนเป็น K_B' จะทำให้ $D_0' = 0$ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำด้วย

4.2.3. จากตารางที่ 4.2 เมื่อ $\omega = 1.024$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega_2\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega_2\omega_A$ จากสมการที่2.10 ทำให้ D_0=0 จากสมการที่4 มวล B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล A เกินระยะ d ทำให้โครงสร้างมีความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องที่ $\Omega_1'\omega_A$ และ $\Omega_2'\omega_A$ จึงไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้

4.2.4. จากตารางที่ 4.2 เมื่อ $\omega = 1.118$ rad/s พฤติกรรมเมื่อรับแรงกระทำ $P\sin(\Omega_2'\omega_A t)$ เนื่องจาก $\omega = \Omega_2'\omega_A$ จากสมการที่2.15b ไม่ทำให้ D_0=0 และ

มวล B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล A ไม่เกินระยะ d ไม่เกิดการสั่นพ้องที่ความถี่นี้ ข้อควรระวังคือจะต้องให้มีระยะ d เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนความถี่ในช่วงนี้ จะทำให้เกิดการสั่นพ้องได้เนื่องจากค่านิจสปริงของมวลหน่วง เปลี่ยนไปเป็น K'_B จะทำให้ $D'_0 = 0$ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำด้วย

4.2.5. จากตารางที่ 4./ เมื่อ $\omega = 1$ rad/s เป็นความถี่ธรรมชาติของมวลA มวลB เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับมวล A เกินระยะ d แต่ไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากการเคลื่อนที่ของมวลA เท่ากับ 0

4.2.6. จากตารางที่ 4.2 ขนาดผลตอบสนองสูงสุดของมวล A ที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษเป็น 4.8 เท่าของแรงสถิตย์

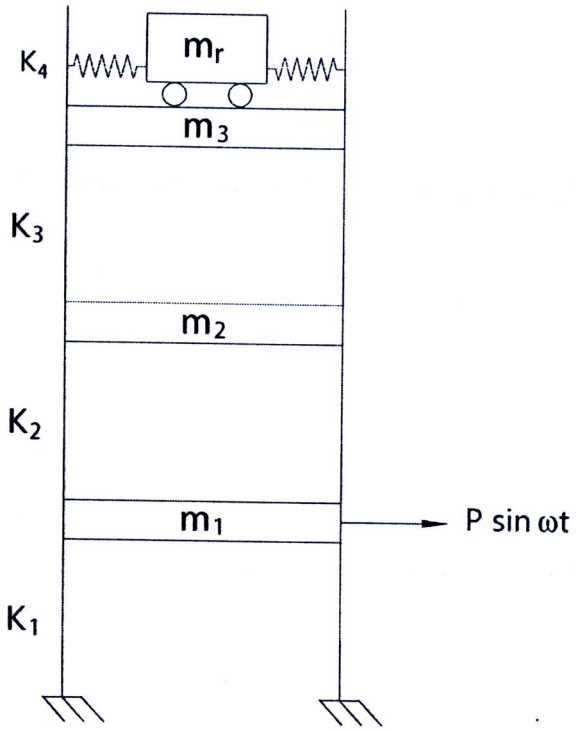
4.2.7. จากกราฟรูปที่ 4.2 กำลังขยายของมวลหน่วงปรับค่าพิเศษน้อยกว่ามวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษสองตัว โดยรวมตัวแล้วมีประสิทธิภาพมากกว่า

ผลการวิเคราะห์ในตัวอย่างที่ 4.1 และ 4.2 เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าพิเศษว่าได้ดีกว่ามวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟในกรณีที่เป็นอาคารชั้นเดียวอย่างชัดเจน เพราะลดอัตราการเคลื่อนที่ของอาคารมากกว่าในกรณีที่อาคารชั้นเดียวที่มีมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟเกิดสั่นพ้อง

ตัวอย่างที่ 4.3 จะเป็นตัวอย่างที่มีจุดประสงค์ที่จะนำไปใช้กับอาคารจริงโดยที่มวลหน่วงปรับค่าพิเศษอาจจะเป็นพื้นสำเร็จที่มีล้อเลื่อนข้างล่าง มีรางสำหรับเคลื่อนที่อยู่บนดาดฟ้าและมีสปริงจากเสาของอาคารมาสู่ตัวพื้นสำเร็จที่ติดตั้ง จากตัวอย่างที่นำมาแสดงนี้แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของมวลหน่วงปรับค่าพิเศษต่อมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ แต่ถ้านำมาใช้กับอาคารจริงกรณีเกิดแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดตามกฎกระทรวง อาคารก็ยังเกิดการวิบัติต้องมีการพัฒนาไปมากกว่านี้จึงจะทำให้อาคารไม่วิบัติ

4.3.ผลการศึกษาเปรียบเทียบอาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟกับที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ

พิจารณาจากรูปที่ 2.8 แบบจำลองอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ สองตัว



อาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟจะใช้สมการที่ 2.24 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลในชั้นต่างๆ คุณสมบัติของอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟเป็นดังนี้

มวลของชั้นที่หนึ่ง $m_1 = 100T$
มวลของชั้นที่สอง $m_2 = 100T$
มวลของชั้นที่สาม $m_3 = 100T$
มวลหน่วง $m_r = 5.52T$
ค่าความแข็งแกร่งของเสาชั้นที่หนึ่ง $K_1 = 100KN/m$
ค่าความแข็งแกร่งของเสาชั้นที่สอง $K_2 = 100KN/m$
ค่าความแข็งแกร่งของเสาชั้นที่สาม $K_3 = 100KN/m$
ค่านิจสปริงของมวลหน่วง $K_4 = 10.304KN/m$

แรงกระทำที่ชั้นที่หนึ่ง $P_1 = 9.81\sin\omega t KN$

แรงกระทำที่ชั้นที่สอง $P_2 = 9.81\sin\omega t KN$

แรงกระทำที่ชั้นที่สาม $P_3 = 9.81\sin\omega t KN$

ความเร็วเชิงมุมที่ทำให้เกิดการสั่นพ้อง

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่หนึ่งของอาคารสามชั้นไม่มีการติดตั้งมวลหน่วง

$\omega_{01} = 1.4073 rad/s$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สองของอาคารสามชั้นไม่มีการติดตั้งมวลหน่วง

$\omega_{02} = 3.9433 rad/s$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สามของอาคารสามชั้นไม่มีการติดตั้งมวล

หน่วง $\omega_{03} = 5.6932 rad/s$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่หนึ่งของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพส

สีฟ $\omega_{P1} = 1.272 rad/s$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สองของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพส

สีฟ $\omega_{P2} = 1.512 rad/s$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สามของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพส

สีฟ $\omega_{P3} = 3.949 rad/s$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สี่ของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

$\omega_{P4} = 5.699 rad/s$

โดยที่

ω_{01} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่ 1 ของอาคาร 3 ชั้นที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วง

ω_{02} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่ 2 ของอาคาร 3 ชั้นที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วง

ω_{03} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่ 3 ของอาคาร 3 ชั้นที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วง

ω_{P1} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติที่ 1 ของอาคาร 3 ชั้นที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงแบบแพสสีฟ

ω_{P2} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติที่ 2 ของอาคาร 3 ชั้นที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงแบบแพสสีฟ

ω_{P3} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติที่ 3 ของอาคาร 3 ชั้นที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงแบบแพสสีฟ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 1 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} 9.81 & -100 & 0 & 0 \\ 9.81 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 9.81 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

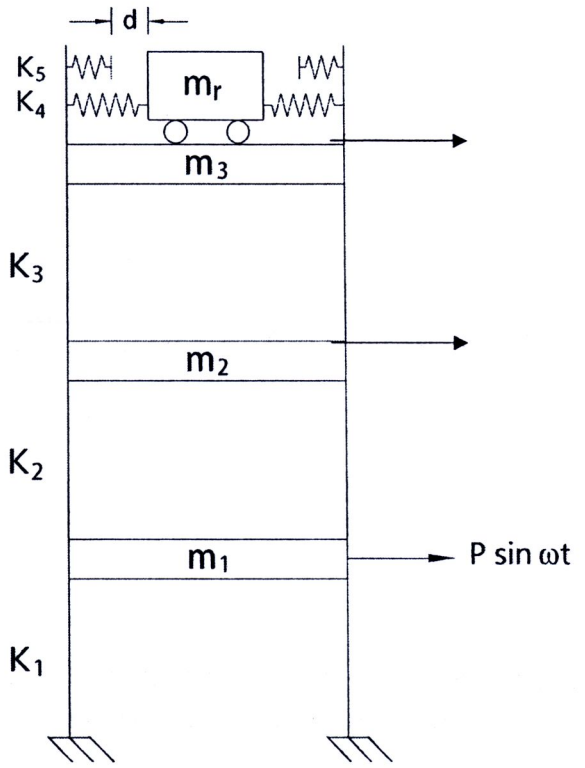
สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 2 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 & 0 \\ -100 & 9.81 & -100 & 0 \\ 0 & 9.81 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 3 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

$$C_3 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 9.81 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 \\ 0 & -100 & 9.81 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

พิจารณาจากรูปที่ 2.9 แบบจำลองอาคารชั้นเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ



อาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษจะใช้สมการที่ 2.25 วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของมวลในชั้นต่างๆ คุณสมบัติของอาคารเป็นดังนี้

มวลของชั้นที่หนึ่ง $m_1 = 100T$

มวลของชั้นที่สอง $m_2 = 100T$

มวลของชั้นที่สาม $m_3 = 100T$

มวลหน่วง $m_r = 5.52T$

ค่าความแข็งแกร่งของเสาชั้นที่หนึ่ง $K_1 = 100KN/m$

ค่าความแข็งแกร่งของเสาชั้นที่สอง $K_2 = 100KN/m$

ค่าความแข็งแกร่งของเสาชั้นที่สาม $K_3 = 100KN/m$

ค่านิจสปริงตัวที่หนึ่งของมวลหน่วง $K_4 = 5.152KN/m$

ค่านิจสปริงตัวที่สองของมวลหน่วง $K_5 = 5.152KN/m$

แรงกระทำที่ชั้นที่หนึ่ง $P_1 = 9.81\sin\omega tKN$

แรงกระทำที่ชั้นที่สอง $P_2 = 9.81\sin\omega tKN$

แรงกระทำที่ชั้นที่สาม $P_3 = 9.81\sin\omega tKN$

ความเร็วเชิงมุมที่ทำให้เกิดการสั่นพ้อง

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่หนึ่งของอาคารสามชั้นไม่มีการติดตั้งมวลหน่วง

$\omega_{01} = 1.4073 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สองของอาคารสามชั้นไม่มีการติดตั้งมวลหน่วง

$\omega_{02} = 3.9433 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สามของอาคารสามชั้นไม่มีการติดตั้งมวล

หน่วง $\omega_{03} = 5.6932 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่หนึ่งของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{P1} = 0.9547 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สองของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{P2} = 1.4257 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สามของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{P3} = 3.9547 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สี่ของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{P4} = 5.6987 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่หนึ่งของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{S1} = 1.2720 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สองของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{s2} = 1.5120 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สามของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{S3} = 3.9485 \text{rad/s}$

ค่าความเร็วเชิงมุมสั่นพ้องที่สี่ของอาคารสามชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

เมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริงที่สอง $\omega_{S4} = 5.6993 \text{rad/s}$

โดยที่

ω_{S1} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่หนึ่ง ของอาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงแบบปรับค่าพิเศษเมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง

ω_{S2} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่สอง ของอาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงแบบปรับค่าพิเศษเมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง

ω_{S3} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่สาม ของอาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงแบบปรับค่าพิเศษเมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง

ω_{S4} ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติรากที่สี่ ของอาคาร 3 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงแบบปรับค่าพิเศษเมื่อมวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริงที่สอง

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 1 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

กรณีที่มวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริง K_5

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} 9.81 & -100 & 0 & 0 \\ 9.81 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 9.81 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

กรณีที่มวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริง K_5

$$C_1 = \frac{\begin{vmatrix} 9.81 & -100 & 0 & 0 \\ 9.81 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 9.81+5.152(0.5) & -100 & 100+5.152-100\omega^2 & -100-5.152 \\ -5.152(0.5) & 0 & -100-5.152 & 2(5.152)-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(100)-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 2(100)-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+2(5.152)-100\omega^2 & -100-5.152 \\ 0 & 0 & -100-5.152 & 2(5.152)-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 2 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ

กรณีที่มวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริง K_5

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 & 0 \\ -100 & 9.81 & -100 & 0 \\ 0 & 9.81 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

กรณีที่มวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริง K_5

$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 & 0 \\ 9.81 & 9.81 & -100 & 0 \\ 9.81+5.152(0.5) & 9.81+5.152(0.5) & 100+5.152-100\omega^2 & -100-5.152 \\ -5.152(0.5) & -5.152(0.5) & -100-5.152 & 2(5.152)-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(100)-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ 9.81 & 2(100)-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 9.81+5.152(0.5) & -100 & 100+2(5.152)-100\omega^2 & -100-5.152 \\ -5.152(0.5) & 0 & -100-5.152 & 2(5.152)-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 3 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

กรณีที่มวลหน่วงเคลื่อนที่ไม่ถึงสปริง K_5

$$C_3 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 9.81 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 \\ 0 & -100 & 9.81 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

กรณีที่มวลหน่วงเคลื่อนที่ถึงสปริง K_5

$$C_3 = \frac{\begin{vmatrix} 2(100)-100\omega^2 & -100 & 9.81 & 0 \\ 9.81 & 2(100)-100\omega^2 & 9.81 & 0 \\ 9.81+5.152(0.5) & -100 & 9.81+5.152(0.5) & -100-5.152 \\ -5.152(0.5) & 0 & -5.152(0.5) & 2(5.152)-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(100)-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ 9.81 & 2(100)-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 9.81+5.152(0.5) & -100 & 100+2(5.152)-100\omega^2 & -100-5.152 \\ -5.152(0.5) & 0 & -100-5.152 & 2(5.152)-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

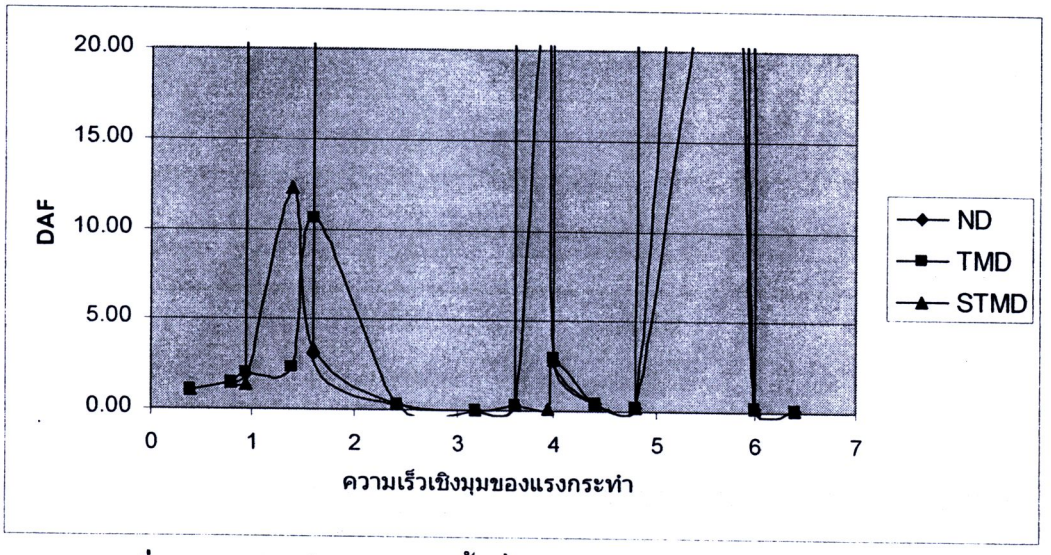
ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางต่อไปนี้

การเคลื่อนที่ของมวล m_1

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าขนาดการขยายของการเคลื่อนที่ของอาคาร 3 ชั้น ชั้นที่ 1

	ND	TMD	STMD
0.4	1.08	1.08	1.08
0.8	1.44	1.47	1.50
1.0	1.86	1.95	1.41
1.4	13996.38	2.27	12.25
1.425	34.73	3.31	14.20
1.512	5.82	332.82	6.95
1.6	3.02	10.61	3.30
2.4	0.35	0.36	0.35
3.2	0.02	0.01	0.01
3.6	0.30	0.29	0.30
3.9	34683.94	27.89	0.10
4.0	2.69	2.91	2.79
4.4	0.38	0.38	0.38
4.8	0.20	0.20	0.20
5.7	1146.24	29.56	59.43
6.0	0.21	0.21	0.21
6.4	0.13	0.13	0.13

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงขนาดการขยายของค่าการเคลื่อนที่ของอาคาร 3 ชั้น ชั้นที่ 1 เมื่อเปลี่ยนความเร็วเชิงมุมของแรงกระทำแบบคาบสำหรับอาคารที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วง(ND) ,อาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ(TMD) กับอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ(STMD)



รูปที่ 4.3 กราฟกำลังขยายของชั้นที่ 1 กับความเร็วเชิงมุมของแรงกระทำ

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 2 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

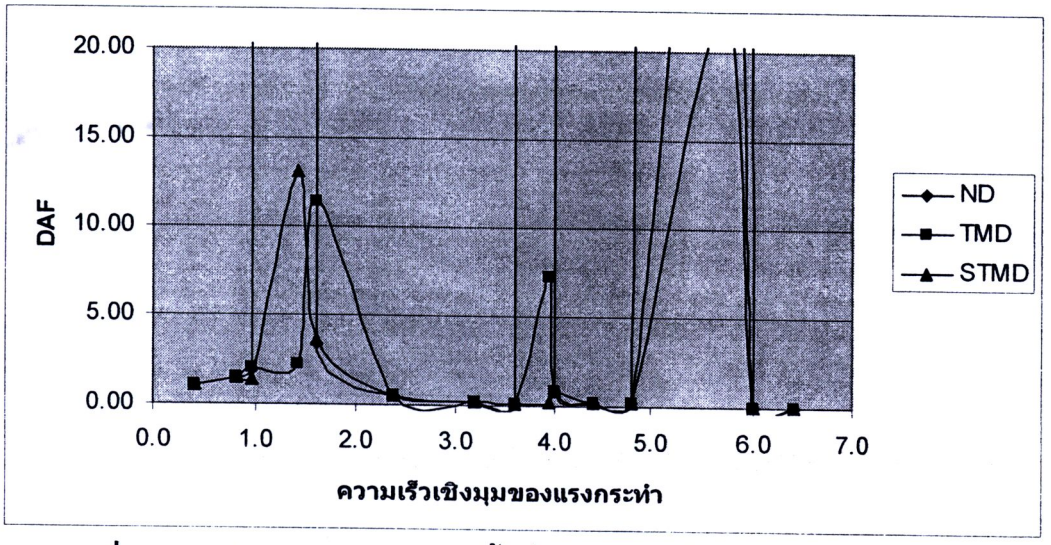
$$C_2 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 & 0 \\ -100 & 9.81 & -100 & 0 \\ 0 & 9.81 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

การเคลื่อนที่ของมวล m_2

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงขนาดการขยายของค่าการเคลื่อนที่ของอาคาร 3 ชั้น ชั้นที่ 2

	ND	TMD	STMD
0.4	1.09	1.09	1.09
0.8	1.47	1.50	1.54
1.0	1.92	2.03	1.41
1.4	15132.27	2.26	13.05
1.425	37.64	3.37	15.11
1.512	6.39	353.93	7.58
1.6	3.36	11.40	3.65
2.4	0.50	0.51	0.50
3.2	0.19	0.20	0.19
3.6	0.07	0.08	0.08
3.9	9261.61	7.25	0.23
4.0	0.85	0.90	0.87
4.4	0.21	0.21	0.21
4.8	0.16	0.16	0.16
5.7	857.78	22.31	44.67
6.0	0.00	0.00	0.00
6.4	0.03	0.03	0.03

ตารางที่ 4.4 แสดงถึงขนาดการขยายของการเคลื่อนที่ของอาคาร 3 ชั้น ชั้นที่ 2 เมื่อเปลี่ยนความเร็วเชิงมุมของแรงกระทำแบบคาบสำหรับอาคารที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วง (ND) ,อาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ(TMD) กับอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ(STMD)



รูปที่ 4.4 กราฟขนาดการขยายของชั้นที่ 2 กับความเร็วเชิงมุมของแรงกระทำ

สมการการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นที่ 3 ของอาคาร 3 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

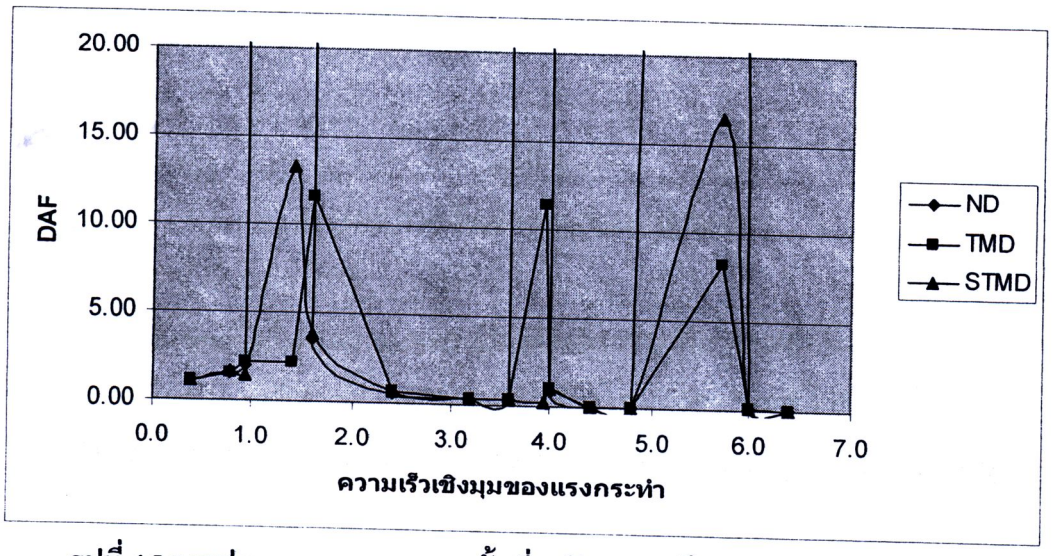
$$C_3 = \frac{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 9.81 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & 9.81 & 0 \\ 0 & -100 & 9.81 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 & 0 \\ -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 & 0 \\ 0 & -100 & 100+100-100\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & -100 & 10.304-5.52\omega^2 \end{vmatrix}}$$

การเคลื่อนที่ของมวล m_3

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าขนาดหการขยายของการเคลื่อนที่ของอาคาร 3 ชั้น ชั้นที่ 3

	ND	TMD	STMD
0.4	1.09	1.09	1.09
0.8	1.49	1.52	1.57
1.0	1.95	2.08	1.36
1.4	15724.65	2.09	13.30
1.425	39.16	3.22	15.36
1.512	6.89	356.22	7.89
1.6	3.54	11.58	3.82
2.4	0.58	0.59	0.59
3.2	0.33	0.33	0.33
3.6	0.36	0.36	0.36
3.9	13906.99	11.42	0.20
4.0	0.90	0.99	0.94
4.4	0.01	0.01	0.01
4.8	0.02	0.02	0.02
5.7	318.05	8.24	16.53
6.0	0.07	0.07	0.07
6.4	0.05	0.05	0.05

ตารางที่ 4.5 แสดงถึงขนาดการขยายของค่าการเคลื่อนที่ของอาคาร 3 ชั้น ชั้นที่ 3 เมื่อเปลี่ยนความเร็วเชิงมุมของแรงกระทำแบบคาบสำหรับอาคารที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วง(ND) ,อาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ(TMD) กับอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบพิเศษ(STMD)



รูปที่ 4.5 กราฟขนาดการขยายของชั้นที่ 3 กับความเร็วเชิงมุมของแรงกระทำ

จากการคำนวณหาค่าความเร็วเชิงมุมธรรมชาติของอาคารได้ตามนี้

4.3.1. จากตารางที่ 4.3 ,4.4 ,4.5 ช่วงความเร็วเชิงมุมธรรมชาติแรกของอาคาร 3 ชั้น อาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ(STMD) มีการเคลื่อนด้านข้างน้อยกว่าอาคารที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงเลย(ND) และอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ(TMD)

4.3.2. จากตารางที่ 4.3 ,4.4 ,4.5 และกราฟรูปที่ 4.3 ,4.4 ,4.5 ที่ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติที่สองของอาคาร 3 ชั้น อาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษมีการเคลื่อนด้านข้างน้อยกว่าอาคารที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงเลยและอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

4.3.3. จากตารางที่ 4.3 ,4.4 ,4.5 และกราฟรูปที่ 4.3 ,4.4 ,4.5 ที่ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติที่สามของอาคาร 3 ชั้น อาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าพิเศษ (STMD) ใกล้เคียงกับอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าแบบแพสสีฟ

4.3.4. มวลหน่วงปรับค่าพิเศษไม่สามารถแก้ไขการสั่นพ้องที่ความถี่ธรรมชาติสูงได้เนื่องจากมวลหน่วงได้ถูกติดตั้งแต่ที่ชั้นสามชั้นเดียวจึงทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงความถี่ธรรมชาติของอาคารน้อย การออกแบบด้วยมวลหน่วงพิเศษควรจะต้องมีการออกแบบที่ซ้ำซ้อนกว่านี้