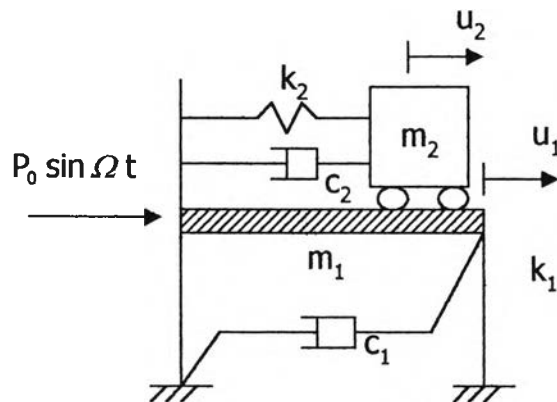


บทที่ 4

ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

มวลหน่วงปรับค่า คือ ระบบย่อยที่ติดตั้งในโครงสร้างหลัก เพื่อเพิ่มความหน่วงให้โครงสร้างให้มีการสั่นไหวลดลง เนื่องจากมวลหน่วงปรับค่าจะสลายพลังงานของระบบโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างหลักมีพลังงานลดน้อยลงจึงทำให้การสั่นไหวของโครงสร้างลดลง ซึ่งมวลหน่วงปรับค่าประกอบด้วย มวล สปริง และตัวหน่วง เมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าเข้ากับโครงสร้างจะมีระดับชั้นความเร็วเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งดีกรี โดยประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าจะมีประสิทธิภาพในการลดการสั่นไหวของโครงสร้างขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่าที่เหมาะสม (Optimal)

4.1 โครงสร้างระดับชั้นความเร็วเดียวติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระดับชั้นความเร็วเดียวติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

จากรูปที่ 4.1 สามารถเขียนสมการการกระทำของระบบระดับชั้นความเร็วเดียวที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าภายใต้แรงกระทำเป็นฮาร์โมนิค เขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1(t) \\ \ddot{u}_2(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1(t) \\ \dot{u}_2(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 \\ 0 \end{bmatrix} \sin \omega t \quad (4.1)$$

หรือ

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = P$$

โดยที่

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

m_1, m_2 คือมวลของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

c_1, c_2 คือความหน่วงของของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

k_1, k_2 คือสติเฟนสของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

\ddot{u}_1, \ddot{u}_2 คือความเร่งของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

\dot{u}_1, \dot{u}_2 คือความเร็วของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

u_1, u_2 คือการกระจัดของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

F_0, Ω คือแอมพลิจูดและความถี่ของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง

การหาคำตอบสมการที่ (4.1) ที่สภาวะคงที่ (steady state) สมมุติให้คำตอบของสมการเป็น

$$U(t) = U_0 e^{i\Omega t} = \begin{bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{bmatrix} e^{i\Omega t} \quad (4.2a)$$

โดยที่ค่า u_{10}, u_{20} คือแอมพลิจูดของการสั่นของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่า

$$\dot{u}(t) = U_0 i \Omega e^{i\Omega t} = \begin{bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{bmatrix} i \Omega e^{i\Omega t} \quad (4.2b)$$

$$\ddot{u}(t) = -U_0 \Omega^2 e^{i\Omega t} = -\begin{bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{bmatrix} \Omega^2 e^{i\Omega t} \quad (4.2c)$$

แทนค่า (4.2a) , (4.2b) และ (4.3c) ลงในสมการที่ (4.1) จะได้

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} -m_1 & 0 \\ 0 & -m_2 \end{bmatrix} \Omega^2 \begin{Bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{Bmatrix} e^{i\Omega t} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \Omega \begin{Bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{Bmatrix} e^{i\Omega t} \\ + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{Bmatrix} e^{i\Omega t} = \begin{bmatrix} P_0 \\ 0 \end{bmatrix} e^{i\Omega t} \end{aligned} \quad (4.3)$$

จะเห็นว่าเมทริกซ์ของเวกเตอร์ ทุกเทอมมีพจน์ $e^{i\Omega t}$ คูณอยู่ซึ่งสามารถตัดออกได้เป็น

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2) + (c_1 + c_2) \Omega i & -k_2 - c_2 \Omega i \\ -k_2 - c_2 \Omega i & (k_2 - m_2 \Omega^2) + c_2 \Omega i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{10} \\ u_{20} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูป

$$AX = B$$

คำตอบของสมการคือ $X = A^{-1}B$

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}, \det A = ad - bc \quad (4.5)$$

เพราะฉะนั้นคำตอบของสมการ (4.4) คือ

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} (k_2 - m_2 \Omega^2) + c_2 \Omega i & k_2 + c_2 \Omega i \\ k_2 + c_2 \Omega i & (k_1 + k_2 - m_1 \Omega^2) + (c_1 + c_2) \Omega i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ 0 \end{bmatrix}}{\det(K - M\Omega^2 + C\Omega i)} \quad (4.6)$$

โดยที่

$$\det(K - M\Omega^2 + C\Omega i) = m_1 m_2 \Omega^4 - (c_1 c_2 - m_2(k_1 + k_2) + m_1 k_2) \Omega^2 + k_1 k_2$$

เขียนได้เป็น

$$u_1 = \frac{[(k_2 - m_2 \Omega^2) + c_2 \Omega i] P_0}{\det(K - M\Omega^2 + C\Omega i)} \quad (4.7a)$$

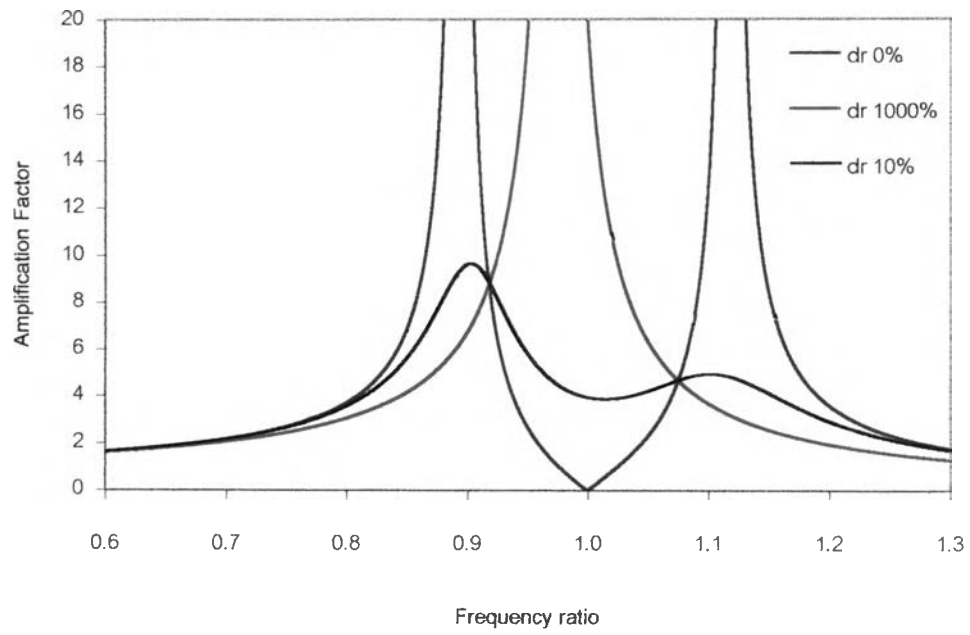
$$u_1 = \frac{[(k_2 + c_2 \Omega i) P_0]}{\det(K - M\Omega^2 + C\Omega i)} \quad (4.7b)$$

แสดงแอมพลิจูดของการสั่นไหวของโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่าภายใต้แรงกระทำแบบฮาร์มอนิก

หากพิจารณาเฉพาะแอมพลิจูดการสั่นไหวของโครงสร้างเมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า จากสมการที่ 4.7a จะได้

$$\frac{U_{10}^2}{P_0^2} = \frac{[(k_2 - m_2 \Omega^2)^2 + (c_2 \Omega)^2]}{[(k_1 - m_1 \Omega^2)(k_2 + m_2 \Omega^2) - m_2 k_2 \Omega^2]^2 + [k - (m_1 + m_2) \Omega^2]^2 c_2 \Omega^2} \quad (4.8)$$

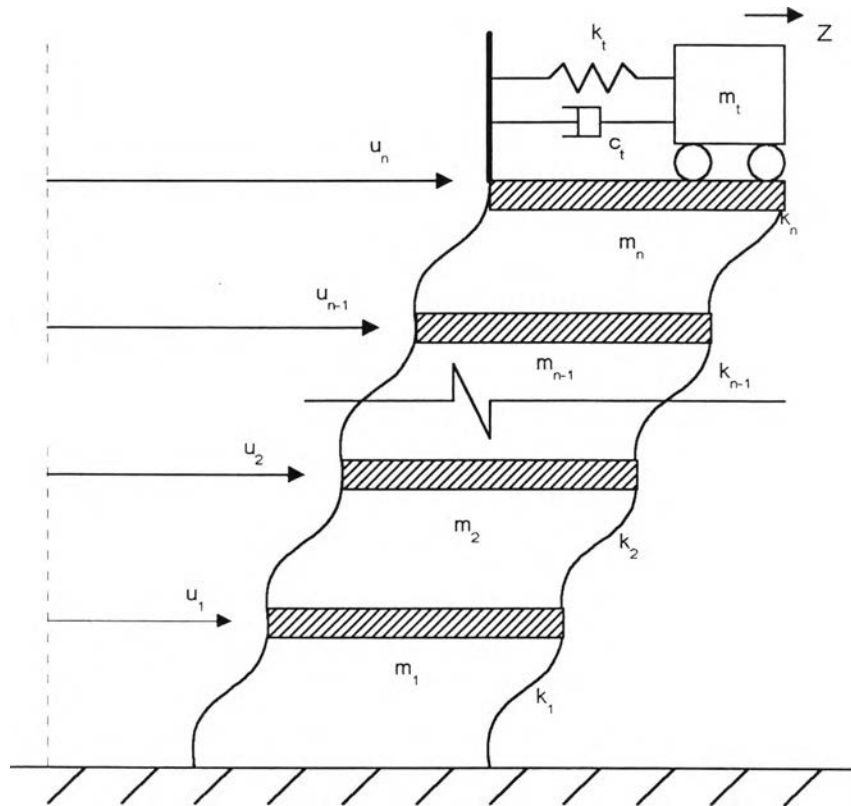
ซึ่งแสดงผลการลดการสั่นไหว ได้ดังรูปที่ 4.2 ในกรณีที่ m_2 / m_1 เท่ากับ 0.05 ที่ค่าอัตราส่วนความหน่วงต่าง ๆ ที่อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 10% มวลหน่วงปรับค่าลดการสั่นไหวของโครงสร้างแต่ไม่สามารถลงเท่ากับ 0 แต่มีช่วงที่ลดการสั่นไหวกว้างขึ้น ซึ่งดีกว่ากรณีที่อัตราส่วนความหน่วงเท่ากับ 0% ซึ่งลดการกระจัดเท่ากับ 0 กรณีที่ความถี่แรงกำทอนกับโครงสร้างแต่เมื่อความถี่แรงเปลี่ยนไปมวลถ่วงปรับค่าไม่ช่วยลดการสั่นไหวของโครงสร้าง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบขยายและอัตราส่วนความถี่ของแรงกระทำต่อความถี่ของโครงสร้าง

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็วติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

ในการวิเคราะห์โครงสร้างจริงที่มีหลายจำนวนชั้น เป็นการไม่สะดวกและให้ผลที่คลาดเคลื่อนหากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยต้องแปลงให้อยู่ในระดับชั้นความเร็วเดียว ในบทนี้จึงอธิบายขั้นตอนในการวิเคราะห์โครงสร้างหลายระดับความเร็ว โดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์เชิงพลวัตในระบบโครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็วเดียวดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.1



รูปที่ 4.3 โครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็วติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

จากรูปที่ 4.3 สมการการเคลื่อนที่ของโครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็วติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า รับแรงแผ่นดินไหวสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4.9 ซึ่งแตกต่างจากสมการการเคลื่อนที่ของโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าคือเมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าที่ชั้นบนของโครงสร้าง สมการการเคลื่อนที่ของชั้นบนจะมีผลของแรงจากมวลหน่วงปรับค่าคือ $[0, 0, \dots, c_t \dot{z} + k_t z]^T$ รวมกับแรงแผ่นดินไหว

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m_t \ell \ddot{u}_g(t) + [0, 0, \dots, c_t \dot{z} + k_t z]^T \quad (4.9)$$

$$m_t \ddot{z} + c_t \dot{z} + k_t z = -m_t \ddot{u}_n(t) + (-m_t \ddot{u}_g(t)) \quad (4.10)$$

โดยที่

$$m = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_n \end{bmatrix}$$

$$k = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & \dots & 0 & 0 \\ -k_1 & k_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & -k_{n-2} & 0 \\ 0 & 0 & -k_{n-2} & k_{n-1} & -k_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & -k_{n-1} & k_n \end{bmatrix}$$

$$c = \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & \dots & 0 & 0 \\ -c_1 & c_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & -c_{n-2} & 0 \\ 0 & 0 & -c_{n-2} & c_{n-1} & -c_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & -c_{n-1} & c_n \end{bmatrix}$$

$$\ell = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_{n-1} \\ u_n \end{bmatrix}$$

z คือการกระจัดของมวลหน่วงปรับค่าเทียบกับชั้นที่ n ของโครงสร้าง

4.3 การหาการตอบสนองของโครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็วติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

การหาคำตอบของสมการการเคลื่อนที่ของโครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็ว สามารถกระทำโดยการแปลงโครงสร้างหลายระดับชั้นความเร็วให้อยู่ในแต่ละโหมดก่อนที่จะวิเคราะห์หาการตอบสนอง

จากสมการที่ 4.9 แปลงพิกัดทั่วไป (Generalized Coordinates) ให้อยู่ในพิกัดโหมด (Modal Coordinates) จะได้

$$m\phi \ddot{y}(t) + c\phi \dot{y}(t) + k\phi y(t) = p(t) + f(t) \quad (4.11)$$

โดยที่ ϕ คือรูปแบบการสั่นไหวของแต่ละโหมด
 y คือพิกัดโหมด

แล้วคูณด้านหน้าสมการที่ 4.11 ด้วย ϕ_n^T

$$M_n \ddot{y}(t) + C_n \dot{y}(t) + K_n y(t) = P_n(t) + F(t) \quad (4.12)$$

โดยที่

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n$$

$$K_n = \phi_n^T k \phi_n$$

$$C_n = \phi_n^T c \phi_n$$

ซึ่งรูปแบบการสั่นไหวจะทำการปรับขนาดให้ค่ารูปแบบการสั่นไหวชั้นที่ n จะมีค่า 1 เทอมขวามือของสมการ 4.11 ได้เป็น

$$P_n = c_t \dot{z} + k_t z$$

$$F(t) = -\phi^T m \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{n \times 1} \ddot{u}_g(t)$$

เมื่อแปลงโครงสร้างหลายระดับขึ้นความเร็วในแต่ละโหมด สมการการเคลื่อนที่ของมวลหน่วงปรับค่าสมการที่ 4.10 แรงเนื่องจากการสั่นไหวของชั้นบนของโครงสร้างจะแปลงให้อยู่ในรูปพิกัดโหมดจะได้

$$m_t \ddot{z} + c_t \dot{z} + k_t z = -m_t \sum_{i=1}^n \phi_{in} \ddot{y}_n(t) - m_t \ddot{u}_g(t) \quad (4.13)$$

โดยที่ ϕ_{in} คือรูปร่างการสั่นไหวโหมดที่ i ชั้นที่ n

ในการหาคำตอบสมการจะจัดสมการการเคลื่อนที่ของโครงสร้างและของมวลหน่วงปรับค่าเข้าด้วยกัน ได้ดังนี้

$$M_{TMD} \ddot{y}_{TMD}(t) + C_{TMD} \dot{y}_{TMD}(t) + K_{TMD} y_{TMD}(t) = F_{TMD}(t) \quad (4.14)$$

โดยที่

$$M_{TMD} = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_{n-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_n & 0 \\ m_t \phi_{1n} & m_t \phi_{2n} & \dots & m_t \phi_{n-1n} & m_t \phi_{nn} & m_t \end{bmatrix}$$

$$C_{TMD} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & -c_t \\ 0 & C_2 & \dots & 0 & 0 & -c_t \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 & -c_t \\ 0 & 0 & 0 & C_{n-1} & 0 & -c_t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_n & -c_t \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & c_t \end{bmatrix}$$

$$K_{\text{TMD}} = \begin{bmatrix} K_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & -k_t \\ 0 & K_2 & \dots & 0 & 0 & -k_t \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 & -k_t \\ 0 & 0 & 0 & K_{n-1} & 0 & -k_t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_n & -k_t \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & k_t \end{bmatrix}$$

և՛

$$F_{\text{TMD}}(t) = \begin{bmatrix} -\phi_1^T m l \ddot{u}_g \\ -\phi_2^T m l \ddot{u}_g \\ \vdots \\ -\phi_{n-1}^T m l \ddot{u}_g \\ -\phi_n^T m l \ddot{u}_g \\ -m_t \ddot{u}_g \end{bmatrix}$$

$$\ddot{y}_{\text{TMD}}(t) = \begin{bmatrix} \ddot{y}_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) \\ \vdots \\ \ddot{y}_{n-1}(t) \\ \ddot{y}_n(t) \\ \ddot{z}(t) \end{bmatrix}$$

$$\dot{y}_{\text{TMD}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{y}_1(t) \\ \dot{y}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{y}_{n-1}(t) \\ \dot{y}_n(t) \\ \dot{z}(t) \end{bmatrix}$$

$$y_{\text{TMD}}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_{n-1}(t) \\ y_n(t) \\ z(t) \end{bmatrix}$$

จากสมการ (4.14) สามารถหาการตอบสนองของโครงสร้างหลายระดับชั้นความเสียดัดมวลงปรับค่าได้ ซึ่งโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเชิงพลวัตที่ทำการพัฒนาจะหาการตอบสนองโครงสร้างติดมวลงปรับค่าที่ช่วงเวลาต่างๆโดยวิธีสถานะปริภูมิเวกเตอร์ดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.2.3

4.4 พารามิเตอร์ของมวลงปรับค่าในการออกแบบอาคาร

ในการออกแบบอาคารที่ติดตั้งมวลงปรับค่า เมื่อทราบค่าความถี่ธรรมชาติของอาคาร อัตราส่วนความถี่ของอาคาร (ω_s, ξ_s) และค่าการกระจัดและความเร่งสูงสุดที่ยอมให้ จะสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลงปรับค่าได้ โดยมีผู้ศึกษาหลายวิธีเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของมวลงปรับค่าที่ดีที่สุดทำให้มวลงปรับค่ามีประสิทธิภาพลดการสั่นไหวของโครงสร้างลงมากที่สุดภายใต้แรงพลวัตต่างๆที่กระทำต่อโครงสร้าง

Den Hartog (1956) ได้ค่าพารามิเตอร์ของมวลงปรับค่าที่เหมาะสมที่ทำให้การกระจัดของโครงสร้างน้อยที่สุดแสดงดังนี้

$$\alpha_{\text{opt}} = \frac{1}{1 + \mu} \quad (4.15)$$

โดยที่

α_{opt} คือ อัตราส่วนความถี่ของมวลงปรับค่าต่อความถี่ของโครงสร้าง

μ คือ อัตราส่วนมวลของมวลงปรับค่าต่อมวลของโครงสร้าง

และ

$$\zeta_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}} \quad (4.16)$$

โดยที่

ζ_{opt} คือ อัตราส่วนความถี่ของมวลงปรับค่า

Warberton (1982) เสนอค่าพารามิเตอร์ของมวลหน่วงปรับค่า ที่เหมาะสมภายใต้แรงพลวัตแบบต่างที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังแสดงตารางที่ 4.1

| Excitation | | | Optimized Absorber Parameter | |
|------------|--|------------|------------------------------|----------------------------------|
| Case | Type | Applied to | α_{opt} | ξ_{opt} |
| 1 | Force $p_0 e^{i\omega t}$ | Structure | $\frac{1}{1 + \mu}$ | $\sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}}$ |
| 2 | Acceleration $\ddot{X}_g e^{i\omega t}$ | Structure | $\frac{1}{1 + \mu}$ | $\sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}}$ |

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของมวลหน่วงปรับค่า

โดยค่า

α_{opt} คือ อัตราส่วนความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าต่อความถี่ของโครงสร้าง

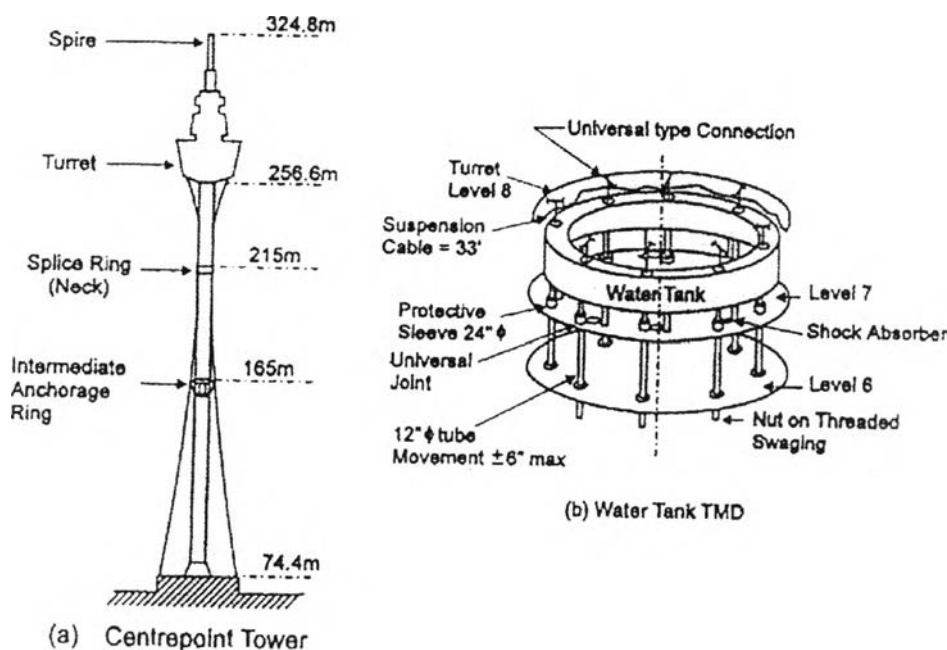
ξ_{opt} คือ อัตราส่วนความหน่วงของมวลหน่วงปรับค่า

μ คือ อัตราส่วนมวลของมวลหน่วงปรับค่าต่อมวลของโครงสร้าง

4.5 ตัวอย่างมวลหน่วงปรับค่าติดตั้งในอาคารจริง

จากผลการวิจัยในอดีตที่ยืนยันประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าที่สามารถลดการสั่นไหวของโครงสร้างได้ดี จึงมีการนำมวลหน่วงปรับค่าติดตั้งในโครงสร้างที่มีปัญหาการสั่นไหว ดังตัวอย่างอาคารที่มีปัญหาการสั่นไหวของโครงสร้างในหลายประเทศ

Centrepont Tower , Sydney, Australia เป็นโครงสร้างแรกที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า อาคารมีปัญหาการสั่นไหวเนื่องจากแรงลม ได้แก้ปัญหการสั่นไหวของอาคารด้วยการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า ใช้มวลเป็นถึงน้ำหนัก 40 ตัน และ ตัวหน่วงเป็นใช้คัพดังแสดงรูปที่ 4.4 ลดการสั่นไหวเนื่องจากแรงลม ผลจากติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าทำให้ค่าความเร่งของโครงสร้างลดลงประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์

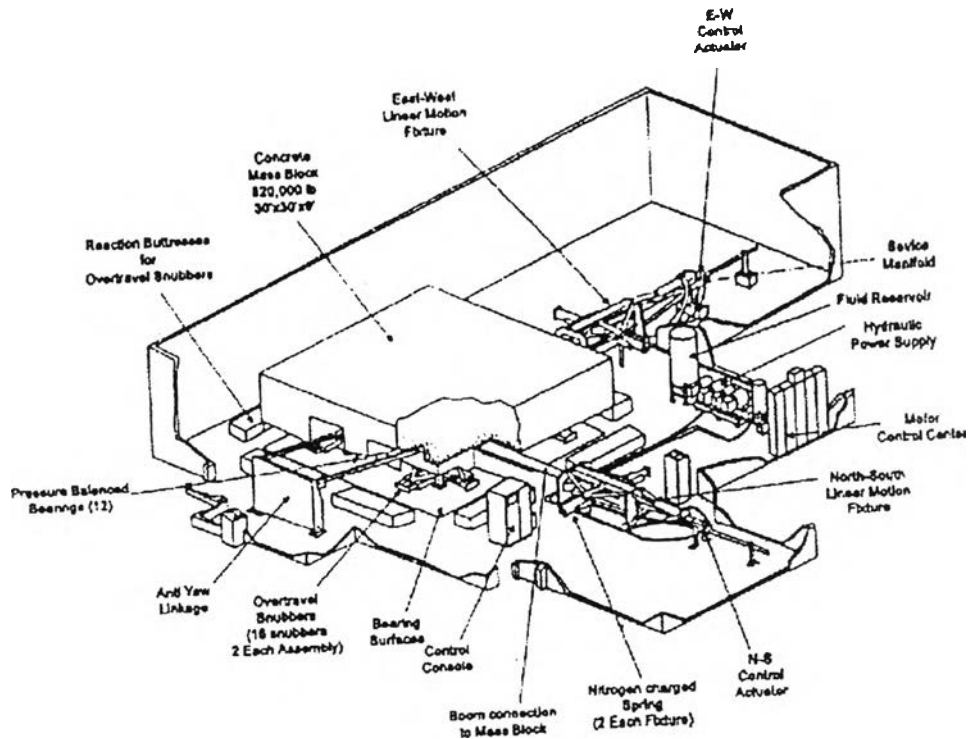


รูปที่ 4.4 อาคาร Centrepont และมวลหน่วงปรับค่า (10)

ตึก Citicorp Center , NewYork ตัวอาคารสูง 960 ฟุต มีมวลประมาณ 60,000 ตัน มีความถี่ธรรมชาติ 0.61 เฮิรซ์ พบว่าอาคารมีปัญหาสั่นไหวเนื่องจากความถี่กำทอนกับแรงลมที่กระทำ ค่าพารามิเตอร์และรูปร่างของมวลห่่วงปรับค่าแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 หลังจากการติดตั้งมวลห่่วงปรับค่า พบว่าความเร่งการสั่นไหวของโครงสร้างลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของโครงสร้างและมวลห่่วงปรับค่า (10)

| Citicorp Center | | |
|--------------------------|-----------|------------|
| Typical floor size | (ft) | 160 x 160 |
| Floor area | (sq ft) | 25,600 |
| Building height | (ft) | 920 |
| Building modal weight | (tons) | 20,000 |
| Building period 1st mode | (sec) | 6.25 |
| Design wind storm | (years) | 30 |
| Mass block weight | (tons) | 373 |
| Mass block size | (ft) | 30 x 30 x8 |
| Mass block material | (type) | concrete |

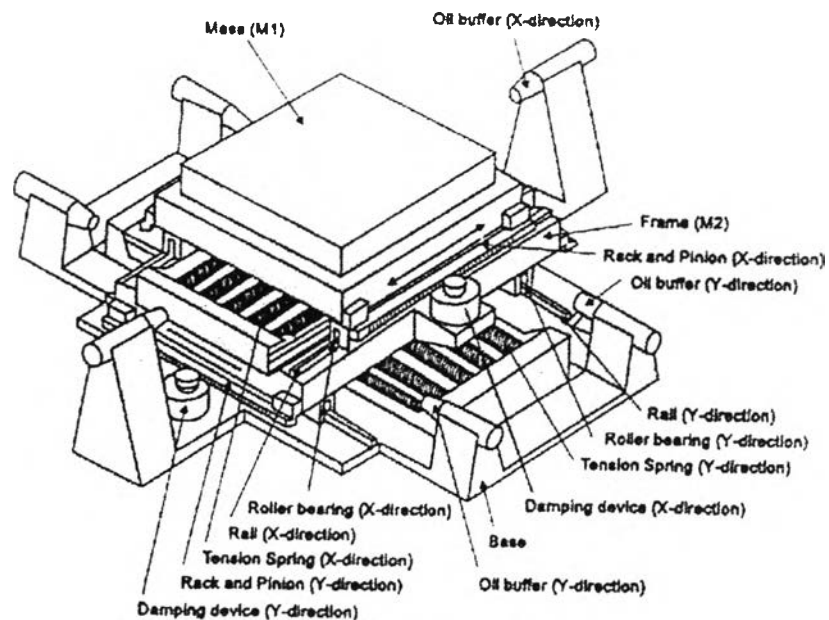


รูปที่ 4.5 มวลหน่วงปรับค่าติดตั้งที่ Citycorp Center ,New York

และในประเทศญี่ปุ่นได้มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าเป็นอาคารแรกที่อาคาร Chiba Port Tower , Tokyo Bay อาคารเป็นโครงสร้างเหล็กสูง 125 เมตร มวลหน่วงปรับค่าและค่าพารามิเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.3 พบว่าหลังมีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าสามารถลดความเร่งการสั่นไหวได้ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลของโครงสร้างและมวลหน่วงปรับค่า (10)

| | | X - direction | Y - direction |
|-----------|------------------------------------|---------------|---------------|
| Structure | 1 st mode effective weight (ton) | 1200 | 1200 |
| | Period | | |
| | 1 st mode (sec) | 2.25 | 2.7 |
| | 2 nd mode (sec) | 0.51 | 57 |
| | Damping ratio (%) | 0.005 | 0.005 |
| TMD | Weight (tons) | 10 | 15.4 |
| | Period (sec) | 2.24 | 2.72 |
| | Spring constant (tons/cm) | 0.08 | 0.084 |
| | Friction force (tons) | 0.045 | 0.045 |
| | Damping ratio (%) | 0.15 | 0.15 |



รูปที่ 4.6 มวลหน่วงปรับค่าติดตั้งที่อาคาร Chiba Port (10)