# บทที่ 1
# บทนำ

ในปัจจุบันโครงสร้างโดยทั่วไปมีการออกแบบให้ชิ้นส่วนมีหน้าตัดเล็กลงเมื่อเทียบกับโครงสร้างในอดีตเนื่องจากการพัฒนาการออกแบบโครงสร้าง และการพัฒนาของกำลังวัสดุ จึงทำให้โครงสร้างเกิดการเสียรูปได้ง่ายขึ้นภายใต้แรงกระทำ ซึ่งหากแรงภายนอกเป็นแรงพลวัตอาจทำให้โครงสร้างมีการสั่นไหวอย่างรุนแรงเนื่องจากการกำทอน ก็จะส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้างและความเหมาะสมในสภาวะการใช้งาน

ได้มีผู้ศึกษาการแก้ปัญหาด้วยการควบคุมการสั่นไหวและการเสียรูปของโครงสร้างให้อยู่ในช่วงที่ยอมให้ หลายวิธี เช่น การเสริมความแข็งแรงกับโครงสร้าง แต่พบว่ามีปัญหาในการปฏิบัติจริง คือทำได้ยากและไม่ประหยัด และอีกวิธีคือใช้หลักการทางพลวัตโครงสร้าง ด้วยการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่า ( Tuned Mass Damper ) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าระบบมวลหน่วงปรับค่า มีประสิทธิภาพช่วยลดการสั่นไหวของโครงสร้าง และมีความได้เปรียบเนื่องจากง่ายต่อการติดตั้ง

อย่างไรก็ดีในการออกแบบระบบมวลหน่วงปรับค่า ดังกล่าวพบว่ามีความยุ่งยาก เนื่องจากในปัจจุบันโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างทั่วไปยังไม่สามารถวิเคราะห์การตอบสนองเชิงพลวัต (Dynamic Response) ของระบบโครงสร้างที่ติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่าได้ จึงเกิดแนวความคิดในการศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงข้อแข็ง 2 มิติ ที่มีการติดตั้งระบบมวลหน่วงปรับค่ารับแรงแผ่นดินไหวและแรงลมกระทำกับโครงสร้างทั้งนี้เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และออกแบบระบบมวลหน่วงปรับค่าได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพต่อไป

## 1.1 ผลงานวิจัยในอดีต

จากผลงานวิจัยในอดีตมีผู้ศึกษาประสิทธิภาพของมวลหน่วงปรับค่าเพื่อช่วยลดการสั่นไหวของโครงสร้างภายใต้แรงพลวัต ( Dynamic Load ) ซึ่งมีวิธีในการวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่าต่อไปนี้

Wirsching และ Campbell (21) ทำการวิเคราะห์อาคารรับแรงเฉือน 5 และ 10 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ารับแรงแผ่นดินไหว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. แก้สมการปัญหาเจาะจง ( EigenValue Problem ) หาความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequencies) และรูปแบบการสั่นไหว ( Mode Shape )โหมดที่หนึ่ง

2. ใช้วิธีวิเคราะห์โหมด ( Modal Analysis ) เพื่อแปลงโครงสร้างเป็นระบบหนึ่งระดับขั้นความเสรี ( SDOF )

3. นำเอาโครงสร้างระบบหนึ่งระดับขั้นความเสรี (SDOF) และมวลหน่วงปรับค่า รวมกันอยู่ในระบบสองระดับขั้นความเสรีและหาการตอบสนองของระบบสองระดับขั้นความเสรี ( 2DOFS)

ผลจากการวิเคราะห์พบว่ามวลหน่วงปรับค่าสามารถลดการสั่นไหวจากกรณีที่ไม่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าถึง 30 เปอร์เซ็นต์

Sadek และ Klingner (19) วิเคราะห์เปรียบเทียบการตอบสนองของอาคารโครงสร้างเหล็ก 25 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ากับไม่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า รับแรงแผ่นดินไหว El Centro 1940 NS ทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวบ ( Lump )โครงสร้างเป็นระบบแปดระดับขั้นความเสรี แล้วทำการแปลงระบบแปดระดับขั้นความเสรีเป็นระบบหนึ่งระดับขั้นความเสรี( SDOF) วิธีเดียวกับ Wirsching และ Campbell

Vilaverde (20) วิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารรับแรงเฉือน 10 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ารับแรงแผ่นดินไหว โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหว Mexico City ทำการวิเคราะห์โดยแปลงโครงสร้างเป็นระดับขั้นความเสรีเดียววิธีเดียวกับ Wirsching และ Campbell พบว่าโครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าสามารถการสั่นไหว 30 เปอร์เซ็นต์

Chang and Yang (4) วิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารรับแรงเฉือน 10 ชั้น 3 ช่วงคานติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ารับแรงแผ่นดินไหวใช้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro 1940 โดยทำการวิเคราะห์วิธีเดียวกับ Wirsching และ Campbell

Sadek และ คณะ (18) ใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับ Wirsching และ Campbell หาการตอบสนองของ อาคาร 6 และ10 ชั้นติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวจริง 15 คลื่น พบว่ามวลหน่วงปรับค่า สามารถลดการสั่นไหว 48 เปอร์เซ็นต์

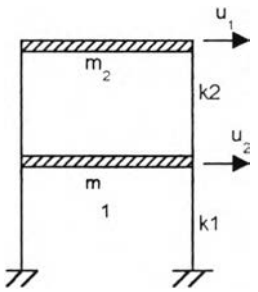
Muhammad และ Arfiadi (14) วิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคารรับแรงเฉือน 10 ชั้น ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ารับแรงแผ่นดินไหวใช้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro 1940 โดยทำการวิเคราะห์วิธีเดียวกับ Wirsching และ Campbell

Brito และ Ruiz (3) วิเคราะห์หาการตอบสนองของอาคาร 22 ชั้น 4 ช่วงคานติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าโดยทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับ Wirsching และ Campbell

จากผลงานวิจัยที่ศึกษาการลดการสั่นไหวของอาคารที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า พบว่าการศึกษาในทุกครั้งนั้น นักวิจัยต้องทำการจำลองอาคารและระบบมวลหน่วงปรับค่าแยกกัน โดยแปลงโครงสร้างเป็น SDOF แล้วนำมารวมกับมวลหน่วงปรับค่าในโปรแกรมการวิเคราะห์เชิงพลวัตอย่างง่ายที่ ผู้วิจัยต้องพัฒนาขึ้นใช้เองทำให้ไม่สะดวกในการออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

## 1.2 ปัญหาโปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์โครงสร้างติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า

โปรแกรมวิเคราะห์เชิงพลวัตที่นิยมใช้ เช่น ETAB,SAP, GT STRULDL และ STAAD III แต่พบว่ามีข้อจำกัดไม่สามารถวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงสร้างที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า เนื่องจากโปรแกรมไม่มีชิ้นส่วนหน่วง ( Damping Element ) นอกจากนั้นเมตริกซ์ความหน่วง ( Damping Matrix ) ที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมไม่สามารถแยกความหน่วงของมวลหน่วงปรับค่า จากโครงสร้างได้ จึงทำให้การกำหนดเมตริกซ์ความหน่วงไม่สามารถกระทำอย่างถูกต้อง




รูปที่ 1.1 โครงสร้างสองชั้น

พิจารณาตัวอย่างการสร้างเมตริกซ์ความหน่วงของอาคาร 2 ชั้น มีเมตริกซ์ของมวล ( $\mathbf{m}$ )และเมตริกซ์สติฟเนส ( $\mathbf{k}$ )ดังนี้

$$\mathbf{m} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1.1}$$

$$\mathbf{k} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{1.2}$$

จากมวลและสติฟเนสจะคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ ( $\omega$ ) และรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้าง ( $\phi$ ) ได้

พอดี หอกลาง ...ศาสตร์ ...การ
...พาณิชยกรรมมหาวิทยาลัย


$$\omega = \begin{bmatrix} 1.6180 & 0 \\ 0 & 0.6180 \end{bmatrix} \tag{1.3}$$

$$\phi = \begin{bmatrix} 0.8507 & 0.5257 \\ -.5257 & 0.8507 \end{bmatrix} \tag{1.4}$$

สร้างเมตริกซ์ความหน่วงของโครงสร้าง 2 ชั้น จากวิธีการวิเคราะห์โหมด ( Modal Analysis ) โดยสร้างเมตริกซ์ความหน่วงเชิงโหมด( Modal Damping , C ) จากค่าอัตราส่วนความหน่วง ( Damping Ratio , $\xi$ ) ซึ่งสมมุติให้เท่ากับ 0.05 ทั้งสองโหมดจะได้เมตริกซ์ความหน่วง

$$C = \begin{bmatrix} 2\xi\omega_1 M_1 & 0 \\ 0 & 2\xi\omega_2 M_2 \end{bmatrix} \tag{1.5}$$

สามารถหาค่าเมตริกซ์ความหน่วง ( Damping Matrix , c ) ด้วยการคูณรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้างด้านหน้าและด้านหลังเมตริกซ์ความหน่วงเชิงโหมด ( Modal damping matrix )

$$c = \left[\phi^{T}\right]^{-1} C \, \phi^{-1} \tag{1.6}$$

ดังนั้นเมตริกซ์ความหน่วงของโครงสร้าง 2 ชั้นคือ

$$c = \begin{bmatrix} 0.1342 & -0.0447 \\ -0.0447 & 0.0894 \end{bmatrix} \tag{1.7}$$

และเมื่อติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า กำหนดให้ค่าอัตราหน่วงของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ $\xi_{TMD}$ ค่าความถี่ของมวลหน่วงปรับค่าเท่ากับ $\omega_{TMD}$ และมวลของมวลหน่วงปรับค่าเป็น $m_{TMD}$ ได้เมตริกซ์ความหน่วงของโครงสร้าง 2 ชั้นที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า คือ

$$c = \begin{bmatrix} 0.1342 & -0.0447 & 0 \\ -0.0447 & 0.0894 + 2\xi_{TMD}\omega_{TMD} m_{TMD} & -2\xi_{TMD}\omega_{TMD} m_{TMD} \\ 0 & -2\xi_{TMD}\omega_{TMD} m_{TMD} & 2\xi_{TMD}\omega_{TMD} m_{TMD} \end{bmatrix} \tag{1.8}$$

ซึ่งหากกำหนดให้ $\xi_{tmd}$ เท่ากับ 0.104 , $\omega_{tmd}$ เท่ากับ 0.618 และ $m_{tmd}$ เท่ากับ 0.03 เมตริกซ์ความหน่วงของสมการที่ 1.8 จะได้

$$c = \begin{bmatrix} 0.1342 & -0.0447 & 0 \\ -0.0447 & 0.09328 & -3.8759e-4 \\ 0 & -3.8759e-4 & 3.8759e-4 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

พบว่าโปรแกรมวิเคราะห์พลวัตทั่วไปซึ่งสร้างเมตริกซ์ความหน่วงด้วยวิธี Modal Damping Matrices โดยให้ใส่ค่าอัตราส่วนความหน่วงในแต่ละโหมดไม่สามารถสร้างค่าเมตริกซ์ความหน่วงของระบบที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าได้ดังสมการ 1.9 ( แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก ) ดังนั้นจึงไม่สามารถประยุกต์โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์โครงสร้างที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่าได้

## 1.3 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาโปรแกรมไฟไนท์เอเลเมนต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงข้อแข็ง 2 มิติ ที่ติดตั้งมวลหน่วงปรับค่ารับแรงพลวัตได้
2. พัฒนาขีดความสามารถด้านการแสดงผลของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้สามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวจริงของโครงสร้างภายใต้แรงพลวัติต่างๆ ได้

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงสร้าง 2 มิติ ที่มีการติดตั้งมวลหน่วงปรับค่า รับแรงแผ่นดินไหวและแรงลมกระทำกับโครงสร้างมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง2 มิติ รับแรงพลวัต แรงกระทำที่จุดต่อ และกระทำที่ฐานของโครงสร้าง
2. การวิเคราะห์สมมุติฐานโครงสร้างอยู่ในช่วงเชิงเส้น อีลาสติก ( Linear Elastic ) โดยพิจารณาโครงสร้างเฉพาะแบบโครงข้อแข็ง
3. ไม่คำนึงถึงผลการเปลี่ยนแปลงตามแนวแกนในคานและเสา ( Axial Deformation Effect )

4. ไม่คำนึงถึงผลการรับแรงส่วนโครงสร้างที่ไม่ได้ออกแบบให้ช่วยรับแรง ( Non Structural Member ) เช่นกำแพงก่ออิฐ
5. สติฟเนสและตัวหน่วงของระบบมวลปรับค่าอยู่ในช่วงเชิงเส้น อีลาสติก
6. มวลหน่วงปรับค่าติดที่พื้นชั้นบนสุดของโครงสร้าง

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็ง 2 มิติ รับแรงพลวัต โดยแรงกระทำที่จุดต่อและกระทำที่ฐานของโครงสร้าง
2. โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็ง 2 มิติ ที่มีการติดมวลหน่วงปรับค่ารับแรงพลวัต โดยแรงกระทำที่จุดต่อ และกระทำที่ฐานของโครงสร้าง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างติดมวลหน่วงปรับค่า
3. โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็ง 2 มิติ ซึ่งมีระบบการแสดงภาพเคลื่อนไหวของโครงสร้างภายใต้แรงพลวัต