# บทที่ 5

## แบบจำลองการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารภายใต้ภาระกระทำแบบต่าง ๆ

ในบทที่แล้ว ได้กล่าวถึงการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ โหมดเชพ และผลตอบสนองของโครงสร้างอาคารในทางทฤษฎี สำหรับบทนี้เป็นการเสนอแนะแนวทางในการกำหนดลักษณะของภาระกระทำต่อโครงสร้างอาคารประเภทต่าง ๆ อาทิเช่น ภาระเนื่องจากน้ำหนักของพื้นคอนกรีต ภาระเนื่องจากการติดตั้งเครื่องจักรในโครงสร้างโดยตรง และภาระเนื่องจากการติดตั้งเครื่องจักรไม่สมดุลบนฐานแยกการสั่นสะเทือน เป็นต้น ซึ่งจะนำไปใช้ในการป้อนข้อมูลขาเข้า (Input data) สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TFRAME ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

### 5.1 ภาระที่กระทำต่อโครงสร้างแบบสถิตย์ (Static load)

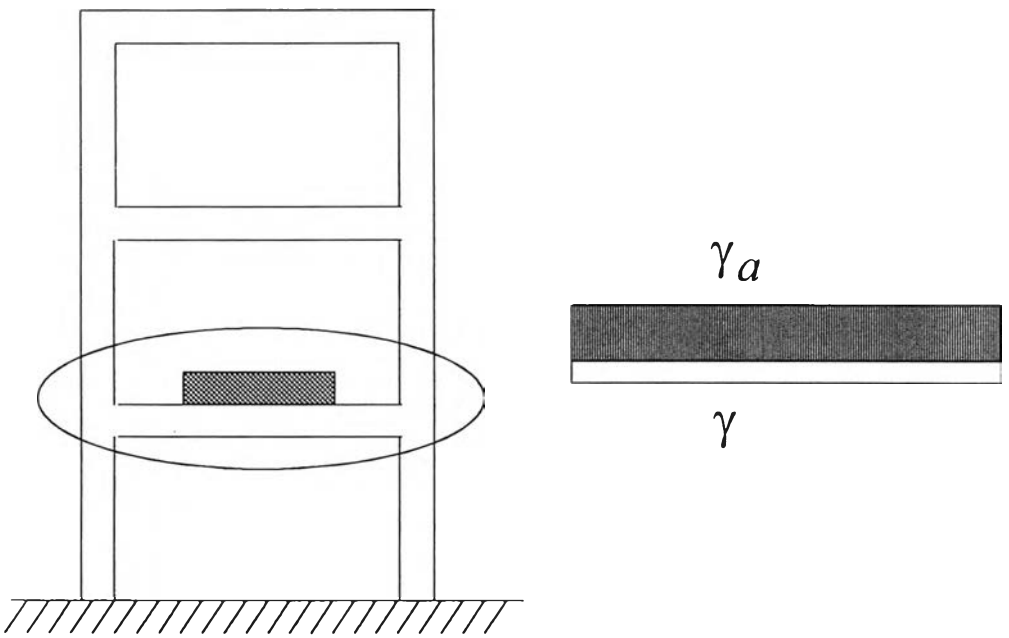
หมายถึง ภาระเนื่องจากน้ำหนักคงที่ของส่วนที่เพิ่มเข้ามาในโครงสร้างอาคาร เช่นพื้นคอนกรีต ผนัง เครื่องจักร หรือแม้กระทั่งโต๊ะทำงาน เป็นต้น ภาระต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อเพิ่มเข้าไปในอาคารแล้วพบว่า ทำให้คุณสมบัติการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคาร ได้แก่ ความถี่ธรรมชาติและโหมดเชพของการสั่นสะเทือน เปลี่ยนแปลงไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

#### 5.1.1 ภาระกระทำแบบกระจาย (Distributed load)

ได้แก่ภาระกระทำเนื่องจากน้ำหนักเฉลี่ยของพื้นคอนกรีต เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคารที่มีขนาดกว้างเมื่อเทียบกับความยาวของคาน 1 เอลิเมนต์ในแบบจำลอง ซึ่งถือว่าน้ำหนักของภาระเหล่านี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากันตลอดความกว้าง ดังนั้นในแบบจำลองของโครงสร้างอาคารจะต้องแบ่งเอลิเมนต์ของคานให้ซ้อนกับตำแหน่งของภาระพอดี โดยอาจจะแบ่งช่วงที่ซ้อนกันอยู่ให้มากกว่า 1 เอลิเมนต์ก็ได้ และในการคำนวณให้เพิ่มค่ามวลต่อหน่วยความยาวของเอลิเมนต์โครงสร้างอาคาร ด้วยค่ามวลต่อหน่วยความยาวของภาระ ดังรูปที่

$$\gamma' = \gamma + \gamma_a \qquad (5\text{-}1)$$

โดยที่ $\gamma'$ คือค่ามวลต่อหน่วยความยาวรวมที่ใช้ป้อนค่าในการคำนวณ $\gamma$ คือค่ามวลต่อหน่วยความยาวของเอลิเมนต์โครงสร้างอาคารในบริเวณที่รับภาระ และ $\gamma_a$ คือค่ามวลต่อหน่วยความยาวของภาระที่เพิ่มเข้าไป



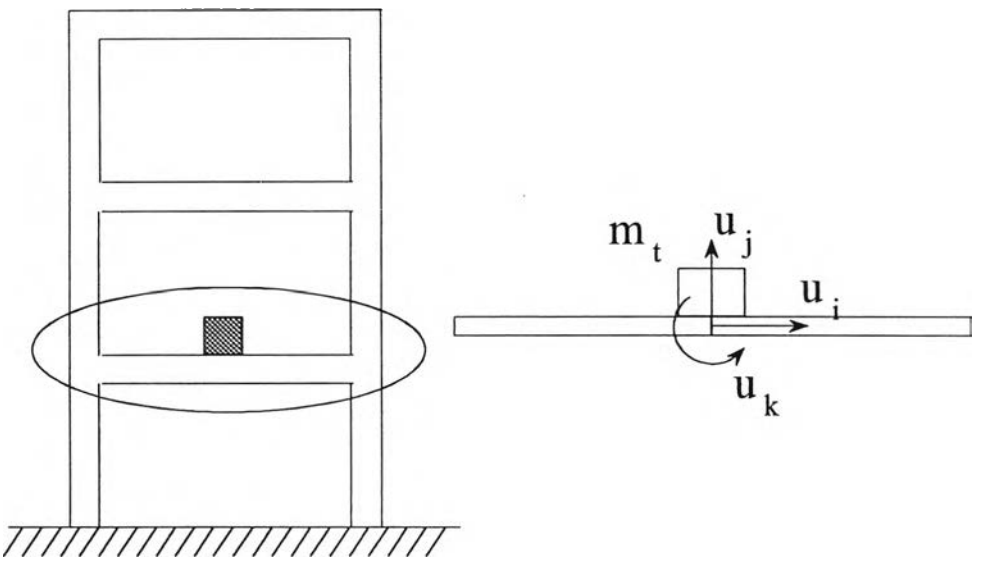

รูปที่ 5-1 แบบจำลองของเอลิเมนต์โครงสร้างที่รับภาระสถิตย์แบบกระจาย

5.1.2 ภาระกระทำแบบจุด (Concentrated load)

ได้แก่ ภาระกระทำเมื่อติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่มีขนาด (ความกว้าง) ค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับขนาดเอลิเมนต์โครงสร้างของอาคาร (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดในการแบ่งเอลิเมนต์ด้วย เช่น ถ้าแบ่งละเอียดมากหรือเอลิเมนต์มีขนาดเล็กก็ควรที่จะใช้แบบจำลองในหัวข้อ 5.1.1 แทน) สำหรับการคำนวณให้ตำแหน่งรอยต่อของเอลิเมนต์จากการแบ่ง (Node) ตรงกับตำแหน่งที่ติดตั้งภาระพอดี แล้วเพิ่มมวลของภาระเข้าไปในเมตริกซ์มวลของโครงสร้างในแบบจำลอง ณ ตำแหน่งที่ติดตั้ง (ทั้งพิกัดในแนวนอน แนวดิ่ง และพิกัดเชิงมุม) เฉพาะในแนวแทยงมุม ดังรูป

$$\left.\begin{aligned} m'_{ii} &= m_{ii} + m_t \\ m'_{jj} &= m_{jj} + m_t \\ m'_{kk} &= m_{kk} + m_t \end{aligned}\right\} \qquad (5-2)$$

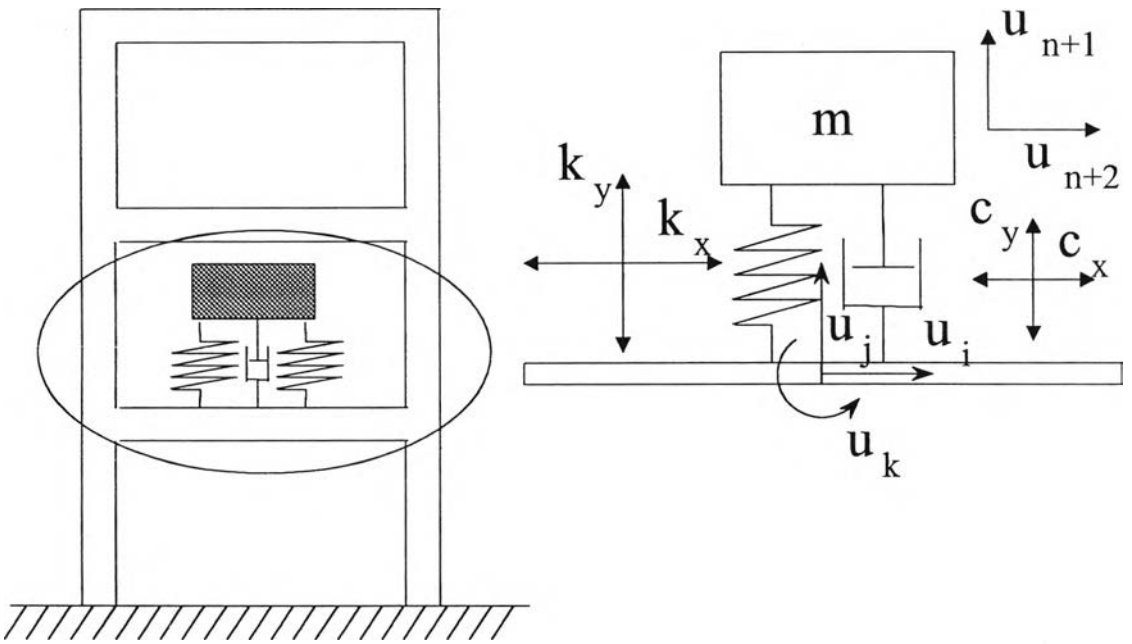
โดยที่ $m'$ คือสมาชิกในแนวทแยงมุมของเมตริกซ์มวล และ $m_t$ คือมวลสถิตย์ของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เพิ่มเข้าไปในโครงสร้างอาคารแบบจุด




รูปที่ 5-2 แบบจำลองของเอลิเมนต์โครงสร้างที่รับภาระสถิตย์แบบจุด

5.1.3 ภาระกระทำจากน้ำหนักรวมของเครื่องจักรติดตั้งบนฐานแยกการสั่นสะเทือน

ได้แก่ภาระกระทำจากการติดตั้งเครื่องจักรบนฐานแยกการสั่นสะเทือน อาทิเช่น แผ่นนีโอเพรน หรือสปริงและตัวหน่วง เป็นต้น ในกรณีทำให้ระบบโครงสร้างรวมเครื่องจักรที่เกิดขึ้นมาใหม่มีระดับขั้นความเสรีเพิ่มขึ้น (แล้วแต่จำนวนของเครื่องจักร) ดังที่ได้แสดงให้ดูแล้วในบทที่ 3 ในการคำนวณออกแบบพบว่าการติดตั้งเครื่องจักรบนฐานแยกการสั่นสะเทือนนั้นในความเป็นจริงจะมีจุดเชื่อมต่อระหว่างสปริงของฐานแยกการสั่นสะเทือนกับโครงสร้างอาคารอยู่ 4 จุด (ถ้ามองโครงสร้างเป็นแบบระนาบจะเห็น 2 จุด) ดังนั้นการป้อนข้อมูลสำหรับโปรแกรมต้องแยกออกเป็น 2 ส่วนซึ่งค่อนข้างยุ่งยากมากเนื่องจากจะต้องพิจารณาพิกัดของการโยกของเครื่องจักรบนฐานแยกการสั่นสะเทือน (สปริง 2 ฝั่งถูกกดด้วยแรงไม่เท่ากัน) เพื่อความสะดวกในการใช้แบบจำลองจึงกำหนดให้ชุดแยกการสั่นสะเทือนมีจุดเชื่อมกับโครงสร้างอาคารเพียงจุดเดียวขณะเดียวกันถือว่าสปริงและตัวหน่วงสามารถแยกการสั่นสะเทือนได้ทั้งในแนวนอนและแนวดิ่งพร้อม ๆ กัน และเป็นอิสระต่อกันด้วย สำหรับวิธีการป้อนข้อมูลในโปรแกรม TFRAME ให้ดูได้จากสมการในบทที่ 3 โดยเพิ่มมวลเข้าไปพร้อม ๆ กันทั้งในพิกัดทางแนวดิ่งและพิกัดทางแนวนอน ดังรูป




รูปที่ 5-3 แบบจำลองของเอลิเมนต์โครงสร้างที่รับภาระสถิตย์จากเครื่องจักรบน isolation

5.2 ภาระแบบฮาร์โมนิคจากแรงไม่สมดุลของเครื่องจักร (Harmonic load)

ในงานวิจัยนี้พิจารณาภาระของการสั่นสะเทือนแบบบังคับ ที่เกิดจากเครื่องจักรไม่สมดุลแบบหมุนเท่านั้น ดังนั้นลักษณะของแรงอาจจะเป็นแบบฮาร์โมนิค sine หรือ cosine ก็ได้ ซึ่งในการคำนวณต้องการค่าผลตอบสนองสูงสุดเท่านั้น จึงไม่สนใจว่าจะเป็น sine หรือ cosine ดังนั้นค่าที่สนใจคือขนาดและความถี่ของแรงกระทำ เนื่องจากการทำงานของเครื่องจักรเป็นแบบหมุน ดังนั้นกำหนดให้แรงที่กระทำต่อโครงสร้างมีอยู่ 2 ทิศทางคือในแนวดิ่งและแนวนอน โดยมีขนาดเท่ากัน การป้อนข้อมูลในโปรแกรมจะต้องแบ่งโครงสร้างให้มีจุดต่อ (node) ตรงกับตำแหน่งของเครื่องจักรแล้วกำหนดให้แรงกระทำที่จุดต่อนั้นทั้งในพิกัดทางแนวนอนและแนวดิ่ง สำหรับกรณีที่ติดตั้งเครื่องจักรในโครงสร้างโดยตรง ส่วนกรณีที่ติดตั้งเครื่องจักรบนฐานแยกการสั่นสะเทือนนั้นให้ใส่แรงกระทำลงในพิกัดการสั่นสะเทือนทางแนวนอนและแนวดิ่งของฐานแยกการสั่นสะเทือนโดยตรง