# บทที่ 3

## ผลกระทบของสติฟเนสขององค์อาคารต่อคาบของโครงสร้าง

คาบของโครงสร้างเป็นค่าตัวแปรที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์อาคารเพื่อต้านทานแรงลมและแรงจากแผ่นดินไหว เนื่องจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหวเป็นแรงพลศาสตร์ที่มีค่าคาบตามธรรมชาติของแรงเข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อใดที่คาบของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างมีค่าตรงกับคาบของโครงสร้าง จะทำให้เกิดปรากฏการสั่นพ้อง (Resonance) ทำให้โครงสร้างสนองตอบต่อค่าแรงสูง จึงทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแรงลมและแรงจากแผ่นดินไหวจะต้องพิจารณาค่าคาบของโครงสร้างด้วย การคำนวณคาบของโครงสร้างให้ได้ค่าใกล้เคียงตามสภาพความเป็นจริงจะต้องใช้วิธีพลศาสตร์ในการคำนวณ ซึ่งเป็นวิธีการที่ซับซ้อนไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้วิเคราะห์ในแบบแรงสถิตเทียบเท่าที่เน้นในด้านของความง่ายในการนำไปใช้ ดังนั้นการคำนวณหาคาบของโครงสร้างจึงนิยมใช้การประมาณจากลักษณะของโครงสร้าง เช่น ความสูง จำนวนชั้น และรูปร่างของโครงสร้าง เป็นต้น โดยอาศัยความสัมพันธ์ของคาบของโครงสร้าง กับสติฟเนสของโครงสร้าง ซึ่งสูตรการประมาณหาคาบโดยทั่วไป จะเน้นในด้านของคาบความสูง หรือจำนวนชั้นของโครงสร้างเป็นหลัก

ในงานวิจัยนี้ พิจารณาแบ่งความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบของโครงสร้างออกเป็นสองส่วน คือ ความสัมพันธ์ของความสูงกับคาบของโครงสร้าง และในส่วนที่สองคือ ความสัมพันธ์กลุ่มสติฟเนสของ เสา คาน ผนังรับแรงเฉือนกับคาบของโครงสร้างโดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 การหาคาบทางโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาคาบของโครงสร้างเพื่อให้ได้คาบที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ต้องใช้วิธีทางพลศาสตร์ดังแสดงในหัวข้อ 2.1.5 ในบทที่ 2 โดยแสดงสมการคาบของโครงสร้างได้ดังนี้

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \tag{3.1}$$

เมื่อ m = มวลของโครงสร้าง

K = สติฟเนสของโครงสร้าง

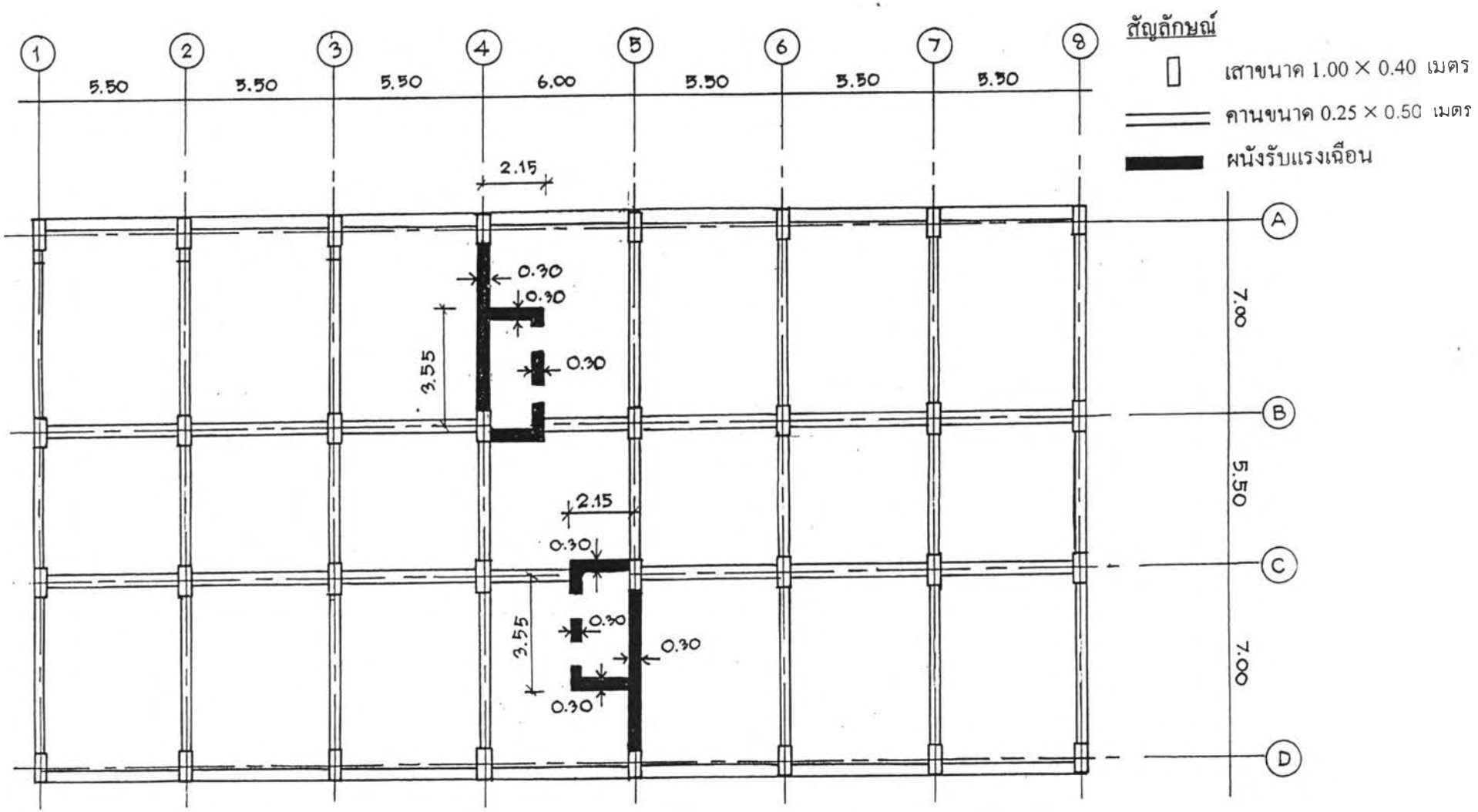
จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าคาบของโครงสร้างขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก 2 ตัว คือ มวลกับ สติฟเนสของโครงสร้าง โดยที่มวลของโครงสร้างแปรผันโดยตรงกับคาบของโครงสร้าง และสติฟเนสของโครงสร้าง แปรผกผันกับคาบของโครงสร้าง

มวลของโครงสร้างคือน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) ของโครงสร้าง ซึ่งได้นำมาพิจารณาในขนาดของโครงสร้างอยู่แล้วตามความสูง ความกว้าง และความหนาของโครงสร้าง ดังนั้น จึงไม่นำมวลของโครงสร้างมาเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์

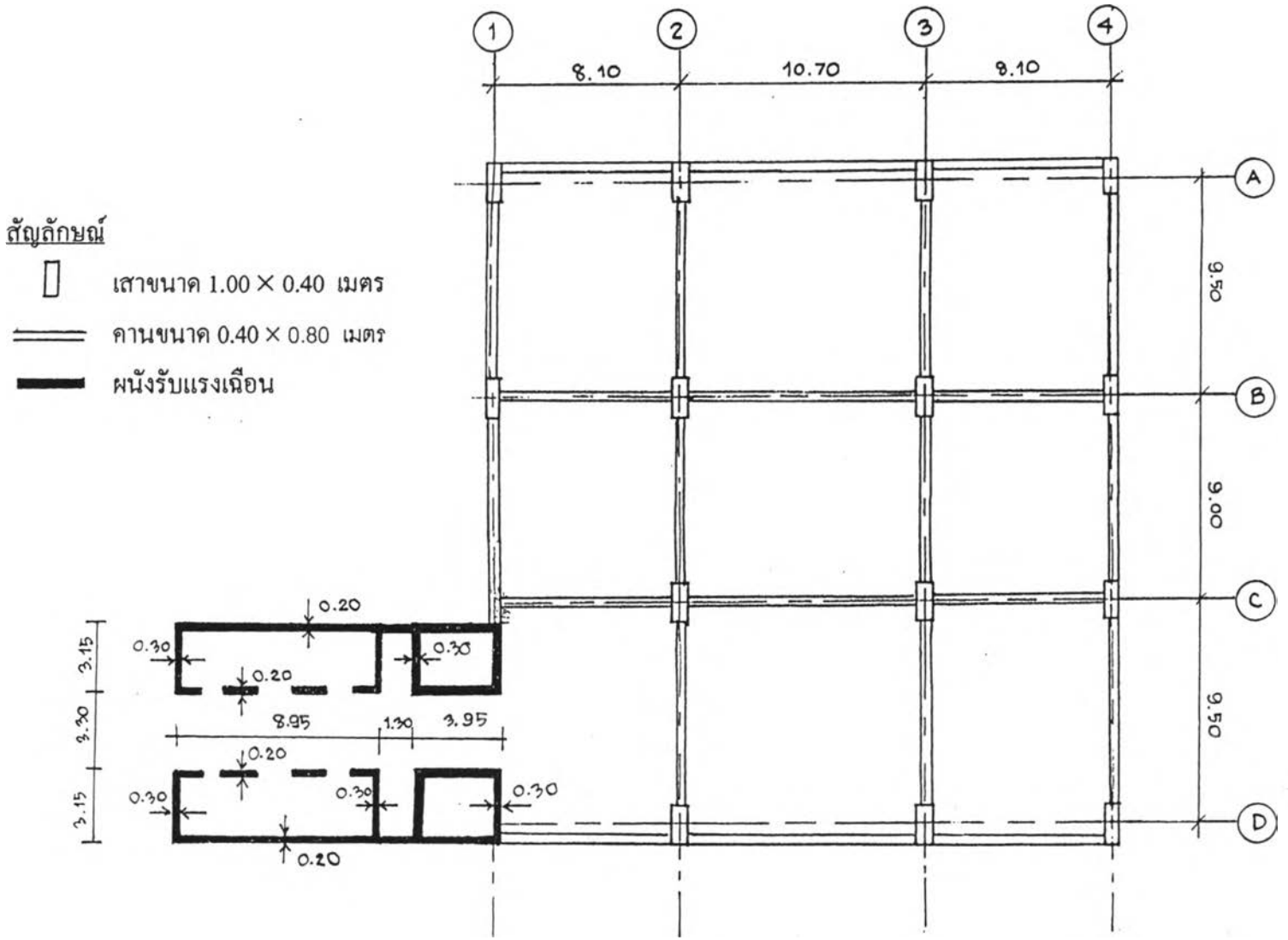
สติฟเนสของโครงสร้าง เป็นค่าที่แสดงความแข็งอ่อนของโครงสร้างซึ่งประกอบด้วย ความสูงของโครงสร้าง สติฟเนสของคาน สติฟเนสของเสา และสติฟเนสผนังรับแรงเฉือน รวมกัน งานวิจัยนี้หาความสัมพันธ์ของสติฟเนสของโครงสร้างโดยพิจารณาเป็น 2 แนวทาง คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างกับคาบของโครงสร้าง เนื่องจากความสูงของโครงสร้างเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดลักษณะคาบของโครงสร้าง โดยมีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนคือ เมื่อความสูงของโครงสร้างเพิ่มขึ้นคาบของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้นตาม แนวทางที่ 2 คือ ความสัมพันธ์ของสติฟเนสของคาน เสา และผนังรับแรงเฉือนกับคาบของโครงสร้าง โดยแนวทางที่ 2 เป็นการพิจารณาหาค่าปรับแก้คาบของโครงสร้างที่ได้จากความสัมพันธ์ในแนวทางที่ 1 เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะสติฟเนสของโครงสร้าง

ลักษณะของโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์ เป็นลักษณะของโครงสร้างที่มีขนาด 10 ชั้น, 20 ชั้น, 30 ชั้น และ 40 ชั้น มีความสูง 32 เมตร, 64 เมตร, 96 เมตร และ 168 เมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 3.1 ถึง 3.4 แต่ละโครงสร้างมีสัดส่วน สติฟเนสของ เสา คาน และผนังรับแรงเฉือน ค่าหนึ่งซึ่งเป็นสัดส่วนที่ใช้งานจริงสำหรับโครงสร้างนั้นๆ จากนั้นกำหนดเพิ่มจำนวนโครงสร้าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์สติฟเนสของ เสา คาน และผนังรับแรงเฉือนกับคาบของโครงสร้าง ลักษณะของโครงสร้างที่กำหนดเพิ่ม ออกแบบให้มีขนาดของผนังรับแรงด้านข้างเต็ม 100 % โดยการปรับค่าสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือนให้แข็งแรงขึ้น และวิเคราะห์โครงสร้างให้ได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบเท่ากับที่วิเคราะห์ได้จากลักษณะของโครงสร้างเดิม และกำหนดลักษณะของโครงสร้างเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวอย่าง โดยมีค่าสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือนอยู่ระหว่างโครงสร้างจริงกับโครงสร้างที่กำหนดให้ผนังรับแรงทางด้านข้างเต็ม 100 % ดังนั้นโครงสร้างที่ความสูงค่าหนึ่งๆ จะมีลักษณะโครงสร้างที่มีสติฟเนส ของผนังรับแรงเฉือนต่างกันออกไป 3 ตัวอย่าง

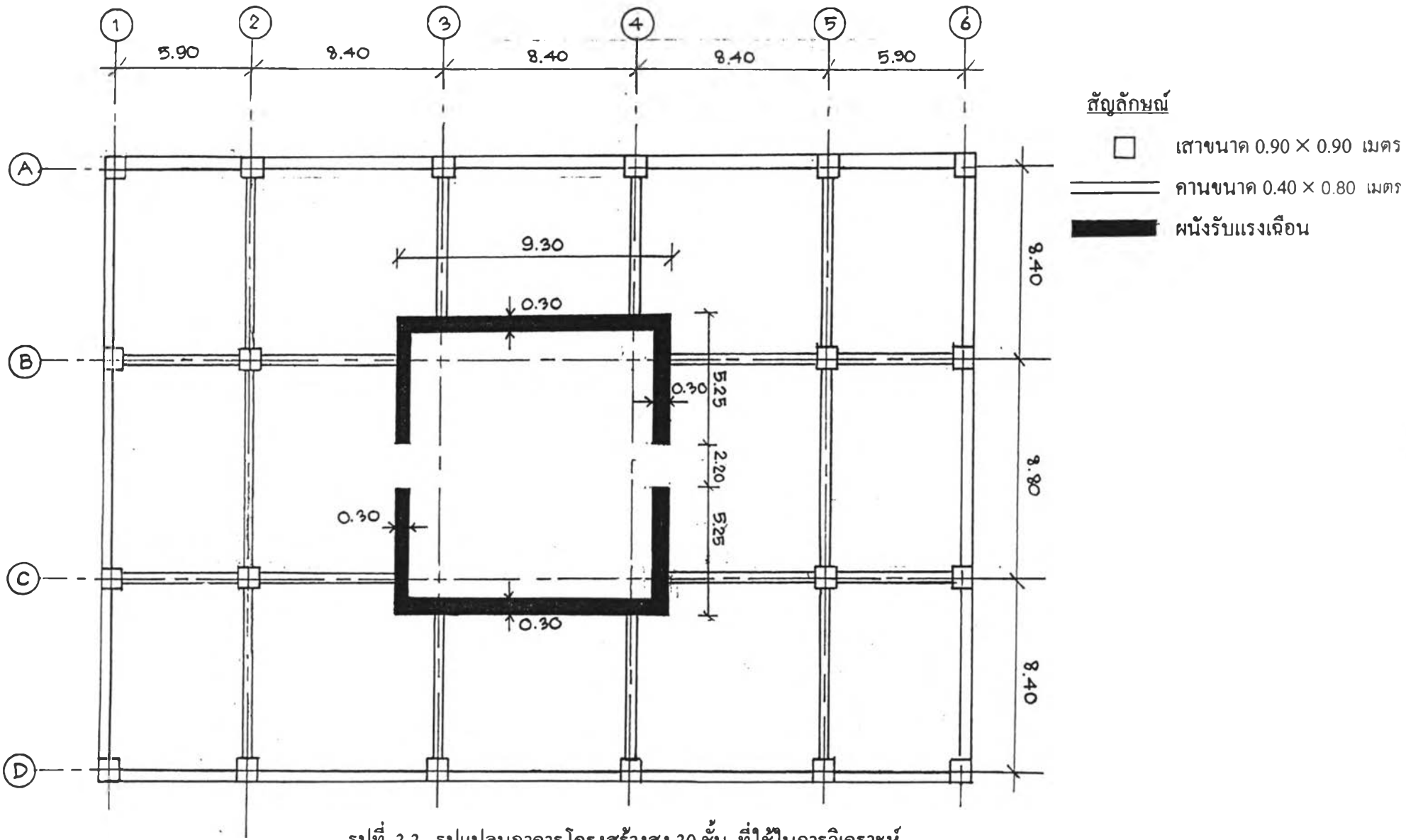
การศึกษาเพื่อประมาณค่าคาบของโครงสร้างทั้ง 2 แนวทางข้างต้น จะทำให้ได้ค่าคาบของโครงสร้างตามความสูงซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น และเมื่อได้คาบจากการประมาณด้วยความสูงแล้ว หากต้องการความละเอียดมากขึ้น ให้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง สติฟเนส ของ เสา คาน และผนังรับแรงเฉือน เป็นตัวปรับแก้ให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งค่าคาบที่ได้จากการประมาณนี้ นำไปใช้ในการหาค่าแรงสถิตเทียบเท่าในเรื่องของแรงลมและแรงแผ่นดินไหวต่อไป โดยที่คาบเป็นตัวแปรในการ



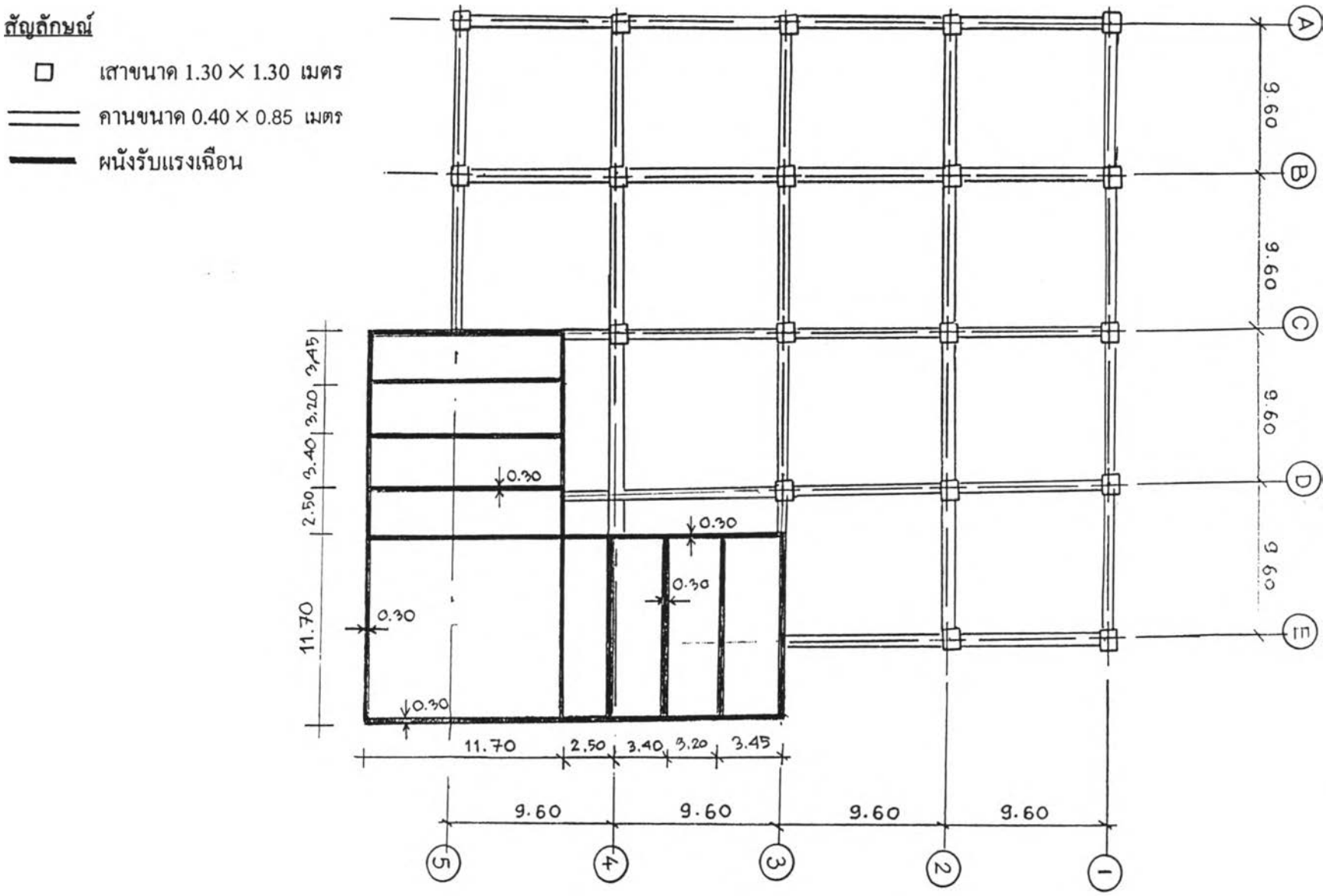

รูปที่ 3.1 รูปแปลนอาคารโครงสร้างสูง 10 ชั้น ที่ใช้ในการวิเคราะห์




รูปที่ 3.2 รูปแปลนอาคารโครงสร้างสูง 20 ชั้น ที่ใช้ในการวิเคราะห์




รูปที่ 3.3 รูปแปลนอาคารโครงสร้างสูง 30 ชั้น ที่ใช้ในการวิเคราะห์

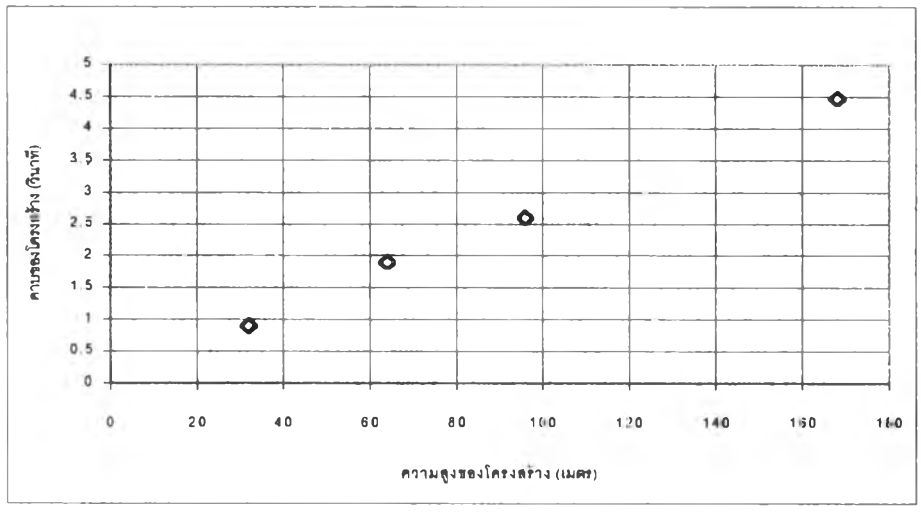



รูปที่ 3.4 รูปแปลนอาคารโครงสร้างสูง 40 ชั้น ที่ใช้ในการวิเคราะห์

หาค่าตัวประกอบการกรรโชกของแรงลม และเป็นตัวแปรในการหาค่าความเร่งแผ่นดินไหวสำหรับนำไปใช้คำนวณแรงจากแผ่นดินไหว ดังแสดงในบทที่ 4 และ 5

3.2 อิทธิพลของความสูง

ลักษณะความสูงของโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้มี 4 ระดับความสูง คือ 32 เมตร, 64 เมตร, 96 เมตร และ 168 เมตร ตามลำดับ พิจารณาโครงสร้างที่กำหนดให้ผนังรับแรงทางด้านข้างเต็ม 100 % ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบที่ให้คาบของโครงสร้างต่ำที่สุดในแต่ละกลุ่มของความสูงทั้ง 4 กลุ่มเนื่องจากมีค่าสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือนมากที่สุด วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโครงสร้างกับคาบของโครงสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ โดยคาบของโครงสร้างสามารถคำนวณหาได้ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.1.5 ในบทที่ 2 งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จชื่อ SAP90 เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาคาบของโครงสร้างโดยวิธีพลศาสตร์ ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.5




รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของคาบกับความสูงของโครงสร้าง

ซึ่งจากรูปดังกล่าวพบว่าความสัมพันธ์ของความสูงกับคาบของโครงสร้างมีพฤติกรรมแบบไร้เส้นตรงเล็กน้อย แต่อาจพิจารณาหาความสัมพันธ์ได้ทั้งแบบเส้นตรง หรือแบบเส้นโค้ง กำหนดให้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงแสดงได้ดังสมการที่ (3.2) และกำหนดให้ความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งอยู่ในรูปของสมการลอการิทึมแสดงได้ดังสมการที่ (3.3) และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาค่าคงที่ $a$ , $b$ , $a_1$ , $b_1$ ตามลำดับ

$$T = aH + b \tag{3.2}$$

$$\log T = a_1 \log H + b_1 \tag{3.3}$$

โดยที่

T = คาบของโครงสร้าง

H = ความสูงที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง

$a, b, a_1, b_1$ = ค่าคงที่ๆได้จากการวิเคราะห์การถดถอย

จากการวิเคราะห์สามารถหาค่าคงที่ $a, b, a_1, b_1$ ได้ดังนี้

$$T = 0.0258H + 0.2416 \tag{3.4}$$

$$\log T = 0.957 \log H + 1.475 \tag{3.5}$$

จัดรูปสมการที่ (3.5) ใหม่ได้

$$T = 0.034H^{0.96} \tag{3.6}$$

สมการที่ (3.4) และ สมการที่ (3.6) เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของคาบกับความสูง ซึ่งได้จากการวิเคราะห์การถดถอยด้วยสมการแบบเส้นตรง และสมการแบบลอการิทึม ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบค่าคาบที่คำนวณได้จากสมการทั้งสองเทียบกับคาบที่คำนวณได้โดยวิธีพลศาสตร์ ซึ่งพบว่าสมการที่ (3.6) ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับคาบที่คำนวณโดยวิธีพลศาสตร์ มากกว่าสมการที่ (3.4) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 4 % ดังที่แสดงไว้ในตารางที 3.1 ดังนั้นจึงเสนอสมการที่ (3.6) เพื่อใช้สำหรับประมาณหาคาบของโครงสร้างตามความสูง

ตารางที่ 3.1 แสดงความคลาดเคลื่อนของคาบที่คำนวณจากการประมาณด้วยความสูง

| ความสูง (เมตร) | คาบของโครงสร้าง (วินาที) | | ความคลาดเคลื่อนของคาบ |
|---|---|---|---|
| | วิธีพลศาสตร์ | สมการที่ ( 3.6) | ที่ได้จากสมการ(3.6) |
| 32 | 0.91 | 0.95 | 4.1% |
| 64 | 1.91 | 1.84 | -3.7% |
| 96 | 2.60 | 2.71 | 4.2% |
| 168 | 4.47 | 4.65 | 4.0% |

3.3 ความสัมพันธ์ของลักษณะสติฟเนสของ เสา คาน ผนังแรงเฉือนกับคาบของโครงสร้าง

โครงสร้างที่มีความสูงเท่ากันแต่ลักษณะสติฟเนสแตกต่างกันมีผลทำให้คาบของโครงสร้างแตกต่างกัน โครงสร้างที่มีสติฟเนสสูงจะมีคาบต่ำกว่าโครงสร้างที่มีสติฟเนสต่ำกว่า ดังนั้นการประมาณค่าคาบของโครงสร้างโดยพิจารณาจากความสูงของโครงสร้างเพียงอย่างเดียว อาจไม่ละเอียดเพียงพอ ในหัวข้อนี้จึงนำลักษณะสติฟเนสของเสา คาน และผนังรับแรงเฉือน มาศึกษาหาความสัมพันธ์กับคาบของโครงสร้าง เพื่อปรับแก้ค่าคาบของโครงสร้างที่คำนวณจากสูตรในสมการที่ (3.4) ให้สอดคล้องกับลักษณะสติฟเนสของโครงสร้าง ซึ่งสมการดังกล่าวคาบของโครงสร้างขึ้นอยู่กับความสูงของโครงสร้างเพียงอย่างเดียว

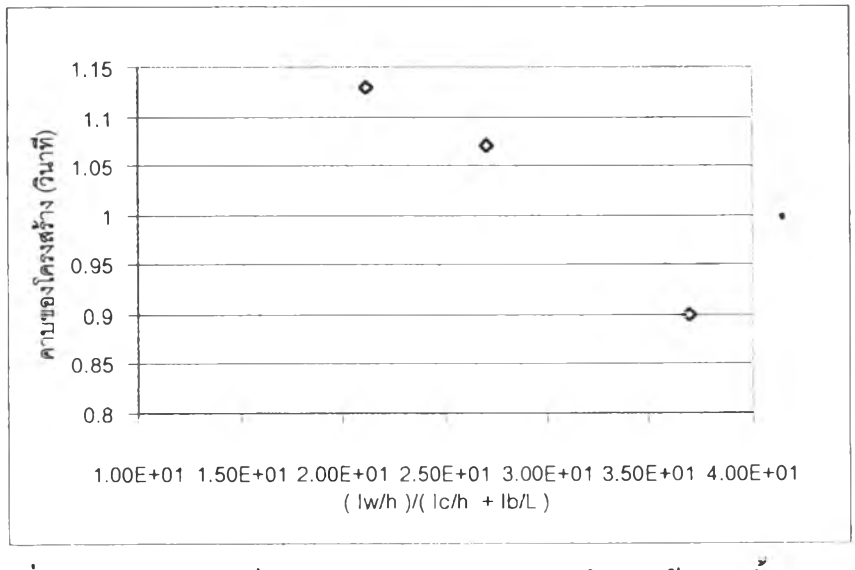
ในที่นี้สามารถแบ่งกลุ่มสติฟเนสของโครงสร้างออกเป็น 2 กลุ่มคือ ค่า สติฟเนสของโครงผนังรับแรงเฉือน กับ สติฟเนสของโครงเฟรม โดยการพิจารณาผลรวมของ สติฟเนสของคานและเสา การหาค่า สติฟเนสของแต่ละกลุ่มอาศัยการคิดแบบ โครงทดแทน (Substitute frame) โดยที่ค่าสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือนคือ ผลรวมสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือนทั้งหมดในโครงสร้างสามารถเขียนได้ในรูปของ $\sum \frac{I_w}{h}$ ค่าสติฟเนสของเสาคือผลรวมสติฟเนสจากเสาทั้งหมดในแต่ละชั้นหรือสามารถเขียนได้ในรูปของ $\sum \frac{I_c}{h}$ ค่าสติฟเนสของคานคือผลรวมสติฟเนสจากคานที่มีอยู่ทั้งหมดในแต่ละชั้นหรือสามารถเขียนอยู่ในรูปของ $\sum \frac{I_b}{L}$

และแสดงค่าสติฟเนสแต่ละประเภทสำหรับโครงสร้างแต่ละแบบไว้ในตารางที่ 3.2

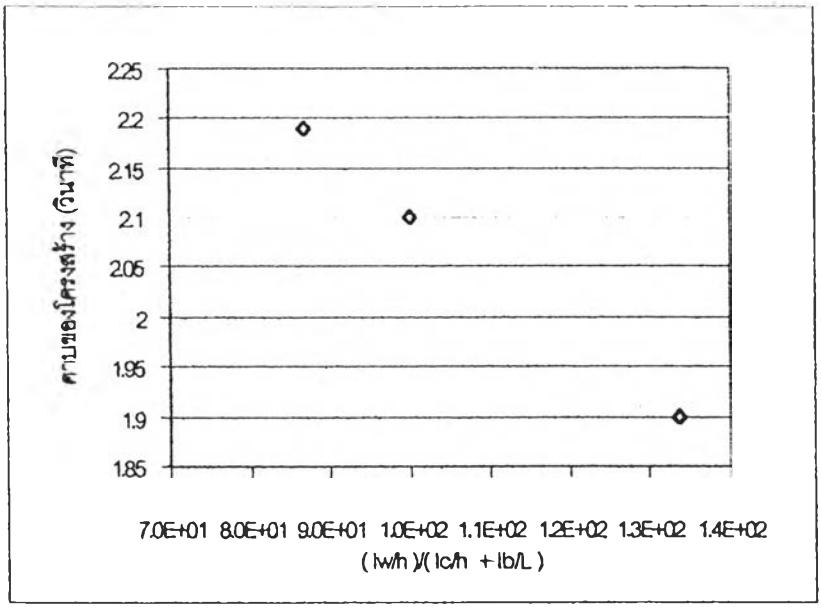
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าสติฟเนสของโครงสร้าง

| จำนวนชั้น | ความสูง (เมตร) | $\sum I_b/L$ $(m^3)$ | $\sum I_c/h$ $(m^3)$ | $\sum I_W/h$ $(m^3)$ | คาบของโครงสร้างโดยวิธีพลศาสตร์(วินาที) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 32 | 0.0090 | 0.2906 | 11.08 | 0.91 |
| 10 | 32 | 0.0090 | 0.2906 | 8.11 | 1.07 |
| 10 | 32 | 0.0090 | 0.2906 | 6.34 | 1.13 |
| 20 | 64 | 0.0197 | 0.3780 | 53.13 | 1.91 |
| 20 | 64 | 0.0197 | 0.3780 | 39.84 | 2.10 |
| 20 | 64 | 0.0197 | 0.3780 | 34.53 | 2.19 |
| 30 | 96 | 0.0320 | 0.3416 | 98.25 | 2.60 |
| 30 | 96 | 0.0320 | 0.3416 | 78.97 | 2.69 |
| 30 | 96 | 0.0320 | 0.3416 | 64.22 | 2.78 |
| 40 | 168 | 0.034 | 1.0766 | 569.89 | 4.47 |
| 40 | 168 | 0.034 | 1.0766 | 455.91 | 4.57 |
| 40 | 168 | 0.034 | 1.0766 | 370.43 | 4.67 |

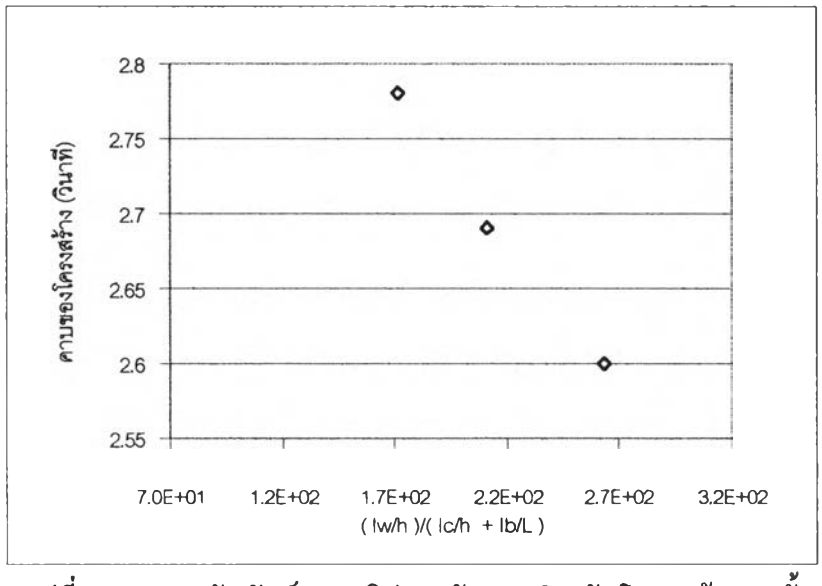
พิจารณาความสัมพันธ์ของสติฟเนสที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกลุ่มความสูงกับคาบของโครงสร้าง โดยใช้ค่าสัดส่วนสติฟเนสของผนังรับแรงเฉือน $\sum I_W/h$ ต่อผลรวมของสติฟเนสของเสากับสติฟเนสของคาน ( $\sum I_b/L + \sum I_c/h$ ) เปรียบเทียบกับคาบโครงสร้างดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.6 – 3.8



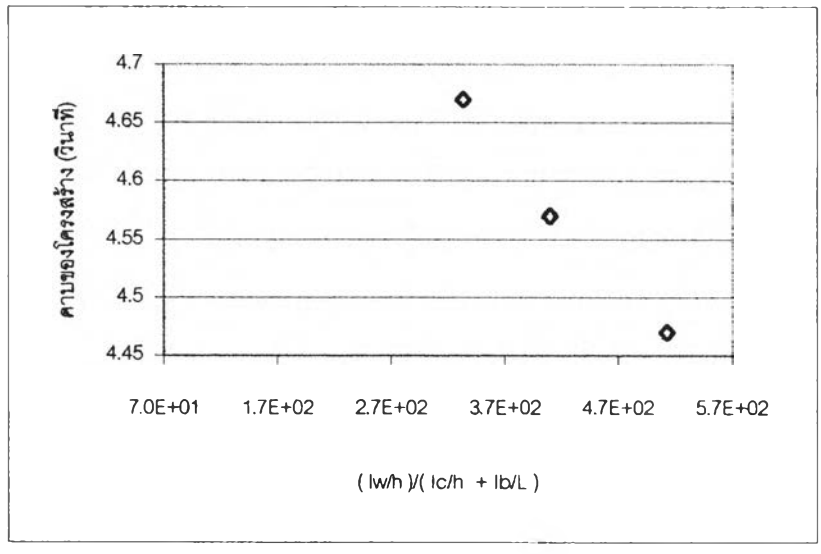

รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบ สำหรับโครงสร้าง 10 ชั้น




รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 20 ชั้น

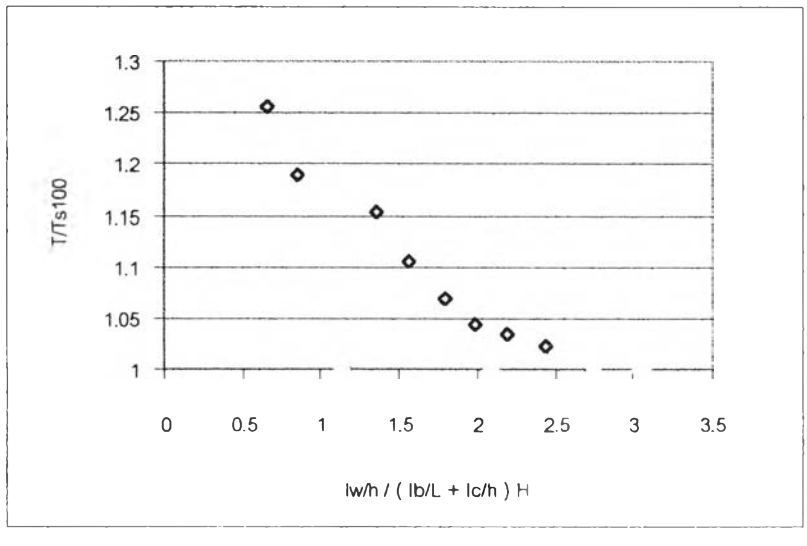



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 30 ชั้น




รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 40 ชั้น

จากรูปที่แสดงข้างบนพบว่า สัดส่วนของสติฟเนสที่พิจารณามีความสัมพันธ์เกือบเป็นเส้นตรงกับคาบของโครงสร้างในแต่ละกลุ่มความสูง แต่ในขณะเดียวกันค่าของสัดส่วนสติฟเนสของโครงสร้างที่ระดับความสูงต่างกันก็มีค่าเฉพาะตัวแตกต่างกันไป จึงมีความสัมพันธ์ชัดเจนเฉพาะในกลุ่มความสูงเดียวกันเท่านั้น จากความแตกต่างดังกล่าวจึงนำค่าความสูงมาเป็นตัวปรับค่าสัดส่วนสติฟเนสของแต่ละกลุ่มความสูง โดยพิจารณาสัดส่วนสติฟเนส $\frac{\sum I_W/h}{\left[\sum I_b/L + \sum I_c/h\right]} \cdot \frac{1}{H}$ กับคาบของโครงสร้างดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.10




รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มสติฟเนสกับสัดส่วนของคาบ

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.10 พบว่าสัดส่วนสติฟเนสที่เลือกใช้ให้แนวโน้มความสัมพันธ์กับค่าสัดส่วนของคาบเป็นลักษณะเส้นโค้ง โดยที่สัดส่วนของคาบของโครงสร้างที่ผนังรับแรงเฉือนรับแรงทางด้านข้างไม่เต็ม 100 % ต่อคาบของโครงสร้างที่ผนังรับแรงเฉือนรับแรงด้านข้าง 100 % มีค่าเท่ากับ $T/T_{s100}$ ซึ่งค่าสัดส่วนนี้กำหนดเพื่อให้เป็นตัวปรับแก้คาบของโครงสร้างให้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสติฟเนสของผนังรบแรงเฉือนมีค่าลดลง โดยการปรับแก้คาบดังกล่าวได้จากการประมาณด้วยความสูงเพียงอย่างเดียว

ในที่นี้สมมติให้สมการความสัมพันธ์ของอัตราส่วน $\frac{T}{T_{s100}}$ กับสัดส่วนสติฟเนส $\frac{\sum I_W/h}{\left[\sum I_b/L + \sum I_c/h\right]} \cdot \frac{1}{H}$ ในแบบลอการิทึมเพื่อวิเคราะห์การถดถอย โดยแยกเป็นสองตัวแปรคือ $\frac{\sum I_W/h}{\left[\sum I_b/L + \sum I_c/h\right]}$ กับ H โดยกำหนดให้

$T$ = คาบของโครงสร้าง

$T_{s100}$ = คาบของโครงสร้างที่กำหนดให้ผนังรับแรงเฉือนรับแรงทางด้านข้างเต็มร้อยเปอร์เซ็นต์

$$\delta_I = \frac{\sum I_W/h}{\left[\sum I_b/L + \sum I_c/h\right]}$$

โดยสมมติความสัมพันธ์

$$\log \frac{T}{T_{s100}} = a \log \delta_I + b \log H + c \qquad (3.7)$$

จากข้อมูลของโครงสร้างทั้ง 12 แบบ นำมาวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาค่าคงที่ a, b, c ได้ค่าคงที่ดังแสดงในสมการข้างล่าง

a = -0.224

b = 0.297

c = -0.059

จัดรูปใหม่ได้ดังแสดงข้างล่าง

$$\frac{T}{T_{s100}} = 0.873 \frac{H^{0.297}}{\delta_I^{0.224}} \qquad (3.8)$$

จึงเสนอสมการในการปรับแก้ค่าคาบของโครงสร้างตามลักษณะสติฟเนสของโครงสร้าง ดังแสดงในสมการ (3.8) โดยคูณค่าที่ได้จากสมการที่ (3.8) เข้ากับค่าคาบของโครงสร้างที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.6) เปรียบเทียบสัดส่วนของคาบที่ได้จากสมการที่ (3.8) กับสัดส่วนของคาบที่ได้จากวิธีพลศาสตร์ซึ่งให้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 3 % จึงนำเสนอสมการที่ (3.8)ในการใช้ประกอบกับสมการที่ (3.6)

3.4 การหาคาบอย่างง่าย

เพื่อสะดวกในการใช้งาน สามารถหาคาบของโครงสร้างได้จากรูปที่ 3.11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับคาบของโครงสร้างโดยใช้สมการที่ (3.5) ทำให้สามารถประมาณคาบอย่างง่ายโดยพิจารณาเฉพาะความสูงของโครงสร้าง และจากกราฟในรูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสติฟเนสกับสัดส่วนของคาบโครงสร้างโดยใช้สมการที่ (3.7) โดยเมื่อทราบค่าความสูงกับสัดส่วน สติฟเนส โดยพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 3.12 จะได้สัดส่วนของคาบ $T/T_{s100}$ และนำค่าสัดส่วนของคาบ $T/T_{s100}$ มาคูณกับค่าคาบที่หาได้โดยพิจารณาจากความสูงเพียงอย่างเดียวตามกราฟในรูปที่ 3.11 ก็จะได้ค่าที่ปรับแก้ที่สอดคล้องกับลักษณะสติฟเนสของโครงสร้าง หรือสามารถคำนวณโดยตรงโดยใช้สูตรที่เสนอ ดังนี้

$$T = 0.034H^{0.96} \tag{3.9}$$

$$\frac{T}{T_{s100}} = 0.873\frac{H^{0.297}}{\delta_I^{0.224}} \tag{3.10}$$

โดยสมการที่ (3.9) เป็นการประมาณอย่างคร่าว โดยใช้เฉพาะความสูงและสมการที่ (3.10) เป็นการคำนวณหาค่าปรับแก้เนื่องจากลักษณะสติฟเนส โดยคูณ $\frac{T}{T_{s100}}$ เข้ากับค่าคาบตามที่ได้จากสมการที่ (3.9) หรือสามารถรวมสูตรการประมาณคาบให้เป็นสูตรเดียวได้โดยคูณสมการที่ (3.9) เข้ากับสมการที่ (3.10) ได้ดังนี้

$$T_T = .029\frac{H^{1.25}}{\delta^{0.224}{}_I} \tag{3.11}$$

เมื่อ $T_T$ = คาบของโครงสร้างจากการประมาณที่พิจารณาทั้งความสูงและลักษณะสติฟเนสของโครงสร้าง

ตัวอย่างการคำนวณ

พิจารณาโครงสร้าง 30 ชั้น ที่ความสูง 96 เมตร มีค่าสติฟเนสต่าง ๆ ดังนี้

$$\sum \frac{I_b}{L} = 0.0320 \qquad m^3$$

$$\sum \frac{I_c}{n} = 0.3416 \qquad m^3$$

$$\sum \frac{I_w}{n} = 64.22 \qquad m^3$$

ประมาณโดยใช้กราฟ 3.11 และ 3.12

เมื่อ H = 96 T = 2.64 โดยการ Interpolate ระหว่างค่า H = 96 ถึง H = 100

เมื่อ

$$\delta_1 = \frac{\sum I_w/h}{[\sum I_b/L + \sum I_c/h]} = \frac{64.22}{(0.032 + 0.3416)} = 171.89$$

จากกราฟที่ 3.12 $T/T_{S100} = 1.07$

เพราะฉะนั้น $T_T = 2.64 \times 1.07 = 2.82$ มีความคลาดเคลื่อน 1.4 % เทียบกับคาบที่ได้จากวิธีพลศาสตร์

คำนวณโดยสูตร

$$T_T = \frac{0.029H^{1.25}}{\delta_1^{0.224}} = \frac{0.029(96)^{1.25}}{(171.89)^{0.224}}$$

$= 2.84$ โดยมีความคลาดเคลื่อน 2 %

เมื่อคาบที่คำนวณโดยวิธีพลศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 2.78

ตารางที่ 3.3 เป็นตารางแสดงค่าเปรียบเทียบคาบที่ได้จากสูตรการประมาณ กับคาบที่ได้จากวิธีพลศาสตร์ พบว่า คาบที่ได้จากการประมาณ มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 % สำหรับโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบคาบที่ได้จากสูตรการประมาณกับคาบที่ได้จากวิธีพลศาสตร์

| คาบโดยวิธีพลศาสตร์ (วินาที) | ประมาณตามความสูง (วินาที) สมการที่ (3.6) | ประมาณตามสติฟเนส สมการที่ (3.8) | คาบโดยการประมาณ (วินาที) สมการที่ (3.6) x สมการที่ (3.8) | ความแตกต่างของคาบที่ประมาณเทียบกับวิธีพลศาสตร์ |
|---|---|---|---|---|
| 0.91 | 0.95 | 1.06 | 1.00 | 10% |
| 1.07 | 0.95 | 1.14 | 1.08 | 1% |
| 1.13 | 0.95 | 1.20 | 1.14 | 1% |
| 1.90 | 1.84 | 0.97 | 1.78 | -6% |
| 2.10 | 1.84 | 1.04 | 1.91 | -9% |
| 2.19 | 1.84 | 1.07 | 1.97 | -10% |
| 2.60 | 2.71 | 0.94 | 2.54 | -2% |
| 2.69 | 2.71 | 0.99 | 2.68 | -1% |
| 2.78 | 2.71 | 1.04 | 2.81 | 1% |
| 4.47 | 4.52 | 0.95 | 4.49 | 1% |
| 4.57 | 4.52 | 1.00 | 4.72 | 3% |
| 4.67 | 4.52 | 1.05 | 4.94 | 6% |

อนึ่ง การหาคาบของโครงสร้างตามความสูงสามารถแสดงให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นสำหรับการประมาณในเบื้องต้น โดยพิจารณาจากความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับความสูงในรูปที่ 3.11 ที่มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

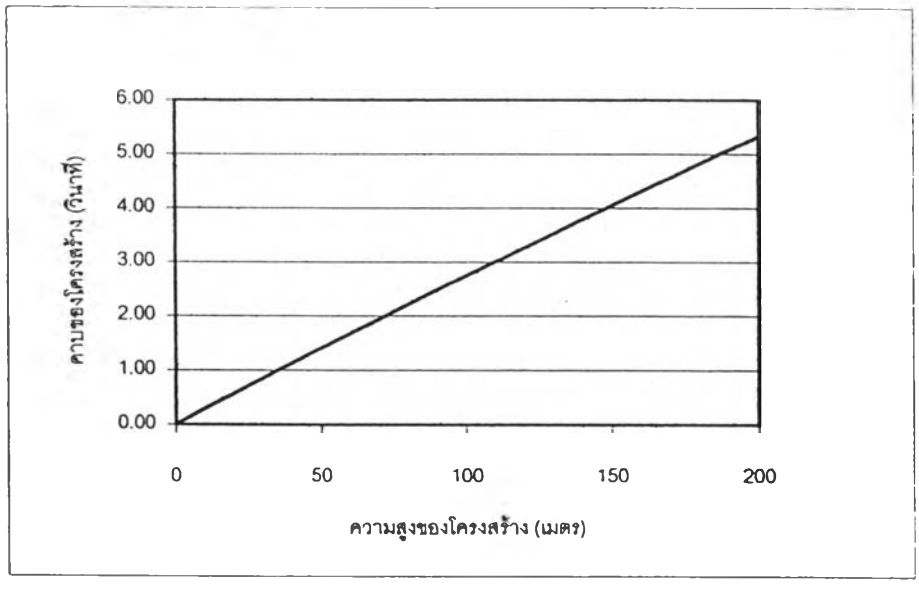
$$T = 0.1N \tag{3.12}$$

$$T = 0.028H \tag{3.13}$$

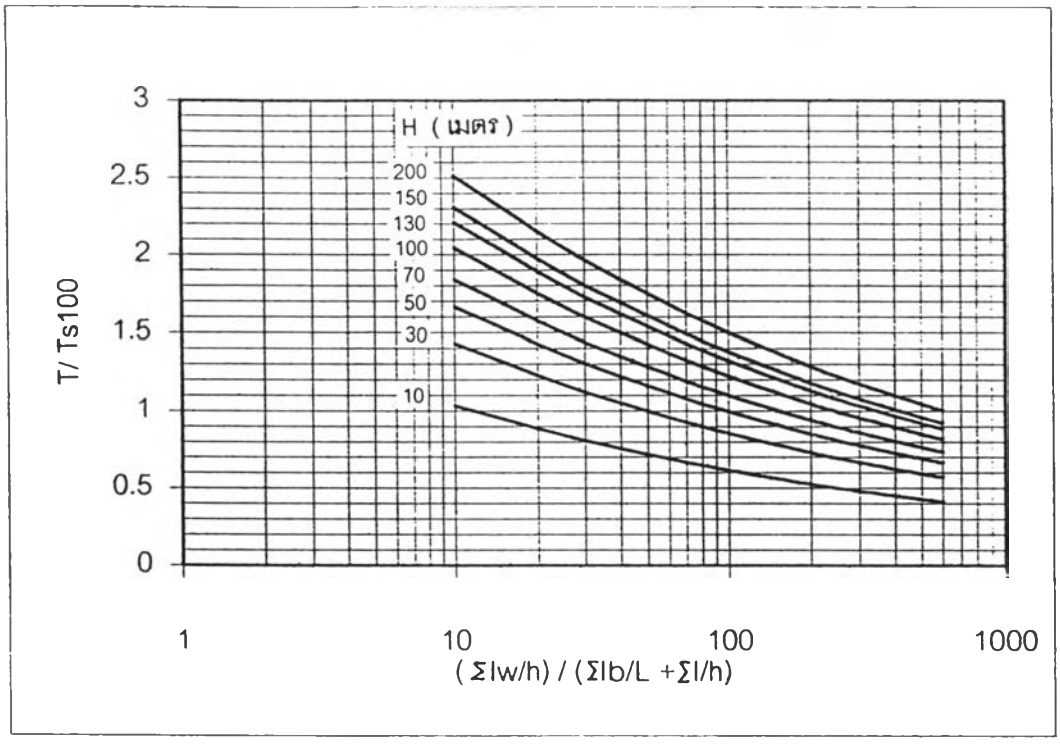
เมื่อ

$N$ = จำนวนชั้น

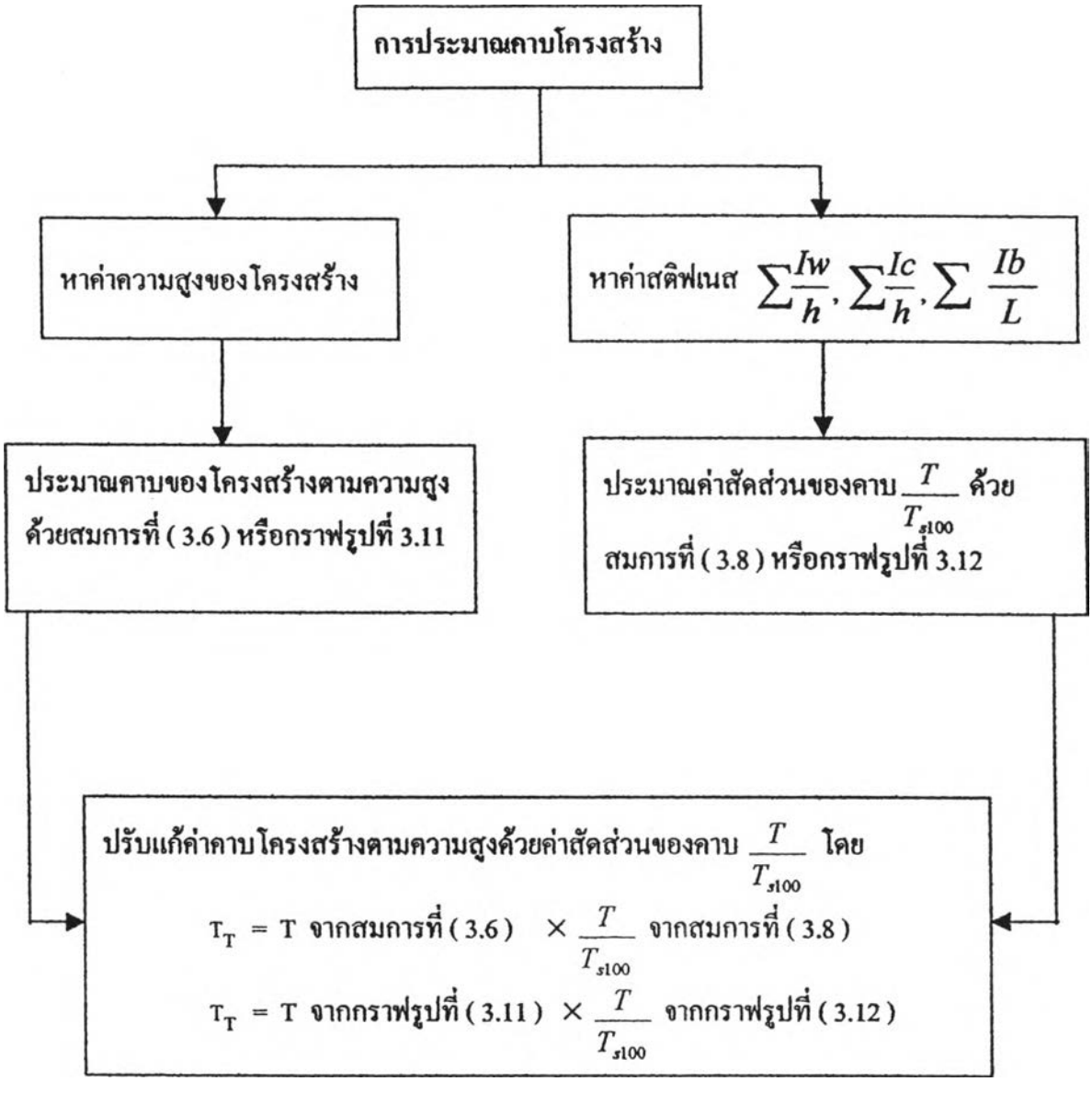
$H$ = ความสูง (เมตร)




รูปที่ 3.11 การประมาณคาบของโครงสร้างด้วยความสูง




**รูปที่ 3.12** การประมาณค่าสัดส่วนของคาบ $\frac{T}{T_{s100}}$ ด้วยสัดส่วนสติฟเนส




**รูปที่ 3.13** แผนภูมิแสดงขั้นตอนการประมาณคาบโครงสร้าง