# บทที่ 7

## การวิเคราะห์ความน่าจะเกิดการวิบัติ และดัชนีความปลอดภัย

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยทฤษฎีกำลังประลัย จะต้องออกแบบโดยใช้กำลังประลัยขององค์อาคารคูณด้วยตัวคูณลดกำลัง และน้ำหนักบรรทุกใช้งานคูณด้วยตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสม ข้อกำหนดของ ว.ส.ท. กำหนดให้ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบองค์อาคารประเภทต่างๆมีค่าดังนี้

| องค์อาคาร | ค่าตัวคูณลดกำลัง ( $\phi_n$ ) |
|---|---|
| รับแรงดัด -คาน พื้น | 0.9 |
| รับแรงอัด -เสา | 0.7 (เสาปลอกเดี่ยว) |
| รับแรงเฉือน | 0.85 |

โดยให้ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าเท่ากับ 1.7 และ 2.0 ตามลำดับ

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ว่า การใช้ค่าตัวคูณลดกำลัง และตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่ ว.ส.ท. กำหนดนี้ ทำให้การออกแบบมีความปลอดภัยเพียงใด โดยการพิจารณาความผันแปรของกำลังรับแรง ประกอบกับความผันแปรของน้ำหนักบรรทุกซึ่งศึกษาวิจัยโดย นายสุชาติ ชโยชัยชนะ คำนวณออกมาในรูปของค่าดัชนีความปลอดภัย ตามวิธีการประมาณอันดับที่หนึ่ง และวิธีโมเมนต์ที่สองอันดับที่หนึ่ง ดังข้อ 2.3.2 และ 2.3.3 ในบทที่ 2 โดยกำหนดฟังก์ชั่นการใช้งานในรูปของ

$$R - (D' + L') = 0 \qquad (7.1)$$

เมื่อ R เป็นกำลังขององค์อาคาร

$D'$ เป็นแรงที่กระทำต่อองค์อาคาร เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

$L'$ เป็นแรงที่กระทำต่อองค์อาคาร เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร ตามมาตรฐานการออกแบบ จะต้องให้

$$\phi_n R_n = \gamma_D D'_n + \gamma_L L'_n \qquad (7.2)$$

เมื่อ $\phi_n$ เป็นค่าตัวคูณลดกำลังที่กำหนดตามมาตรฐานการออกแบบ

$\gamma_D$ เป็นค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ มีค่าเท่ากับ 1.7

$\gamma_L$ เป็นค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกจร มีค่าเท่ากับ 2.0

$R_n$ เป็นกำลังขององค์อาคารที่ออกแบบไว้ คำนวณตามสมการในบทที่ 4

$D'_n$ และ $L'_n$ คือแรงที่กระทำต่อองค์อาคารเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบ ตามสภาพการใช้งานของอาคาร

เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เก็บข้อมูลได้ จะอยู่ในรูปของน้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งไม่ใช่แรงที่กระทำต่อองค์อาคารโดยตรง จึงต้องมีตัวคงที่ C มาคูณเพื่อเปลี่ยนให้เป็นแรงที่กระทำต่อองค์อาคาร สมการที่ 7.2 จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\phi_n R_n = C ( \gamma_D D_n + \gamma_L L_n ) \qquad (7.3)$$

โดยที่ $D_n$ และ $L_n$ เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร

จากสมการที่ 7.3 จะได้ $C = \phi_n R_n / ( \gamma_D D_n + \gamma_L L_n )$ (7.4)

และฟังก์ชั่นการใช้งานตามสมการที่ 7.1 จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$R - C (D + L) = 0 \qquad (7.5)$$

เมื่อ D และ L เป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่าตารางเมตร

ตามวิธีการประมาณอันดับที่หนึ่ง ถ้าให้ตัวแปร R ,D และ L มีการกระจายเป็นแบบปกติแล้ว ค่าดัชนีความปลอดภัยจะหาค่าได้จาก

$$\beta = \frac{\bar{R} - C(\bar{D} + \bar{L})}{\sqrt{\sigma_R^2 + C^2\sigma_D^2 + C^2\sigma_L^2}} \qquad (7.6)$$

โดยที่ ค่า $\bar{R}$ , $\bar{D}$ และ $\bar{L}$ เป็นค่าเฉลี่ยของกำลังขององค์อาคาร น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร ที่เกิดขึ้นจริง

ค่า $\sigma_R$ , $\sigma_D$ และ $\sigma_L$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังขององค์อาคาร น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร ตามลำดับ

ค่าดัชนีความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับค่า $\bar{R}/R_n$ ,$\bar{D}/D_n$ ,$\bar{L}/L_n$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของตัวแปรทั้งสาม คือเมื่อค่า $\bar{R}/R_n$ เพิ่มขึ้น และค่า $\bar{D}/D_n$ และค่า $\bar{L}/L_n$ ลดลง (ที่ $\bar{R}$ ,$\bar{D}$ และ $\bar{L}$ ค่าหนึ่ง จะทำให้ค่า C ในสมการที่ 7.4 มีค่าลดลง) หรือสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของตัวแปรทั้งสามมีค่าลดลง จะทำให้ดัชนีความปลอดภัยมีค่าเพิ่มขึ้น

## 7.1 องค์อาคารรับแรงดัด

ค่าดัชนีความปลอดภัยที่ได้มีค่าแตกต่างกันไปตามประเภทของอาคาร ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

| ประเภทอาคาร | ค่าดัชนีความปลอดภัย |
|---|---|
| อาคารที่จอดรถ | 3.5 - 4.7 |
| อาคารมหาวิทยาลัย | 3.5 - 4.5 |
| อาคารสำนักงาน | 2.8 - 3.3 |
| อาคารสาธารณะ | 3.2 - 4.5 |

โดยแสดงดังรูปที่ 7.1 ถึง 7.4 ค่าดัชนีความปลอดภัยมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกจรต่อน้ำหนักบรรทุกคงที่ ($L_n/D_n$) อัตราส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้

ต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์ ($p/p_n$) และกำลังวัสดุที่ใช้ กล่าวคือเมื่อค่า $L_n/D_n$ มากขึ้น อันหมายถึงความสำคัญของน้ำหนักบรรทุกจรมีมากขึ้น ดัชนีความปลอดภัยจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรทุกจรต่อน้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ในการออกแบบ ($\bar{L}/L_n$) มีค่าน้อยกว่า 1 (ประมาณ 0.7) ส่วนอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ใช้ออกแบบ ($\bar{D}/D_n$) มีค่ามากกว่า 1 (ประมาณ 1.05) สำหรับอาคารสำนักงานนั้นจะให้ผลที่แตกต่างจากอาคารประเภทอื่นๆ เนื่องจากค่า $\bar{L}/L_n$ ของอาคารประเภทนี้มีค่ามากกว่า 1 การใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากเกินไปทำให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ลดลงและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของ R มีค่ามากขึ้น ค่าดัชนีความปลอดภัยจะลดลง การใช้กำลังวัสดุสูงขึ้น ถึงแม้จะทำให้สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของ R ลดลงก็ตามแต่ค่า $\bar{R}/R_n$ ก็จะลดลงตามไปด้วย และผลของการลดลงของ $\bar{R}/R_n$ มีมากกว่า ทำให้ดัชนีความปลอดภัยมีค่าลดลง

## 7.2 องค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด

ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับอาคารประเภทต่างๆแสดงดังรูปที่ 7.5 ถึง 7.8 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

| ประเภทอาคาร | ค่าดัชนีความปลอดภัย |
|---|---|
| อาคารที่จอดรถ | 3.2 - 4.5 |
| อาคารมหาวิทยาลัย | 3.2 - 4.0 |
| อาคารสำนักงาน | 2.5 - 3.2 |
| อาคารสาธารณะ | 3.0 - 3.8 |

ค่าที่ได้มาจากการวิเคราะห์โดยใช้เสาขนาด 40x60 ซม. และปริมาณเหล็กเสริมปานกลางเท่ากับ 3.3 % แสดงดังรูปที่ 7.5 ถึง 7.8

เมื่อ $L_n/D_n$ มีค่ามากขึ้นดัชนีความปลอดภัยจะมีค่ามากขึ้น แต่ในอาคารประเภทสำนักงานจะให้ผลในทางตรงกันข้าม ค่าดัชนีความปลอดภัยจะมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณเหล็ก

เสริมน้อยลงเพราะจะทำให้ $\bar{R}/R_n$ ลดลง และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าเพิ่มขึ้น กำลังวัสดุที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าดัชนีความปลอดภัยลดลงเช่นเดียวกับในกำลังรับแรงดัด และเสาขนาดเล็กที่ต้องรับแรงดัดจะทำให้ค่าดัชนีความปลอดภัยลดลงอย่างมาก

## 7.3 องค์อาคารรับแรงเฉือน

ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับอาคารประเภทต่างๆแสดงดังรูปที่ 7.9 ถึง 7.12 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

| ประเภทอาคาร | ค่าดัชนีความปลอดภัย |
|---|---|
| อาคารที่จอดรถ | 3.2 - 4.2 |
| อาคารมหาวิทยาลัย | 3.2 - 4.0 |
| อาคารสำนักงาน | 2.5 - 3.2 |
| อาคารสาธารณะ | 3.2 - 3.8 |

เมื่อ $L_n/D_n$ มีค่ามากขึ้นดัชนีความปลอดภัยจะมีค่ามากขึ้น แต่ในอาคารประเภทสำนักงานจะให้ผลในทางตรงกันข้าม แม้ว่าการออกแบบที่ให้อัตราส่วนของแรงเฉือนที่รับโดยเหล็กเสริมต่อแรงเฉือนที่รับโดยคอนกรีตมีค่ามากจะทำให้ค่า $\bar{R}/R_n$ มากขึ้นก็ตาม แต่สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของ R จะมากขึ้นด้วย ซึ่งผลของการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีมากกว่า ทำให้ค่าดัชนีความปลอดภัยลดลง กำลังวัสดุที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความปลอดภัยลดลงเช่นเดียวกับในองค์อาคารประเภทอื่นๆ