

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิผลของแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบที่รับแรงทางด้านข้างโดยวิธีไฟในค้อลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น ซึ่งอาจแบ่งขั้นตอนหรือกระบวนการในการทำงานออกได้เป็น 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ

- การกำหนดคุณสมบัติให้กับวัสดุสำหรับใช้ในงานวิจัย
  - การสร้างแบบจำลองให้กับแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ
  - การหาค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิผลของแผ่นพื้นจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น
- รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนแสดงดังต่อไปนี้

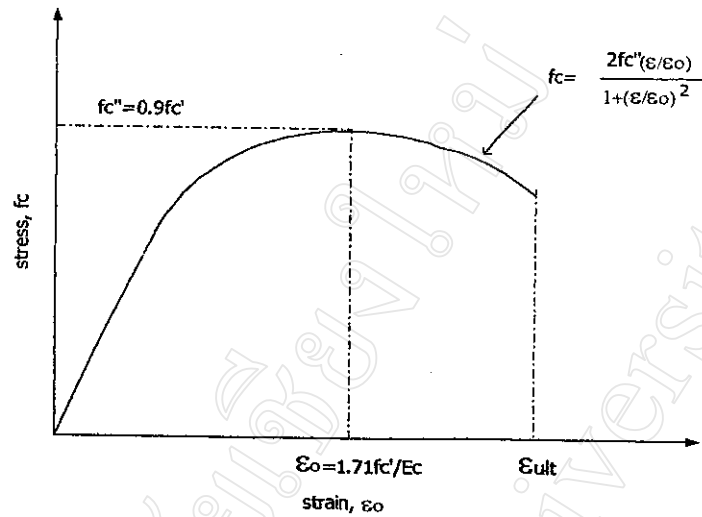
#### 2.1 การกำหนดคุณสมบัติให้กับวัสดุสำหรับใช้ในงานวิจัย

จากขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดให้วัสดุในแผ่นพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และคุณสมบัติของวัสดุเป็นแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นก่อนที่การวิเคราะห์จะเริ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้เรียบร้อยเพื่อที่จะนำคุณสมบัติของวัสดุเหล่านี้ไปใช้กับแบบจำลองที่จะสร้างขึ้นและให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันตลอดงานวิจัย ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

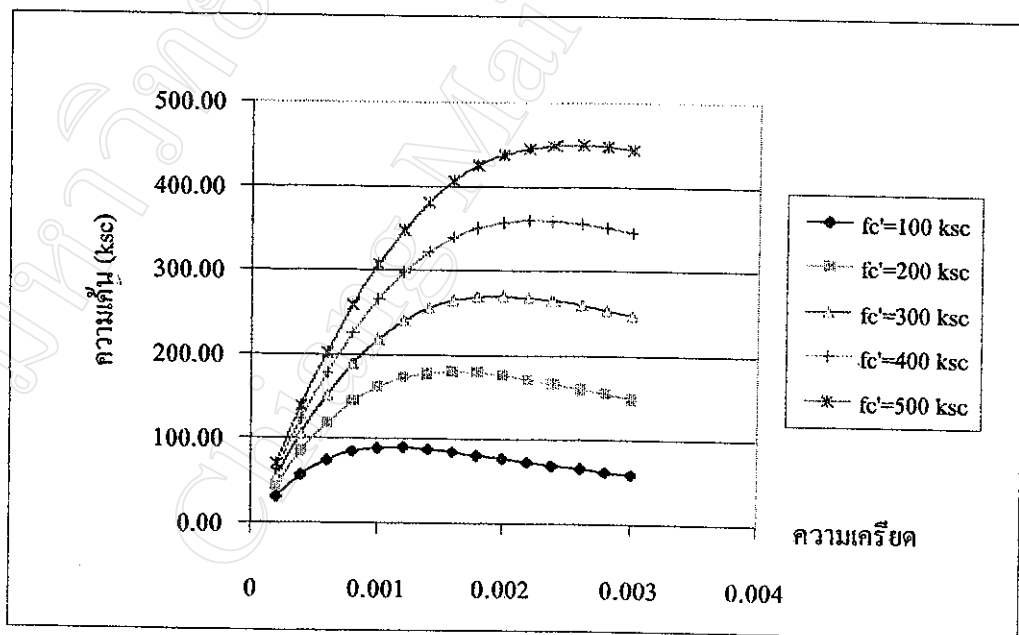
##### 2.1.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

เงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ที่กำหนดให้คุณสมบัติของคอนกรีตเป็นแบบไม่เชิงเส้นนั้นได้กำหนดให้ความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นแบบไบลิเนียร์ (Bilinear) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตขึ้น เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตแล้ว จะทำการประมาณความสัมพันธ์ดังกล่าวให้เป็นแบบ Bilinear หรือเป็นความสัมพันธ์ที่ถูกประมาณด้วยเส้นตรงสองเส้น ซึ่งการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตในเบื้องต้นนั้นจะอาศัยทฤษฎีของ Todeschini ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียดของคอนกรีตขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นนั้นจะแปรตามค่ากำลังด้านทานแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทฤษฎีของ Todeschini อธิบายไว้ดังรูปที่ 2.1 และสำหรับรูปที่ 2.2 นั้นจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตตามทฤษฎีของ Todeschini ที่กำลังด้านทานแรงอัดต่างๆ โดยที่กำหนดให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเป็นดังสมการที่ (2.1)

$$E_c = 15100\sqrt{f_c'} \quad \text{กก./ตร.ซม.} \quad (2.1)$$



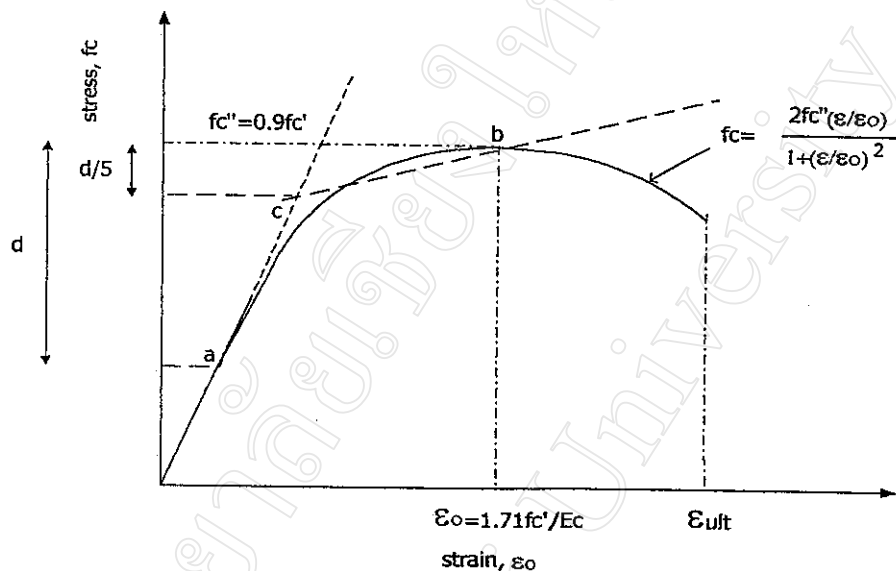
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีต  
ที่มา : Todeschini (1964)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่ค่ากำลังต้านทาน  
แรงอัดต่างๆตามทฤษฎีของ Todeschini

เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตจากทฤษฎีของ Todeschini เรียบร้อยแล้วจากนั้นจะถึงขั้นตอนของการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและ

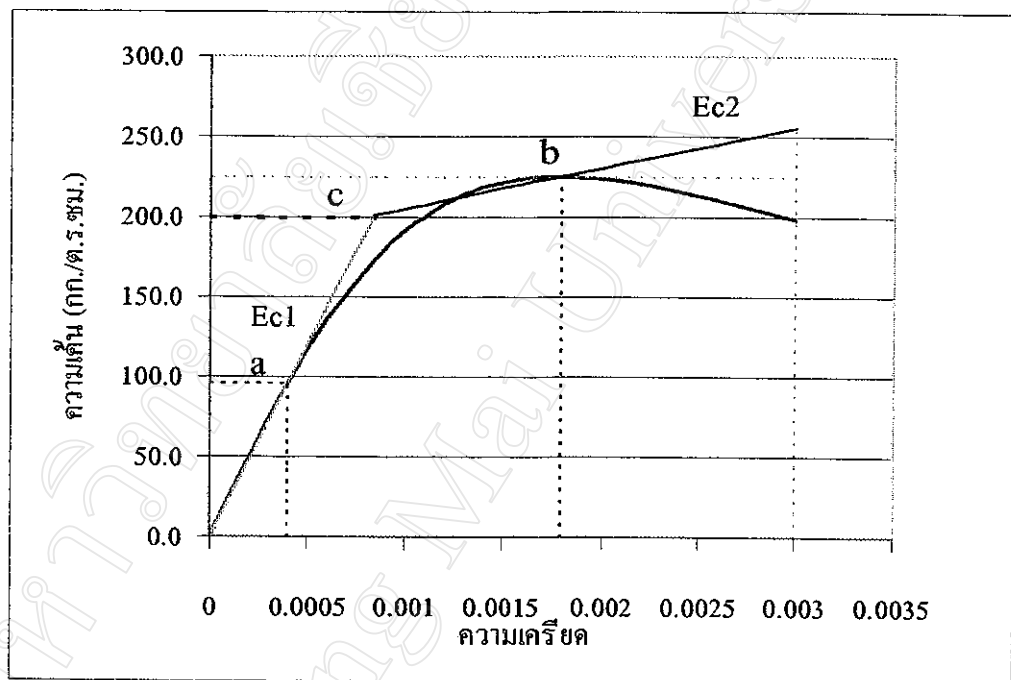
ความเครียดของคอนกรีตที่เป็นเส้นโค้ง ให้เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรงโดยแบ่งออกเป็นสองเส้นแทนความสัมพันธ์เดิม แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การประมาณค่าความเค้นและความเครียดของคอนกรีตให้เป็นแบบเส้นตรง

การประมาณความสัมพันธ์ให้เป็นแบบเส้นตรงสองเส้นที่ต่อเชื่อมกันนั้นเริ่มจาก การลากเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับค่าโมดูลัสของคอนกรีตที่หาจากสมการที่ (2.1) ออกจากจุดกำเนิด ค่าโมดูลัสที่หาได้จากสมการที่ (2.1) นี้ ใช้เป็นค่าโมดูลัสที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นของคอนกรีต หาค่าตำแหน่งจุด a ซึ่งเป็นจุดที่เส้นความสัมพันธ์ของ Todeschini เริ่มแยกออกจากเส้นความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับค่าโมดูลัสที่หาจากสมการที่(2.1) จากนั้นลากเส้นที่ขนานกับแกนความเครียดผ่านจุดสูงสุดบนเส้นความสัมพันธ์ของ Todeschini จากการกระทำดังกล่าวจะได้ตำแหน่งจุด b คำนวณระยะ d และ d/5 หาค่าตำแหน่งจุด c ซึ่งเป็นจุดที่จะอยู่บนเส้นความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงที่ได้สร้างไว้แล้วในตอนแรก ลากเส้นตรงเชื่อมจุด c กับจุด b จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่เป็นการประมาณพฤติกรรมของคอนกรีตที่ผ่านเลยช่วงอีลาสติกไปแล้ว จากขั้นตอนข้างต้นซึ่งเป็นกระบวนการในการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตให้เป็นแบบเส้นตรงสองเส้นที่ต่อเชื่อมกันนั้น ได้ทดลองนำมาทดสอบกับคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดต่างๆกัน พบว่าสามารถประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตได้อย่างใกล้เคียง

งานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกค่ากำลังอัดของคอนกรีต ( $f_c'$ ) เพื่อใช้ในการศึกษาความกว้างประสิทธิผลของแผ่นพื้นไว้ที่ค่าเท่ากับ 250 กก./ตร.ร.ชม. ซึ่งจะทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตแบบไบลิเนียลที่ประมาณจากทฤษฎีของ Todeschini ดังรูปที่ 2.4 และจากรูปที่ 2.4 ค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ทำให้เกิดการแตกหลุด หาได้จากตำแหน่งที่ความเครียดมีค่าเท่ากับ 0.003 ซึ่งในที่นี้มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 255.5 กก./ตร.ร.ชม. โดยมีค่าโมดูลัส  $E_{c1}$  เท่ากับ 238750 กก./ตร.ร.ชม และค่าโมดูลัส  $E_{c2}$  ประมาณเท่ากับ 26000 กก./ตร.ร.ชม.



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่

$f_c' = 250$  กก./ตร.ร.ชม.

- กำลังดึงของคอนกรีต

ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงของคอนกรีตในแนวแกน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

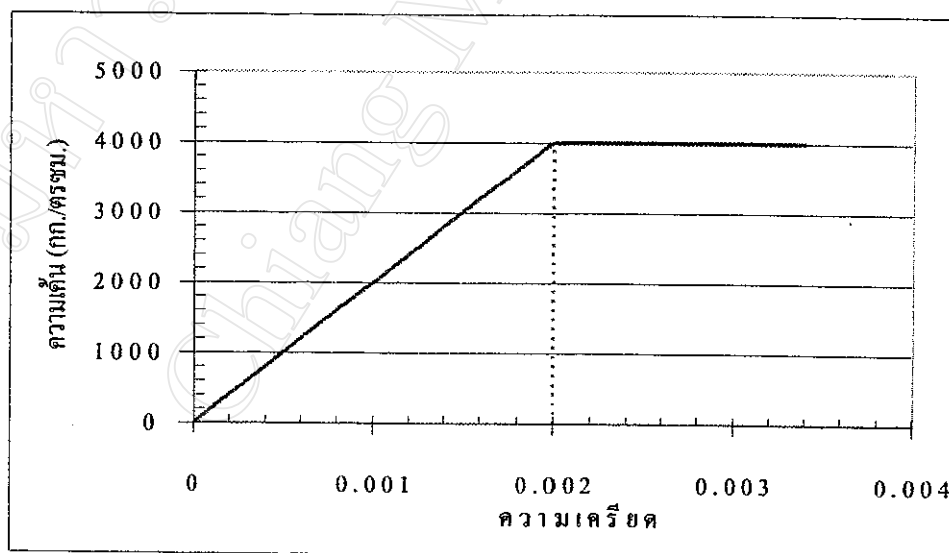
$$f_t = 2\sqrt{f_c'} \quad \text{กก./ตร.ร.ชม.} \quad (2.3)$$

ซึ่งจากค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 250 กก./ตร.ร.ชม. จะทำให้ได้ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 31.6 กก./ตร.ร.ชม.

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือนของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว  
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับลักษณะของการแตกร้าว สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือนไว้ดังนี้
  - การแตกร้าวที่เกิดขึ้นเป็นแบบปิดกำหนดให้ค่า  $\beta_c = 1$
  - การแตกร้าวที่เกิดขึ้นเป็นแบบเปิดกำหนดให้ค่า  $\beta_t = 0$
- อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต  
งานวิจัยครั้งนี้อัตราส่วนปัวซองของถูกสมมติให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อวัสดุและมีค่าเท่ากับ 0.17 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.11 ถึง 0.21 แต่ค่าส่วนใหญ่จะตกอยู่ระหว่าง 0.15 ถึง 0.20

### 2.1.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

คุณสมบัติของเหล็กเสริมที่นำมาใช้ในงานวิจัย มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 2,000,000 กก./ตร.ซม. และค่ากำลังดึงครากเท่ากับ 4,000 กก./ตร.ซม. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม

- อัตราส่วนปัวซองของเหล็กเสริม  
งานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้อัตราส่วนปัวซองของเหล็กเสริมเท่ากับ 0.30 ซึ่งเป็นค่าโดยทั่วไป

## 2.2 การสร้างแบบจำลองให้กับแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ

เมื่อได้ผ่านขั้นตอนของการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ แบบจำลองของแผ่นพื้นที่จะต้องสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้อาจแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ

- แบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ
- แบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ

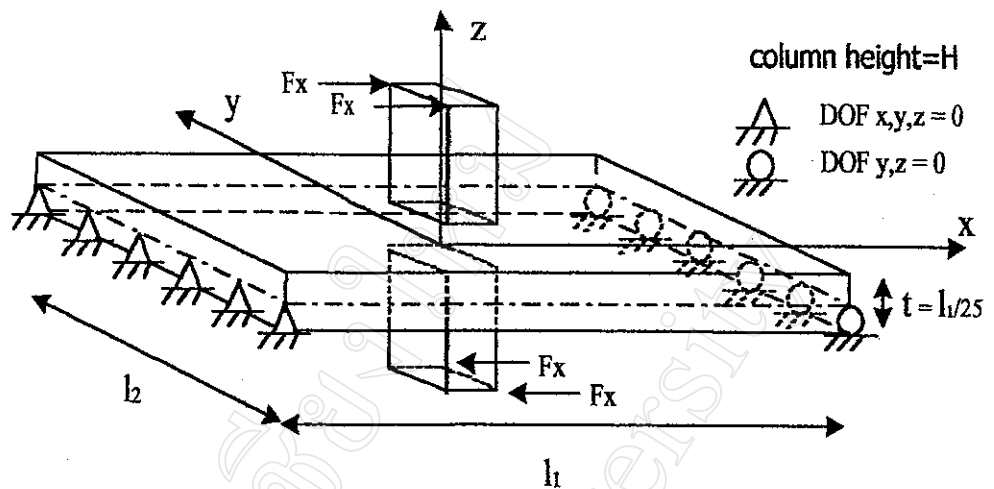
ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองทั้งสองแบบนี้จะอธิบายดังต่อไปนี้

### 2.2.1 แบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบ

แบบจำลองสามมิติเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์ผลจากการที่กำหนดให้วัสดุมีคุณสมบัติแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งแบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้นนี้จะป็นต้นแบบที่จะถูกสร้างขึ้นและนำไปวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟไนต์อีลีเมนต์ โดยแบบจำลองจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปอีกตามจุดประสงค์หรือปัจจัยอื่นๆที่ต้องการจะศึกษาเช่น ต้องการศึกษถึงผลกระทบจากรูปร่างของเสาและพื้นที่ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิผล หรือผลกระทบที่เกิดจากปริมาณการเสริมเหล็กในแผ่นพื้น แต่ลักษณะโดยรวมที่เหมือนกันของแบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้นคือ

- วัสดุในแผ่นพื้นเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการแตกร้าวของคอนกรีต) ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.1 ยกเว้นวัสดุในเสาและแผ่นพื้นที่อยู่ในบริเวณเสาให้มีคุณสมบัติที่มีความแข็งแรงสูง(Rigid)
- แผ่นพื้นมีการเสริมเหล็กสองทิศทางในปริมาณที่เท่ากัน ทั้งแกน X และแกน Y ซึ่งปริมาณการเสริมเหล็กจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับหน้าตัดของแผ่นพื้น
- ความหนาของแผ่นพื้นให้มีค่าเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์เทียบกับความยาวช่วงแผ่นพื้น(L1) (การกำหนดขนาดความหนาอ้างอิงจากมาตรฐาน ว.ส.ท. สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กข้อ 4205 ซึ่งกำหนดให้ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นที่ไม่มีคานภายในและไม่มีแป้นหัวเสาสำหรับแผ่นพื้นช่วงใน มีค่าเท่ากับ  $L_n/33$  หรือประมาณ 3.03 เปอร์เซ็นต์ของความยาวแผ่นพื้น)

รูปแบบทั่วไปของแบบจำลองแผ่นพื้นสามมิติแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้น

ในงานวิจัยได้จำแนกแบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้นออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันดังนี้

- ประเภท 1.

เป็นแบบจำลองที่จะใช้ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนรูปร่างพื้น, อัตราส่วนรูปร่างเสา และอัตราส่วนขนาดเสาเทียบกับพื้นที่ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิภาพ โดยการศึกษาผลกระทบจากตัวแปรดังกล่าวได้เลือกศึกษาในแผ่นพื้น 3 ชนิดด้วยกันคือ แผ่นพื้นที่มีอัตราส่วนรูปร่าง ( $L_1/L_2$ ) เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 และมีอัตราส่วนขนาดเสาเทียบกับความยาวพื้น ( $L_1$ ) ระหว่าง 0.04 ถึง 0.12 โดยให้แบบจำลองของแผ่นพื้นทั้งหมดมีการเสริมเหล็ก 2 เปอร์เซ็นต์เทียบกับหน้าตัดพื้น จำนวนของแบบจำลองและรายชื่อแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของแบบจำลองประเภท 1

| $L_1/L_2=0.5$ |      | $C_2/L_1$ |      |      |
|---------------|------|-----------|------|------|
|               |      | 0.04      | 0.08 | 0.12 |
| $C_1/L_1$     | 0.04 | A1        | A4   | A7   |
|               | 0.08 | A2        | A5   | A8   |
|               | 0.12 | A3        | A6   | A9   |

ตาราง 2.1 (ต่อ)

| L1/L2=1.0 |      | C2/L1 |      |      |
|-----------|------|-------|------|------|
|           |      | 0.04  | 0.08 | 0.12 |
| C1/L1     | 0.04 | B1    | B4   | B7   |
|           | 0.08 | B2    | B5   | B8   |
|           | 0.12 | B3    | B6   | B9   |

| L1/L2=2.0 |      | C2/L1 |      |      |
|-----------|------|-------|------|------|
|           |      | 0.04  | 0.08 | 0.12 |
| C1/L1     | 0.04 | C1    | C4   | C7   |
|           | 0.08 | C2    | C5   | C8   |
|           | 0.12 | C3    | C6   | C9   |

● ประเภทที่ 2.

ใช้ศึกษาผลกระทบของปริมาณการเสริมเหล็กในพื้นที่ ซึ่งจะทำการเปลี่ยนปริมาณการเสริมเหล็กที่ค่า 0-4 เปอร์เซ็นต์เทียบกับหน้าตัดพื้นที่ในแนวแกน X และ Y โดยที่ได้เลือกศึกษาในแผ่นพื้นที่มีขนาดอัตราส่วนรูปร่างพื้นที่เท่ากับ 1 และที่อัตราส่วนเสาเทียบกับพื้นที่สัมพันธ์ต่างๆ จำนวนของแบบจำลองและรายชื่อแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 2.2

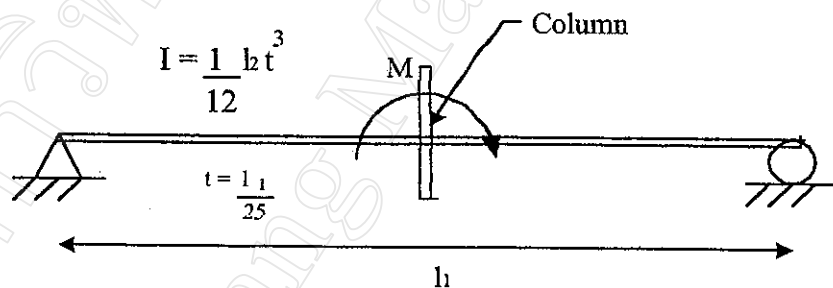
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดแบบจำลองประเภท 2

| L1/L2=1 |      | C2/L1=0.08                             |    |    |    |    |
|---------|------|----------------------------------------|----|----|----|----|
|         |      | เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมในแกน X และ แกน Y |    |    |    |    |
| C1/L1   |      | 0%                                     | 1% | 2% | 3% | 4% |
|         | 0.04 | D0                                     | D1 | D2 | D3 | D4 |
|         | 0.08 | E0                                     | E1 | E2 | E3 | E4 |
|         | 0.12 | F0                                     | F1 | F2 | F3 | F4 |

แบบจำลองสามมิติของพื้นที่ทั้งประเภทที่ 1. และประเภท 2. จะถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองทางไฟไนต์อีลิเมนต์ก่อนการจะนำไปวิเคราะห์จริงรายละเอียดของแบบจำลองทางไฟไนต์อีลิเมนต์แสดงอยู่ในภาคผนวก ก.

### 2.2.2 แบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้นไร้คานทอกรเรียบ

แบบจำลองสองมิติเป็นแบบจำลองที่กำหนดให้แผ่นพื้นมีคุณสมบัติเสมือนคาน โดยจะสร้างจากแบบจำลองสามมิติที่มีขนาดความกว้าง ความยาวและความหนาเดียวกัน กล่าวได้ว่าเมื่อมีแบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้น 1 ชิ้นจะต้องมีแบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้นขนาดเดียวกัน 1 ชิ้น ทั้งนี้เพื่อที่จะนำค่ามุมที่เกิดขึ้นตรงบริเวณเสาของแบบจำลองทั้งสองเปรียบเทียบ และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้นนั้นๆ ซึ่งแบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้นนี้จะกำหนดให้วัสดุเป็นคอนกรีตล้วน ไม่มีการเสริมเหล็กและมีคุณสมบัติเป็นแบบยึดหยุ่น อีกทั้งไม่พิจารณาความหนาของเสาในการวิเคราะห์ ตัวอย่างแบบจำลองสองมิติแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้น

ค่ามุมที่เกิดขึ้นของพื้นตรงตำแหน่งเสาที่เกิดจากโมเมนต์ที่กระทำดังรูปที่ 2.7 คำนวณได้จากสูตร

$$\frac{M l_1}{12 E_c I} \quad \text{โดยที่มาของสูตรการคำนวณนี้อธิบายไว้ในภาคผนวก ข.}$$

### 2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้นจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิภาพจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นจะอาศัยสมการที่ (1.2) ซึ่งจากสมการจำเป็นต้องหาค่ามุมในแผ่นพื้นที่ให้มีคุณสมบัติเสมือนคาน ( $\theta_{beam}$ ) ที่คำนวณหาได้จากแบบจำลองสองมิติและค่ามุมในแผ่นพื้น ( $\theta_{plate}$ ) ที่วิเคราะห์หาได้จากแบบจำลองสามมิติ

โดยค่ามุมทั้งสองนั้นต้องเกิดขึ้นจากโมเมนต์ที่กระทำกับพื้นค่าเดียวกัน ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์อาจแบ่งออกได้เป็นดังนี้

ก. วิเคราะห์หาค่ามุมจากแบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้น

การวิเคราะห์หาค่ามุมที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองสามมิติเลือกใช้โปรแกรม ANSYS (Version 5.4) ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์เชิงสามมิติ โดยจะสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์อีลีเมนต์ที่มีต้นแบบมาจากแบบจำลองสามมิติของแผ่นพื้น ซึ่งแบบจำลองทางไฟไนต์อีลีเมนต์ประกอบขึ้นจากโซลิดอีลีเมนต์ของคอนกรีตเสริมเหล็ก รายละเอียดของแบบจำลองทางไฟไนต์อีลีเมนต์แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

การหาค่ามุมจากแบบจำลองทางไฟไนต์อีลีเมนต์จะเริ่มจากการใส่โมเมนต์คัตในพื้นให้กับแบบจำลองโดยผ่านทางแรงคู่ควบ  $F_x$  ที่อยู่ตรงปลายเสาแต่ละด้านเมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจะสามารถหาการเคลื่อนที่ของโหนดแต่ละโหนดในแบบจำลองได้ นำข้อมูลการเคลื่อนที่ของโหนดบริเวณเสามาคำนวณค่ามุมที่เกิดขึ้นจากค่าโมเมนต์แต่ละค่า โดยที่ค่ามุมที่ต้องการเป็นมุมของพื้นตรงบริเวณกลางเสา จากนั้นเพิ่มค่าโมเมนต์ขึ้นอีกและคำนวณค่ามุมที่เกิดขึ้นจนกระทั่งแผ่นพื้นเสียหาย

ข. วิเคราะห์หาค่ามุมจากแบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้น

นำข้อมูลของค่าโมเมนต์แรงคัตที่เกิดขึ้นจากแรง  $F$  ที่ใช้ในแบบจำลองทางไฟไนต์อีลีเมนต์ มาคำนวณหาค่ามุมที่เกิดขึ้นบริเวณตำแหน่งเสากับแบบจำลองสองมิติของแผ่นพื้น โดยใช้สูตร 
$$\frac{MI_1}{12E_c I}$$

ค. นำข้อมูลค่ามุมที่เกิดขึ้นทั้งหมดในข้อ ก. และข้อ ข. มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างประสิทธิผล โดยใช้สมการที่ (1.2)