

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

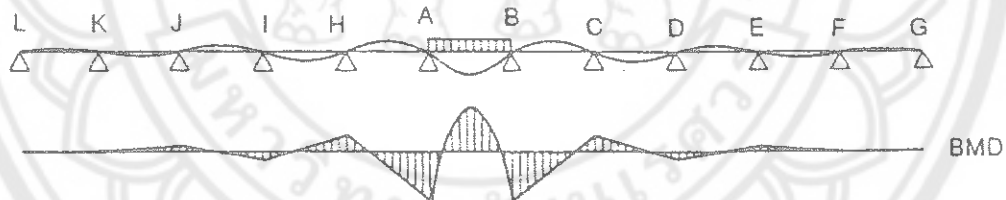
เนื่องจากโครงการจี้้นนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างคอนกรีต โดยแบ่งเป็นประเภทของโครงสร้าง ดังนี้

#### 2.1 การวิเคราะห์ และออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

##### 2.1.1 การวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อคาน

###### 2.1.1.1 การจ้ดน้ำหน้กบรรทุกจรแบบตารางหมากรุก (Checkerboard Loading)

ในการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างละเอียดต้องพิจารณาจ้ดวางน้ำหน้กบรรทุกจร นอกเหนือจากน้ำหน้กบรรทุกคงที่ที่กระทำบนส่วนโครงสร้าง เพื่อให้ได้ค่าสูงสุดของโมเมนต์ค้ดชนิดบวกที่บริเวณกลางช่วงและโมเมนต์ค้ดชนิดลบที่ตรงจุดต่อ รวมถึงค่าสูงสุดของแรงเฉือนสำหรับใช้ออกแบบส่วนโครงสร้างนั้น แนวทางในการจ้ดวางน้ำหน้กบรรทุกจร สามารถพิจารณาได้จากเส้น Influence Line ของโมเมนต์หรือการ โก้งตัว ดังนี้

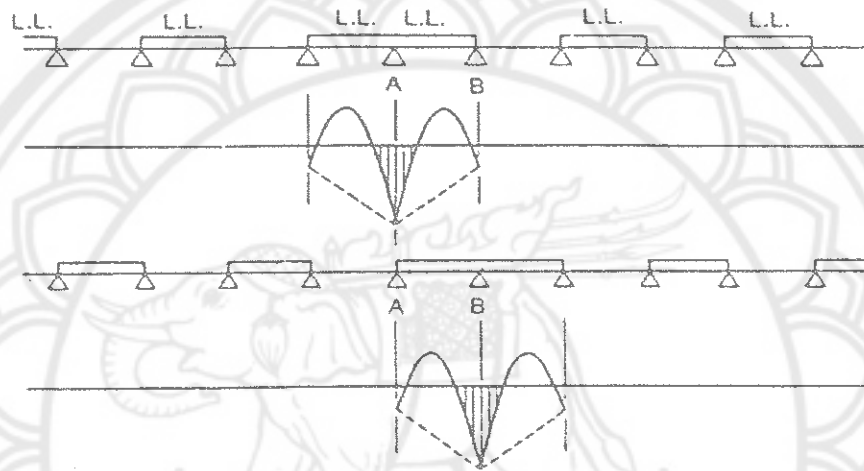


รูปที่ 2.1 ผลของ โมเมนต์ค้ดในคานต่อเนื่องที่รับน้ำหน้กบรรทุกเพียงช่วงเดียว

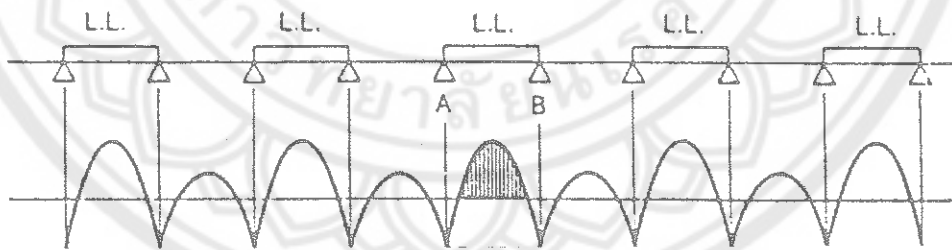
พิจารณาคานต่อเนื่องที่แสดงในรูปที่ 2.1 ถ้ามีน้ำหน้กบรรทุกแบบแฉ้กระทำบนช่วง AB จะเห็นว่าคานช่วง AB จะโก้งตัวลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อให้เกิดการ โก้งตัวขึ้นและโก้งตัวลงในช่วงคานถัดมา ทั้งสองด้านของจุด A และจุด B ทำนองเดียวกันโมเมนต์ค้ดในช่วงคาน AB ก็ส่งผลกระทบต่อให้เกิดการกระจายโมเมนต์ค้ดออกไปทั้งสองด้านของจุด A และจุด B โดยมีทั้งโมเมนต์ลบและโมเมนต์บวกสลับกันไปมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อน้ำหน้กบรรทุกแบบแฉ้ไปกระทำบนช่วง CD หรือ IH เพิ่มอีกก็จะมีผลให้โมเมนต์บวกในช่วงคาน AB มีค่าเพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นจึงสรุปการจ้ดวางน้ำหน้กบรรทุกได้ ดังนี้

ก) ตรงจุดต่อใดที่ต้องการหาค่าโมเมนต์ลบสูงสุด ให้จัดวางน้ำหนักบรรทุกให้เต็มช่วงในสองช่วงที่ข้างเคียงกันตรงจุดต่อนั้น และให้มีน้ำหนักบรรทุกเต็มช่วงเว้นช่วงถัดมา นั่นคือช่วงใดมีน้ำหนักบรรทุกกระทำแล้วให้เว้นไปช่วงหนึ่ง และในช่วงถัดไปให้มีน้ำหนักบรรทุกกระทำเต็มช่วงอีกทีหนึ่งสลับกันไปมาตลอดความยาวของส่วนโครงสร้างนั้น

ข) ที่กลางช่วงใดที่ต้องการหาค่าโมเมนต์บวกสูงสุด ให้จัดวางน้ำหนักบรรทุกให้เต็มช่วงนั้น และเมื่อเว้นไปช่วงหนึ่งก็ให้มีน้ำหนักบรรทุกกระทำเต็มช่วงอีก สลับกันไปมาตลอดความยาวของส่วนโครงสร้างนั้น



รูปที่ 2.2 การจัดวางน้ำหนักบรรทุกสำหรับหาโมเมนต์ลบสูงสุดที่ A และที่จุด B

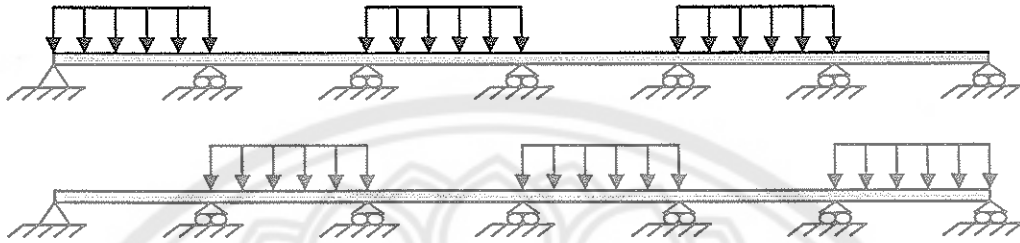


รูปที่ 2.3 การจัดวางน้ำหนักบรรทุกสำหรับหาโมเมนต์บวกสูงสุดในช่วง AB

## สรุป

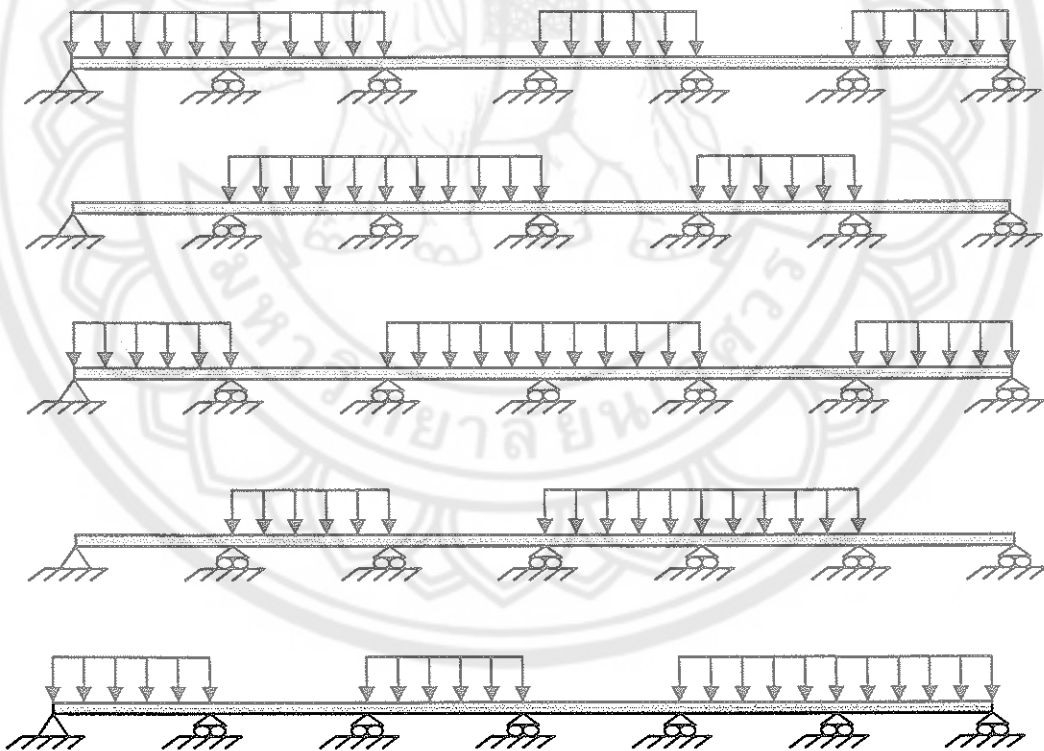
ถ้ามีจำนวน Span ทั้งหมด  $n$  ช่วง จะต้องทำการจัดวาง Load Pattern เป็น  $n+1$  กรณีดังตัวอย่าง

1) การจัดวาง Load ที่ทำให้เกิดโมเมนต์บวกสูงสุด



รูปที่ 2.4 การจัดวาง Load ที่ทำให้เกิดโมเมนต์บวกสูงสุด

2) การจัดวาง Load ที่ทำให้เกิดโมเมนต์ลบต่ำสุด



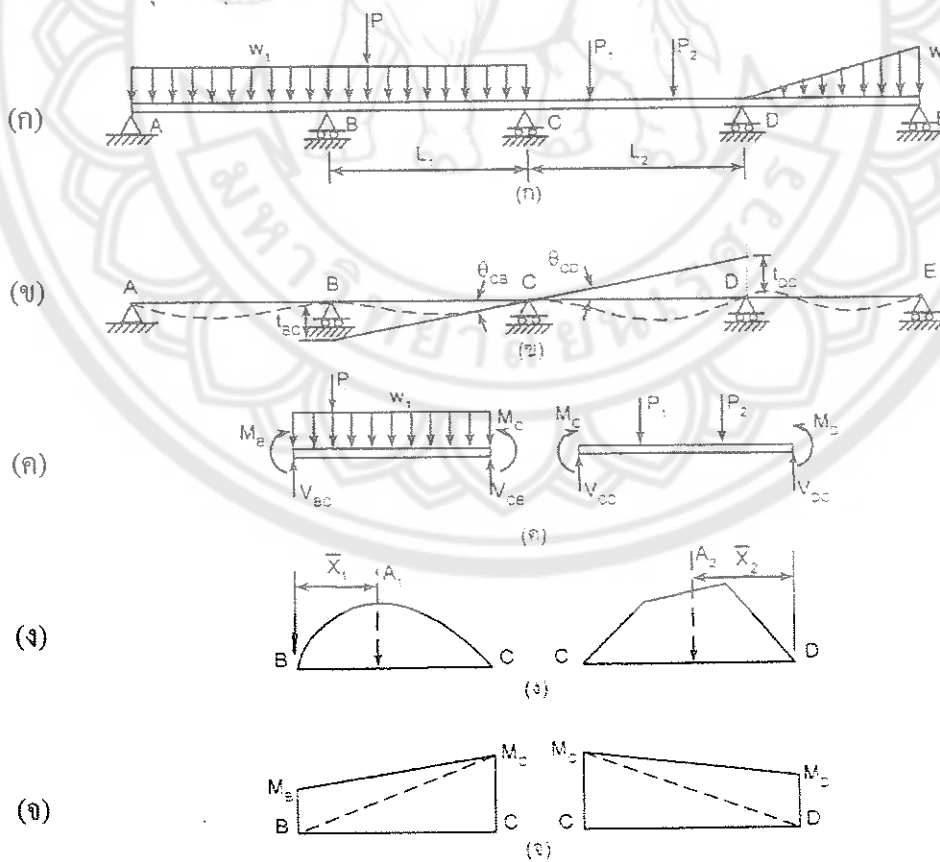
รูปที่ 2.5 การจัดวาง Load ที่ทำให้เกิดโมเมนต์ลบต่ำสุด

หมายเหตุ ไม่ว่าที่รองรับขาสุดและข้ายุด (End Support) จะเป็น Hinge , Roller , Fix หรือ Free ก็จะมีการวาง Load เช่นเดียวกัน

2.1.1.2 การวิเคราะห์คานต่อเนื่องด้วย Three Moments Equation กรณีค่า EI ไม่เท่ากัน

คานที่มีจุดรองรับมากกว่าสองจุดขึ้นไปเรียกว่า คานต่อเนื่อง ซึ่งจัดเป็นคานแบบอินดีเทอรัมีเนท การวิเคราะห์คานต่อเนื่องนอกจากจะใช้วิธีการเปลี่ยนรูปที่สอดคล้อง แต่ส่วนมากมักจะวิเคราะห์ด้วยวิธีสมการของสามโมเมนต์ (Three – Moment Equation) ซึ่งเป็นการนำวิธีการเปลี่ยนรูปที่สอดคล้องมาพิจารณาแต่ให้โมเมนต์คัตที่จุดหรือฐานรองรับเป็นตัวเกิน ทำให้ได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คัตที่จุดรองรับสามจุดของคานต่อเนื่อง เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำครั้นเมื่อแก้สมการ จะได้ค่าโมเมนต์คัตที่จุดรองรับสามจุดของคานต่อเนื่อง ซึ่งจะนำไปใช้หาค่าแรงปฏิกิริยาต่อไปโดยพิจารณาจากสมการสมดุล

พิจารณาคานต่อเนื่องที่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ ดังรูปที่ 2.6 (ก) สมมติว่าหน้าตัดของคานมีค่าคงที่ตลอด และไม่มีการทรุดตัวของจุดรองรับแต่อย่างใด ลักษณะการเปลี่ยนรูปของคานต่อเนื่องเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกสามารถแสดงได้ด้วยเส้นโค้งอิลาสติก ดังรูป 2.6 (ข) ซึ่งจะเห็นว่าเส้นโค้งนี้ต้องมีความต่อเนื่องกันและมุมลาดเอียงทางด้านซ้ายมือและทางด้านขวามือของจุดรองรับหนึ่ง ๆ ต้องมีค่าเท่ากันเสมอและหมุนไปในทิศทางเดียวกัน เช่นที่จุดรองรับ C มุมลาดเอียง  $\theta_{CD}$  ต้องเท่ากับมุมลาดเอียง  $\theta_{CB}$  นี่คือการเงื่อนไขของความสอดคล้องทางเรขาคณิตของคานซึ่งจะนำไปเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของโมเมนต์คัตที่จุดสามจุดต่อเนื่องกัน



รูปที่ 2.6 การพิจารณาหาสมการของโมเมนต์

จากรูปที่ 2.6 (ก) จะเห็นว่า คานต่อเนื่องที่กำหนดให้มีคิริของอินดิเทอร์มินนท์เท่ากับสาม ดังนั้น ถ้าเลือกให้โมเมนต์คัตที่จุดรองรับ B , C และ D เป็นตัวเกิน (Redundant) ซึ่งทำได้โดยใส่หมุดหมุน (Hinge) ที่จุดรองรับ B , C และ D ฉะนั้นคานต่อเนื่องแต่ละช่วงที่กำหนดให้จะกลายเป็นคานช่วงเดี่ยวธรรมดาที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกตามที่กำหนดและโมเมนต์คัตที่เป็นตัวเกิน ดังรูปที่ 2.6 (ค) แบ่งออกเป็นภาพของโมเมนต์คัตในรูปที่ 2.6 (ง) และ (จ) ซึ่งในที่นี้ให้โมเมนต์คัตที่ทำให้หลังคานถูกอัดมีค่าเป็นบวก

รูปที่ 2.6 (ง) เป็นภาพของโมเมนต์คัตที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใดๆ ตามที่โจทย์กำหนดให้  $A_1$  และ  $A_2$  เป็นพื้นที่ของภาพโมเมนต์คัตบนช่วงคาน BC และ CD ตามลำดับ และให้  $\bar{x}_1$  และ  $\bar{x}_2$  เป็นระยะจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่  $A_1$  และ  $A_2$  ซึ่งอยู่ห่างจากจุด B และ D ตามลำดับ สำหรับภาพของโมเมนต์คัตที่เกิดจากตัวเกิน  $M_B$  ,  $M_C$  และ  $M_D$  จะเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (จ)

สมการเงื่อนไขของความสอดคล้องของมุมลาดเอียงที่จุด C คือ

$$\text{มุมลาดเอียง } \theta_{CB} = \text{มุมลาดเอียง } \theta_{CD} \quad (2.1)$$

$$\text{แต่ } \theta_{CB} = -t_{BC}/L_1 \text{ และ } \theta_{CD} = -t_{DC}/L_2$$

จากทฤษฎีที่สองของวิธี Moment - Area จะหาค่าของ  $t_{BC}$  และ  $t_{DC}$  ได้คือ

$$t_{BC} = \frac{A_1}{EI} \bar{x}_1 + \frac{1}{2} \frac{M_B}{EI} (L_1) \left( \frac{1}{3} L_1 \right) + \frac{1}{2} \frac{M_C}{EI} (L_1) \left( \frac{2}{3} L_1 \right)$$

$$t_{DC} = \frac{A_2}{EI} \bar{x}_2 + \frac{1}{2} \frac{M_D}{EI} (L_2) \left( \frac{1}{3} L_2 \right) + \frac{1}{2} \frac{M_C}{EI} (L_2) \left( \frac{2}{3} L_2 \right)$$

$$\text{จากสมการ (2.1) จะได้ } -t_{BC}/L_1 = -t_{DC}/L_2 \quad (2.2)$$

ในกรณีที่ เป็นคานต่อเนื่องที่มีค่า EI ไม่เท่ากัน แทน  $t_{BC}$  และ  $t_{DC}$  ลงในสมการ (2.2)

จะได้

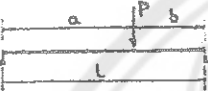
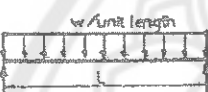
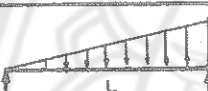
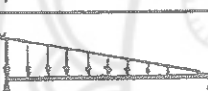
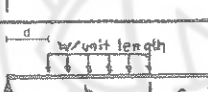
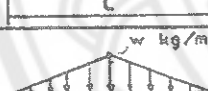
$$\frac{M_B}{6E_1L_1} L_1 + \frac{M_C}{3E_1I_1} L_1 + \frac{M_C}{3E_2L_2} L_2 + \frac{M_D}{6E_2L_{21}} L_2 + \frac{A_1 \bar{x}_1}{E_1 I_1 L_1} + \frac{A_2 \bar{x}_2}{E_2 I_2 L_2} = 0 \quad (2.3)$$

สมการ (2.3) เรียกว่า Three - Moment Equation ซึ่งให้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คัตที่จุดสามจุดของคานที่ต่อเนื่องกัน อนึ่ง สมการนี้ใช้ได้กับคานที่มีหน้าตัดไม่คงที่ทุกช่วงคานที่พิจารณา และไม่มีการทรุดตัวของจุดรองรับ

ถ้าสมมติให้  $L_0 = \frac{A_1 \bar{x}_1}{L_1}$  และ  $R_0 = \frac{A_2 \bar{x}_2}{L_2}$  จะเขียนสมการ (2.3) ได้ใหม่เป็น

$$\frac{M_B}{6E_1L_1}L_1 + \frac{M_C}{3E_1I_1}L_1 + \frac{M_C}{3E_2L_2}L_2 + \frac{M_D}{6E_2L_{21}}L_2 + \frac{L_0}{E_1I_1} + \frac{R_0}{E_2I_2} = 0 \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.1 ค่าของ  $L_0$  และ  $R_0$  ที่ใช้สำหรับสมการ (2.4) เมื่อนำหนักบรรทุกเป็นแบบต่างๆ

ลักษณะของน้ำหนักบรรทุก	$L_0$	$R_0$
	$\frac{Pa}{L}(L^2 - a^2)$	$\frac{Pb}{L}(L^2 - b^2)$
	$\frac{wL^3}{4} = \frac{WL^2}{4}$	$\frac{wL^3}{4} = \frac{WL^2}{4}$
	$\frac{8wL^3}{60} = \frac{8WL^2}{30}$	$\frac{7wL^3}{60} = \frac{7WL^2}{30}$
	$\frac{7wL^3}{60} = \frac{7WL^2}{30}$	$\frac{8wL^3}{60} = \frac{8WL^2}{30}$
	$\frac{w}{4L} [b^2(2L^2 - b^2) - a^2(2L^2 - a^2)]$	$\frac{w}{4L} [d^2(2L^2 - d^2) - c^2(2L^2 - c^2)]$
	$\frac{5wL^3}{32} = \frac{5WL^2}{16}$	$\frac{5wL^3}{32} = \frac{5WL^2}{16}$

## 2.1.2 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

เมื่อ	$b$	:	ความกว้างคาน
	$d$	:	ความลึกประสิทธิภาพ
	$f'_c$	:	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต
	$f_c$	:	กำลังหรือหน่วยแรงใช้งานของคอนกรีต
	$f_y$	:	กำลังครากของเหล็กเสริม
	$f_s$	:	หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริมด้านทานแรงดึง
	$E_c$	:	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
	$E_s$	:	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
	$n$	:	อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต
	$k$	:	ตัวคูณระยะระหว่างศูนย์กลางแรงอัดในคอนกรีตถึงแกนสะเทิน
	$j$	:	ตัวคูณแกนโมเมนต์ของแรงคู่ควบระหว่างแรงอัดในคอนกรีตและแรงดึงในเหล็กเสริม
	$d'$	:	ระยะระหว่างผิวคอนกรีตด้านรับแรงอัดถึงศูนย์กลางเหล็กด้านทานแรงอัด
	$f'_s$	:	หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริมด้านทานแรงอัด

โดยที่

$$E_c = 15210\sqrt{f'_c}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n \cdot f_c}}$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

$$f'_s = f_s \cdot \frac{k \cdot d - d'}{d - k \cdot d}$$

กรณีที่เสริมเหล็กด้านทานแรงดึง ( $M \leq M_R$ )

$$\begin{aligned} M_R &= R \cdot b \cdot d^2 \\ \text{กำหนด } R &= \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot k \cdot j \\ \text{ดังนั้น } M_R &= \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot k \cdot j \cdot b \cdot d^2 \end{aligned}$$

ปริมาณเหล็กเสริมด้านทาน โมเมนต์ค้ด

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot j \cdot d}$$

กรณีที่เสริมเหล็กด้านทานแรงดึงและแรงอัด ( $M > M_R$ )

$$\begin{aligned} M &= M_1 + M_2 \\ \text{เมื่อ } M &: \text{ โมเมนต์ค้ดทั้งหมดที่กระทำต่อหน้าค้ดถาน} \\ M_1 &= R \cdot b \cdot d^2 = M_R \end{aligned}$$

ปริมาณเหล็กเสริมด้านทานแรงดึงคำนวณจาก  $M_R$  และโมเมนต์ค้ดส่วนเกิน ตามลำดับ

$$\begin{aligned} A_{s_1} &= \frac{M_R}{f_s \cdot j \cdot d} \\ A_{s_2} &= \frac{M_2}{f_s \cdot j \cdot d} \end{aligned}$$

ปริมาณเหล็กเสริมด้านทานแรงดึงทั้งหมด

$$A_s = A_{s_1} + A_{s_2}$$

ปริมาณเหล็กเสริมด้านทานแรงดึงคำนวณจากสมดุลของแรงแนวราบในหน้าค้ด

$$A_s' = \frac{A_{s_2} \cdot (d - k \cdot d')}{2 \cdot (k \cdot d - d')}$$



การตรวจสอบความลึกต่ำสุดของคาน โดยที่ไม่ต้องทำการตรวจสอบระยะการโค้งตัวของคาน

กรณี	ความลึกต่ำสุด
คานช่วงเดี่ยพลายทั้ง 2 ไม่ต่อเนื่อง	$L / 16$
คานที่มีปลายด้านหนึ่งต่อเนื่อง	$L / 18.5$
คานที่มีปลายทั้งสองด้านต่อเนื่อง	$L / 21$
คานยื่น	$L / 8$

หมายเหตุ L คือระยะระหว่างขอบของที่รองรับ

การตรวจสอบคานลึก

ชนิดคาน	อัตราส่วนความลึกต่อความยาวช่วง $\left(\frac{h}{L}\right)$
คานต่อเนื่อง	มากกว่า $2 / 5$
คานช่วงเดียว	มากกว่า $4 / 5$

การตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด

$$A_{s-\min} = \frac{14}{f_y} \cdot b \cdot d$$

หรือ  $A_{s-\min} = 1.34 \times A_s$  ที่คำนวณได้

การตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมต้านทานการยึดหดในคาน

$$A_s \geq 0.0025 \cdot b \cdot d$$

การตรวจสอบปริมาณเส้นรอบวงของเหล็กเสริมเพื่อใช้ในการยึดหน่วงกับคอนกรีต

$$\Sigma_0 = \frac{V}{\mu \cdot j \cdot d}$$

เมื่อ  $\mu$  : หน่วยแรงยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่หุ้มโดยรอบ

$\Sigma_0$  : ผลรวมของเส้นรอบวงเหล็กเสริมทั้งหมด

ระยะเรียงเหล็กเสริมด้านทานแรงเฉือน

$$S = \frac{n \cdot A_v \cdot f_v \cdot d}{v'}$$

เมื่อ  $S$  : ระยะห่างระหว่างเหล็กถูกตั้ง

การตรวจสอบระยะเรียงเหล็กเสริมด้านทานแรงเฉือน

กรณีที่ 1  $0.29\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d < V \leq 0.795\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมด้านทานแรงเฉือนเท่ากับค่า  $\text{minimum}\left(S, \frac{d}{2}\right)$

กรณีที่ 2  $0.795\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d < V \leq 1.32\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมด้านทานแรงเฉือนเท่ากับค่า  $\text{minimum}\left(S, \frac{d}{4}\right)$

กรณีที่ 3  $V \leq 0.29\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กด้านทานแรงเฉือน(ทฤษฎี)

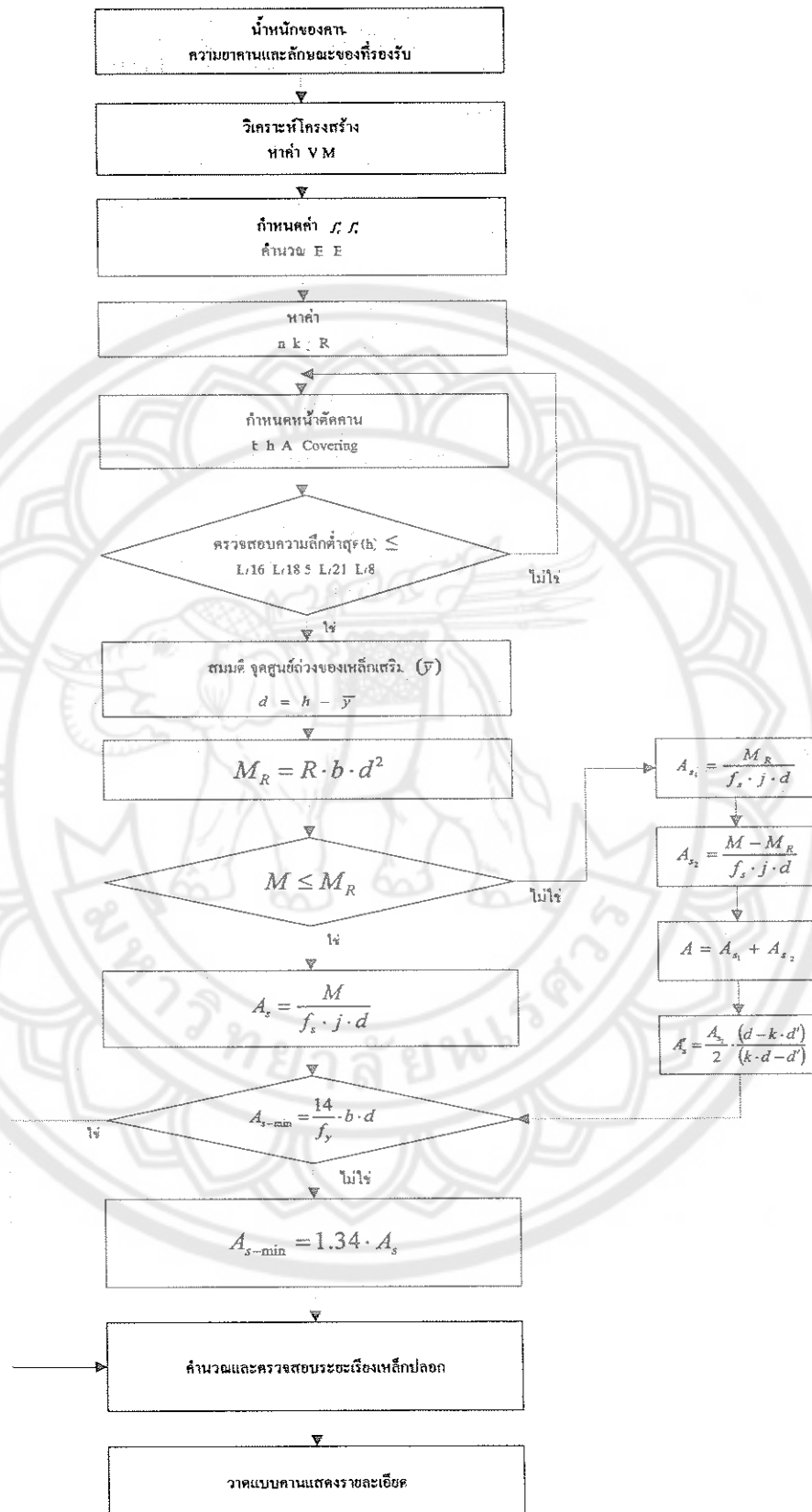
กรณีที่ 4  $V \geq 1.32\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

สมควรเปลี่ยนขนาดหน้าตัดคาน หรือเพิ่ม  $f'_c$  ของคอนกรีต

หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. 6500(ค)

	เหล็กบน	เหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน
เหล็กข้ออ้อย(ASTM A305)	$\frac{2.29 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 25 \text{ ksc}$	$\frac{3.23 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 35 \text{ ksc}$
เหล็กข้ออ้อย(ASTM A408)	$0.556 \cdot \sqrt{f'_c}$	$0.795 \cdot \sqrt{f'_c}$
เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ	$\frac{1.145 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 11 \text{ ksc}$	$\frac{1.615 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 11 \text{ ksc}$

เพราะฉะนั้น การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถอธิบายโดยใช้ Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 Flow Chart การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

## 2.2 การวิเคราะห์ และออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้กำหนดให้ผู้ใช้โปรแกรม เป็นผู้ใส่ค่าแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ค้ครอบเสา (ทั้ง 2 แกน) ด้วยตนเอง จากนั้นโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ คำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบ ดังจะกล่าวต่อไป

### การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

โครงการนี้ผู้จัดทำได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับเสาปลอกเดี่ยวหน้าตัดสี่เหลี่ยม และมีหน้าตัดสมมาตรเพียงอย่างเดียว โดยการออกแบบนั้นใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน

#### กำลังรับแรงอัดของเสาปลอกเดี่ยว

$$P = 0.85 \cdot A_g \cdot (0.25 \cdot f'_c + f_s \cdot p_g)$$

#### ระยะเชิงศูนย์กลางของเสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดสมมาตร

$$\begin{aligned} e_b &= (0.67 \cdot p_g \cdot m + 0.17)(t - \bar{y}) \\ \text{หรือ} \quad e_b &= (0.67 \cdot p_g \cdot m + 0.17)(b - \bar{y}) \\ \text{เมื่อ} \quad m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} \\ p_g &: \text{อัตราส่วนของเนื้อเหล็กยื่นต่อเนื้อที่ทั้งหมด} \\ b &: \text{ความกว้างของหน้าตัด} \\ t &: \text{ความลึกของหน้าตัด} \\ \bar{y} &: \text{ระยะจากผิวคอนกรีตถึงจุดศูนย์กลางถ่วงของเหล็กยื่น} \end{aligned}$$

#### การคำนวณตรวจสอบกำลังเสา

##### เสาที่ด้านทานแรงอัดเป็นหลัก

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_b} + \frac{f_{by}}{F_b} \leq 1$$

เมื่อ  $f_a$  : แรงตามแกนหารด้วยเนื้อที่หน้าตัด

$f_{bx}, f_{by}$  : หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ค้ำ รอบแกนหลัก x และ y หาด้วยโมดูลัสของหน้าตัดแปลงที่ไม่แตกร้าวรอบแกนนั้น โดยใช้อัตราส่วน โมดูลัส สำหรับเหล็กเสริมทั้งหมดตามแนวแกนเสา เท่ากับ  $2 \cdot n$  หรือ  $2 \cdot n - 1$

เสาที่ต้านทานแรงดึงเป็นหลัก

$$\frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_y}{M_{oy}} \leq 1$$

เมื่อ  $M_x, M_y$  : โมเมนต์ค้ำรอบแกน x และ y  
 $M_{ox}, M_{oy}$  : หน่วยแรงที่เกิดจากโมเมนต์ค้ำ รอบแกนหลัก x และ y หาด้วยโมดูลัสของหน้าตัดแปลงที่ไม่แตกร้าวรอบแกนนั้น โดยใช้อัตราส่วน โมดูลัส สำหรับเหล็กเสริมทั้งหมดตามแนวแกนเสาเท่ากับ  $2 \cdot n$  หรือ  $2 \cdot n - 1$

หน่วยแรงดึงภายใต้การค้ำสูงสุดที่ยอมให้

$$M_{sx} = \frac{F_b \cdot I_{xx}}{C_y} \qquad M_{sy} = \frac{F_b \cdot I_{yy}}{C_x}$$

หน่วยแรงค้ำที่ยอมให้

$$F_a = 0.34(1 + p_g \cdot m)f'_c$$

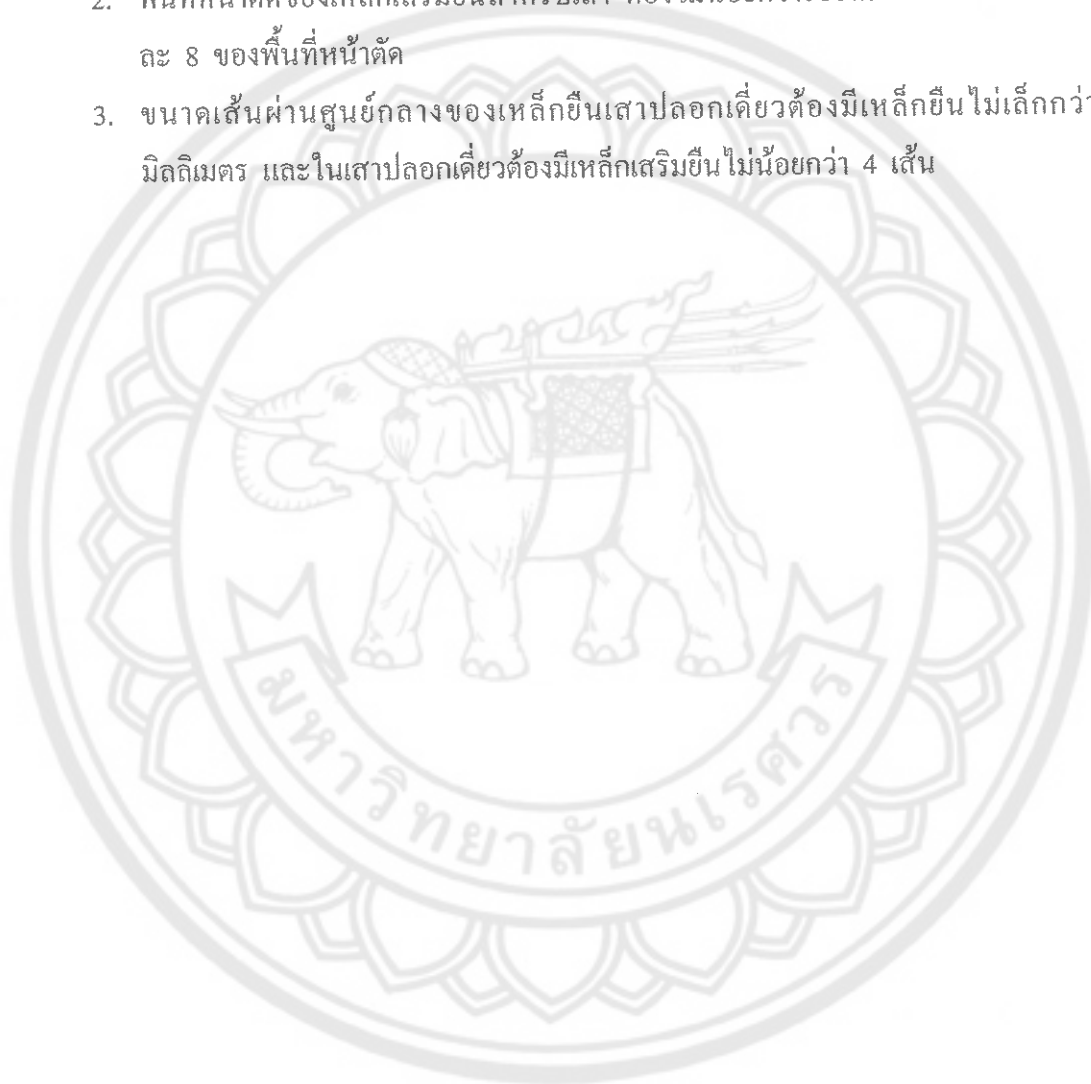
หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

$$F_b = 0.45f'_c$$

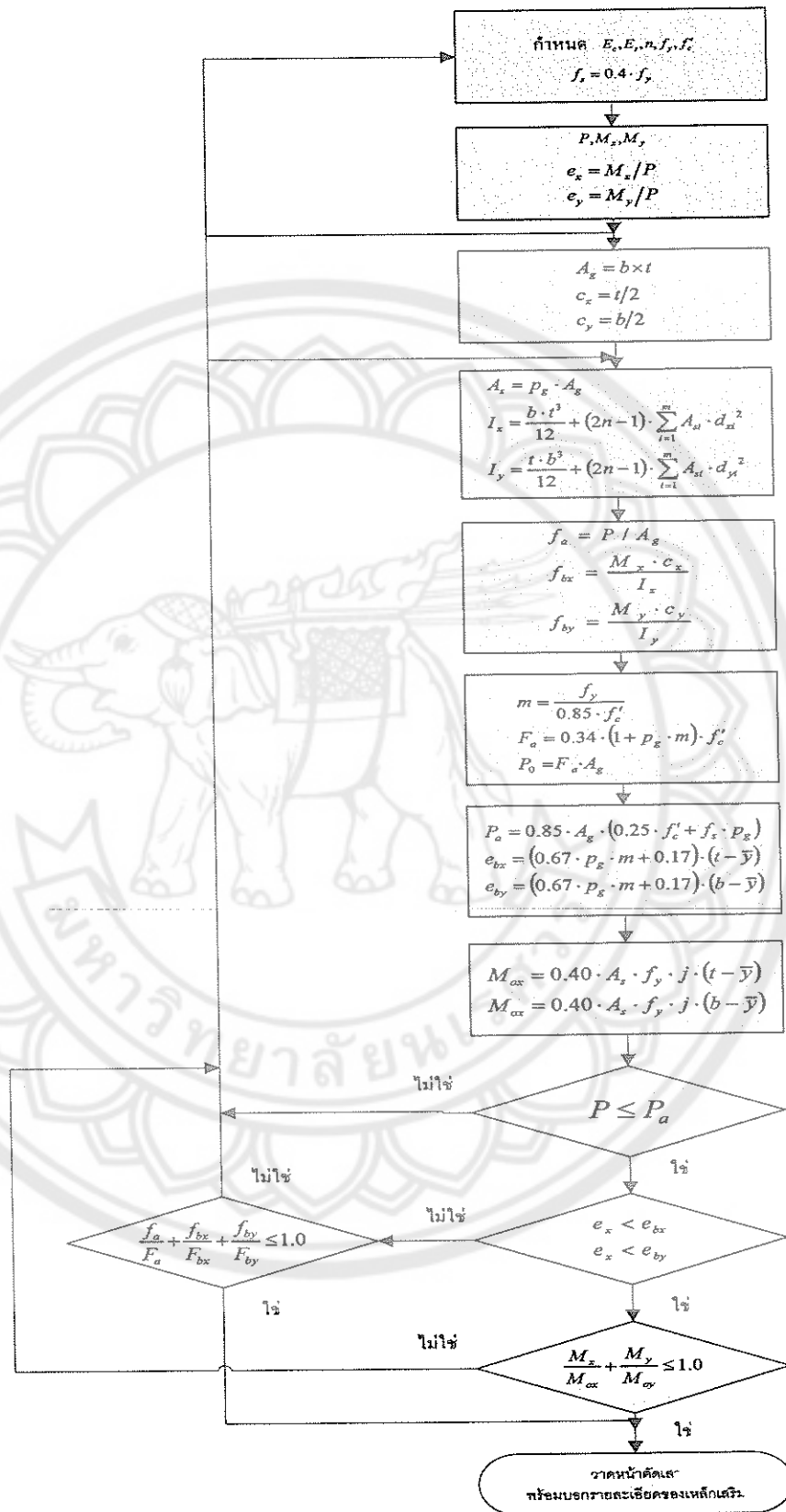
### ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในเสา

เหล็กยื่นในเสาปลอกเดี่ยว ว.ส.ท. 4800 กำหนดไว้ดังนี้

1. พิกัดหน้าตัดของเสา เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดมากกว่าที่ต้องการในการรับน้ำหนัก การหาปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด และความสามารถในการรับน้ำหนัก ให้คำนวณจากพื้นที่หน้าตัด  $A_g$  ที่ลดลงได้แต่ค่า  $A_g$  นั้นต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของหน้าตัดจริง
2. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยื่นสำหรับเสา ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่มากกว่าร้อยละ 8 ของพื้นที่หน้าตัด
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยื่นเสาปลอกเดี่ยวต้องมีเหล็กยื่นไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร และในเสาปลอกเดี่ยวต้องมีเหล็กเสริมยื่นไม่น้อยกว่า 4 เส้น



เพราะฉะนั้น การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถอธิบายโดยใช้ Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 Flow Chart การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

## 2.3 การวิเคราะห์ และออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

สำหรับแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ที่กระทำกับฐานรากที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบ นั้น คณะผู้จัดทำได้พัฒนาโปรแกรมให้ ผู้ใช้โปรแกรมสามารถที่จะเป็นผู้ใส่ค่าต่าง ๆ ด้วยตนเอง จากนั้น โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ กำหนดหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบ ดังจะกล่าวต่อไป

### การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

โครงการนี้ผู้จัดทำได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับฐานรากแผ่ สี่เหลี่ยม โดยใช้การออกแบบด้วยวิธี หน่วยแรงใช้งาน

#### ตรวจสอบหน่วยแรงแบกทานของดิน

$$\sigma = \frac{P}{A_{footing}}$$

เมื่อ  $\sigma$  : หน่วยแรงแบกทานของดินบริเวณใต้ฐานราก  
 $P$  : ผลรวมแรงตามแนวแกนที่กระทำต่อฐานราก  
 $A_{footing}$  : พื้นที่ของฐานราก (กว้าง x ยาว)

#### ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนแบบคาน

$$v_d = \frac{V_d}{b \times d}$$

เมื่อ  $v_d$  : หน่วยแรงเฉือนแบบคาน  
 $V_d$  : ผลรวมแรงตามแนวแกนที่กระทำต่อฐานราก  
 $A_{footing}$  : พื้นที่ของฐานราก(กว้าง x ยาว)

#### ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนแบบเจาะทะลุ

$$v_p = \frac{\text{แรงเฉือนที่เกิดขึ้น}}{\text{เส้นรอบรูปบริเวณที่ถูกเฉือน}}$$



ปริมาณเหล็กเสริมด้านทานแรงดึง

$$A_s = \frac{M}{f_s \cdot j \cdot d}$$

ปริมาณเหล็กเสริมด้านทานการยึดหด

$$A_{s-temp} = 0.0016 \times b \times t$$

หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. 6500(ก)

	เหล็กบน	เหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน
เหล็กข้ออ้อย(ASTM A305)	$\frac{2.29 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 25 \text{ ksc}$	$\frac{3.23 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 35 \text{ ksc}$
เหล็กข้ออ้อย(ASTM A408)	$0.556 \cdot \sqrt{f'_c}$	$0.795 \cdot \sqrt{f'_c}$
เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ	$\frac{1.145 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 11 \text{ ksc}$	$\frac{1.615 \cdot \sqrt{f'_c}}{D} \leq 11 \text{ ksc}$

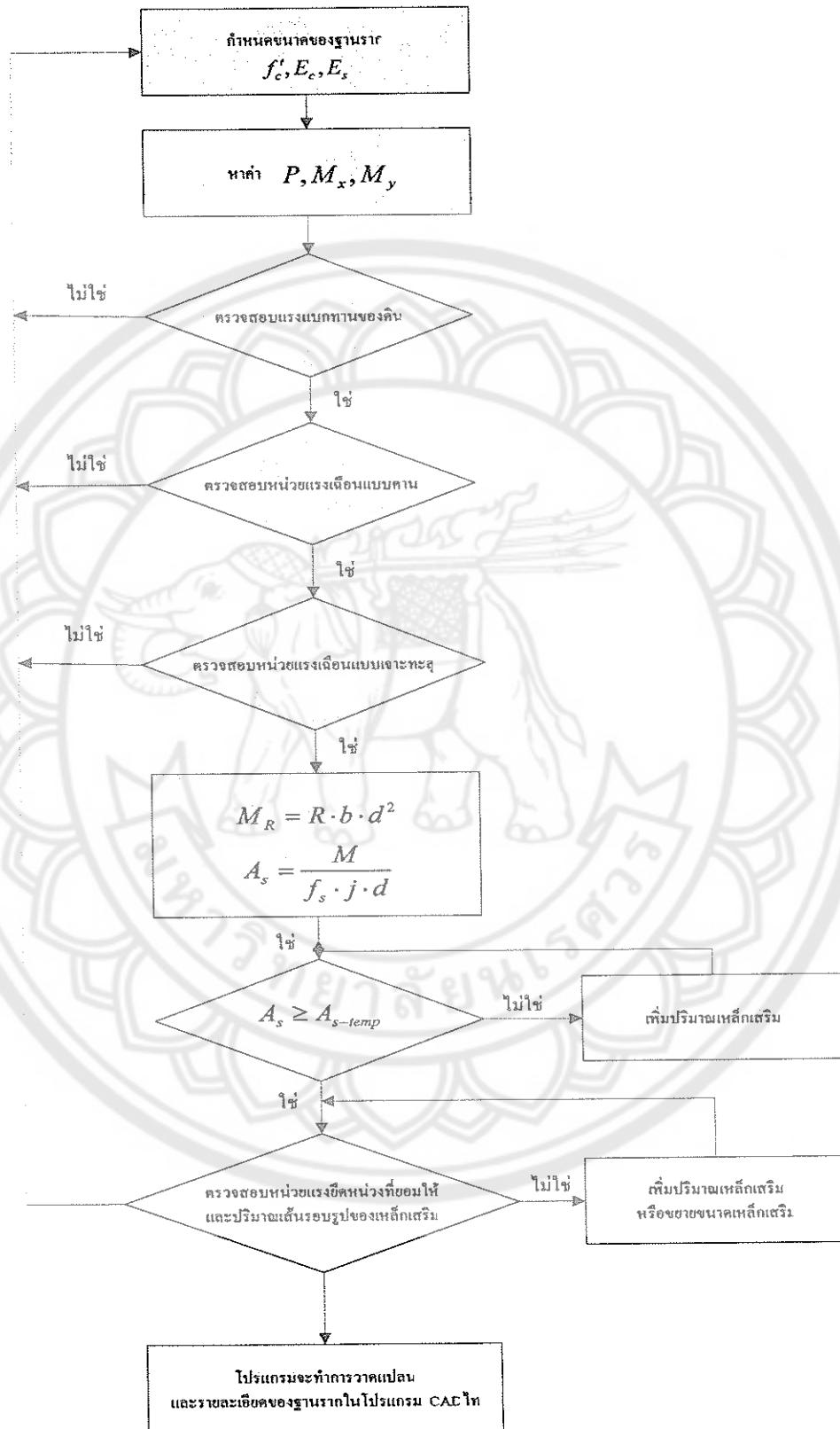
การตรวจสอบปริมาณเส้นรอบวงของเหล็กเสริมเพื่อใช้ในการยึดหน่วงกับคอนกรีต

$$\Sigma_0 = \frac{V}{\mu \cdot j \cdot d}$$

เมื่อ  $\mu$  : หน่วยแรงยึดหน่วงระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่หุ้มโดยรอบ

$\Sigma_0$  : ผลรวมของเส้นรอบวงเหล็กเสริมทั้งหมด

เพราะฉะนั้น การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถอธิบายโดยใช้ Flow Chart ได้ ดังนี้



รูปที่ 2.9 Flow Chart การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก