บทที่ 3
ขั้นตอนการทำงาน

เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ถ้า $\frac{h}{t}$ หรือ $\frac{h}{D}$ มากกว่า 15 เรียกว่าเสายาว

ถ้า $\frac{h}{t}$ หรือ $\frac{h}{D}$ น้อยกว่า 15 เรียกว่าเสาสั้น

หมายเหตุ h = ความสูงของเสา

t = ด้านแคบสุดของเสา

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา (เสากลม)

เนื่องจากเสาปลอกเกลียวไม่เป็นที่ได้รับความนิยมในงานโครงสร้างทั่วไป ด้วยเหตุผลที่ว่าการทำปลอกเกลียว มีวิธีการทำที่ยุ่งยากใช้เวลานาน การทำเสาปลอกเกลียวจึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร ดังนั้น โปรแกรมวิเคราะห์นี้ จึงรับข้อมูลการวิเคราะห์ และการออกแบบเฉพาะเสาปลอกเดี่ยว แต่โปรแกรมนี้จะเจาะลึกในการวิเคราะห์ เสาสั้นรับแรงตามแกน เสาสั้นรับแรงเยื้องศูนย์ (เกิดโมเมนต์ในเสา) และโปรแกรมนี้ยังได้แสดง Interaction Diagram ประกอบรายการคำนวณ เพื่อให้มีความเข้าใจในการรับแรงของเสารับแรงเยื้องศูนย์ได้ดียิ่งขึ้น และนอกจากนั้น Interaction Diagram ยังบอกอะไรกับผู้ใช้อีกหลายอย่าง เช่น ขอบเขตการรับแรงตามแกนของเสา ขอบเขต การรับแรงเยื้องศูนย์ ของเสา ทำให้เราทราบว่า เสาต้นที่ผู้ใช้โปรแกรม Design ออกมานั้นมีขอบเขตการรับแรงตามแกน และแรงเยื้องศูนย์ อยู่ ที่เท่าไร

นอกจากนี้ โปรแกรมยังสามารถ สั่งพิมพ์ รายการคำนวณ สั่งพิมพ์ สรุปผลการออกแบบเสา หรือว่ายังสั่งพิมพ์ Interaction Diagram ได้อีกด้วย และในโปรแกรมยังสอดแทรก หรือว่า การเสนอแนวทางแก้ไข ถ้าเกิดการ Design เกิดการผิดพลาดเพื่อให้ผู้ใช้ ได้มีทางเลือกในการตัดสินใจอีกด้วย

3.1 ขั้นตอนการคำนวณออกแบบ และ การทำงานของโปรแกรม

ในการวิเคราะห์ เราจะแยกการทำงานของโปรแกรมออกเป็น 2 ชุด คือ การออกแบบวิเคราะห์เสาสั้นรับแรงตามแกน และการ เสาสั้นรับแรงเยื้องศูนย์

เราจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ เสาสั้นรับแรงตามแกน

3.1.1 การคำนวณเสาสั้นรับแรงตามแกน

ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรม

P safe load

f_c' หน่วยแรงใช้งานของคอนกรีต

f_s ($0.4f_y$) หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริม

ขนาดหน้าตัดเสา

จากสมการของเสาปลอกเดี่ยว $P_a = 0.85\ A_g\ (0.25\ f_c' + \rho_g) = 0.2125\ f_c' + 0.85\ f_s\ A_{st}$

1. หาพื้นที่หน้าตัดของเสา จะได้Ag ทำให้เราสามารถคำนวณค่า Ast เมื่อเราได้ค่า Ast เราก็สามารถออกแบบเหล็กเสริมได้
2. ทำการออกแบบเหล็กเสริม โดยโปรแกรม จะมีขนาดเหล็กเสริมให้ผู้ใช้โปรแกรมได้ เลือกขนาดเหล็กเสริม
3. เมื่อเลือกขนาดเหล็กเสริมเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการตรวจสอบระยะเรียงของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) โดยระยะเรียงของเหล็กยืน ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) หรือ 4 เซนติเมตร (พิจรณาเลือกค่ามาก) ถ้าระยะเรียงของเหล็กยืนผ่านตามมาตรฐาน โปรแกรมก็จะทำงานต่อไป แต่ถ้าระยะเรียงของเหล็กยืน ไม่ได้ ตามมาตรฐาน โปรแกรมก็จะให้ออกแบบเหล็กยืนใหม่อีกครั้ง
4. จากนั้นโปรแกรมจะให้ทำการออกแบบเหล็กปลอก โดยโปรแกรมจะให้เลือกขนาดของเหล็กปลอก โปรแกรมจะ คำนวณและแสดงผลการคำนวณระยะเรียงของเหล็กปลอก โดยคำนวณจาก 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน หรือ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก หรือ ด้านแคบสุดของเสา โดยเลือกค่าที่น้อยที่สุด และปัดตัวเลขให้เหมาะสม เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง

3.1.2 การคำนวณออกแบบเสาสั้นรับแรงเยื้องศูนย์ (เกิดโมเมนต์ในเสา)

ข้อมูลที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรม

P safe load

M โมเมนต์ที่เกิดในเสา

f_c' หน่วยแรงใช้งานของคอนกรีต

f_s ($0.4f_y$) หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริม

หน้าตัดเสา

เลือกลักษณะการเรียงของเหล็กยืน (จากรูป ในโปรแกรม)

เลือกขนาดของเหล็กยืน

1. โปรแกรมทำการคำนวณและวิเคราะห์ ว่าเป็น การออกแบบโดยให้รับแรงตามแกนเพียงอย่างเดียว (แรงเยื้องศูนย์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงตามแกน) หรือ แรงดึงเป็นหลัก หรือ การออกแบบแรงอัดเป็นหลัก โดย วิเคราะห์จาก $e = \frac{M}{Pa}$ เทียบกับ ค่า e_b และ e_a

   ซึ่ง $e_b = (0.67\rho_g . m + 0.17)(h - d')$, $e_a = Ms * [\frac{1}{Pa} - \frac{1}{Po}]$

2. ถ้า $e < e_a$ แสดงว่า แรงเยื้องศูนย์ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงตามแกน โปรแกรมจะตรวจสอบความปลอดภัยจากสมการเสาสั้นรับแรงตามแกน $Pa = 0.85\ Ag(0.25\ f_c' + \rho_g)$

3. โปรแกรมจะทำการตรวจสอบระยะเรียงของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) โดยระยะเรียงของเหล็กยืน ต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) หรือ4 เซนติเมตร (พิจารณาเลือกค่ามาก) ถ้าระยะเรียงของเหล็กเสริมผ่านตามมาตรฐาน โปรแกรมก็จะทำงานต่อไป แต่ถ้าระยะเรียงของเหล็กเสริม ไม่ได้ ตามมาตรฐาน โปรแกรมก็ จะให้ออกแบบเหล็กเสริมใหม่อีกครั้ง

4.จากนั้น โปรแกรมจะให้ทำการออกแบบเหล็กปลอก โดยโปรแกรมจะให้เลือกขนาดของเหล็กปลอก จากนั้นโปรแกรมจะ คำนวณและแสดงผลการคำนวณระยะเรียงของเหล็กปลอก โดย คำนวณจาก 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน หรือ 48 เท่าของ เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเหล็กปลอก หรือ ด้านแคบสุดของเสา โดยเลือกค่าที่น้อย ที่สุด

5. ถ้า $e_b > e$ จะเป็นการออกแบบและวิเคราะห์ แบบรับแรงอัดเป็นหลัก ตรวจสอบความปลอดภัยจาก สมการ $\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} < 1$

6. โปรแกรมจะทำการตรวจสอบระยะเรียงของเหล็กยืน โดยระยะเรียงของเหล็กยืนต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) หรือ 4 เซนติเมตร(พิจารณาเลือกค่ามาก) ถ้าระยะเรียงของเหล็กเสริมผ่านตามมาตรฐาน โปรแกรมก็จะทำงาน ต่อไป แต่ถ้าระยะเรียงของเหล็กเสริมไม่ได้ ตามมาตรฐาน โปรแกรมก็ จะให้ออกแบบเหล็กเสริมใหม่อีกครั้ง

7. จากนั้นโปรแกรมจะให้ทำการออกแบบเหล็กปลอก โดยโปรแกรมจะให้เลือกขนาดของเหล็กปลอก จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณ และแสดงผลการคำนวณระยะเรียงของเหล็กปลอก โดยคำนวณจาก 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน หรือ 48 เท่าของ เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก หรือ ด้านแคบสุดของเสาโดยเลือกค่าที่น้อย ที่สุดและอาจมีการปัดตัวเลขให้เหมาะสม เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน

8. ถ้า $e_b < e$ จะเป็นการออกแบบและวิเคราะห์ แบบรับแรงดึงเป็นหลัก และคำนวณ และตรวจสอบความปลอดภัย จากสมการ $\frac{Mx + My}{Mox \quad Moy} <= 1$

9. โปรแกรมจะทำการตรวจสอบระยะเรียงของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) โดยระยะเรียงของเหล็ก ยืนต้องไม่น้อยกว่า 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม (เหล็กยืน) หรือ 4 เซนติเมตร (พิจารณาเลือกค่ามาก) ถ้าระยะเรียงของเหล็กเสริมผ่านตามมาตรฐาน โปรแกรมก็จะทำงานต่อไป แต่ถ้าระยะเรียงของเหล็กเสริม ไม่ได้ ตามมาตรฐาน โปรแกรมก็ จะให้ออกแบบเหล็กเสริมใหม่อีกครั้ง

10. จากนั้นโปรแกรมจะให้ทำการออกแบบเหล็กปลอก โดยโปรแกรมจะให้เลือกขนาดของเหล็กปลอก จากนั้นโปรแกรมจะ คำนวณและแสดงผลการคำนวณระยะเรียงของเหล็ก ปลอก โดยคำนวณจาก 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กยืน หรือ 48 เท่าของ เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก หรือ ด้านแคบสุดของเสา โดยเลือกค่าที่น้อย ที่สุด และปัด ตัวเลขให้เหมาะสม เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง

3.2 การคำนวณออกแบบเสายาว (ไม่มีในโปรแกรม)

ในการคำนวณออกแบบเสายาวโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน เราจะใช้วิธีปรับเพิ่มค่าของแรงอัดและโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเสายาวให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยถือเสมือนว่าเป็นเสาสั้นที่มีขนาดเดียวกันกับเสายาว

ในการคำนวณออกแบบและ วิเคราะห์เสายาวนั้น เราจะเริ่มจากหาค่าของตัวคูณลดกำลังของเสาก่อนโดยจะแยกเสาออกเป็น 2 กรณี ใหญ่ๆ คือ

1. กรณี ที่เสารับแรงอัดตามแกนอย่างเดียว ($e < e_a$)

   $R = 1.07 - 0.008 (l_u / r) \leq 1.00$

2. กรณีที่เสารับแรงอัดและแรงดึง ร่วมกัน

2.1 เมื่อรับแรงอัดเป็นหลัก ($e_a \leq e \leq e_b$)

- เมื่อเสาโก่งสองทาง

  ถ้า $(l_u / r) < 60$: $R = 1.00$

  ถ้า $60 \leq (l_u / r) \leq 100$: $R = 1.32 - 0.006 (l_u / r) \leq 1.00$

  ถ้า $(l_u / r) \geq 100$ ให้ทำการวิเคราะห์โดยคำนึงถึงผลของการโก่งตัวที่มีต่อโมเมนต์ดัดในเสา

- เมื่อเสาโก่งตัวทางเดียว

  $R = 1.07 - 0.008 (l_u / r) \leq 1.00$

  ทั้งนี้ต้องพิจารณาใช้ค่าความยาวประสิทธิผลของเสา $k l_u$ ตามลักษณะการโก่งทางข้าง คือ เกิดการเคลื่อนที่ เนื่องมาจากแผ่นดินไหว ให้เพิ่ม ค่า R ได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

2.2 เมื่อแรงดึงเป็นหลัก ($e > e_b$)

ค่าตัวคูณลดกำลังของเสา ในกรณีแรงดึงเป็นหลักจะแปรผันแบบเส้นตรงกับแรงตามแนวแกน จากค่า R ที่ ภาวะสมดุลมีค่าเท่ากับ 1.0 เมื่อแรงตามแนวแกน เป็นศูนย์ นั่นคือ ตัวคูณลดกำลังเสา เมื่อแรงดึงเป็นหลัก

$$R' = 1 - (1 - R) \frac{e_b}{e} \geq R$$

เมื่อเราทราบค่าตัวคูณลดกำลังแล้วเราก็จะสามารถคำนวณออกแบบและวิเคราะห์เสายาวได้โดยใช้ขั้นตอนการออกแบบเหมือนกับเสาสั้น

3.3 การคำนวณออกแบบและวิเคราะห์เสายาวรับแรงตามแกน

ข้อมูลที่ต้องทราบ

P safe load

f_c' หน่วยแรงใช้งานของคอนกรีต

f_s (0.4fy) หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริม

h ความสูงของเสา

ก่อนอื่นเราต้องตรวจสอบว่า เสาที่เราจะทำการคำนวณออกแบบนั้น เป็นเสาสั้น หรือว่าเสายาว โดยตรวจสอบจากสมการ

ถ้า $\frac{h}{t}$ หรือ $\frac{h}{D}$ มากกว่า 15 เรียกว่าเสายาว

ถ้า $\frac{h}{t}$ หรือ $\frac{h}{D}$ น้อยว่า 15 เรียกว่าเสาสั้น

หมายเหตุ h = ความสูงของเสา

t = ด้านแคบสุดของเสา

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา (เสากลม)

หลังการตรวจสอบแล้วปรากฏว่าเป็นเสายาว เราจะทำการหาค่า ตัวคูณลดกำลังของเสายาวตามกรณีต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ก่อนแล้ว เมื่อเราทราบค่าตัวคูณลดกำลังของเสาแล้วให้นำ P safe load ของเสายาว หารด้วย R ตัวคูณลดกำลัง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

P safe load ของเสาสั้น = $\frac{1}{R}$ P safe load ของเสายาว คำนวณออกแบบเสายาวนั้น เหมือนกับการคำนวณเสาสั้นรับแรงตามแกนตามปกติ

3.4 การคำนวณออกแบบและวิเคราะห์เสายาวรับแรงเยื้องศูนย์ (เกิดโมเมนต์ภายในเสา)

ข้อมูลที่ต้องทราบ

P safe load

M โมเมนต์ที่เกิดในเสา

fc ' หน่วยแรงใช้งานของคอนกรีต

fs (0.4fy) หน่วยแรงใช้งานของเหล็กเสริม

h ความสูงของเสา

ก่อนอื่นเราต้องตรวจสอบว่า เสาที่เราจะทำการคำนวณออกแบบนั้น เป็นเสาสั้น หรือว่าเสายาว โดยตรวจสอบจากสมการ

ถ้า $\frac{h}{t}$ หรือ $\frac{h}{D}$ มากกว่า 15 เรียกว่าเสายาว

ถ้า $\frac{h}{t}$ หรือ $\frac{h}{D}$ น้อยว่า 15 เรียกว่าเสาสั้น

หมายเหตุ h = ความสูงของเสา

t = ด้านแคบสุดของเสา

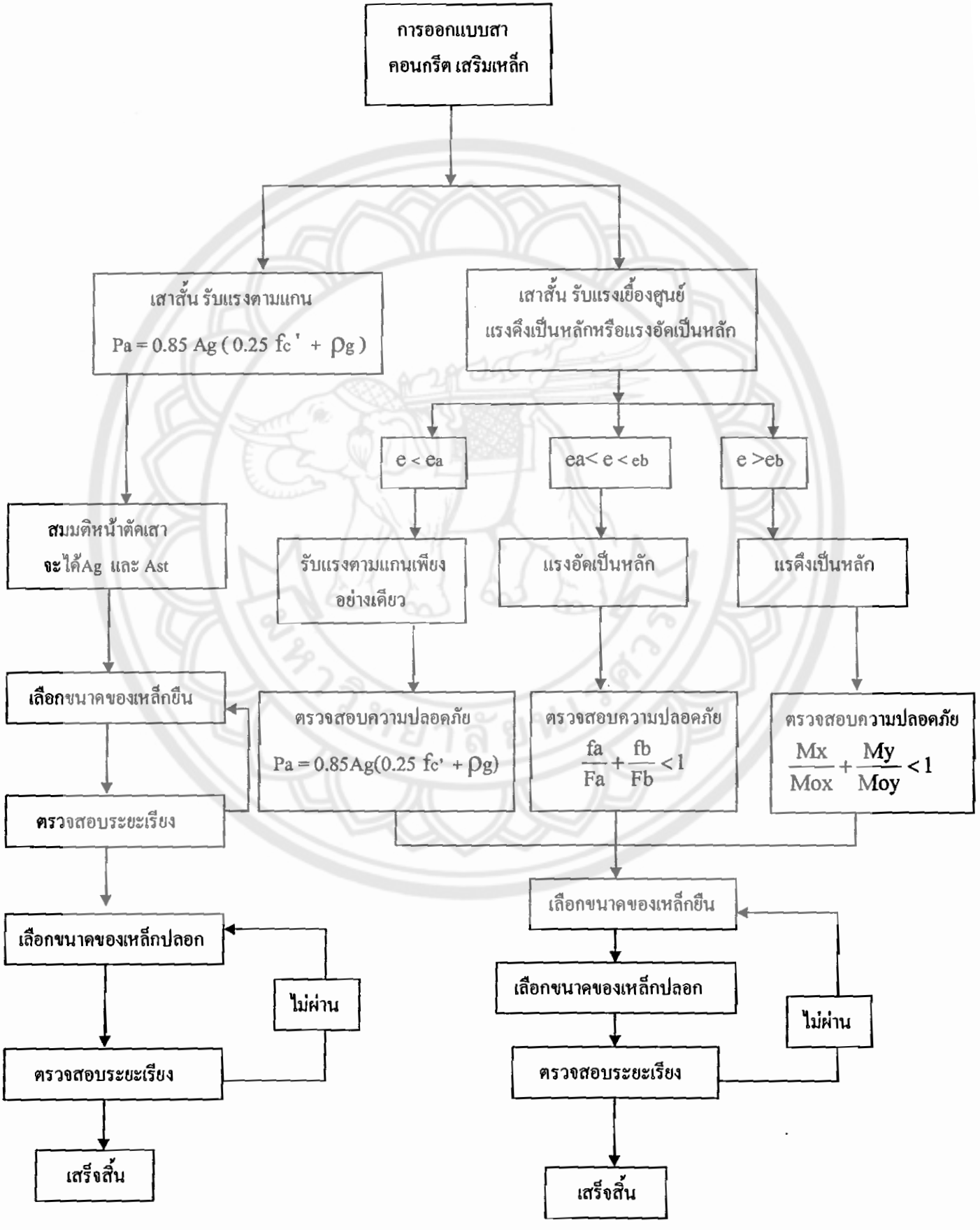
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสา (เสากลม)

หลังการตรวจสอบแล้วปรากฏว่าเป็นเสายาว เราจะทำการหาค่า ตัวคูณลดกำลังของเสายาวตามกรณีต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ก่อนแล้ว เมื่อเราทราบค่าตัวคูณลดกำลังของเสาแล้วให้นำ P safe load ของเสายาว หารด้วย R ตัวคูณลดกำลัง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

P safe load ของเสาสั้น = $\frac{1}{R}$ P safe load ของเสายาว

แล้วจึงคำนวณออกแบบเสายาวนั้น เหมือนกับการคำนวณเสาสั้นรับแรงเยื้องศูนย์ ตามปกติ

รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม ในเนื้อหาของบทนี้ จะแสดงรายการคำนวณ และรายละเอียดประกอบการวิเคราะห์ และออกแบบ เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เมื่อการวิเคราะห์ ออกแบบเสร็จสิ้น โปรแกรมจะแสดงการสรุปผลการออกแบบ อย่างละเอียด เพื่อความชัดเจนในการนำไปใช้ในการศึกษาทฤษฎีการออกแบบเสาโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

โปรแกรมยังทำกราฟ แสดงขอบเขตของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในการรับ แรงตามแกนและแรงเยื้องศูนย์ เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบในการออกแบบ ทำให้เราประหยัดเวลา และเป็นตัวช่วยในการช่วยการออกแบบอีกด้วย

มหาวิทยาลัยนเรศวร