โปรแกรมออกแบบโครงสร้างคานและเสาคอนกรีตเสริมเหล็กบนอินเตอร์เน็ต

PROGRAM FOR DESIGN OF R.C. BEAMS AND COLUMNS ON INTERNET

จิรชัย ศิริกาญจนไพศาล, เฉิดชาย รินทร์สกุล

นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัฒนชัย สมิทธากร

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ : โครงงานนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้น เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างคานและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยให้สามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ต ภาษาที่ใช้พัฒนาคือ จาวา (Java) วิธีการคำนวณจะใช้วิธีกำลังตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ซึ่งในส่วนของการวิเคราะห์หน้าตัดหากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างคาน และเสา จะแสดงผลของแรงและโมเมนต์ที่หน้าตัดนั้น ๆ สามารถรับได้ ในส่วนของการออกแบบนั้น จะแสดงผลของปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ เพื่อให้โครงสร้างนั้นๆ สามารถรับแรงหรือโมเมนต์ที่มากระทำได้

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถใช้วิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นรูปสี่เหลียมผืนผ้าเท่านั้น หน่วยที่ใช้เป็นระบบเมตริก (กิโลกรัมและเซนติเมตร) การวิเคราะห์หน้าตัดคานจะคำนวณหากำลังรับน้ำหนักเฉพาะกรณีที่การเสียหายเกิดขึ้นในแบบแรงดึงเป็นหลัก (tension failure) เท่านั้น การออกแบบคานจะให้ผู้ใช้กำหนดค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริม 2 ค่าสำหรับใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าจำเป็นต้องมีเหล็กเสริมรับแรงอัดหรือไม่ และสำหรับใช้คำนวณปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดที่ต้องการ การวิเคราะห์หน้าตัดเสาจะทำการสร้างไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด (interaction diagram) แบบเป็นเส้นตรง 3 ช่วง คือช่วงที่แรงดึงเป็นหลัก, ช่วงที่แรงอัดเป็นหลัก, และช่วงที่รับแรงอัดเพียงอย่างเดียว ส่วนการออกแบบเสาจะคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม โดยใช้ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัดแบบเป็นเส้นตรง 3 ช่วงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้สำหรับเสาจะกำหนดให้ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดและเหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าเท่ากัน

ABSTRACT : This project develops a computer program for design of reinforced concrete beams and columns by Strength Design Method according to E.I.T. Standard. Capable of running through the Internet, the program is written using Java programming language. In analyzing the beam and column sections, the resisting moments and axial forces are determined whereas in designing the areas of reinforcing steel required to withstand the external applied loads are calculated.

This program can analyze and design reinforced concrete beams and columns with rectangular section, in metric unit system (kilogram and centimeter). In analyzing beams, modes of failure are examined and the moment capacity is computed only when sections fail by tension. In designing beams, users choose two ratios to indicate whether compression steel is needed and to calculate the areas of required compression steel. In analyzing column sections, interaction diagram is plotted with straight lines in 3 regions: tension failure, compression failure, and maximum axial load. The design of a column section is employing the similar interaction diagram, and by the method of trail and error. However, in this program, column with equal areas of compression and tension steel are under consideration.

KEYWORDS : reinforced concrete design, beams, columns, Internet, Java language

1. บทนำ

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการออกแบบโครงสร้างไว้แล้วเป็นจำนวนมาก แต่โปรแกรมเหล่านี้ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายประการ เช่น

1. ราคาของโปรแกรมสำเร็จรูปที่ค่อนข้างแพง เพราะโปรแกรมออกแบบโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพ ส่วนใหญ่มักจะถูกพัฒนาขึ้นในต่างประเทศ
2. โปรแกรมออกแบบโครงสร้างโดยทั่วไป มักจะถูกออกแบบให้ ทำงานได้บนระบบปฏิบัติการเพียงระบบเดียว
3. ความไม่สะดวกในแง่การทำงานในหลายสถานที่ เพราะโปรแกรมออกแบบทั้งหมดในท้องตลาดจำเป็นต้องติดตั้งตัวโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะใช้งานเท่านั้น
4. หน่วยที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นในต่างประเทศมักจะจำกัดตามประเทศของผู้ผลิต
5. ข้อกำหนด และมาตรฐานในการออกแบบที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรมออกแบบ ส่วนใหญ่จะอ้างอิงตามประเทศผู้ผลิต

จากเหตุผลต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น โครงการนี้มีจึงวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดคาน และหน้าตัดเสาโดยใช้วิธีกำลัง ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. ซึ่งในการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษาจาวา เพื่อให้สามารถทำงานได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ต และบนระบบปฏิบัติการใดก็ได้

2. ทฤษฎีและขั้นตอนในการคำนวณ

โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น จะมีขั้นตอนการคำนวณแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 วิเคราะห์หน้าตัดคาน

การวิเคราะห์หน้าตัดคานมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้กำหนดคุณสมบัติของหน้าตัด ได้แก่ ความกว้าง (b), ความลึกประสิทธิผล (d), ระยะจากผิวรับแรงอัดถึงศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมรับแรงอัด (d'), กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c'), กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (f_y), พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) และพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s')
2. คำนวณหาค่า β_1 โดยพิจารณาจากสมการ

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & f_c' \le 280 ksc \\ 0.85 - 0.05\left(\frac{f_c' - 280}{70}\right) & 280 \le f_c' \le 560 ksc \\ 0.65 & f_c' > 560 ksc \end{cases} \quad (1)$$

3. ในกรณีที่เป็น หน้าตัดที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว โปรแกรมจะทำการคำนวณหาอัตราส่วนเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลจากสมการ

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y}\frac{6000}{6000 + f_y} \quad (2)$$

4. ในกรณีที่เป็นการเสริมเหล็กน้อยกว่าอัตราส่วนเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุล โปรแกรมจะทำการคำนวณหากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานจากสมการ

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 b f_c'} \quad (3)$$

$$C = 0.85 f_c' b a \quad (4)$$

$$M_n = C\left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (5)$$

5. ในกรณีที่เป็น การเสริมเหล็กแบบมากกว่าอัตราส่วนเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุล โปรแกรมไม่คำนวณหากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด
6. ในกรณีที่เป็น หน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงอัด จะทำการหารูปแบบการวิบัติของหน้าตัด โดยเริ่มสมมติให้เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากแต่เหล็กเสริมรับแรงอัดไม่ถึงจุดคราก แล้วนำค่า หน่วยการยืดหดตัวที่ได้มาทดสอบดูว่าเป็นจริงดังที่สมมติไว้หรือไม่ ตามสมการ

$$\varepsilon_s = 0.003\left(\frac{d - c}{c}\right) \ge \varepsilon_y \quad (6)$$

$$\varepsilon_s' = 0.003\left(\frac{c - d'}{c}\right) < \varepsilon_y \quad (7)$$

หากเป็นจริงตามที่สมมติ จึงจะคำนวณหากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานจากสูตร

$$c = -R \pm \sqrt{R^2 + Q} \quad (8)$$

$$R = \frac{6000 A_s' - A_s f_y}{1.7 f_c' b \beta_1} \quad (9)$$

$$Q = \frac{6000 d' A_s'}{0.85 f_c' b \beta_1} \quad (10)$$

$$fs' = \left(\frac{c - d'}{c}\right)6000 \quad (11)$$

$$C_c = 0.85 f_c' b a \quad (12)$$

$$C_s = A_s' f_s' \quad (13)$$

$$M_n = C_c(d - \frac{a}{2}) + C_s(d - d') \quad (14)$$

7. ถ้าไม่เป็นจริง ตาม 8. จะทำการทดสอบใหม่โดยกำหนดให้โดยสมมติให้เหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดมีกำลังถึงจุดครากทั้งคู่ แล้วนำค่าหน่วยการยืดหดตัวที่ได้มาทดสอบดูว่าเป็นจริงดังที่สมมติไว้หรือไม่ ตามสมการ

$$\varepsilon_s = 0.003\left(\frac{d-c}{c}\right) \geq \varepsilon_y \quad (15)$$

$$\varepsilon_s' = 0.003\left(\frac{c-d'}{c}\right) \geq \varepsilon_y \quad (16)$$

หากเป็นจริงตามที่สมมติ จึงจะคำนวณหากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุดของคานจากสมการ

$$a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0.85 f_c' b} \quad (17)$$

$$C_c = 0.85 f_c' ba \quad (18)$$

$$C_s = \rho' bdf_y \quad (19)$$

$$M_n = C_c(d - \frac{a}{2}) + C_s(d - d') \quad (20)$$

8. หากไม่เป็นจริงดังข้อ 6. และข้อ 7. แสดงว่า หน้าตัดเกิดการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก และโปรแกรมจะไม่วิเคราะห์หากำลังรับโมเมนต์ดัดสูงสุด

2.2 ออกแบบคาน

การออกแบบคานมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้กำหนดคุณสมบัติของหน้าตัด ได้แก่ ความกว้าง (b), ความลึกประสิทธิผล (d), ระยะจากผิวรับแรงอัดถึงศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมรับแรงอัด (d'), กำลังอัดประลัยสูงสุดของคอนกรีต (f_c'), กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (f_y) และกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_n)
4. หาค่า M_r แล้วทดสอบว่าหน้าตัดต้องเสริมเหล็กแบบใด

$M_n \leq M_r = R_U bd^2$ Single reinforced section

$M_n > M_r = R_U bd^2$ Double reinforced section

$$R_U = \rho f_y(1 - 0.59\frac{\rho f_y}{f_c'}) \quad (21)$$

โดยเลือก Ratio $\frac{\rho}{\rho_b} = 0.5$ หรือ 0.75

5. ในกรณีที่เป็น Single reinforced section

$$R_U = \frac{M_n}{bd^2} \quad (22)$$

$$\rho = \frac{0.85 f_c'}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_U}{0.85 f_c'}}\right) \quad (23)$$

$$As = \rho bd \quad (24)$$

6. ในกรณีที่เป็น Double reinforced section ผู้ใช้กำหนดค่า ρ_1 จาก $0.5\rho_b$ หรือ $0.75\rho_b$ สำหรับการออกแบบเหล็กเสริม

$$A_{s1} = \rho_1 bd \quad (25)$$

$$R_U = \rho_1 f_y(1 - 0.59\frac{\rho_1 f_y}{f_c'}) \quad (26)$$

$$M_r = R_U bd^2 \quad (27)$$

$$A_{s2} = \frac{M_n - M_r}{(d - d')f_y} \quad (28)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (29)$$

$$A_s' = A_{s2} \quad (30)$$

2.3 วิเคราะห์หน้าตัดเสา

การวิเคราะห์หน้าตัดเสามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้กำหนดคุณสมบัติของหน้าตัด ได้แก่ ความกว้าง (b), ความลึกของคาน (t), ความลึกประสิทธิผล (d), ระยะจากผิวรับแรงอัดถึงศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมรับแรงอัด (d'), กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') และ กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (f_y) และพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด (A_{st})
2. คำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาโดยพิจารณาในกรณีที่เสารับเฉพาะแรงตามแนวแกนตามสมการ

$$P_{n0} = 0.85 f_c' A_c + f_y A_{st} \quad (31)$$

$$P_{n(\max)} = 0.85 P_{n0} \quad (32)$$

3. คำนวณหากำลังต้านทานของเสาที่สภาวะสมดุล โดยที่ลักษณะของการวิบัตินั้น คอนกรีตจะถูกอัด จนมีหน่วยการยืดหดตัว ถึง $\varepsilon_u = 0.003$ และเหล็กเสริมรับแรงดึง จะถูกดึงกระทั่งหน่วยการยืดหดตัวถึง ε_y ตามสมการ

$$c_b = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} d = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} d \quad (33)$$

$$a_b = \beta_1 c_b \quad (34)$$

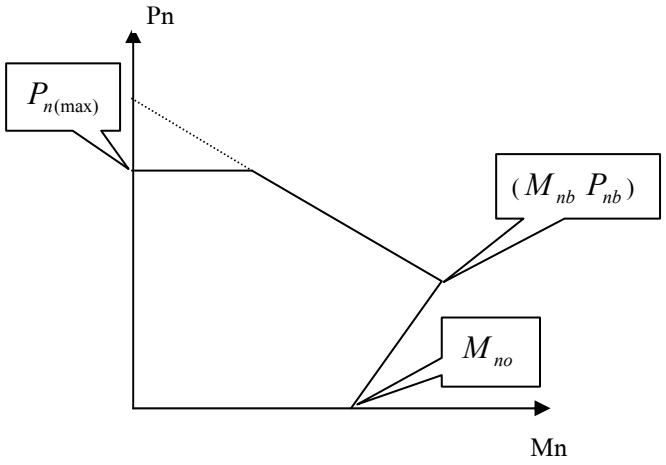
$$f_s' = E_s \varepsilon_s' = E_s \frac{0.003(c_b - d')}{c_b} \leq f_y \quad (35)$$

$$P_{nb} = 0.85 f_c' ba_b + A_s' f_s' - A_s f_y \quad (36)$$

โดยที่ $A_s = A_s' = \frac{A_{st}}{2}$ (37)

$$M_{nb} = 0.85 f_c' b a_b (\frac{t}{2} - \frac{a_b}{2}) + A_s' f_s' (\frac{t}{2} - d') + A_s f_y (d - \frac{t}{2}) \quad (38)$$

4. คำนวณหากำลังต้านทานของเสาในกรณีที่รับ แต่เฉพาะแรงดัด ในกรณีนี้ การวิเคราะห์หากำลังต้านทาน ของเสาจะวิเคราะห์ ได้ กำลังต้านทาน โมเมนต์ M_o ซึ่งการวิเคราะห์ จะเหมือนกับการ วิเคราะห์หากำลังต้านทานโมเมนต์ ของคาน
5. นำค่า $P_{n(\max)}$, P_{nb}, M_{nb}, M_o ที่ได้ทั้งหมดมาพล็อตในกราฟจะได้เส้นตรงสามช่วง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด

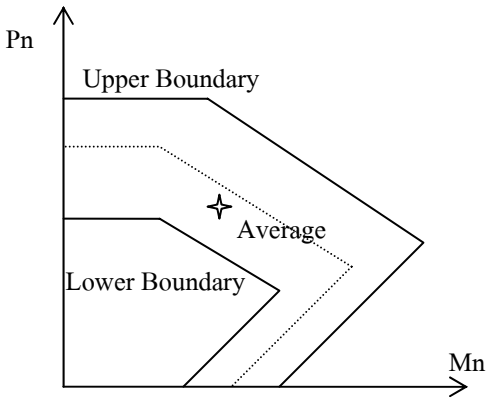
2.4 การออกแบบเสา

การออกแบบเสามีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. ผู้ใช้กำหนดคุณสมบัติของหน้าตัด ได้แก่ ความกว้าง (b), ความลึกของคาน (t), ความลึกประสิทธิผล (d), ระยะจากผิวรับแรงอัดถึงศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมรับแรงอัด (d'), กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c'), กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (f_y), กำลังต้านทานโมเมนต์สูงสุด (M_n) และ กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (P_n)
2. กำหนดให้ $\rho = 1\%$ แล้วทำการหา Interaction diagram ตามวิธีในหัวข้อ 2.3
3. ในกรณีที่ P_n และ M_n อยู่ในขอบเขตของ 1% Interaction diagram โปรแกรมจะคำนวณหาพื้นที่เหล็กเสริมของหน้าตัดโดยใช้เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม 1%

$$A_{st} = \frac{1 \times bd}{100} \quad (39)$$

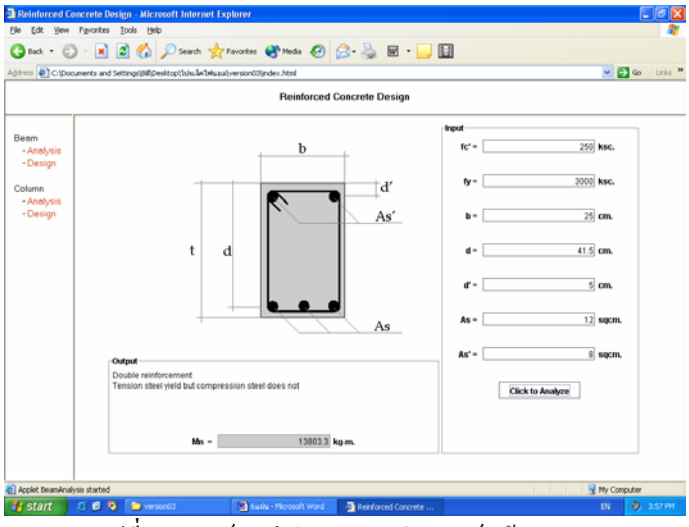
4. ในกรณีที่ P_n หรือ M_n ไม่อยู่ในขอบเขตของ 1% Interaction diagram โปรแกรมจะกำหนดให้ $\rho = 8\%$ แล้วทำการคำนวณหา Interaction diagram
5. ในกรณีที่ P_n หรือ M_n ไม่อยู่ในขอบเขตของ 8% Interaction diagramโปรแกรมจะบอกให้ผู้ใช้ทำการเปลี่ยนขนาดของหน้าตัด
6. ในกรณีที่ P_n และ M_n อยู่ในขอบเขตของ 8% โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยกำหนดให้ขอบเขตบนเท่ากับ 8% และกำหนดให้ขอบเขตล่างเท่ากับ 1%
7. หาค่าเฉลี่ยระหว่างขอบเขตบนและขอบเขตล่าง นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวณหา Interaction diagram
8. ในกรณีที่ P_n และ M_n อยู่ในขอบเขตของ Interaction diagram ให้เปลี่ยนค่าขอบเขตบน เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จาก 7.
9. ในกรณีที่ P_n หรือ M_n อยู่นอกขอบเขตของ Interaction diagram ให้เปลี่ยนค่าขอบเขตล่าง เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จาก 7.
10. แล้วจึงทำซ้ำตาม 7. 8. และ 9. จนกระทั่งผลต่างระหว่างขอบเขตบนและขอบเขตล่าง มีค่าน้อยกว่า 0.01% (ดูรูปที่ 2 ประกอบ)
11. นำค่าขอบเขตบนที่ได้มาทำการหาเหล็กเสริมที่ต้องการ



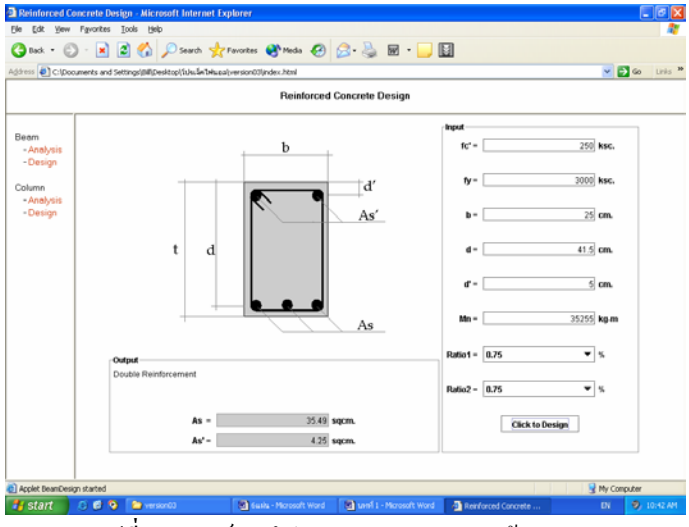
รูปที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบเสาโดยใช้ ไดอะแกรมปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดกับแรงดัด

4. ตัวอย่างการคำนวณ

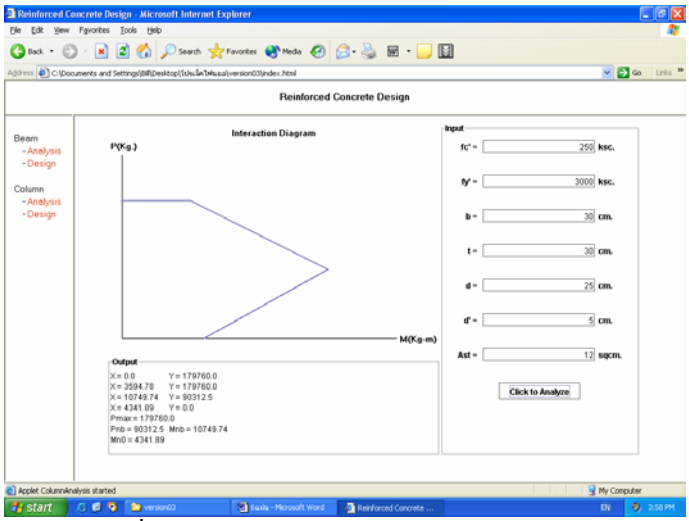
ตัวอย่างผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโครงงานนี้ แสดงไว้ ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดคาน ส่วนในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะเป็นตัวอย่างผลการคำนวณ สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดเสา



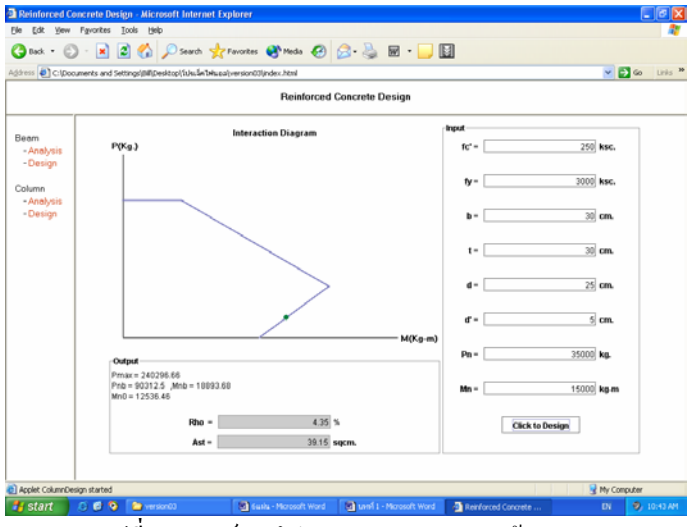
รูปที่ 3 ผลลัพธ์ของโปรแกรมการวิเคราะห์หน้าตัดคาน



รูปที่ 4 ผลลัพธ์ของโปรแกรมการออกแบบหน้าตัดคาน



รูปที่ 5 ผลลัพธ์ของโปรแกรมการวิเคราะห์หน้าตัดเสา



รูปที่ 6 ผลลัพธ์ของโปรแกรมการออกแบบหน้าตัดเสา

5. บทสรุป

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโครงงานนี้ ใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างคาน-เสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง สามารถประมวลผลได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ต โปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบคาน ซึ่งผู้ใช้สามารถหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่หน้าตัดคานที่ผู้ใช้กำหนดนั้นรับได้มากที่สุดในส่วนของการออกแบบเมื่อผู้ใช้ป้อนค่าคุณสมบัติของหน้าตัดคานรวมถึงค่าโมเมนต์ดัดที่ต้องการให้รับ โปรแกรมก็สามารถหาขนาดหน้าตัดเหล็กเสริมที่ต้องการได้ ซึ่งตัวโปรแกรมนี้สามารถเลือกได้ว่าควรเสริมเหล็กอย่างน้อยที่สุดเท่าไรจึงรับน้ำหนักได้ ส่วนโปรแกรมการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเสานั้นจะต่างจากส่วนของโครงสร้างคานตรงที่ ในการวิเคราะห์นั้นเมื่อผู้ใช้ป้อนค่าคุณสมบัติของหน้าตัดเสาแล้วตัวโปรแกรมจะทำการวาดกราฟ Interaction Diagram ออกมา ผู้ใช้ก็สามารถรู้ขอบเขตของแรงต่างๆที่หน้าตัดเสาสามารถรับได้ ส่วนของการออกแบบเสานั้นเมื่อผู้ใช้ทำการป้อนค่าต่างๆของหน้าตัดเสาที่ต้องการแล้ว รวมถึงค่าหน่วยแรงอัดและค่าโมเมนต์ดัดที่มากระทำ ตัวโปรแกรมทำการออกแบบขนาดของเหล็กยืนของเสาที่ต้องการ โดยจะแสดงผลในรูปของ กราฟ Interaction Diagram ของหน้าตัดเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์เหล็กยืนที่พอดีกับค่าหน่วยแรงที่กำหนด โดยขอบเขตของเปอร์เซ็นต์เหล็กยืนในโปรแกรมนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1%-8%

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนี้

1. วิธีการออกแบบที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมออกแบบเสา คาน คือ วิธีกำลัง (Strength Design Method) โดยใช้ข้อกำหนด ว.ส.ท. 1008-38

2. การออกแบบหรือวิเคราะห์หน้าตัดของเสาจะพิจารณาเฉพาะกรณีเสาสั้นแบบปลอกเดี่ยวเท่านั้น
3. สามารถวิเคราะห์และออกแบบได้เฉพาะ หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่านั้น
4. หน่วยที่ใช้ เป็นระบบเมตริก (กิโลกรัมและเซนติเมตร)
5. ในส่วนของการออกแบบ โปรแกรมจะคำนวณได้เฉพาะปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด เหล็กเสริมรับแรงดึง โดยจะไม่พิจารณาถึงการจัดตำแหน่งเหล็กเสริม

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานวิศวกรรมโยธาในครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อ.ดร.วัฒนชัย สมิทธากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนวทางในการทำโครงงานอย่างดียิ่งตลอดมา พร้อมกันนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, คัมภีร์ JAVA เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่สอง, เคทีพี คอมพ์แอนด์ คอนซัลต์, 2546.

[2] นรินทร์ โอพากิจอนันต์, จาวาสำหรับผู้เริ่มต้น, พิมพ์ครั้งแรก,โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] John R. Hubbard, Theory and Problems of Programming with JAVA, Mcgrawhill, แปลและเรียบเรียงโดย ธนา สุขวาริน, พิมพ์ครั้งแรก, แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนลเอนเตอร์ไพรส์ อิ้งค์, 2001.

[4] วินิต ช่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง, พิมพ์ครั้งที่สาม, 2529.

[5] เอกสิทธ์ ลิ้มสุวรรณ, เอกสารประกอบการสอนรายวิชา Reinforce Concrete Design, 2547

[6] สถาพร โภคา, การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีกำลัง, พิมพ์ครั้งแรก, LIBRARY NINE, 2545.

[7]สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง,มาตรฐาน ว.ส.ท. E.I.T. Standard 1008-38,พิมพ์ครั้งที่3 มกราคม 2543