การพัฒนาโปรแกรมภาษา Java สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

Development of Prestress Concrete Structure Analysis by Java Language

นาย ราชย์ มณี, นาย วงศธร สุวิสุทธิเกษม, นาย วงศพัทธ์ ยะโสธรศรีกุล และอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. วัฒนชัย สมิทธากร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงด้วยภาษาจาวา เนื่องจากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่มีอยู่ในปัจจุบันมีความซับซ้อน และ ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้มาก จึงเลือกใช้ภาษาจาวา ซึ่งเป็นภาษาที่มีหลักการ OOP ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมด้วยโค้ดที่กระชับ และ ทำความเข้าใจได้ง่าย และ เป็นภาษาที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยทำการค้นคว้าโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างด้วยภาษาจาวาจากงานวิจัย JSM as a Toolbox for Structural Analysis and Design Applications เพื่อเป็นตัวอย่างในการพัฒนาโปรแกรม และ ศึกษาทฤษฎีของคอนกรีตอัดแรงจากหนังสือ Prestressed Concrete (Edward G.Navy) การพัฒนาโปรแกรมจะเน้นไปที่การวิเคราะห์ แรง และ โมเมนต์ของชิ้นส่วน โดยสามารถแสดงผลเป็น รูปภาพ และ กราฟความสัมพันธ์ รวมถึงการคำนวณ ความเค้นของหน้าตัดคอนกรตอัดแรง และ การสูญเสียพลังงาน จากกระบวนการอัดแรง ของระบบ pre-tension และ post-tension ความโก่งตัวของชิ้นส่วนและลวดอัดแรง โดยได้ผ่านการทดสอบการทำงานของโปรแกรมกับตัวอย่างการคำนวณในหนังสือ Prestressed Concrete (Edward G.Navy)

คำสำคัญ: ภาษาจาวา, คอนกรีตอัดแรง, วิเคราะห์โครงสร้าง

Abstract

The objective of this research is to develop a Java-based software program for analyzing prestressed concrete structures. The complexity and steep learning curves associated with existing structural analysis programs prompt the choice of Java, renowned for its Object-Oriented Programming (OOP) principles, facilitating concise code development and ease of understanding. The investigation draws from the research paper "JSM as a Toolbox for Structural Analysis and Design Applications" as a model for program development and incorporates theoretical insights from "Prestressed Concrete" by Edward G. Navy.

The software development will primarily focus on analyzing forces and moments of structural components, with capabilities to visualize results through images and relationship graphs. It will also include calculations for stress distributions in prestressed concrete cross-sections and energy losses during the prestressing process, encompassing both pre-tension and post-tension systems. Additionally, the software will assess the deflection characteristics of components and prestressing tendons. Validation of the software's functionality has been conducted through testing against calculation examples provided in "Prestressed Concrete" by Edward G. Navy.

Key word: Java Language, Prestress Concrete, Structure Analysis

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การคำนวณ stress ในหน้าตัดของ prestressed member

3.1.1 Stress before loss due to prestressing + self-weight (Basic Method)

$$f^{\,t} \;=\; -\frac{P_i}{A_c}\left(1-\frac{ec_t}{r^{\,2}}\right)-\frac{M_D}{S^{\,t}}$$

$$f_b \;=\; -\frac{P_i}{A_c}\left(1+\frac{ec_b}{r^{\,2}}\right)+\frac{M_D}{S_b}$$

3.1.2 Stress after loss (service condition)

$$M_T \;=\; M_D \;+\; M_{SD} \;+\; M_L$$

$$f^{\,t} \;=\; -\frac{P_e}{A_c}\left(1-\frac{ec_t}{r^{\,2}}\right)-\frac{M_T}{S^{\,t}}$$

$$f_b \;=\; -\frac{P_e}{A_c}\left(1+\frac{ec_b}{r^{\,2}}\right)+\frac{M_T}{S_b}$$

3.2 การคำนวณ losses

3.2.1 Elastic shortening (Δf_{pES})

Pretension:

$$\Delta f_{pES} = n f_{cs}$$

$$f_{cs} = -\frac{P_i}{A_c}\left(1+\frac{e^2}{r^2}\right)+\frac{M_D e}{I_c},\ n = \frac{E_{ps}}{E_{ci}}$$

Post-tension:

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\times \left(\Delta f_{pES}\right)_j$$

3.2.2 Friction Loss (Post-tension only)

$$\Delta f_{pF} = -f_1(\mu\alpha + KL)$$

3.2.3 Anchorage-seating loss (post-tension only)

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L}E_{ps}$$

3.2.4 Relaxation loss

$$\Delta f_{pR} = f'_{pi}\left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10}\right)\left(\frac{f'_{pi}}{f_{py}} - 0.55\right)$$

3.2.5 Creep loss

$$\Delta f_{pCR} = K_{cr}\frac{E_{ps}}{E_c}(f_{cs} - f_{csd})$$

3.2.6 Shrinkage loss

$$\Delta f_{pSH} = 8.2x10^{-6}K_{SH}E_{ps} \times\left(1-0.0024\frac{V}{S}\right)(100-RH)$$

3.3 คำนวณ shear

3.3.1 Flexure Shear Strength (V_{ci})

$$V_{ci} = 0.05\lambda\sqrt{f'_c}b_w d_p + V_d + \left(\frac{V_i}{M_{max}}\right)(M_{cr})$$
$$\geq 0.14\lambda\sqrt{f'_c}b_w d_p$$
$$\leq 0.42\lambda\sqrt{f'_c}b_w d_p$$

3.3.2 Web Shear Strength (V_{cw})

$$V_{cw} = (0.29\lambda\sqrt{f'_c} + 0.3f_c)b_w d_p + V_p$$

3.3.3 Web Shear reinforcement (Vc)

$$V_c = \min(V_{ci}, V_{cw})$$
$$V_s = V_n - V_c = \frac{A_v f_y d_p}{s}$$

3.4 Deflection

3.4.1 Short term

At transfer: E = E_{ci}, P = P_i;

Due to prestressing:

$$\delta = -\frac{P_i l^2}{8EI}\left[e_c + (e_e - e_c)\frac{4}{3}\frac{a^2}{l^2}\right]$$; Harped

$$\delta = -\frac{P_i l^2}{8EI}\left[e_c + \frac{5}{6}(e_e - e_c)\right]$$; Drape

Due to self-weight:

$$\delta = \frac{5w_L l^4}{384EI}$$; uniform load

At service: E = E_c, P = P_e;

Due to prestressing:

$$\delta = -\frac{P_e l^2}{8EI}\left[e_c + (e_e - e_c)\frac{4}{3}\frac{a^2}{l^2}\right]$$; Harped

$$\delta = -\frac{P_e l^2}{8EI}\left[e_c + \frac{5}{6}(e_e - e_c)\right]$$; Drape

Due to self-weight:

$$\delta = \frac{5w_{SD}l^4}{384EI}$$; uniform load

Due to superimposed deadload:

$$\delta = \frac{5w_{SD}l^4}{384EI}$$; uniform load

Due to live load:

$$\delta = \frac{5w_{LL}l^4}{384EI}$$; uniform load

Due to point load at center span

$$\delta = \frac{w_p l^3}{48EI}$$

Due to uniform load

$$\delta = \frac{w_W l^3}{48EI}$$

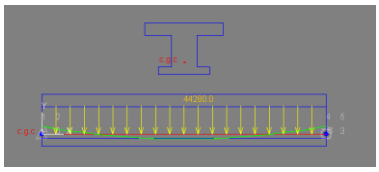
3.5.2 Long term deflection

- ใช้ PCI multiplier method และ ACI permissible limit เพื่อเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวในระยะยาวของคานให้ไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด

4 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การพัฒนาต่อจากโปรแกรม JSM

4.1.1 เปลี่ยนการแสดงผลโครงสร้างจะเส้นตรงให้มีรูปตามขนาดและประเภทของหน้าตัด รวมถึงการแสดงตำแหน่งของลวดอัดแรง



รูปที่ 1 การแสดงผลโครงสร้างที่ได้เขียนเพิ่ม

4.1.2 การคำนวณค่าแรงอัดที่ลดลงภายในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

4.1.3 ตรวจสอบค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แล้วนำไปเทียบกับแรงเฉือนที่คานคอนกรีตอัดแรงสามารถรับได้

4.1.4 การคำนวณหาค่าการโก่งตัวของคานคอนกรีตอัดแรง

4.1.5 สามารถหาค่าคุณสมบัติต่างๆของหน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณ

4.2 วิธีใช้งานโปรแกรมและหลักการการทำงานของโปรแกรม

4.2.1 วิธีใช้งานโปรแกรม

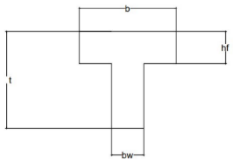
4.2.1.1 กำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในคาน

PC ตัวแปร = new PC (fpu , fcPi, fcP, E_{ps} , Wc, Conctype);

Conctype = “lightweight”, “normalweight”

4.2.1.2 กำหนดค่าคุณสมบัติและประเภทของหน้าตัด

4.2.1.2.1 กรณีที่เป็นหน้าตัดรูปตัวที



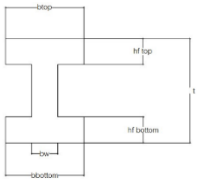
รูปที่ 2 ตัวอย่างหน้าตัดรูปตัวที

Tsection tsect = new tsection (b, t, bw, hf);

Prestress ตัวแปร = new Prestress (eM, eE, Aps, tsect, pctype);

pctype = “drape”, “harp”

4.2.1.2.2 กรณีที่เป็นหน้าตัดรูปตัวไอ



รูปที่ 3 ตัวอย่างหน้าตัดรูปตัวไอ

Isection isect = new Isection(btop, bbottom, t, bw, hftop ,hfbottom);

Prestress ตัวแปร = new Prestress(eM, eE, Aps, tsect, D, pctype);

pctype = “drape”, “harp”

4.2.1.2.3 กรณีที่เป็นหน้าตัดรูปอื่นๆ

Prestress ตัวแปร = new Prestress(eM, eE, Ia, Ct, Cb, A, Aps, D ,pctype);

pctype = “drape”, “harp”

4.2.1.3 กำหนดแรงที่กระทำกับคาน

4.2.1.3.1 กรณี Point load

PointLoad ตัวแปร = new PointLoad(ระยะที่แรงกระทำ, ค่าแรง ,แนวนอน, ค่าแรงแนวตั้ง);

4.2.1.3.2 กรณี Uniform load

UniformLoad ตัวแปร = new UniformLoad(ค่าแรงแนวนอน ,ค่าแรงแนวตั้ง);

4.2.1.4 กำหนดตำแหน่งของ Node โดยอิงตามการพลอตกราฟ (X,Y) โดยให้ Node แรกหรือ Node ที่อยู่ในตำแหน่งซ้ายสุดอยู่ที่พิกัด (0,0) และสร้างคาน

4.2.1.4.1 กำหนดตำแหน่ง Node

Joint Node1 = new Joint(พิกัด X, พิกัด Y, “Node1”);

ควรเป็นพิกัดจุด (0,0)

Joint Node2 = new Joint(พิกัด X, พิกัด Y, “Node2”);

4.2.1.4.2 การสร้างคานที่เชื่อม Node ทั้งสอง

Pcbeam ชื่อคาน = new Pcbeam(Node1, Node2, mat, sect ,น้ำหนักคาน, sdload, liveload);

mat = ตัวแปรที่เก็บค่าคุณสมบัติวัสดุที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้

sect = ตัวแปรที่เก็บค่าคุณสมบัติหน้าตัดที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้

4.2.1.5 ใส่แรงที่กำหนดไว้ว่าให้กระทำกับคานใด

4.2.1.5.1 แรงที่กระทำกับคาน

ชื่อคาน.load(load case, ตัวแปรที่เก็บค่าแรง);

4.2.1.5.2 แรงอัดลวดที่กระทำกับตัวคาน

ชื่อคาน.loadpc(load case, ตัวแปรที่เก็บค่าแรง);

4.2.1.6 กำหนดชนิดของ Support ของแต่ละ Node

ชื่อNode.ชนิด support();

ชนิด support = pinned, rollerX, rollerY, free

4.2.1.7 สั่งให้โปรแกรมคำนวณและแสดงค่าที่ต้องการ

4.2.1.7.1 ค่า Eccentric ของลวดที่ตำแหน่งต่างๆ

ชื่อคาน.interestedpoint();

ตัวอย่าง AB.interstedpoint(5.0); หมายความว่าต้องการหาค่า Eccentric ของลวดที่ตำแหน่ง 5 เมตรของคาน AB จาก support

4.2.1.7.2 หาค่า Losses

Pretension Loss

ชื่อคาน.pretensionloss();

ตัวอย่าง AB.pretensionloss (); หมายความว่าต้องการหาค่า Pretension Loss ของคาน AB

Posttension Loss

ชื่อคาน.posttensionloss();

ตัวอย่าง AB.postensionloss (); หมายความว่าต้องการหาค่า Posttension Loss ของคาน AB

4.2.1.7.3 หาค่า Stress

ชื่อคาน.Stress();

ตัวอย่าง AB.Stress(); หมายความว่าต้องการหาค่า Stress ของคาน AB

4.2.1.7.4 ตรวจสอบค่าแรงเฉือน

ชื่อคาน.Shear();

ตัวอย่าง AB.Shear(); หมายความว่าต้องการตรวจสอบค่าแรงเฉือนของคาน AB

4.2.1.7.5 หาค่า Deflection

ชื่อคาน.Deflection(typemember,P,w);

Typemember = "Flatroofs", "Floor Not Supports"
, "Floor Supports, Damaged by large Deflection"
, "Roof Supports, Damaged by large Deflection"
, "Floor Supports, NotDamaged by large Deflection"
, "Roof Supports, NotDamaged by large Deflection"

ตัวอย่าง AB.Deflection("Flat roof",P,w); หมายความว่าต้องการหาค่า Deflection ของคาน AB และมี Type member คือ Flat roof

4.2.2.1 คำนวณหาค่า Eci และ Ece

การคำนวณหาค่า Eci และ Ece จะถูกแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

- กรณีระบุ Conctype = "normalweight"
- กรณีระบุ Conctype = "lightweight"

4.2.2.2 คำนวณหาค่า A, Ct, Cb, Ia, Ib,Stop และ Sbottom

แบ่งการคำนวณได้ 3 กรณีดังนี้

- หน้าตัดตัวที
- หน้าตัดตัวไอ
- กรณีที่ไม่ใช่หน้าตัดตัวไอและตัวที

4.2.2.3 คำนวณหาค่า Eccentric ของลวดในระยะต่างๆ

แบ่งการคำนวณได้ 2 กรณีดังนี้

- กรณี pctype = "harp" หรือมีการวางลวดแบบ Harp
- กรณี pctype = "drape" หรือมีการวางลวดแบบ Drape

4.2.2.4 คำนวณหาค่า Losses

โดยค่าโมเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

MD = DL * (dx/2) * (L-dx); (DL = Dead load)

MSD = SDL * (dx/2) * (L-dx); (SDL = SDL load)

ML = LL * (dx/2) * (L-dx); (LL = Live load)

- Pre-tension losses จะมี loss ที่เกิดดังนี้

- Elastic Shortening loss
- Creep loss
- Shrinkage loss
- Relaxation

- Post-tension losses จะมี loss ที่เกิดดังนี้

- Elastic Shortening loss
- Friction loss
- Anchorage seating loss
- Creep loss
- Shrinkage loss
- Relaxation

4.2.2.5 การหาค่า Stress

หา Stress ที่หน้าตัดทั้งช่วง transfer และ service โดย แบ่งเป็นหน้าตัด Top และ Bottom

4.2.2.6 การตรวจค่าแรงเฉือน

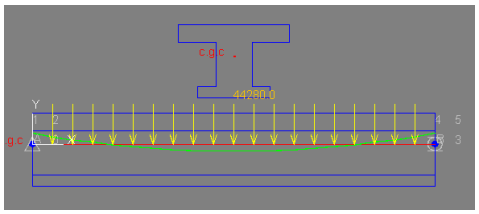
โดย หาค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น และค่าแรงเฉือนที่คานคอนกรีตอัดแรงสามารถรับได้ แล้วจะนำค่าทั้งสองมาเทียบกัน เพื่อที่จะแสดงผลเป็นข้อความว่าควรทำอย่างไหร่กับหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงนี้

4.1.2.7 การหาค่า Deflection

โดย หาค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้นจากแรงต่างๆที่กระทำต่อคานคอนกรีตอัดแรง ทั้งช่วง transfer และ service จากนั้นจะนำค่าการโก่งตัว ไปคำนวณหาค่าการโก่งตัวระยะยาว เพื่อนำไปเทียบกับมาตรฐานของ ACI โดยจะแสดงผลค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้น ในช่วง transfer, service และค่าโก่งตัวสุดท้าย พร้อมกับแสดงข้อความว่าคานโก่งตัวขึ้นหรือลง

4.2.2.8 ปรับปรุงการแสดงผลโครงสร้าง

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงการแสดงผลรูปโครงสร้างให้มีขนาดตามหน้าตัดจริง จากที่ตอนแรกในโปรแกรม JSM ที่เป็นเพียงเส้นตรงธรรมดา โดยโปรแกรมวาดจากค่าคุณสมบัติหน้าตัด



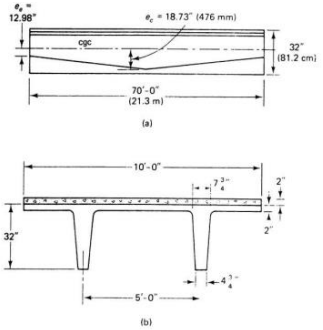
ตัวอย่างการแสดงผลรูปโครงสร้าง

เส้นสีเขียวคือ เส้นลาดภายในคาน

เส้นสีแดงคือ เส้นแสดงตำแหนงจุด c.g.c

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

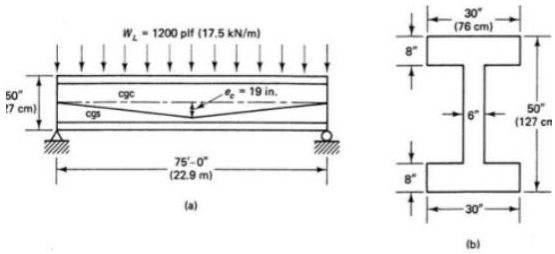
โดยทางผู้วิจัยจะทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมโดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ไปเปรียบเทียบจากการคำนวณจากโจทย์ใน Lecture ในรายวิชา 2101462 Prestressed Concrete Design เพื่อดูว่าค่าที่ได้มีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยมี 3 ตัวอย่างดังต่อไปนี้



รูปตัวอย่างโจทย์คานคอนกรีตอัดแรงที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณโจทย์ตัวอย่างที่ 1 ใน Lecture

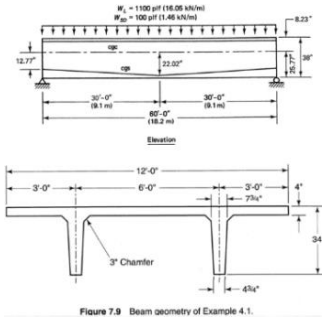
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	การคำนวณด้วยมือ (MPa)	การคำนวณของโปรแกรม (MPa)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
Anchorage seating loss	59.19	59.19	0
Elastic Shortening	0	0	0
Friction loss	105.63	105.80	0.16
Relaxation loss	24.00	24.15	0.63
Creep loss	38.93	39.10	0.44
Shrinkage loss	25.17	25.16	0.04
Steel relaxation loss (at transfer)	27.29	27.44	0.55
Steel relaxation loss (at service)	16.95	17.03	0.47
Total loss	264.43	265.16	0.28



รูปตัวอย่างโจทย์คานคอนกรีตอัดแรงที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณโจทย์ตัวอย่างที่ 2 ใน Lecture

ค่าที่ได้จากการคำนวณ	การคำนวณด้วยมือ (MPa)	การคำนวณของโปรแกรม (MPa)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
Elastic Shortening	66.55	66.20	0.53
Relaxation loss	44.70	44.70	0
Creep loss	90.4	89.81	0.65
Shrinkage loss	32.34	32.28	0.19
Steel relaxation loss (at transfer)	38.75	38.80	0.13
Steel relaxation loss (at service)	20.04	20.17	0.65
increased stress from topping	11.06	11.04	0.18
Total loss	282.52	280.94	0.56



รูปตัวอย่างโจทย์คานคอนกรีตอัดแรงที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณโจทย์ตัวอย่างที่ 3 ใน Lecture

ค่าที่ได้จากการคำนวณ	การคำนวณด้วยมือ (m)	การคำนวณของโปรแกรม (m)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
Total camper at transfer	0.0226 (up)	0.0225 (up)	0.44
Total deflection at service	0.0128 (down)	0.0129 (down)	0.78

จากตารางที่ 1,2 และ 3 พบว่าโปรแกรมของทางผู้วิจัยสามารถคำนวณค่าต่างๆ โดยมีค่าคลาดเคลื่นเฉลี่ยทั้งหมดร้อยละ 0.42

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าโปรแกรมของทางผู้วิจัยต้องเพิ่มในเรื่องของการแสดงผลของโครงสร้างเส้นแสดงเป็นเส้นตรงอย่างเดียว ให้มีรูปตามขนาดและประเภทของหน้าตัดคาน รวมถึงแสดงตำแหน่งของเส้นลวดภายในคาน เพื่อให้ผู้ใช้งานได้เห็นภาพตัวคานของจริงได้มากขึ้น เพิ่มการคำนวณหาค่า losses ของแรงอัดภายในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง เพิ่มการคำนวณเพื่อตรวจสอบค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตอัดแรง และเพิ่มการหาค่าคุณสมบัติของหน้าตัดคานที่ต้องใช้ในการคำนวณ (สำหรับหน้าตัดตัวทีและตัวไอ) เช่น ค่า C_t , C_b และ พื้นที่หน้าตัด เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้งานโปรแกรมไม่ต้องคำนวณค่าต่างๆมาก่อน เมื่อเขียนเสร็จแล้วนำค่าที่แสดงผลออกมาเพื่อไปเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยและหาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวโปรแกรมที่เขียนขึ้นมา และจากที่นำค่าการคำนวณที่ได้มาจากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับกาคำนวณด้วยมือแล้วพบว่ามีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยความเคลื่อนอยู่ที่ร้อย 0.29 สรุปได้ว่าโปรแกรมที่ทางผู้วิจัยเขียนขึ้นมามีประสิทธิภาพ

อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาโปรแกรมและเขียนขึ้นมาในครั้งนี้ ทำให้ทางผู้วิจัยมีโปรแกรมที่จะสามารถวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ตัวโปรแกรมสามารถทำการวิเคราะห์คำนวณหาค่าต่างๆออกมาได้อย่างถูกต้อง สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้งานจริง และยังลดระยะเวลาในการคำนวณทำให้ทั้งได้การวิเคราะห์ที่ถูกต้องและรวดเร็ว จึงทำให้ปริมาณงานที่จะทำมีปริมาณมากขึ้นได้ในระยะเวลาเท่าเดิม นอกจากนี้การวิจัยการพัฒนาโปรแกรมภาษา Java สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ยังทำให้ทางผู้วิจัยได้เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งอาจทำให้สามารถต่อยอดเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างประเภทอื่นต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานทางวิศวกรรมโยธาเล่มนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่ง จาก รศ. ดร. วัฒนชัย สมิทธากร อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยเสนอแนะ ให้ข้อคิดต่างๆซึ่งเป็นการชี้ทางแนวคิด จนสามารถแก้ไขปัญหา ข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น ให้ผ่านไปได้อย่างราบรื่น

ตลอดจนโครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอบกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- JAVA™ PROGRAMING (fifth edition) , Course technology cengage learning
- Computer Graphics for Java Progamers (second edition) , Ammeraal and Zhang
- JSM as a Toolbox for Structural Analysis and Design Applications
- รายวิชา 2101462 Prestressed Concrete Design