โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบบนอินเตอร์เน็ท

PROGRAM FOR ANALYSIS OF PLANAR FRAME ON INTERNET

มนัส กุลตั้งกิจเสรี, สุวิทย์ พัฒนาสุทธินนท์, อภิรัตน์ เลี่ยวชวลิต

นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร.วัฒนชัย สมิทธากร

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ: โครงงานทางวิศวกรรมนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบ และสามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ท โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาคือ ภาษาจาวา วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้คือ วิธีสติฟเนสโดยตรง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ ของที่ปลายแต่ละชิ้นส่วน และ การเคลื่อนที่ของจุดขั้วต่อปลายชิ้นส่วน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะพิจารณาการวิเคราะห์โครงสร้างในแบบสถิตในช่วงอิลาสติกเชิงเส้นของโครงข้อแข็งในระนาบ 2 มิติ โดยผู้ใช้ต้องกำหนดคุณสมบัติและจำนวนของจุดต่อชิ้นส่วน ฐานรองรับ และ แรงที่กระทำต่อโครงสร้างซึ่งได้แก่ แรงกระทำแบบจุด, แรงกระทำกระจายแบบสม่ำเสมอ, แรงกระทำกระจายรูปสามเหลี่ยม และแรงกระทำคู่ควบ เพื่อให้โปรแกรมนำไปคำนวณ จากนั้นจึงแสดงผลลัพธ์ออกมาบนเวบเพจ

ABSTRACT: The project presents the development of a computer program for the analysis of a planar frame. Capable of running through the Internet, the program is written using Java programming language. The method of direct stiffness is employed, and the results are shown for the nodal displacements and member forces. This program is limited at the static analysis of a planar frame in linear-elastic range only. Users must specify number and properties for nodes, elements, supports, and external applied forces, e.g., point load, uniform load, triangular load and couple moment. The results are then computed and shown on the web page.

KEYWORDS: Structural Analysis, Planar Frame, Java Language

1. บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีผู้พัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างโครงข้อแข็งระนาบเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมเหล่านี้ก็ยังมีปัญหา และอุปสรรคในการใช้งานดังนี้

1. ระบบปฏิบัติการที่ต้องใช้ผูกติดกับระบบผู้ผลิต จึงพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้ สามารถทำงานได้บนทุกระบบปฏิบัติการ ซึ่งจะทำให้การทำงานเป็นไปได้โดยสะดวกมากยิ่งขึ้น

2. ปัญหาด้านความสะดวกในการใช้งาน โดยส่วนมากในการใช้งานจะต้องมีโปรแกรมติดตั้งลงไปในเครื่องที่จะต้องใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ท ก็จะทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

3. ราคาแพง โปรแกรมในท้องตลาดมักจะกำหนดราคาของโปรแกรมในลักษณะราคาต่อหน่วยของคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งในองค์กร ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1. ใช้ภาษาจาวาในการเขียนโปรแกรมคำนวณวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบ ด้วยวิธีสติฟเนสโดยตรง ให้สามารถใช้งานได้ผ่านอินเตอร์เน็ท

2. ผลลัพธ์ของโปรแกรม จะแสดงออกมาเป็นรูปภาพทางเรขาคณิตของโครงสร้างพร้อมทั้งแสดงผลของการเคลื่อนที่ของจุดต่อและแรงภายในที่ปลายแต่ละชิ้นส่วน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยวิธีสติฟเนสโดยตรง (Direct Stiffness Method)
2. พิจารณาโครงข้อแข็งที่อยู่ในระนาบ 2 มิติ เท่านั้น
3. น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นแบบ Nodal Force, Point load, Uniform Load, Triangular Load
4. พิจารณาการวิเคราะห์โครงสร้างในแบบ Static Analysis โดยที่ชิ้นส่วนเป็นแบบ Prismatic คือมีค่า E, I, A คงที่
5. พิจารณาการวิเคราะห์โครงสร้างใน ช่วง Elastic เท่านั้น

2. ทฤษฎีที่ใช้

2.1 วิธีสติฟเนสโดยตรง (Direct Stiffness Method)

ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีสติฟเนสโดยตรง จะพิจารณาว่าโครงสร้างที่กำหนด ประกอบขึ้นด้วยชิ้นส่วนต่างๆที่มาต่อกันตรงขั้วต่อ (Node) โดยสมมติว่าแรงที่กระทำนั้นกระทำที่ขั้วต่อเท่านั้น ดังนั้นถ้ามีแรงกระทำระหว่างช่วงความยาวของชิ้นส่วน หรือ ในกรณีที่ต้องการทราบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างช่วงความยาวของชิ้นส่วน ก็ต้องแบ่งชิ้นส่วนนั้นออกไปอีกตรงที่มีแรงมากระทำหรือตรงจุดที่ต้องการทราบค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำบนโครงสร้างกับการเปลี่ยนตำแหน่งในวิธีสติฟเนสอาศัยสัมประสิทธิ์ (Stiffness influence coefficient) ตามสูตร

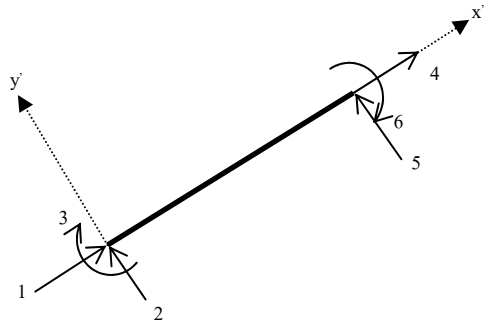
$$[F] = [K]\,[\Delta] \qquad \ldots (1)$$

โดยที่ [F] เป็น แรงที่กระทำภายนอกที่ขั้วต่อ

[Δ] เป็น การเคลื่อนที่ของขั้วต่อ

[K] เป็น สัมประสิทธิ์สติฟเนสของโครงสร้าง (structural stiffness matrix)

2.2 สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วน (Element – Stiffness Matrix)



รูปที่ 1 ระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน

การพิจารณาชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งในรูปที่ 1 นั้น จะมีแรงกระทำที่ปลายขั้ว 3 ชนิด คือ แรงตามแนวแกน (Axial Force), แรงเฉือน (Shear Force) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ในระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายในกับการเปลี่ยนรูปร่างภายในสำหรับชิ้นส่วนใดๆในโครงข้อแข็งระนาบ จะเขียนได้ดังสมการ

$$[q] = [k']\,[\delta] \qquad \ldots (2)$$

โดยที่ [q] เป็น แรงภายในของชิ้นส่วนในระบบพิกัดชิ้นส่วน (Local Coordinate)

[δ] เป็น การเคลื่อนที่ ณ. ปลายชิ้นส่วนภายใต้ระบบพิกัดของชิ้นส่วน (Local Coordinate)

[k'] เป็น สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน (Local Coordinate) ซึ่งหาได้จาก

$$[k'] = \begin{bmatrix} AE/L & 0 & 0 & -AE/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -AE/L & 0 & 0 & AE/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \qquad \ldots (3)$$

2.3 เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Transformation Matrix)

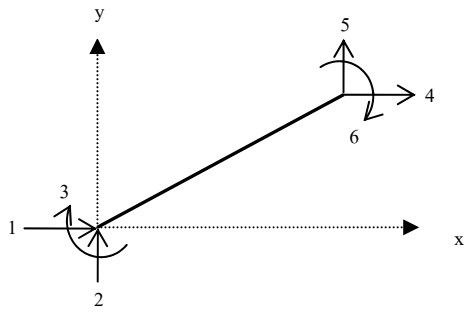
แรงและการเคลื่อนที่ทั้งหมดที่อยู่ในระบบพิกัดของชิ้นส่วน (Local Coordinate) จะต้องทำการแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดโครงสร้าง (Global Coordinate) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยอาศัยเมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Transformation Matrix) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$[\delta] = [T][\Delta] \quad \text{... (4)}$$

โดยที่ $[\delta]$ เป็น การเคลื่อนที่ ณ ปลายชิ้นส่วนภายใต้ระบบพิกัดชิ้นส่วน (Local Coordinate)

$[\Delta]$ เป็น การเคลื่อนที่ ณ ปลายชิ้นส่วนภายใต้ระบบพิกัดของโครงสร้าง (Global Coordinate)

$[T]$ เป็น เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Transformation Matrix)



รูปที่ 2 ระบบแกนพิกัดโครงสร้าง

สำหรับการแปลงสติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วน [k'] จากระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน (Local Coordinate) ให้อยู่ในระบบพิกัดโครงสร้าง (Global Coordinate) นั้น สามารถทำได้ด้วยสมการ

$$[k] = [T]^T[k'][T] \quad \text{… (5)}$$

โดยที่ $[k]$ เป็น สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในระบบพิกัดโครงสร้าง (Global Coordinate)

$[k']$ เป็น สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน (Local Coordinate)

$[T]$ เป็น เมตริกซ์แปลงการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Transformation Matrix)

หลังจากที่ได้สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในระบบแกนพิกัดของโครงสร้าง [k] ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างสติฟเนสเมตริกซ์รวมของโครงสร้าง [K] ซึ่งประกอบด้วยสติฟเนสเมตริกซ์ของส่วนโครงสร้างชิ้นต่างๆนำมารวมกันโดยพิจารณาจากสมดุลยของแรงที่ขั้วต่อ เมื่อสามารถสร้างสติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง [K] ได้แล้ว เมตริกซ์นี้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนตำแหน่ง แรงปฏิกิริยาตลอดจนแรงภายในโครงสร้างได้จากสมการต่างๆเช่น หาการเปลี่ยนตำแหน่งของขั้วต่อและแรงปฏิกิริยาที่ไม่รู้ค่าจากสมการ

$$\begin{bmatrix} \Delta \\ \hline \Delta_u \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} K_{11} & K_{12} \\ \hline K_{21} & K_{22} \end{array}\right]^{-1} \begin{bmatrix} F \\ \hline F_u \end{bmatrix} \quad \text{... (6)}$$

และหาแรงภายในแต่ละชิ้นส่วนที่ไม่รู้ค่าจากสมการ

$$[q_u] = [k'][T][\Delta] \quad \text{... (7)}$$

โดยที่ $[\Delta_u]$ เป็น การเคลื่อนที่ ณ ปลายชิ้นส่วนภายใต้ระบบพิกัดของโครงสร้าง (Global Coordinate) ที่ไม่ทราบค่า

$[F_u]$ เป็น แรงที่กระทำภายนอกที่ขั้วต่อที่ไม่ทราบค่า

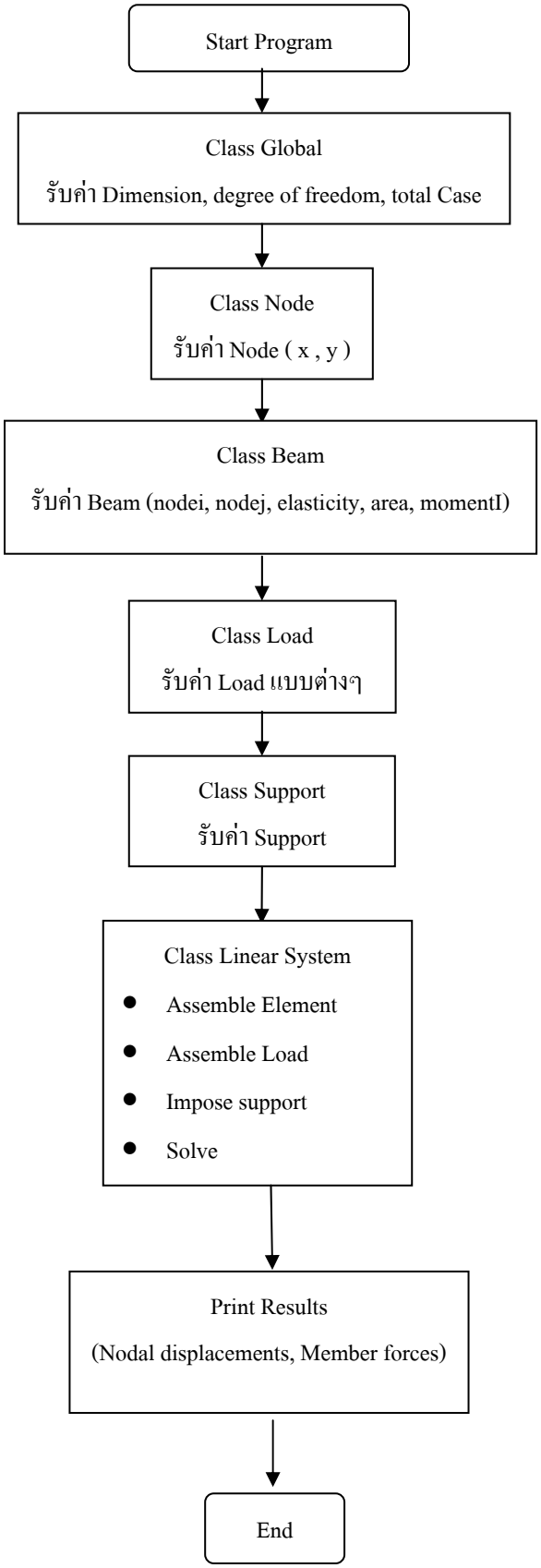
$[q_u]$ เป็น แรงกระทำภายในระบบแกนพิกัดของชิ้นส่วน (Local Coordinate) ที่ไม่ทราบค่า

3. ขั้นตอนการคำนวณ

โปรแกรมการวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบในโครงงานนี้ ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาจาวา ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) โดยโครงสร้างหลักของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยคลาส (class) และภายในแต่ละคลาสจะประกอบไปด้วยสมาชิกที่เป็นข้อมูล (data) และฟังก์ชั่น (method)

จุดเริ่มต้นของการทำงานของโปรแกรม เริ่มที่คลาสหลัก ซึ่งเป็นคลาสเริ่มต้นที่ถูกโหลดเข้ามาเพื่อทำงาน ส่วนคลาสย่อยอื่นๆ จะถูกโหลดเข้ามาเมื่อมีการอ้างถึง ขณะที่โปรแกรมกำลังทำงาน และฟังก์ชั่นต่างๆภายในคลาสที่จะถูกเรียกมาเพื่อ

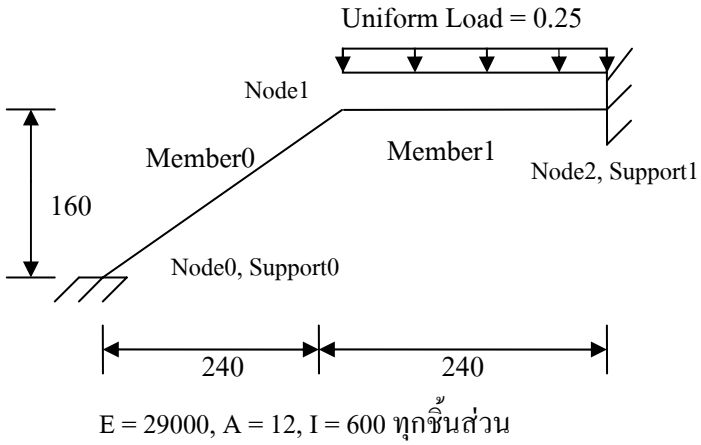
ทำงานต่างๆโดยโปรแกรมหลักในโครงงานนี้ จะมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมหลัก

4. ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรม

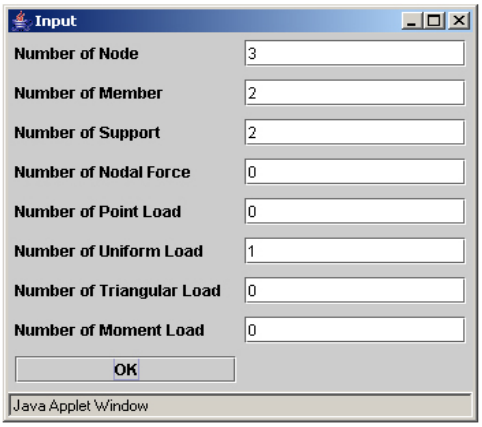
ในที่นี้จะแสดงวิธีการใช้โปรแกรม โดยอาศัยปัญหาตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4



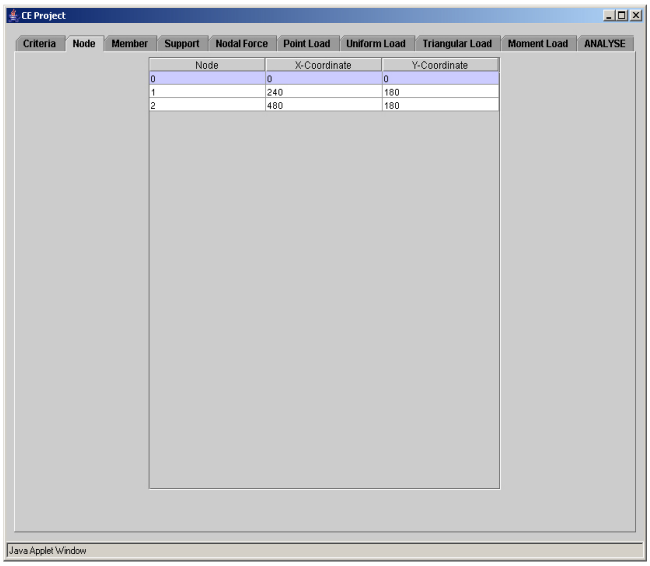
E = 29000, A = 12, I = 600 ทุกชิ้นส่วน

รูปที่ 4 ปัญหาตัวอย่าง

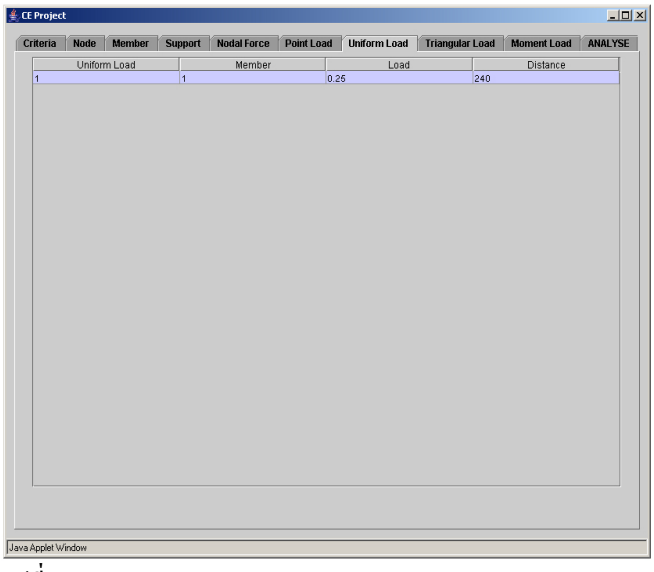
1. กรอบ Input สำหรับป้อนค่าจำนวนของNode, Member, Support และ Load ชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5
2. กรอบ Node สำหรับป้อนค่าตำแหน่งพิกัดของจุดต่อในแกน X และ Y ดังแสดงในรูปที่ 6
3. กรอบ Member โดยใส่ค่าNodeเริ่มต้น, Nodeปลาย, Elastic Modulus, พื้นที่หน้าตัด และ Moment of Inertia ของแต่ละMemberลงในช่องของตาราง ดังในรูปที่ 7
4. กรอบ Support สำหรับใส่ตำแหน่งSupportที่Nodeใดๆและกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวแกนใดๆ ดังในรูปที่ 8
5. กรอบ Load กำหนดMember ที่ Load กระทำรวมทั้งขนาดและทิศทางของ Load ดังในรูปที่ 9
6. Analyse เลือกปุ่ม Analyseเพื่อวิเคราะห์ผล ดังในรูปที่ 10
7. Output กดปุ่มShow Result เพื่อแสดงผลลัพธ์บนWeb Page ดังในรูปที่ 11



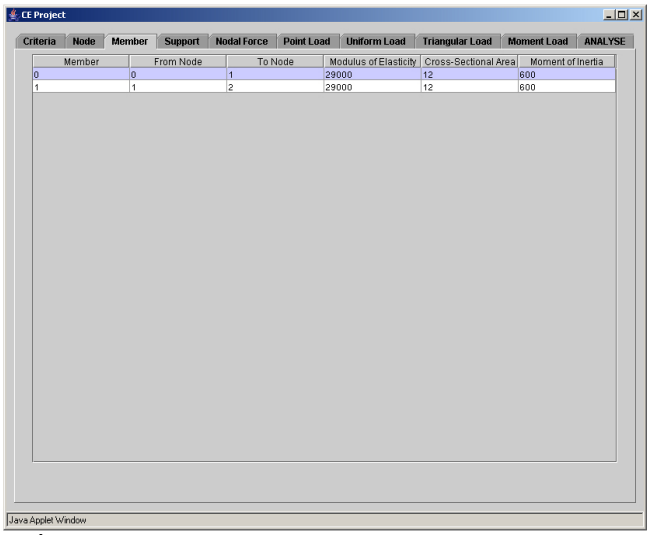
รูปที่ 5 กรอบ Input



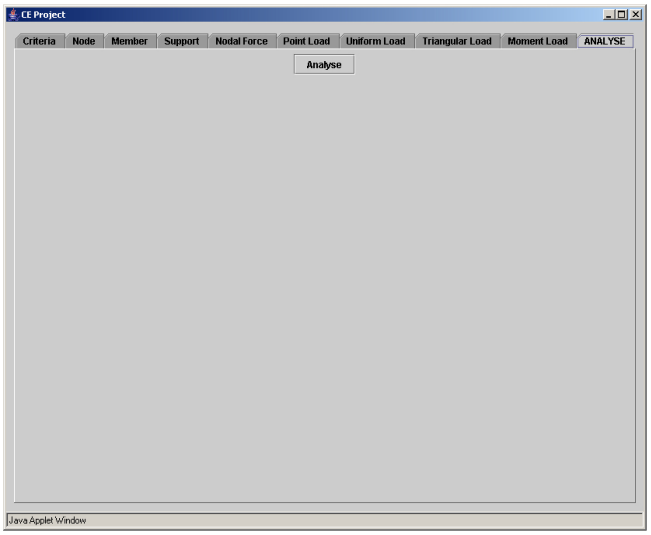
รูปที่ 6 กรอบ Node



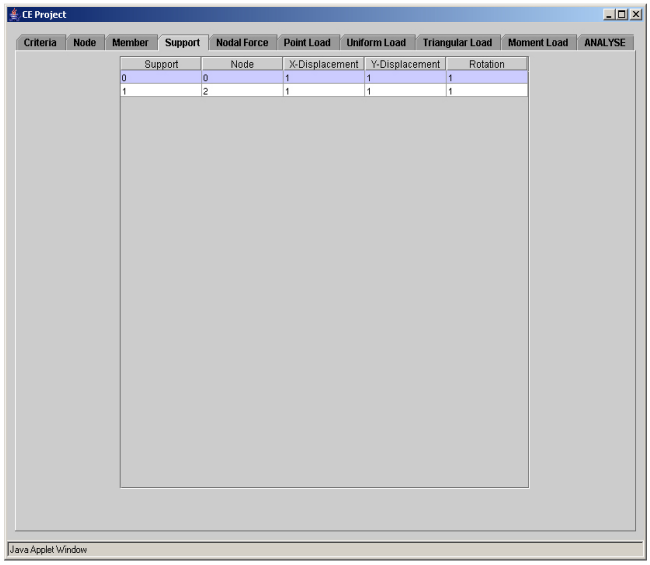
รูปที่ 9 กรอบ Load



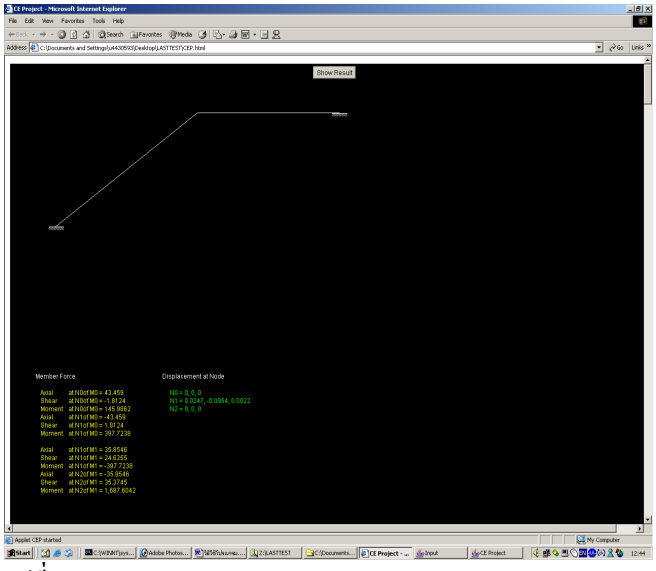
รูปที่ 7 กรอบ Member



รูปที่ 10 กรอบ Analyse



รูปที่ 8 กรอบ Support



รูปที่ 11 เวบเพจแสดง Result

5. บทสรุป

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในโครงงานนี้ ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบบนอินเตอร์เน็ท ซึ่งพัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวาให้สามารถประมวลผลได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ท ซึ่งผู้ใช้สามารถคำนวณหา แรงตามแนวแกน แรงเฉือน โมเมนต์ดัด และ การเคลื่อนที่ของจุดปลายชิ้นส่วนต่างๆได้ ในการวิเคราะห์โปรแกรมนั้น ผู้ใช้จะต้องป้อนค่าพิกัดจุดต่อของโครงสร้าง ป้อนคุณสมบัติของแต่ละชิ้นส่วน ป้อนตำแหน่งของฐานรองรับและกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวแกนใดๆ ป้อนแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการคำนวณแล้วแสดงผลลัพธ์ออกทางเวบเพจเป็นรูปภาพทางเรขาคณิตของโครงสร้างนั้น พร้อมกับแสดงค่าการเคลื่อนที่ของจุดต่อและแรงภายในที่ปลายของแต่ละชิ้นส่วน

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้งานได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ทจึงสะดวกต่อการใช้งานและสามารถใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการทุกระบบ ดังนั้นบุคคลทั่วไปจึงสามารถที่จะใช้โปรแกรมนี้ผ่านทางอินเตอร์เน็ทโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานวิศวกรรมโยธาครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อ.ดร.วัฒนชัย สมิทธากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนวทางในการทำโครงงานอย่างดียิ่งตลอดมา พร้อมกันนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร. วีระศักดิ์ ซื่งถาวร : การฝึกเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาจาวา, SE-ED BOOK

[2] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล: การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาจาวา เล่มที่ 1, K T P C O M P & C O N S U L T

[3] ณัฐดนัย สุขรัตน์: การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาจาวา เล่มที่ 2, KTP COMP & CONSULT

[4] วินิต ช่อวิเชียร: การวิเคราะห์โครงสร้าง พ.ศ.2544

[5] Aslam.kassimali: Structural Analysis; Second Edition, Brooks, 1999

[6] A.Ghali, A.M.Neville and T.G.Brown: Structural Analysis; A Unified Classical and Matrix Approach, McGraw-Hill, 2003

[7] John L. Meek: Matrix Structural Analysis, McGraw-Hill, 1971

[8] C.MARTIN: Introduction to Matrix Method of Structural Analysis, MC GRAW-HILL Book Company, 1966

[9] HAROLD I.LAVRSEN, MC GRAW HILL: Structural Analysis; Third Edition, McGraw-Hill, 1988