โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอน

นาย อลงกรณ์ ละม่อม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-7359-85-5

Structural Analysis Program For Education

Mr. Alongkorn Lamom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2000

ISBN 974-7359-85-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์
โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอน

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.อำนาจ อภิชาติวัลลภ)
กรรมการ/หัวหน้าสาขา

(อ.ดร.ทนงศักดิ์ พิสาลสิน)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ศรีกริช หิรัญมาศ)
กรรมการ

(รศ.ดร.เกษม ปราบริปูตลุง)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ.ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์)
คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อลงกรณ์ ละม่อม : การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอน (Structural Analysis Program For Education)
อ. ที่ปรึกษา: ดร.ทนงศักดิ์ พิสาลสิน
ISBN 974-7359-85-5

ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ศึกษาต้องเข้าใจหลักการทำงานของโปรแกรมเพื่อที่จะสามารถเรียนรู้กระบวนการและตรวจสอบผลที่ได้ด้วยตนเอง โปรแกรมส่วนใหญ่จะใช้วิธีเมตริกสติฟเนสตรง (direct stiffness matrix) ซึ่งมีคำนวณซับซ้อนหลายขั้นตอน โปรแกรมทั่วไปจะมุ่งแสดงเฉพาะผลลัพธ์สุดท้ายเพื่อไปใช้ออกแบบ ไม่เอื้อสำหรับผู้ศึกษาที่ต้องคำนวณตามขั้นตอน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมช่วยเพื่อการเรียนการสอน (computer-assisted instruction - CAI) สำหรับการศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้าง (structural analysis) ชื่อ SUTStructor เพื่อให้ผู้ศึกษาใช้เสมือนผู้ชี้แนะ (mentor) ที่สามารถแสดงขั้นตอนระหว่างกลาง (intermediate results) และผลลัพท์ของขั้นตอนการคำนวณในรูปแบบของกราฟฟิกและในรูปแบบของตารางได้

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน (2D frame/truss) มีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) ในรูปแบบของกราฟฟิก สามารถแสดงผลการป้อนข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ป้อนได้ทันที สามารถแสดงเมตริกที่ใช้ระหว่างการคำนวณ เพื่อให้นักศึกษาใช้ตรวจสอบการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยมือ สามารถแสดงแผนภาพแรงดัด (bending-moment diagram) แรงเฉือน (shear-force diagram) แรงตามแนวแกน (axial-force diagram) และแรงปฏิกิริยา (reactions) สามารถหาจุดดัดกลับ (point of inflection) รวมทั้งแสดงภาพการแอ่นตัว (deflected shape) ของโครงสร้างเมื่อถูกแรงกระทำในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว (animation) ได้ สามารถวิเคราะห์ได้หลายโครงสร้างในแผ่นงานเดียวกัน และสามารถวิเคราะห์โครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุนได้ สามารถแสดงผลลัพธ์สุดท้ายของแต่ละองค์อาคารในรูปแบบของตารางและจัดเรียงตามค่าสูงสุดได้ สามารถวิเคราะห์ที่รองรับแบบเอียง (inclined supports) และวิเคราะห์โครงสร้างที่มีองค์อาคารที่สั้นเกินหรือยาวเกินกว่าที่ออกแบบ (fabrication error) ได้ นอกจากนี้โปรแกรมยังออกแบบมาให้สามารถจัดเก็บงานที่วิเคราะห์แล้วรวบรวมในรูปแบบที่เหมือนกับคู่มือ (handbook) ซึ่งสามารถพลิกเปิดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดตั้งต้นให้แนวทางในการวิเคราะห์โครงสร้างที่ต้องการได้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____
ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ALONGKORN LAMOM: STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM FOR EDUCATION

THESIS ADVISOR: Dr. TANONGSAK BISARNSIN

ISBN 974-7359-85-5

The use of computer program for the analysis and design of structures is becoming more and more widespread. Most computer programs employ the direct stiffness matrix method to analyze forces and deflection in structures. Since the calculation is very lengthy and complicated all programs to date only show the final results, which does not help the students to understand. To overcome this problem the author develops a computer-assisted instruction (CAI) program "SUTStructor" to mentor students in learning structural analysis.

The program analyzes two dimensional frame/truss. It has the abilities to display graphically the following:

- Structure, member properties and loads
- Reactions
- Bending moment, shear force and axial force diagrams
- Deflection and point of inflection

The program can analyze several structures simultaneously and display the results on the same page with graphical animation. It can analyze frame, truss, or combined frame and truss structures. It can display and sort final results in order of magnitude. It can handle inclined supports and members that are shorter or longer than designed. The program can compile problems in the form of handbook to assist students' learning.

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

- ดร. ทนงศักดิ์ พิสาลสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
- รศ.ดร. อำนาจ อภิชาติวัลลภ, ผศ.ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ, ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช อาจาย์ผู้ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และ ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีแก้ข้อผิดพลาดของโปรแกรม
- คุณ สมควร เสาร์สายออ ผู้ช่วยทดสอบโปรแกรมและให้คำแนะนำ
- คุณ ปัญญา นิยมทอง ผู้ช่วยเอื้อเฟื้อเครื่องให้ทดสอบโปรแกรม
- คุณ วิเชียร พิริยะพงศธร พี่ชาย ผู้ช่วยเหลือ เครื่องเขียนคอมแพคดิส
- ผู้ร่วมทดสอบโปรแกรมและให้คำชี้แนะทุกท่าน

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิต

อลงกรณ์ ละม่อม

สารบัญ

หน้า

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ก

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ข

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ค

กิตติกรรมประกาศ ง

สารบัญ จ

คำอธิบายศัพท์ ช

บทนำ 1

- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
- วัตถุประสงค์การพัฒนา 2
- ขอบเขตของการพัฒนา 2
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
- ระบบพื้นฐานที่ใช้ทำงานกับโปรแกรม 3

ผลงานที่เกี่ยวข้อง 4

- ที่มาของชื่อ SUTStructor 4
- ผลงานที่เกี่ยวข้อง 4
- วิธีที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้าง 7
- วิธีที่ SUTStructor ใช้ในการวิเคราะห์ 8
- สมการวิธีสติฟเนสตรง 8
- ขั้นตอนการพัฒนา 9
- โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม SUTStructor 10

การพัฒนาโปรแกรม 11

- ความเป็นมาของการพัฒนา 11
- ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธี เมตริก สติฟเนสตรง 11
- โครงสร้างของโปรแกรม SUTStructor 14

- แนวทางในการพัฒนาต่อ 20

ผลการพัฒนาโปรแกรม 21

- ลักษณะเด่นโปรแกรม 21
- รูปแบบโปรแกรม 22
- ตรวจสอบความถูกต้องโปรแกรม 23
- ผลการทดสอบกับผู้ใช้ 28

การประยุกต์โปรแกรมสำหรับประกอบการเรียนรู้ด้วยตนเอง 30

- ขั้นตอนการคำนวณด้วยมือ 30
- ประยุกต์โปรแกรมใช้ตรวจสอบการคำนวณด้วยมือ 31

บทสรุป 53

- ความสามารถใหม่ที่แตกต่างจากโปรแกรมอื่น 53
- สรุป 54
- ข้อจำกัด 54
- ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ 55

ภาคผนวก 55

- คำอธิบายศัพท์ 56
- ประวัติ 58
- เอกสารอ้างอิง 59
- คู่มือการใช้งาน 60

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานทางด้านวิศวกรรมโยธา งานออกแบบโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การคำนวณแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อองค์ประกอบของโครงสร้าง และ (2) การเลือกวัสดุและขนาดที่เหมาะสมขององค์ประกอบ ในส่วนแรก ถ้าโครงสร้างมีหลายองค์อาคาร (member) และเป็นโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนตทางสถิต (statically indeterminate) หากวิเคราะห์ด้วยมือก็จะมีขั้นตอนการคำนวณหลายขั้นตอน ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากแต่ละขั้นตอน ส่งผลกระทบให้งานส่วนอื่นเกิดความเสียหาย ปัจจุบันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดความยุ่งยากในการคำนวณจึงได้มีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการทำงานด้านวิเคราะห์โครงสร้างอย่างแพร่หลาย

ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาจะต้องเรียนรู้ และเข้าใจหลักการพื้นฐานในการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์โครงสร้างโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบบ 2 มิติสำหรับ โครงข้อแข็ง / โครงข้อหมุน (2D frame / truss) นั้นจะใช้หลักการ เมตริกสติฟเนสตรง (direct stiffness matrix) ซึ่งเหมาะกับการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพราะรูปแบบการคำนวณจะจัดให้อยู่ในรูปของ เมตริก ที่สามารถเขียนขั้นตอนวิธี (algorithm) และแก้ปัญหาเชิงตัวเลขได้ง่าย

ในการทำความเข้าใจนั้นนักศึกษาจะต้องทำแบบฝึกหัด โดยการคำนวณด้วยมือหรือเครื่องคิดเลข เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหลักการทำงาน และถ้าใช้วิธีเมตริกสติฟเนสตรงนี้ จะมีการคำนวณตัวเลขเป็นจำนวนมาก หากต้องการตรวจสอบคำตอบ โปรแกรมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันก็ไม่แสดงค่าที่ใช้อยู่ในขั้นตอนต่างๆ แต่จะแสดงผลลัพธ์สุดท้ายเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบว่าการคำนวณด้วยมือผิดที่ขั้นตอนใด ถ้ามีโปรแกรมที่สามารถแสดงคำตอบที่ขั้นตอนต่างๆ ทำหน้าที่เสมือนผู้ชี้แนะ (mentor) วิธีคำนวณ และสาธิตการคำนวณ ก็จะเป็นการเพิ่มทางเลือกทางการเรียนให้นักศึกษาได้ทดลองเรียนรู้ได้อีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมที่สามารถใช้อ้างอิงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์โครงสร้าง ที่จะสามารถแสดงผลระหว่างขั้นตอนการวิเคราะห์ และสามารถเลือกดูรายละเอียดแต่ละส่วนของการคำนวณแบบทันทีทันใด พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์สุดท้ายออกมา และมีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) ที่ง่ายต่อการเรียนรู้และการนำไปใช้งาน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการอ้างอิงการวิเคราะห์และสามารถตรวจสอบกระบวนการคิดของผู้เรียนด้วยตัวเองได้โดยเปรียบเทียบกับผลที่แสดงออกมาจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำให้นักศึกษาได้เรียนรู้วิธีการวิเคราะห์แบบ สติฟเนสตรง เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการใช้งานจริง

หรือสำหรับวิศวกรที่ต้องการจะหาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ โครง / โครงข้อหมุน เพื่อนำไปออกแบบ ผู้วิจัยจึงได้คิดพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอนขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์การพัฒนา

เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ ที่สามารถแสดงผลลัพธ์ระหว่างการวิเคราะห์ และผลลัพธ์สุดท้าย เพื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาการวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยวิธีสติฟเนสตรง

1.3 ขอบเขตของการพัฒนา

งานวิจัยนี้จะพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน ใช้หลักการวิธีสติฟเนสตรง ซึ่งง่ายสำหรับการเขียนขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์ ให้สามารถคำนวณโจทย์พื้นฐานแสดงผลการคำนวณในทุกขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. สามารถรับข้อมูลเข้าแบบกราฟฟิกโดยการใช้เมาส์ (mouse) เป็นหลัก และแสดงผลข้อมูลในแบบกราฟฟิกได้ โดยมีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) ที่ง่ายต่อการเรียนรู้ เหมาะแก่การนำไปใช้ในการเรียนการสอน
2. สามารถแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์และเขียนแผนภาพ (ผลลัพธ์สุดท้าย)
   - แรงกระทำที่จุดต่างๆ บนองค์อาคาร ซึ่งประกอบด้วย น้ำหนักบรรทุก (loads) และแรงปฏิกิริยา (reaction)
   - แผนภาพแรงตามแนวแกน (axial force diagram)
   - แผนภาพแรงตามเฉือน (shear force diagram)
   - แผนภาพแรงดัด (bending-moment diagram)
   - ภาพการแอ่นตัวของโครงสร้าง (deflectioncurve)
3. สามารถแสดงค่าที่ใช้ในระหว่างการวิเคราะห์โครงสร้าง (ผลลัพธ์ระหว่างกลาง)
   - หมายเลขกำกับตำแหน่ง (number position)
   - เมตริกแปลง (transformation matrix) [T]
   - สติฟเนสเมตริกของแต่ละชิ้นส่วน (local stiffness matrix) [k]
   - สติฟเนสเมตริกรวม (global stiffness matrix) [K]
   - เมตริกปลายยึดแน่นของแต่ละชิ้นส่วน (local fixed-end matrix) [f]

- เมตริกปลายยึดแน่นรวม (global fixed-end matrix) [F]
- เมตริกแรงเทียบเท่า (equivalent force) [Q]
- เมตริกการแอ่นตัว (displacement matrix) [D]

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะสามารถวิเคราะห์โครงสร้างแบบ 2 มิติ โครงข้อแข็ง / โครงข้อหมุน สามารถคำนวณและแสดงผลลัพธ์ที่อยู่ระหว่างขั้นตอนของการคำนวณและผลลัพธ์สุดท้ายได้ และมีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ที่เข้าใจง่าย เหมาะสำหรับนักศึกษาและอาจารย์นำมาใช้เสริมการเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์โครงสร้าง สามารถนำไปใช้วิเคราะห์อ้างอิงตรวจสอบการคำนวณโครงสร้างสำหรับวิศวกร รวมทั้งมีรหัสต้นฉบับ (source code) ให้นักวิจัยพัฒนาสามารถนำไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.5 ระบบพื้นฐานที่ใช้ทำงานกับโปรแกรม

โปรแกรม SUTStructor สามารถใช้งานได้กับระบบที่สูงกว่าหรือเทียบเท่าระบบต่อไปนี้

Windows 95 OSR2 และ Windows 98

- Intel 80486DX/66 processor หรือเทียบเท่า (แนะนำ Intel Pentium 150 MHz)
- หน่วยความจำหลัก 32 MB (แนะนำ 64 MB)
- พื้นที่ว่างใน Hard disk 50 MB

Windows Me

- Intel Pentium 150 MHz processor หรือเทียบเท่า
- หน่วยความจำหลัก 32 MB (แนะนำ 64 MB)
- พื้นที่ว่างใน Hard disk 50 MB

Windows 2000 Professional/XP

- Intel Pentium 133 MHz processor หรือเทียบเท่า
- หน่วยความจำหลัก 64 MB
- พื้นที่ว่างใน Hard disk 50 MB

บทที่ 2
ผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่มาของชื่อ SUTStructor

โปรแกรม SUTStructor ได้รับการตั้งชื่อจากอาจารย์ ดร. ทนงศักดิ์ พิสาลสิน และ อาจารย์ ผศ.ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ โดยประกอบด้วยคำหลัก 3 คำ คือ

1. SUT (SUT) ชื่อย่อของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี (Suranaree University of Technology) ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่
2. Structure (Struc) หมายถึงโปรแกรมพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในงานวิเคราะห์โครงสร้าง
3. Mentor (tor) หมายถึงผู้ชี้แนะ ซึ่งโปรแกรมจะออกแบบให้ผู้เรียนสามารถใช้ SUTStructor เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถหาคำตอบจากโจทย์ด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้นักศึกษาเกิดการเรียนรู้จากการสังเกต โดยใช้โปรแกรม SUTStructor เป็นเครื่องมือช่วย

เมื่อนำคำทั้ง 3 มารวมกัน ความหมายโดยรวมของ SUTStructor คือ โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยเสริมการเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์โครงสร้าง ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ผลิตออกมามากมาย แต่โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติที่มีอยู่ ก็ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ดีเพียงพอเนื่องจากไม่แสดงผลลัพธ์ระหว่างขั้นตอน ซึ่งสาเหตุที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่หันมาใช้โปรแกรมแทนการคำนวณด้วยมือนั้นคือ ผู้ใช้ต้องการลดกระบวนการที่ยุ่งยากและต้องใช้เวลามากในการคำนวณด้วยมือ ดังนั้นโปรแกรมที่จะตอบสนองความต้องการผู้ใช้ที่เป็นนักศึกษา อาจารย์ได้ดีนั้น จะต้องเป็นโปรแกรมที่เรียนรู้การใช้งานง่าย มีเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการป้อนข้อมูลและแสดงผล และสามารถทำงานทดแทนงานที่คำนวณด้วยมือได้ ผู้วิจัยจึงคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติขึ้นมา โดยนำข้อดีข้อเสียของโปรแกรมระดับแนวหน้าที่พัฒนามาก่อนหน้านี้ มาวิเคราะห์ปรับปรุง และพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างขึ้นมาใหม่เป็น SUTStructor เพื่อเป็นโปรแกรมสำหรับช่วยการเรียน (computer-aided instruction) โดยเฉพาะ

ผลงานโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ ในที่อยู่ในระดับแนวหน้า ที่ผู้วิจัยได้นำมาอ้างอิงเป็นต้นแบบ เพื่อใช้ในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) ของ SUTStructor ได้แก่โปรแกรม Dr. Frame (รูปที่ 1) ของ Dr. Software โปรแกรม GRASP (รูปที่ 2) ของ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) โปรแกรม CMEStacker (รูปที่ 3) ของ United States Military Academy West Pointโปรแกรม WinBeam (รูปที่ 4) ของ David Hesse โดยแต่ละโปรแกรมมีข้อดีข้อเสียดังต่อไปนี้

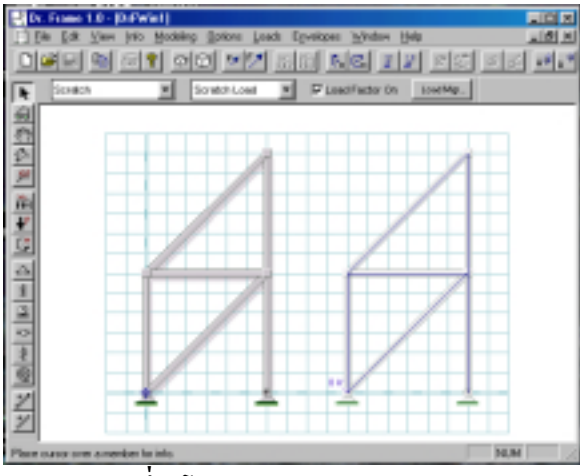
โปรแกรม Dr. Frame [Dr. Software (1997)] มีข้อดีคือมีกราฟฟิกที่สวยงาม ทำงานได้อย่างรวดเร็วสามารถแสดงผลลัพธ์ได้แบบทันทีทันใด มีตัวช่วยสร้างโครงสร้างหลายรูปแบบ เช่น โครงข้อแข็ง โครงข้อหมุน คาน แต่ไม่สามารถแสดงค่าผลลัพธ์ระหว่างขั้นตอนการคำนวณได้ และหน้าจอใช้งานขนาดเล็ก การทำงานเป็นแบบอัตโนมัติมากเกินไปจนบางครั้งกลายเป็นสร้างความยุ่งยากในการใช้งาน ไม่สามารถแสดงผลลัพธ์เป็นตารางได้ จุดน่าสนใจที่นำมาปรับปรุงพัฒนาโปรแกรม SUTStructor คือรูปแบบการแสดงกราฟฟิกขององค์อาคารและที่รองรับที่สวยงาม สามารถวิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งและโครงข้อหมุนได้พร้อมกัน ซึ่งใน SUTStructor ได้นำมาปรับปรุงให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็งได้พร้อมกันด้วย รูปแบบการใส่ที่รองรับของโปรแกรม Dr. Frame ที่ง่ายก็ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรม SUTStructor

โปรแกรม GRASP [Abdul Rauf (1997)] มีจุดเด่นที่ส่วนติดต่อกับผู้ที่สามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว สามารถแสดงผลลัพธ์สุดท้ายได้ครบถ้วน มีการป้อนข้อมูลและแสดงผลแบบกราฟฟิก สามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของตารางได้ ส่วนจุดด้อยคือไม่สามารถแสดงค่าผลลัพธ์ระหว่างขั้นตอนการคำนวณ ในส่วนของการสั่งให้แสดงผลลัพธ์มีขั้นตอนเกินความจำเป็น เช่น ต้องกดคำนวณก่อนจึงสามารถให้แสดงแผนภาพได้ และยังมีคำสั่งที่อำนวยความสะดวกในการป้อนข้อมูลไม่ครบถ้วน ไม่สามารถคำนวณโครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน ไม่สามารถคำนวณที่รองรับแบบเอียง ไม่สามารถแสดงภาพการทรุดตัวเมื่อมีการใส่ค่าการทรุดตัวที่ที่รองรับ จุดที่น่าสนใจของโปรแกรมคือรูปแบบการป้อนข้อมูลที่เป็นระบบ ง่ายต่อการเรียนรู้ ซึ่งได้ถูกนำมาปรับปรุงและพัฒนาขึ้นเป็นส่วนรับข้อมูล และแสดงผลของโปรแกรม SUTStructor

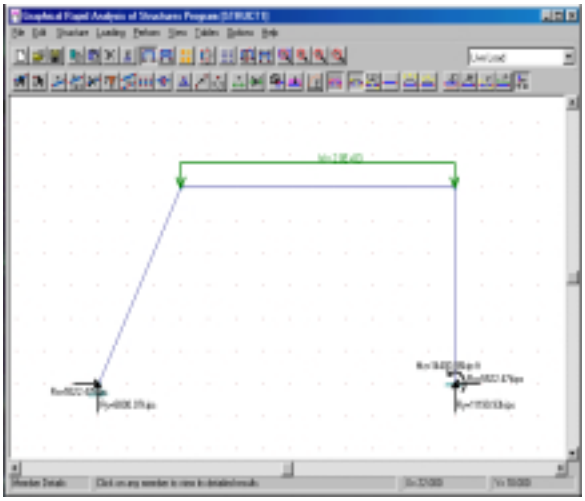
โปรแกรม [CMEStacker United States Military Academy West Point (1997)] มีจุดเด่นคือสามารถแสดงค่า สติฟเนสเมตริกได้ ตัวโปรแกรมมีขนาดเล็ก แต่มีจุดด้อยคือการป้อนข้อมูลเป็นแบบข้อความ ทำให้ใช้เวลามากในการป้อนข้อมูล และไม่สามารถเขียนแผนภาพแรง จุดที่น่าสนใจของโปรแกรมนี้คือการแสดงเมตริกออกมาในรูปแบบตารางซึ่งได้ถูกนำมาปรับปรุงและพัฒนาขึ้นเป็นส่วนแสดงผลลัพธ์ระหว่างกลางของโปรแกรม SUTStructor

โปรแกรม Winbeam [David Hesse (1998)] มีจุดเด่นคือสามารถแสดงแผนภาพได้พร้อมกัน แสดงผลลัพธ์แบบกราฟฟิก แต่มีจุดด้อยคือ ต้องป้อนข้อมูลแบบข้อความ สามารถคำนวณได้เฉพาะโครงสร้างคานเท่านั้น แผนภาพที่แสดงพร้อมกันจะแสดงทับกันอยู่บนองค์อาคารทำให้ยากในการอ่านค่า จุดที่น่าสนใจของโปรแกรมนี้อยู่ที่การแสดงแผนภาพแรงต่างๆ ได้พร้อมกัน ซึ่งจุดนี้ได้ถูกนำมาปรับปรุงและพัฒนาเป็นส่วนแสดงผลแผนภาพแรง ทั้งหมดพร้อมกันของโปรแกรม SUTStructor

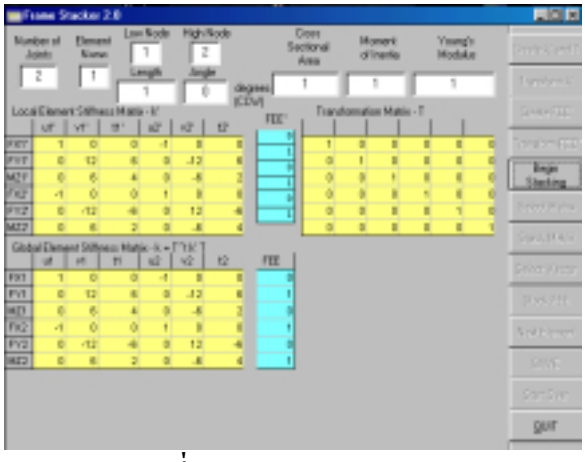
โปรแกรมที่เหมาะกับการเรียนการสอนควรจะเป็นโปรแกรมที่นักศึกษาสามารถเรียนรู้วิธีใช้ได้รวดเร็ว มีหน้าตาที่ชวนให้ใช้งาน มีการป้อนข้อมูลง่าย (intuitive) เห็นได้จากโปรแกรมที่ประสบความสำเร็จส่วนใหญ่จะเป็นโปรแกรมที่มีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ดูเป็นธรรมชาติ โปรแกรมที่กล่าวมาต่างมีข้อดีในแต่ละด้าน หากนำข้อดีของแต่ละโปรแกรมมารวมกันและเพิ่มเติมจุดเด่นอีกบางส่วน ก็ได้โปรแกรมที่เหมาะแก่การใช้เสริมการเรียนการสอน



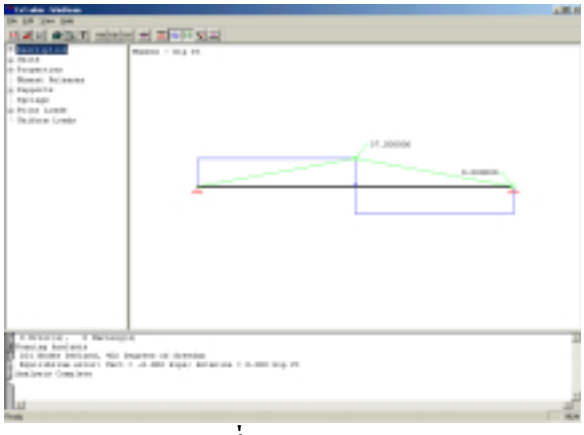
รูปที่ 1 โปรแกรม Dr. Frame



รูปที่ 2 GRASP



รูปที่ 3 CMEStacker



รูปที่ 4 WinBeam

2.3 วิธีที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้าง

วิธีวิเคราะห์โครงสร้างมีหลายวิธี แต่วิธีหลักที่นำใช้ในการเรียนการสอนในปัจจุบันมีดังนี้

1. การวิเคราะห์โดยใช้สมการสมดุล เป็นวิธีพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้าง สามารถเรียนรู้วิธีการวิเคราะห์ได้ง่าย แต่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้เฉพาะโครงสร้างที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างไม่เกิน 3 ตัว
2. การวิเคราะห์โดยวิธีแรง (force method) เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างเกิน 3 ตัวได้ เหมาะกับการวิเคราะห์โครงสร้างขนาดเล็กที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างไม่เกิน 4 ตัวด้วยมือ แต่เมื่อใช้ในการคำนวณโครงสร้างที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างมากกว่า 4 ตัวจะยุ่งยากมาก

3. การวิเคราะห์โดยวิธี moment distribution เป็นวิธีวิเคราะห์โครงสร้างด้วยมือที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างเกิน 3 ตัวได้ และสามารถช่วยลดเวลาการคำนวณด้วยมือสำหรับโครงสร้างที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างเกินกว่า 3 ตัวได้มากเมื่อเทียบกับวิธีการคำนวณมืออื่น แต่มีจุดด้อยคือค่าที่ได้เป็นค่าโดยประมาณ
4. การวิเคราะห์โดยวิธี เมตริกสติฟเนสตรง เป็นวิธีวิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้าง ที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างเกิน 3 ตัวได้ มีการจัดรูปแบบการวิเคราะห์เป็นระบบ แต่ไม่เหมาะกับการคำนวณด้วยมือ เนื่องจากมีหลายกระบวนการในการวิเคราะห์ แต่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์เพราะมีรูปแบบการวิเคราะห์ที่จัดเป็นระบบ

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า วิธีการเมตริกสติฟเนสตรง มีจุดด้อยคือมีการคำนวณหลายขั้นตอน ซึ่งไม่เหมาะกับการคำนวณด้วยมือ แต่เหมาะกับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถทำงานที่เป็นระบบซ้ำ ๆ กระบวนการเดิมได้อย่างรวดเร็ว วิธีเมตริกสติฟเนสตรงจึงเป็นวิธีที่โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างส่วนใหญ่นำมาใช้ในส่วนประมวลผลของโปรแกรม เพราะเขียนขั้นตอนวิธี ได้ง่ายและยังสามารถวิเคราะห์โครงที่มีแรงปฏิกิริยาไม่ทราบค่าในโครงสร้างเกิน 3 ตัวได้อีกด้วย

2.4 วิธีที่ SUTStructor ใช้ในการวิเคราะห์

SUTStructor ใช้วิธีสติฟเนสตรงซึ่งง่ายในการเขียนขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์โครงสร้าง วิธีนี้จะจัดข้อมูลทุกอย่างในการคำนวณให้อยู่ในรูปของเมตริก มีการการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ ทำให้สะดวกในการเขียนโปรแกรม

การจัดเก็บข้อมูลใน SUTStructor ในส่วนขององค์อาคารนั้นในแต่ละองค์อาคารจะถือเป็นเส้นตรงที่เชื่อมหากันด้วยจุดต่อต้น (start joint) และจุดต่อปลาย (end joint) จุดต่อต้นและจุดต่อปลายจะเก็บ ข้อมูลพิกัด ข้อมูลชนิดของจุดต่อ ไว้เพื่อใช้กำหนดการยึดรั้งที่จุดต่อ

การเขียนรหัสคำสั่งในการประมวลผลของ SUTStructor จะแตกต่างจากโปรแกรมอื่นคือจะมีการจัดเรียงหมายเลขกำกับการส่งถ่ายแรง โดยใช้ขั้นตอนวิธีจัดแบ่งกลุ่มหมายเลขที่มีการยึดรั้งกับไม่ยึดรั้งตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการวิเคราะห์ ทำให้ในขั้นตอนวิเคราะห์หารากของสมการไม่ต้องทำการสลับเมตริกภายหลัง และยังสามารถที่จะคำนวณโครงสร้างที่เป็น โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุนภายในแผ่นงานเดียวกันได้อีกด้วย

2.5 สมการวิธีสติฟเนสตรง

ในการคำนวณด้วยวิธีสติเนสตรงมีหลายขั้นตอนในการคำนวณ แต่จะมีสมการหลักอยู่เพียงสมการเดียวที่นำมาใช้ในพัฒนาโปรแกรม SUTStructor คือ

[Q] = [K][D]+[F]

[Q] คือ เมตริกแรงภายนอกรวม (global external force matrix) ในระบบพิกัดรวม

[D] คือ เมตริกการแอ่นตัวรวม (global displacement matrix) ในระบบพิกัดรวม

[K] คือ เมตริกสติฟเนสรวม (global stiffness matrix) ในระบบพิกัดรวม

[F] คือ เมตริกปลายยึดแน่นรวม (global fixed-end matrix) ในระบบพิกัดรวม

ดูรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสติฟเนสตรงได้จากหนังสือ Structural Analysis [Hibbeler (1995)], Matrix Analysis of Structures [Kassimali (1999)]

2.6 ขั้นตอนการพัฒนา

2.6.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ดังต่อไปนี้

- ศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเมตริกสติฟเนสตรง เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาในส่วนประมวลผลของโปรแกรม และใช้วิธีอินทิเกรต (integration) ในการเขียนโปรแกรมให้สามารถแสดงแผนภาพแรงเฉือน แผนภาพแรงดัด แผนภาพแรงตามแนวแกน และภาพการแอ่นตัวของโครงสร้าง
- ศึกษาวิธีคำนวณด้านตัวเลขโดยคอมพิวเตอร์ ได้แก่การแก้สมการในรูปแบบเมตริก เพื่อนำไปใช้ในส่วนประมวลผลหารากของสมการ
- ศึกษาคำสั่งการเขียนโปรแกรมบนเครื่องคิดเลขคาสิโอ 9850 และฝึกหัดเขียนโปรแกรมบนเครื่องคิดเลขเพื่อพัฒนารหัสคำสั่งต้นแบบบนเครื่องคิดเลขคาสิโอสำหรับนำไปพัฒนาต่อบนเครื่องคอมพิวเตอร์
- ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic 6.0 เรียนการเขียนโปรแกรมฐานข้อมูลบน Visual Basic การเขียนโปรแกรมด้วย API เรียนรู้เทคนิคการเขียนเกมด้วย Visual Basic
- ทดสอบโปรแกรมที่ใช้ทำตัวติดตั้ง เพื่อเลือกโปรแกรมที่ใช้ทำตัวติดตั้งที่เหมาะสมที่สุด และศึกษาการสร้างตัวติดตั้งโปรแกรมโดยการลองผิดลองถูก
- ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรม Photoshop เพื่อนำมาใช้ตกแต่งและสร้างภาพ ที่นำมาใช้ในส่วนป้อนนำหนักบรรทุกของโปรแกรม และสร้างภาพสัญลักษณ์ของโปรแกรม SUTStructor

- ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรม Icon Forge เพื่อนำมาใช้ในการสร้างไอคอนคำสั่งของโปรแกรม SUTStructor และสร้างภาพที่รองรับที่ใช้ในโปรแกรม

2.6.2 พัฒนาและออกแบบโปรแกรม ดังต่อไปนี้

- พัฒนาคำสั่งคอมพิวเตอร์ที่เป็นกลไกการทำงาน (engine) ในการวิเคราะห์คำนวณข้อมูล
- พัฒนาขั้นตอนวิธีในการแปลงข้อมูลจากรูปแบบของกราฟฟิก มาให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถส่งเข้าไปคำนวณต่อในกลไกการทำงาน เพื่อวิเคราะห์ได้
- ออกแบบ ส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) และรูปแบบการรับคำสั่งของโปรแกรมซึ่งประกอบด้วย

  -ส่วนรับข้อมูลให้สามารถรับข้อมูลต่างดังนี้
  - เพิ่ม/ลบ องค์อาคาร
  - เพิ่ม/แก้ไข จุดต่อ
  - เพิ่ม/ลบ น้ำหนักบรรทุก
  - เพิ่มแก้ไข คุณสมบัติวัสดุ

  -ส่วนแสดงผล
  - แสดงข้อมูลที่ใช้ในระหว่างการคำนวณ
  - แสดงผลลัพธ์สุดท้ายทั้งที่เป็นตัวอักษรและแผนภาพ

2.6.3 ทดสอบโปรแกรมและสรุปผล

- ตรวจสอบโปรแกรมกับโจทย์ตัวอย่าง
- แจกจ่ายโปรแกรมให้กับนักเรียนนักศึกษาและวิศวกร

2.7 โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม SUTStructor

2.6.1 โปรแกรม Visual Basic 6 Service Pack 4 ใช้เขียนรหัสคำสั่ง และแปลเป็นไฟล์ EXE

2.6.2 โปรแกรม Wise Installer (InstallMaster 8.0) ใช้ทำตัวติดตั้งโปรแกรม

2.6.3 โปรแกรม Icon Forge 4.5 ใช้สร้าง Icon ภายในโปรแกรม SUTStructor

2.6.4 โปรแกรม Photoshop 6 ใช้สร้างแต่งภาพที่ใช้ภาพในโปรแกรม SUTStructor

2.6.5 โปรแกรม Visio 5 ใช้สร้างภาพน้ำหนักบรรทุกภายในโปรแกรม SUTStructor

บทที่ 3
การพัฒนาโปรแกรม

3.1 ความเป็นมาของการพัฒนา

ช่วงแรกในการพัฒนาโปรแกรม SUTStructor ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเขียนรหัสคำสั่งบนเครื่องคิดเลข คาสิโอ 9850 ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา คล้ายภาษา Basic เนื่องจากเครื่องคิดเลขคาสิโอจะมีฟังก์ชันที่ช่วยในการแก้สมการที่ใช้ง่าย และมีฟังก์ชันที่ช่วยในการทำงานกับเมตริก การเขียนรหัสคำสั่งบนเครื่องคิดเลขก่อน ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถทดลองตรวจสอบแนวคิดในการเขียนโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างบนเครื่องคิดเลขเพื่อเป็นต้นแบบ และสามารถใช้ตรวจสอบโปรแกรม SUTStructor โดยโปรแกรมที่พัฒนาอยู่บนเครื่องคิดเลขเป็นโปรแกรมขนาด 20 KB สามารถคำนวณโครงสร้าง โครงข้อแข็ง โครงข้อหมุน คาน ตาราง (grid) ทำการคำนวณโครงสร้างขนาดไม่เกิน 6-10 จุดต่อได้ ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่เหลือบนเครื่อง แต่โปรแกรมที่ทำงานอยู่บนเครื่องคิดเลขมีข้อจำกัดเรื่องหน่วยความจำบนเครื่อง ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาพัฒนาให้มีการป้อนข้อมูลและแสดงผลแบบกราฟฟิก เพื่อแก้ปัญหาในจุดนี้การพัฒนาจึงจำเป็นจะต้องเปลี่ยนจากเครื่องคิดเลขไปสู่คอมพิวเตอร์

ในการพัฒนาโปรแกรมให้ทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ มีภาษาหลายภาษาให้เลือกใช้งาน แต่ผู้วิจัยเลือกใช้ภาษา Visual Basic ในการพัฒนาโปรแกรมเนื่องจาก Visual Basic เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็ว มีหนังสือและข้อมูลบนอินเตอร์เนตสอนวิธีการเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับ Visual Basic มากมาย สามารถเรียนรู้วิธีการเขียนโปรแกรมได้รวดเร็ว ช่วงแรกของการพัฒนาโปรแกรม SUTStructor บนคอมพิวเตอร์ การป้อนข้อมูลจะเป็นแบบข้อความ และสามารถหาค่าได้เฉพาะแรงภายใน ต่อมาได้พัฒนาส่วนการวาดแผนภาพเพิ่มเติมและปรับปรุงการป้อนข้อมูลเป็นแบบกราฟฟิก การออกแบบส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้จะอยู่ภายใต้หลักการ จะต้องไม่ให้ผู้ใช้เรียนรู้วิธีการใช้งานใหม่ทั้งหมด โดยจะอ้างอิงวิธีการใช้งานของโปรแกรมที่ใช้ง่ายอยู่แล้ว แล้วจึงเพิ่มเติมในส่วนที่โปรแกรมเหล่านั้นไม่มี

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธี เมตริก สติฟเนสตรง

3.2.1 นิยาม เมตริกที่ใช้ในวิธีเมตริกสติฟเนสตรง

[k´] คือ เมตริกสติฟเนสของแต่ละชิ้นส่วน (local stiffness matrix) ใน ระบบพิกัดของแต่ละชิ้นส่วน (local coordinate system) ซึ่งหาได้จาก

$$[k'] = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L \\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L \\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ

A คือ พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร

L คือ ความยาวขององค์อาคาร

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยขององค์อาคาร

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น

[T] คือ เมตริกแปลง (transformation matrix) ซึ่งหาได้จาก

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ

θ คือ มุมที่วัดจากแกนอ้างอิงรวมทวนเข็มนาฬิกาไปหาแกนอ้างอิงองค์อาคาร

[k] คือ สติฟเนส เมตริกของแต่ละชิ้นส่วน ใน ระบบพิกัดรวม (global coordinate system) จาก $[k] = [T^T][k'][T]$

[q] คือ เมตริกแรงที่ปลายองค์อาคาร (end force member matrix) ใน ระบบพิกัดรวม

[d] คือ เมตริกการแอ่นตัวของแต่ละชิ้นส่วน (local displacement matrix) ใน ระบบพิกัดรวม

[f′] คือ เมตริกปลายยึดแน่นของแต่ละชิ้นส่วน (local fixed-end matrix) ใน พิกัดของแต่ละชิ้นส่วน

[f] คือ เมตริกปลายยึดแน่นของแต่ละชิ้นส่วน ใน ระบบพิกัดรวม

[Q] คือ เมตริกแรงภายนอกรวม (global external force matrix) ในระบบพิกัดรวม หาได้จากการนำเอาเมตริก [q´] มาประกอบเข้าด้วยกัน

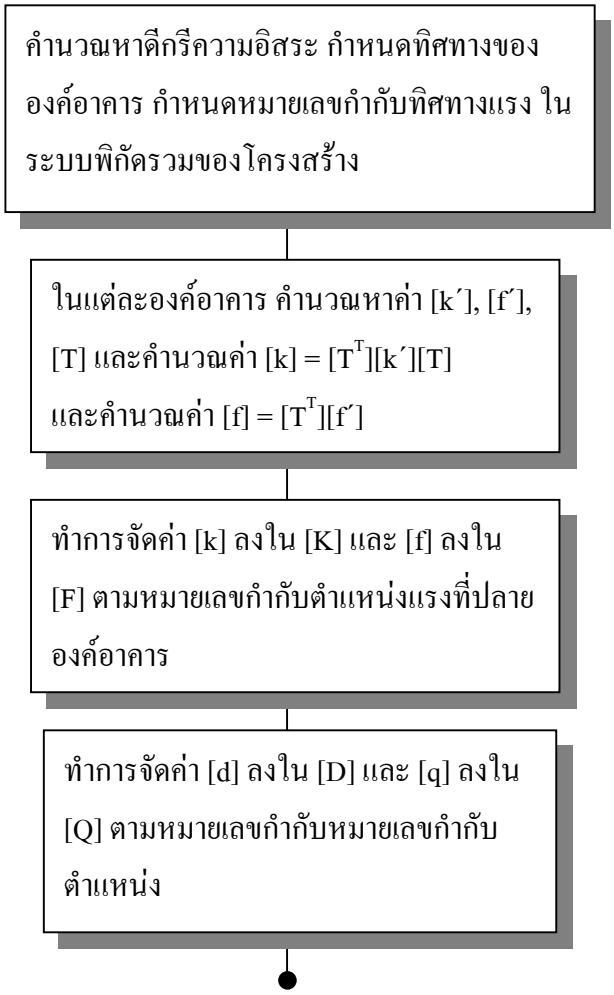
[D] คือ เมตริกการแอ่นตัวรวม (global displacement matrix) ในระบบพิกัดรวม หาได้จากการนำเอาเมตริก [d´] มาประกอบเข้าด้วยกัน

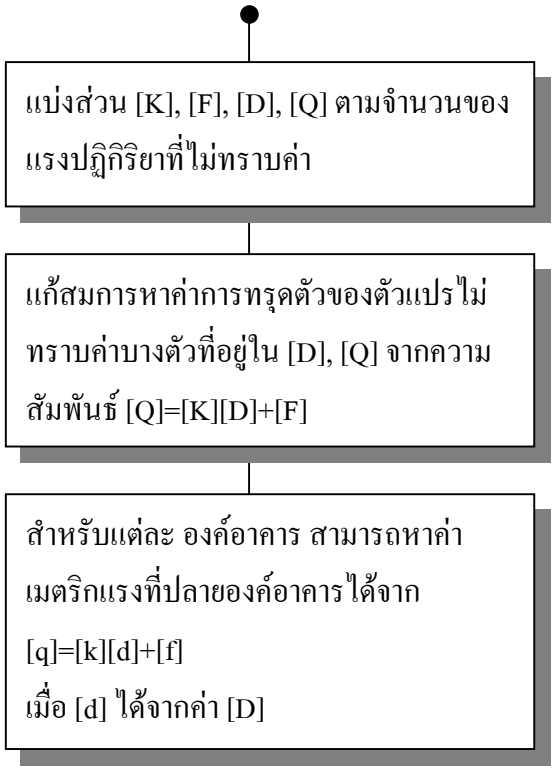
[K] คือ เมตริกสติฟเนสรวม (global stiffness matrix) ใน ระบบพิกัดรวม หาได้จากการนำเอาเมตริก [k´] มาประกอบเข้าด้วยกัน

[F] คือ เมตริกปลายยึดแน่นรวม (global fixed-end matrix) ใน ระบบพิกัดรวม หาได้จากการนำเอาเมตริก [f´] มาประกอบเข้าด้วยกัน

ดีกรีความอิสระคือ จำนวนการเปลี่ยนตำแหน่งที่ไม่ขึ้นแก่กัน ซึ่งสามารถใช้บอกลักษณะการเปลี่ยนแปลง รูปร่างต่าง ๆ ที่อาจเป็นไปได้ของโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้จากหนังสือ การวิเคราะห์โครงสร้าง หน้า 170 [ปณิธาน ลักคุณะประสิทธ์ (2538)]

3.2.2 แผนผังการคำนวณ

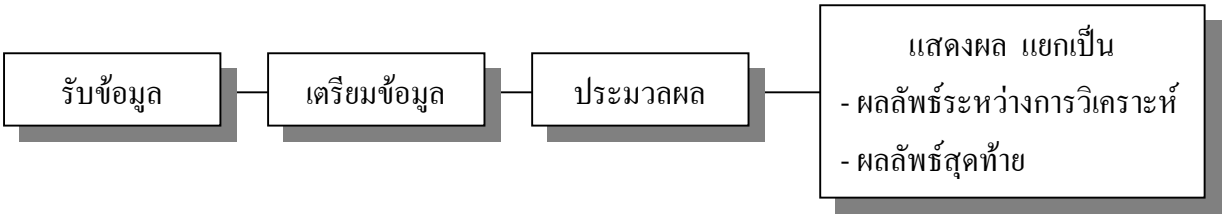




3.3 โครงสร้างของโปรแกรม SUTStructor (Suranaree University of Technology Structural Mentor)

โปรแกรมออกแบบเป็น 4 ส่วนคือ

1. ส่วนรับข้อมูล
2. ส่วนเตรียมข้อมูล
3. ส่วนประมวลผล
4. ส่วนการแสดงผล



3.3.1 ส่วนรับข้อมูล

SUTStructor จะรับข้อมูลแบบ กราฟฟิกโดยการใช้ เมาส์ (mouse) เป็นหลัก และบางกรณีใช้ แป้นตัวอักษร (keyboard) ช่วยในการป้อนที่ช่องพิมพ์ข้อความ (text box) หลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกป้อนทั้งที่อยู่รูปแบบของภาพ หรือ ตัวอักษร ก็จะถูกแปลงและนำไปจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของข้อมูล 5 ชุดด้วยกันคือ

1) ข้อมูลองค์อาคาร ซึ่งในแต่ละองค์อาคารจะเก็บข้อมูล

1. หมายเลขจุดต่อ (node) ที่ต้นองค์อาคาร และปลายองค์อาคาร
2. หมายเลขกรณีน้ำหนักบรรทุก (load case) ที่กระทำกับองค์อาคาร

2) ข้อมูลขนาดขององค์อาคาร คุณสมบัติวัสดุขององค์อาคาร

1. ชื่อวัสดุ
2. อัตราคูณโมเมนต์ความเฉื่อย
3. พื้นที่หน้าตัด
4. โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia)
5. โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity)

3) ข้อมูลจุดต่อ ซึ่งในแต่ละจุดต่อจะเก็บข้อมูล

1. หมายเลขจุดต่อ
2. มุมเอียงของที่รองรับ (support)
3. ชนิดของที่รองรับ
4. แรงที่กระทำที่จุดต่อ
5. การแอ่นที่จุดต่อ

4) ข้อมูลรายละเอียดที่จุดต่อ ซึ่งจะจัดเก็บข้อมูล

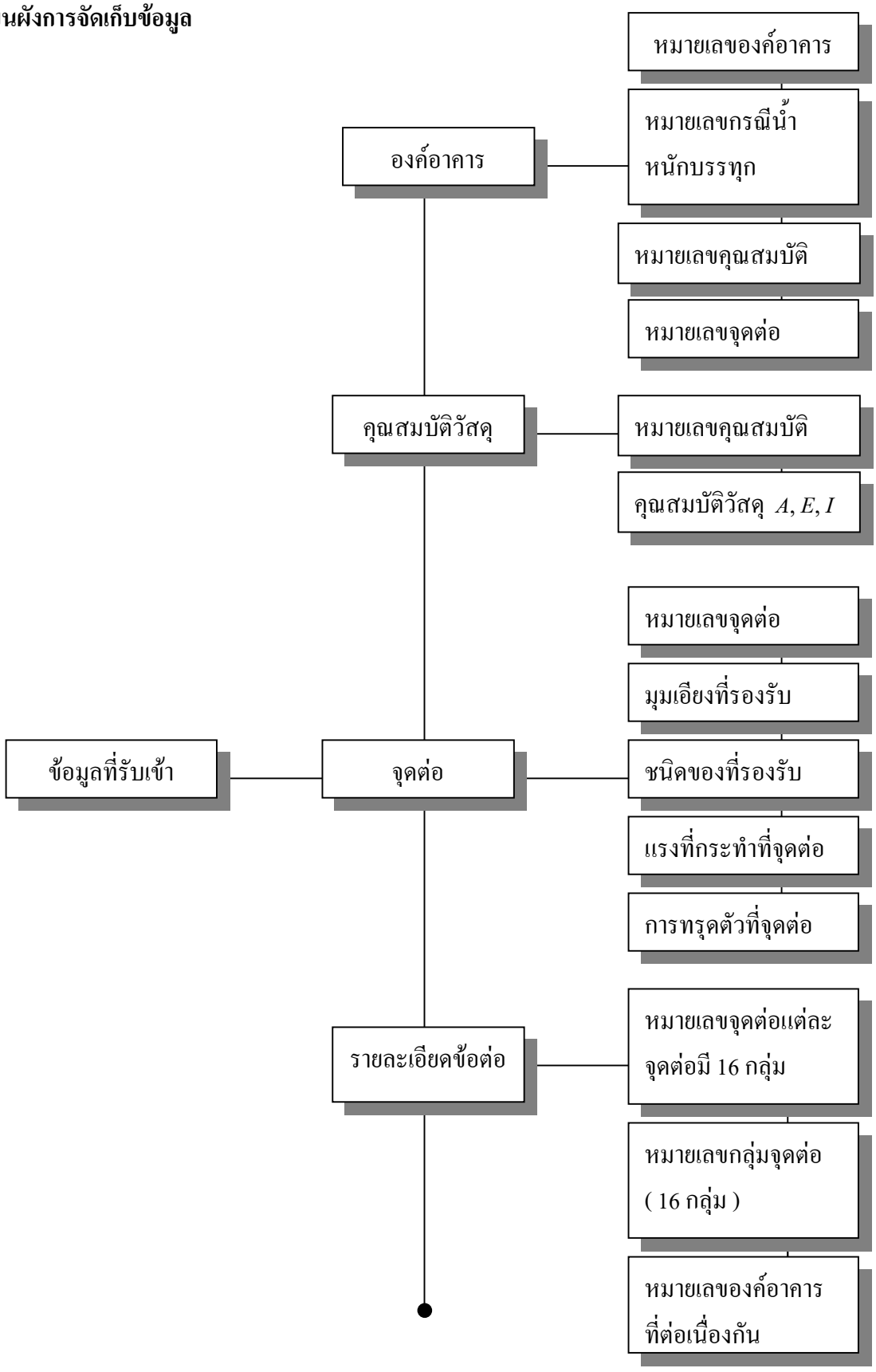
1. หมายเลขจุดต่อ
2. ข้อมูลองค์อาคารที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้อต่อเดียวกัน

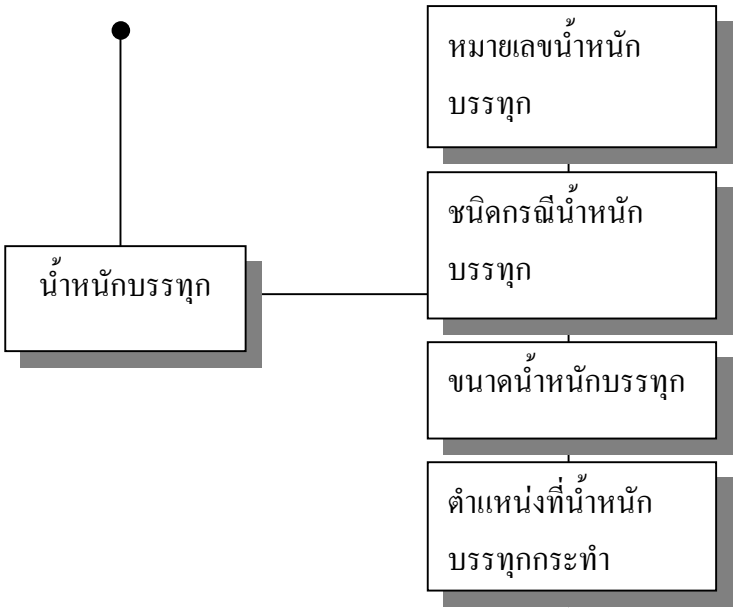
5) ข้อมูล กรณีน้ำหนักบรรทุก จะจัดเก็บข้อมูล

1. หมายเลขกรณีน้ำหนักบรรทุก
2. ชนิดของกรณีน้ำหนักบรรทุก เช่น น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (concentrated load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่ (uniform load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal load)
3. ขนาดของน้ำหนักบรรทุก (load)
4. ระยะทางหรือจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำกับองค์อาคาร

ข้อมูลการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวมางสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังต่อไปนี้

แผนผังการจัดเก็บข้อมูล





3.3.2 ส่วนการเตรียมข้อมูล

1. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า มุมขององค์อาคาร และความยาวขององค์อาคาร เพื่อใช้หา เมตริกสติฟเนส
2. โปรแกรมจะทำการกำหนดทิศทางขององค์อาคารเพื่อใช้หาเมตริกแปลง
3. โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ ชนิดของที่รองรับที่จุดต่อ และข้อมูลองค์อาคารที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้อต่อเดียวกัน และกำหนดหมายเลขกำกับตำแหน่งในการส่งถ่ายแรง

3.3.3 ส่วนการประมวลผล

1. โปรแกรมจะทำการแปลงข้อมูล น้ำหนักบรรทุก ที่กระทำกับ องค์อาคาร แต่ละตัว ให้กลายเป็น แรงที่ปลายยึดแน่น [f´]
2. โปรแกรมจะทำการจัดข้อมูลการแอ่นที่ ที่รองรับแต่ละตัวไปลงใน เมตริกการแอ่น (displacement matrix) [D]
3. โปรแกรมจะทำการจัดข้อมูล แรงที่จุดต่อ (nodal force) ที่กระทำที่ จุดต่อ แต่ละจุด ไปลงใน เมตริกแรงภายนอกรวม (global external force matrix) [Q]
4. จากค่าคุณสมบัติวัสดุของ องค์อาคาร แต่ละตัว โปรแกรมจะทำการคำนวณหา สติฟเนสเมตริก [k´] ซึ่งจะอ้างอิงค่าพิกัดของแต่ละ องค์อาคาร
5. จากค่ามุมที่ องค์อาคาร แต่ละตัว กระทำกับ แกนรวม (global axis) โปรแกรมจะทำการคำนวณหา เมตริกแปลง (transformation matrix) [T] และค่า transpose ของ เมตริกแปลง [T^T]

6. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าสติฟเนสเมตริกของแต่ละชิ้นส่วน (local stiffness matrix) [k] ซึ่งจะอ้างอิงค่าพิกัดของโครงสร้างรวมจาก $[k] = [T][k'][T^T]$
7. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า แรงที่ปลายยึดแน่น [k] ซึ่งจะอ้างอิงค่าพิกัดของโครงสร้างรวมจาก $[f] = [T^T][f']$
8. โปรแกรมจะทำการจัดค่า [k] ลงใน สติฟเนสเมตริกรวม (global stiffness matrix) [K] ตามหมายเลขกำกับตำแหน่งของ [k]
9. โปรแกรมจะทำการจัดค่า [f] ลงใน เมตริกปลายยึดแน่นรวม (global fixed-end matrix) [F] ตามหมายเลขกำกับตำแหน่งของ [f]
10. โปรแกรมจะทำการคำนวณหา ดีกรีของความอิสระ (degree of freedom) ของโครงสร้างจาก

    ดีกรีของความอิสระ = จุดต่อ 3+บานพับ (hinge) – จำนวนแรงปฏิกิริยา
11. โปรแกรมจะทำการแบ่ง สติฟเนสเมตริกรวม (global stiffness matrix) [K] ออกเป็น 4 ส่วนตาม ดีกรีของความอิสระ ของโครงสร้างรวม

$$[K] = \begin{bmatrix} [K_1] & [K_2] \\ [K_3] & [K_4] \end{bmatrix}$$

    โดยที่ขนาดเมตริก [K1] เท่ากับ ดีกรีของความอิสระ ดีกรีของความอิสระ และ [K2] [K3] [K4] เป็น เมตริกจัตุรัส (square matrix)
12. โปรแกรมจะทำการแบ่ง เมตริกปลายยึดแน่นรวม (global fixed-end matrix) [F] ออกเป็น 2 ส่วนตาม ดีกรีของความอิสระ ของโครงสร้างรวม

$$[F] = \begin{bmatrix} [F_1] \\ [F_2] \end{bmatrix}$$

13. โปรแกรมจะทำการแบ่ง เมตริกการแอ่น (displacement matrix) [D] ออกเป็น 2 ส่วนตาม ดีกรีของความอิสระของโครงสร้างรวม

$$[D] = \begin{bmatrix} [D_1] \\ [D_2] \end{bmatrix}$$

14. โปรแกรมจะทำการแบ่ง เมตริกแรงที่ปลายองค์อาคาร (member end force matrix) [Q] ออกเป็น 2 ส่วนตาม ดีกรีของความอิสระของโครงสร้างรวม

$$[Q] = \begin{bmatrix} [Q_1] \\ [Q_2] \end{bmatrix}$$

15. หลังจากทำการแบ่งส่วนทั้งหมดจะสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\begin{bmatrix} [Q_1] \\ [Q_2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_1] & [K_2] \\ [K_3] & [K_4] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [D_1] \\ [D_2] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [F_1] \\ [F_2] \end{bmatrix}$$

16. โปรแกรมจะทำการแก้สมการหาค่าการแอ่นจาก

$$[Q_1] = [K_1][D_1]+[K_2][D_2]+[F_1]$$

จากสมการ $[D_1]$ คือตัวแปรที่ไม่ทราบค่าซึ่งทำการแก้หาค่าได้จาก

$$[D_1] = [K_1]^{-1}[Q_1-F_1]$$

17. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยา $[Q_2]$ จาก

$$[Q_2] = [K_3][D_1]+[K_4][D_2]+[F_2]$$

18. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า แรงที่ปลาย ของแต่ละ องค์อาคาร จาก

$$[q] = [k][d]+[f]$$

3.3.4 ส่วนการแสดงผล

แบ่งเป็น 2 ส่วน

1. แสดงผลสุดท้าย หลังจากผ่านกระบวนการประมวลผล ค่าที่ได้จากการประมวลผลจะเป็นแรงที่ปลายองค์อาคาร และแรงปฏิกิริยา แต่ในกระบวนการนี้นอกจากจะแสดงแรงปฏิกิริยาแล้วยังต้องแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกน, แผนภาพแรงเฉือน, แผนภาพแรงดัด ในส่วนนี้โปรแกรมจะใช้วิธีอินทิเกรต ในการวิเคราะห์เพิ่มเติม
2. แสดงผลที่อยู่ในระหว่างการคำนวณ หลังจากผ่านกระบวนการประมวลผล ผลลัพธ์ในส่วนนี้โปรแกรมสามารถดึงข้อมูลที่ใช้ระหว่างการประมวลผลมาแสดงได้ทันที ซึ่งค่าที่นำมาแสดงในส่วนนี้ได้แก่ $[T]$, $[T^T]$, $[k']$, $[k]$, $[K]$, $[f]$, $[F]$, $[D]$, $[Q]$

3.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ความสามารถของโปรแกรม SUTStructor ในขณะนี้ยังไม่สามารถที่จะคำนวณผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากแรงเฉือน (shear deformation) วัสดุจะต้องมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอิลาสติกเชิงเส้น (linear elasticity) วิธีการจัดระบบในการเก็บข้อมูลภายในตัวโปรแกรมยังไม่กระชับพอทำให้ข้อมูลที่บันทึกด้วยโปรแกรม SUTStructor มีขนาดใหญ่ และโปรแกรม SUTStructor ยังไม่สามารถสั่งพิมพ์โดยตรงออกทางเครื่องพิมพ์ได้ ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปสามารถที่จะนำจุดดังกล่าวมาปรับปรุงเพิ่มเติม เพื่อให้โปรแกรมมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บทที่ 4
ผลการพัฒนาโปรแกรม

4.1 ลักษณะเฉพาะโปรแกรม

ลักษณะเฉพาะต่อไปนี้เป็นลักษณะเด่นที่มีอยู่ในโปรแกรม SUTStructor และอาจมีในโปรแกรมอื่นด้วย ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. ป้อนข้อมูลแบบกราฟฟิกบนหน้าจอและแสดงภาพให้เห็นทันที
2. ป้อนองค์อาคารได้โดยไม่ต้องป้อนจุดต่อก่อน
3. ลบจุดต่อที่ไม่ติดต่อกับองค์อาคารอัตโนมัติ
4. เลือกรูปแบบของหน้าตัดวัสดุจากรูปร่างที่มีให้และคำนวณคุณสมบัติอัตโนมัติ
5. ใส่ที่รองรับ (support) แบบกราฟฟิก
6. จัดกลุ่มองค์อาคารที่เชื่อมกันแบบข้อต่อแข็ง (rigid joint) ภายในจุดต่อได้
7. มีตัวช่วยสร้างโครงสร้าง (structures wizard) ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างภายใน 2 ขั้นตอน
8. ใส่น้ำหนักบรรทุกที่องค์อาคาร (member load) หรือที่จุดต่อ (nodal load) เป็นกราฟฟิก
9. มีน้ำหนักบรรทุกให้เลือกหลายแบบ เช่น น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (concentrated load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่ (uniform load), น้ำหนักบรรทุกจากอุณหภูมิ (thermal load), น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากความยาวที่ผิดพลาด (fabrication error)
10. แสดงรูปภาพของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟฟิก
11. เลือกทิศทางของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟฟิก
12. ใส่น้ำหนักบรรทุกได้ทั้งตามแนวแกนขององค์อาคารหรือแกนรวมโครงสร้าง
13. แสดงผลลัพธ์การคำนวณบนหน้าจอเป็นกราฟฟิก ได้แก่ แผนภาพแรงตามแนวแกน (axial force diagram) แผนภาพแรงเฉือน (shear force diagram) แผนภาพแรงดัด (bending-moment diagram) แผนภาพการแอ่น (deflected shape)
14. ไม่ต้องต้องคลิกให้คำนวณก่อน เลือกแสดงผลลัพธ์ได้ทันที
15. แสดงภาพเคลื่อนไหวการแอ่น (animation) ได้
16. แสดงจุดดัดกลับได้ (point of inflection)
17. รายงานผลเป็นตารางได้

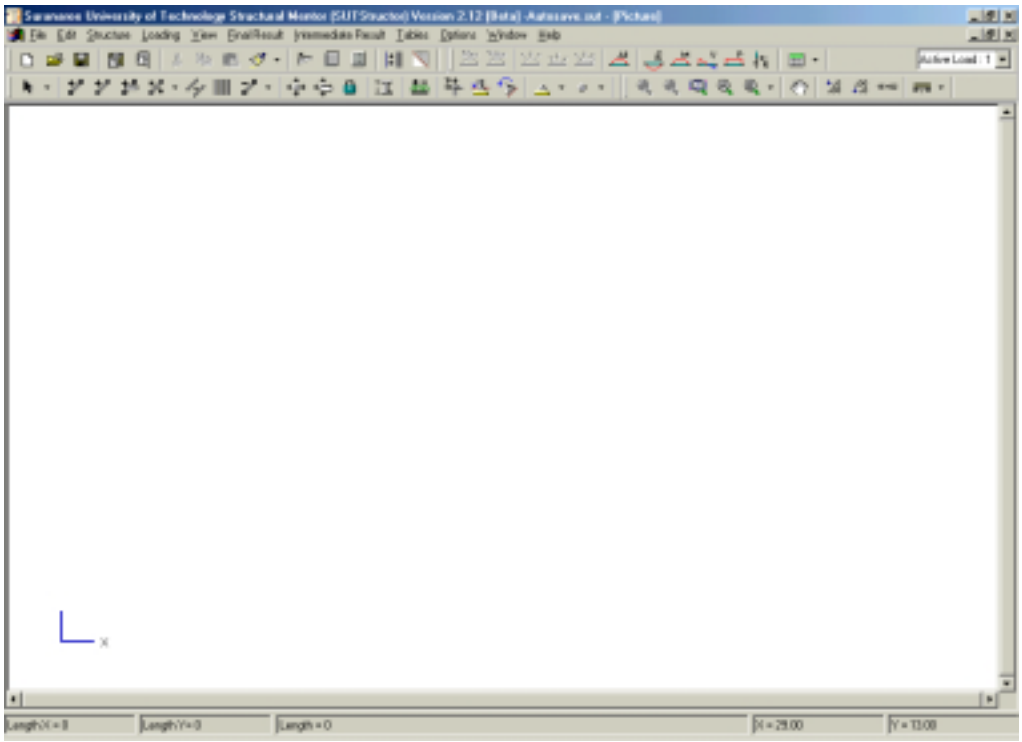
18. แสดงค่าสูงสุด และ ค่าที่จุดปลายของแต่ละองค์อาคารได้
19. คัดลอก ภาพ หรือ ผลในตารางไปใส่ใน MS Word หรือ MS Excel ได้
20. แสดงผลลัพธ์ระหว่างการคำนวณ เช่น เมตริกสติฟเนสของแต่ละองค์อาคาร (local stiffness matrix), เมตริกสติฟเนสรวม, เมตริกแปลง (transformation matrix) ได้
21. คำนวณหลายโครงสร้างในแผ่นงานเดียวได้
22. คำนวณโครงสร้าง แบบโครงข้อแข็ง และ โครงข้อหมุน ในแผ่นงานเดียวกันได้
23. แสดงแผนภาพแรงตามแนวแกน แรงเฉือน แรงดัด การแอ่นตัว ในแผ่นงานเดียวกันได้
24. คำนวณโครงสร้างที่มีที่รองรับแบบเอียง (inclined supports)ได้

4.2 รูปแบบโปรแกรม

โปรแกรม SUTStructor ที่พัฒนาขึ้นแบ่งเป็น 3 ส่วน

1. ส่วนบน เป็นรายการคำสั่ง คำสั่งใช้งานใน SUTStructor จะถูกรวบรวมไว้ด้วยกันในส่วนบน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน
2. ส่วนกลาง (พื้นที่สีขาว) เป็นพื้นที่ใช้งานสำหรับแสดงผลข้อมูลขององค์อาคารที่ป้อนเข้า และใช้แสดงผลลัพธ์สุดท้าย
3. ส่วนล่างใช้ในการแสดงพิกัดของเมาส์ ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการเพิ่มองค์อาคาร

รายละเอียดการใช้งานโปรแกรม และความสามารถโปรแกรมสามารถดูเพิ่มเติมได้ในส่วนคู่มือการใช้งาน



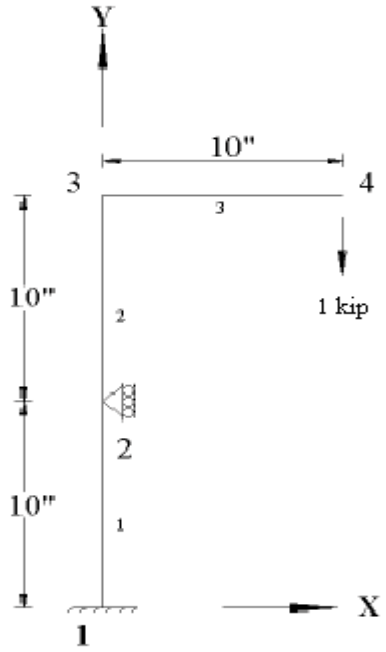
4.3 ตรวจสอบความถูกต้องโปรแกรม

โจทย์ตรวจสอบ หมายเลข 1

ประเภท: คำนวณ แรงปฏิกิริยาสำหรับโครงข้อแข็งแบบง่าย

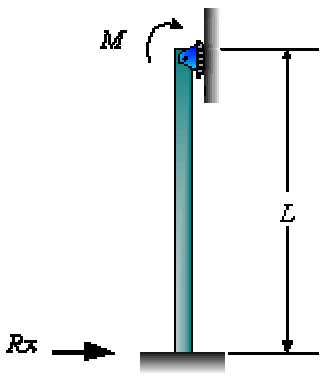
อ้างอิง: ‘Strength of Materials’ Part-1 S. Timoshenko, หน้า 346, Problem No. 2.

โจทย์: จงหาแรงปฏิกิริยา X ของ โครงสร้างข้อแข็งดังรูป



กำหนดให้ $A = 10\ \text{in}^2$, $E = 3000\ \text{kip/in}^2$ และ $I = 100\ \text{in}^4$ เหมือนกันหมดทุกองค์อาคาร

คำตอบ



$M = 10$ kip•in., $L = 10$ in., $Rx = \dfrac{3M}{2L} = \dfrac{3}{2}\dfrac{10}{10} = 1.500000000$ kip

เปรียบเทียบคำตอบ:

	แรงปฏิกิริยา X, kip
ทฤษฎี	1.5000
STADD III	1.50
GRASP	1.5000
SUTStructor	1.5000 (1.5000000000)
ความแตกต่าง SUTStructor กับทฤษฎี	เพื่อเทียบกับค่าทฤษฎีโดยพิจารณาทศนิยม 4 ตำแหน่งไม่มีความคลาดเคลื่อน

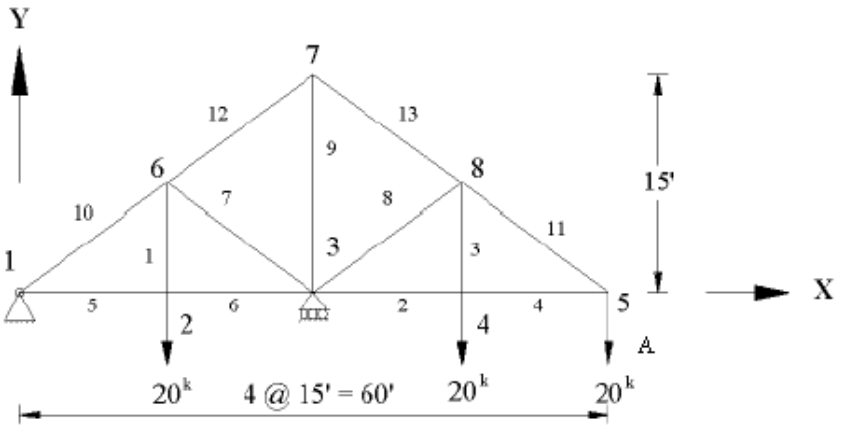
หมายเหตุ คำตอบจาก SUTStructor ที่นำมาแสดงได้จากการตั้งให้แสดงตัวเลขทศนิยม 4 ตำแหน่ง ส่วนค่าในวงเล็บเป็นค่าที่ตั้งให้แสดงทศนิยม 10 ตำแหน่งซึ่งเป็นจำนวนทศนิยมสูงสุดที่ SUTStructor สามารถสั่งให้แสดงออกทางจอภาพ และค่าที่ได้จากโปรแกรม GRASP และ STAAD III เป็นค่าที่คัดลอกมาจากการแสดงผลบนจอภาพตามค่าการแสดงผลมาตรฐานของโปรแกรม

โจทย์ตรวจสอบ หมายเลข 2

ประเภท: การแอ่นตัวของโครงข้อหมุน

อ้างอิง: ‘Structural Analysis’ by Jack C. McCormack, หน้า 271, Example 18-2.

โจทย์: จงหาการแอ่นตัวตามแนวดิ่งที่จุด A ของโครงสร้างโครงข้อหมุนในรูป



กำหนดให้ หน้าตัดขององค์อาคาร 1 ถึง 4 = 1 in^2, 5 6 = 2 in^2, 7 8 = 1.5 in^2, 9 10 11 = 3 in^2, 12 13 = 4 in^2, E = 30E3 ksi

คำตอบ $\frac{78909.86671}{E} = \frac{78909.86671}{30000} =$ 2.630328890 in.

เปรียบเทียบคำตอบ:

	การแอ่นตัว, in.
ทฤษฎี	2.630329
STADD III	2.630
GRASP	2.630329
SUTStructor	2.630329 (2.6303288904)
ความแตกต่าง SUTStructor กับทฤษฎี	เพื่อเทียบกับค่าทฤษฎีโดยพิจารณาทศนิยม 6 ตำแหน่งไม่มีความคลาดเคลื่อน

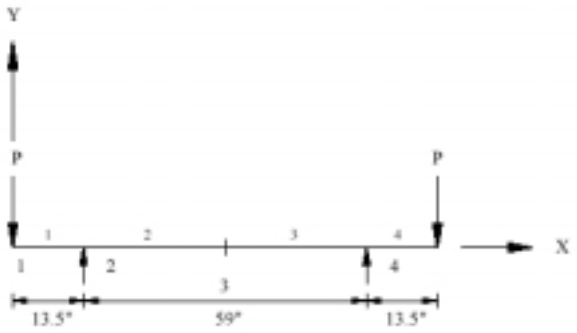
หมายเหตุ คำตอบจาก SUTStructor ที่นำมาแสดงได้จากการตั้งให้แสดงตัวเลขทศนิยม 6 ตำแหน่ง ส่วนค่าในวงเล็บเป็นค่าที่ตั้งให้แสดงทศนิยม 10 ตำแหน่งซึ่งเป็นจำนวนทศนิยมสูงสุดที่ SUTStructor สามารถสั่งให้แสดงออกทางจอภาพ และค่าที่ได้จากโปรแกรม GRASP และ STAAD III เป็นค่าที่คัดลอกมาจากการแสดงผลบนจอภาพตามค่าการแสดงผลมาตรฐานของโปรแกรม

โจทย์ตรวจสอบ หมายเลข 3

ประเภท: การแอ่นตัวและแรงดัดสูงสุดของ โครงสร้างคาน

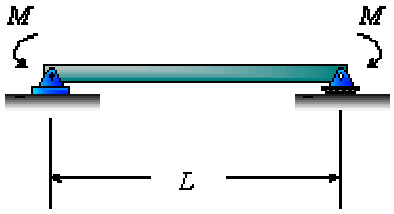
อ้างอิง: ‘Strength of Materials’ Part-1 by S. Timoshenko, หน้า 97, Problem No. 1 และ 2.

โจทย์: จงหาค่าแรงดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างดังรูป และหาการแอ่นตัวที่กลางคาน



กำหนดให้ หน้าตัดขององค์อาคารมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 in., P = 26000 lb, E = 30E6 lb/sq.in.

คำตอบ



$M = 1.35 \quad 26000 = 351000.000$ lb•in., $L = 59$ in.

$$\text{ค่าแอ่นตัวสูงสุด} = \frac{6ML^2}{48EI} = \frac{6 \quad 351000 \quad 59^2}{48 \quad 30 \quad 10^6 \quad \frac{\pi}{4} \quad 5^4} = 0.010371224 \text{ in.}$$

เปรียบเทียบคำตอบ:

	แรงดัด, lb•in.	**การแอ่นตัว, in.**
ทฤษฎี	351000.000	0.010371
STADD III	351000	0.01037
GRASP	3.51000E+05	0.010371
SUTStructor	351000.000 (351000.0000000000)	0.010371(0.0103712236)
ความแตกต่าง SUTStructor กับทฤษฎี	เพื่อเทียบกับค่าทฤษฎีโดยพิจารณาทศนิยม 3 ตำแหน่งไม่มีความคลาดเคลื่อน	เพื่อเทียบกับค่าทฤษฎีโดยพิจารณาทศนิยม 6 ตำแหน่งไม่มีความคลาดเคลื่อน

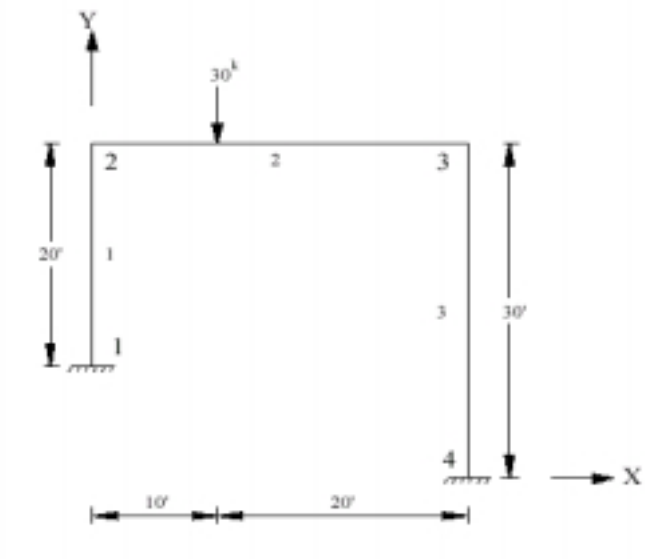
หมายเหตุ คำตอบแรงดัดจาก SUTStructor ที่นำมาแสดงได้จากการตั้งให้แสดงตัวเลขทศนิยม 3 ตำแหน่ง และการแอ่นตัว 6 ตำแหน่ง ส่วนค่าในวงเล็บเป็นค่าที่ตั้งให้แสดงทศนิยม 10 ตำแหน่งซึ่งเป็นจำนวนทศนิยมสูงสุดที่ SUTStructor สามารถสั่งให้แสดงออกทางจอภาพ และค่าที่ได้จากโปรแกรม GRASP และ STAAD III เป็นค่าที่คัดลอกมาจากการแสดงผลบนจอภาพตามค่าการแสดงผลมาตรฐานของโปรแกรม

โจทย์ตรวจสอบ หมายเลข 4

ประเภท: โครงข้อแข็งกับการเอียงด้านข้าง

อ้างอิง: ‘Structural Analysis’ by Jack C. McCormack, หน้า 385, Problem 22-6.

โจทย์: จงหาค่าแรงดัดสูงสุดที่เกิดในองค์อาคารหมายเลข 1 ของโครงสร้างดังรูป



กำหนดให้ $A = 7.65\ \text{in}^2$, $E = 4176\ (10^3)\ \text{kip/ft}^2$ และ $I = 204\ \text{in}^4$ เหมือนกันหมดทุกองค์อาคาร

คำตอบ แรงดัดสูงสุดเท่ากับ 69.46460339 kip•ft

เปรียบเทียบคำตอบ:

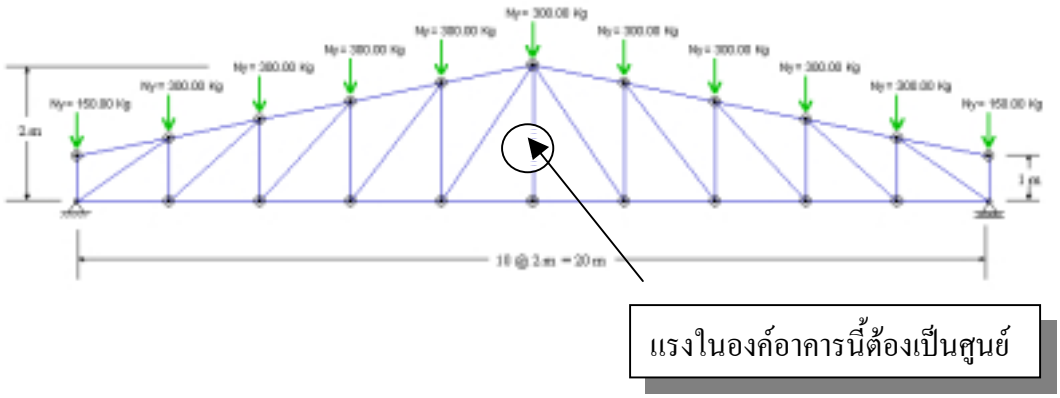
	แรงดัดสูงสุด, kip•ft
ทฤษฎี	69.4646
STADD III	69.47
GRASP	69.5524
SUTStructor	69.5524 (69.5524098722)
ความแตกต่าง SUTStructor กับทฤษฎี	เพื่อเทียบกับค่าทฤษฎีโดยพิจารณาทศนิยม 4 ตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อน 0.0878 หรือ 0.12 %

หมายเหตุ คำตอบจาก SUTStructor ที่นำมาแสดงได้จากการตั้งให้แสดงตัวเลขทศนิยม 4 ตำแหน่ง ส่วนค่าในวงเล็บเป็นค่าที่ตั้งให้แสดงทศนิยม 10 ตำแหน่งซึ่งเป็นจำนวนทศนิยมสูงสุดที่ SUTStructor สามารถสั่งให้แสดงออกทางจอภาพ และค่าที่ได้จากโปรแกรม GRASP และ STAAD III เป็นค่าที่คัดลอกมาจากการแสดงผลบนจอภาพตามค่าการแสดงผลมาตรฐานของโปรแกรม

โจทย์ตรวจสอบ หมายเลข 5

ประเภท: โครงข้อหมุนกับองค์อาคารที่ไม่มีแรงกระทำ

โจทย์: จงตรวจสอบค่าแรงตามแนวแกนในองค์อาคารตามแนวตั้งที่กลางโครงสร้างว่าเป็นศูนย์หรือไม่



กำหนดให้ หน้าตัดขององค์อาคารมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 ม., E = 20413669.0647482 Kg/m^2 เหมือนกันหมดทุกองค์อาคาร

เปรียบเทียบคำตอบ:

	แรงตามแนวแกน, Kg
ทฤษฎี	0.0000
STADD III	0.000
GRASP	0.0000
SUTStructor	2.37E-10
ความแตกต่าง SUTStructor กับทฤษฎี	น้อยมาก (2.37E-10)

หมายเหตุ ค่าที่ได้จาก SUTStructor ตั้งให้แสดงตัวเลขแบบวิทยาศาสตร์ (sciencific format) และค่าที่ได้จากโปรแกรม GRASP และ STAAD III เป็นค่าที่คัดลอกมาจากการแสดงผลบนจอภาพตามค่าการแสดงผลมาตรฐานของโปรแกรม

4.4 ผลการทดสอบกับผู้ใช้

โปรแกรม SUTStructor นี้ออกแบบมาเพื่อช่วยเสริมการเรียนการสอนวิชาโครงสร้าง ซึ่งเมื่อพัฒนาเสร็จ ผู้วิจัยได้ทำการแจกจ่ายเพื่อ หาข้อผิดพลาด และทดสอบว่าโปรแกรมที่ออกแบบเป็นไปตามความต้องการผู้ใช้หรือไม่ โดยรับความคิดเห็นและรับแจ้งข้อผิดพลาดผ่านทางจดหมายอิเลคโทรนิค (E-mail) จากที่แจกจ่ายมาถึงบัดนี้ที่

- http://www.thaiware.com
- http://www.joinware.com
- http://www.hunsa.com
- http://www.thaiengineering.com
- http://www.siamcivil.com

มีวิศวกร และนักเรียนนักศึกษาได้ทดลองนำไปใช้งาน รวมทั้งได้ช่วยรายงานข้อบกพร่องบางส่วนของโปรแกรม ซึ่งผู้วิจัยก็ได้นำมาแก้ไขปรับปรุงแล้ว

บทที่ 5
การประยุกต์โปรแกรมสำหรับประกอบการเรียนรู้ด้วยตนเอง

5.1 ขั้นตอนการคำนวณด้วยมือ

การคำนวณด้วยวิธีสติฟเนสเมตริกตรง แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูล

แปลงข้อมูลที่เห็นในโจทย์ ให้เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในวิธีสติฟเนสตรง หลังจากนั้นกำหนดหมายเลขกำกับทิศทางที่จุดต่อ และกำหนดทิศทางขององค์อาคาร ซึ่งข้อมูลที่ต้องทำการจัดเตรียมได้แก่ข้อมูล ความยาวขององค์อาคาร มุมที่องค์อาคารทำกับแกนอ้างอิงรวม พื้นที่หน้าตัดองค์อาคาร โมเมนต์ความเฉื่อย โมดูลัสยืดหยุ่น น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้าง

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมเมตริก ของแต่ละองค์อาคาร

คำนวณหาค่าเมตริกแรงที่ปลายยึดแน่นที่อ้างอิงตามแกนรวม [f], เมตริกสติฟเนสที่อ้างอิงตามแกนรวม [k] และกำหนดหมายเลขที่ใช้กำกับพิกัดเมตริก ของแต่ละองค์อาคาร โดยก่อนที่จะหา [k], [f] ต้องหาเมตริกแปลง [T], transpose เมตริกแปลง $[T]^T$, เมตริกสติฟเนสที่อ้างอิงตามแกนองค์อาคาร [k´], เมตริกแรงที่ปลายยึดแน่นที่อ้างอิงตามแกนองค์อาคาร [f´] ก่อน

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาเมตริก รวมทั้งโครงสร้าง

เมตริกของแต่ละองค์อาคารจะถูกนำมาประกอบกันให้เป็นเมตริกรวมทั้งโครงสร้าง โดยการประกอบจะถูกควบคุมโดย หมายเลขที่ใช้กำกับเมตริก เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จะมีเมตริกอยู่ 4 เมตริก คือ เมตริกแรงเทียบเท่ารวม [Q], เมตริกสติฟเนสรวม [K], เมตริกการแอ่นตัวรวม [D], เมตริกแรงที่ปลายยึดแน่นรวม [F]

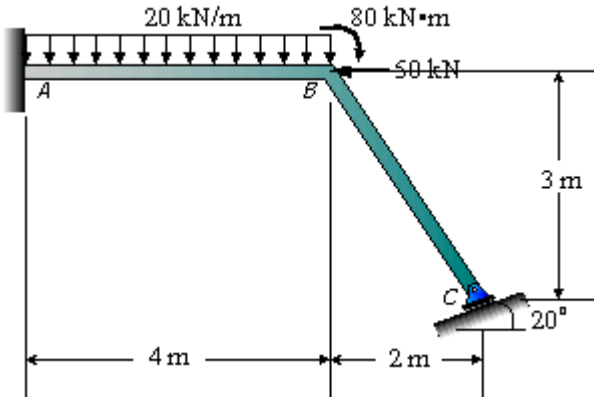
ขั้นตอนที่ 4 แก้สมการหาคำตอบของสมการ

หลังจากเมตริกรวมทั้งโครงสร้างถูกหาแล้ว จะต้องแก้สมการหาการแอ่นตัวที่จุดต่อและแรงปฏิกิริยาที่ที่รองรับ โดยใช้สมการ [Q] = [K][D]+[F]

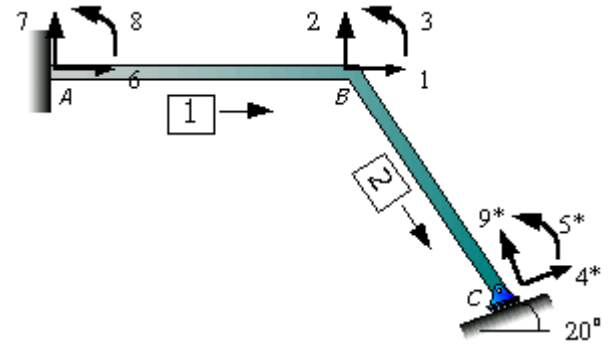
5.2 ประยุกต์ SUTStructor ใช้ตรวจสอบการคำนวณด้วยมือ

การประยุกต์โปรแกรมมาใช้ตรวจสอบการคำนวณด้วยมือ ต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการคำนวณด้วยวิธีสติฟเนสเมตริก ศึกษาความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีนี้ได้จากหนังสือ Structural Analysis [Hibbeler (1995)], Matrix Analysis of Structures [Kassimali (1999)]

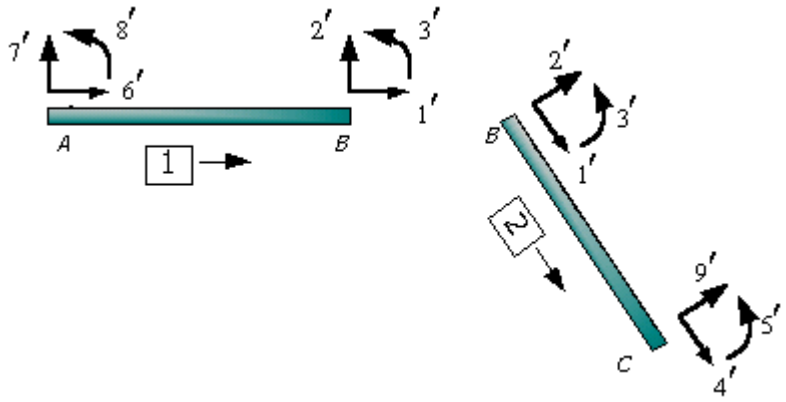
โจทย์สาธิต กำหนดให้ $I = 400(10^6)$ mm^4, $A = 60(10^3)$ mm^2, $E = 200$ GPa สำหรับทุกองค์อาคาร



แกนรวม



แกนองค์อาคาร



1. ทำการเตรียมข้อมูลด้วยมือตามตัวอย่างด้านล่างโดยอาศัยข้อมูลจากโจทย์

หมายเลขขององค์อาคาร	**1**	**2**
มุมจุดต่อใกล้	0°	303.69°
มุมที่จุดต่อไกล	0°	283.69°
ความยาว	4 m	3.61 m
A	$60(10^3)$ mm^2	$60(10^3)$ mm^2
E	200 GPa	200 GPa
I	$400(10^6)$ mm^4	$400(10^6)$ mm^4
น้ำหนักบรรทุก	ชนิดแผ่สม่ำเสมอ 20 kN/m	ไม่มี
ทรุดตัว	ไม่มี	ไม่มี
แรงภายนอก	ไม่มี	จุดต่อใกล้ ตามแกน x = -50, z = 80 kN• m

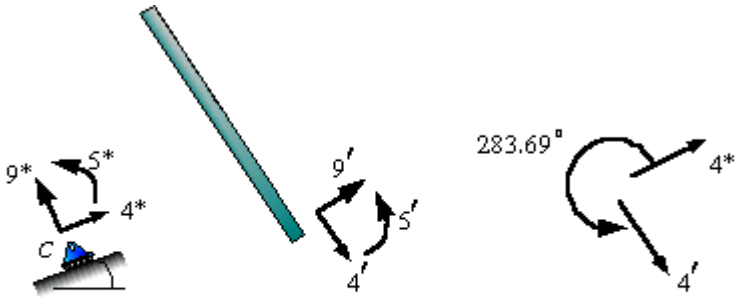
หลักการหาที่มุมที่จุดต่อใกล้และจุดต่อไกลของแต่ละองค์อาคาร

การวัดมุมจุดต่อใกล้และไกลของแต่ละองค์อาคารจะวัดทวนเข็มนาฬิกาจากแกนอ้างอิงรวมไปหาแกนอ้างอิงองค์อาคาร ให้สังเกตุ

จุดต่อใกล้ขององค์อาคารที่ 1 (จุดต่อ *A*) แกนอ้างอิงรวม จะทำมุม 0° องศากับแกนอ้างอิงตามองค์อาคาร และที่จุดต่อไกลขององค์อาคารที่ 1 (จุดต่อ *B*) แกนอ้างอิงรวมจะทำมุม 0° กับแกนอ้างอิงตามองค์อาคาร

ที่จุดต่อใกล้ขององค์อาคาร 2 (จุดต่อ *B*) แกนอ้างอิงรวมจะทำมุมกับแกนอ้างอิงองค์อาคารวัดทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับ 303.69° ส่วนที่จุดต่อไกลขององค์อาคารที่ 2 (จุดต่อ *C*)) แกนอ้างอิงรวมจะทำมุมกับแกนอ้างอิงตามองค์อาคารเท่ากับ 283.69°

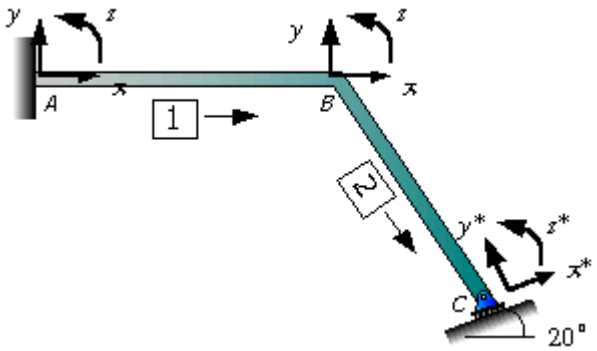
ตัวอย่างการวัดมุมที่จุดต่อ *C*



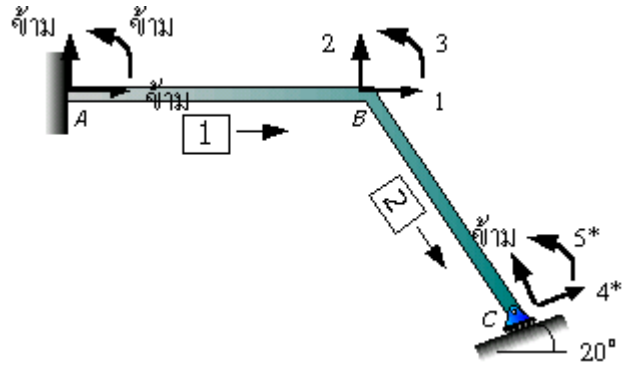
แกนรวม แกนองค์อาคาร วัดจากแกนรวมไปหาแกนองค์อาคาร

ในการทำโจทย์ด้วยมือนักศึกษาต้องใช้หมายเลขกำกับทิศทางแรง และกำหนดทิศทางขององค์อาคารให้ตรงกับที่โปรแกรมกำหนด เพื่อจะได้เป็นระบบเดียวกัน

หลักการในการกำหนดหมายเลข ต้องกำหนดหมายเลขเริ่มต้นลงในทิศทางแรงที่ไม่มีการยึดรั้งที่จุดต่อก่อน (ดูหมายเลขกำกับทิศทางที่โปรแกรมกำหนดขึ้นประกอบคำอธิบาย)



แกนอ้างอิงบนโครงสร้างรวม

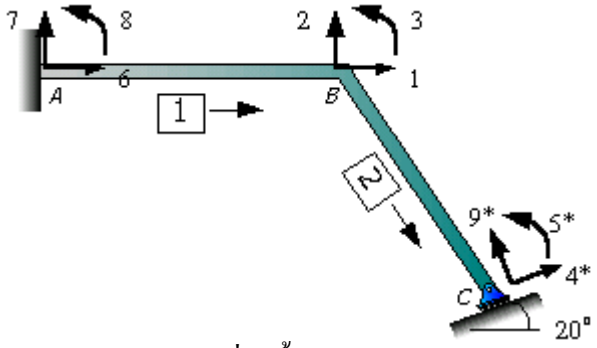


เริ่มแรกให้ใส่หมายเลขกำกับทิศทางให้กับทิศทางที่ไม่มีการยึดรั้งก่อน ให้ไล่ตามองค์อาคาร ไล่ตามจุดต่อ (ใกล้, ไกล) ไล่ตามทิศ x, y, z

จุดต่อ A (ที่รองรับยึดแน่น) จะยึดรั้งทั้ง 3 ทิศทางดังนั้นจึงข้ามไปที่จุดต่อ B (จุดต่อแบบข้อแข็ง)

จุดต่อ B (จุดต่อแบบข้อแข็ง) ซึ่งไม่มีการยึดรั้งทั้ง 3 ทิศทาง ดังนั้นจึงใส่ หมายเลข 1 กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน x ใส่หมายเลข 2 กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน y ใส่ หมายเลข 3 กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน z ถัดมาข้ามไปที่จุดต่อ C (ที่รองรับแบบล้อเลื่อน)

จุดต่อ *C* (ที่รองรับแบบล้อเลื่อน) ซึ่งมีการยึดรั้งเฉพาะตามทิศทางแกน *y** ดังนั้นจึงใส่หมายเลข 4* กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน *x** ใส่ หมายเลข 5* กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน *z** แล้วจึงวนไปใส่หมายเลขให้กับจุดต่อ *A* ในทิศทางที่มีการยึดรั้งทั้งหมด



วนกลับมาใส่ทิศทางที่ยึดรั้งให้ครบ

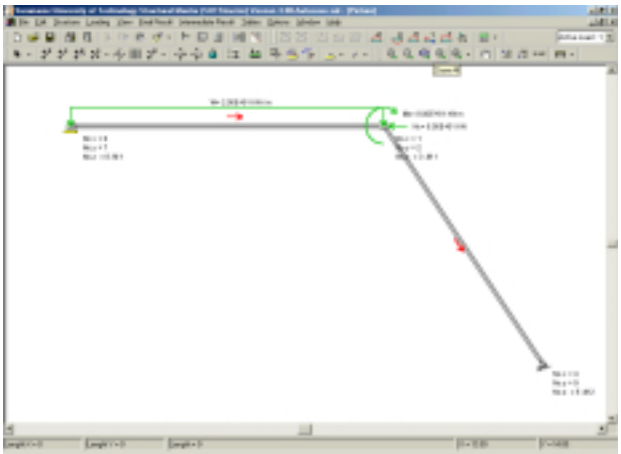
จุดต่อ *A* (ที่รองรับยึดแน่น) จะยึดรั้งทั้ง 3 ทิศทางดังนั้นใส่หมายเลข 6 กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน *x* ใส่หมายเลข 7 กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน *y* ใส่ หมายเลข 8 กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน *z*

จุดต่อ *B* (จุดต่อแบบข้อแข็ง) ข้ามไปเนื่องจากใส่หมายเลขเรียบร้อยแล้ว

จุดต่อที่ *C* (ที่รองรับแบบล้อเลื่อน) ใส่หมายเลข 9* กำกับทิศทางแรงตามแนวแกน *y**

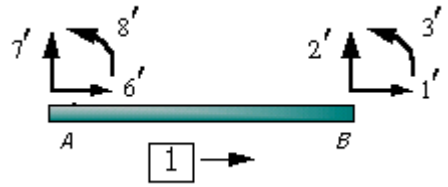
หมายเลขที่กำหนดขึ้นนี้เพื่อนำไปใช้เป็นหมายเลขกำกับพิกัดเมตริกสำหรับประกอบเมตริกของแต่ละองค์อาคารเป็นเมตริกรวมทั้งโครงสร้าง เช่น จาก [k′] เป็น [K]

หลังจากป้อนข้อมูลตามโจทย์ลงในโปรแกรม สามารถสั่งให้โปรแกรมกำหนดหมายเลขกำกับทิศทางได้ โดยคลิกที่ปุ่ม Direction Number ในรายการคำสั่ง Intermediate Result



2. จากข้อมูลในตารางคำนวณหา [T], [k´], $[T]^T$ และหาค่า [k] จาก $[k] = [T]^T[k´][T]$

องค์อาคารที่ 1

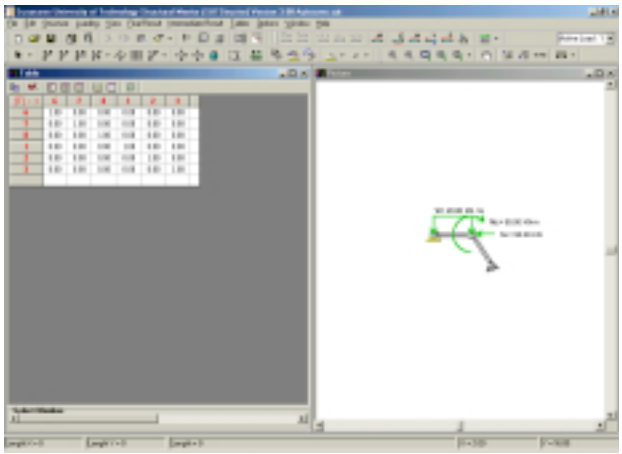


แทนค่า $\theta_1 = 0°$ และ $\theta_2 = 0°$ เพื่อหา [T] และ $[T]^T$

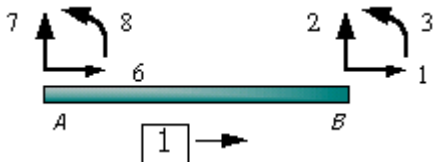
$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [T] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 1 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [T]



หลักการกำหนดหมายเลขกำกับพิกัดเมตริก

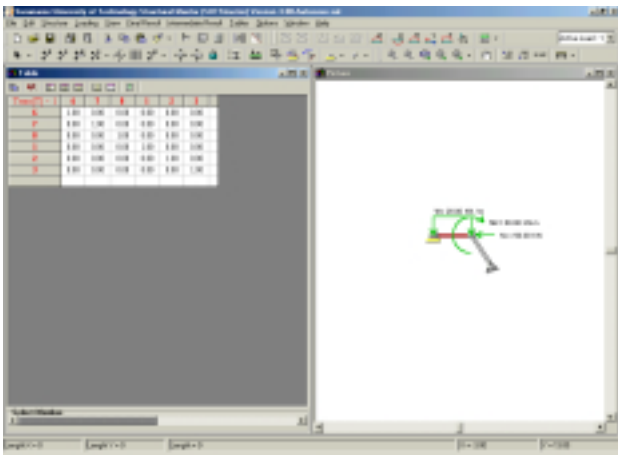


หมายเลขกำกับทิศทางแรงขององค์อาคารที่ 1

คำนวณหา $[T]^T$ ขององค์อาคารที่ 1

$$[T]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง $[T]^T$ เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 1 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ Trans [T]

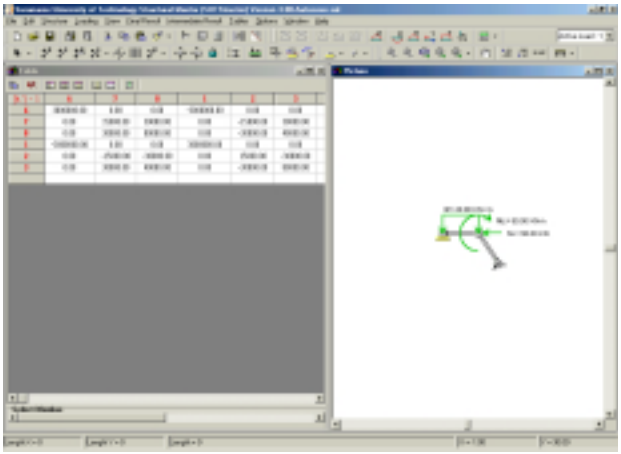


แทนค่า $L = 4$ m, $A = 60(10^{-3})$ m^2, $E = 200(10^{-6})$ kN/ m^2, $I = 400(10^{-6})$ m^4 ลงในสมการถัดไปเพื่อหาค่า [k´]

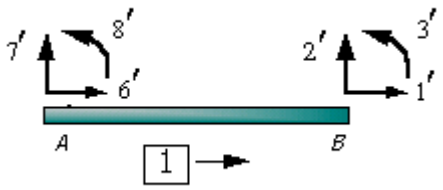
$$[k'] = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L \\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L \\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$[k'] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 6 & 7 & 8 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 3000000 & 0 & 0 & -3000000 & 0 & 0 \\ 0 & 15000 & 30000 & 0 & -15000 & 30000 \\ 0 & 30000 & 80000 & 0 & -30000 & 40000 \\ -3000000 & 0 & 0 & 3000000 & 0 & 0 \\ 0 & -15000 & -30000 & 0 & 15000 & -30000 \\ 0 & 30000 & 40000 & 0 & -30000 & 80000 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \end{array}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [k´] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 1 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [k´]



หมายเลขที่กำกับด้านบนและด้านข้างของเมตริกเป็นหมายเลขกำกับพิกัดเมตริก นำไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนการประกอบเมตริกของแต่ละองค์อาคารเป็นเมตริกรวมทั้งโครงสร้าง การกำหนดหมายเลขจะได้จากหมายเลขกำกับทิศทางแรง ให้สังเกตุในองค์อาคารที่ 1 ในรูปถัดไป



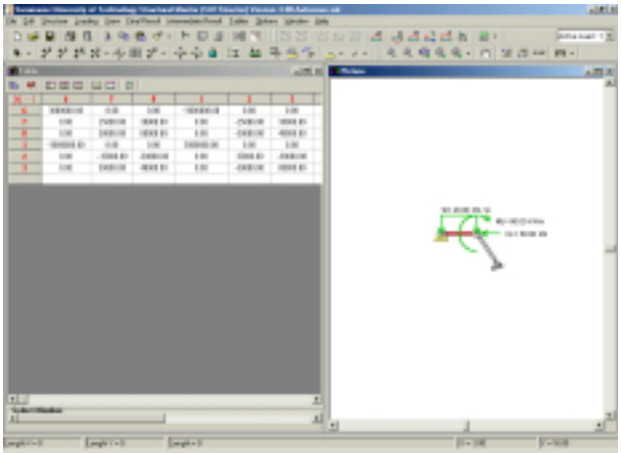
จุดต่อ *A* (จุดต่อใกล้ขององค์อาคารที่ 1) จะมีหมายเลขกำกับทิศทางตามแนวแกน x เป็น 6 หมายเลขกำกับทิศทางตามแนวแกน *y* เป็น 7 หมายเลขกำกับทิศทางตามแนวแกน *z* เป็น 8

จุดต่อ *B* (จุดต่อไกลขององค์อาคารที่ 2) จะมีหมายเลขกำกับทิศทางตามแนวแกน *x* เป็น 1 หมายเลขกำกับทิศทางตามแนวแกน *y* เป็น 2 หมายเลขกำกับทิศทางตามแนวแกน *z* เป็น 3 ขั้นตอนต่อมาหาค่า [k] จาก $[k] = [T]^T[k']$ =

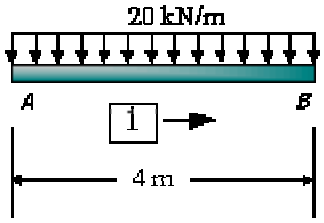
$$\left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 6 & 7 & 8 & 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccccc} 3000000 & 0 & 0 & -3000000 & 0 & 0 \\ 0 & 15000 & 30000 & 0 & -15000 & 30000 \\ 0 & 30000 & 80000 & 0 & -30000 & 40000 \\ -3000000 & 0 & 0 & 3000000 & 0 & 0 \\ 0 & -15000 & -30000 & 0 & 15000 & -30000 \\ 0 & 30000 & 40000 & 0 & -30000 & 80000 \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \left[\begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right]$$

$$[k] = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 6 & 7 & 8 & 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccccc} 3000000 & 0 & 0 & -3000000 & 0 & 0 \\ 0 & 15000 & 30000 & 0 & -15000 & 30000 \\ 0 & 30000 & 80000 & 0 & -30000 & 40000 \\ -3000000 & 0 & 0 & 3000000 & 0 & 0 \\ 0 & -15000 & -30000 & 0 & 15000 & -30000 \\ 0 & 30000 & 40000 & 0 & -30000 & 80000 \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [k] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 1 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [k]



เนื่องจากองค์อาคารที่ 1 มีน้ำหนักบรรทุกกระทำที่องค์อาคาร ดังนั้นในองค์อาคารที่ 1 ต้องคำนวณหาเมตริกแรงที่ปลายยึดแน่น

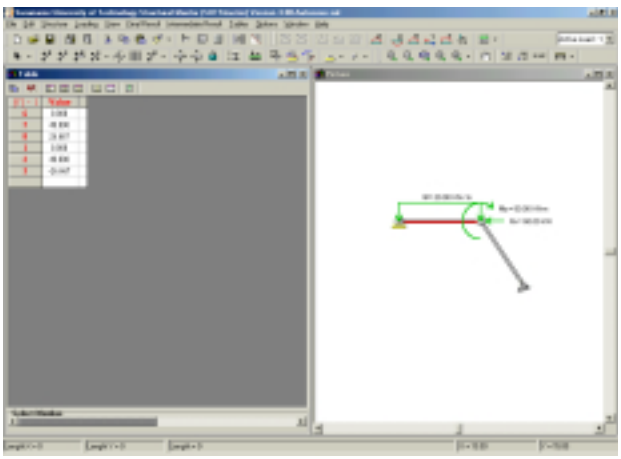


น้ำหนักบรรทุกที่กระทำที่องค์อาคารที่ 1 เป็นน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่สม่ำเสมอ 20 kN/m คำนวณหาเมตริกแรงที่ปลายยึดแน่น โดยแทนค่า w = -20 kN/m, L = 4 m ลงในเมตริกด้านล่าง

$$[f'] = \begin{bmatrix} 0 \\ -wL/2 \\ -wL^2/12 \\ 0 \\ -wL/2 \\ wL^2/12 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix}$$

$$[f'] = \begin{bmatrix} 0 \\ 40 \\ 26.67 \\ 0 \\ 40 \\ -26.67 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix}$$

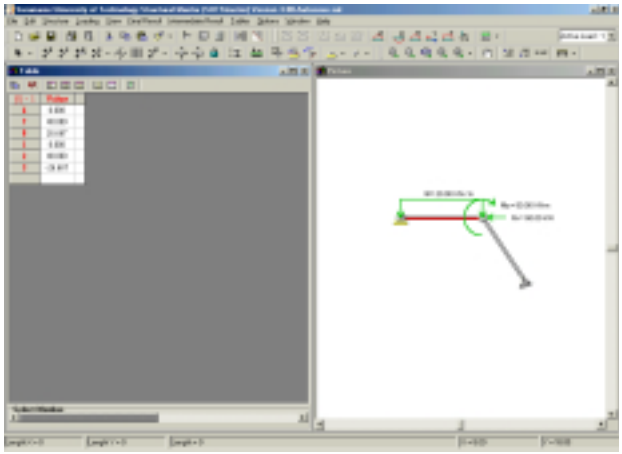
สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [f´] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 1 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [f ´]



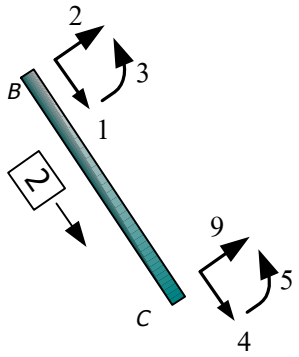
คำนวณหา [f] จาก $[f] = [T]^T[f']$ เพื่อเปลี่ยนระบบจากที่อ้างอิงตามแกนองค์อาคารให้อ้างอิงตามแกนรวม

$$[f] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 40 \\ 26.67 \\ 0 \\ 40 \\ -26.67 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 40 \\ 26.67 \\ 0 \\ 40 \\ -26.67 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [f] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 1 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [f]



องค์อาคารที่ 2

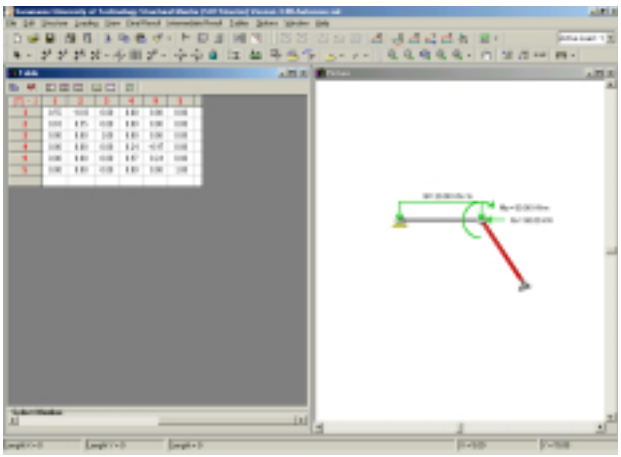


แทนค่า $\theta_1 = 303.69°$ และ $\theta_2 = 283.69°$ เพื่อหา [T] และ $[T]^T$

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T] = \begin{bmatrix} 0.55 & -0.83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.83 & 0.55 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.24 & -0.97 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.97 & 0.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

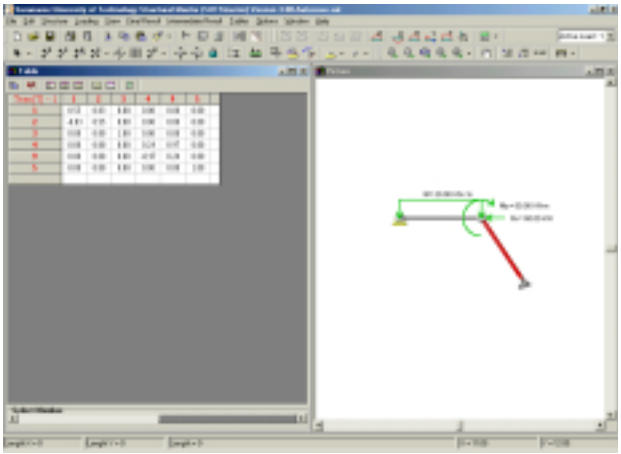
สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [T] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 2 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [T]



จาก [T] คำนวณหา $[T]^T$

$$[T]^T = \begin{bmatrix} 0.55 & 0.83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.83 & 0.55 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.24 & 0.97 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.97 & 0.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง $[T]^T$ เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 2 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ $[T]^T$

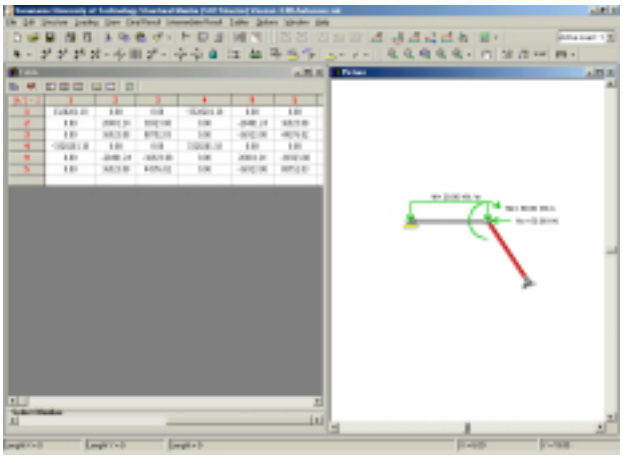


แทนค่า $L = 3.61$ m, $A = 60(10^{-3})$ m^2, $E = 200(10^{-6})$ kN/ m^2, $I = 400(10^{-6})$ m^4 ลงในสมการด้านล่าง เพื่อหาค่า [k´]

$$[k'] = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L \\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L \\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$[k'] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 9 & 5 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 3328201 & 0 & 0 & -3328201 & 0 & 0 \\ 0 & 20481.24 & 36923.08 & 0 & -20481.2 & 36923.08 \\ 0 & 36923.08 & 88752.03 & 0 & -36923.1 & 44376.02 \\ -3328201 & 0 & 0 & 3328201 & 0 & 0 \\ 0 & -20481.2 & -36923.1 & 0 & 20481.24 & -36923.1 \\ 0 & 36923.08 & 44376.02 & 0 & -36923.1 & 88752.03 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 9 \\ 5 \end{matrix}$$

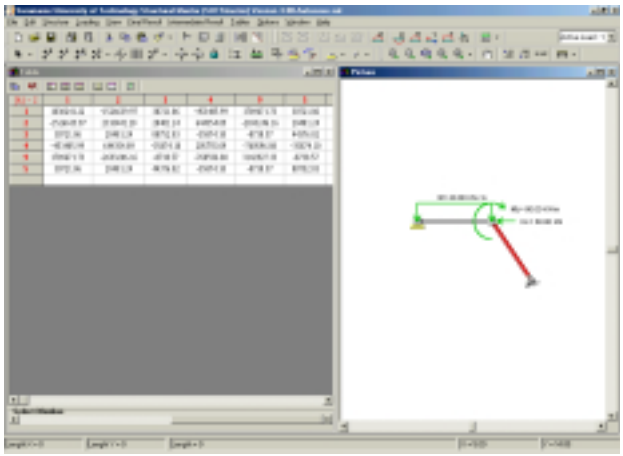
สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [k´] เพื่อตรวจคำตอบ ได้โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 2 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [k´]



หาค่า [k] จาก $[k] = [T]^T[k'][T]$

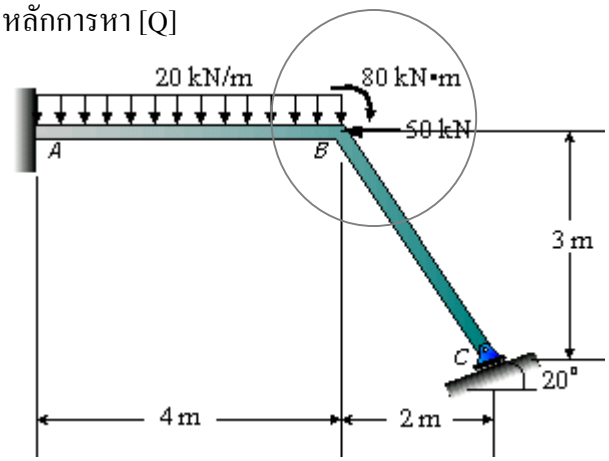
$$[k] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4^* & 9^* & 5^* \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1038241 & -1526640 & 30721.86 & -453486 & 1789672 & 30721.86 \\ -1526640 & 2310441 & 20481.24 & 6443549 & 2693246 & 20481.24 \\ 30721.86 & 20481.24 & 88752.03 & -35874.1 & -8738.57 & 44376.02 \\ -453486 & 6443549 & -35874.1 & 205755.1 & -760597 & -35874.1 \\ 17821.86 & -2693246 & -8738.57 & -760597 & 3142927 & -8738.57 \\ 30721.86 & 20481.24 & 44376.02 & -35874.1 & -8738.57 & 88752.03 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4^* \\ 9^* \\ 5^* \end{matrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดง [k] เพื่อตรวจคำตอบ ได้โดยเลือกคำสั่ง Select Member และเลือกที่องค์อาคารหมายเลข 2 แล้วเลือกที่รายการคำสั่ง Intermediate Result ในหัวข้อ [k]

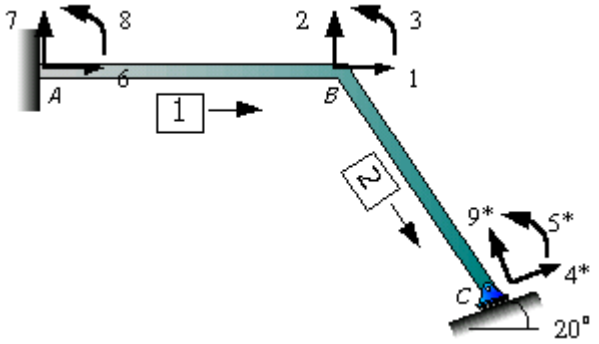


3. คำนวณหาเมตริกรวมทั้งโครงสร้างโดยนำ [k], [f] มาประกอบกันตามหมายเลขกำกับพิกัดเมตริก แทนค่าแรงภายนอกลงในเมตริก [Q] ค่าการทรุดตัวลงในเมตริก [D] ตามหมายเลขกำกับพิกัดเมตริก

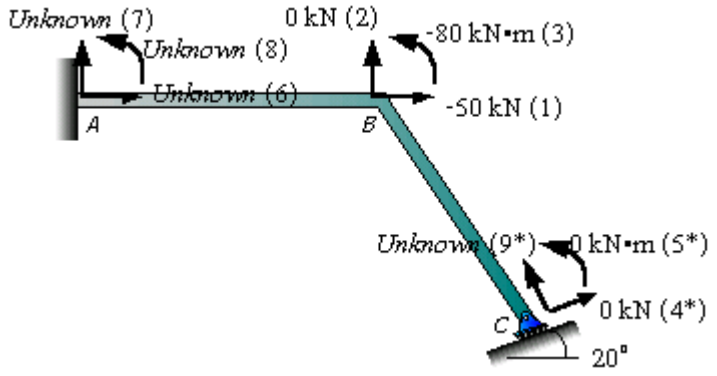
หลักการหา [Q]



แรงภายนอกที่กระทำกับโครงสร้าง (ในวงกลม)



หมายเลขกำกับทิศทางแรง

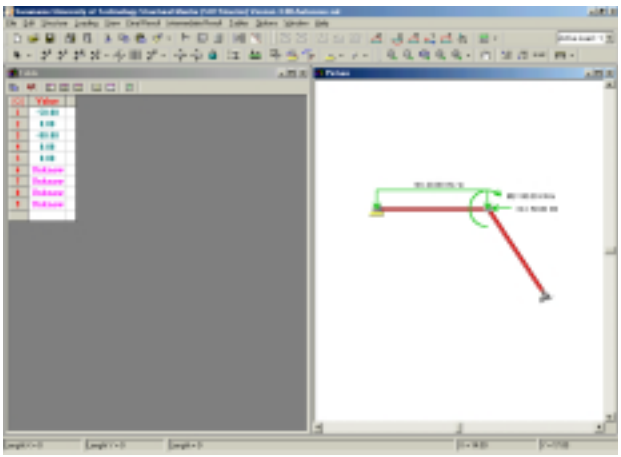


แรงภายนอกพร้อมหมายเลขกำกับทิศทางแรง

ให้นำค่าแรงภายนอกที่กระทำที่จุดต่อของโครงสร้าง มาใส่ลงในเมตริกตามหมายเลขทิศทางแรงที่กำหนด เช่น ที่จุดต่อ *B* (ในกรอบวงกลม) จะมีแรงกระทำที่จุดต่อตามแนวแกน x (ตรงกับหมายเลขกำกับทิศทางแรงหมายเลข 1) เท่ากับ -50 kN (ตรงข้ามกับทิศที่กำหนด)ตามแนว y (ตรงกับหมายเลขกำกับทิศทางแรงหมายเลข 2) เท่ากับ 0 kN (ไม่มีแรงภายนอกกระทำ)และตามแนว z (ตรงกับหมายเลขกำกับทิศทางแรงหมายเลข 3) เท่ากับ –80 kN•m (ตรงข้ามกับทิศที่กำหนด) ดังนั้นนำค่า –50 ไปใส่แถวที่ 1 ในเมตริก [Q] ค่า 0 ไปใส่แถวที่ 2 ในเมตริก [Q] และ -80 ไปใส่ในแถวที่ 3 ในเมตริก [Q] ส่วนแรงปฏิกิริยาที่ต้องการทราบค่ากำหนดเป็น *Unknown* นำไปจัดลงเมตริก [Q] ตามหมายเลขกำกับทิศทางแรง เมตริกที่ได้จะเป็น

$$[Q] = \begin{bmatrix} -50 \\ 0 \\ -80 \\ 0 \\ 0 \\ Unknown \\ Unknown \\ Unknown \\ Unknown \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4* \\ 5* \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9* \end{matrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงค่า [Q] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกที่รายการคำสั่ง Tables ในหัวข้อ [Q]



ในขั้นตอนนี้ต้องนำ [k′] ขององค์อาคารที่ 1 และ 2 มารวมกัน โดยนำ [k′] ขององค์อาคารที่ 1 และ 2 มาจัดลงใน [K] ตามพิกัดของเมตริก ถ้าค่า [k′] ขององค์อาคารที่ 1 และ 2 มีพิกัดเมตริกที่ตรงกันนำมาบวกกัน ส่วนพิกัดเมตริกใน [K] ที่ไม่ตรงกับพิกัดเมตริกของ [k′] ขององค์อาคารที่ 1 และ 2 จะมีค่าเป็นศูนย์

$$[\mathrm{K}] = \begin{bmatrix} [K_1] & [K_2] \\ [K_3] & [K_4] \end{bmatrix}$$

เมื่อ

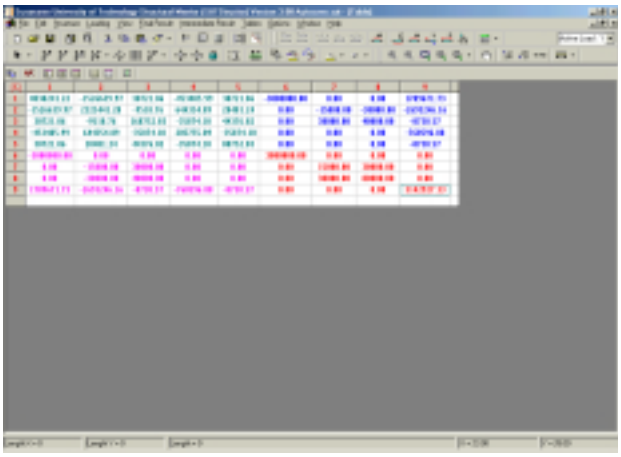
$$[K_1] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4^* & 5^* \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 4038241.22 & -1526639.97 & 30721.86 & -45348.99 & 30721.86 \\ -1526639.97 & 2325441.20 & -9518.76 & 644354.89 & 20481.24 \\ 30721.86 & -9518.76 & 168752.03 & -35874.10 & 44376.02 \\ -453485.99 & 644354.89 & -35874.10 & 205755.09 & -35874.10 \\ 30721.86 & 20481.24 & 44376.02 & -35874.10 & 88752.03 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4^* \\ 5^* \end{matrix}$$

$$[K_2] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 6 & 7 & 8 & 9^* \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -3000000.00 & 0.00 & 0.00 & 1789671.73 \\ 0.00 & -15000.00 & -30000.00 & -2693246.16 \\ 0.00 & 30000.00 & 40000.00 & -8738.57 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -760596.88 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -8738.57 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4^* \\ 5^* \end{matrix}$$

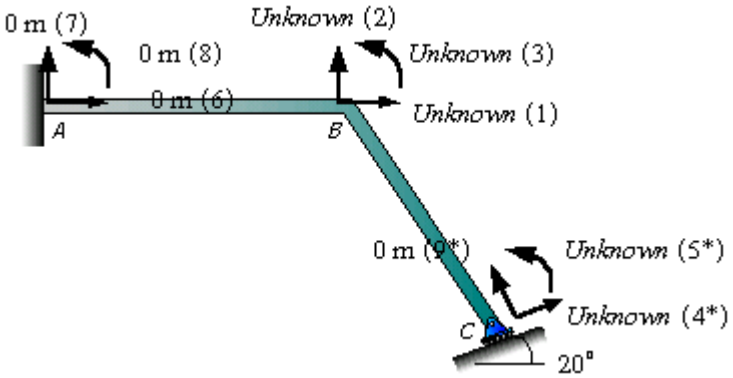
$$[K_3] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4^* & 5^* \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -3000000.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & -15000.00 & 30000.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & -300000.00 & 40000.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1789671.73 & -2693246.16 & -8738.57 & -760596.88 & -8738.57 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9^* \end{matrix}$$

$$[K_4] = \begin{array}{c} \begin{matrix} 6 & 7 & 8 & 9^* \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 3000000.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 15000.00 & 30000.00 & 0.00 \\ 0.00 & 30000.00 & 80000.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 3142827.33 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9^* \end{matrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงค่า [K] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกที่รายการคำสั่ง Tables ในหัวข้อ [K]



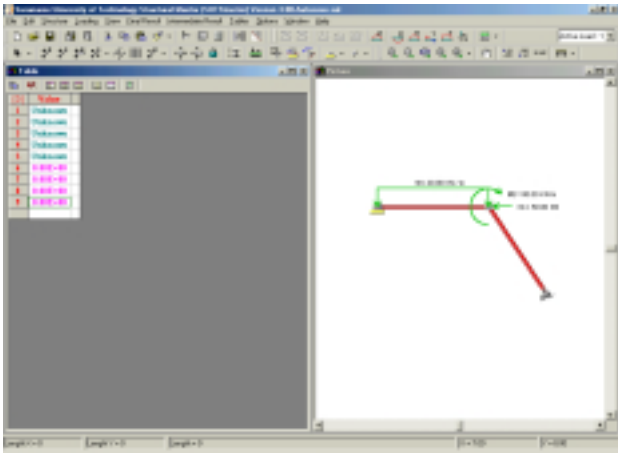
ในขั้นตอนนี้ต้องคำนวณหา [D] โดยหาได้จากพิจารณาจากที่รองรับที่ทรุดตัว และจุดต่อต่อที่ไม่มีการยึดรั้ง ถ้าที่รองรับมีการทรุดตัวตามแนวหมายเลขกำกับทิศทางใด ให้นำค่ามาใส่ตามพิกัดเมตริกนั้น ส่วนทิศทางที่มีการแอ่นตัวที่ไม่ทราบค่าจะกำหนดให้เป็น *Unknown*



ทิศทางแรงที่มีการยึดรั้งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นค่าการแอ่นตัวตามทิศทางนั้นจะมีค่าเป็น 0 m

$$[D] = \begin{bmatrix} Unknown \\ Unknown \\ Unknown \\ Unknown \\ Unknown \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4* \\ 5* \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9* \end{matrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงค่า [D] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกที่รายการคำสั่ง Tables ในหัวข้อ [D]



ขั้นตอนนี้ต้องคำนวณหาเมตริก [F] จะได้จากการนำเมตริก [f] มาประกอบกันตามพิกัดเมตริก หลักการหาจะใช้วิธีเดียวกันกับการนำ [k´] มาประกอบขึ้นเป็น [K]

หา [F] จาก $[F] = [f]_1 + [f]_2$

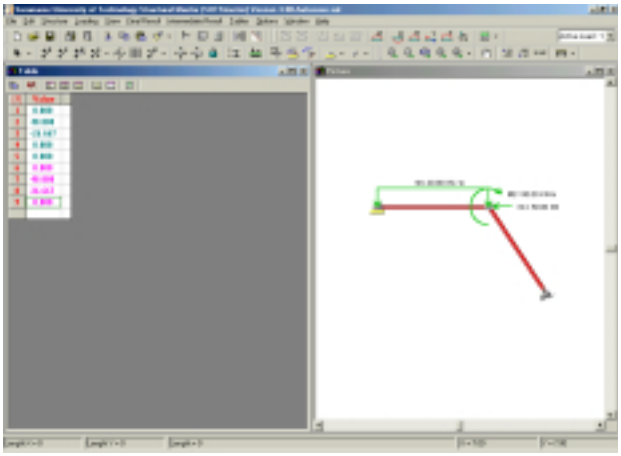
เมื่อ

$[f]_1$ คือ [f] ขององค์อาคารที่ 1

$[f]_2$ คือ [f] ขององค์อาคารที่ 2 (มีค่าเป็น 0 เนื่องจากไม่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ)

$$[F] = \begin{bmatrix} 0 \\ 40 \\ -26.667 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 40 \\ 26.667 \\ 0 \end{bmatrix}_1 \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4* \\ 5* \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9* \end{matrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}_2 \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4* \\ 5* \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9* \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 40 \\ -26.667 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 40 \\ 26.667 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4* \\ 5* \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9* \end{matrix}$$

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงค่า [F] เพื่อตรวจคำตอบได้ โดยเลือกที่รายการคำสั่ง Tables ในหัวข้อ [F]

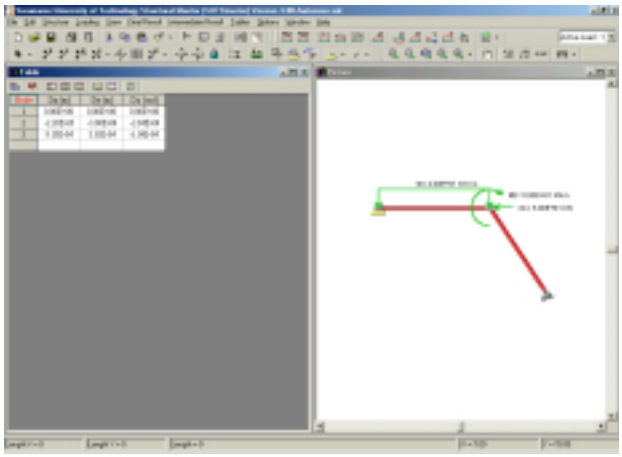


4. แก้สมการเพื่อหาค่า *Unknown* โดยใช้สมการ [Q] = [K][D]+[F] จะทำให้ทราบการแอ่นตัวที่จุดต่อและแรงปฏิกิริยา

ค่าการแอ่นตัวที่จุดต่อ

Node	Dx [m]	Dy [m]	Dz [rad]
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	-2.20E-05	-3.08E-04	-2.84E-04
3	9.15E-04	3.33E-04	6.14E-04

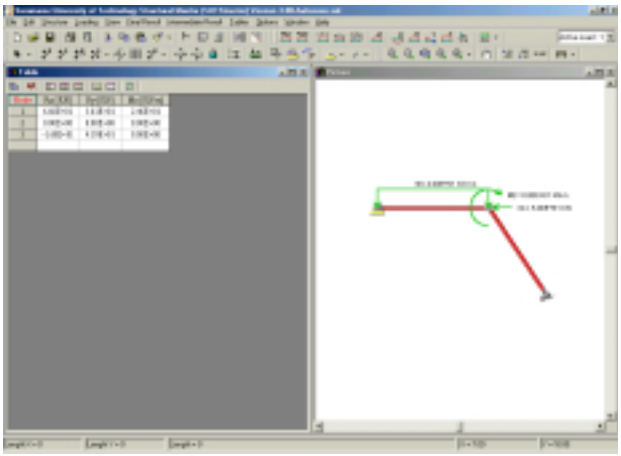
สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงผลลัพธ์เพื่อตรวจคำตอบเมตริกการแอ่นตัวได้ โดยเลือกที่รายการคำสั่ง Tables ในหัวข้อ Nodal Displacement



แรงปฏิกิริยาที่ตัวรองรับ

Node	Rx [kN]	Ry [kN]	Mz [kN•m]
1	6.60E+01	3.61E+01	2.46E+01
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	-1.60E+01	4.39E+01	0.00E+00

สามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงผลลัพธ์เพื่อตรวจคำตอบเมตริกแรงปฏิกิริยาได้ โดยเลือกที่รายการคำสั่ง Tables ในหัวข้อ Nodal Reaction



บทที่ 6
บทสรุป

6.1 ความสามารถใหม่ที่แตกต่างจากโปรแกรมอื่น

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถใหม่ที่แตกต่างจากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติตัวอื่นดังต่อไปนี้

1. โปรแกรมออกแบบมาให้สามารถจัดเก็บข้อมูลของงานที่วิเคราะห์แล้วในรูปแบบที่เหมือนกับคู่มือ (handbook) ซึ่งช่วยให้นักศึกษาสามารถช่วยกันทำโจทย์ และนำโจทย์ที่ทำขึ้นมาแลกเปลี่ยนกัน จัดเก็บเป็นฐานข้อมูลโจทย์ขนาดใหญ่ ที่สามารถพลิกและเปิดขึ้นมาเพื่อเป็นตัวอย่างเริ่มต้นใช้ทำโจทย์ได้อย่างรวดเร็ว
2. โปรแกรมออกแบบมาให้สามารถแสดงเมตริกที่ใช้ระหว่างการวิเคราะห์โครงสร้าง และ มีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) ในรูปแบบของกราฟฟิก เพื่อให้นักศึกษาใช้ตรวจสอบการทำโจทย์ของนักศึกษาได้อย่างสะดวกรวดเร็ว
3. โปรแกรมสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มี ที่รองรับแบบเอียงได้ โดยไม่ต้องใช้วิธีสร้างองค์อาคารสั้นๆ ขึ้นมาและทำมุมเอียงแทน
4. โปรแกรมสามารถวิเคราะห์โครงสร้างผสมระหว่างโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุนได้
5. โปรแกรมสามารถวิเคราะห์โครงสร้างแบบโครงข้อแข็ง และโครงข้อหมุนในแผ่นงานเดียวกันได้
6. โปรแกรมสามารถแสดงแผนภาพแรงดัด แรงเฉือน แรงตามแนวแกน และแรงปฏิกิริยา ในรูปแบบของกราฟฟิกได้พร้อมกันทั้งหมด หรือเลือกเปิดปิดให้แสดงบางแผนภาพได้
7. โปรแกรมสามารถแสดงระยะที่เป็นจุดดัดกลับ ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนเครื่องหมายของแรงดัด ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการศึกษาพฤติกรรมของคานและการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก
8. โปรแกรมสามารถแสดงภาพการแอ่นตัวของโครงสร้างเมื่อถูกแรงกระทำในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวได้
9. โปรแกรมสามารถแสดงผลลัพธ์สุดท้าย เช่น แรงอัด แรงดึง แรงเฉือน แรงดัด การแอ่นตัวของแต่ละองค์อาคารในรูปแบบตาราง และจัดเรียงค่าเหล่านี้ตามค่าสูงสุดได้

10. คำนวณโครงสร้างที่มีองค์อาคารที่สั้นเกินหรือยาวเกินกว่าที่ออกแบบได้ (fabrication error)

6.2 สรุป

ผลที่ได้จากพัฒนาโปรแกรม SUTStructor เมื่อนักศึกษานำมาช่วยในการเสริมการเรียนโดยใช้ควบคู่กับการทดลองทำโจทย์วิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสติฟเนส สามารถลดเวลาในการตรวจสอบหาจุดผิดพลาดจากการทำโจทย์ของนักศึกษา และเห็นภาพรวมของการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสติฟเนสเมตริกได้ดีขึ้น เนื่องจากโปรแกรมออกแบบมาให้มีลักษณะเหมือนสมุดคู่มือ (hand book) ทำให้นักศึกษาสามารถช่วยกันทำโจทย์ตัวอย่างบนโปรแกรมแล้วทำการบันทึกนำมารวบรวมไว้อย่างเป็นหมวดหมู่ เมื่อนักศึกษาต้องการดึงโจทย์ตัวอย่างออกมาทำแบบฝึกหัดก็ทำได้สะดวก จากหลักการออกแบบนี้เองช่วยให้นักศึกษาสามารถที่จะเปิดโจทย์ตัวอย่างจากโปรแกรมขึ้นมาเป็นตัวอย่าง และดัดแปลงโจทย์ตัวอย่าง เมื่อทำการวิเคราะห์บนโปรแกรมก็จะทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเรียนรู้จากการเปรียบเทียบได้ นอกจากนี้แล้วโปรแกรมได้รับการออกแบบให้สามารถเรียนรู้การใช้งานได้รวดเร็ว และมีเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการป้อนโครงสร้าง ทำให้วิศวกรที่นำโปรแกรมไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างขนาดเล็ก สามารถลดเวลาในการทำงานวิเคราะห์โครงสร้างได้อย่างมาก

6.3 ข้อจำกัด

โปรแกรม SUTStructor สามารถคำนวณได้ตรงตามจุดประสงค์แต่ยังมีข้อจำกัดบ้างดังนี้

1. ในการคำนวณโครงสร้างขนาดใหญ่มีความเร็วช้า
2. ทำงานได้เฉพาะระบบปฏิบัติการ Windows 9x หรือ Windows 2000
3. ยังไม่สามารถสั่งพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์โดยตรงได้ ต้องใช้การคัดลอก (copy to clipboard) แล้วไปวางใน MS Word หรือ สั่งพิมพ์หน้าจอแทน (print screen)
4. ขนาดไฟล์ที่ได้จากการบันทึกด้วยโปรแกรม SUTStructor มีขนาดใหญ่ ในการเคลื่อนย้ายแฟ้มต้องใช้การบีบอัดข้อมูลช่วย
5. ไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากแรงเฉือน (shear deformation)
6. สามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะโครงสร้างที่อยู่ภายใต้สมมุติฐาน วัสดุจะต้องมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงพิกัดยืดหยุ่น(proportional limit) และมีการเปลี่ยนรูปร่างน้อยมาก (small deflection) เท่านั้น

6.4 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ

ในการพัฒนาโปรแกรมถือว่าเป็นไปตามจุดประสงค์ แต่ก็มีหลายส่วนที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นไปอีกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นนอกเหนือจากการเรียนการสอน

1. ปรับปรุงให้สามารถคำนวณสามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจาก แรงเฉือน
2. ปรับปรุงให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงพลาสติก (plastic region)
3. พัฒนาต่อในส่วนการพิมพ์ข้อมูลโดยตรง ออกทางเครื่องพิมพ์ และให้มีฟังก์ชันพิมพ์ตัวอย่างด้วย (print preview)
4. แก้ไขรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลโดยเฉพาะข้อมูลการจัดการเรื่องการส่งถ่ายโมเมนต์ที่จุดต่อ
5. ปรับปรุงให้สามารถคำนวณเส้นอินฟลูเอนซ์โดยทำการเพิ่มจุดต่อแบบตัวเลื่อนเข้าในโปรแกรม
6. การพัฒนาทางด้านความเร็วในการประมวลผล สามารถทำได้โดยการพัฒนาตัวรหัสคำสั่งในการวิเคราะห์ให้เป็นภาษา C เนื่องจากโปรแกรมที่เขียนด้วย Visual Basic สามารถที่จะทำงานร่วมกันกับไฟล์ที่เขียนขึ้นจากภาษา C โดยการแปลเป็นไฟล์ DLL และให้ Visual Basic เรียกฟังก์ชันที่อยู่ในไฟล์ DLL

ภาคผนวก

คำอธิบายศัพท์

2D frame/truss	โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน 2 มิติ
Axial	แรงตามแนวแกน
Concentrated load	น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด
Deflection	การแอ่น
Deformation	การเปลี่ยนรูปร่าง
Degree of freedom	ดีกรีของความอิสระ
Direct stiffness matrix	เมตริกสติฟเนสตรง
Displacement matrix	เมตริกการแอ่น
End force member matrix	เมตริกแรงที่ปลายองค์อาคาร
Fixed-end force	แรงที่ปลายยึดแน่น
Global axis	แกนในระบบพิกัดรวม
Global coordinate	พิกัดรวม
Global coordinate system	ระบบพิกัดรวม
Global displacement matrix	เมตริกการแอ่นตัวรวม
Global external force matrix	เมตริกแรงภายนอกรวม
Global fixed-end matrix	เมตริกปลายยึดแน่นรวม
Global stiffness matrix	เมตริกสติฟเนสรวม
Joint detail	รายละเอียดข้อต่อ
Local displacement matrix	เมตริกการแอ่นตัวของแต่ละชิ้นส่วน
Local fixed-end matrix	เมตริกปลายยึดแน่นของแต่ละชิ้นส่วน
Local stiffness matrix	เมตริกสติฟเนส ของแต่ละชิ้นส่วน
Moment	แรงดัด
Modulus of elasticity	โมดูลัสยืดหยุ่น
Moment of inertia	โมเมนต์ความเฉื่อย
Node	จุดต่อ
Nodal force	แรงที่จุดต่อ
Reaction	แรงปฏิกิริยา
Shear	แรงเฉือน

Structural analysis program for education	โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอน
Support	ที่รองรับ
Transformation matrix	เมตริกแปลง
Trapezoidal load	น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู
Uniform load	น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่
User interface	ส่วนตอบโต้กับผู้ใช้ของโปรแกรม เช่น ส่วนป้อนข้อมูล ส่วนแสดงผล

ประวัติ

ชื่อผู้วิจัย นาย อลงกรณ์ ละม่อม

วัน/เดือน/ปีเกิด 29 กรกฎาคม 2519

การศึกษา -มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอุตรดิตถ์ พ. ศ. 2534
-มัธยมศึกษาตอนปลาย การศึกษานอกโรงเรียนจังหวัดอุตรดิตถ์ (กศน.) พ.ศ. 2536
-วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (โยธา) สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ. ศ. 2540

การทำงาน พ.ศ. 2540 วิศวกรโครงสร้าง บริษัทสีมาครีเอท จำกัด เวลา 1 ปี

เอกสารอ้างอิง

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. (2542). **Visual Basic 6**. กรุงเทพ: หจก.ไทยเจริญการพิมพ์.

พุฒิพงษ์ นาคะปัท. (2542). **การเขียนเกมบนวินโดส์ด้วย Visual Basic**. กรุงเทพ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ชัยวัฒน์ คำรัตน์. (ม.ป.ป.) **2D GAME with DirectX7**. กรุงเทพ: คอมพิวเตอร์เอจเทคโนโลยี.

สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช. (2542). **การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic 6.0 ระดับสูง**. กรุงเทพ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิมุติ วสะหลาย. (2541). **Microsoft Visual Basic 5.0 Developer's Guide**. กรุงเทพ: เฟิสท์ แปซิฟิก มีเดีย.

วิสาร กำจรเวทย์. (2539). **Visual Basic ฉบับ Database**. กรุงเทพ: โปรวิชั่น.

Abdul Rauf. (1997). **GRASP** (version 1.17) [Computer software].

Beer,F.P,Johnston,E.R. (1992). **Mechanics Of Materials (Second Edition)**.Berkshire:McGraw-Hill.

Craig, J.C.,Webb,J. (1998). **Microsoft Visual Basic 6.0 Developer's Workshop** (Fifth Edition).Washington: Microsoft Press.

David Hesse. (1998). **Winbeam** (version 3.30) [Computer software].

Dr. software. (1997). **Dr. Frame** (version 1) [Computer software].

Hibbeler, R.C. (1995). **Structural Analysis** (Third Edition). New Jersey: Prentice Hall.

Kassimali, A. (1999). **Matrix Analysis of Structures**. CA: Brooks/Cole.

Kassimali, A. (1999). **Structural Analysis**. CA: Brooks/Cole.

Mansfield,R.,Petroutsos,E. (1995). **Visual Basic Power Toolkit.**. NC: Ventana Press.

United States Military Academy West Point. (1997). **CMEStacker** (version 1) [Computer software].

Weaver, W. (1990). **Matrix Analysis of framed Structure**. New York: Chapman & Hall.

SUTStructor

Suranaree University of Technology Structural Mentor

คู่มือการใช้งาน

เกี่ยวกับโปรแกรมนี้

SUTStructor เป็นโปรแกรมที่มี การป้อนข้อมูลเข้าแบบกราฟฟิก ซึ่งสามารถคำนวณโครงสร้างได้ทั้ง โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน และมีคุณลักษณะเด่นดังนี้

- ป้อนข้อมูลแบบกราฟฟิกบนหน้าจอและแสดงภาพให้เห็นทันที
- ป้อนองค์อาคารได้โดยไม่ต้องป้อนจุดต่อก่อน
- ลบจุดต่อที่ไม่ติดต่อกับองค์อาคารอัตโนมัติ
- คำนวณพื้นที่ โมเมนต์ความเฉื่อย จากหน้าตัดอัตโนมัติ
- ใส่ที่รองรับ (Support) แบบกราฟฟิก และคำนวณที่รองรับแบบเอียงได้
- มีตัวช่วยสร้างโครงสร้าง (Structure Wizard) และตัวช่วยสร้างคาน (Beam Wizard) ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างภายใน 3 ขั้นตอน
- ใส่น้ำหนักบรรทุกที่องค์อาคาร (Member Load) หรือที่จุดต่อ (Nodal Load) เป็นกราฟฟิก
- มีน้ำหนักบรรทุกให้เลือกหลายแบบ เช่น น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (Concentrate Load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่ (Uniform Load), น้ำหนักบรรทุกจากอุณหภูมิ (Thermal Load), น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากความยาวที่ผิดพลาด (Fabrication Error)
- แสดงรูปภาพของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟฟิกและมีน้ำหนักบรรทุกหลายประเภทให้เลือก
- เลือกทิศทางของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟฟิก
- ใส่น้ำหนักบรรทุกได้ทั้งตามแนวแกนขององค์อาคารหรือแกนรวมโครงสร้าง
- แสดงผลลัพธ์การคำนวณบนหน้าจอเป็นกราฟฟิก ได้แก่ แผนภาพแรงตามแนวแกน แผนภาพแรงเฉือน แผนภาพแรงดัด แผนภาพการแอ่น
- แสดงภาพเคลื่อนไหวการแอ่นได้
- แสดงจุดดัดกลับได้
- รายงานผลเป็นตารางได้ และจัดเรียงค่ามากน้อยได้
- แสดงค่าสูงสุด และ ค่าที่จุดปลายของแต่ละองค์อาคารได้
- คัดลอก ภาพ หรือ ผลในตารางไปใส่ใน MS Word หรือ Ms Excel ได้
- แสดงผลลัพธ์ระหว่างการคำนวณ
- แสดงแผนภาพแรงทั้งหมดได้พร้อมกัน
- คำนวณหลายโครงสร้างในแผ่นงานเดียว
- วิเคราะห์โครงสร้างผสม ระหว่างโครงข้อหมุนกับโครงข้อแข็ง

สารบัญ

	หน้า
เกี่ยวกับโปรแกรมนี้	ก
สารบัญ	ข
บทที่	
1 แนะนำ	**1**
เครื่องที่ต้องการ	1
ระบบปฏิบัติการที่ต้องการ	2
การติดตั้ง	2
เนื้อหาในแต่ละบทของคู่มือ	3
ข้อตกลงตัวพิมพ์	3
2 ลักษณะเด่นโปรแกรม	**4**
ทั่วไป	4
ระบบหน่วย	4
แกนรวม และ แกนองค์อาคาร	5
พิกัด จุดต่อ	5
คุณสมบัติวัสดุ	6
ข้อแข็ง/ข้อหมุน ปลายองค์อาคาร	6
การเคลื่อนย้ายองค์อาคาร	6
การคัดลอกองค์อาคาร	6
การคัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่อง	7
การแบ่งองค์อาคารเป็นหลายส่วน	7
ตัวช่วยสร้างโครงสร้าง	7
การยึดรั้ง	7
น้ำหนักบรรทุกที่ทำงาน	8
น้ำหนักบรรทุกจุดต่อ	8
น้ำหนักบรรทุกองค์อาคาร	8
ขนาด	9
แสดงแผนภาพทั้งหมดในแผ่นงานเดียว	9

คัดลอกและวาง 9
การคัดลอกและวางอย่างรวดเร็ว 9
อัตราส่วนการแสดงแผนภาพ 10
การแสดงภาพเคลื่อนไหวการแอ่นตัว 10
ผลลัพธ์ 10
คัดลอกผลลัพธ์ 11
ตัวเลือก 11
3 พื้นฐาน 12
เริ่มใช้งานโปรแกรม 12
ออกจากโปรแกรม 13
การใช้ ตัวช่วย 14
การเปลี่ยนโหมดแสดงผล 14
รูปแบบปฏิบัติการ 14
ส่วนประกอบในหน้าจอหลัก 15
รายการคำสั่ง 16
แถบเครื่องมือ 16
ชุดน้ำหนักบรรทุกที่ทำงาน 16
พิกัดเพิ่มองค์อาคาร 16
พิกัดเมาส์ 16
การบันทึกข้อมูล 17
การเปิดข้อมูล 17
การเริ่มงานใหม่ 18
การเปิดงานอย่างรวดเร็ว 18
การบันทึกข้อมูลเพื่อเปิดงานอย่างรวดเร็ว 19
การเปลี่ยนหน่วย 19
การตั้งค่าขนาดแผ่นงานและตาราง 20
การตั้งค่าในตัวเลือก 22
การ ขยาย/หด ภาพ 25
การเลื่อนภาพ 26

4 การป้อนข้อมูล **27**
ระบบพิกัด 27
การเพิ่มองค์อาคาร 27
คำสั่งลบ 29
คำสั่งเลือก องค์อาคาร/จุดต่อ หรือทั้งสอง 29
การแก้ไขคุณสมบัติวัสดุ 30
การเคลื่อนย้ายองค์อาคาร 32
การคัดลอกองค์อาคาร 32
การคัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่อง 33
การแบ่งองค์อาคาร 33
การเคลื่อนย้ายจุดต่อ 34
การเคลื่อนย้ายจุดต่อแบบป้อนค่า 34
การจัดกลุ่มการถ่ายเทโมเมนต์ระหว่างองค์อาคารในจุดต่อ 34
การใส่ที่รองรับและจุดต่อ 36
5 น้ำหนักบรรทุก **37**
ชุดโหลดที่ทำงาน 37
การตั้งให้คำนวณน้ำหนักขององค์อาคารอัตโนมัติ 38
การตั้งเลือกรูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในการป้อนน้ำหนักบรรทุก 39
การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Quick 40
การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ GRASP-LIKE 41
การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Advanced 41
การแก้ไข/ลบ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Quick 43
การแก้ไข/ลบ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ GRASP-LIKE 43
การแก้ไข/ลบ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Advanced 43
การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ 44
การใส่ค่าทรุดตัวที่จุดต่อ 45
การปรับมุมของที่รองรับ 45
การเปิดปิดการแสดงภาพน้ำหนักบรรทุก 46

6 วิเคราะห์และแสดงผล **47**

การสั่งให้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล 47

การแสดงผลแบบกราฟฟิก 47

การแสดงผลแรงปฏิกิริยา 47

การแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกน 48

การแสดงแผนภาพแรงเฉือน 48

การแสดงแผนภาพโมเมนต์ 48

การแสดงแผนภาพการแอ่น 48

การสั่งให้แสดงค่ารายละเอียดแผนภาพ 48

การสั่งให้แสดงค่าที่จุดต่อ 49

การสั่งให้แสดงสูงสุดและต่ำสุด 49

การขยายและลดอัตราส่วนในการแสดงแผนภาพ 49

การแสดงภาพเคลื่อนไหว 50

ผลลัพธ์แบบตาราง 50

การแสดงผลลัพธ์ระหว่างกลาง 51

7 เริ่มงานแรก **54**

ตัวอย่าง คาน 54

ตัวอย่าง โครง 57

ตัวอย่าง โครงข้อหมุน 60

ตัวอย่าง โครงผสมโครงข้อหมุน 62

ตัวอย่างการสั่งให้แสดงผลลัพธ์ระหว่างกลาง และแสดงค่าสูงสุดในตาราง 66

ตัวอย่างรูปแบบรายงาน 72

บทที่ 1

แนะนำ SUTStructor

1

ยินดีต้อนรับสู่ SUTStructor – Suranaree Universiyty of Technology Structural Mentor ขณะนี้ท่านมีเครื่องมือที่จะช่วยให้ท่านสามารถทำงานออกแบบโครงสร้างแบบ 2 มิติ ที่ออกแบบเพื่อการเรียนการสอนวิชา วิเคราะห์โครงสร้าง (Structural Analysis) ให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างแบบ 2 มิติ โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน มีการป้อนข้อมูลเข้าแบบ กราฟฟิก ที่รวดเร็ว และ ง่ายดาย ตัวโปรแกรมนี้จะทำงานอยู่บน ระบบ ปฏิบัติการวินโดวส์
ตัวโปรแกรมจะช่วยให้ท่านทำงานวิเคราะห์โครงสร้างได้มากขึ้นโดยลดเวลาในการใช้งานโปรแกรมวิเคาะห์โครงสร้างให้น้อยที่สุด

ถ้าท่านใช้ SUTStructor จะช่วยให้ท่านทำงานได้เร็วขึ้นโดย

- ลดเวลาการป้อนข้อมูล
- ลดเวลาการเรียนรู้การใช้งานโปรแกรม
- ลดขั้นตอนในการสั่งแสดงผล

ในบทนี้จะบอกท่านเกี่ยวกับระบบที่ต้องการในการใช้งานโปรแกรม SUTStructor และการติดตั้งโปรแกรม

เครื่องที่ต้องการ (System Requirements)

- เพนเทียม 100 MHz (แนะนำ Celelon หรือ K6-2 350 MHz ขึ้น)
- หน่วยความจำหลัก 32 MB (แนะนำ 64)
- เนื้อที่บนฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 MB ไม่รวม Swap Files ของ วินโดวส์
- ซีดีรอมไดร์ฟ (CD-ROM Drive) สำหรับ ติดตั้ง
- การ์ดแสดงผลที่สามารถแสดงผลได้ที่ความละเอียดตั้งแต่ 640x480 ขึ้นไป (แนะนำ 1024x768)

- เมาส์ที่สนับสนุนระบบปฏิบัติการวินโดวส์
- คีบอร์ด

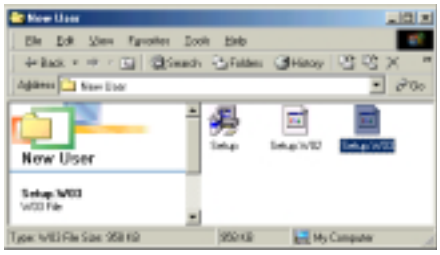
ระบบปฏิบัติการที่ต้องการ (Software Requirements)

โปรแกรม SUTStructor สามารถใช้งานได้กับระบบต่อไปนี้

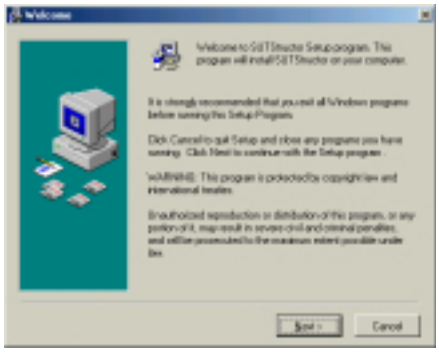
- วินโดวส์ 95
- วินโดวส์ 98
- วินโดวส์ 2000
- วินโดวส์ Me

การติดตั้ง SUTStructor (Installing SUTStructor)

1. ตรวจสอบระบบที่ต้องการ
2. เปิดหน้าต่าง My Computer และเลือกไปยังที่เก็บ ไฟล์ ติดตั้งดังรูป



3. ดับเบิลคลิกที่ ไฟล์ Setup จะมีหน้าต่างแสดงดังรูป



4. ทำตามขั้นตอนที่เขียนไว้ในหน้าต่าง
5. เมื่อติดตั้งเสร็จซึ่งให้ทำการเริ่มเข้าสู่ระบบปฏิบัติการใหม่ (Restart)
6. เมื่อเข้าสู่ระบบปฏิบัติการอีกครั้งคลิกที่ปุ่ม **Start** ของ วินโดวส์

7. เลื่อนแถบทึบไปที่ **Program**
8. เมื่อเข้ามาสู่แถบ **Program** ให้เลื่อน แถบทึบไปที่ **SUTStructor**
9. คลิกที่ ไอคอน **SUTStructor** เพื่อเข้าสู่โปรแกรม

เนื้อหาในแต่ละบทของคู่มือ (Organization of this Manual)

บทที่ 1 แนะนำเกี่ยวกับ SUTStructor ความต้องการของระบบที่จะติดตั้ง วิธีการติดตั้ง

บทที่ 2 บอกลักษณะเด่น ประสิทธิภาพ โปรแกรม SUTStructor

บทที่ 3 อธิบายการใช้งานพื้นฐาน โปรแกรม SUTStructor

บทที่ 4 อธิบายการใช้เครื่องมือใน SUTStructor ในการป้อนข้อมูล

บทที่ 5 อธิบายการเพิ่ม แก้ไข น้ำหนักบรรทุก

บทที่ 6 อธิบายวิธีการแสดงผลลัพธ์

บทที่ 7 นำตัวอย่างมาสาธิตการใส่โครงสร้างเป็นขั้นตอน

ข้อตกลงตัวพิมพ์ (Typographic Conventions)

รูปแบบ	ความหมาย
เนื้อหา	อธิบายเนื้อหาทั่วไป
Add Member Rigid-Mode	คำสั่งเลือกรูปแบบการทำงาน (Program Mode Command) และวัตถุที่เป็นส่วนประกอบใน SUTStructor

บทที่ 2

ลักษณะเด่นโปรแกรม

2

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะหน้าตาของโปรแกรม SUTStructor จะยังไม่เจาะลึกการใช้งานโปรแกรม ซึ่งการใช้งานโปรแกรมโดยละเอียดจะอยู่ในบทถัดไป

ทั่วไป (General)

SUTStructure เป็นโปรแกรมที่มีการป้อนค่าแบบกราฟฟิก สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างแบบ โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน แบบ 2 มิติ ในการวิเคราะห์แบบโครงข้อแข็ง องค์อาคารจะอยู่ภายใต้สมมุติฐานว่า แรงดัด และแรงเฉือนสามารถส่งถ่ายไปสู่แรงตามแนวแกนได้ แต่ในกรณีที่เป็นโครงข้อหมุน (Truss) จะมีเฉพาะแรงตามแนวแกนเท่านั้น ในการวิเคราะห์หาคำตอบ โปรแกรมจะใช้วิธีการในการวิเคราะห์แบบ สติฟเนสเมตริก (Stiffness Matrix) ในการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรมออกแบบมาให้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งโครงสร้างแบบโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุนในแผ่นงานเดียวกัน การใช้งาน

- ขั้นตอนที่ 1 ผู้ใช้ต้องทำการป้อนองค์อาคาร โดยการใช้เมาส์
- ขั้นตอนที่ 2 ต้องทำการเลือกชนิดของ ที่รองรับ
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกวัสดุของแต่ละองค์อาคาร
- ขั้นตอนที่ 4 ใส่น้ำหนักบรรทุก

เมื่อป้อนครบทุกตามขั้นตอน ก็พร้อมที่จะแสดงผล การแสดงผลสามารถกระทำได้ทันทีโดยคลิกที่ปุ่มของผลลัพธ์ที่ต้องการให้แสดง โดยไม่ต้องสั่งให้โปรแกรมคำนวณก่อน เพราะโปรแกรมจะทำการคำนวณอัตโนมัติ

ระบบหน่วย (Unit)

ระบบหน่วยในโปรแกรมจะแบ่งเป็น

- หน่วยของความยาว
- และหน่วยของแรง

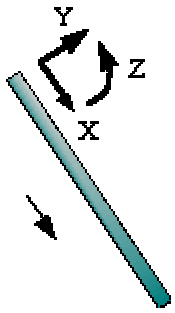
เมื่อเลือกหน่วยแบบใดผลลัพธ์ที่ออกมาก็จะเป็นหน่วยเดียวกันกับที่เลือก

ในการเปลี่ยนหน่วยจะสามารถเลือกได้อีก 2 แบบ

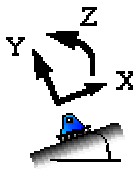
- เปลี่ยนเฉพาะข้อความแสดงหน่วย
- เปลี่ยนทั้งข้อมูลและข้อความแสดงหน่วย

แกนรวม (Global Axis) และ แกนองค์อาคาร (Local Axis)

แกนรวม



แกนองค์อาคาร



แกนจุดต่อ

พิกัด จุดต่อ (Nodal Coordinate)

จุดต่อจะถูกสร้างขึ้นอัตโนมัติเมื่อมีการเพิ่มองค์อาคาร (Member) จุดต่อใหม่จะสร้างที่จุดเริ่มต้นองค์อาคารและจุดปลายองค์อาคาร แต่ถ้าที่พิกัดต้นหรือจุดปลายองค์อาคารทับกับจุดต่อเดิมจะไม่มีการ

สร้างจุดต่อใหม่ จะใช้จุดต่อเดิม หมายเลขของจุดต่อจะกำหนดอัตโนมัติโดย SUTStructor ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มหรือลบจุดต่อ พิกัดจุดต่ออ้างอิงตามแกนรวม

คุณสมบัติวัสดุ (Member Properties)

คุณสมบัติวัสดุที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ประกอบด้วย

- โมเมนต์ความเฉื่อย
- โมดูลัสยืดหยุ่น
- พื้นที่หน้าตัด
- สำหรับกรณีที่มีผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิ เพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ, ระยะแกนสะเทิน, ความหนาองค์อาคาร

ข้อแข็ง/ข้อหมุน ปลายองค์อาคาร (Rigid–End Member , Hinge–End Member)

SUTStructor สามารถคำนวณ โครงข้อแข็งและโครงข้อหมุน ในแผ่นงานเดียวกัน ด้วยวิธีต่อไปนี้

- เลือกคำสั่ง **Add Member Rigid-End** จะเพิ่มองค์อาคารแบบปลายเป็นข้อแข็ง เพื่อคำนวณแบบโครงข้อแข็ง
- เลือกคำสั่ง **Add Member Pin-End** จะเพิ่มองค์อาคารแบบปลายเป็นข้อหมุน เพื่อคำนวณแบบโครงข้อหมุน

เมื่อใส่องค์อาคารแบบปลายเป็นข้อหมุนจะไม่มีการถ่ายเทโมเมนต์ที่จุดต่อ

การเคลื่อนย้ายองค์อาคาร (Move Member)

สำหรับลักษณะเด่นนี้ใช้เมื่อต้องการย้ายตำแหน่งขององค์อาคาร โดยองค์อาคารที่ทำการย้ายจะยังรักษามุมขององค์อาคารไว้ตามแนวเดิม และสามารถย้ายลงกริด (Grid) ได้ คำสั่งนี้คือ **Move Member** อยู่ในใน **Tool Bar** ตำแหน่งเดียวกันกับคำสั่ง **Copy Member**

การคัดลอกองค์อาคาร (Copy Member)

SUTStructor สามารถคัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่องได้ โดยคำสั่ง **Copy Member** แนวทางในการคัดลอกเลือกได้ทั้งตามแนวแกน X, แกน Y หรือทั้ง 2 แกน โดยองค์อาคารที่คัดลอกจะมีที่รองรับและคุณสมบัติวัสดุเหมือนกับองค์อาคารต้นแบบ

คุณสมบัตินี้สามารถเลือกองค์อาคารโดยคำสั่ง **Select /Unselect All** ก่อนได้ เพื่อทำการคัดลอกแบบหลายองค์อาคาร

การคัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่อง (Generation of Member)

คัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่อง สามารถใช้คำสั่งนี้ได้โดยเลือกคำสั่ง **Member Array** มีลักษณะการใช้เหมือนกับ การคัดลอกองค์อาคาร แต่จะมีหน้าต่างให้ป้อนค่าจำนวนขององค์อาคารที่จะคัดลอกแสดงขึ้นมา

คุณสมบัตินี้สามารถเลือกองค์อาคารโดยคำสั่ง **Select /Unselect All** ก่อนได้ เพื่อทำการคัดลอกแบบหลายองค์อาคาร

การแบ่งองค์อาคารเป็นหลายส่วน (Split Member)

คุณสมบัตินี้ออกแบบมาสำหรับกรณีที่ต้องการจะแบ่งองค์อาคารเป็นหลายส่วน หรือเพิ่มจุดต่อในองค์อาคาร หลังจากแบ่งองค์อาคารที่ถูกแบ่งจะมีคุณสมบัติเหมือนเดิม ถ้ามีความจำเป็นต้องการทราบค่าการแอ่นตัวที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในองค์อาคารสามารถทำได้โดยการแบ่งองค์อาคาร ณ จุดที่ต้องการทราบค่า

การแบ่งองค์อาคารมี 3 แบบ

- แบ่งเป็น 2 ส่วนเท่ากัน
- แบ่งเป็น 2 ส่วนตามอัตราส่วนเทียบกับความยาวเดิม
- แบ่งเป็น หลายส่วนเท่ากัน

ตัวช่วยสร้างโครงสร้าง (Structure Wizard)

คุณลักษณะนี้จะช่วยให้ท่านสามารถใช้ SUTStructor สร้างโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นตึกหลายคูหาหลายชั้น ภายใน 2 ขั้นตอน แบ่งเป็น

ขั้นตอน 1 ใส่ข้อมูลจำนวนชั้น จำนวนคูหา ความกว้างแต่ละคูหา ความสูงแต่ละชั้น

ขั้นตอน 2 ใส่คุณสมบัติวัสดุ

การยึดรั้ง (Restraints)

การยึดรั้งที่ SUTStructor สามารถทำได้มี

- การยึดรั้งแบบ Fix จะยึดรั้งตามแนว X ยึดรั้งตามแนว Y ยึดรั้งตามแนวหมุน

- การยึดรั้งแบบ Pin จะยึดรั้งตามแนว X ยึดรั้งตามแนว Y ไม่ยึดรั้งตามแนวหมุน
- การยึดรั้งแบบ Roller จะไม่ยึดรั้งตามแนว X ยึดรั้งตามแนว Y ไม่ยึดรั้งตามแนวหมุน
- การยึดรั้งแบบ Slider จะไม่ยึดรั้งตามแนว X ยึดรั้งตามแนว Y ยึดรั้งตามแนวหมุน
- การยึดรั้งแบบ ทรุดตัว เมื่อมีการทรุดตัวหรือหมุน ณ ที่รองรับ

น้ำหนักบรรทุกที่ทำงาน (Active Load)

SUTStructor มี 7 กลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่สามารถเปิดปิด และสามารถเลือกคูณด้วยสัมประสิทธิ์ได้ ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วย

- น้ำหนักบรรทุกองค์อาคาร (Member Loads)
- น้ำหนักบรรทุกจุดต่อ (Nodal Loads)

น้ำหนักบรรทุกจุดต่อ (Nodal Loads)

สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบนี้จะกระทำที่จุดต่อเท่านั้นและทิศทางน้ำหนักบรรทุกอ้างอิงตามแกนรวม โดยป้อนทิศทางด้วยค่าบวกลบ

- แรงตามแกน X ทิศขึ้น เมื่อค่าเป็นบวก
- แรงตามแกน Y ทิศขึ้น เมื่อค่าเป็นบวก
- แรงรอบแกน Z หมุนทวนเข็ม เมื่อค่าเป็นบวก

น้ำหนักบรรทุกองค์อาคาร (Member Loads)

SUTStructor มีน้ำหนักบรรทุกให้เลือกใช้ดังต่อไปนี้

- แรงกระทำเป็นจุด
- แรงแผ่สม่ำเสมอ
- แรงแผ่ไม่สม่ำเสมอ
- แรงดัด
- แรงจากผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิ
- แรงจากผลการสั้นเกินหรือยาวเกินขององค์อาคาร

ทุกชนิดของแรงยกเว้นแรงดัด, แรงจากผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิ, แรงจากผลการสั่นเกินหรือยาวเกินขององค์อาคาร สามารถเลือกทิศทางจากปุ่มทิศทางโดยไม่สนเครื่องหมายบวกหรือลบ และเลือกแกนได้จากการใส่เครื่องหมายถูกที่ช่อง **Global Axis** หรือ **Local Axis**

ขนาด (Dimension)

SUTStructor แสดงค่าสัดส่วนองค์อาคารได้ 2 รูปแบบ ประกอบด้วย

- ตามความยาว
- ตามแกน X, ตามแกน Y

ค่าขนาดความยาวที่นำมาแสดงจะได้จากการคำนวณจากจุดต่อขององค์อาคาร

แสดงแผนภาพทั้งหมดในแผ่นงานเดียว (Show All Diagram)

SUTStructor สามารถที่จะแสดงค่า Shear, Axial, Moment, Deflection, Reaction ได้ทั้งหมดพร้อมกัน และสามารถเลือกปิดเปิดให้แสดงเฉพาะแผนภาพที่ต้องการได้

คัดลอกและวาง (Copy and Paste)

SUTStructor ได้จัดเตรียมคำสั่งในการคัดลอก และวาง ไว้ให้ท่านสามารถถ่ายถอดข้อมูลระหว่างองค์อาคารและจุดต่อได้ คำสั่งนี้จะช่วยท่านคัดลอกข้อมูลจากวัตถุ (องค์อาคาร, จุดต่อ) หนึ่งไปสู่อีกหลายวัตถุได้ ข้อมูลที่ถ่ายทอดได้มี

- คุณสมบัติวัสดุ
- น้ำหนักบรรทุก
- ที่รองรับ
- น้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ

การคัดลอกและวางอย่างรวดเร็ว (Quick Copy and Paste)

คุณสมบัตินี้จะทำให้ท่านสามารถถ่ายเทข้อมูลระหว่างวัตถุได้อย่างรวดเร็วโดยที่คลิกเลือกคำสั่งเพียงครั้งเดียว การถ่ายเทข้อมูลที่สนับสนุนคุณสมบัตินี้มี

- คุณสมบัติวัสดุ

- น้ำหนักบรรทุก
- ที่รองรับ

อัตราส่วนการแสดงแผนภาพ (Scale Diagram)

SUTStructor ได้ออกแบบให้มีความสามารถในการตั้งอัตราส่วนในการแสดงผลแผนภาพได้ 3 รูปแบบ

- เพิ่มอัตราส่วนทีละขั้น (Step Increase Scale)
- ลดอัตราส่วนทีละขั้น (Step Decrease Scale)
- ตั้งอัตราส่วนการแสดงตามค่าที่ป้อน (Set Scale Numerically)

สำหรับแผนภาพ แรงเฉือน แรงดัด แรงตามแนวแกน หน่วยของอัตราส่วนจะเป็น Pixel ส่วน การแอ่นตัวจะเป็นจำนวนเท่า

การแสดงภาพเคลื่อนไหวการแอ่นตัว (Deflected Animation)

SUTStructor ได้เตรียมเครื่องมือที่ช่วยให้ท่านสามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวขององค์อาคารได้ โดยสลับไปมาระหว่าง 2 สถานะคือ

- ก่อนถูกแรงแรงกระทำกับองค์อาคาร
- หลังถูกแรงกระทำกับองค์อาคาร

ผลลัพธ์ (Results)

คำตอบที่ได้จาก SUTStructor ได้จากพื้นฐานการคำนวณด้วยวิธีสติฟเนสเมตริก ในขั้นตอนแรกจะคำนวณหาการแอ่นตัวที่ไม่ทราบค่า (Unknowns Displacement) ขั้นตอนที่ 2 จะมีการคำนวณหาแรงที่ปลาย (Member Force) ขั้นตอนถัดมาคำนวณหาแรงปฏิกิริยา ในขั้นตอนสุดท้ายจะขึ้นอยู่กับการแสดงผลลัพธ์ที่เลือก กรณีสั่งให้แสดงแผนภาพโปรแกรมจะใช้วิธี Integration ในการการคำนวณหาค่า ในกรณีที่มีการเลือก **Active Load** หมายเลขใดหมายเลขหนึ่งที่ไม่ใช่ **Active All** น้ำหนักบรรทุกที่อยู่ตรงกับ **Active Load** ที่เลือกอยู่ปัจจุบันเท่านั้นที่ถูกนำมาคำนวณโดยจะคูณกับ สัมประสิทธิ์ของแต่ละ **Active Load** ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณประกอบด้วย

- การแอ่นที่จุดต่อ (Nodal Displacement)
- แรงที่ปลาย (Member end Force)
- แรงปฏิกิริยาที่จุดต่อ (Nodal Reaction)

- ผลลัพธ์ระหว่างกลาง (Intermediate Result)
- ผลลัพธ์สุดท้าย (Final Results)

คัดลอกผลลัพธ์ (Copy To Clipboard)

SUTStructor ให้ท่านสามารถคัดลอกผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณไปใส่ใน Microsoft Word, Microsoft Excel เพื่อสร้างรายงานในรูปแบบของท่านเองได้ง่ายดาย เพียงคลิกครั้งเดียว ผลลัพธ์ที่คัดลอกได้ประกอบด้วย

- ภาพที่แสดงบนแผ่นงาน
- ข้อมูลที่แสดงในตารางแสดงข้อมูล

ตัวเลือก (Option)

เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งาน SUTStructor ได้ออกแบบให้มีตัวเลือกให้เปิดปิดการใช้งานได้หลายคำสั่งโดยจัดเป็นหลายหัวข้อ ได้แก่

- ทั่วไป (General)
- เกี่ยวกับการป้อนค่า (Input)
- การแสดงค่า (View)
- น้ำหนักบรรทุก (Loads)

บทที่ 3
พื้นฐาน

3

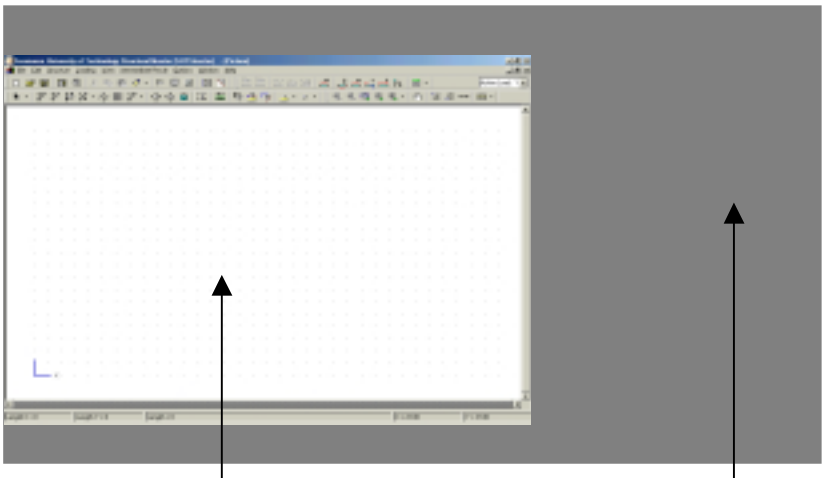
ในบทนี้เราจะอธิบายเกี่ยวกับการใช้งานพื้นฐานบางส่วนของ SUTStructor ซึ่งได้แก่การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมและการปิดโปรแกรม การใช้งานตัวเลือก ท่านจะได้เรียนรู้ การบันทึกข้อมูล การเปิดงานเก่า การใช้งาน Quick-Open

เริ่มใช้งานโปรแกรม (Starting the Program)

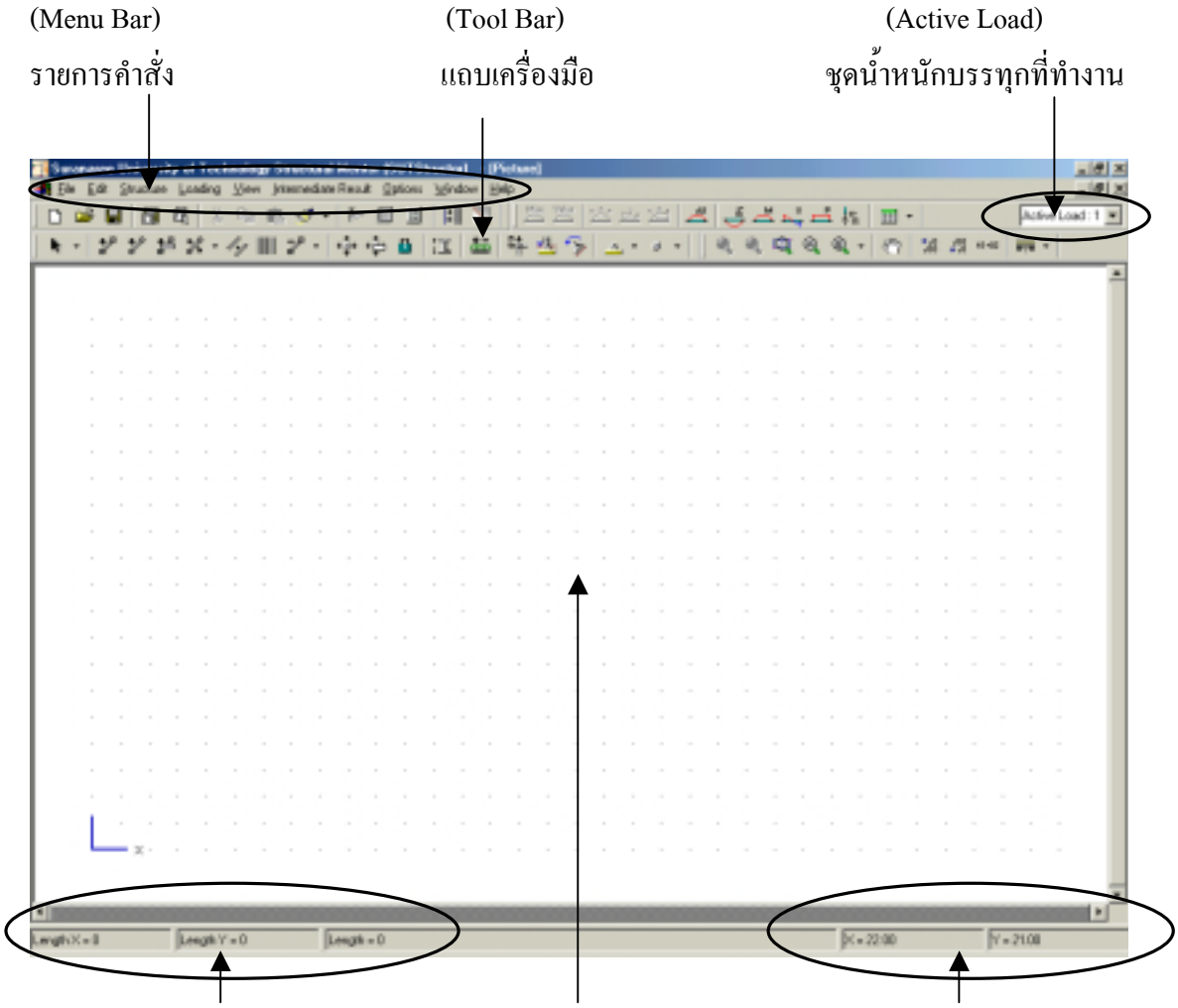
หลังจากติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ถ้าท่านอยู่ในระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ 9X ให้ไปคลิกที่ปุ่ม **Start** ที่ด้านล่างซ้ายสุด เลื่อนแถบสีไปที่ **Programs** เลื่อนแถบสีเข้าใน **Programs** แล้วเลื่อนแถบสีไปที่ **SUTStructor** ซึ่งจะมี **SUTStructor Icon** คลิกที่ **SUTStructor Icon**

ถ้าการติดตั้งไม่มีปัญหา โปรแกรม SUTStructor จะแสดงขึ้นมาเหมือนภาพด้านล่าง หน้าต่างที่แสดงจะเป็นหน้าต่างหลักซึ่งจะแสดงตลอดขณะที่โปรแกรมยังทำงานอยู่

เช่นเดียวกับโปรแกรมส่วนใหญ่ที่ทำงานภายใต้ วินโดวส์ SUTStructor จะมี รายการคำสั่ง (Menu Command Bar) แสดงอยู่ด้านบนของหน้าต่างหลัก ซึ่งคำสั่งต่างๆ ในรายการคำสั่งจะถูกอธิบายในบทนี้



ในหน้าจอจะนำภาพเพียงบางส่วนมาแสดงบนหน้าจอเท่านั้นท่านสามารถเลื่อนขอบเขตแผ่นงานที่นำมาแสดงบนหน้าจอได้ด้วยการคำสั่ง **Pan Picture**



ออกจากโปรแกรม (Quitting the Program)

เพื่อจะปิดการทำงานโปรแกรม ให้คลิกที่ **Files** ที่ รายการคำสั่ง เลือก **Exit** จากรายการ หรือทำการคลิก **X** ที่ด้านขวาบนสุดของหน้าต่างหลัก

การใช้ ตัวช่วย (Help)

ขณะที่อยู่ใน SUTStructor ท่านสามารถเปิด ตัวช่วยได้ โดยเลือกที่ คลิกที่รายการคำสั่ง **Help** เลือก **Help Topics** คลิกที่รายการการคำสั่ง หน้าต่างตัวช่วยจะแสดงขึ้นมา

การเปลี่ยนโหมดแสดงผล (Change Resolution Mode)

เพื่อให้โปรแกรม SUTStructor ทำงานได้ดีกับทุกความละเอียดจอภาพ SUTStructor จึงออกแบบมาให้ท่านสามารถเลือก ปรับเปลี่ยนการแสดงผลให้ตรงกับความละเอียดจอภาพได้ โดยเลือกความละเอียดของจอภาพได้จากรายการคำสั่ง **Window** ตามค่าความละเอียดจอภาพที่ตั้งไว้ในระบบปฏิบัติการ ความละเอียดที่สนับสนุนใน SUTStructor มี

- 640 X 480
- 800 X 600
- 1024 X 768

รูปแบบปฏิบัติการ (Program Mode)

ก่อนที่จะอธิบายเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่บนหน้าจอ จะอธิบายเกี่ยวกับรูปแบบปฏิบัติการก่อน

SUTStructor มีหลายรูปแบบปฏิบัติการ แต่ละรูปแบบปฏิบัติการสามารถเลือกได้จากรายการคำสั่ง (Menu Bar) หรือแถบเครื่องมือ (Tool Bar) หนึ่งในหลายอันคือ รูปแบบปฏิบัติการ **Add Member Rigid- End** ซึ่งจะเป็นค่าเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่ SUTStructor เมื่ออยู่ในรูปแบบปฏิบัติการนี้ ถ้าท่านคลิกค้างไว้ที่พิกัดแรก และเลื่อนไปที่พิกัดใหม่ในแผ่นงานและเลิกคลิก จะเป็นการเพิ่มองค์อาคาร อย่างไรก็ตามเมื่อท่านเลือก รูปแบบปฏิบัติการ **Select Member** แล้วทำเช่นเดิมทุกองค์อาคารที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมพิกัด 2 จุด จะถูกเลือก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การกระทำแบบเดียวกันแต่อยู่ต่างรูปแบบปฏิบัติการจะได้ผลที่แตกต่างกัน

รายการที่แสดงนี้เป็น รูปแบบปฏิบัติการที่สนับสนุนใน SUTStructor

- เลือกทั้งหมด (**Select All**)
- เลือกเฉพาะองค์อาคาร (**Select Members**)
- เลือกเฉพาะจุดต่อ (**Select Nodes**)
- เพิ่มองค์อาคารปลายเป็นข้อแข็ง (**Add Member Rigid-End**)
- เพิ่มองค์อาคารปลายเป็นจุดหมุน (**Add Member Hinge-End**)

- เพิ่มองค์อาคารแบบป้อนเป็นตัวเลข (**Add Member Numerically**)
- ย้ายองค์อาคาร (**Move Member**)
- คัดลอก (**Copy Member**)
- แบ่งองค์อาคาร (**Split Member**)
- คัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่อง (**Member Array**)
- ย้ายจุดต่อ (**Move Node**)
- ย้ายจุดต่อแบบป้อนเป็นตัวเลข (**Move Node Numerically**)
- ยึด/คลาย องค์อาคารเข้าด้วยกัน (**Lock / Unlock Member**)
- คุณสมบัติวัสดุขององค์อาคาร (**Member Properties**)
- น้ำหนักบรรทุกขององค์อาคาร (**Member Loads**)
- ใส่แรงกระทำที่จุดต่อ (**Set Nodal Load**)
- ใส่การทรุดตัวที่จุดต่อ (**Set Displacement**)
- หมุนที่รองรับ (**Rotate Support**)
- ใส่ที่รองรับชนิดหมุน (**Pin Support**)
- ใส่ที่รองรับยึดแน่น (**Fix Support**)
- ใส่ที่รองรับแบบล้อเลื่อน (**Roller Support**)
- ใส่ที่รองรับชนิดเลื่อนได้ (**Slider Support**)
- ข้อต่อหมุน (**Hinge Joint**)
- ข้อต่อแข็ง (**Rigid Joint**)

ส่วนประกอบในหน้าจอหลัก (Layout of Main Screen)

ในหน้าจอหลัก จะแสดงให้เห็นส่วนประกอบหลักหลายส่วนด้วยกันซึ่งจะถูกอธิบายในหัวข้อนี้ ส่วนประกอบเหล่านี้ได้แก่

- รายการคำสั่ง
- แถบเครื่องมือ
- น้ำหนักบรรทุกที่ทำงาน
- แสดงพิกัดเมื่อเพิ่มองค์อาคาร
- แผ่นงาน
- พิกัดเมาส์

รายการคำสั่ง (Menu Bar)

เป็นส่วนที่ใช้เลือกคำสั่งโดยเมื่อเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ **Menu Bar** จะมีรายการแสดงออกมา ซึ่งสามารถที่จะคลิกเพื่อเลือกคำสั่งต่างๆได้

แถบเครื่องมือ (Toolbar Bar)

ปุ่มบนแถบเครื่องมือจะเป็นคำสั่งต่างที่จำเป็นต้องใช้งานบ่อยๆ แทนที่ท่านจะต้องคลิกเลือกคำสั่งที่รายการคำสั่งท่านสามารถเลือกคำสั่งได้อย่างรวดเร็วโดยการคลิกที่ปุ่มคำสั่ง บนแถบเครื่องมือซึ่งทำงานเหมือนกัน

ชุดน้ำหนักบรรทุกที่ทำงาน (Active Load)

ในรายการชุดน้ำหนักบรรทุกที่ทำงาน นี้จะบรรจุ **Active Load** ทั้งหมด 8 ชุดด้วยกัน ประกอบด้วย

- 7 ชุดสามารถเลือกให้ทำงานแยกอิสระ
- 1 ชุดให้ทำงานพร้อมกันทั้งหมด

ใน7 ชุดแรกท่านสามารถที่จะเลือกสลับไปมาเพื่อให้ชุดใดทำงานได้ เพื่อที่จะแก้ไขน้ำหนักบรรทุกหรือดูผลลัพธ์ในชุดนั้น เมื่อเลือกมาที่ **Active All** ทุกชุดน้ำหนักบรรทุกจะถูกนำมาแสดง และคำนวณเมื่อหาผลลัพธ์

พิกัดเพิ่มองค์อาคาร (Add Member Coordinate)

เมื่อรูปแบบปฏิบัติการ เพิ่มองค์อาคาร (Add Member Program Mode) ถูกเลือกและท่านทำการคลิกที่แผ่นงาน ใน **Add Member Coordinate Text Box** จะแสดงความยาวขององค์อาคาร (ดูภาพหน้าจอหลัก ประกอบคำอธิบาย) ช่องแรกความยาวตามแกน X ถัดมาความยาวตามแกน Y สุดท้ายความยาวตามแนวองค์อาคาร

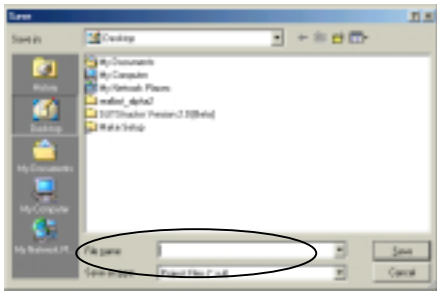
พิกัดเมาส์ (Mouse Coordinate)

เมื่อโปรแกรม SUTStructor กำลังทำงานอยู่และ ตัวกระพริบ (Cursor) อยู่บนแผ่นงาน บริเวณ **Mouse Coordinate Text** จะแสดงค่าพิกัดของตำแหน่งเมาส์ ซึ่งจะมีประโยชน์เมื่อใช้ในการ เพิ่มองค์อาคารและการขยายภาพแบบหน้าต่าง

การบันทึกข้อมูล (Save the Structure Data)

SUTStructor ได้เตรียมคำสั่งที่ใช้การบันทึกข้อมูลไว้ให้ท่าน การบันทึกมีขั้นตอนดังนี้

1. คลิกที่ **File** บนรายการคำสั่ง จะมีแถบคำสั่งดังรูปคลิกที่ **Save** หรือคลิกที่ **Icon** จะมีหน้าต่าง Save แสดงขึ้นมา

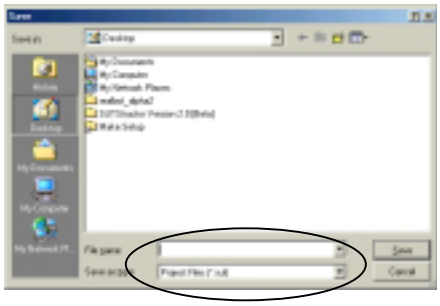


2. ป้อนชื่อที่ต้องการบันทึกข้อมูลในช่องรับข้อความ (วงรีในรูป)
3. กด **Save** ข้อมูลจะถูกบันทึก ข้อมูลที่บันทึกจะมีนานสกุลเป็น SUT เช่น STRUCT1.SUT

การเปิดข้อมูล (Open Data)

SUTStructor ได้เตรียมคำสั่งที่ใช้การเปิดข้อมูลที่เคยบันทึกไว้ให้ท่าน การเปิดข้อมูลที่เคยบันทึกมีขั้นตอนดังนี้

1. คลิกที่ **File** บนรายการคำสั่งจะมีแถบคำสั่งดังรูปคลิกที่ **Open** หรือคลิกที่ **Icon** จะมีหน้าต่าง Open แสดงขึ้นมา

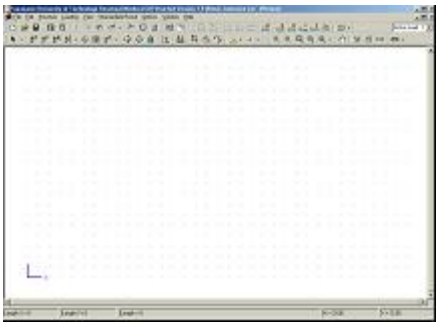


2. ป้อนชื่อที่ต้องการเปิดข้อมูลในช่องรับข้อความ (วงรีในรูป)
3. กด **Open** ข้อมูลจะถูกเปิดข้อมูลที่จะเปิดต้องมีนานสกุลเป็น SUT เช่น STRUCT1.SUT

การเริ่มงานใหม่ (New)

SUTStructor ได้เตรียมคำสั่งที่ใช้การสร้างแผ่นงานใหม่ เมื่อเปิดข้อมูลที่เคยบันทึกไว้อยู่และต้องการเริ่มแผ่นงานใหม่ ให้ท่านเลือก **New** ข้อมูลเก่าที่อยู่บนแผ่นงานจะถูกล้างทั้งหมดและเริ่มแผ่นงานใหม่ให้ท่าน

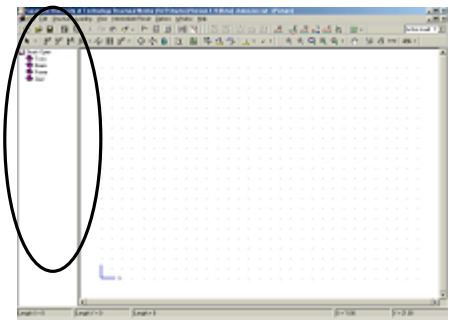
คลิกที่ **File** บนรายการคำสั่ง จะมีแถบคำสั่งแสดงขึ้นมาคลิกที่ **New** หรือคลิกที่ **Icon** ข้อมูลในแผ่นงานจะถูกล้างและมีหน้าตาเริ่มต้นเหมือนในรูป



การเปิดงานอย่างรวดเร็ว (Show Quick-Open Menu)

SUTStructor ได้เตรียมหน้าต่างที่ใช้เปิดงานเก่าอย่างรวดเร็วไว้ให้ท่านโดยการคลิกเพียงครั้งเดียว มีขั้นตอนใช้งานดังนี้

1. คลิกที่ **Icon** จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาด้านซ้ายของหน้าต่างหลักแสดงขึ้นมาดังรูป



2. ทำการดับเบิ้ลคลิกที่ Icon รูปสมุด จะมีรูปเอกสารแสดงขึ้นมา
3. คลิกที่เอกสาร (รูปกระดาษ) ที่ต้องการเปิด เอกสารจะถูกเปิดขึ้นมาแสดงที่แผ่นงาน

Quick-Open Menu จะแสดงแฟ้มงานและเอกสารที่มีนานสกุลเป็น SUT เช่น STRUCT1.SUT ซึ่งบรรจุอยู่ใน Directory C:\Progra~1\SUTStr~1\QuickOpen\

การบันทึกข้อมูลเพื่อเปิดงานอย่างรวดเร็ว (Quick-Open Save)

ข้อมูลที่จะแสดงใน Quick-Open Menu จะต้องบันทึกตามวิธีการต่อไปนี้

1. คลิกที่ **Icon** จะมีหน้าต่าง Save แสดงขึ้นมา

2. ป้อนชื่อที่ต้องการบันทึกข้อมูลในช่องรับข้อความ (วงรีในรูป)
3. กด **OK** ข้อมูลจะถูกบันทึก

ข้อมูลที่บันทึกจะมีนานสกุลเป็น SUT และบรรจุใน Directory C:\Progra~1\SUTStr~1\QuickOpen\

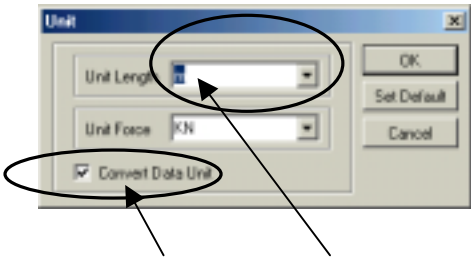
การเปลี่ยนหน่วย (Unit)

SUTStructor เตรียมระบบเปลี่ยนหน่วยให้ท่านไว้ 2 หน่วยคือ

- หน่วยความยาว
- หน่วยแรง

ท่านสามารถสั่งให้ SUTStructor เปลี่ยนหน่วยให้ตรงกับระบบหน่วยของงานท่านได้โดย

1. คลิกที่ ***Options*** บนรายการคำสั่ง จะมีแถบคำสั่งดังรูปคลิกที่ **Unit** หรือคลิกที่ **Icon** หน้าต่าง Unit จะแสดงขึ้นมาดังรูป



Checkbox **Combo Box**

2. เลือกเปลี่ยนหน่วยแรงที่ **Combo Box** ที่มีหัวเรื่องชื่อ **Unit Length**
3. เลือกเปลี่ยนหน่วยความยาวที่ **Combo Box** ที่มีหัวเรื่องชื่อ **Unit Force**
4. กด **OK** เพื่อยืนยันการเปลี่ยนหน่วย

- ถ้า **Checkbox** ที่มีหัวเรื่อง **Convert Data Unit** ไม่มีถูกเครื่องหมายถูก SUTStructor จะเปลี่ยนเฉพาะตัวอักษรที่แสดงหน่วย เช่น 10 Kg เมื่อเปลี่ยนหน่วยความยาวเป็น kN ผลที่ได้จะเป็น 10 kN
- ถ้า **Checkbox** ที่มีหัวเรื่อง **Convert Data Unit** มีถูกเครื่องหมายถูก SUTStructor จะเปลี่ยนตัวอักษรที่แสดงหน่วยและข้อมูล เช่น 10 Kg เมื่อเปลี่ยนหน่วยความยาวเป็น kN ผลที่ได้จะเป็น 98.1 kN

Checkbox ที่มีหัวเรื่อง **Convert Data Unit** เมื่อเข้ามาใหม่จะถูกตั้งให้ไม่มีเครื่องหมายถูกเสมอ ท่านสามารถตั้งค่าหน่วยที่ท่านเลือกอยู่ขณะนี้ให้เป็น ค่าเริ่มต้นได้โดยคลิกที่ปุ่ม **Set Default** เมื่อเปิดงานใหม่ขึ้นมาค่าที่ถูกตั้งเป็นค่าเริ่มต้นจะถูกนำมาใช้

การตั้งค่าขนาดแผ่นงานและตาราง (Set Work Area/Grid)

คลิกที่ **Options** บนรายการคำสั่ง จะมีแถบคำสั่งดังรูปคลิกที่ **Grid** หรือคลิกที่ **Icon** หน้าต่าง **Unit** จะแสดงขึ้นมาดังรูป

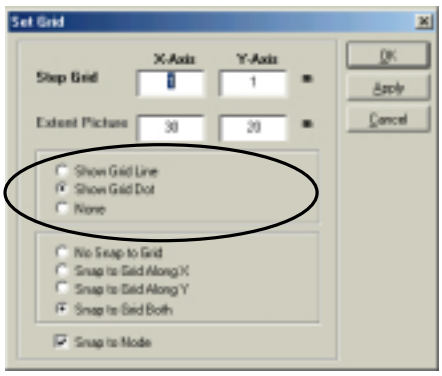
Step Grid เป็นระยะห่างระหว่างตารางมีให้ป้อน 2 แกน

- ตามแนวแกน X (X-Axis)
- ตามแนวแกน Y (Y-Axis)

Extent Grid เป็นขนาดความกว้างและความยาวสูดสุดของตารางมีให้ป้อน 2 แกน

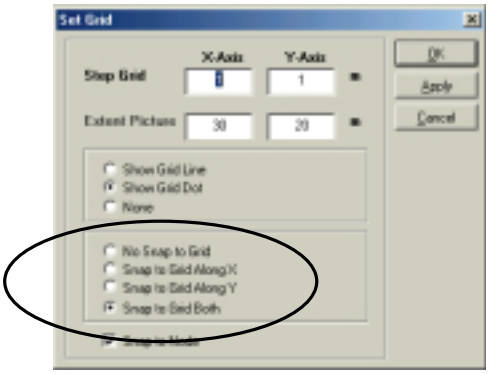
- ตามแนวแกน X (X-Axis)
- ตามแนวแกน Y (Y-Axis)

ความกว้างและความยาวสูงสุดจะมีผลเมื่ออยู่ในรูปแบบการแสดงภาพแบบ **Zoom Original** เท่านั้น



ในส่วนนี้ (วงรี) จะเป็นส่วนที่ใช้กำหนดรูปแบบการแสดงตารางมี 3 แบบ

- **Show Grid Line** แสดงตารางแบบเป็นเส้น
- **Show Grid Dot** แสดงตารางแบบเป็นจุด
- **None** ไม่มีการแสดงตาราง



ในส่วนนี้ (วงรี) จะเป็นส่วนที่ใช้กำหนดรูปแบบค่าการกระโดดของพิกัดเมาส์ (Snap) ตามตาราง มี 4 แบบโดยจะกระโดดตามค่าที่ตั้งไว้ใน **Step Grid**

- **No Snap to Grid** ไม่มีการเปิดการทำงานระบบการกระโดดของค่า
- **Snap To Grid Along X** ค่าจะกระโดดเฉพาะตามแนวแกน X
- **Snap To Grid Along Y** ค่าจะกระโดดเฉพาะตามแนวแกน X
- **Snap To Grid Both** ค่าจะกระโดดเฉพาะตามแนวแกน X

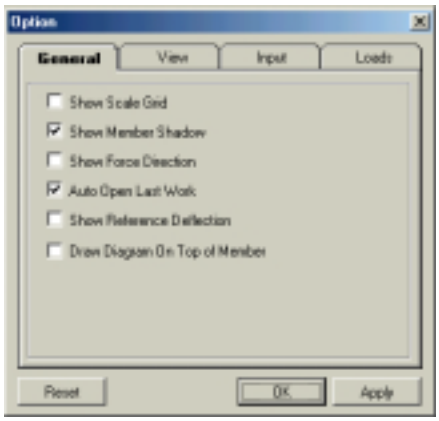
ส่วน **Snap To Node** เมื่อถูกทำเครื่องหมายถูก ค่าพิกัดเมาส์จะกระโดดเข้าใกล้ Node ที่อยู่ใกล้ ภายในระยะที่กำหนดใน **Pick Distance**

เมื่อป้อนค่าทุกอย่างเรียบร้อยกด **OK** หรือ **Apply** เพื่อยืนยัน **Cancel** ยกเลิก

การตั้งค่าในตัวเลือก (Option)

คลิกที่ **Options** บนรายการคำสั่ง (Menu Bar) จะมีแถบคำสั่งดังรูปคลิกที่ **All Option** หรือคลิกที่ **Icon** หน้าต่าง Option จะแสดงขึ้นมาดังรูป

แถบทั่วไป (General Tab)



เมื่อค่าต่อไปนี้มีเครื่องหมายถูก

Show Scale Grid จะแสดงค่าตัวเลขระยะบนตารางที่แสดงในแผ่นงาน

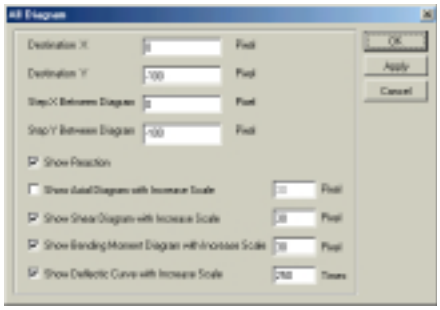
Show Member Shadows ให้มีเงาที่รูปองค์อาคาร

Show Force Direction จะแสดงทิศทางของแรงขณะแสดงแผนภาพ แรงตามแนวแกน, แรงเฉือน, แรงดัด

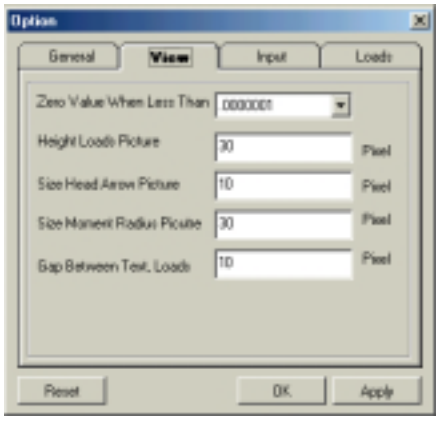
Auto Open Last Work เมื่อเปิด SUTStructor จะเปิดงานครั้งล่าสุดขึ้นมาให้

Show Reference Deflection เมื่อมีการสั่งให้วาดแผนภาพการแอ่น จะแสดงภาพองค์อาคารที่ไม่มีการแอ่นตัวขึ้นมาพร้อมกับแผนภาพการแอ่นเพื่อใช้ดูอ้างอิง

Draw Diagram On Top Member เมื่อวาดสั่งวาดแผนภาพจะวาดแผนภาพทับบนองค์อาคารแต่ถ้าไม่มีเครื่องหมายถูกจะวาดภาพเยื้องมาตามระยะ **Destination X** และ **Destination Y** ตามข้อมูลที่เก็บในหน้าต่าง **All Diagram** ดังรูป



แถบการแสดงผล (View Tab)



Zero Value When Less Than ถ้าค่าที่จะแสดงออกทางหน้าจอมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดใน **Combo Box** จะแสดงค่า 0 ออกมาแทน

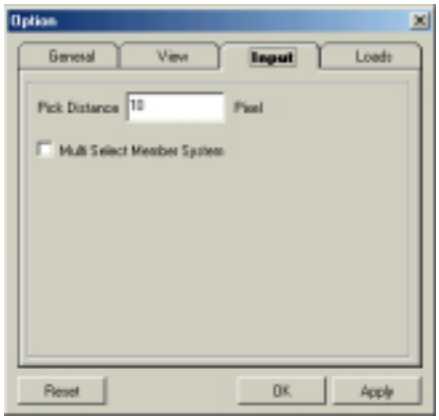
Height Load Picture เป็นค่าความสูงของรูปน้ำหนักบรรทุกที่วาดออกทางหน้าจอใช้กับนำรูปน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุดและน้ำหนักบรรทุกกระจาย

Size Height Arrow Picture เป็นขนาดรูปหัวลูกศรที่แสดงออกทางหน้าจอใช้กับหัวลูกศรของน้ำหนักบรรทุกและแรงปฏิกริิยา

Size Moment Radian Picture เป็นขนาดรัศมีของรูปแรงดัด (Moment) ที่วาดออกทางหน้าจอ

Gap Between Text, Load เป็นระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของรูปน้ำหนักบรรทุกกับจุดที่จะเขียนข้อความ

แถบการการป้อนค่า (Input Tab)



Pick Distance เป็นความกว้างของของระยะที่จุดต่อและองค์อาคารในการรับค่าพิกัดของเมาส์

Multi Select Member System เป็นระบบที่ช่วยเพิ่มความสะดวกในการป้อนข้อมูลเมื่อตัวเลือกนี้มีเครื่องหมายถูก จะมีผลกับการทำงานในรูปแบบคำสั่ง

- **Copy Member**
- **Move Member**
- **Member Array**
- **Member Properties**
- **Member Load**

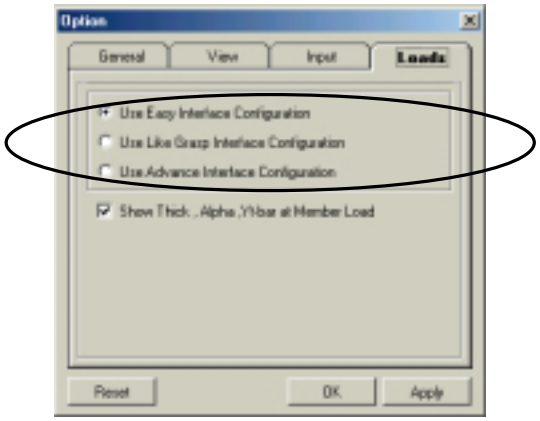
เมื่อตัวเลือก **Multi Select Member System** นี้ไม่มีเครื่องหมายถูกการเคลื่อนย้ายองค์อาคารหลายชิ้นต้องทำดังนี้

1. ใช้คำสั่ง **Select All/Select Member** และเลือกองค์อาคารที่ต้องการย้าย
2. เลือกคำสั่ง **Move Member** แล้วทำการลาก (คลิกค้างไว้บนตัวองค์อาคาร) ไปวางที่ตำแหน่งใหม่

แต่เมื่อตัวเลือก **Multi Select Member System** นี้มีเครื่องหมายถูก

1. ใช้คำสั่ง **Move Member** และเลือกองค์อาคารที่ต้องการย้ายเมื่อเลือกเรียบร้อยคลิกเมาส์ขวา แล้วทำการลากไปวางที่ตำแหน่งใหม่ได้ทันที

แถบน้ำหนักบรรทุก (Loads)



ในวงรีเป็นตัวเลือกในการแสดงหน้าตาในการป้อนค่าน้ำหนักบรรทุกซึ่งมีให้เลือก 3 แบบ

- **Quick Interface Configuration** แบบรวดเร็วเมื่อหน้าต่างป้อนน้ำหนักบรรทุกแสดงขึ้นมาจะพร้อมสำหรับป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุกเข้าทันที

- **GRASP-LIKE Interface Configuration** รูปแบบการป้อนข้อมูลจะคล้ายกับโปรแกรม GRASP เมื่อเข้ามาถ้าต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ต้องทำการเลือก **Add Load/Link** ก่อน
- **Advanced Interface Configuration** ในรูปแบบนี้เมื่อต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกต้องทำการ **Add Load** ที่แถบด้านบน และต้องทำการ **Add Link** ที่ปุ่มด้านล่าง

Show Thick Alpha Yt-bar at Member Load ตัวเลือกนี้ใช้เปิดปิดการแสดงค่าคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับผลเนื่องจากอุณหภูมิในหน้าต่างป้อนน้ำหนักบรรทุก

การ ขยาย/หด ภาพ (Zooming)

SUTStructor ได้เตรียมคำสั่ง ขยาย/หด ภาพ ไว้ให้ท่าน 5 รูปแบบหลักที่แตกต่างกันดังนี้

Zoom In เลื่อนจุดมองภาพเข้า ทำให้ภาพที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น

Zoom Out เลื่อนจุดมองภาพออก ทำให้ภาพที่ได้มีขนาดใหญ่เล็ก

Zoom All เลื่อนภาพออกมาให้สามารถแสดงภาพโครงสร้างทั้งหมดภายในหน้าจอเดียว

Zoom Original ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อย่อย

- **Zoom Original 1** เลื่อนภาพออกมาให้ความกว้าง/ยาว สูงสุดของตาราง (ตั้งค่าในหน้าต่าง ***Set Grid)*** พอดีกับขนาดหน้าจอ และมีพื้นที่ใช้งานเท่าหน้าจอที่เห็นเท่านั้น ซึ่งรูปแบบนี้จะไม่สามารถใช้คำสั่ง **Pan Picture** ได้
- **Zoom Original 2** เลื่อนภาพออกมาให้ความกว้าง/ยาว สูงสุดของตาราง พอดีกับขนาดหน้าจอ และมีพื้นที่ใช้งานเท่ากับแผ่นงาน สามารถใช้คำสั่ง **Pan Picture** ได้
- **Zoom Original 3** เลื่อนภาพออกมาให้ความกว้าง/ยาว สูงสุดของตาราง พอดีกับขนาดแผ่นงาน สามารถใช้คำสั่ง **Pan Picture** ได้

Zoom Window เมื่อท่านเลือกคำสั่งนี้แล้วท่านสามารถเลือกบริเวณที่ต้องการให้แสดงออกทางหน้าจอได้โดยทำการคลิกที่แผ่นงานและคลิกค้างไว้พร้อมกับเคลื่อนเมาส์ออกจากตำแหน่งเดิม (จะเห็นกรอบสี่เหลี่ยมแสดงในแผ่นภาพ) เมื่อปล่อยเมาส์บริเวณที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมจะถูกแสดงเต็มหน้าจอ

คำสั่ง ขยาย/หดภาพ เหล่านี้ท่านสามารถเลือกใช้จากแถบเครื่องมือ หรือจากรายการคำสั่ง

การเลื่อนภาพ (Pan Picture)

SUTStructor ได้เตรียมคำสั่งการเลื่อนภาพ นี้ไว้ให้ท่านเพื่อความสะดวกในการเลื่อนดูภาพ

วิธีใช้

1. เลือกคำสั่ง **Pan Picture Icon**
2. คลิกค้างไว้ที่แผ่นภาพ
3. เลื่อนเมาส์เพื่อให้ภาพเลื่อนตามเมาส์
4. เมื่อปล่อยเมาส์เป็นการยกเลิก

บทที่ 4

การป้อนข้อมูล

4

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับการป้อนข้อมูล เข้าสู่โปรแกรมเพื่อให้สามารถคำนวณได้ตามโครงสร้างที่ท่านต้องการนำมาวิเคราะห์ ซึ่งเกี่ยวกับเรื่องของการป้อนน้ำหนักบรรทุกจะกล่าวถึงในบทต่อไป ก่อนอื่นเราจะเริ่มพูดกันถึงเรื่องของ ระบบพิกัดรวม (Global Coordinate System) และระบบพิกัดของแต่ละชิ้นส่วน (Local Coordinate System)

ระบบพิกัด (Coordinate)

เนื่องจาก SUTStructor เป็นโปรแกรมที่มีการป้อนข้อมูล และแสดงข้อมูลแบบ กราฟฟิก ท่านจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดหมายเลขจุดต่อ หรือ พิกัดจุดต่อเอง เมื่อมีการเพิ่มองค์อาคารจุดต่อจะมีการจัดการเพิ่มจุดต่อและมีการกำหนดหมายเลขและพิกัดจุดต่ออัตโนมัติภายในตัวโปรแกรม แต่ถ้าท่านต้องการที่จะเปลี่ยนพิกัดโดยการป้อนเองเป็นตัวเลข ท่านก็สามารถทำได้โดยเลือกคำสั่ง **Move Node Numerically** ซึ่งจะแสดงหน้าต่างขึ้นมาให้ป้อนพิกัด จากที่เคยอธิบายในบทที่ 2 ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับเรื่อง ระบบพิกัดรวม และระบบพิกัดของแต่ละชิ้นส่วน ระบบพิกัดในจุดต่อก็จะอ้างอิงตามระบบพิกัดรวม

จุดกำเนิดในพิกัดรวมที่แสดงใน SUTStructor จะแสดงด้วยเส้น 2 เส้น ซึ่งในแกน X จะมีอักษร X ที่ปลายเส้น ส่วนอีกเส้นที่ไม่มีตัวอักษรก็คือตามแกน Y ข้อมูลเกี่ยวกับจุดต่อ (สามารถดูได้ที่ **Table** ในรายการคำสั่ง) จะรายงานพิกัดเป็นระบบพิกัดรวม ส่วนข้อมูลองค์อาคารใน Table จะบอกจุดต่อต้นและจุดต่อปลาย ซึ่งนำมาใช้ในการกำหนดระบบพิกัดของแต่ละชิ้นส่วนขององค์อาคาร

การเพิ่มองค์อาคาร (Add Members)

ใน SUTStructor ให้ท่านสามารเพิ่มองค์อาคารได้ 2 แบบ แบบแรกท่านสามารถเพิ่มองค์อาคารแบบกราฟฟิก แบบที่สองเป็นการเพิ่มองค์อาคารแบบป้อนพิกัดเป็นตัวเลข ซึ่งทั้งสองแบบสามารถเลือกรูปแบบของปลายองค์อาคารที่เพิ่มได้ 2 แบบ แบบแรกปลายเป็นข้อแข็ง สำหรับเพิ่มโครงสร้างแบบ

โครง หรือ คาน ส่วนแบบที่สองปลายเป็นข้อหมุน สำหรับโครงสร้างแบบโครงข้อหมุน

การเพิ่มองค์อาคารแบบกราฟฟิก

ถ้าต้องการเพิ่มองค์อาคารแบบข้อแข็งเลือกคำสั่ง **Add Member Rigid-End**

ถ้าต้องการเพิ่มองค์อาคารแบบข้อแข็ง **Add Member Hinge-End**

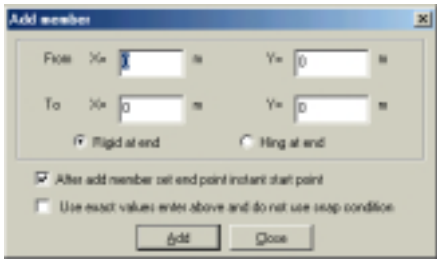
1. เลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะให้เป็นจุดเริ่มต้นในการเพิ่มองค์อาคาร ซึ่งอยู่ภายในแผ่นงาน
2. คลิกปุ่มซ้ายค้างไว้และเลื่อนเมาส์ไปที่จุดที่ต้องการให้เป็นจุดสิ้นสุดการเพิ่มองค์อาคาร
3. ปล่อยเมาส์ องค์อาคารจะถูกเพิ่มขึ้นมา
4. ถ้าต้องการเพิ่มองค์อาคารอีกให้ทำตามขั้นตอน 1–3 อีก

หรืออีกวิธี

1. เลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจะให้เป็นจุดเริ่มต้นในการเพิ่มองค์อาคาร ซึ่งอยู่ภายในแผ่นงาน
2. คลิกปุ่มซ้ายแล้วปล่อย
3. เลื่อนเมาส์ไปที่จุดที่ต้องการให้เป็นจุดสิ้นสุดการเพิ่มองค์อาคารคลิกเมาส์ซ้ายอีกครั้ง องค์อาคารจะถูกเพิ่มขึ้นมา
4. ถ้าต้องการเพิ่มองค์อาคารอีกให้ทำตามขั้นตอน 3 อีก
5. เมื่อต้องการยกเลิกให้คลิกเมาส์ขวาหรือในขั้นตอน 3 คลิกเมาส์ซ้าย 2 ครั้งติดต่อกันที่จุดสิ้นสุดการเพิ่มองค์อาคาร

การเพิ่มองค์อาคารแบบป้อนเป็นตัวเลข

1. เลือกคำสั่ง **Add Member Numerically** จะมีหน้าต่างแสดงดังรูป



2. ป้อนพิกัดเริ่มต้นขององค์อาคารในช่องข้อความ **From**
3. ป้อนพิกัดปลายขององค์อาคารในช่องข้อความ **To**
4. คลิกที่ปุ่ม **Add**
5. ทำตามขั้นตอน 2-4 อีกครั้งเมื่อต้องการเพิ่มองค์อาคาร

6. คลิก **Close** เพื่อปิดหน้าต่าง

ถ้ามีเครื่องหมายถูกหน้า **After add member set end instant start point** เมื่อคลิกที่ **Add** แล้วค่าพิกัดที่อยู่ในช่องพิกัดปลายขององค์อาคารจะถูกนำไปใส่ในช่องป้อนพิกัดเริ่มต้นขององค์อาคารซึ่งจะสะดวกเมื่อมีการเพิ่มองค์อาคารใหม่ที่ต่อเนื่องจากองค์อาคารเดิม

ถ้า มีเครื่องหมายถูกหน้า **Use exact values enter above and do not use snap condition** ค่าพิกัดที่ป้อนจะใช้ตามที่ป้อนโดยไม่มีการแปลงค่าเพื่อให้กระโดดเข้าตาราง หรือ จุดต่อ

คำสั่งลบ (Delete)

ภายในปุ่ม **Delete Member** จะมีอีกสองคำสั่งที่ใช้ปุ่มเดียวกันนี้คือ **Delete Loads**, **Delete Node** โดยสามารถเลือกเปลี่ยนได้โดยกดที่ปุ่มลูกศรลง

Delete Member

1. คลิกที่ปุ่ม **Delete Member**
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการลบ

Delete Loads

1. คลิกที่ลูกศรทิศลงชิดปุ่ม **Delete Member**
2. คลิกที่ปุ่ม **Delete Loads**
3. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการลบแล้วคลิกเมาส์ซ้าย

Delete Node

1. คลิกที่ลูกศรทิศลงชิดปุ่ม **Delete Node**
2. คลิกที่ปุ่ม **Delete Node**
3. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการลบแล้วคลิกเมาส์ซ้าย

คำสั่งเลือก องค์อาคาร/จุดต่อ หรือทั้งสอง (Select / Unselect)

ในปุ่ม **Select/Unselect All** จะประกอบด้วยคำสั่ง 4 คำสั่งด้วยกันคือ

- **Select/Unselect All** เมื่อคำสั่งนี้ถูกเลือก เมื่อเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่แผ่นงาน ณ. จุดที่มีองค์อาคารหรือจุดต่อ จะเป็นการเลือกองค์อาคารนั้นหรือจุดต่อนั้น เมื่อคลิกเมาส์ซ้ายอีกครั้งที่องค์อาคารหรือจุดต่อที่ถูกเลือกเป็นการยกเลิกการเลือก

- **Select/Unselect Member** เมื่อคำสั่งนี้ถูกเลือก เมื่อเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่แผ่นงาน ณ จุดที่มีองอาคาร จะเป็นการเลือกองค์อาคารนั้น เมื่อคลิกเมาส์ซ้ายอีกครั้งที่องค์อาคารที่ถูกเลือกเป็นการยกเลิกการเลือก
- **Select/Unselect Node** เมื่อคำสั่งนี้ถูกเลือก เมื่อเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่แผ่นงาน ณ จุดที่จุดต่อ จะเป็นการเลือกจุดต่อนั้น เมื่อคลิกเมาส์ซ้ายอีกครั้งที่จุดต่อที่ถูกเลือกเป็นการยกเลิกการเลือก
- **Standby** เมื่อคำสั่งนี้ถูกเลือก เมื่อเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่แผ่นงาน ณ จุดที่มีองอาคารหรือจุดต่อ จะเป็นการเลือกองค์อาคารนั้นหรือจุดต่อนั้น ซึ่งจะสามารถเลือกได้เพียงองค์อาคารเดียวเท่านั้น และคำสั่งนี้เป็นเสมือนคำสั่งพื้นฐาน เพราะเมื่ออยู่ในรูปแบบปฏิบัติการ (Mode) ใดก็ตามถ้าทำการคลิกเมาส์ขวาจะเป็นการกลับมาสู่ รูปแบบปฏิบัติการ **Standby**

คำสั่งกลุ่มนี้เป็นประโยชน์มากเมื่อต้องการเลือกหลายองค์อาคาร หรือ จุดต่อ เพื่อนำไปใช้กับคำสั่งอื่น เช่น เลื่อนองค์อาคาร คัดลอก ใส่น้ำหนักบรรทุก หรือ เปลี่ยนคุณสมบัติวัสดุ

การแก้ไขคุณสมบัติวัสดุ (Member Properties)

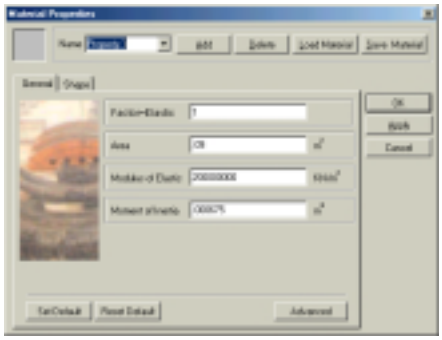
เมื่อมีองค์อาคารถูกเพิ่มเข้าแล้ว SUTStructor จะใส่คุณสมบัติวัสดุที่ถูกตั้งเป็นค่าเริ่มต้นให้อัตโนมัติ และจะใช้คุณสมบัตินี้กับองค์อาคารที่เพิ่มอีก จนกระทั่งท่านเข้าไปเปลี่ยนเป็น คุณสมบัติใหม่ SUTStructor จะใช้คุณสมบัตินั้นสำหรับองค์อาคารใหม่ต่อไป

การเปลี่ยนคุณสมบัติวัสดุท่านสามารถทำได้ 2 แบบ แบบแรกคือเปลี่ยนครั้งละ 1 องค์อาคาร อีกแบบคือเปลี่ยนพร้อมกันครั้งละหลายองค์อาคาร

ถ้าเป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติวัสดุหลายองค์อาคารให้ใช้คำสั่ง **Select/Unselect** แล้วทำการเลือกองค์อาคารก่อน

การเปลี่ยนคุณสมบัติวัสดุครั้งละ 1 องค์อาคารทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกคำสั่ง **Member Properties** อยู่ในปุ่มแถบเครื่องมือ (ถ้ามีองค์อาคารถูกเลือกอยู่จะมีหน้าต่างที่แสดงในขั้นตอนที่สองแสดงทันที)
2. เลื่อนเมาส์มายังองค์อาคารที่ต้องการแก้ไขคุณสมบัติวัสดุ คลิกที่เมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป



3. ถ้าต้องการเพิ่มวัสดุให้คลิกที่ ปุ่ม **Add** และเปลี่ยนชื่อที่ช่องใส่ข้อความ ที่มีหัวข้อ **Name**
4. ในหน้าต่างจะมีรูปแบบให้ป้อนข้อมูล 2 แบบ คือ
   - **General** ให้ท่านป้อนค่า พื้นที่ โมดูลัสยืดหยุ่น โมเมนความเฉื่อย
   - **Shape** ให้ท่านป้อนเป็นสัดส่วนของหน้าตัดกับค่า โมดูลัสยืดหยุ่น โปรแกรมจะคำนวณพื้นที่ และโมเมนความเฉื่อยเอง
5. ท่านสามารถแก้ไขค่าได้ โดยเปลี่ยนค่าในช่องข้อความ
6. เมื่อแก้ไขเรียบร้อยกด **OK** เป็นการยืนยันการเปลี่ยนค่า หรือ **Cancel** เพื่อยกเลิก

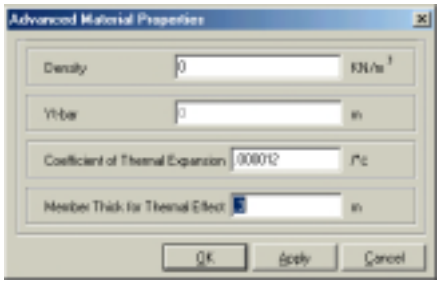
ปุ่ม **Set Default** ใช้เมื่อต้องการให้วัสดุที่ถูกแสดงบนหน้าต่างในขณะนี้ติดตั้งเป็นค่าเริ่มต้น มีประโยชน์เมื่อ เริ่มงานใหม่ และมีการเพิ่มองค์อาคารคุณสมบัติวัสดุที่ถูกตั้งเป็นค่าเริ่มต้นจะถูกนำมาใช้กับองค์อาคารที่เพิ่มขึ้นมาใหม่

ปุ่ม **Reset Default** ใช้เมื่อต้องการติดตั้งเป็นค่าเริ่มต้นเหมือนตอน Setup ใหม่ มีประโยชน์เมื่อใช้ปุ่ม **Set Default** แล้วต้องการยกเลิก

ปุ่ม **Advancedd** ใช้เมื่อต้องการแก้ไข ค่าคุณสมบัติ

- ความหนาแน่น (ใช้ในการคำนวณน้ำหนักตัวเอง)
- **Yt-bar** ระยะจากขอบบนของหน้าตัด ถึง แกนสะเทิน
- สัมประสิทธิ์การการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ
- ความหนาขององค์อาคารที่มีผลเนื่องจากอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง

หน้าต่าง **Advanced** จะมีหน้าตาดังรูป



ปุ่ม **Save Material** ใช้สำหรับเก็บข้อมูลวัสดุเป็น files เพื่อความสะดวกในการนำมาใช้อีก โปรดสังเกตถ้าทำการ Save ซ้ำ File ที่มีอยู่แล้วจะเป็นการเพิ่มข้อมูลเข้าไปในฐานข้อมูลของ File นั้น

ปุ่ม **Load Material** ใช้สำหรับดึงข้อมูลวัสดุที่เก็บไว้เป็น files ขึ้นมาใช้ โปรดสังเกตเมื่อทำการ Load ข้อมูลแล้วให้ไปดูที่ **Name** และกดลูกศรลงที่อยู่ด้านข้างจะเป็นรายชื่อวัสดุที่เก็บไว้ใน ไฟล์แสดงขึ้นในรายการ และท่านสามารถเลือกคุณสมบัตินั้นมาใช้ได้ โดยเลือกเอาจากรายการที่มีอยู่ แล้วคลิกที่เมาส์ซ้าย

ปุ่ม **Add** ใช้เพิ่มรายการวัสดุ

ปุ่ม **Delete** ใช้ลบรายการวัสดุ

การเคลื่อนย้ายองค์อาคาร (Move Member)

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Move Member** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการเคลื่อนย้าย คลิกเมาส์ซ้ายค้างไว้
3. เคลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการให้องค์อาคารไปอยู่ใหม่ ปล่อยเมาส์ซ้าย
4. ถ้าต้องการ คัดลอกองค์อาคาร ให้กด Crtl ค้างไว้ก่อนปล่อยเมาส์ซ้าย

การคัดลอกองค์อาคาร (Copy Member)

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

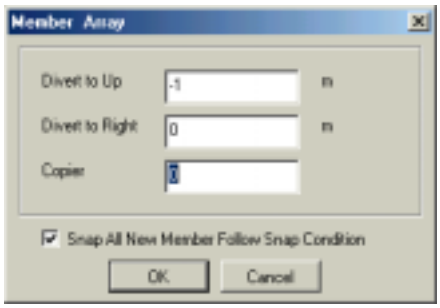
1. เลือกคำสั่ง **Copy Member** ที่แถบเครื่องมือ (ปุ่มเดียวกับปุ่ม Move Member) ให้คลิกลูกศรลงจะมีรายการ ให้เลือกคลิกซ้ายที่รายการ **Copy Member**
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการคัดลอก คลิกเมาส์ซ้ายค้างไว้

3. เคลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการให้องค์อาคารที่ถูกคัดลอกไปวาง ปล่อยเมาส์ซ้าย

การคัดลอกองค์อาคารแบบต่อเนื่อง (Member Array)

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Member Array** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการคัดลอก คลิกเมาส์ซ้ายค้างไว้
3. เคลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการให้องค์อาคารที่ถูกคัดลอกไปวาง ปล่อยเมาส์ซ้ายจะมีหน้าต่างแสดงดังรูป



4. ป้อนจำนวนชุดที่ต้องการคัดลอกที่ **Copier** กด **OK** เพื่อตกลง ค่า **Divert to Up/Right** เป็นระยะห่างที่วางองค์อาคาร อ้างอิงกับองค์อาคารตัวอย่างหรือองค์อาคารที่ถูกคัดลอกเพิ่มก่อน

การแบ่งองค์อาคาร (Split Member)

1. ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน
2. เลือกคำสั่ง **Split Member** จากแถบเครื่องมือ
3. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการแบ่ง คลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป

- เลือก **Split in two equal member** เมื่อต้องการแบ่ง 2 ส่วนเท่ากัน
- เลือก **Slit two unequal members at ratio 1:** พิมพ์ 0.5 เมื่อต้องการแบ่ง 2 ส่วนเท่า กัน
- เลือก **Slit in** [จำนวนท่อนที่ต้องการแบ่ง] **equal members**

4. กด **Ok** เพื่อตกลง

การเคลื่อนย้ายจุดต่อ (Move Node)

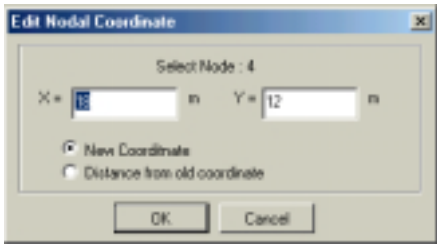
ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Move Node** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการเคลื่อนย้าย คลิกเมาส์ซ้ายค้างไว้
3. เคลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการให้จุดต่อไปอยู่ใหม่ ปล่อยเมาส์ซ้าย

การเคลื่อนย้ายจุดต่อแบบป้อนค่า (Move Node Numerically)

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Move Node** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการเคลื่อนย้าย คลิกเมาส์ซ้ายจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา



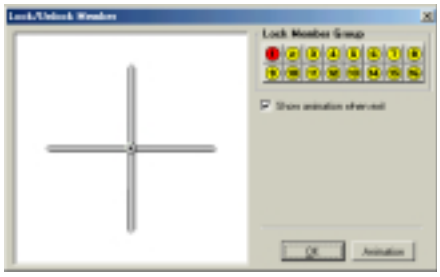
- ถ้า **New Coordinate** ถูกเลือก ให้ป้อนค่าพิกัดใหม่ที่ต้องการให้เป็นพิกัดใหม่ของจุดต่อ
- ถ้า **Distance from old coordinate** ให้ป้อนระยะห่างระหว่างพิกัดใหม่กับพิกัดเดิม

การจัดกลุ่มการถ่ายเทโมเมนต์ระหว่างองค์อาคารในจุดต่อ (Lock / Unlock Member)

คำสั่งนี้จะมีประโยชน์เมื่อท่านต้องการวิเคราะห์โครงสร้างผสมระหว่าง โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน (Truss/Frame)

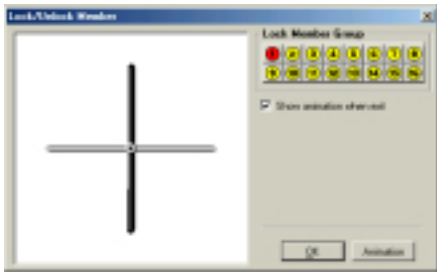
1. เลือกคำสั่ง **Lock /Unlock Members** ที่แถบเครื่องมือ

2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการจัดการเรื่องถ่ายเทโมเมนต์ระหว่างองค์อาคาร คลิกเมาส์ซ้ายจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา

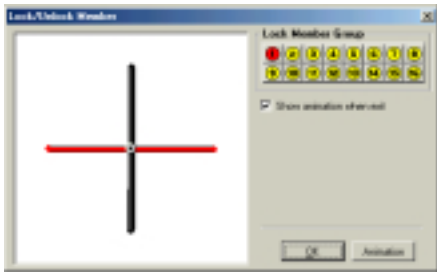


ในการสาธิตวิธีใช้งาน จะสมมุติว่าต้องการให้องค์อาคารตามแนวดิ่งมีการถ่ายเทโมเมนต์หากัน และตามแนวนอนมีการถ่ายเทโมเมนต์หากัน

3. คลิกที่ปุ่มหมายเลข 1 เพื่อเลือกกลุ่มที่ต้องการให้มีการถ่ายเทโมเมนต์ระหว่างองค์อาคารภายในกลุ่ม 1
4. คลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคารตามแนวดิ่ง ทั้ง 2 องค์อาคาร สีขององค์อาคารจะเปลี่ยนเป็นสีดำดังรูป (คลิกซ้ายซ้ำที่องค์อาคารจะเป็นการยกเลิกการจัดเข้ากลุ่มขององค์อาคารนั้น)



5. คลิกที่ปุ่มหมายเลข 2 เพื่อเลือกกลุ่มที่ต้องการให้มีการถ่ายเทโมเมนต์ระหว่างองค์อาคารภายในกลุ่ม 2
6. คลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคารตามแนวดิ่ง ทั้ง 2 องค์อาคาร สีขององค์อาคารจะเปลี่ยนเป็นสีแดงดังรูป



ขณะนี้ท่านได้จัดกลุ่มการถ่ายเทองค์อาคารแล้ว องค์อาคารจะมีการถ่ายโมเมนต์เฉพาะในกลุ่มเดียวกันเท่านั้น (สีเดียวกันในภาพ)

7. กด **OK** เพื่อตกลง

- เมื่อองค์อาคารเป็นสีเทาแสดงว่าไม่มีการจัดกลุ่มซึ่งจะมีการถ่ายเทโมเมนต์ซึ่งเมื่อทุกองค์อาคารภายในจุดต่อไม่มีการจัดกลุ่มจุดต่อนั้นก็จะมีลักษณะเป็นจุดต่อแบบข้อหมุน
- เมื่อองค์อาคารภายในจุดต่อนั้นทั้งหมดถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ทุกองค์อาคารจะมีการถ่ายเทโมเมนต์ถึงกันหมด จุดต่อนั้นก็จะมีลักษณะเป็นจุดต่อแบบข้อแข็ง (Rigid Node)

การใส่ที่รองรับและจุดต่อ (Support & Joint)

คำสั่งใช้เปลี่ยนชนิดที่รองรับที่ใน SUTStructor มี

- **Pin Support** มีการยึดรั้งตามแกน X, Y
- **Fix Support** มีการยึดรั้งตามแกน X, Y และ โมเมนต์
- **Roller Support** มีการยึดรั้งตามแกน Y
- **Slider Support** มีการยึดรั้งตามแกน Y และ โมเมนต์

ส่วนข้อต่อ มี

- **Hinge Joint** ไม่มีการส่งถ่ายโมเมนต์ผ่านข้อต่อ
- **Rigid Joint** มีการส่งถ่ายโมเมนต์ผ่านข้อต่อ

ท่านสามารถเลือกรูปแบบจุดต่อได้ดังนี้

ถ้าต้องการเปลี่ยนรูปแบบจุดต่อหลายจุดต่อพร้อมกันให้ทำการเลือกจุดต่อก่อนโดยใช้คำสั่ง **Select /Unselect All** หรือ **Select /Unselect Node**

กรณีต้องการเปลี่ยนที่รองรับ (Support)

1. เลือกชนิดของจุดต่อลูกศรลงข้างแถบเครื่องมือ **Pin Support** ซึ่งจะแสดงรายการที่รองรับให้เลือก (ถ้ามีการเลือกจุดต่อก่อนโดยใช้คำสั่ง Select สิ้นสุดเท่านี้)
2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการเปลี่ยนชนิดที่รองรับ แล้วคลิกเมาส์ซ้าย

กรณีต้องการเปลี่ยนข้อต่อ (Joint)

1. เลือกชนิดของจุดต่อลูกศรลงข้างแถบเครื่องมือ **Hinge Joint** ซึ่งจะแสดงรายการที่รองรับให้เลือก (ถ้ามีการเลือกจุดต่อก่อนโดยใช้คำสั่ง Select สิ้นสุดเท่านี้)
2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการเปลี่ยนชนิดข้อต่อ แล้วคลิกเมาส์ซ้าย

บทที่ 5

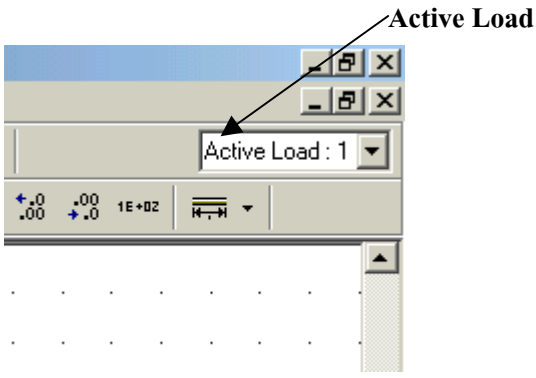
น้ำหนักบรรทุก

5

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับการเพิ่มและการ แก้ไข/ลบ น้ำหนักบรรทุก และการใช้งานน้ำหนักบรรทุกภายใน **Active Loads** อธิบายการใช้สัมประสิทธิ์ตัวคูณภายใน **Active Loads** รวมทั้งจะมีการอธิบายวิธีเปิดปิดการวาดภาพน้ำหนักบรรทุก และคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกที่อยู่ใน **Option**

ชุดโหลดที่ทำงาน (Active Loads)

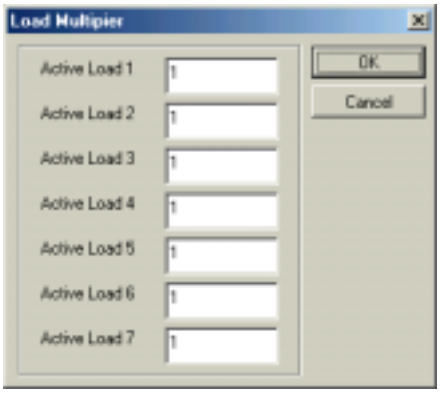
ใน SUTStructor ได้จัดเตรียม **Active load** ใช้งานทั้งหมด 7 ชุดด้วยกัน และในแต่ละชุดจะบรรจุน้ำหนักบรรทุกแยกอิสระจากกัน เมื่อท่านต้องการนำน้ำหนักบรรทุกในแต่ละชุดของ **Active load** มารวมกัน SUTStructor ก็ได้จัดเตรียม **Active Load** อีกตัวหนึ่งไว้ให้ท่านซึ่งเป็น **Active load** ชุดที่ 8 ซึ่งเป็นชุดที่รวมทุก **Active loads** และสามารถกำหนดสัมประสิทธิ์ในแต่ละ **Active load** ที่จะนำมารวมกันได้ด้วย



วิธีการใช้

ท่านสามารถเลือก **Active load** ที่ให้ทำงานได้โดยการคลิกเมาส์ซ้ายที่ลูกศรลงบริเวณ **Active load** ซึ่งจะมีรายการ **Active load** ให้เลือกทั้งหมด 8 ชุดแสดงขึ้นมาท่านสามารถเลือกได้โดยการคลิกเมาส์ซ้ายที่รายการ เมื่อท่านมีการใส่ น้ำหนักบรรทุก ที่องค์อาคาร หรือ น้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ น้ำ

หนักบรรทุกนั้นจะทำงานเฉพาะ **Active load** ถูกเลือกอยู่ขณะนี้เท่านั้น และเมื่อท่านทำการเลือก **Active Load 8** จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาให้ป้อนค่าสัมประสิทธิ์ดังรูป

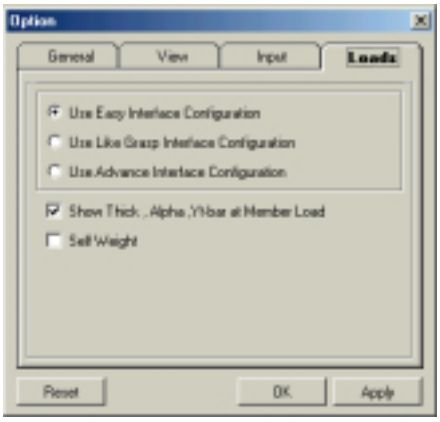


ในแต่ละช่องข้อความจะเป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้คูณกับน้ำหนักบรรทุกทุกตัวที่อยู่ใน Active Load นั้น ท่านสามารถแก้ไขค่าได้โดยการพิมพ์ค่าใหม่ลงในช่องข้อความ

การตั้งให้คำนวณน้ำหนักขององค์อาคารอัตโนมัติ (Generating Self Weight Automatically)

ท่านสามารถตั้งให้ SUTStructor เปิดปิดการคำนวณน้ำหนักขององค์อาคารอัตโนมัติได้โดย

1. คลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Option** บนแถบเครื่องมือจะมีหน้าต่างแสดงดังรูป



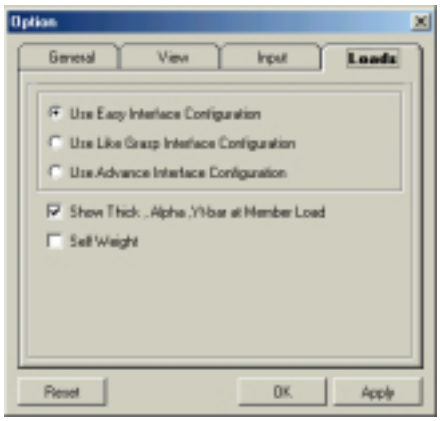
2. เลือกไปที่แถบ **Loads**
3. ให้คลิกเมาส์ซ้ายที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าหัวข้อ **Self Weight** จะเป็นการเปิดการคำนวณน้ำหนักขององค์อาคารอัตโนมัติ คลิกอีกครั้งที่เดิมเป็นการปิดการคำนวณน้ำหนักขององค์อาคาร
4. คลิกที่ปุ่ม **OK** เพื่อยืนยัน

น้ำหนักขององค์อาคารอัตโนมัติจะถูกตั้งค่าให้อยู่ใน **Active Load 1** เมื่อ **Active Load 1** มีการตั้งค่าสัมประสิทธิ์ สัมประสิทธิ์นั้นจะมีผลกับการคำนวณน้ำหนักขององค์อาคารเช่นกัน

การตั้งเลือกรูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในการป้อนน้ำหนักบรรทุก (Interface Configuration)

ท่านสามารถตั้งหน้าตาในการป้อนน้ำหนักบรรทุกได้ 3 รูปแบบด้วยกัน โดยทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. คลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Option** บนแถบเครื่องมือจะมีหน้าต่างแสดงดังรูป



2. เลือกไปที่แถบ **Loads**
3. ให้คลิกเมาส์ซ้ายที่ช่องวงกลมหน้า **Interface Configuration** ที่ต้องการ
4. คลิกที่ปุ่ม **OK** เพื่อยืนยัน

ในแต่ละรูปแบบมีหน้าตาดังนี้

- Quick Interface Configuration

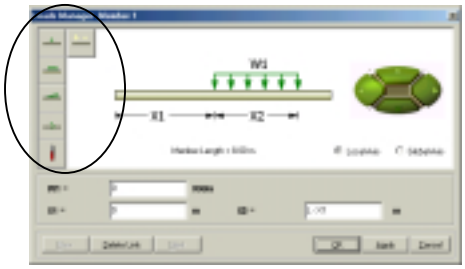
- GRASP-LIKE Interface Configuration

- Advanced Interface Configuration

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Quick Interface Configuration

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Member Loads** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก คลิกเมาส์จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ดังรูป



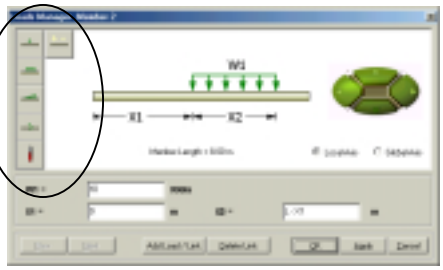
3. เลือกชนิดของน้ำหนักบรรทุกบริเวณปุ่มด้านซ้าย (ในวงรี)
4. เลือกทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่ปุ่มสีเขียวด้านขวามือ
5. ป้อนค่าที่ขนาดและพิกัดที่ช่องข้อความด้านล่าง
6. กด **Apply** หรือ **OK** เพื่อยืนยัน
7. ถ้าต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอีกต้อง กด **OK** แล้วทำตามขั้นตอน 2– 6 ใหม่

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ GRASP-LIKE Configuration

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Member Loads** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก คลิกเมาส์จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ดังรูป

3. คลิกที่ปุ่ม **Add Load/Link** หน้าต่างจะเปลี่ยนไปดังรูป



4. เลือกชนิดของน้ำหนักบรรทุกบริเวณปุ่มด้านซ้าย (ในวงรี)
5. เลือกทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่ปุ่มสีเขียวด้านขวามือ
6. ป้อนค่าที่ขนาดและพิกัดที่ช่องข้อความด้านล่าง
7. กด **Apply**
8. ถ้าต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอีกทำตามขั้นตอน 3– 6 ใหม่
9. **OK** เพื่อยืนยันและออกจากหน้าต่าง

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Advancedd Interface Configuration

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

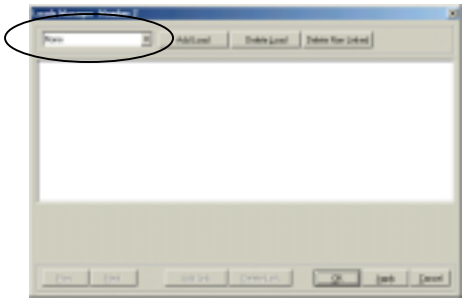
1. เลือกคำสั่ง **Member Loads** ที่แถบเครื่องมือ

2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก คลิกเมาส์จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป

3. คลิกที่ปุ่ม **Add Load** หน้าต่างจะเปลี่ยนไปดังรูป

4. เลือกชนิดของน้ำหนักบรรทุกบริเวณปุ่มด้านซ้าย (ในวงรี)
5. เลือกทิศทางของน้ำหนักบรรทุกที่ปุ่มสีเขียวด้านขวามือ
6. ป้อนค่าที่ขนาดและพิกัดที่ช่องข้อความด้านล่าง
7. กด **Add Link**
8. ถ้าต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอีกทำตามขั้นตอน 3– 6 ใหม่
9. **OK** เพื่อยืนยันและออกจากหน้าต่าง

ในขั้นตอนที่ 3-6 ถ้าต้องการใช้นำหนักบรรทุกเก่าที่มีอยู่แล้วท่านสามารถที่จะเลือกจากช่องรายการน้ำหนักบรรทุก (ในวงรีภาพด้านล่าง) แทนได้



การแก้ไข/ลบ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ Quick Interface

Configuration

การแก้ไปองค์อาคารจะกระทำได้ทีละองค์อาคารแต่ถ้าองค์อาคารอื่นมีการเชื่อมโยงมายังรายการนำหนักบรรทุกเดียวกันกับองค์อาคารที่ถูกแก้ไขก็จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปด้วย

1. เลือกคำสั่ง **Member Loads** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการแก้ไขน้ำหนักบรรทุก คลิกเมาส์จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป

3. คลิกที่ปุ่ม **Prev** เพื่อย้อนกลับไปหาน้ำหนักบรรทุกเก่าที่เคยเพิ่มไว้
4. ทำการแก้ไขค่าตามที่ต้องการ หรือ ถ้าต้องการลบน้ำหนักบรรทุกคลิกที่ **Delete Link**
5. กด **Apply** หรือ **OK** เพื่อยืนยัน

การแก้ไข/ลบ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับองค์อาคารแบบ GRASP-LIKE

Configuration , Advanced Interface Configuration

การแก้ไปองค์อาคารจะกระทำได้ทีละองค์อาคาร แต่ถ้าองค์อาคารอื่นมีการเชื่อมโยงมายังรายการนำหนักบรรทุกเดียวกันกับองค์อาคารที่ถูกแก้ไขก็จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปด้วย

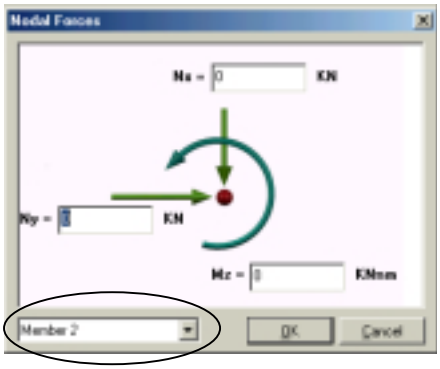
1. เลือกคำสั่ง **Member Loads** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังองค์อาคารที่ต้องการแก้ไขน้ำหนักบรรทุก คลิกเมาส์จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป

3. ถ้าเป็นองค์อาคารที่เคยมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกแล้ว ในหน้าต่างจะแสดงค่าเก่านั้นทันที และถ้าองค์อาคารนั้นมีรายการน้ำหนักบรรทุกมากกว่าหนึ่งรายการที่เชื่อมโยงมายังองค์อาคารที่ถูกเลือก ท่านสามารถคลิกที่ปุ่ม **Prev** เพื่อย้อนกลับไปได้อีก
4. ทำการแก้ไขค่าตามที่ต้องการ หรือ ถ้าต้องการลบน้ำหนักบรรทุกคลิกที่ปุ่ม **Delete Link**
5. กด **Apply** หรือ **OK** เพื่อยืนยัน

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ (Set Nodal Force)

ถ้าการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Set Nodal Loads** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่ต้องการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ คลิกเมาส์ซ้ายจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา



3. ป้อนค่าในช่องข้อความ
4. กด **OK** เพื่อยืนยัน หรือ **Cancel** เพื่อยกเลิก

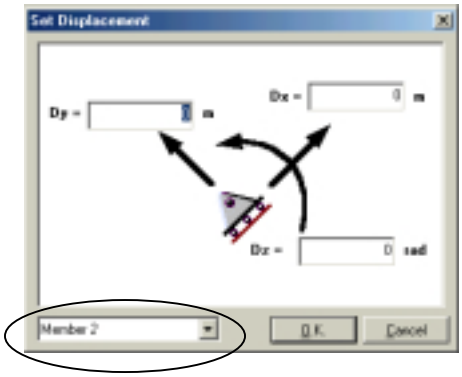
ภายในวงรีท่านสามารถเลือกองค์อาคารที่ต้องการให้น้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อกระทำได้ ซึ่งจะมีประโยชน์เมื่อจุดต่อนั้นเป็น Hinge Joint และมีการใส่ค่าโมเมนต์ที่จุดต่อ ท่านสามารถจะเลือกได้ว่าจะให้โมเมนต์นั้นกระทำกับองค์อาคารตัวไหน

ภายในหนึ่งจุดต่อจะมีน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนจุดต่อได้เพียงหนึ่งชุดเท่านั้นซึ่ง 1 ชุดจะประกอบด้วยแรงตามแนวแกน X, Y, Z โดยทิศทางของแรงจะอ้างอิงตามแกนโกบอล (อธิบายในบทที่ 2)

การใส่ค่าทรุดตัวที่จุดต่อ (Set Displacement)

ถ้าต้องการเคลื่อนหลายองค์อาคารพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Set Displacement** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังจุดต่อที่การใส่ค่าทรุดตัวที่จุดต่อที่จุดต่อ คลิกเมาส์ซ้ายจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา



3. ป้อนค่าในช่องข้อความ
4. กด **OK** เพื่อยืนยัน หรือ **Cancel** เพื่อยกเลิก

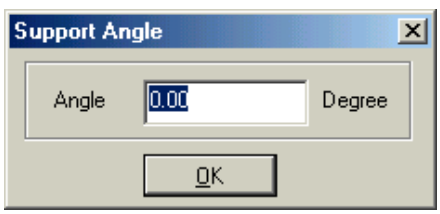
ภายในวงรีท่านสามารถเลือกองค์อาคารที่ต้องการให้ใส่ค่าทรุดตัวที่จุดต่อกระทำได้ ซึ่งจะมีประโยชน์เมื่อจุดต่อนั้นเป็น Hinge Joint และมีการใส่ค่าการทรุดตัวที่จุดต่อ ท่านสามารถจะเลือกได้ว่าจะให้โมเมนต์นั้นกระทำกับองค์อาคารตัวไหน

ภายในหนึ่งจุดต่อจะมีน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนจุดต่อได้เพียงหนึ่งชุดเท่านั้น ซึ่ง 1 ชุดจะประกอบด้วยแรงตามแนวแกน X, Y, Z โดยทิศทางของแรงจะอ้างอิงตามแกนจุดต่อ (อธิบายในบทที่ 2)

การปรับมุมของที่รองรับ (Support Rotation)

ถ้าการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อพร้อมกันให้ทำการเลือกองค์อาคารก่อน

1. เลือกคำสั่ง **Rotate Support** ที่แถบเครื่องมือ
2. เลื่อนเมาส์ไปยังที่รองรับที่ต้องการปรับมุมของที่รองรับ คลิกเมาส์ซ้ายจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา

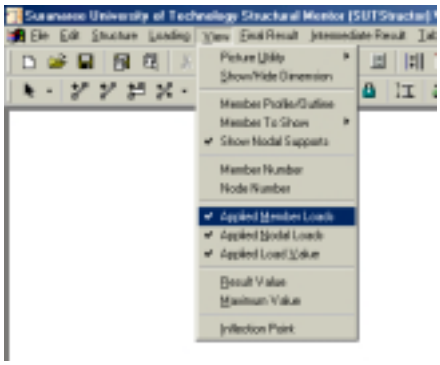


3. ป้อนค่ามุมเป็นองศาในช่องข้อความ
4. กด **OK** เพื่อยืนยัน

ค่ามุมที่ป้อนจะอ้างอิงตามแกนรวม (อธิบายในบทที่ 2)

การเปิดปิดการแสดงภาพน้ำหนักบรรทุก (No/Off Loads Picture)

ท่านสามารถสั่งเปิดปิดการแสดงภาพน้ำหนักบรรทุกได้จากรายการคำสั่ง **View** => **Applied Member Loads** เปิดปิดการแสดงภาพน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อได้จากรายการคำสั่ง **View** => **Applied Nodal Loads** ดังรูปด้านล่าง



บทที่ 6

วิเคราะห์และแสดงผล

6

ในบทที่ผ่านๆ มาได้อธิบายเกี่ยวกับการป้อนข้อมูลแล้ว ในบทนี้ก็จะอธิบายเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลและการแสดงผล ในตอนต้นของบทจะอธิบายเกี่ยวกับการแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิก ถัดมาจะอธิบายการแสดงผลในตาราง และในตอนท้ายบทจะอธิบายการแสดงผลลัพธ์ระหว่างกลาง

การสั่งให้โปรแกรม SUTStructor วิเคราะห์ข้อมูล (Analysis)

SUTStructor ออกแบบมาเพื่อให้มีการใช้งานง่ายและสะดวก ดังนั้นระบบการวิเคราะห์ข้อมูลใน SUTStructor จึงเป็นระบบอัตโนมัติ หลังจากทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อย เมื่อท่านต้องการที่จะวิเคราะห์โครงสร้าง เพียงท่านกดที่ปุ่มแสดงผลลัพธ์ เช่น แรงปฏิกิริยา SUTStructor จะทำการวิเคราะห์ให้อัตโนมัติก่อนการแสดงผล และจะไม่มีการวิเคราะห์อีกจนกระทั่งมีการคลิกเลือกคำสั่งที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไของค์อาคาร

การแสดงผลแบบกราฟฟิก (Graphic Results)

การแสดงผลแบบกราฟฟิกจะมี 6 แบบคือ

- แสดงผลแรงปฏิกิริยา
- แสดงผลแรงตามแนวแกน
- แสดงผลแรงเฉือน
- แสดงผลโมเมนต์
- แสดงผลการแอ่นตัว

การแสดงผลแรงปฏิกิริยา (Show Reaction)

เลือกคำสั่ง **Support Reactions** จากแถบคำสั่ง จากนั้น SUTStructor จะแสดงผลแรงปฏิกิริยาบนแผ่นงานทันที ถ้าการวิเคราะห์ไม่มีปัญหา

การแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกน (Show Axial)

เลือกคำสั่ง **Axial Force Diagram** จากแถบคำสั่ง จากนั้น SUTStructor จะแสดงผลแรงตามแนวแกนบนแผ่นงานทันที ถ้าการวิเคราะห์ไม่มีปัญหา

การแสดงแผนภาพแรงเฉือน (Show Shear)

เลือกคำสั่ง **Shear Force Diagram** จากแถบคำสั่ง จากนั้น SUTStructor จะแสดงผลแรงเฉือนบนแผ่นงานทันที ถ้าการวิเคราะห์ไม่มีปัญหา

การแสดงแผนภาพโมเมนต์ (Show Moment)

เลือกคำสั่ง **Bending Moment Diagram** จากแถบคำสั่ง จากนั้น SUTStructor จะแสดงผลโมเมนต์บนแผ่นงานทันที ถ้าการวิเคราะห์ไม่มีปัญหา

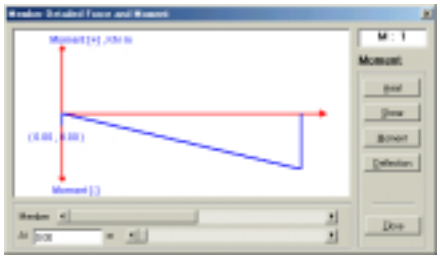
การแสดงแผนภาพการแอ่น (Show Deflection)

เลือกคำสั่ง **Deformed Shape** จากแถบคำสั่ง จากนั้น SUTStructor จะแสดงผลการแอ่นบนแผ่นงานทันที ถ้าการวิเคราะห์ไม่มีปัญหา

การสั่งให้แสดงค่ารายละเอียดแผนภาพ แรงตามแนวแกน, แรงเฉือน, โมเมนต์, การแอ่น (Show Details)

หลังจากสั่งให้ SUTStructor วาดแผนภาพแล้ว

1. คลิกที่องค์อาคารที่ต้องการ จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป



2. ใช้คลิกเมาส์ค้างไว้ที่แถบเลื่อนที่ด้านล่างในหัวข้อ Member และเลื่อนเมาส์เพื่อเปลี่ยนองค์อาคารที่ต้องการให้แสดง และพิมพ์ระยะที่ช่องข้อความด้านล่างหรือใช้เมาส์เลื่อนแถบเลื่อนด้านล่างเพื่อเปลี่ยนระยะที่ต้องการพิจารณา

3. คลิกที่ปุ่มด้านขวาเพื่อเปลี่ยนแผนภาพที่ต้องการดู เช่นเมื่อต้องการเปลี่ยนเป็นแผนภาพแรงตามแนวแกน คลิกปุ่ม **Axial** เป็นต้น

การสั่งให้แสดงค่าที่จุดต่อ (Show Nodal Results)

ท่านสามารถสั่งให้ SUTStructor แสดงค่าของ แรงตามแนวแกน, แรงเฉือน, โมเมนต์, การแอ่นตัว บนจุดต่อได้ วิธีการมีดังนี้

หลังจากสั่งให้แสดงแผนภาพผลลัพธ์แล้ว (อาทิเช่น แผนภาพแรงเฉือน)

คลิกที่ปุ่ม **Show Result Value**

บนแถบคำสั่ง SUTStructor จะแสดงค่าที่จุดต่อทันที เมื่อคลิกที่ปุ่ม ซ้ำอีกครั้งจะเป็นการปิดการแสดงค่าที่จุดต่อ

การสั่งให้แสดงสูงสุดและต่ำสุด (Show Max Results)

ท่านสามารถสั่งให้ SUTStructor แสดงค่าของสูงสุดและค่าต่ำสุดในแต่ละองค์อาคารของแรงตามแนวแกน, แรงเฉือน, โมเมนต์ ได้ดังนี้

หลังจากสั่งให้แสดงแผนภาพผลลัพธ์แล้ว (อาทิเช่น แผนภาพแรงเฉือน)

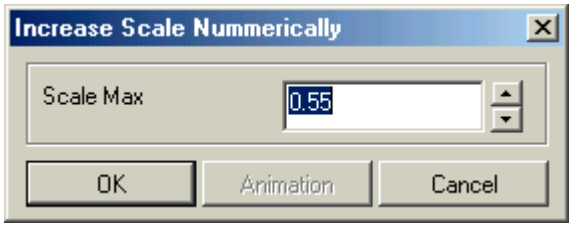
คลิกที่ปุ่ม **Show Maximum Value**

บนแถบคำสั่ง SUTStructor จะแสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดที่จุดต่ำสุดหรือสูงสุดทันที เมื่อคลิกที่ปุ่มซ้ำอีกครั้งจะเป็นการปิดการแสดงค่าที่สูงสุดและต่ำสุด

การขยายและลดอัตราส่วนในการแสดงแผนภาพ (Zoom)

หลังจากท่านสั่งให้แสดงแผนภาพแล้ว ท่านสามารถ

- ขยายการแสดงแผนภาพทีละขั้นได้โดยคลิกที่ปุ่ม **Increase Scale of Graphic Results**
- ขยายการแสดงแผนภาพทีละขั้นได้โดยคลิกที่ปุ่ม **Increase Scale of Graphic Results**
- ขยายการแสดงแผนภาพเป็นตัวเลขได้โดยคลิกที่ปุ่ม **Increase Scale Numerically** จากนั้นจะมีการแสดงหน้าต่างขึ้นมาดังรูป

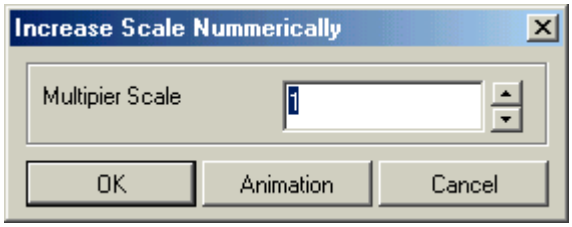


เมื่อมีการเลือกคำสั่งอื่นค่าอัตราส่วนที่ตั้งไว้จะถูกตั้งเป็นค่าเริ่มต้นเหมือนเดิมทุกครั้ง

การแสดงภาพเคลื่อนไหว (Animation)

เมื่อท่านสั่งแสดงภาพการแอ่นตัวท่านสามารถสั่งให้ SUTStructor แสดงภาพการเคลื่อนไหวการแอ่นตัว ระหว่างก่อนถูกน้ำหนักบรรทุกกระทำ และหลังจากถูกน้ำหนักบรรทุกกระทำได้โดย

1. คลิกที่ปุ่ม **Increase Scale Numerically** จากนั้นจะมีการแสดงหน้าต่างขึ้นมาดังรูป

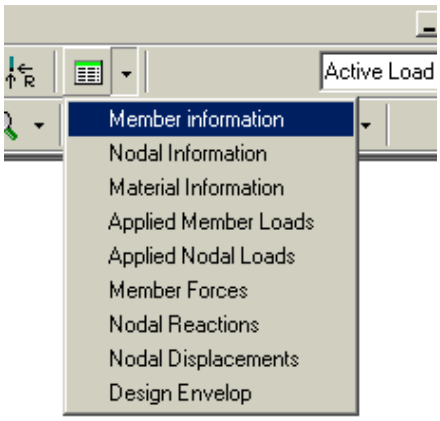


2. ป้อนอัตราส่วนขยายการวาดแผนภาพการแอ่นที่ช่องข้อความ
3. คลิกที่ปุ่ม **Animation** จากนั้น SUTStructor จะแสดงภาพเคลื่อนไหวทันทีและมีหน้าต่างเล็ก ๆ แสดงขึ้นมาดังรูป

4. คลิกที่ปุ่ม **Stop** เพื่อยกเลิกการแสดงภาพเคลื่อนไหว

ผลลัพธ์แบบตาราง (Table Results)

ท่านสามารถแสดงผลลัพธ์เป็นตารางได้โดยคลิกที่ปุ่ม **Member information** จะมีรายการให้เลือกดังรูป



รายการที่เห็นสามารถเลือกให้แสดงผลลัพธ์ได้ 7 อย่างด้วยกัน ได้แก่

- Member information แสดงค่าข้อมูลขององค์อาคาร เช่น ความยาว หมายเลขจุดต่อปลายองค์อาคาร
- Nodal Information แสดงค่าข้อมูลจุดต่อ เช่น พิกัดจุดต่อ
- Material Information แสดงค่าข้อมูลวัสดุ เช่น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย
- Applied Member Loads แสดงข้อมูลน้ำหนักบรรทุก เช่น ชนิด ขนาด ทิศทาง น้ำหนักบรรทุก
- Applied Nodal Loads แสดงข้อมูลน้ำหนักบรรทุกที่จุดต่อ ได้แก่ แรงตามแนวแกน X, แรงตามแนวแกน Y, โมเมนต์
- Member Forces แสดงแรงภายในที่จุดปลายขององค์อาคาร 2 ด้าน
- Nodal Reactions แสดงแรงปฏิกิริยาที่จุดต่อ
- Nodal Displacements แสดงการแอ่นตัวที่จุดต่อ
- Design Envelope แสดงค่าผลลัพธ์สุดสุดเพื่อนำไปออกแบบ

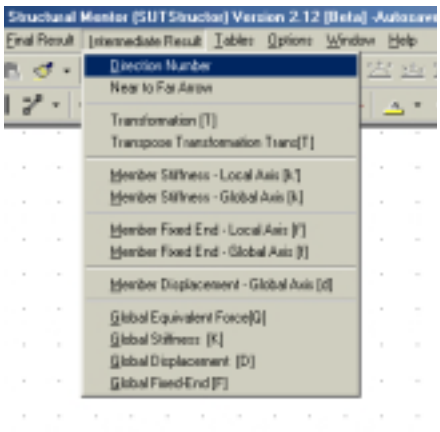
ใน 7 หัวข้อที่กล่าวมามีการใช้งานตรงไปตรงมา แต่ในหัวข้อ แสดงแรงปฏิกิริยาที่จุดต่อ, แสดงค่าการทรุดตัวที่จุดต่อ, แสดงค่าผลลัพธ์สูงสุดเพื่อนำไปออกแบบ จะมีเทคนิคในการใช้เพิ่มขึ้นอีกดังนี้

- ถ้าต้องการให้แสดงผลบางองค์อาคารท่านสามารถทำได้โดย ใช้คำสั่งเลือกองค์อาคารก่อนเรียกใช้คำสั่ง **Design Envelope**
- ในขณะแสดงผลท่านสามารถเลือกให้เรียงค่าสูงสุดได้โดยคลิกบนแถบหัวข้อที่ต้องการให้เรียงค่าสูงสุด

การแสดงผลลัพธ์ระหว่างกลาง (Intermediate Results)

SUTStructor สามารถแสดงค่าผลลัพธ์ที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์สุดท้ายได้ ซึ่งสามารถทำได้โดย

คลิกที่รายการคำสั่ง **Intermediate Results** แล้วคลิกเลือกคำสั่งจากรายการดังรูป



ในรายการจะมีคำสั่งดังต่อไปนี้

- Direction Number แสดงหมายเลขที่ SUTStructor ใช้ในการกำหนดการส่งถ่ายแรงและโมเมนต์
- Near to Far Arrow แสดงทิศทางองค์อาคารที่ใช้ในการคำนวณ คำสั่งนี้เป็นคำสั่งแบบเปิดปิด

ในการใช้คำสั่งต่อไปนี้ท่านสามารถใช้คำสั่งเลือกองค์อาคารก่อนได้ เพื่อให้แสดงองค์อาคารที่ท่านต้องการทันที

- Transformation [T] แสดงเมตริกที่ใช้แปลงเมตริกจากแกนองค์อาคาร (Member Axis) สู่แกนรวม (Global Axis)
- Transpose Transformation Trans [T] แสดงเมตริกที่ใช้แปลงเมตริกจากแกนรวม (Global Axis) สู่ แกนองค์อาคาร (Member Axis)
- Member Stiffness – Local Axis [k´] แสดงสติฟเนสเมตริกแต่ละองค์อาคารตามแกนองค์อาคาร
- Member Stiffness – Global Axis [k] แสดงสติฟเนสเมตริกแต่ละองค์อาคารตามแกนรวม
- Member Fixed End – Local Axis [f´] แสดงปลายเมตริกยึดแน่น (Fixed-end Matrix) แต่ละองค์อาคารตามแกนองค์อาคาร
- Member Fixed End – Global Axis [f] แสดงปลายเมตริกยึดแน่น (Fixed-end Matrix) แต่ละองค์อาคารตามแกนรวม
- Member Displacement – Global Axis [d] แสดงเมตริกการทรุดตัวแต่ละองค์อาคารตามแกนรวม

ถ้าไม่มีองค์อาคารถูกเลือกหรือถูกเลือกทั้งหมดค่าที่ถูกแสดงในคำสั่งด้านล่างจะเป็นค่าที่ได้จากการรวมกันตามวิธีสติฟเนสเมตริก ของทุกองค์อาคาร แต่ถ้าท่านต้องการให้แสดงผลรวมบางองค์อาคาร ท่านจะต้องทำการเลือกองค์อาคารเท่าที่ท่านต้องการก่อน

- Global Equivalent Force [Q] แสดงเมตริกแรงเทียบเท่าขององค์อาคารที่ถูกเลือกโดยอ้างอิงตามแกนรวม
- Global Stiffness [K] แสดงสติฟเนสเมตริกขององค์อาคารที่ถูกเลือกโดยอ้างอิงตามแกนรวม
- Global Displacement [D] แสดงเมตริกการทรุดตัวขององค์อาคารที่ถูกเลือกโดยอ้างอิงตามแกนรวม
- Global Fixed-end [F] แสดงเมตริกปลายยึดแน่นขององค์อาคารที่ถูกเลือกโดยอ้างอิงตามแกนรวม

บทที่ 7

เริ่มงานแรก

7

ในทุกบทที่ผ่านมาได้อธิบายวิธีใช้ SUTStructor แล้ว ในบทนี้จะสอนการใช้งาน SUTStructor แบบเป็นขั้นตอนโดยการยกตัวอย่างง่ายๆ มาสาธิตเพื่อให้ท่านสามารถที่จะมีแนวทางในการนำ SUTStructor มาใช้งาน

ตัวอย่าง คาน (Beam)

ตัวอย่างเป็นคานต่อเนื่องมีความยาวทั้งหมด 12 เมตร แบ่งเป็น 3 ช่วง แต่ละช่วงมีความยาว 4 เมตร จุดต่อที่ปลายสุดทั้งสองข้างของโครงสร้างเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน (Pin Support) ส่วนจุดต่อ 2 จุดด้านในโครงสร้างเป็นที่รองรับแบบล้อเลื่อน โดยในคานช่วงแรกมีน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่กระทำกับองค์อาคารมีขนาด 10 kN/m เริ่มที่ระยะ 2 เมตรจากซ้ายสุดของคานช่วงแรก

ในคานช่วงที่สอง มีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด กระทำกับองค์อาคารมีขนาด 2 kN/m เริ่มที่ระยะ 2 เมตรจากซ้ายสุดของคานช่วงที่สอง ในคานช่วงสุดท้ายที่มีน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่ไม่สม่ำเสมอ กระทำกับองค์อาคารมีขนาดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 kN/m ถึง 30 kN/m กระทำเต็มช่วงคาน โดยคุณสมบัติของคานมีค่า E = 200 GPa และคานกว้าง 20 cm ลึก 30 cm

ขั้นตอน

1. คลิกที่ปุ่ม **New** เพื่อเริ่มแผ่นงานใหม่
2. ทำการเพิ่มองค์อาคารโดยคลิกเมาส์ซ้ายที่แผ่นงานค้างไว้
3. แล้วเลื่อนเมาส์ห่างจากจะเริ่มต้นไปทางซ้ายอีก 12 เมตร ปล่อยเมาส์ซ้าย จะมีองค์อาคารถูกเพิ่มมีความยาว 12 เมตรบนแผ่นงาน
4. คลิกที่ปุ่ม **Split Member** เลื่อนเมาส์มาที่องค์อาคาร คลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคาร จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
5. เลื่อนมาเมาส์มาคลิกที่ ช่องวงกลมหน้าหัวข้อ **Split in …. equal members**
6. พิมพ์ 3 ลงในช่องข้อความเพื่อทำการบอกว่าจะแบ่งองค์อาคารออกเป็น 3 ส่วน
7. คลิก **OK** หน้าต่างจะถูกปิด และองค์อาคารจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน
8. เลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ปุ่ม **Pin Support** สังเกตที่ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป ทำการเลื่อนเมาส์มาที่จุดต่อบริเวณด้านซ้ายของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ที่จุดต่อจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับชนิดหมุน
9. เลื่อนเมาส์ไปที่ด้านขวาสุดของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ที่จุดต่อจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับชนิดหมุน
10. คลิกที่ปุ่มลูกศรลงในปุ่ม **Pin Support** จะมีแถบรายการแสดงขึ้น คลิกที่แถบ **Roller Support** สังเกตไอคอนเมาส์และไอคอนในปุ่มจะเปลี่ยนไป
11. เลื่อนเมาส์ไปที่จุดต่อที่ด้านในโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้งที่จุดต่อจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับชนิดหมุน ทำอีกครั้งกับจุดต่อที่เหลือ
12. คลิกซ้ายที่ปุ่ม **Member Loads** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
13. เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารช่วงที่ 1 แล้วคลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ป้อนค่า 10 ลงใน**ช่องข้อความ W1** แล้วคลิกซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
14. เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารช่วงที่ 1 (นับจากซ้าย) แล้วคลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ป้อนค่า 10 ลงใน**ช่องข้อความ W1,** ป้อนค่า 2 ลงใน**ช่องข้อความ X1** แล้วคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง

15. เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารช่วงที่ 2 แล้วคลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา คลิกที่ปุ่ม **Concentrate Loads** (ด้านซ้ายของหน้าต่าง) ป้อนค่า 20 ลงใน**ช่องข้อความ W1** แล้วคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
16. เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารช่วงที่ 3 แล้วคลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา คลิกที่ปุ่ม **Trapezoidal Loads** (ด้านซ้ายของหน้าต่าง) ป้อนค่า 30 ลงใน**ช่องข้อความ W2** แล้วคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
17. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
18. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคาร จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
19. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่แถบ **Shape**
20. ป้อนค่าโดยการพิมพ์ 0.2 ลงใน**ช่องข้อความ b** และป้อน 0.3 ลงใน**ช่องข้อความ h** กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
21. ขณะนี้ท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนี้ท่านสามารถสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้
    - การแสดงผลแรงปฏิกิริยาเลือกคำสั่ง **Support Reactions** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกนเลือกคำสั่ง **Axial Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงเฉือนเลือกคำสั่ง **Shear Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพโมเมนต์เลือกคำสั่ง **Bending Moment Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพการแอ่นเลือกคำสั่ง **Deformed Shape** จากแถบคำสั่ง

ตัวอย่างแรงปฏิกิริยาที่ได้จากโจทย์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง โครงข้อแข็ง (Frame)

ตัวอย่างเป็นโครงที่ประกอบด้วยเสา 2 ต้นความยาว 5 เมตร และคาน 1 ตัวความยาว 10 เมตร จุดต่อที่ฐานทั้งสองข้างของโครงสร้างเป็นที่รองรับยึดแน่น (Fixed Support) โดยในคานมีน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่กระทำกับองค์อาคารมีขนาด 10 kN/m โดยคุณสมบัติของคานมีค่า

E = 200 GPa และคานมีพื้นที่หน้าตัด 0.0625 ม.^{2} I = 0.000326 ม.^{4} เสามีพื้นที่หน้าตัด 0.0900 ม.^{2} I = 0.000675 ม.^{4}

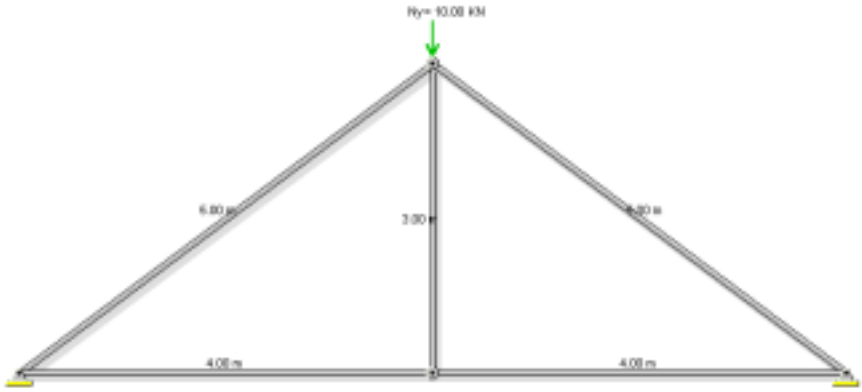
ขั้นตอน

1. คลิกที่ปุ่ม **New** เพื่อเริ่มแผ่นงานใหม่
2. ทำการเพิ่มองค์อาคารโดยคลิกเมาส์ซ้ายที่แผ่นงานค้างไว้
3. แล้วเลื่อนเมาส์ห่างจากจะเริ่มต้นไปทางด้านบนอีก 5 เมตร ปล่อยเมาส์ซ้าย จะมีองค์อาคารถูกเพิ่มมีความยาว 5 เมตรบนแผ่นงาน
4. คลิกเมาส์ซ้ายที่แผ่นงานค้างไว้แล้วเลื่อนเมาส์ห่างจากจุดสุดท้ายที่ปล่อยเมาส์ไปทางด้านขวาอีก 10 เมตร ปล่อยเมาส์ซ้าย จะมีองค์อาคารถูกเพิ่มมีความยาว 10 เมตรบนแผ่นงาน
5. คลิกเมาส์ซ้ายที่แผ่นงานค้างไว้แล้วเลื่อนเมาส์ห่างจากจุดสุดท้ายที่ปล่อยเมาส์ไปทางด้านล่างอีก 5 เมตร ปล่อยเมาส์ซ้าย จะมีองค์อาคารถูกเพิ่มมีความยาว 5 เมตรบนแผ่นงาน
6. เลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ปุ่มลูกศรลงในปุ่ม **Pin Support** จะมีแถบรายการแสดงขึ้น คลิกเมาส์ซ้ายที่แถบ **Fix Support** สังเกตที่ ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป ทำการเลื่อนเมาส์มาที่ที่รองรับ บริเวณด้านล่างซ้ายของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้งที่ที่รองรับ ที่รองรับจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับยึดแน่น
7. เลื่อนเมาส์ไปที่ด้านขวาล่างสุดของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ที่จุดต่อจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับยึดแน่น
8. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Loads** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
9. เลื่อนเมาส์ไปที่คานแล้วคลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ป้อนค่า 10 ลงใน**ช่องข้อความ W1** แล้วคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
10. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
11. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่คาน จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
12. ป้อนค่า 0.0625 ลงในช่อง **Area**
13. ป้อนค่า 0.000326 ลงในช่อง **Moment of Inertia**
14. กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
15. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Select /Unselect All** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
16. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่เสาทั้ง 2 ข้าง เสาที่ถูกเลือกจะเปลี่ยนเป็นสีแดง
17. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
18. กดปุ่ม **Add** เพื่อเพิ่มรายการวัสดุ
19. ป้อนค่า 0.0900 ลงในช่อง **Area**

20. ป้อนค่า 0.000675 ลงในช่อง **Moment of Inertia**
21. กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
22. ขณะนี้ท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนี้ท่านสามารถสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้
    - การแสดงผลแรงปฏิกิริยาเลือกคำสั่ง **Support Reactions** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกนเลือกคำสั่ง **Axial Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงเฉือนเลือกคำสั่ง **Shear Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพโมเมนต์เลือกคำสั่ง **Bending Moment Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพการแอ่นเลือกคำสั่ง **Deformed Shape** จากแถบคำสั่ง

ตัวอย่างแรงปฏิกิริยาที่ได้จากโจทย์ตัวอย่าง

ตัวอย่าง โครงข้อหมุน (Truss)



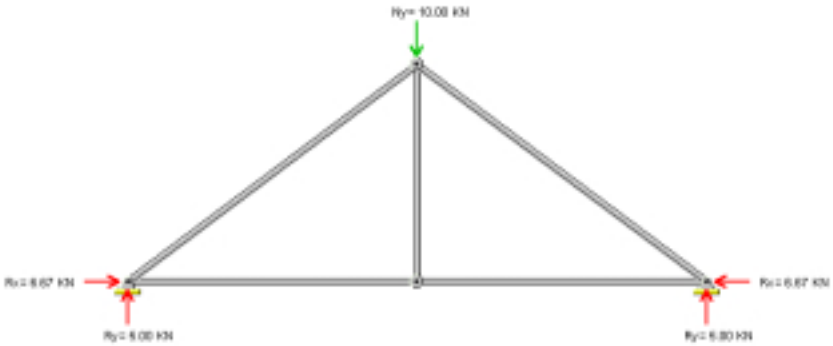
ตัวอย่างเป็นโครงข้อหมุนที่ประกอบโดยใช้เหล็กจำนวน 5 ท่อน แต่ละท่อนมีความยาวดังในรูปตัวอย่าง จุดต่อที่ฐานทั้งสองข้างของโครงสร้างเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน (Pin Support) โดยจุดต่อบนสุดมีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดขนาด 10 kN โดยคุณสมบัติของคานมีค่า E = 200 Gap และเหล็กเป็นเหล็กตันกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm

ขั้นตอน

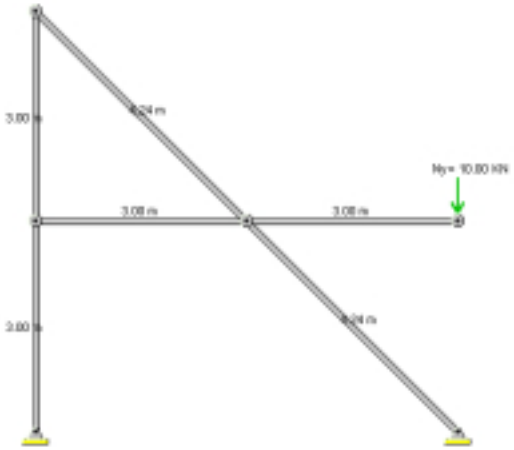
1. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **New** เพื่อเริ่มแผ่นงานใหม่
2. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Add Member Hinge-End**
3. ทำการเพิ่มองค์อาคาร โดยคลิกเมาส์ซ้ายที่แผ่นงานค้างไว้
4. แล้วเลื่อนเมาส์ห่างจากจะเริ่มต้นไปทางด้านซ้ายอีก 4 เมตร ปล่อยเมาส์ซ้าย จะมีองค์อาคารถูกเพิ่ม มีความยาว 5 เมตรบนแผ่นงาน
5. เพิ่มองค์อาคารให้เป็นเหมือนโจทย์ตัวอย่างโดยทำคล้ายกับวิธีการในข้อ 3 และ 4
6. เลื่อนเมาส์ไปคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่มลูกศรลงในปุ่ม **Pin Support** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป ทำการเลื่อนเมาส์มา ณ ที่รองรับ บริเวณด้านล่างซ้ายของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้งที่ที่รองรับ ที่รองรับจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน
7. เลื่อนเมาส์ไปที่ด้านขวาล่างสุดของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ที่จุดต่อจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน
8. คลิกซ้ายที่ปุ่ม **Set Nodal Loads** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป

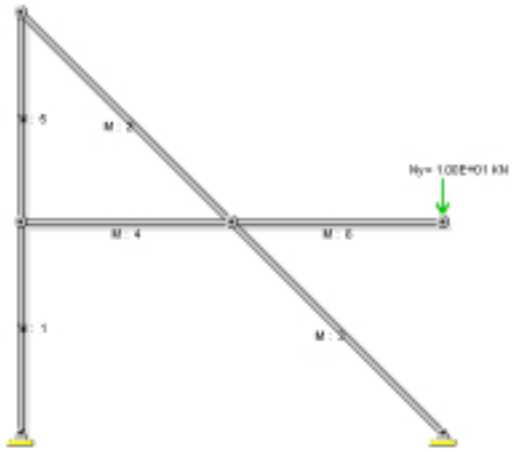
9. เลื่อนเมาส์ไปจุดต่อบนสุด จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ป้อนค่า 10 ลงใน**ช่องข้อความ Nx** แล้วคลิกซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
10. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
11. เลื่อนเมาส์มาคลิกที่คาน จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
12. ป้อนค่า 0.0625 ลงในช่อง **Area**
13. ป้อนค่า 0.000326 ลงในช่อง **Moment of Inertia**
14. กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
15. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Select /Unselect All** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
16. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่เสาทั้ง 2 ข้าง เสาที่ถูกเลือกจะเปลี่ยนเป็นสีแดง
22. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
23. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคาร จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
24. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่แถบ **Shape**
25. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่มที่มีภาพรูปวงกลม
26. ป้อนค่าโดยการพิมพ์ 0.1 ลงใน**ช่องข้อความ d** กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
17. ขณะนี้ท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนี้ท่านสามารถสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้ ขณะนี้ท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนี้ท่านสามารถสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้
    - การแสดงผลแรงปฏิกิริยาเลือกคำสั่ง **Support Reactions** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกนเลือกคำสั่ง **Axial Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงเฉือนเลือกคำสั่ง **Shear Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพโมเมนต์เลือกคำสั่ง **Bending Moment Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพการแอ่นเลือกคำสั่ง **Deformed Shape** จากแถบคำสั่ง

ตัวอย่างแรงปฏิกิริยาที่ได้จากโจทย์ตัวอย่าง



ตัวอย่างโครงข้อแข็งผสมโครงข้อหมุน (Combined Frame -Truss)





ตัวอย่างเป็นโครงข้อหมุนผสมโครงที่ประกอบโดยใช้เหล็กจำนวน 6 ท่อน แต่ละท่อนมีความยาวดังในรูปตัวอย่าง จุดต่อที่ฐานทั้งสองข้างของโครงสร้างเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน (Pin Support) โดยท่อนเหล็กกลางซ้ายสุดมีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดขนาด 10 kN กระทำที่ปลาย โดยคุณสมบัติของคานมีค่า E = 200 GPa และเหล็กเป็นเหล็กตันกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สังเกตภาพด่านล่างประกอบโจทย์ ท่อนเหล็กหมายเลข 2 กับท่อนเหล็กหมายเลข 3 เป็นท่อนเดียวกัน และท่อนหมายเลข 4 กับ 6 เป็นท่อนเดียวกัน โดยทั้งสองพาดผ่านกันด้วยและยึดติดเข้าด้วยกันด้วยจุดต่อแบบหมุน (Hinged Joint)

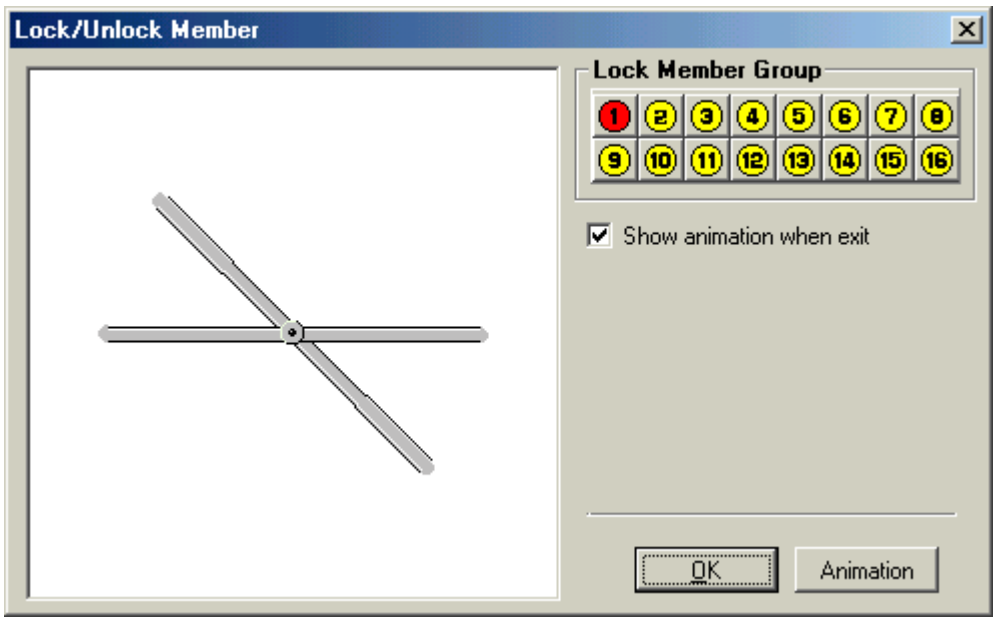
ขั้นตอน

1. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **New** เพื่อเริ่มแผ่นงานใหม่
2. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Add Member Hinge-End**
3. ทำการเพิ่มองค์อาคารโดยคลิกเมาส์ซ้ายที่แผ่นงานค้างไว้
4. แล้วเลื่อนเมาส์ห่างจากจะเริ่มต้นไปทางด้านบนอีก 3 เมตร ปล่อยเมาส์ซ้าย จะมีองค์อาคารถูกเพิ่ม มีความยาว 3 เมตรบนแผ่นงาน
5. เพิ่มองค์อาคารให้เป็นเหมือนโจทย์ตัวอย่างโดยทำคล้ายกับวิธีการในข้อ 3 และ 4
6. เลื่อนเมาส์ไปคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่มลูกศรลงในปุ่ม **Pin Support** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป ทำการเลื่อนเมาส์มา ณ ที่รองรับ บริเวณด้านล่างซ้ายของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ณ ที่รองรับ ที่รองรับจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน
7. เลื่อนเมาส์ไปที่ด้านขวาล่างสุดของโครงสร้าง แล้วคลิกเมาส์ซ้ายหนึ่งครั้ง ที่จุดต่อจะเปลี่ยนเป็นที่รองรับแบบจุดหมุน

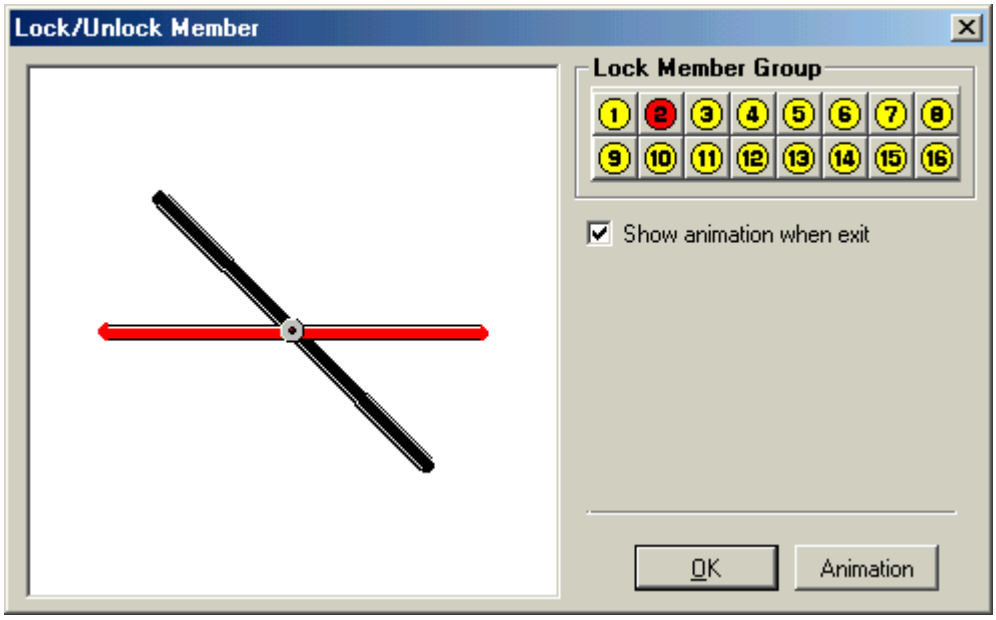
8. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Set Nodal Loads** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
9. เลื่อนเมาส์ไปจุดต่อบนสุด จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา ป้อนค่า 10 ลงใน**ช่องข้อความ Nx** แล้วคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
10. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
11. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่คาน จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
12. ป้อนค่า 0.0625 ลงในช่อง **Area**
13. ป้อนค่า 0.000326 ลงในช่อง **Moment of Inertia**
14. กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
15. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Select /Unselect All** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
16. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่เสาทั้ง 2 ข้าง เสาที่ถูกเลือกจะเปลี่ยนเป็นสีแดง

27. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Member Properties** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
28. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคาร จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา
29. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่แถบ **Shape**
30. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่มที่มีภาพรูปวงกลม
31. ป้อนค่าโดยการพิมพ์ 0.1 ลงใน**ช่องข้อความ d** กด **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง

17. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **Lock / Unlock Member** ไอคอนเมาส์จะเปลี่ยนไป
18. เลื่อนเมาส์ไปจุดที่ ท่อนเหล็กหมายเลข 2 กับท่อนเหล็กหมายเลข 3 เป็นท่อนเดียวกัน และท่อนหมายเลข 4 กับ 6 เป็นท่อนเดียวกัน โดยทั้งสองพาดผ่านกันด้วยและยึดติดเข้าด้วยกันด้วยจุดต่อแบบหมุน แล้วคลิกเมาส์ซ้าย จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาดังรูป

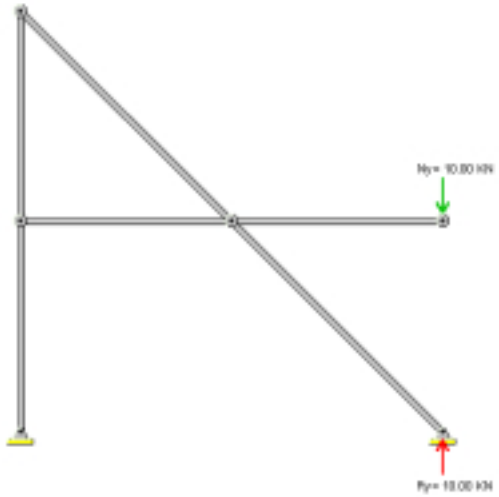


19. คลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคารหมายเลข 2 และองอาคารหมายเลข 3 ซึ่งสีขององค์อาคารทั้ง 2 จะเปลี่ยนเป็นสีดำ
20. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่มหมายเลข 2 บนกรอบ **Lock Member Group**
21. คลิกเมาส์ซ้ายที่องค์อาคารหมายเลข 4 และองอาคารหมายเลข 6 ซึ่งสีขององค์อาคารทั้ง 2 จะเปลี่ยนเป็นสีแดงดังรูป



22. คลิกเมาส์ซ้ายที่ปุ่ม **OK** หน้าต่างจะถูกปิดลง
23. ขณะนี้ท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนี้ท่านสามารถสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้ ขณะนี้ท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หลังจากนี้ท่านสามารถสั่งให้แสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้
    - การแสดงผลแรงปฏิกิริยาเลือกคำสั่ง **Support Reactions** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงตามแนวแกนเลือกคำสั่ง **Axial Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพแรงเฉือนเลือกคำสั่ง **Shear Force Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพโมเมนต์เลือกคำสั่ง **Bending Moment Diagram** จากแถบคำสั่ง
    - การแสดงแผนภาพการแอ่นเลือกคำสั่ง **Deformed Shape** จากแถบคำสั่ง

ตัวอย่างแรงปฏิกิริยาที่ได้จากโจทย์ตัวอย่าง



ตัวอย่าง การสั่งให้แสดงผลลัพธ์ระหว่างกลาง และแสดงค่าสูงสุดในตาราง

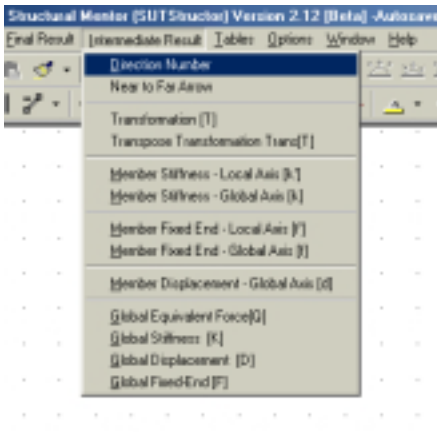
(Maximum Value)

ตัวอย่างเป็นโครงที่ประกอบด้วยเสา 2 ต้นความยาว 5 เมตร และคาน 1 ตัวความยาว 10 เมตร จุดต่อที่ฐานทั้งสองข้างของโครงสร้างเป็นที่รองรับยึดแน่น (Fixed Support) โดยในคานมีน้ำหนักบรรทุก

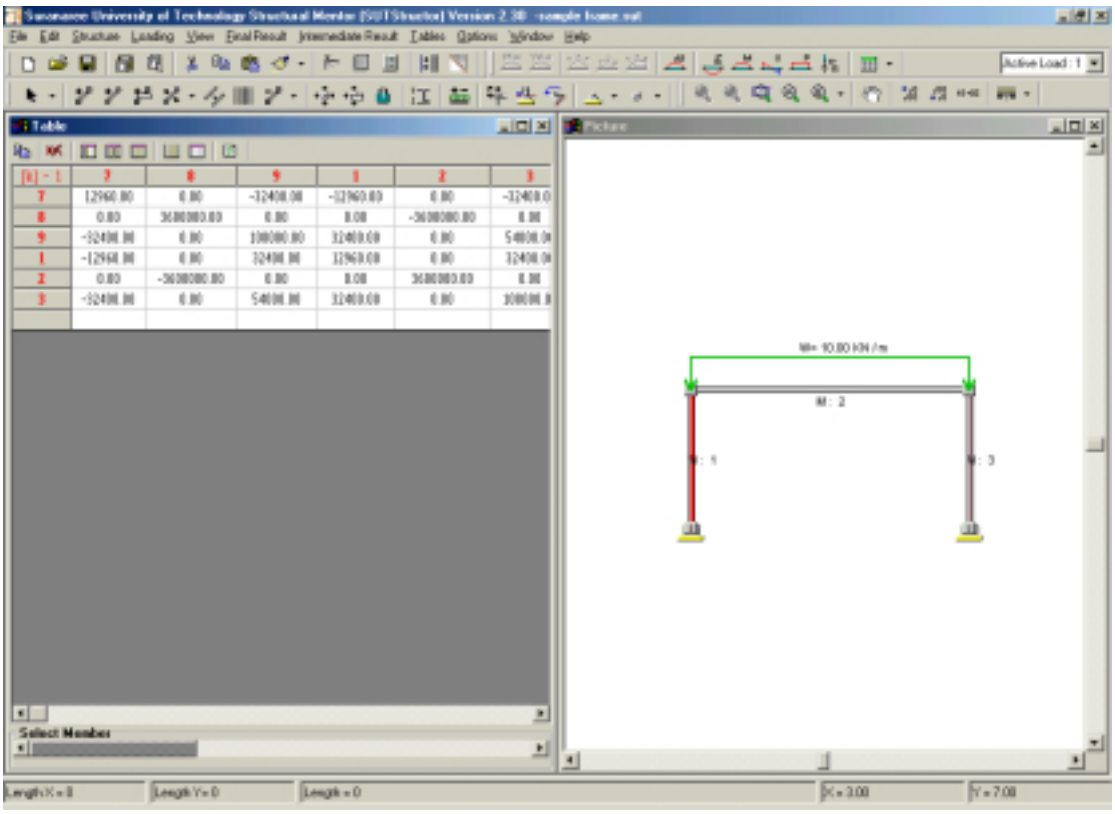
ชนิดแผ่กระจายคงที่กระทำกับองค์อาคารมีขนาด 10 kN/m โดยคุณสมบัติของคานมีค่า $E = 200$ GPa และคานมีพื้นที่หน้าตัด 0.0625 ม.^{2} $I = 0.000326$ ม.^{4} เสามีพื้นที่หน้าตัด 0.0900 ม.^{2} $I = 0.000675$ ม.^{4} (จากโจทย์ตัวอย่างโครง)

ขั้นตอน

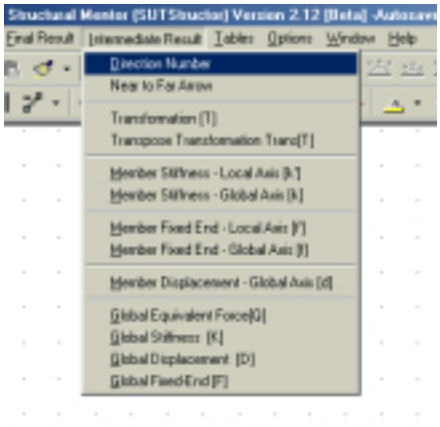
1. ต่อจากโจทย์ตัวอย่างโครง หลังจากท่านได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เมื่อท่านต้องการสั่งให้แสดง เมตริกสติฟเนสของแต่ละองค์อาคาร เช่น ต้องการดูสติฟเนสขององค์อาคารหมายเลข 1 ให้ท่านเลื่อนเมาส์ไปคลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Select/Unselect All** ไอคอนของเมาส์จะเปลี่ยนไป เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารหมายเลข 1 และคลิกเมาส์ซ้าย 1 ครั้ง ขณะนี้องค์อาคารหมายเลข 1 จะถูกเลือกเรียบร้อยแล้ว
2. คลิกเมาส์ซ้ายที่รายการคำสั่ง **Intermediate Results** จะมีรายการแสดงขึ้นมาดังรูป



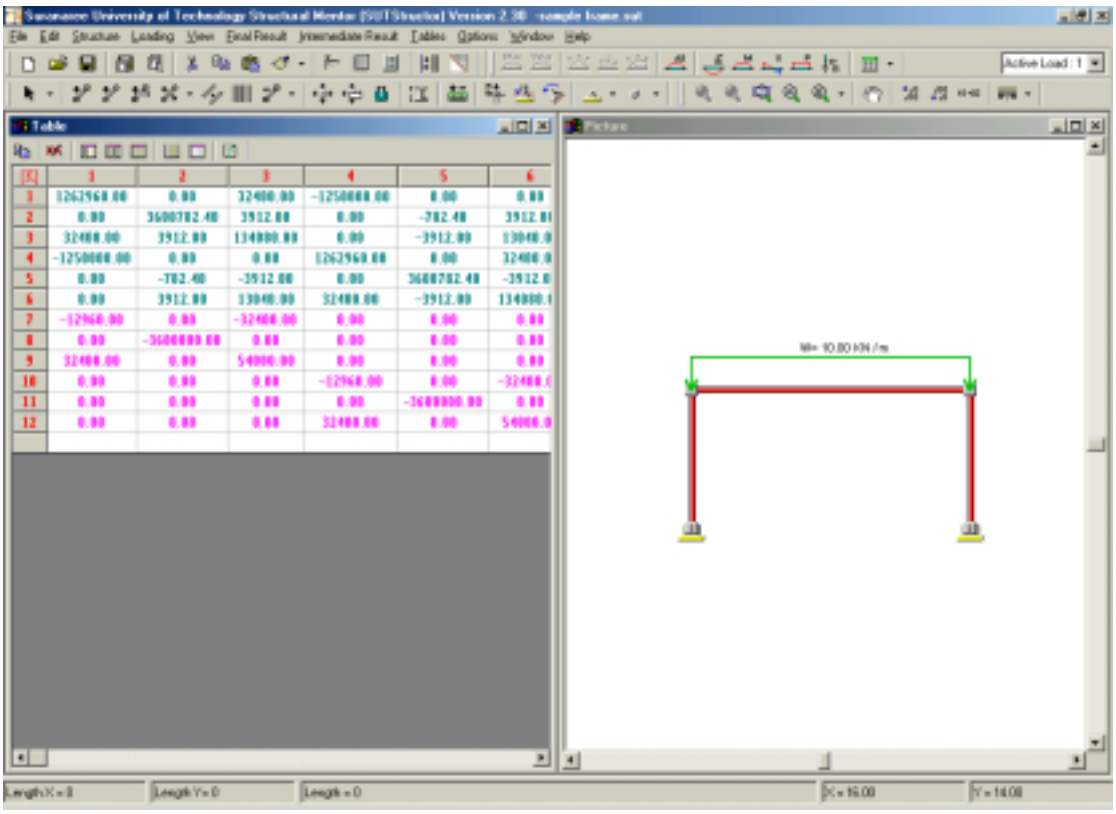
3. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Member Stiffness Global Axis [k]** โปรแกรม SUTStructor จะแสดงเมตริกสติฟเนสขององค์อาคารหมายเลข 1 ที่อ้างอิงตามแกนรวม ดังรูป



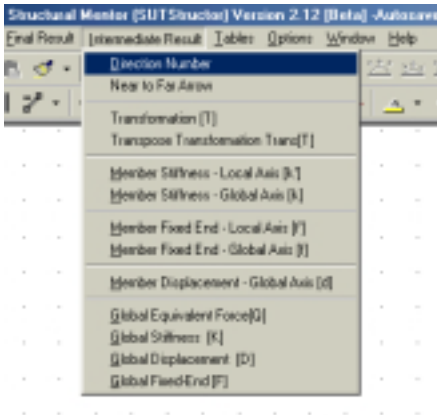
4. เมื่อท่านต้องการสั่งให้แสดง เมตริกสติฟเนสรวมของโครงสร้าง คลิกที่รายการคำสั่ง **Intermediate Results** จะมีรายการแสดงขึ้นมาดังรูป



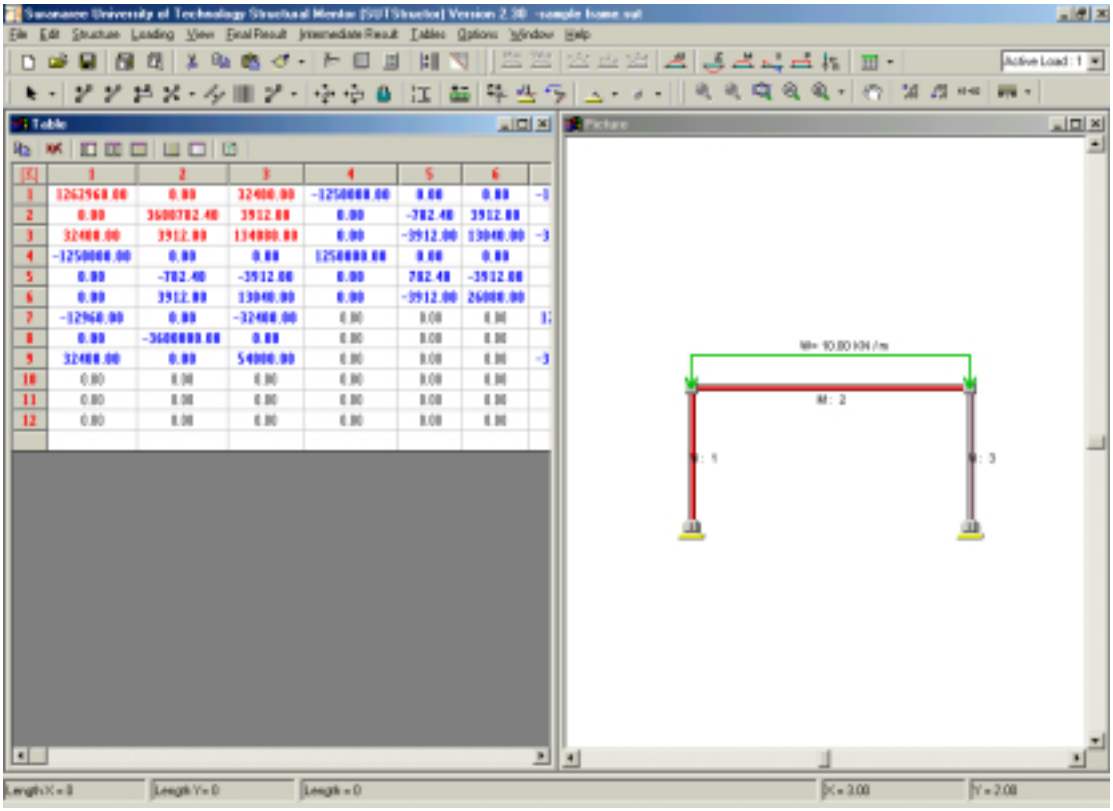
5. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Global Stiffness** โปรแกรม SUTStructor จะแสดงเมตริกสติฟเนสรวม (Global stiffness) ดังรูป



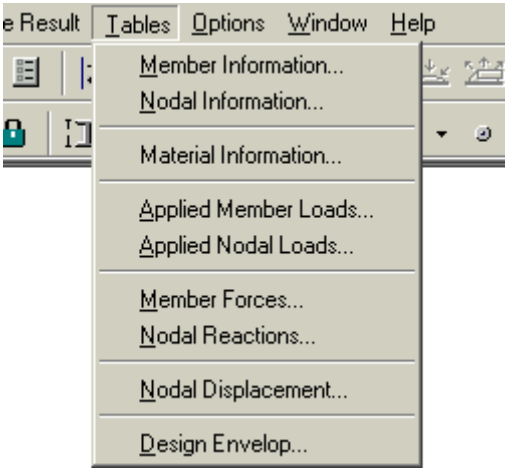
6. เมื่อท่านต้องการสั่งให้แสดง เมตริกสติฟเนสรวมของโครงสร้างเฉพาะองค์อาคารหมายเลข 1 และ หมายเลข 2 ให้ท่านเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่คำสั่ง **Select/Unselect All** ไอคอนของเมาส์จะเปลี่ยนไป เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารหมายเลข 1 และคลิกเมาส์ซ้าย 1 ครั้ง เลื่อนเมาส์ไปที่ องค์อาคารหมายเลข 2 และคลิกเมาส์ซ้าย 1 ครั้ง ขณะนี้องค์อาคารหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จะถูกเลือกเรียบร้อยแล้ว
7. คลิกที่รายการคำสั่ง **Intermediate Results** จะมีรายการแสดงขึ้นมาดังรูป



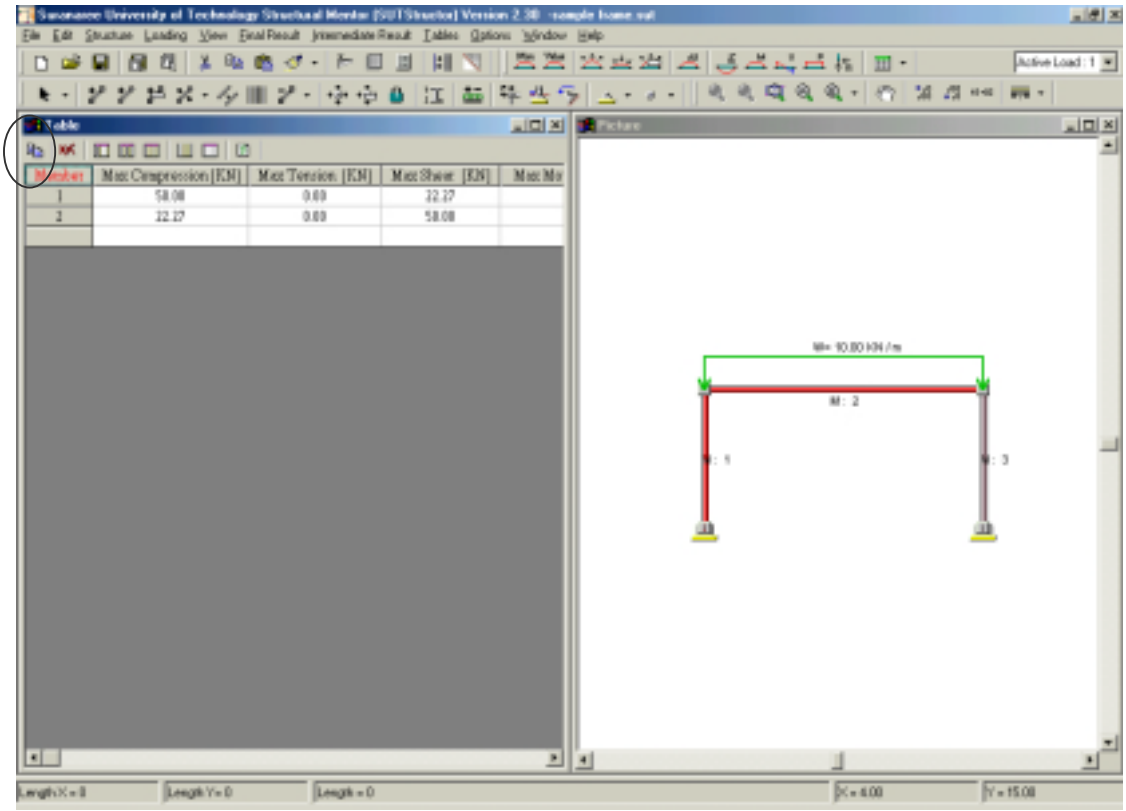
8. เลื่อนเมาส์มาคลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Global Stiffness** โปรแกรม SUTStructor จะแสดงเมตริกสติฟ เนสรวม (Global stiffness) เฉพาะองค์อาคารหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ดังรูป โดยบริเวณสีแดงที่ปรากฏในเมตริกคือส่วนที่ที่การส่งถ่ายแรงระหว่างองค์อาคารหมายเลข 1 และองค์อาคารหมายเลข 2



9. ท่านสามารถใช้วิธีเดียวกันนี้กับการสั่งให้ SUTStructor แสดงเมตริกการแอ่นตัว (Displacement matrix) เมตริกปลายยึดแน่น (Fixed-end matrix) และ เมตริกแรงเทียบเท่า (Equivalent force matrix)
10. เมื่อท่านต้องนำค่าที่ได้จาก SUTStructor ไปออกแบบ ท่านสามารถสั่งให้ SUTStructor แสดงค่าสูงสุดของแรงในรูปแบบของตารางได้โดย ให้ท่านเลื่อนเมาส์ไปคลิกเมาส์ซ้ายที่คำสั่ง **Select/Unselect All** ไอคอนของเมาส์จะเปลี่ยนไป เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารแสดงค่าสูงสุดของแรง เช่นต้องการให้แสดงค่าเฉพาะองค์อาคารหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ให้เลื่อนเมาส์ไปที่องค์อาคารหมายเลข 1 และคลิกเมาส์ซ้าย 1 ครั้ง เลื่อนเมาส์ไปที่ องค์อาคารหมายเลข 2 และคลิกเมาส์ซ้าย 1 ครั้ง ขณะนี้องค์อาคารหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จะถูกเลือกเรียบร้อยแล้ว
11. คลิกที่รายการคำสั่ง **Tables** จะมีรายการแสดงขึ้นมาดังรูป



12. เลื่อนเมาส์มาคลิกที่คำสั่ง **Design Envelope…** โปรแกรม SUTStructor จะแสดงค่าสูงสุดเฉพาะองค์อาคารหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ดังรูป



ท่านสามารถคลิกที่ปุ่ม **Copy** (ปุ่มในรูปวงกลม) เพื่อคัดลอกข้อมูลในตาราง และนำไปวางลงใน MS Excel ด้วยคำสั่ง **Paste** และสามารถคัดลอกภาพในหน้าจอได้ด้วยคำสั่ง **Copy To ClipBoard** ในรายการคำสั่ง **Edit** และนำไปวางใน MS Word ได้ด้วยคำสั่ง **Paste**

ตัวอย่างรูปแบบรายงาน

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology

ภาพโครงสร้าง

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology

ข้อมูลองค์อาคาร

Members	Angle [Degree]	Long [m]	Area [m^2]	Elastic [KN/m^2]	Inertia [m^4]
1	9.00E+01	5.00E+00	9.00E-02	2.00E+08	6.75E-04
2	0.00E+00	1.00E+01	6.25E-02	2.00E+08	3.26E-04
3	9.00E+01	5.00E+00	9.00E-02	2.00E+08	6.75E-04

Members	Node i	Node j	Member Properties Number	Member Load Number
1	1	2	2	-
2	2	3	1	1
3	4	3	2	-

ข้อมูลจุดต่อ

Node	Coordinate [m]	Type	Angle support [Degree]
1	(5 , 6)	Fix	360
2	(5 , 11)	Rigid	0
3	(15 , 11)	Rigid	0
4	(15 , 6)	Fix	360

ข้อมูลแรงที่กระทำกับโครงสร้าง

Load ID	Name	Member	Type Ld	Direction Ld	Direction Axis	W1	X1	W2	X2
1	Load Number 1	2	Uniform	Down	Local	10	0	10	0

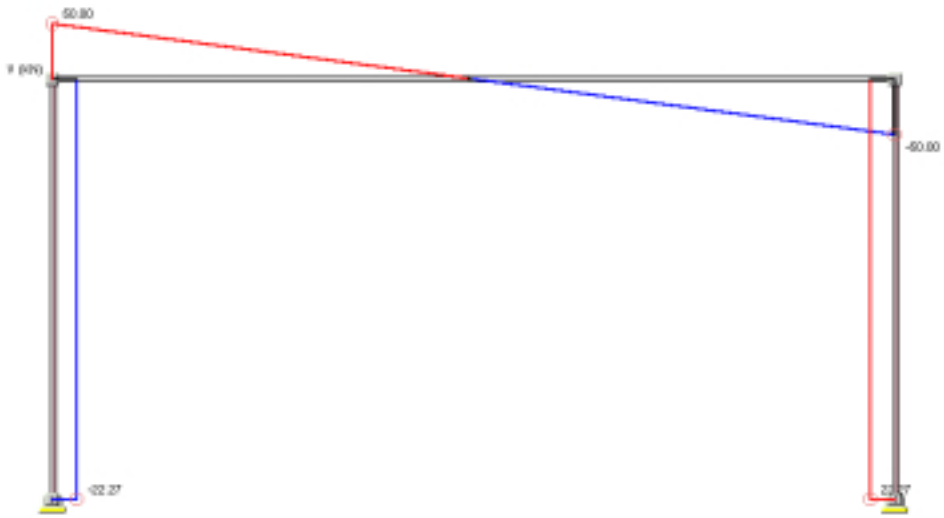
ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology

แรงปฏิกิริยา

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology

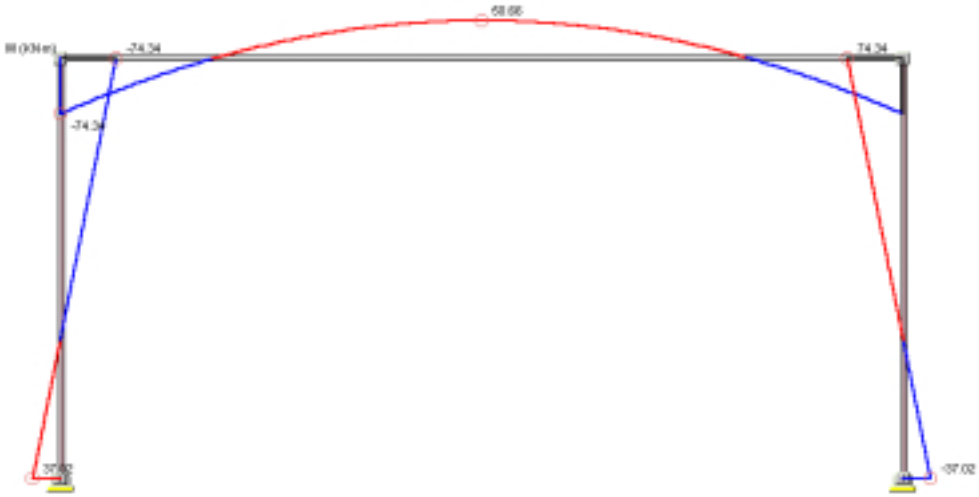
แผนภาพแรงตามแนวแกน

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology



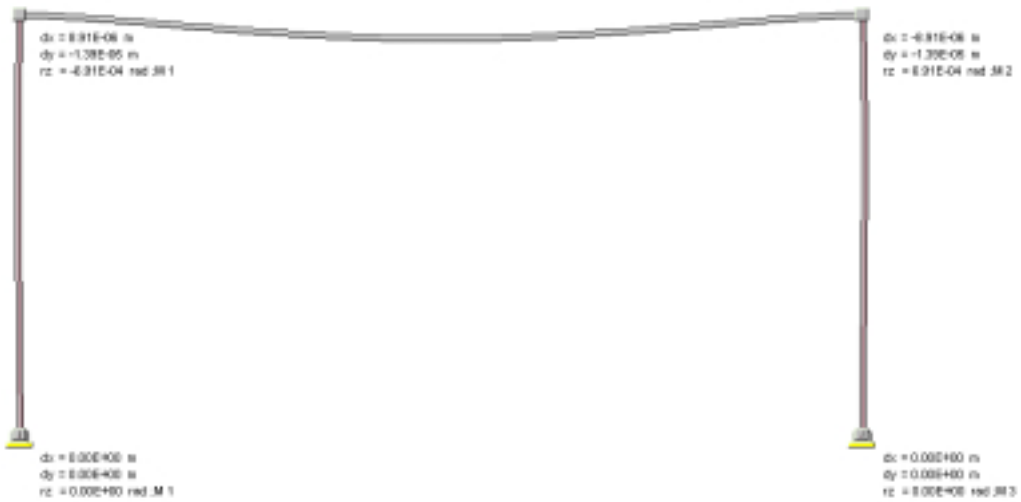
แผนภาพแรงเฉือน

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology



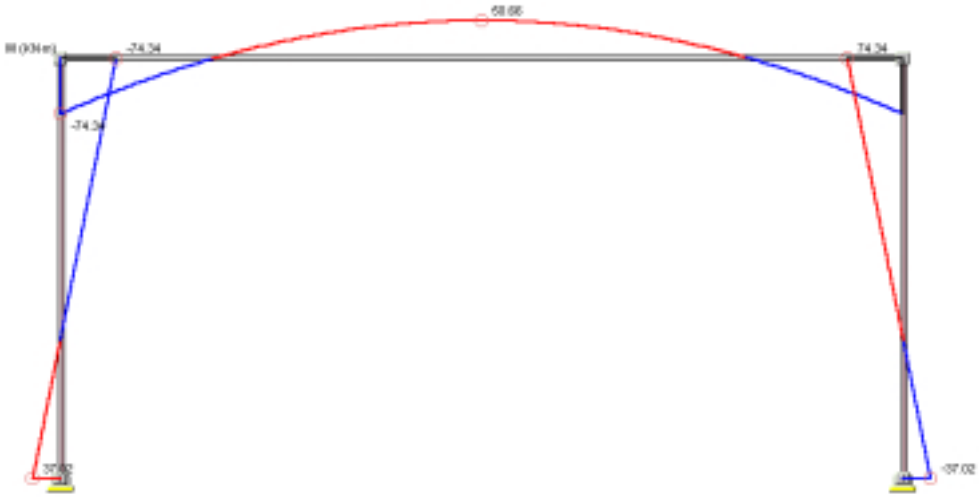
แผนภาพแรงดัด

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology



แผนภาพการแอ่นตัว (ขยาย 50 เท่า)

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology



ภาพแรงดัด

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology

ข้อมูลแรงที่ปลายองค์อาคาร

Member	Fx.i [KN]	Fy.i [KN]	Mz.i [KN•m]	Fx.j [KN]	Fy.j [KN]	Mz.j [KN•m]
1	5.00E+01	-2.23E+01	-3.70E+01	-5.00E+01	2.23E+01	-7.43E+01
2	2.23E+01	5.00E+01	7.43E+01	-2.23E+01	5.00E+01	-7.43E+01
3	5.00E+01	2.23E+01	3.70E+01	-5.00E+01	-2.23E+01	7.43E+01

ข้อมูลการแอ่นตัวที่จุดต่อ

Node	Dx [m]	Dy [m]	Dz [rad]
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	8.91E-06	-1.39E-05	-6.91E-04
3	-8.91E-06	-1.39E-05	6.91E-04
4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

ข้อมูลแรงปฏิกิริยา

Node	Rx [KN]	Ry [KN]	Mz [KN•m]
1	2.23E+01	5.00E+01	-3.70E+01
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4	-2.23E+01	5.00E+01	3.70E+01

ชื่อโครงงาน ตัวอย่างรายงาน **ผู้จัดทำรายงาน** Suranaree University of Technology

ข้อมูลสำหรับออกแบบ

Member	Max Compression [KN]	Max Tension [KN]	Max Shear [KN]
1	5.00E+01	0.00E+00	2.23E+01
3	5.00E+01	0.00E+00	2.23E+01
2	2.23E+01	0.00E+00	5.00E+01

Member	Max Moment [+] [KN•m]	Max Moment [-] [KN•m]	Max Abs(Deflection) [m]
1	3.70E+01	7.43E+01	5.05E-04 m
3	7.43E+01	3.70E+01	5.05E-04 m
2	5.07E+01	7.43E+01	5.74E-03 m