



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ TFAP-3D โดยการใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก

Development of TFAP-3D by Using Computer Graphic

นามผู้วิจัย นายศศกร สิริโยธิน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมโพธิ วิวิธเกียรติกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุวิมล สัจจานิชย์, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สันติ ชินานูวัตินวงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ TFAP-3D โดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก

Development of TFAP-3D by Using Computer Graphic

โดย

นายศศกร สิริโยธิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2552

ศศกร สิริโยธิน 2552: การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ TFAP-3D โดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์สมโพธิ วิวิธเกศววงศ์, Ph.D. 59 หน้า

โปรแกรม TFAP-3D เป็นการพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม TFAP-3 เดิม เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็งทั้ง สองมิติ และ สามมิติ รับน้ำหนักกระทำในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักกระทำแบบเป็นจุด น้ำหนักกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอ น้ำหนักกระทำแผ่กระจายแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ การทรุดตัวของจตุรรองรับ ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยที่โปรแกรม TFAP-3 เดิมมีปัญหาต่อการใช้งานเนื่องจากการป้อนข้อมูล และการแสดงผลของรายการคำนวณจะเก็บอยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ (text file) ซึ่งสามารถดูได้โดยการแสดงผลทางเครื่องพิมพ์เท่านั้น และไม่สามารถแสดงรูปร่างของโครงสร้างออกทางจอภาพเพื่อตรวจสอบความถูกต้องได้ ทำให้ยากต่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและการแก้ไขข้อมูล

การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3 เดิม ซึ่งใช้ภาษา บอร์แลนด์ ปาสคาล เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3D ซึ่งใช้ภาษาบอร์แลนด์ เดลไฟเวอร์ชัน 7 (borland delphi version 7) ทำให้ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้งานโดยสามารถป้อนข้อมูลและแสดงผลทางตารางและกราฟิก จากการพัฒนาหน้าต่างการป้อนข้อมูลแบบปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (user interface) บนคอมพิวเตอร์ในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (windows) ซึ่งสามารถแสดงผลและสามารถเปลี่ยนแปลงปรับเปลี่ยนมุมมองของโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์ในแบบ สองมิติ และ สามมิติได้สะดวก ทำให้ป้อนข้อมูลอย่างรวดเร็ว และง่ายต่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ป้อนเข้าไป โดยมีคำสั่งให้ทำสำเนาสำหรับโครงสร้างส่วนที่ซ้ำๆกัน คำสั่งให้ขยายสำหรับโครงสร้าง ที่มีความสมมาตรกัน และคำสั่งให้แยกชิ้นส่วนเพื่อแบ่งชิ้นส่วนโครงสร้างออกเป็นหลายๆ เป็นต้น

Sasakorn Siriyothin 2009: Development of TFAP-3D by Using Computer Graphic.
Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department
of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Sompothi
Vivithkeyoonvong, Ph.D. 59 pages.

TFAP-3D Program has been developed from the old version of TFAP-3, which is able to analyze the two and three dimensional truss and frame structures. Several load types can be applied to structures such as point load, uniform load, linear varying load, support settlement and temperature stress, etc. The original TFAP-3 had some problems of input data and the results were shown only in text file. All data could be shown by print out copy which either not only difficult to check the input data on the monitor, but also difficult to edit.

The TFAP-3 which developed by using Borland Pascal Language to be the ready to use “TFAP-3D”, was further developed using, Borland Delphi Version 7 to make this program easy to input data and to show the results in both table and graphical modes. Due to the ease of input data by graphic user interface on Windows system, it is able to show the results and to change the view of the structures which required in analysis of the two and three dimensional structures conveniently. This program is quick to input and to check data by commands, such as the command to copy the same structures, to enlarge the symmetric structures, and to separate and divide the structural elements, etc.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์
สมโพธิ์ วิวิธเกียรรวงศ์, Ph.D. อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของ
การวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สุวิมล สัจจาณิษฐ์, Ph.D. และ รองศาสตราจารย์
สันติ ชินานุวัตินวงศ์, Ph.D. ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่
เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณคุณคุณปริดา วงศ์วัชรรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจในการ
พัฒนาโปรแกรมบอร์แลนค์เซลล์ไฟล์และให้คำแนะนำจนสามารถพัฒนาโปรแกรมจนสำเร็จลุล่วง
เป็นอย่างดีและคุณบรรพกร กรวณิชย์ที่คอยให้กำลังใจในการทำงานตลอดระยะเวลาที่ทำ
วิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ.อ.เพ็ชรา และ คุณแม่ชมเพลิน สิริโยธิน ที่เป็นกำลังใจ
ให้แก่วิชาชีพเจ้าเสมอมา

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ศศกร สิริโยธิน

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	5
อุปกรณ์	5
วิธีการ	5
ผลและวิจารณ์	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	37
สรุป	37
ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	39
ภาคผนวก	40
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	59

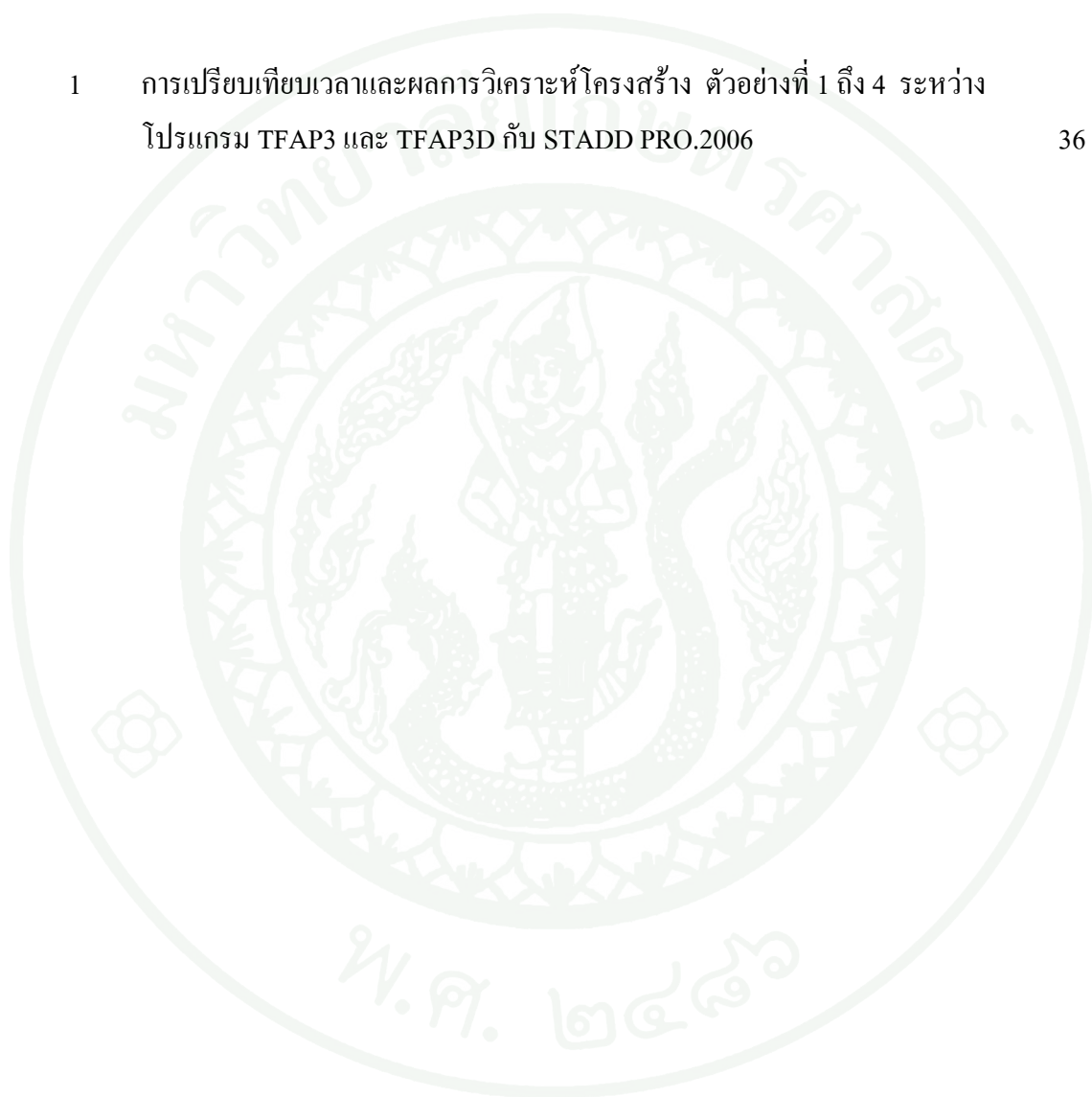
สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

- 1 การเปรียบเทียบเวลาและผลการวิเคราะห์โครงสร้าง ตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 ระหว่างโปรแกรม TFAP3 และ TFAP3D กับ STADD PRO.2006

36



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผังงานระบบของโปรแกรม TFAP-3D	11
2	ชนิดของการเก็บข้อมูลส่วนหัวเรื่อง	13
3	ชนิดของการเก็บข้อมูลส่วนหน่วยวัดที่ใช้งาน	14
4	ค่าการเก็บพิกัดของชิ้นส่วนและค่าระบุตำแหน่งของชิ้นส่วน	14
5	การเก็บค่าชนิดของฐานรองรับ	15
6	การเก็บค่าคุณสมบัติของชิ้นส่วน	15
7	การเก็บค่าของน้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำต่อชิ้นส่วน	16
8	การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงข้อหมุนสองมิติ	19
9	การใส่ค่าการรวมน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 1 ในโครงสร้าง	20
10	ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก	20
11	แรงที่กระทำในแนวแกนพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	21
12	ระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	21
13	การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติ	22
14	การใส่ค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง	23
15	ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก	23
16	แรงที่กระทำในแนวแกนพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	24
17	ภาพระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	24
18	หน้าการใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งสองมิติ	25
19	การใส่ค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง	26
20	ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก	26
21	กราฟิกแรงเฉือนในโครงสร้างพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	27
22	กราฟิกโมเมนต์ดัดในโครงสร้างพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	27
23	แรงที่กระทำในแนวแกนพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	28
24	ภาพระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	หน้าการใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งสามมิติ	30
26	การใส่ค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกทุกในโครงสร้าง	30
27	ภาพระยการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	31
28	ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก	31
29	กราฟิกแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ	32
ภาพผนวกที่		
1	ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม	41
2	แสดงคำสั่งย่อยสำหรับการเพิ่มข้อมูล	42
3	การกำหนดชื่อโครงการและผู้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างรวมถึงการกำหนดค่าของหน่วยแรงและหน่วยความยาว	42
4	แสดงการเลือกชนิดโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์	43
5	แสดงการป้อนค่าพิกัดจุดต่อและจำนวนชิ้นส่วน	44
6	แสดงการกำหนดชนิดของชิ้นส่วนโครงสร้าง	45
7	แสดงตารางการกำหนดค่าคุณสมบัติของชิ้นส่วนโครงสร้าง	45
8	แสดงการกำหนดตำแหน่งของฐานรองรับแต่ละชนิดและคำสั่ง Element Release	46
9	แสดงการเลือกชนิดของฐานรองรับแบบต่างๆ	46
10	แสดงการป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุกทุกและข้อมูลการรวมน้ำหนักบรรทุก	47
11	น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบจุดกระทำบนจุดต่อ (joint load)	48
12	น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบจุดกระทำบนชิ้นส่วน (point load)	48
13	น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniform load)	49
14	น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load)	49
15	น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement load)	50
16	น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (temperature load)	50

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
17	แสดงการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกแบบต่างๆ	51
18	แสดงตัวอย่างการใส่น้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆบนโครงสร้างข้อหมุนสามมิติ	51
19	แสดงผลลัพธ์ในรูปตารางบนหน้าจอ	52
20	แสดงตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ผ่านทางเครื่องพิมพ์	53
21	แสดงตัวอย่างการแสดงผลโครงข้อแข็งสามมิติโมเมนต์ดัดรอบแกน Z ของชิ้นส่วน	54
22	แสดงคำสั่งที่ใช้ในการแบ่งชิ้นส่วนให้เป็นหลายๆส่วน (cut member)	55
23	แสดงคำสั่งในการทำซ้ำชิ้นส่วนต่างๆ	56
24	แสดงคำสั่งในการทำซ้ำจุดต่อต่างๆ	56
25	แสดงคำสั่งการสร้างโครงสร้างสะท้อนในทุกระนาบ	56
26	แสดงคำสั่งแสดงกราฟิกชิ้นส่วนเฉพาะที่ต้องการแสดงผลบนหน้าจอ	57
27	ชนิดของ Geometrical Data และ Result Data ของกราฟิกที่สามารถแสดงได้บนโครงสร้าง	57
28	แสดงกราฟิกของการเลือก Geometrical Data แบบต่างๆ	58
29	แสดงการกำหนดสเกลของกราฟิกของแรงที่กระทำภายนอกและของแรงภายในชิ้นส่วน	58

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ TFAP-3D โดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก

Development of TFAP-3D by Using Computer Graphic

คำนำ

การสร้างซอฟต์แวร์ที่ดีเป็นงานที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของการประยุกต์คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรมที่เป็นตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ถ้าหากซอฟต์แวร์มีข้อบกพร่องหรือมีข้อจำกัดมากคอมพิวเตอร์ก็ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อผิดพลาดด้วยซ้ำ ฉะนั้นซอฟต์แวร์ที่ดีจึงจำเป็นต้องใช้ระบบที่เข้าใจได้ง่าย และสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้สะดวก

โปรแกรมการออกแบบที่สามารถใช้งานได้ง่ายและมีการตรวจสอบการป้อนข้อมูล (input) และการแสดงผล (output) ว่ามีความถูกต้องเพียงไรมีความสำคัญอย่างยิ่งดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมโดยการนำรูปแบบการป้อนข้อมูลและแสดงผลทางกราฟิก ผู้พัฒนาโปรแกรมจำเป็นต้องมีความรู้ทั้งทางด้านโครงสร้างของภาษาที่ใช้พัฒนา ระบบโครงสร้างข้อมูล ระบบโครงสร้างการแสดงผล กราฟิก วิธีการและกระบวนการในการวิเคราะห์โครงสร้าง ในแต่ละขั้นตอนเป็นอย่างดี เพื่อพัฒนาโปรแกรมให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โปรแกรม TFAP-3D ที่พัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็งทั้ง สองมิติ และ สามมิติ รับน้ำหนักในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักกระทำแบบเป็นจุด น้ำหนักกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอ น้ำหนักกระทำแผ่กระจายแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ การทรุดตัวของจตุรรองรับ ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โปรแกรม TFAP-3D ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนจุดต่อ จำนวนชิ้นส่วน และจำนวนน้ำหนักที่กระทำ ใช้งานโดยการป้อนข้อมูลทางกราฟิกและแสดงผลทางกราฟิก พร้อมทั้งสามารถเปลี่ยนมุมมองของโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์ในแบบ สองมิติ และสามมิติเพื่อความสะดวกในการป้อนข้อมูลที่เป็นโครงสร้างสามมิติ ทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ป้อนเข้าไป นอกจากนี้แล้วยังสามารถป้อนข้อมูลอย่างรวดเร็ว โดยมี คำสั่งให้ทำสำเนาสำหรับโครงสร้างส่วนที่ซ้ำๆกัน คำสั่งให้ขยายสำหรับโครงสร้าง ที่มีความสมมาตรกัน และคำสั่งให้แยกชิ้นส่วนเพื่อแบ่งชิ้นส่วนโครงสร้างออกเป็นส่วนๆ เป็นต้น

วัตถุประสงค์

การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3 เดิม ซึ่งใช้ภาษา บอร์แลนด์ ปาสคาล และแสดงผล ออกทางเครื่องพิมพ์ได้เพียงอย่างเดียว เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3D โดย ใช้ภาษาบอร์แลนด์ เดลไฟเวอร์ชัน 7 (borland delphi version 7) และสามารถป้อนข้อมูลและแสดงผลการวิเคราะห์ โครงสร้าง สองมิติ และสามมิติในลักษณะกราฟิกได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (windows)

ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3 เดิมที่มีข้อจำกัดในการป้อนข้อมูลโดยเท็กซ์ไฟล์ (text file) ที่แสดงผลเฉพาะทางเครื่องพิมพ์มาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3D ซึ่งมีขีด ความสามารถมากขึ้นและใช้งานง่ายขึ้น โดยเป็นการวิจัยต่อเนื่องจากโปรแกรมเดิมซึ่งมีขอบเขตดังนี้

1. พัฒนาระบบการป้อนข้อมูลทางเท็กซ์ไฟล์และทางกราฟิก (graphic) สำหรับโครงข้อ หมุน (truss) และ โครงข้อแข็ง (frame) สองและสามมิติให้สะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
2. พัฒนาระบบการแสดงผลการป้อนข้อมูลทางกราฟิกให้สามารถแสดงภาพโครงสร้าง ก่อนทำการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปได้
3. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถแสดงภาพโครงสร้างหลังจากทำการวิเคราะห์แล้วและ สามารถแสดงไดอะแกรมของการเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement), แรงตามแนวแกน (axial force), แรงเฉือน (shear force), โมเมนต์คด (bending moment) และ โมเมนต์บิด (torque)
4. พัฒนาคำสั่งของโปรแกรมเพิ่มเติมอันเกี่ยวกับการสร้างรูปร่างของโครงสร้างเพื่อให้ สะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้นซึ่งประกอบไปด้วย คำสั่งทำสำเนาจุดพิกัด คำสั่งทำสำเนาชิ้นส่วน คำสั่งในการแบ่งชิ้นส่วนเป็นชิ้นๆ คำสั่งในการสร้างรูปสะท้อน

การตรวจเอกสาร

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลายโปรแกรม แต่ละโปรแกรมมีความสามารถ จุดมุ่งหมาย วิธีการวิเคราะห์ และหลักเกณฑ์การออกแบบแตกต่างกันออกไปซึ่งจะกล่าวโดยสังเขป สำหรับโปรแกรมที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกับโปรแกรมที่จะทำการวิจัยดังเช่น Worasak *et al.* (1987-1988) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป MICROFEAP II และคู่มือการใช้โปรแกรม ประกอบด้วย P1-Module (Release 3.1 ในปี 1988) สำหรับวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ ประเภทโครงข้อหมุน โครงข้อแข็ง ผนัง และ P2-Module (release 1.0 ในปี 1987) สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างสองมิติ ประเภทกริด (grid)

Research Engineer, Inc (2003) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป STAAD.Pro 2003 สำหรับวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสถิต โครงสร้างจลน์สองมิติ และสามมิติ ประเภทโครงข้อหมุน โครงข้อแข็ง โครงสร้างประกอบ โดยมีวัสดุเป็นไม้ คอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตอัดแรง และเหล็กgrupพรรณ

Computer & Structures, Inc (1999) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป SAP2000 Nonlinear สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างหลายประเภท เช่น โครงข้อแข็ง โครงข้อหมุน โครงสร้างประกอบ โครงสร้างสะพาน โครงสร้างแบบไดนามิก และวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นและเปลือกบาง (plate & shell) โดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ (finite element) เป็นต้น

อลงกรณ์ (2543) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป SUTStructor และคู่มือการใช้โปรแกรม สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างสถิตสองมิติ ทั้งโครงข้อแข็ง โครงข้อหมุน และ โครงสร้างประกอบ

สืบสกุล (2536-2539) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3 สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างสถิตสองมิติ และสามมิติ ประเภทโครงข้อหมุน และโครงข้อแข็ง โดยการป้อนข้อมูลแบบเท็กซ์ไฟล์ (text file) และสามารถแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งมีความสามารถในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยลักษณะของน้ำหนักที่กระทำจะเป็นแบบน้ำหนักกระทำแบบเป็นจุด (concentrated load) น้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniformly distributed load) น้ำหนักกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linearly varying load) น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement load) และ น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง

(temperature load) โดยมีคุณสมบัติของชิ้นส่วน (section property) ไม่เกินห้าชนิด และกรณีของ น้ำหนักไม่เกินสิบกรณี โดยข้อจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป TFAP-3 เดิมนั้นเกี่ยวกับเรื่องของการ ป้อนข้อมูลซึ่งตรวจสอบได้ยาก เนื่องจากการป้อนข้อมูลแบบเท็กซ์ไฟล์ ซึ่งในกรณีที่จำนวนจุด ต่อ และชิ้นส่วน โครงสร้างมีจำนวนมาก จะทำให้การป้อนข้อมูลเกิดความสับสน และการแก้ไขจะ เสียเวลามาก อีกทั้งยังไม่สามารถแสดงการประมวลผลทางจอภาพได้ ผลการวิเคราะห์จะ แสดงผ่านทาง เครื่องพิมพ์โดยอัตโนมัติซึ่งยากแก่การแก้ไขและหยุดการแสดงผล และ ไม่สามารถ แสดงรูปร่างของโครงสร้างออกทางจอภาพเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นก่อนการ ประมวลผลและไม่สามารถแสดงภาพผลการวิเคราะห์ เช่น โคordinateการเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) โคordinateแรงตามแนวแกน (axial force), โคordinateแรงเฉือน (shear force), โคordinateโมเมนต์ดัด (bending moment) และ โคordinateโมเมนต์บิด (torque)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีข้อกำหนดดังนี้
 - 1.1 ซีพียู Intel Pentium 233 MHz ขึ้นไป
 - 1.2 หน่วยความจำแรม ขั้นต่ำ 64 MB (แนะนำแรม 128 MB ขึ้นไป)
 - 1.3 พื้นที่ว่างในฮาร์ดดิสก์ 124 MB สำหรับการติดตั้งแบบประหยัด
450 MB สำหรับการติดตั้งแบบเต็ม
 - 1.4 ระบบปฏิบัติการ Windows XP, Windows2000 และ Windows98
2. เครื่องพิมพ์สำหรับคอมพิวเตอร์ที่รองรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์
3. ซอฟต์แวร์ภาษาบอร์แลนด์เดลไฟล์ เวอร์ชัน 7 (borland delphi 7 enterprise edition)
4. โปรแกรมต้นแบบ TFAP-3

วิธีการ

1. หลักการและวิธีสตีฟเนสโดยตรง (Direct Stiffness Method)

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์โครงสร้าง หมายถึง การวิเคราะห์โครงสร้างที่ถูกกระทำโดยน้ำหนักภายนอก เพื่อให้ทราบถึง

1.1.1 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) คือ ค่าการเคลื่อนที่ (translation) และค่าการหมุน (rotation) ของจุดต่อ (joint) โครงสร้าง รวมทั้งค่าการโก่งตัว หรือแอ่นตัว (deflection) ของชิ้นส่วน (member) โครงสร้าง เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ที่ยอมรับของข้อกำหนดและขีดจำกัดการใช้งานที่เหมาะสม

1.1.2 ค่าของแรงภายใน (internal force) คือ ค่าของแรง (force) และ โมเมนต์ (moment) ที่ตำแหน่งที่จุดต่อหรือภายในชิ้นส่วน ทั้งนี้เพื่อนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณออกแบบโครงสร้างตามต้องการ

1.1.3 ค่าของแรงปฏิกิริยา (reaction) คือ ค่าแรงปฏิกิริยาด้านทานของฐานรองรับ เมื่อน้ำหนักภายนอกกระทำต่อโครงสร้าง

1.2 สมมติฐานของวัสดุโครงสร้าง เป็นการพิจารณาคูณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของวัสดุโครงสร้าง เพื่อนำไปใช้ในการสร้างหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematic model) ดังนี้

1.2.1 วัสดุโครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) โดยตลอด และมีคุณสมบัติ เมื่อน้ำหนักมากระทำเหมือนกันทุกทิศทาง (isotropic) โดยความเครียด (strain) ที่เกิดขึ้นเป็น สัดส่วนโดยตรงกับความเค้น (stress) เมื่อช่วงของการพิจารณาไม่เกินไปกว่าขีดจำกัดยืดหยุ่น (elastic limit)

1.2.2 ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) ของวัสดุโครงสร้างเมื่อถูกน้ำหนักกระทำ มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับขนาดของส่วน โครงสร้างนั้นๆ ดังนั้นจึงยังคงสามารถใช้สมการสมดุลย์ (equilibrium equations) ของโครงรูปเดิม (initial shape) ที่พิจารณาได้ทั้งก่อนและหลังที่น้ำหนัก กระทำ โดยไม่ทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนต่างกันเกินที่จะยอมรับได้

1.3 กฎเกณฑ์ขั้นมูลฐานของทฤษฎีโครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้าง (structure analysis) คือ การทดสอบหุ่นจำลองทาง คณิตศาสตร์ของโครงสร้างขนาดจริง ที่ใช้สมมติฐานของวัสดุโครงสร้าง ผลที่ได้จากการทดสอบจะ เป็นคำตอบที่ถูกต้องใช้ได้ ต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์ขั้นมูลฐานของทฤษฎีโครงสร้างทั้ง 3 ข้อ ดังนี้

1.3.1 สมการสมดุลย์ (equilibrium equation) คือ แรงต้านทานภายในที่เกิดขึ้นต้อง อยู่ในสภาพสมดุลย์กับ แรงกระทำภายนอก และ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ไม่ว่าจะพิจารณาเฉพาะ ส่วนของโครงสร้าง หรือทั้งโครงสร้าง

1.3.2 สมการความสอดคล้อง (compatibility equation) คือ โครงสร้างมีความ ต่อเนื่องสัมพันธ์ตามกันไป จากการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วน (member deformation) ต่อเนื่องกับ การเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) ของจุดต่อ

1.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนรูปร่าง (force-deformation relationship) คือ เมื่อน้ำหนักกระทำต่อชิ้นส่วนของโครงสร้าง จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง เช่น การยืดหดตัวของชิ้นส่วนสัมพันธ์กันกับน้ำหนักที่กระทำต่อชิ้นส่วนนั้น

1.4 วิธีขั้นมูลฐานของการวิเคราะห์โครงสร้าง

แม้ว่าการวิเคราะห์โครงสร้างจะมีหลายวิธี แต่ก็สามารถจำแนกความแตกต่างได้ตามการจัดรูปสมการเพื่อหาค่าที่ต้องการ ซึ่งได้จากลักษณะของโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุเป็น 2 กลุ่มวิธี โดยที่ผลของการวิเคราะห์ให้ค่าที่เท่ากัน

1.4.1 วิธีของแรง (Force Method) วิธีนี้ให้แรงภายในที่ปลายชิ้นส่วน (member end forces) เป็นตัวไม่รู้ค่า (redundants) ของสมการความสอดคล้อง (compatibility equations) ดังนั้นจำนวนของสมการที่ต้องจัดรูปจะเท่ากับ จำนวนอันดับตัวไม่รู้ค่า (degree of redundancy) ของโครงสร้างนั้น ผลของการแก้ปัญหามการที่ได้จึงเป็นค่าแรงภายในที่ปลายชิ้นส่วน

1.4.2 วิธีของการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Method) วิธีนี้ให้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งเป็นตัวไม่รู้ค่า (unknowns) ของสมการความสมดุล (equilibrium equations) ดังนั้นจำนวนของสมการที่ต้องจัดรูปจะเท่ากับ จำนวนอันดับของความอิสระ (degree of freedom) ของโครงสร้างนั้น ผลของการแก้ปัญหามการที่ได้จึงเป็นค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อ

1.5 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีเมทริกซ์ (Matrix Methods in Structural Analysis)

เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เป็นรูปเส้นตรงหลายชิ้นส่วนต่อกันที่จุดต่อ โดยการใช้หลักการจัดรูปตัวเลขที่ได้จากคุณสมบัติของโครงสร้าง ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ดังนั้นการบวก ลบ คูณ หาร ตัวเลขนั้นจึงใช้หลักการของเมทริกซ์ ทำให้การวิเคราะห์เป็นลำดับขั้นตอน, เข้าใจง่าย และใช้กฎเกณฑ์พื้นฐานเดียวกันกับโครงสร้างทั้งประเภทโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง ทั้งสองมิติ และสามมิติ จึงเหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีสตีเฟนสโดยตรง (Direct Stiffness Method) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Method) ที่มีการจัดตัวเลขได้แบบเดียวโดย มีเมทริกซ์จำนวนน้อย ทำให้ประหยัดขนาดของหน่วยความจำ, เวลาที่ใช้จัดเก็บ และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

กระบวนการของวิธีไฟไนต์โดยตรง คือ การจัดรูปสมการสมมูลย์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อ กับน้ำหนักกระทำที่จุดต่อ และ ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อ กับ แรงภายในที่ปลายชิ้นส่วน ในรูปของเมทริกซ์ ดังนี้

$$[K] \{D\} = \{W\}$$

เมื่อ $[K]$ = เมทริกซ์ความแข็งแรงของโครงสร้าง (structure stiffness matrix)
 $\{D\}$ = เมทริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อ (nodal displacement matrix)
 $\{W\}$ = เมทริกซ์น้ำหนักกระทำที่จุดต่อ (nodal force matrix)
 และ $\{F\} = [S] \{D\}$

เมื่อ $[F]$ = เมทริกซ์ของแรงภายในที่ปลายชิ้นส่วน (member end forces matrix)
 $\{S\}$ = เมทริกซ์ค่าความเค้น (stress matrix)
 $\{D\}$ = เมทริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อ (nodal displacement matrix)

จำนวนของสมการสมมูลย์นี้จะขึ้นอยู่กับ จำนวนของจุดต่อ และ จำนวนอันดับของความอิสระ ของโครงสร้างนั้น มีดังนี้

1. โครงข้อหมุน สองมิติ มีจำนวนอันดับของความอิสระ เท่ากับสอง คือ การเคลื่อนที่ในทิศทาง X , Y
2. โครงข้อหมุน สามมิติ มีจำนวนอันดับของความอิสระ เท่ากับสาม คือ การเคลื่อนที่ในทิศทาง X , Y , Z
3. โครงข้อแข็ง สองมิติ มีจำนวนอันดับของความอิสระ เท่ากับสาม คือ การเคลื่อนที่ใน ทิศทาง X , Y และการหมุน รอบแกน Z
4. โครงข้อแข็ง สามมิติ มีจำนวนอันดับของความอิสระ เท่ากับหก คือ การเคลื่อนที่ใน ทิศทาง X , Y , Z และการหมุน รอบแกน X , Y , Z

เมื่อหาค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง $\{D\}$ ได้จากการแก้สมการ $[K] \{D\} = \{W\}$ นำ $\{D\}$ ไปแทนค่าในสมการ $\{F\} = [S] \{D\}$ ทำให้หาค่าของ $\{F\}$ ได้ สำหรับการวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ ได้จากการรวมแรงภายในที่ปลายของแต่ละชิ้นส่วนที่จุดต่อนั้นเป็นฐานรองรับ ส่วน

กรณีที่ต้องการทราบค่าแรงภายในแต่ละหน้าตัดในชิ้นส่วน หาได้จากสมมูลย์ของแรงต้านทานภายในแต่ละหน้าตัดที่พิจารณา

2. ขั้นตอนการพัฒนา

2.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

2.1.1 ศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสตีเฟนส์ และศึกษาระบบการทำงานของโปรแกรม TFAP3 เดิมโดยเฉพาะในส่วนของการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ในลักษณะของเท็กซ์ไฟล์ และต้องนำค่าข้อมูลจากเท็กซ์ไฟล์นั้นมาทำให้สามารถแสดงแผนภาพแรงเฉือน แผนภาพแรงคัต แผนภาพแรงตามแนวแกน และภาพการแอ่นตัวของโครงสร้างได้ ซึ่งจากการทำการศึกษาระดับของภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม TFAP3 นั้น พบว่าโครงสร้างภาษาของปาสคาลที่ใช้ในการพัฒนานั้นไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมที่ผู้พัฒนามาพัฒนาต่อเนื่องคือ บอร์แลนด์เดลไฟล์ 7 ได้ทั้งหมด

2.1.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วย Borland Delphi 7 เกี่ยวกับการจัดการในการออกแบบส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) ระบบการจัดการฐานข้อมูล และศึกษาการใช้ส่วนประกอบ (component) สำเร็จรูปต่างๆเพื่อช่วยในการจัดทำารแสดงผลด้านกราฟิก

2.1.3 ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรมเพ้นท์ (paint) และโฟโตชอป (photoshop) เพื่อนำมาใช้ตกแต่งและสร้างภาพสัญลักษณ์ (icon) ต่างๆของโปรแกรม

2.2 พัฒนาและออกแบบโปรแกรม

2.2.1 พัฒนาคำสั่งคอมพิวเตอร์ที่เป็นกลไกการทำงาน (engine) ในการวิเคราะห์คำนวณข้อมูล

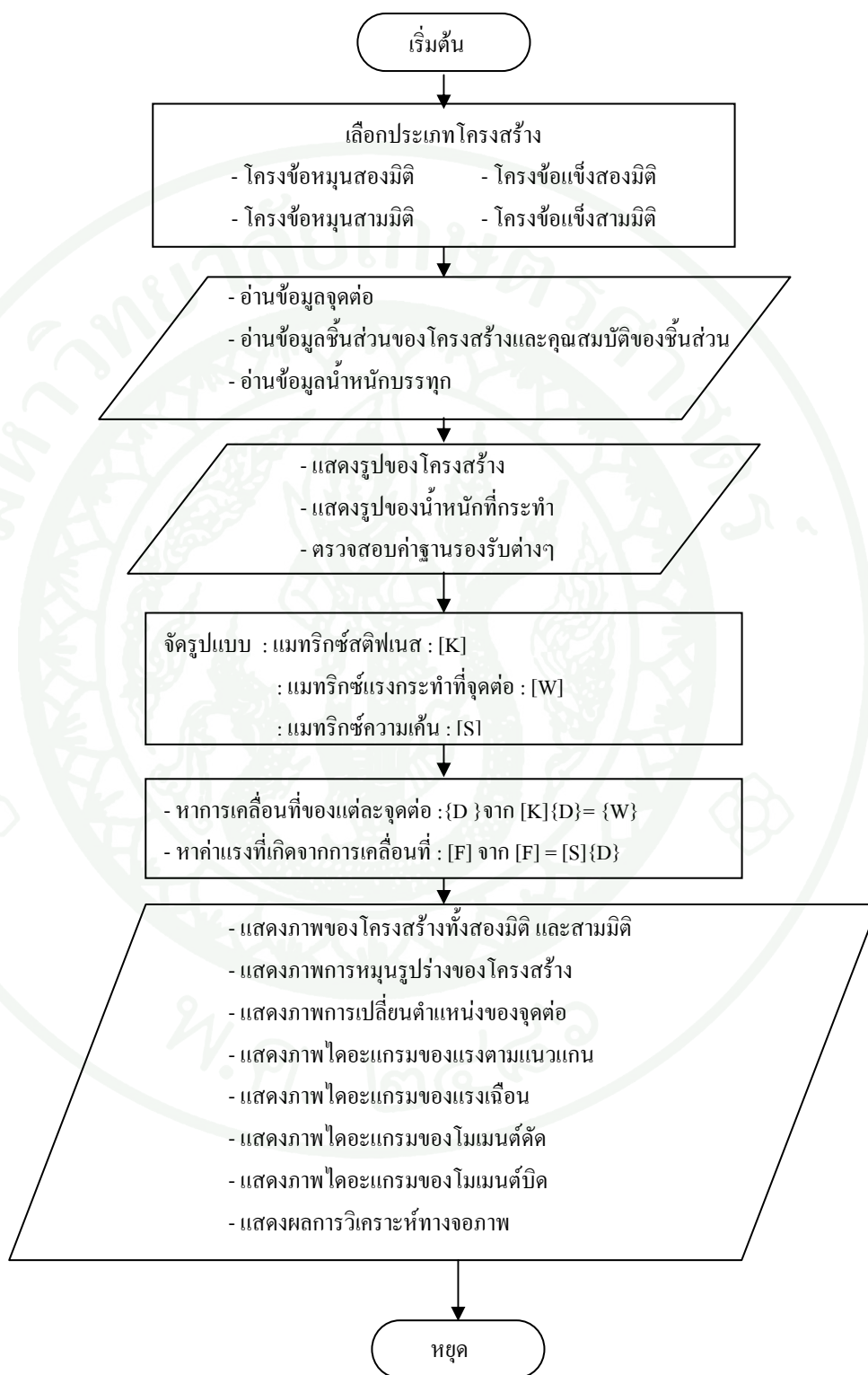
2.2.2 พัฒนาขั้นตอนวิธีในการรับ-ส่งข้อมูลจากเท็กซ์ไฟล์จากส่วนประมวลผลการคำนวณจาก TFAP-3 เดิม เพื่อให้สามารถส่งต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆผ่านทางส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ (user interface)

2.2.3 ออกแบบส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) รวมถึงรูปแบบการรับคำสั่งและการแสดงผลผ่านทาง user interface ของโปรแกรมซึ่งประกอบด้วย

- ส่วนรับข้อมูลให้สามารถรับข้อมูลต่างๆดังนี้

- ส่วนการเก็บค่าพิกัดจุดต่อ (joint coordinate) และส่วนการเก็บค่าเชื่อมต่อของชิ้นส่วน (element connectivity)
- ส่วนการเก็บค่าคุณสมบัติของวัสดุ
- ส่วนการเก็บค่าชนิดของฐานรองรับ แบ่งเป็นฐานรากชนิดยึดหมุน (pinned support), ยึดหมุนเคลื่อนที่ (roller support) และ ยึดแน่น (fixed support)
- ส่วนการเก็บค่าชนิดของน้ำหนักบรรทุก (loads) แบ่งเป็น น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุดที่จุดต่อ (nodal load), น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุดบนชิ้นส่วน (point load), น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniform load), น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load), น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement) และ น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (temperature load) รวมทั้งทำแถบการเก็บค่าชนิดของน้ำหนักบรรทุกแบบพื้นฐาน (basic load case) และเก็บค่าการรวมชนิดน้ำหนักบรรทุก (combination load case)
- ส่วนการสร้างรูปร่างของโครงสร้างต่างๆ (Node Generation, Member Generation, Node Increment, Member Increment, Split Member และ Member Mirror)
- ส่วนการแสดงผล
 - แสดงค่าข้อมูลผลลัพธ์ที่ใช้ในตาราง
 - แสดงค่าแผนภาพ (diagram) ของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

2.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 1 ฟังงานระบบของโปรแกรม TFAP-3D

2.4 ส่วนรับข้อมูล

โปรแกรมสำเร็จรูป TFAP3D จะใช้การรับข้อมูลโดยการป้อนคำสั่งจากแป้นตัวอักษร (keyboard) เป็นหลักในช่องพิมพ์ข้อความ (text box) และจะนำค่าที่ได้ไปจัดเก็บลงระบบฐานข้อมูลเพื่อถ่ายทอดไปยังการแสดงผลในส่วนของรูปกราฟิกและการคำนวณผลจากโปรแกรม TFAP3 โดยจะต้องวางแผนของระบบองค์อาคารและค่าพิกัดตำแหน่งของจุดต่อโครงสร้างเป็นอย่างดี ทั้งนี้การเก็บค่าข้อมูลของโครงสร้างจะแบ่งออกเป็น

2.4.1 ข้อมูลชนิดขององค์อาคารแบ่งออกเป็น โครงสร้างชนิดโครงข้อแข็ง และ โครงสร้างชนิดโครงข้อหมุน ซึ่งในแต่ละองค์อาคารจะเก็บข้อมูล

- หมายเลขจุดต่อ (node) ที่ต้นองค์อาคาร และปลายองค์อาคาร
- หมายเลขกรณีน้ำหนักบรรทุก (load case) ที่กระทำกับองค์อาคาร

2.4.2 ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุขององค์อาคาร

- หมายเลขชนิดของวัสดุ (type of material)
- พื้นที่หน้าตัด (cross sectional area) ขององค์อาคาร
- โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia) ของพื้นที่หน้าตัด
- โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของวัสดุ

2.4.3 ข้อมูลจุดต่อ ซึ่งในแต่ละจุดต่อจะเก็บข้อมูล

- หมายเลขจุดต่อ
- ชนิดของฐานรองรับ
- แรงที่กระทำที่จุดต่อ
- การเคลื่อนที่ที่จุดต่อ

2.4.4 ข้อมูล กรณีน้ำหนักบรรทุก จะจัดเก็บข้อมูล

- หมายเลขกรณีน้ำหนักบรรทุก (basic load case)
- ชนิดของกรณีน้ำหนักบรรทุก เช่น น้ำหนักบรรทุกกระทำ เป็นจุด (concentrated load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่ (uniform load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่แบบสามเหลี่ยม (linear varying load) เป็นต้น
- ขนาดของน้ำหนักบรรทุก (magnitude of load)

2.5 ส่วนการเตรียมข้อมูล

โปรแกรมจะนำค่าจากฐานข้อมูลระบบมาแปลงเป็นเท็กซ์ไฟล์แบบระบบคำสั่งบรรทัด (command line) เพื่อนำค่าไปส่งต่อให้โปรแกรม TFAP3 เดิมวิเคราะห์ค่าคำตอบ โดยการจัดการในรูปของคำสั่งจะแบ่งออกเป็น

2.5.1 ส่วนหัวเรื่องชนิดของไฟล์ข้อมูล (main title program) แบ่งเป็นการบอกชนิดของโครงสร้างที่ต้องการประมวลผล (module) , ชื่อเพิ่มข้อมูลและตำแหน่งที่ใช้เก็บข้อมูล

```
*****
* T2 *
* EXAMPLE 1 : PLANE TRUSS ; No. nodes = 14 ; No. elements = 29 *
* FILE NAME : C:\DTFAP3\THESIS\EX1\EX1.* *
*****

TFAP3
PROJECT THESIS
ENGINEER SUEB
PLANE TRUSS
```

ภาพที่ 2 ชนิดของการเก็บข้อมูลส่วนหัวเรื่อง

2.5.2 ส่วนชนิดของหน่วยวัดที่ใช้งาน แบ่งออกเป็น

- หน่วยแรง (force unit) คือ กิโลกรัม (kilogram), ตัน (ton), นิวตัน (newton), กิโลนิวตัน (kilonewton), ปอนด์ (pound), กิโลปอนด์ (kilopound)
- หน่วยความยาว (length unit) คือ เซนติเมตร (centimeter), เมตร (meter), นิ้ว (inch), ฟุต (foot)

UNIT

LB FT

ภาพที่ 3 ชนิดของการเก็บข้อมูลส่วนหน่วยวัดที่ใช้งาน

2.5.3 ส่วนการเก็บข้อมูลค่าพิกัดของชิ้นส่วน แบ่งออกเป็น

- ค่าพิกัดจุดต่อ (joint coordinate)
- ค่าระบุตำแหน่งของชิ้นส่วน (element connectivity)

JOINT COORDINATE

1 0 0 ; 2 1 0 ; 3 3 0 ; 4 4 0;
 5 0 4 ; 6 1 4 ; 7 3 4 ; 8 4 4;
 9 1 8 ; 10 3 8 ; 11 1 12 ; 12 3 12;
 13 1 16 ; 14 3 16;

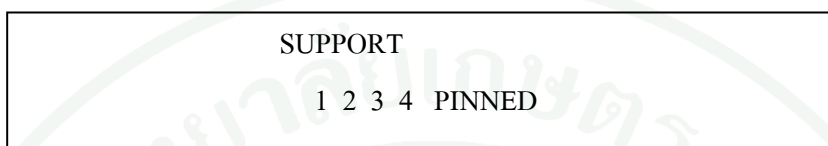
ELEMENT CONNECTIVITY

1 1 5 ; 2 2 6 ; 3 3 7 ; 4 4 8 ; 5 6 9;
 6 7 10 ; 7 9 11 ; 8 10 12 ; 9 11 13 ; 10 12 14;
 11 1 2 ; 12 2 3 ; 13 3 4 ; 14 5 6 ; 15 6 7;
 16 7 8 ; 17 9 10 ; 18 11 12 ; 19 13 14 ; 20 1 6;
 21 2 7 ; 22 3 6 ; 23 4 7 ; 24 6 10 ; 25 7 9;
 26 9 12 ; 27 10 11 ; 28 11 14 ; 29 12 13;

ภาพที่ 4 ค่าการเก็บพิกัดของชิ้นส่วนและค่าระบุตำแหน่งของชิ้นส่วน

2.5.4 ส่วนกำหนดชนิดของฐานรองรับ แบ่งออกเป็น

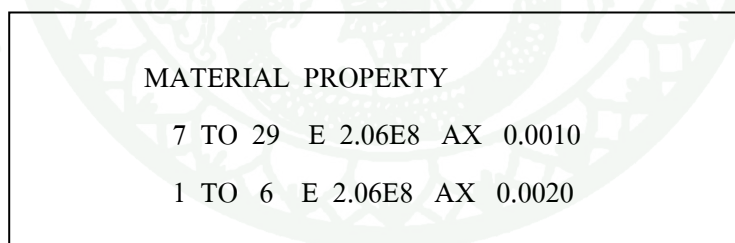
- ฐานรองรับชนิดยึดแน่น (fixed support)
- ฐานรองรับชนิดยึดหมุน (pinned support)
- ฐานรองรับชนิดยึดหมุนเคลื่อนที่ (roller support)



ภาพที่ 5 การเก็บค่าชนิดของฐานรองรับ

2.5.5 ส่วนกำหนดชนิดคุณสมบัติของชิ้นส่วน แบ่งออกเป็น

- พื้นที่หน้าตัด (cross section area) ของชิ้นส่วน
- โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia) ของหน้าตัด
- โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของชิ้นส่วน



ภาพที่ 6 การเก็บค่าคุณสมบัติของชิ้นส่วน

2.5.6 ส่วนกำหนดชนิดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อชิ้นส่วน แบ่งออกเป็น

- น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด (point load)
- น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniform load)
- น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load)
- น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement load)

- น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (temperature load)
- รวมน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำต่อชิ้นส่วนแบบต่างๆ (load combination)

LOAD CASE 1

NODAL FORCE

7 14 FY -10

10 12 FY -20

LOAD CASE 2

NODAL FORCE

6 13 FY -10

9 11 FY -20

LOAD CASE 3

VARIED LOAD

6 GX +5.0 +5.5

8 GX +5.5 +6.0

10 GX +6.0 +6.5

COMBINED LOAD 1

1 1.0 ; 2 1.0

COMBINED LOAD 2

1 1.0 ; 3 0.75

PRINT DATA FILE

PRINT COMBINED LOAD 1 2

PRINT LOAD CASE 1 2 3

FINISH

ภาพที่ 7 การเก็บค่าของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อชิ้นส่วน

2.6 ส่วนการประมวลผล

โปรแกรม TFAP3 จะทำการวิเคราะห์ค่าคำตอบของข้อมูลให้อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ ชื่อ Result.txt ของแต่ละตัวอย่างองค์อาคาร แล้วจะทำการส่งค่าข้อมูลคำตอบผ่านทางส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (user interface) ของโปรแกรม TFAP3D เพื่อมาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

2.7 ส่วนการแสดงผล

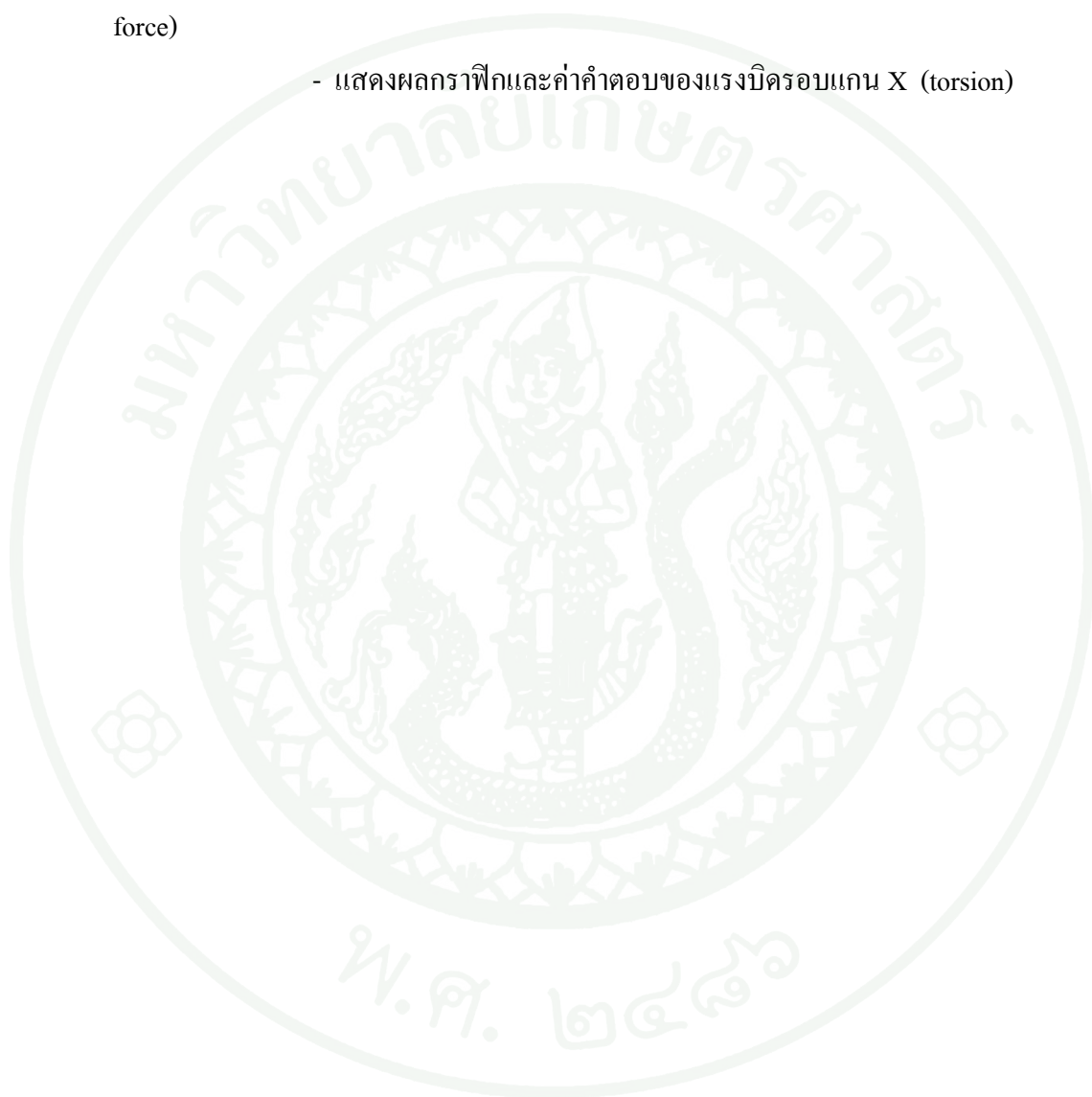
หลังจากรับค่ารายการคำนวณจากโปรแกรม TFAP3 เสร็จ ค่าคำตอบจะถูกนำไปเก็บอยู่ในระบบฐานข้อมูล เพื่อนำไปแสดงผลค่าคำตอบซึ่งประกอบไปด้วย

2.7.1 แสดงผลจากการคำนวณให้อยู่ในรูปของตารางฐานข้อมูลแบบเท็กซ์ไฟล์ ประกอบไปด้วยส่วนแสดงผลสำหรับค่าแรงภายในที่ปลายของชิ้นส่วน (member end force), ส่วนแสดงผลสำหรับการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (displacement) และส่วนแสดงผลสำหรับค่าแรงปฏิกิริยา (reaction) โดยในการแสดงค่าคำตอบจะแยกแสดงทั้งในส่วนของการคำนวณพื้นฐาน (basic load case) และค่าการรวมชนิดน้ำหนักบรรทุก (combination load case)

2.7.2 แสดงผลจากการคำนวณให้อยู่ในรูปการแสดงผลแบบกราฟิกทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติ โดยรูปแบบการแสดงผลจะแบ่งออกเป็น

- ส่วนแสดงกราฟิกรับค่าข้อมูล
 - แสดงผลกราฟิกของจุดต่อและบอกหมายเลขจุดต่อ
 - แสดงผลกราฟิกของชิ้นส่วนและหมายเลขของชิ้นส่วน
 - แสดงผลหมายเลขชนิดของชิ้นส่วน
 - แสดงผลความยาวของชิ้นส่วน
 - แสดงผลกราฟิกของฐานรองรับ
 - แสดงผลกราฟิกของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำแบบพื้นฐาน (basic load case) และการรวมชนิดน้ำหนักบรรทุก (combination load case)
- ส่วนแสดงกราฟิกผลลัพธ์จากการคำนวณ
 - แสดงผลกราฟิกของตำแหน่งแกนพิกัดฉาก (global axis)
 - แสดงผลกราฟิกของการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (displacement)

- แสดงผลกราฟิกและค่าคำตอบของโมเมนต์ดัดรอบแกน Y และรอบแกน Z (bending moment)
- แสดงผลกราฟิกและค่าคำตอบของแรงอัดตามแนวแกน (axial force)
- แสดงผลกราฟิกและค่าคำตอบของแรงเฉือนแกน Y และแกน Z (shear force)
- แสดงผลกราฟิกและค่าคำตอบของแรงบิดรอบแกน X (torsion)



ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1. ประเภทโครงข้อหมุนสองมิติขนาดเล็ก

ขนาดของโครงสร้าง 14 จุดต่อ, 29 ชิ้นส่วน

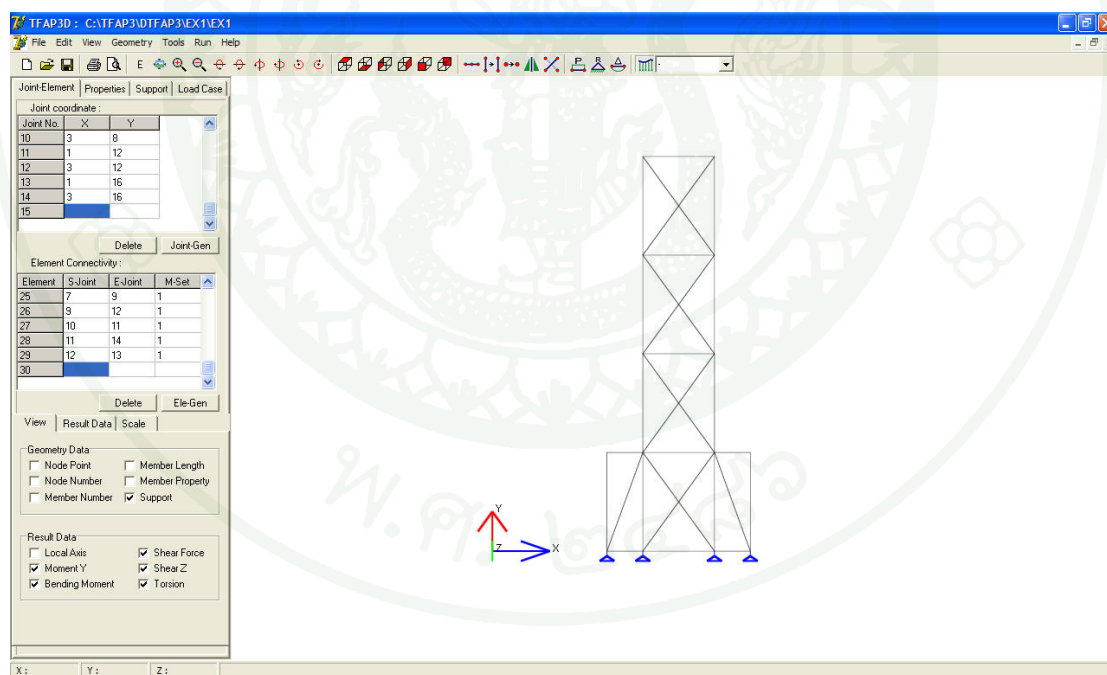
คุณสมบัติของชิ้นส่วน 2 ชนิด ดังนี้

ชนิดที่ 1. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.06 \times 10^8$ กิโลนิวตัน / ตร.ม. (kN/m^2)
พื้นที่หน้าตัด, $A = 0.0010$ ตร.ม. (m^2)

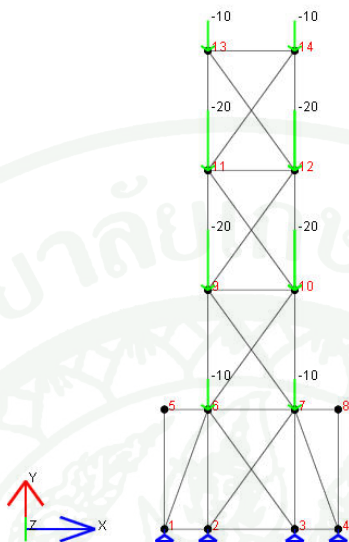
ชนิดที่ 2. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.06 \times 10^8$ กิโลนิวตัน / ตร.ม. (kN/m^2)
พื้นที่หน้าตัด, $A = 0.0020$ ตร.ม. (m^2)

ข้อมูลน้ำหนักกระทำต่อโครงสร้าง

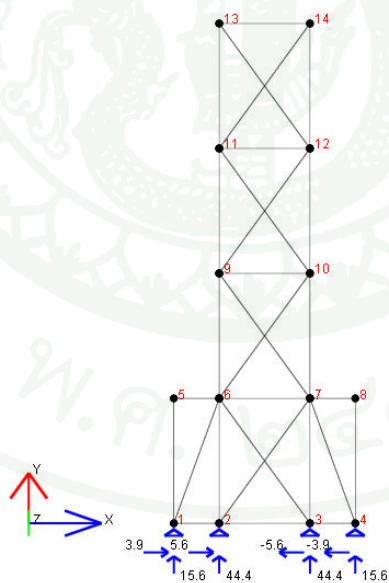
- จำนวนน้ำหนักบรรทุกทุก 3 ลำดับ
- จำนวนรวมน้ำหนักบรรทุกทุก 1 ลำดับ



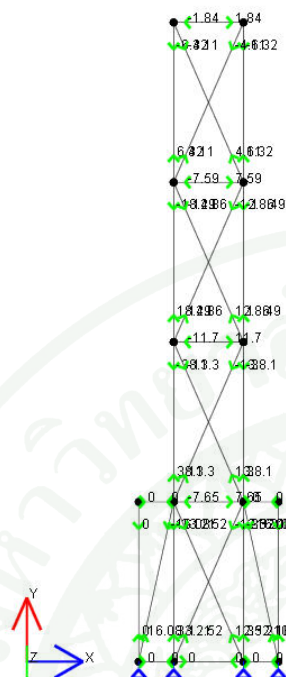
ภาพที่ 8 การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงข้อหมุนสองมิติ



ภาพที่ 9 การใส่ค่าการรวมน้ำหนักบรรทุก กรณีที่ 1 ในโครงสร้าง

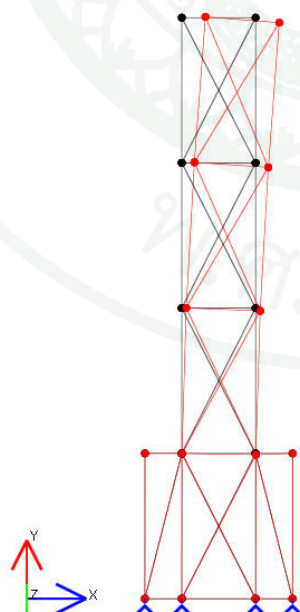


ภาพที่ 10 ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก



Member		Load Case Data		Combined Case		
ELE	L/Type	L/C	MAT	LENGTH	JT	
1	C	1	2	4	1	0
					5	0
2		2	4		2	33.21
					6	-33.21
3		2	4		3	33.21
					7	-33.21
4		2	4		4	0
					8	0
5		2	4		6	38.1
					9	-38.1
6		2	4		7	38.1
					10	-38.1
7		1	4		9	18.49
					11	-18.49
8		1	4		10	18.49
					12	-18.49
9		1	4		11	6.32
					13	-6.32
10		1	4		12	6.32
					14	-6.32
11		1	1		1	0
					2	0
12		1	2		2	0
					3	0
13		1	1		3	0
					4	0
14		1	1		5	0
					6	0
15		1	2		6	-7.65
					7	7.65
16		1	1		7	0
					8	0
17		1	2		9	-11.7

ภาพที่ 11 แรงที่กระทำในแนวแกนพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ



Member		Displacement		Load Case Data	
	Node	L/Type	L/C	X-Tran	Y-Tran
	1	L	1	0	0
		L	2	0	0
		L	3	0	0
		C	1	0	0
		C	2	0	0
	2	L	1	0	0
		L	2	0	0
		L	3	0	0
		C	1	0	0
		C	2	0	0
	3	L	1	0	0
		L	2	0	0
		L	3	0	0
		C	1	0	0
		C	2	0	0
	4	L	1	0	0
		L	2	0	0
		L	3	0	0
		C	1	0	0
		C	2	0	0
	5	L	1	7E-5	0
		L	2	-0.00011	0
		L	3	0.00352	0
		C	1	-4E-5	0
		C	2	0.00271	0
	6	L	1	7E-5	0
		L	2	-0.00011	-0.00032
		L	3	0.00352	0.00128
		C	1	-4E-5	-0.00032
		C	2	0.00271	0.00096
	7	L	1	0.00011	-0.00032
		L	2	-7E-5	0
		L	3	0.00356	-0.00128

ภาพที่ 12 ภาพระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 2. ประเภทโครงข้อหมุนสามมิติขนาดใหญ่

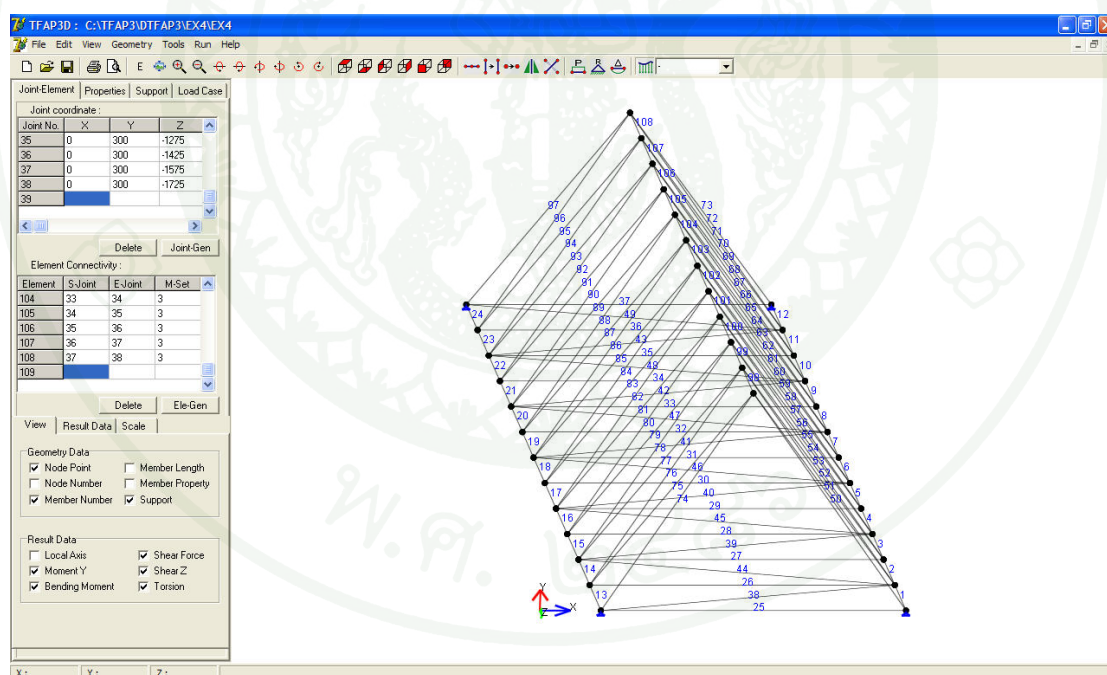
ขนาดของโครงสร้าง 38 จุดต่อ, 108 ชิ้นส่วน

คุณสมบัติของชิ้นส่วน 3 ชนิด ดังนี้

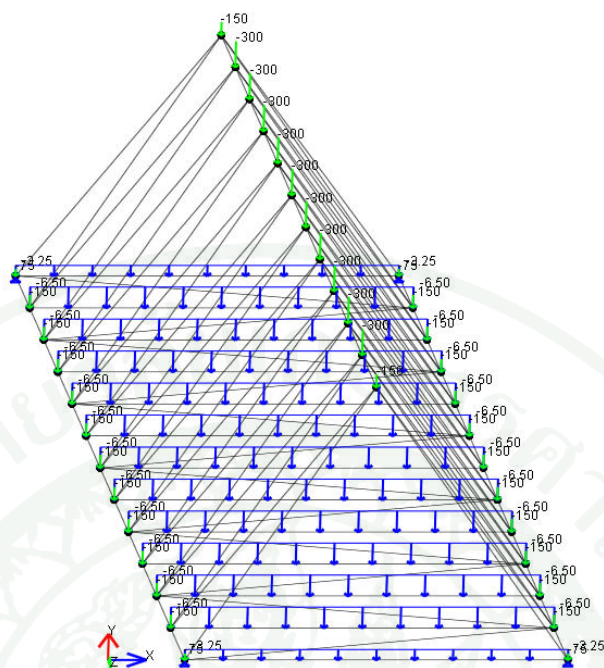
- ชนิดที่ 1. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.04 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.²)
พื้นที่หน้าตัด, $A = 4.03$ ตร.ซม.² (cm.²)
- ชนิดที่ 2. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.04 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.²)
พื้นที่หน้าตัด, $A = 12.26$ ตร.ซม.² (cm.²)
- ชนิดที่ 3. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.04 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.²)
พื้นที่หน้าตัด, $A = 25.16$ ตร.ซม.² (cm.²)

ข้อมูลน้ำหนักกระทำต่อโครงสร้าง

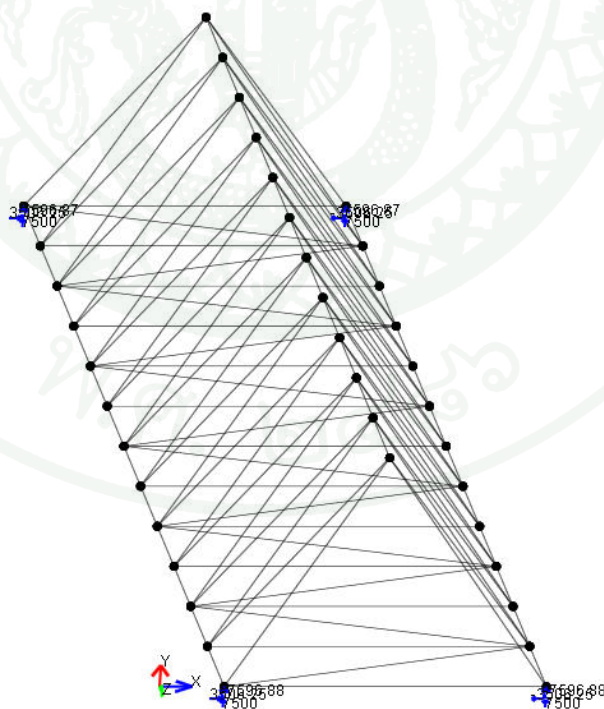
- จำนวนน้ำหนักบรรทุกทุก 1 ลำดับ



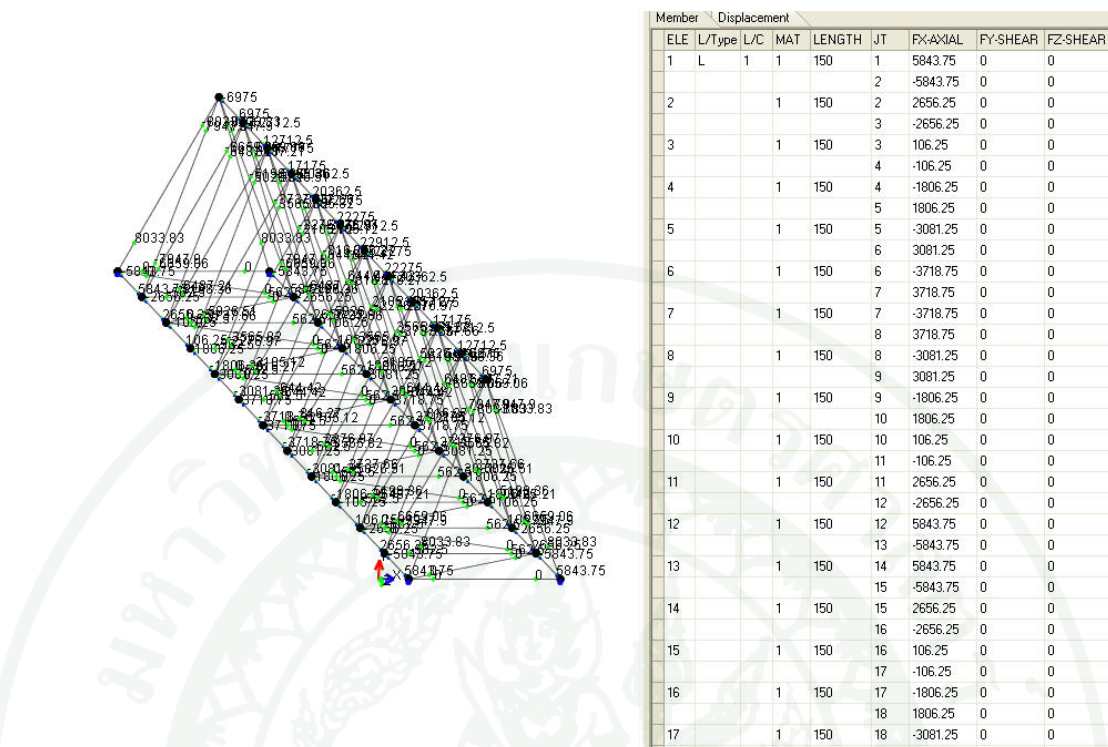
ภาพที่ 13 การใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติ



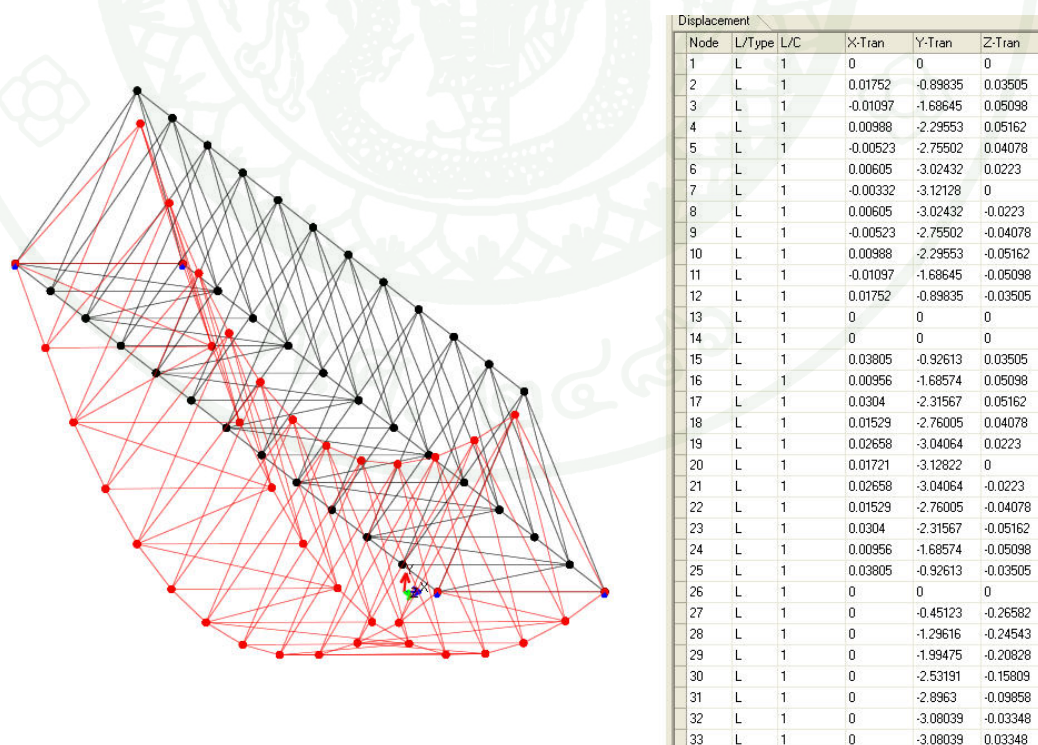
ภาพที่ 14 การใส่กรณีน้หนักบรรทุกในโครงสร้าง



ภาพที่ 15 ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก



ภาพที่ 16 แรงที่กระทำในแนวแกนพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 17 ภาพระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ ตัวอย่างที่ 3. ประเภทโครงข้อแข็งสองมิติขนาดใหญ่ เมื่อชิ้นส่วนมีจุดยึดหมุนภายในที่ปลาย

ขนาดของโครงสร้าง 49 จุดต่อ, 80 ชิ้นส่วน

คุณสมบัติของชิ้นส่วน 4 ชนิด ดังนี้

ชนิดที่ 1. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.1 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.^2)

พื้นที่หน้าตัด, $A = 20$ ตร.ซม. 2 (cm.^2)

โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Z, $I_Z = 0$ ซม. 4 (cm.^4)

ชนิดที่ 2. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.0 \times 10^5$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.^2)

พื้นที่หน้าตัด, $A = 900$ ตร.ซม. 2 (cm.^2)

โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Z, $I_Z = 67,500$ ซม. 4 (cm.^4)

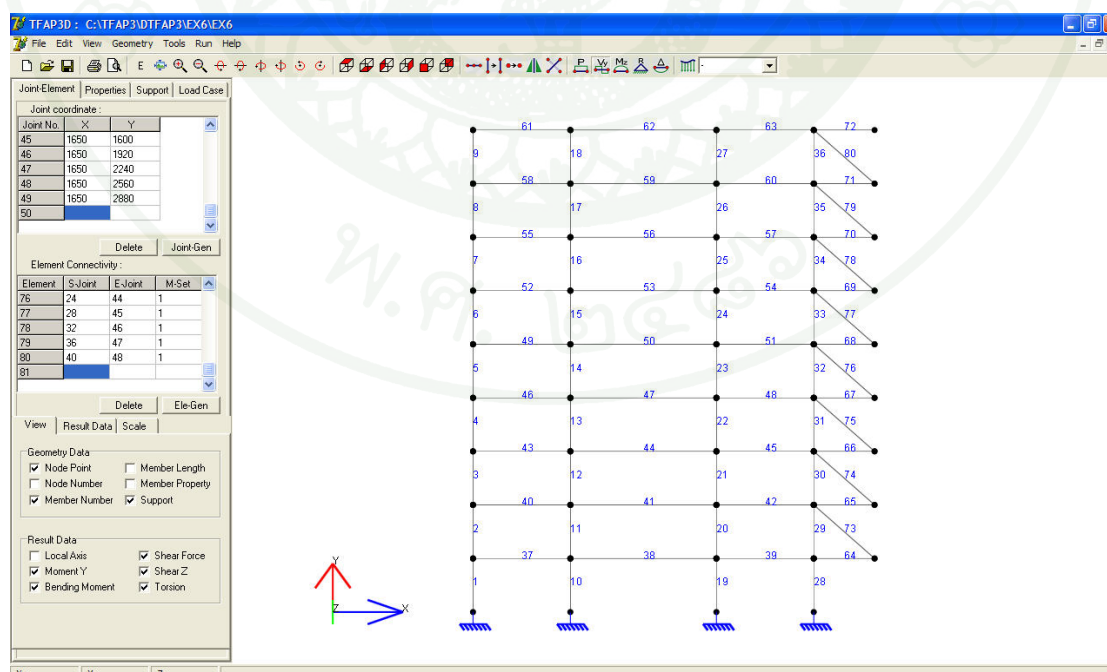
ชนิดที่ 3. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.0 \times 10^5$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.^2)

พื้นที่หน้าตัด, $A = 1250$ ตร.ซม. 2 (cm.^2)

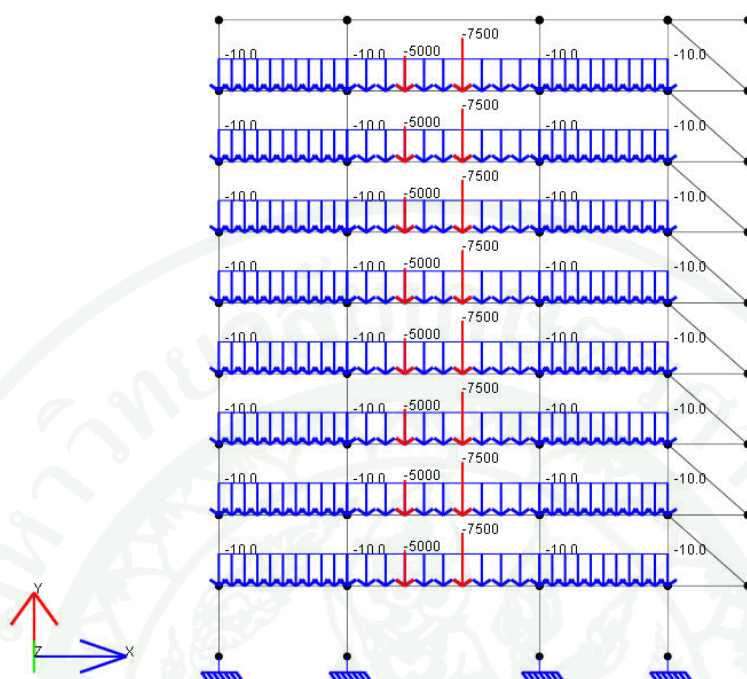
โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Z, $I_Z = 260,416$ ซม. 4 (cm.^4)

ข้อมูลนำนักกระทำต่อโครงสร้าง

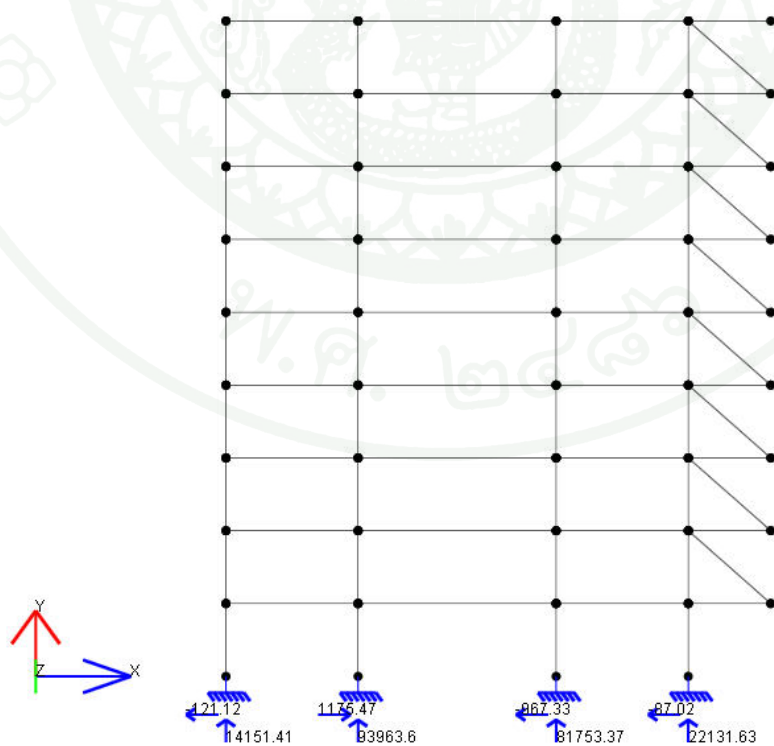
- จำนวนน้ำหนักบรรทุกทุก 2 ลำดับ
- จำนวนรวมน้ำหนักบรรทุกทุก 1 ลำดับ



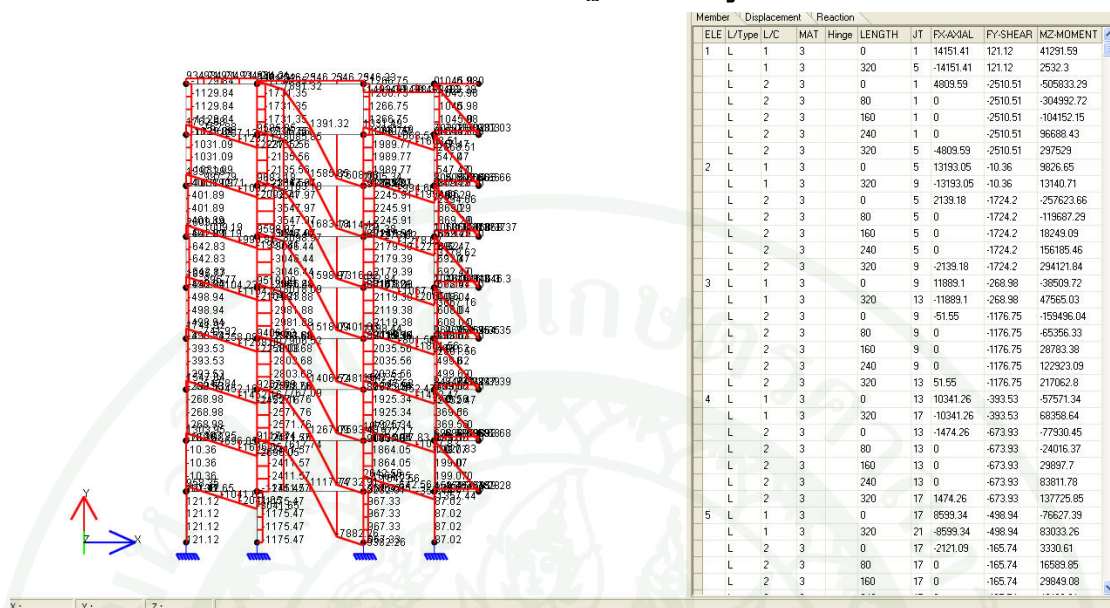
ภาพที่ 18 หน้าการใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งสองมิติ



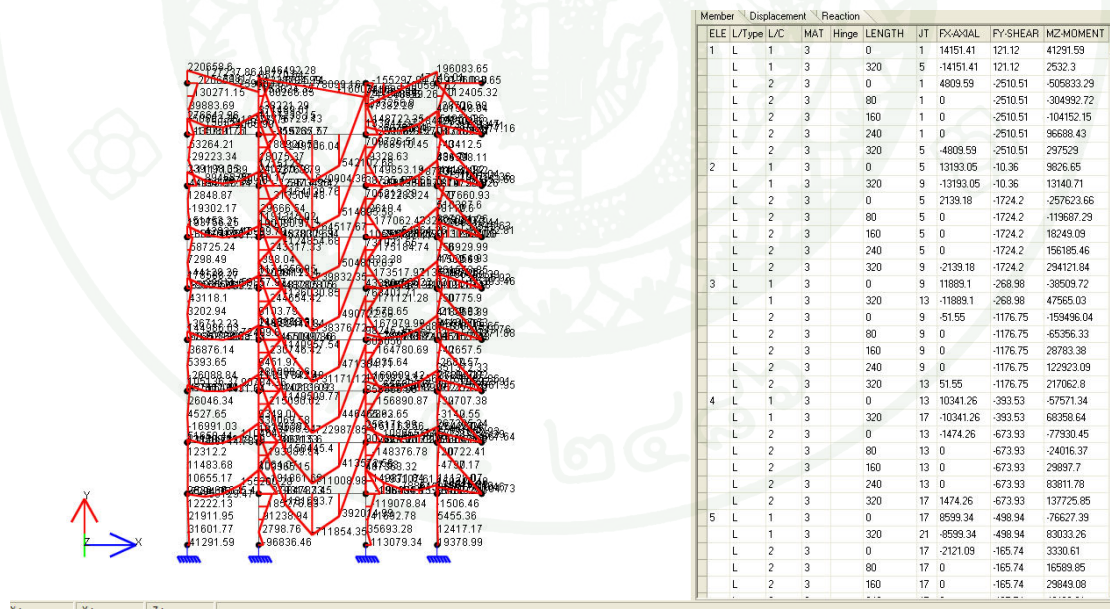
ภาพที่ 19 การใส่ค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง



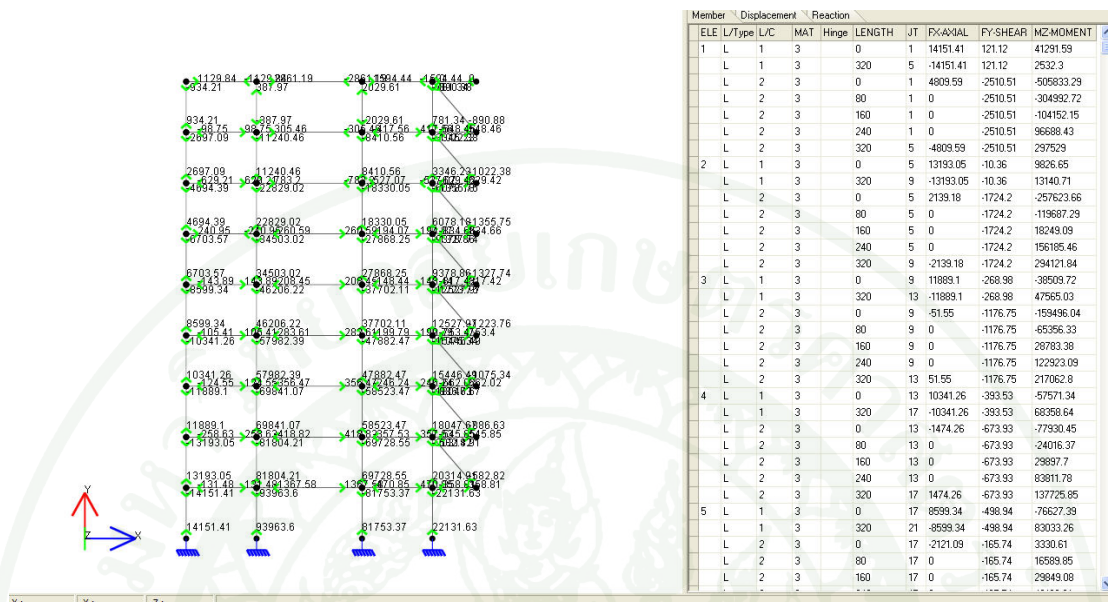
ภาพที่ 20 ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก



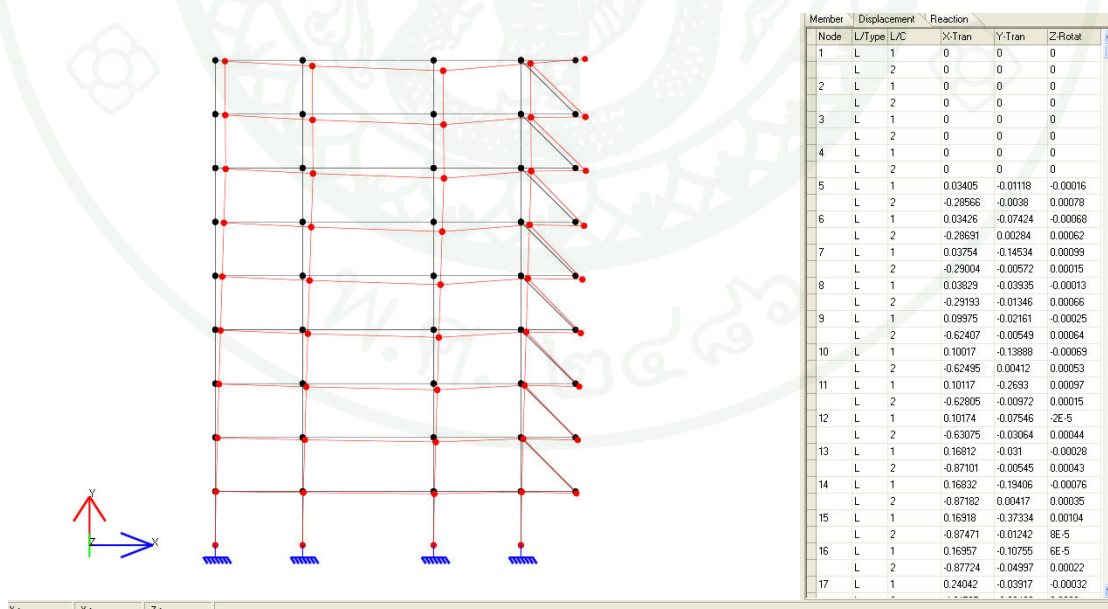
ภาพที่ 21 กราฟิกแรงเฉือนในโครงสร้างพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 22 กราฟิกโมเมนต์ดัดในโครงสร้างพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 23 แรงที่กระทำในแนวแกนพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 24 ภาพระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 4. ประเภทโครงข้อแข็งสามมิติขนาดใหญ่

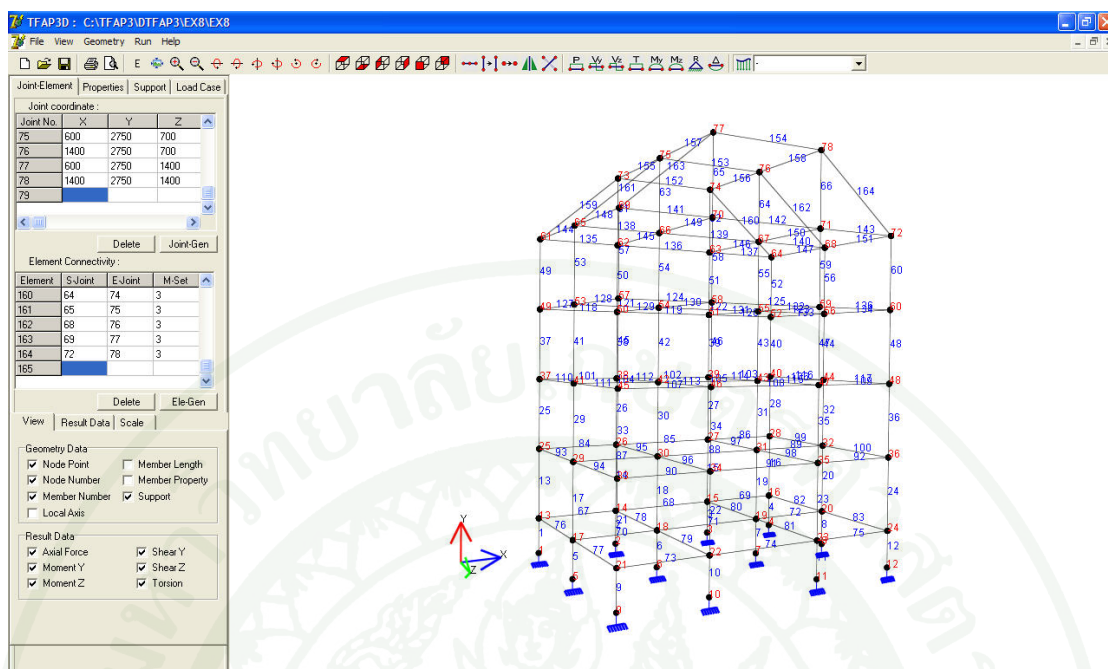
ขนาดของโครงสร้าง 78 จุดต่อ, 164 ชิ้นส่วน

คุณสมบัติของชิ้นส่วน 3 ชนิด ดังนี้

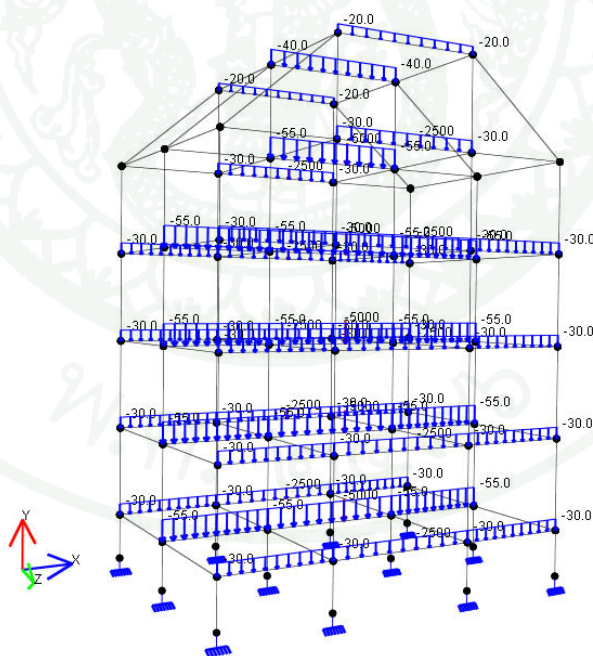
- ชนิดที่ 1. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.1 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.²)
 โมดูลัสการเหือน, $G = 1150$ กิโลปอนด์ / ตร.ซม. (kip/in.²)
 พื้นที่หน้าตัด, $A = 51.21$ ตร.ซม.² (cm.²)
 โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Y, $IY = 984$ ซม.⁴ (cm.⁴)
 โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Z, $IZ = 2,880$ ซม.⁴ (cm.⁴)
 ค่าคงที่ของการบิดรอบแกน X, $J = 3,864$ ซม.⁴ (cm.⁴)
- ชนิดที่ 2. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.1 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.²)
 พื้นที่หน้าตัด, $A = 71.53$ ตร.ซม.² (cm.²)
 โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Y, $IY = 1,700$ ซม.⁴ (cm.⁴)
 โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Z, $IZ = 4,980$ ซม.⁴ (cm.⁴)
 ค่าคงที่ของการบิดรอบแกน X, $J = 6,680$ ซม.⁴ (cm.⁴)
- ชนิดที่ 3. โมดูลัสยืดหยุ่น, $E = 2.1 \times 10^6$ กิโลกรัม / ตร.ซม. (kg./cm.²)
 พื้นที่หน้าตัด, $A = 72.38$ ตร.ซม.² (cm.²)
 โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Y, $IY = 1,600$ ซม.⁴ (cm.⁴)
 โมเมนต์อินเนอร์เซียรอบแกน Z, $IZ = 11,300$ ซม.⁴ (cm.⁴)
 ค่าคงที่ของการบิดรอบแกน X, $J = 12,900$ ซม.⁴ (cm.⁴)

ข้อมูลน้ำหนักกระทำต่อโครงสร้าง

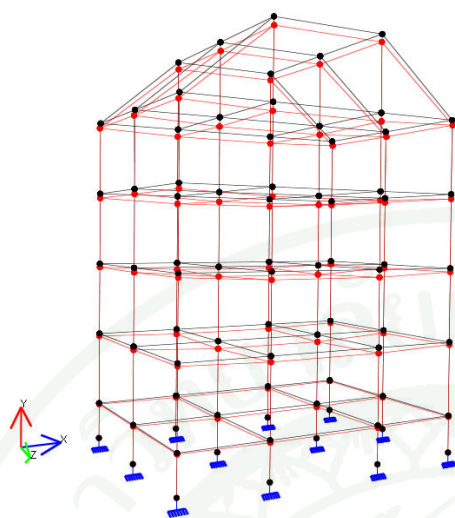
- จำนวนน้ำหนักบรรทุกทุก 1 ลำดับ



ภาพที่ 25 หน้าการใช้งานโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างสามมิติ

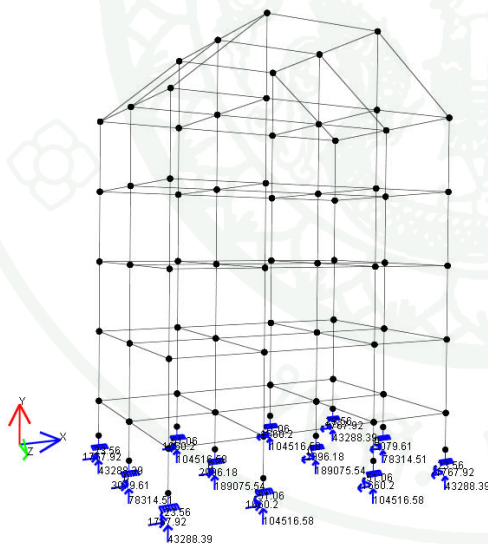


ภาพที่ 26 การใส่ค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง



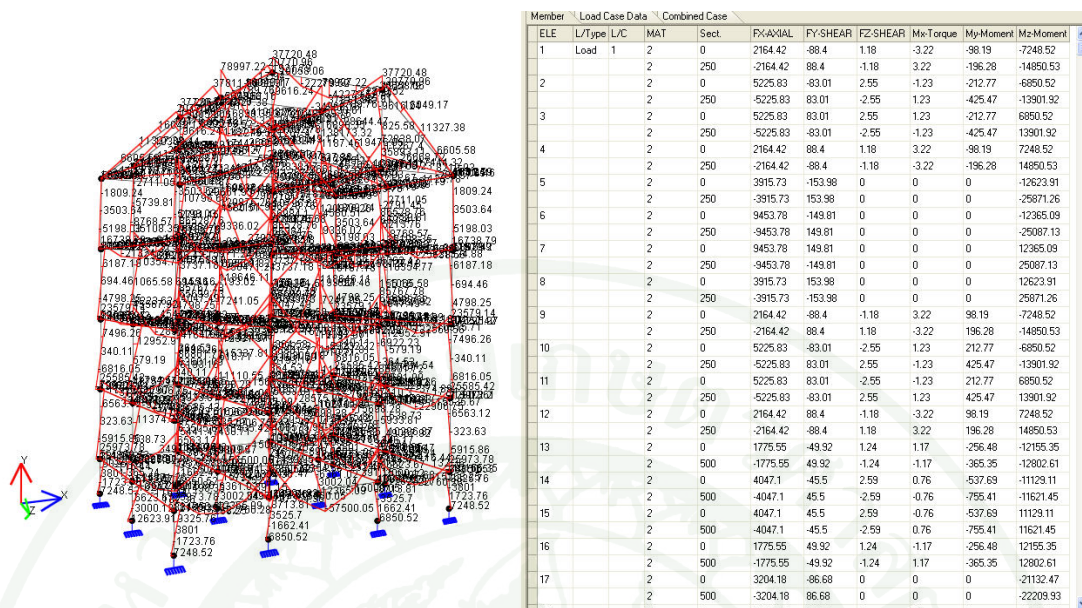
Displacement			Reaction					
Member	Node	L/Type L/C	X-Trans	Y-Trans	Z-Trans	X-Rotat	Y-Rotat	Z-Rotat
1	L	1	0	0	0	0	0	0
2	L	1	0	0	0	0	0	0
3	L	1	0	0	0	0	0	0
4	L	1	0	0	0	0	0	0
5	L	1	0	0	0	0	0	0
6	L	1	0	0	0	0	0	0
7	L	1	0	0	0	0	0	0
8	L	1	0	0	0	0	0	0
9	L	1	0	0	0	0	0	0
10	L	1	0	0	0	0	0	0
11	L	1	0	0	0	0	0	0
12	L	1	0	0	0	0	0	0
13	L	1	0.00675	-0.06231	1E-5	3E-5	0	-0.00188
14	L	1	0.00352	-0.1379	2E-5	6E-5	0	-0.00118
15	L	1	-0.00352	-0.1379	2E-5	6E-5	0	0.00118
16	L	1	-0.00675	-0.06231	1E-5	3E-5	0	0.00188
17	L	1	0.01257	-0.08273	0	0	0	-0.00315
18	L	1	0.00715	-0.2117	0	0	0	-0.00298
19	L	1	-0.00715	-0.2117	0	0	0	0.00298
20	L	1	-0.01257	-0.08273	0	0	0	0.00315
21	L	1	0.00675	-0.06231	-1E-5	-3E-5	0	-0.00188
22	L	1	0.00352	-0.1379	-2E-5	-6E-5	0	-0.00118
23	L	1	-0.00352	-0.1379	-2E-5	-6E-5	0	0.00118
24	L	1	-0.00675	-0.06231	-1E-5	-3E-5	0	0.00188
25	L	1	-0.00123	-0.16065	-2E-5	7E-5	0	-0.00215
26	L	1	-0.00062	-0.33997	-6E-5	0.00019	0	-0.00135
27	L	1	0.00062	-0.33997	-6E-5	0.00019	0	0.00135
28	L	1	0.00123	-0.16065	-2E-5	7E-5	0	0.00215
29	L	1	-0.00245	-0.20082	0	0	0	-0.00351
30	L	1	-0.00128	-0.49136	0	0	0	-0.00332
31	L	1	0.00128	-0.49136	0	0	0	0.00332
32	L	1	0.00245	-0.20082	0	0	0	0.00351
33	L	1	-0.00123	-0.16065	2E-5	-7E-5	0	-0.00215
34	L	1	-0.00062	-0.33997	6E-5	-0.00019	0	-0.00135

ภาพที่ 27 ภาพระยะการเคลื่อนตัวที่จุดต่อพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ



Reaction								
Node	L/Type L/C		Fx-React	Fy-React	Fz-React	Mx-React	My-React	Mz-React
1	L	1	1767.92	43288.39	23.56	1963.71	-64.44	-144970.48
2	L	1	1660.2	104516.58	51.06	-4255.37	-24.63	-137010.41
3	L	1	-1660.2	104516.58	51.06	-4255.37	24.63	137010.41
4	L	1	-1767.92	43288.39	23.56	1963.71	64.44	144970.48
5	L	1	3079.61	78314.51	0	0	0	-252478.19
6	L	1	2996.18	189075.54	0	0	0	-247301.89
7	L	1	-2996.18	189075.54	0	0	0	247301.89
8	L	1	-3079.61	78314.51	0	0	0	252478.19
9	L	1	1767.92	43288.39	-23.56	-1963.71	64.44	-144970.48
10	L	1	1660.2	104516.58	-51.06	-4255.37	24.63	-137010.41
11	L	1	-1660.2	104516.58	-51.06	-4255.37	-24.63	137010.41
12	L	1	-1767.92	43288.39	-23.56	-1963.71	-64.44	144970.48

ภาพที่ 28 ค่าแรงที่กระทำต่อฐานรากในรูปแบบกราฟิก



ภาพที่ 29 กราฟฟิกแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างพร้อมผลลัพธ์จากตารางที่ได้จากการคำนวณ

ผลและวิจารณ์

1. รายละเอียดการพัฒนาโปรแกรม TFAP3D จำแนกได้ดังต่อไปนี้

1.1 สามารถป้อนข้อมูลแบบกราฟิกบนหน้าจอและแสดงภาพให้เห็นทันที

1.2 สามารถสร้างจุดต่อและชิ้นส่วนแบบกำหนดค่าพิกัดทีละส่วนและแบบแยกชิ้นส่วนอัตโนมัติได้ด้วยคำสั่ง Node Generate และ Element Generate โดยใช้คำสั่ง Start To Finish

1.3 สามารถสร้างจุดต่อซ้ำๆหรือชิ้นส่วนซ้ำๆในแต่ละทิศทางด้วยคำสั่ง Node/Element Increment

1.4 สามารถแบ่งชิ้นส่วนให้เป็นหลายๆส่วนโดยการสร้างจุดต่อและชิ้นส่วนใหม่ได้ด้วยคำสั่ง Cut Member

1.5 สามารถสร้างโครงสร้างสะท้อนในทุกระนาบได้ด้วยคำสั่ง Member Mirror

1.6 สามารถลบจุดและชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการได้โดยกดที่ปุ่ม Delete ในตารางของ Joint Coordinate และ Element Connectivity

1.7 กำหนดชนิดของคุณสมบัติวัสดุแบบกำหนดเบอร์ชิ้นส่วนและแบบเป็นช่วงได้โดยใช้คำสั่ง Start To Finish

1.8 ใส่ฐานรองรับ (support) ได้แบบกำหนดจุดและแบบเป็นช่วงโดยใช้คำสั่ง Start To Finish

1.9 สามารถปลดปล่อยชิ้นส่วนโครงสร้างให้เป็นอิสระด้วยคำสั่ง Element Release ได้ที่จุดต้นของชิ้นส่วน จุดปลายของชิ้นส่วนและทั้งจุดต้นและจุดปลายของชิ้นส่วน โดยสามารถใส่แบบเป็นช่วงได้ด้วยคำสั่ง Start To Finish

1.10 สามารถกำหนดกรณีน้ำหนักบรรทุก (load case) พร้อมค่าตัวคูณได้หลายกรณีน้ำหนักบรรทุก โดยในแต่ละกรณีน้ำหนักบรรทุกสามารถใส่ค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างได้หลายชนิด ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด (point load), น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniform load), น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load), น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement load), น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (temperature load)

1.11 สามารถกำหนดการรวมชนิดน้ำหนักบรรทุก (load combination) ได้ไม่จำกัดจำนวนของกรณีน้ำหนักบรรทุก (load case) พร้อมทั้งกำหนดตัวคูณกำลังได้

1.12 แสดงรูปภาพและค่าของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟิกบนหน้าจอ

1.13 สามารถเลือกให้แสดงชิ้นส่วนเฉพาะที่ต้องการพิจารณาได้

1.14 แสดงผลลัพธ์การคำนวณบนหน้าจอเป็นกราฟิก ได้แก่ แผนภาพแรงตามแนวแกน (axial force diagram) แผนภาพแรงเฉือน (shear force diagram) แผนภาพแรงดัด (bending moment diagram) แผนภาพการแอ่นของจุดต่อ (displacement shape) และบอกค่าผลการคำนวณบนชิ้นส่วนได้

1.15 รายงานผลเป็นตารางสำหรับการพิมพ์ผลการคำนวณได้

1.16 แสดงค่าสูงสุด และ ค่าที่จุดปลายของแต่ละองค์อาคารได้

1.17 พิมพ์ภาพองค์อาคารและแผนภาพแรงกระทำไปยังเครื่องพิมพ์ได้

2. การวิเคราะห์โครงสร้างในตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 โดยโปรแกรม TFAP3D เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม TFAP3 เดิมจะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณเหมือนกันทุกประการ แต่จะ

แตกต่างกันที่เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์อันเนื่องมาจากโปรแกรม TFAP3D พัฒนามาจากโปรแกรม TFAP3 เดิม แต่เหตุที่ใช้เวลาวิเคราะห์แตกต่างกันเนื่องจากสาเหตุดังนี้

2.1 โปรแกรม TFAP3 ใช้การเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูลแบบเท็กซ์ไฟล์โดยมีการจำลองหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้สำหรับประมวลผล แต่สำหรับโปรแกรม TFAP3D นั้นต้องทำการจัดเก็บข้อมูลสำหรับการป้อนค่าคุณสมบัติต่างๆของโครงสร้างระบบฐานข้อมูล (database) เสียก่อนแล้วจึงจะนำค่าจากระบบฐานข้อมูลไปจัดเรียงรูปแบบเป็นเท็กซ์ไฟล์ให้ตรงกับรูปแบบในการคำนวณของโปรแกรม TFAP3 เพื่อนำไปประมวลผลโดยการจำลองหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกัน และนำค่าคำตอบที่ได้จากการประมวลผลที่เป็นรูปแบบเท็กซ์ไฟล์มาจัดเก็บข้อมูลใหม่ในระบบฐานข้อมูลเพื่อแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์และสำหรับพิมพ์คำตอบออกทางเครื่องพิมพ์

2.2 โปรแกรม TFAP3D ต้องจำลองหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ขึ้นมาอีกหนึ่งชุดเพื่อใช้ประมวลผลสำหรับกราฟิก โดยดำเนินขั้นตอนของการประมวลผลเช่นเดียวกันกับการหาค่าคำตอบของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างด้วยวิธีแรกทุกประการ โดยแตกต่างกันที่เท็กซ์ไฟล์ที่รับค่าสำหรับไปประมวลผลนั้น จะใช้ค่าตั้งแบ่งชิ้นส่วน (section) เป็นจำนวนสี่ชิ้นส่วนเท่าๆกัน (ห้าจุดต่อ) เพื่อนำค่าของแรงภายในชิ้นส่วนที่ได้มาสร้างรูปร่างกราฟิกของแรงภายในชิ้นส่วนของโครงสร้างทำให้การประมวลผลของโปรแกรมจำต้องจำลองพื้นที่หน่วยความจำและประมวลผลโครงสร้างถึงสองครั้ง จึงทำให้โปรแกรม TFAP3D ใช้ทรัพยากรของระบบมากกว่าโปรแกรม TFAP3

2.3 การทดสอบบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่

- Intel ® Core (TM) 2 Duo CPU E4700 @ 2.6 GHz
- System Memory 2.00 GB
- VGA NVIDIA GeForce 8500 GT, 512 MB

เปรียบเทียบเวลาที่ใช้วิเคราะห์ระหว่างโปรแกรม TFAP3 และ TFAP3D กับโปรแกรม STADD PRO.2006 ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบเวลาและผลการวิเคราะห์โครงสร้างใน ตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 ระหว่างโปรแกรมTFAP3 และ TFAP3D กับ STADD PRO.2006

ตัวอย่าง	รายละเอียดโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์	เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (วินาที)		
		TFAP3	TFAP3D	STADD PRO.2006
1.	โครงข้อหมุน 2 มิติ ขนาดเล็ก จำนวน 14 จุดต่อ , 29 ชิ้นส่วน	0.08	1.21	<1.0
2.	โครงข้อหมุน 3 มิติ ขนาดใหญ่ จำนวน 38 จุดต่อ, 108 ชิ้นส่วน	0.30	1.72	<1.0
3.	โครงข้อแข็ง 2 มิติ ขนาดใหญ่ เมื่อชิ้นส่วนมีจุดยึดหมุนภายในที่ปลาย จำนวน 49 จุดต่อ, 80 ชิ้นส่วน	0.54	11.87	<1.0
4.	โครงข้อแข็ง 3 มิติ ขนาดใหญ่ จำนวน 78 จุดต่อ , 164 ชิ้นส่วน	2.00	18.30	<1.0

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การใช้โปรแกรม TFAP3D จะต้องวางแผนระบบโครงสร้างมาก่อนการวิเคราะห์ เช่น การกำหนดพิกัดโครงสร้างและจำนวนชิ้นส่วนโครงสร้าง ตำแหน่งของแรงที่กระทำอยู่บนชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นต้น การแสดงผลของโปรแกรม TFAP3D นั้นได้พัฒนาในส่วนของการรับข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลผ่านทางหน้าต่างการป้อนข้อมูลแบบปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (user interface) บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบรูปร่างของกราฟิกทั้งในส่วนการป้อนข้อมูล และส่วนแสดงผล ในกรณีของการประมวลผลได้แยกเป็นโมดูลสำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งและโครงข้อหมุน ทั้งแบบสองและสาม มิติ โดยโครงข้อหมุนสองและสามมิติสามารถแสดงผลได้ครบถ้วนทั้งในส่วนของกราฟิกแรงภายในชิ้นส่วน (member force) และการเคลื่อนที่ (displacement) ที่จุดต่อ (joint) แต่ในส่วนของโครงข้อแข็งสองและสามมิตินั้น สามารถแสดงผลกราฟิกได้ครบถ้วนในส่วนของแรงภายในชิ้นส่วนและการเคลื่อนที่ที่จุดต่อแต่ไม่สามารถแสดงผลการเคลื่อนที่ที่จุดอื่นๆในระหว่างจุดต่อได้

ค่าที่ได้จากการประมวลผลจากโปรแกรม TFAP3D ตรงกันกับโปรแกรมต้นแบบ TFAP3 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป STADD-PRO.2006 ให้ผลต่างที่มากที่สุดไม่เกิน 1.17 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ในส่วนหนึ่งของระยะเวลาในการประมวลผลพบว่าโปรแกรม TFAP3D ใช้เวลามากกว่าโปรแกรมสำเร็จรูป STADD PRO.2006

ข้อเสนอแนะ

โปรแกรม TFAP3D สามารถวิเคราะห์โครงสร้างโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุนทั้งสองและสามมิติโดยแสดงค่าคำตอบแบบตารางและแบบกราฟิกของแรงภายในชิ้นส่วนได้อย่างถูกต้อง การเพิ่มความสามารถของโปรแกรมจึงควรพัฒนาในส่วนของการป้อนค่าข้อมูลและการแสดงผล ข้อมูลเพิ่มเติมผ่านหน้าต่างการป้อนข้อมูลแบบปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ เพื่อให้การทำงานสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ดังนี้

1. น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniformly distributed load) และน้ำหนักบรรทุกแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load) ต้องกระทำเต็มชิ้นส่วน โครงสร้างควรจะมีการพัฒนา น้ำหนักบรรทุกดังกล่าวให้กระทำบนชิ้นส่วนแบบไม่เต็มช่วงได้
2. การกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากอุณหภูมิ (temperature load) เป็นค่าความเครียดตามแนวแกน (axial strain) ของชิ้นส่วนหรือค่าความโค้ง (curvature) ของชิ้นส่วนตามที่คำนวณไว้แล้ว ทำให้ไม่สะดวกต่อการป้อนข้อมูล ควรเปลี่ยนเป็นการกำหนดสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนรูปเชิงเส้น (α) อุณหภูมิที่ผิวบนของชิ้นส่วน (T_t) อุณหภูมิที่ผิวล่างของชิ้นส่วน (T_b) และความลึกของชิ้นส่วน (d)
3. กราฟิกของการเคลื่อนที่ (displacement) แสดงได้เฉพาะในส่วนของการเคลื่อนที่ที่จุดต่อ แต่ไม่สามารถแสดงผลการเคลื่อนที่ที่จุดอื่นๆ ในระหว่างจุดต่อได้ ควรจะมีการพัฒนาคำสั่งเพื่อให้สามารถแสดงผลดังกล่าวบนชิ้นส่วนที่ต้องการพิจารณาได้
4. การสร้างรูปร่างของโครงสร้างโดยการพิมพ์ค่าพิคดลงในตารางหรือการป้อนข้อมูลแบบเท็กซ์ไฟล์ควรพัฒนาให้สามารถใช้เมาท์ลากเส้นชิ้นส่วนโครงสร้างจากจุดค่าพิคคตันไปจุดค่าพิคคปลายได้ทันทีบนหน้าต่างแสดงผลกราฟิกเพื่อให้สามารถสร้างรูปร่างของโครงสร้างได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สมโพธิ วิวิธเกษรวงศ์. 2543. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีแมทริกซ์.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สืบสกุล ชรรมาเสถียร. 2540. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สัจจะ จรัสรุ่งเรือง และ จักรพงษ์ สุขประเสริฐ. 2547. เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 7.

Infopress Developer Book Inc., กรุงเทพฯ.

อลงกรณ์ ละม่อม. 2543. พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสุรนารี, นครราชสีมา.

Research Engineer Corp. 2004. **STADD PRO**. Headquarters 22700 Savi Ranch Pkwy, USA.

Berkeley University. 1995. **SAP2000**. Computers and structures Inc, USA.

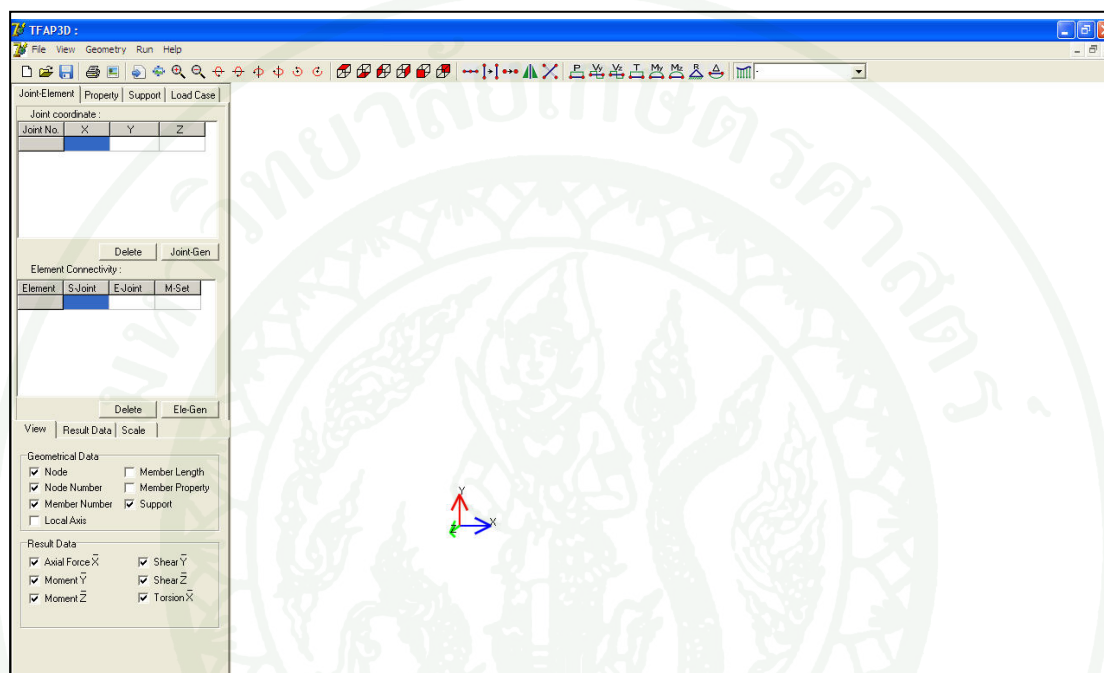
Earl F. Glynn II. 1998. **Efg's Computer Lab**. Available Source :

<http://www.efg2.com/Lab/index.html>, March 2007.



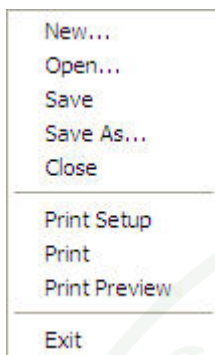
1. ส่วนประกอบของโปรแกรม

ส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรกดังแสดงในภาพที่ 1 มีเมนูสำหรับการเรียกใช้งานในแต่ละส่วนแบ่งเป็นหัวข้อต่างดังนี้



ภาพผนวกที่ 1 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม

- File เป็นส่วนที่ควบคุมและจัดการด้านแฟ้มข้อมูลโดยมีคำสั่งทั้งหมด 9 คำสั่ง



New : ใช้ในกรณีที่ต้องการสร้างแฟ้มข้อมูลใหม่

Open : สำหรับเปิดแฟ้มข้อมูลเก่าที่เคยสร้างไว้แล้ว

Save : สำหรับบันทึกข้อมูลของงานที่กำลังทำอยู่

Save As : สำหรับบันทึกแฟ้มข้อมูลลงในแฟ้มข้อมูลใหม่ หรือต้องการเปลี่ยนชื่อของแฟ้มข้อมูล

Close : เป็นคำสั่งสำหรับปิดหน้าต่างของโปรแกรมที่กำลังทำงานอยู่

Print Setup : เป็นการกำหนดค่าคุณสมบัติและชนิดของเครื่องพิมพ์ที่ใช้งาน

Print : เป็นคำสั่งให้เครื่องพิมพ์พิมพ์รายงานออกมาทางเครื่องพิมพ์

Print Preview : เป็นคำสั่งให้พิมพ์ภาพที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

Exit : เป็นคำสั่งให้ออกจากโปรแกรม

ภาพผนวกที่ 2 แสดงคำสั่งย่อยสำหรับจัดการแฟ้มข้อมูล

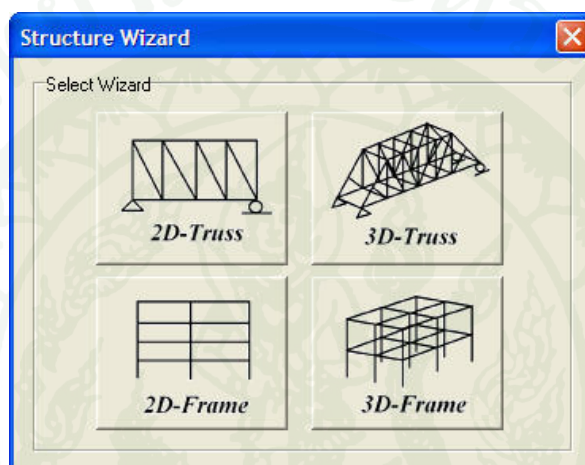
2. การป้อนข้อมูล

2.1 ชื่อโครงการและผู้ทำการวิเคราะห์ สามารถกำหนดได้จากเมนู Project Title ดังนี้

ภาพผนวกที่ 3 การกำหนดชื่อโครงการและผู้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างรวมถึงการกำหนดค่าของหน่วยแรงและหน่วยความยาว

- Project Title : กำหนดชื่อของโครงการ
- Project Location : กำหนดสถานที่ตั้งโครงการ
- Engineer Name : กำหนดชื่อผู้ทำการวิเคราะห์
- Unit Data : กำหนดหน่วยแรงและหน่วยความยาว

2.2 เลือกชนิดของโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย



ภาพผนวกที่ 4 แสดงการเลือกชนิดโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์

- 2D-Truss เลือกโมดูลเพื่อทำการวิเคราะห์โครงข้อหมุนสองมิติ
- 2D-Truss เลือกโมดูลเพื่อทำการวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติ
- 2D-Frame เลือกโมดูลเพื่อทำการวิเคราะห์โครงข้อแข็งสองมิติ
- 3D-Frame เลือกโมดูลเพื่อทำการวิเคราะห์โครงข้อแข็งสามมิติ

2.3 หน้าต่างแสดงแถบเครื่องมือสำหรับกำหนดรูปร่างของโครงสร้างประกอบไปด้วย

2.3.1 ตารางการป้อนค่าพิกัดจุดต่อ (Joint Coordinate) และกำหนดจำนวนชิ้นส่วนจากจุดต่อที่กำหนด (Element Connectivity) ประกอบไปด้วยคำสั่งดังต่อไปนี้

The screenshot shows a software window with four tabs: Joint-Element, Property, Support, and Load Case. The Joint-Element tab is active, displaying two tables. The first table, 'Joint coordinate', has columns for Joint No., X, Y, and Z. The second table, 'Element Connectivity', has columns for Element, S-Joint, E-Joint, and M-Set. Below the tables are buttons for 'Delete', 'Joint-Gen', and 'Ele-Gen'.

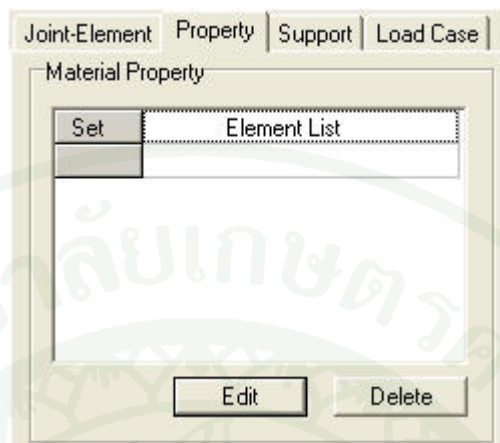
Joint No.	X	Y	Z

Element	S-Joint	E-Joint	M-Set

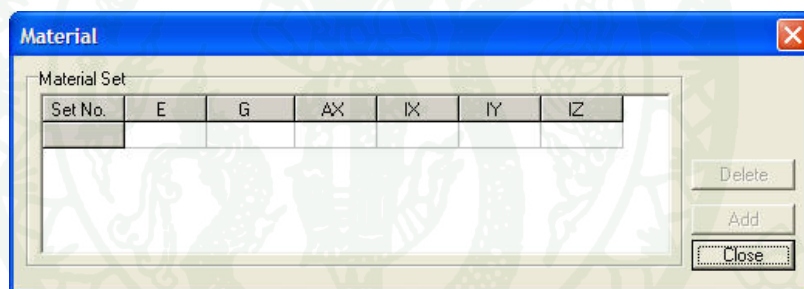
ภาพผนวกที่ 5 แสดงการป้อนค่าพิกัดจุดต่อและจำนวนชิ้นส่วน

- ตาราง Joint-Element เป็นการกำหนดค่าพิกัดการแนวแกน X,Y,Z ของโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับชนิดของโมเดลว่าเป็นโครงสร้าง สองมิติหรือสามมิติ
- ตาราง Element Connectivity เป็นการกำหนดชิ้นส่วนของโครงสร้างจากค่าพิกัดจุดต่อที่ได้กำหนดไว้แล้ว

2.3.2 ตารางการป้อนชนิดและคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่กำหนด



ภาพผนวกที่ 6 แสดงการกำหนดชนิดของชิ้นส่วน โครงสร้าง

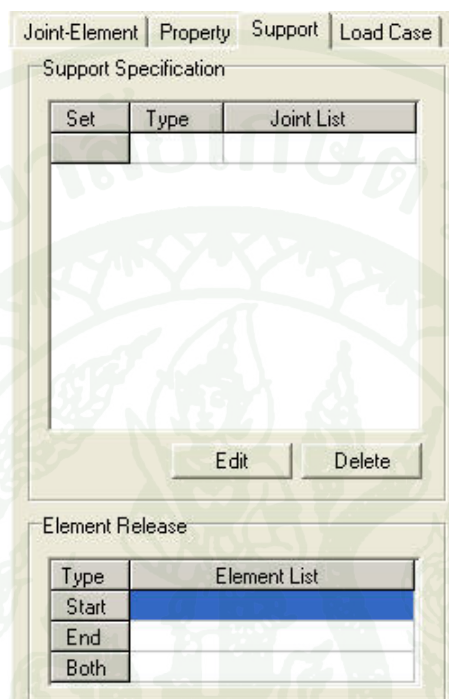


ภาพผนวกที่ 7 แสดงตารางการกำหนดค่าคุณสมบัติของชิ้นส่วน โครงสร้าง

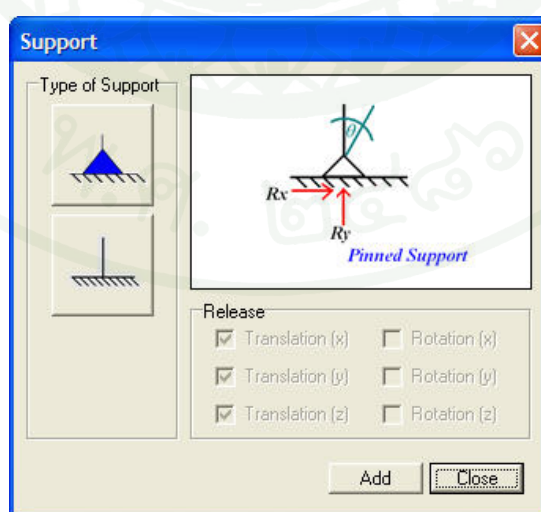
โดยชนิดของโครงสร้างที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับโมดูลที่เลือกทำการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าคุณสมบัติของโครงสร้างคือ

- E คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหน้าตัด
- G คือค่าโมดูลัสแรงเฉือนของหน้าตัด
- AX คือค่าพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
- IX คือโมเมนต์ความเฉื่อยโพลาไรซ์ของชิ้นส่วน
- IY คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน Y ของชิ้นส่วน
- IZ คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน Z ของชิ้นส่วน

2.3.3 ตารางการป้อนข้อมูลของฐานรองรับ ประกอบไปด้วยหน้าต่างสำหรับรับชนิดของฐานรองรับ และหน้าต่างสำหรับกำหนดตำแหน่งของฐานรองรับชนิดต่างๆ รวมถึงสามารถปลดปล่อยชิ้นส่วนโครงสร้างให้เป็นอิสระด้วยคำสั่ง Element Release (release end moment)



ภาพผนวกที่ 8 แสดงการกำหนดตำแหน่งของฐานรองรับแต่ละชนิดและคำสั่ง Element Release



ภาพผนวกที่ 9 แสดงการเลือกชนิดของฐานรองรับแบบต่างๆ

คุณสมบัติของฐานรองรับประกอบไปด้วย

- ฐานรองรับชนิดยึดแน่น (fixed support)
- ฐานรองรับชนิดยึดหมุน (pinned support)
- ฐานรองรับชนิดยึดหมุนเคลื่อนที่ (roller support)

2.3.4 การป้อนข้อมูลค่าน้ำหนักบรรทุกรูปแบบต่างๆ

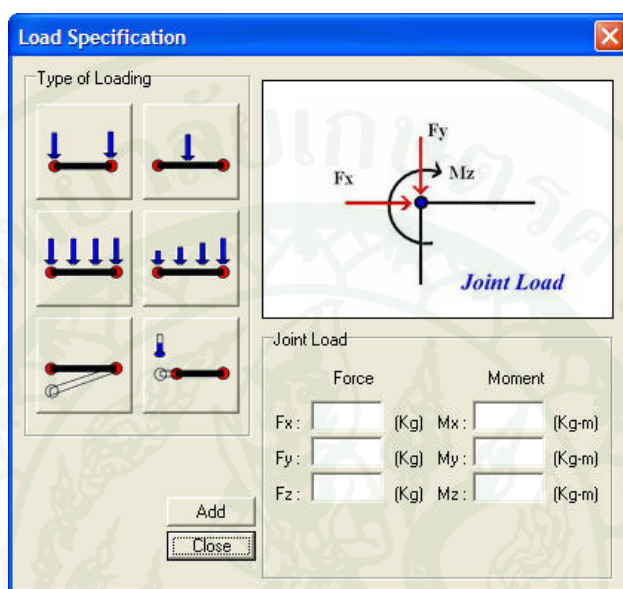
The screenshot shows a software interface for defining load cases. It includes a 'Load Case' tab with fields for 'Load Case No.' (set to 1) and 'Factor' (set to 1.0). There is a 'Section' button. Below this is a table titled 'Type of Load' with columns 'Set', 'Type', and 'Ele/Joint'. Under the table are 'Create' and 'Delete' buttons. At the bottom, there is a 'Load Combination No.' field (set to 1) with 'Add' and 'Delete' buttons.

ภาพผนวกที่ 10 แสดงการป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุกและข้อมูลการรวมน้ำหนักบรรทุก

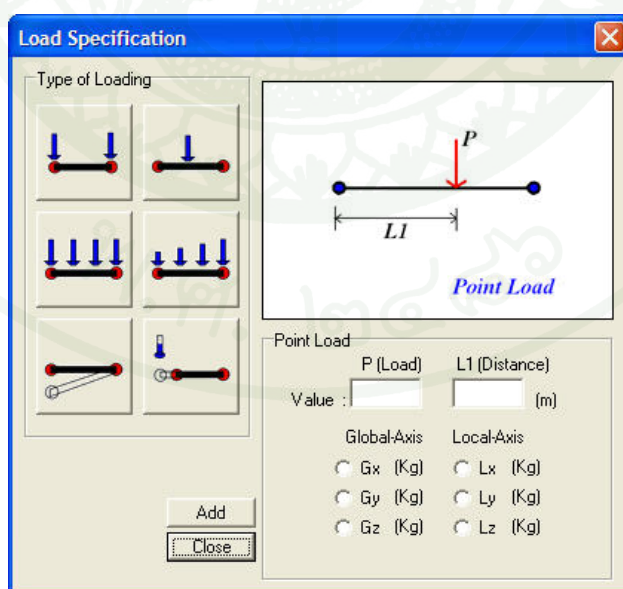
ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของน้ำหนักบรรทุกออกเป็นดังนี้

- น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด (point load)
- น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniform load)
- น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load)
- น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement load)

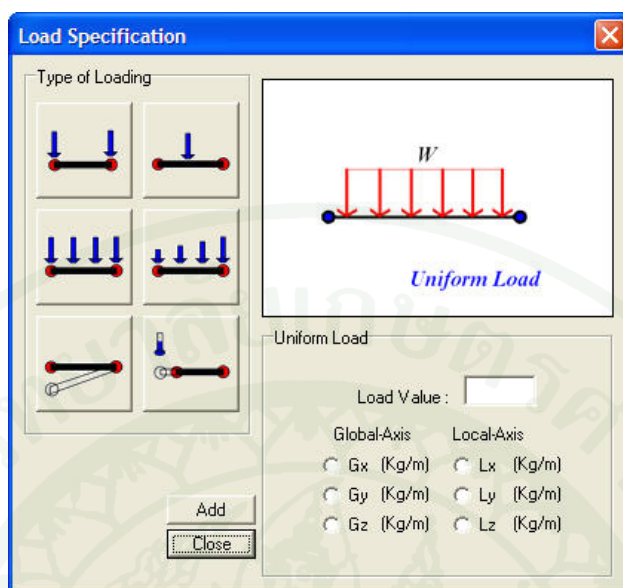
- น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (temperature load)
- รวมน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำต่อชิ้นส่วนแบบต่างๆ (load combination)



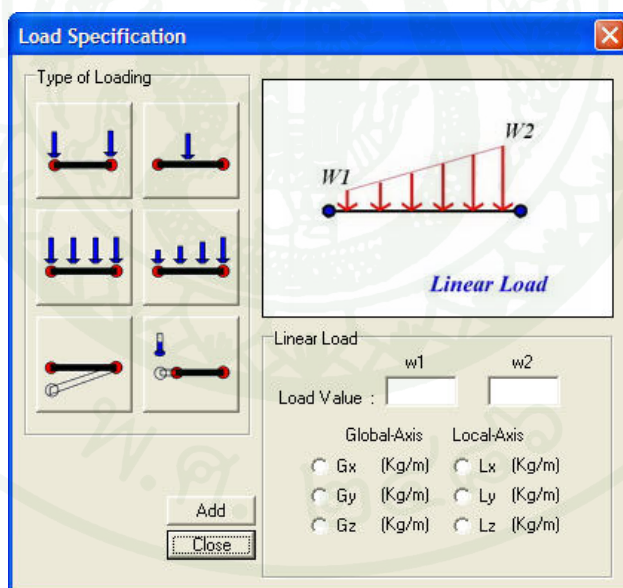
ภาพผนวกที่ 11 น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบจุดกระทำบนจุดต่อ (joint load)



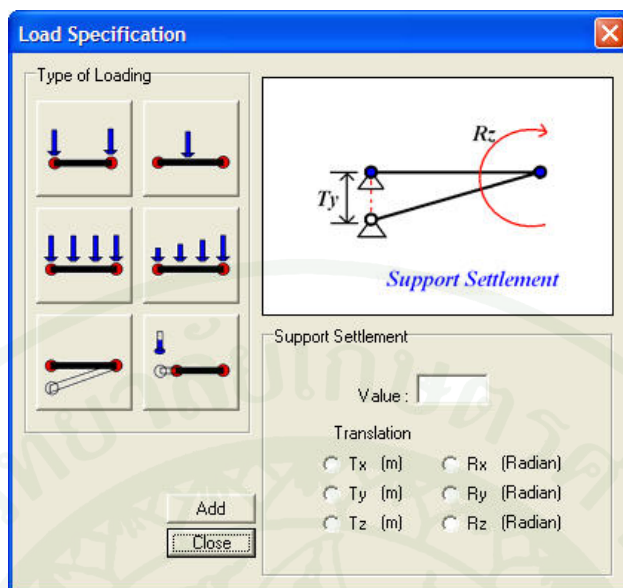
ภาพผนวกที่ 12 น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบจุดกระทำบนชิ้นส่วน (point load)



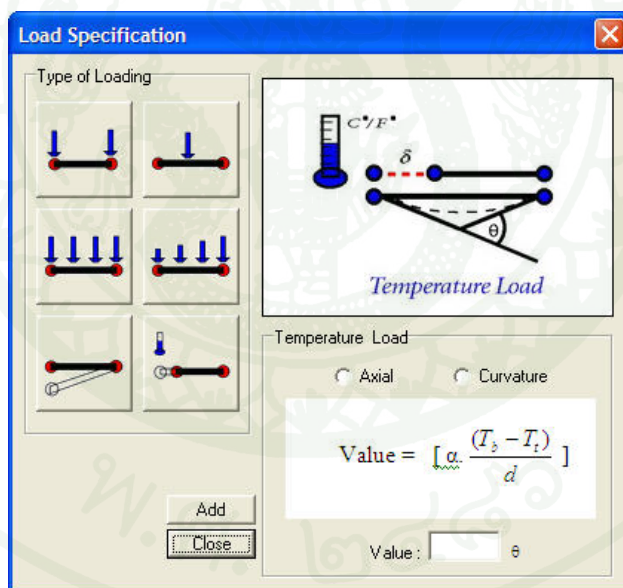
ภาพผนวกที่ 13 นำหนักบรรทุกกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ (uniform load)



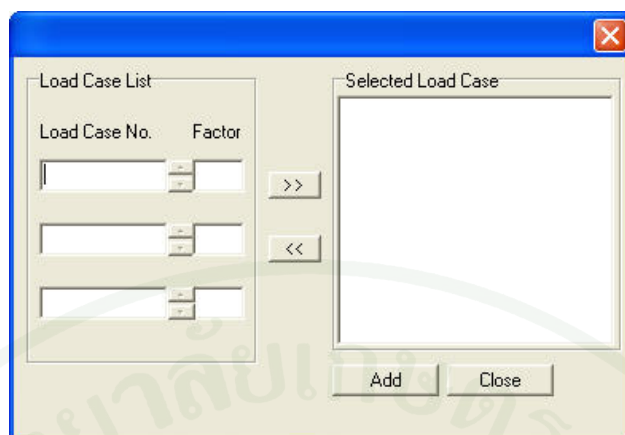
ภาพผนวกที่ 14 นำหนักบรรทุกกระทำแบบแปรเปลี่ยนสม่ำเสมอ (linear varying load)



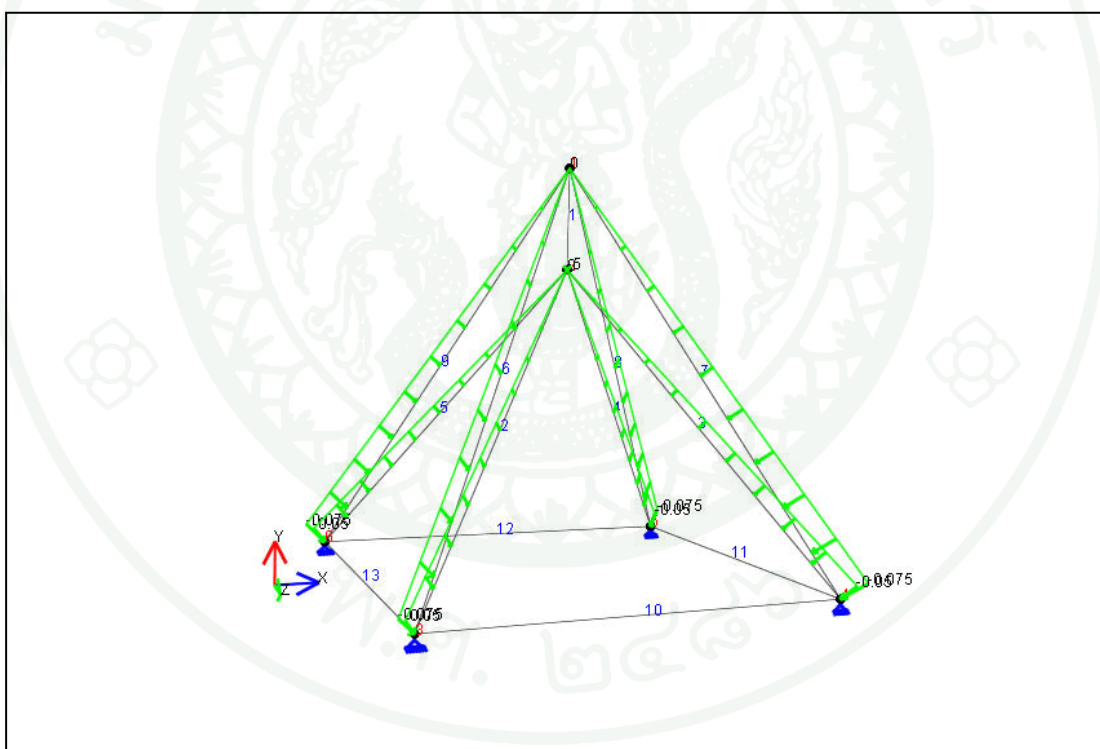
ภาพผนวกที่ 15 น้ำหนักที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรองรับ (support settlement load)



ภาพผนวกที่ 16 น้ำหนักซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (temperature load)



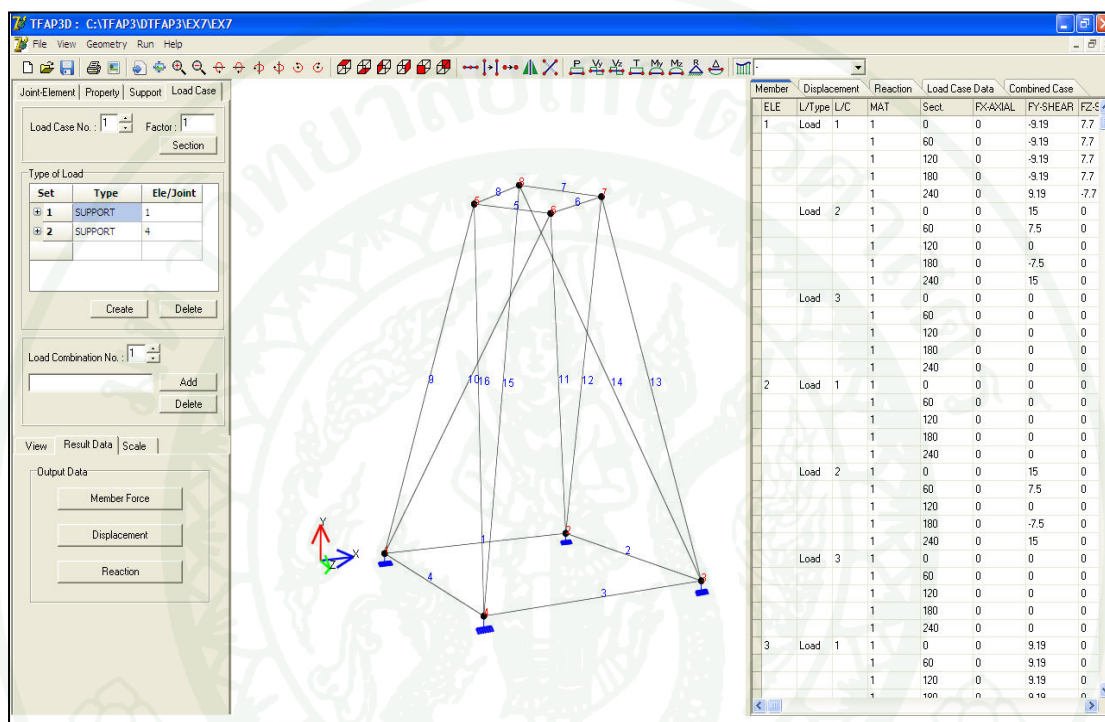
ภาพผนวกที่ 17 แสดงการรวมน้ำหนักบรรทุกแบบต่างๆ



ภาพผนวกที่ 18 แสดงตัวอย่างการใส่น้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆบนโครงข้อหมุนสามมิติ

3. การแสดงผล

3.1 การแสดงผลคำตอบแบบตาราง โดยสามารถดูผลรายการคำนวณได้ผ่านตาราง โดยตรงจากทางหน้าจอและทางเครื่องพิมพ์



ภาพผนวกที่ 19 แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบตารางบนหน้าจอ

```

=====
||      TFAP3D                               Date : 11/10/2009       page < 1 > ||
|| PROJECT :                               ||
|| ENGINEER :                               file name : EX7 ||
=====

```

<< DISPLACEMENT >>

LOAD CASE [1]

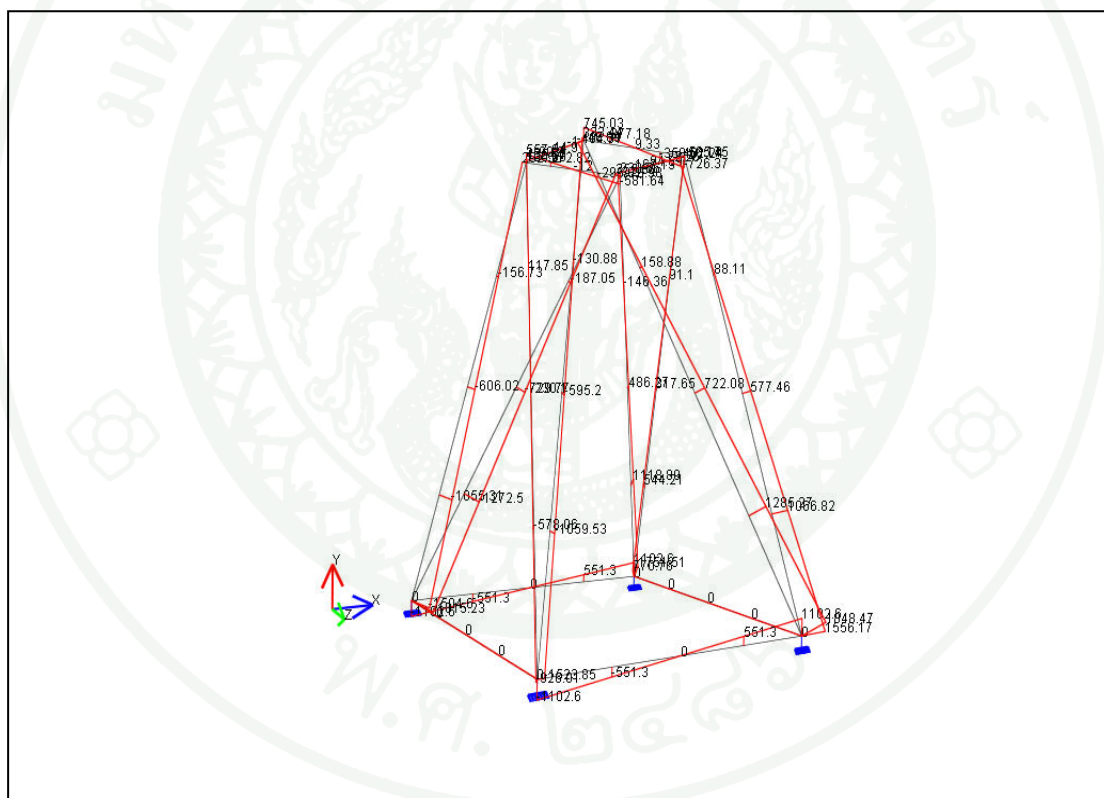
: Load Case factor = 1.00

Node	X-Trans.	Y-Trans.	Z-Trans.	X-Rotat.	Y-Rotat.	Z-Rotat.
1	0.00000	-2.50000	0.00000	0.00000	-0.01745	0.00000
2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.00000	-2.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	-3.67015	-1.77241	-0.01373	-0.00109	-0.00110	0.01260
6	-3.67380	-0.75658	0.00931	-0.00189	-0.00125	0.01287
7	-3.68204	-0.73072	0.00753	0.00026	-0.00048	0.01330
8	-3.68533	-1.75036	-0.01377	-0.00007	0.00082	0.01351

ภาพผนวกที่ 20 แสดงตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ผ่านทางเครื่องพิมพ์

3.2 การแสดงผลคำตอบแบบกราฟิก โดยการแสดงค่าคำตอบของกราฟิกจะประกอบไปด้วย

- แสดงผลกราฟิกของการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (displacement)
- แสดงผลกราฟิกและค่าของโมเมนต์คด (bending moment) ของชิ้นส่วน รอบแกน Y และรอบแกน Z
- แสดงผลกราฟิกและค่าของแรงตามแนวแกน (axial force) ของชิ้นส่วน
- แสดงผลกราฟิกและค่าของแรงเฉือน (shear force) ของชิ้นส่วน แกน Y และแกน Z
- แสดงผลกราฟิกและค่าของแรงบิด (torsion) ของชิ้นส่วนรอบแกน X



ภาพผนวกที่ 21 แสดงตัวอย่างการแสดงผลโครงข้อแข็งสามมิติโมเมนต์คดรอบแกน Z ของชิ้นส่วน

4. คุณสมบัติเพิ่มเติมอื่นๆ

โปรแกรม TFAP3D มีคุณสมบัติเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสร้างรูปร่างของโครงสร้าง ดังนี้

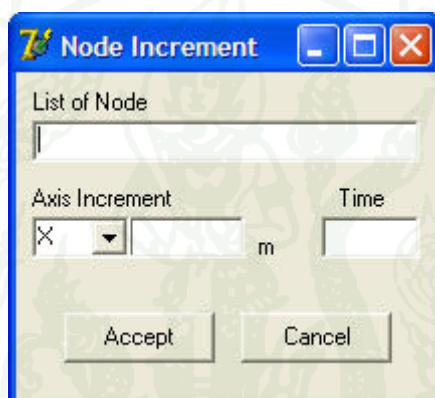
- สามารถสร้างจุดต่อและชิ้นส่วนแบบกำหนดค่าพิกัดที่ละส่วนและแบบแยกชิ้นส่วนอัตโนมัติได้ด้วยคำสั่ง Node Generate และ Element Generate โดยใช้คำสั่ง Start To Finish
- สามารถสร้างจุดต่อซ้ำๆหรือชิ้นส่วนซ้ำๆในแต่ละทิศทางด้วยคำสั่ง Node/Element Increment
- สามารถแบ่งชิ้นส่วนให้เป็นหลายๆส่วนโดยการสร้างจุดต่อและชิ้นส่วนใหม่ได้ด้วยคำสั่ง Cut Member
- สามารถสร้างโครงสร้างสะท้อนในทุกระนาบได้ด้วยคำสั่ง Member Mirror
- สามารถกำหนดให้แสดงกราฟิกในส่วนของ Geometrical Data และแสดงหรือไม่แสดงค่าคำตอบบนกราฟิกของโครงสร้างได้
- สามารถกำหนดสเกลของกราฟิกโครงสร้างทั้งในส่วนของกราฟิกแรงที่กระทำภายนอกและกราฟิกของแรงภายในชิ้นส่วน



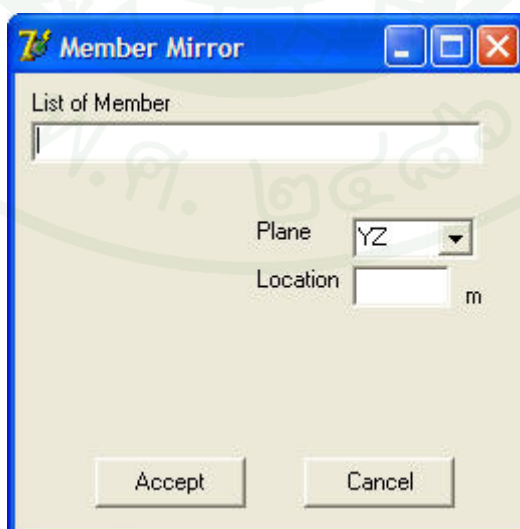
ภาพผนวกที่ 22 แสดงคำสั่งที่ใช้ในการแบ่งชิ้นส่วนให้เป็นหลายๆส่วน (cut member)



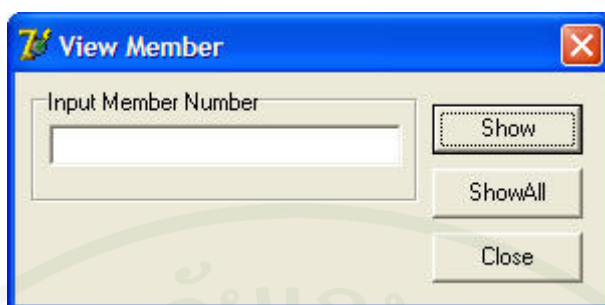
ภาพผนวกที่ 23 แสดงคำสั่งในการทำซ้ำชิ้นส่วนต่างๆ



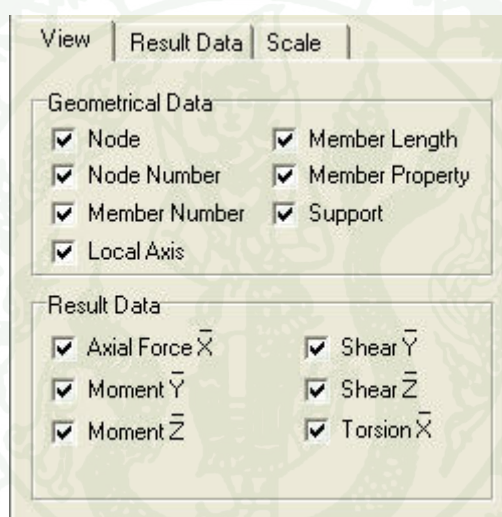
ภาพผนวกที่ 24 แสดงคำสั่งในการทำซ้ำจุดต่อต่างๆ



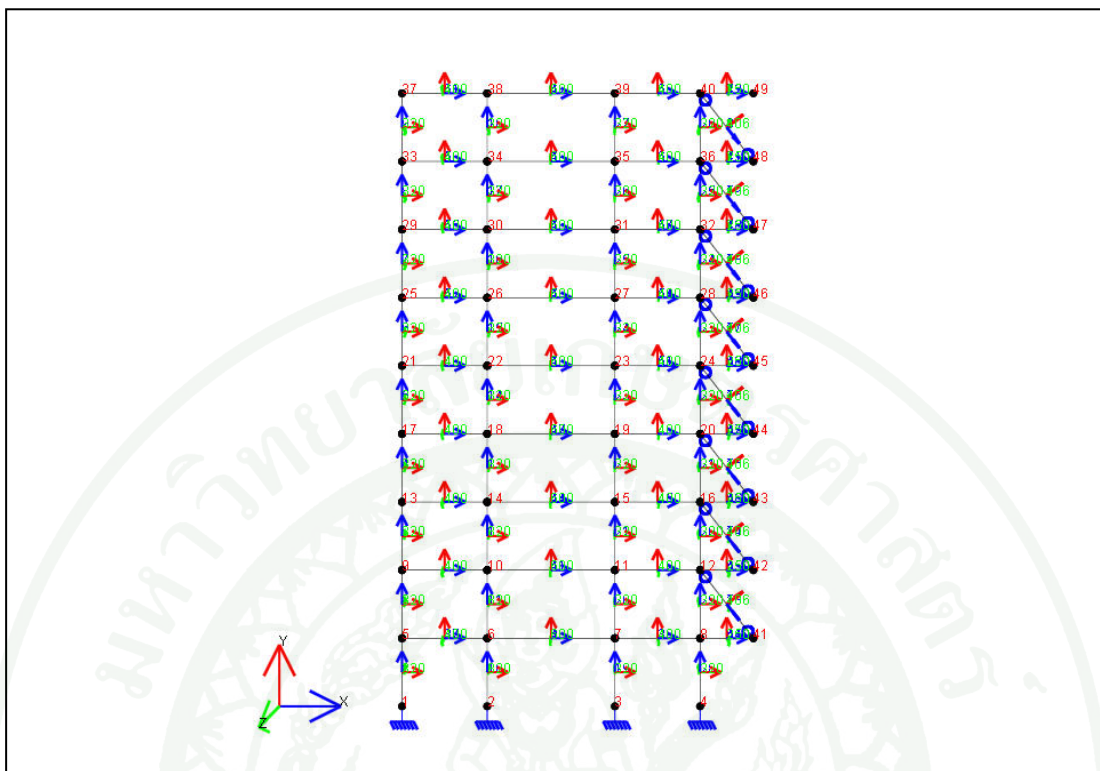
ภาพผนวกที่ 25 แสดงคำสั่งการสร้างโครงสร้างสะท้อนในทุกระนาบ



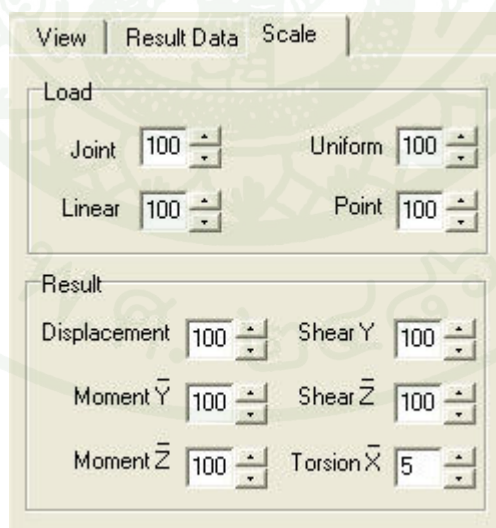
ภาพผนวกที่ 26 แสดงคำสั่งแสดงกราฟิกชิ้นส่วนเฉพาะที่ต้องการแสดงผลบนหน้าจอ



ภาพผนวกที่ 27 ชนิดของ Geometrical Data และ Result Data ของกราฟิกที่สามารถแสดงได้บน
โครงสร้าง



ภาพผนวกที่ 28 แสดงกราฟิกของการเลือก Geometrical Data แบบต่างๆ



ภาพผนวกที่ 29 แสดงการกำหนดค่าของกราฟิกของแรงที่กระทำภายนอกและของแรงภายใน
ชิ้นส่วน

ประวัติศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายศศกร สิริโยชิน
เกิดวันที่	30 กันยายน 2519
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยรังสิต
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรโยธา
ผลงานดีเด่นและ/หรือผลงานทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-