สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอกสารและสื่ออิเล็กทรอนิกส์การใช้งานโปรแกรม SAP2000 เพื่อประกอบการสอนวิชาโครงสร้าง

DOCUMENTATION AND MULTIMEDIA OF SAP2000 AND THEIR APPLICATION FOR AS A PART OF THE STRUCTURE SUBJECT

T058562

โดย

นาย ภานุมาศ พรทอง

นาย ภูวเดช ไพศาลวัชรกิจ

นาย อภินันท์ ดวงสนิท

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 58562
วัน,เดือน,ปี 25 ส.ค. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.....
i.....

DOCUMENTATION AND MULTIMEDIA OF SAP2000 AND THEIR APPLICATION FOR AS A PART OF THE STRUCTURE SUBJECT

MR. PANUMAS PORNTONG
MR. PUWADAJ PAISANWATCHARAKIJ
MR. APINAN DUANGSANIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGIUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เอกสารและสื่ออิเล็กทรอนิกส์การใช้งานโปรแกรม SAP2000 เพื่อประกอบการสอนวิชาโครงสร้าง		
นักศึกษา	นาย ภานุมาศ พรทอง	รหัสนักศึกษา	43010730
	นาย ภูวเดช ไพศาลวัชรกิจ	รหัสนักศึกษา	43010732
	นาย อภินันท์ ดวงสนิท	รหัสนักศึกษา	43010833
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ทรงกลด แซ่อึ้ง		

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	
ผศ.ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	
อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เอกสารและสื่ออิเล็กทรอนิกส์การใช้งานโปรแกรม SAP2000 เพื่อประกอบการสอนวิชาโครงสร้าง DOCUMENTATION AND MULTIMEDIA OF SAP2000 AND THEIR APPLICATION FOR AS A PART OF THE STRUCTURE SUBJECT
นักศึกษา	นาย ภานุมาศ พรทอง รหัสนักศึกษา 43010730
	นาย ภูวเดช ไพศาลวัชรกิจ รหัสนักศึกษา 43010732
	นาย อภินันท์ ดวงสนิท รหัสนักศึกษา 43010833
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ทรงกลด แซ่อึ้ง
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2546

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการใช้งานเกี่ยวกับโปรแกรม SAP2000 ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยการศึกษาโปรแกรมจะแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1. ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้าง 2. วิธีการใช้งานทั่วไปของโปรแกรม และ 3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ โดยโครงสร้างที่นำมาศึกษาเป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ ได้ใช้โครงสร้างหลายชนิด และมีการจัดทำคู่มือและสื่อการสอนวีดีทัศน์ เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถใช้โปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้เห็นภาพโดยรวมของโครงสร้างได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : DOCUMENTATION AND MULTIMEDIA OF SAP2000 AND THEIR APPLICATION FOR AS A PART OF THE STRUCTURE SUBJECT

Name : MR. PANUMAS PORNTONG
MR. PUWADAJ PAISANWATCHARAKIJ
MR. APINAN DUANGSANIT

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MR. SONGGLOD SAE-UENG

ABSTRACT

This special project aims to study the applicability of SAP2000 program in order to perform structural analysis. The program study is composed of three main sections, which are 1) theories of structural analysis using in SAP2000, 2) general applications of the program, and 3) consequence analysis. Then, the next step is documenting manual and multimedia so that a user can apply the program effectively and better visualize general concept of a structure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ คุณความดีขอมอบให้แก่บุคคลผู้ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนแนะนำในด้านต่าง ๆ ต่อผู้จัดทำดังนี้

อาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้คำชี้แนะ, ดูแลความเรียบร้อยและให้ข้อมูลต่าง ๆ รุ่นพี่ที่ให้คำปรึกษา

เพื่อน ๆ ภาคโยธาที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และโปรแกรมต่าง ๆและที่ขาดเสียมิได้คือ บุพการี ผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านการเงินและกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านไม่มากก็น้อย คุณความดีของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้มุ่งมั่นในการถ่ายทอดความรู้ตราบจนวันสุดท้ายของภาคเรียน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อ	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
1.	บทนำ	1
	1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์	1
	1.3. ขอบเขตการศึกษา	2
	1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
	1.4.1. ศึกษาคู่มือโปรแกรม SAP2000	2
	1.4.2. เรียบเรียงและจัดหมวดหมู่ของคู่มือ	2
	1.4.3. คัดเลือกแบบฝึกหัดวิชาโครงสร้าง	3
	1.4.4. วิเคราะห์ผลลัพธ์ระหว่างทฤษฎีกับผลลัพธ์ของโปรแกรม	3
	1.4.5. คัดเลือกโปรแกรมที่จะใช้ทำสื่อวีดีทัศน์	3
	1.4.6. จัดทำสื่อวีดีทัศน์	3
2.	**การจัดการสื่ออิเล็กทรอนิกส์**	4
	2.1. ความหมายของสื่อการสอน	4
	2.2. การพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3. ความหมายของสื่อการสอน CAI (Computer Assisted Instruction Media)	4
	2.4. รูปแบบของสื่อการสอน CAI	5
	2.5. คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่ผู้สอนต้องการ	6
	2.6. คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่นักศึกษาต้องการ	7
	2.7. โปรแกรมที่ใช้ในการจัดทำวีดีทัศน์	7
	2.7.1. ลักษณะการทำงานของโปรแกรม techsmith camtasia studio และ โปรแกรม Hyper snap	8
	2.7.2. ลักษณะการใช้งาน	8
	2.7.3. ข้อดีข้อเสียของโปรแกรม techsmith camtasia studio	8
	2.7.4. ข้อเสียของโปรแกรม techsmith camtasia studio	9
	2.7.5. ข้อดีของโปรแกรม Hyper snap	9
	2.7.6. ข้อเสียของโปรแกรม Hyper snap	9
	2.7.7. ผลที่ได้	9
3.	**ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์**	10
	3.1. บทนำ	10
	3.2. เอลิเมนต์ท่อนโลหะ	11
	3.3. เอลิเมนต์คาน	13
	3.4. เอลิเมนต์คานที่มีโมเมนต์ดัดและน้ำหนักกระทำตามแนวแกน	17
	3.5. ชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง	18
4.	**โครงสร้างของโปรแกรม**	22
	4.1. ขั้นตอนการทำงานโดยใช้โปรแกรม SAP2000	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2. ส่วนประกอบของโปรแกรม SAP 2000	24
	4.2.1. เมนูหลัก (Main menu)	24
	4.2.2. แถบเครื่องมือ (Toolbar)	25
	4.2.3. จอแสดงผล	29
	4.3. เมนูการใช้งานเบื้องต้น	30
	4.3.1. File Menu	30
	4.3.2. Edit Menu	31
	4.3.3. View Menu	32
	4.3.4. Define Menu	33
	4.3.5. Draw Menu	34
	4.3.6. Select Menu	35
	4.3.7. Assign Menu	35
	4.3.8. Analyze Menu	36
	4.3.9. Display Menu	36
	4.3.10. Design Menu	37
	4.3.11. Option Menu	38
5.	**การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโปรแกรมกับการคำนวณ**	
	5.1. การคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000	39
	5.2. การคำนวณโดยทฤษฎี	43
6.	**สรุปผลงาน**	
	6.1. สรุปผลงาน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	6.2. ปัญหาและแนวทางแก้ไข	60
	6.3. แนวทางในการพัฒนาต่อ	60
	บรรณานุกรม	62
	ภาคผนวก คู่มือการใช้โปรแกรม	ผ-1
	1. คู่มือการใช้งานกราฟฟิก	ผ-1
	1.1. File Menu	ผ-1
	1.1.1. การเลือกโครงสร้างใน template	ผ-1
	1.1.2. การเรียกใช้ข้อมูล DXF File	ผ-2
	1.1.3. การเรียกข้อมูลของ SAP2000 ใน dos	ผ-2
	1.1.4. การ Export AVI file	ผ-2
	1.1.5. การทำภาพเคลื่อนไหวแบบ Animation	ผ-3
	1.2. Edit Menu	ผ-3
	1.2.1. คำสั่ง Undo และ Redo	ผ-3
	1.2.2. Cut, Copy, and Paste	ผ-4
	1.2.3. การ Delete Members	ผ-4
	1.2.4. การเพิ่ม Template ใน model ที่เรามีอยู่	ผ-4
	1.2.5. Move	ผ-4
	1.2.6. Replicate	ผ-4
	1.2.6.1. Replicate in a Linear Array	ผ-5
	1.2.6.2. Replicate in a Radial Array	ผ-5
	1.2.6.3. Replicate in a Radial Array by Shifting the Origin	ผ-5
	1.2.6.4. Replicate by Using the Mirroring Option	ผ-6
	1.2.7. Merge Joint	ผ-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
1.2.8. Automatic Meshing	ผ-6
1.2.8.1. Divide or Break Frames	ผ-7
1.2.8.2. Mesh Shells	ผ-7
1.2.8.3. การแบ่งโดยการใช้การเลือก Joint จากขอบโครงสร้าง	ผ-8
1.2.8.4. การแบ่งโดยการใช้ Grid ที่ตัดกัน	ผ-8
1.2.8.5. Join Frames	ผ-8
1.2.8.6. Disconnect	ผ-8
1.2.8.7. Connect	ผ-9
1.2.8.8. Show Duplicate	ผ-9
1.2.9. การแบ่งหมวดหมู่ Joint และ Element	ผ-9
1.2.10. Re-Label Previously Assigned Labels	ผ-9
1.3. View menu	ผ-10
1.3.1. Select 3D Views	ผ-10
1.3.2. Select 2D Views	ผ-10
1.3.3. Set Elements	ผ-10
1.3.4. Set Limits	ผ-11
1.4. Define Menu	ผ-11
1.4.1. Define Materials	ผ-11
1.4.1.1. Add a New Steel Material Type	ผ-12
1.4.1.2. การ Set ค่า new concrete	ผ-12
1.4.2. Define Section Properties	ผ-13
1.4.2.1. Define Frame Section Properties	ผ-13
1.4.2.2. หน้าตัดใหม่จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Name list box	ผ-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง หน้า

1.4.2.3. Add a Frame Section by defining the dimensions and/or properties manually ผ-14

1.4.2.4. ใน Concrete section ผ-14

1.4.3. Define group Name ผ-15

1.4.4. Define Static Load Cases ผ-15

1.4.5. Bridge Analysis ผ-16

1.4.6. Define Lanes ผ-16

1.4.7. Define Vehicles ผ-17

1.4.7.1. สำหรับการตั้งค่า New standard Vehicle ผ-17

1.4.7.2. สำหรับการตั้งค่า New General Vehicle ผ-17

1.4.8. Define Vehicle Classes ผ-18

1.4.9. Define Bridge Response ผ-19

1.4.10. Define Moving Loads ผ-19

1.4.11. Define Joint Patterns ผ-20

1.5. Draw Menu ผ-20

1.5.1. Draw Mode ผ-20

1.5.1.1. Draw Members ผ-21

1.5.1.2. Reshape Element ผ-21

1.5.1.3. Add Special Joints ผ-21

1.5.1.4. Draw a Frame Element from Joint to Joint ผ-22

1.5.1.5. Draw a Quick Frame Element ผ-22

1.5.1.6. Draw a Shell Element between 4 Joints ผ-22

1.5.1.7. Draw a Rectangular Shell Element ผ-23

1.5.1.8. Draw an NLLink Element ผ-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
1.5.2. Edit Grids	ผ-24
1.5.3. Snap Tools	ผ-25
1.6. Select menu	ผ-25
1.6.1. การเลือกวัตถุ โดยใช้ window	ผ-25
1.6.2. การเลือกวัตถุโดยใช้ระนาบ 2 มิติ	ผ-25
1.6.3. Select All objects	ผ-26
1.7. Assign menu	ผ-26
1.7.1. การกำหนดคุณสมบัติหน้าตัด	ผ-26
1.7.2. การกำหนดข้อบังคับใน Joint	ผ-27
1.7.3. การลบหรือเปลี่ยนข้อกำหนดของ Joint	ผ-27
1.7.4. การกำหนดมวลของ Joint	ผ-28
1.7.5. Assign Joint Restraints	ผ-28
1.7.6. Assign Joint Patterns	ผ-28
1.7.7. Assign Local Axe for Joints	ผ-29
1.7.8. Assign Local Axes for Frame Elements	ผ-29
1.7.9. Assign Frame Prestress	ผ-29
1.7.10. Assign Loads or Displacements to Joints	ผ-30
1.7.11. Assign Gravity Load to Frame	ผ-30
1.7.12. Assign Point and Uniform Loads to Frames	ผ-31
1.7.13. การใส่ load รูปสี่เหลี่ยมคางหมู ใน Frames	ผ-31
1.7.14. Assign Temperature Loads to Frames	ผ-32
1.8. Display Menu	ผ-32
1.8.1. Display Input in Tabular Format	ผ-33
1.8.2. Display Static Deformed Shape	ผ-33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2.	**คู่มือการใช้งานเบื้องต้น**	ผ-34
	2.1. คำอธิบายแบบตัวอย่าง	ผ-34
	2.2. เริ่มการสอน	ผ-34
	2.3. การตั้งค่าทางเรขาคณิต	ผ-36
	2.4. คำนิยามของหน้าตัดวัตถุสำหรับก่อสร้าง	ผ-37
	2.5. การกำหนดชิ้นส่วนหน้าตัด	ผ-41
	2.6. Defining Load Cases	ผ-46
	2.7. Assigning Joint Loads	ผ-48
	2.8. Analyzing the Model	ผ-51
	2.9. การแสดงลักษณะที่ผิดรูปร่าง	ผ-53
	2.10. Displaying Member Forces	ผ-60
	2.11. Design Stress Check	ผ-62
	2.12. Modifying the Structure	ผ-66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาของปัญหา

เนื่องด้วยปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศมีความสำคัญอย่างยิ่งทุกสาขาวิชา และจุดนี้เองทำให้เกิดการเรียนการสอนแบบใหม่ขึ้น เพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทางผู้จัดทำโครงงานจึงมีความคิดที่จะปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสื่อการเรียนการสอนแบบเก่า ซึ่งจะช่วยให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในทางปฏิบัติ ขั้นตอนของการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างอาจต้องทำย้อนกลับไปกลับมา เพื่อให้ได้ขนาดรูปตัดของส่วนโครงสร้างที่ประหยัด เหมาะสมกับการใช้งานและสอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจริง

การใช้โปรแกรม SAP2000 คำนวณจะทำให้เรารู้พฤติกรรมของโครงสร้างว่าจะได้รับผลกระทบจากแรงที่กระทำอย่างไรบ้าง ทำให้เราสามารถพิจารณาได้ว่าโครงสร้างจะมีแนวโน้มที่จะวิบัติตรงส่วนไหน และแสดงผลเป็นภาพ 2 มิติ หรือ 3 มิติได้ทำให้สามารถเห็นภาพโดยรวมได้

1.2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ได้แก่

1. ช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถเรียนรู้การใช้งานโปรแกรม SAP2000 ได้รวดเร็วขึ้น
2. นำโปรแกรม SAP2000 มาใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างได้โดยใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์และตัวอย่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้
3. ศึกษาโปรแกรม SAP2000 และจัดทำคู่มือการใช้งานภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาแบ่งออกเป็น

1. ศึกษาตัวโปรแกรม SAP2000 พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งานภาษาไทย
2. จัดทำตัวอย่างการวิเคราะห์โครงสร้างชนิดต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม SAP2000
3. จัดทำสื่อช่วยสอนโปรแกรมในรูปแบบ VCD มัลติมีเดีย

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. รวบรวมเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม SAP2000
2. ศึกษาทฤษฎีหรือหลักการที่ใช้ในโปรแกรม SAP2000
3. ทดสอบการใช้งานโปรแกรม SAP2000
4. วิเคราะห์ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้
5. จัดทำคู่มือการสอนฉบับภาษาไทย
6. จัดทำสื่อการสอน VCD

1.4.1. รวบรวมเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม SAP2000

ทำการศึกษาคู่มือโปรแกรม SAP2000 ในแต่ละหมวด เรียบเรียงและจัดหมวดหมู่ของคู่มือ โดยจะแบ่งเป็นหัวข้อย่อย ๆ เช่น ระบบพิกัด, การแสดงผลทางจอภาพ, แถบเครื่องมือหลัก เป็นต้น

1.4.2. ศึกษาทฤษฎีหรือหลักการที่ใช้ในโปรแกรม SAP 2000

ทำการศึกษาทฤษฎีในการคำนวณโครงสร้าง และการออกแบบโครงสร้าง ที่ถูกนำมาใช้ในการทำงานของโปรแกรม SAP2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3. ทดสอบการใช้งานโปรแกรม SAP2000

ทำการทดลองใช้งานโปรแกรม ตามที่ได้ทำการศึกษามา เพื่อทดสอบว่าโปรแกรมสามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพหรือไม่ หรือมีปัญหาในส่วนใดบ้าง

1.4.4. วิเคราะห์ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้

การคำนวณผลลัพธ์โดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้างและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ผลลัพธ์ของโปรแกรมว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันหรือไม่

1.4.5. จัดทำคู่มือการสอนฉบับภาษาไทย

จัดเรียบเรียงชุดคำสั่งต่างๆ ที่ศึกษา และจัดทำเป็นคู่มือการใช้งานภาษาไทย เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถที่จะศึกษาได้เข้าใจได้รวดเร็ว

1.4.6. จัดทำสื่อการสอน VCD

คัดเลือกโปรแกรมที่จะใช้ในการทำสื่อวีดีทัศน์ และจัดทำสื่อวีดีทัศน์เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในรูปตัวอย่างของการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยโปรแกรมที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติดังนี้

- มีรูปแบบการใช้งานง่าย รวดเร็วและน่าสนใจ
- มีฟังชันการใช้งานที่ต้องการเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การจัดการสื่ออิเล็กทรอนิกส์

2.1. ความหมายของสื่อการสอน

คำว่า สื่อการสอน (Media) หมายถึงสิ่งใดก็ตามไม่ว่าจะเป็นวัสดุ (Software) อุปกรณ์ (Hardware) หรือแม้แต่วิธีการ (Techniques or Methods) ที่เป็นตัวกลางในกระบวนการเรียนการสอน เพื่อทำให้นักเรียนบรรลุผลตามจุดมุ่งหมายของการเรียน

2.2. การพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบันการใช้คอมพิวเตอร์เป็นที่แพร่หลายอย่างมากในทุกวงการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถาบันการศึกษา มีการใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อการเรียนการสอนหรือเป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูล เพราะคอมพิวเตอร์สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก มีระบบจัดการข้อมูลที่ดี และยังมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายอีกด้วย ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์จะมุ่งไปยังคอมพิวเตอร์โดยการพัฒนาคอมพิวเตอร์ให้เป็นสื่อการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพ

2.3. ความหมายของสื่อการสอน CAI (Computer Assisted Instruction Media)

คำว่า CAI ย่อมาจาก Computer Assisted Instruction แปลตามศัพท์ คือ คอมพิวเตอร์ช่วยการสอน พูดให้ได้ใจความและก็มีความหมายลึกก็คือ การนำคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งเข้ามาช่วยในการเรียนการสอนของนักศึกษาและผู้สอน โดยมีผู้สอนหรือผู้มีความรู้เป็นผู้ผลิตสื่อขึ้นมาแล้ว นำไปให้นักศึกษาได้เรียนโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางในการนำกระบวนการการเรียนการสอนของผู้สอนไปสู่นักศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. รูปแบบของสื่อการสอน CAI

คำว่ารูปแบบ หมายถึง แบบแผนหรือแนวปฏิบัติ หรือข้อกำหนดที่สามารถปรับเข้ากับสภาวะจริง การสร้างสื่อ CAI ควรทำให้บรรลุผลตามจุดมุ่งหมายมากที่สุดจึงจะเป็นสื่อการสอนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสิ่งต่างๆ ที่ผู้สอนทำอยู่แล้ว สามารถนำมาทำสื่อ CAI ได้ เช่น

1. บทเรียนสำเร็จรูป หรือบทเรียนโปรแกรม
2. ชุดการเรียนการสอน
3. บทเรียนโมดูล (Module)
4. บัตรคำ แผนภูมิ หรือสื่ออะไรก็ได้ที่อาจารย์ผลิตอยู่แล้ว

สื่อต่างๆ เหล่านี้อาจารย์ก็ทำกันปกติแล้ว แต่จะจัดทำในกระดาษแล้วทำเป็นรูปเล่ม แต่ถ้าเรานำมาประยุกต์ ปรับปรุง แล้วให้เรียนกันในคอมพิวเตอร์ก็สามารถเป็นสื่อ CAI ได้แล้ว ส่วนรูปแบบที่นิยมในการสร้างสื่อ CAI เป็นดังนี้

1. การนำเสนอเนื้อหา (Knowledge Presentation)

การสร้างเนื้อหาต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์ หรือความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ส่วนเนื้อหาไม่ควรมีเฉพาะข้อความเพียงอย่างเดียว แต่เนื้อหาควรจะมีสิ่งต่อไปนี้ด้วย เช่น มีภาพประกอบ มีเสียงหรือมีภาพยนตร์ประกอบด้วยถึงจะเรียกว่าเนื้อหาที่ดีและเหมาะสมกับความสามารถของสื่อการสอนแบบคอมพิวเตอร์

2. การโต้ตอบกับผู้เรียน (Interactivity)

โดยปกติการสอนที่ดี ควรเป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้นักศึกษาได้แสดงความคิดเห็นโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนได้ ฉะนั้นสื่อ CAI ที่ดีควรให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการคิดแก้ปัญหา นั่นคือ มีการโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับสื่อ CAI ซึ่งปัจจุบันโปรแกรมที่ใช้สร้างสื่อ CAI สามารถสร้างการโต้ตอบดังกล่าวได้และทำได้ดีเสียด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดและประเมินผล (Evaluation)

หลังจากผู้เรียนได้เรียนเนื้อหาหรือได้ใช้สื่อ CAI แล้ว สิ่งที่ผู้เรียนจะบอกผู้สอนได้ว่าเขาไปสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้หรือไม่ นอกจากการสังเกต สัมภาษณ์พูดคุยแล้ว สิ่งที่วัดได้เป็นรูปธรรมก็คือแบบทดสอบหรือข้อสอบหลังจากใช้สื่อ CAI แล้ว อาจไม่ใช่วิธีการวัดผลที่ดีที่สุด แต่ก็ถือว่าเป็นที่นิยมกัน ส่วนวิธีทดสอบอาจารย์ผู้สอนจะใช้แบบไหนก็ได้แต่ขอให้ยึดหลักการวัดผล ดังนี้

- วัดได้ตรงวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
- ใช้เครื่องมือที่ดี ส่วนมากที่นิยมคือ ข้อสอบหรือแบบทดสอบ แต่อย่าไปยึดเป็นรูปแบบตายตัว จะเป็นเครื่องมืออะไรก็ได้ แต่ขอให้ผู้เรียนสามารถสื่อสารให้เราเข้าใจว่าเขารู้เรื่องในสิ่งที่เราสอน เช่น เป็นการสร้างสถานการณ์แล้วให้วิเคราะห์หาสาเหตุแก้ปัญหา นี่ก็ถือว่าเป็นเครื่องมือที่ดีแล้ว ไม่จำเป็นต้องยึดข้อทดสอบหรือแบบทดสอบเสมอไป
- ใช้ผลการวัดให้คุ้มค่า ควรวัดผลเพื่อค้นหาและพัฒนาผู้เรียนเป็นหลัก

2.5. คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่ผู้สอนต้องการ

คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่ผู้สอนต้องการ ได้แก่

1) สามารถดึงดูดความสนใจจากผู้ฟัง(นักศึกษา) ได้ ทำให้การเรียนการสอนน่าสนใจ น่าติดตามมากขึ้น
2) สื่อการเรียนการสอนควรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เพื่อให้ง่ายต่อการขนย้ายและการจัดเก็บ และสะดวกในการสลับสับเปลี่ยนสื่อการเรียนการสอนแต่ละชิ้น ทั้งนี้เนื่องจากในการเรียนการสอนแต่ละครั้งมักจะใช้สื่อการเรียนการสอนมากกว่า 1 ชิ้น การที่สื่อมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จึงไม่สะดวกต่อการสับเปลี่ยนในระหว่างการเรียนการสอน
3) ปรับปรุงและพัฒนาได้ง่าย เป็นไปได้ยากมากที่สื่อการเรียนการสอนซึ่งทำขึ้นในครั้งแรกจะสมบูรณ์ครบถ้วน มักต้องมีการแก้ไขปรับปรุง เพื่อเพิ่มประเด็นที่ตกหล่นไปหรือบกพร่องไม่สมบูรณ์ หรือบางครั้งข้อมูลในสื่อเป็นข้อมูลที่เก่าเกินไป และได้มีข้อมูลใหม่กว่าออกมาเผยแพร่ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สื่อการเรียนการสอนทันสมัยทันต่อเหตุการณ์
4) มีความแข็งแรงทนทาน ด้วยเหตุที่ต้องมีการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขสื่อการเรียนการสอนให้ทันสมัยอยู่เสมอ ซึ่งการปรับปรุงแก้ไขแต่ละครั้งย่อมสร้างความเสียหายให้แก่ตัวสื่อการเรียนการสอนบ้างไม่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็น้อย ดังนั้นสื่อการเรียนการสอนจึงต้องมีความแข็งแรงทนทานเพื่อรองรับการแก้ไขปรับปรุงเหล่านั้น สื่อการเรียนการสอนที่บอบบางไม่แข็งแรงทนทานจะทำให้การปรับปรุงแก้ไขทำได้ยาก ต้องการความประณีตสูง ประกอบกับในการใช้งานสื่อการเรียนการสอนจำเป็นจะต้องเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง จึงเป็นเหตุให้สื่อชำรุดเสียหายจากการกระแทรกหรือตกหล่น

5) ค่าใช้จ่ายต่ำ ถึงแม้ว่าจะสามารถสร้างสื่อการเรียนการสอนที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นได้ครบถ้วนสมบูรณ์ แต่หากต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงเกินความจำเป็นแล้ว ก็คงไม่อาจนำสื่อนั้นมาใช้ในการเรียนการสอนจริงได้ คุณภาพของสื่อการเรียนการสอนเป็นสิ่งจำเป็นแต่ก็ต้องตั้งอยู่บนค่าใช้จ่ายที่สมเหตุสมผลด้วยเช่นกัน

2.6. คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่นักศึกษาต้องการ

คุณสมบัติของสื่อการเรียนการสอนที่นักศึกษาต้องการ ได้แก่

1) เข้าใจง่าย และสื่อความหมายชัดเจน เมื่อเห็นแล้วสามารถเข้าใจถึงสิ่งที่ต้องการจะบอกได้ทันทีไม่ต้องตีความ การใช้ภาพเข้าช่วยแทนการใช้ตัวอักษรจะทำให้สื่อมีความสวยงาม น่าสนใจ และเข้าใจได้ง่ายขึ้น
2) ควรมีขนาดพอเหมาะและมองเห็นได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าสื่อจะถูกจัดทำขึ้นมาดีเพียงใด แต่หากมีขนาดเล็กมองเห็นได้ไม่ชัดเจนแล้ว คุณค่าของสื่อจะลดลงไปมาก
3) กระชับมีจุดเด่นจุดเน้น การมีจุดเด่นจุดเน้นในสื่อการเรียนการสอนจัดเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าถึงสิ่งที่ต้องการจะสื่อได้เร็วขึ้น การใช้ภาพแทนตัวอักษรจะช่วยให้การสื่อความหมายกระชับขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสวยงามและความน่าสนใจ สื่อการเรียนการสอนที่เยิ่นเย้อและไม่มีจุดเน้นจะทำให้เกิดความเบื่อหน่ายและไม่ใส่ใจกับเนื้อหาสาระที่ต้องการจะสื่อถึงอีกด้วย

2.7. โปรแกรมที่ใช้ในการจัดทำวีดีทัศน์

ในการจัดทำสื่อการสอนจะใช้โปรแกรม techsmith camtasia studio ในการบันทึกภาพเคลื่อนไหวและโปรแกรม Hyper snap ในการจับภาพนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1. ลักษณะการทำงานของโปรแกรม techsmith camtasia studio และ โปรแกรม Hyper snap

โปรแกรม techsmith camtasia studio จะทำการจับภาพเคลื่อนไหวที่ปรากฏบนหน้าจอ รวมทั้งเสียงที่เกิดขึ้นในขณะนั้น สามารถที่จะบันทึกทั้งภาพและเสียงไปพร้อมๆ กัน ทำการหยุดเพื่อทำการเตรียมตัวหรือปรับฟังชันต่างๆ ได้

โปรแกรม Hyper snap จะทำการจับภาพนิ่งหน้าจอได้ทุกชนิด โดยสามารถที่จะเลือกคุณภาพของไฟล์ภาพที่ต้องการบันทึกได้

2.7.2. ลักษณะการใช้งาน

ทำการบันทึกแบบตัวอย่างในการสอนโดยทำการเปิดโปรแกรม SAP 2000 พร้อมทั้งโปรแกรม techsmith camtasia studio บันทึกเสียงโดยผู้บรรยายพร้องทั้งใช้เมาส์ในการสอนเมื่อทำการบันทึกเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการบันทึกไฟล์เป็น *.AVI

ทำการเปิดโปรแกรม SAP 2000 เมื่อต้องการที่จะตัดส่วนจอภาพที่ต้องการจะเปิดโปรแกรม Hyper snap และบันทึกหน้าจอ หรือหน้าต่างที่เจาะจง รวมทั้งปุ่ม ไอคอนเฉพาะต่างๆ

2.7.3. ข้อดีข้อเสียของโปรแกรม techsmith camtasia studio

1) สามารถจับภาพเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2) สามารถทำการแปลงไฟล์จาก *.AVI เป็น *.MOV *
3) สามารถตัดต่อแก้ไขวีดีโอได้
4) บันทึกเสียงที่มีคุณภาพ
5) มีความคมชัดของสื่อการสอนดีมาก
6) ไฟล์ตัวโปรแกรมมีขนาดเล็ก
7) ตัดต่อภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความต่อเนื่อง
8) มีความสะดวกในด้านการจัดการไฟล์ที่เป็นระบบ
9) มีเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการจัดทำสื่อใช้งานได้ง่าย
10) รองรับระบบปฏิบัติการ Microsoft window XP, Microsoft window 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ใช้งานร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ ได้ดี

2.7.4. ข้อเสียของโปรแกรม techsmith camtasia studio

1) ใช้ความสมารถในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ค้อนข่างสูงเช่น CPU PENTIUM III 800 ขึ้นไปรวมทั้งการ์ดแสดงผลสามมีติ NVIDIA FX 5200 DDR 64 M ขึ้นไป RAM 256 M ในการบันทึกสื่อการสอน รวมทั้งหน่วยความจำในการแก้ไขไฟล์ที่ต้องใช้มาก
2) มีความยุ่งยากในการแก้ไขสื่อ เมื่อจำเป็นที่จะต้องทำการบันทึกสื่ออีกครั้งไม่สามารถที่จะอัดซ้ำหรือตัดเสียงภาคออกได้ เมื่อสื่อที่บันทึกเกิดความผิดพลาดในการอัด
3) ไม่สามารถบันทึกไฟล์เป็น *.MPEG ได้
4) ไม่สามารถตัดเสียงออกได้เมื่อการบันทึกแล้ว
5) ไม่สามารถทำเป็นภาพนิ่งได้

2.7.5. ข้อดีของโปรแกรม Hyper snap

1) มีประสิทธิภาพในการจับภาพนิ่งหน้าจอได้อย่างชัดเจน
2) มีฟังชันการใช้งานที่ง่ายและสะดวกรวดเร็ว
3) โปรแกรมมีขนาดเล็ก
4) มีความอิสระในการตัดภาพ
5) รองรับระบบปฏิบัติการ Microsoft window XP, Microsoft window 2000

2.7.6. ข้อเสียของโปรแกรม Hyper snap

1) ถ้าผู้ใช้ไม่ทำการ Register จะไม่สามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ
2) เมื่อทำการ Register แล้วในบางครั้งโปรแกรมก็จะถามหา Register ต้องทำการ Register ใหม่อีกครั้ง

2.7.7. ผลที่ได้

เมื่อทำการบันทึกสื่อเรียบร้อยแล้ว จะได้สื่อที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งภาพอธิบายการใช้งานโปรแกรมSAP2000 ที่ต้องการเพื่อนำไปประกอบคู่มือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1. บทนำ

โครงสร้างเครื่องจักรกล หรือโครงสร้างอาคารต่างๆ ประกอบขึ้นด้วยชิ้นส่วนจำนวนมาก ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นอาจจะรับแรงชนิดต่างๆ เช่น แรงดึง แรงอัด แรงบิด โมเมนต์ดัดและความดัน เป็นต้น ส่วนลักษณะการกระทำของแรงอาจจะเป็นแบบสถิตและหรือแบบพลวัต สำหรับโครงสร้างที่ซับซ้อน มากๆ ไม่สามารถใช้วิธีอื่นทั่วๆ ไปวิเคราะห์ได้ มักใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์

หลักทั่วไปของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือการแบ่งระบบโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ และเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับลักษณะรูปร่างของระบบโครงสร้างและการกระทำของน้ำหนักบรรทุก เอลิเมนต์เล็กๆ เหล่านั้นอาจจะจำแนกออกเป็นสามชนิดตามมิติของการสั่นสะเทือนของระบบ คือ เอลิเมนต์มิติเดียว สองมิติ และสามมิติ

เอลิเมนต์มิติเดียว เป็นเอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยจุดต่ออย่างน้อยสองจุดต่อ (node) เอลิเมนต์มิติเดียวจะใช้แทนระบบโครงสร้างที่มีการกระจัดหรือการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว ในลักษณะเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ได้ เช่น การยืดตัวของท่อนโลหะในแนวแกน, การบิดตัวของเพลา, การโก่งของคาน เป็นต้น

เอลิเมนต์สองมิติ อาจจะเป็นลักษณะรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยด้านที่เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ที่ใช้แทนระบบโครงสร้างที่การกระจัดเกิดในระนาบ (ทิศทาง) เช่น การสั่นสะเทือนของปีกเครื่องบิน, ของแผ่นโลหะบาง (plate), คาน, ถังหรือท่อที่มีความดันกระทำ เป็นต้น

เอลิเมนต์สามมิติจะมีลักษณะเป็นปริซึมสี่เหลี่ยม, ปริซึมสามเหลี่ยมที่มีผิวตรงหรือผิวโค้ง โดยเอลิเมนต์จะมีลักษณะเป็นรูปปริซึม ซึ่งใช้แทนระบบโครงสร้างที่มีการกระจัดหรือการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ทิศทาง เช่น โครงสร้างของตัวเครื่องบิน เป็นต้น

การจำลองโครงสร้างมิติเดียวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณีที่โครงสร้างมีแรงในแนวแกนโมเมนต์ดัดและแรงบิดกระทำเราสามารถจะจำลองโครงสร้างดังกล่าวได้โดยเลือกใช้เอลิเมนต์มิติเดียว โดยอาศัยความรู้พื้นฐานจากเรื่อง สติฟเนสเมทริกซ์, เมทริกซ์มวลของ

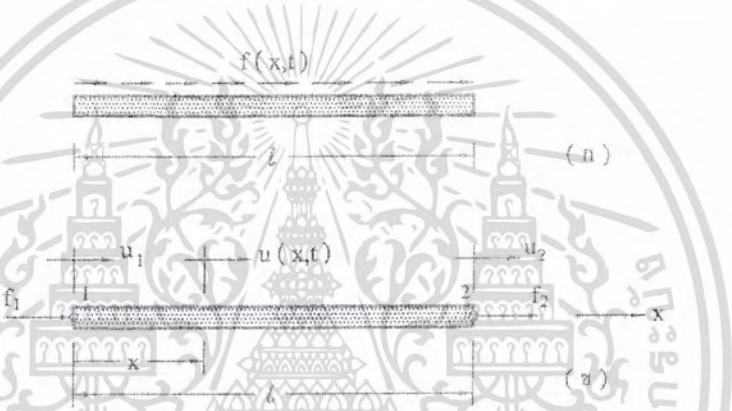
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเอลิเมนต์มิติเดียวและเมทริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ โดยจะเริ่มพิจารณาเอลิเมนต์ท่อนโลหะก่อน

3.2. เอลิเมนต์ท่อนโลหะ

ในกรณีของท่อนโลหะรับแรงในแนวแกน เช่น ในรูปที่ 3.1 ท่อนโลหะจะยืดหรือหดตัวในแนว x โดยอาศัยสมการ (3.1) การกระจัดโดยประมาณที่ระยะ ใดๆ ระหว่างจุดต่อ 1 และ จุดต่อที่ 2 อาจแทนด้วย

$$u(x,t) = \phi_1(x)u_1 + \phi_2(x)u_2 \qquad (3.1)$$



รูปที่ 3.1 เอลิเมนต์ท่อนโลหะรับแรงในแนวแกน

ซึ่ง $\phi_1(x)$ และ $\phi_2(x)$ คือฟังก์ชันรูปร่างและ u_1, u_2 เป็นการกระจัดที่จุดต่อ 1, 2 ซึ่งเป็นฟังก์ชันในเทอมของเวลา ตามเงื่อนไขขอบดังนี้คือ $u(0,t) = u_1$ และ $u(L,t) = u_2$ ส่วน f(x,t) ในรูปที่ 3.1(ก) คือ น้ำหนักภายนอกที่กระทำต่อท่อนโลหะ ซึ่งเป็นน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอตลอดความยาว L สำหรับ f_1 และ f_2 เป็นน้ำหนักที่กระทำที่จุดต่อ 1 และ 2 ของเอลิเมนต์ เนื่องจากเงื่อนไขขอบของโครงสร้างดังกล่าว การกระจัด u_1 และ u_2 เขียนเป็นสมการได้คือ $u(0,t) = u_1$

$$u(L,t) = u_2 \qquad (3.2)$$

การกระจัดโดยประมาณตามสมการ(3.1) จะเป็นจริงตามเงื่อนไขขอบในสมการ(3.2) ก็ต่อเมื่อ $\phi_1(x)$ และ $\phi_2(x)$ จะต้องมีเงื่อนไขขอบดังนี้

$$\phi_1(0) = 1,\ \phi_2(0) = 0$$

$$\phi_1(L) = 0,\ \phi_2(L) = 1 \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการกระจัดในแนวแกนของท่อนโลหะมีลักษณะเชิงเส้น ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่างอาจจะแทนด้วย

$$\phi_1(x) = \alpha_1 + \alpha_2 x \qquad (3.4)$$

และ $$\phi_2(x) = \alpha_3 + \alpha_4 x$$

จากเงื่อนไขในสมการ(3.3), สามารถหาค่าคงตัว α_1 , α_2, α_3 และ α_4 ได้คือ

α_1=1, α_2= -1/L, α_3 = 0, α_4= 1/L

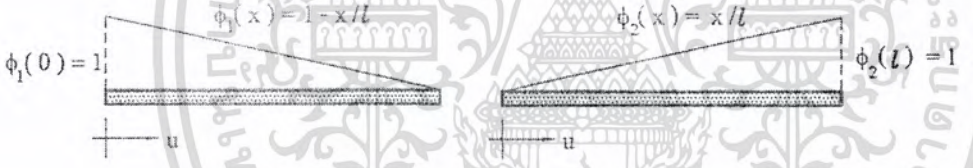
แทนค่าคงตัวลงในสมการ(3.4)

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่าง $\phi_1(x) = 1 - x/L$

$$\phi_2(x) = x/L \qquad (3.5)$$

ซึ่งดูได้จากรูปที่ 3.2 ส่วนสมการเชิงอนุพันธ์ของเอลิเมนต์ท่อนโลหะในรูปของเมทริกซ์ก็คือ

$$[m]\{u\} + [k]\{u\} = \{f\} \qquad (3.6)$$



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันรูปร่างของท่อนโลหะ

จากความรู้ในเรื่องสทิฟเนสเมทริกซ์ ค่าสทิฟเนสของเอลิเมนต์ท่อนโลหะสามารถหาได้โดยสมการ

$$k_{ij} = \int_0^L AE\,\phi_i(x)\,\phi_j(x)\,dx, \quad i=1,2 \text{ และ } j=1,2 \qquad (3.7)$$

และ $$[k] = \frac{AE}{L}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.8)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าเมทริกซ์มวลของเอลิเมนต์ท่อนโลหะสามารถจะหาได้โดยสมการ

$$m_j = \int_0^L \mu\,\phi_i(x)\,\phi_j(x)\,dx, \quad i=1,2 \text{ และ } j=1,2 \qquad (3.9)$$

และ $$[m] = \frac{\mu L}{6}\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \qquad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง μ = มวลต่อหน่วยความยาว

E = มอดูลัสยืดหยุ่น

ρ = มวลต่อหน่วยปริมาตร

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อนโลหะ

และแรงที่แต่ละโหมด คือ

$$f_1 = \int_0^L f(x,t)\,\phi_1(x)\,dx = \int_0^L f(x,t)\,(1-\frac{x}{l})\,dx$$

$$f_2 = \int_0^L f(x,t)\,\phi_2(x)\,dx = \int_0^L f(x,t)\,(\frac{x}{l})\,dx \qquad (3.11)$$

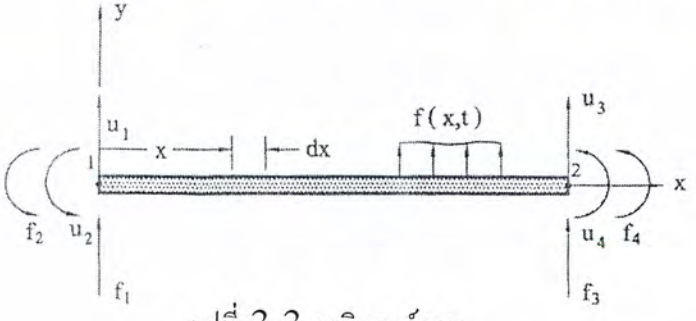
หรือเขียนในรูปเมทริกซ์ $\{f\} = \begin{Bmatrix} f_1 = \int_0^l f(x,t)(1-\frac{x}{l})dx \\ f_2 = \int_0^l f(x,t)(\frac{x}{l})dx \end{Bmatrix}$ (3.12)

แทนค่า [m], [k] และ{f} จากสมการ(3.10),(3.8) และ(3.12) ลงในสมการ(3.6) เราจะได้สมการเชิงอนุพันธ์หรือแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของเอลิเมนต์ท่อนโลหะ

$$\frac{\mu l}{6}\begin{bmatrix}2 & 1\\ 1 & 2\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\ddot{u}_1\\ \ddot{u}_2\end{Bmatrix} + \frac{AE}{l}\begin{bmatrix}1 & -1\\ -1 & 1\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}u_1\\ u_2\end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}\int_0^l f(x,t)(1-\frac{x}{l})dx\\ \int_0^l f(x,t)(\frac{x}{l})dx\end{Bmatrix} \qquad (3.13)$$

3.3. เอลิเมนต์คาน

ในกรณีที่เอลิเมนต์คานมีค่า EI คงตัวตามรูป 3.3 โดยมีน้ำหนักกระจาย f(x,t) กระทำในทิศทาง y ถ้าเอลิเมนต์คานยาว L และมีมวลต่อหน่วยความยาวเท่ากับ μ เพื่อที่จะหาสมการเชิงอนุพันธ์หรือแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ทางพลวัตของเอลิเมนต์คาน จะสมมติให้การโก่งหรือการกระจัดโดยประมาณของเอลิเมนต์ในทิศทาง y ,แทนด้วยฟังก์ชันการกระจัด คือ



รูปที่ 3.3 เอลิเมนต์คาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y(x,t) = \phi_1(x)\, u_1 + \phi_2(x)\, u_2 + \phi_3(x)\, u_3 + \phi_4(x)\, u_4 \qquad (3.14)$$

หรืออาจจะเขียนใหม่ได้

$$y(x,t) = \sum_{i=1}^{4} \phi_i(x) u_i \qquad (3.15)$$

ซึ่ง $\phi_1(x), \phi_2(x), \phi_3(x)$ และ $\phi_4(x)$ คือฟังก์ชันรูปร่าง และ u_1, u_3 คือการโก่งหรือการกระจัดในทิศทาง y ส่วน u_2 และ u_4 คือมุมลาดที่แต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คาน ส่วน f_1 และ f_3 คือแรงเฉือนและ f_2, f_4 คือโมเมนต์ดัดที่แต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คาน

จากรูปที่ 3.3 ถ้าสมมติให้คานโก่งเพียงเล็กน้อย, เงื่อนไขขอบของการกระจัดของคานก็คือ

$$y(0,t) = u_1 \,,\; y'(0,t) = u_2$$

และ $$y(L,t) = u_3 \,,\; y'(L,t) = u_4 \qquad (3.16)$$

โดยอาศัยเงื่อนไขขอบตามสมการ(3.16),ฟังก์ชันรูปร่าง $\phi_i(x)$ และ $\phi'_i(x)$ ในสมการ(3.15) จะประกอบด้วยเงื่อนไขขอบดังนี้

$$\phi_1(0) = 1 \,,\; \phi'_1(0) = 0 \,,\; \phi_1(L) = 0 \,,\; \phi'_1(L) = 0$$
$$\phi_2(0) = 0 \,,\; \phi'_2(0) = 1 \,,\; \phi_2(L) = 0 \,,\; \phi'_2(L) = 0$$
$$\phi_3(0) = 0 \,,\; \phi'_3(0) = 0 \,,\; \phi_3(L) = 1 \,,\; \phi'_3(L) = 0$$
$$\phi_4(0) = 0 \,,\; \phi'_4(0) = 0 \,,\; \phi_4(L) = 0 \,,\; \phi'_4(L) = 1 \qquad (3.17)$$

จากสมการ(3.17) จะเห็นว่าแต่ละฟังก์ชันรูปร่างจะมีเงื่อนไขขอบอยู่ 4 ค่าคือ $\phi(x)$ 2 ค่าและ $\phi'(x)$ 2 ค่า นั่นคือฟังก์ชันการกระจัดหรือฟังก์ชันรูปร่างสำหรับเอลิเมนต์คาน สามารถเขียนอยู่ในสมการพอลินอเมียลที่ประกอบด้วยค่าคงตัว 4 เทอม ตามสมการ 3.18

$$\phi_i(x) = a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3 \quad , i=1,2,3,4 \qquad (3.18)$$

ซึ่ง a,b,c และ d เป็นค่าคงตัวที่สามารถจะหาได้จากเงื่อนไขขอบตามสมการ(3.17) ในกรณีที่ i=1 เราสามารถจะหาค่าคงตัวได้ดังนี้ คือ

$$a_1=1, \quad b_1 = 0 \,, \quad c_1 = -\frac{3}{l^2} \,, \quad d_1 = \frac{2}{l^3}$$

ดังนั้นฟังก์ชันรูปร่าง $\phi_1(x) = 1 - 3(x/L)^2 + 2(x/L)^3$ (3.18)ในทำนองเดียวกัน ในกรณีที่ i=2,3 และ 4 ก็สามารถหา $\phi_2(x)$ $\phi_3(x)$ และ $\phi_4(x)$ ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_2(x) = x[1- 2\left(\frac{x}{l}\right)+\left(\frac{x}{l}\right)^2]$$

$$\phi_3(x) = 3\left(\frac{x}{l}\right)^2 -2\left(\frac{x}{l}\right)^3$$

$$\phi_4(x) = x[\left(\frac{x}{l}\right)^2 -\left(\frac{x}{l}\right)]$$

ลักษณะของฟังก์ชันรูปร่างและเงื่อนไขขอบเขตตามสมการ(3.18) และ(3.17) ดูได้จากรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ลักษณะของฟังก์ชันรูปร่างและเงื่อนไขขอบเขต

ส่วนความเฉื่อยของเอลิเมนต์คานหรือสัมประสิทธิ์ของมวลหาได้จากสมการ(3.19) คือ

$$m_{ij} = \int_0^L \mu\, \phi_i(x)\phi_j(x)\, dx, \quad i=1,2,3,4 \quad \text{และ} \quad j=1,2,3,4 \qquad (3.19)$$

แทนค่า $\phi_i(x)$ ลงในสมการ(3.19) ก็สามารถหา m_{ij} ได้ ซึ่งเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[m] = \frac{\mu l}{420}\begin{bmatrix} 156 & 22l & 54 & -13l \\ 22l & 4l^2 & 13l & -3l^2 \\ 54 & 13l & 156 & -22l \\ -13l & -3l^2 & -22l & 4l^2 \end{bmatrix} \qquad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน สามารถจะหาสทิฟเนสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์คานได้จาก

$$k_{ij} = \int_0^L EI_i\phi_i''(x)\phi_j''(x)\,dx, \quad i=1,2,3,4 \text{ และ } j=1,2,3,4 \qquad (3.21)$$

ซึ่งเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ ดังนี้

$$[k] = \frac{EI}{l^3}\begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix} \qquad (3.22)$$

ส่วนแรงเฉือน f_1 , f_3และโมเมนต์ดัด f_2 ,f_4 ตามรูปที่ 3.4 หาได้ในทำนองเดียวกับเอลิเมนต์ท่อนโลหะ คือ

$$f_i = \int_0^L f(x,t)\phi_i(x)\,dx, \qquad i = 1,2,3,4 \qquad (3.23)$$

หรือ $f_1 = \int_0^L f(x,t)\phi_1(x)\,dx$

$$f_2 = \int_0^L f(x,t)\phi_2(x)\,dx$$

$$f_3 = \int_0^L f(x,t)\phi_3(x)\,dx$$

$$f_4 = \int_0^L f(x,t)\phi_4(x)\,dx \qquad (3.24)$$

ซึ่งเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ คือ

$$\{f\} = [f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4]^T$$

ในกรณีที่เอลิเมนต์คานรับน้ำหนักตามแนวขวางแบบกระจายสม่ำเสมอ เราสามารถหาแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดได้ โดยอาศัยสมการ (3.24) และ (3.18) คือ

แรงเฉือน $f_1 = f_0\frac{l}{2}$ $f_3 = f_0\frac{l}{2}$

โมเมนต์ดัด $f_2 = f_0\frac{l^2}{12}$ $f_4 = -f_0\frac{l^2}{12}$ (3.24a)

แต่ถ้าสมมติให้ $f(x,t) = f_0 \sin 10t$ แรงที่กระทำแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์คานก็หาได้ในทำนองเดียวกันคือ จากสมการ (3.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$f_1 = \int_0^L (f_0 \sin 10t)\,\phi_1(x) = 0.5L\, f_0 \sin 10t$$

$$f_2 = \int_0^L (f_0 \sin 10t)\,\phi_2(x) = 0.083L^2\, f_0 \sin 10t$$

$$f_3 = \int_0^L (f_0 \sin 10t)\,\phi_3(x) = 0.5L\, f_0 \sin 10t$$

$$f_4 = \int_0^L (f_0 \sin 10t)\,\phi_4(x) = -0.083L^2\, f_0 \sin 10t \qquad (3.24b)$$

จากเมทริกซ์มวล [m] ในสมการ (3.20) ซึ่งมีขนาด 4x4 สทิฟเนสเมทริกซ์ [k] ในสมการ(3.22) มีขนาด 4x4 และเมทริกซ์แรง{f} ในสมการ(3.24) มีขนาด 4x1 สมการเชิงอนุพันธ์ของระบบพลวัตของเอลิเมนต์คานเขียนได้ดังนี้

$$[m]\{\ddot{u}\} + [k]\{u\} = \{f\} \qquad (3.25)$$

ซึ่ง $\{u\} = [\,u_1\ u_2\ u_3\ u_4\,]^T$ และ

$$\{\ddot{u}\} = \{\ddot{u}_1\ \ddot{u}_2\ \ddot{u}_3\ \ddot{u}_4\}$$

3.4. เอลิเมนต์คานที่มีโมเมนต์ดัดและน้ำหนักกระทำตามแนวแกน

โดยทั่วไปชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรืออาคาร จะทำหน้าที่รับแรงดึงแรงอัดในแนวแกน ขณะเดียวกันจะมีโมเมนต์ดัดเกิดขึ้นในชิ้นส่วนด้วย ชิ้นส่วนเหล่านั้นสามารถแทนได้ด้วยเอลิเมนต์คาน ที่แต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์จะประกอบด้วยการกระจัดในทิศทาง x, y และการกระจัดเชิงมุมอันเนื่องจากโมเมนต์ดัด เช่นที่จุดต่อ 1 การกระจัดทั้ง 3 คือ u_1, u_2 และ u_3 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันการกระจัดที่จุดต่อ 2 คือ u_4, u_5 และ u_6 ดังนั้น

เอลิเมนต์คานที่รับแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัด ประกอบด้วย 6 พิกัดวางในทั่วไป และ 6 ระดับความเสรี ฉะนั้นเมทริกซ์มวลและสทิฟเนสเมทริกซ์จะมีขนาด 6x6 ส่วนเมทริกซ์ของแรงจะมีขนาด 6x1

สามารถหาเมทตริกซ์มวล m และสทิฟเนสเมทริกซ์ ของเอลิเมนต์คาน โดยรวมสมการ(3.8) เข้ากับ (3.20) และสมการ (3.6) เข้ากับ (3.22) ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
58562

$$[m]=\frac{\mu\ell}{420}\begin{bmatrix}140 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0\\ 0 & 156 & 22\ell & 0 & 54 & -13\ell^2\\ 0 & 22\ell & 4\ell^2 & 0 & 13\ell & -3\ell^2\\ 70 & 0 & 0 & 140 & 0 & 0\\ 0 & 54 & 13\ell & 0 & 156 & -22\ell\\ 0 & -13\ell & -3\ell^2 & 0 & -22\ell & 4\ell^2\end{bmatrix} \qquad (3.26)$$

และ

$$[k]=\frac{EI}{\ell^3}\begin{bmatrix}\left(\frac{\ell}{r}\right)^2 & 0 & 0 & -\left(\frac{\ell}{r}\right)^2 & 0 & 0\\ 0 & 12 & 6\ell & 0 & -12 & 6\ell\\ 0 & 6\ell & 4\ell^2 & 0 & -6\ell & 2\ell^2\\ -\left(\frac{\ell}{r}\right)^2 & 0 & 0 & \left(\frac{\ell}{r}\right)^2 & 0 & 0\\ 0 & -12 & -6\ell & 0 & 12 & -6\ell\\ 0 & 6\ell & 2\ell^2 & 0 & -6\ell & 4\ell^2\end{bmatrix} \qquad (3.27)$$

ซึ่ง คือ Radius of gyration ของพื้นที่หน้าตัด ในกรณีที่คานมีโมเมนต์บิดกระทำด้วย ก็สามารถหา [m] และ [k] ได้ในทำนองเดียวกัน

ดังนั้นสมการเชิงอนุพันธ์ของเอลิเมนต์คานที่มีแรงกระทำในแนวแกนและโมเมนต์ดัดกระทำก็คือ

$$[m]\{\ddot{U}\}+[k]\{u\}=\{f\} \qquad (3.28)$$

ซึ่ง [m] และ [k] คือเมทริกซ์มวลและสทิฟเนสเมทริกซ์ตามสมการ(3.26) และ (3.27), {u} คือการกระจัดแนวแกน, การโก่งและมุมลาดของเอลิเมนต์คาน ส่วน {f} คือแรงในแนวแกน,แรงเฉือน และโมเมนต์ดัดที่จุดต่อของเอลิเมนต์คาน นั่นคือ

$$\{u\} = [\,u_1\ u_2\ u_3\ u_4\ u_5\ u_6\,]^T$$

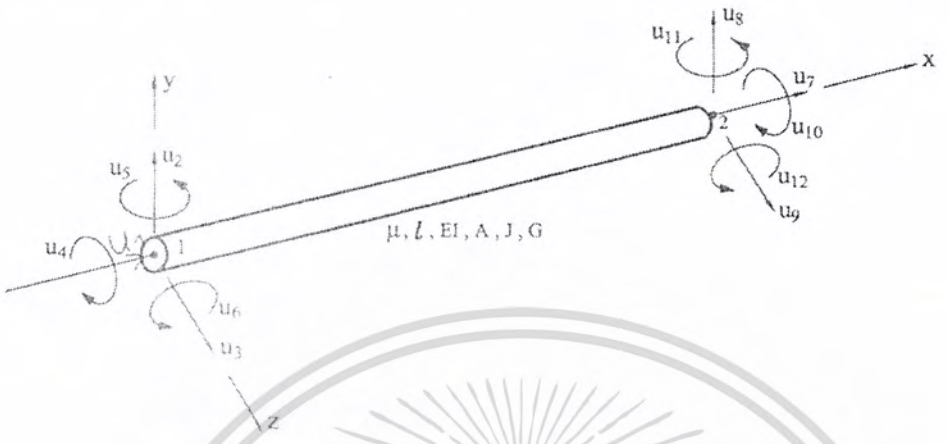
และ $$\{f\} = [\,f_1\ f_2\ f_3\ f_4\ f_5\ f_6\,]^T \qquad (3.29)$$

3.5. ชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง

โครงข้อแข็ง (frame) โดยทั่วไปจะมีน้ำหนักกระทำในลักษณะ 3 ทิศทาง เช่น ชิ้นส่วนโครงข้อแข็งตามรูปที่ 3.5 ซึ่งมีน้ำหนักกระทำตามแนวแกนโมเมนต์ดัดและแรงบิดกระทำ ดังนั้นที่แต่ละจุดต่อของชิ้นส่วนโครงข้อแข็งจะมีการกระจัดเชิงเส้นในทิศทาง x,y และ z และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจัดเชิงมุมรอบแกน x,y และ z (ดูรูป 3.5 ประกอบ) ฉะนั้นขนาดของเมทริกซ์มวล [m] และสทิฟเนสเมทริกซ์ [k] ของเอลิเมนต์โครงข้อแข็งคือ 12x12, ส่วนการหา[k] และ [m] จะใช้วิธีเดียวกับชิ้นส่วนคานที่มีโมเมนต์ดัดและน้ำหนักในแนวแกนกระทำ



รูปที่ 3.5 เอลิเมนต์โครงข้อแข็ง

ในกรณีของ สทิฟเนส เมทริกซ์ [k] สามารถหาได้โดยการรวมสทิฟเนสเมทริกซ์, เมทริกซ์ของเอลิเมนต์ท่อนโลหะ, เพลาและคานเข้าด้วยกันและผลที่ได้ คือ

$$k = \begin{array}{c} \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & u_8 & u_9 & u_{10} & u_{11} & u_{12} \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & \frac{-12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} \\ & & \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{-6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{-12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{-6EI_y}{\ell^2} & 0 \\ & & & \frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-GJ}{\ell} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{4EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 \\ & & & & & \frac{4EI_z}{\ell} & 0 & \frac{-6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{\ell} \\ & & & & & & \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6EI_z}{\ell^2} \\ & & & & & & & & \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 \\ & & & & & & & & & \frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & \frac{4EI_y}{\ell} & 0 \\ & & & & & & & & & & & \frac{4EI_z}{\ell} \end{bmatrix} \end{array}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการหาเมทริกซ์มวลของเอลิเมนต์โครงข้อแข็ง จะแยกออกเป็นสองกรณี

กรณี 1 เมทริกซ์มวลที่ได้จากการรวมเมทริกซ์มวลของเอลิเมนต์ท่อนโลหะ, เพลา และคานในสมการ (3.8), (3.13) และ (3.20) เข้าด้วยกัน ซึ่งเรียกเมทริกซ์มวลดังกล่าวว่า เมทริกซ์คอนซีสเทนต์ $[m]_c$ ของเอลิเมนต์โครงข้อแข็ง คือ

$$
[m]_c = \begin{array}{c}
\begin{matrix} \ddot{u}_1 & \ddot{u}_2 & \ddot{u}_3 & \ddot{u}_4 & \ddot{u}_5 & \ddot{u}_6 & \ddot{u}_7 & \ddot{u}_8 & \ddot{u}_9 & \ddot{u}_{10} & \ddot{u}_{11} & \ddot{u}_{12} \end{matrix} \\
\begin{bmatrix}
140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & 156 & 0 & 0 & 0 & 22\ell & 0 & 54 & 0 & 0 & 0 & -13\ell \\
 & & 156 & 0 & -22\ell & 0 & 0 & 0 & 54 & 0 & 13\ell & 0 \\
 & & & \frac{140}{B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{70}{B} & 0 & 0 \\
 & & & & 4\ell^2 & 0 & 0 & 0 & -13\ell & 0 & -3\ell^2 & 0 \\
 & & & & & 4\ell^2 & 0 & 13\ell & 0 & 0 & 0 & -3\ell^2 \\
 & & & & & & 140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & 156 & 0 & 0 & 0 & -22\ell \\
 & & & & & & & & 156 & 0 & 22\ell & 0 \\
 & & & & & & & & & \frac{140}{B} & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & 4\ell^2 & 0 \\
 & & & & & & & & & & & 4\ell^2
\end{bmatrix}
\end{array}
$$

ซึ่ง I_0 = โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่หน้าตัด

A = พื้นที่หน้าตัด

$B = A/I_0$

$R = \mu L/420$

ส่วนกรณีที่ 2 เราจะใช้มวลรวมเป็นก้อนของเอลิเมนต์คาน รวมกับเมทริกซ์มวลของท่อนโลหะและเพลา จากสมการ (3.8) และ (3.13) และเรียกเมทริกซ์มวลที่ได้รับว่า เมทริกซ์มวลรวมเป็นก้อน $[m]_L$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$
\begin{array}{c}
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\\
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccccccc}
\ddot{u}_1 & \ddot{u}_2 & \ddot{u}_3 & \ddot{u}_4 & \ddot{u}_5 & \ddot{u}_6 & \ddot{u}_7 & \ddot{u}_8 & \ddot{u}_9 & \ddot{u}_{10} & \ddot{u}_{11} & \ddot{u}_{12}
\end{array} \\
\left[\begin{array}{cccccccccccc}
140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & \frac{210}{A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & \frac{210}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & \frac{140}{B} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{70}{B} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & 140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & \frac{210}{A} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & \frac{210}{A} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & \frac{210}{A} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & \frac{210}{B} & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & & 0
\end{array}\right]
\end{array}
$$

ซึ่ง I_x และ I_y คือโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดรอบแกนหลัก (principal axes) และ z ตามลำดับ

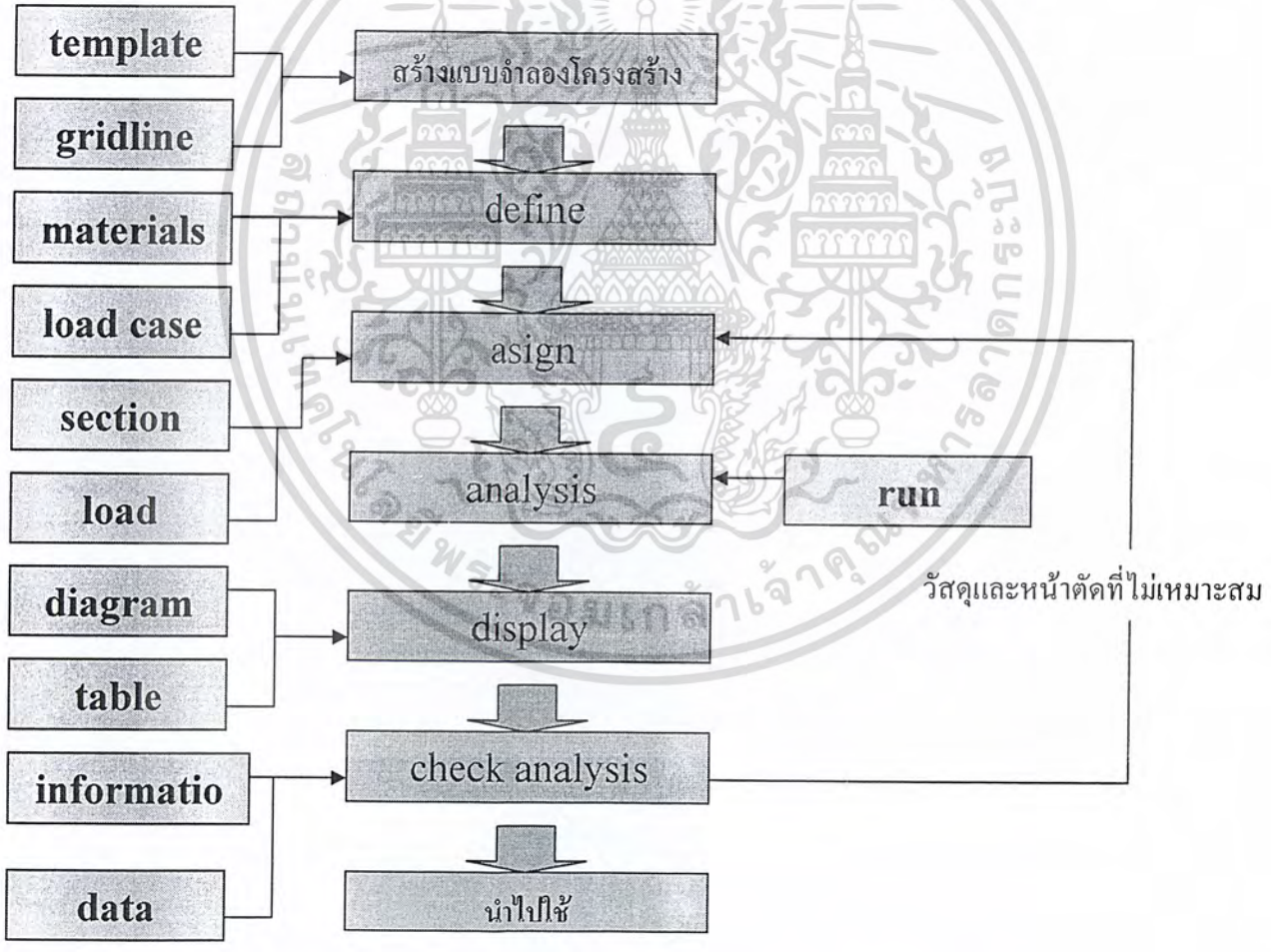
โดยทั่วไปโครงข้อแข็งและโครงข้อหมุนจะเป็นโครงสร้างสองหรือสามมิติ แต่ชิ้นส่วนของโครงจะใช้เอลิเมนต์มิติเดียว ส่วนโครงสร้างลักษณะอื่น ๆ อาจจะจำเป็นต้องเลือกใช้เอลิเมนต์สองหรือสามมิติ ซึ่งเราก็สามารถจะหาเมทริกซ์ [m] และ [k] ของเอลิเมนต์เหล่านั้นได้โดยวิธีคล้ายกัน คือ เลือกใช้ฟังก์ชันรูปร่างให้เหมาะสมดังที่กล่าวมาแล้วในเอลิเมนต์มิติเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โครงสร้างของโปรแกรม

4.1. ขั้นตอนการทำงานโดยใช้โปรแกรม SAP2000

ก่อนเริ่มต้นการใช้งานของโปรแกรม SAP2000 เราควรที่จะรู้จักลำดับขั้นตอนในการทำงาน ซึ่งสามารถสรุปออกมาเป็นแผนภาพได้ดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานโดยใช้โปรแกรม SAP2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1. เราสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานโดยใช้โปรแกรม SAP2000 โดยสังเขป ได้ดังนี้

1. สร้างแบบจำลอง ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกเริ่มสำหรับการทำงาน โดยเราจะต้องทำการเตรียมโครงสร้างที่เราต้องการวิเคราะห์เพื่อให้เป็นแบบจำลอง โดยจะต้องกำหนดพิกัดต่างๆ ของโครงสร้าง เพื่อนำมาสร้างหรือแก้ไขแบบตัวอย่างที่มีรูปร่างทางเรขาคณิต โดยการสร้างสามารถทำได้จากการนำ template ที่มีอยู่แล้วในโปรแกรมมากทำการดัดแปลงหรือจากการเขียนรูปโครงสร้างขึ้นมาใหม่ โดยใช้เมนู **Draw** และ **Edit**
2. **Define** ขั้นตอนนี้เป็นการนิยามคุณสมบัติต่างๆ ของโครงสร้างที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ขึ้นมา เช่น
   -คุณสมบัติวัตถุ
   -หน้าตัดของชิ้นส่วน
   -ชนิดของน้ำหนักบรรทุก
   -ชนิดของจุดต่อ
   -ฯลฯ
3. **Assign** ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดคุณสมบัติที่เราได้นิยามขึ้นมาในขั้นตอนที่ 2 ให้กับชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง เช่น
   -การกำหนดหน้าตัดให้กับชิ้นส่วนของโครงสร้าง
   -การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง
4. **Run** ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์ที่ต้องการ
5. **Display** ขั้นตอนนี้เป็นการแสดงผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ได้เพื่อทำการตรวจสอบ
6. **Check Analysis** ขั้นตอนนี้เป็นการสั่งให้โปรแกรมทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับข้อกำหนดในการออกแบบที่เราต้องการใช้
7. เมื่อเราทำการตรวจสอบแล้ว พบว่าโครงสร้างไม่สามารถรับน้ำหนักที่ต้องการได้ หรือมีขนาดที่ใหญ่เกินไป เราจะต้องทำการแก้ไขโครงสร้าง และนำมาวิเคราะห์อีกครั้ง จนได้โครงสร้างที่มีความปลอดภัยและมีความประหยัด
8. ภายหลังจากการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์โครงสร้างแล้ว เราสามารถที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้งานได้ ซึ่งในการตรวจสอบเราควรที่จะใช้พื้นฐานความรู้ทางวิศวกรรมประกอบด้วย เพราะบางครั้งความผิดพลาดที่เกิดขึ้น อาจจะมีเหตุผลมาจากการกำหนดที่ไม่ถูกต้องให้กับโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ส่วนประกอบของโปรแกรม SAP2000

ในส่วนหลัก ๆ ของโปรแกรม SAP2000 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

- เมนูหลัก (Main menu)
- แถบเครื่องมือ (Toolbar)
- จอแสดงผล (Presentation)

4.2.1. เมนูหลัก (Main menu)

เมนูหลัก คือ เมนูที่ผู้ใช้โปรแกรมใช้ออกคำสั่งให้โปรแกรมทำตามที่ผู้ใช้ต้องการ ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งในแต่ละเมนูหลักจะประกอบด้วยชุดคำสั่งอีกหลายคำสั่งตาม ซึ่งคำสั่งต่างๆ จะได้รับการอธิบายในหัวข้อถัดไป และในภาคผนวกในลำดับต่อไป

รูปที่ 4.2 แสดงเมนูหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

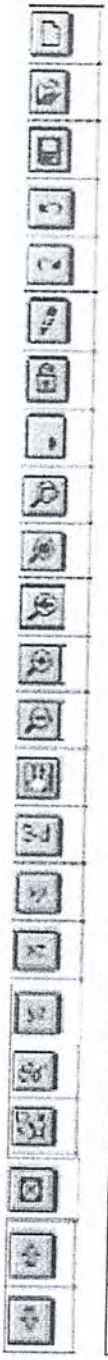
4.2.2. แถบเครื่องมือ (Toolbar)

แถบเครื่องมือ คือ ปุ่มต่าง ๆ ที่ใช้ออกคำสั่งโดยแต่ละปุ่มจะมีคำสั่งแตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3. และ 4.4.

Icon	Control Name	Allows You to
	New Model	Start a new model.
	Open *.SDB file	Open existing SAP2000 file.
	Save Model	Save the current model.
	Undo	Undo last change.
	Redo	Reverse last Undo.
	Refresh Window	Refresh current window using latest data.
	Lock/Unlock Model	Lock model against changes to analysis data.
	Run Analysis	Run analysis.
	Zoom	Zoom in on structure by defining area with mouse.
	Restore Full View	Restore full view of model.
	Restore Previous View	Restore previous view of model
	Zoom In	Zoom in to model.
	Zoom Out	Zoom out of model.
	Pan	Dynamically move structure in any direction.
3-d	Show 3-d view	Show 3-d view of model.
xy	Show 2-d View of X-Y/r-Θ Plane	Show 2-d View of model parallel to X-Y/r-Θ plane.
xz	Show 2-d View of X-Z/r-Z Plane	Show 2-d View of model parallel to X-Z/r-Z plane.
yz	Show 2-d View of Y-Z/Θ-Z Plane	Show 2-d View of model parallel to X-Z plain or a developed view of the r-Z plane.
	Perspective Toggle	Show view in 3-d perspective.
	Shrink Elements	Shrink all elements to help view element connectivity.
	Set Element	Set visibility of elements and their properties.
	Up One Gridline	Move up one grid line in 2-d viewing plane.
	Down One Gridline	Move down one grid line in 2-d viewing plane.

รูปที่ 4.3 ก แสดงแถบเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



New Model	เริ่มสร้างแบบตัวอย่างโครงสร้างใหม่
Open *.SDB file	เปิดแฟ้มโปรแกรม SAP2000 นามสกุล *.SDB
Save Model	บันทึกแบบตัวอย่างปัจจุบัน
Undo	ยกเลิกการเปลี่ยนแปลงล่าสุด
Redo	กลับไปยังการกระทำล่าสุด
Refresh Window	Update ข้อมูลล่าสุดในจอแสดงผล
Lock/Unlock Model	ล็อกแบบตัวอย่างเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลง
Run Analysis	สั่งให้โปรแกรม SAP2000 ทำการวิเคราะห์โครงสร้าง
Zoom	ขยายโครงสร้างเข้าโดยพื้นที่ที่จำกัดโดยเมาส์
Restore Full View	ตั้งมุมมองเต็มจอของแบบตัวอย่างโครงสร้างอีกครั้ง
Restore Previous View	ตั้งมุมมองก่อนหน้าของแบบตัวอย่างอีกครั้ง
Zoom In	ขยายแบบตัวอย่างเข้าอย่างช้าๆทีละนิด
Zoom Out	ขยายแบบตัวอย่างออกอย่างช้าๆทีละนิด
Pan	ขยับเลื่อนแบบตัวอย่างโครงสร้างภายในหน้าต่าง
Show 3-d view	แสดงมุมมองสามมิติเพราะแบบตัวอย่างในหน้าต่างนั้น
Show 2-d View of X-Y/r-Q Plane	แสดงมุมมองของโครงสร้างสองมิติ ในระนาบX-Y/r-Q
Show 2-d View of X-Z/r-Z Plane	แสดงมุมมองของโครงสร้างสองมิติ ในระนาบ X-Z/r-Z
Show 2-d View of Y-Z/Q-Z Plane	แสดงมุมมองของโครงสร้างสองมิติ ในระนาบY-Z/Q-Z
Perspective Toggle	แสดงมุมมองสามมิติในเทคนิคภาพเหมือนจริง
Shrink Elements	หดชิ้นส่วนทั้งหมดเพื่อที่จะช่วยดูจุดเชื่อมต่อชิ้นส่วน
Set Element	ตั้งค่าการแสดงผลของชิ้นส่วนในหน้าต่างนั้น
Up One Gridline	ไปข้างหน้าหนึ่งเส้นตารางใน แนวระนาบที่เลือกไว้
Down One Gridline	เคลื่อนย้ายลงหนึ่งเส้นตารางในแนวระนาบที่เลือกไว้

รูปที่ 4.3 ข อธิบายแสดงแถบเครื่องหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Icon	Control Name	Allows You to
	Pointer Tool	Select elements individually or within a box.
	Select All	Select all elements in drawing.
	Restore Previous Selection	Restore previously selected elements.
	Clear Selection	Clear all selected elements.
	Set Intersecting Line Select Mode	Select all elements intersected by drawn line.
	Reshape Element	Move elements by selecting them at their center and to reshape them by selecting them at their ends.
	Add Special Joint	Add a joint that is not automatically added when an element is entered.
	Draw Frame Element	Draw a frame element by locating its end locations.
	Draw Shell Element	Draw a shell element by locating its corners.
	Quick Draw Frame Element	Draw a frame element between grid lines.
	Quick Draw Shell Element	Draw a shell element between grid lines.
	Assign Joint Restraints	Assign translational and rotational restraints.
	Assign Frame Sections	Assign frame section and material properties.
	Assign Shell Sections	Assign shell section and material properties.
	Assign Joint Load	Assign joint loads.
	Assign Frame Span Loading	Assign frame loads.
	Assign Shell Uniform Loading	Assign shell loads.
	Show Undeformed Shape	Show original structural shape.
	Display Static Deformed Shape	Display deformed shape due to static loads.
	Display Mode Shapes	Display Mode shapes and periods.
	Display Element Force/Stress Diagram	Display Element analysis data on the structure and individually.
	Set Output Table Mode	Display Joint or Element Text Output on Screen.

รูปที่ 4.4 ก แสดงแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

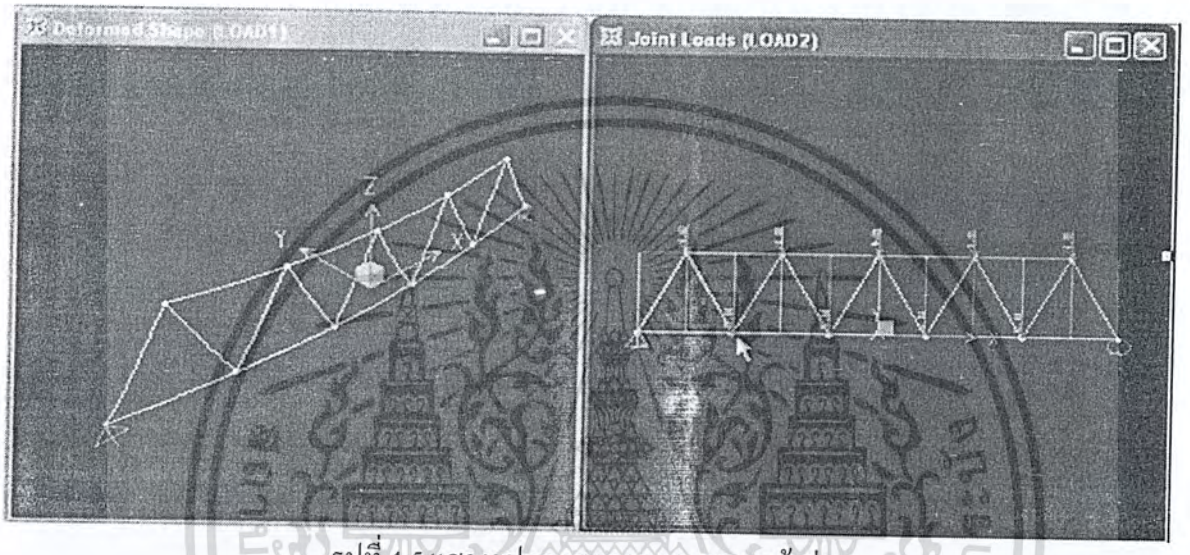
Pointer Tool	ตัวชี้ในการเลือกชิ้นส่วนโครงสร้าง
Select All	เลือกชิ้นส่วนในการวาดทั้งหมด
Restore Previous Selection	เลือกชิ้นส่วนที่เลือกก่อนหน้าอีกครั้ง
Clear Selection	ล้างชิ้นส่วนทั้งหมดที่เลือก
Set Intersecting Line Select Mode	เลือกชิ้นส่วนทั้งหมดโดยวาดเส้นตัดผ่าน
Reshape Element	เคลื่อนย้ายชิ้นส่วนโดยเลือกที่ศูนย์กลาง หรือ เปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนโดยการปรับที่ขอบ
Add Special Joint	เพิ่มข้อต่อที่ไม่ได้เพิ่มโดยอัตโนมัติ
Draw Frame Element	วาดชิ้นส่วนเฟรม
Draw Shell Element	วาดชิ้นส่วนเชลล์
Quick Draw Frame Element	วาดชิ้นส่วนอย่างรวดเร็ว
Quick Draw Shell Element	วาดชิ้นส่วนเชลล์อย่างรวดเร็ว
Assign Joint Restraints	กำหนดจุดรองรับ
Assign Frame Sections	กำหนดส่วนเฟรมและคุณสมบัติวัตถุ
Assign Shell Sections	กำหนดส่วนเชลล์และคุณสมบัติวัตถุ
Assign Joint Load	กำหนดน้ำหนักบรรทุกที่ข้อต่อ
Assign Frame Span Loading	กำหนดน้ำหนักบรรทุกที่อยู่ในชิ้นส่วน
Assign Shell Uniform Loading	กำหนดน้ำหนักบรรทุกในเชลล์
Show Undeformed Shape	แสดงรูปร่างโครงสร้างเดิม
Display Static Deformed Shape	แสดงการเสียรูปเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ
Display Mode Shapes	แสดงโหมดการเสียรูป
Display Element Force/StressDiagram	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนบนโครงสร้างต่างๆ
Set Output Table Mode	แสดงข้อมูลในรูปแบบตาราง

รูปที่ 4.4 ข อธิบายแสดงแถบเครื่องหลัก

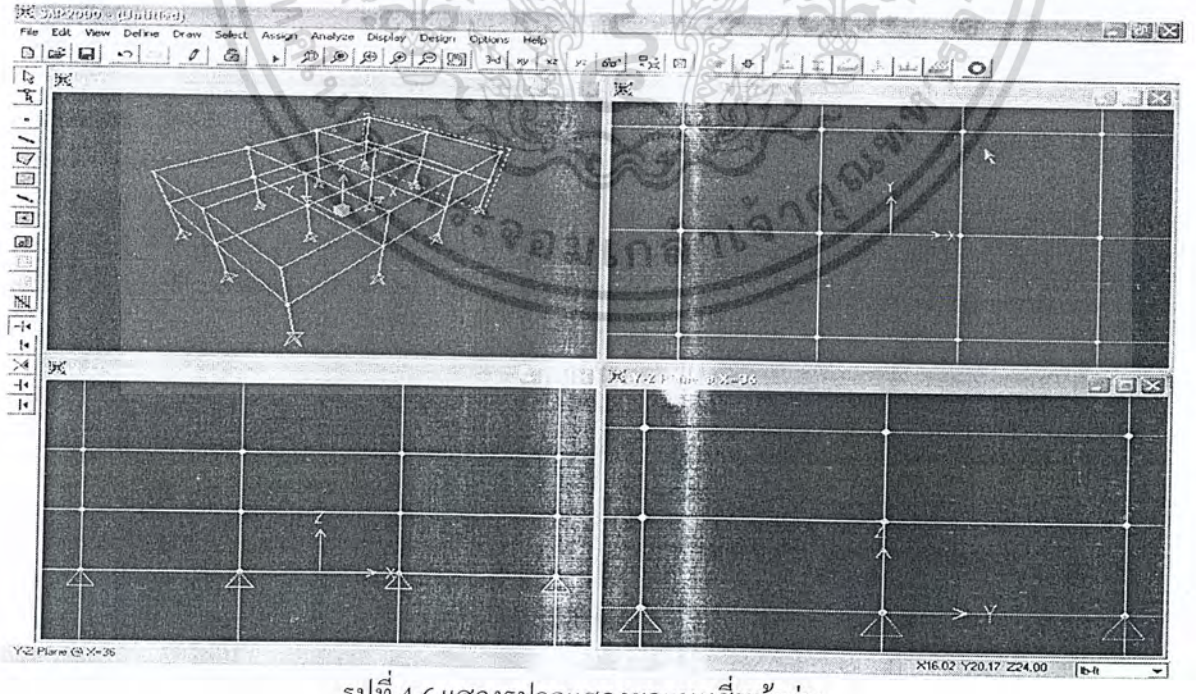
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. จอแสดงผล

จอแสดงผล จะแสดงรูปร่างโครงสร้างที่กำลังศึกษาอยู่ ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงรูปจอแสดงผลแบบสองหน้าต่าง



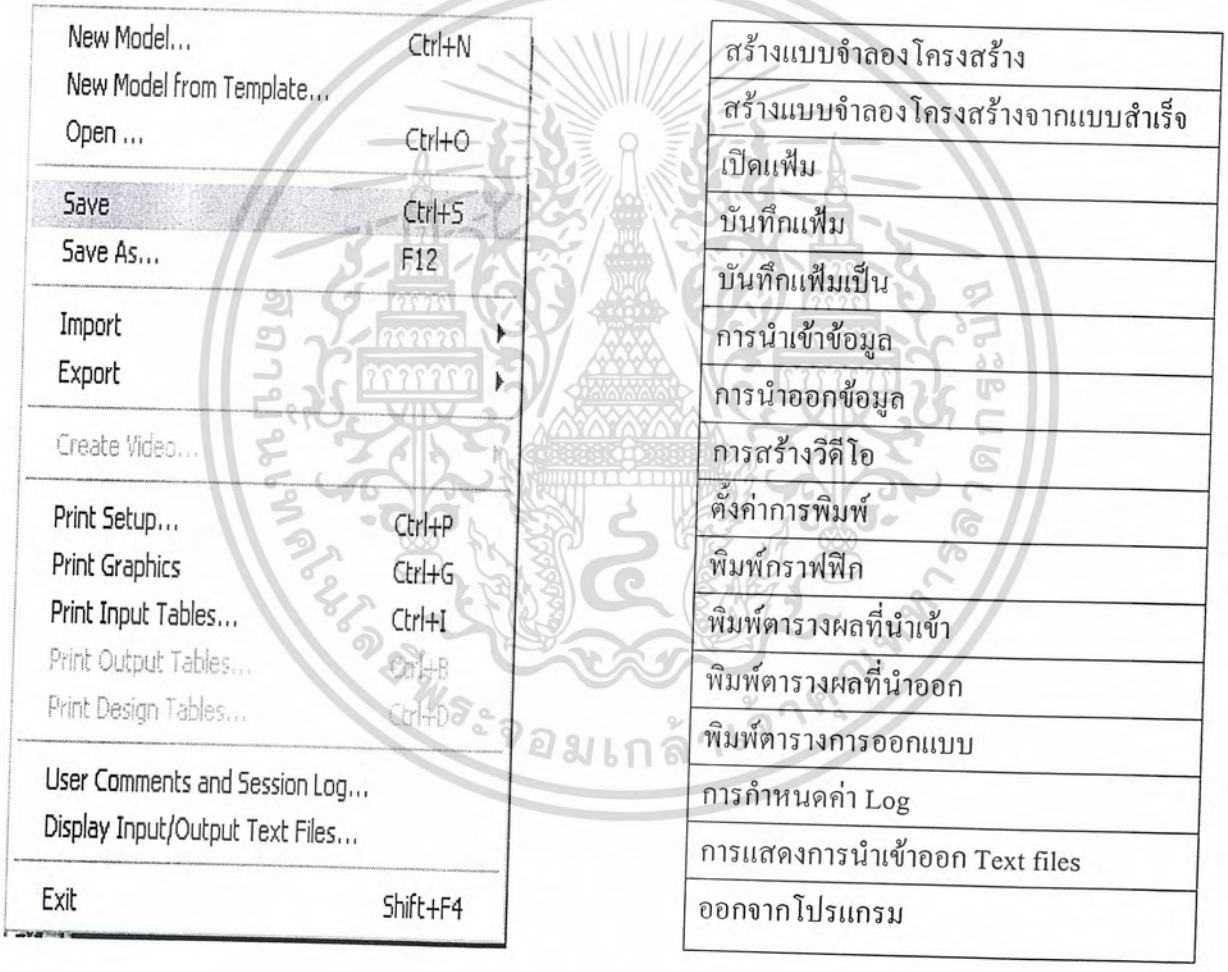
รูปที่ 4.6 แสดงรูปจอแสดงผลแบบสี่หน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. เมนูการใช้งานเบื้องต้น

4.3.1. File Menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการการจัดการไฟล์ข้อมูล เช่น สร้างแบบตัวอย่างโครงสร้าง, การบันทึก, ฯลฯ

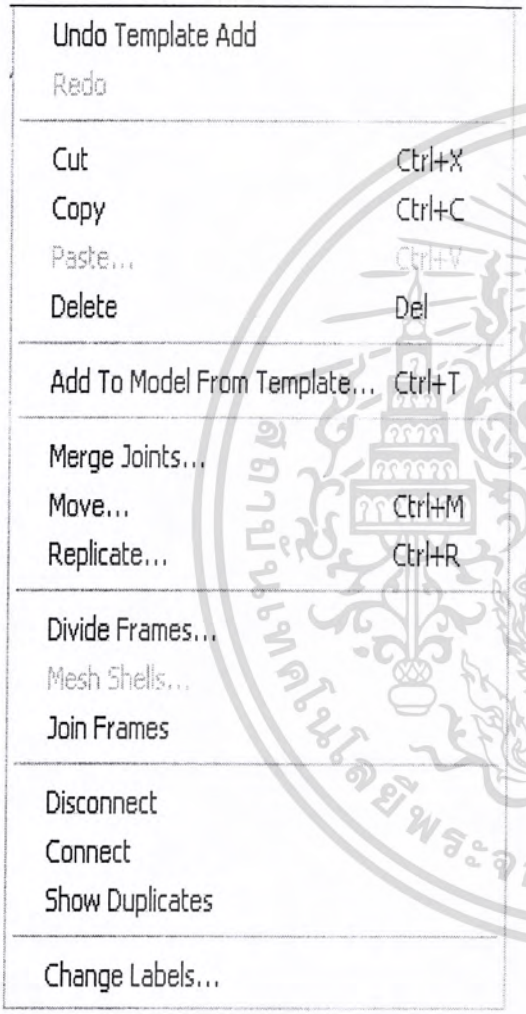


รูปที่ 4.7 แสดง File Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. Edit Menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการแก้ไข, การแบ่งชิ้นส่วน, เพิ่มชิ้นส่วน, ลดชิ้นส่วน, เคลื่อนย้าย, ทำซ้ำ, หรือลบชิ้นส่วนโครงสร้าง



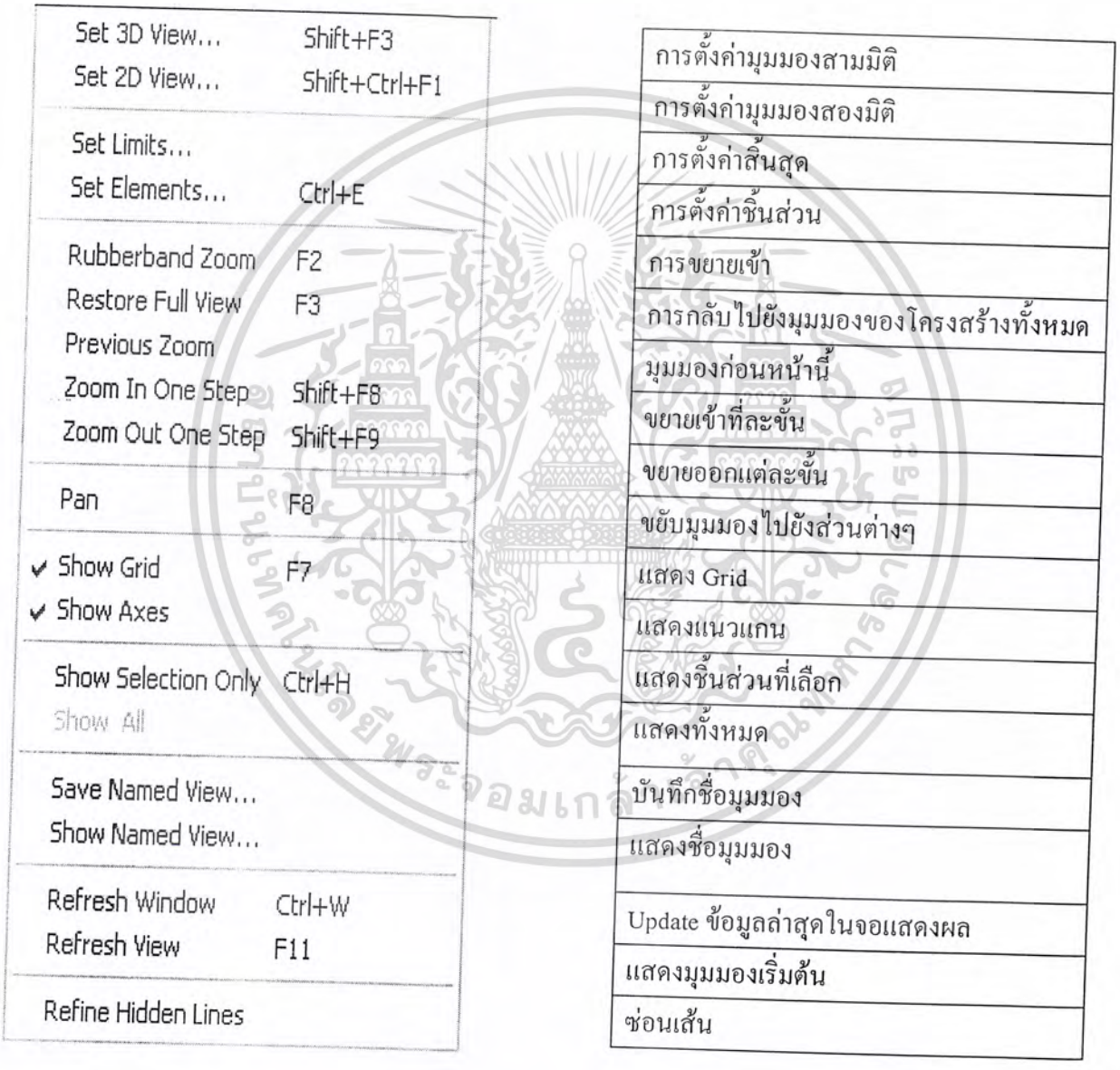
ยกเลิกการเพิ่มแบบโครงสร้างสำเร็จ
การทำซ้ำอีกครั้ง
ตัด
คัดลอก
วาง
ลบ
การเพิ่มแบบโครงสร้างสำเร็จ
การรวมจุดต่อ
การย้าย
การคัดลอกชิ้นส่วนซ้ำอีกครั้ง
การแยกชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง
การแยกส่วนโครงสร้างเปลือกบาง
การต่อชิ้นส่วนระหว่างจุดเชื่อม
ยกเลิกการติดต่อ
การเชื่อมต่อ
การแสดงชิ้นส่วนที่ทำซ้ำ
เปลี่ยนชื่อตำแหน่งชิ้นส่วน

รูปที่ 4.8 แสดง Edit menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3. View menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการกำหนดค่าหน้าต่างมุมมองแสดงผล การแสดงรายละเอียดของแบบโครงสร้าง การขยายภาพของโครงสร้าง

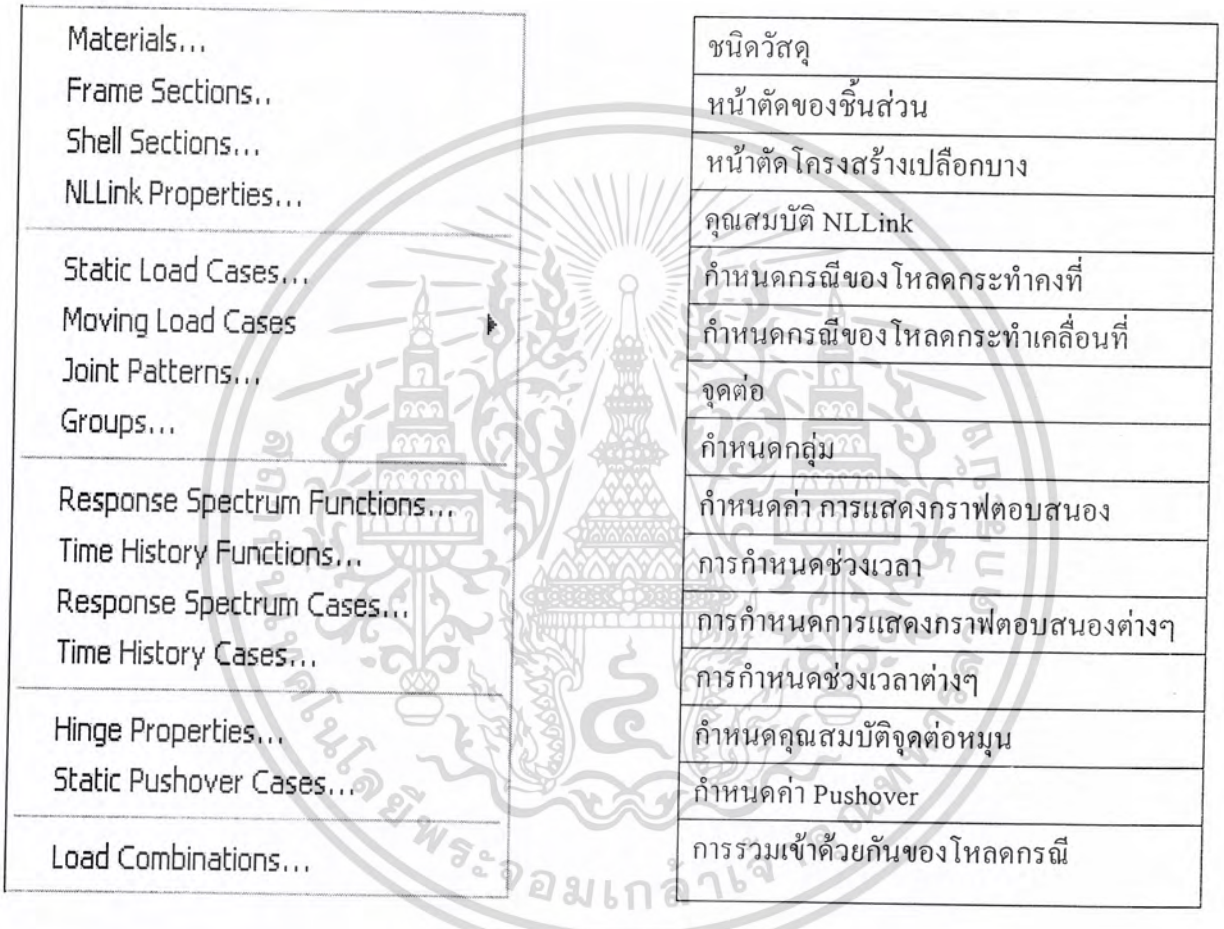


รูปที่ 4.9 แสดง View menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4. Define menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการนิยามคุณสมบัติพื้นฐานในการวิเคราะห์ เช่น ประเภทวัสดุ, น้ำหนักบรรทุก, ฯลฯ

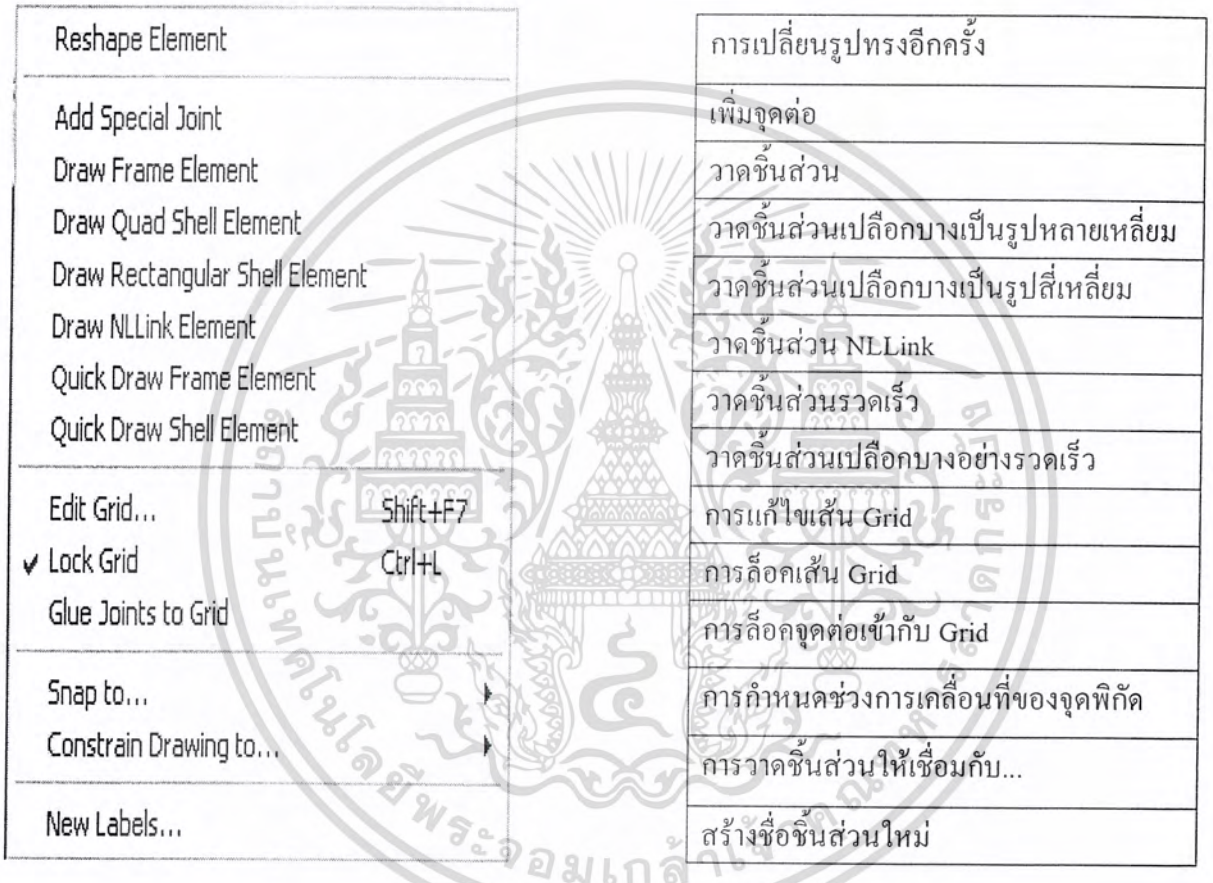


รูปที่ 4.10 แสดง Define menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5. Draw menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการ วาดชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อให้ได้รูปตามที่ต้องการก่อนที่จะทำการวิเคราะห์

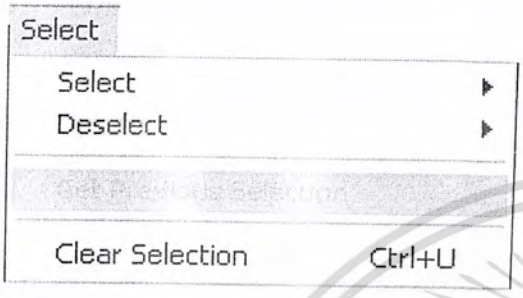


รูปที่ 4.11 แสดง Draw menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6. Select menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการเลือกแนวแกนระนาบในการแสดงผล เป็นต้น

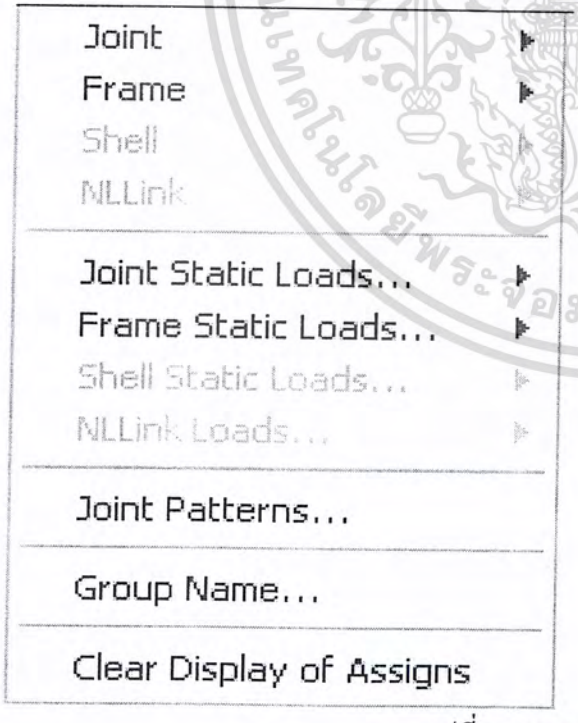


เลือก
ยกเลิกการเลือก
ทำการเลือกชิ้นส่วนที่เลือกก่อนหน้านี้
ไม่เลือกชิ้นส่วนทั้งหมด

รูปที่ 4.12 แสดง Select menu

4.3.7. Assign menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการ ใส่น้ำหนักบรรทุก การกำหนดคุณสมบัติของแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างการกำหนดฐานรองรับโครงสร้าง เป็นต้น



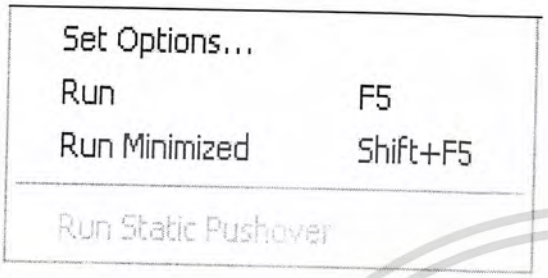
จุดเชื่อมต่อ
ชิ้นส่วนโครงสร้าง
โครงสร้างเปลือกบาง
NLLink
กำหนดค่าแรงกระทำต่อจุดเชื่อมต่อ
กำหนดค่าแรงกระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง
กำหนดค่าแรงกระทำต่อชิ้นส่วนเปลือกบาง
กำหนดค่าแรงกระทำ NLLink
แบบแผนจุดเชื่อมต่อ
กำหนดชื่อกลุ่มแรงกระทำ
ยกเลิกค่าที่กำหนดในเมนูนี้

รูปที่ 4.13 แสดง Assign menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8. Analyze menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้าง

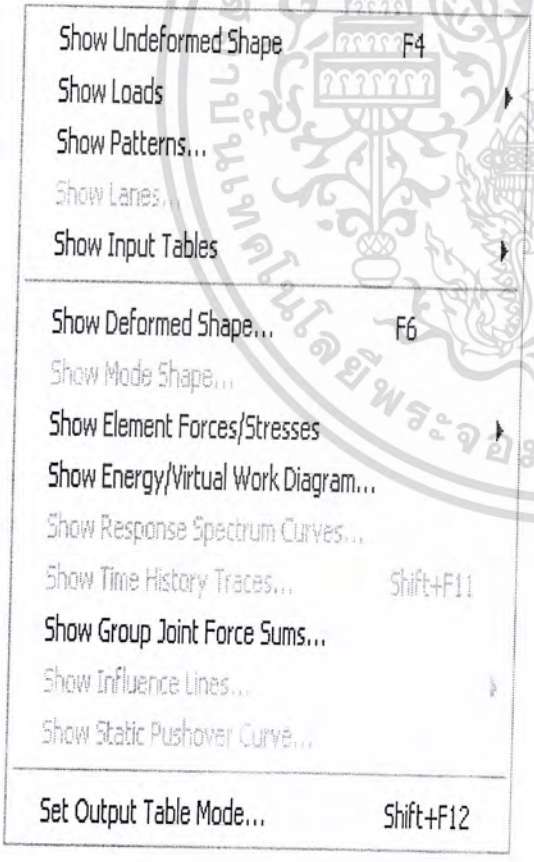


การกำหนดค่าออพชั่นที่ใช้ในการวิเคราะห์
วิเคราะห์
วิเคราะห์แบบย่อ
วิเคราะห์ Pushover

รูปที่ 4.14 แสดง Analyze menu

4.3.9. Display menu

เป็น menu เกี่ยวกับการแสดงผลของการวิเคราะห์ต่าง ๆ



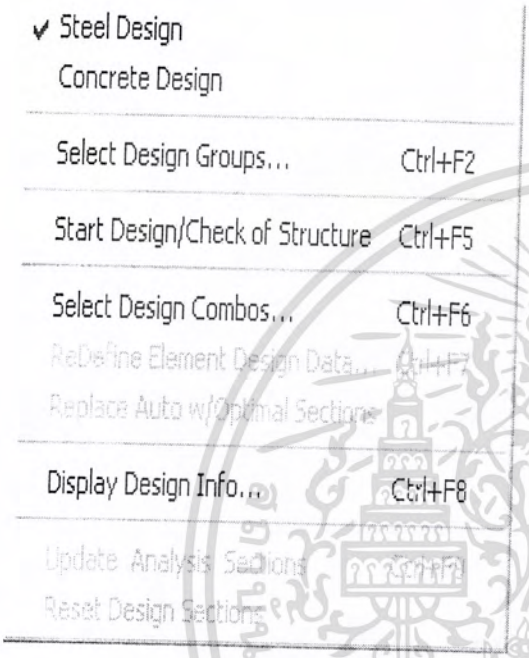
แสดงโครงสร้างที่ไม่เสียรูป
แสดงน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง
แสดงโครงสร้างปกติ
แสดงช่องทางจราจร
แสดงผลเป็นตาราง
แสดงโครงสร้างที่เสียรูป
แสดงโหมดการเสียรูป
แสดงค่าแรงและSTRESS
แสดงค่าพลังงานและค่าไดอะแกรม
แสดงแถบสีตอบสนอง
แสดงกราฟของเวลา - น้ำหนักกระทำ
แสดงตารางกลุ่มจุดต่อแรง
แสดง INFLUENCE LINES
แสดง STATIC PUSHOVER CURVE
กำหนดค่าการแสดงผลเป็นตาราง

รูปที่ 4.15 แสดง Display menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.10. Design menu

เป็น menu ที่เกี่ยวกับการออกแบบ



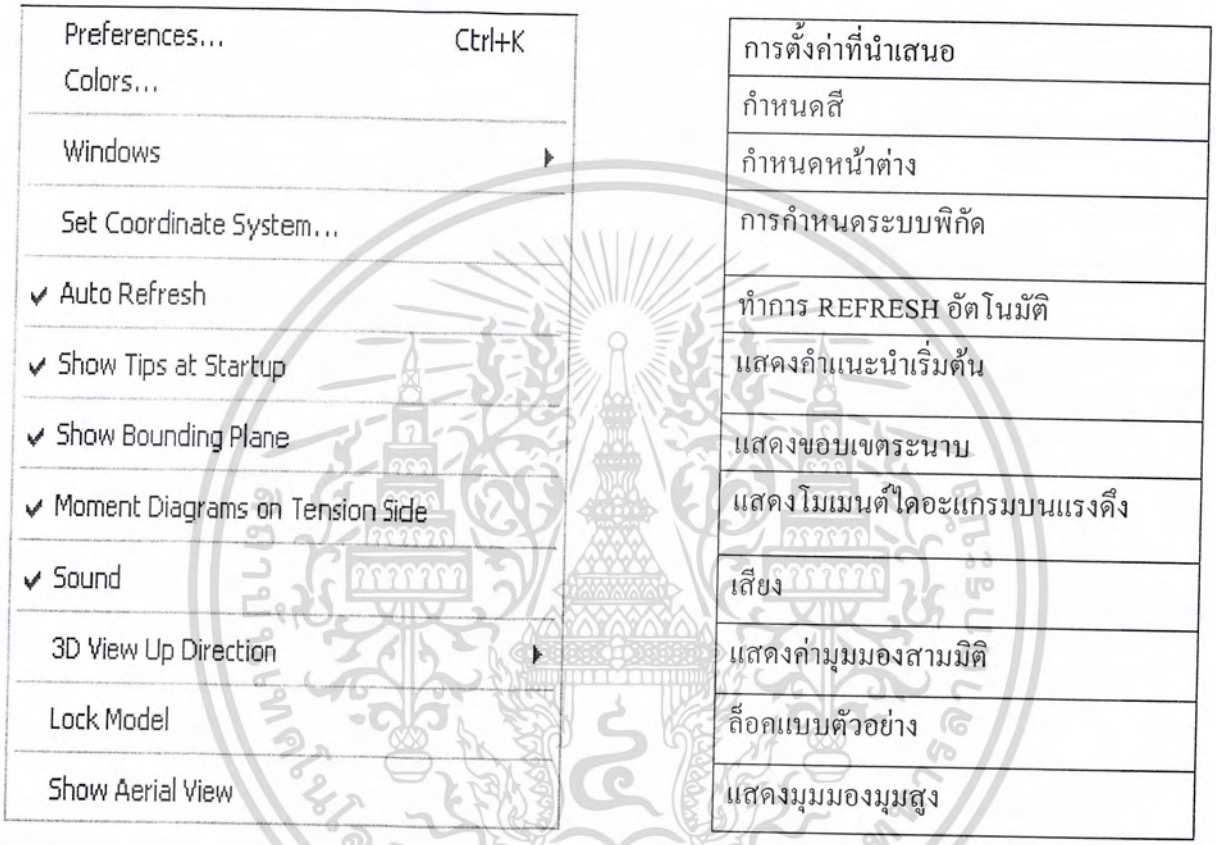
ออกแบบเหล็ก
ออกแบบคอนกรีต
เลือกกลุ่มการออกแบบ
เลือกและตรวจสอบโครงสร้าง
เลือกการออกแบบ COMBO
ทำการ DEFINE ชิ้นส่วนอีกครั้ง
แทนที่หน้าตัดให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ
กำหนดการแสดงผล
ทำการ UP DATE หน้าตัด
ตั้งค่าหน้าตัดเริ่มต้น

รูปที่ 4.16 แสดง Design menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.11. Option menu

เป็น menu ใช้กำหนดลักษณะต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนสีชิ้นส่วน เป็นต้น



รูปที่ 4.17 แสดง Option menu

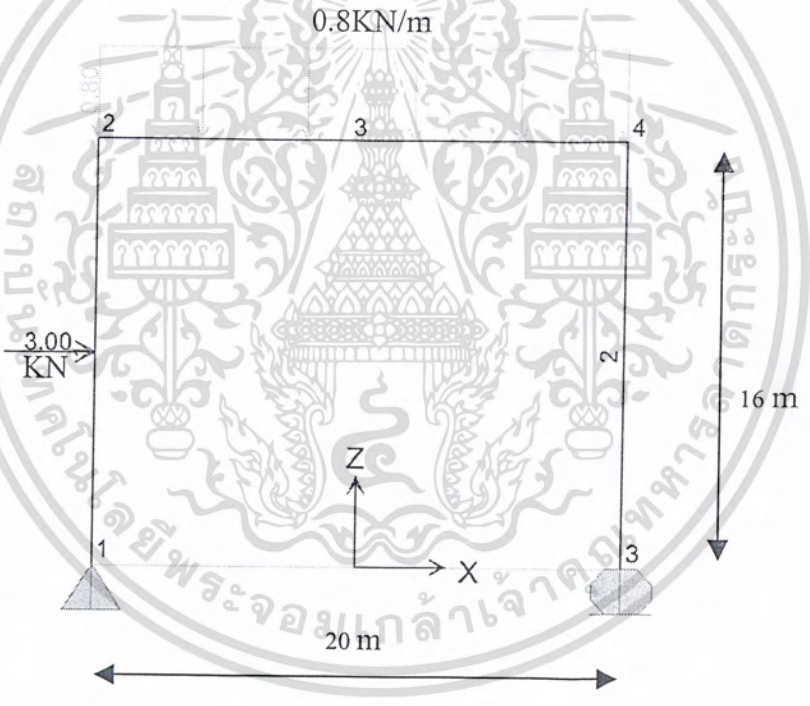
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโปรแกรมกับการคำนวณ

ในบทนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณของโปรแกรมและการคำนวณโดยวิธี Classical method รวมทั้งนำเสนอตัวอย่างการวิเคราะห์โครงสร้างชนิดต่างๆ

โครงข้อแข็งสองมิติ

5.1. การคำนวณโดยโปรแกรมSA2000



รูปที่ 5.1 ภาพแสดงโครงข้อแข็ง 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโมเดล

1. หน่วยที่ใช้

- แรง kN
- ระยะ m

2. ข้อมูลของจุดต่อ (joint data)

- จำนวนจุดต่อ 4 จุด
- พิกัด

จุดต่อที่	พิกัด			Nodal Gen
	X	y	Z	
1	-10	0	0	0
2	-10	0	16	0
3	10	0	0	0
4	10	0	16	0

3. ข้อมูลของชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนที่	จุดต่อเริ่มต้น	จุดต่อสุดท้าย	Element Gen
1	1	2	0
2	3	4	0
3	2	4	0

4. ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง

-จำนวน Load case 1 load case

-Load case 1: Live

Self weight multiplying = 0

ชิ้นส่วน	ชนิด	ตำแหน่ง		ขนาด		
		จากจุดต่อเริ่มต้น	จากจุดต่อสุดท้าย	x	y	z
1	Pt. load	8	-	3	0	0
3	Uniform load	0	0	0	0	-0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อมูลวัสดุและหน้าตัด

5.1. ชนิด : Steel Fy = 248211.3

Unit weight = 76.81955

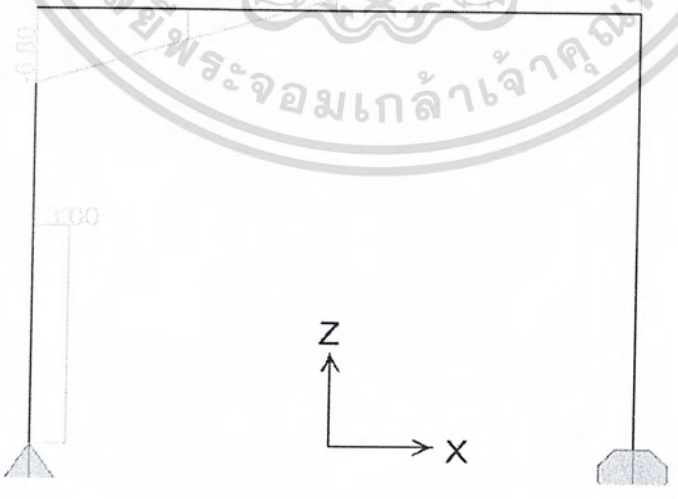
E (ค่ายังโมดูลัส) = 1.99948E+08

5.2. หน้าตัด L1X1X1/8

ชิ้นส่วนที่ใช้ : 1, 2, 3

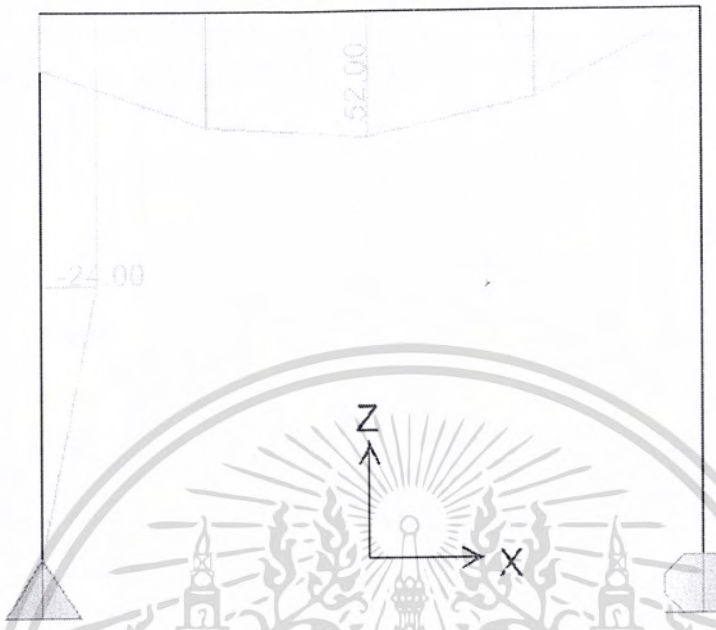
6. ข้อมูลจุดรองรับ

จุดต่อ	DEGREE OF FREEDOM					
	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	✓	✓	✓	✓	-	✓
13	-	-	-	-	-	✓

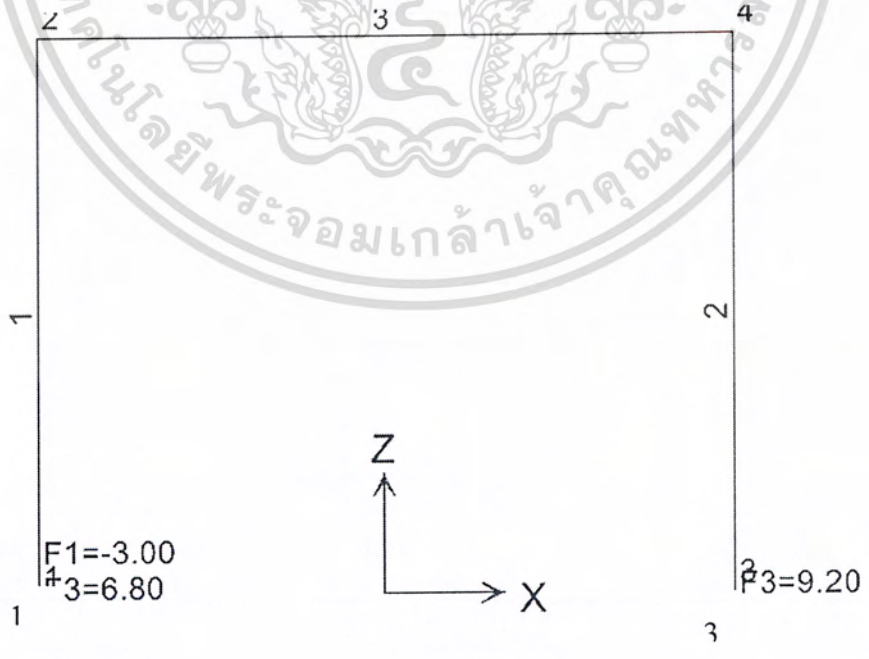


รูปที่ 5.2 การแสดงผลลัพธ์ shear force diagram จากการคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 การแสดงผลลัพธ์ Moment diagram จากการคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000



รูปที่5.4 การแสดงผลลัพธ์ค่า Reaction ที่จุด support

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การคำนวณโดยวิธี Classical method

คำนวณค่าโมเมนต์ Max หาค่าระยะ X ที่ทำให้ได้ค่าโมเมนต์สูงสุด

$$V = 6.8 - 0.8X$$
$$0 = 6.8 - 0.8X$$
$$X = \frac{6.8}{0.8} = 8.5m$$
$$M_{Max} = 6.8X - \frac{0.8X^2}{2} + 24 = 52.9\text{KN-m}$$

$$\longrightarrow \sum F_X = 0 :$$
$$A_X = 3 \leftarrow$$

$$\sum M_A = 0 :$$
$$3(8) + 8(20)(10) - 20\,D_Y = 0$$
$$D_Y = 9.2 \uparrow$$

$$\sum M_D = 0$$
$$3(8) - 8(20)(10) + 20\,A_Y = 0$$
$$A_Y = 6.8 \uparrow$$

ตารางที่5.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	reaction (KN)			shearforce V2 (KN)			moment M3 (KN-m)		
Text	m	โปรแกรม	classical	ERROR %	โปรแกรม	classical	ERROR %	โปรแกรม	classical	ERROR %
1	0	-6.8	-6.8	0	3	3	0	0	0	0
1	8	-6.8	-6.8	0	3	3	0	-24	-24	0
1	16	-6.8	-6.8	0	-3.4E-12	0	0	-24	-24	0
2	0	-9.2	-9.2	0	-7.1E-15	0	0	0	0	0
2	8	-9.2	-9.2	0	-7.1E-15	0	0	0	0	0
2	16	-9.2	-9.2	0	-7.1E-15	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	-6.8	-6.8	0	24	24	0
3	5	0	0	0	-2.8	-2.8	0	48	48	0
3	10	0	0	0	1.2	1.2	0	52	52	0
3	15	0	0	0	5.2	5.2	0	36	36	0
3	20	0	0	0	9.2	9.2	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดที่ได้บนชิ้นส่วนที่ 3

ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Classical method เท่ากับ 52.9KN-m

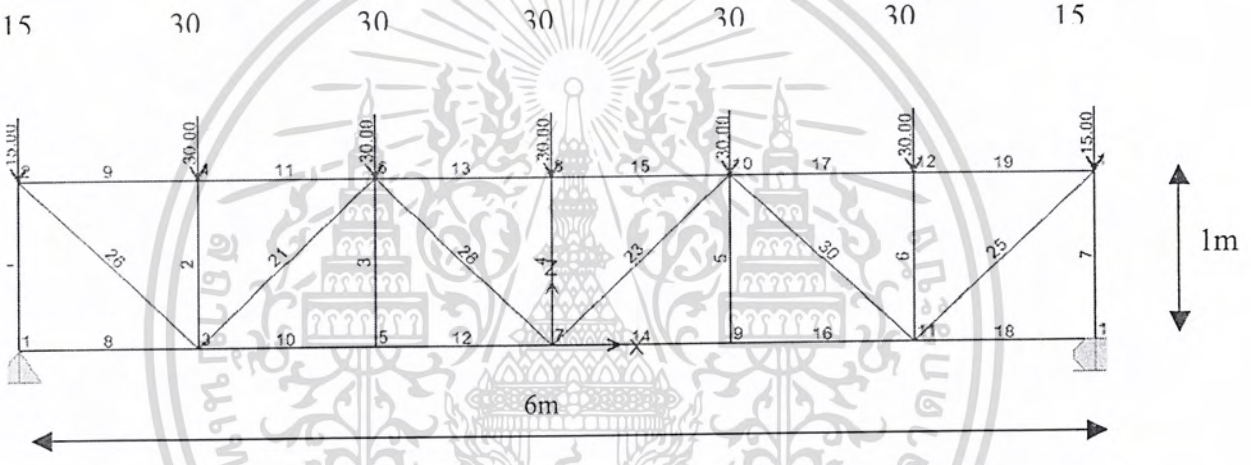
ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปแกรม SAP2000 เท่ากับ 52.0 KN-m

ค่า ERROR ที่ได้จากการเปรียบเทียบ เท่ากับ $\frac{52.9-52}{}$ X 100 = 1.73 %

52

2.โครงข้อหมุน สองมิติ

การคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000



รูปที่ 5.5. แสดงโครงข้อหมุนสองมิติ

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโมเดล

1.หน่วยที่ใช้

- แรง kN
- ระยะ m

2.ข้อมูลของจุดต่อ (joint data)

- จำนวนจุดต่อ 14 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิกัด

จุดต่อที่	พิกัด			Nodal Gen
	x	y	z	0
1	-3	0	1	0
2	-3	0	1	0
3	-2	0	0	0
4	-2	0	1	0
5	-1	0	0	0
6	-1	0	1	0
7	0	0	0	0
8	0	0	1	0
9	1	0	0	0
10	1	0	1	0
11	2	0	0	0
12	2	0	1	0
13	3	0	0	0
14	3	0	1	0

3.ข้อมูลของชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนที่	จุดต่อเริ่มต้น	จุดต่อสุดท้าย	Element Gen
1	1	2	0
2	3	4	0
3	5	6	0
4	7	8	0
5	9	10	0
6	11	12	0
7	13	14	0
8	1	3	0
9	2	4	0
10	3	5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11	4	6	0
12	5	7	0
13	6	8	0
14	7	9	0
15	8	10	0
16	9	11	0
17	10	12	0
18	11	13	0
19	12	14	0
21	3	6	0
23	7	10	0
25	11	14	0
26	3	2	0
28	7	6	0
30	11	10	0

4. ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง

-จำนวน Load case 1 load case

-Load case 1 : Live

-Self weight multiplying = 0

จุดต่อ	ชนิด	ทิศทาง		
	Pt. load	X	Y	Z
2	Pt. load	0	0	-15
4	Pt. load	0	0	-30
6	Pt. load	0	0	-30
8	Pt. load	0	0	-30
10	Pt. load	0	0	-30
12	Pt. load	0	0	-30
14	Pt. load	0	0	-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อมูลวัสดุและหน้าตัด

5.1. ชนิด : Steel Fy = 248211.3

Unit weight = 76.81955

E (ค่ายังโมดูลัส) = 1.99948E+08

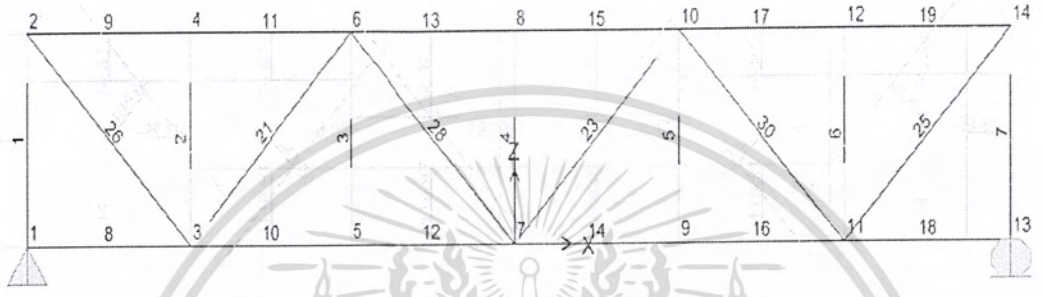
5.2. หน้าตัด L1X1X1/8

ชิ้นส่วนที่ใช้ : 1-14

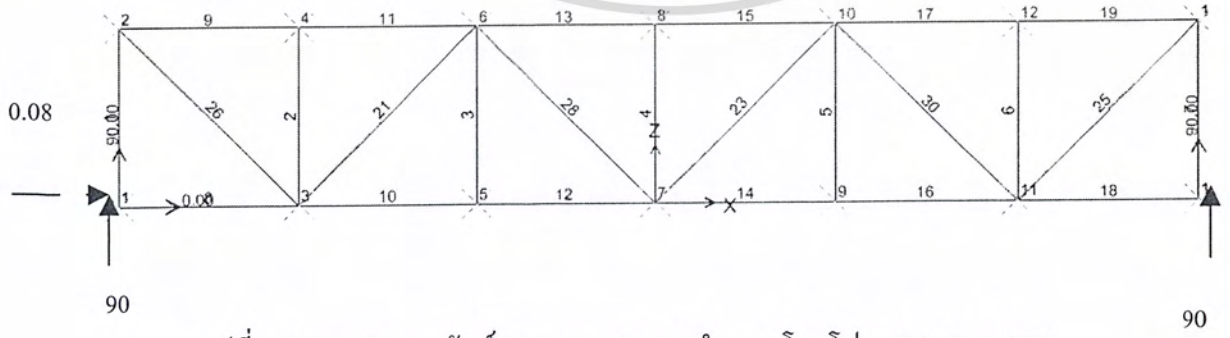
6. ข้อมูลจุดรองรับ

จุดต่อ	DEGREE OF FREEDOM					
	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	✓	✓	✓	✓	-	✓
13	-	-	-	-	-	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 การแสดงผลลัพธ์ Axial force diagram จากการคำนวณโดยโปรแกรม



รูปที่ 5.7 การแสดงผลลัพธ์ Reaction จากการคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ในการวิเคราะห์

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	แรงในแนวแกน (KN)			แรงเฉือนในแนวแกน V2 (KN)			โมเมนต์ในแนวแกน M3 (KN-m)		
Text	m	โปรแกรม	classical	ERROR %	โปรแกรม	classical	ERROR %	โปรแกรม	classical	ERROR %
1	0	-89.874	-90	0.14	-0.108	0	0	-0.0572	0	0
1	0.5	-89.874	-90	0.14	-0.108	0	0	-0.0033	0	0
1	1	-89.874	-90	0.14	-0.108	0	0	0.0506	0	0
2	0	-29.909	-30	0.303333	-0.104	0	0	-0.0533	0	0
2	0.5	-29.909	-30	0.303333	-0.104	0	0	-0.0012	0	0
2	1	-29.909	-30	0.303333	-0.104	0	0	0.051	0	0
3	0	-0.017	0	0	-0.042	0	0	-0.0212	0	0
3	0.5	-0.017	0	0	-0.042	0	0	-0.00029	0	0
3	1	-0.017	0	0	-0.042	0	0	0.0206	0	0
4	0	-29.924	-30	0.253333	2.5E-16	0	0	1.11E-16	0	0
4	0.5	-29.924	-30	0.253333	2.5E-16	0	0	-1.4E-17	0	0
4	1	-29.924	-30	0.253333	2.5E-16	0	0	-1.4E-16	0	0
5	0	-0.017	0	0	0.042	0	0	0.0212	0	0
5	0.5	-0.017	0	0	0.042	0	0	0.000285	0	0
5	1	-0.017	0	0	0.042	0	0	-0.0206	0	0
6	0	-29.909	-30	0.303333	0.104	0	0	0.0533	0	0
6	0.5	-29.909	-30	0.303333	0.104	0	0	0.0012	0	0
6	1	-29.909	-30	0.303333	0.104	0	0	-0.051	0	0
7	0	-89.874	-90	0.14	0.108	0	0	0.0572	0	0
7	0.5	-89.874	-90	0.14	0.108	0	0	0.0033	0	0
7	1	-89.874	-90	0.14	0.108	0	0	-0.0506	0	0
8	0	0.108	0	0	-0.126	0	0	-0.0572	0	0
8	0.25	0.108	0	0	-0.126	0	0	-0.0256	0	0
8	0.5	0.108	0	0	-0.126	0	0	0.0059	0	0
8	0.75	0.108	0	0	-0.126	0	0	0.0375	0	0
8	1	0.108	0	0	-0.126	0	0	0.0691	0	0
9	0	-74.869	-75	0.174667	-0.109	0	0	-0.051	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	0.25	-74.869	-75	0.174667	-0.109	0	0	-0.0236	0	0
9	0.5	-74.869	-75	0.174667	-0.109	0	0	0.0038	0	0
9	0.75	-74.869	-75	0.174667	-0.109	0	0	0.0311	0	0
9	1	-74.869	-75	0.174667	-0.109	0	0	0.0585	0	0
10	0	119.933	120	0.055833	-0.031	0	0	0.0019	0	0
10	0.25	119.933	120	0.055833	-0.031	0	0	0.0097	0	0
10	0.5	119.933	120	0.055833	-0.031	0	0	0.0175	0	0
10	0.75	119.933	120	0.055833	-0.031	0	0	0.0253	0	0
10	1	119.933	120	0.055833	-0.031	0	0	0.0331	0	0
11	0	-74.973	-75	0.036	-0.018	0	0	0.0075	0	0
11	0.25	-74.973	-75	0.036	-0.018	0	0	0.0121	0	0
11	0.5	-74.973	-75	0.036	-0.018	0	0	0.0166	0	0
11	0.75	-74.973	-75	0.036	-0.018	0	0	0.0211	0	0
11	1	-74.973	-75	0.036	-0.018	0	0	0.0257	0	0
12	0	119.975	120	0.020833	-0.014	0	0	0.0119	0	0
12	0.25	119.975	120	0.020833	-0.014	0	0	0.0155	0	0
12	0.5	119.975	120	0.020833	-0.014	0	0	0.0191	0	0
12	0.75	119.975	120	0.020833	-0.014	0	0	0.0227	0	0
12	1	119.975	120	0.020833	-0.014	0	0	0.0263	0	0
13	0	-134.922	-135	0.057778	-0.038	0	0	-6.9E-05	0	0
13	0.25	-134.922	-135	0.057778	-0.038	0	0	0.0094	0	0
13	0.5	-134.922	-135	0.057778	-0.038	0	0	0.0188	0	0
13	0.75	-134.922	-135	0.057778	-0.038	0	0	0.0283	0	0
13	1	-134.922	-135	0.057778	-0.038	0	0	0.0377	0	0
14	0	119.975	120	0.020833	0.014	0	0	0.0263	0	0
14	0.25	119.975	120	0.020833	0.014	0	0	0.0227	0	0
14	0.5	119.975	120	0.020833	0.014	0	0	0.0191	0	0
14	0.75	119.975	120	0.020833	0.014	0	0	0.0155	0	0
14	1	119.975	120	0.020833	0.014	0	0	0.0119	0	0
15	0	-134.922	-135	0.057778	0.038	0	0	0.0377	0	0
15	0.25	-134.922	-135	0.057778	0.038	0	0	0.0283	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15	0.5	-134.922	-135	0.057778	0.038	0	0	0.0188	0	0
15	0.75	-134.922	-135	0.057778	0.038	0	0	0.0094	0	0
15	1	-134.922	-135	0.057778	0.038	0	0	-6.9E-05	0	0
16	0	119.933	120	0.055833	0.031	0	0	0.0331	0	0
16	0.25	119.933	120	0.055833	0.031	0	0	0.0253	0	0
16	0.5	119.933	120	0.055833	0.031	0	0	0.0175	0	0
16	0.75	119.933	120	0.055833	0.031	0	0	0.0097	0	0
16	1	119.933	120	0.055833	0.031	0	0	0.0019	0	0
17	0	-74.973	-75	0.036	0.018	0	0	0.0257	0	0
17	0.25	-74.973	-75	0.036	0.018	0	0	0.0211	0	0
17	0.5	-74.973	-75	0.036	0.018	0	0	0.0166	0	0
17	0.75	-74.973	-75	0.036	0.018	0	0	0.0121	0	0
17	1	-74.973	-75	0.036	0.018	0	0	0.0075	0	0
18	0	0.108	0	0	0.126	0	0	0.0691	0	0
18	0.25	0.108	0	0	0.126	0	0	0.0375	0	0
18	0.5	0.108	0	0	0.126	0	0	0.0059	0	0
18	0.75	0.108	0	0	0.126	0	0	-0.0256	0	0
18	1	0.108	0	0	0.126	0	0	-0.0572	0	0
19	0	-74.869	-75	0.174667	0.109	0	0	0.0585	0	0
19	0.25	-74.869	-75	0.174667	0.109	0	0	0.0311	0	0
19	0.5	-74.869	-75	0.174667	0.109	0	0	0.0038	0	0
19	0.75	-74.869	-75	0.174667	0.109	0	0	-0.0236	0	0
19	1	-74.869	-75	0.174667	0.109	0	0	-0.051	0	0
21	0	-63.576	-63.639	0.098996	0.006608	0	0	0.0172	0	0
21	0.70711	-63.576	-63.639	0.098996	0.006608	0	0	0.0126	0	0
21	1.41421	-63.576	-63.639	0.098996	0.006608	0	0	0.0079	0	0
23	0	21.139	21.213	0.348843	0.000363	0	0	0.0136	0	0
23	0.70711	21.139	21.213	0.348843	0.000363	0	0	0.0133	0	0
23	1.41421	21.139	21.213	0.348843	0.000363	0	0	0.013	0	0
25	0	105.73	106.066	0.316784	0.0021	0	0	0.0033	0	0
25	0.70711	105.73	106.066	0.316784	0.0021	0	0	0.0018	0	0

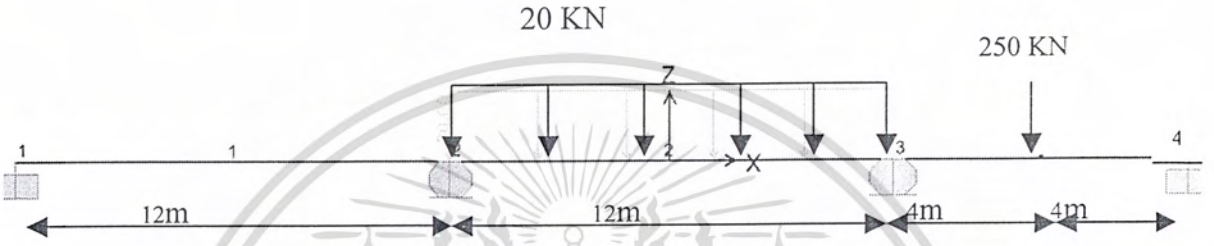
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	1.41421	105.73	106.066	0.316784	0.0021	0	0	0.000364	0	0
26	0	105.73	106.066	0.316784	0.0021	0	0	0.0033	0	0
26	0.70711	105.73	106.066	0.316784	0.0021	0	0	0.0018	0	0
26	1.41421	105.73	106.066	0.316784	0.0021	0	0	0.000364	0	0
28	0	21.139	21.213	0.348843	0.000363	0	0	0.0136	0	0
28	0.70711	21.139	21.213	0.348843	0.000363	0	0	0.0133	0	0
28	1.41421	21.139	21.213	0.348843	0.000363	0	0	0.013	0	0
30	0	-63.576	-63.639	0.098996	0.006608	0	0	0.0172	0	0
30	0.70711	-63.576	-63.639	0.098996	0.006608	0	0	0.0126	0	0
30	1.41421	-63.576	-63.639	0.098996	0.006608	0	0	0.0079	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.คานต่อเนื่อง

การคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000



รูปที่ 5.8 แสดงคานต่อเนื่อง

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโมเดล

1. หน่วยที่ใช้

   - แรง kN
   - ระยะ m

2. ข้อมูลของจุดต่อ (joint data)

   - จำนวนจุดต่อ 4 จุด
   - พิกัด

จุดต่อที่	พิกัด			Nodal Gen
	X	y	Z	
1	-18	0	0	0
2	-6	0	0	0
3	6	0	0	0
4	14	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ข้อมูลของชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนที่	จุดต่อเริ่มต้น	จุดต่อสุดท้าย	Element Gen
1	1	2	0
2	2	3	0
3	3	4	0

4. ข้อมูลน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง

-จำนวน load case 1 load case

-load case 1 : Live

self weight multiplying = 0

ชิ้นส่วน	ชนิด	ตำแหน่ง		ขนาด		
		จากจุดต่อเริ่มต้น	จากจุดต่อสุดท้าย	x	y	z
1	pt. load	4	-	0	0	-250
3	uniform load	2	3	0	0	-20

5. ข้อมูลวัสดุและหน้าตัด

5.1. ชนิด : Steel Fy = 248211.3

Unit weight = 76.81955

E (ค่ายังโมดูลัส) = 1.99948E+08

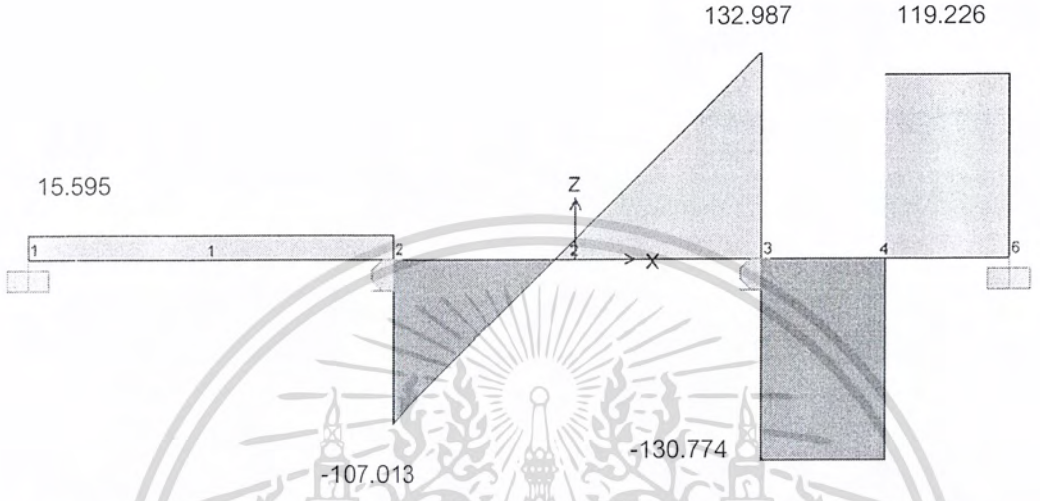
5.2. หน้าตัด L1X1X1/8

ชิ้นส่วนที่ใช้ : 1, 2, 3

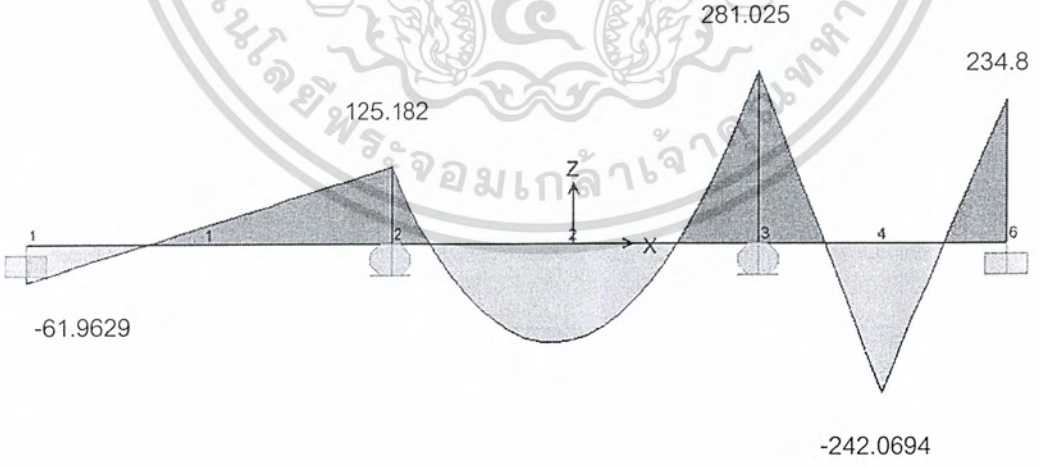
6. ข้อมูลจุดรองรับ

จุดต่อ	DEGREE OF FREEDOM					
	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	-	✓	✓	✓	-	✓
3	-	✓	✓	✓	-	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 การแสดงผลลัพธ์ Shear force diagram จากการคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000



รูปที่ 5.10 การแสดงผลลัพธ์ Moment diagram จากการคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่5.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ในการวิเคราะห์

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	แรงเฉือนในแนวแกน V2 (KN)			โมเมนต์ในแนวแกน M3 (KN-m)		
Text	m	โปรแกรม	classical	ERROR %	โปรแกรม	M3classical	ERROR %
1	0	15.595	15.7	0.66879	61.9629	62.5	0.85936
1	0.5	15.595	15.7	0.66879	54.1652	54.2	0.064207
1	1	15.595	15.7	0.66879	46.3675	46.4	0.070043
1	1.5	15.595	15.7	0.66879	38.5698	38.6	0.078238
1	2	15.595	15.7	0.66879	30.7721	30.8	0.090584
1	2.5	15.595	15.7	0.66879	22.9744	23	0.111304
1	3	15.595	15.7	0.66879	15.1766	15.2	0.153947
1	3.5	15.595	15.7	0.66879	7.3789	7.4	0.285135
1	4	15.595	15.7	0.66879	-0.4188	-0.42	0.285714
1	4.5	15.595	15.7	0.66879	-8.2165	-8.22	0.042579
1	5	15.595	15.7	0.66879	-16.0142	-16.01	-0.02623
1	5.5	15.595	15.7	0.66879	-23.8119	-23.81	-0.00798
1	6	15.595	15.7	0.66879	-31.6096	-31.61	0.001265
1	6.5	15.595	15.7	0.66879	-39.4073	-39.41	0.006851
1	7	15.595	15.7	0.66879	-47.205	-47.2	-0.01059
1	7.5	15.595	15.7	0.66879	-55.0027	-55	-0.00491
1	8	15.595	15.7	0.66879	-62.8004	-62.8	-0.00064
1	8.5	15.595	15.7	0.66879	-70.5981	-70.6	0.002691
1	9	15.595	15.7	0.66879	-78.3958	-78.4	0.005357
1	9.5	15.595	15.7	0.66879	-86.1935	-86.2	0.007541
1	10	15.595	15.7	0.66879	-93.9912	-94	0.009362
1	10.5	15.595	15.7	0.66879	-101.789	-101.8	0.010904
1	11	15.595	15.7	0.66879	-109.587	-109.6	0.012226
1	11.5	15.595	15.7	0.66879	-117.384	-117.4	0.013373
1	12	15.595	15.7	0.66879	-125.182	-125.3	0.094174
2	0	-107.013	-107	-0.01215	-125.182	-125.3	0.094174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2	0.5	-97.013	-97	-0.0134	-74.1754	-74.2	0.033154
2	1	-87.013	-87	-0.01494	-28.1689	-28.2	0.110284
2	1.5	-77.013	-77	-0.01688	12.8377	12.8	-0.29453
2	2	-67.013	-67	-0.0194	48.8442	48.8	-0.09057
2	2.5	-57.013	-57	-0.02281	79.8508	79.85	-0.001
2	3	-47.013	-47	-0.02766	105.8573	105.86	0.002551
2	3.5	-37.013	-37	-0.03514	126.8639	126.86	-0.00307
2	4	-27.013	-27	-0.04815	142.8704	142.87	-0.00028
2	4.5	-17.013	-17	-0.07647	153.877	153.88	0.00195
2	5	-7.013	-7	-0.18571	159.8835	159.88	-0.00219
2	5.5	2.987	3	0.433333	160.8901	160.89	-6.2E-05
2	6	12.987	13	0.1	156.8966	156.9	0.002167
2	6.5	22.987	13	-76.8231	147.9032	147.9	-0.00216
2	7	32.987	33	0.039394	133.9097	133.91	0.000224
2	7.5	42.987	43	0.030233	114.9163	114.9163	0
2	8	52.987	53	0.024528	90.9228	90.98	0.062871
2	8.5	62.987	63	0.020635	61.9294	61.92	-0.01518
2	9	72.987	73	0.017808	27.9359	27.9	-0.12867
2	9.5	82.987	83	0.015663	-11.0575	-11	-0.52273
2	10	92.987	93	0.013978	-55.051	-55	-0.09273
2	10.5	102.987	103	0.012621	-104.044	-104	-0.04269
2	11	112.987	113	0.011504	-158.038	-158	-0.02392
2	11.5	122.987	123	0.010569	-217.031	-217	-0.01442
2	12	132.987	133	0.009774	-281.025	-281	-0.00879
4	0	-130.774	-130.9	0.096257	-281.025	-281	-0.00879
4	0.5	-130.774	-130.9	0.096257	-215.638	-215.6	-0.01763
4	1	-130.774	-130.9	0.096257	-150.251	-150.2	-0.03409
4	1.5	-130.774	-130.9	0.096257	-84.8644	-84.8	-0.07594
4	2	-130.774	-130.9	0.096257	-19.4777	-19	-2.51421
4	2.5	-130.774	-130.9	0.096257	45.9091	45.9	-0.01983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	3	-130.774	-130.9	0.096257	111.2959	111.3	0.003684
4	3.5	-130.774	-130.9	0.096257	176.6826	176.68	-0.00147
4	4	-130.774	-130.9	0.096257	242.0694	242.1	0.012639
4	4	119.226	119.1	-0.10579	242.0694	242.1	0.012639
4	4.5	119.226	119.1	-0.10579	182.4562	182.4	-0.03081
4	5	119.226	119.1	-0.10579	122.8429	122.8	-0.03493
4	5.5	119.226	119.1	-0.10579	63.2297	63.2	-0.04699
4	6	119.226	119.1	-0.10579	3.6165	3.6	-0.45833
4	6.5	119.226	119.1	-0.10579	-55.9967	-55.99	-0.01197
4	7	119.226	119.1	-0.10579	-115.61	-115.6	-0.00865
4	7.5	119.226	119.1	-0.10579	-175.223	-175.2	-0.01324
4	8	119.226	119.1	-0.10579	-234.836	-234.8	-0.0155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลงาน

ในบทนี้เราจะทำการสรุปผลงาน และวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข รวมทั้งแนวทางในการพัฒนาต่อ

โปรแกรมSAP2000 มีความสามารถที่จะวิเคราะห์กำลัง, Moving Load, non-prismatic, Frame, ส่วนประกอบโครงสร้างเปลือกบาง, พลวัตการเคลื่อนที่, ระบบพิกัดสำหรับเรขาคณิตที่เกิดการบิดได้อย่างดี ในส่วนคำสั่งใช้งานโปรแกรมSAP2000 มีความสามารถที่ผสมผสานกันของมุมมองที่ใช้ เพื่อบอกพิกัดตำแหน่งอย่างอิสระ สามารถเพิ่มชิ้นส่วนโครงสร้างได้มากมายแต่มีขอบเขตตามปริมาณหน่วยความจำ เมื่อเพิ่มชิ้นส่วนโครงสร้างแล้วก็ยังวิเคราะห์ซ้ำได้อีก อีกทั้งยังสามารถแสดงลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลา, รูปแบบต่าง ๆ ของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง ความสามารถพิเศษในการเพิ่มส่วนประกอบเชื่อมโครงสร้างประเภท nonlinear และ Dynamic ระหว่างช่องว่างของ 2โครงสร้าง เช่น ตะขอ, isolators, dampers, บานพับ ฯลฯ มีความสามารถวิเคราะห์ pushover ที่มีลักษณะ Nonlinear สำหรับการปฏิบัติในส่วนพื้นฐานออกแบบโครงสร้างทั้งหมด ความสามารถของโปรแกรมสามารถออกแบบเหล็กและคอนกรีตได้อย่างสมบูรณ์แบบจากส่วนต่างๆของโปรแกรมที่ใช้เพื่อสร้างและวิเคราะห์แบบตัวอย่าง ความสามารถการออกแบบขนาดชิ้นส่วนเฟรมเหล็กเริ่มต้นและคำนวณภาวะที่ดีที่สุดโดยการกระทำซ้ำๆ ในการออกแบบของส่วนต่างๆของเฟรมและคอนกรีต รวมถึงการคำนวณจำนวนเหล็กที่ต้องเสริม และชิ้นส่วนต่างๆตามจุดประสงค์การออกแบบ โครงสร้างโปรแกรมถูกใช้เพื่อสนับสนุนความหลากหลายในการออกแบบ โดยมีข้อกำหนดของหลายประเทศสำหรับใช้ตรวจสอบในการออกแบบได้ตามความต้องการดังนี้

- U.S. ACI 318-95 (1995) and AASHTO LRFD (1997),
- Canadian CSA-A23.3-94 (1994),
- British BS 8110-85 (1989),
- Eurocode 2 ENV 1992-1-1 (1992), and
- New Zealand NZS 3101-95 (1995).

The program currently supports the following steel design codes:

- U.S. AISC/ASD (1989), AISC/LRFD (1994), AASHTO LRFD (1997)
- Canadian CAN/CSA-S16.1-94 (1994),
- British BS 5950 (1990), and
- Eurocode 3 (ENV 1993-1-1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1. สรุปผลงาน

จากการศึกษาโครงงานนี้ ทำให้เราได้เรียนรู้วิธีการใช้โปรแกรม SAP2000 และได้สื่อการสอนที่มีลักษณะที่เป็นมัลติมีเดียและคู่มือภาษาไทย ทำให้ผู้ที่ต้องการศึกษาเข้าใจวิธีการใช้โปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์โครงสร้างต่อไป ในส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมมีความเชื่อถือได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยวิธี Classical Method (ที่เป็นค่า exact solution) โดยค่า % ERROR ที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 0.85936 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างให้มีขนาดที่ซับซ้อนและมีชิ้นส่วนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิด ค่า ERROR มากขึ้นแต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าค่า ERROR ที่ได้นั้นมีค่าไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความน่าเชื่อถือ ในส่วนวิธีการคำนวณโปรแกรม SAP2000 ได้ใช้หลักการ Finite element ในการแก้ปัญหาชิ้นส่วนของโครงสร้าง รวมถึงการออกแบบคอนกรีตได้ใช้วิธีกำลัง ส่วนในการแก้ปัญหาโครงข้อหมุนโปรแกรมจะคำนวณโครงข้อหมุนในลักษณะคล้ายโครงข้อแข็งจึงทำให้มีค่าโมเมนต์เกิดขึ้น ซึ่งจริงๆแล้วจะไม่เกิดค่าโมเมนต์ในโครงข้อหมุน แต่จากการศึกษาพบว่าค่าโมเมนต์ในโครงข้อหมุนนั้นมีค่าน้อยมาก อีกทั้งเราไม่จำเป็นต้องนำค่าโมเมนต์พิจารณา เนื่องจากในโครงข้อหมุนเราต้องการเพียงแรงตามแนวแกนเท่านั้น และค่าแรงตามแนวแกนนั้นมีค่าผลลัพธ์ที่ใช้ได้ จึงสรุปได้ว่าโปรแกรม SAP2000 มีความสามารถในการคำนวณที่น่าเชื่อถือ

6.2. ปัญหาและแนวทางแก้ไข

เนื่องจากโปรแกรม SAP2000 ได้นำหลักการคำนวณด้วยวิธี Finite Element จึงทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยวิธี classical method ในการนำค่าผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ต้องทำการพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง ในการคำนวณโครงสร้างที่มีความซับซ้อนย่อมเกิดความผิดพลาดได้ง่าย จึงต้องทำการพิจารณาตรวจสอบถึงความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ รวมทั้งตรวจสอบการกำหนดค่าต่างๆให้ถูกต้องอยู่เสมอเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ

6.3. แนวทางในการพัฒนาต่อ

โปรแกรม SAP2000 เป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความหลากหลายในการวิเคราะห์โครงรสร้าง นอกเหนือจากรูปแบบโครงสร้างที่เป็นลักษณะ static load แล้วยังสามารถที่จะวิเคราะห์โครงสร้างแบบ dynamic การวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น รวมทั้งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบเนื่องจากแรงกระทำไม่คงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งที่กำหนด ทั้งในส่วนการนำเข้าไฟล์ข้อมูลรูปแบบต่างๆเช่น จากโปรแกรม Microsoft Excal หรือจากโปรแกรม autoCAD โดยไม่จำเป็นต้องทำการสร้างโมเดลจากตัวโปรแกรม รวมถึงการสร้าง CODE มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบนอกเหนือจาก CODE มาตรฐานที่มีอยู่แล้วในโปรแกรม SAP2000 ซึ่งสามารถที่จะทำการศึกษาและทดลองโปรแกรม SAP2000 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- SAP2000 Integrated Finite Element Aanlysis and Design of Structure", Computers and Structure, Inc. 1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA
- Ted Belytschko, Wing Kam Liu, and Brian Moran: "Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures", Northwestern University, Evanston, Illinois , 2000
- Singiresu S. RAO: "The Finite Element Method in Engineering", University of Miami, Florida, USA., 1999, Vol.3
- รศ.ดร.เดช พุทธเจริญทอง, การวิเคราะห์โครงสร้างพลศาสตร์ STRUTURAL DYNAMIC ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

คู่มือการใช้โปรแกรม

หลังจากที่ได้เรียบเรียงและจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมโดยเสร็จสมบูรณ์แล้ว ในที่นี้จะแบ่งหัวข้อหลักๆให้ผู้ใช้งานได้เรียนรู้โปรแกรม SAP2000 ดังนี้

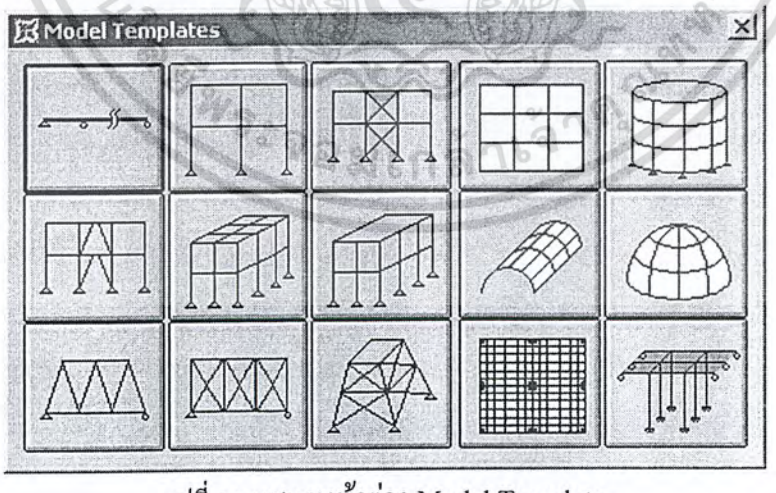
1. คู่มือการใช้งานกราฟฟิก
2. คู่มือการใช้งานเบื้องต้น

1. คู่มือการใช้งานกราฟฟิก

1.1. File Menu

1.1.1. การเลือกโครงสร้างใน template

เมื่อต้องการออกแบบโครงสร้างที่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับโครงสร้างใน template สามารถกระทำได้โดย



รูปที่ 1.1 แสดงหน้าต่าง Model Template

1. ใน File menu คลิก New Model from template...จะมีลักษณะโครงสร้างปรากฏขึ้นมา
2. เลือกคลิก model ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่ค่า parameter ต่างๆ ลงใน edit box
4. คลิกปุ่ม OK

1.1.2. การเรียกใช้ข้อมูล DXF File

DXF File เป็นการ model รูปทรงเราขาคณิตของ Autocad หรือโปรแกรมอื่นๆ ที่ใช้นามสกุล DXF โปรแกรมที่ support คือ Autocad r12, 13, 14

1. เริ่ม new model หรือใช้ model ที่มีอยู่ ซึ่งเราไม่สามารถใช้โปรแกรม DXF File ถ้าหากไม่ได้ใช้ระบบ coordinate ตั้งแต่แรก
2. จาก File menu คลิก Import แล้วเลือก *DXF จะปรากฏหน้าต่าง Import DXF File dialog box
3. เลือก file จาก list box แล้วกดปุ่ม open
4. จาก Import data dialog box เลือก Global up direction ของ DXF File
5. คลิกปุ่ม OK
6. เลือก layer จาก DXF File ใส่ในแต่ละ Element layer สามารถใช้กับ 1 element
7. ถ้าไม่มีข้อมูลอยู่ใน list box เลย เครื่องจะโชว์คำว่า none
8. คลิกปุ่ม OK

1.1.3. การเรียกข้อมูลของ SAP2000 ใน dos

เป็นการออกแบบโครงสร้างโดยใช้ข้อมูลจากระบบปฏิบัติการ DOS

1. ใน File menu คลิก Import และเปิด SAP2000 จะปรากฏ SAP2000 dialog box
2. เลือก file จาก list box
3. คลิก open

1.1.4. การ Export AVI file

1. ใน File menu คลิก Create History video จะเกิด Time History Video file Creation dialog box
2. คลิก AVI file Name ที่เรามี
   - ใน The time history data area
     - เลือก History Name
     - กำหนดค่าเวลาเริ่มและเวลาจบ ใน Time Increment ใน edit box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใน Display Options Area
  - คลิก check ถ้า Wire Shadow ถูก safe ไว้ใน video file capture
  - คลิก check ถ้าเราใช้ Cubic Curve
- ใน AVI Options Area
  - กำหนด animation speed ใน Frame/เวลา ใน edit box
  - กำหนดค่า Pixelในขนาด Frame

3. คลิกปุ่ม OK

1.1.5. การทำภาพเคลื่อนไหวแบบ Animation

เมื่อต้องการดูการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างตามเวลา

1. ใน File menu คลิก Create History Video หน้าจอจะแสดง Video File dialog box
2. ตั้งชื่อ File
3. คลิก Save หน้าจอจะแสดง Time History Video File Creation dialog box
4. เลือกกรณี Time History จาก History Name drop down box
5. เลือกเวลาเริ่ม เวลาจบ และเพิ่มเวลาขึ้นใน edit box
6. เช็ค Wire Shadow box เพื่อแสดงการเสียรูป
7. เช็ค Cubic Curve box เพื่อแสดงชิ้นส่วนในรูปทรงกระบอก
8. เปลี่ยน Magnificant factor เพื่อขยายส่วนประกอบเวคเตอร์ โดยค่า factor ที่กำหนดไว้ให้ คือ 10
9. ใส่ค่า Frame speed ต่อหน่วยวินาที สำหรับโชว์อนิเมชัน และค่า pixel ใน Frame size ค่าที่กำหนดไว้ให้ คือ 10 สำหรับ Frame Speed และเท่ากับ 320*240 สำหรับ Frame Size

1.2. Edit Menu

1.2.1. คำสั่ง Undo และ Redo

- คลิก สำหรับกลับไปการกระทำครั้งล่าสุดในโปรแกรม
- คลิก สำหรับการไปข้างหน้าของการกระทำครั้งล่าสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2. Cut, Copy, and Paste

1. โครงสร้างทั้งหมด หรือส่วนที่เราเลือกไว้ สามารถทำการตัด, คัดลอก และเคลื่อนย้ายตามแต่ที่ผู้ใช้ต้องการ
2. โดยความสามารถในข้อ 1 เราสามารถจะกระทำได้ในโปรแกรม Microsoft Excel แล้วนำกลับมาใส่ใน Program SAP2000 ได้

1.2.3. การ Delete Members

เมื่อต้องการลบชิ้นส่วนออกไปสามารถทำได้โดย

1. เลือกชิ้นส่วนที่ต้องการ แล้วกด Delete ที่ Keyboard
2. หรือเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการ แล้วเลือก Delete จาก Edit Menu

1.2.4. การเพิ่ม Template ใน model ที่เรามีอยู่

1. ใน Edit menu คลิก Add to Model from template
2. คลิก template ที่ต้องการ
3. ใส่ค่า parameter ต่างๆ ลงใน Edit box แล้วคลิกปุ่ม Advance ในจุดที่เราจะเพิ่ม template คลิกปุ่ม OK

1.2.5. Move

การ Move คือ การย้ายลักษณะโครงสร้างจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง

1. เลือกชิ้นส่วนที่คุณจะเคลื่อนย้าย
2. ใน Edit menu คลิก Move จะปรากฏ Move ใน dialog box
   - เลือกแกนที่เราจะเคลื่อนย้าย เช่น แกน x, y, z
   - คลิกปุ่ม OK สำหรับการเคลื่อนย้าย

1.2.6. Replicate

Replicate คือ คำสั่งที่สำคัญในการเพิ่มจำนวนโครงสร้าง โดยสามารถทำได้หลายรูปแบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.6.1. Replicate in a Linear Array

1. เลือกชิ้นส่วนที่ต้องการจะ Replicate
2. ใน Edit menu คลิก Replicate จะปรากฏคำสั่ง Replicate ใน dialog box ขึ้นมา 3แบบ คือ 1) Linear 2) Radial และ 3) Mirror Tab
3. คลิก Linear Tab
4. เติมระยะ offset ในแกน x, y, หรือ z ใน Distance edit box
5. ระบุจำนวนที่ต้องการ Replicate
6. คลิกปุ่ม OK

1.2.6.2. Replicate in a Radial Array

1. เลือกชิ้นส่วนที่ต้องการจะ Replicate
2. ใน Edit menu คลิก Replicate จะปรากฏคำสั่ง Replicate ใน dialog box ขึ้นมา 3 แบบ คือ 1) Linear 2) Radial และ 3) Mirror Tab
3. คลิก Radial Tab
4. เช็คแกนที่จะเลือกหมุน เช่น x, y, z ใน Rotate About section
5. ระบุมุมที่ต้องการ replicate ใน Increment data box
6. คลิกปุ่ม OK

1.2.6.3. Replicate in a Radial Array by Shifting the Origin

1. ใน Option menu คลิก set coordinate system หน้าจอจะแสดง Coordinate system dialog box
2. เลือกระบบ Coordinate จาก system dialog box
3. คลิก Modify/Show system จะแสดง Location and Orientation dialog box
   - ใน Location and Orientation dialog box
     - ระบุค่าที่ต้องการ shift coordinateใน Translation edit box และ/หรือ Rotation ใน Degree edit box
     - คลิกปุ่ม OK
4. คลิกปุ่ม OK
5. เลือกชิ้นส่วนที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใน Edit menu คลิก Replicate จะปรากฏคำสั่ง Replicate ใน dialog box ขึ้นมา 3 แบบ คือ 1) Linear 2) Radial และ 3) Mirror Tab
7. คลิก Radial tab
8. เช็คแกนที่คุณต้องการหมุน นั่นคือ x, y, z
9. ระบุมุมและจำนวนที่ต้องการหมุน ใน Increment Data box
10. คลิกปุ่ม OK

1.2.6.4. Replicate by Using the Mirroring Option

1. เลือกชิ้นส่วนที่ต้องการจะ Replicate
2. ใน Edit menu คลิก Replicate จะปรากฏคำสั่ง Replicate ใน dialog box ขึ้นมา 3 แบบ คือ 1) Linear 2) Radial และ 3) Mirror Tab
3. คลิก Mirror Tab
4. เช็ค แกนที่คุณต้องการหมุน นั่นคือ xy, xz, yz ใน Mirror about section
5. ระบุระยะจากแกนหนึ่งถึงแกนหนึ่งใน Ordinate section
6. คลิกปุ่ม OK

1.2.7. Merge Joint (การรวม Joint)

1. เลือก Joint ที่คุณต้องการรวม
2. ใน Edit menu คลิก Merge Joint จะแสดง Merge Selected Joints dialog box
3. ใช้หรือเปลี่ยนค่า Merge Tolerance
4. คลิกปุ่ม OK

1.2.8. Automatic Meshing

เป็นการแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างออกมา โดยไม่จำเป็นต้องกำหนด Joint ก่อน กำหนด Element โดย Joint จะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ เมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างถูกวาดขึ้น, วาดขอบเขตของโครงสร้างแล้วใช้ Meshing เทคนิคในการสร้างรายละเอียดแบบจำลอง

จะมีดังนี้

- Divide or Break Frames

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mesh Shells
- Join Frames
- Merge Joints
- Disconnect
- Connect
- Show Duplicates

1.2.8.1. Divide or Break Frames (การแบ่งหรือการแยกชิ้นส่วน)

สำหรับการแบ่ง

1. เลือกชิ้นส่วนของ Frame ที่ต้องการแบ่ง
2. ใน Edit menu คลิก Divide Frame หน้าจอจะแสดง Divide Selected Frames dialog box
3. เลือก Divide
4. ระบุจำนวน elements ของ Frame Element ที่ต้องการแบ่ง
5. ระบุอัตราส่วนของ element ชิ้นสุดท้ายกับชิ้นส่วนแรก ในกรณีที่การแบ่งไม่สมมาตรทั้ง 2 ด้าน
6. คลิกปุ่ม OK

สำหรับการ Break

1. เลือก Frame element ที่ต้องการ break จากชิ้นส่วนต่างๆ ในโครงสร้างและเลือกชิ้นส่วนหรือ Joint ที่ตัดผ่านกันอยู่ด้วย
2. ใน Edit menu คลิก Divide Frame
3. เลือก Break ในส่วนที่มีการตัดกัน
4. คลิกปุ่ม OK

1.2.8.2. Mesh Shells (การแบ่ง Shell)

การแบ่ง shell

1. เลือก Shell element ที่ต้องการแบ่ง
2. ใน Edit menu คลิก Mesh Shell
3. เลือก Mesh
4. ระบุจำนวน element (ทั้ง 2 ทิศทาง) ที่ต้องการแบ่ง
5. คลิกปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.8.3. การแบ่งโดยการใช้การเลือก Joint จากขอบโครงสร้าง

1. เลือก Shell element ที่ต้องการแบ่ง และเลือก Joint ที่อยู่ตรงขอบใน Shell element
2. ใน Edit menu คลิก Mesh shell
3. เลือก Mesh using selected Joint on edge option
4. คลิกปุ่ม OK

ข้อแนะนำ : ในการเลือกใช้การ Mesh โดยเลือก joint นั้น จะต้องมีจำนวนของ joint ที่สมมาตรกันทั้ง 2 ข้าง ถ้าหากไม่สมมาตร ไม่ควรใช้การแบ่งแบบนี้

1.2.8.4. การแบ่งโดยการใช้ Grid ที่ตัดกัน

1. เลือก Shell element ที่ต้องการแบ่ง
2. ใน Edit menu คลิก Mesh shell
3. เลือก Mesh at intersection with grids
4. คลิกปุ่ม OK

1.2.8.5. Join Frames (การเชื่อม Frame)

1. เลือก Frame Element ที่ต้องการเชื่อม
2. ใน Edit menu คลิก Join Frame
3. จะเป็นการเชื่อม Frame Element เข้าเป็นชิ้นส่วนเดียว

1.2.8.6. Disconnect

ทุกชิ้นส่วนจะต่อเนื่องกันด้วยการใช้ joint ร่วมกัน Disconnect จะเป็นการทำให้ชิ้นส่วนหลุดจาก joint และจะเพิ่ม joint ในแต่ละชิ้นส่วน

การใช้ Disconnect

1. เลือก Element ที่คุณต้องการ Disconnect จาก Elements
2. ใน Edit menu คลิก disconnect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.8.7. Connect

การใช้ connect จะช่วยให้ง่ายขึ้นในการเชื่อม joint ที่ไม่ได้ต่อเนื่องกัน

1. เลือก Element ที่คุณต้องการ connect
2. ใน Edit menu คลิก connect

1.2.8.8. Show Duplicate (แสดงการอัดสำเนา)

นี้เป็นคำสั่งที่มีประโยชน์ในการทำสำเนา Joint, Frame, Shell, Asolid และ Solid จากโครงสร้างทั้งหมด

1. เลือก Joints หรือ Elements
2. ใน Edit menu คลิก Show Duplicates
3. Duplicate Joints และ Elements จะถูกแสดงในสีที่ต่างกัน

1.2.9. การแบ่งหมวดหมู่ Joint และ Element

SAP2000 จะจัดหมวดหมู่ให้ Joint, Frame และ Shell โดยอัตโนมัติ แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถจะเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากที่เครื่องกำหนดให้

1.2.10. Re-Label Previously Assigned Labels

การจัดหมวดหมู่ของ SAP 2000 จะใช้ทั้งตัวหนังสือและตัวเลข ซึ่งสามารถเปลี่ยนหมวดหมู่ได้โดย

1. เลือก Joint หรือ Element ที่เราต้องการเปลี่ยน
2. ใน Edit menu คลิก Change Labels
3. ใน Re-Label Selected Items dialog box
   - Enter ตัว Prefix โดยตัวเลขจะมีการเรียงลำดับให้
   - คลิกใน Joint หรือ Frame
   - เลือกชิ้นส่วนที่ 1 หรือ 2 ในการ Re-Label จากใน box ดูจากตัวอย่างข้างล่าง แสดงการใส่ตัวอักษร (prefix) เพิ่มเข้าไป
   - คลิกปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. View menu

1.3.1. Select 3D Views (เลือกภาพ 3 มิติ)

ถ้าต้องการมุมมองแบบ 3มิติ สามารถคลิกที่ปุ่ม 3-d ใน Toolbar

การ set มุมมอง 3 มิติ

1. ใน View menu คลิก set 3D View
2. คลิกปุ่ม Fast View ตามมุมมองที่เห็นว่าเหมาะสม
3. ใช้การเลื่อนขึ้นหรือลง หรือใส่ค่าใน Text edit box สำหรับ Plan, Elevation และAperture
4. คลิกปุ่ม OK เมื่อเสร็จเรียบร้อย

หมายเหตุ: สามารถกำหนดทิศทางของแบบจำลอง จากมุมบนด้านซ้าย 3D View ใน dialog box

ข้อแนะนำ: สามารถ save ข้อมูลในรูปแบบ 3D ได้ โดยตั้งชื่อ file ใน Save Name View

1.3.2. Select 2D Views (เลือกภาพ 2 มิติ)

การเลือกระนาบ x-y, x-z, y-z กระทำได้โดย

1. ใน View menu คลิก set 2D View
2. เลือกระนาบ x-y, x-z, y-z
3. ใส่ค่า coordinate z, y, x ที่เหมาะสม หรือคลิกในระนาบที่คุณต้องการในหน้าจอ
4. คลิกปุ่ม OK

หมายเหตุ : การเลือกระนาบจะง่ายขึ้น ถ้าคลิกที่ปุ่ม 2D View xy xz yz และปรับมุมมองโดยใช้ปุ่ม ⇧ ⇩

ข้อแนะนำ : การ save ในมุมมอง 2 มิติเหมือนแบบ 3 มิติ

1.3.3. Set Elements (การตั้งค่า Elements)

การ Set Element จะเป็นการให้คุณเลือกรูปแบบของ element ที่จะใส่เข้าไป ซึ่งมีหลายชนิด ทำให้คุณเห็นภาพได้ง่าย

1. ใน View menu คลิก set element หรือกดที่ปุ่ม ⊠ ใน Toolbar
2. ใน Set Element dialog box
   - Check ประเภทและเงื่อนไขของชิ้นส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Check การหดตัวของชิ้นส่วนต่างๆ โดยกดปุ่ม ใน Toolbar
- Check ชิ้นส่วนที่เกินออกมา โดยดูจากหน้าตัด Frame ในจอ
- Check Fill element โดยดูจากชิ้นส่วนที่แรเงา
- คลิก OK

1.3.4. Set Limits

ใช้คำสั่ง set limit ถ้าคุณไม่ต้องการให้โครงสร้างทั้งหมดแสดงในจอภาพ โดยคุณจะเลือกให้ภาพในจอแสดงโครงสร้างในบางส่วน โดยคุณต้องกำหนดค่า x, y, z

1. ใน View menu คลิก Set element หน้าจอจะแสดง Set Limits dialog box
2. ใน Set Limit dialog box
   - วิธีที่ 1
     - คลิกในแต่ละระนาบ xy, yz, xz
     - ใช้เมาส์วาด area ที่คุณต้องการให้จอแสดง
     - ภาพจะแสดงขอบเขตตามที่คุณกำหนดค่า Max หรือ Min
   - วิธีที่ 2
     - ใส่ค่า Max หรือ Min สำหรับแกน x, y, z
     - คลิกปุ่ม Show All สำหรับการ reset ค่า
     - Check Ignore Limit setting
     - คลิกปุ่ม OK

หมายเหตุ : สามารถใช้ View menu ในการ show section สำหรับดูชิ้นส่วนที่คุณเลือก และใช้ Show All options สำหรับกลับไปดูชิ้นส่วนทั้งหมด

1.4. Define Menu (คำสั่ง กำหนดค่า)

1.4.1. Define Materials

ใน Define menu คลิก Materials หน้าจอจะแสดง Materials dialog box โดยมีวัสดุให้เลือก เช่น conc, steel และวัสดุอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.1.1. Add a New Steel Material Type

การ set ค่า New steel

1. ใน Materials dialog box คลิกปุ่ม Add new Material หน้าจอจะแสดงข้อมูล Material property Data box
2. ใน Material property Data box
   - เลือกชนิด Steel จาก Design Type
   - คลิกชื่อที่เราเลือก
   - ใน Analysis Property Data ใส่ค่า มวลต่อหน่วยปริมาตร, น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร
     - ค่า Modulus of Elasticity, Poisson Ratio และค่า Coefficient of thermal expansion (สัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิ) ถ้าวัสดุอยู่ในรูป Orthotropic เราต้องใส่ค่า local Axis

     หมายเหตุ : ถ้าชิ้นส่วนเป็น Frame ใช้ isotropic material Properties
   - ใน Design Property Area ใส่ค่า yield stress (f_y) หรือใช้ค่าที่กำหนดให้
   - คลิกปุ่ม OK
3. ชื่อของ New Materials จะถูกเก็บเข้าไปใน Materials list box
4. การเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือลบข้อมูล Material คลิกไปบน material ใน list box และคลิกไปบนปุ่ม Modify/show Material หรือปุ่ม Delete Material
5. คลิกปุ่ม OK
6. Add a New Concrete Material Type

1.4.1.2. การ Set ค่า new concrete

1. ใน Materials dialog box คลิกปุ่ม Add new Material หน้าจอจะแสดงข้อมูล Material property Data box
2. ใน Material property Data box
   - เลือกชนิด Concrete จาก Design Type
   - กด Enter สำหรับชื่อที่เราเลือก
   - ใน Analysis Property Data ใส่ค่า มวลต่อหน่วยปริมาตร, น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร
   - ค่า Modulus of Elasticity, Poisson Ratio และค่า Coefficient of thermal expansion (สัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิ) ถ้าวัสดุอยู่ในรูป Orthotropic เราต้องใส่ค่า local Axis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ใน Design Property Area ใส่ค่า Reinforcing yield stress (f_y), กำลังคอนกรีต (f_c), ค่ากำลังรับแรงเฉือนของเหล็ก (f_{ys}) และค่ากำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต (f_{cs}) หรือใช้ค่าที่กำหนดให้ แล้วคลิกปุ่ม OK

3. ชื่อของ New Materials จะถูกเก็บเข้าไปใน Materials list box
4. การเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือลบข้อมูล Material คลิกไปบน material ใน list box และคลิกไปบนปุ่ม Modify/show Material หรือปุ่ม Delete Material
5. คลิกปุ่ม OK

1.4.2. Define Section Properties

คุณสมบัติของหน้าตัด เป็นสิ่งที่เราต้องกำหนดทุกครั้ง ก่อนจะใส่ elements

1.4.2.1. Define Frame Section Properties

ใน dialog box ที่กำหนดค่าหน้าตัด frame จะประกอบด้วยหน้าตัดที่มีให้เลือก หรือจะเปลี่ยนค่าขนาดต่างๆ ก็ได้ตามต้องการ โดยใช้ปุ่ม Modify/Show sections

การตั้งค่า Frame Section จาก Section property file

1. ใน Define menu คลิก Frame sections
2. ใน Frame section data dialog box คลิกปุ่ม Import และเลือก Import ค่า เช่น Wide Flange, Tee หน้าจอจะแสดง Section Property file ให้เลือก
3. เลือก file name จาก Section Property File selection box
4. คลิก Open หน้าจอจะแสดงให้เลือกสมบัติต่างๆ
5. เลือกหน้าตัดจาก list box
   - คลิกใน Section Name ที่เราต้องการเลือกเพียง 1 section
   - คลิกใน Section Name และลากเมาส์ไปยัง section อื่น สำหรับเลือกขอบเขต (กรณีเลือกหลาย ๆ section)
   - กดปุ่ม Ctrl และคลิก section อื่นๆ
6. คลิกปุ่ม OK หน้าจอจะแสดงรูปร่างทางฟิสิกส์และขนาดต่างๆ ของหน้าตัด
7. ในรายละเอียดหน้าตัด จะปรากฏใน Section Name
8. คุณสามารถเรียกหน้าตัดอื่นๆ จากการกดปุ่ม Import
9. ดูคุณสมบัติหน้าตัดใน Section Properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. คุณสามารถปรับค่า Analysis Section Property โดยกดปุ่ม Modification Factors
11. คลิกปุ่ม OK ในการยอมรับหน้าตัดนั้น

1.4.2.2. หน้าตัดใหม่จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Name list box

สำหรับการลบ หรือ Modify/Show หน้าตัด คลิกไปบนชื่อ section นั้น แล้วเลือก Modify หรือ Delete แล้วจึงคลิกปุ่ม OK

1.4.2.3. Add a Frame Section by defining the dimensions and/or properties manually

1. ใน Define menu คลิก Frame section
2. ใน Frame section data dialog box คลิกปุ่มเลื่อนขึ้นลง แล้วใส่ค่า เช่น Wide Flange, Tee หน้าจอจะแสดง Section Property file ให้เลือก และถ้าดับเบิลคลิกที่ประเภท section หน้าจอจะแสดง รูปร่างทางฟิสิกส์และขนาดหน้าตัด
3. ใส่ชื่อ section หรือใช้ค่าที่ตั้งให้
4. ใส่ขนาดหน้าตัด หรือใช้ค่าที่ตั้งให้
5. เลือก ชนิดวัสดุ(เช่น steel, conc) จาก Material list box
6. ดูคุณสมบัติวัสดุ โดยกดปุ่ม Section Properties
7. สามารถปรับเปลี่ยน คุณสมบัติหน้าตัดได้โดยการกดปุ่ม Modification Factors
8. คลิกปุ่ม OK
9. หน้าตัดใหม่จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Name list box
10. สำหรับการลบ หรือ Modify/Show หน้าตัด คลิกไปบนชื่อ section นั้น แล้วเลือก Modify หรือ Delete
11. คลิกปุ่ม OK

1.4.2.4. ใน Concrete section

สำหรับหน้าตัด concrete มีลักษณะการเลือก ดังนี้

เมื่อเลือกวัสดุเป็น concrete จะมีปุ่มให้เลือกเหล็กเสริมอยู่ใกล้ๆ กดปุ่มเลือกเหล็กเสริม

- ใน Reinforcement Data dialog box เลือกชนิด Element เช่น คานหรือเสา

  สำหรับเสา

  - เลือกรูปแบบของเหล็กเสริม เช่น สี่เหลี่ยม หรือวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกความหนาคอนกรีตหุ้ม ใน text edit box
- เลือกจำนวนเหล็ก ในทางดิ่ง ใน text edit box
- เลือกจำนวนเหล็ก ในทางนอน ใน text edit box

ตัวอย่าง เสาคอนกรีต

- ถ้าเลือกแบบวงกลมต้องใส่จำนวนเหล็กทั้งหมดว่ามีกี่เส้น
- เลือกพื้นที่ของเหล็ก 1 เส้น หรือเลือก Design Area of steel โดยโปรแกรมจะหาพื้นที่ของเหล็กที่ต้องการ โดยอัตโนมัติ

ตัวอย่าง คาน

- ใส่ความหนาคอนกรีตหุ้ม ใน text edit box
- ถ้าคุณต้องการกำหนดจำนวนค่าเหล็กในด้านบนและล่างของหน้าตัด ใส่พื้นที่ของเหล็กเสริม ใน text edit box หรือใส่ค่า 0 เพื่อให้โปรแกรมคำนวณให้โดยอัตโนมัติ

- คลิกปุ่ม OK ในการกลับไป section Definition

1.4.3. Define group Name

เป็นเครื่องมือที่เพิ่มประสิทธิภาพในโปรแกรม เพราะมันจะช่วยให้สามารถเลือก element, แสดง element และแสดงผลลัพธ์ แบบเป็นกลุ่มได้

1. ใน Define Menu คลิก Groups หน้าจอจะแสดง Define Groups dialog box สำหรับ list ของค่า Group ทั้งหมด จะอยู่ใน Groups list box
2. สำหรับการเพิ่มค่า Group ระบุชื่อใหม่ใน Group edit box และคลิกปุ่ม Add new Group Name
3. ถ้าจะเปลี่ยนแปลงหรือลบ group name คลิกใน Group name ใน list box แล้วเลือกคลิกใน Chang group Name หรือกดปุ่ม Delete Group Name
4. คลิกปุ่ม OK

1.4.4. Define Static Load Cases (กรณีกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่)

1. ใน Define menu คลิก Static Load Cases หน้าจอจะแสดง Static Load Cases Name dialog box และค่าน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่มีให้
2. การเพิ่ม New Load Case name
   - ระบุชื่อใหม่ใน Load edit box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกประเภทน้ำหนัก เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่, น้ำหนักบรรทุกจร, แผ่นดินไหว, ลม, หิมะ และอื่นๆ จากประเภทน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่มีให้
- ระบุตัวคูณเพิ่มใน edit box และ
- คลิกปุ่ม Add new Load

3. ถ้าจะเปลี่ยน ชื่อ Load Case คลิกใน name ใน list box แล้วเปลี่ยนประเภทของ Load Case ใน edit box
4. ถ้าจะลบชื่อ Load Case คลิกที่ชื่อแล้วกดปุ่มลบ
5. คลิกปุ่ม OK

1.4.5. Bridge Analysis

Bridge Analysis เป็นการคำนวณ Influence line สำหรับการจราจรในโครงสร้างสะพาน และสามารถวิเคราะห์โครงสร้างในส่วนของน้ำหนักจรของยานพาหนะ

โดยน้ำหนักจรของยานพาหนะนี้ สามารถคำนวณรวมกับน้ำหนักคงที่และน้ำหนักที่เคลื่อนที่ การคำนวณ Displacement, แรงในสปริง และแรงในชิ้นส่วนต่างๆ ของ Frame ก็สามารถหาค่าได้ใน Influence line ของน้ำหนักจรของยานพาหนะ ชนิดของ element แบบอื่นๆ (เช่น Shell, Plane, Asolid, Solid, NL-Link) สามารถใช้ได้ โดยการใส่ค่า stiffness ทางด้านโครงสร้าง แต่โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของน้ำหนักจากยานพาหนะได้

คุณสามารถเลือกน้ำหนักจรของยานพาหนะได้จาก มาตรฐานน้ำหนักพาหนะของกรมทางหลวงและทางรถไฟ หรือจะกำหนดค่าเองก็ได้

1.4.6. Define Lanes

การวิเคราะห์ Moving-Load ในโครงสร้างสะพาน จำเป็นต้องระบุความกว้างของช่องจราจร ชิ้นส่วนแบบ Frame จะนำมาใช้เป็นตัวแทนของช่องจราจร

1. ใน Define menu คลิก Moving Load Cases เลือก Lanes
2. คลิกปุ่ม Add new Lane หน้าจอจะแสดง Lane Data Dialog box

ใน Lane Data Dialog box

- ใส่ชื่อ Lane หรือใช้ค่าที่กำหนดให้

ถ้าคุณต้องการระบุค่า Lane

- กด Enter เลือก Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กด Enter สำหรับใส่ระยะทางของ Lane (ในหน่วยความยาว) จาก Frame ใน Eccentricity dialog box
- กดปุ่ม Add สำหรับใส่ค่า lane name
- คลิกปุ่ม OK

ถ้าคุณต้องการตั้งค่า Lanes ใน graphic Interface

- คลิกปุ่ม OK สำหรับ add ค่า lane name ใน list

หมายเหตุ : สามารถใช้ปุ่ม Insert ในการ insert ค่า New Lane เหนือปุ่ม select Lane

3. ชื่อ New Lane จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Lane list box
4. ถ้าต้องการลบหรือ Modify Lane เลือก Lane ที่ต้องการลบจาก Lane list box และคลิกปุ่ม Modify หรือ Delete
5. คลิกปุ่ม OK

1.4.7. Define Vehicles

1.4.7.1. สำหรับการตั้งค่า New standard Vehicle

1. คลิก Add new Standard Vehicle จาก list box หน้าจอจะแสดง Standard Vehicle data dialog box

ใน Standard Vehicle data dialog box

- เลือกชนิดของยานพาหนะจาก list ที่มีให้
- ในการเลือกชนิดของยานพาหนะ คุณต้องใส่ค่า Scale Factor หรือ Dynamic Allowance ใน edit box อย่างเหมาะสม
- คลิกปุ่ม OK

2. New Vehicle name จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Vehicles list box
3. ถ้าต้องการลบหรือModify ยานพาหนะ เลือกยานพาหนะที่ต้องการลบจาก Vehicles list box และคลิกปุ่ม Modify หรือ Delete
4. คลิกปุ่ม OK

1.4.7.2. สำหรับการตั้งค่า New General Vehicle

1. คลิกAdd General Vehicle จาก list box หน้าจอจะแสดง General Vehicle data dialog box

ใน General Vehicle data dialog box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใส่ Vehicle Nameหรือยอมรับค่าที่ตั้งให้
- เลือกยานพาหนะที่จะใช้สำหรับพื้นที่ที่ต้องการ
- ใส่แรงกระจายหรือแรงเดี่ยวใน Leading and Trailing Loads area
- ใส่ค่า Floating Axial Load สำหรับทิศทางเดียวหรือ 2 ทิศทางใน Lane Moments
- ใส่ค่าน้ำหนักระหว่างกลาง
  - Enter uniform Load ระหว่างแกนใน edit box
  - Enter น้ำหนักในแนวแกนใน edit box
  - Enter ค่า max และค่า min ของระยะทางระหว่างแกน
  - กดปุ่ม Add สำหรับใส่ข้อมูลในแกน

2. New Vehicle name จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Vehicles list box
3. ถ้าต้องการลบหรือ Modify ยานพาหนะ เลือกยานพาหนะที่ต้องการลบจาก Vehicles list box และคลิกปุ่ม Modify หรือ Delete
4. คลิกปุ่ม OK

1.4.8. Define Vehicle Classes (การกำหนดยานพาหนะแบบกลุ่ม)

คำสั่งนี้จะเป็นการจัดกลุ่มยานพาหนะ สำหรับการวิเคราะห์แบบ Moving-Load การเรียงลำดับของยานพาหนะไม่มีความสำคัญ เลนส์ที่มีจะเป็นตัว check ยานพาหนะ ในกลุ่มยานพาหนะ

1. ใน Define menu คลิก Moving Load Cases เลือก Vehicle Classes
2. คลิกปุ่ม Add Class

ใน Vehicle Class Data dialog box

- Enter ชื่อ Vehicle class
- เลือกชื่อยานพาหนะจาก list box
- ใส่ค่า Scale Factor สำหรับยานพาหนะใน edit box
- กดปุ่ม Add สำหรับใส่ ยานพาหนะ
- คลิกปุ่ม OK

3. ชื่อของ New Vehicle class name จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Class list box
4. ถ้าต้องการลบหรือ Modify ยานพาหนะ เลือกยานพาหนะที่ต้องการลบจาก Vehicle list box และคลิกปุ่ม Modify หรือ Delete
5. คลิกปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.9. Define Bridge Response (การกำหนดลักษณะโครงสร้าง)

คำสั่งนี้จะเป็นการให้ควบคุมการคำนวณชิ้นส่วนที่เป็น Joint และ Frame ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของ Moving-Load ในสะพาน

1. ใน Define menu คลิก Moving Load Cases เลือก Moving Load
2. Check แต่ละประเภทของผลลัพธ์ ที่ต้องการวิเคราะห์
   - ถ้าคุณเลือก Group ใน list ที่มี ค่าที่กำหนดให้ คือ ทั้งหมด
3. วิธีคำนวณ จะมีให้เลือกระดับ Exact หรือ Refinement และใส่ค่าใน text input box โดยค่าที่ใส่ต้องใส่เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างรวดเร็วในการวิเคราะห์เบื้องต้น
4. Check การคำนวณค่า Correspondence สำหรับ Frame ถ้าต้องการใช้ Max/Min Correspondence ในการ design หน้าตัด frame เมื่อคิด Moving-Load
5. คลิกปุ่ม OK

1.4.10. Define Moving Loads

การกำหนดค่า Moving Load Case จะเป็นการช่วยในการหาค่าผลลัพธ์ของยานพาหนะในกลุ่มยานพาหนะ

1. ใน Define menu คลิก Moving Load Cases เลือก Moving Load
2. คลิกปุ่ม Add Load หน้าจอจะแสดง Moving Load Cases Data dialog box

ใน Moving Load Cases Data dialog box

- Enter Moving Load Case Name หรือใช้ค่าที่ตั้งให้
- ใส่ค่า Scale Factor สำหรับแต่ละจำนวน lanes
- กดปุ่ม Add Assign สำหรับใส่กลุ่มยานพาหนะ ใน Moving Load Case
  - ใน Moving Load Case Assignment Data Dialog box
  - เลือกชนิดยานพาหนะ
  - ใส่ค่า Vehicle Class Load Scale Factor
  - ใส่ค่า Minimum และ Maximum ของ Loaded Lane สำหรับเลือก Vehicle Class (ถ้าใส่ค่า Min และ Max เป็น 0 หมายความว่าให้คำนวณเต็มเลนส์)

3. ชื่อของ Moving Load case name จะถูกเพิ่มเข้าไปใน Moving Load list box
4. ถ้าต้องการลบหรือModify Moving Load เลือก Moving Load ที่ต้องการลบจาก Moving Load list box และคลิกปุ่ม Modify หรือ Delete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คลิกปุ่ม OK

1.4.11. Define Joint Patterns

1. ใน Define menu คลิก Joint Patterns
2. เพิ่มชนิดรูปแบบใหม่ เข้าไปใน Pattern edit box และคลิก Add new Pattern name
3. การเปลี่ยนชื่อ Pattern คลิกในชื่อใน list box และทำการเปลี่ยน จากนั้น คลิก Change Pattern Name
4. สำหรับการลบ Pattern name คลิกในชื่อนั้น แล้วคลิก Delete Pattern Name
5. คลิกปุ่ม OK

ข้อแนะนำ : การกำหนดชื่อ Pattern จะใช้ใน Assign Joint Patterns

1.5. Draw Menu

1.5.1. Draw Mode

คลิกในปุ่ม จาก Toolbar ด้านข้าง เพื่อเข้าสู่ Draw mode ใน Draw mode จะยอมให้คุณ วาดชิ้นส่วนใหม่และเปลี่ยนแปลง element หรือ joint ซึ่งDraw mode จะมีค่าที่กำหนดมาให้ด้วย เมื่อเริ่ม start model เลือกคำสั่งในการวาดโดยคลิกที่รูปที่มี ดังต่อไปนี้ สำหรับการวาดและแก้ไข

1. Edit / รูปร่าง/เคลื่อน ชิ้นส่วน ทำได้โดย คลิกปุ่ม และคลิกใน joint หรือคลิกที่ชิ้นส่วน โดยใช้การคลิกสำหรับเคลื่อนหรือดึงชิ้นส่วนให้ขยาย
2. สำหรับการเพิ่ม joint ทำได้โดย คลิกปุ่ม และคลิกตรงที่จะใส่ joint
3. วาด Frame (จาก joint หนึ่งไปอีก joint) ทำได้โดยคลิก
4. วาด Frame อย่างรวดเร็ว ทำได้โดย คลิก
5. วาดโครงสร้างเปลือกบางที่มี 4 ด้าน ทำได้โดยคลิก
6. วาดโครงสร้างเปลือกบางที่เป็น 4 เหลี่ยม ทำได้โดยคลิก
7. วาดโครงสร้างเปลือกบางอย่างรวดเร็ว ทำได้โดยคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1.1. Draw Members

มี 2 ทางในการวาด

- Quick Draw คลิกในส่วนที่เป็น grid (สำหรับ Frame) หรือวาดเป็น Area ใน grid ทั้ง 4 มุม (สำหรับ Shell) กด ESC คุณจะออกจาก Draw Mode และเข้าสู่ Select Mode
- Joint to Joint Draw การวาดแบบต่อเนื่องในชิ้นส่วน ทำได้โดยคลิกใน Joint ที่มีอยู่ หรือคลิกในจุดในที่ว่าง แล้ว ดับเบิลคลิกใน Joint หรือกด Enter เพื่อหยุดการวาด และกด ESC จะเป็นการออกจาก Draw Mode และเข้าสู่ Select Mode

1.5.1.2. Reshape Element

เป็นคำสั่ง สำหรับการ edit รูปแบบหรือรูปร่างชิ้นส่วน ซึ่งจะช่วยในการเคลื่อนย้าย Frame หรือ Shell การขยายหรือหดของ Frame และการเปลี่ยนรูปร่างของ Shell

การใส่ค่าใน 2 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. เลือก 2D plane ถ้าต้องการปรับปรุงชิ้นส่วน
3. คลิก สำหรับเข้าสู่โหมด Reshape Element
4. คลิกที่ Frame หรือ Shell ที่เราเลือก
5. คลิกที่ชิ้นส่วนที่คุณต้องการเคลื่อน, ยืด, หด, สับเปลี่ยน หรือปรับปรุงชิ้นส่วน

การใส่ค่าใน 3 มิติ

การใส่ค่าใน 3 มิติ เหมือนขั้นตอนการใส่ค่าใน 2 มิติ

1.5.1.3. Add Special Joints

ในการสร้าง model ในโปรแกรม ไม่จำเป็นต้องกำหนดค่า Joint ก่อน เพราะ joint จะถูกใส่โดยอัตโนมัติเมื่อเราหยุดชิ้นส่วน หรือตรงมุมในชิ้นส่วน

การใส่ค่าใน 2 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. เลือก 2D plane ถ้าต้องการ add joint
3. คลิก สำหรับเปิดโหมด Add Special Joint
4. คลิกที่ระหว่างจุดตัดใน Grid เพื่อเพิ่ม joint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่ค่าใน 3 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. คลิก สำหรับเปิดโหมด Add Special Joint
3. ในมุมมอง 3 มิติ คลิกบนระหว่างจุดตัดของ Grid เพื่อเพิ่ม Joint

1.5.1.4. Draw a Frame Element from Joint to Joint

การวาดใน 2 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids คลิก
2. เลือก 2D plane เมื่อต้องการวาดชิ้นส่วน
3. คลิก สำหรับการวาด ชิ้นส่วน Frame ระหว่างจุด 2 จุด
4. คลิกระหว่างจุดตัดใน Grid (หรือ ใน Joint ที่มีอยู่แล้ว) คลิกซ้ำอีกครั้งในอีกจุดหนึ่ง เพื่อเพิ่ม Frame element

หมายเหตุ : ไม่สามารถวาดชิ้นส่วน Frame ในระหว่างจุด 2จุดที่ไม่ได้เจาะจงไว้ในแบบ 3D

1.5.1.5. Draw a Quick Frame Element

การวาดใน 2 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. เลือก 2D plane เมื่อต้องการวาดชิ้นส่วน
3. คลิกใน เพื่อเข้าสู่ Quick draw mode
4. คลิกที่ Grid เพื่อวาด quick single Frame element
5. คลิกที่แนว Grid 4 แนว เพื่อวาดค้ำยัน

การวาดใน 3 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. ในมุมมอง 3 มิติ คลิกในส่วนตัดของ Grid เพื่อวาดชิ้นส่วน Frame ใน 2 จุดที่ตัดกัน

1.5.1.6. Draw a Shell Element between 4 Joints

การวาดใน 2 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือก 2D plane เมื่อต้องการวาดชิ้นส่วน
3. คลิก สำหรับการวาด Shell ระหว่าง 4 Joints
4. คลิกใน Grid ใด Grid หนึ่ง สำหรับการ set เป็นจุดเริ่มต้น
5. คลิกอีก 3 จุดที่เหลือ ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา

การวาดใน 3 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. คลิก สำหรับการวาด Shell ระหว่าง 4 Joints
3. ในมุมมอง 3 มิติ คลิกระหว่างจุดตัดของ Grid หรือ Joint ที่มีอยู่ (หน้าจอจะมีจุดสีแดงขึ้นมาเพื่อยืนยันจุดที่คุณเลือก)
4. คลิกอีก 3 จุดที่เหลือ ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา

1.5.1.7. Draw a Rectangular Shell Element

เป็นการวาด shell โดยกำหนดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. เลือก 2D plane เมื่อต้องการวาดชิ้นส่วน
3. คลิก สำหรับวาด Shell โดยเลือกมุมของสี่เหลี่ยมที่ตรงข้ามกัน
4. คลิกในจุดตัดของ Grid จุดใดจุดหนึ่ง สำหรับเป็นจุดเริ่มต้น
5. คลิกในมุมตรงข้ามทั้ง 2 มุม เพื่อสิ้นสุดกระบวนการ

1.5.1.8. Draw an NLLink Element

การวาดใน 2 มิติ

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. เลือก 2D plane เมื่อคุณต้องการวาดชิ้นส่วน
3. ใน Draw menu คลิก Draw NLLink Element หน้าจอจะเข้าสู่โหมดการวาด non-linear Link
4. คลิกครั้งแรกจะเป็นการใส่ Joint ในระนาบ คลิกอีกครั้งจะเป็นการใส่ชิ้นส่วนที่เป็น NLLink คลิกอีกครั้งใน 2 Joint จะเป็นการใส่ชิ้นส่วน NLLink อีกอันหนึ่ง ดับเบิลคลิกใน Joint ที่เหมือนกัน แสดงว่าต้องการใส่ความยาวชิ้นส่วน เป็น 0

กด Esc เมื่อต้องการออกจาก NLLink drawing Mode

การวาดใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใน View menu คลิก Show Grids
2. ใน Draw menu คลิก Draw NLLink Element หน้าจอจะเข้าสู่โหมดการวาด non-linear Link
3. ในมุมมอง 3 มิติ คลิกครั้งแรกจะเป็นการใส่ Joint (จะปรากฏจุดสีแดงเล็กๆ เพื่อยืนยัน Joint ที่คุณเลือก) คลิกอีกครั้งจะเป็นการใส่ชิ้นส่วนที่เป็น NLLink คลิกอีกครั้งใน 2 Joint จะเป็นการใส่ชิ้นส่วน NLLink อีกอันหนึ่ง ดับเบิลคลิกใน Joint ที่เหมือนกัน แสดงว่าต้องการใส่ความยาวชิ้นส่วนเป็น 0

กด Esc เมื่อต้องการออกจาก NLLink drawing Mode

1.5.2. Edit Grids

หลังจากกำหนดระบบ Coordinate จะสามารถปรับแต่งให้เป็นระบบ Grid ได้

1. ใน Draw menu คลิก Edit Grid และดับเบิลคลิกในเส้น Grid สำหรับเข้าสู่ graphic screen
2. ใน Modify Grid dialog box เลือก Direction ของ Grid ที่ต้องการจะปรับแต่ง
3. ใน location area:

   การเคลื่อนย้าย Grid
   - เลือก grid location จาก list box
   - ปรับแต่ง grid location ใน text edit box
   - คลิกปุ่ม Move Grid line

   การใส่ Grid อันใหม่
   - ใส่ค่า grid location ใน text edit box
   - คลิกปุ่ม Add Grid line

   การลบ Grid
   - เลือก grid location จาก list box
   - คลิกปุ่ม Delete Grid line
4. ปุ่ม Delete All ใช้สำหรับลบ Grid ทั้งหมด ในระบบ coordinate
5. เช็ค Lock Grid Lines ถ้าต้องการล็อก Grid Line จากการเคลื่อนย้าย วิธีทำมีอธิบายใน Note ข้างล่าง
6. เช็ค Glue Joint ใน Grid Line ถ้าต้องการเคลื่อนย้าย Joint นี่เป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการปรับแก้ค่าในโครงสร้างอย่างรวดเร็ว โดยเราไม่ต้องกำหนดค่า joint locations ใหม่
7. คลิกปุ่ม OK

หมายเหตุ : จาก Display screen ในคำสั่ง Reshape Element สามารถเพิ่ม new grid line โดยกด Ctrl ค้างไว้ แล้วคลิกที่ grid line แล้วลากเพื่อ copy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3. Snap Tools

Snap Tool เป็นคำสั่งสำหรับวาดและ edit ชิ้นส่วนอย่างรวดเร็ว Snap Tool สามารถเปิดและปิดขณะที่คุณวาด สามารถ snap ในพื้นที่ที่แตกต่างกันในทุกๆ จุด

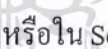
1.6. Select menu

การเลือกวัตถุ (Element หรือ Joint) เราจะต้องเข้าไปใน Draw mode แล้วใน Draw mode การวาด Joint หรือ Element เราต้องเลือก คลิกในวัตถุสำหรับเลือก ถ้าคลิกอีกครั้งหมายถึงเป็นการยกเลิกการใช้คำสั่งนั้น

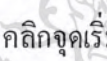
ข้อแนะนำ : การกลับไปเลือกก่อนหน้านั้น คลิก จาก Toolbar ด้านข้าง หรือใน Select menu คลิก Get Previous Selection

สำหรับการเคลียร์ที่เลือกไว้ทั้งหมด คลิก จาก Toolbar ด้านข้างหรือใน Select menu คลิก Clear Selection

1.6.1. การเลือกวัตถุ โดยใช้ window

1. คลิก  จาก Toolbar ด้านข้างหรือใน Select menu คลิก Select
2. เลือกวัตถุโดยคลิกที่วัตถุ หรือวาดสี่เหลี่ยมล้อมรอบชิ้นส่วนนั้น

การเลือกวัตถุ โดยใช้ Intersection Line

1. คลิก  ใน Toolbar ด้านข้าง คลิกจุดเริ่มต้นของเส้นแล้วลากทับชิ้นส่วนอื่นๆ ทุกชิ้นส่วนที่ถูกทับด้วยเส้น จะถูกเลือกหมด

1.6.2. การเลือกวัตถุโดยใช้ระนาบ 2 มิติ

1. ใน Select menu คลิก Select และเลือก Plane xy, xz, yz จากเมนูย่อย
2. คลิกจุดใดจุดหนึ่งในระนาบ ทุกชิ้นส่วนจะถูกเลือก

การเลือกวัตถุโดยการใช้ Frame section

1. ใน Select menu คลิก Select แล้วเลือกหน้าตัด Frame จากเมนูย่อย หน้าจอจะแสดง Select Section list box เลือก section ที่หน้าจอแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลิกปุ่ม OK (ทุกชิ้นส่วนที่เป็น Frame จะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ)

ข้อแนะนำ : สามารถแสดง, ลบ, กำหนดค่า หรือ แสดงชิ้นส่วน Frame บนหน้าตัดที่เลือกได้

1.6.3. Select All objects

1. คลิก จาก Toolbar ด้านข้างหรือใน Select menu คลิก Select และเลือก All จากเมนูย่อย โปรแกรมจะเลือกทุกชิ้นส่วนใน model ให้
2. จำนวนของ Joint และ Element ที่เลือกจะแสดงใน Status bar

ข้อแนะนำ : นี้เป็นวิธีที่จะช่วยค้นหาจำนวนของ Joint หรือ Element ใน model

1.7. Assign menu

คลิกในปุ่มต่อไปนี้ จาก Toolbar เมื่อคุณต้องการใส่ ข้อมูล, Loads และข้อจำกัดต่าง ๆ

เลือก Assign ข้อมูลโดยคลิกที่ปุ่มต่างๆ ดังนี้

ถ้าต้องการใส่

1. Support หรือ Joint ทำได้โดย คลิกปุ่ม
2. หน้าตัดของชิ้นส่วนที่เป็น Frame ทำได้โดย คลิกปุ่ม
3. ความหนาของ Shell Element ทำได้โดย คลิกที่ปุ่ม
4. Loads บน Joint ทำได้โดยคลิกที่ปุ่ม
5. Span และ Point Load ใน Frame คลิกที่ปุ่ม
6. Uniform Load ใน Shell Element คลิกที่ปุ่ม

1.7.1. การกำหนดคุณสมบัติหน้าตัด

a. Frame Elements

1. เลือก 1 หรือหลายๆ Frame ที่ต้องการกำหนดคุณสมบัติหน้าตัด
2. ใน Assign menu คลิก Frame และเลือก Section ในเมนูย่อย
3. ใน Frame Sections display box:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกหน้าตัดที่มีอยู่แล้ว
- คลิกปุ่ม OK

หมายเหตุ : ถ้าคุณยังไม่ได้กำหนดหน้าตัด ต้องกำหนดหน้าตัดก่อนโดยเลือกที่ Section property file หรือจะเลือกจากหน้าตัดที่มีให้อยู่แล้วใน " Frame Sections" display box

b. Shell Elements

1. เลือก 1 หรือหลายๆ Shell ที่ต้องการกำหนดคุณสมบัติหน้าตัด
2. ใน Assign menu คลิก Shell และเลือก Section ในเมนูย่อย
3. ใน Shell Sections display box:
   - เลือกหน้าตัดที่มีอยู่แล้ว
   - คลิกปุ่ม OK

1.7.2. การกำหนดข้อบังคับใน Joint

ข้อบังคับในการประยุกต์สำหรับเลือก Joints

1. เลือก Joint ที่คุณต้องการปรับเปลี่ยนข้อกำหนด
2. ใน Assign menu คลิก Joint และเลือก Constraints ในเมนูย่อย
3. ใน Constraints dialog box:
   - เพิ่มข้อกำหนดใหม่ โดยคลิกใน Add แล้วเลือกคุณสมบัติที่ต้องการเปลี่ยนจากนั้นเลือกแกนที่ต้องการเปลี่ยนข้อกำหนด แล้วคลิกปุ่ม OK
4. คลิกปุ่ม OK

1.7.3. การลบหรือเปลี่ยนข้อกำหนดของ Joint

1. เลือก Joint ที่คุณต้องการ remove
2. ใน Assign menu คลิก Joint และเลือก Constraints ในเมนูย่อย
3. เปลี่ยนข้อกำหนดของ Joint
   - ใน Constraints dialog box:
     - เลือก existing Constraint จาก Constraints list box
     - คลิก Modify/Show Constraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือก Remove Constraint
- คลิกปุ่ม OK
- Joint จะถูกเปลี่ยนจาก existing Constraint

1.7.4. การกำหนดมวลของ Joint

การใส่มวลใน Joint

1. เลือก Joint ที่คุณต้อการใส่ มวล
2. ใน Assign menu คลิก Joint แล้วเลือก Masses ในเมนูย่อย
3. ใน Joint Masses dialog box:
   - ระบุค่าของมวลใน ทิศทาง 1, 2, 3
   - ระบุค่าของโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลในทิศทาง 1, 2, 3
   - ใน Option area เลือก Option เช่น Add to existing masses, Replace existing masses หรือ Delete existing masses
4. คลิกปุ่ม OK

1.7.5. Assign Joint Restraints

การใส่ข้อกำหนดใน Joint ที่เลือก คลิกปุ่ม

1.7.6. Assign Joint Patterns

1. การกำหนด Patterns ของ Joint
2. เลือก Joint ที่คุณต้องการใส่ pattern
3. ใน Assign menu คลิก Joint Patterns
4. คลิกใน Pattern Name และเลือก pattern name ที่มีให้
5. ระบุค่าใน edit box สำหรับค่าคงที่ A, B, C, Dโดยต้องตรงกับค่าที่กำหนดให้Ax+By+Cz+D (x, y, z เป็นค่าที่สัมพันธ์กับระยะทางจากจุด origin ของแต่ละแกน) และมันจะเป็นค่า Pressure ในโครงสร้าง Shell elementโดยค่าที่ผันแปรอาจเกิดจาการเพิ่มของอุณหภูมิใน Frame และความดันใน Shell สำหรับค่าคงที่ อาจเป็นตัวอย่างของแรงดันดินในผนัง
6. Options

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับการคำนวณค่า ที่เราใส่ไปจาก pattern ที่มี คลิกใน Add to existing Value
- สำหรับการคำนวณค่า replace ที่เราใส่ไปจาก pattern ที่มี คลิกใน Replace existing Value
- สำหรับการลบค่า ที่เราใส่ไปจาก pattern ที่มี
- คลิกใน Delete existing Value

7. คลิกปุ่ม OK

1.7.7. Assign Local Axe for Joints (การกำหนดแกนใหม่สำหรับ Joint นั้น)

1. เลือก Joint 1 จุดหรือมากกว่า ที่คุณต้องการใส่แกน
2. ใน Assign menu คลิก Joint และเลือก Local Axes ในเมนูย่อย
3. ใน Joint Local Axis display box:
   - ใส่ค่ามุมที่ต้องการหมุน ของ z แกน y' และ x'' ในหน่วยองศา y' และ x'' จะแทนค่าจาก y และ x
   - คลิกปุ่ม OK

1.7.8. Assign Local Axes for Frame Elements

1. เลือกชิ้นส่วน Frame 1 จุด หรือมากกว่า ที่ต้องการใส่แกน
2. ใน Assign menu คลิก Frame และเลือก Local Axes ในเมนูย่อย
3. ใน Frame Local Axis display box:
   - ระบุค่ามุมในหน่วยองศา, มุมในที่นี้ คือ มุมระหว่าง 2 แกนในชิ้นส่วน โดยแกนหนึ่งต้องเป็นแกนที่ไปตามความยาวใน element (มุมจะเป็นบวก เมื่อวัดทวนเข็มนาฬิกา)
   - คลิกปุ่ม OK

1.7.9. Assign Frame Prestress (กำหนดค่า Frame แบบอัดแรง)

การกำหนดค่าแรงอัดใน Frame คือ การใส่ Load อัดแรงใน cable ซึ่งอยู่ใน Frame member

1. เลือกชิ้นส่วน Frame ที่คุณต้องการจะใส่ Prestress load
2. ใน Assign menu คลิก Frame แล้วเลือก Prestress ในหัวข้อย่อย
3. ใน Frame Prestressing Pattern dialog box ต้องใส่ค่า:
   - แรงดึง Cable ใน text edit box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

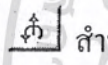
- จุดเริ่มต้น ตรงกลาง และจุดสิ้นสุดของ Cable
- เลือกจาก Add, Replace หรือ Delete

4. คลิกปุ่ม OK

หมายเหตุ : เมื่อใส่ prestress load ใน element ต้องใส่ค่า Frame prestress load ใน Static load case ด้วย

1.7.10. Assign Loads or Displacements to Joints

1. เลือก Joint 1จุดหรือมากกว่าสำหรับใส่ Load
2. ใน Assign menu คลิก Joint Static Loads แล้วเลือก Forces หรือ Displacement ในเมนูย่อย
3. ใน Joint Forces or Ground Displacement dialog box:
   - เลือก Load Case
   - ใส่ค่า Forces และ Moments หรือค่า Translations และ Rotation
   - คลิกปุ่ม OK
   - เลือกจาก Add, Replace หรือ Delete
4. คลิกปุ่ม OK

ข้อแนะนำ : คลิก  สำหรับใส่แรงที่ Joint

1.7.11. Assign Gravity Load to Frame (การใส่น้ำหนักให้กับ Frame)

1. เลือก Frame 1 ชิ้นหรือมากกว่า สำหรับใส่ Load
2. ใน Assign menu คลิก Frame Static Loads แล้วเลือก Gravity ในเมนูย่อย
3. ใน Frame Gravity Loads dialog box:
   - เลือก Load Case
   - ใส่ค่า Gravity Multipliers
   - เลือกจาก Add, Replace, Delete
4. คลิกปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.12. Assign Point and Uniform Loads to Frames

1. เลือก Frame 1 ชิ้นหรือมากกว่า สำหรับใส่ Load
2. ใน Assign menu คลิก Frame Static Loads แล้วเลือก Point and Uniform ในเมนูย่อย
3. ใน Point and Uniform Span Loads dialog box:
   - เลือก Load Case
   - เลือกประเภทของ Load และทิศทาง

หมายเหตุ : โดยปกติแล้ว ทิศทางของน้ำหนักจะมีทิศเป็นลบในแกน z แต่เวลาใส่ค่าให้ใส่ค่าบวก ถ้าค่านั้นอ้างอิงตามทิศทางน้ำหนัก และใส่ค่าลบ ถ้าค่านั้นอ้างอิงตามแกน z

   - ใส่ Point Load และระยะทาง
   - ใส่ Uniform Load
   - เลือกจาก Add, Replace, Delete
4. คลิกปุ่ม OK

ข้อแนะนำ : สามารถคลิก สำหรับใส่ Points หรือ Uniform load ใน Frame

1.7.13. การใส่ load รูปสี่เหลี่ยมคางหมู ใน Frames

1. เลือก Frame 1 ชิ้นหรือมากกว่า สำหรับใส่ Load
2. ใน Assign menu คลิก Frame Static Loads 1 แล้วเลือก Trapezoidal ในเมนูย่อย
3. ใน Trapezoidal Span Loads dialog box:
   - เลือก Load Case
   - เลือกประเภทของ Load และทิศทาง
   - เลือกจาก Add, Replace, Delete
4. คลิกปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

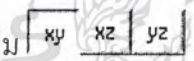
1.7.14. Assign Temperature Loads to Frames

1. เลือก Frame 1 ชิ้นหรือมากกว่า สำหรับใส่ Load
2. ใน Assign menu คลิก Frame Static Loads แล้วเลือก Temperature ในเมนูย่อย
3. ใน Frame Temperature Loading dialog box:
   - เลือก Load Case
   - เลือกประเภทของอุณหภูมิ
   - เลือกชนิดของอุณหภูมิโดย Element หรือ Joint Pattern
   - เลือกจาก Add, Replace, Delete
4. คลิกปุ่ม OK

สำหรับ Shell Element รูปแบบจะคล้ายคลึงกับ Frame โดยจะแตกต่างกันที่ Shell Element นั้น สามารถใส่ค่า Uniform Load โดยการคลิกที่ปุ่ม

1.8. Display Menu

เลือกรูปแบบการแสดงภาพ โดยกดปุ่มคำสั่งต่อไปนี้

1. รูปเรขาคณิตที่เปลี่ยนรูปไม่ได้ ทำได้โดยคลิกปุ่ม
2. รูปแบบ Isometric ทำได้โดยคลิกปุ่ม
3. มุมมอง 2 มิติ (ระนาบ xy, xz, yz) ทำได้โดยคลิกปุ่ม 
4. มุมมอง 3 มิติ ทำได้โดยคลิกปุ่ม
5. การเสียรูปร่าง ทำได้โดยคลิกปุ่ม
6. แรงปฏิกิริยาใน Joint ทำได้โดยคลิกปุ่ม
7. ไดอะแกรมแรงใน Frame ทำได้โดยคลิกปุ่ม
8. แรงใน Shell หรือ Stress Contours ทำได้โดยคลิกปุ่ม
9. น้ำหนักใน Joint, Frame หรือ Shell ทำได้โดยคลิกใน Display menu แล้วเลือก Show Loads
10. Patterns ทำได้โดยคลิกใน Display menu แล้วเลือก Show Patterns
11. ค่าในรูปแบบตาราง ทำได้โดยคลิกใน Display menu แล้วเลือก Show Input Tables
12. Mode Shapes ทำได้โดยคลิกปุ่ม Mode Shape
13. แสดงค่าผลลัพธ์ในรูปแบบตาราง ทำได้โดยคลิกปุ่ม
14. Response Spectrum ทำได้โดยคลิกใน Display menu แล้วเลือก Show Response Spectrum Curves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Time History ทำได้โดยคลิกใน Display menu แล้วเลือก Show Time History Traces

16. ชิ้นส่วนที่หดตัว ทำได้โดยคลิกปุ่ม

17. การเลือกชิ้นส่วน ทำได้โดยคลิกปุ่ม

1.8.1. Display Input in Tabular Format (แสดงรูปแบบการใส่ค่าแบบตาราง)

การแสดงค่าต่างๆ ที่เป็นตารางดูได้จากใน file SAP2000 หรือโดยการ print ค่าจาก Input Tables จาก file menu

1. ใน Display menu คลิก Show Input Tables แล้วเลือก Geometry หรือ Loading Data
2. ใน Display Geometry/Loading Options dialog box
   เลือกชนิดของค่า Input ที่สนใจ
3. คลิกปุ่ม OK สำหรับดูค่าในตาราง
   - ใน File menu จากรูปแบบที่แสดง เลือก print
   - ปิดหน้าต่างโดยคลิกปุ่ม x ที่มุมด้านขวามือ

1.8.2. Display Static Deformed Shape (แสดงการเปลี่ยนรูปร่างเมื่อรับน้ำหนัก)

1. ใน Display menu คลิก show Deformed Shape หรือกด ใน Toolbar
2. ใน Deformed Shape dialog box:
   - เลือก Load Case หรือ Combination Name จาก list ที่มี
   - เลือกใช้วิธี scaling
   - เช็ค Wire Shadow box เมื่อคุณต้องการแสดง undeformed Shape
   - หลังจากเลือก options คลิกปุ่ม OK และหน้าจอจะแสดงผลล่าสุดที่ได้กระทำไว้

คลิกปุ่ม start Animation ใน status line ด้านล่าง เพื่อแสดงภาพเคลื่อนไหว การเปลี่ยนรูปโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คู่มือการใช้งานเบื้องต้น

2.1. คำอธิบายแบบตัวอย่าง

แบบตัวอย่างที่เลือกสำหรับการสอนเพื่อการวิเคราะห์ ออกแบบ ตรวจสอบ ทำการแก้ไข เป็นตัวอย่างสองมิติ five-bay truss of the "Warren" ที่เลือกจากโปรแกรม template แรงหลักที่กระทำคือแรงกระทำคงที่ dead load และ live point loads โดยในตัวอย่างนี้เราจะทำการวิเคราะห์แรงภายในชิ้นส่วน ซึ่งเกิดจากแรงกระทำทั้งสองกรณีที่กล่าวมา และทำการตรวจสอบชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยใช้ข้อกำหนดของ AISC/ASD89 ในการตรวจสอบค่า stress ratios ซึ่งเป็นอัตราส่วนของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นและความสามารถในการรับหน่วยแรงของชิ้นส่วน เราจะพบว่าเมื่อค่า stress ratios มีค่ามากกว่า 1 เราจะต้องมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง เช่น รูปร่างลักษณะทางเลขาคณิตและแรงที่กระทำของแบบตัวอย่างที่ทำการแก้ไข จนกระทั่งโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ (stress ratio น้อยกว่า 1) ในขั้นตอนนี้อาจจะต้องทำซ้ำวนเวียนหลายรอบ ในตัวอย่างนี้ เราจะใช้หน่วยเป็น Kip-inch โครงสร้างเป็นโครงสร้างเหล็ก (36 ksi yield strength) ชิ้นส่วนที่ใช้ในโครงสร้างทั้งหมดจะเป็นชนิดเหล็กฉากคู่

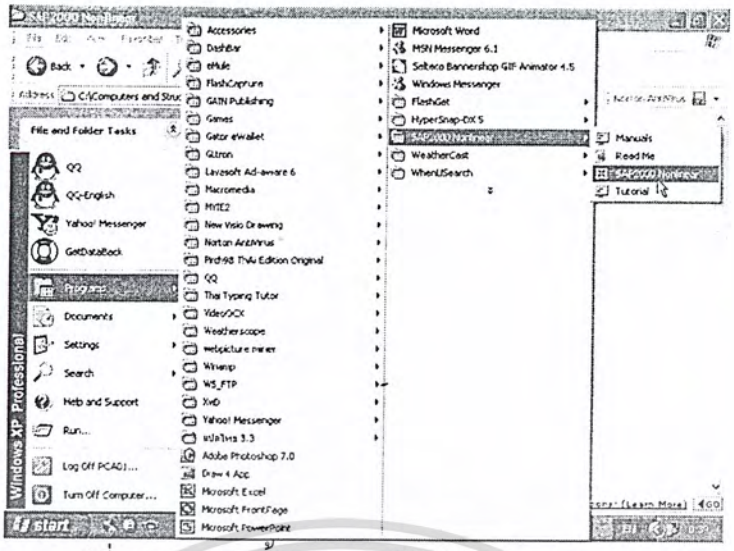
2.2. เริ่มการสอน

ต่อไปจะเป็นการอธิบายกระบวนการอย่างละเอียดสำหรับสร้างแบบจำลองโครงข้อหมุน แต่ละขั้นตอนในการใช้งานในโปรแกรม SAP2000 ดังนี้

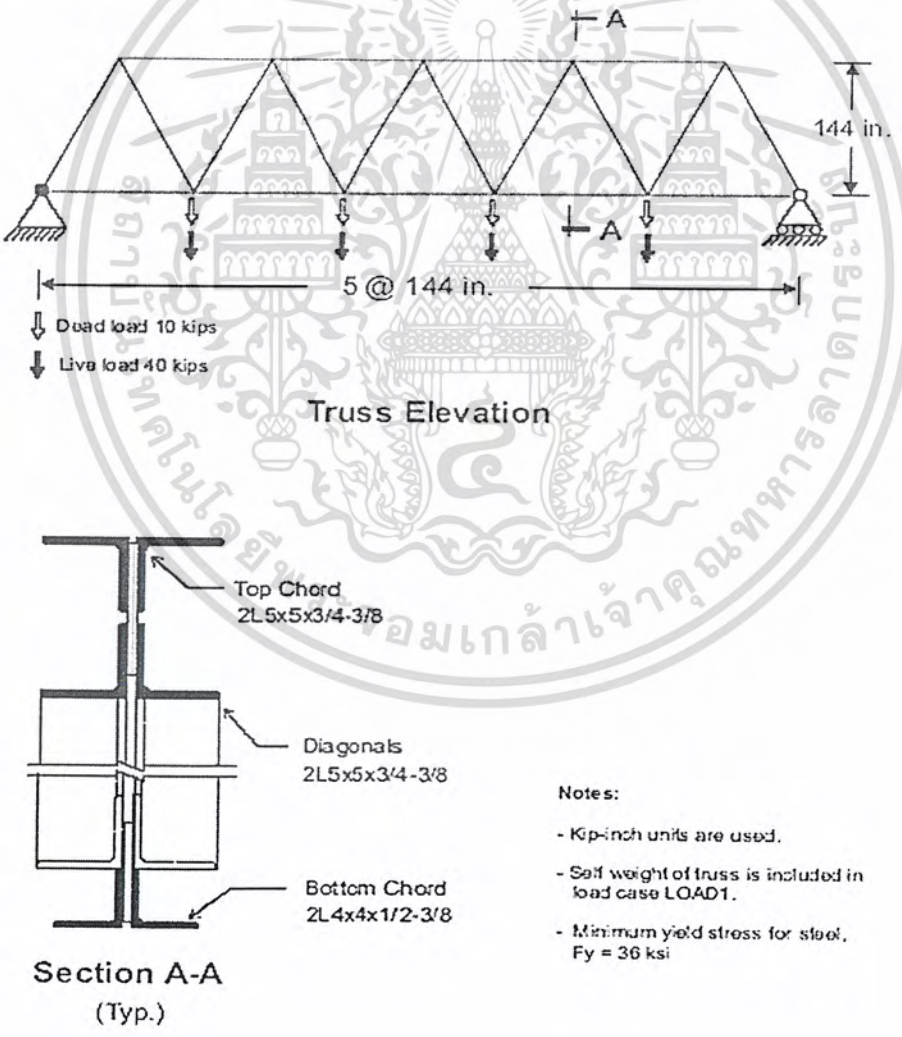
ลักษณะทางเลขาคณิตจะนำมาจากแบบ template โดยใน templates จะให้เรากำหนดจำนวนค่าเริ่มต้นต่างๆ

ทำการเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรมโดยการเปิดโปรแกรม SAP2000 จาก Start Menu หรือจาก Program Manager, ขึ้นอยู่กับ version ของ Windows เราก็จะสามารถเริ่มดำเนินการสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-2.1 แสดงขั้นตอนการเปิดโปรแกรม SAP2000

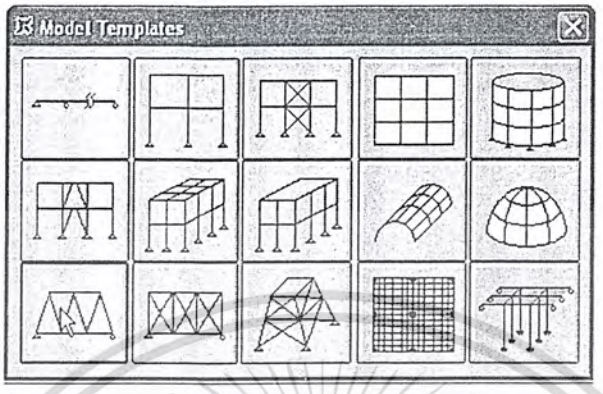


รูปที่ ผ-2.2 แสดงตัวอย่างโครง truss ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

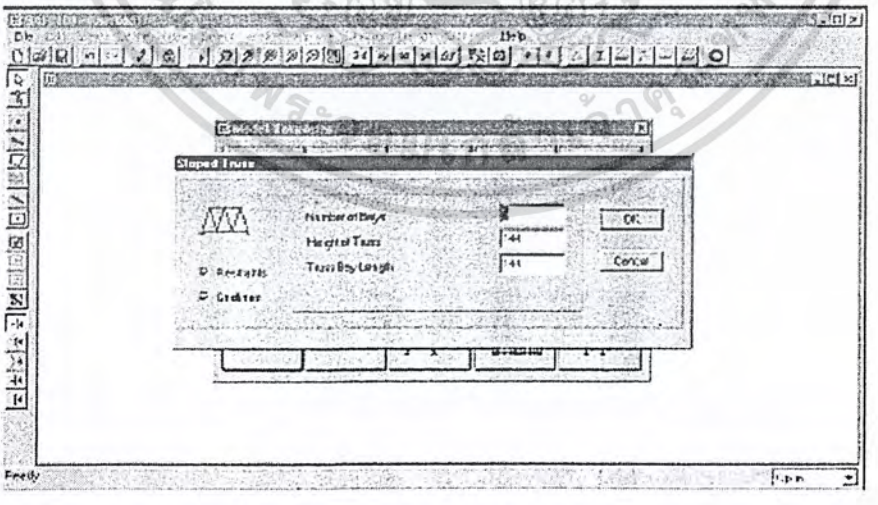
2.3. การตั้งค่าทางเรขาคณิต

1. จากเมนูแฟ้ม File menu เลือกแบบตัวอย่างใหม่จากแม่แบบ New Model from Template. เพื่อแสดงหน้าต่าง Model Template



รูปที่ ผ-2.3 แสดงหน้าต่าง Model Template

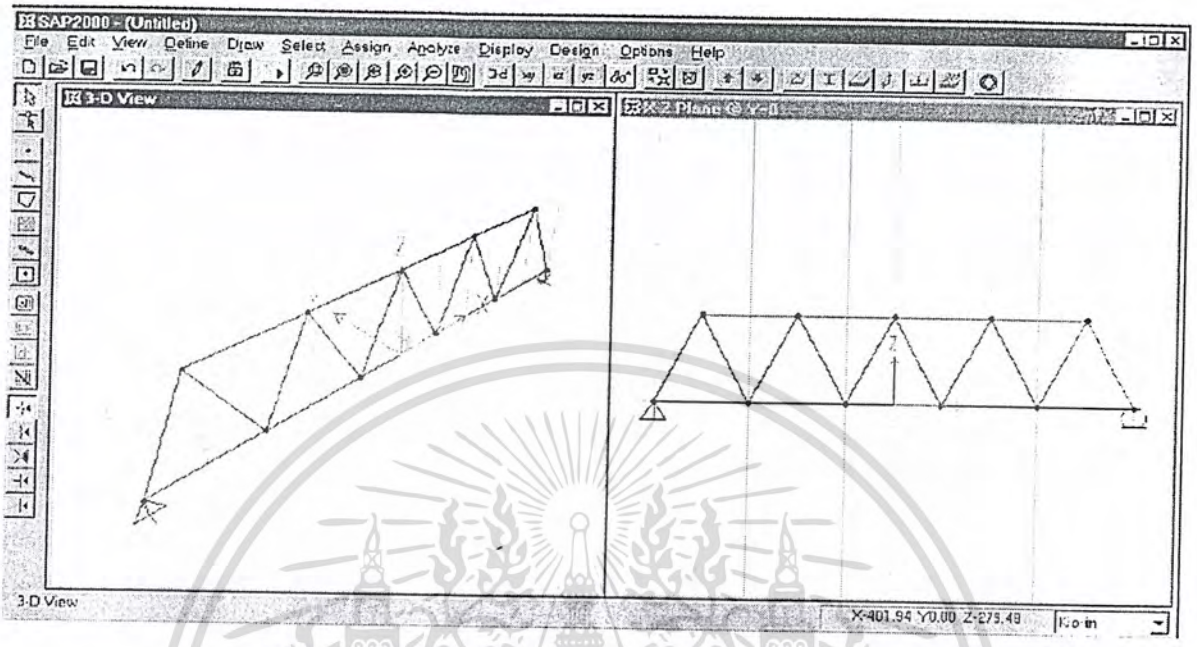
2. ในหน้าต่างข้อความนี้
   - คลิกบนแม่แบบ Sloped Truss template เพื่อที่จะแสดงหน้าต่างข้อความ Sloped Truss
   - ในหน้าต่างข้อความนี้
     - ทำการเปลี่ยนค่า Bays ไว้ที่ 5
     - ตรวจสอบข้อจำกัดต่างๆภายในกล่อง
     - ตรวจกล่อง Gridlines
     - ยอมรับค่าพื้นฐานความสูงและความยาว bay
     - คลิกปุ่ม OK



รูปที่ ผ-2.4 ภาพแสดงหน้าต่าง Slope Truss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอภาพจะแสดงผลตัวอย่างเป็นแบบ 3D และ 2D ใน vertically tiled adjoining windows ซึ่งอยู่ประชิดกัน หน้าต่างขวาจะแสดงแนวระนาบ X-Z plane ของแบบตัวอย่างที่ Y=0, อีกหน้าต่างหนึ่งทางซ้ายจะแสดงเทคนิคภาพเหมือนจริงแบบ3D



รูปที่ ผ-2.5 ภาพแสดงหน้าต่าง 3-D View และ 2-D View

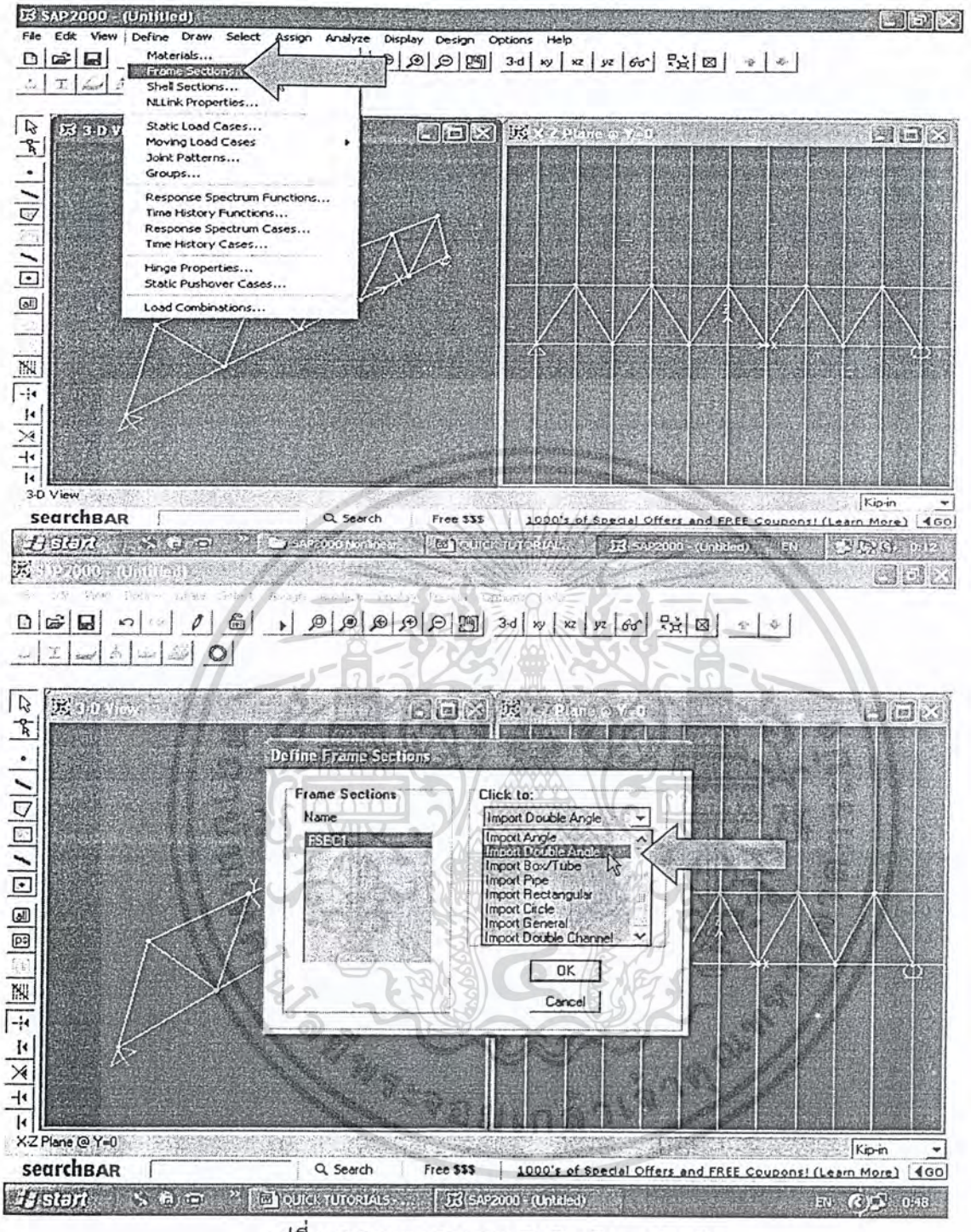
หมายเหตุ: การจำกัดค่าพื้นฐาน Default restraintsที่เพิ่มในแบบตัวอย่างที่ Restraints box ถูกเช็คใน Sloped Truss dialog box

2.4. คำนิยามของหน้าตัดวัตถุสำหรับก่อสร้าง

เราจะใช้หน้าตัดชนิดเหล็กฉากคู่ตลอดทั้งหมดของโครงข้อหมุน จาก data file หน้าตัดของวัสดุที่ใช้สำหรับก่อสร้างที่มีชื่อว่า SECTIONS.PRO และอยู่ directory ที่เดียวกันกับ SAP2000 files ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. จาก Define menu เลือก Frame Sections.... ซึ่งจะแสดง Define Frame Sections dialog box.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



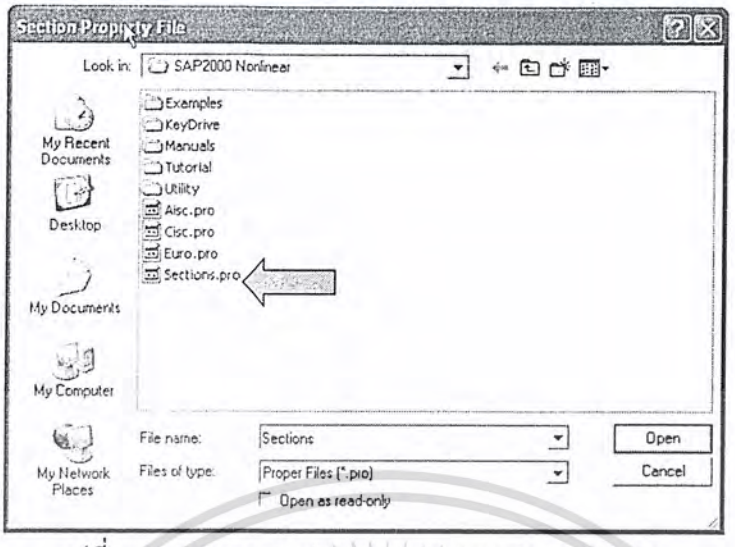
รูปที่ ผ-2.6 ภาพแสดง การ Define Frame Section

2. ใน dialog box:

- ตรวจบนจุดที่นำค่าเข้าไปที่ drop-down box
- ตรวจบนค่ามุมสองเท่าที่นำเข้าไป ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติหน้าตัด Section Property File dialog box
- ใน dialog box นี้ :

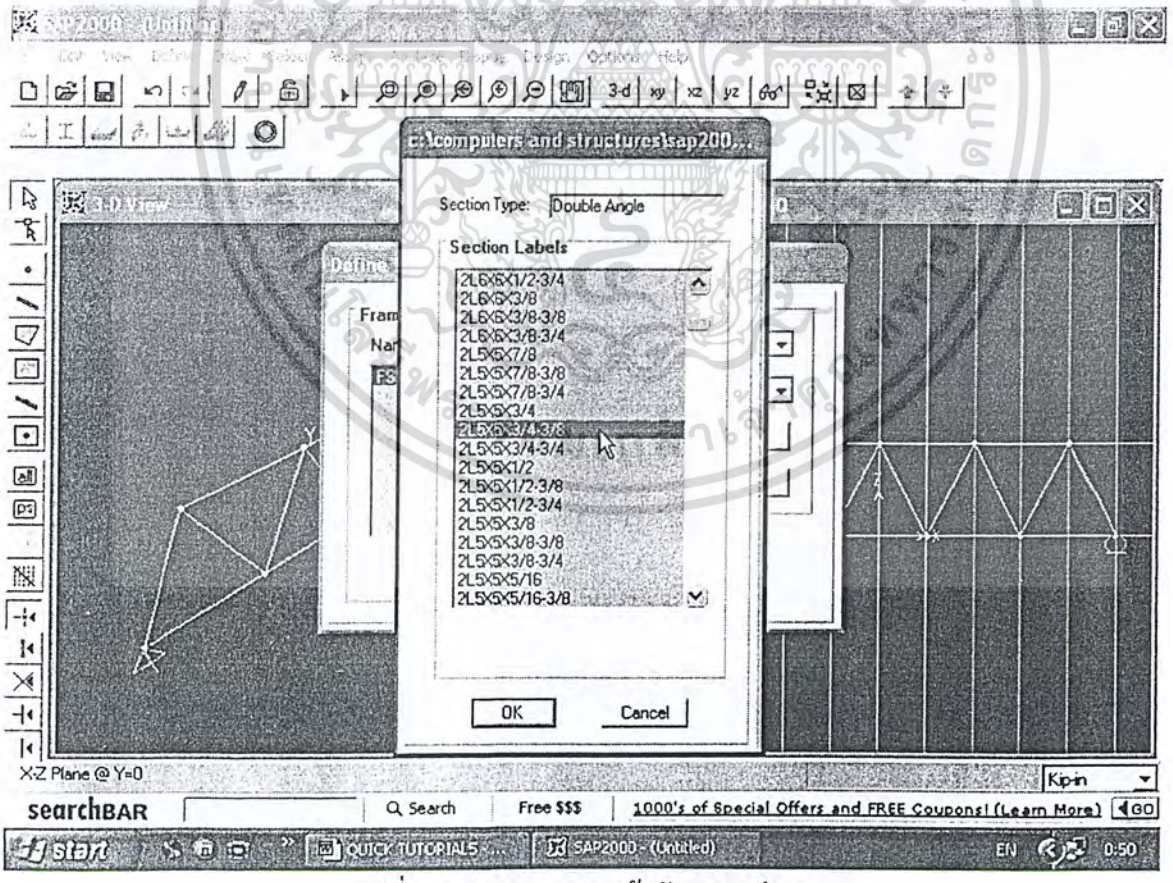
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาจุดที่ตั้งของ SECTIONS.PRO data file โดยการคลิกสองครั้งที่ import/wide flange



รูปที่ ผ-2.7 ภาพแสดง Section Property File dialog box

- เลือกเปิดแฟ้ม SECTIONS.PRO data file โดยตรวจที่บนปุ่ม Open หรือ double clicking เมาส์บน file name
- จะเห็นว่าได้มีการแสดงผลหน้าตัดของเหล็กฉากคู่ทั้งหมดที่มีใน data file ที่ drop down list box



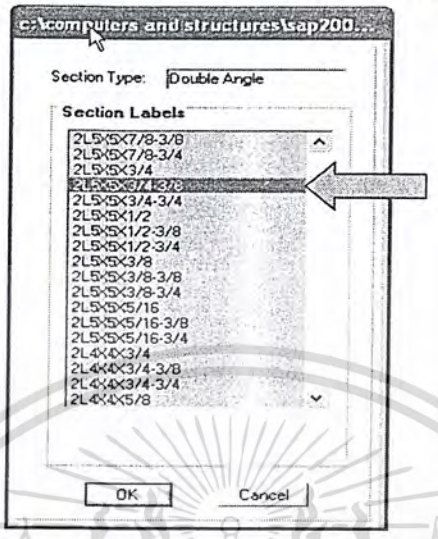
รูปที่ ผ-2.8 ภาพแสดง หน้าตัดขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ในหน้าตัด SAP2000 สามารถเปิดแฟ้ม SECTIONS.PRO data file ได้เพียงไฟล์เดียว

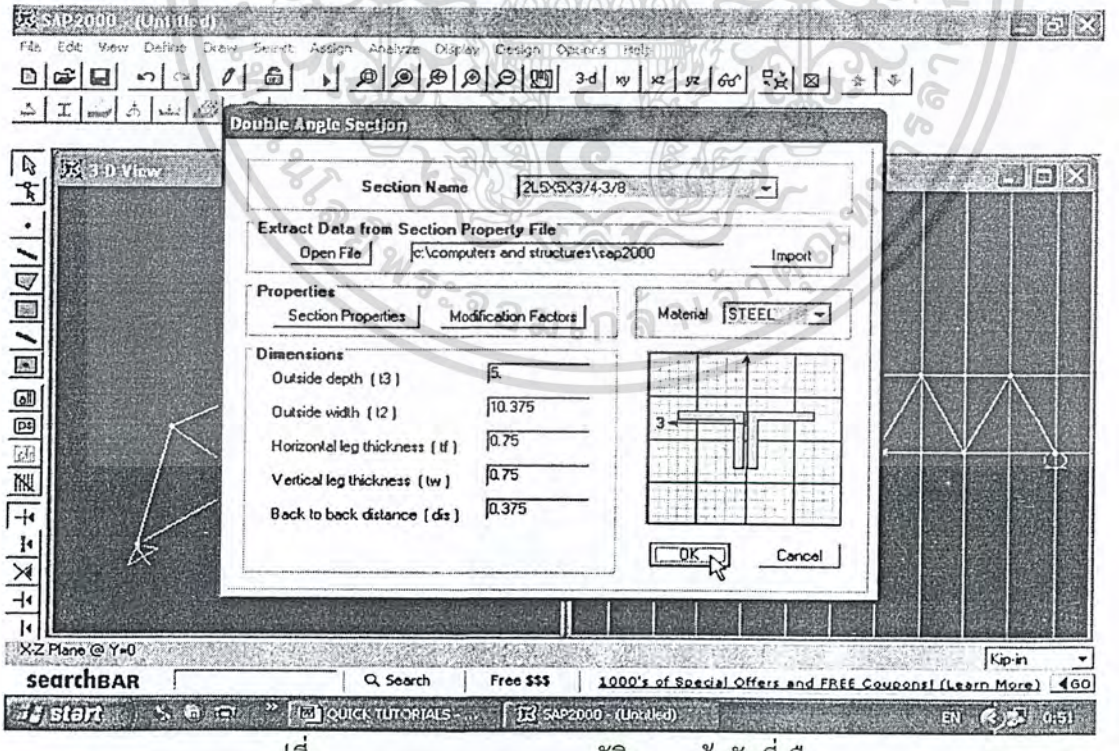
3. ในกล่อง Double Angle list box:

- ใช้ปุ่มเลื่อนไปที่จุดหน้าตัดวัตถุที่ใช้ในการก่อสร้าง ใช้แบบตัวอย่างที่ชื่อ 2L5x5x3/4-3/8



รูปที่ ผ-2.9 ภาพแสดงชนิดของวัสดุแบบ Double Angle

- Double click ที่ 2L5x5x3/4-3/8 จะทำให้มีการแสดง หน้าต่าง display the Double Angle Section dialog box ที่แสดงมุมมองของหน้าตัดที่เลือก ขนาดหน้าตัด และเหล็กพื้นชนิดพื้นฐานของหน้าตัดวัสดุ



รูปที่ ผ-2.10 ภาพแสดงคุณสมบัติของหน้าตัดที่เลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คลิกปุ่ม OK ซึ่งจะทำการปิดหน้าต่างหน้าตัดเหล็กชนิดฉากคู่ Double Angle Section dialog box ซึ่งจะมีหน้าตัดชิ้นส่วนขนาด 2L5x5x3/4-3/8 ที่ได้เลือกแสดงเพิ่มเข้าไปในหน้าตัดพื้นฐานที่ชื่อ FSEC1 ในพื้นที่หน้าตัดชิ้นส่วน

4. กระทำซ้ำกับขั้นตอนที่ 2 และ 3 ข้างบนเพื่อเลือกหน้าเหล็กฉากคู่ขนาดอื่นๆ คือ 2L4x4x1/2-3/8

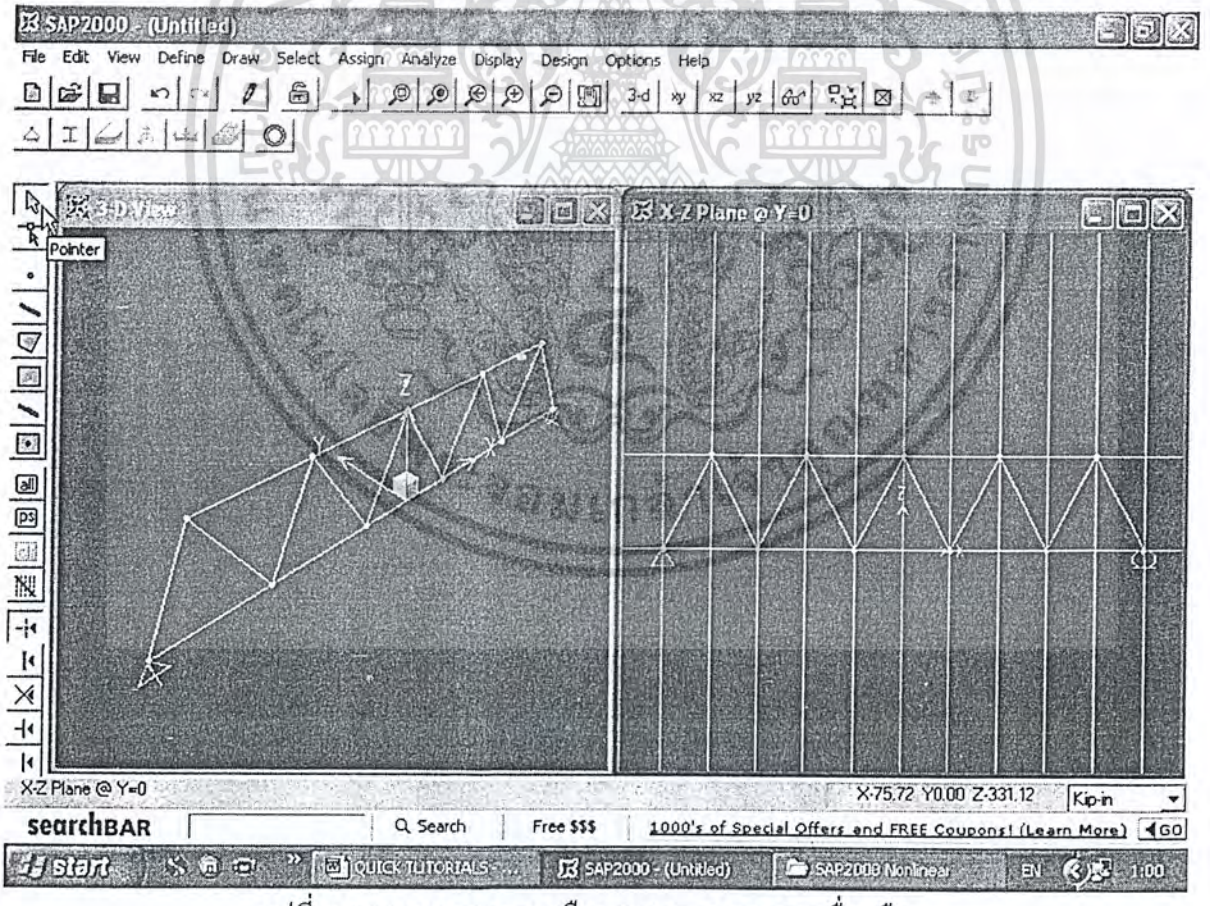
5. คลิกปุ่ม OK

2.5. การกำหนดชิ้นส่วนหน้าตัด

ในขั้นตอนนี้ เราจะกำหนดหน้าตัดก่อนทำการ Defined ชิ้นส่วนอื่นๆของโครงข้อหมุน โดยกำหนดหน้าตัดเหล็กฉากคู่ขนาด 2L5x5x3/4-3/8 ที่ชิ้นส่วนบน (Top chord) และชิ้นส่วนเส้นทแยงมุม (Diagonals) กำหนดเหล็กฉากคู่ขนาด 2L4x4x1/2-3/8 ที่ชิ้นส่วนด้านล่าง (Bottom chord) เพียงอย่างเดียว

1. เราจะเลือกสมาชิก chord บนสุดของโครงข้อหมุนในมุมมองระดับ "windowing "กระทำโดย:

- คลิกบนปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool บนแถบเครื่องมือ Side Toolbar

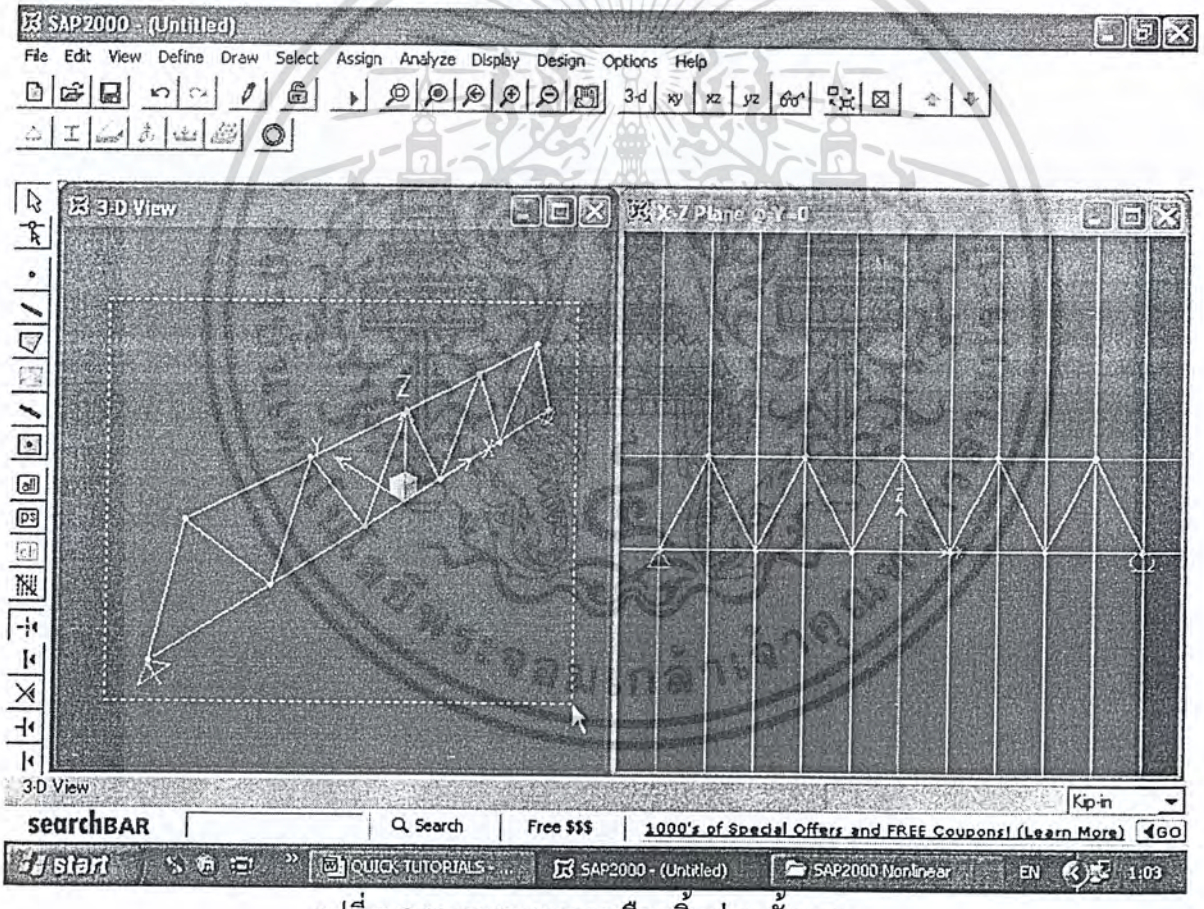


รูปที่ ผ-2.11ภาพแสดงการเลือก Pointer จากแถบเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : เราสามารถเลือกในโหมดการเลือก SELECTION mode ของ SAP2000 โหมดทางเลือกอื่นคือโหมดการวาด (DRAW mode) โดยปกติโปรแกรมSAP2000 ในโหมด SELECTION mode สิ่งที่ถูกระบุโดยปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool เพื่อสวิตซ์จากโหมดการวาด (DRAW mode) ถึงโหมด SELECTION mode ซึ่งสามารถคลิกบนปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool บนแถบเครื่องมือ Side Toolbar ถ้าปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool ที่กดเสร็จเรียบร้อยแล้วไม่ควรกดอีกครั้ง

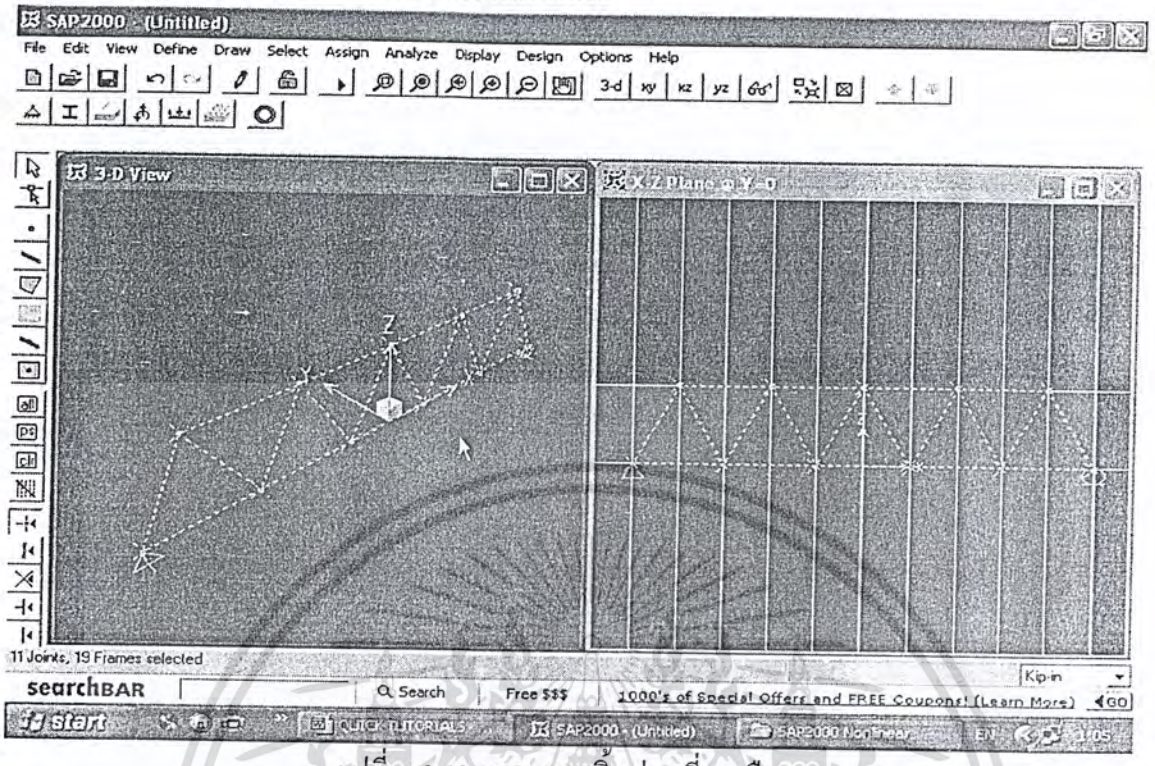
- เคลื่อนย้ายตัวชี้ไปด้านบนและไปด้านซ้ายของชิ้นส่วนที่คุณต้องการเลือก
- คลิกและกดปุ่มเมาส์ซ้ายค้างไว้
- ขณะที่กดปุ่มเมาส์ซ้ายค้างไว้ เคลื่อนย้ายตัวชี้ไปด้านล่างและไปด้านขวาของชิ้นส่วนที่คุณต้องการเลือก ."rubber-band" หน้าจอจะแสดงขอบเขตที่เลือก
- ปล่อยปุ่มเมาส์ซ้ายเพื่อเลือกสมาชิกทั้งหมดในหน้าต่างนี้



รูปที่ ผ-2.12 ภาพแสดงการเลือกชิ้นส่วนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

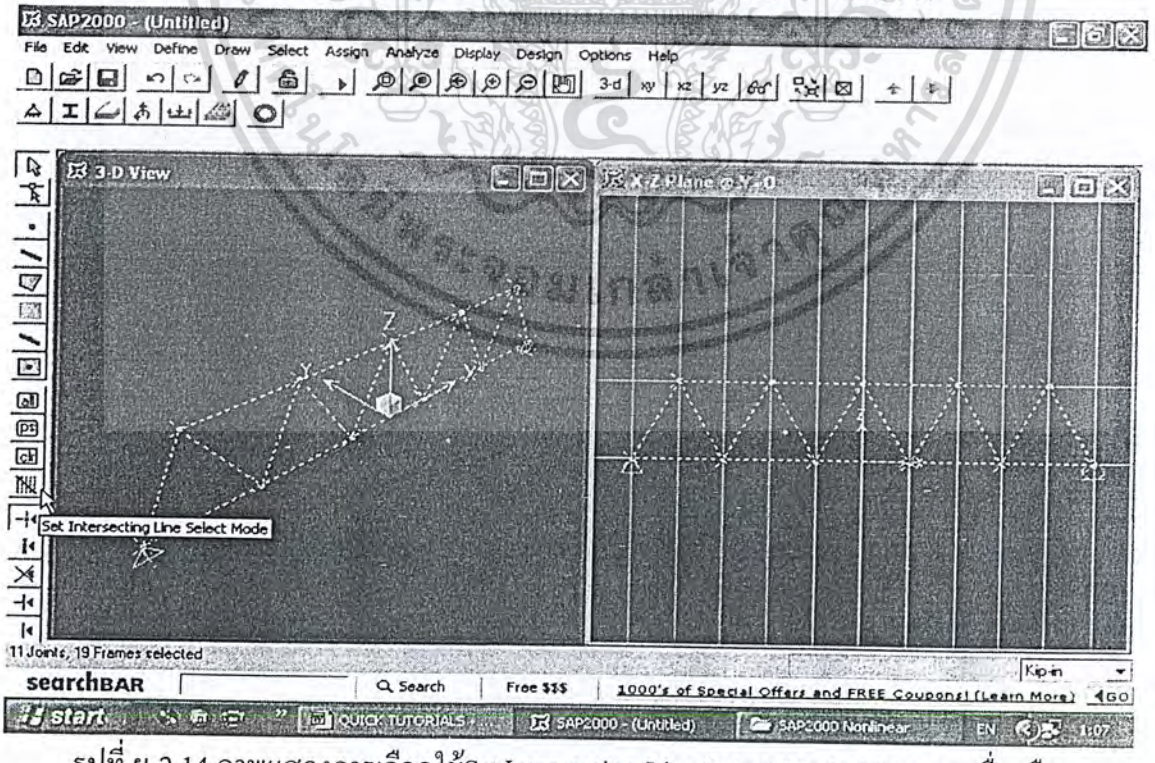
- เมื่อทำการเลือกแล้วจะมีลักษณะเป็นเส้นประ



รูปที่ ผ-2.13 ภาพแสดงชิ้นส่วนที่ถูกเลือก

2. ถ้าเราจะทำการเลือก ชิ้นส่วนที่ทแยงโดยการตัดเส้น กระทำได้ดังนี้:

- คลิกปุ่ม Set Intersecting Line Select Mode บนแถบเครื่องมือทางด้านข้าง



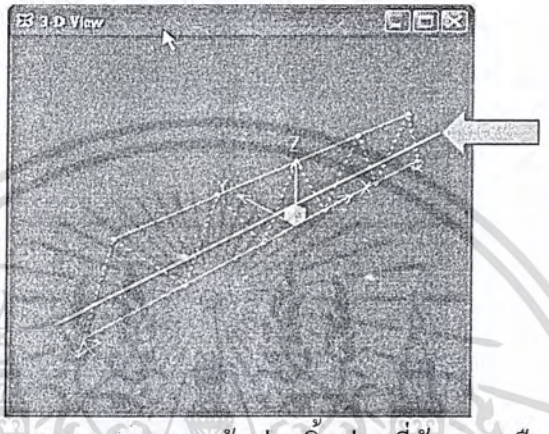
รูปที่ ผ-2.14 ภาพแสดงการเลือกใช้Set Intersecting Line Select Mode จากแถบเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

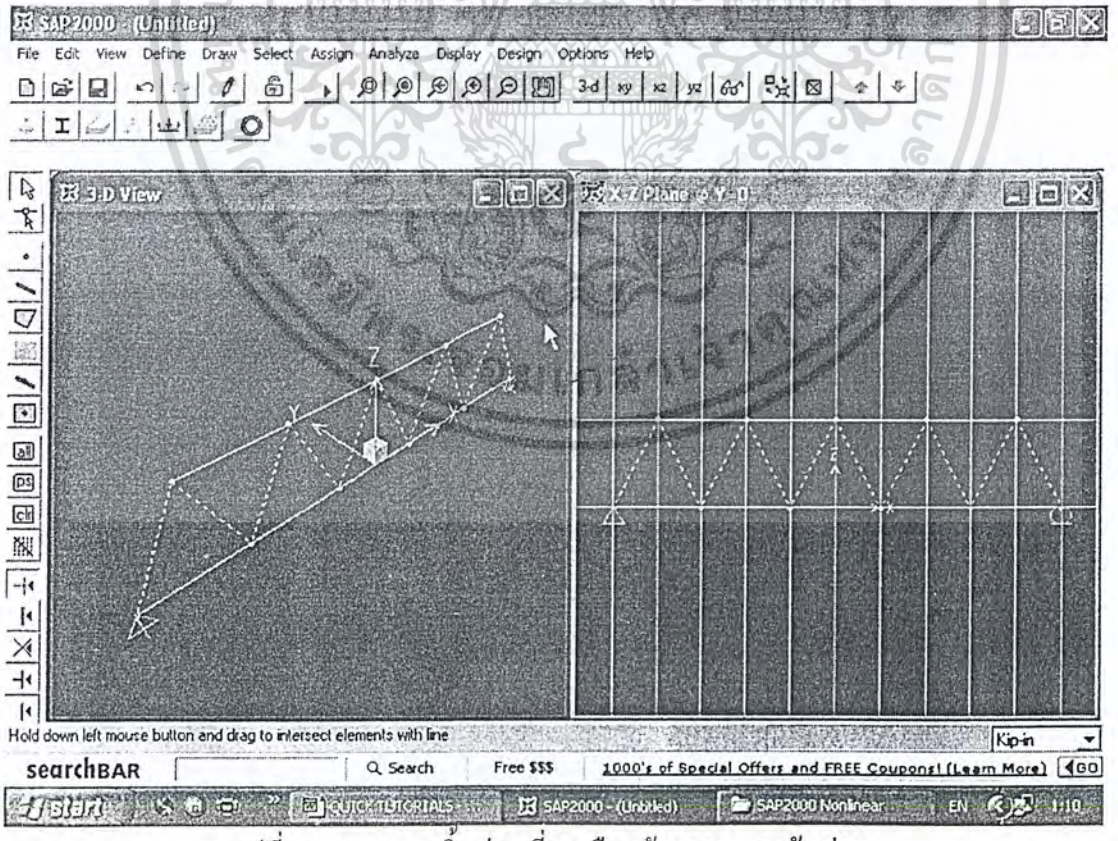
- ย้ายจุดชี้ไปที่ด้านซ้ายของชิ้นส่วนที่ต้องการเลือก
- คลิกและกดปุ่มเมาส์ซ้ายค้าง
- ขณะที่กดปุ่มค้างทำการย้ายจุดไปทางด้านขวาของชิ้นส่วนที่ต้องการเลือก “rubber-band” จะแสดงเส้นที่ตัด
- ปล่อยเมาส์ด้านซ้ายเพื่อเลือกชิ้นส่วนที่มีเส้นตัดล้อมอยู่

การเลือกที่เส้นคอร์ดสูงสุดและชิ้นส่วนเส้นทแยงมุมของโครงข้อหมุนที่สมบูรณ์

- ชิ้นส่วนโครงข้อหมุนที่เลือกจะปรากฏเป็นเส้นประ



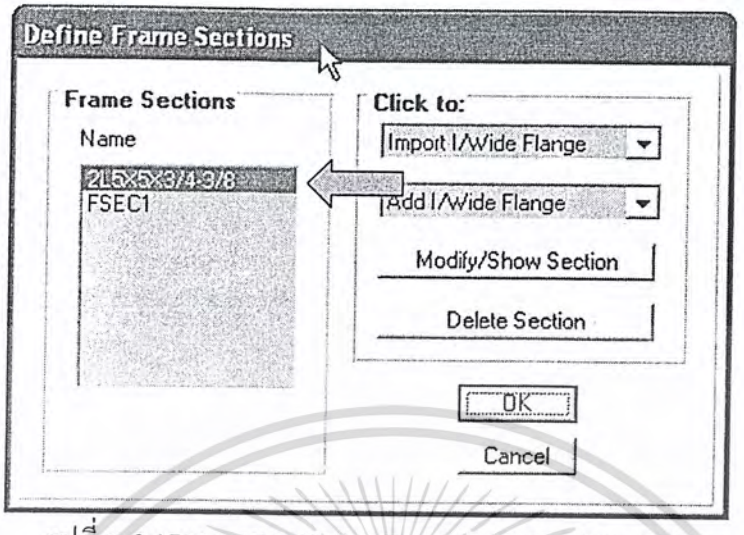
รูปที่ ผ-2.15 แสดงการลากเส้นผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการเลือก



รูปที่ ผ-2.16 แสดงชิ้นส่วนที่ถูกเลือกด้วยการลากเส้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.จากเมนู Assign เลือก Frame จากนั้นเลือก Sections จาก submenu จะแสดง Define Frame Sections dialog box



รูปที่ ผ-2.17ภาพแสดง Define Frame Sections dialog box

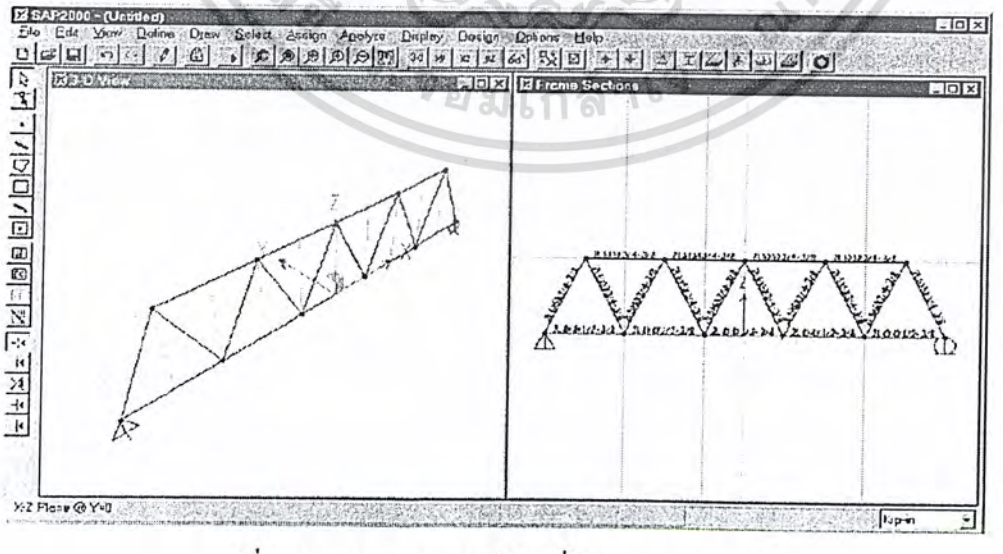
4.ใน dialog box

- คลิกบน 2L5x5x3/4-3/8ใน Name area.
- คลิกปุ่ม OK

หน้าต่างจะแสดงกระบวนคำนวณชิ้นส่วนที่เลือกไว้จนได้ค่าที่น่าพอใจและหน้าตัด label จะแสดงบนชิ้นส่วน

5. เลือกปุ่มคอร์ดชิ้นส่วนโดย "windowing"ตามที่ข้อ 1

6. กระทำตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 เพื่อออกแบบเหล็กชนิด 2L4x4x1/2-3/8 ที่ชิ้นส่วนนั้น หน้าจะแสดงหน้าตัดชิ้นส่วนที่ทำการ assignments



รูปที่ ผ-2.18 ภาพแสดงหน้าตัดที่ทำการ Assign แล้ว

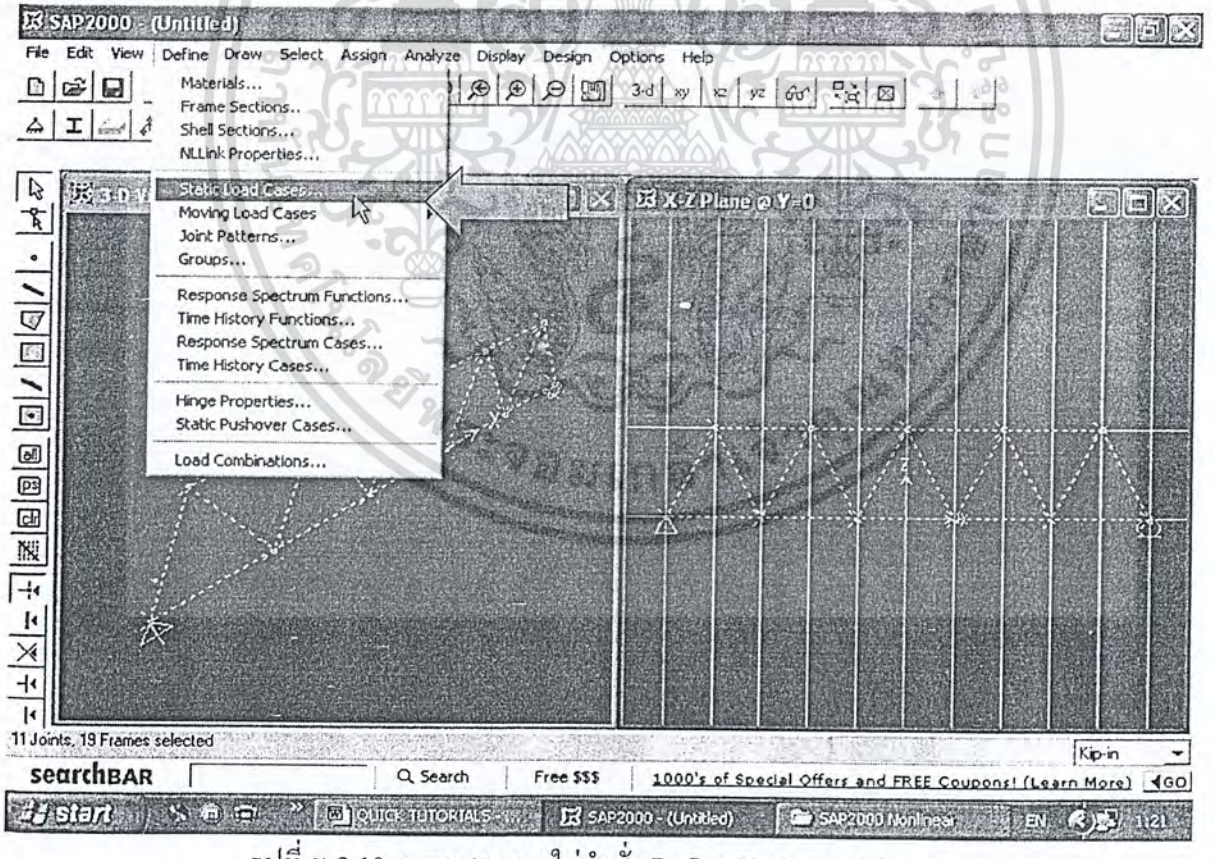
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: เราสามารถเปลี่ยนการแสดงผลได้ตามต้องการ รวมทั้งมุมมองจากทางด้านหน้า จาก Preferences ใน Options เมนู ซึ่งสามารถปิดการแสดงผลของหน้าตัด labels โดยเลือก Show Undeformed Shape จาก Display เมนู

2.6. Defining Load Cases

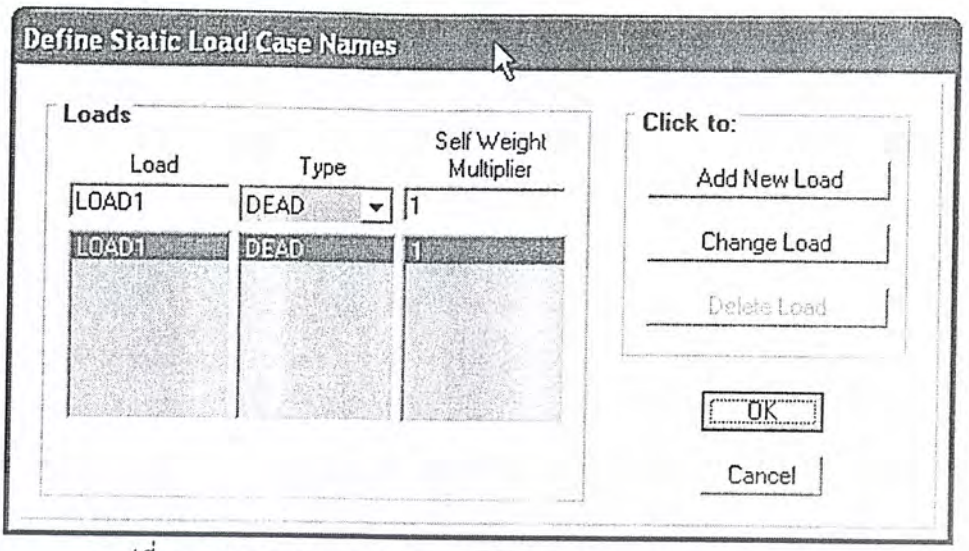
การกำหนดค่าของน้ำหนักบรรทุกจะแยกเป็น 2 กรณี ซึ่งได้รับการพิจารณาในการวิเคราะห์ กรณีแรกเป็นน้ำหนักบรรทุกกระทำคงที่รวมถึงน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง มีชื่อพื้นฐานตั้งโดยโปรแกรมว่า LOAD1 สำหรับโหลดกรณีที่ 2 นี้ จะเป็นกรณีสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำไม่คงที่ จะตั้งชื่อว่า LOAD2 ซึ่งกระทำได้ดังนี้

1. จากเมนู Define เลือก Static Load Cases จะแสดงการ Define ชื่อ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำคงที่ จะแสดงค่าน้ำหนักบรรทุกพื้นฐานเป็น LOAD1 ด้วยกำหนดให้เป็นชนิด DEAD และตัวคูณน้ำหนัก ตั้งค่าเป็น 1 ซึ่งเราจะไม่เปลี่ยนค่าใดสำหรับกรณีแรก



รูปที่ ผ-2.19 ภาพแสดงการใช่คำสั่ง Define Static Load Case

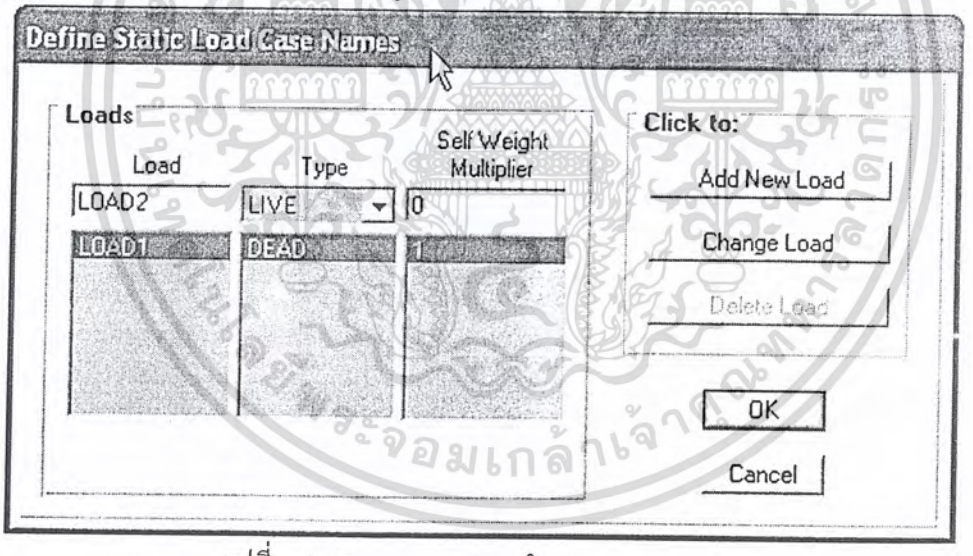
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-2.20 ภาพแสดง Define Static Load Case Name dialog box

2. เราจะ define ที่กรณีที่ 2 ต่อไปโดยในหน้าต่างข้อความ

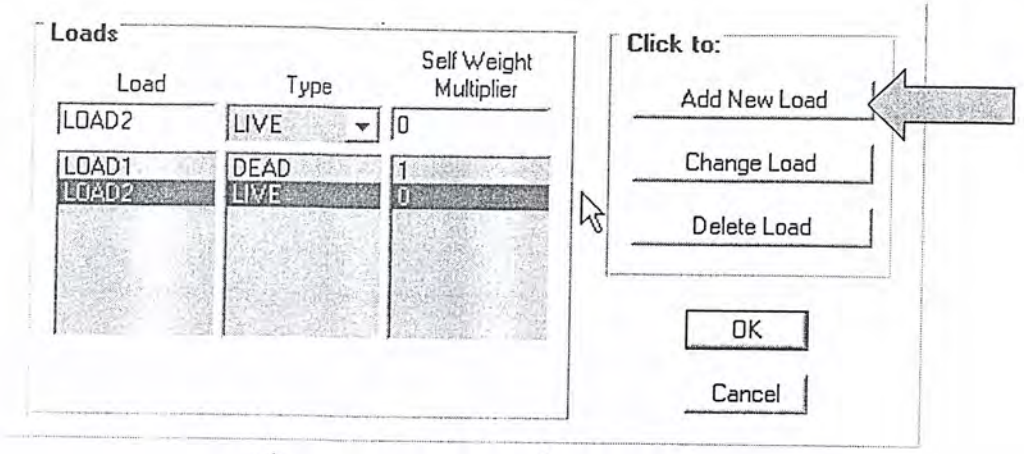
- เปลี่ยนชื่อจาก LOAD1 เป็น LOAD2
- เลือกชนิด LIVE จากกล่องรายชื่อ Type drop-down list box
- เปลี่ยนตัวคูณน้ำหนักชิ้นส่วนให้เป็นศูนย์



รูปที่ ผ-2.21 ภาพแสดงการกำหนด Load Case

- คลิกบนปุ่ม Add New Load ชื่อและชนิดน้ำหนักทั้งสองกรณีจะแสดงใน Loads list box.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



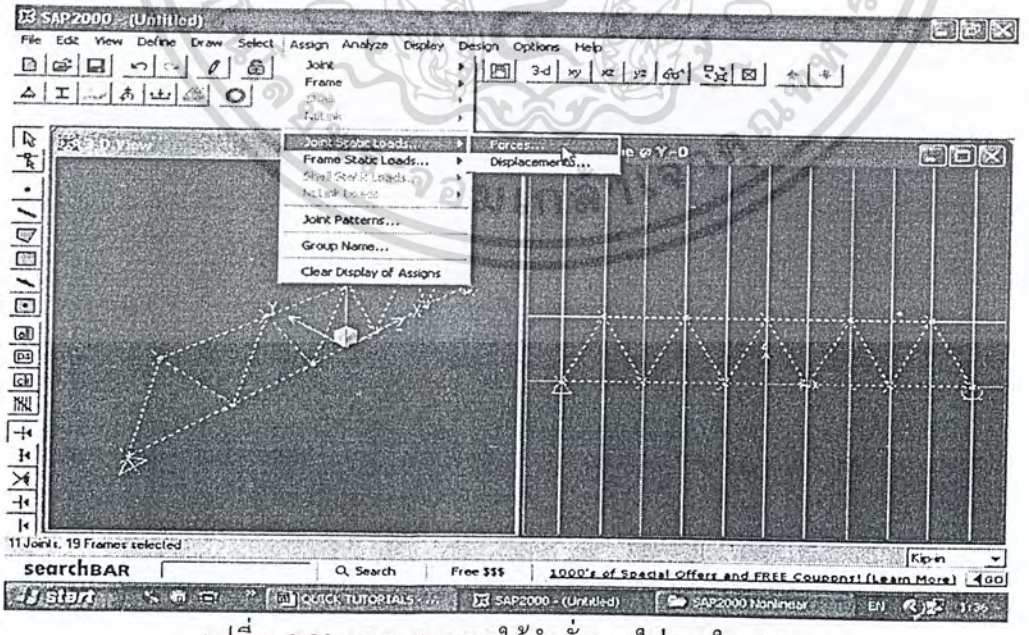
รูปที่ ผ-2.22 ภาพแสดงการเพิ่ม Load Case

- คลิกบนปุ่ม OK เป็นการจบขั้นตอนการใส่น้ำหนักทั้งสองกรณี

2.7. Assigning Joint Loads (การกำหนดน้ำหนักบรรทุกสำหรับข้อต่อ)

น้ำหนักจรและน้ำหนักกระทำคงที่ จะปรากฏที่ชิ้นส่วนข้อต่อด้านบนของโครงข้อหมุน ขนาดของน้ำหนักจรและน้ำหนักที่กระทำคงที่กับข้อต่อจะมีค่าเท่ากับ -10 kips และ -40 kips ซึ่งกระทำได้ดังนี้

1. เลือกข้อต่อบนคอร์ด "windowing" ที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ต้องการ
2. จากเมนู Assign เลือก Joint Static Loads, เลือก Forces จาก submenu ซึ่งจะทำการแสดงหน้าต่าง Joint Forces dialog box

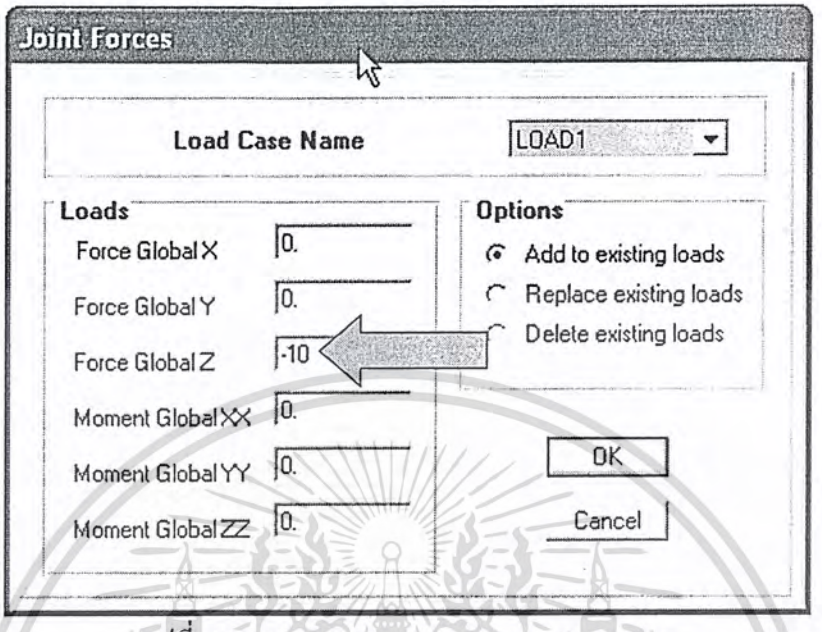


รูปที่ ผ-2.23 ภาพแสดงการใช้คำสั่งการใส่แรงใน Joint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ใน dialog box

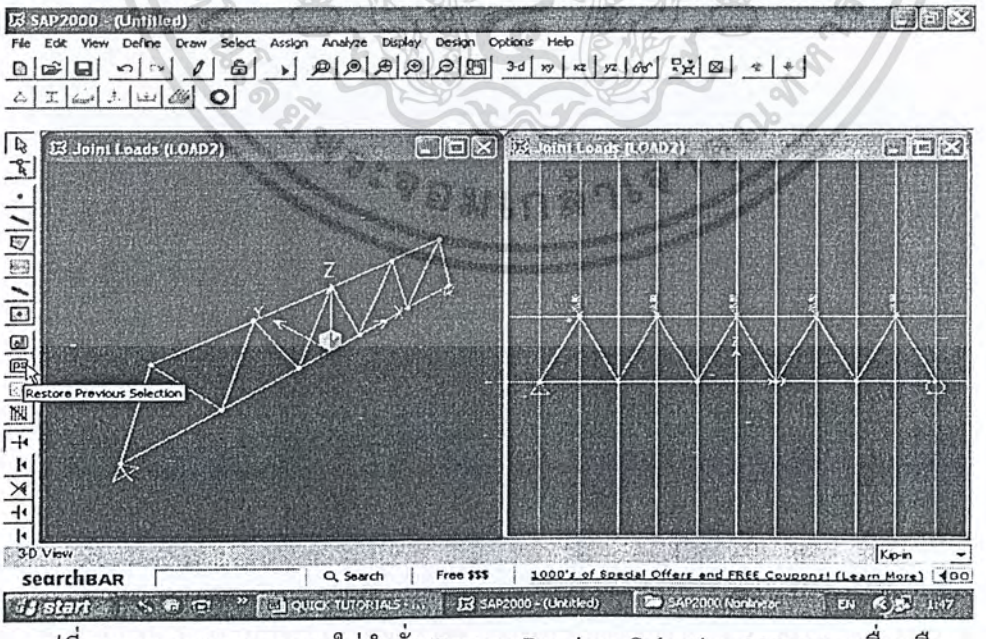
- เลือกกรณีน้ำหนักพื้นฐานที่ชื่อว่า LOAD1
- ใส่ค่า -10 ใน Force Global Z box ในพื้นที่แรงกระทำ Loads area



รูปที่ ผ-2.24 ภาพแสดง Joint Forces dialog box

- คลิกบนปุ่ม OK

4. เราจะดำเนินต่อไปเพื่อเข้าไปในส่วนของน้ำหนักจรโดยคลิกปุ่ม Restore Previous Selection บนแถบเครื่องมือด้านข้างซึ่งจะทำการล้างส่วนต่างๆที่ทำการเลือก (ที่มีลักษณะเป็นเส้นประ) เพื่อที่จะเลือกคอร์ดข้อต่อข้างใต้อีกครั้ง



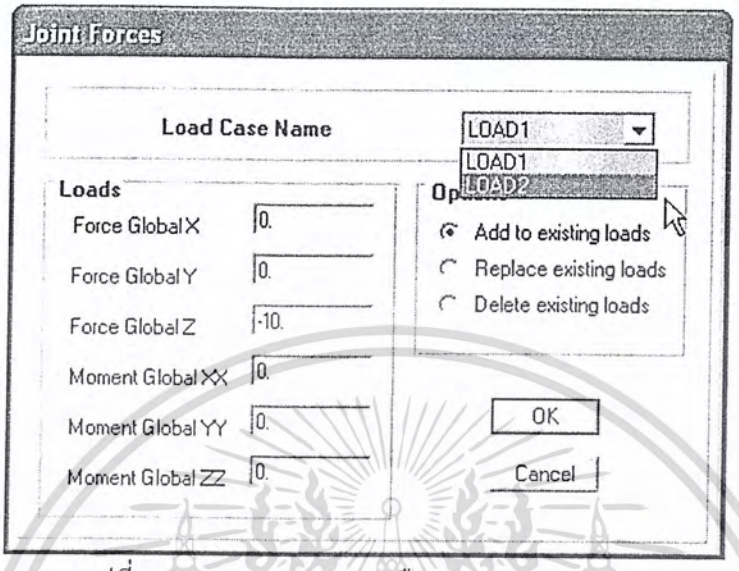
รูปที่ ผ-2.25 ภาพแสดงการใช่คำสั่ง Restore Previous Selection จากแถบเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากเมนู Assign เลือก Joint Static Loadsเลือก Forces จากเมนูย่อย จะแสดงหน้าต่าง Joint Forces อีกครั้ง

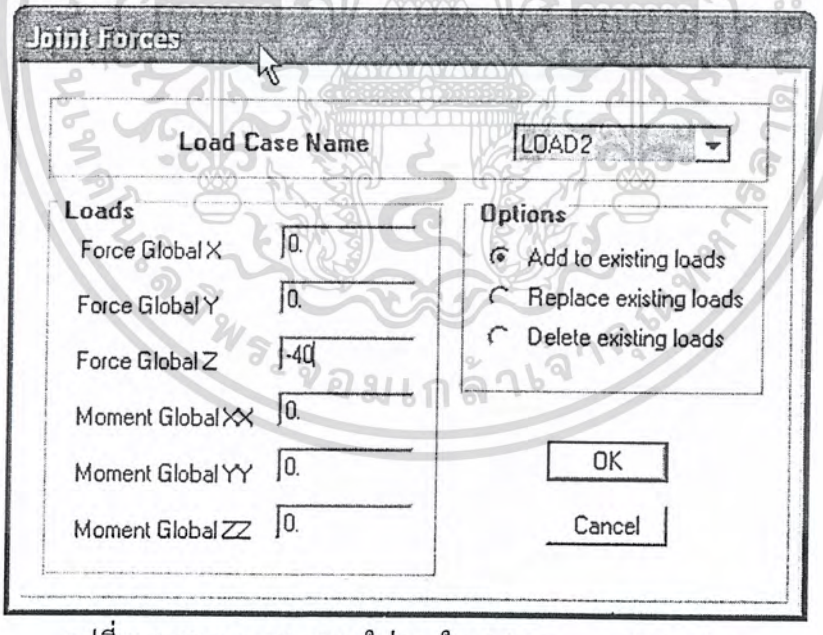
6. ในหน้าต่าง Joint Forces นี้:

- เปลี่ยนชื่อน้ำหนักกรณีนี้เป็น LOAD2



รูปที่ ผ-2.26 ภาพแสดง การเลือก Load Case Name

- ใส่ค่าน้ำหนัก –40 ในกล่อง Force Global Z box

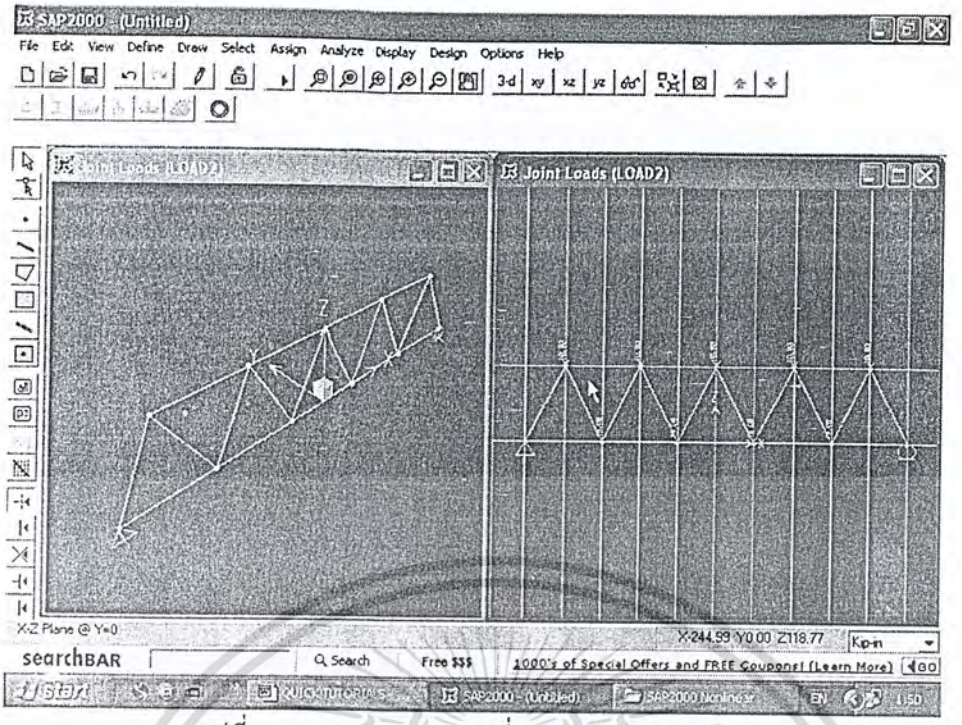


รูปที่ ผ-2.27 ภาพแสดงการใส่แรงใน Joint Forces dialog box

- คลิกปุ่ม OK

น้ำหนักกระทำทั้งหมด จะปรากฏที่แบบตัวอย่างที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

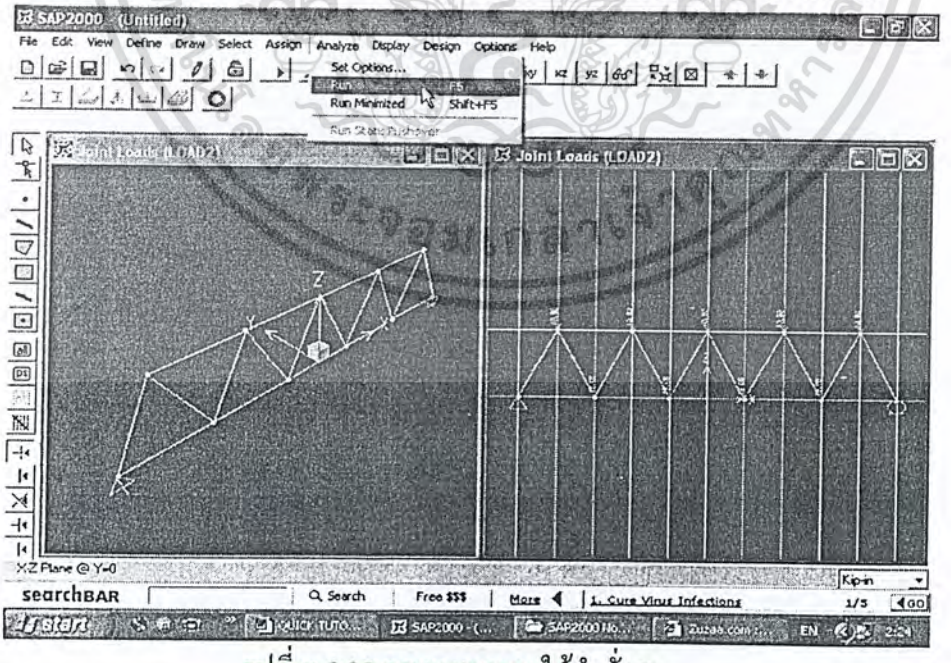


รูปที่ ผ-2.28 ภาพแสดงแรงที่กระทำในโครงสร้าง

2.8. Analyzing the Model

การวิเคราะห์แบบตัวอย่างแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

1. จากเมนู Analyze เลือกRun จะแสดงแฟ้มแบบตัวอย่างการบันทึกเป็นหน้าต่างข้อความ

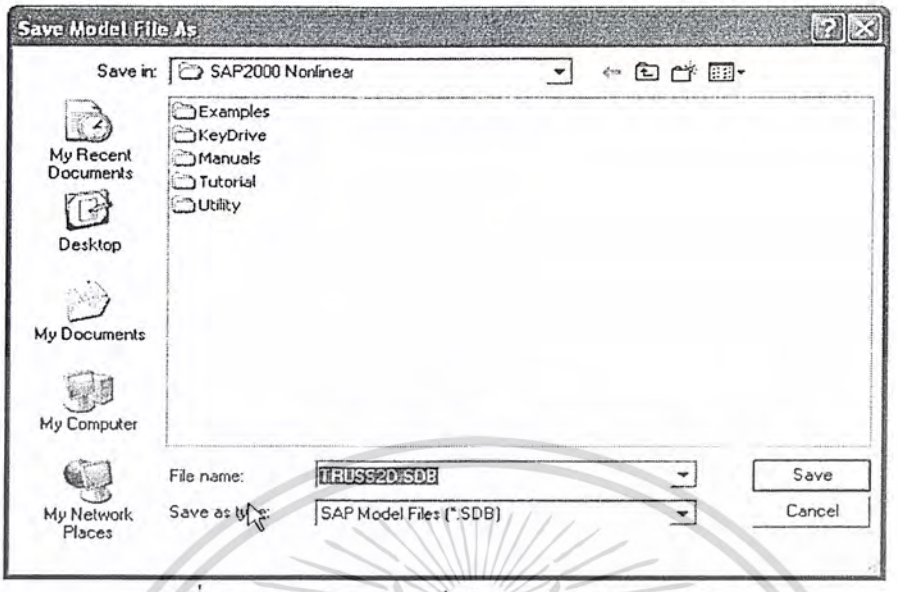


รูปที่ ผ-2.29 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Run

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในหน้าต่างข้อความนี้

- บันทึกแบบตัวอย่างใต้ชื่อแฟ้ม ในกรณีนี้เราจะให้ชื่อว่า TRUSS2D.SDB

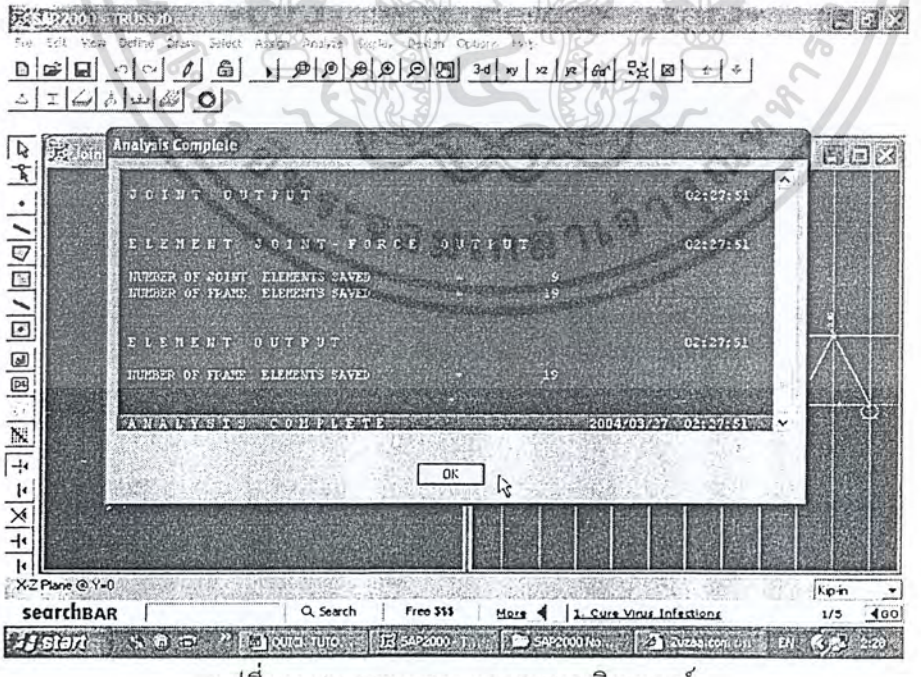


รูปที่ ผ-2.30 ภาพแสดงหน้าต่าง Save Model File As

หมายเหตุ: ถึงแม้ว่าไม่ใส่นามสกุล extension.SDB โปรแกรมจะเพิ่มเติมส่วนนี้ต่อออกไปโดยอัตโนมัติที่ชื่อแฟ้ม

- คลิกบนปุ่ม Save

หน้าต่างบนสุดถูกเปิดการรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต่างๆในกระบวนการ เมื่อการวิเคราะห์เสร็จสิ้นหน้าต่างจะปรากฏ



รูปที่ ผ-2.31 ภาพแสดงผลของการวิเคราะห์

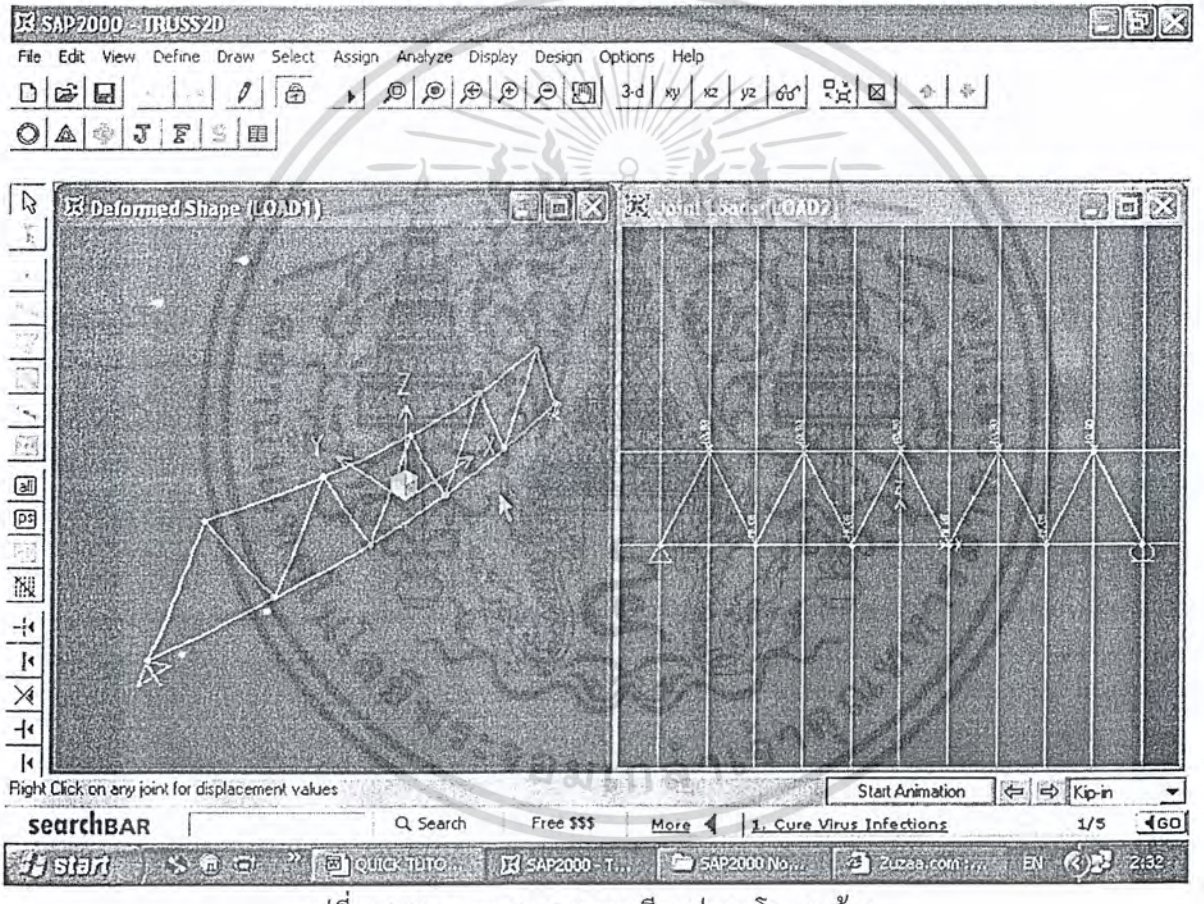
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ใช้ตัวเลื่อนแถบด้านขวาหน้าต่างไปบนสุดเพื่อตรวจดูผลการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อผิดพลาด error ใดๆหรือคำเตือน warning messages (ซึ่งไม่ควรจะปรากฏ)

4. คลิกบนปุ่ม OK ในหน้าต่างบนสุดเพื่อปิดหน้าต่าง

2.9. การแสดงลักษณะที่ผิดรูปร่าง

หลังจากการวิเคราะห์ที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ SAP2000 จะแสดงลักษณะรูปร่างที่ผิดรูปของโครงสร้างโดยอัตโนมัติสำหรับค่าน้ำหนักพื้นฐานที่กระทำกรณี LOAD1 ดังในรูปที่ ผ-2.32 จะแสดงในหน้าต่างที่แสดงมุมมองแบบ 3D ในหน้าต่างด้านซ้ายของ case นี้



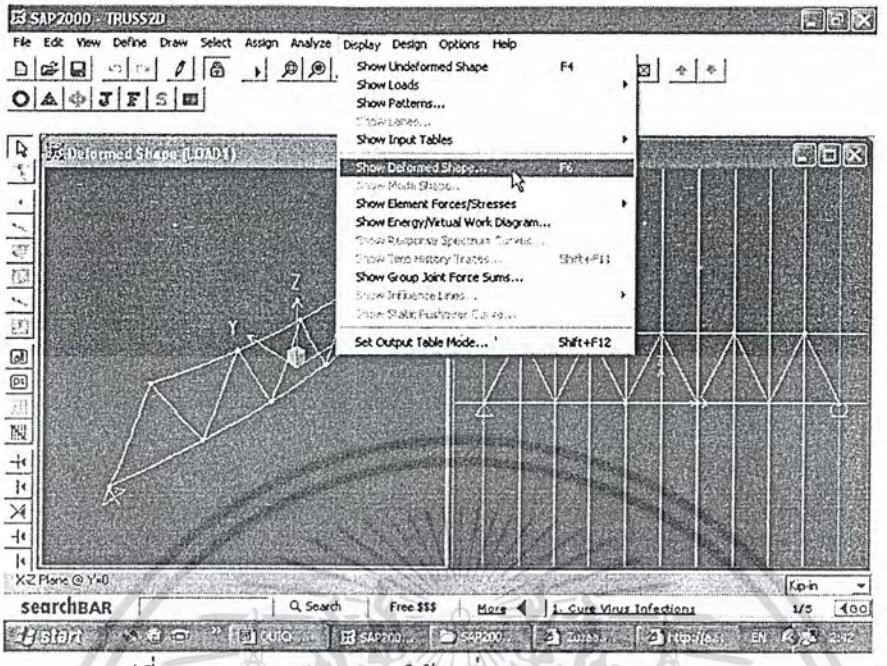
รูปที่ ผ-2.32 ภาพแสดงผลการเสียรูปของโครงสร้าง

จากรูปที่ ผ-2.32 จะเห็นแสดงการผิดรูปร่างที่เกิดจากน้ำหนักกระทำในกรณี LOAD2 กระทำในหน้าต่างทางด้านขวา

1. คลิก ที่ใดๆในหน้าต่างทางด้านขวาเพื่อกระตุ่นหน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

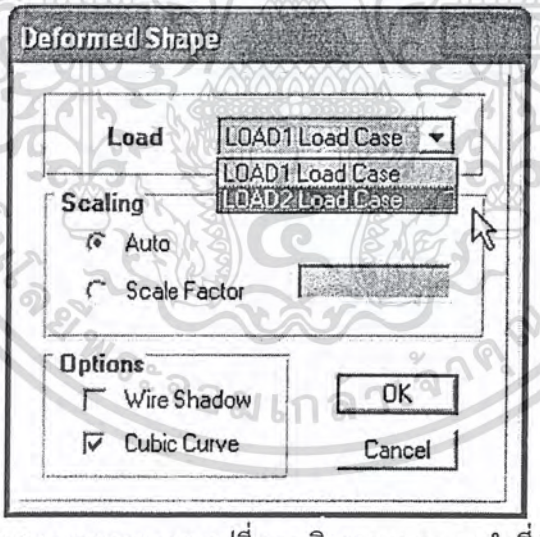
2. คลิกปุ่ม Display Static Deformed Shape บนแถบเครื่องมือหลัก ซึ่งจะแสดงการเสียรูปร่าง Deformed Shape dialog box.



รูปที่ ผ-2.33 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Deformed Shape

3.ใน dialog box:

- เลือกกรณี LOAD2 จาก drop down list



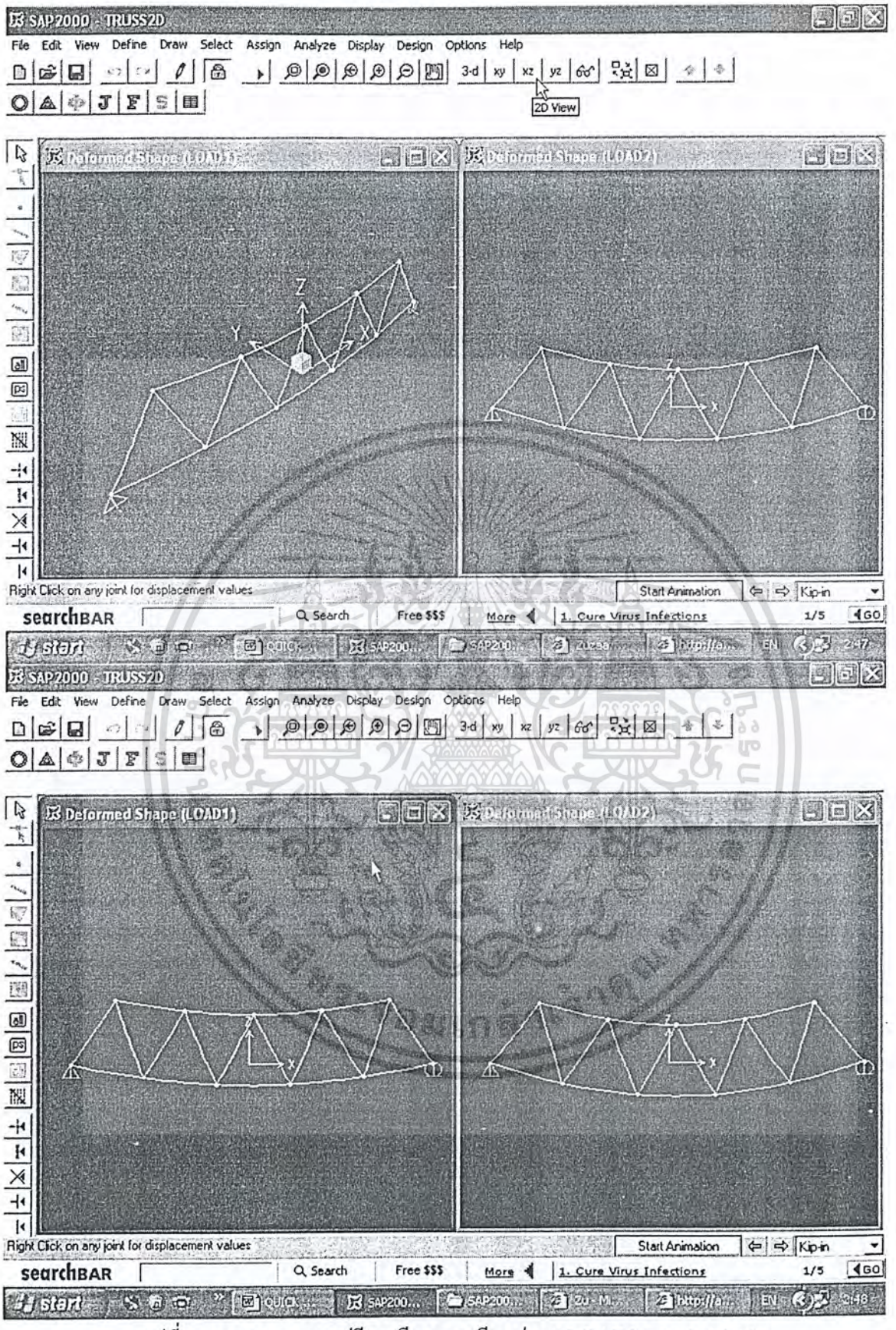
รูปที่ ผ-2.34 ภาพแสดงการเปลี่ยนชนิดของแรงกระทำที่กำหนด

- คลิกบนปุ่ม OK

เพื่อเปรียบเทียบรูปร่างที่เกิดการผิดรูปสำหรับทั้งสองกรณี เราจะแสดงรูปร่างที่ผิดรูปสำหรับกรณี LOAD1 ใน 2-D (x-z) กระทำได้โดย

1) คลิกที่ใดๆในหน้าต่างซ้ายเพื่อหน้าต่างนี้
2) คลิกบนปุ่ม XZ บนแถบเครื่องมือหลักเพื่อที่จะดูแบบตัวอย่างแสดงดังรูปต่อไปนี้

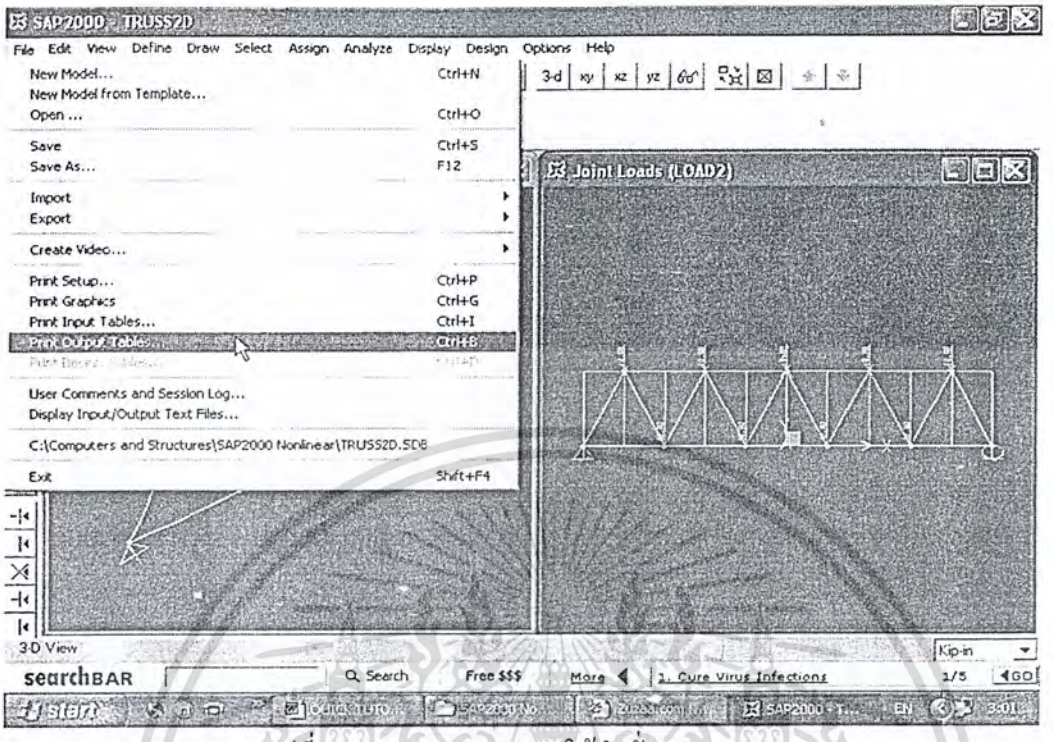
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-2.35 แสดงการเปรียบเทียบการเสียรูปจาก LOAD1 และ LOAD2

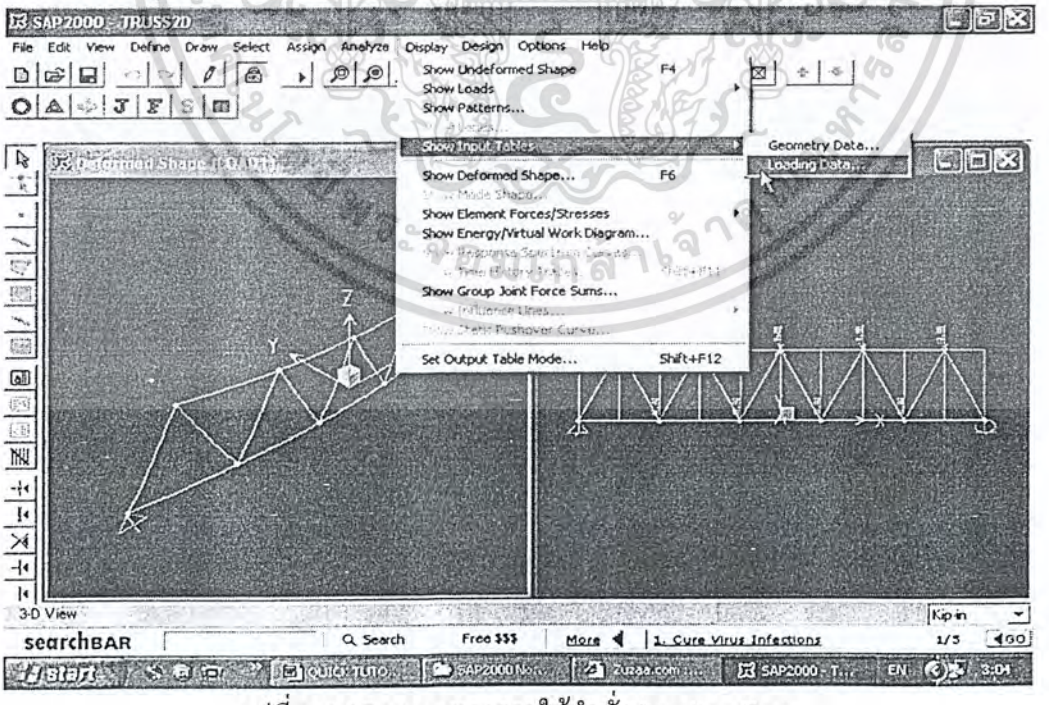
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: ผลลัพธ์สามารถ Print หรือ Save ใส่ลงในรูปแบบตารางผลลัพธ์โดยคำสั่ง Print Output Tables. จากไฟล์เมนู



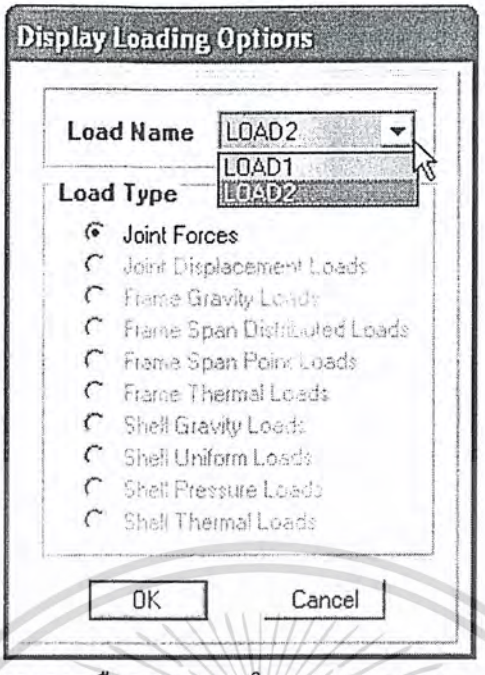
รูปที่ ผ-2.36 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Print ภาพ

โปรแกรม SAP 2000 สามารถแสดงผลในรูปแบบของตารางโดยเลือก Set Output Table Modeจากเมนู Display

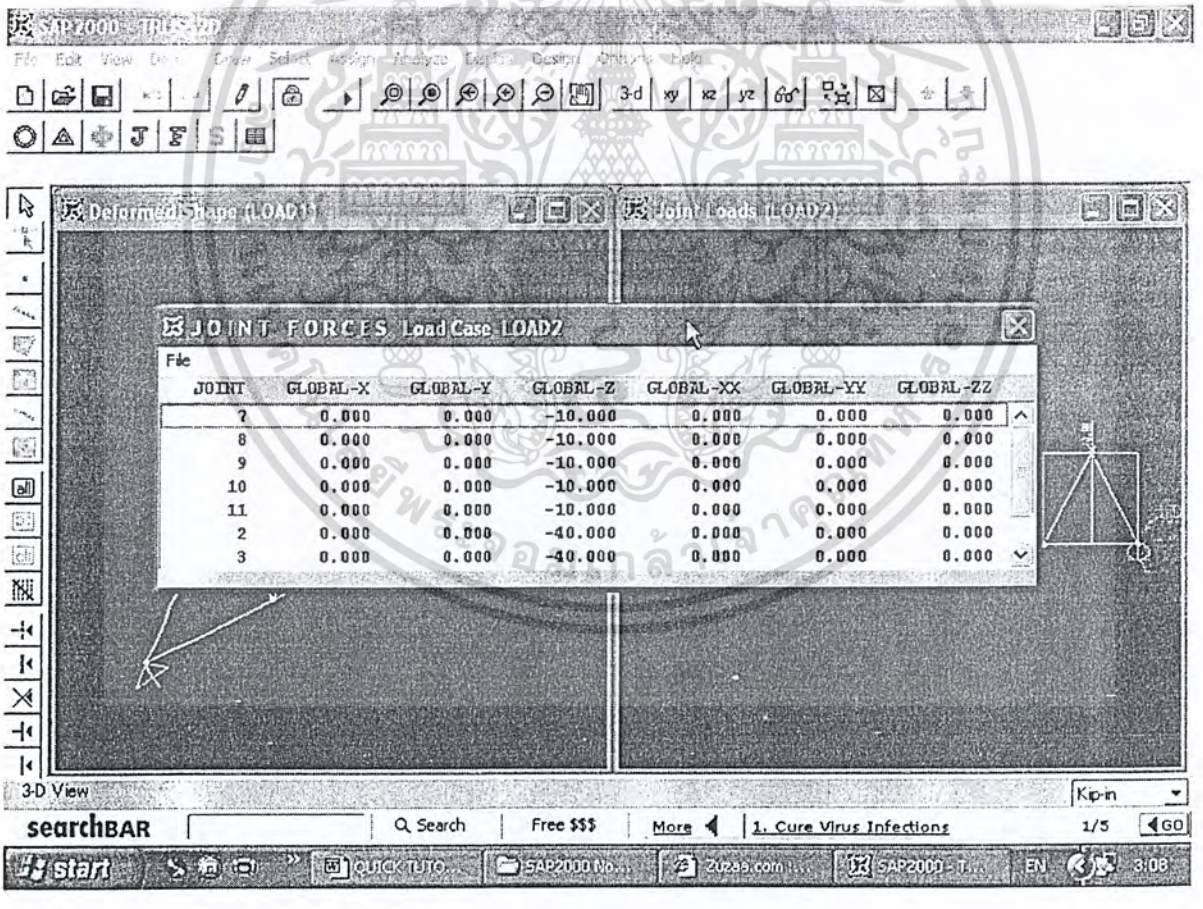


รูปที่ ผ-2.37 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Loading Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



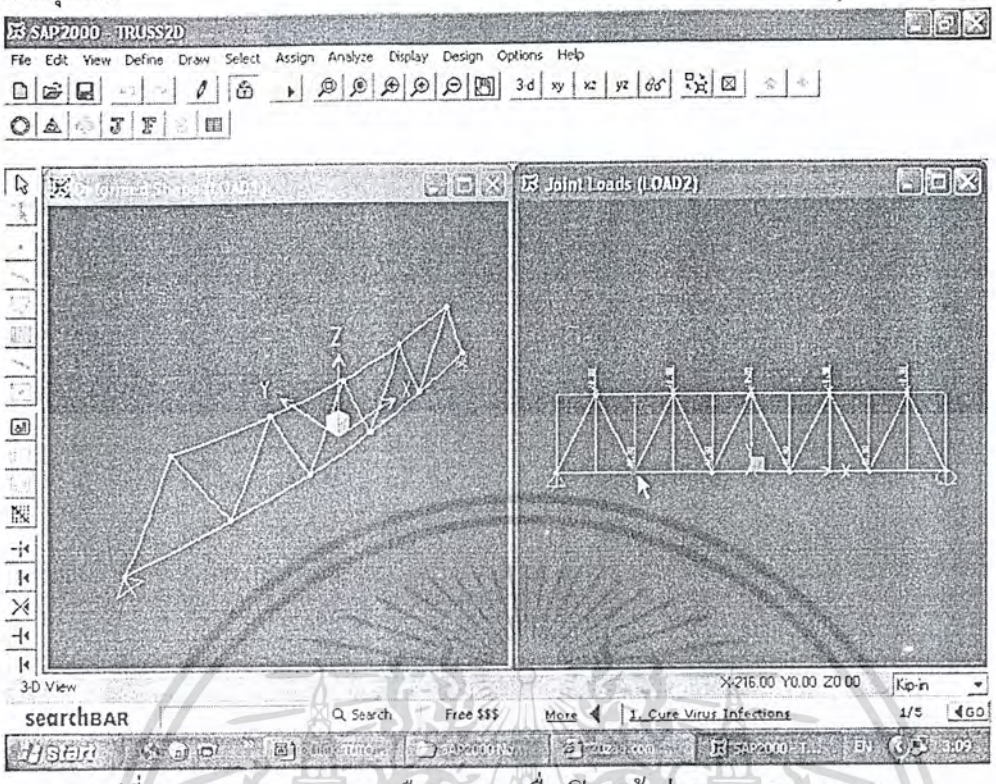
รูปที่ ผ-2.38 ภาพแสดงการเลือก LOAD2 ใน Display Loading Option dialog box



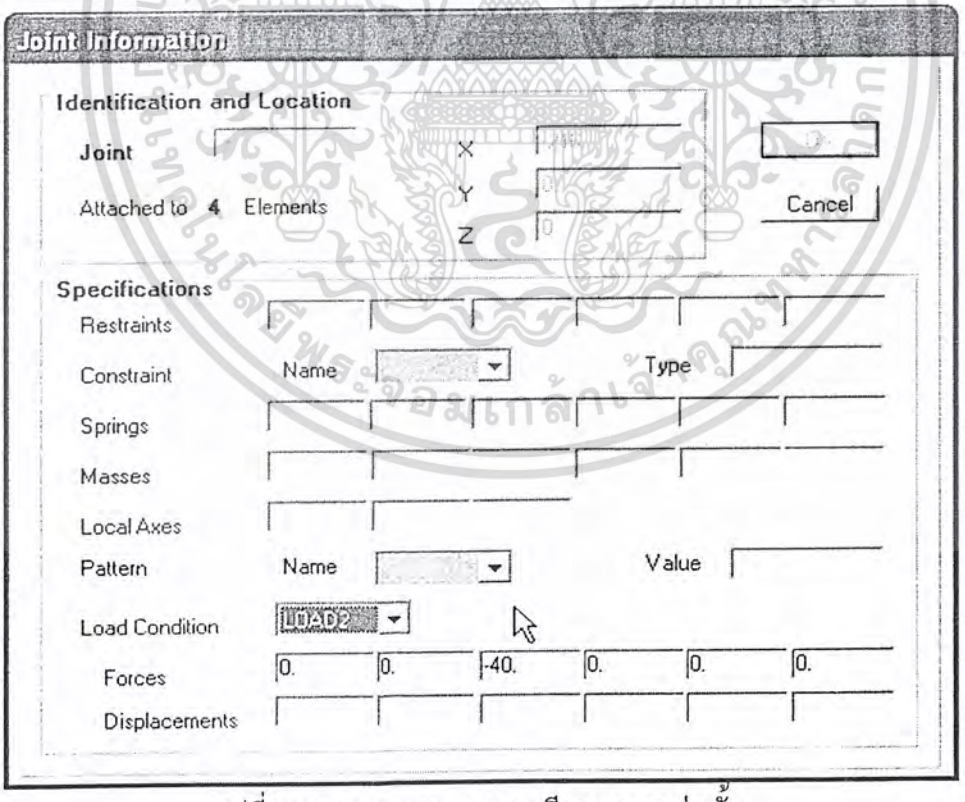
รูปที่ ผ-2.39 ภาพแสดงค่าแรงต่างๆในแต่ละแนวแกนเป็นรูปแบบตารางตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิกขวาบนจุดต่อ



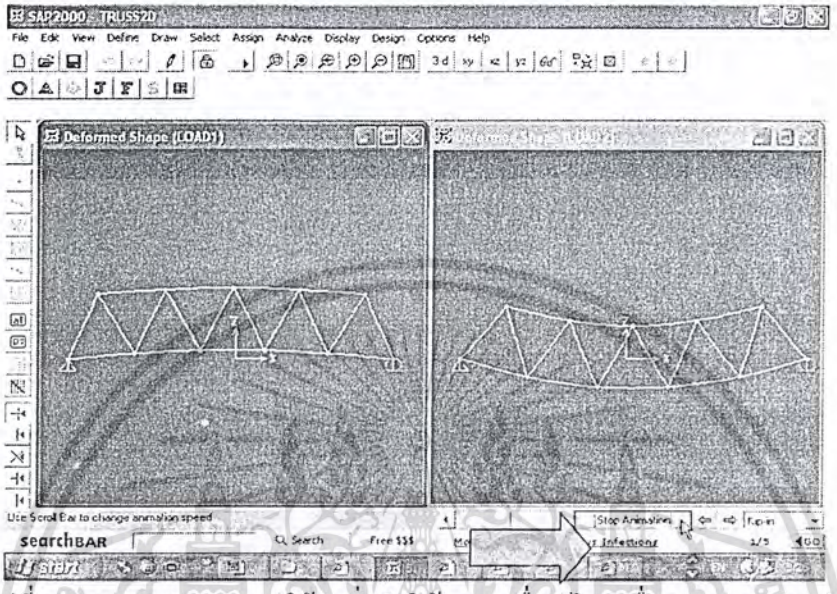
รูปที่ ผ-2.40 ภาพแสดงการเลือก Joint เพื่อเปิดหน้าต่าง Joint Information



รูปที่ ผ-2.41ภาพแสดงรายละเอียดของจุดต่อนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

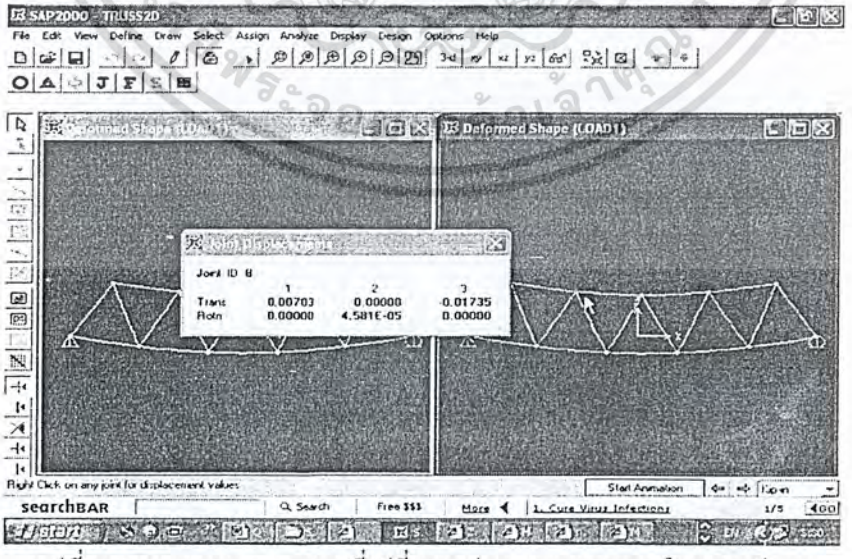
เมื่อสังเกตจะเห็นว่าการเสียรูปร่างของทั้งสองรูปนั้นมีความคล้ายคลึงกัน แต่น้ำหนักที่กระทำได้พิจารณาต่างกัน เพราะว่า SAP2000 จะทำมาตราส่วนการแอ่นตัวโดยอัตโนมัติตามจุดมุ่งหมาย สามารถเปลี่ยนมาตราส่วน Factor ใน ไดอะลอกซ์บอกซ์ที่ใช้ได้ และสามารถที่ดูการเสียรูปที่มีการเคลื่อนไหวได้โดยเลือกปุ่มเมนู Start Animation ความเร็วภาพเคลื่อนไหวถูกควบคุมโดยแถบตัวเลื่อนในแนวนอนราบที่ปรากฏที่ปุ่มถัดไป เราสามารถหยุดการเคลื่อนไหวโดยการใช้ปุ่ม Stop Animation



รูปที่ ผ-2.42 ภาพแสดงการใช้คำสั่งทำให้ภาพเคลื่อนไหวเนื่องจากแรงกระทำ

จากรูปที่ ผ-2.42 ลูกศรทางด้านซ้ายและขวาที่ด้านมุมล่างขวาของหน้าจอใช้สำหรับเปลี่ยนกรณีของน้ำหนักกระทำที่แสดงในหน้าต่าง เราสามารถเลือกจุดต่อและตรวจสอบค่าการเคลื่อนที่

4. คลิกขวาที่จุดต่อ ซึ่งจะเปิดหน้าต่างลอยแสดงการเคลื่อนย้ายและการหมุนตัวของข้อต่อสำหรับข้อต่อที่ทำการเลือก ข้อต่อที่เลือกจะกะพริบบนจอภาพ ดังรูปที่ ผ-2.43



รูปที่ ผ-2.43 ภาพแสดงระยะที่เปลี่ยนแปลงและการหมุนในแกนต่างๆ

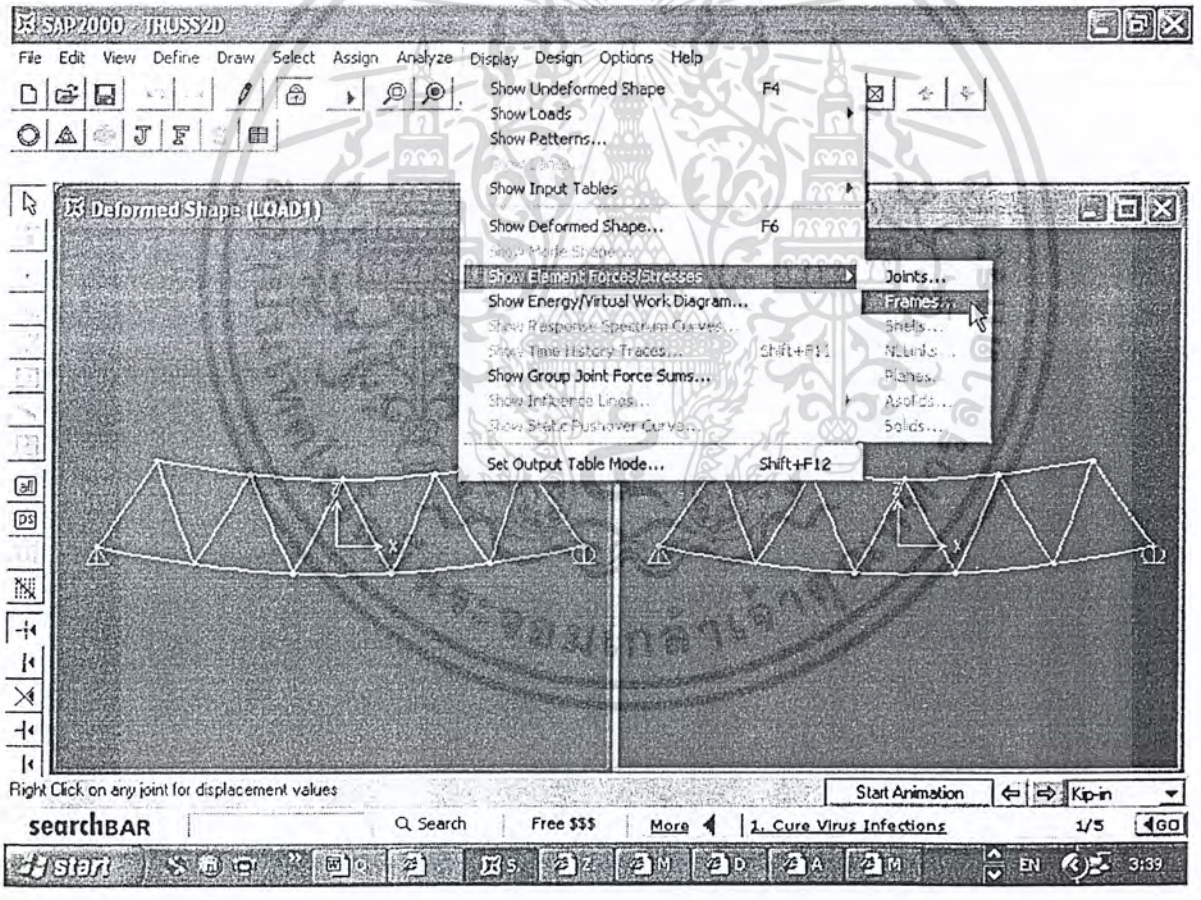
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10. Displaying Member Forces

ในตัวอย่าง เราจะกำหนดจุดแผนภาพแกนกำลังสำหรับกรณี LOAD1 บนด้านซ้ายของหน้าต่าง

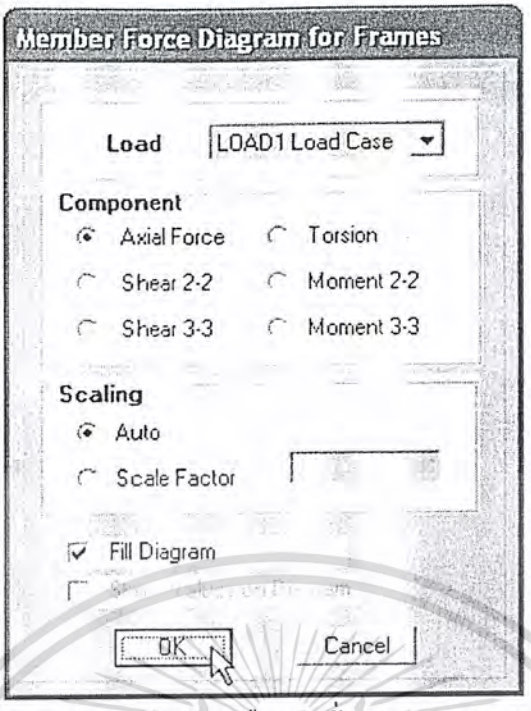
1. ในเมนู Display เลือก Show Element Forces/Stresses แล้วเลือก Frame ในเมนูย่อย หรือ คลิกปุ่ม Member Force Diagram for Frames บนแถบเครื่องมือหลัก จะเป็นการแสดง Member Force Diagram for Frames dialog box ดังแสดงในรูปที่ ผ-2.44
2. ในหน้า Member Force Diagram for Frames dialog box
   - เลือกแกนแรงในพื้นที่ส่วนประกอบ
   - คลิกปุ่ม OK

แผนภาพแกนแรงทั้งหมดในโครงข้อหมุนจะถูกแสดงออกมา



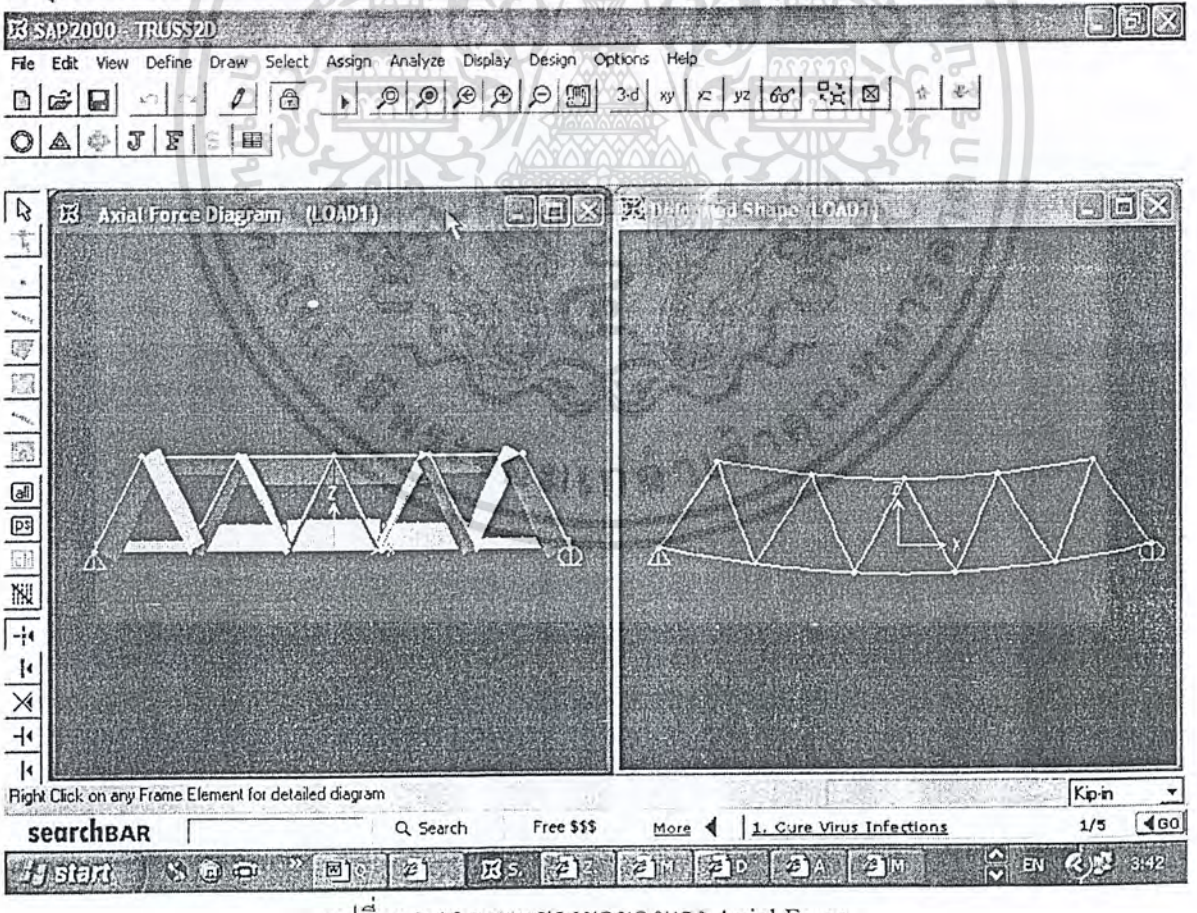
รูปที่ ผ-2.44 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Element Forces/Stresses แล้วเลือก Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-2.45 ภาพแสดงการเลือกคำสั่งแสดงผล Axial Force

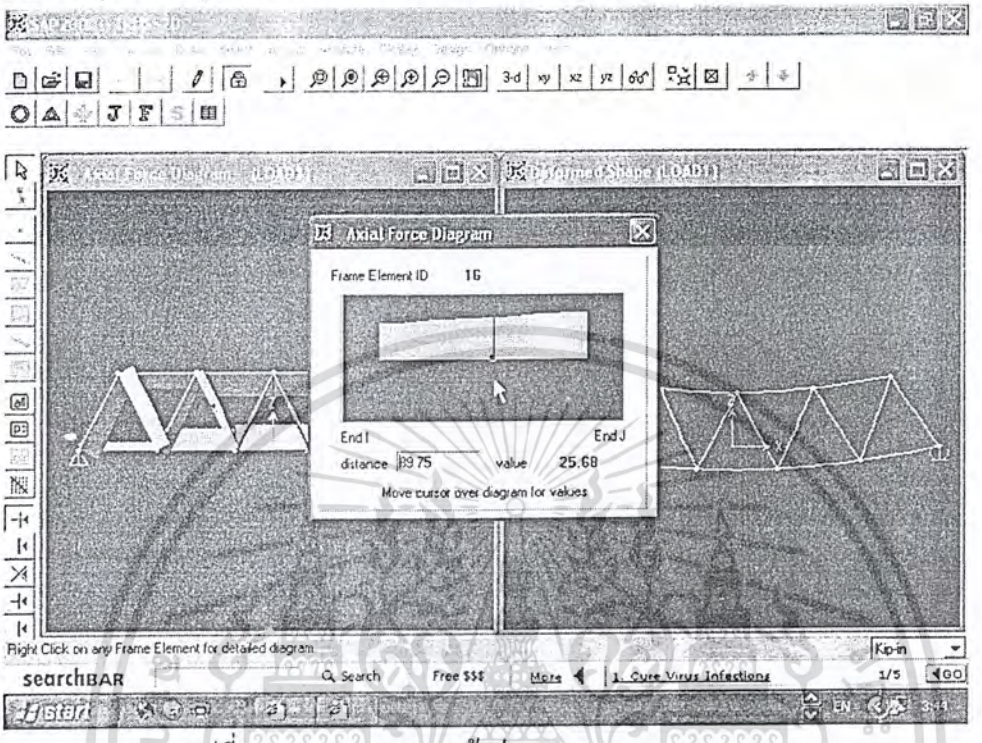
กดปุ่ม OK เพื่อแสดงผล



รูปที่ ผ-2.46 ภาพแสดงผลของแรง Axial Force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.คลิกขวาบนชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบบนหน้าต่างซ้าย จะมีหน้าต่างลอยซึ่งจะแสดงแผนภาพแนวแกนกำลังที่แสดงการสั่นไหวของแกนกำลังเหนือความยาวชิ้นสวน ทำการเคลื่อนย้ายตัวชี้จุดไปที่หน้าต่างลอยนี้แล้วเลื่อนไปทางซ้ายและขวาที่ตรงแถบเส้นสีแดงจะเห็นจำนวนค่าของแกนแรงและระยะที่ตรงกันกับตัวชี้จุด ดังในรูปที่ ผ-2.47



รูปที่ ผ-2.47 ภาพแสดงหน้าต่าง Axial Force Diagram

คลิกด้านนอกของหน้าต่างนี้เพื่อปิดหน้าต่าง

หมายเหตุ: ชิ้นส่วนแรงหรือส่วนประกอบ stress สามารถที่จะเลือกสำหรับแสดงในลักษณะที่คล้ายๆกัน

ข้อแนะนำ : ผลที่ได้สามารถ Print หรือ Save ในตารางสำหรับการเลือก Print ใน Output Tables... from ในเมนูไฟล์ ผลที่ได้รับสามารถแสดงในตารางจากการเลือก Set Output Table Mode จากเมนู Display และคลิกขวาบนชิ้นส่วน

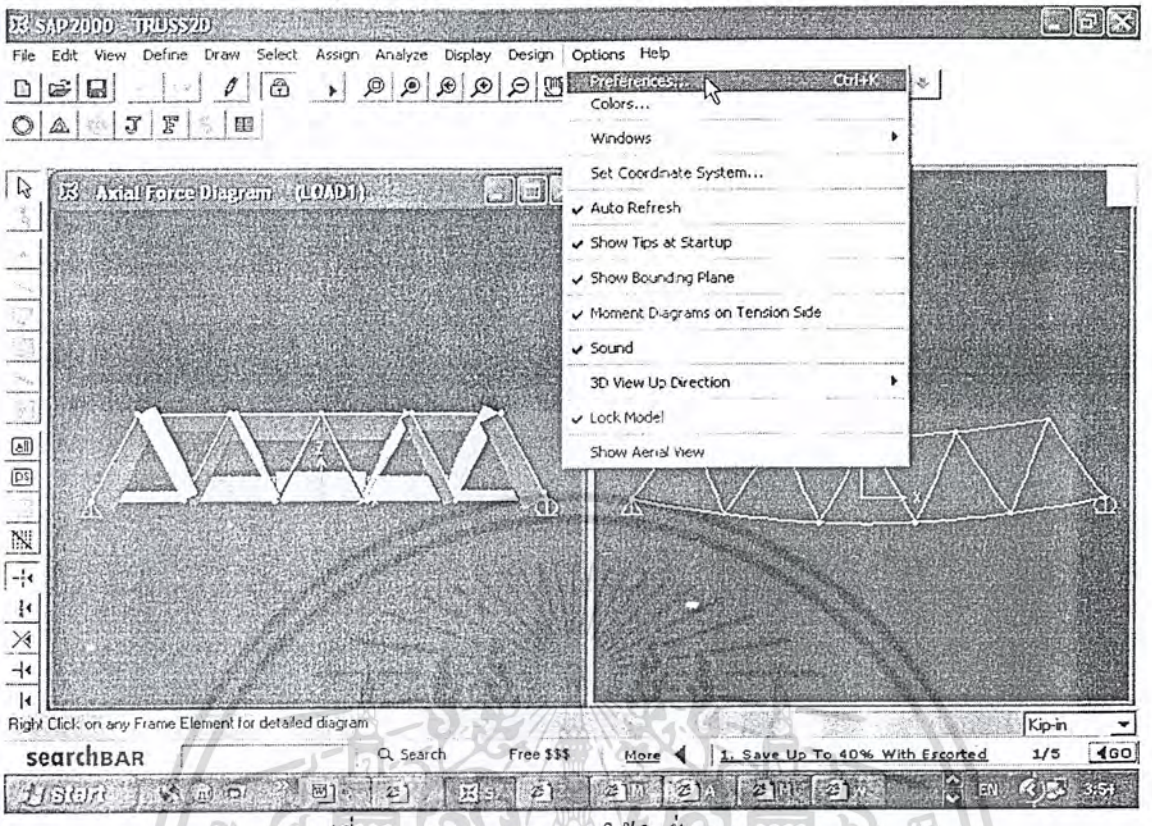
2.11. Design Stress Check

การเช็ค Stress ในการออกแบบ

ในการออกแบบนี้จะใช้ข้อกำหนดตามมาตรฐานของ AISC - ASD89 ซึ่งสามารถเลือกข้อกำหนดได้ตามขั้นตอนดังนี้

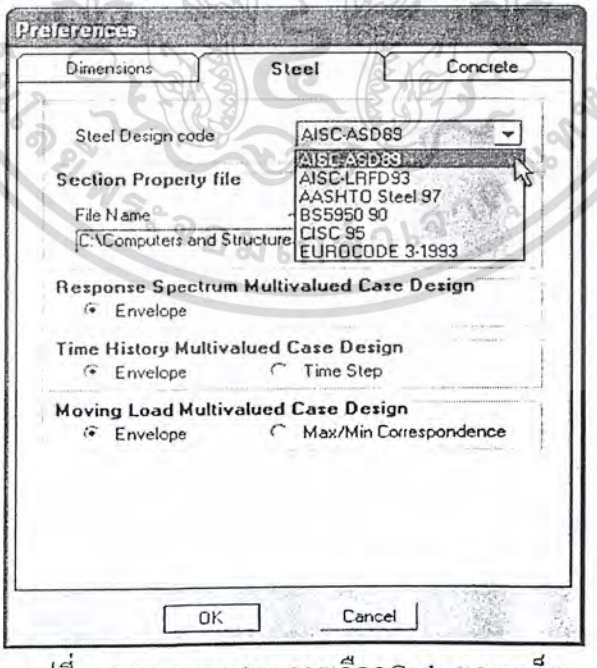
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คลิกบน Preferences จากเมนู Options สิ่งนี้จะสร้างหน้าต่าง Preferences ไดอะลอกซ์บอกซ์



รูปที่ ผ-2.48 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Preferences

2. ในหน้าต่างข้อความ คลิกบนแท็ป Steel สามารถดูข้อกำหนดการออกแบบเหล็กที่เลือก จากแฟ้มคุณสมบัติพื้นฐาน และออพชั่นอื่นๆจำนวนหนึ่งตามที่แสดงในรูปที่ ผ-2.49



รูปที่ ผ-2.49 ภาพแสดง การเลือกCode ของเหล็ก

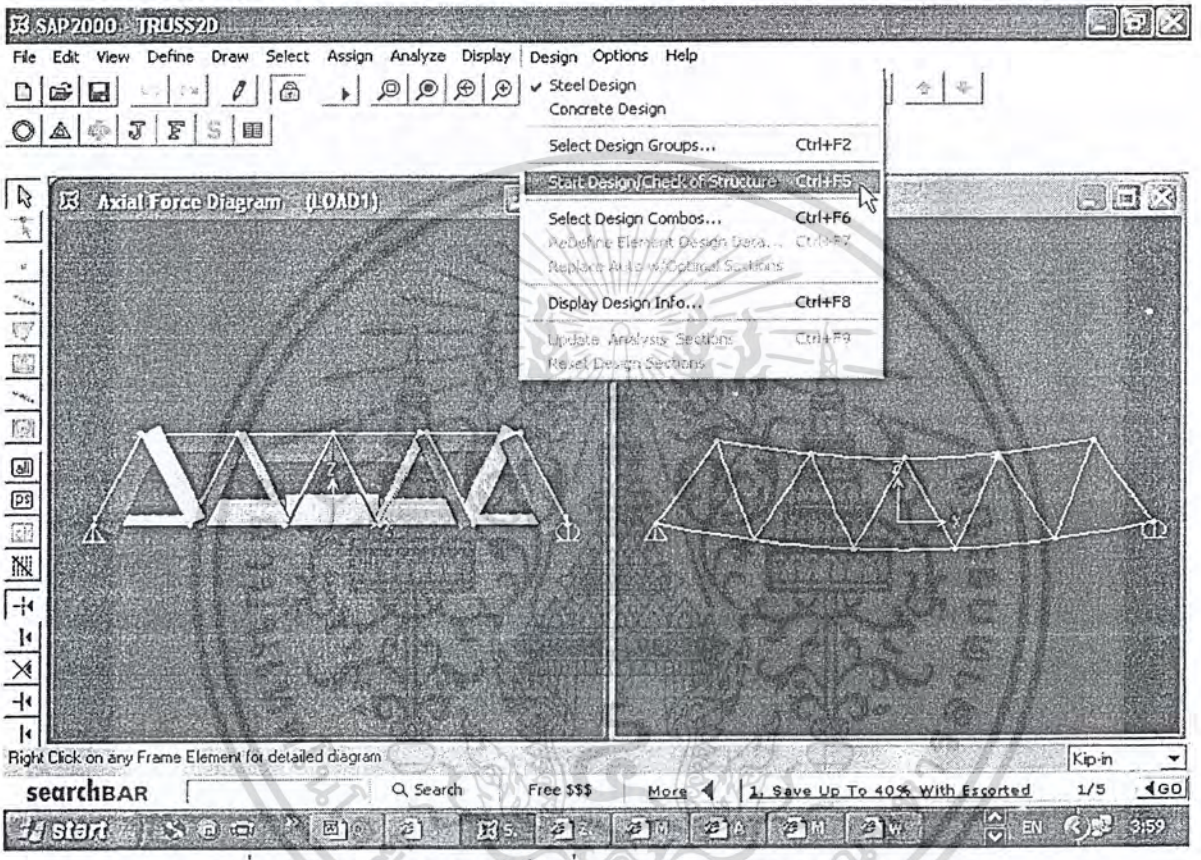
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงค่าใดๆ

4. คลิกบนปุ่ม Cancel เพื่อที่จะปิดหน้าต่างข้อความ

5. เพื่อทำให้แน่ใจว่า SAP2000 ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนเหล็ก โดยทำการเลือกรายการเมนู Steel Design จากเมนู Design เราจะตรวจดูอัตราส่วน stress ในชิ้นส่วนโดยการใช้ข้อบังคับของ AISC /ASD89โดย

- จากเมนู Design เลือก Start Design/Check of Structure ค่าอัตราส่วน stress ratios ของชิ้นส่วนในแต่ละส่วนจะถูกแสดงขึ้นมาในแต่ละแถบสี

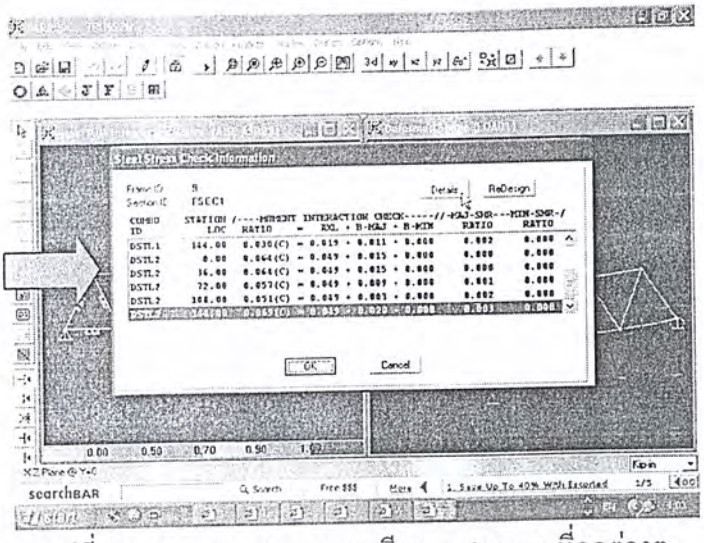


รูปที่ ผ-2.50 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Steel Design/Check of Structure

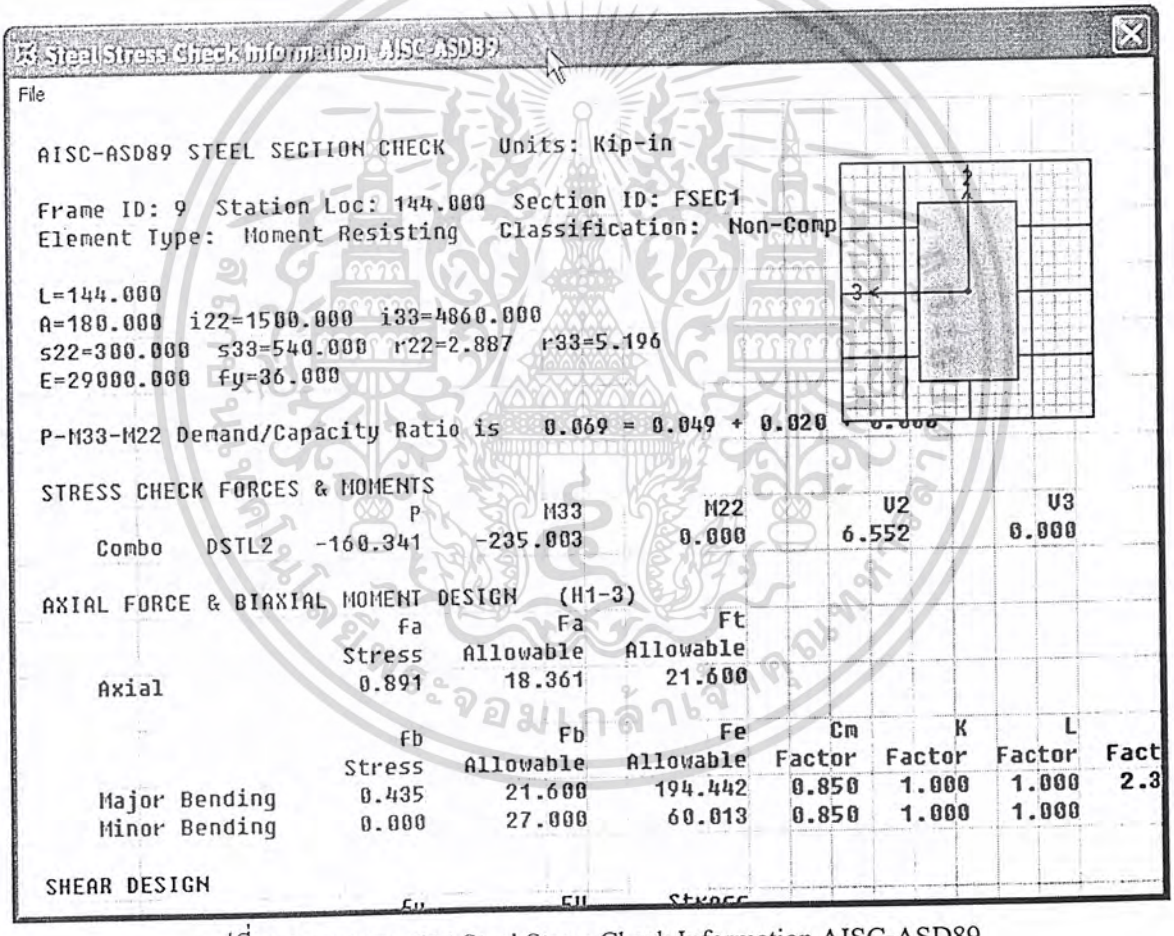
หมายเหตุ: อัตราส่วน stress ratios โดยค่าพื้นฐาน อ้างถึงการรวมเข้าด้วยกันของการออกแบบพื้นฐานใน DSTL1ที่แสดงน้ำหนักที่กระทำคงที่เพียงอย่างเดียวและใน DSTL2 จะแสดงโดยปราศจากค่า Factor ของน้ำหนักที่กระทำคงที่และน้ำหนักจรซึ่งจะเพิ่มเติมเข้ามาในภายหลัง

- คลิกขวาบนชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบ ซึ่งจะเปิดหน้าต่างลอยที่แสดงรายระเอียดผลที่ทำการตรวจสอบ Stress เหล็กที่จุดต่างๆตลอดจนความยาวของชิ้นส่วน จะสามารถเห็นรายละเอียดของค่า steel stress ที่จุดต่างๆและค่า specific load combination โดยการคลิกบนปุ่ม Details

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-2.51 ภาพแสดงรายละเอียดsteel stress ที่จุดต่างๆ



Steel Stress Check Information AISC-ASD89

File

AISC-ASD89 STEEL SECTION CHECK Units: Kip-in

Frame ID: 9 Station Loc: 144.000 Section ID: FSEC1
Element Type: Moment Resisting Classification: Non-Comp

L=144.000
A=180.000 i22=1500.000 i33=4860.000
s22=300.000 s33=540.000 r22=2.887 r33=5.196
E=29000.000 Fy=36.000

P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.069 = 0.049 + 0.020 + 0.000

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

	P	M33	M22	V2	V3
Combo DSTL2	-160.341	-235.003	0.000	6.552	0.000

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-3)

	fa Stress	Fa Allowable	Ft Allowable
Axial	0.891	18.361	21.600

	Fb Stress	Fb Allowable	Fe Allowable	Cm Factor	K Factor	L Factor	Fact
Major Bending	0.435	21.600	194.442	0.850	1.000	1.000	2.3
Minor Bending	0.000	27.000	60.013	0.850	1.000	1.000	

SHEAR DESIGN

รูปที่ ผ-2.52 ภาพแสดง Steel Stress Check Information AISC-ASD89

- ทำการกดปุ่ม OK เพื่อทำการปิดหน้าต่าง

โปรแกรม SAP2000 จะอนุญาตให้สามารถที่จะเปลี่ยนค่ามาตรฐานคุณสมบัติของชิ้นส่วน ที่ทำการออกแบบได้ และทำการ re-run ค่าที่ออกแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

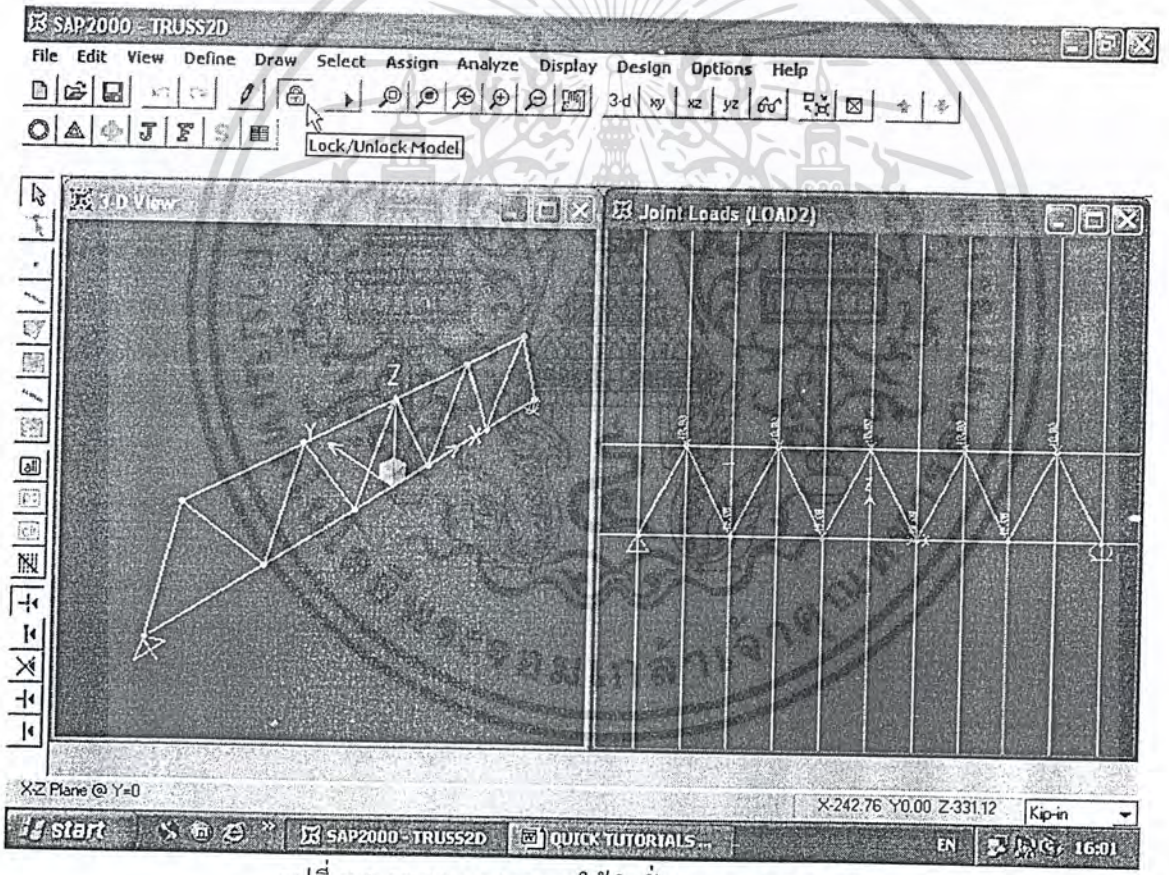
2.12. Modifying the Structure

การแก้ไขโครงสร้าง

สมมติว่าต้องการที่จะแก้ไขโครงข้อหมุนเพื่อรองรับค่าน้ำหนักที่กระทำแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 100 kips ที่ตรงกลางด้านล่างของโครงสร้าง เราสามารถที่จะทำได้โดยการเพิ่มชิ้นส่วนในแนวดิ่งที่ตรงกลางและแบ่งเป็นสองด้านจากตรงกลางของชิ้นส่วนแนวนอน

แบบตัวอย่างจะทำการล็อคขัดขวางไม่ให้สามารถเปลี่ยนแปลงแบบตัวอย่างเอาไว้ เราจะต้องทำการปลดล็อกแบบตัวอย่าง จึงจะทำการเปลี่ยนแปลงการออกแบบได้ ซึ่งการ re-analyze และทำการตรวจสอบผลในขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบมีขั้นตอนดังนี้

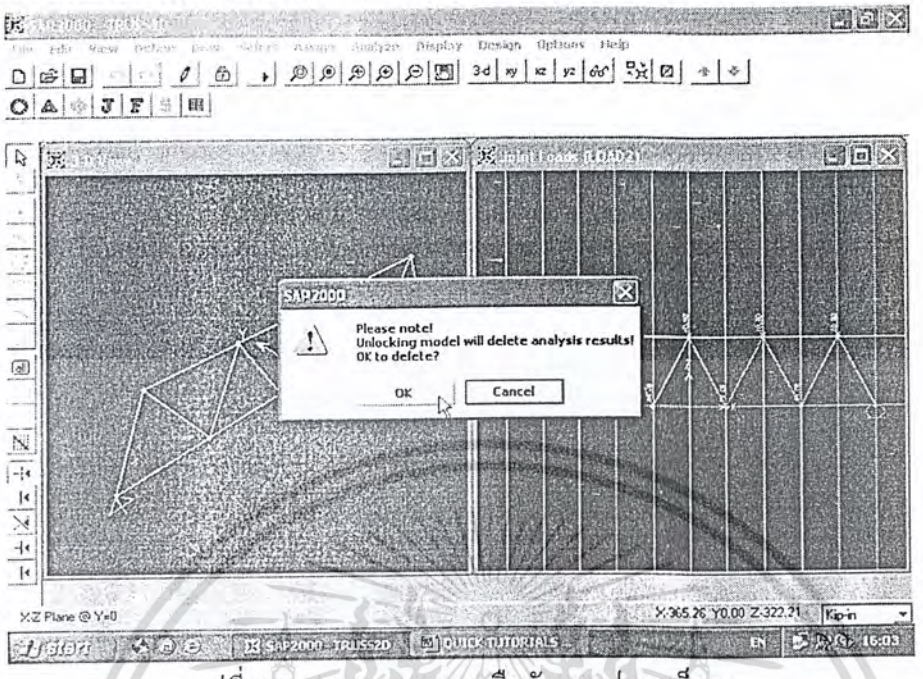
1. คลิกบนปุ่ม Lock/Unlock Model แบบตัวอย่างบนแถบเครื่องมือหลักเพื่อที่จะคลายล็อคแบบตัวอย่าง



รูปที่ ผ-2.53 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Un Lock Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

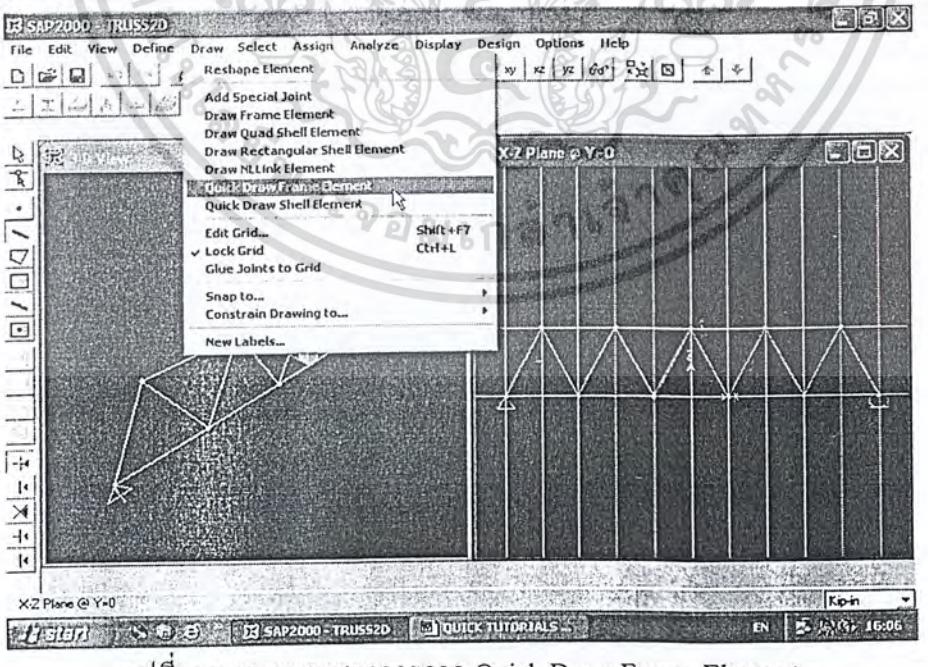
2. จะมีข้อความเตือนว่าการคลายล็อคแบบตัวอย่างจะมีผลคือลบผลลัพธ์การวิเคราะห์ทั้งหมด คลิกบนปุ่ม OK เพื่อยอมรับการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ ผ-2.54 ภาพแสดงการยืนยันการปลอดล็อค

ในที่นี้ เราจะใช้สองวิธีที่แตกต่างที่จะวาดชิ้นส่วนใหม่ แต่ละวิธีใช้สำหรับการเพิ่มชิ้นส่วนในแบบตัวอย่าง

3. คลิกบน Quick Draw Frame Element บนแถบเครื่องมือด้านข้างหรือเลือกจากเมนู Draw ชิ้นส่วนจะวาดแต่ละครั้งที่คลิกบนเส้นตาราง grid line



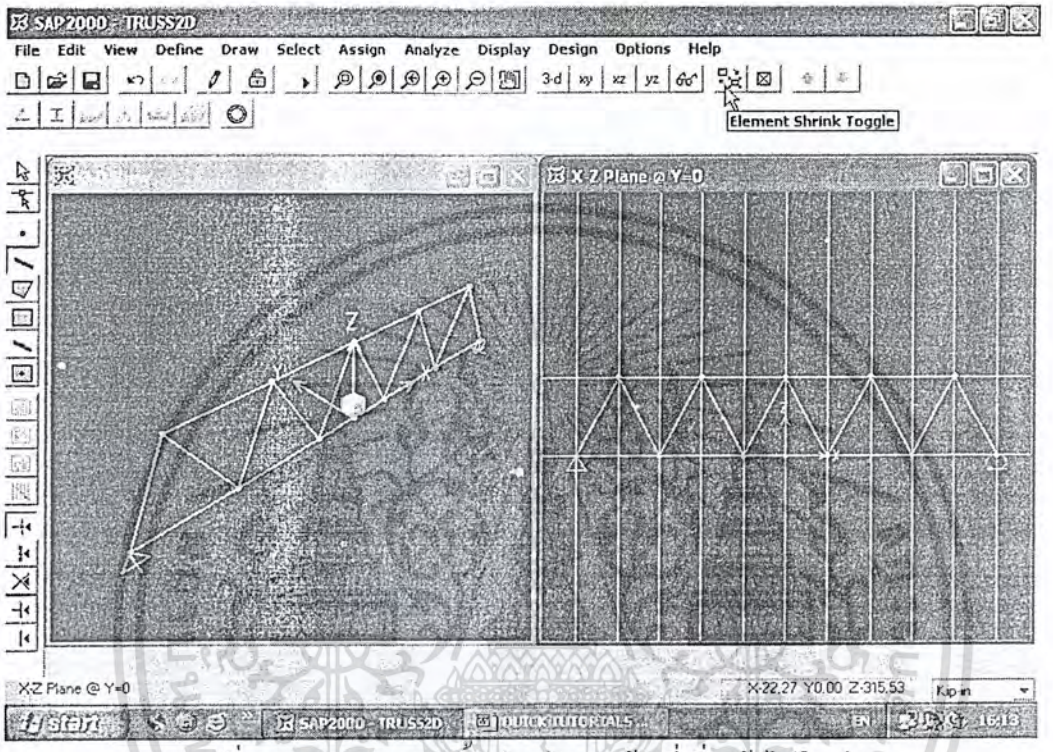
รูปที่ ผ-2.55 ภาพแสดงการวาด Quick Draw Frame Element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

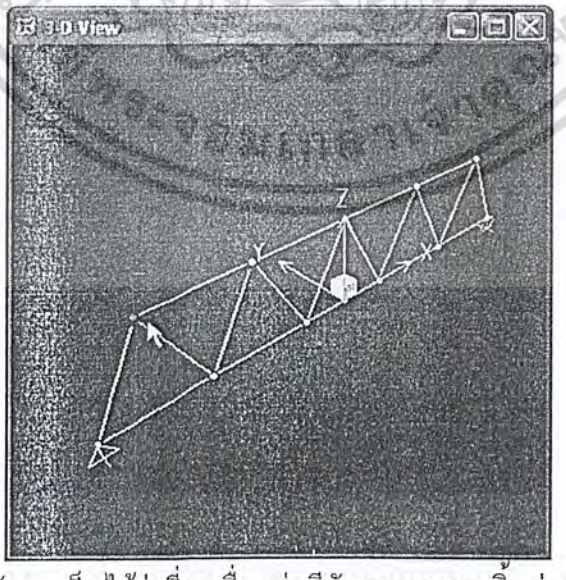
4. คลิก gridline ในแนวตั้งที่ศูนย์กลางของแบบตัวอย่างระหว่างด้านบนกับด้านล่างของ chords เพื่อเลือกชิ้นส่วนในแนวดิ่ง

อาจจะปรากฏว่า that the truss is complete อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนซึ่งตั้งใหม่จะไม่ถูกเชื่อมต่อตามความเป็นจริงกับชิ้นส่วนในแนวนอนบน - ล่าง ซึ่งสมารถที่จะเห็นมุมมองของชิ้นส่วนที่แคบลงที่ shrunken-element view

5. คลิกบน Element Shrink Toggle บนเครื่องมือหลัก



รูปที่ ผ-2.56 ภาพแสดง ชิ้นส่วนโครงสร้างที่เพิ่มเข้าไปใหม่

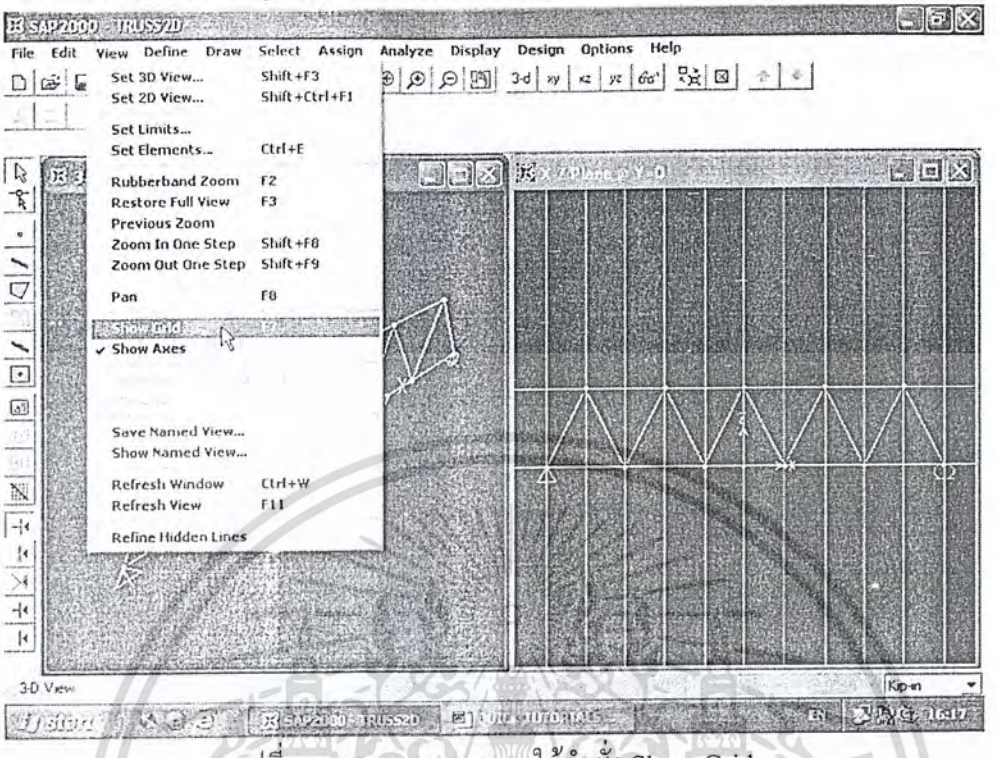


รูปที่ ผ-2.57 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่จุดเชื่อมต่อมีลักษณะลอยๆ ชิ้นส่วนต่างๆไม่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

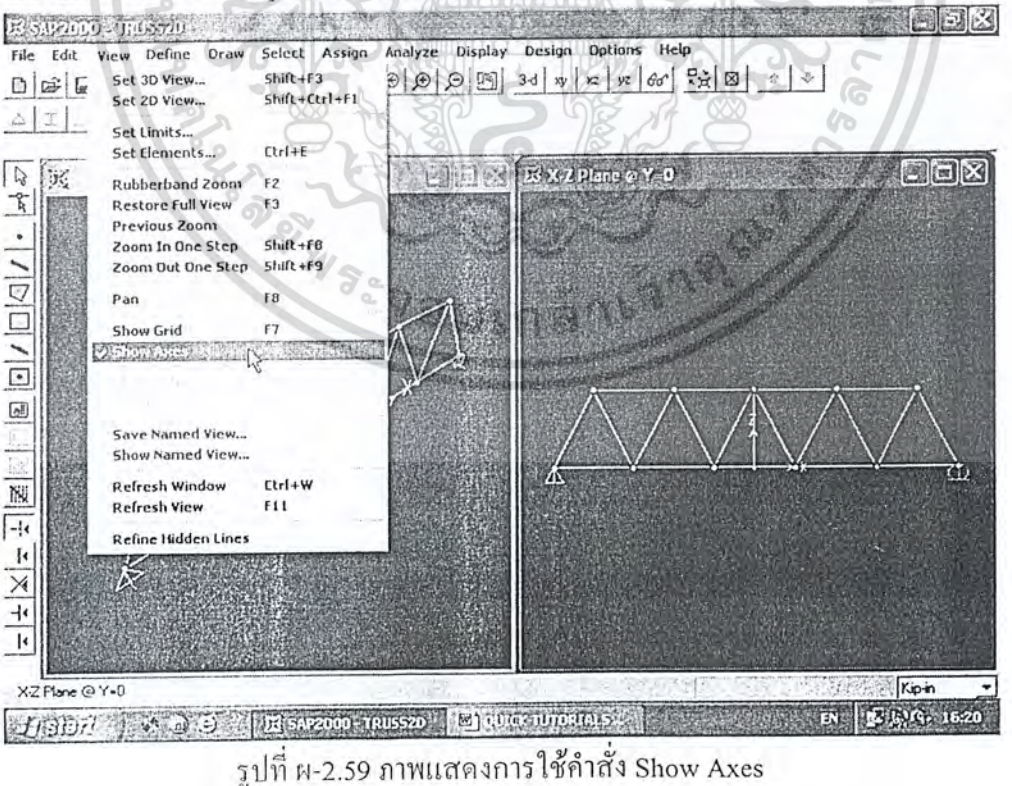
6. เพื่อที่จะดูรายละเอียดมากกว่าอย่างชัดเจน

- เลือก Show Grid จากเมนู View ที่จะปิดตาราง grid



รูปที่ ผ-2.58 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Grid

- เลือก Show Axesจากเมนู View ที่จะปิดแกน global axes

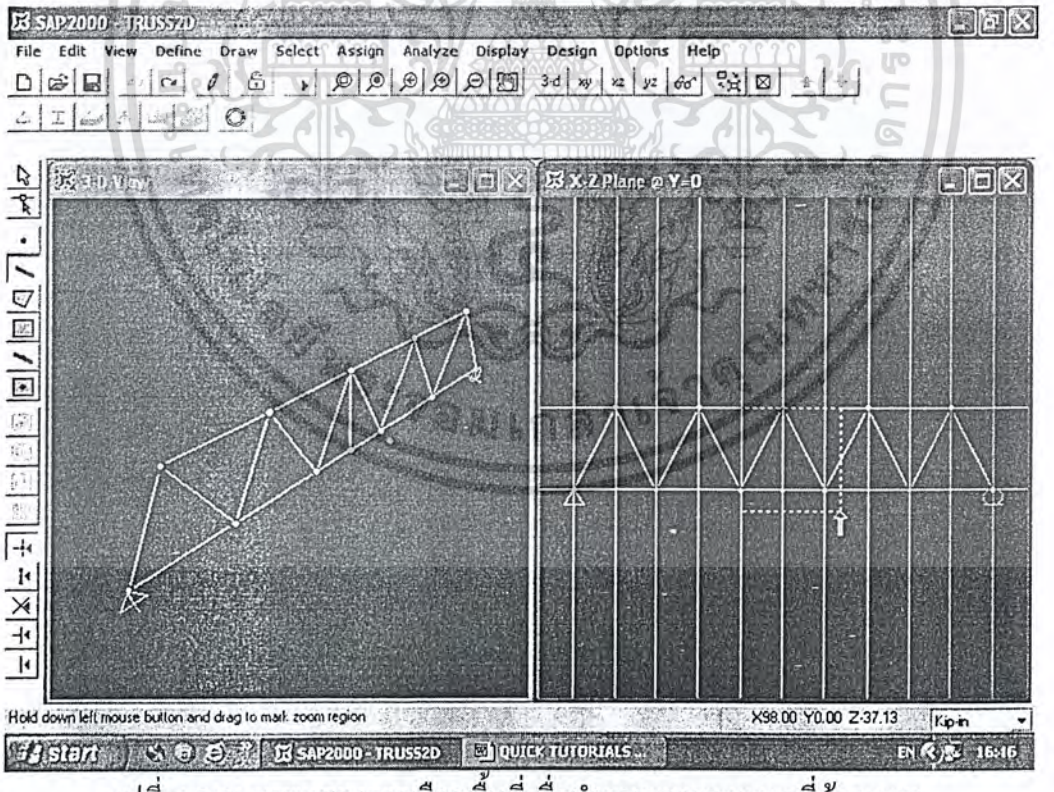


รูปที่ ผ-2.59 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Axes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

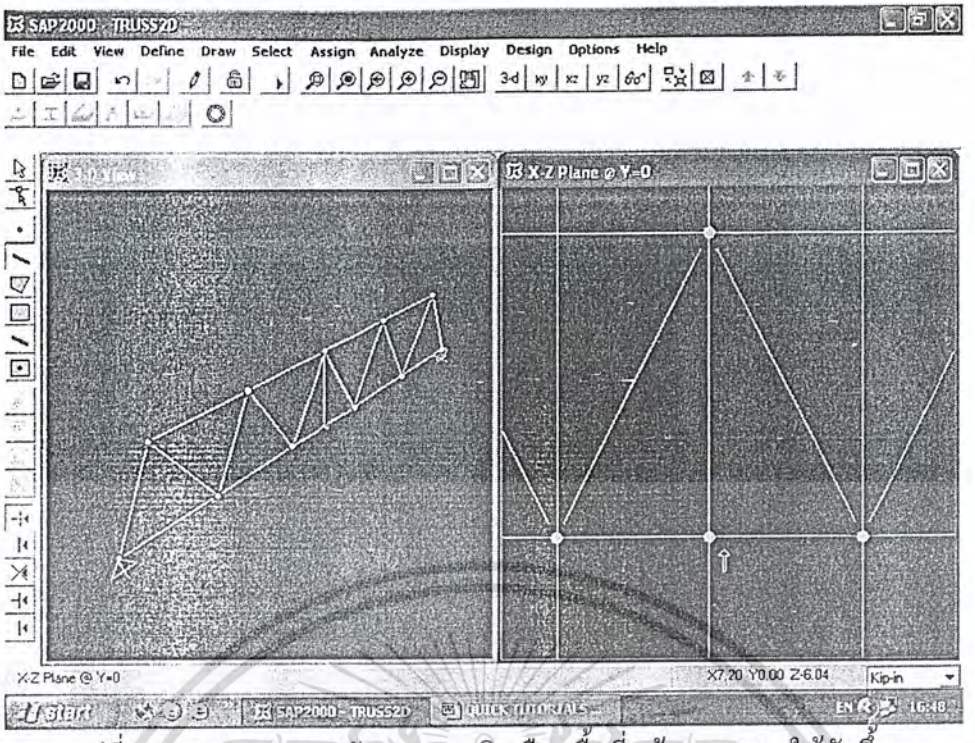
- คลิกบนปุ่ม Rubber Band Zoom บนแถบเครื่องมือหลัก

รูปที่ ผ-2.60 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Rubberband Zoom



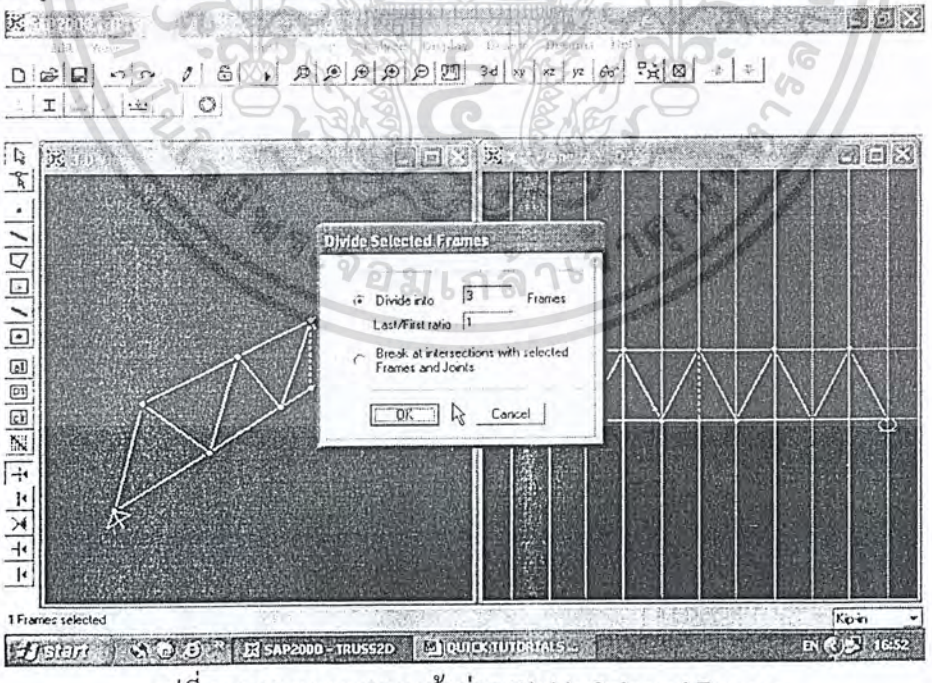
รูปที่ ผ-2.61 ภาพแสดงการเลือกพื้นที่เพื่อทำการขยายระยะจุดที่ต้องการดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-2.62 ภาพขยายหลังจากการคลิกเลือกพื้นที่ๆต้องการมองให้ชัดขึ้น

- ในหน้าต่างการแสดงการทำงาน คลิกและลากหน้าต่างที่ต้องการจะปิดส่วนกึ่งกลางของโครงสร้าง เนื้อหาสาระข้อมูลของหน้าต่างนี้จะถูกเพิ่มในส่วนที่แสดงผลในหน้าต่างหลัก เราสามารถวาดชิ้นส่วนกึ่งกลางของใต้ chord ได้อีก วิธีหนึ่งโดยใช้ออพชั่น Divide Frames ในเมนู Edit เราจะแทนที่ส่วนที่ลบและวาดชิ้นส่วนใหม่

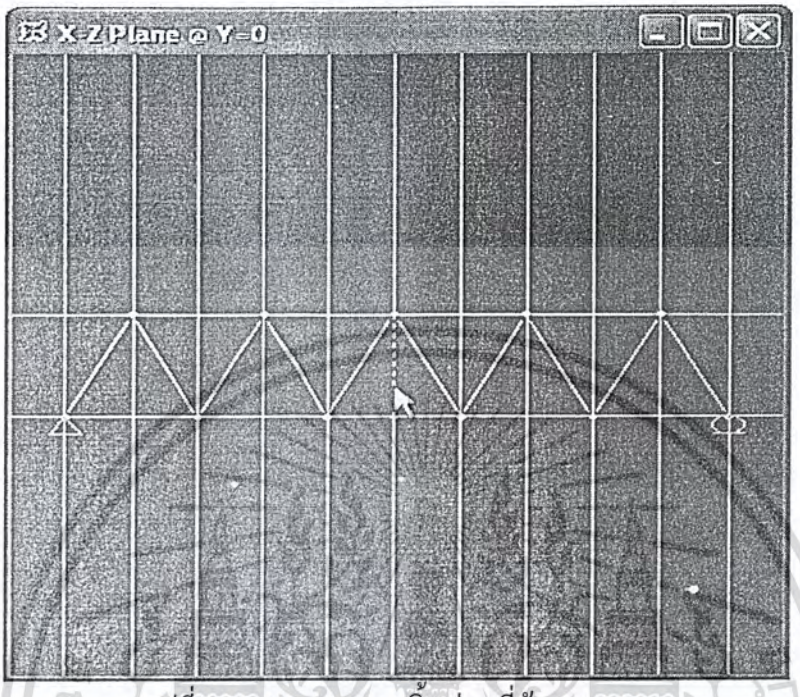


รูปที่ ผ-2.63 ภาพแสดงหน้าต่าง Divide Selected Frames

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

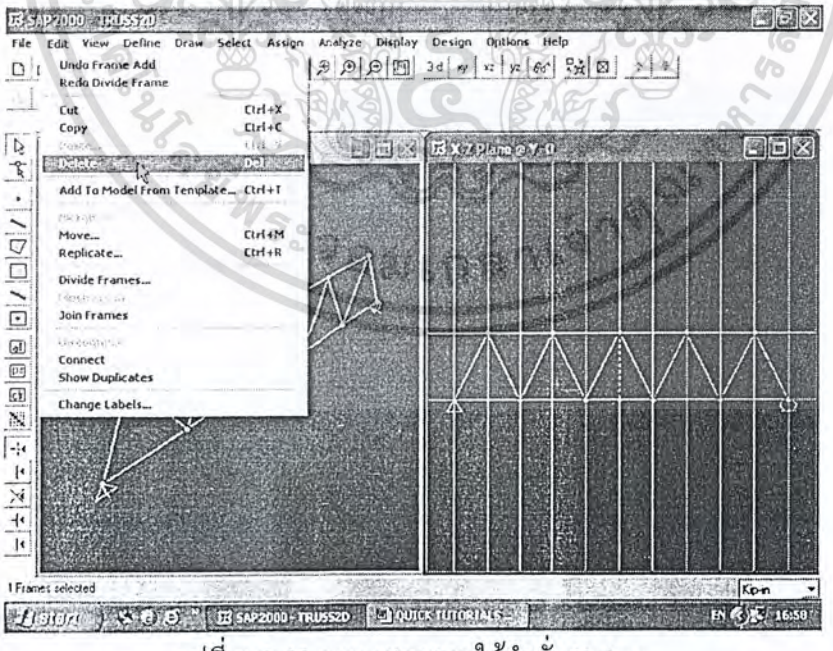
7. เพื่อลบชิ้นส่วนเก่า

- คลิกที่เครื่องมือ Pointer Tool บนแถบเครื่องมือด้านข้างเพื่อที่จะเริ่มต้นสวิตซ์สู่ SELECTION โหมด
- คลิกบนชิ้นส่วนที่จะถูกลบ



รูปที่ ผ-2.64 ภาพแสดง ชิ้นส่วนที่ต้องการลบ

- กดกุญแจ Delete หรือเลือก Delete จากเมนู Edit เพื่อลบชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการ

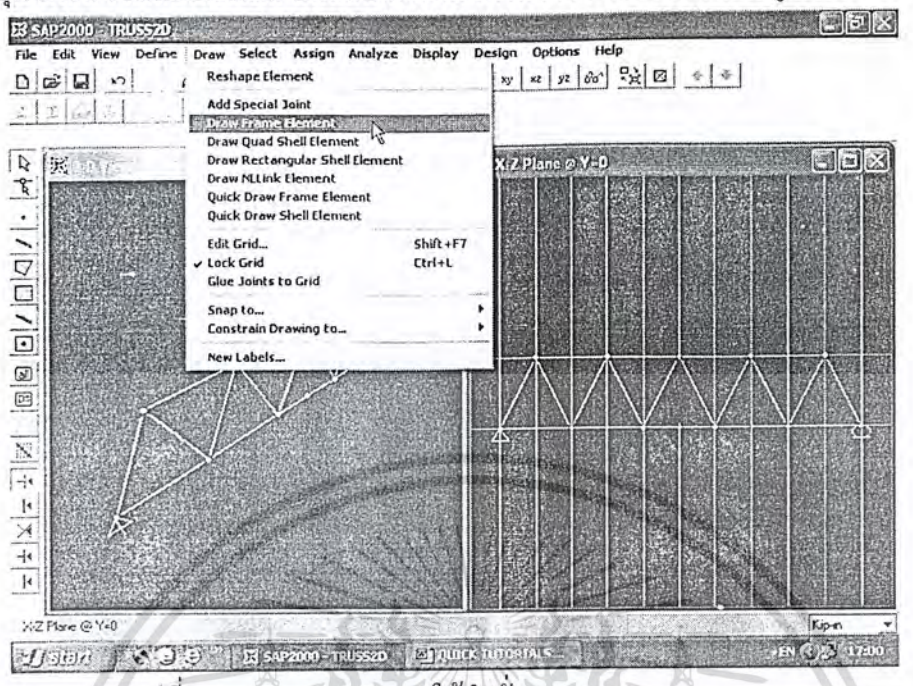


รูปที่ ผ-2.65 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Delete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เพื่อวาดสองชิ้นส่วนใหม่

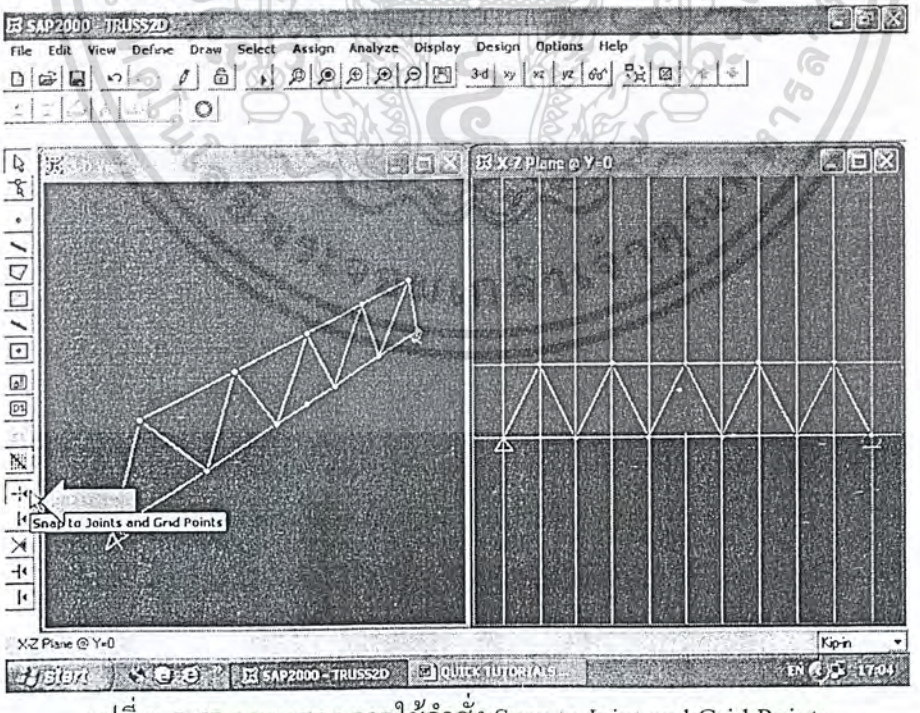
- คลิกปุ่ม Draw Frame Element บนแถบเครื่องมือด้านข้าง หรือเลือกจากเมนู Draw



รูปที่ ผ-2.66 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Draw Frame Element

หมายเหตุ: สามารถวาดในหน้าต่างวินโดวส์ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านได้

- คลิกบนปุ่ม Snap to Joints and Grid Points บนเมนูบาร์ด้านบนหรือปุ่มจุดตารางบนแถบเครื่องมือทางด้านข้างซ้ายของจอแสดงผล



รูปที่ ผ-2.67 ภาพแสดง การใช้คำสั่ง Snap to Joint and Grid Points

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้