การวิเคราะห์สะพานเหล็กเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน-เพลา

RAIL BRIDGE ANALYSIS WHEN LOCOMOTIVE SHAFT WEIGHT STANDARD 20 TONNES-SHAFT HAVE LOADED

กำชัย คำจร

กิตติกาญจน์ มณีกาศ

ฉัตรดนัย แสงณรงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การวิเคราะห์สะพานเหล็กเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน-เพลา

RAIL BRIDGE ANALYSIS WHEN LOCOMOTIVE SHAFT WEIGHT STANDARD 20 TONNES-SHAFT HAVE LOADED

กำชัย คำจร

กิตติกาญจน์ มณีกาศ

ฉัตรดนัย แสงณรงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

RAIL BRIDGE ANALYSIS WHEN LOCOMOTIVE SHAFT WEIGHT STANDARD 20 TONNES-SHAFT HAVE LOADED

KAMCHAI KHAMJORN

KITTIKARN MANEEKAD

CHATDANAI SANGNARONG

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHEL OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERRING

KING MONGKOUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์สะพานเหล็กเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน-เพลา RAIL BRIDGE ANALYSIS WHEN LOCOMOTIVE SHAFT WEIGHT STANDARD 20 TONNES-SHAFT HAVE LOADED
นักศึกษา	นาย กำชัย คำจร 54010100 นาย กิตติกาญจน์ มณีกาศ 54010103 นาย ฉัตรดนัย แสงณรงค์ 54010249
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อัฏฐวิทย์ สุจริตพงศ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ดร.อัฏฐวิทย์ สุจริตพงศ์ ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 25 เดือน [illegible] พ.ศ. 2558

การวิเคราะห์สะพานเหล็กเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน-เพลา

นาย กำชัย คำจร 54010100

นายกิตติกาญจน์ มณีกาศ 54010103

นายฉัตรดนัย แสงณรงค์ 54010249

ดร.อัญฐวิทย์ สุจริตพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานรถไฟโครงสร้างเหล็ก ของการรถไฟแห่งประเทศไทย อันเนื่องมาจากการรถไฟแห่งประเทศไทยได้นำเข้าหัวรถจักรใหม่ (CSR-U20) ทั้งหมด 20 คัน ผลิตโดยโรงงาน CSR QishuyanCo.,Ltd ประเทศสาธารณประชาชนจีน ส่งผลให้การรถไฟมีแห่งประเทศไทยต้องการทุบสะพานเดิมและสร้างสะพานขึ้นมาใหม่ เพราะว่าหัวรถจักรใหม่มีน้ำหนักเพลามากกว่าหัวรถจักรที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งหัวรถจักรดังกล่าวอาจมีน้ำหนักเกินกว่าความสามารถในการรับแรงของสะพาน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาว่าสะพานโครงสร้างเหล็กเดิมจะสามารถรับน้ำหนักของหัวรถจักรใหม่(CRS-U20) ได้หรือไม่ และเปรียบเทียบกับการรับน้ำหนักหัวรถจักรเดิม (U16) โดยสะพานเหล็กที่ต้องการศึกษาคือสะพานพระราม 6 วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมไฟไนท์อิลิเมนต์เพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของรถไฟ ประกอบไปด้วยแรงอัด-ดึง ในแนวแกน โมเมนต์ดัด แรงเฉือน และระยะแอ่นของสะพาน เพื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับแรงของสะพานเดิม และพบว่าสะพานสามารถรับน้ำหนักของหัวรถจักรใหม่ได้

Rail bridge analysis when locomotive shaft weight standard 20 tonnes-shaft have loaded.

Kamchai Khamjorn 54010100

Kittikarn Maneekad 54010103

Chatdanai Sangnarong 54010249

Academic Year 2014

Abstract

This research aimed to study State Railway of Thailand's rail bridge capability, because of new locomotives (CSR-U20) have been imported from Chinaand that will be heavier than old locomotives (U16). The rail bridge might not be able to support locomotive(CSR-U20), So State Railway of Thailand will destroy rail bridge and build up new oneto support the locomotives (CSR-U20). In order to investigate that the rail bridge can support the locomotive (CSR-U20) or not and compared to old locomotives. Rama six rail bridge will be using as a analyzing, SAP2000 was used for data analysis to find out data such as axial force, bending moment, shear force including deflection of rail bridge after loaded to compare with loading of old locomotive. It was found that rail bridge is able to load by new locomotive (CSR-U20)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบพระคุณคือ อาจารย์อัฏฐวิทย์ สุจริตพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้คำแนะนำ ตรวจทาน และให้ข้อมูลต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน ท่านที่สองคือ อาจารย์อาทิตย์ เพชรศศิธร ผู้ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรม SAP2000

ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านอย่างยิ่ง ไม่มากก็น้อย คุณความดีของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้มุ่งมั่นในการถ่ายทอดความรู้ตราบจนวันสุดท้ายของภาคเรียน

กำชัย คำจร
กิตติกาญจน์ มณีกาศ
ฉัตรดนัย แสงณรงค์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.......... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... II

กิตติกรรมประกาศ.......... III

สารบัญ.......... IV

สารบัญตาราง.......... XI

สารบัญรูปภาพ.......... XII

บทที่1 บทนำ.......... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.......... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.......... 2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.......... 2

1.4 ขอบเขตของการศึกษา.......... 3

1.5 ขั้นตอนการศึกษา.......... 3

1.6 แผนการดำเนินงาน.......... 3

บทที่ 2วรรณกรรมปริทัศน์.......... 5

2.1. ชนิดของสะพานรถไฟ.......... 5

2.1.1.สะพานไม้ (Timber Bridge).......... 5

2.1.2.สะพานบวบราง (Rail Girder).......... 5

2.1.3.สะพาน I-Beam,H-Beam และ Wide Flange.......... 5

2.1.4.สะพานกระบะเหล็ก (Steel Slab Bridge).......... 5

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.5. สะพาน Deck Plate Girder 5

2.1.6. สะพาน Through Plate Girder 6

2.1.7. สะพาน Deck Truss 6

2.1.9.สะพาน Composite 7

2.1.10.สะพานหอ (Viaduct Bridge) 7

2.1.11.สะพานกระบะคอนกรีตฝังรางเหล็ก 7

2.1.12.สะพานกระบะคอนกรีตเสริมเหล็ก (Rainforce Concrete Slab Bridge) 7

2.1.13.สะพานคอนกรีตอัดแรง (Prestress Concrete Bridge) 8

2.2. ชื่อชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพานและหน้าที่ 8

2.2.1. แผ่นเหล็กเอว (Web Plate) 8

2.2.2.ปีกบน (Upper Flange) 8

2.2.3.ปีกล่าง (Lower Flange) 8

2.2.4.แผ่นเหล็กทับปีก (Cover Plate) 9

2.2.4.เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กเอวคดงอตัวริม (End Stiffener) 9

2.2.5.เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กเอวคดงอตัวใน (Intermediate Stiffener) 9

2.2.6.เหล็กแผ่นประกับรอยต่อ (Splice Plate) 9

2.2.7.แผ่นเหล็กรองตีนสะพาน (Sole Plate) 9

2.2.8.แผ่นเหล็กรับแรงดัด (Moment Plate) 9

2.2.9. แกงแนงขวางริน (End Strut) 10

2.2.10.แกงแนงขวางใน (Intermediate Strut) 10

2.2.11.แกงแนงตั้งริม (End Sway Bracing) 10

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.12.แกงแนงตั้งใน (Intermediate Sway Bracing) 10

2.2.13. แผ่นเหล็กรวมจุดตัด (Gusset) 10

2.2.15.แกงแนงราบบน (Upper Lateral Bracing) 10

2.2.16. แกงแนงราบล่าง (Lower Lateral Bracing) 10

2.2.17. คานเมน (Main Girder) 11

2.2.18. คานขวางริม (End Floor Beam) 11

2.2.19.คานขวางใน (Intermediate Floor Beam) 11

2.2.20. คานตั้งริม (End Stringer) 11

2.2.21.แกงแนงมุม (Knee Brace) 11

2.2.22. เหล็กฉากยึดตรึง (Connection Angle) 12

2.2.23. เสาริม (End Post) 12

2.2.24. คอร์ดบน (Upper Chord) 12

2.2.25. คอร์ดล่าง (Lower Chord) 12

2.2.26.เมมเบอร์ตั้งดิ่ง (Vertical Member) 12

2.2.26.เมมเบอร์หิ้ว (Hip Vertical or Hanger) 12

2.2.27.เมมเบอร์ตั้งเอียง (Diagonal Member) 12

2.2.28.ซุ้มประตู (Portal) 13

2.2.29.จุดตัดรวมเส้นแนวแกน (Panel Point) 13

2.2.30.ท้าวแขน (Bracket) 13

2.2.31. สมอยึด (Shear Connector) 13

2.2.32.รองเท้า (Shoes) 13

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.33.ลูกกลิ้ง (Rollers)....................13

2.2.34. แผ่นพื้น (Slab)....................14

2.2.35.ผิวแผ่นพื้น (Pavement)....................14

2.2.36.วัสดุกันซึม (Water proof Mambrance)....................14

2.2.37. แผงกันหิน (Ballast Stopper)....................14

2.2.38. บัว (Coping)....................14

2.2.39. ป้ายชื่อ (Name Plate)....................14

2.2.40. สมอยึดพื้น (Slab Anchor)....................14

2.3. การคำนวณหากำลัง(capacity)ของสะพานเหล็ก....................14

2.3.1. งานสำรวจ....................14

2.3.2 งานคำนวณ....................17

2.3.3 หน่วยแรงอนุญาต (Allowable stress)....................17

2.3.4 อัตราหน้าตัดประสิทธิผล (Effective section Ratio)....................19

2.3.5 Resisting Forces of Members....................19

2.3.6. น้ำหนัก....................21

2.3.7.ค่า Equivalent DL. ของสะพานที่อยู่ในทางตรง....................21

2.4. วิวัฒนาการของน้ำหนักเพลามาตรฐานที่ใช้ออกแบบสะพานของ รฟท.....................23

2.4.2.น้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน (ตามแบบที่ 1965-2)....................24

2.4.3.น้ำหนักเพลามาตรฐาน S-15 (แบบเลขที่ 1965-8)....................24

2.4.4.น้ำหนักเพลามาตรฐาน S-11 (แบบเลขที่ 1965-12)....................25

2.4.5.น้ำหนักเพลามาตรฐาน 13.75 ตัน (แบบเลขที่ 1965-21)....................25

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.6.น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 (แบบเลขที่ 1965-23) 26

2.4.7.น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 (แบบเลขที่ 1965-24) 27

2.4.8.น้ำหนักเพลามาตรฐาน UIC-20 (แบบเลขที่ 1965-25)....................................28

2.4.9.น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-16 (มาตรฐานล่าสุด) 28

2.5 สัมประสิทธิ์แรงกระแทก (Impact Coefficient)....................................29

บทที่ 3 การใช้โปรแกรม....................................30

3.1 การสร้างโมเดล 30

3.2 การใส่ Load Case....................................33

3.2.1 Define Lane 33

3.2.2 Define Vehicles....................................35

3.2.3 สร้าง Load Case 37

3.2.4 การรวม Live Load กับ Moving Load เข้าด้วยกัน 39

3.3 การใส่หน้าตัดเหล็กของแต่ละเฟรม....................................41

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 43

3.5 การดูผลการวิเคราะห์ 44

3.5.1 ดูผลการวิเคราะห์....................................44

3.5.2 ดูผลการวิเคราะห์ Deform Shape....................................45

บทที่ 4 ผลการศึกษา....................................46

4.1. ผลการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา พร้อมโบกี้โดยสาร 20 โบกี้ มาวิ่งผ่านแบบจำลอง 46

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.1. การเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นของแบบจำลอง...46

4.1.2. แรงตามแนวแกน(Axial Force)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน 47

4.1.3. แรงเฉือน(Shear Force)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน..47

4.1.4. โมเมนต์ดัด(Bending Moment)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน............................48

4.1.5. แสดงผลการคำนวณค่าต่างๆในชิ้นส่วนต่างๆของสะพานจากโปรแกรม SAP2000..49

4.1.5.แสดงผลการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวตามแนวราบและแนวดิ่งของข้อต่อ (joint)ต่างๆของสะพานจากโปรแกรม SAP2000...62

4.2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา พร้อมโบกี้โดยสาร 20 โบกี้ มาวิ่งผ่านแบบจำลอง..64

4.2.1. การเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นของแบบจำลอง...64

4.2.2. แรงตามแนวแกน(Axial Force)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน.............................64

บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา...67

5.1. การวิเคราะห์ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member)...67

5.1.1. การวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงใช้งาน (หัวรถจักร 20 ตัน/เพลา) 67

5.1.2. การวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงใช้งาน (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา) 69

5.2. การวิเคราะห์ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression member) 71

5.2.1. การวิเคราะห์กำลังรับแรงอัด (หัวรถจักร 20ตัน/เพลา) 73

5.2.2. การวิเคราะห์กำลังรับแรงอัด (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา) 74

5.3. การเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นระหว่าง ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลากับบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลาวิ่งผ่านแบบจำลองสะพาน 75

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.3.1 อัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา) 75

5.3.2 อัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา) 77

5.4. การเปรียบเทียบแรงดึงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นระหว่าง ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลากับบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลาวิ่งผ่านแบบจำลองสะพาน........ 79

5.5. การเปรียบเทียบแรงอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นระหว่าง ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลากับบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลาวิ่งผ่านแบบจำลองสะพาน........ 80

5.6 วิเคราะห์การโก่งตัวในแนวดิ่ง........ 81

5.5.1 การโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา........ 81

5.5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การโก่งตัวในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้น 82

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ........ 83

6.1 สรุปผลการทดลอง........ 83

6.2 ข้อเสนอแนะ........ 84

บรรณานุกรม........ 85

ภาคผนวก........ ผ-1

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 แสดงขนาด Diameter ของ rivet เมื่อมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร..15
2.2 แสดงขนาด Diameter ของ rivet เมื่อมีหน่วยเป็นนิ้ว...16
2.3 แสดง coefficient ใช้ลดค่าของหน่วยแรงอนุญาต..17
2.4 แสดงหน่วยแรงอนุญาต..17
2.5 แสดงค่า Coefficient ตัวคูณของ Centrifugal force..20
4.1 แสดงค่าต่างๆในชิ้นส่วนที่ได้จากการคำนวณจากโปนแกรม SAP2000............................61
4.2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ และแนวดิ่งมากที่สุดของข้อต่อจุดต่างๆ.........................63
4.3 แสดงค่าต่างๆในชิ้นส่วนที่ได้จากการคำนวณจากโปนแกรมSAP2000..............................65
4.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ และแนวดิ่งมากที่สุด ของข้อต่อจุด...............................66
5.1 แสดงผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของแต่ละชิ้นส่วน (หัวรถจักร 20ตัน/เพลา)...................68
5.2 แสดงผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของแต่ละชิ้นส่วน (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)..................70
5.3 แสดงการคำนวณหากำลังรับแรงอัดใช้งานที่ยอมให้ของแต่ละชิ้นส่วน โดยวิธี ASD................71
5.4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงอัดที่เกิดขึ้นกับกำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ (หัวรถจักร20ตัน/เพลา)...72
5.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงอัดที่เกิดขึ้นกับกำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)..74
5.6แสดงค่า Axial Force's ratio ของหัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา จากโปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์.....78
5.7 แสดงค่า Ratio ของหัวรถจักรชนิด 15ตัน/เพลาที่ได้จากการคำนวณ..................................78
5.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของแรงดึงในชิ้นส่วน..79
5.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของแรงอัดในชิ้นส่วน..80

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1.1	แสดงแผนการดำเนินงาน	3
2.1	แสดงส่วนประกอบของสะพาน	8
2.2	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965 พ.ศ.2455-2477	23
2.3	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965-2 พ.ศ.2477-2489	24
2.4	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน S-15 ตามแบบเลขที่ 1965-8 พ.ศ.2489-2518	24
2.5	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน S-11 พ.ศ.2489-2518	25
2.6	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน 13.75ตัน พ.ศ.2512	25
2.7	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 ตามแบบเลขที่ 1965-23 พ.ศ.2518	26
2.8	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 ตามแบบเลขที่ 1965-24 พ.ศ.2518	27
2.9	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน UIC-20 ตามแบบเลขที่ 1965-25 พ.ศ.2523	27
2.10	แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-16 พ.ศ.2529	28
3.1	ภาพแสดงการสร้างโมเดล	30
3.2	ภาพแสดงการสร้างโมเดล 2	31
3.3	ภาพแสดงการสร้างโมเดล 3	31
3.4	ภาพแสดงการสร้างโมเดล 4	32
3.5	ภาพแสดงการสร้างโมเดล 5	32
3.6	ภาพแสดงการสร้างโมเดล 6	32
3.7	ภาพแสดงการสร้างโมเดล 7	33
3.8	ภาพแสดงการ Define Lane	33
3.9	ภาพแสดงการ Define Lane	34
3.10	ภาพแสดงการ Define Lane	34
3.11	ภาพแสดงการ Define Vehicles	35
3.12	ภาพแสดงการ Define Vehicles	35
3.13	ภาพแสดงการ Define Vehicles	36
3.14	ภาพแสดงการ Define Vehicles	36
3.15	ภาพแสดงการ Define Vehicles	37
3.16	ภาพแสดงการสร้าง Load Case	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป หน้า

3.17 ภาพแสดงการสร้าง Load Case....38

3.18 ภาพแสดงการสร้าง Load Case....38

3.19 ภาพแสดงการสร้าง Load Case....39

3.20 ภาพแสดงการสร้าง Load Case....39

3.21 ภาพแสดงการ Combine Load Case....40

3.22 ภาพแสดงการใส่หน้าตัด....41

3.23 ภาพแสดงการใส่หน้าตัด....41

3.24 ภาพแสดงการใส่หน้าตัด....42

3.25 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล....43

3.26 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล....43

3.27 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล....44

3.28 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล....44

3.29 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล....45

4.1 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 3 มิติ....46

4.2 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 2 มิติ....46

4.3 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน....47

4.4 แสดงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน....47

4.5 แสดงโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน....48

4.6 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วน 3....49

4.7 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วน 3....49

4.8 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วน 3....50

4.9 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 3....50

4.10 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 8....51

4.11 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 8....51

4.12 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 8....52

4.13 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 8....52

4.14 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 7....53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป หน้า

4.15 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 7.....53

4.16 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 7.....54

4.17 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 7.....54

4.18 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 17.....55

4.19 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 17.....55

4.20 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 17.....56

4.21 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 17.....56

4.22 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 13.....57

4.23 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 13.....57

4.24 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 13.....58

4.25 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 13.....58

4.26 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 18.....59

4.27 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 18.....59

4.28 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 18.....60

4.29 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 18.....60

4.30 แสดงผลการคำนวณค่าการเคลื่อนตัว.....62

4.31 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 3 มิติ.....64

4.32 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 2 มิติ.....64

4.33 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน.....64

5.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ หัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา.....75

5.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ในชิ้นส่วนที่ 4.....76

5.3 แสดงอัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ หัวรถจักรชนิด 15ตัน/เพลา.....81

5.4 แสดงค่าการโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิด15ตัน/เพลา.....81

5.5 แสดงค่าการโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิด20ตัน/เพลา.....81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตการรถไฟแห่งประเทศไทย มีเส้นทางเดินรถไฟที่ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศ ซึ่งแต่ละเส้นทางมีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เพื่อย่นระยะทางและเพิ่มความสะดวกในการเดินทาง จึงมีการก่อสร้างสะพานรถไฟเป็นจำนวนมากมีทั้งเป็นแบบสะพานเหล็กและแบบสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งสะพานเหล่านั้นยังถูกใช้งานมาจนถึงปัจจุบัน รถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่ให้ใช้งานอยู่ทุกวันนี้ จะเป็นหัวรถจักชนิด 15 ตัน/เพลา มีน้ำหนักของหัวรถจักรรวม 90 ตัน หมายความว่าในการวิเคราะห์และการออกแบบสะพาน จะใช้น้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างสะพาน เท่ากับ 15 ตัน ต่อ 1 เพลา ซึ่งส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุดจะเป็นส่วนหัวรถจักร ดังนั้นในการวิเคราะห์น้ำหนักกระทำนี้เราจะหมายถึงน้ำหนักของหัวรถจักร สะพานส่วนใหญ่ที่ใช้ปัจจุบันนี้จะใช้น้ำหนักมาตรฐาน 15 ตัน/เพลาในการออกแบบ ในอนาคตอันใกล้นี้ การรถไฟแห่งประเทศไทย จะมีโครงการปรับปรุงระบบการขนส่งทางรางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งทางรางให้มากขึ้น โดยจะเปลี่ยนเป็นรถไฟชนิด 20 ตัน/เพลา (รุ่น CSR-U20) ในทำนองเดียวกัน จะหมายถึงหัวรถจักรที่มีน้ำกระทำ 20 ตัน ต่อ 1 เพลา น้ำหนักของหัวรถจักรรวม 120ตัน โดยรถไฟชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหลายๆด้าน เช่น รถจะสามารถวิ่งโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยได้มากขึ้น สามารถบรรทุกผู้โดยสารและสิ่งของได้มากขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างสะพาน จึงจำเป็นจะต้องมีการรื้อถอนสะพานแบบเดิม และสร้างสะพานแบบใหม่ทดแทนเพื่อให้สามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลานี้ได้ ส่งผลให้มีการใช้งบประมาณของประเทศในการรื้อถอนและการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าโครงสร้างของสะพานแบบเดิม สามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลาได้ หรือถ้ามีการเสริมกำลังของโครงสร้างสะพานก็จะสามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลา นี้ได้ จะถือเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติเป็นอย่างมาก โดยสามารถลดการใช้งบประมาณของประเทศได้ เพราะกระบวนการในการรื้อถอนและการก่อสร้างสะพานรถไฟต้องใช้ระยะเวลานาน อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

เมื่อโครงสร้างสะพานได้รับน้ำหนักกระทำจากหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลา แน่นอนว่าจะมีพฤติกรรมการรับแรงที่เปลี่ยนไป กล่าวคือ มีการแอ่นตัว การเกิดแรงอัดแรงดึงในแต่ละชิ้นส่วน การเกิดโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในโครงสร้างสะพานที่เปลี่ยนไป การศึกษาในครั้งนี้ต้องการจะศึกษาและวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน อันเนื่องมาจากน้ำหนักกระทำของหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลา และพิจารณาว่าถ้าหากต้องการจะเสริมกำลังของ

โครงสร้างสะพาน จะต้องเสริมความแข็งแรงในแต่ละชิ้นส่วนรูปแบบใดจึงจะสามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลาได้

ในการศึกษาครั้งนี้ จะเลือกเอาสะพานต้นแบบที่ใช้จริงในปัจจุบันมาหนึ่งสะพาน โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก การรถไฟแห่งประเทศไทย ซึ่งจะนำข้อมูลของสะพานต้นแบบมาวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างสะพานเมื่อได้รับน้ำหนักกระทำจากหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ แล้วนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และพิจารณาความแข็งแรงของสะพาน ว่าสามารถที่จะรับน้ำหนักที่มากระทำจากรถไฟทั้ง2ชนิดได้หรือไม่ หากไม่สามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลาได้ จำเป็นจะต้องมีการเสริมกำลังของโครงสร้างสะพานให้แข็งแรง โดยจะเสริมความแข็งแรงแต่ละชิ้นส่วนในรูปแบบใดจึงจะสามารถรองรับหัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา ซึ่งในอนาคต ผู้ที่สนใจสามารถนำประสิทธิผลจากการศึกษาในครั้งนี้ ไปใช้ประกอบการพิจารณาการก่อสร้างสะพานสำหรับรถไฟได้ในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างสะพานต้นแบบที่เลือกพิจารณา

2.เพื่อศึกษาพฤติกรรมการของโครงสร้างสะพานต้นแบบ เมื่อสะพานได้รับน้ำหนักกระทำจากรถไฟชนิด15ตัน/เพลา และจากรถไฟชนิด20ตัน/เพลา

3.เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้โครงสร้างสะพานต้นแบบ ในการรองรับหัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลาได้อย่างปลอดภัย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างสะพานต้นแบบที่เลือกเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ คาดว่าโครงสร้างสะพานเดิมไม่สามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20 ตัน/เพลาได้ เนื่องมาจากการที่เปลี่ยนแปลงรถไฟเป็นชนิด20ตันเพลา ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่กระทำกับตัวสะพาน ตำแหน่งเพลาและล้อที่กระทำลงบนตัวสะพาน ความเร็วที่ใช้ขณะข้ามสะพาน ซึ่งพฤติกรรมที่เกิดกับสะพานจะเปลี่ยนไปจนสะพานไม่สามารถรับได้ อาจทำให้เกิดการวิบัติของสะพาน โดยตำแหน่งที่จะเกิดการวิบัติของสะพานคาดว่าจะเกิดที่บริเวณตรงกลางสะพาน (middle span) อันเนื่องมาจากการรับโมเมนต์สูงสุด หรืออาจเกิดบริเวณที่ตำแหน่งจุดรองรับของสะพาน(support)อันเนื่องมากจากแรงเฉือนสูงสุด จึงจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบ

โครงสร้างสะพานเหล็กเพิ่มเติม เพื่อที่จะเสริมการความแข็งแรงของสะพาน ซึ่งจะทำให้สะพานสามารถรองรับหัวรถจักรชนิด20ตัน/เพลาได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1เลือกวิเคราะห์สะพานโรงงานมักกะสัน กม.12+247.00

1.4.2พิจารณาเป็นแบบ 2มิติโดยแยกพิจารณาเป็น

-ส่วนของโครงถักด้านข้าง (Truss)ของสะพาน

-ส่วนท้อง (Deck) ของสะพาน

1.4.3ใช้โปรแกรมไฟไนต์ เอเลเมนต์ ในการศึกษา

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.ศึกษาโครงสร้างสะพานต้นแบบที่เลือก จากแปลนสะพานรถไฟ กม.12+247.00

2.สำรวจสะพานของจริงที่เลือกมาเป็นสะพานต้นแบบ

3.วิเคราะห์โครงสร้างสะพานเหล็กโดยใช้น้ำหนักกระทำจากจากหัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์ เอเลเมนต์

4.รวบรวมผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลเลเมนต์

5.นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดการก่อสร้างสะพานของการรถไฟแห่งประเทศไทย และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างสะพาน

6. สรุปผลการศึกษา

1.6 แผนการดำเนินงาน

กระบวนการทำงาน	2557					2558			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก รฟท.									
2.วิเคราะห์โครงสร้างจากแบบก่อสร้าง และข้อ-กำหนอดในการออกแบบ									
3.ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงของสะพานหลังจากรับน้ำหนักจร									
4.วิเคราะห์ความสามารถในการใช้งานได้ของสะพานเดิม									
๕.วิเคราะห์ผลและสรุปผล									

รูปภาพที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทำให้ทราบพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานเหล็กแบบโครงถัก(Truss) เมื่อได้รับน้ำหนักกระทำจากหัวรถจักร

2.รู้หน่วยแรงสูงสุดในแต่ละชิ้นส่วนของสะพาน เมื่อมีแรงมากระทำกับสะพานในตำแหน่งต่างๆบนสะพาน

3.รู้การแอ่นตัวสูงสุดของสะพาน เมื่อมีแรงมากระทำกับสะพานในตำแหน่งต่างๆบนสะพาน

4.เป็นแนวทางตัวอย่างในการวิเคราะห์สะพาน เพื่อที่จะไปวิเคราะห์สะพานเก่าอื่นๆให้สามารถรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงการขนส่งทางรางในอนาคต

5.เป็นแนวทางในการเสริมกำลังของสะพาน เมื่อต้องการจะเสริมกำลังสะพานเก่าอื่นๆให้สามารถรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงการขนส่งทางรางในอนาคต

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. ชนิดของสะพานรถไฟ

2.1.1.สะพานไม้ (Timber Bridge)

สะพานไม้เป็นสะพานชั่วคราว มีความยาวของขนาดช่วงขนาดเดียวคือ 4.00 เมตร สะพานไม้มีมาตั้งแต่เริ่มสร้างทางรถไฟ แต่สะพานไม้มีปัญหาเรื่องการบำรุงรักษา คือ ขาดแคลนไม้เหลี่ยมที่จะนำมาเปลี่ยนแทนไม้เก่าที่ผุชำรุด ประกอบกับในปัจจุบันน้ำหนักบรรทุกของรถไฟนั้นเพิ่มขึ้น ขบวนรถไฟมีความเร็วเพิ่มขึ้น สะพานไม้จึงไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน จึงได้มีการยกเลิกการใช้สะพานไม้ไป

2.1.2.สะพานบวบราง (Rail Girder)

สะพานบวบรางเป็นสะพานชั่วคราว ใช้รางเหล็กเก่าขนาด 70ปอนด์ ประกอบขึ้นมาเป็นสะพานบวบราง สะพานบวบรางมีมากนางรถไฟสายใต้ สะพานบวบรางปกติใช้ความยาวช่วงสูงสุดเพียง 4 เมตรเท่านั้น การดูแลบำรุงรักษา เพียงแค่ตรวจสอบดูแลเครื่อง ยึดเหนี่ยวบวบราง และขันให้แน่นอยู่เป็นประจำเท่านั้น

2.1.3.สะพาน I-Beam,H-Beam และ Wide Flange

สะพาน I-Beam,H-Beam และ Wide Flange เป็นสะพานช่วงสั้นมีช่วงตั้งแต่ 2.5 เมตร – 6เมตร ตัว Girder (แม่แคร่) เป็นเหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูปตัว I ตัว H และเหล็ก Wide Flange ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบคือแท่นรองตอม่อใต้สะพานแตก สะพานมีการกระดกเวลารถไฟวิ่งผ่าน และมักมีรอยแตกเหลือ Flange

2.1.4.สะพานกระบะเหล็ก (Steel Slab Bridge)

สะพานกระบะเหล็กเหมาะสำหรับสร้างข้ามถนนรถยนต์ที่อยู่บริเวณในเมือง เพราะสามารถลดเสียงรบกวนได้ระดับหนึ่ง เนื่องจากมีหินโรยทางบนสะพาน นอกจากนี้ยังมีการป้องกันไม่ให้มีของตกหล่นจากสะพาน

2.1.5. สะพาน Deck Plate Girder

สะพาน Deck Plate Girder ปกติใช้กับสะพานขนาดช่วงตั้งแต่ 6-10 เมตร สะพาน Deck Plate Girder สามารถรองรับน้ำหนักโดยตรงจากตัวรถไฟ เหมาะในการสร้างข้ามห้วยที่มีความลึก เพราะสามารถหย่อนตัว Girder ลงไปได้โดยไม่กีดขวางพื้นที่ใช้สอยอื่นๆ

การบำรุงรักษาสะพาน Deck Plate Girder ต้องหมั่นทำความสะอาดและตรวจสอบรอยแตก และมีริเวทหลวมหรือไม่ และต้องมีการวางแผนทาสีสะพานรวมถึงปรับปรุงเป็นวาระ

2.1.6. สะพาน Through Plate Girder

สะพาน Through Plate Girder เป็นสะพานที่เหมาะกับการก่อสร้างข้ามคลองตื้น เป็นโครงสร้างสะพานที่ซับซ้อนกว่า Deck Plate Girders โดยน้ำหนักของรถไฟจะถ่ายลงชิ้นส่วน Stringer หรือคานยาว ซึ่ง Stringer จะถ่ายน้ำหนักลงสู่ Floor Beam หรือคานขวางอีกที จากนั้นจะถ่ายลงสู่ Main Girders และถ่ายลงสู่ตอม่อในที่สุด สะพานส่วนใหญ่จะมีขนาด 10,12,15และ 20 เมตร ปัญหาในการบำรุงรักษาตัวสะพาน Through Plate Girders คือ

1). Web และ Flange ของ Floor Beam บริเวณที่โดนน้ำจากสุขาของขบวนรถไฟ จะขึ้นสนิมและผุพัง ซึ่งต้องเสียงบประมาณในการซ่อมบำรุงเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันแก้ปัญหาโดยให้ส่วนของ Floor Beam ที่โดนน้ำมีแผ่นคลุมไว้

2). ที่ Lower Flange ของ Main Girders และ Lower Flange ของ End floor beam บริเวณจานรองสะพาน รวมทั้ง Guset Plate ของ Bracing ผุทะลุจนขาดจากกันเป็นประจำ เนื่องจากบริเวณดังกว่ามีสิ่งแปลกปลอมที่มีความชื้นหรือมีของแข็งมากระทบทำให้เกิดการผุพัง

3). ริเวทหลวมตามที่ต่างๆ เกิดจากการที่รถไฟวิ่งผ่านจะทำให้ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างมีความสั่นคลอน จนทำให้ตัวริเวทคลายตัวออก เพราะฉะนั้นจะต้องมีการตรวจสอบบริเวณดังกล่าวเป็นประจำ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

2.1.7. สะพาน Deck Truss

เหมาะสำหรับใช้สร้างสะพานข้ามห้วยที่มีความลึกมาก พื้นที่ใต้สะพานไม่มีการใช้สอย เพราะตัว Main Truss จะอยู่ต่ำกว่าระดับราง ปัญหาในการใช้งาน คือ การผุพังและริเวทหลวม เพราะฉะนั้นจะต้องมีการซ่อมบำรุงโดยการทาสี และตรวจสอบริเวทเป็นระยะๆ

2.1.8. สะพาน Through Truss

มีขนาดตั้งแต่ 10-90 เมตร แบ่งออกตามประเทศที่ผลิต ได้แก่ ประเทศอังกฤษ (บริษัท Claveland)ซึ่งมีมากที่สุด รองลงมาคือประเทศฝรั่งเศส (บรษัท Dayda) ต่อมาเป็นของประเทศญี่ปุ่น และเยอรมันเป็นสะพานทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทย

2.1.9.สะพาน Composite

คือสะพานที่ใช้ Composite Girders เป็น Main Girders ของสะพาน ตัวGirders จะเป็นเหล็ก ส่วนตัว Flange ของ Girders เป็นคอนกรีต โดยทั้งสองส่วนนี้จะถูกยึดไว้ด้วยสลักที่เรียกว่า Shear Connector

สะพาน Composite แบ่งตามน้ำหนักที่ให้ Girders ต้านทาน ได้สองชนิดคือ

-Composite เฉพาะ Live Load

-Composite ทั้ง Live Load และ Dead Load

2.1.10.สะพานหอ (Viaduct Bridge)

เป็นสะพานที่เหมาะกับภูมิประเทศเป็นหุบเขา หรือเหว มีในเส้นทางรถไฟสายเหนือ

2.1.11.สะพานกระบะคอนกรีตฝังรางเหล็ก

ขนาดช่วง 4 เมตร เป็นสะพานแผ่นพื้นคอนกรีตฝังรางเหล็กมีขอบกันหินรอบทั้ง 4 ด้านวางพาดหัวท้ายบนตอม่อคอนกรีตรองรับทางรถไฟ มีมากในเขตหาดใหญ่ ปัจจุบันคอนกรีตที่หุ้มรางเหล็กมีการหลุดออก แต่เป็นในส่วนที่ไม่ได้รับน้ำหนักดังนั้นจึงมีการซ่อมแซมโดยการทาสีกันสนิมที่ผิวเหล็ก

2.1.12.สะพานกระบะคอนกรีตเสริมเหล็ก (Rainforce Concrete Slab Bridge)

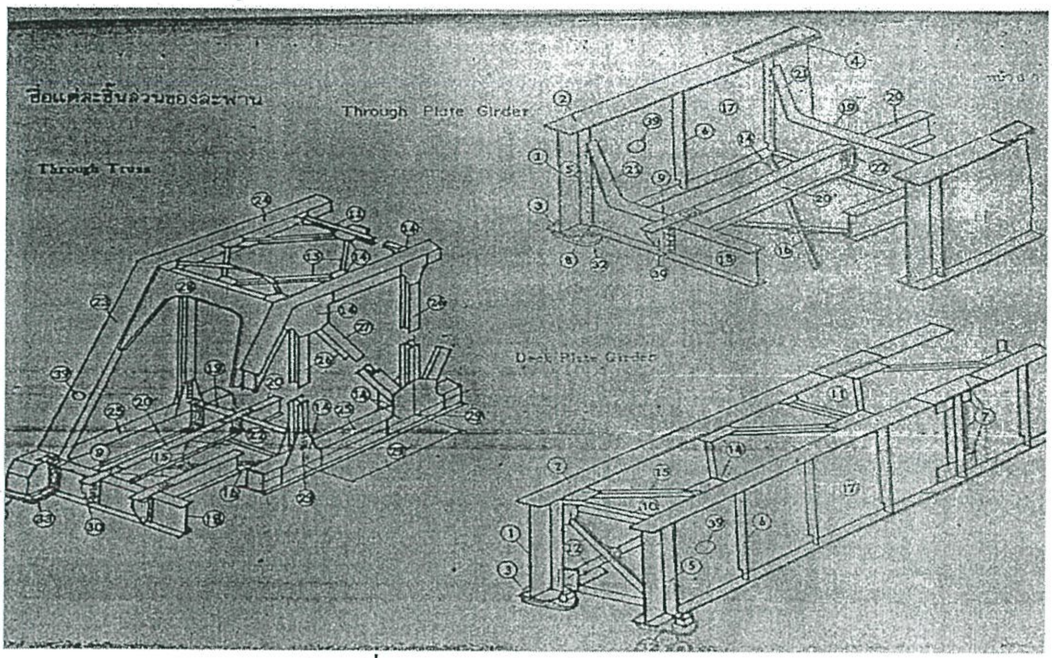
เป็นสะพานแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีขอบกันหินรอบทั้ง 4 ด้าน วางพาดหัวท้ายลงบนตอม่อคอนกรีต รองรับทางรถไฟ มีขนาดตั้งแต่ 3-6 เมตร

สะพานกระบะคอนกรีตเสริมเหล็กมีมากในทางรถไฟสายใต้

2.1.13.สะพานคอนกรีตอัดแรง (Prestress Concrete Bridge)

สะพานคอนกรีตอัดแรงได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกที่หัวหิน เมื่อปี พ.ศ.2521 มีขนาดตั้งแต่ 8,10,12 และ 15 เมตร

2.2. ชื่อชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพานและหน้าที่



รูปภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของสะพาน

จากรูปที่ 2.1 พบว่าสะพานสามารถแบ่งชิ้นส่วนต่างๆออกเป็น 40 ชิ้นส่วนด้วยกันดังนี้

2.2.1. แผ่นเหล็กเอว (Web Plate)

คือส่วนประกอบที่เป็นเอวของคานเมน มีหน้าที่ต้านทานแรงเฉือน (Shearing Force)

2.2.2.ปีกบน (Upper Flange)

ปีกบน คือส่วนประกอบที่เป็นปีกบนของคานเมน มีหน้าที่ต้านทานแรงอัด (Compressive Bending Moment)

2.2.3.ปีกล่าง (Lower Flange)

ปีกล่าง คือส่วนประกอบที่เป็นปีกล่างของคานเมน มีหน้าที่ต้านแรงดึง และโมเมนต์ (Tensile Bending Moment)

2.2.4.แผ่นเหล็กทับปีก (Cover Plate)

กรณีที่ต้องการให้ปีกของ คานเมน แข็งแรงขึ้น เพื่อต้านทานแรงดัดได้สูงขึ้น สามารถทำได้โดยการวางเพิ่มแผ่นเหล็กทับลงบนแผ่นเหล็กปีก (Flange Plate)(ถ้ามี) หรือ บนเหล็กฉากปีก (Flange Angle) แผ่นเหล็กที่วางทับลงไปนี้เรียกว่า “Cover Plate” (แผ่นเหล็กทับหลังปีก) แผ่นเหล็กทับหลังปีก มีมากที่สุดไม่เกิน 3 แผ่น

2.2.4.เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กเอวคดงอตัวริม (End Stiffener)

คือเหล็กฉากประกบสุดแผ่นเหล็กเอวของคานเมน มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เหล็กเอวคดงอ (Buckling) เหล็กฉากประกบแผ่นเหล็กเอว มีติดตั้งอยู่ที่เอวตำแหน่งต่างๆกัน สำหรับอันที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายสุด ตรงกับตำแหน่งของจุดรองรับคานเมน เรียกว่า เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กคดงอตัวริม (End Stiffener) End Stiffener นอกจากมีหน้าที่ป้องกันเอวของคานเมนมิให้เกินการคดงอแล้ว ยังทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากคานเมน ลงสู่จานรองสะพานอีกด้วย

2.2.5.เหล็กฉากกันแผ่นเหล็กเอวคดงอตัวใน (Intermediate Stiffener)

คือเหล็กฉากประกบส่วนในๆ ของแผ่นเหล็กเอว มีหน้าที่ป้องกันมิให้แผ่นเหล็กเอวคดงอ

2.2.6.เหล็กแผ่นประกับรอยต่อ (Splice Plate)

เมื่อต้องการต่อ Member ท่อนเดียวกันให้ยาวขึ้นโดยทั่วไปต่อโดยการประกบแผ่นเหล็กลงบนรอยต่อแล้วยึด Member ให้เป็นท่อนเดียวกันโดยรีเวท หรือ สลักเกลียวแรงสูง แผ่นเหล็กที่ประกบลงบนรอยต่อนี้ เรียกว่า เหล็กแผ่นประกบรายต่อ (Splice Plate) Splice Plate จะใช้ด้านเดียวหรือทั้ง 2 ด้านก็ได้

2.2.7.แผ่นเหล็กรองตีนสะพาน (Sole Plate)

เพื่อให้การถ่ายน้ำหนักจากคานเมน ลงสู่จานรองสะพานได้กระจายไปเท่าๆกัน จึงใส่แผ่นเหล็กหนาๆ ที่ระหว่างใต้คานเมนกับจานรองสะพานแผ่นเหล็กกันนี้เรียกว่า เหล็กแผ่นรองตีนสะพาน (Sole Plate)

2.2.8.แผ่นเหล็กรับแรงดัด (Moment Plate)

เป็นแผ่นเหล็กที่รอยต่อ มีหน้าที่คือรับแรงดัด (Bending Moment)

2.2.9. แกงแนงขวางริน (End Strut)

เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของแกงแนงตั้งริม กรณีไม่มีแกงแนงตั้งริม แกงแรงขวางริมก็เป็น Member อิสระอันหนึ่งมีหน้าที่ยึดคานเมน ซ้าย ขวา เข้าไว้ด้วยกัน

2.2.10.แกงแนงขวางใน (Intermediate Strut)

เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของ แกงแนงตัวใน กรณีไม่มีแกงแรงตัวใน แกงแนงขวางในก็เป็น Member อิสระอันหนึ่ง มีหน้าที่ยึดตรึง คานเมน ซ้ายขวาเข้าด้วยกัน

2.2.11.แกงแนงตั้งริม (End Sway Bracing)

เป็น Member อยู่ในส่วนปลายสุดของสะพานระหว่างคานเมนทั้งสอง มีหน้าที่ป้องกันมิให้สะพานเกิดการพลิกคว่ำ (Overturn) นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจาก แกงแรงราบบน ไปสู่จานรองสะพาน

2.2.12.แกงแนงตั้งใน (Intermediate Sway Bracing)

เป็น Member ที่อยู่ส่วนกึ่งกลาง หรือกลางๆสะพานระหว่าง คานเมน ทั้งสองมีหน้าที่กระจายน้ำหนักรถไฟที่มากระทำต่อ คานเมน ไปสู่คานเมน ซ้ายและขวา นอกจากนี้ยังมีหน้าที่รักษาเสถียรภาพ (Stability) ของคานเมนอีกด้วย

2.2.13. แผ่นเหล็กรวมจุดตัด (Gusset)

คือแผ่นเหล็กใช้เป็นแผงรวมจุดตัดของ Member ต่างๆของ Truss และหรือของแกงแนวราบ

2.2.15.แกงแนงราบบน (Upper Lateral Bracing)

2.2.16. แกงแนงราบล่าง (Lower Lateral Bracing)

เป็นโครง Truss วางนอนในแนวราบทางขวาง มีหน้าที่ต้านทานแรงด้านข้าง ได้แก่แรงลมและแรงLateral Force เป็นต้น ชุดที่ติดตั้งที่ปีกบน หรือ คอร์ดบน เรียกว่า แกงแรงราบบน และชุดที่ติดตั้งเรียกว่า แกงแนงราบล่าง

2.2.17. คานเมน (Main Girder)

คือคานที่ประกอบขึ้นเป็นหน้าตัดรูปตัวไอปีกบน, ปีกล่าง, และเหล็กแผ่นเอวเป็นองค์ประกอบใช้วางพาดระหว่างตอม่อริมฝั่ง(Abutments) และหรือตอม่อกลางน้ำ (Piers) คานเมนเป็น Member หลักของสะพานในการต้านทานน้ำหนักจากขบวนรถไฟ

2.2.18. คานขวางริม (End Floor Beam)

เป็น Member หนึ่งที่ประกอบกันขึ้นเป็นระบบพื้น (Floor System) ของสะพาน Truss หรือสะพานเหล็กแผงขึ้น คานขวางมีหน้าที่มีหน้าที่รับน้ำหนักจากรถไฟ โดยถ่ายมาจากคานตั้ง และจากคานขวางถ่ายไปสู่คานเมน คานขวางที่หัวและท้ายของสะพานเรียกว่า คานขวางริม (End Floor Beam)

2.2.19.คานขวางใน (Intermediate Floor Beam)

คานขวางตัวที่อยู่ถัดจากหัวและท้ายสะพานเข้าไปข้างในๆ เรียกว่า คานขวางใน (Intermediate Floor Beam)

2.2.20. คานตั้งริม (End Stringer)

เป็น Member หนึ่ง ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบพื้นของสะพาน Truss หรือสะพานเหล็กแผงขึ้น เป็นคานรองรับหมอนและรับน้ำหนักจากรถไฟโดยตรง และตัวมันเองถูกรองรับไว้โดยคานขวาง คานดังกล่าวนี้เรียกว่า คานดั้ง(Stringer) และคานตั้งที่อยู่ใน Panel แรกและ Panel สุดท้ายของสะพานเรียกว่า คานดั้งริม (End Stringer) ส่วนคานตั้งนอกจากนี้เรียกว่า คานตั้งใน

2.2.21.แกงแนงมุม (Knee Brace)

แกงแนงมุมมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้คานเมนของสะพานเหล็กแผงขึ้นหลิกหงาย (Overturn) แกงแนงมุม อาจจะสร้างโดยดัดปีกบนของคานขวาง ให้สูงขึ้นไป หรืออาจจะโดยติดตั้งโครงรูปสามเหลี่ยมที่บนปีกบนของคานขวาง ทำให้ความสูงของคานขวางสูงขึ้นไปเพื่อยึดตรึงคานเมนไว้

2.2.22. เหล็กฉากยึดตรึง (Connection Angle)

เหล็กฉากที่ใช้เป็น Joint รูปตัว T เรียกว่า เหล็กฉากยึดตรึง (Connection Angle) จากตัวอย่างในรูป เหล็กฉากยึดตรึง มีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากคานตั้ง ไปสู่คานขวาง

2.2.23. เสาริม (End Post)

เป็น Member ตั้งอยู่ที่หัวและท้ายของ Main Truss ของสะพาน Truss ที่ระหว่างเสาริมจะติดตั้งซุ้มประตู เพื่อให้ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักเนื่องจากแรงลมกระทำที่คอร์ดบน ไปสู่ Shoes

2.2.24. คอร์ดบน (Upper Chord)

คือ Member แนวนอนตัวบนของ Main Truss สำหรับกรณีของ Simple Truss ตามรูปคอร์ดบน มีหน้าที่ต้านทานแรงอัด (Compression)

2.2.25. คอร์ดล่าง (Lower Chord)

คือ Member แนวนอนตัวล่างของ Main Truss สำหรับกรณีของ Simple Truss ตามรูป คอร์ดล่างมีหน้าที่ต้านทานแรงดึง

2.2.26.เมมเบอร์ตั้งดิ่ง (Vertical Member)

เป็น Member ตัวที่ตั้งอยู่ในแนวตั้งดิ่งของ Main Truss

2.2.26.เมมเบอร์หิ้ว (Hip Vertical or Hanger)

เป็น Member หนึ่งที่ตั้งอยู่ในแนวตั้งดิ่งของ Main Truss เหมือนกัน แต่ไม่ได้ทำหน้าที่รับแรงในฐานะ Truss คงทำหน้าที่เพียงถ่ายน้ำหนักจาก คานขวางไปสู่จุดตัดบนของ Truss เท่านั้น

2.2.27.เมมเบอร์ตั้งเอียง (Diagonal Member)

เป็น Member ที่ประกอบขึ้นเป็น Main Truss มีหน้าที่ต้านทานแรงเฉือน (Shearing Force) ที่กระทำต่อ Main Truss และขึ้นอยู่กับตำแหน่งของน้ำหนักที่มากระทำเมมเบอร์ตั้งเอียงบางตัวจะรับเฉพาะแรงดึงอย่างเดียวหรือเฉพาะแรงอัดอย่างเดียวก็มีและรับทั้งแรงดึงแรงอัดสลับกันไปก็มี

2.2.28.ซุ้มประตู (Portal)

เป็น Member ที่มีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักที่เกิดจากแรงลมกระทำที่คอร์ดบนลงสู่ Shoes โดยหลักการซุ้มประตูต้องติดตั้งที่เสาริม นอกจากหน้าที่ดังกล่าวแล้ว ซุ้มประตู ยังมีความจำเป็นสำหรับเสถียรภาพ (Stability) ของ Truss ในทาง Lateral อีกด้วย

2.2.29.จุดตัดรวมเส้นแนวแกน (Panel Point)

จุดที่เส้นตามแนวแกนของ Member ของ Truss มารวมกันเรียกว่า จุดตัดรวมเส้นแนวแกน (Panel Point) จะถูกยึดติดไว้กับ Gusset โดยรีเวทหรือ สลักเกลียวแรงสูง

2.2.30.ท้าวแขน (Bracket)

เป็นส่วนที่ยื่นออกไปจากสะพาน เรียกว่า ท้านแขวน สะพานเหล็กโครงขึ้น และสะพานเหล็กแผงขึ้น จะติดตั้ง Bracket ระหว่างคานขวางริมกับผนังกั้นหินของตอม่อริมฝั่ง หรือระหว่างคานขวางริมของสะพานช่วงหนึ่งกับคานขวางริมของสะพานช่วงถัดไป สำหรับสะพานเหล็กโครงขึ้นนั้น ถือเป็นหลักว่าต้องมีท้าวแขนเสมอ แต่สำหรับสะพานเหล็กแผงขึ้นที่เป็นสะพานเฉียงและมุมเฉียงแคบมาก กรณีเช่นนี้ไม่มีการใส่ท้าวแขนเหมือนกัน

2.2.31. สมอยึด (Shear Connector)

กรณีของสะพานเหล็กแผ่นพื้นคอนกรีต สมอยึดเป็น Member มีหน้าที่ถ่ายเทแรงเฉือน (Shearing Force) ระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตกับแม่แคร่เหล็ก

2.2.32.รองเท้า (Shoes)

รองเท้ามีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักของสะพานจากคานเมนหรือ Main Trussลงสู่ตอม่อริมฝั่งตอม่อกลางแม่น้ำ

2.2.33.ลูกกลิ้ง (Rollers)

Rollers คือเหล็กลูกกลิ้งใส่ได้ Moveable Shoes เพื่อให้ Moveable Shoes เคลื่อนที่ได้สะดวกขึ้น

2.2.34. แผ่นพื้น (Slab)

เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ตามรูป กรณีเททับลงบน Composite Girder มีหน้าที่รองรับทางรถไฟและทำหน้าที่เป็น Compression Flange ของ Main Girder ด้วย

2.2.35.ผิวแผ่นพื้น (Pavement)

เพื่อป้องกันรักษาวัสดุกันซึม จึงเทผิวพื้นทับไว้ข้างบน

2.2.36.วัสดุกันซึม (Water proof Mambrance)

มีไว้เพื่อป้องกันมิให้น้ำฝนไหลลงสู่แผ่นพื้น

2.2.37. แผงกันหิน (Ballast Stopper)

มีหน้าที่ป้องกันมิให้ล้นตกสะพาน

2.2.38. บัว (Coping)

เป็นขอบคอนกรีต ไว้สำหรับตีเส้นขอบทาง และป้องกันรถยนต์ตกสะพานด้วย

2.2.39. ป้ายชื่อ (Name Plate)

เป็นแผ่นป้าย บอกเลขที่แบบของสะพาน น้ำหนักจรใช้ออกแบบของสะพาน ผู้ผลิตและวันเดือนปีที่ผลิตของสะพาน คิดไว้ในระดับที่สายตามองเห็นง่าย

2.2.40. สมอยึดพื้น (Slab Anchor)

เป็นสมอยึด แผ่นพื้นติดกับส่วนบนของ Steel Girder ปกติใช้เหล็กเสริมเชื่อมติด Girder แล้วพับงอขึ้นก่อนเทคอนกรีตทับ

2.3. การคำนวณหากำลัง(capacity)ของสะพานเหล็ก

การคำนวณหากำลังของสะพานเหล็กมีขั้นตอนมากพอสมควรดังนี้ คือ

2.3.1. งานสำรวจ

2.3.1.1. งานสำรวจเตรียมการ

คือการเตรียมการในออฟฟิศ ได้แก่ การค้นหาแบบ ดูประวัติว่าเป็นสะพานชนิดใด รูปร่างแบบไหน ออกแบบโดยน้ำหนักเพลาอะไร ติดตั้งเมื่อปีไหน และปัจจุบันขนาดรถจักรที่ใหญ่ที่สุดที่วิ่งผ่านสะพานนี้คือยี่ห้ออะไร เหล่านี้เป็นต้น

2.3.1.2. งานสำรวจในสนาม

งานสำรวจในสนามคือการออกไปสำรวจเพื่อหาข้อมูลที่สะพานจริงๆ ข้อมูลที่จะหามีดังต่อไปนี้คือ

(1) Check ดูว่าตรงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเตรียมการหรือไม่

(2) วัดหน้าตัดของ members ที่จำเป็นต้องใช้คำนวณหากำลังของสะพานดังต่อไปนี้คือ

(a) วัดขนาดช่วง (Effective Span) ของสะพาน การวัด Effective Span ถ้าเป็นสะพานที่มี End Stiffener หรือ Shoes ก็สามารถวัดได้โดยง่าย คือถือเอาสะพานระหว่าง rivet ของ stiffener (กรณี Angle เดี่ยว) และระยะระหว่างสันของ Angle (กรณีAngle คู่) และระยะระหว่างศูนย์กลางของ Shoes ตามลำดับ แต่ถ้าเป็นสะพานที่ไม่มีสิ่งดังกล่าวแล้ว ให้ถือเอาระยะระหว่าง c to c ของ Sole Plate

(b) วัดความยาวตลอด (Overall Length)ของสะพาน วัดตามความยาวตลอด Main Girder

(c) วัด c to c ของ Main Girder

(d) วัด c to c ของ Floor Beam

(e) วัด c to c ของ Stringer

(f) วัดความสูงของ Girder กรณีของ Built up section คือระยะจากหลังถึงหลังของ Upper และ Lower Flange Angle

(g) วัดความยาวของ Cover Plate และตำแหน่งที่ปลายสุดของแต่ละแผ่น

(h) วัดระยะระหว่างจุก Fixed ของ Compression Flange

(i) วัดหน้าตัดของ Main Members ได้แก่หน้าตัดของ

-Main Girder

-Floor beam

-Stringer

(j) วัดขนาดของหัวรีเว็ท เมื่อทราบขนาดของหัวรีเว็ทแล้ว ให้หาขนาดของตัวรีเว็ทได้จากตารางข้างล่าง

(ก) เมื่อรีเว็ทมีหน่วยเป็น มม.

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงขนาด diameter ของรีเว็ทเมื่อรีเว็ทมีหน่วยเป็น มม.

Diameter ของหัวรีเว็ท (มม.)	Diameter ของตัวรีเว็ท (มม.)
26	16
30	19
35	22
40	25

(ข) เมื่อรีเว็ทมีหน่วยเป็น นิ้ว

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงขนาด diameter ของรีเว็ทเมื่อรีเว็ทมีหน่วยเป็น นิ้ว

Diameter ของหัวรีเวท (มม.)	Diameter ของตัวรีเวท (มม.)
27	16
32	19
37	22
40	25

(k) จุด Spliceวัดขนาดของ Splice Plate, ตำแหน่งที่ตั้ง Splice, จำนวน, Line และ Pitch ของรีเว็ทใน Splice

(L) Connectionวัดขนาดหัวและนับจำนวนของรีเว็ท

(m) รีเว็ทที่ย้ำสลับกัน Stagger ของ Tension Flange หรือ Tension Member วัดระยะหางของ Rivet liner และ Pitch

(n) รอยผุกร่อน,ผุทะลุให้วัดตำแหน่งที่ตั้ง, ความกว้าง, ความยาว, และความลึกของแผลผุกร่อน, ผุทะลุ

(o) น้ำหนักทางรถไฟตรวจสอบขนาดรางม เครื่องยึดเหนี่ยว, ไม้หมอน, Packing Plate, Hook bolts และรางคัน

(p) น้ำหนักของตัว Girderหาได้จากแบบ หรือ Table คู่มือการออกแบบ

(q) ทางเดินเท้า สิ่งของพาดวางอย่างอื่น ให้ตรวจดูตำแหน่งที่วางและประมาณน้ำหนัก

(r) ระยะเคลื่อน (Eccentric Distance) ของศูนย์กลางทางรถไฟกับศูนย์กลางของสะพาน

(s) รัศมีความโค้ง และลาด

2.3.2 งานคำนวณ

เมื่อได้ข้อมูลตามข้อ 4.1 แล้วให้ดำเนินการคำนวณค่า Equivalent-DL ที่น้อยที่สุดของสะพานนั้น ตำแหน่งที่ต้องคำนวณหาค่า Equivalent-DL ได้แก่ที่

(1) หน้าตัดดึ่งกลาง (mid-span) ของ Main Girder

(2) หน้าตัดที่ถัดจากหางของ Cover Plate ของ Main Girder

(3) หน้าตัดที่เกิด Corrosion

(4) Splice ของ Main Girder

(5) หน้าตัดของ Stringer และ Connerction

(6) หน้าตัดของ Floor Beam และ Connection

2.3.3 หน่วยแรงอนุญาต (Allowable stress)

หน่วยแรงอนุญาตในที่นี้จะแบ่งออกเป็นของ รฟท. และรฟญ. ดังต่อไปนี้คือ

2.3.3.1 หน่วยแรงอนุญาตของ รฟท.

(1) สำหรับสะพานซื้อปี 2453 และก่อนหน้านั้น

-คิด 80% สำหรับTension และ Compression

(2) สำหรับสะพานซื้อปี 2454-2503

-คิด 90% สำหรับTension และ Compression

(3) สำหรับสะพานซื้อปี 2504-ปัจจุบัน

-คิด 100% สำหรับTension และ Compression

2.3.3.2ใหน่วยแรงอนุญาตของ รฟญ.

หน่วยแรงอนุญาตสำหรับใช้คำนวณหาความสามารถของสะพานเหล็กเก่าใช้เท่ากับผลคูณของ coefficient แสดงในตารางที่2.3 กับหน่วยแรงอนุญาตที่แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดง coefficient ใช้ลดค่าของหน่วยแรงอนุญาตในตารางที่ 2

ปีที่ติดตั้ง	Compression	Tension, Shear, Shear and Bearing of Rivets
ก่อน พ.ศ.2433	90%	75%
2444-2493	95%	90%
2494-ปัจจุบัน	100%	100%

ตารางที่2.4 แสดงหน่วยแรงอนุญาต (Kg/cm²)

<table>
<tr><td colspan="3">Steel Material
SS 41</td></tr>
<tr><td colspan="3">Rivet
SV 34</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Axail
Stress</td><td colspan="2">Tensile Stress (Net Section)
1300</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Compression steel
(Cross section)</td><td>กรณี 0<L/r<110
เท่ากับ 1200-0.05(L/r)²</td></tr>
<tr><td>กรณี L/r□110
เท่ากับ 7200000/(L/r)²</td></tr>
<tr><td>Bending
Stress</td><td colspan="2">Tensile Stress (Net Section)
1300
Compressive Stress (Gross Section)
1200-0.5(L/r)²</td></tr>
<tr><td>Shearing
Stress</td><td colspan="2">Plate (Cross section)
800
Plate (Net Section)
1000
Shop Rivet
1000
Field Rivet</td></tr>
</table>

	800
Bearing Stress	Shop Rivet 2200 Field Rivet 1800 Pin Hole 1600

หมายเหตุ กรณีของ Bending Stress

L คือ ระยะระหว่างจุด Fixed ของ Compression Flange

-สำหรับสะพาน DR หรือ Stringer คือระยะระหว่างPanel ของ Upper Lateral Bracing

-สำหรับสะพาน TP คือระยะระหว่าง c to c ของ Floor Beam และสำหรับ Floor Beam คือระยะระหว่าง c to c ของ Stringer

b คือ ความกว้างของ compression Flange

2.3.4 อัตราหน้าตัดประสิทธิผล (Effective section Ratio)

กรณีที่หน้าตัดของ Member ลดน้อยลงเนื่องมาจาก Corrosion ให้คำนวณหาอัตราหน้าตัดประสิทธิผลจากสูตรต่อไปนี้ คือ

(1) Compression และ Shearing Force (For Cross Section)

$$K_g = \frac{\text{เนื้อที่หน้าตัดตอนออกแบบ} - \text{เนื้อที่หน้าตัดที่หายไปเนื่องจากการกัดกร่อน}}{\text{เนื้อที่หน้าตัดตอนออกแบบ}}$$

(2) Tension และ Shearing Force (for net section)

$$K_n = \frac{\text{เนื้อที่หน้าตัดตอนสุทธิออกแบบ} - \text{เนื้อที่หน้าตัดที่หายไปเนื่องจากการกัดกร่อน}}{\text{เนื้อที่หน้าตัดตอสุทธินออกแบบ}}$$

2.3.5 Resisting Forces of Members

(1) Bending Moment

$$Mrc = \sigma ca \frac{I}{y} K_g$$

$$Mrt = \sigma ta \frac{I}{y} K_n$$

Mrc คือ Compressive Resisting Bending Moment of section (Kg-m)

Mrt คือ Tensile Resisting Bending Moment of section (Kg-m)

σca คือ Allowable Compressive Stress (kg/m²)

σra คือ Allowable Tendile Stress (kg/m²)

I คือ Moment of Inertia รอบแกนกลางของหน้าตัดตอนออกแบบ (cm^4)

Y_c คือ ระยะจากแกนกลางของหน้าตัดตอนออกแบบถึงขอบบนสุดของ Compression Flange (cm.)

Y_t คือ ระยะจากแกนกลางของหน้าตัดตอนออกแบบถึงขอบบนสุดของ Tension Flange (cm.)

Ag คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของ Flange ตอนออกแบบ (cm²)

An คือ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ (หักรูรีเว็ทออกแล้ว)ของ Flange ตอนออกแบบ (cm²)

K_g คือ อัตราหน้าตัดประสิทธิผลของด้านที่รับแรงอัด

K_n คือ อัตราหน้าตัดประสิทธิผลของด้านที่รับแรงดึง

(2) Axial Force

$$Nrc = \sigma ca A_g \quad Kg.$$

$$Nrt = \sigma ta A_n \quad Kg.$$

Nrc คือ Compressive Resisting Axial Force of Compression Member (Kg.)

Nrt คือ Tensile Resisting Axial Force of Tension Member (Kg.)

A_g คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของ Member ตอนออกแบบ (cm²)

A_n คือ เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ (หักรูรีเว็ทออกแล้ว)ของ Member ตอนออกแบบ (cm²)

K_g คือ อัตราหน้าตัดประสิทธิผลของ Compression Member

K_n คือ อัตราหน้าตัดประสิทธิผลของ Tension Member

(3) Shearing Force

$$Sr=tga*Ag*K_g$$

tga คือ หน่วยแรงเฉือนอนุญาต (คิดต่อหน้าตัดทั้งหมด)

A_g คือ เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของ Web Plate ตอนออกแบบ (cm²)

K_g คือ อัตราหน้าตัดประสิทธิผลของ Web Plate

2.3.6. น้ำหนัก

น้ำหนักที่จำเป็นต้องใช้เพื่อนวณหากำลังของสะพานเหล็กมีดังนี้ คือ Dead load, Live load, Impact load, Wind load และ Centrifugal force

(1) Dead load ใช้ผลที่ได้จากการสำรวจในออฟฟิศและการสำรวจในสนาม

(2) Live load ใช้ Loading มาตรฐาน DL-16

(3) Impact load เท่ากับ Live load คูณด้วยค่า i

i คือ Impact Coefficient หาได้จากสูตรต่อไปนี้คือ

$$i=0.7-\frac{L^2}{4000} \quad (\text{เมื่อ } L \leq 30 \text{ ม.})$$

$$i=0.14+\frac{10}{L} \quad (\text{เมื่อ } L \; \square \; 30 \text{ ม.})$$

(4) Wind load คิดเฉพาะกรณีที่จำเป็นจริงๆเท่านั้น

(5) Centrifugal Force เท่ากับ Live load คูณด้วยค่า Coefficient ในตารางดังนี้

ตารางที่2.5 แสดงค่า Coefficient ตัวคูณของ Centrifugal force

รัศมีของโค้ง (ม.)	Coefficient
ต่ำกว่า 1000	0.12
1000 - 2000	0.08
เกินกว่า 2000	0

2.3.7.ค่า Equivalent DL. ของสะพานที่อยู่ในทางตรง

1). กรณีของ Bending Moment

$$\text{Equivalent DL} = \frac{\text{Mr-Md}}{\text{MI20+Mi20}} \text{x16} \qquad (4.8)$$

2). กรณีของ Axial Force

$$\text{Equivalent DL} = \frac{\text{Nr-Nd}}{\text{NI20+Ni20}} \text{x16} \qquad (4.9)$$

3). กรณีของ Shearing Force

$$\text{Equivalent DL} = \frac{Sr-Sd}{SI20+Si20} \times 16 \qquad (4.10)$$

ซึ่งค่า

-Mr , Nr และ Sr คือ ค่าต้านทานโมเมนต์ , ค่าต้านทานแรงแนวแกน , ค่าต้านทานแรงเฉือน ตามลำดับ

-Md , Nd และSd คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ , แรงตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่, แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ ตามลำดับ

-MI20 , NI20 และSI20 คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก20ตัน,แรงตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก20ตัน,แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก20ตันตามลำดับ

-Mi20 , Ni20 และSi20 คือ โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักกระแทก, แรงตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักกระแทก ,แรงเฉือนเนื่องจากน้ำหนักกระแทก ตามลำดับ

2.3.8.อัตราความทนทานที่แท้จริงของสะพาน (Effective Strength Ratio)

1). กรณีของสะพานที่ไม่มีส่วนชำรุด

เมื่อทราบค่า Equivalent DL ของสะพานและค่า Equivalent DL ของหัวรถจักรที่วิ่งข้ามสะพานแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาค่าของอัตราความทนทานแท้จริงของสะพานต่อขบวนรถที่จะวิ่งข้ามสะพานนั้นได้ดังต่อไปนี้คือ

ให้ β เป็นอัตราความทนทานที่แท้จริงของสะพาน

$$\beta = \frac{\text{Equivalent DLของสะพาน}}{\text{Equivalent DLของรถจักรที่วิ่งผ่านสะพาน}} \times 100\% \geq 80\% \qquad (11.1)$$

ค่าของ β ที่หาได้จากสูตร 11.1 จะต้องมีค่ามากกว่า 80% ขึ้นไปจึงจะถือว่าสะพานมั่นคงแข็งแรง และอนุญาตให้ขบวนรถวิ่งผ่านด้วยความเร็วปกติได้

และถ้าอยากทราบว่าเมื่อขบวนรถวิ่งผ่านสะพาน จะมีค่า Factor of Safety (F.S) เท่าใด สามารถหาได้จากสูตร

$$F.S = 1.25\beta \geq 1 \qquad (11.2)$$

F.S จะต้องมีค่าตั้งแต่ 1 ขึ้นไปจึงจะถือว่าสะพานมั่นคงแข็งแรงและอนุญาตให้ขบวนรถวิ่งผ่านด้วยความเร็วปกติได้

และถ้าอยากจะทราบว่าเมื่อขบวนรถวิ่งผ่านสะพานจะเกิด Actual Stress เนื่องจาก Dead Load , Live Load, และ Impact Load สามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\sigma(d+l+i) = \frac{\sigma a}{\beta} \leq 1.25\sigma a \qquad (11.3)$$

ในสูตรที่ 11.3

σ(d+l+i) คือ Actual Stress ที่เกิดขึ้นในสะพานเนื่องจาก Dead Load , Live Load , Impact Load σa คือ Allowable Stress ที่ใช้ออกแบบสะพาน

2.4. วิวัฒนาการของน้ำหนักเพลามาตรฐานที่ใช้ออกแบบสะพานของ รฟท.

2.4.1.น้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน (แบบเลขที่ 1965)

น้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965 ได้ใช้ออกแบบสะพานรถไฟระหว่างปี พ.ศ.2455-2477 การจัดวางเพลาและน้ำหนักกดต่อเพลาแบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

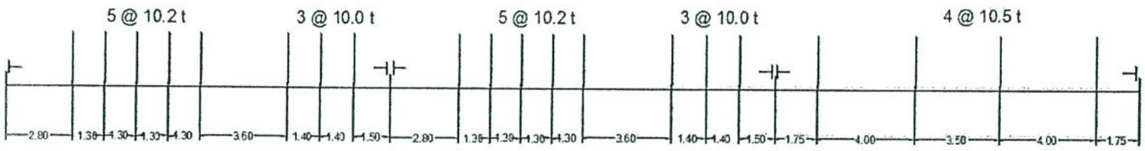
-กรณีที่ 1 หัวรถจักรวิ่งตามกัน

-กรณีที่ 2 หัวรถจักรท้ายชนกันวิ่ง

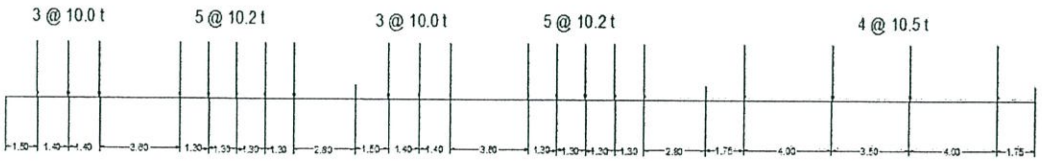
-กรณีที่ 3 หัวรถจักรหัวชนกันวิ่ง

ดังแสดงในรูป

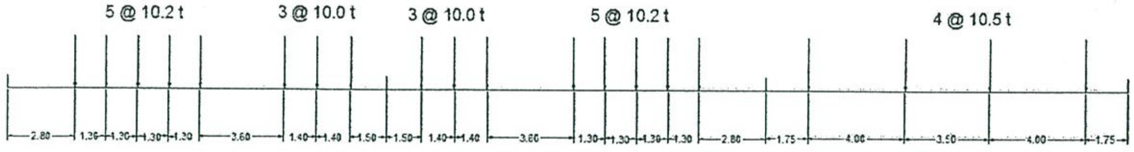
-กรณีที่ 1 หัวรถจักรวิ่งตามกัน



-กรณีที่ 2 หัวรถจักรท้ายชนกันวิ่ง



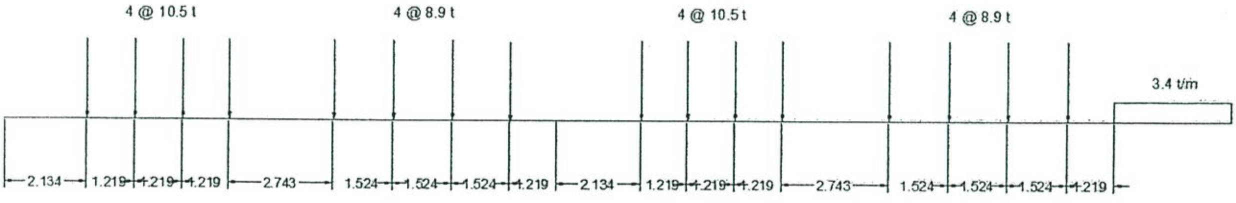
-กรณีที่ 3 หัวรถจักรหัวชนกันวิ่ง



รูปที่2.2 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965 (ใช้ออกแบบสะพานระหว่างปี พ.ศ.2455-2477)

2.4.2.น้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน (ตามแบบที่ 1965-2)

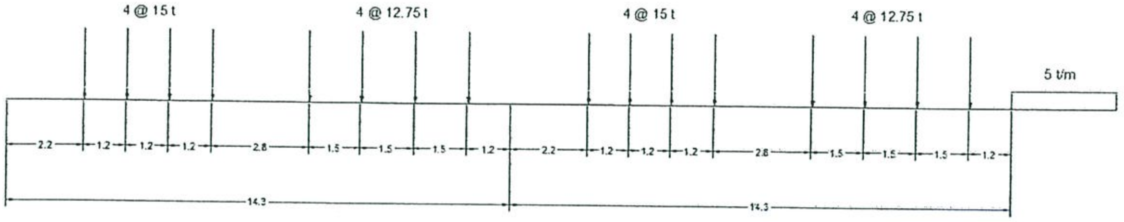
น้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965-2 นี้ เหมือนกับน้ำหนักเพลามาตรฐานของประเทศอังกฤษ ได้นำเข้ามาใช้ออกแบบสะพานรถไฟไทยระหว่างปี พ.ศ. 2477-2489 การจัดวางเพลาและน้ำหนักกดต่อเพลาดังแสดงในรูป



รูปที่2.3 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน 10.5 ตัน ตามแบบเลขที่ 1965-2 (ใช้ออกแบบสะพานระหว่างปี พ.ศ.2477-2489)

2.4.3.น้ำหนักเพลามาตรฐาน S-15 (แบบเลขที่ 1965-8)

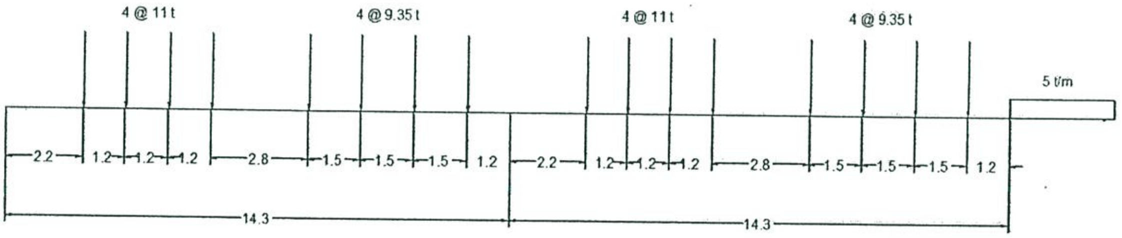
น้ำหนักเพลามาตรฐาน S-15 ตามแบบเลขที่ 1965-8 ได้ใช้ออกแบบสะพานรถไฟไทยระหว่างปี พ.ศ.2489-2518 การจัดวางเพลาและน้ำหนักกดต่อเพลาดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.4 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน S-15 ตามแบบเลขที่ 1965-8 (ใช้ออกแบบสะพานระหว่างปี พ.ศ.2489-2518)

2.4.4.น้ำหนักเพลามาตรฐาน S-11 (แบบเลขที่ 1965-12)

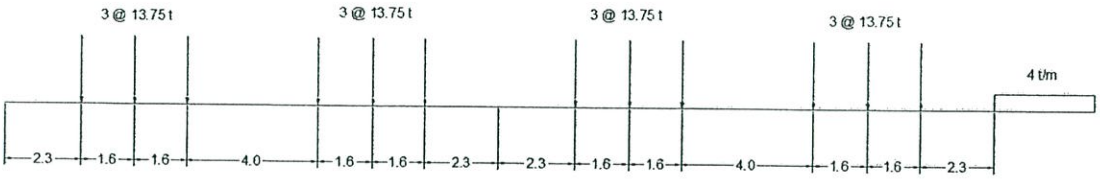
น้ำหนักเพลามาตรฐาน S-11 ไม่ได้ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับออกแบบสะพาน แต่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการจัดซื้อรถจักรเท่านั้น มีน้ำหนักกดต่อเพลาเป็น 11/15 ของน้ำหนักเพลามาตรฐาน S-15 ดังแสดงในรูป



รูปที่2.5 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน S-11 (ใช้ในการจัดซื้อหัวรถจักรระหว่างปี พ.ศ.2489-2518)

2.4.5.น้ำหนักเพลามาตรฐาน 13.75 ตัน (แบบเลขที่ 1965-21)

เมื่อปี พ.ศ.2512 สำนักงาน UKRAS แห่งประเทศอังกฤษได้ให้ความช่วยเหลือ ส่งผู้เชี่ยวชาญมาทำการสำรวจสะพานเหล็กของการรถไฟฯ จำนวน 385 แห่ง คิดเป็นจำนวนช่วงเท่ากับ 499 ช่วง เพื่อกำหนดน้ำหนักเพลามาตรฐานให้แก่การรถไฟฯ ดังแสดงในรูป (แต่ยังไม่ปรากฏว่าการรถไฟฯ ได้อนุมัติให้เป็นน้ำหนักมาตรฐานใช้ออกแบบสร้างสะพานแต่อย่างใด)



รูปที่ 2.6 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน 13.75ตัน (เสนอโดย UKRAS เมื่อปี พ.ศ.2512)

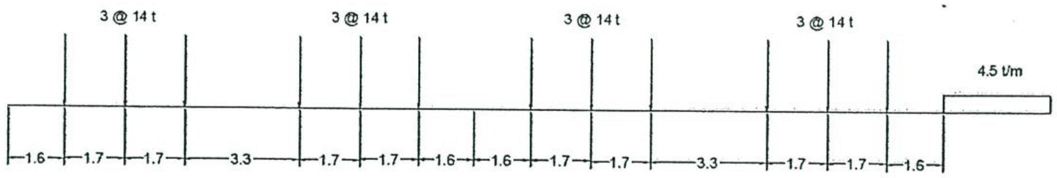
2.4.6.น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 (แบบเลขที่ 1965-23)

เมื่อปี พ.ศ.2514 ECAFE (ESCAPในปัจจุบัน) ได้ขอความช่วยเหลือไปยังรัฐบาลญี่ปุ่นให้ส่งผู้เชี่ยวชาญมาช่วยสำรวจสะพานเหล็กในการรถไฟฯ ของประเทศไทย,มาเลเซียและอินโดนีเซียและกำหนด น้ำหนักเพลามาตรฐานสำหรับใช้ออกแบบสะพานทั้ง 3 ประเทศนี้เสียใหม่ ทั้งนี้เพราะ ECAFE มีความเห็นว่าประเทศทั้ง 3 นี้ ได้เปลี่ยนมาใช้รถจักรดีเซลแทนรถจักรไอน้ำเรียบร้อยแล้ว แต่น้ำหนักเพลามาตรฐานสำหรับใช้ออกแบบสะพานยังคงใช้น้ำหนักมาตรฐานที่จัดวางเพลาและน้ำหนักกดต่อเพลาแบบของรถจักรไอน้ำอยู่

ต้นปี พ.ศ.2515 รัฐบาลญี่ปุ่นได้ตอบสนองความต้องการของ ECAFE โดยส่ง Dr.H. Abe และคณะประกอบด้วย Mr. T. Nagakura กับ Mr. E. Kurakawa มาทำการสำรวจสะพานและล้อเลื่อนในประเทศทั้ง 3 และเสนอรายงานผลการสำรวจให้ ECAFE เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ.2517 ในรายงานผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่นได้เสนอให้การรถไฟฯ ของประเทศทั้ง 3 นำใช้น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 ดังแสดงในรูปที่..... และการรถไฟไทยได้อนุมัติให้ใช้น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 นี้เมื่อปี พ.ศ.2518 ในขอบเขตดังนี้คือ

(1) ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดสำหรับรถจักรที่จะจัดซื้อใหม่

(2) ใช้สำหรับตรวจเช็คสะพาน ถ้าสะพานใดมีกำลังสามารถรับน้ำหนักเพลามาตรฐานได้ก็ถือว่ามั่นคงแข็งแรง แต่ถ้ารับไม่ได้ถือว่าอ่อนแอและต้องเสริมกำลัง การเสริมกำลังให้เสริมให้แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 ตามข้อ 5.7 ได้ (ปรากฏว่ามีสะพานเหล็กต้องเสริมกำลังทั้งหมดจำนวน 214 ช่วง ปัจจุบันได้ดำเนินการไปเกือบหมดแล้ว)



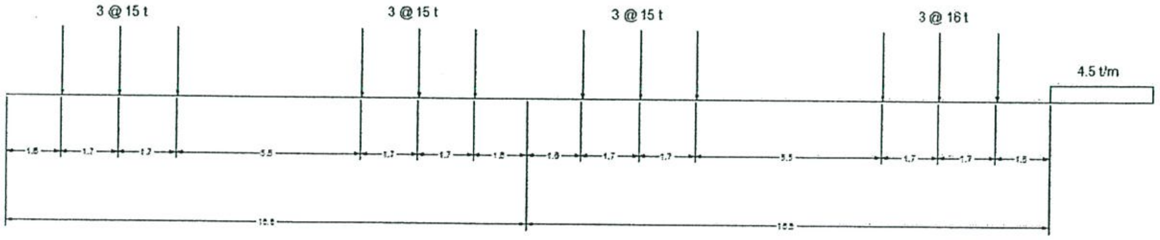
รูปที่ 2.7 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 ตามแบบเลขที่ 1965-23 (ใช้จัดซื้อและ CHECK กำลังของสะพานตั้งแต่พ.ศ.2518)

2.4.7.น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 (แบบเลขที่ 1965-24)

น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 จัดเรียงเหมือนกับ น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-14 ต่างกันที่น้ำหนักกดต่อเพลาเท่านั้น โปรดดูรูปที่.... น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 การรถไฟฯ ได้อนุมัติให้ใช้เมื่อพ.ศ.2518 โดยมีขอบเขตใช้ดังนี้คือ

(1) สะพานเหล็กที่รับน้ำหนักมาตรฐาน DL-14 ไม่ได้ให้เสริมกำลังเป็นรับน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15

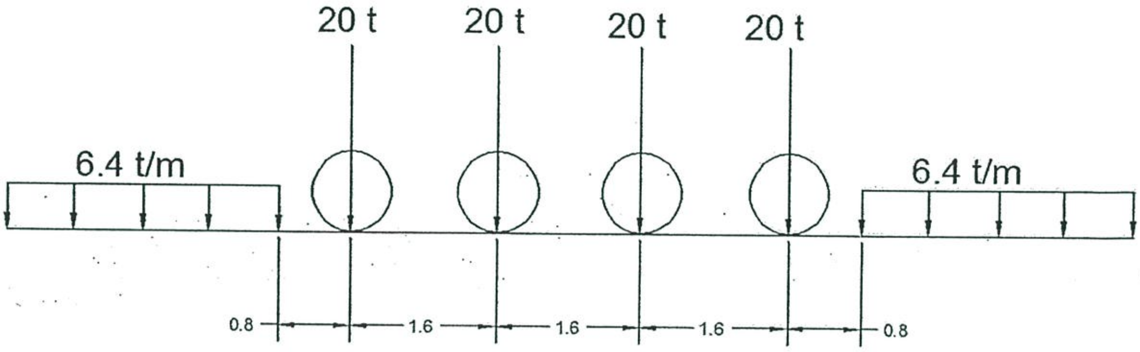
(2) สะพานที่จะออกแบบใหม่ (ยกเว้นช่วง บช.-ฉท.และสายสัตหีบ) ให้ออกแบบโดยน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15



รูปที่ 2.8 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-15 ตามแบบเลขที่ 1965-24 (ใช้ออกแบบสะพานและเสริมกำลังสะพานตั้งแต่ปีพ.ศ.2518)

2.4.8.น้ำหนักเพลามาตรฐาน UIC-20 (แบบเลขที่ 1965-25)

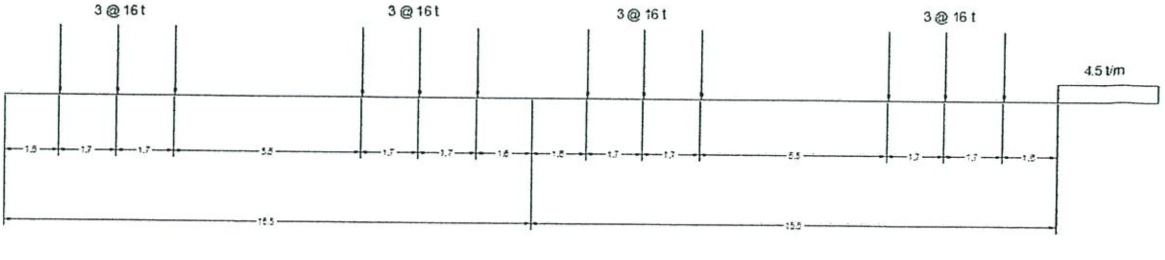
น้ำหนักเพลามาตรฐาน UIC-20 ดังแสดงในรูปที่..... เป็นน้ำหนักเพลาที่จัดวางเพลาแบบที่ประเทศในทวีปยุโรปใช้กัน การรถไฟฯ ได้อนุมัติเมื่อปี พ.ศ.2523 ให้ใช้กับการออกแบบสะพานช่วงระหว่าง บช.-ฉท. และทางรถไฟสายสัตหีบ



รูปที่ 2.9 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน UIC-20 ตามแบบเลขที่ 1965-25 (ใช้ออกแบบสะพานระหว่าง บช.-ฉท.และสายสัตหับตั้งแต่ปีพ.ศ.2523)

2.4.9.น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-16 (มาตรฐานล่าสุด)

เมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ.2529 ได้มีการประชุมวิศวกรอำนวยการและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง ที่ห้อง วญช. เพื่อพิจารณาเพิ่มน้ำหนักกดต่อเพลา เนื่องจากมีแนวโน้มว่าการลากจูงขบวนรถยาวขึ้นและความเร็วของขบวนรถก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 125 กม./ชม. ผลการประชุมตกลงให้เปลี่ยน น้ำหนักเพลามาตรฐานสำหรับออกแบบและเสริมกำลังสะพานจาก DL-15 เป็น DL-16 ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป น้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-16 โปรดดูรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงน้ำหนักเพลามาตรฐาน DL-16 (ใช้ออกแบบสะพานและเสริมกำลังสะพานตั้งแต่ปี พ.ศ.2529)

2.5 สัมประสิทธิ์แรงกระแทก (Impact Coefficient)

น้ำหนักกระแทก (Impact Load) เป็นน้ำหนักหนึ่งในบรรดาน้ำหนักหลักที่นำมาใช้ในกาคำนวณออกแบบสะพานรถไฟ โดยน้ำหนักกระแทกหาได้จากการคูณระหว่างน้ำหนักจร (Live Load) กับสัมประสิทธิ์แรงกระแทก

สัมประสิทธิ์แรงกระแทกที่ใช้ในการออกแบบสะพานเหล็กรถไฟของประเทศไทยแบ่งออกตามสมัยที่ได้นำเข้ามาใช้ได้เป็น 2 พวก คือ

2.5.1 สัมประสิทธิ์กระแทกระหว่างปี พ.ศ. 2455-2504

สะพานเหล็กรถไฟไทย รุ่นระหว่างปี พ.ศ. 2455 ถึง พ.ศ. 2504 ได้ออกแบบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงกระแทก ซึ่งหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$i = \frac{50}{45+L} \qquad (2.1)$$

โดย L ในสูตรคือ Loaded length (m)

2.5.2 สัมประสิทธิ์กระแทกที่ใช้ใน พ.ศ. 2504-ปัจจุบัน

เมื่อปี พ.ศ. 2504 นายช่างสุตตะ นาคะเกศ ได้พิจารณาเห็นว่า สัมประสิทธิ์กระแทกตามสูตรที่ 6.1 นั้นมีค่าสูงเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองทั้งค่าบำรุงรักษา และการก่อสร้าง จึงเอาสัมประสิทธิ์กระแทกของ JNR เข้ามาใช้แทน และใช้มาจนถึงปัจจุบัน คือ

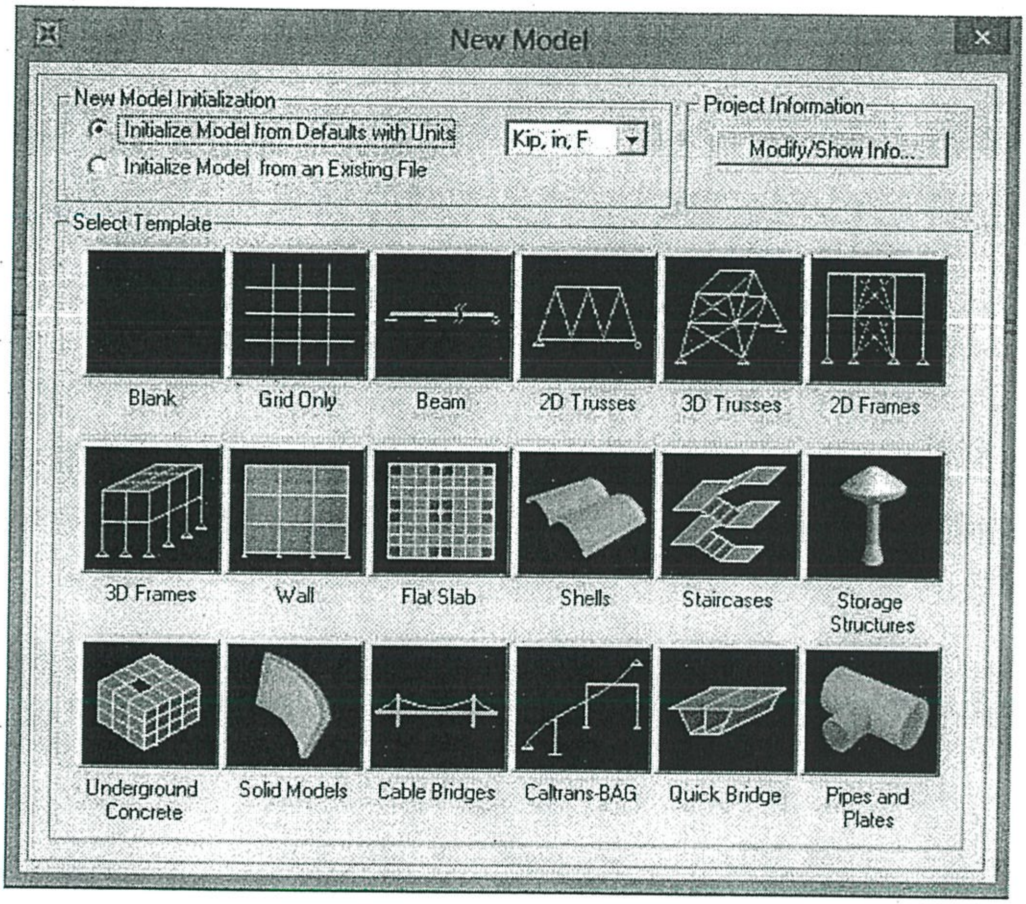
$$i = 0.7 - \frac{L^2}{4000} \qquad \text{(กรณีที่ } L \leq 30 \text{ ม.)} \quad \text{และ}$$

$$i = 0.14 + \frac{10}{L} \qquad \text{(กรณีที่ } L \geq 30 \text{ ม.)}$$

บทที่ 3

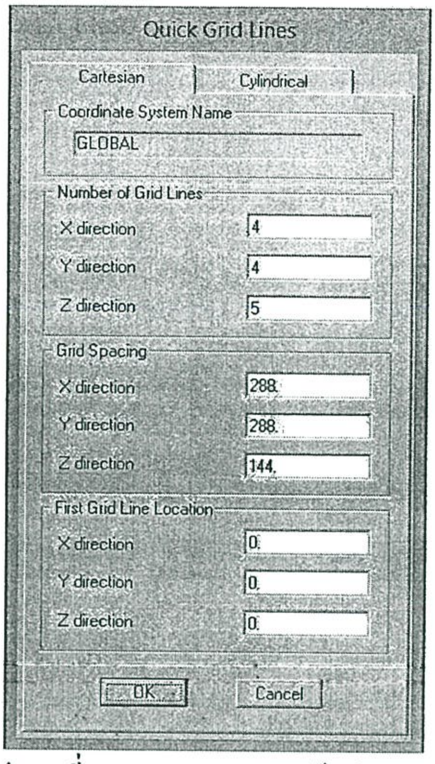
การใช้โปรแกรม

3.1 การสร้างโมเดล



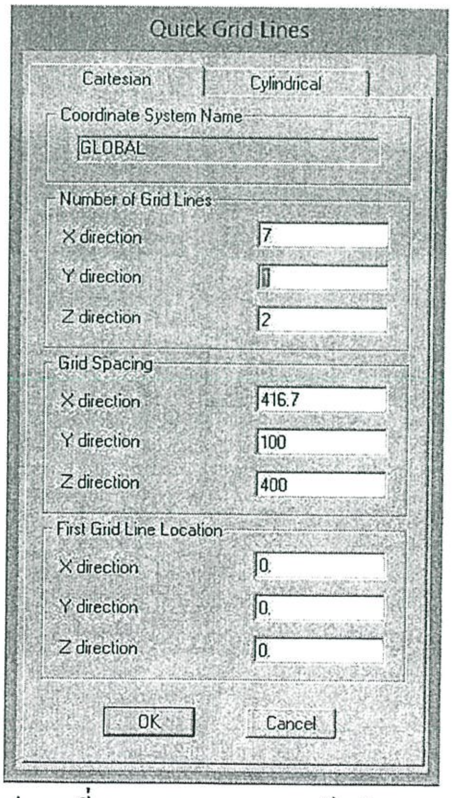
รูปภาพที่ 3.1 ภาพแสดงการสร้างโมเดล

- คลิ้ก File แล้วเลือก New Model
- ใน New Model Initialization เลือก Initialization Model from Defaults with Units แล้วเปลี่ยนหน่วยเป็น Tonf, m, C
- คลิ้กเลือกโมเดลแบบ Grid Only แล้วจะได้หน้าต่างดังรูป



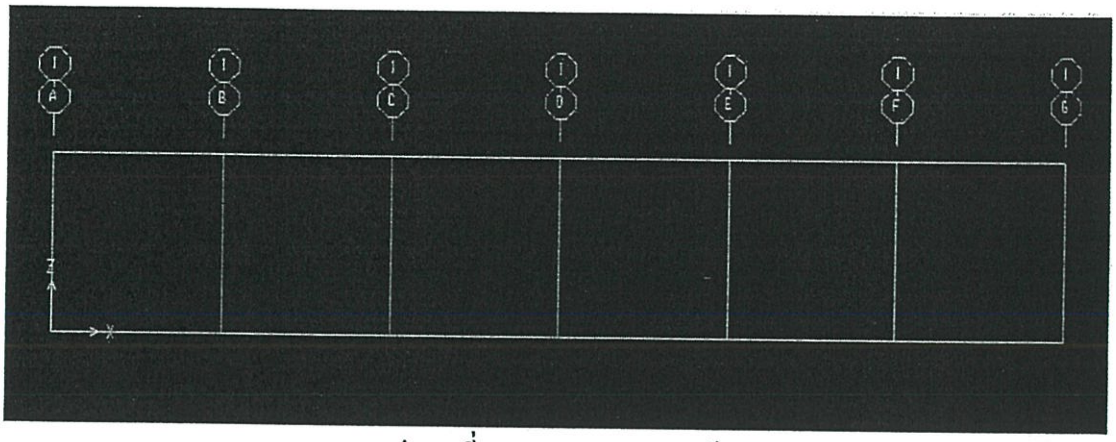
รูปภาพที่ 3.2 ภาพแสดงการสร้างโมเดล 2

- กำหนดลักษณะใน Quick Grid Lines ดังนี้



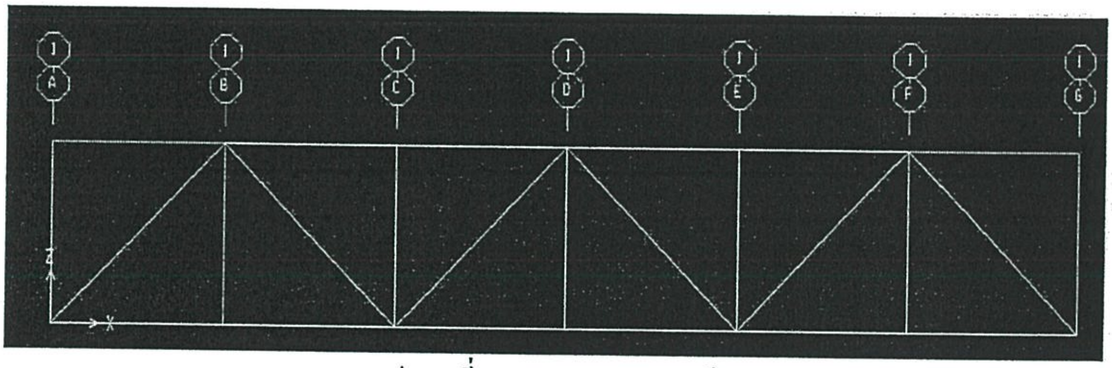
รูปภาพที่ 3.3 ภาพแสดงการสร้างโมเดล 3

- กดปุ่ม OK เพื่อสร้าง Grid Lines จะได้โมเดลดังรูปที่



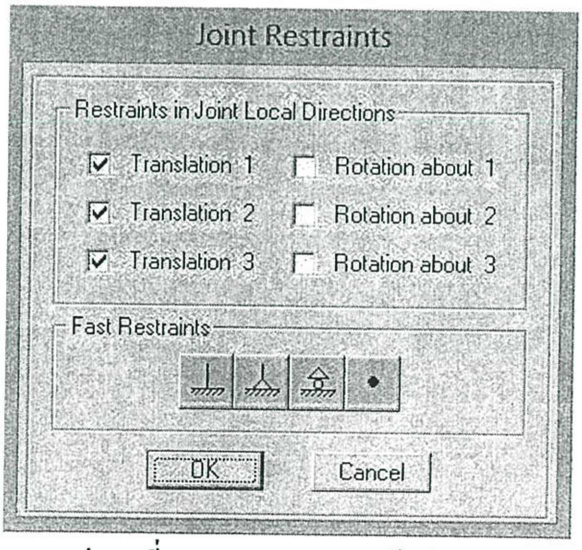
รูปภาพที่ 3.4 ภาพแสดงการสร้างโมเดล 4

- คลิ้กที่คำสั่ง Draw Frame / Cable Element เพื่อสร้างโมเดลดังรูป



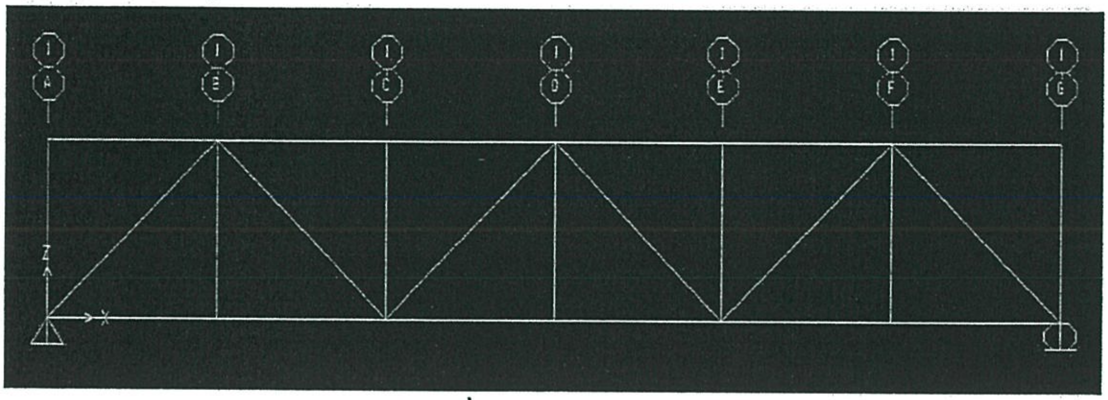
รูปภาพที่ 3.5 ภาพแสดงการสร้างโมเดล 5

- คลิ้กที่จุดที่ต้องการให้เป็น Support จากนั้นไปที่ Assign → Joint → Restrains



รูปภาพที่ 3.6 ภาพแสดงการสร้างโมเดล 6

- จากนั้นเลือก Support ให้ตรงกับลักษณะของโมเดล เมื่อสร้าง Support เสร็จจะได้โมเดลดังรูป

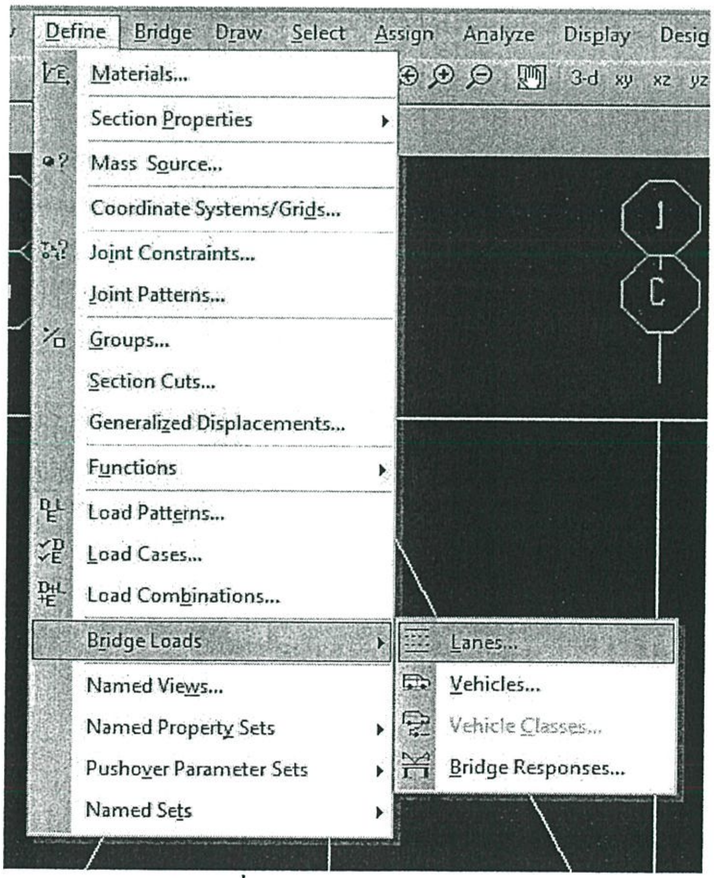


รูปภาพที่ 3.7 ภาพแสดงการสร้างโมเดล 7

3.2 การใส่ Load Case

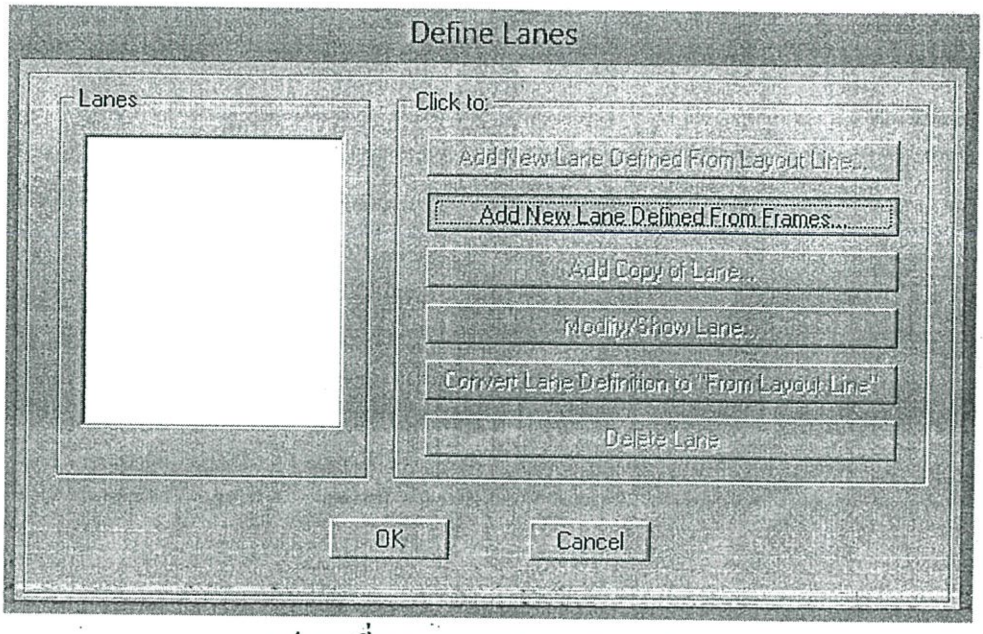
3.2.1 Define Lane

- คลิ้กที่ Define เลือก Bridge Load และคลิ้ก Lane



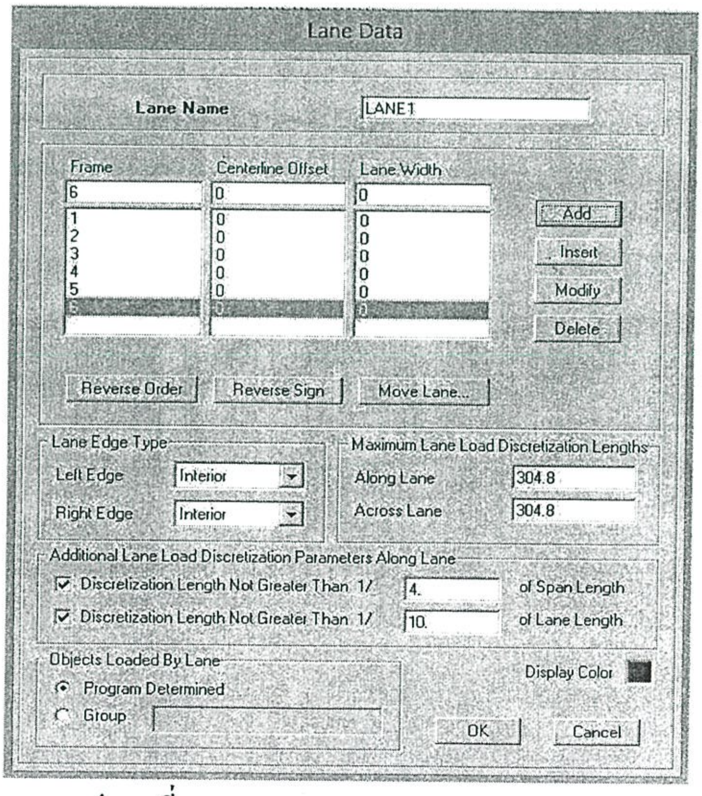
รูปภาพที่ 3.8 ภาพแสดงการ Define Lane

- เลือก Add New Lane Defined From Frames ดังรูปที่ 3.9



รูปภาพที่ 3.9 ภาพแสดงการ Define Lane

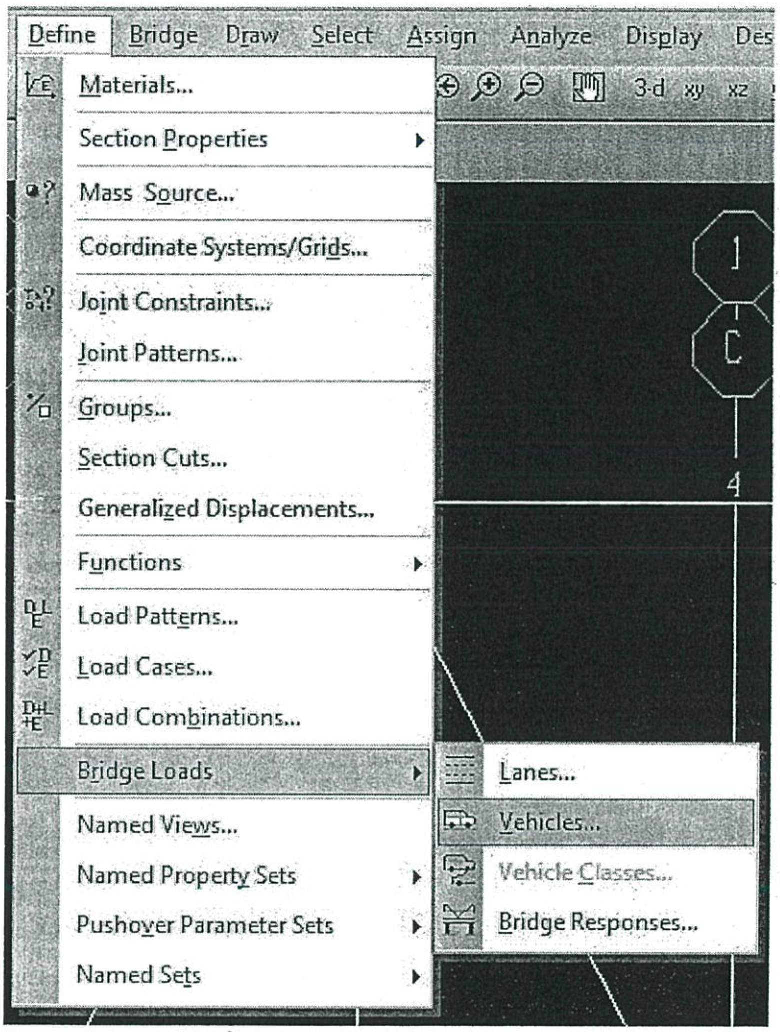
- หน้าต่าง Lane Data จะปรากฏขึ้นมา
- ใส่ค่า Frame = 1 แล้วกด Add แล้วทำอีกครั้งโดยใส่ค่า Frame = 2-6 แล้วกด OK



รูปภาพที่ 3.10 ภาพแสดงการ Define Lane

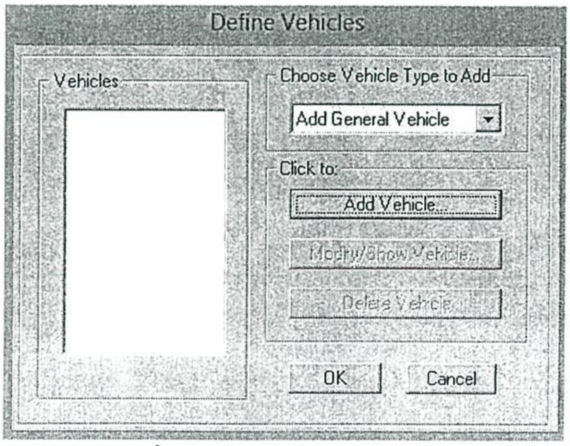
3.2.2 Define Vehicles

- คลิ้ก Define แล้วเลือก Bridge Loads และคลิ้ก Vehicles



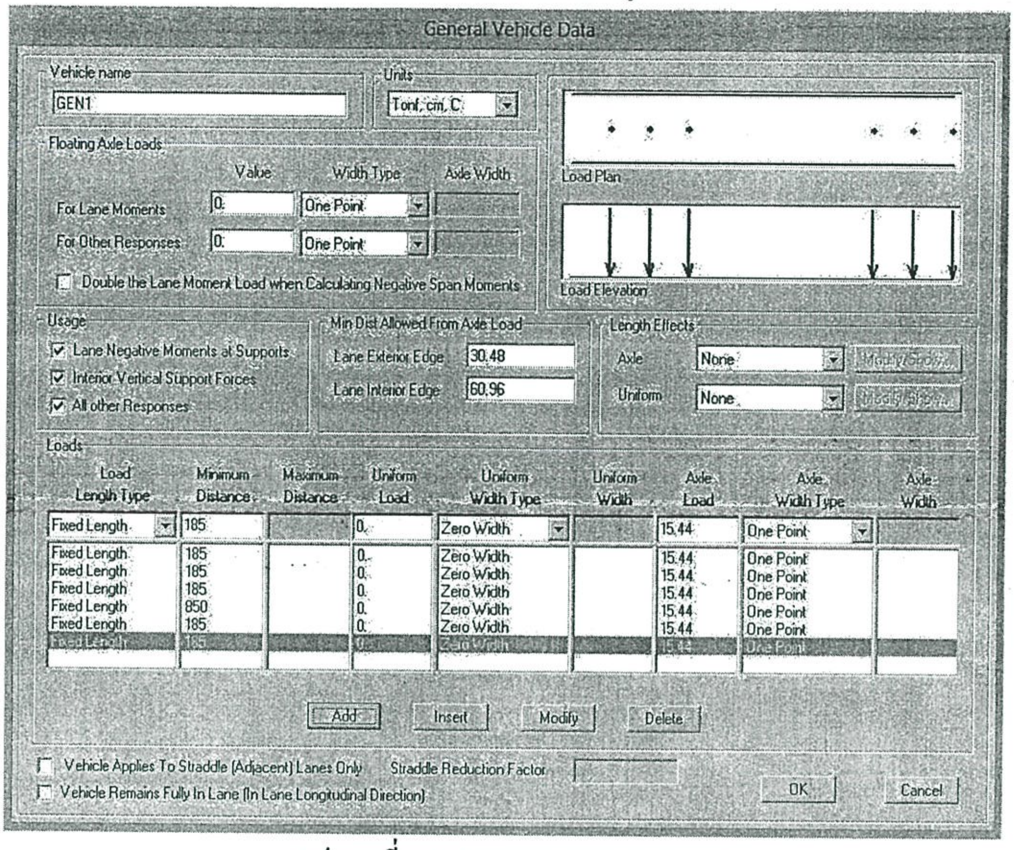
รูปภาพที่ 3.11 ภาพแสดงการ Define Vehicles

- ใน Choose Vehicle Type to Add เลือก Add General Vehicle แล้วกด AddVehicle



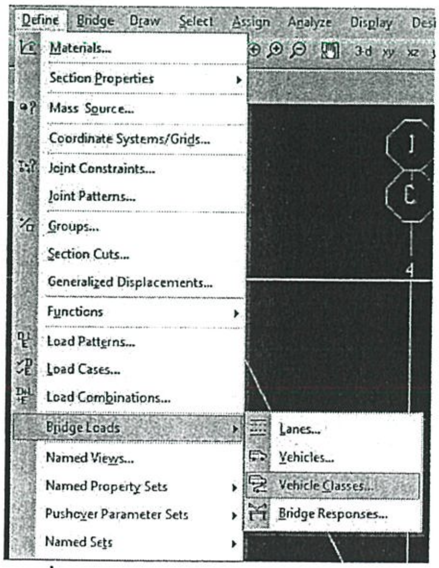
รูปภาพที่ 3.12 ภาพแสดงการ Define Vehicles

- ใน General Vehicle Data เป็นข้อมูลน้ำหนัก ระยะห่างเพลา ของยานพาหนะ ใส่ค่าน้ำหนัก Axle Load 15.44t และระยะห่างเพลาดังรูปที่ แล้วกด OK



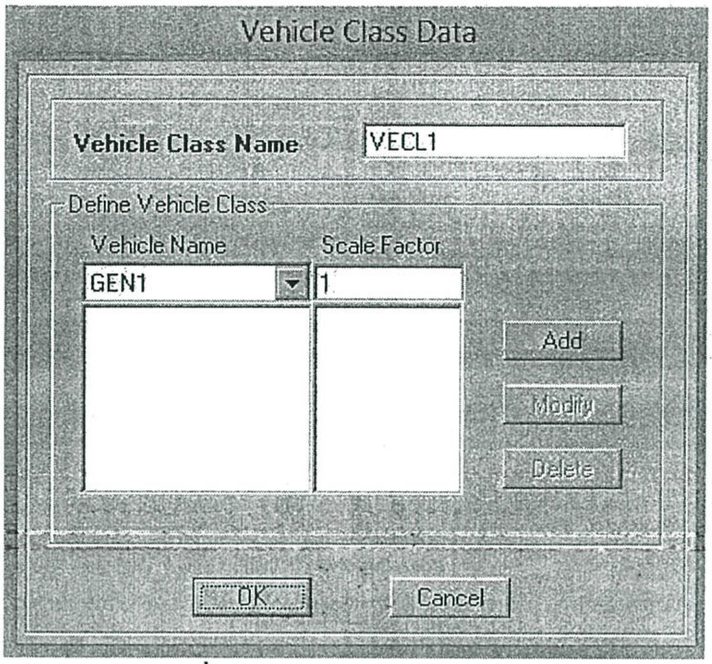
รูปภาพที่ 3.13 ภาพแสดงการ Define Vehicles

- เลือก Define เลือก Bridge Loads และเลือก Vehicle Classes
- คลิ้ก Add New Class



รูปภาพที่ 3.14 ภาพแสดงการ Define Vehicles

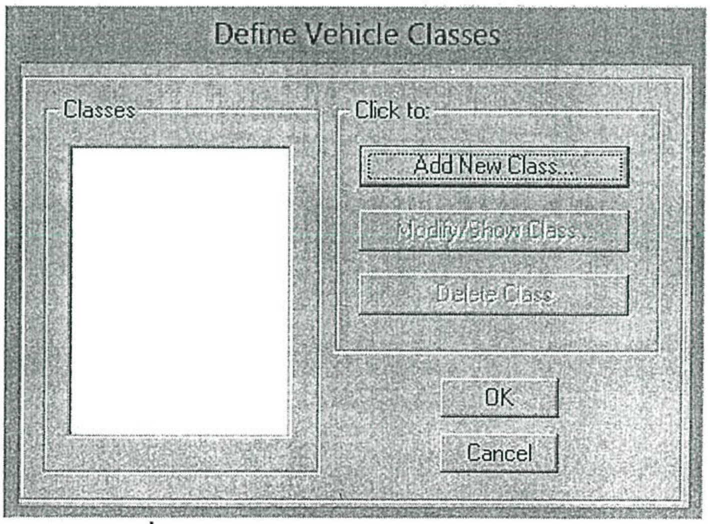
- ในหน้าต่าง Vehicle Class Data คลิ้ก Add แล้วกด OK เพื่อจบการทำงานในส่วน Define Vehicles



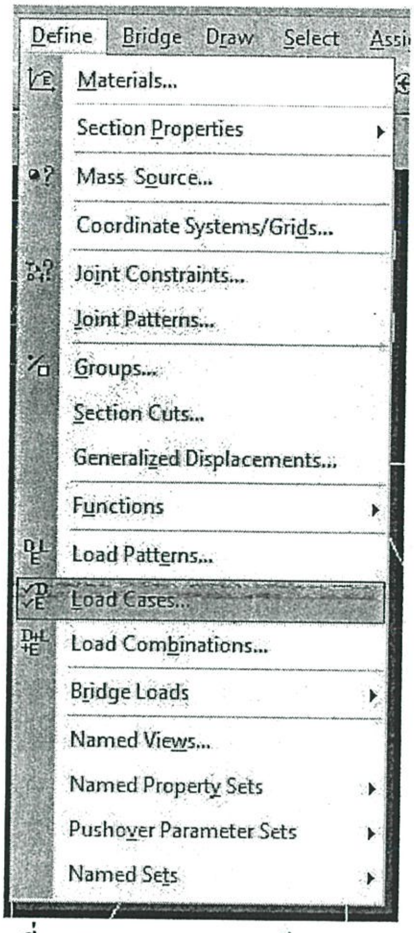
รูปภาพที่ 3.15 ภาพแสดงการ Define Vehicles

3.2.3 สร้าง Load Case

- คลิ้ก Define แล้วเลือก Load Cases

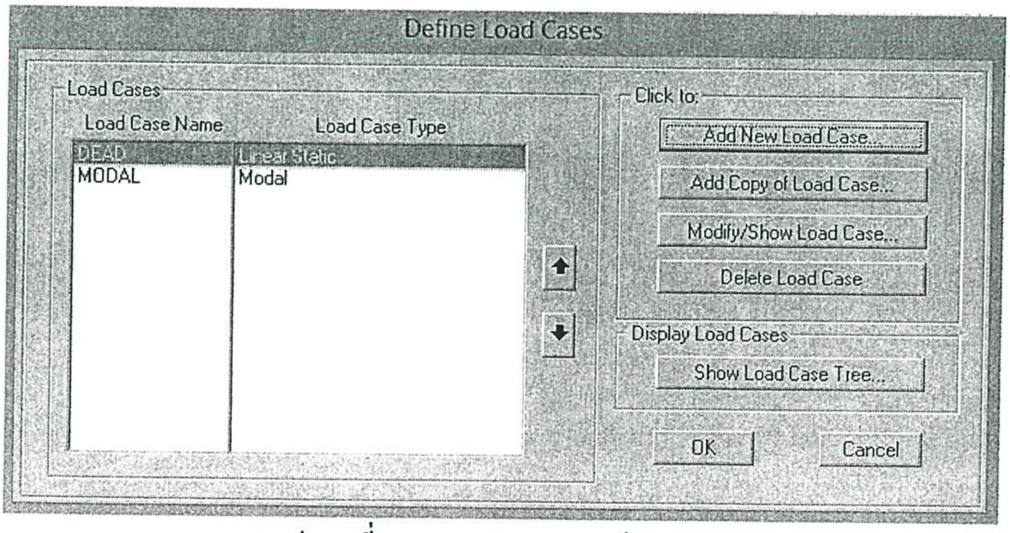


รูปภาพที่ 3.16 ภาพแสดงการสร้าง Load Case



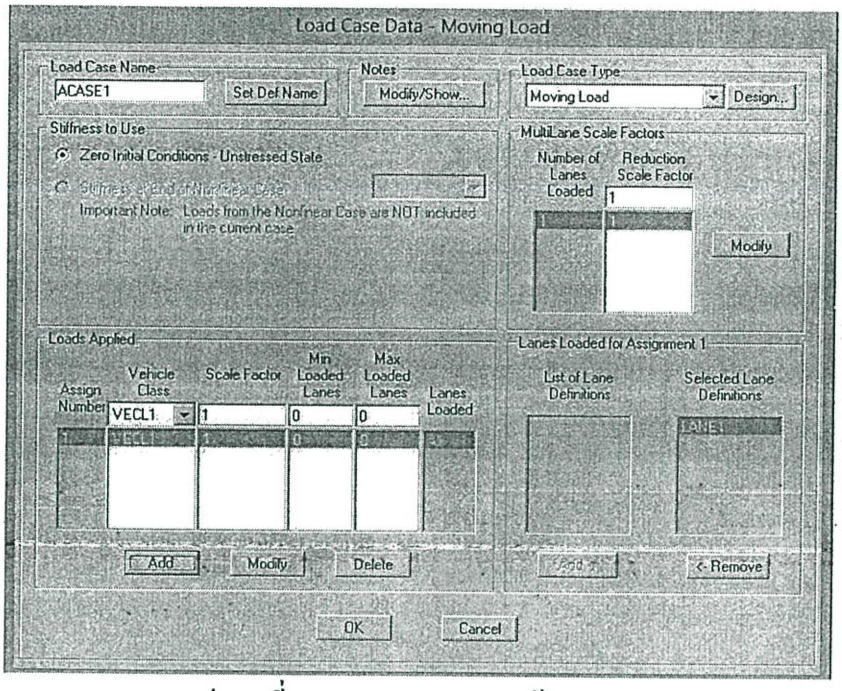
รูปภาพที่ 3.17 ภาพแสดงการสร้าง Load Case

- เลือก Add New Load Case เพื่อสร้าง Load Case



รูปภาพที่ 3.18 ภาพแสดงการสร้าง Load Case

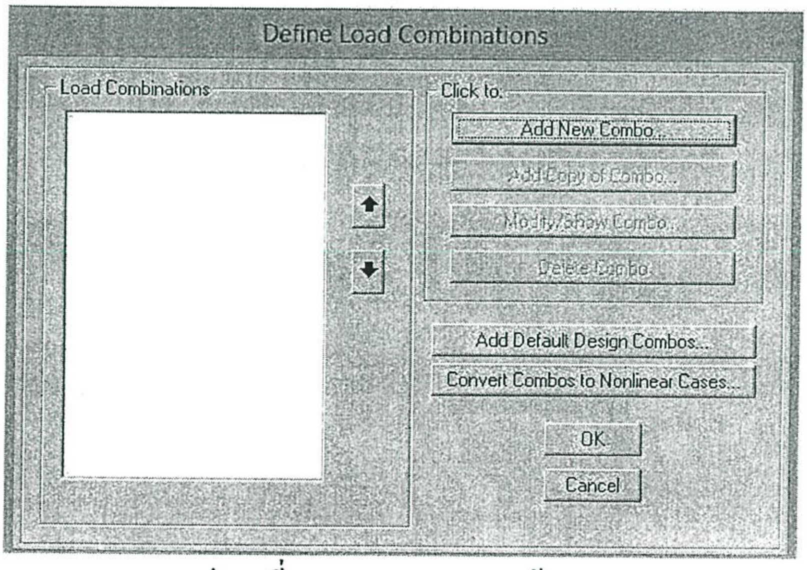
- ใน Load Case Type เลือก Moving Load และใน Loads Applied กด Add แล้วกด OK เป็นการจบการสร้าง Load Case แบบ Moving Load



รูปภาพที่ 3.19 ภาพแสดงการสร้าง Load Case

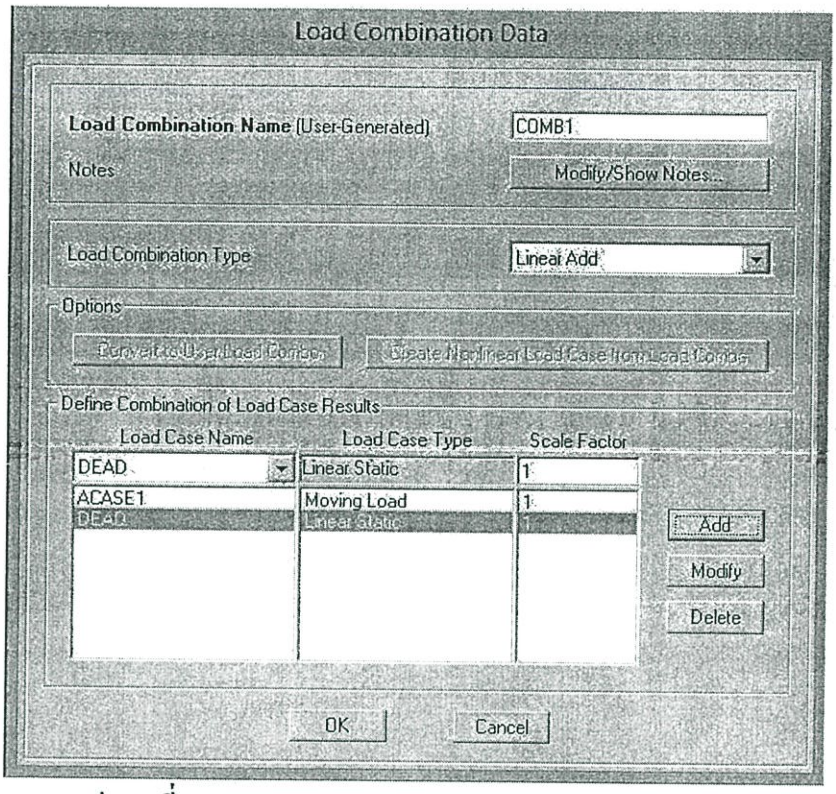
3.2.4 การรวม Live Load กับ Moving Load เข้าด้วยกัน

- ไปที่ Define → Load Combinations แล้วเลือก Add New Combo



รูปภาพที่ 3.20 ภาพแสดงการสร้าง Load Case

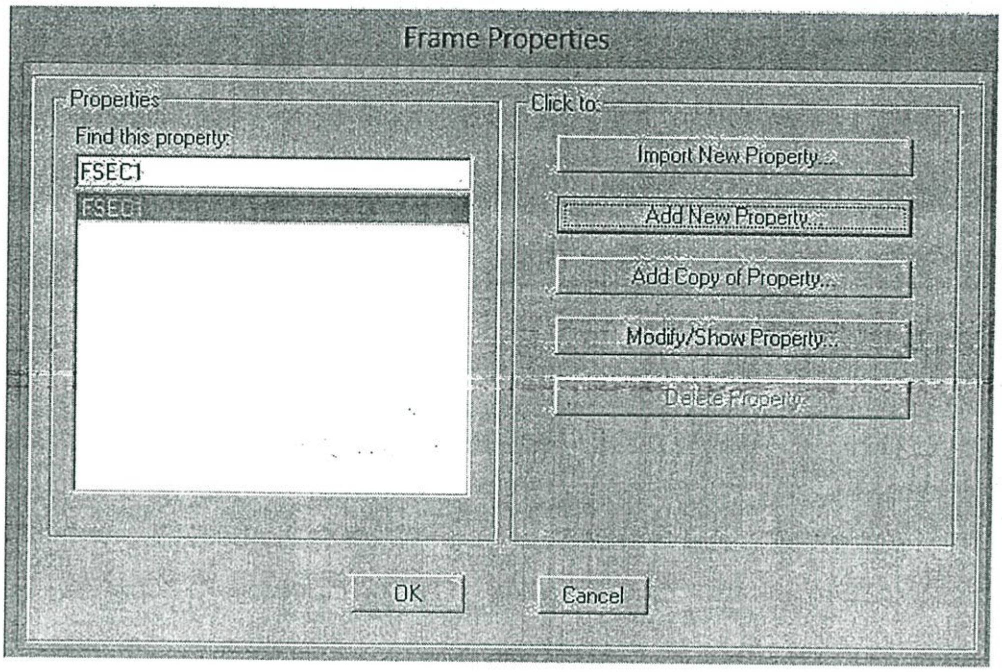
- จากนั้นเลือก Load Case แบบ Live Load แล้วคลิ้ก Add และทำตามขั้นตอนเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง แต่เปลี่ยนเป็น Load Case แบบ Dead Load จากนั้นกด OK



รูปภาพที่ 3.21 ภาพแสดงการ Combine Load Case

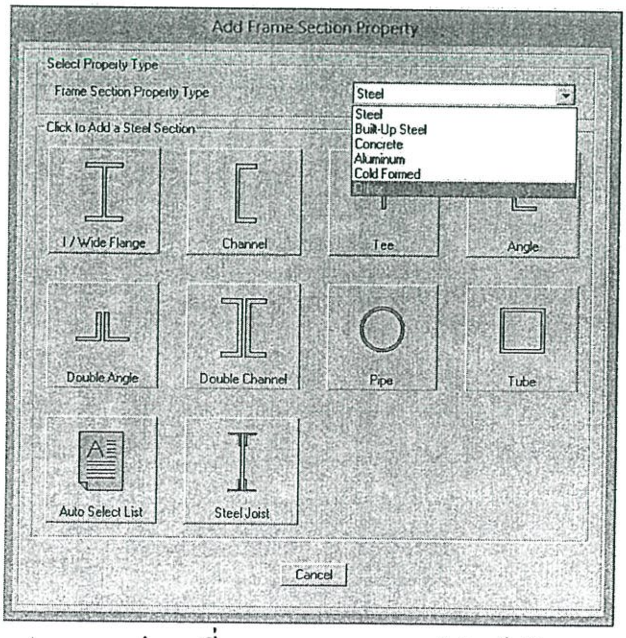
3.3 การใส่หน้าตัดเหล็กของแต่ละเฟรม

- เข้าไปที่ Define → Frame Properties → Frame Section จะได้หน้าต่างดังรูป จากนั้นกด Add New Properties



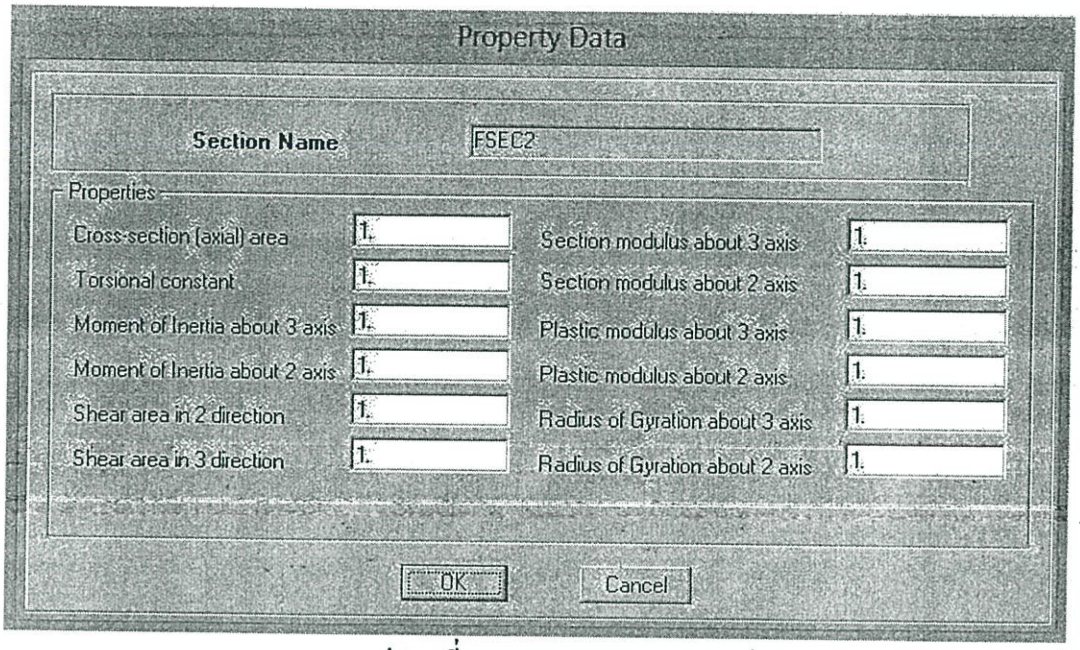
รูปภาพที่ 3.22 ภาพแสดงการใส่หน้าตัด

- ในช่อง Frame Section Property Type ให้เลือก Other เพื่อกำหนดลักษณะของหน้าตัดเหล็ก



รูปภาพที่ 3.23 ภาพแสดงการใส่หน้าตัด

- เมื่อทำตามขั้นตอนข้างต้นจะได้หน้าต่างใหม่มา ให้เลือก General แล้วจะได้หน้าต่างเพื่อป้อนค่าลักษณะต่างๆของหน้าตัดเหล็ก ดังรูป

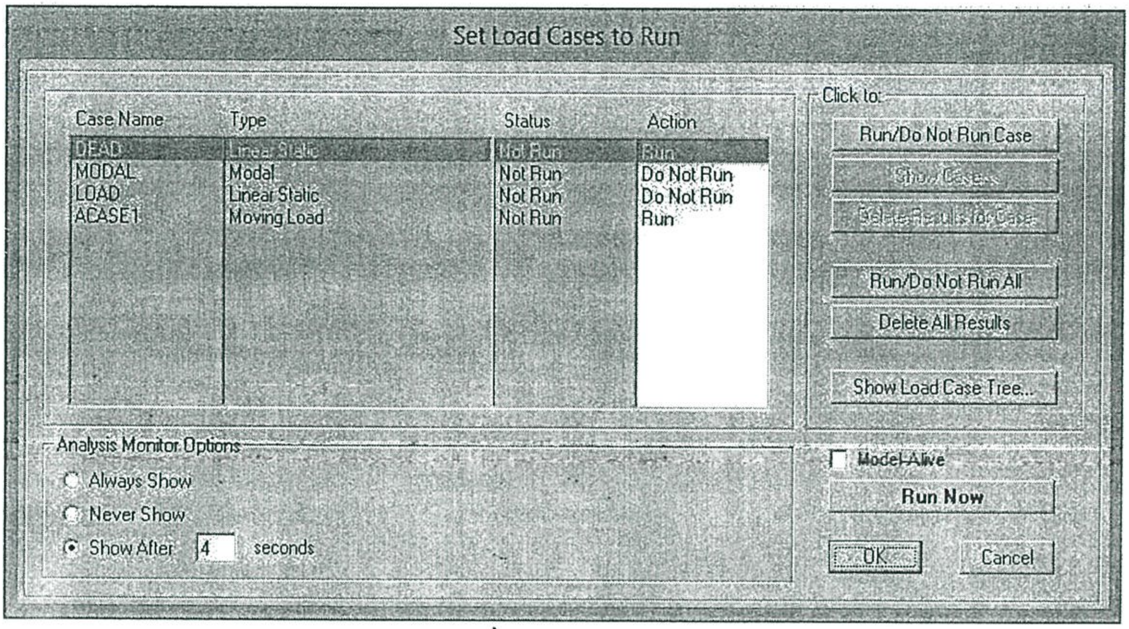


รูปภาพที่ 3.24 ภาพแสดงการใส่หน้าตัด

- เมื่อป้อนค่าต่างๆเสร็จแล้ว กดปุ่ม OK เพื่อเป็นการจบการสร้างหน้าตัดเหล็ก
- ทำการสร้างหน้าตัดเหล็กชิ้นอื่นๆ ตามขั้นตอนข้างต้นจนครบ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

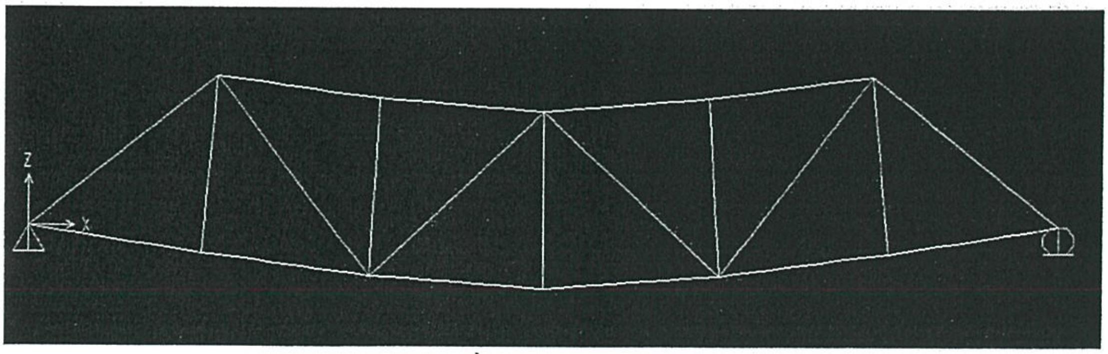
- คลิ้กที่คำสั่ง หรือกดปุ่ม F5 เพื่อ Run Analysis จะได้หน้าต่างใหม่ดังรูป



รูปภาพที่ 3.25 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล

- เลือกวิเคราะห์ Load Case ชื่อ Dead (น้ำหนักสะพาน) และ ACASE1 (Moving Load)
- คลิ้ก Run Now

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างแล้ว โปรแกรมจะแสดง Deform Shape ของโมเดล ดังรูป

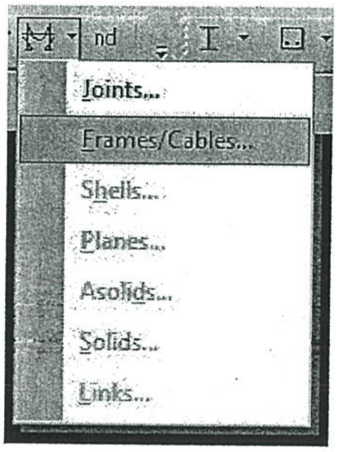


รูปภาพที่ 3.26 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล

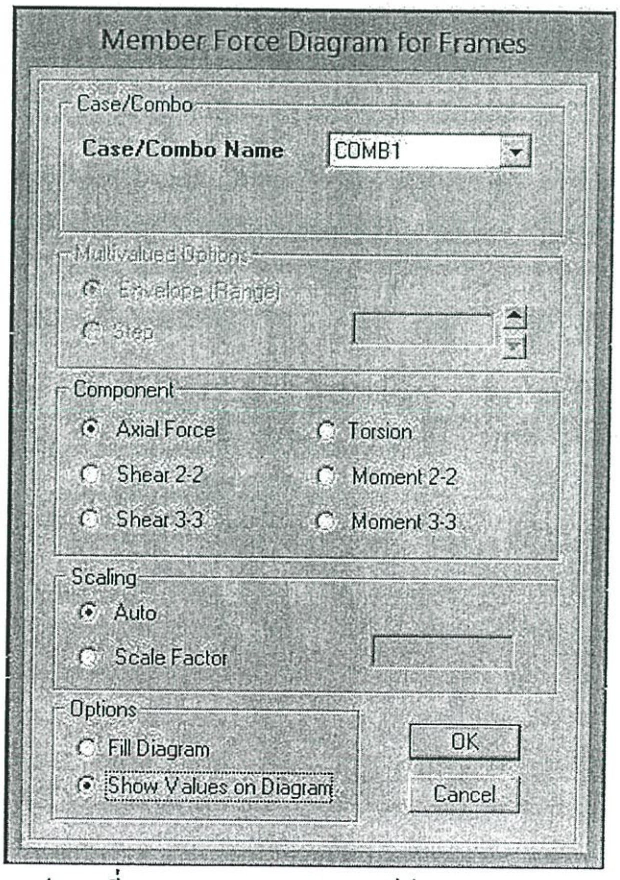
3.5 การดูผลการวิเคราะห์

3.5.1 ดูผลการวิเคราะห์

- คลิ๊กที่คำสั่ง Show Force/Stress → Frames/Cables จะได้หน้าต่างดังรูป เลือกค่าที่ต้องการจะดู แล้วกด OK



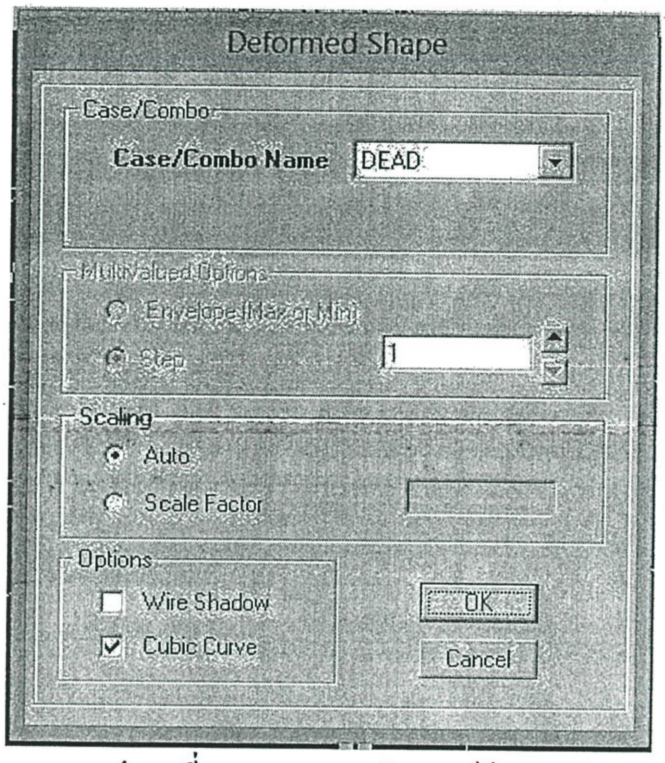
รูปภาพที่ 3.27 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล



รูปภาพที่ 3.28 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.2 ดูผลการวิเคราะห์ Deform Shape

- คลิ้กที่คำสั่ง Deform Shape จะได้หน้าต่างดังรูป เลือก Load Case ที่ต้องการแล้วกด OK



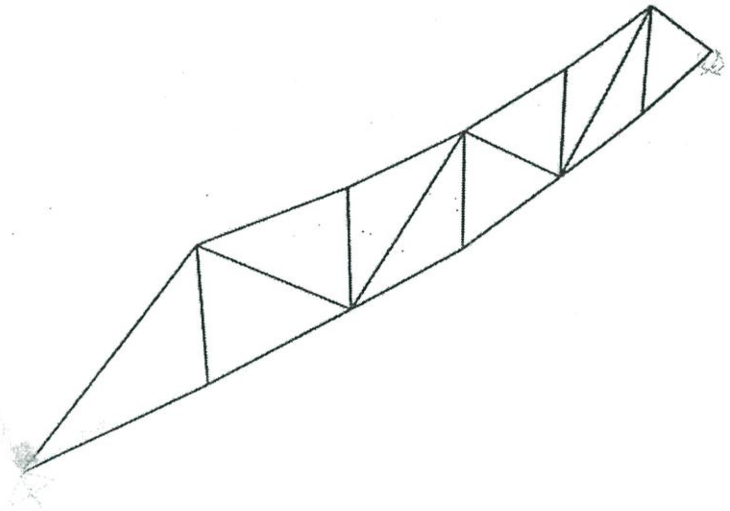
รูปภาพที่ 3.29 ภาพแสดงวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 4

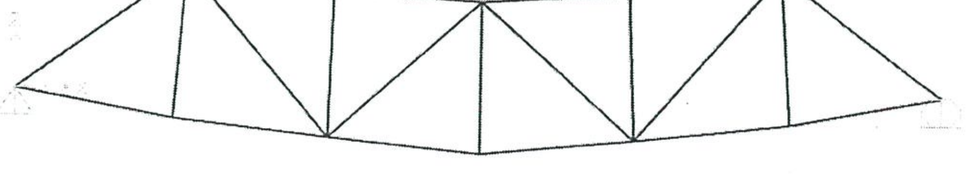
ผลการศึกษา

4.1. ผลการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา พร้อมโบกี้โดยสาร 20 โบกี้ มาวิ่งผ่านแบบจำลอง

4.1.1. การเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นของแบบจำลอง

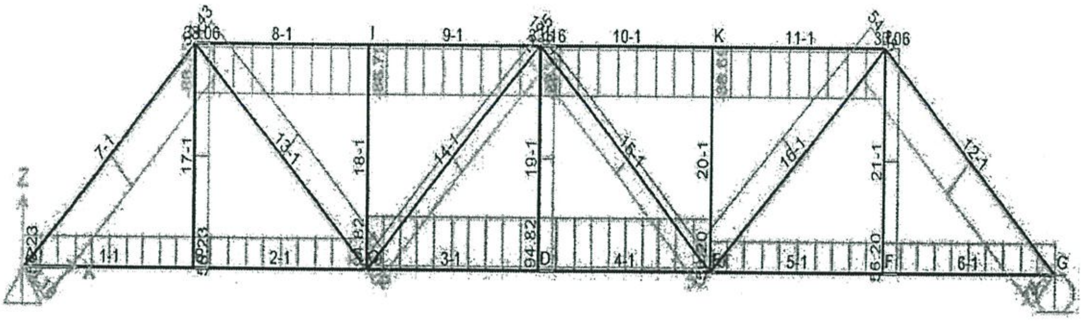


รูปที่4.1 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 3 มิติ



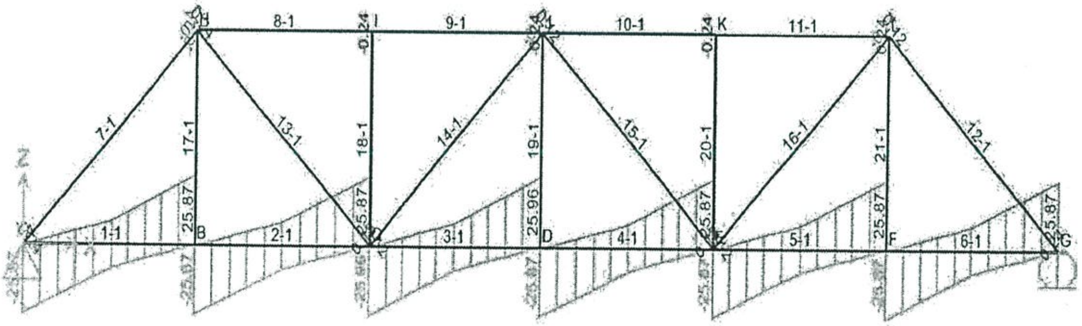
รูปที่4.2 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 2 มิติ

4.1.2. แรงตามแนวแกน(Axial Force)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน



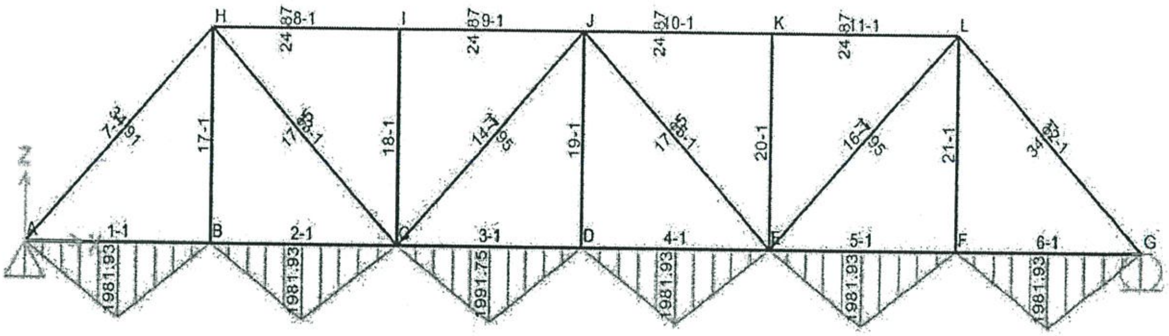
รูปที่4.3 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน

4.1.3. แรงเฉือน(Shear Force)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน



รูปที่4.4 แสดงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน

4.1.4. โมเมนต์ดัด(Bending Moment)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน

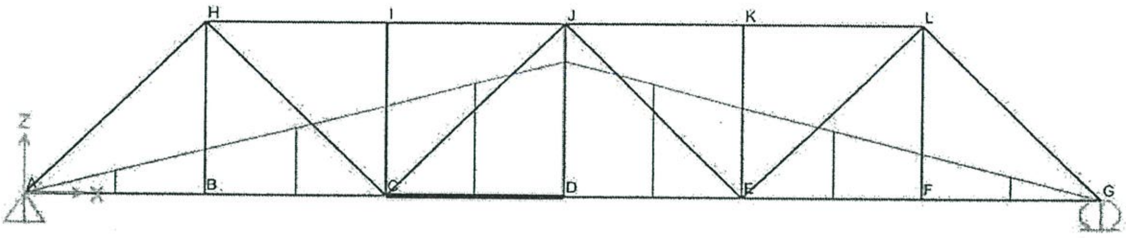


รูปที่4.5 แสดงโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน

จากรูปที่4.3 ซึ่งแสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน โดยจะทำการยกตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงผลการคำนวณต่างๆคือ ค่าแรงตามแนวแกน(Axial Force) ค่าโมเมนต์ดัด(Bending Moment) เส้นอินฟลูเอนท์(Influent line) จากโปรแกรม SAP2000 เฉพาะชิ้นส่วนที่มีค่าแรงตามแนวแกนที่มากที่สุด ชิ้นส่วนที่มีหน้าตัดที่แตกต่างกันและชิ้นส่วนที่มีการจัดวางที่แตกต่างกัน ซึ่งในส่วนของ Lower chord จะมีค่าแรงตามแนวแกนสูงสุดที่ชิ้นส่วน 3 และ 4 จะเลือกแสดงผลการคำนวณในชิ้นส่วนที่ 3 ในส่วนของ Upper chord จะมีค่าแรงตามแนวแกนสูงสุดที่ชิ้นส่วน 8,9,10 และ 11 จะเลือกแสดงผลการคำนวณในชิ้นส่วนที่ 8 เป็นต้น

4.1.5. แสดงผลการคำนวณค่าต่างๆในชิ้นส่วนต่างๆของสะพานจากโปรแกรม SAP2000

ก. ชิ้นส่วน 3 (รับแรงดึง)



รูปที่4.6 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วน 3

Case Final Influence forFrame 3, RD = 0.5, Axial Force

Influence Data

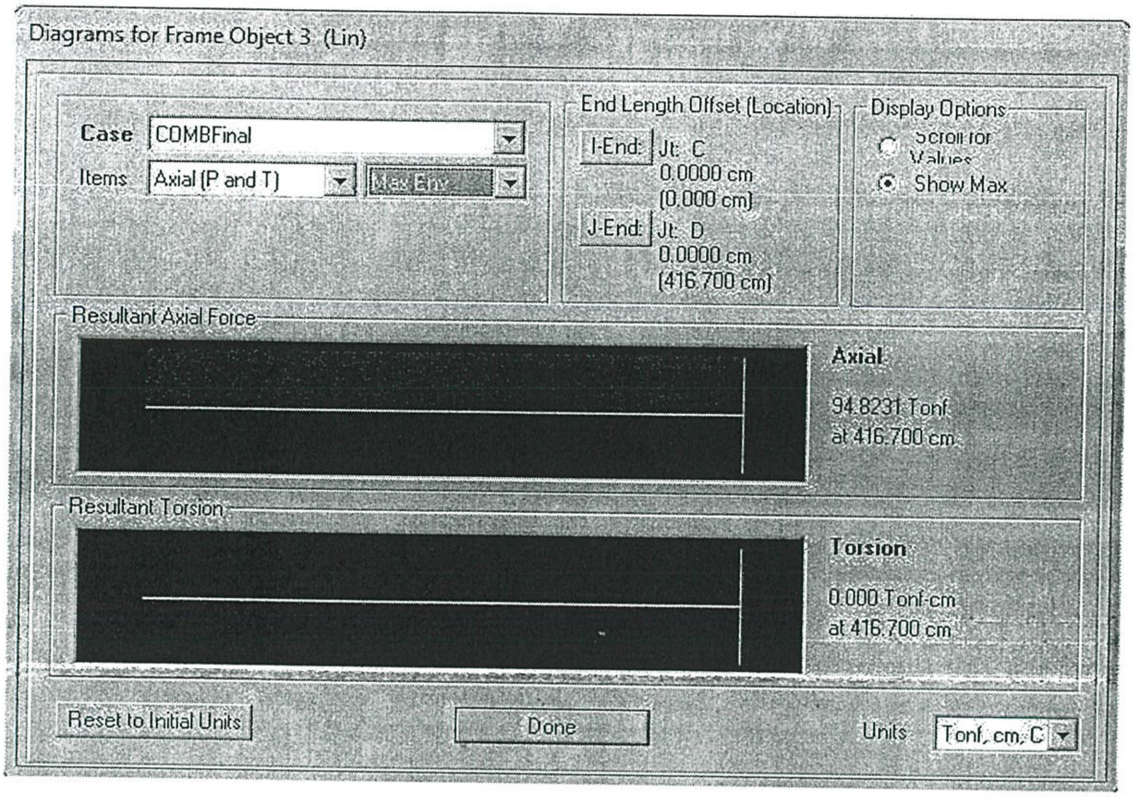
	Path	Station	Sta. Dist	GlobalX	GlobalY	GlobalZ	Influence
			cm	cm	cm	cm	Tonf
1	PATH1	1	0.	0.1	0.	0.	1.250E-04
2	PATH1	2	208.25	208.35	0.	0.	0.2604
3	PATH1	3	416.5	416.6	0.	0.	0.5208
4	PATH1	4	416.7	416.8	0.	0.	0.521
5	PATH1	5	624.95	625.05	0.	0.	0.7813
6	PATH1	6	833.2	833.3	0.	0.	1.0416
7	PATH1	7	833.4	833.5	0.	0.	1.0419
8	PATH1	8	1041.65	1041.75	0.	0.	1.3022
9	PATH1	9	1249.9	1250.	0.	0.	1.5625
10	PATH1	10	1250.1	1250.2	0.	0.	1.5625
11	PATH1	11	1458.35	1458.45	0.	0.	1.3022
12	PATH1	12	1666.6	1666.7	0.	0.	1.0419
13	PATH1	13	1666.8	1666.9	0.	0.	1.0416
14	PATH1	14	1875.05	1875.15	0.	0.	0.7813
15	PATH1	15	2083.3	2083.4	0.	0.	0.521
16	PATH1	16	2083.5	2083.6	0.	0.	0.5208
17	PATH1	17	2291.75	2291.85	0.	0.	0.2604
18	PATH1	18	2500.	2500.1	0.	0.	1.250E-04

Copy To Clipboard: Copy Entire Table | Copy Selected Cells

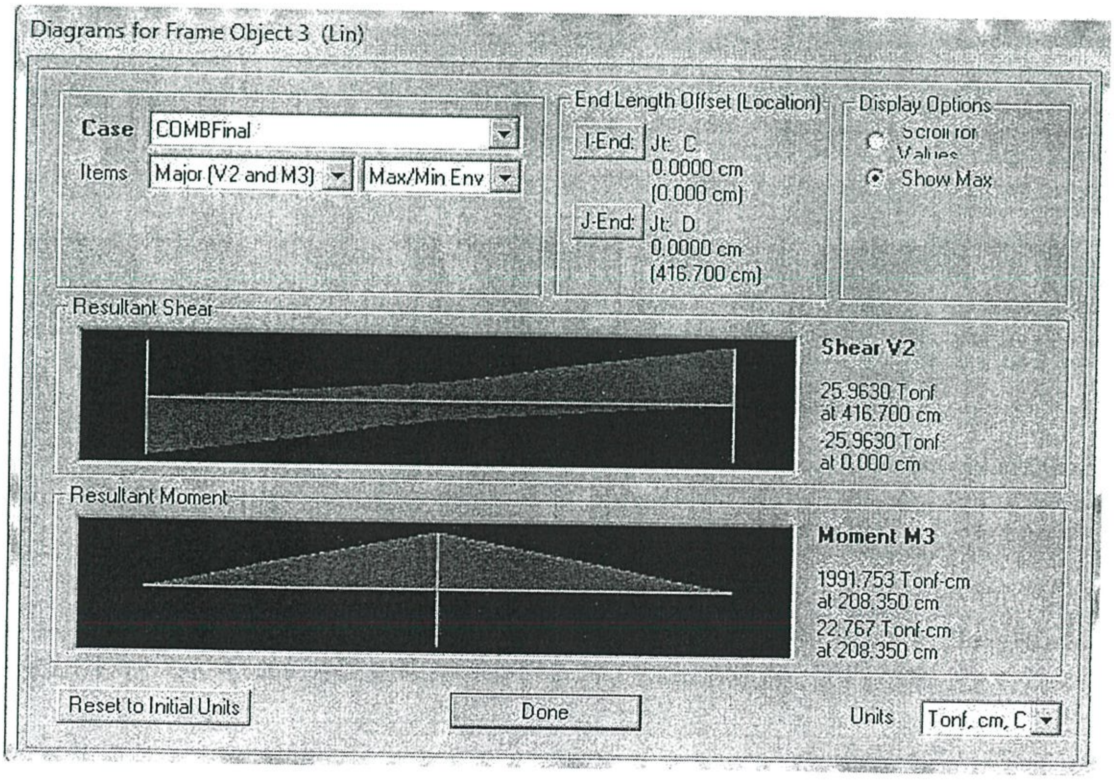
Units: Tonf, cm, C

Done

รูปที่4.7 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วน 3

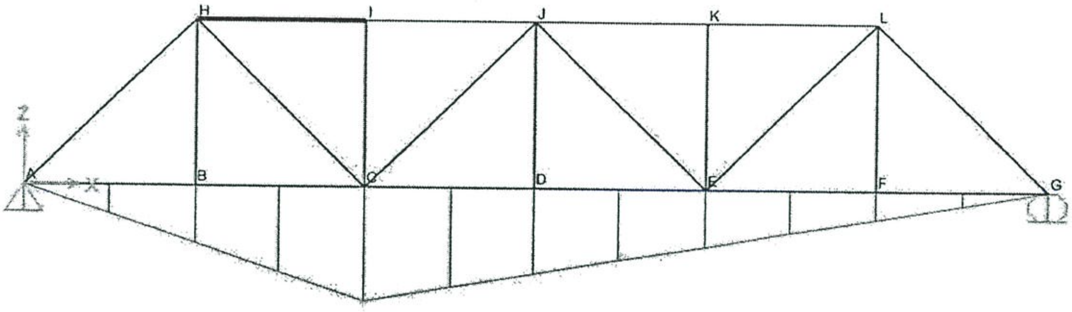


รูปที่4.8 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วน 3



รูปที่4.9 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 3

ข. ชิ้นส่วน 8 (รับแรงอัด)



รูปที่4.10 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 8

Case Final Influence forFrame 8, RD = 0.5, Axial Force

Influence Data

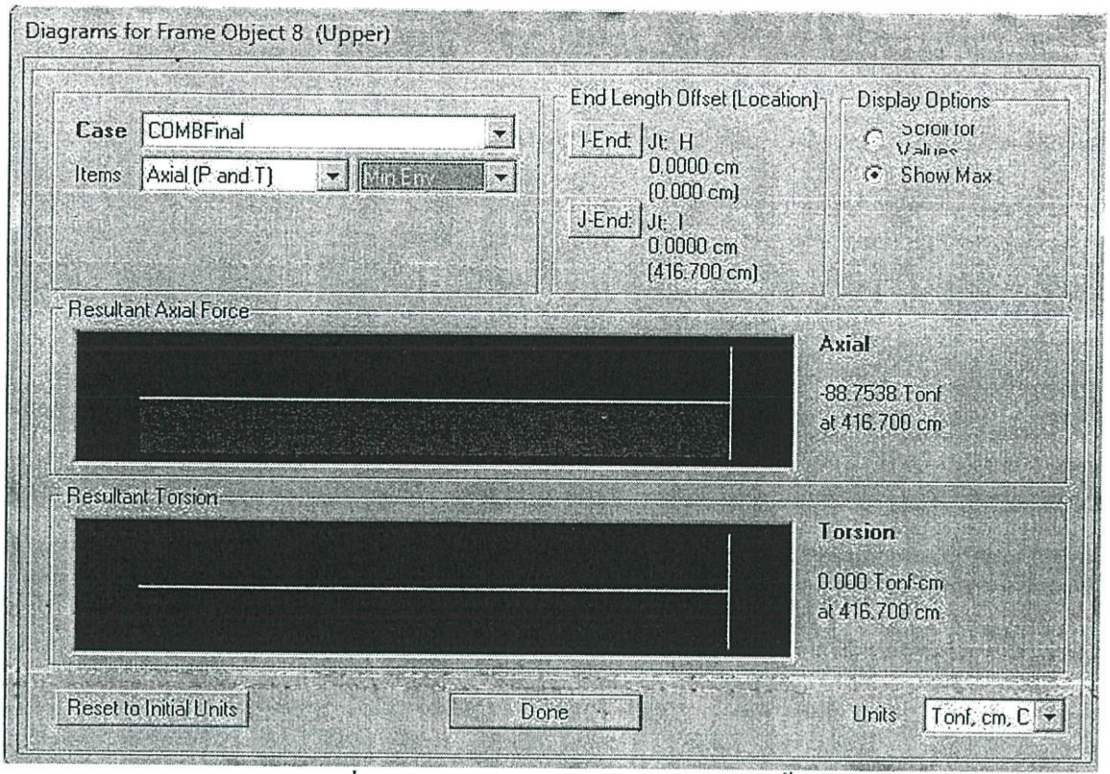
	Path	Station	Sta. Dist	Global X	Global Y	Global Z	Influence
			cm	cm	cm	cm	Tonf
1	PATH1	1	0.	0.1	0.	0.	-1.667E-04
2	PATH1	2	208.25	208.35	0.	0.	-0.3473
3	PATH1	3	416.5	416.6	0.	0.	-0.6943
4	PATH1	4	416.7	416.8	0.	0.	-0.6947
5	PATH1	5	624.95	625.05	0.	0.	-1.0418
6	PATH1	6	833.2	833.3	0.	0.	-1.3888
7	PATH1	7	833.4	833.5	0.	0.	-1.3889
8	PATH1	8	1041.65	1041.75	0.	0.	-1.2154
9	PATH1	9	1249.9	1250.	0.	0.	-1.0418
10	PATH1	10	1250.1	1250.2	0.	0.	-1.0417
11	PATH1	11	1458.35	1458.45	0.	0.	-0.8681
12	PATH1	12	1666.6	1666.7	0.	0.	-0.6946
13	PATH1	13	1666.8	1666.9	0.	0.	-0.6944
14	PATH1	14	1875.05	1875.15	0.	0.	-0.5209
15	PATH1	15	2083.3	2083.4	0.	0.	-0.3473
16	PATH1	16	2083.5	2083.6	0.	0.	-0.3472
17	PATH1	17	2291.75	2291.85	0.	0.	-0.1736
18	PATH1	18	2500.	2500.1	0.	0.	-8.333E-05

Copy To Clipboard: Copy Entire Table | Copy Selected Cells

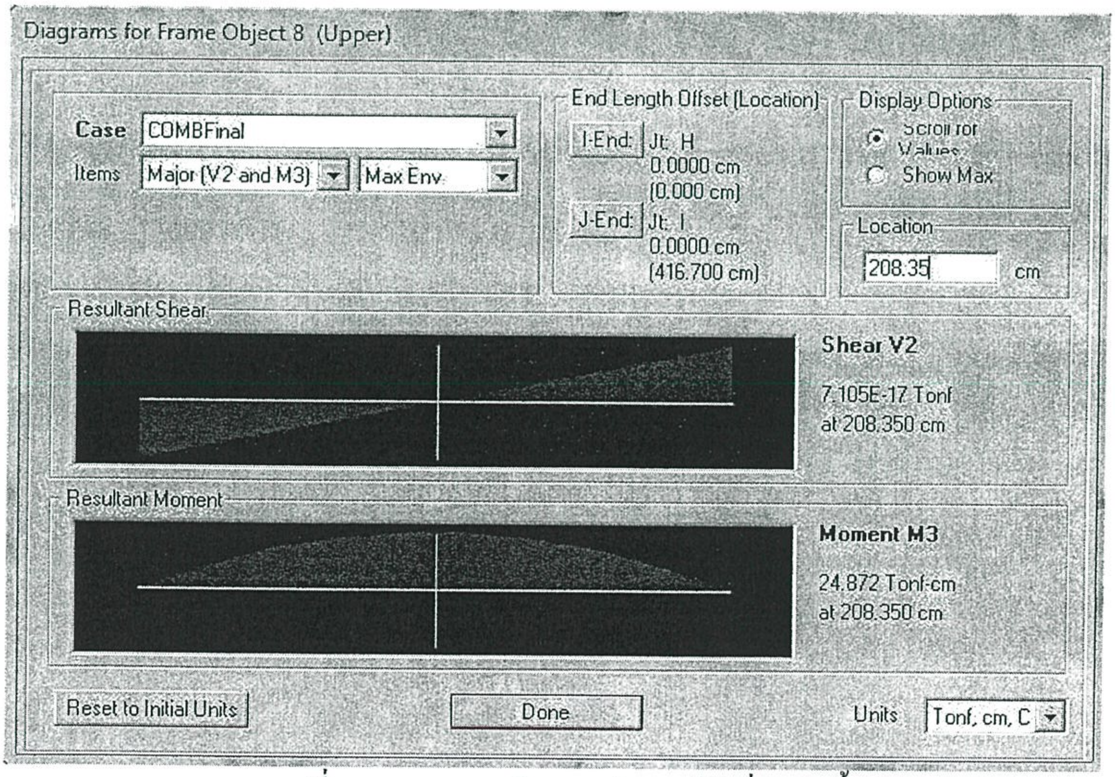
Units: Tonf, cm, C

Done

รูปที่4.11 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 8

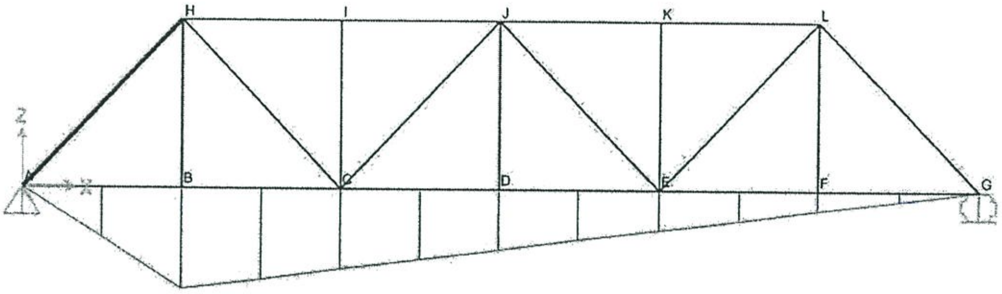


รูปที่4.12 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 8



รูปที่4.13 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 8

ค. ชิ้นส่วน 7 (รับแรงอัด)



รูปที่4.14 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 7

Case Final Influence forFrame 7, RD = 0.5, Axial Force

Influence Data

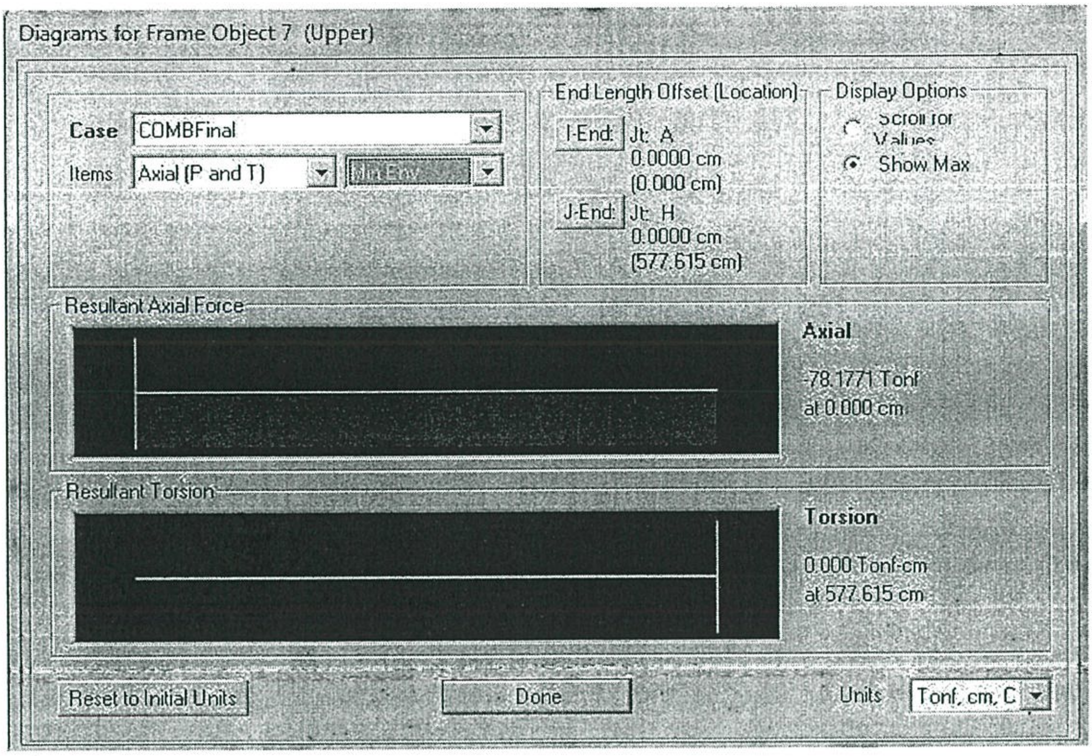
	Path	Station	Sta. Dist	GlobalX	GlobalY	GlobalZ	Influence
			cm	cm	cm	cm	Tonf
1	PATH1	1	0.	0.1	0.	0.	-2.888E-04
2	PATH1	2	208.25	208.35	0.	0.	-0.6017
3	PATH1	3	416.5	416.6	0.	0.	-1.2031
4	PATH1	4	416.7	416.8	0.	0.	-1.2033
5	PATH1	5	624.95	625.05	0.	0.	-1.083
6	PATH1	6	833.2	833.3	0.	0.	-0.9627
7	PATH1	7	833.4	833.5	0.	0.	-0.9626
8	PATH1	8	1041.65	1041.75	0.	0.	-0.8424
9	PATH1	9	1249.9	1250.	0.	0.	-0.7221
10	PATH1	10	1250.1	1250.2	0.	0.	-0.722
11	PATH1	11	1458.35	1458.45	0.	0.	-0.6017
12	PATH1	12	1666.6	1666.7	0.	0.	-0.4814
13	PATH1	13	1666.8	1666.9	0.	0.	-0.4813
14	PATH1	14	1875.05	1875.15	0.	0.	-0.361
15	PATH1	15	2083.3	2083.4	0.	0.	-0.2407
16	PATH1	16	2083.5	2083.6	0.	0.	-0.2406
17	PATH1	17	2291.75	2291.85	0.	0.	-0.1203
18	PATH1	18	2500.	2500.1	0.	0.	-5.776E-05

Copy To Clipboard: Copy Entire Table | Copy Selected Cells

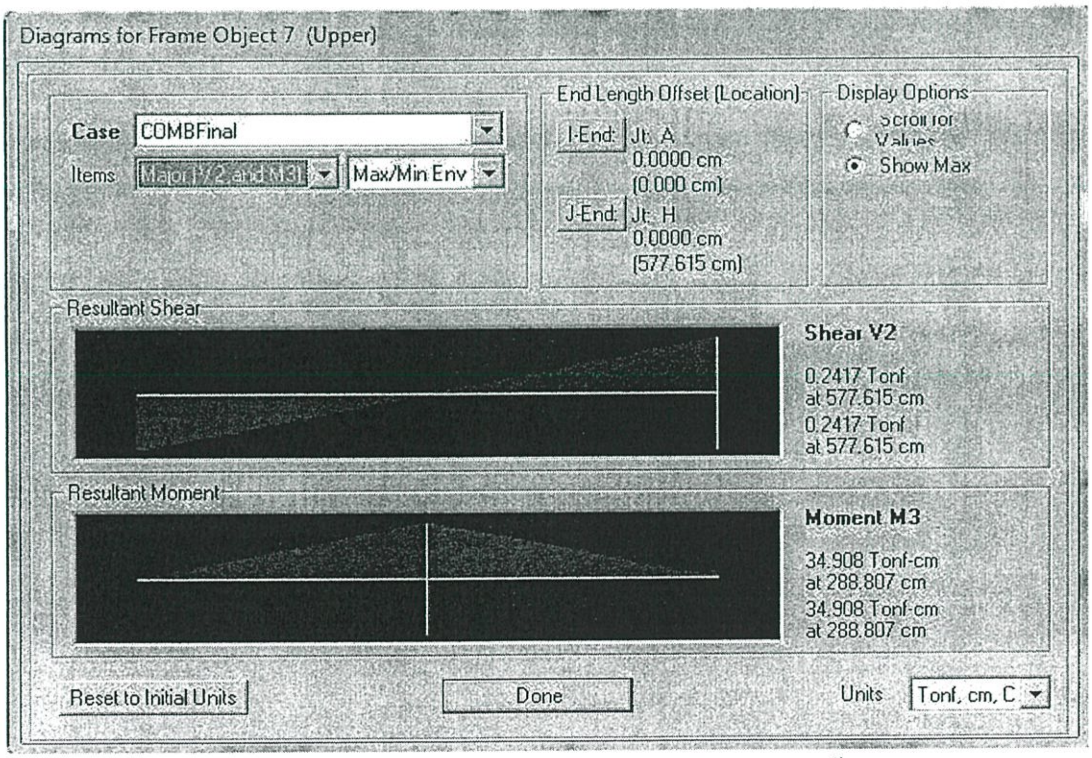
Units: Tonf, cm, C

Done

รูปที่4.15 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 7

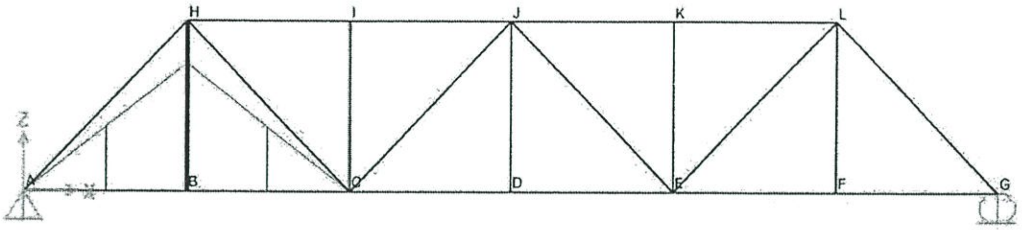


รูปที่4.16 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 7



รูปที่4.17 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 7

ง. ชิ้นส่วน 17 (รับแรงดึง)



รูปที่4.18 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 17

Case Final Influence forFrame 17, RD = 0.5, Axial Force

Influence Data

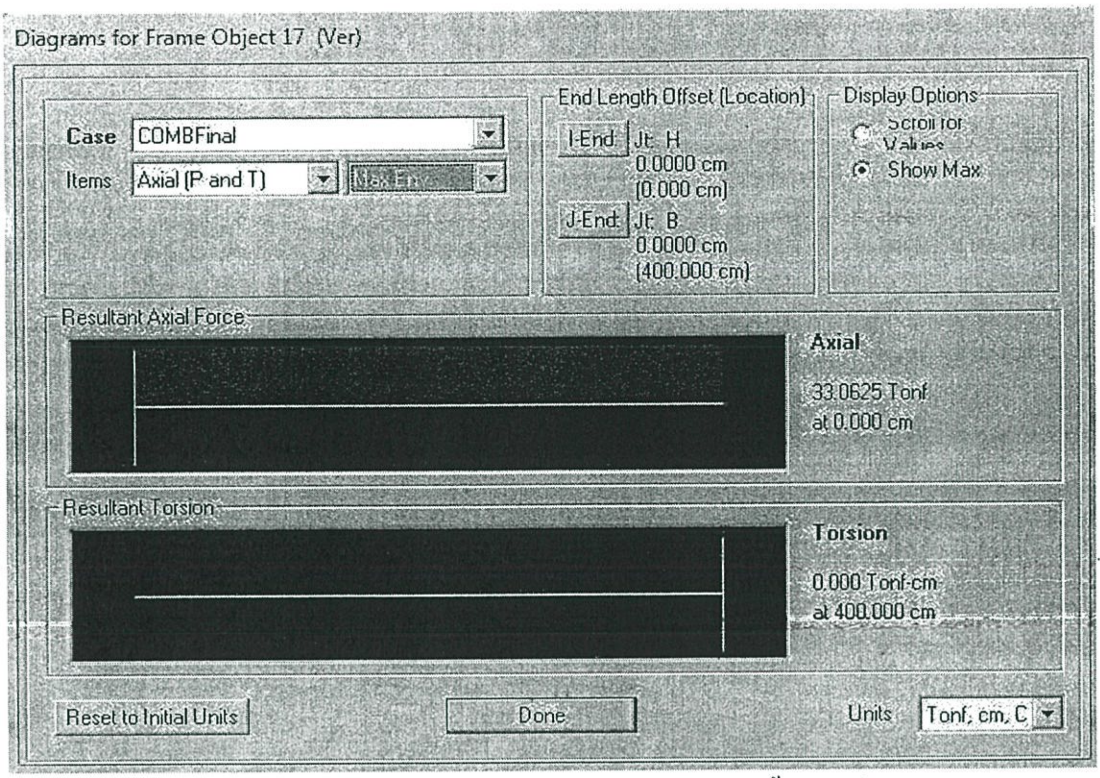
	Path	Station	Sta. Dist	Global X	Global Y	Global Z	Influence
			cm	cm	cm	cm	Tonf
1	PATH1	1	0.	0.1	0.	0.	2.400E-04
2	PATH1	2	208.25	208.35	0.	0.	0.5
3	PATH1	3	416.5	416.6	0.	0.	0.9998
4	PATH1	4	416.7	416.8	0.	0.	0.9998
5	PATH1	5	624.95	625.05	0.	0.	0.5
6	PATH1	6	833.2	833.3	0.	0.	2.400E-04
7	PATH1	7	833.4	833.5	0.	0.	8.882E-16
8	PATH1	8	1041.65	1041.75	0.	0.	0.
9	PATH1	9	1249.9	1250.	0.	0.	4.441E-16
10	PATH1	10	1250.1	1250.2	0.	0.	8.882E-16
11	PATH1	11	1458.35	1458.45	0.	0.	4.441E-16
12	PATH1	12	1666.6	1666.7	0.	0.	0.
13	PATH1	13	1666.8	1666.9	0.	0.	0.
14	PATH1	14	1875.05	1875.15	0.	0.	0.
15	PATH1	15	2083.3	2083.4	0.	0.	0.
16	PATH1	16	2083.5	2083.6	0.	0.	0.
17	PATH1	17	2291.75	2291.85	0.	0.	2.220E-16
18	PATH1	18	2500.	2500.1	0.	0.	0.

Copy To Clipboard: Copy Entire Table | Copy Selected Cells

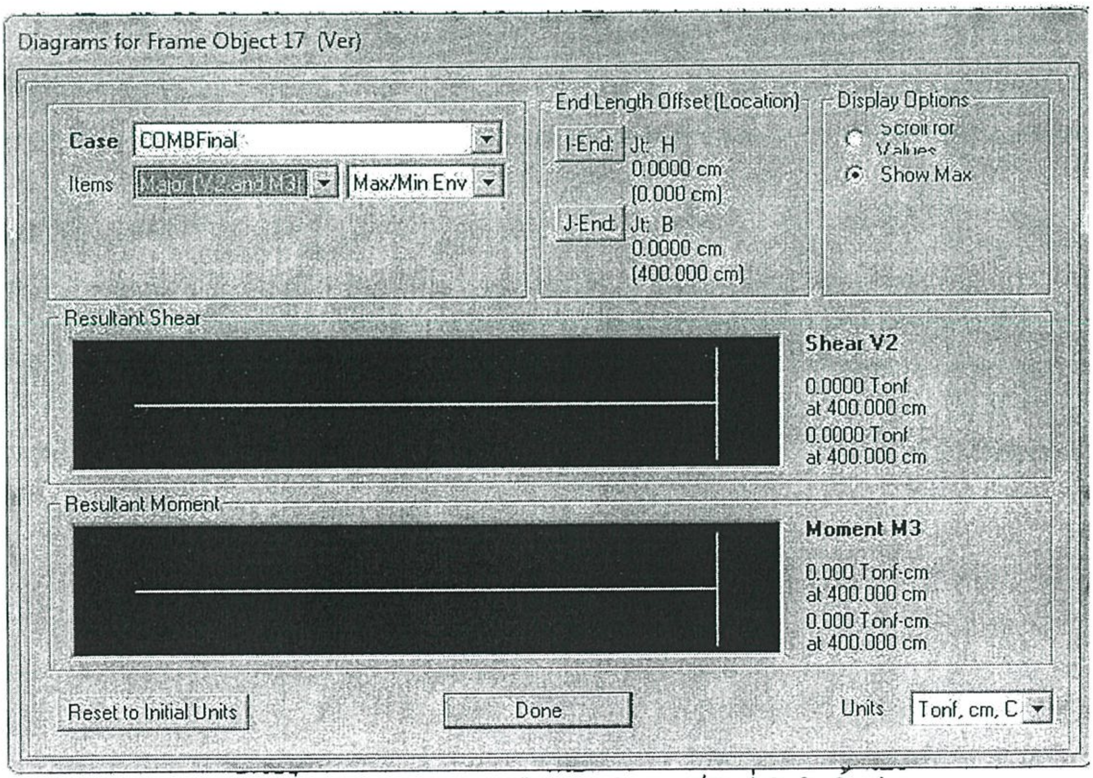
Units: Tonf, cm, C

Done

รูปที่4.19 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 17

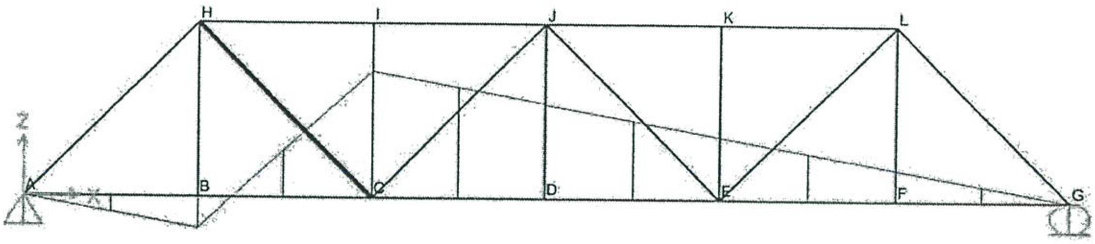


รูปที่4.20 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 17



รูปที่ 4.21 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 17

จ. ชิ้นส่วน 13 (รับแรงดึง)



รูปที่4.22 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 13

Case Final Influence forFrame 13, RD = 0.5, Axial Force

Influence Data

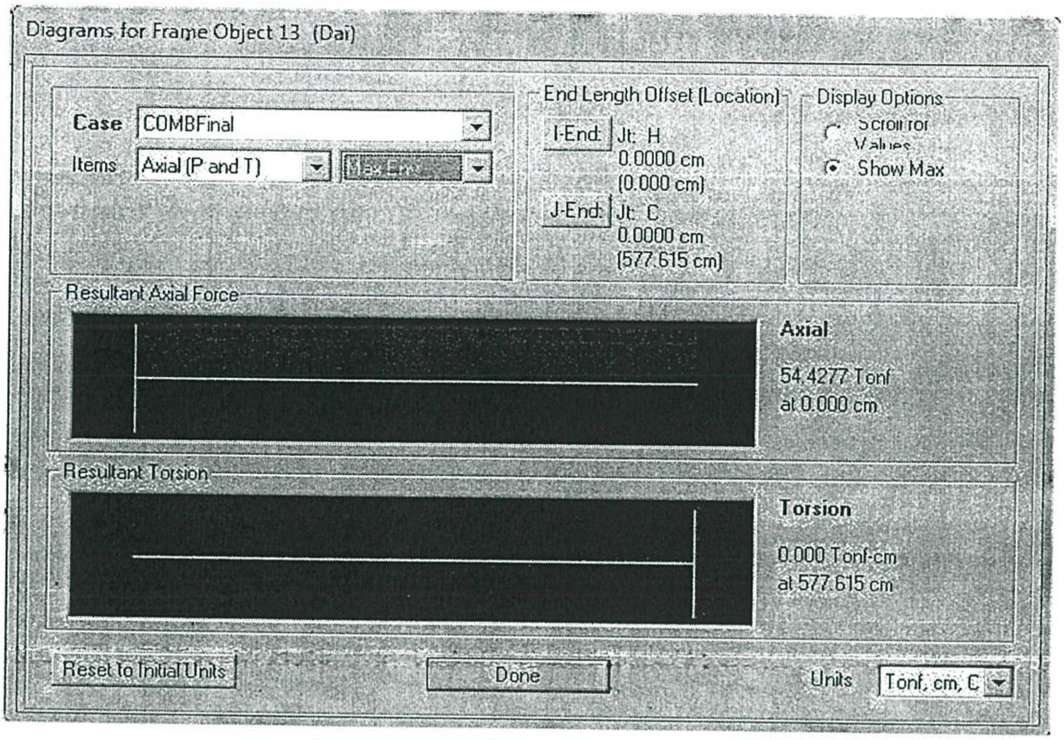
	Path	Station	Sta. Dist	Global X	Global Y	Global Z	Influence
			cm	cm	cm	cm	Tonf
1	PATH1	1	0.	0.1	0.	0.	-5.776E-05
2	PATH1	2	208.25	208.35	0.	0.	-0.1203
3	PATH1	3	416.5	416.6	0.	0.	-0.2406
4	PATH1	4	416.7	416.8	0.	0.	-0.2404
5	PATH1	5	624.95	625.05	0.	0.	0.361
6	PATH1	6	833.2	833.3	0.	0.	0.9624
7	PATH1	7	833.4	833.5	0.	0.	0.9626
8	PATH1	8	1041.65	1041.75	0.	0.	0.8424
9	PATH1	9	1249.9	1250.	0.	0.	0.7221
10	PATH1	10	1250.1	1250.2	0.	0.	0.722
11	PATH1	11	1458.35	1458.45	0.	0.	0.6017
12	PATH1	12	1666.6	1666.7	0.	0.	0.4814
13	PATH1	13	1666.8	1666.9	0.	0.	0.4813
14	PATH1	14	1875.05	1875.15	0.	0.	0.361
15	PATH1	15	2083.3	2083.4	0.	0.	0.2407
16	PATH1	16	2083.5	2083.6	0.	0.	0.2406
17	PATH1	17	2291.75	2291.85	0.	0.	0.1203
18	PATH1	18	2500.	2500.1	0.	0.	5.776E-05

Copy To Clipboard: Copy Entire Table | Copy Selected Cells

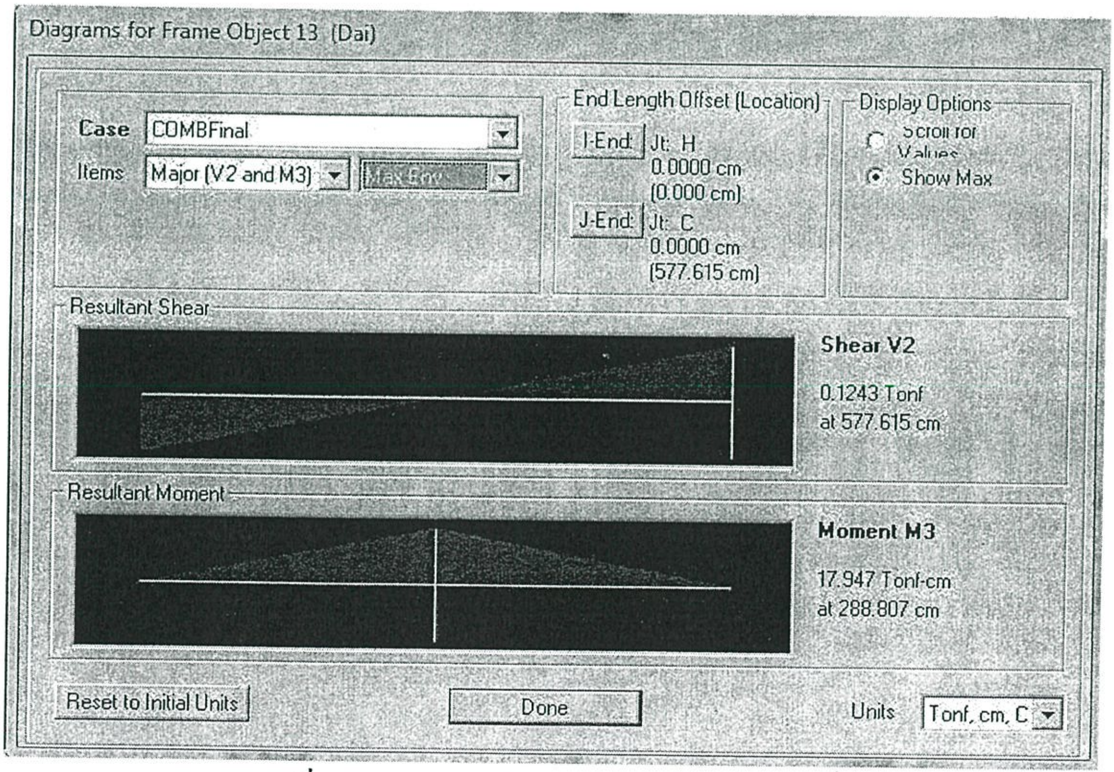
Units: Tonf, cm, C

Done

รูปที่4.23 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 13

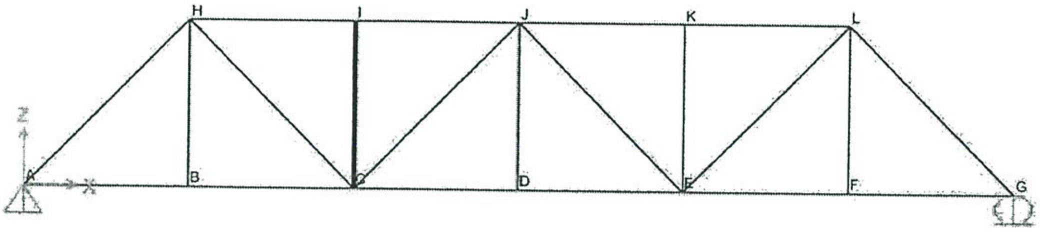


รูปที่4.24 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 13



รูปที่4.25 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 13

ฉ. ชิ้นส่วน 18 (รับแรงอัด)



รูปที่4.26 แสดงInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 18

Case Final Influence forFrame 18, RD = 0.5, Axial Force

Influence Data

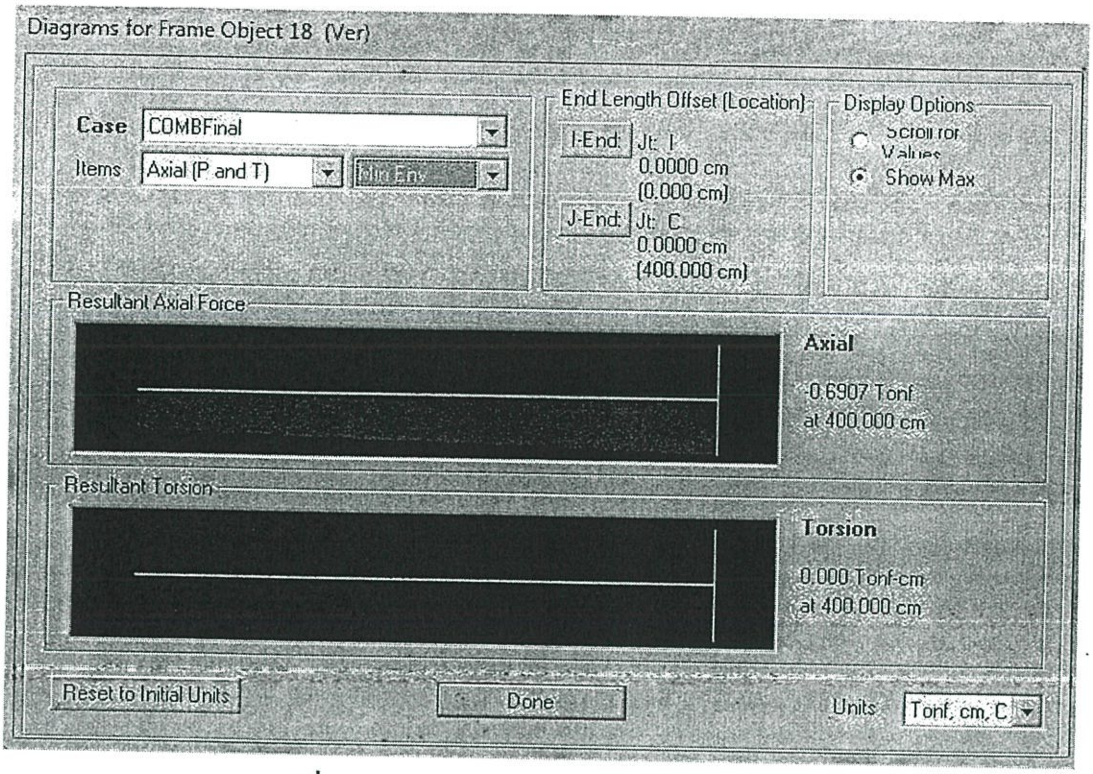
	Path	Station	Sta. Dist	Global X	Global Y	Global Z	Influence
			cm	cm	cm	cm	Tonf
1	PATH1	1	0.	0.1	0.	0.	0.
2	PATH1	2	208.25	208.35	0.	0.	0.
3	PATH1	3	416.5	416.6	0.	0.	0.
4	PATH1	4	416.7	416.8	0.	0.	0.
5	PATH1	5	624.95	625.05	0.	0.	0.
6	PATH1	6	833.2	833.3	0.	0.	0.
7	PATH1	7	833.4	833.5	0.	0.	0.
8	PATH1	8	1041.65	1041.75	0.	0.	0.
9	PATH1	9	1249.9	1250.	0.	0.	0.
10	PATH1	10	1250.1	1250.2	0.	0.	0.
11	PATH1	11	1458.35	1458.45	0.	0.	0.
12	PATH1	12	1666.6	1666.7	0.	0.	0.
13	PATH1	13	1666.8	1666.9	0.	0.	0.
14	PATH1	14	1875.05	1875.15	0.	0.	0.
15	PATH1	15	2083.3	2083.4	0.	0.	0.
16	PATH1	16	2083.5	2083.6	0.	0.	0.
17	PATH1	17	2291.75	2291.85	0.	0.	0.
18	PATH1	18	2500.	2500.1	0.	0.	0.

Copy To Clipboard: Copy Entire Table | Copy Selected Cells

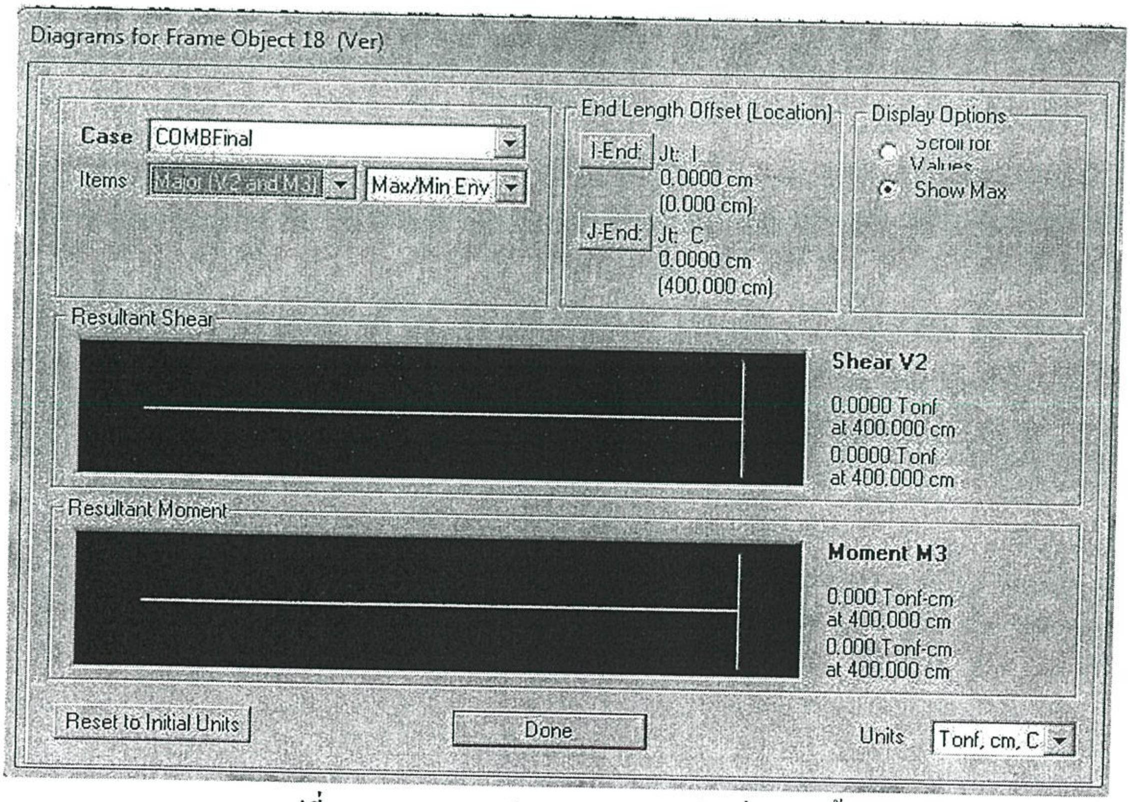
Units: Tonf, cm, C

Done

รูปที่4.27 แสดงตารางInfluent Lineในชิ้นส่วนที่ 18



รูปที่4.28 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดในชิ้นส่วนที่ 18



รูปที่4.29 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดในชิ้นส่วน 18

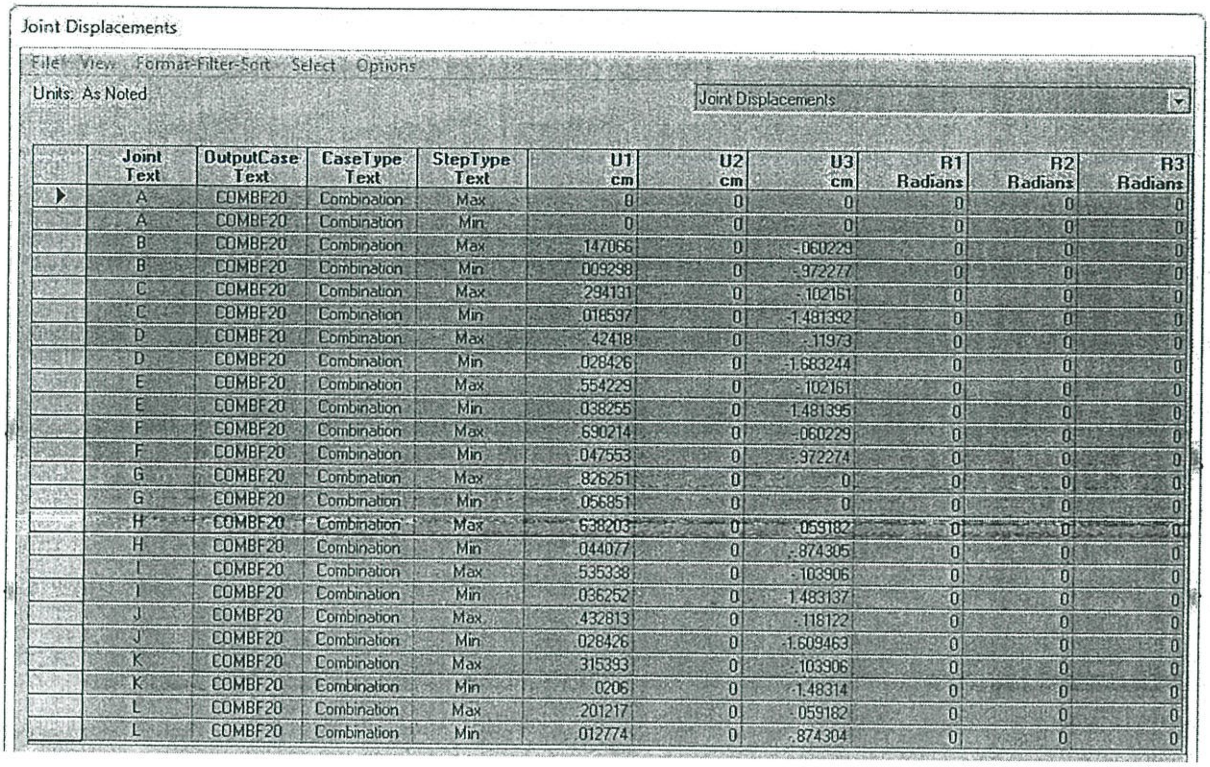
เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลาลากตู้โดยสาร 20 ตู้ มาวิ่งผ่านแบบจำลอง จะได้ผลการคำนวณออกมา โดยเรานำข้อมูลที่ได้คือ ค่าแรงตามแนวแกน

สูงสุด(Maximum Axial Force) โมเมนต์ดัดสูงสุด(Maximum Bending Moment)และแรงเฉือนสูงสุด(Maximum Shear Force) ของแต่ละชิ้นส่วน และได้ค่าการเคลื่อนตัวตามแกน Z(แนวดิ่ง) แนวแกนX(แนวราบ)ของข้อต่อต่างๆ จากการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 มารวบรวมเขียนลงในตารางดังนี้

ตารางที่4.1 แสดงค่าต่างๆในชิ้นส่วนที่ได้จากการคำนวณจากโปนแกรม SAP2000

Member	Compression Force (Tonf)	Tension Force (Tonf)	Shear Force (Tonf)	Bending Moment(Tonf-m)
1	-	56.23	25.86	19.81
2	-	56.23	25.86	19.81
3	-	94.82	25.96	19.91
4	-	94.82	25.86	19.81
5	-	56.19	25.86	19.81
6	-	56.19	25.86	19.81
7	78.17	-	0.24	0.35
8	88.75	-	0.24	0.25
9	88.75	-	0.24	0.25
10	88.68	-	0.24	0.25
11	88.68	-	0.24	0.25
12	78.13	-	0.24	0.35
13	-	54.42	0.12	0.18
14	35.71	-	0.12	0.18
15	35.71	-	0.12	0.18
16	-	54.38	0.12	0.18
17	-	33.06	0.00	0.00
18	0.69	-	0.00	0.00
19	-	33.15	0.00	0.00
20	0.69	-	0.00	0.00
21	-	33.06	0.00	0.00

4.1.5.แสดงผลการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวตามแนวราบและแนวดิ่งของข้อต่อ(joint)ต่างๆ ของสะพานจากโปรแกรม SAP2000



Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
A	COMBF20	Combination	Max	0	0	0	0	0	0
A	COMBF20	Combination	Min	0	0	0	0	0	0
B	COMBF20	Combination	Max	.147066	0	-.060229	0	0	0
B	COMBF20	Combination	Min	.009298	0	-.972277	0	0	0
C	COMBF20	Combination	Max	.294131	0	-.102161	0	0	0
C	COMBF20	Combination	Min	.018597	0	-1.481392	0	0	0
D	COMBF20	Combination	Max	.42418	0	-.11973	0	0	0
D	COMBF20	Combination	Min	.028426	0	-1.683244	0	0	0
E	COMBF20	Combination	Max	.554229	0	-.102161	0	0	0
E	COMBF20	Combination	Min	.038255	0	1.481395	0	0	0
F	COMBF20	Combination	Max	.690214	0	-.060229	0	0	0
F	COMBF20	Combination	Min	.047553	0	-.972274	0	0	0
G	COMBF20	Combination	Max	.826251	0	0	0	0	0
G	COMBF20	Combination	Min	.056851	0	0	0	0	0
H	COMBF20	Combination	Max	.638203	0	-.059182	0	0	0
H	COMBF20	Combination	Min	.044077	0	-.874305	0	0	0
I	COMBF20	Combination	Max	.535338	0	-.103906	0	0	0
I	COMBF20	Combination	Min	.036252	0	1.483137	0	0	0
J	COMBF20	Combination	Max	.432813	0	-.118122	0	0	0
J	COMBF20	Combination	Min	.028426	0	-1.609463	0	0	0
K	COMBF20	Combination	Max	.315393	0	-.103906	0	0	0
K	COMBF20	Combination	Min	.0206	0	-1.48314	0	0	0
L	COMBF20	Combination	Max	.201217	0	-.059182	0	0	0
L	COMBF20	Combination	Min	.012774	0	-.874304	0	0	0

รูปที่4.30 แสดงผลการคำนวณค่าการเคลื่อนตัว

จากตารางจะเห็นว่ามีทั้งค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำหนักกระทำจากขบวนรถไฟที่กระทำกับสะพานแบบจำลอง ถูกป้อนให้ “กระทำแบบน้ำหนักกระทำแบบเคลื่อนที่(Moving load)” ซึ่งจากทฤษฎี Influent Line จะทำให้การเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและแนวราบมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักที่กระทำ เพราะในส่วนหัวขบวนรถไฟโดยหัวรถจักรจะมีน้ำหนักกระทำมากกว่าส่วนกลางและท้ายขบวนที่เป็นโบกี้ ซึ่งเราจะนำการเคลื่อนตัวที่มากที่สุดไปวิเคราะห์แบบจำลองสะพานว่าจะมีการเคลื่อนตัวที่น้อยกว่าข้อกำหนดหรือไม่ จึงได้รวบรวมค่าการเคลื่อนตัวที่มากที่สุด(Maximum Displacement) ทั้งแนวดิ่งและแนวราบไว้ในตาราง

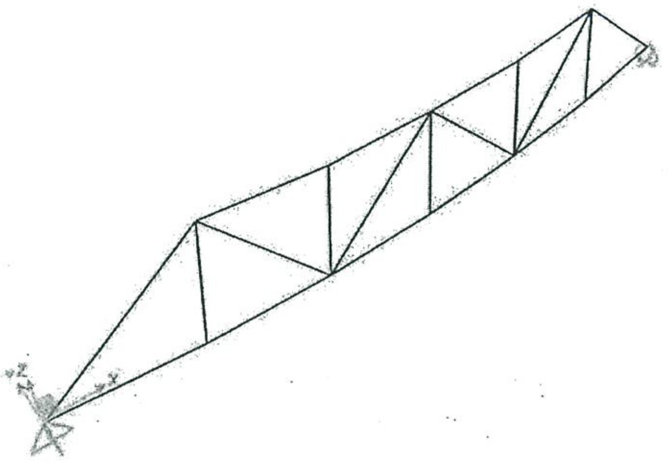
ตารางที่4.2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ และแนวดิ่งมากที่สุด(Maximum displacement) ของข้อต่อจุดต่างๆ

Joint	Displacement x-axis (cm)	Displacement z-axis (cm)	Remark
A	0.00	0.00	
B	0.15	-0.99	
C	0.30	-1.54	
D	0.44	-1.79	Max in z-axis
E	0.58	-1.54	
F	0.72	-0.99	
G	0.87	0.00	
H	0.67	-0.91	
I	0.55	-154	
J	0.44	-1.71	
K	0.32	-1.54	
L	0.22	-0.91	

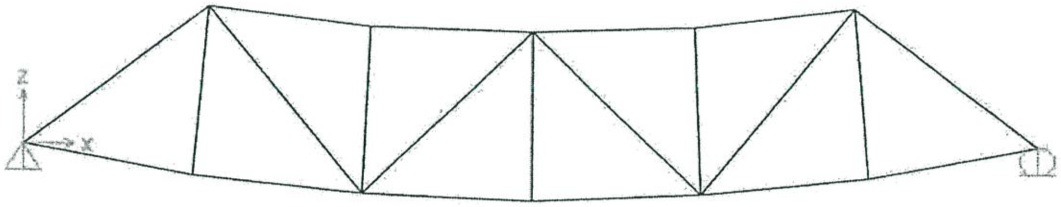
ในทำนองเดียวกัน เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 15 ตัน/เพลา ลากโบกี้20โบกี้มากระทำกับแบบจำลองสะพาน แบบจำลองสะพานก็จะมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักกระทำเช่นเดียวกับกรณีใช้ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา ลากโบกี้20โบกี้ แต่จะมีค่าผลการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งเราจะแสดงให้เห็นถึงเฉพาะค่าแรงตามแนวแกนสูงสุด(Maximum Axial Force) โมเมนต์ดัดสูงสุด(Maximum Bending Moment) แรงเฉือนสูงสุด(Maximum Shear Force) ของแต่ละชิ้นส่วน และได้ค่าการเคลื่อนตัวตามแกนZ(แนวดิ่ง) แนวแกนX(แนวราบ)

4.2. ผลการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา พร้อมโบกี้โดยสาร 20ตู้ มาวิ่งผ่านแบบจำลอง

4.2.1. การเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้นของแบบจำลอง

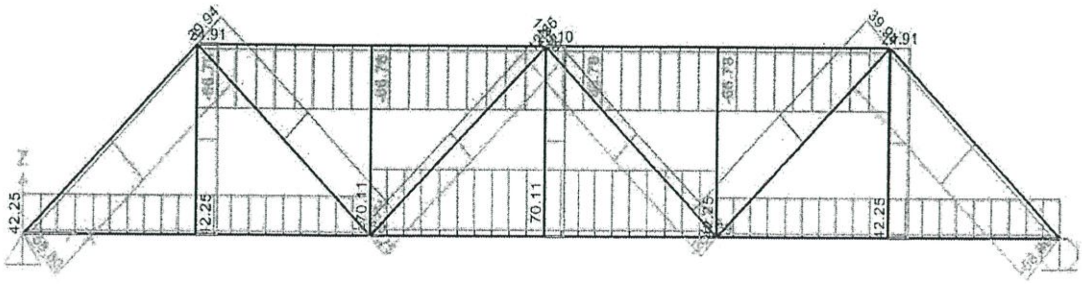


รูปที่4.31 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 3 มิติ



รูปที่4.32 แสดงการเปลี่ยนรูปของแบบจำลอง ใน 2 มิติ

4.2.2. แรงตามแนวแกน(Axial Force)ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน



รูปที่4.33 แสดงแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วน

เมื่อนำขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลาลากตู้โดยสาร 20 ตู้ มาวิ่งผ่านแบบจำลอง จะได้ผลการคำนวณออกมา โดยเรานำข้อมูลที่ได้คือ ค่าแรงตามแนวแกนสูงสุด(Maximum Axial Force) โมเมนต์ดัดสูงสุด(Maximum Bending Moment)และแรงเฉือนสูงสุด(Maximum Shear Force) ของแต่ละชิ้นส่วน และได้ค่าการเคลื่อนตัวตามแกน Z(แนวดิ่ง) แนวแกนX(แนวราบ)ของแต่ละข้อต่อ จากการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 มารวบรวมเขียนลงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่4.3 แสดงค่าต่างๆในชิ้นส่วนที่ได้จากการคำนวณจากโปนแกรม SAP2000

Member	Compression Force (Tonf)	Tension Force (Tonf)	Shear Force (Tonf)	Bending Moment(Tonf-m)
1	-	42.42	19.43	14.89
2	-	42.25	19.43	14.89
3	-	70.11	19.52	14.99
4	-	70.11	19.52	14.99
5	-	42.25	19.43	14.89
6	-	42.25	19.43	14.89
7	58.80	-	0.24	0.35
8	66.78	-	0.24	0.25
9	66.78	-	0.24	0.25
10	66.78	-	0.24	0.25
11	66.78	-	0.24	0.25
12	58.80	-	0.24	0.35
13	-	39.94	0.12	0.18
14	26.24	-	0.12	0.18
15	26.24	-	0.12	0.18
16	-	39.94	0.12	0.18
17	-	24.70	0.00	0.00
18	0.69	-	0.00	0.00
19	-	25.09	0.00	0.00
20	0.69	-	0.00	0.00
21	-	24.91	0.00	0.00

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ และแนวดิ่งมากที่สุด(Maximum displacement) ของข้อต่อ(joint)จุดต่างๆ

Joint	Displacement x-axis (cm)	Displacement z-axis (cm)	Remark
A	0.000	0.000	
B	0.11	-0.75	
C	0.23	-1.16	
D	0.33	-1.33	Max in z-axis
E	0.43	-1.16	
F	0.54	-0.75	
G	0.65	0.000	
H	0.50	-0.68	
I	0.41	-1.16	
J	0.33	-1.27	
K	0.24	-1.16	
L	0.16	-0.68	

บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลการศึกษา

5.1. การวิเคราะห์ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member)

ในการจะหากำลังรับแรงดึงใช้งานของชิ้นส่วนในโครงถักสะพานรถไฟนั้น เราจะทำการคำนวณใช้ตามมาตรฐานของ AISC (American Institute of Steel Construction)โดยเลือกใช้วิธีวิเคราะห์แบบ ASD (Allowable Stress Design) สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ซึ่งสำหรับแรงดึงถึงจุดครากที่ยอมให้มีสูตรการคำนวณ

(Yielding Failure) : $T_{allow} = 0.6FyAg$

สำหรับสะพานใหม่ (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 ถึงปัจจุบัน) ให้แรงดึงตามแนวแกนที่เกิดขึ้น มีค่าไม่เกิน 100 % ของแรงดึงที่ยอมให้ ดังนั้นค่าอัตราส่วนระหว่าง แรงที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (Ratio) ต้องมีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง แรงที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (Ratio)สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Ratio} = \frac{Axialforce}{Fallow}$$ ซึ่งต้องมีค่าไม่เกิน 1

ชิ้นส่วนที่3 มีแรงดึงซึ่งได้จากโปรแกรม SAP2000 เท่ากับ 94823 กก.

ดังนั้นอัตราส่วนระหว่าง แรงที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (Ratio)

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Axialforce}}{\text{Fallow}} = \frac{94823}{220506} = 0.43$$

5.1.1. การวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงใช้งาน (หัวรถจักร 20 ตัน/เพลา)

เราต้องรู้ว่าชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนสามารถรับแรงดึงได้เท่าไหร่ ซึ่งต้องไปคำนวณหาค่าแรงดึงที่ยอมให้ในทุกๆชิ้นส่วน ซึ่งจะยกตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณกำลังรับแรงดึงใช้งานตามวิธี ASD ของชิ้นส่วน 3 :

-สำหรับ Yielding Failure :

$$T_{allow} = 0.6FyAg$$

$$= 0.6(2500)(133.64)$$

$$= 220{,}506 \text{ กก.}$$

ดังนั้นกำลังรับแรงดึงใช้งานที่ยอมให้ของชิ้นส่วนที่ 3 คือ 220,506 กก.

จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าแรงดึงตามแนวแกนในชิ้นส่วนต่างๆ จากการคำนวณโดยโปรแกรม SAP2000ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงที่ยอมให้จากการที่เราคำนวณได้ในทุกๆชิ้นส่วนจะได้ข้อมูลดังตาราง

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของแต่ละชิ้นส่วน (หัวรถจักร 20ตัน/เพลา)

การวิเคราะห์การรับแรงดึง			
Member	Axial Force (kg.)	F(allowable) (kg.)	Ratio
1	56230	125400	0.45
2	56230	125400	0.45
3	94823	220506	0.43
4	94823	220506	0.43
5	56230	125400	0.45
6	56230	125400	0.45
7	-	243903	-
8	-	243903	-
9	-	243903	-
10	-	243903	-
11	-	243903	-
12	-	243903	-
13	54427	125400	0.43
14	17220	125400	0.14
15	17220	125400	0.14
16	54382	125400	0.43
17	33062	108900	0.30
18	-	108900	-
19	33156	108900	0.30
20	-	108900	-
21	33062	108900	0.30

โดยการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง แรงที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (Axial force's Ratio)ของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งจะยกตัวอย่างการคำนวณหา Axial force's Ratio ของชิ้นส่วนที่ 3

ตัวอย่างการคำนวณหา Axial force's Ratio ของชิ้นส่วนที่3

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Axialforce}}{\text{Fallow}} = \frac{94823}{220506} = 0.43$$

5.1.2. การวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงใช้งาน (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา จะได้ผลการคำนวณดังตาราง ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของแต่ละชิ้นส่วน (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)

ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของแต่ละชิ้นส่วน (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)			
Member	Axial Force (kg)	F (allowable) (kg)	Ratio
1	42420	125400	0.33
2	42250	125400	0.33
3	70110	220506	0.32
4	70110	220506	0.32
5	42250	125400	0.34
6	42250	125400	0.34
7	-	243903	-
8	-	243903	-
9	-	243903	-
10	-	243903	-
11	-	243903	-
12	-	243903	-
13	39940	125400	0.32
14	12560	125400	0.10
15	12560	125400	0.10
16	39940	125400	0.32
17	24700	108900	0.22
18	-	108900	-
19	25090	108900	0.23
20	-	108900	-
21	24910	108900	0.23

5.2. การวิเคราะห์ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression member)

ในการจะหากำลังรับแรงอัดใช้งานของชิ้นส่วนในโครงถักสะพานรถไฟนั้น เราจะทำการคำนวณใช้ตามมาตรฐานของ AISC (American Institute of Steel Construction)โดยเลือกใช้วิธีวิเคราะห์แบบ ASD (Allowable Stress Design) สำหรับส่วนโครงสร้างรับแรงดึงทั่วไป ให้พิจารณาใช้ค่าน้อยของหน่วยแรงอัดที่ยอมให้(F_{allow}, Fa)ขั้นตอนแรกเราจะคำนึงถึงว่าชิ้นส่วนนั้นมีการโก่งเดาะในช่วง อีลาสติก หรือ อินอีลาสติก โดยพิจารณาจากค่า $\frac{KL}{R}$ ว่ามีค่ามากกว่า หรือน้อยกว่าค่า Cc ($Cc = \sqrt{2\pi^2 E/Fy} = 125.7$) ซึ่งจากการคำนวณ ชิ้นส่วนทุกชิ้นมีการโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติกทั้งหมด ดังนั้น หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (Fa)สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$F_a = \frac{1-\frac{1}{2}\left(\frac{\frac{KL}{r}}{Cc}\right)^2}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{Cc}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{Cc}\right)^3} Fy$$

โดยเราจะยกตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่างๆที่กล่าวมาในชิ้นส่วนที่9

ตัวอย่างหารคำนวณหาค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในชิ้นส่วนที่ 9 :

อัตราส่วนความชะลูด $\frac{KL}{R} = \frac{0.65(416.7)}{9.95} = 27.22 < Cc = \sqrt{2\pi^2 E/Fy} = 125.7$

แสดงว่าโก่งเดาะในช่วงอินอิลาสติก

หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

$$F_a = \frac{1-\frac{1}{2}\left(\frac{\frac{KL}{r}}{Cc}\right)^2}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{Cc}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{Cc}\right)^3} Fy$$

แทนค่า จะได้ $F_a = 1497$ กก./ตร.ซม.

ทำการหาค่าแรงอัดที่ยอมให้โดยเอาค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ คูณ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนนั้นๆ

$P = A_g F_a = (147.82)(1497) = 221287.425$ กก.

ดังนั้นกำลังรับแรงอัดใช้งาน = 221287.425 กก.

ตารางที่ 5.3 แสดงการคำนวณหากำลังรับแรงอัดใช้งานที่ยอมให้ของแต่ละชิ้นส่วน โดยวิธี ASD

การหากำลังรับแรงอัดใช้งาน								
Member	K	L(cm)	r (cm)	KL/r	Cc	Ag (cm^2)	$F_a(kg/cm^6)$	$P_a(kg)$
1	0.65	416.7	4.21	-	-	76	-	-
2	0.65	416.7	4.21	-	-	76	-	-
3	0.65	416.7	4.07	-	-	133	-	-
4	0.65	416.7	4.07	-	-	133	-	-
5	0.65	416.7	4.21	-	-	76	-	-
6	0.65	416.7	4.21	-	-	147	-	-
7	0.65	577.6	9.95	37.73	125.7	147	1497	221287
8	0.65	416.7	9.95	27.22	125.7	147	1497	221287
9	0.65	416.7	9.95	27.22	125.7	147	1497	221287
10	0.65	416.7	9.95	27.22	125.7	147	1497	221287
11	0.65	416.7	9.95	27.22	125.7	147	1497	221287
12	0.65	577.6	9.95	37.73	125.7	147	1497	221287
13	0.65	577.6	5.86	-	-	76	-	-
14	0.65	577.6	5.86	64.07	125.7	76	1497	113772
15	0.65	577.6	5.86	64.07	125.7	76	1497	113772
16	0.65	577.6	5.86	-	-	76	-	-
17	0.65	400	4.51	-	-	66	-	-
18	0.65	400	4.51	57.65	125.7	66	1497	98802
19	0.65	400	4.51	-	-	66	-	-
20	0.65	400	4.51	57.65	125.7	66	1497	98802
21	0.65	400	4.51	-	-	66	-	-

5.2.1. การวิเคราะห์กำลังรับแรงอัด (หัวรถจักร 20ตัน/เพลา)

นำค่าแรงอัดที่ยอมให้จากการคำนวณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าแรงอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้น ซึ่งได้จากผลการคำนวณจากโปรแกรม SAP2000 มาเปรียบเทียบกัน เพื่อหา อัตราส่วนระหว่าง แรงที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้(Axial force's Ratio) จะได้ดังตาราง

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงอัดที่เกิดขึ้นกับกำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ (หัวรถจักร20ตัน/เพลา)

Member	P(allow) (kg.)	Axial Force	Ratio
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	221287	78170	0.35
8	221287	88750	0.40
9	221287	88750	0.40
10	221287	88680	0.40
11	221287	88680	0.40
12	221287	78130	0.35
13	113772	3260	0.03
14	113772	35710	0.31
15	113772	35710	0.31
16	113772	3260	0.03
17	-	-	-
18	98802	6900	0.07
19	-	-	-
20	98802	6900	0.07
21	-	-	-

โดยการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง แรงที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (Axial force's Ratio)ของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งจะยกตัวอย่างการคำนวณหา Axial force's Ratio ของชิ้นส่วนที่ 9

ตัวอย่างการคำนวณหา Axial force's Ratio ของชิ้นส่วนที่ 9

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Axialforce}}{\text{Fallow}} = \frac{88917}{194959.82} = 0.46$$

5.2.2. การวิเคราะห์กำลังรับแรงอัด (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)

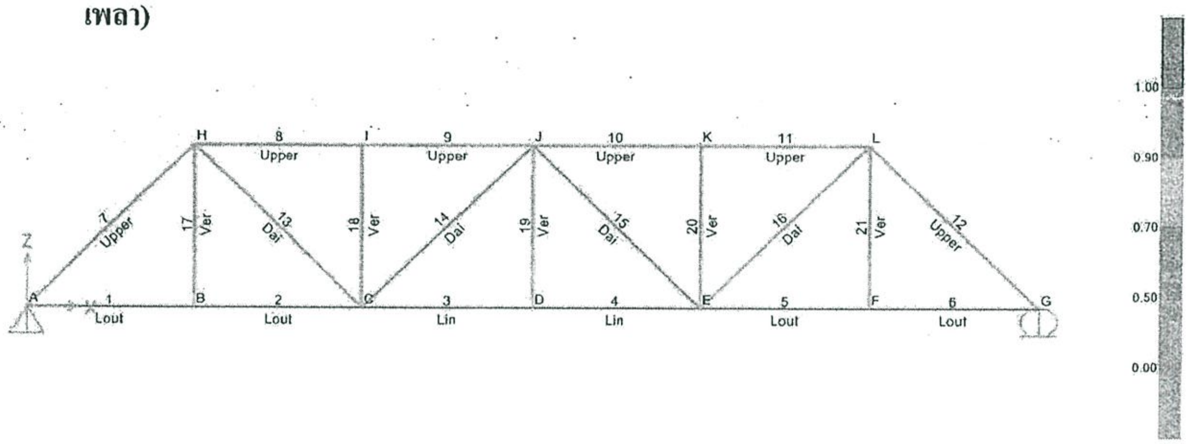
ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงอัดที่เกิดขึ้นกับกำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ (หัวรถจักร 15 ตัน/เพลา)

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่รับแรงอัด 15 ตัน/เพลา			
Member	P (allowable) (kg.)	Axial Force (kg.)	Ratio
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	180319	58800	0.33
8	194959	66780	0.34
9	194959	66780	0.34
10	194959	66780	0.34
11	194959	66780	0.34
12	180319	58800	0.34
13	69118	1710	0.02
14	69118	26240	0.38
15	69118	26240	0.38
16	69118	1710	0.02
17	-	-	-

18	65546	6900	0.11
19	-	-	-
20	65546	6900	0.11
21	-	-	-

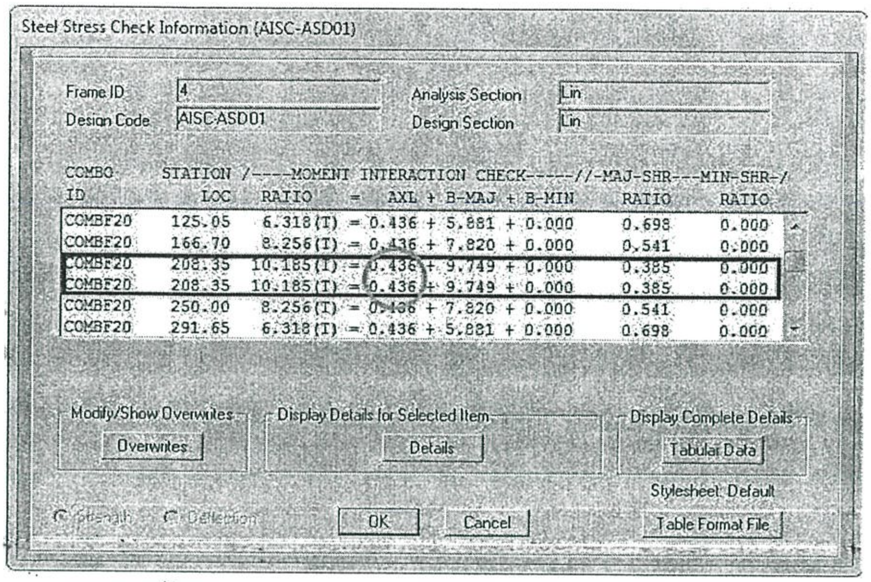
5.3. การเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นระหว่าง ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลากับขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา วิ่งผ่านแบบจำลองสะพาน

5.3.1 อัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (หัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา)



รูปที่5.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าชิ้นส่วนที่ Lower chord มีสีแดง ซึ่งหมายความว่ามีค่า Ratio เกิน 1 เนื่องจากว่าในการใส่น้ำหนักกระทำแบบ Moving load เข้าไปในเส้นทางของ lower chord ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดในชิ้นส่วนของ Lower chord ทำให้เกิดค่า Moment's Ratio ขึ้นมา แต่ในการออกแบบโครงถักจะไม่ให้ชิ้นส่วนรับน้ำหนักกระทำ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะไม่มีน้ำหนักกระทำบนชิ้นส่วนต่างๆของ Lower chord น้ำหนักรถไฟจะไปกระทำที่Stringer แล้วถ่ายมาที่ Floor Beam แล้วถ่ายต่อมายังข้อต่อของ Lower chord ดังนั้นในการจะวิเคราะห์ค่า Ratio เราจะพิจารณาที่ Axial Force's Ratio ซึ่งเราได้ยกตัวอย่างในชิ้นส่วนที่ 4 จะเห็นค่าจากโปรแกรมได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่5.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ในชิ้นส่วนที่ 4

จะเห็นว่าจากรูปที่ 5.2 มีค่า Axial force's Ratio เท่ากับ 0.436 ซึ่งไม่เกิน 1 ถือว่าชิ้นส่วนที่ 4 นี้สามารถรับแรงดึงที่เกิดในชิ้นส่วนได้เรานำค่า

นำค่า Axial force's Ratio มากที่สุดที่ได้จากโปรแกรม มารวบรวมได้ดังตาราง

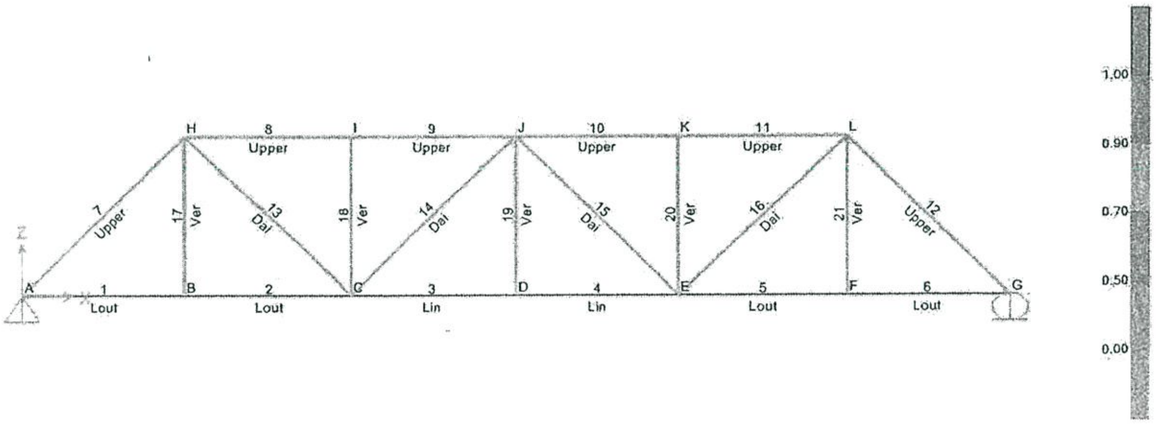
ตารางที่ 5.6แสดงค่า Axial Force's ratio ของหัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา จากโปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์

member	Ratio
1	0.474
2	0.474
3	0.436
4	0.436
5	0.474
6	0.474
7	0.451
8	0.456
9	0.456

10	0.456
11	0.456
12	0.451
13	0.487
14	0.568
15	0.568
16	0.487
17	0.330
18	0.010
19	0.332
20	0.010
21	0.330

ในทำนองเดียวกันกับน้ำหนักกระทำจากหัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา จะมีผลการคำนวณจากโปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์ดังต่อไปนี้

5.3.2 อัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ (หัวรถจักรชนิด 15ตัน/เพลา)



รูปที่5.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนกับแรงที่ยอมให้ หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา

ตารางที่ 5.7 แสดงค่า Ratio ของหัวรถจักรชนิด 15ตัน/เพลาที่ได้จากการคำนวณ

member	Ratio
1	0.366
2	0.366
3	0.345
4	0.345
5	0.366
6	0.366
7	0.326
8	0.360
9	0.360
10	0.360
11	0.360
12	0.326
13	0.346
14	0.455
15	0.455
16	0.346
17	0.249
18	0.010
19	0.250
20	0.010
21	0.249

5.4. การเปรียบเทียบแรงดึงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นระหว่าง ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลากับบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา วิ่งผ่านแบบจำลองสะพาน

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของแรงดึง $= \frac{56230-42420}{42420} \times 100 = 32.56\,\%$

ตารางที่ 5.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของแรงดึงในชิ้นส่วน

แรงดึง			
Member	U15	U20	%
1	42420	56230	33.56
2	42250	56230	33.09
3	70110	94823	35.25
4	70110	94823	35.25
5	42250	56230	33.09
6	42250	56230	33.09
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	-	-	-
13	39940	54427	36.27
14	12560	17220	37.10
15	12560	17220	37.10
16	39940	54382	36.16
17	24700	33062	33.86
18	-	-	-
19	25090	33156	32.15
20	-	-	-
21	24910	33062	32.73

5.5. การเปรียบเทียบแรงอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นระหว่าง ขบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลากับบวนรถไฟที่ใช้หัวรถจักรชนิด 15 ตัน/เพลา วิ่งผ่านแบบจำลองสะพาน

ตารางที่ 5.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของแรงอัดในชิ้นส่วน

แรงดึง			
Member	U15	U20	%
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	58800	78170	32.94
8	66780	88750	32.90
9	66780	88750	32.90
10	66780	88680	32.79
11	66780	88680	32.79
12	58800	78130	32.87
13	1710	3260	90.64
14	26240	35710	36.09
15	26240	35710	36.09
16	1710	3260	90.64
17	-	-	-
18	6900	6900	0.00
19	-	-	-
20	6900	6900	0.00
21	-	-	-

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของแรงอัด $= \frac{78170-58800}{58800} \times 100 = 32.94$ %

5.6 วิเคราะห์การโก่งตัวในแนวดิ่ง

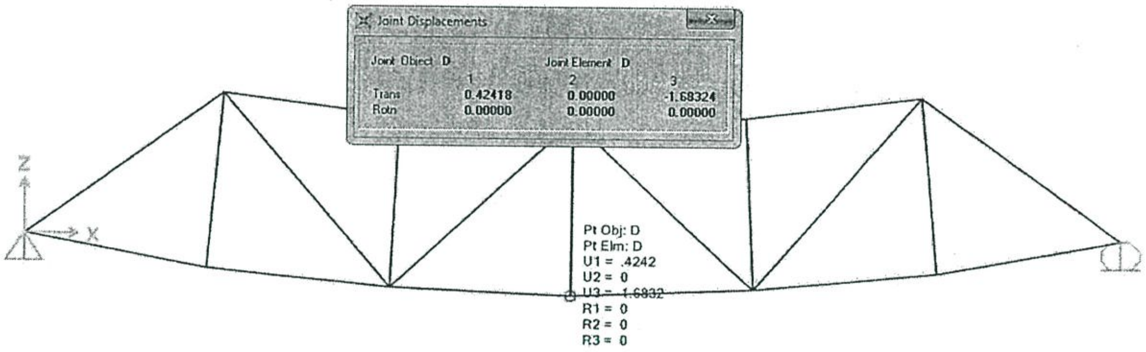
5.6.1 การโก่งตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้

การโก่งตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้ เท่ากับ $\frac{L}{1000}$

$= \frac{2500}{1000}$

= 2.50 เซนติเมตร

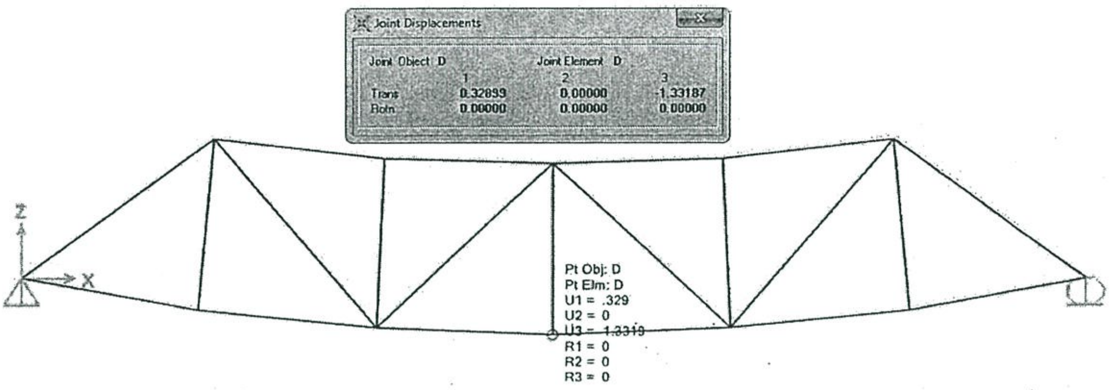
5.6.2 การโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา



รูปที่ 5.4 แสดงค่าการโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน/เพลา

การโก่งตัวในแนวดิ่งของสะพานเนื่องจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20ตัน/เพลา วิ่งผ่านมีค่า 1.68 เซนติเมตร ซึ่งไม่เกินค่าการโก่งตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้

5.6.3 การโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 15ตัน/เพลา



รูปที่ 5.3 แสดงค่าการโก่งตัวในแนวดิ่งเนื่องจากหัวรถจักรชนิด15ตัน/เพลา

การโก่งตัวในแนวดิ่งของสะพานเนื่องจากหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 15ตัน/เพลา วิ่งผ่านมีค่า 1.332 เซนติเมตร ซึ่งไม่เกินค่าการโก่งตัวในแนวดิ่งที่ยอมให้

5.5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การโก่งตัวในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้น

จากโปรแกรมจะเห็นว่าเมื่อหัวรถจักรชนิด 20ตัน/เพลา วิ่งบนสะพานเหล็กความยาว 25 เมตร ทำให้สะพานเหล็กมีการโก่งตัวในแนวดิ่งมากกว่าหัวรถจักรชนิด 15ตัน/เพลา ซึ่งเปอร์เซ็นต์การโก่งตัวในแนวดิ่งจะเพิ่มขึ้นจากหัวรถจักรชนิด 15ตัน/เพลาเท่ากับ

$$\frac{1.683-1.332}{1.332} \times 100\% = 26.35$$

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

(1)จากการศึกษาโดยนำเอาขบวนรถไฟที่เป็นหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน/เพลา มาวิ่งบนแบบจำลองสะพาน พบว่าชิ้นส่วนที่ Upper chord จะเกิดแรงอัดตามแนวแกน ชิ้นส่วนที่ Lower Chord จะเกิดแรงดึงตามแนวแกน ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะเป็นโครงสร้างหลักในการรับแรง จึงเกิดแรงตามแนวแกนขึ้นมาก แรงอัดและแรงดึงตามแนวแกนที่เกิด มีค่าน้อยกว่าค่าแรงอัดและแรงดึงที่ยอมให้ของแต่ละชิ้นส่วน โดยที่ชิ้นส่วนต่างๆมีค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดึงหรือแรงอัดที่เกิด กับแรงดึงหรือแรงอัดที่ยอมให้น้อยกว่า 1 หมายความว่าจะไม่เกิดการเสียรูปที่ชิ้นส่วนรับแรงดึงและแรงอัดนั้นๆ ในส่วนของการแอ่นตัวของสะพาน ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้มีค่าเท่ากับ 2.50 เซนติเมตร จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนตัวที่มากที่สุดของสะพานในแนวดิ่ง(Maximum Deflection) มีค่าเท่ากับ 1.683 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้ตามข้อกำหนด สะพานจึงสามารถรับน้ำหนักขบวนรถไฟที่เป็นหัวรถจักรชนิดน้ำหนักเพลามาตรฐาน 20 ตัน/เพลา ที่วิ่งผ่านสะพานได้

(2) เมื่อเรานำเอาบวนรถไฟที่เป็นหัวรถจักรชนิด15ตัน/เพลามาวิ่งบนแบบจำลองสะพาน แล้วทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับที่ใช้ขบวนรถไฟที่เป็นหัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา แล้วนำผลการศึกษาที่ได้ของขบวนรถไฟทั้ง 2 ชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่าแรงอัดและแรงดึงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนของสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำขบวนรถไฟที่เป็นหัวรถจักรชนิด 20 ตัน/เพลา มาใช้งาน ค่าจะเพิ่มขึ้นประมาณ 30% ในส่วนของการแอ่นตัวในแนวดิ่งของสะพาน จะมีค่าเพิ่มขึ้น 26.35 %

(3) เมื่อต้องการทราบว่าสะพานนี้จะสามารถรับน้ำหนักจากหัวรถจักรได้สูงสุดกี่ ตัน/เพลา เราได้ทดลองเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่กระทำ โดยค่าที่มากที่สุดที่สะพานจะรับได้คือไม่เกิน 50 ตัน/เพลา

6.2 ข้อเสนอแนะ

(1) สะพานจริงมีการถ่ายน้ำหนักจากรถไฟที่วิ่งผ่านลงที่ชิ้นส่วน Floor Beamก่อน จากนั้นจึงจะถ่ายลงสู่ข้อต่อต่างๆที่ Lower chord แต่การศึกษาครั้งนี้ศึกษาแบบ 2 มิติโดยใช้แรงกระทำเป็น moving load ซึ่งในการป้อนข้อมูล น้ำหนักกระทำจะกระทำกับชิ้นส่วน Lower Chord โดยตรง ทำให้ชิ้นส่วนที่ lower chord เกิดเกิดโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆใน lower chord

(2) ในการวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ เราคิดโดยให้ข้อต่อเป็นแบบไม่มีการเสียรูป (Rigid body) ดังนั้นการพังของสะพานจะเกิดเนื่องมาจากแรงอัดและแรงดึงตามแนวแกนในชิ้นส่วนต่างๆ

บรรณานุกรม

1. American Institute of Steel Construction, Inc. **Basic Design Values 1**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.ence.umd.edu/~ccfu/ref/Basic_Design_Values.pdf. สืบค้น 6 เมษายน 2558.

2. สุวิทย์ โวแสง. **ปัจจัยรูปร่างสำหรับรูปแบบการรับแรงต่างๆ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://sites.google.com/site/3tidesign/7-2. สืบค้น 6 เมษายน 2558.

3. อภิรัฐ ขำทอง. **ตัวคูณเพิ่มทางพลวัติของสะพานรถไฟโครงสร้างเหล็ก.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2551. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://research.rdi.ku.ac.th/world/cache/03/ApiratKHUAll.pdf. สืบค้น 21 กุมภาพันธ์ 2558.

4. **Moving Load Analysis of Box Girder Using SAP2000**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.scribd.com/doc/244962660/SAP2000-Example-Moving-Load#scribd. สืบค้น 8 กุมภาพันธ์ 2558.

5. จตุรพิธ มุลตองคะ และ สุวรรณดี สีลาโชติ. **พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพานรถไฟภายใต้การเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟ**. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี , [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaicontractors.com/uploads/article/article_1195814490.pdf. สืบค้น 5 กุมภาพันธ์ 2558.

6. วินิต ช่อวิเชียร. **การออกแบบโครงสร้างเหล็ก.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ:ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2553.

7. รายงานการออกแบบ. **โครงการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบระบบรถไฟรางคู่ระยะเร่งด่วน ช่วงชุมทางจิระ-ขอนแก่น** . กรุงเทพฯ:การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2557.

ภาคผนวก
คู่มือการใช้โปรแกรม

หลังจากที่ได้เรียบเรียงและจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมโดยเสร็จสมบูรณ์แล้ว ในที่นี้จะแบ่งหัวข้อหลักๆให้ผู้ใช้งานได้เรียนรู้โปรแกรม SAP2000 ดังนี้

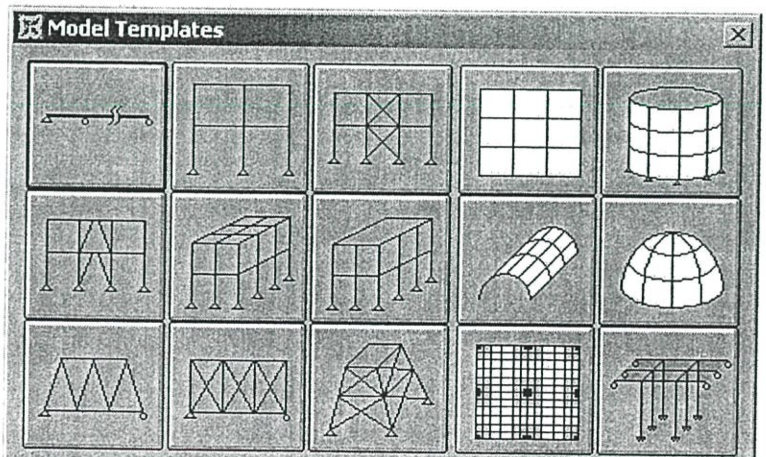
1. คู่มือการใช้งานกราฟฟิก
2. คู่มือการใช้งานเบื้องต้น

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

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

- 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 Pixel ในขนาด 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

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

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

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 ก่อนกำหนด Element โดย Joint จะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ เมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างถูกวาดขึ้น, วาดขอบเขตของโครงสร้างแล้วใช้ Meshing เทคนิคในการสร้างรายละเอียดแบบจำลอง

จะมีดังนี้

- Divide or Break Frames

- 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

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

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

1.3. View menu

1.3.1. Select 3D Views (เลือกภาพ 3 มิติ)

ถ้าต้องการมุมมองแบบ 3มิติ สามารถคลิกที่ปุ่ม

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

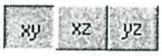
หมายเหตุ: สามารถกำหนดทิศทางของแบบจำลอง จากมุมบนด้านซ้าย 3D View ใน dialog box

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

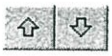
1.3.2. Select 2D Views (เลือกภาพ 2 มิติ)

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 

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

- 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

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

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

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

- 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 โดยโปรแกรมจะหาพื้นที่ของเหล็กที่ต้องการโดยอัตโนมัติ

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

- 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

- 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

- 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

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

5. คลิกปุ่ม OK

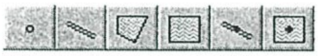
1.4.11. Define Joint Patterns

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

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

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

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

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

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
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:
   - 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
        - เลือก Remove Constraint

- คลิกปุ่ม OK
- Joint จะถูกเปลี่ยนจาก existing Constraint

1.7.4. การกำหนดมวลของ Joint

การใส่มวลใน Joint

1. เลือก Joint ที่คุณต้องการใส่ 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, D โดยต้องตรงกับค่าที่กำหนดให้Ax+By+Cz+D (x, y, z เป็นค่าที่สัมพันธ์กับระยะทางจากจุด origin ของแต่ละแกน) และมันจะเป็นค่า Pressure ในโครงสร้าง Shell element โดยค่าที่ผันแปรอาจเกิดจากการเพิ่มของอุณหภูมิใน Frame และความดันใน Shell สำหรับค่าคงที่ อาจเป็นตัวอย่างของแรงดันดินในผนัง
6. Options
   - 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
   - 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

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

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 xy xz yz
4. มุมมอง 3 มิติ ทำได้โดยคลิกปุ่ม 3-d
5. การเสียรูปร่าง ทำได้โดยคลิกปุ่ม
6. แรงปฏิกิริยาใน Joint ทำได้โดยคลิกปุ่ม J
7. ไดอะแกรมแรงใน Frame ทำได้โดยคลิกปุ่ม F
8. แรงใน Shell หรือ Stress Contours ทำได้โดยคลิกปุ่ม S
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
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

2. คู่มือการใช้งานเบื้องต้น

2.1. คำอธิบายแบบตัวอย่าง

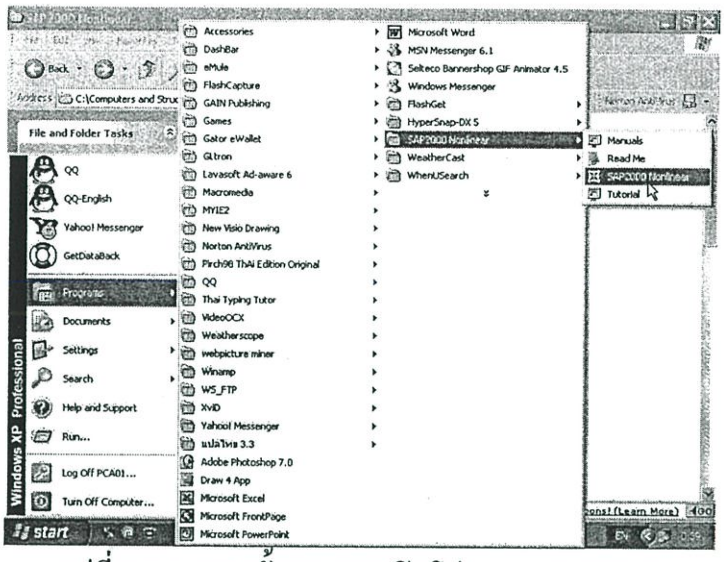
แบบตัวอย่างที่เลือกสำหรับการสอนเพื่อการวิเคราะห์ ออกแบบ ตรวจสอบ ทำการแก้ไข เป็นตัวอย่างสองมิติ five-bay truss of the "Warren" ที่เลือกจากโปรแกรม template แรงหลักที่กระทำคือแรงกระทำคงที่ dead load และ live point loads โดยในตัวอย่างนี้เราจะทำการวิเคราะห์แรงภายในชิ้นส่วน ซึ่งเกิดจากแรงกระทำทั้งสองกรณีที่กล่าวมา 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

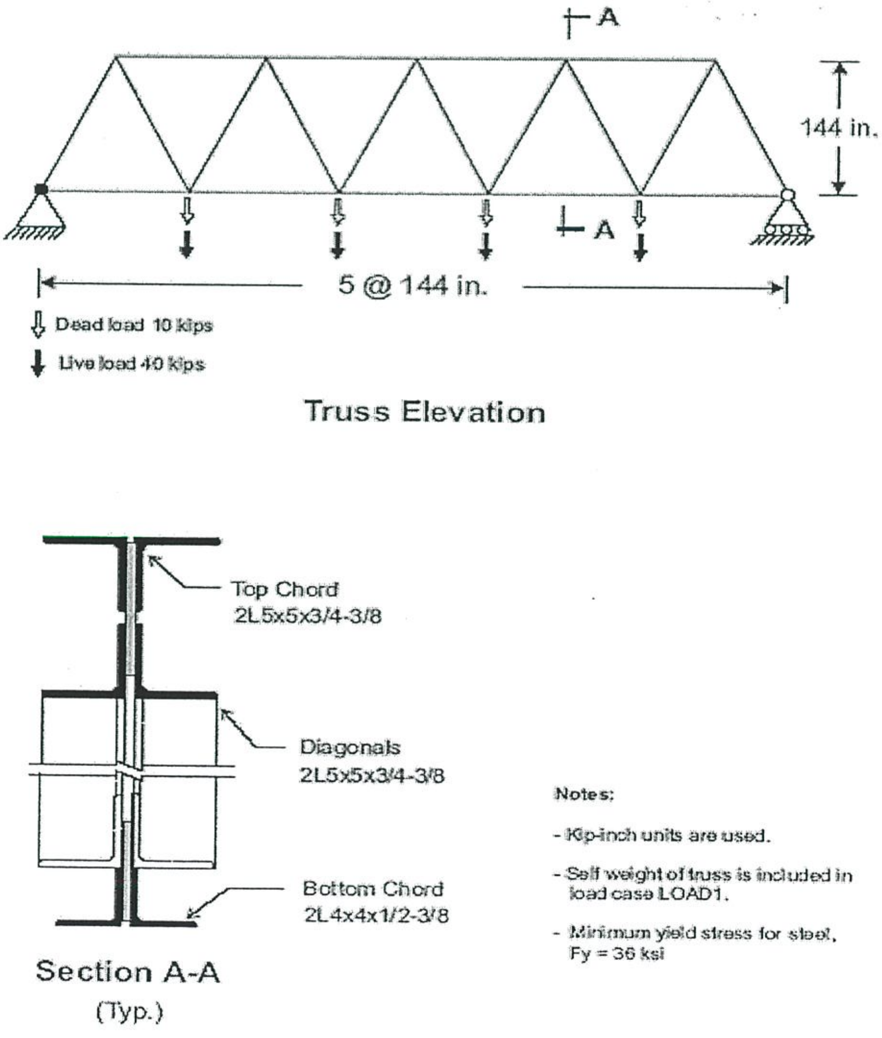
ต่อไปจะเป็นการอธิบายกระบวนการอย่างละเอียดสำหรับสร้างแบบจำลองโครงข้อหมุน แต่ละขั้นตอนในการใช้งานในโปรแกรม SAP2000 ดังนี้

ลักษณะทางเลขาคณิตจะนำมาจากแบบ template โดยใน templates จะให้เรากำหนดจำนวนค่าเริ่มต้นต่างๆ

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



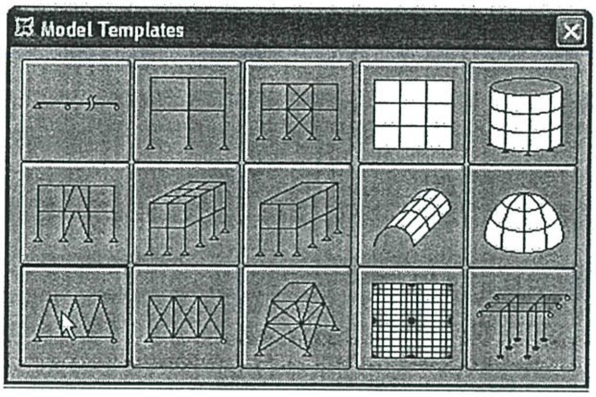
รูปที่ ผ-2.1 แสดงขั้นตอนการเปิดโปรแกรม SAP2000



รูปที่ ผ-2.2 แสดงตัวอย่างโครง truss ที่ทำการออกแบบ

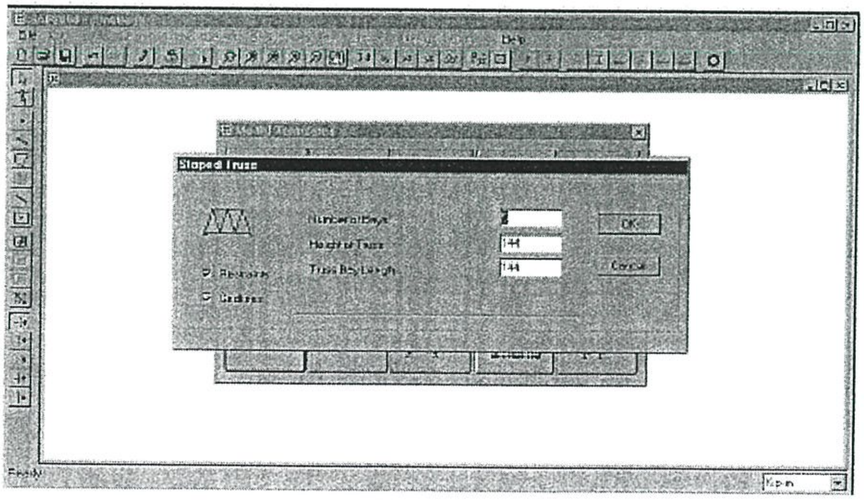
2.3. การตั้งค่าทางเรขาคณิต

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



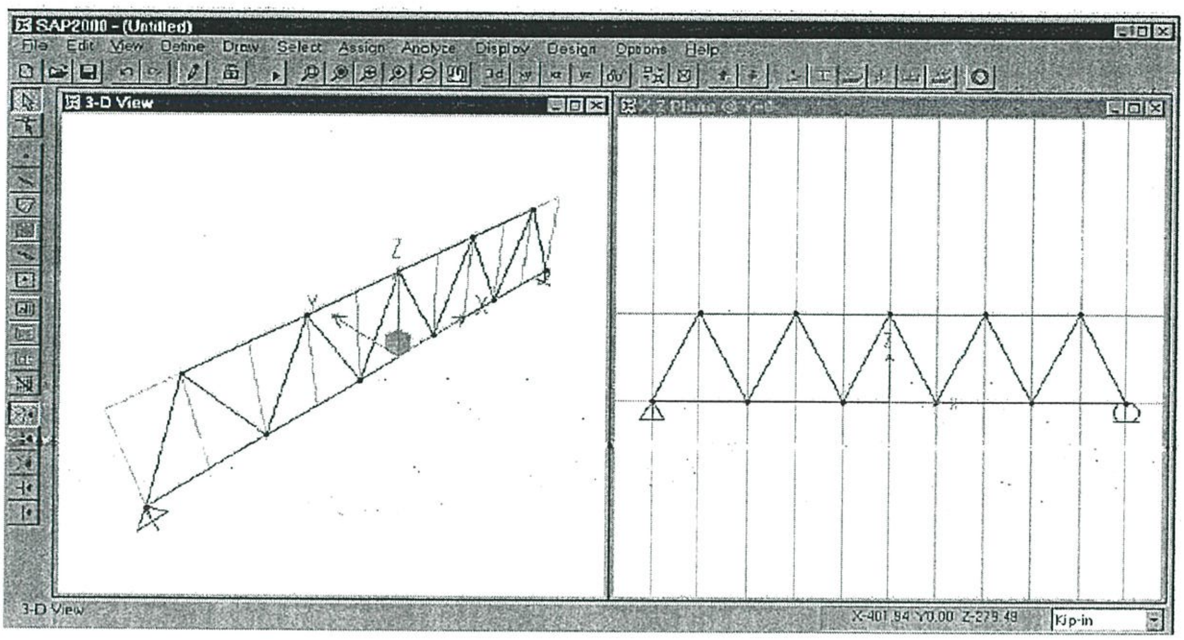
รูปที่ ผ-2.3 แสดงหน้าต่าง Model Template

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

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



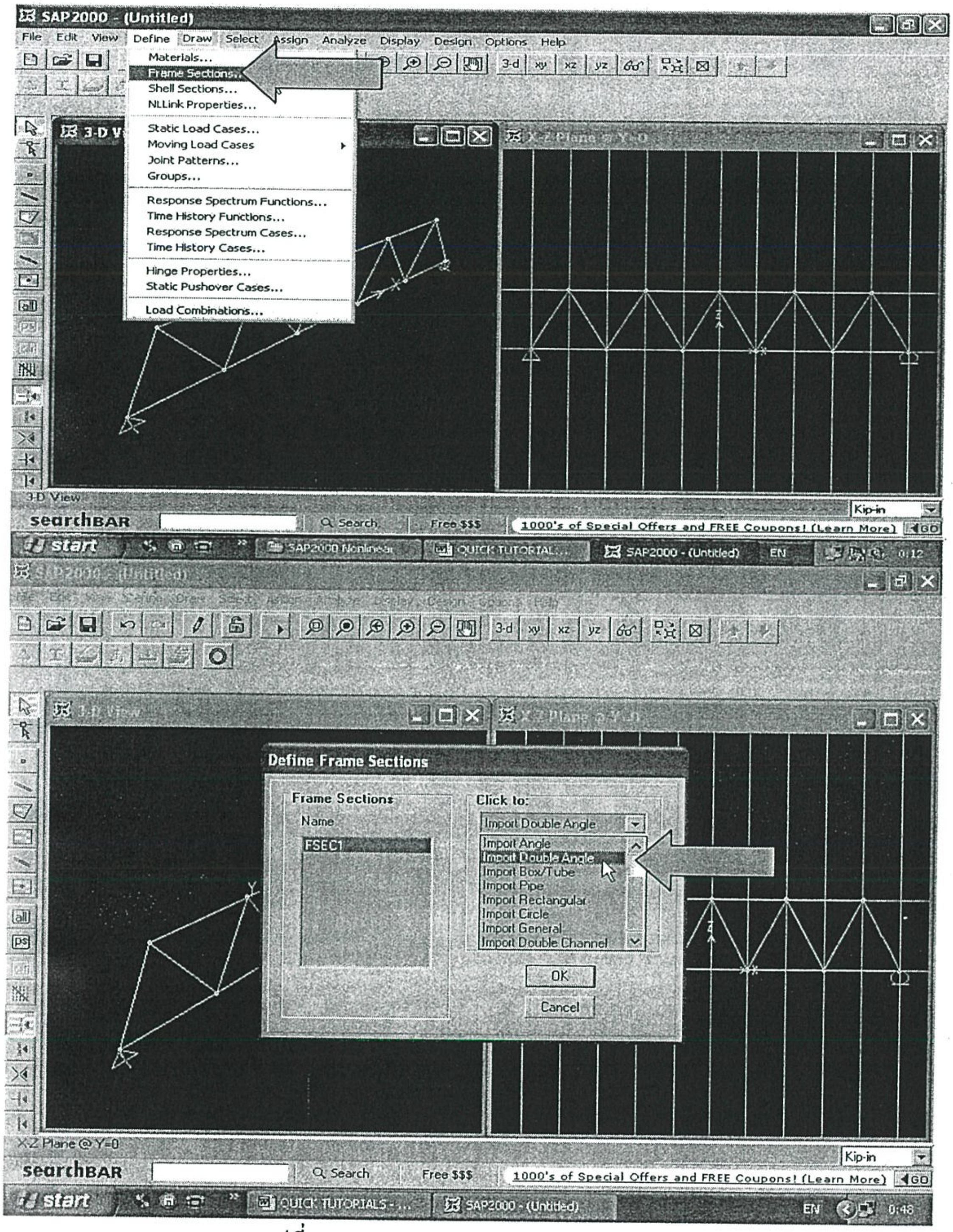
รูปที่ ผ-2.5 ภาพแสดงหน้าต่าง 3-D View และ 2-D View

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.



รูปที่ ผ-2.6 ภาพแสดง การ Define Frame Section

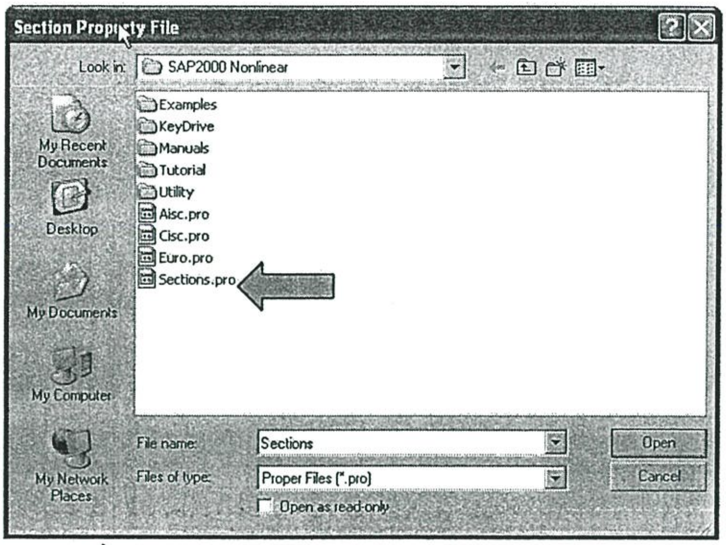
2. ใน dialog box:

i.ตรวจบนจุดที่นำค่าเข้าไปที่ drop-down box

ii.ตรวจบนค่ามุมสองเท่าที่นำเข้าไป ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติหน้าตัด Section Property File dialog box

iii.ใน dialog box นี้ :

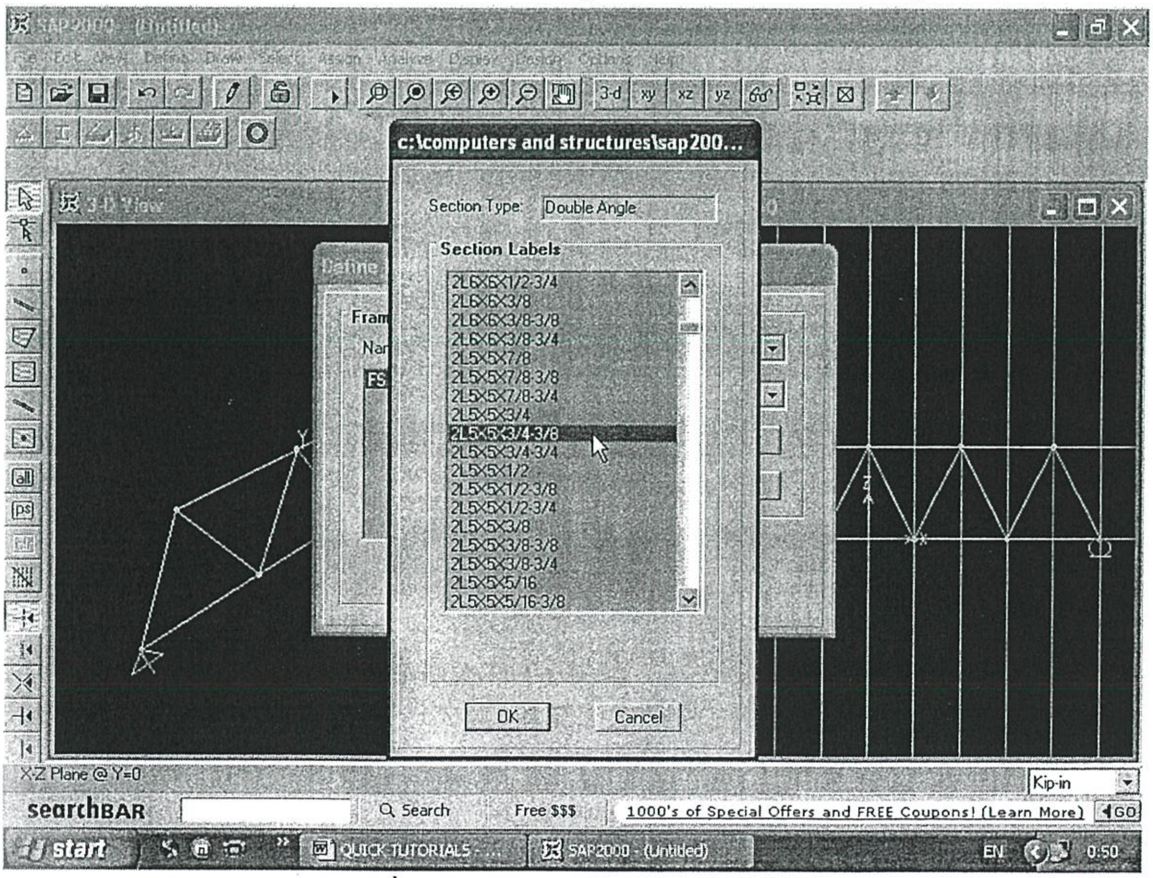
iv.หาจุดที่ตั้งของ SECTIONS.PRO data file โดยการคลิกสองครั้งที่ import/wide flange



รูปที่ ผ-2.7 ภาพแสดง Section Property File dialog box

v.เลือกเปิดแฟ้ม SECTIONS.PRO data file โดยตรวจที่บนปุ่ม Open หรือ double clicking เมาส์บน file name

vi.จะเห็นว่าได้มีการแสดงผลหน้าตัดของเหล็กฉากคู่ทั้งหมดที่มีใน data file ที่ drop down list box

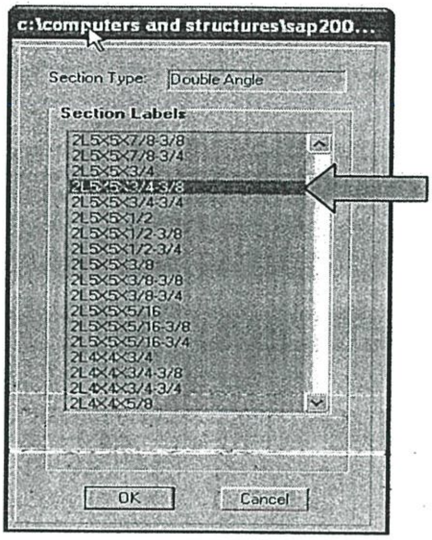


รูปที่ ผ-2.8 ภาพแสดง หน้าตัดขนาดต่างๆ

หมายเหตุ : ในหน้าตัด SAP2000 สามารถเปิดแฟ้ม SECTIONS.PRO data file ได้เพียงไฟล์เดียว

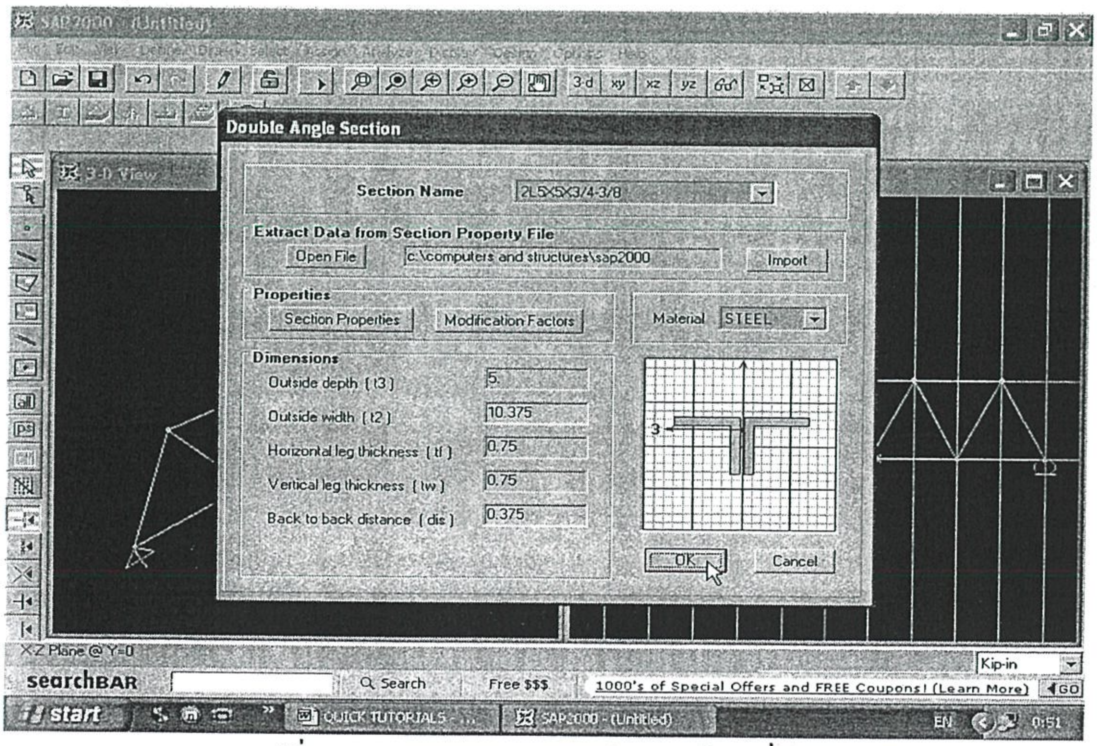
3. ในกล่อง Double Angle list box:

vii. ใช้ปุ่มเลื่อนไปที่จุดหน้าตัดวัตถุที่ใช้ในการก่อสร้าง ใช้แบบตัวอย่างที่ชื่อ 2L5x5x3/4-3/8



รูปที่ ผ-2.9 ภาพแสดงชนิดของวัสดุแบบ Double Angle

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



รูปที่ ผ-2.10 ภาพแสดงคุณสมบัติของหน้าตัดที่เลือก

ix.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

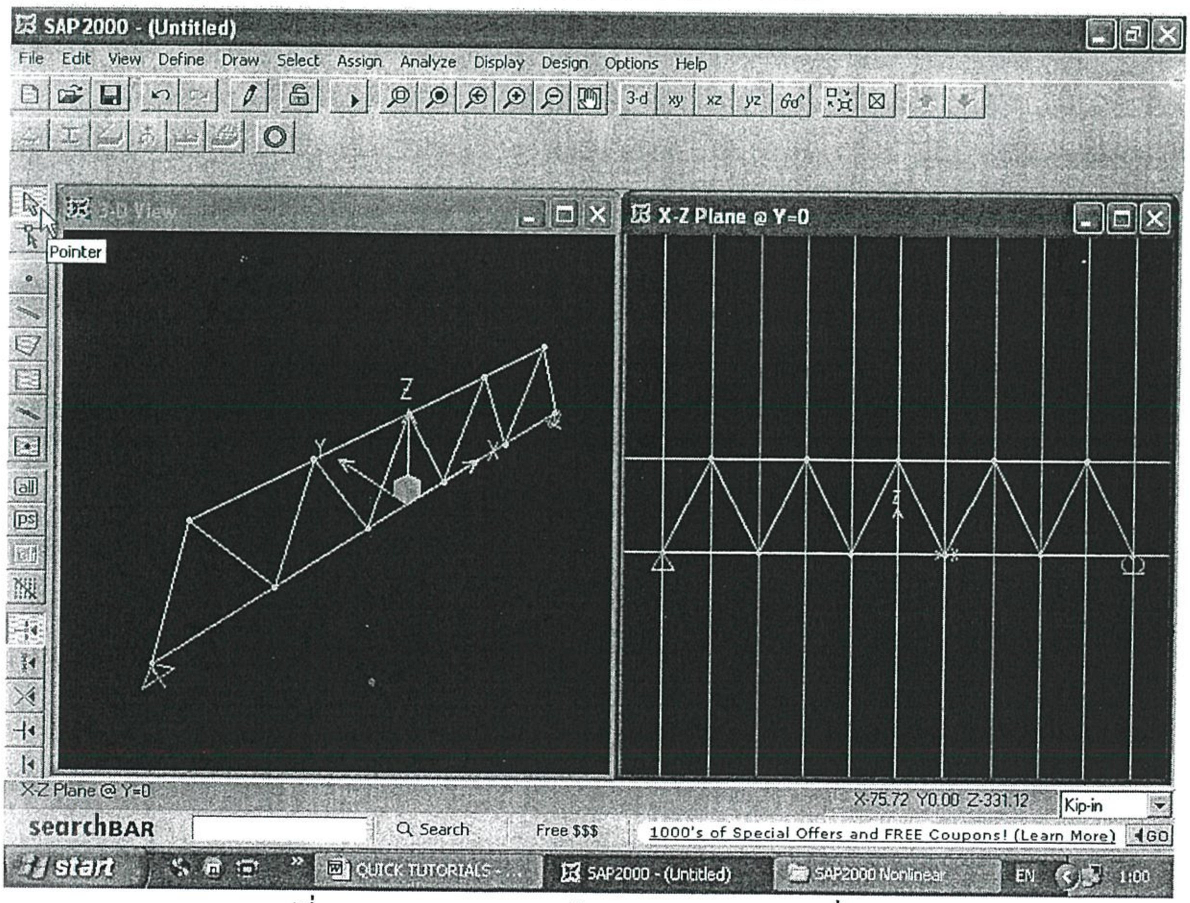
5. คลิกปุ่ม OK

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:

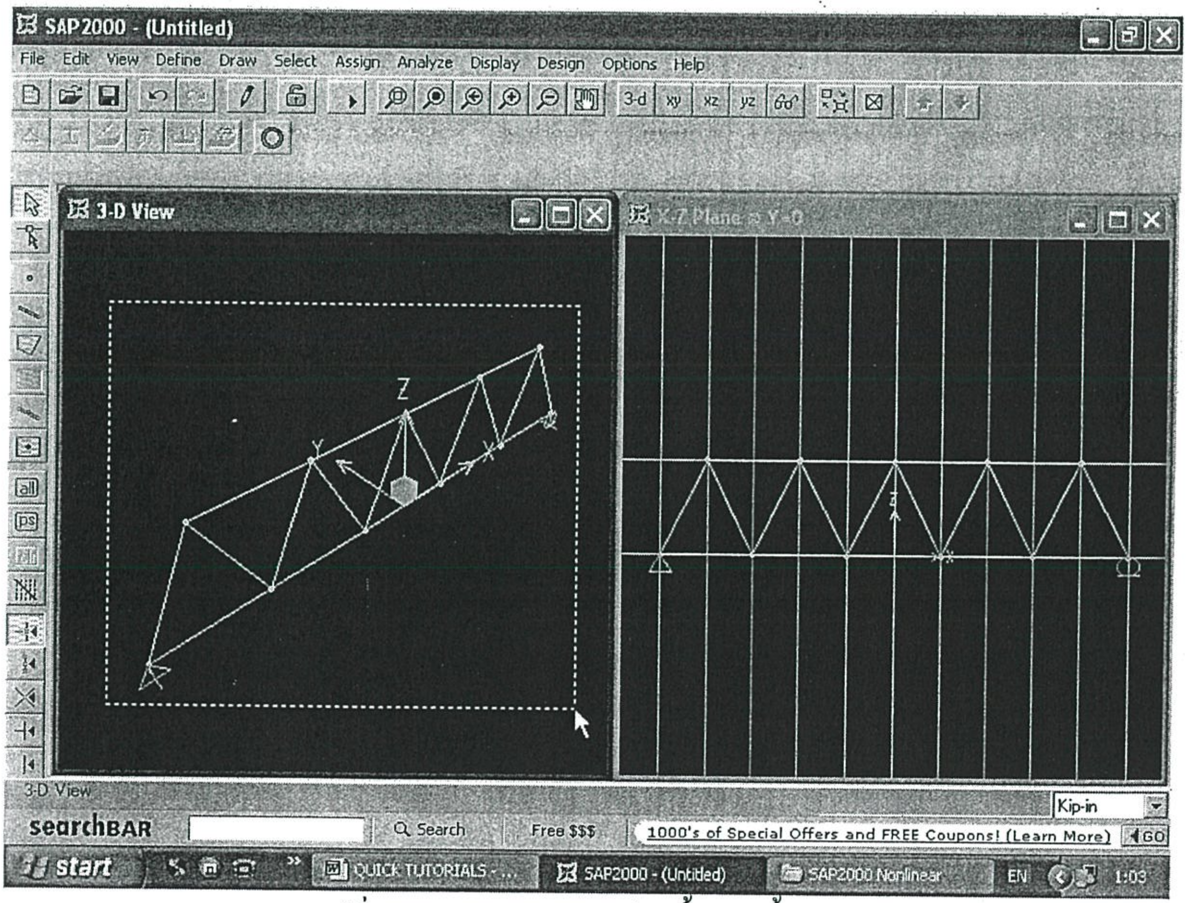
- คลิกบนปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool บนแถบเครื่องมือ Side Toolbar



รูปที่ ผ-2.11ภาพแสดงการเลือก Pointer จากแถบเครื่องมือ

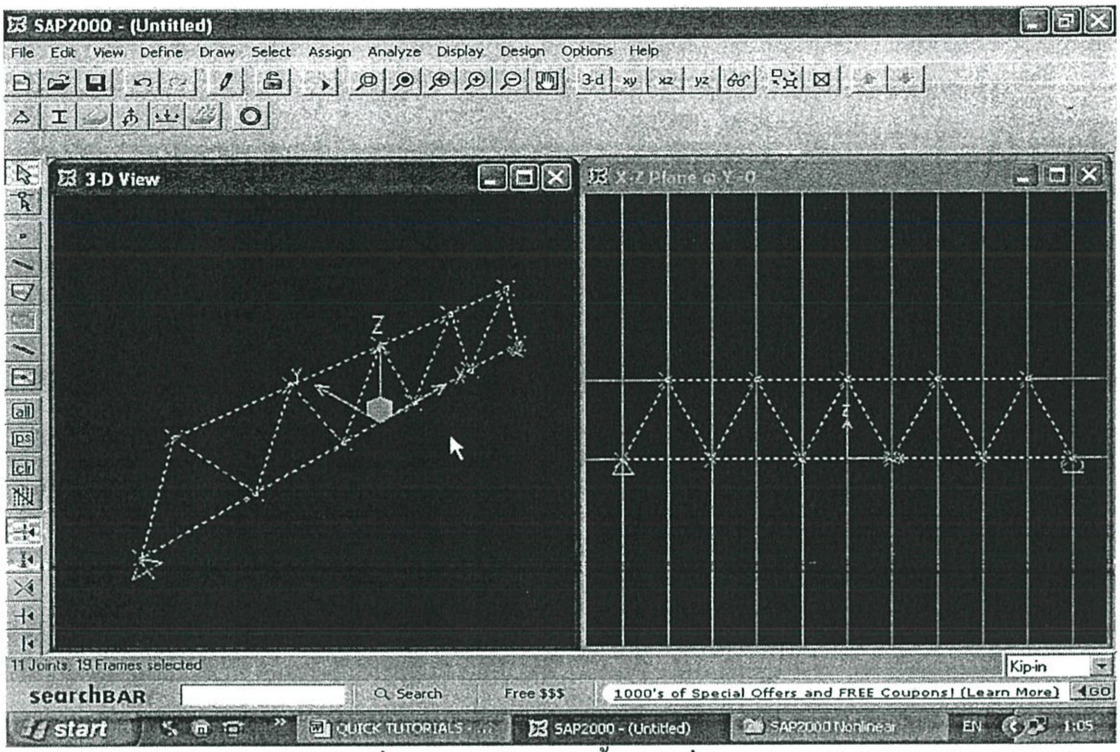
หมายเหตุ : เราสามารถเลือกในโหมดการเลือก SELECTION mode ของ SAP2000 โหมดทางเลือกอื่น คือโหมดการวาด (DRAW mode) โดยปกติโปรแกรมSAP2000 ในโหมด SELECTION mode สิ่งที่ถูกระบุโดยปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool เพื่อสวิตซ์จากโหมดการวาด (DRAW mode) ถึงโหมด SELECTION mode ซึ่งสามารถคลิกบนปุ่มเครื่องมือ Pointer Tool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

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



รูปที่ ผ-2.12 ภาพแสดงการเลือกชิ้นส่วนทั้งหมด

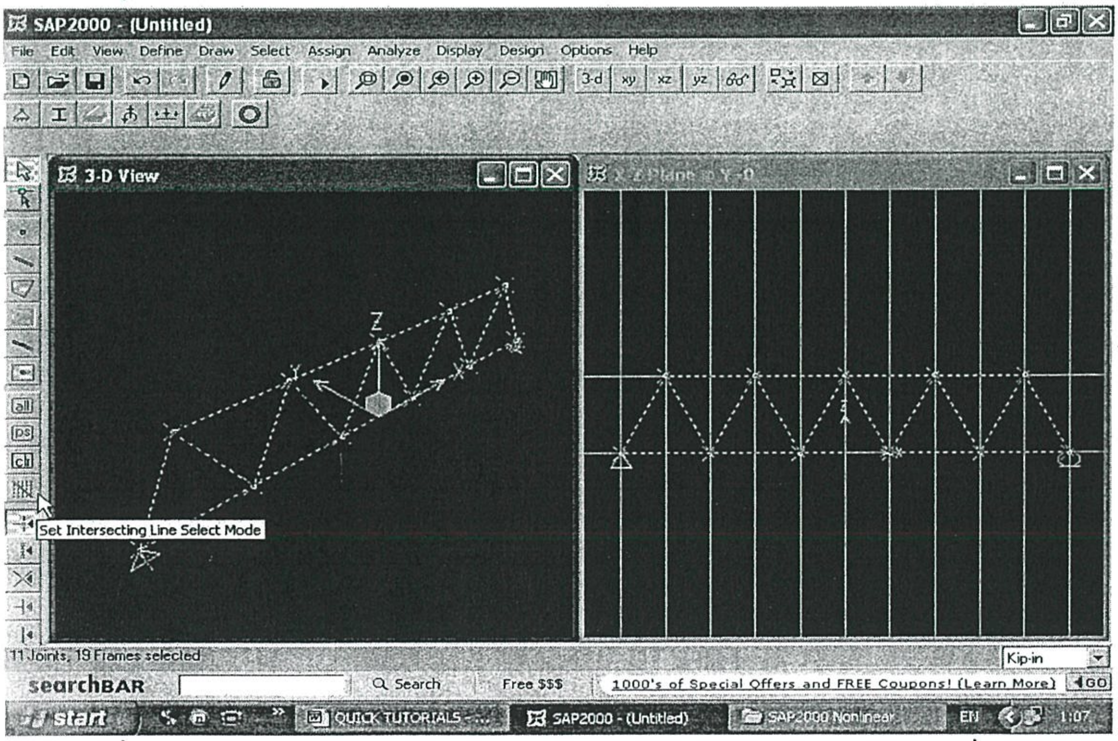
x.เมื่อทำการเลือกแล้วจะมีลักษณะเป็นเส้นประ



รูปที่ ผ-2.13 ภาพแสดงชิ้นส่วนที่ถูกเลือก

2. ถ้าเราจะทำการเลือก ชิ้นส่วนที่ทแยงโดยการตัดเส้น กระทำได้ดังนี้:

xi.คลิกปุ่ม Set Intersecting Line Select Mode บนแถบเครื่องมือทางด้านข้าง



รูปที่ ผ-2.14 ภาพแสดงการเลือกใช้Set Intersecting Line Select Mode จากแถบเครื่องมือ

xii.ย้ายจุดชี้ไปที่ด้านซ้ายของชิ้นส่วนที่ต้องการเลือก

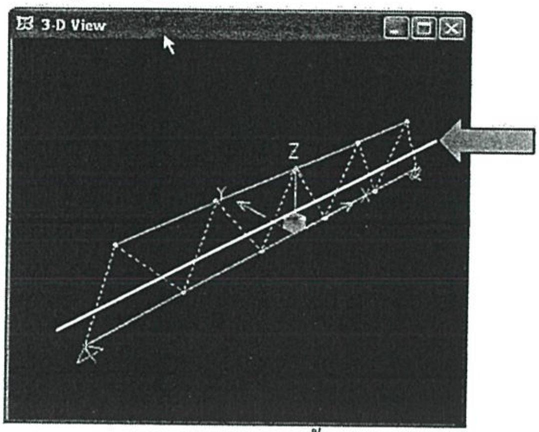
xiii.คลิกและกดปุ่มเมาส์ซ้ายค้าง

xiv.ขณะที่กดปุ่มค้างทำการย้ายจุดไปทางด้านขวาของชิ้นส่วนที่ต้องการเลือก “rubber-band” จะแสดงเส้นที่ตัด

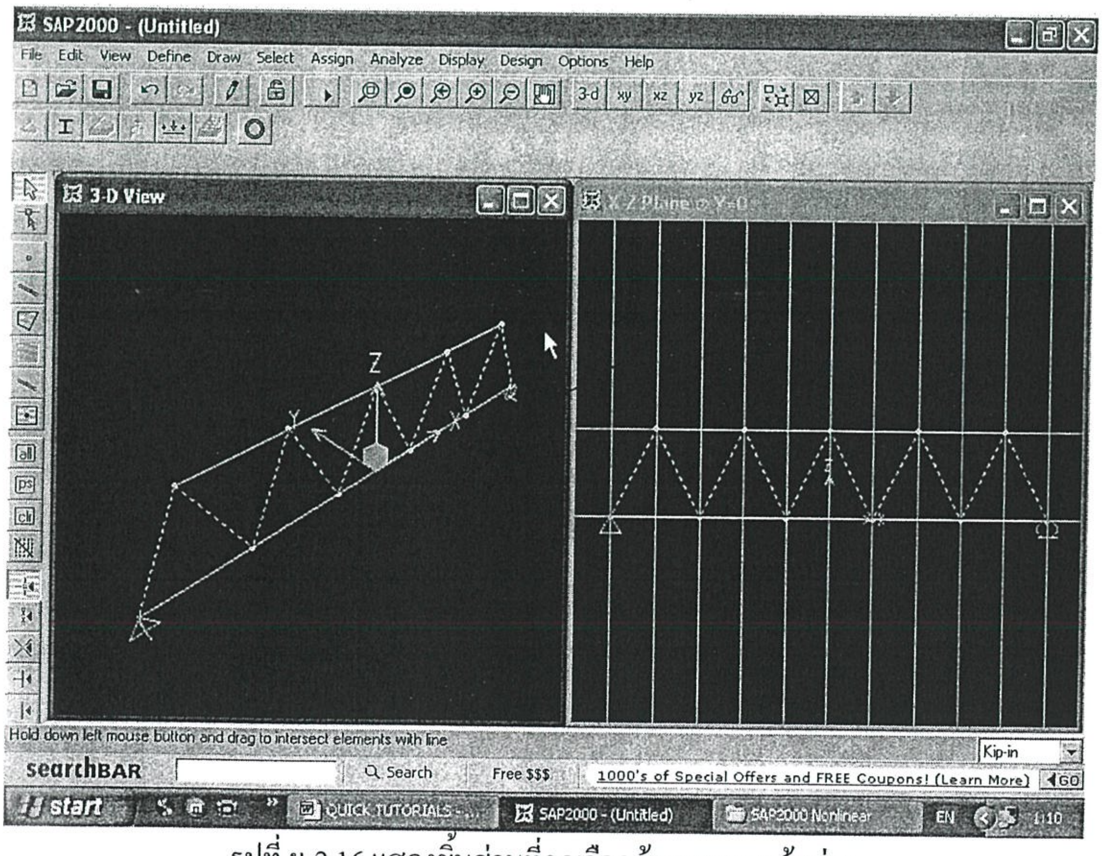
xv.ปล่อยเมาส์ด้านซ้ายเพื่อเลือกชิ้นส่วนที่มีเส้นตัดล้อมอยู่

การเลือกที่เส้นคอร์ดสูงสุดและชิ้นส่วนเส้นทแยงมุมของโครงข้อหมุนที่สมบูรณ์

xvi.ชิ้นส่วนโครงข้อหมุนที่เลือกจะปรากฏเป็นเส้นประ

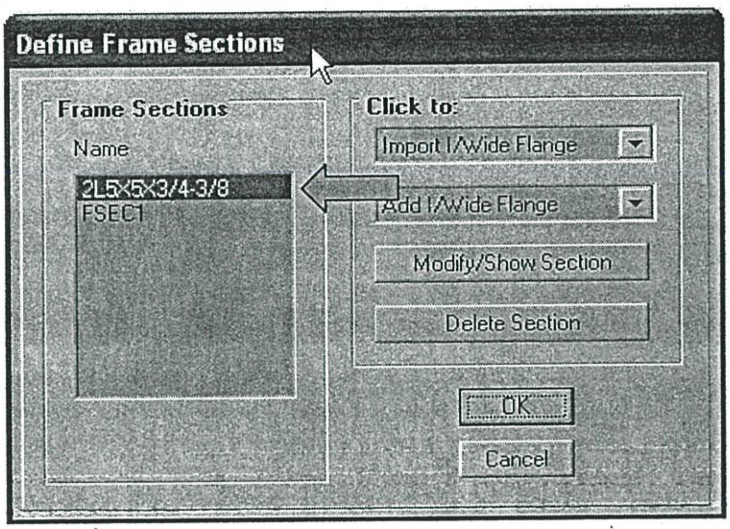


รูปที่ ผ-2.15 แสดงการลากเส้นผ่านชิ้นส่วนที่ต้องการเลือก



รูปที่ ผ-2.16 แสดงชิ้นส่วนที่ถูกเลือกด้วยการลากเส้นผ่าน

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

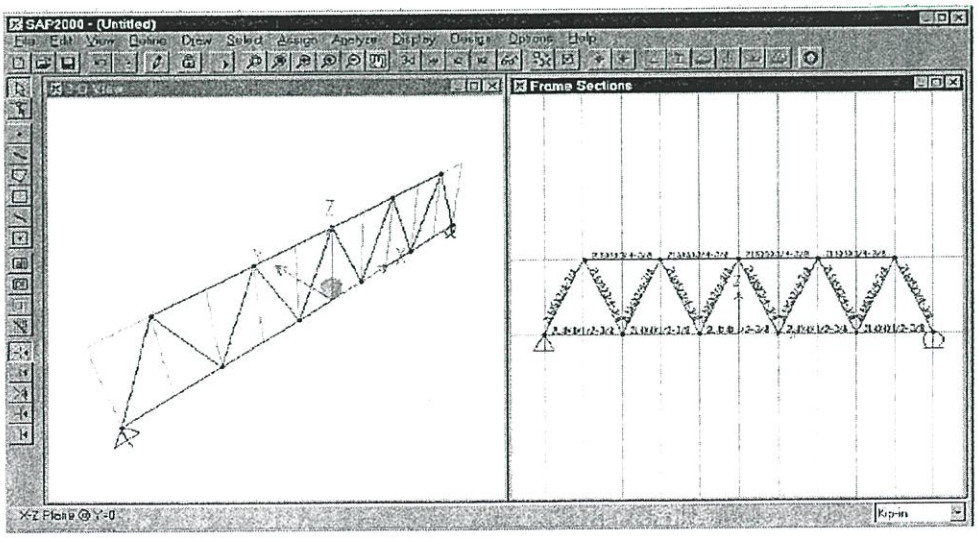
xvii.คลิกบน 2L5x5x3/4-3/8ใน Name area.

xviii.คลิกปุ่ม OK

หน้าต่างจะแสดงกระบวนคำนวณชิ้นส่วนที่เลือกไว้จนได้ค่าที่น่าพอใจและหน้าตัด label จะแสดงบนชิ้นส่วน

5. เลือกปุ่มคอร์ดชิ้นส่วนโดย “windowing”ตามที่ข้อ 1

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



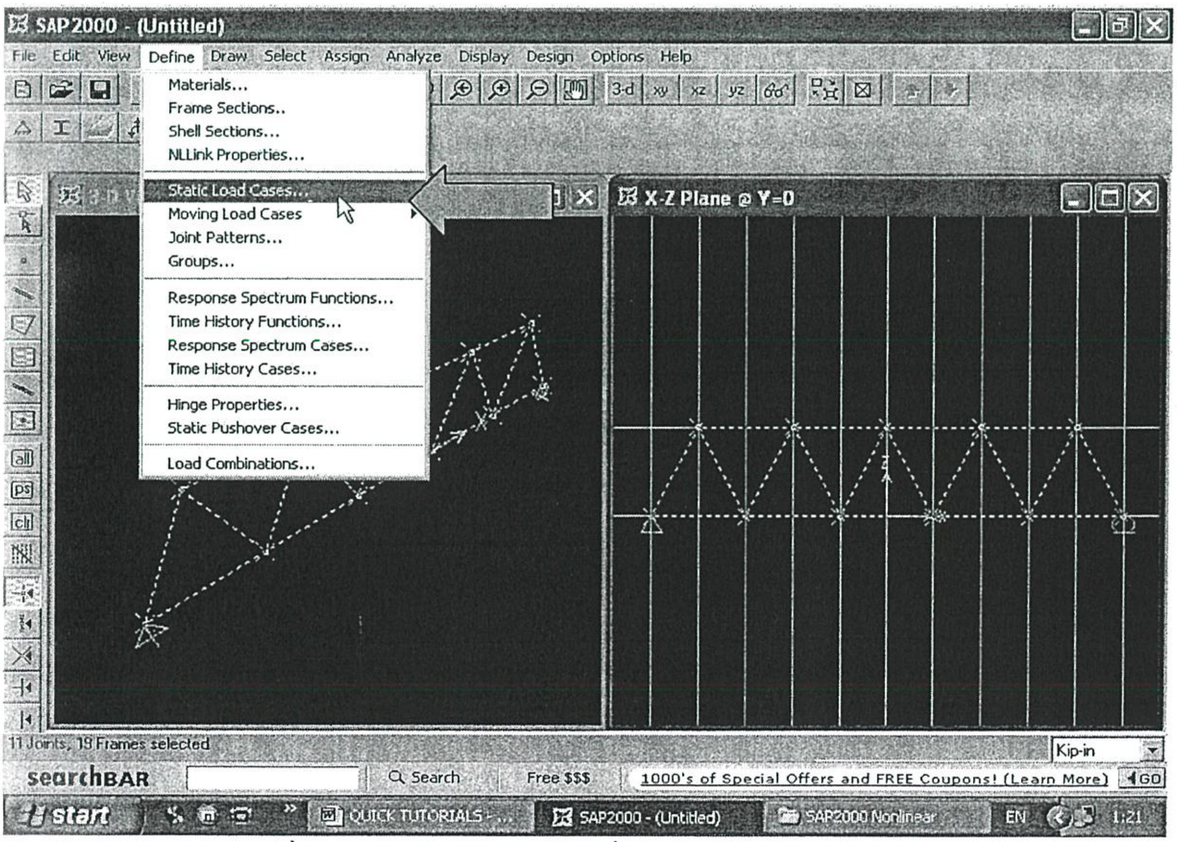
รูปที่ ผ-2.18 ภาพแสดงหน้าตัดที่ทำการ Assign แล้ว

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

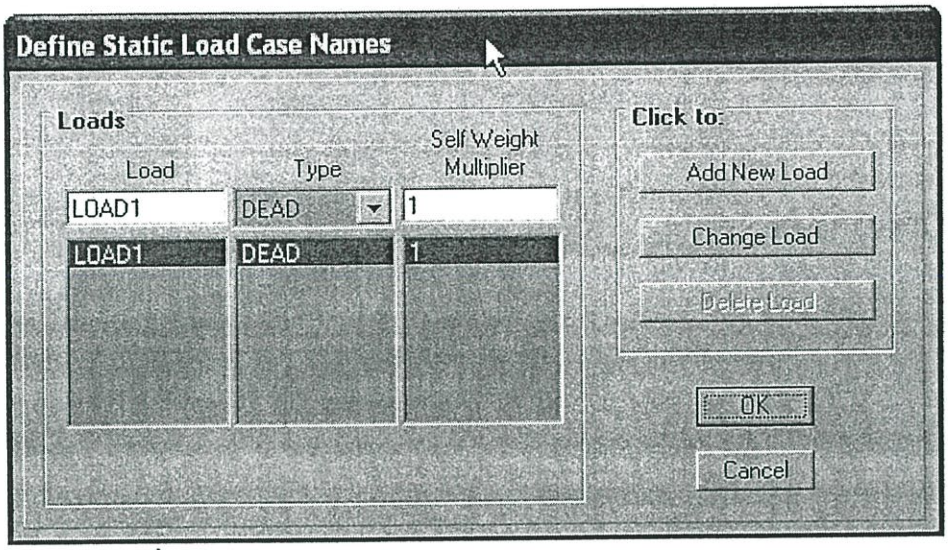
2.6. Defining Load Cases

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



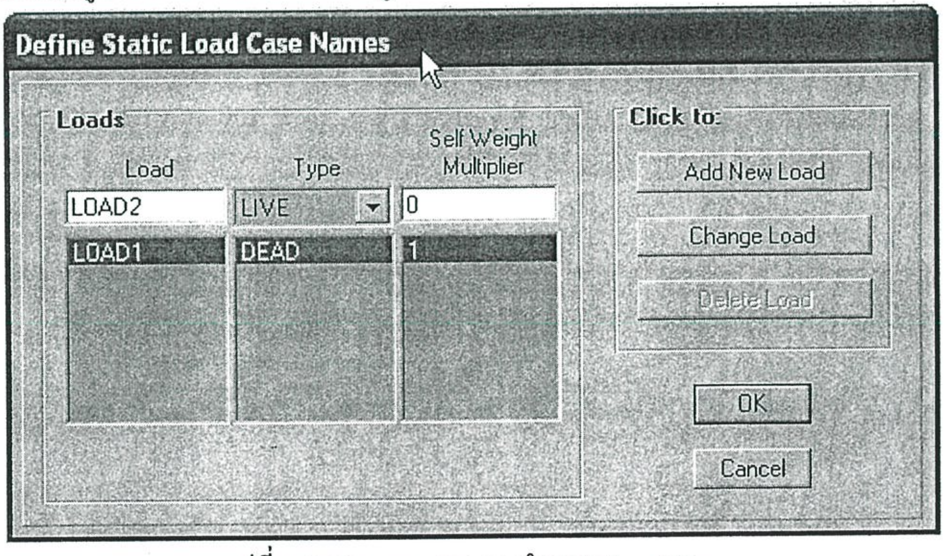
รูปที่ ผ-2.19 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Define Static Load Case



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

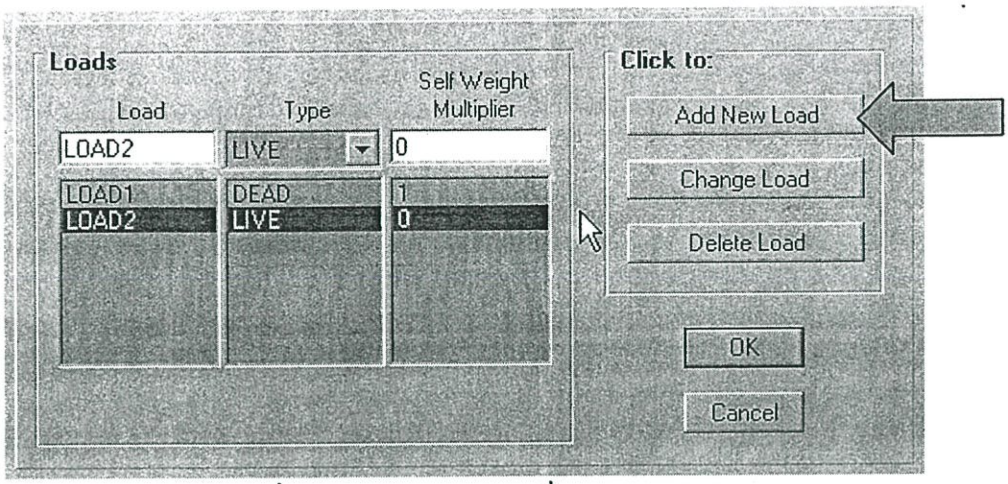
2. เราจะ define ที่กรณีที่ 2 ต่อไปโดยในหน้าต่างข้อความ

- 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.



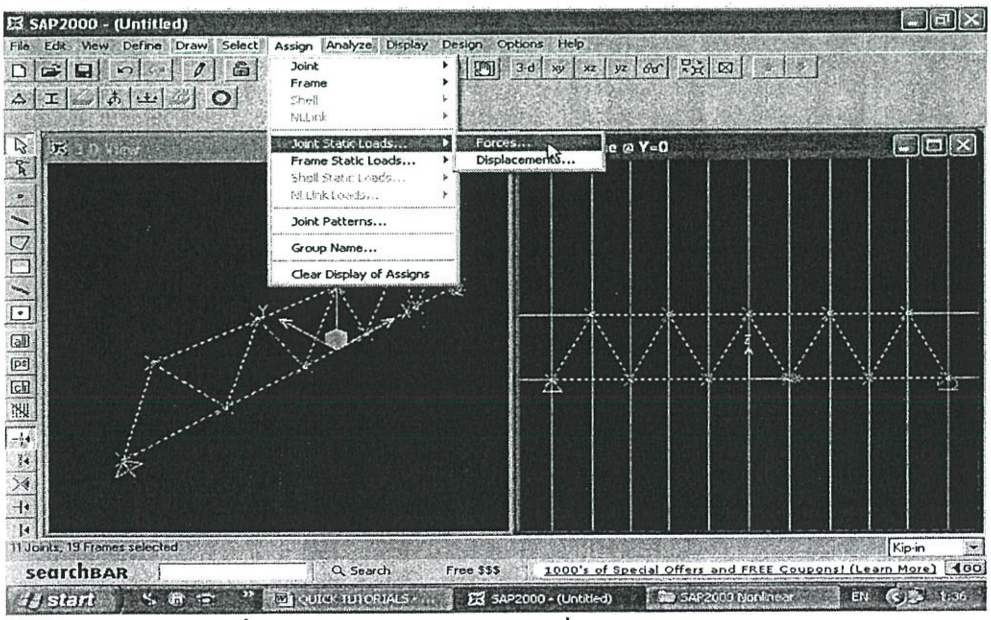
รูปที่ ผ-2.22 ภาพแสดงการเพิ่ม Load Case

- คลิกบนปุ่ม OK เป็นการจบขั้นตอนการใส่น้ำหนักทั้งสองกรณี

2.7. Assigning Joint Loads (การกำหนดน้ำหนักบรรทุกสำหรับข้อต่อ)

น้ำหนักจรและน้ำหนักกระทำคงที่ จะปรากฏที่ชิ้นส่วนข้อต่อด้านบนของโครงข้อหมุน ขนาดของน้ำหนักจรและน้ำหนักที่กระทำคงที่กับข้อต่อจะมีค่าเท่ากับ -10 kips และ -40 kips ซึ่งกระทำได้ดังนี้

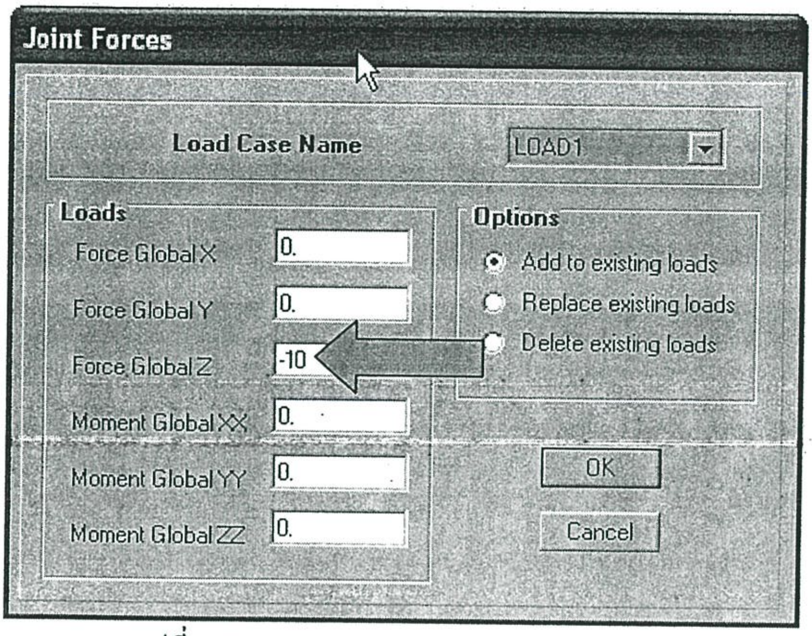
1. เลือกข้อต่อบนคอร์ด "windowing" ที่หน้าตัดชิ้นส่วนที่ต้องการ
2. จากเมนู Assign เลือก Joint Static Loads, เลือก Forces จาก submenu ซึ่งจะทำการแสดงหน้าต่าง Joint Forces dialog box



รูปที่ ผ-2.23 ภาพแสดงการใช้คำสั่งการใส่แรงใน Joint

3.ใน dialog box

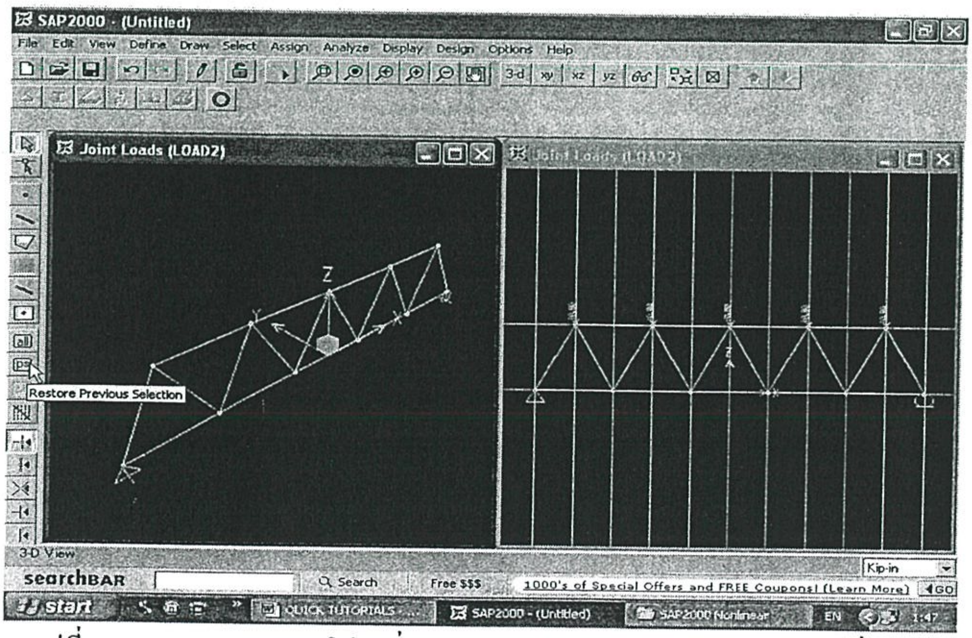
- เลือกกรณีน้ำหนักพื้นฐานที่ชื่อว่า LOAD1
- ใส่ค่า -10 ใน Force Global Z box ในพื้นที่แรงกระทำ Loads area



รูปที่ ผ-2.24 ภาพแสดง Joint Forces dialog box

- คลิกบนปุ่ม OK

4. เราจะดำเนินต่อไปเพื่อเข้าไปในส่วนของน้ำหนักจร โดยคลิกปุ่ม Restore Previous Selection บนแถบเครื่องมือด้านข้างซึ่งจะทำการล้างส่วนต่างๆที่ทำการเลือก (ที่มีลักษณะเป็นเส้นประ) เพื่อที่จะเลือกคอร์ดข้อต่อข้างใต้อีกครั้ง

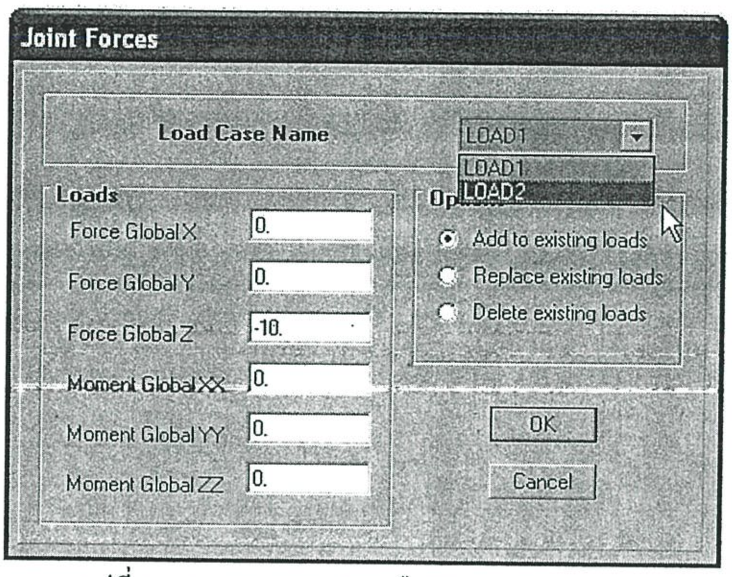


รูปที่ ผ-2.25 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Restore Previous Selection จากแถบเครื่องมือ

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

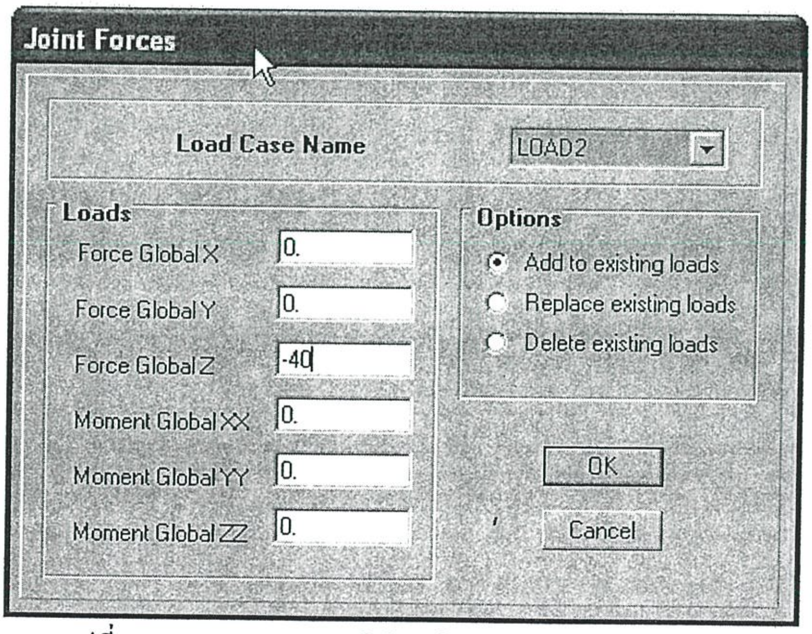
6. ในหน้าต่าง Joint Forces นี้:

- เปลี่ยนชื่อน้ำหนักกรณีนี้เป็น LOAD2



รูปที่ ผ-2.26 ภาพแสดง การเลือก Load Case Name

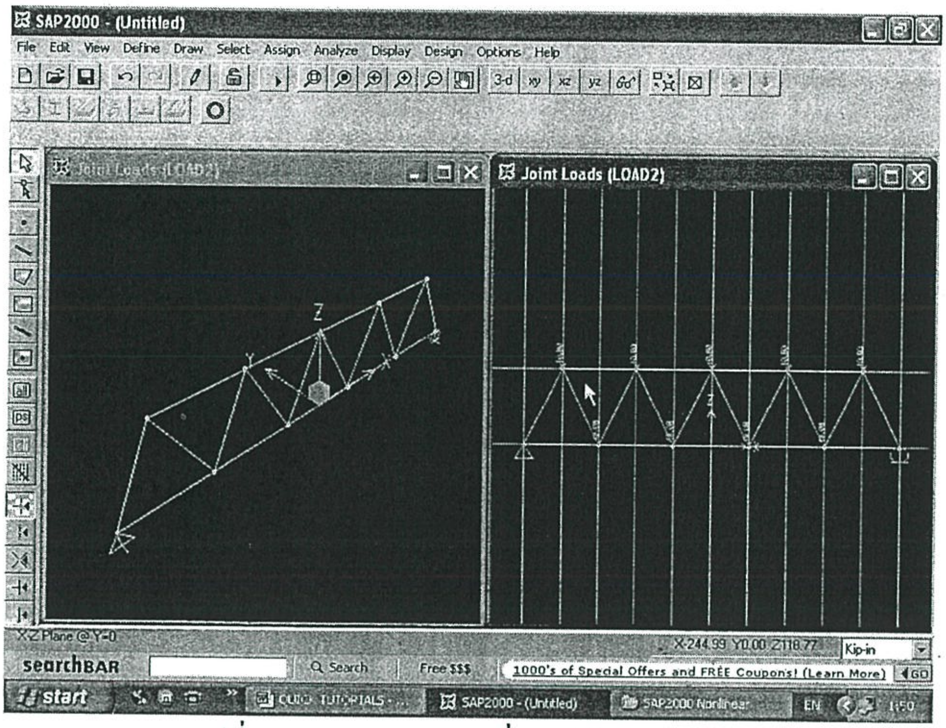
- ใส่ค่าน้ำหนัก –40 ในกล่อง Force Global Z box



รูปที่ ผ-2.27 ภาพแสดงการใส่แรงใน Joint Forces dialog box

- คลิกปุ่ม OK

น้ำหนักกระทำทั้งหมด จะปรากฏที่แบบตัวอย่างที่เสร็จสมบูรณ์

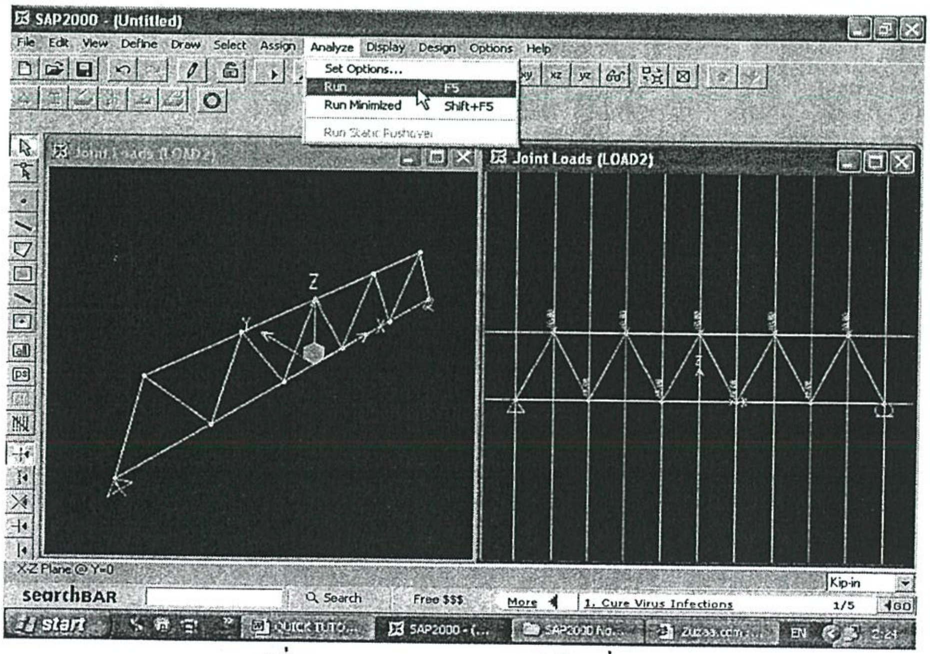


รูปที่ ผ-2.28 ภาพแสดงแรงที่กระทำในโครงสร้าง

2.8. Analyzing the Model

การวิเคราะห์แบบตัวอย่างแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

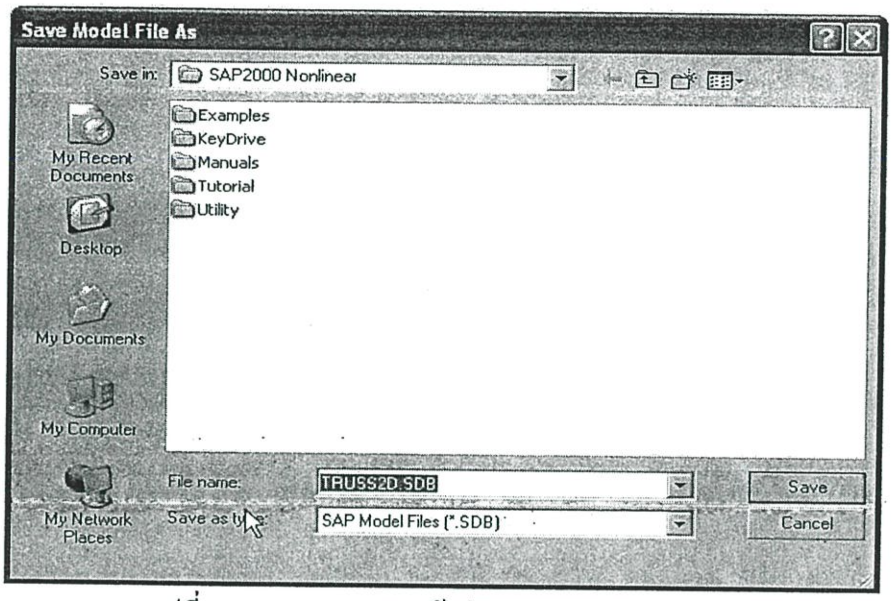
1. จากเมนู Analyze เลือกRun จะแสดงแฟ้มแบบตัวอย่างการบันทึกเป็นหน้าต่างข้อความ



รูปที่ ผ-2.29 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Run

2. ในหน้าต่างข้อความนี้

- บันทึกแบบตัวอย่างใต้ชื่อแฟ้ม ในกรณีนี้เราจะให้ชื่อว่า TRUSS2D.SDB

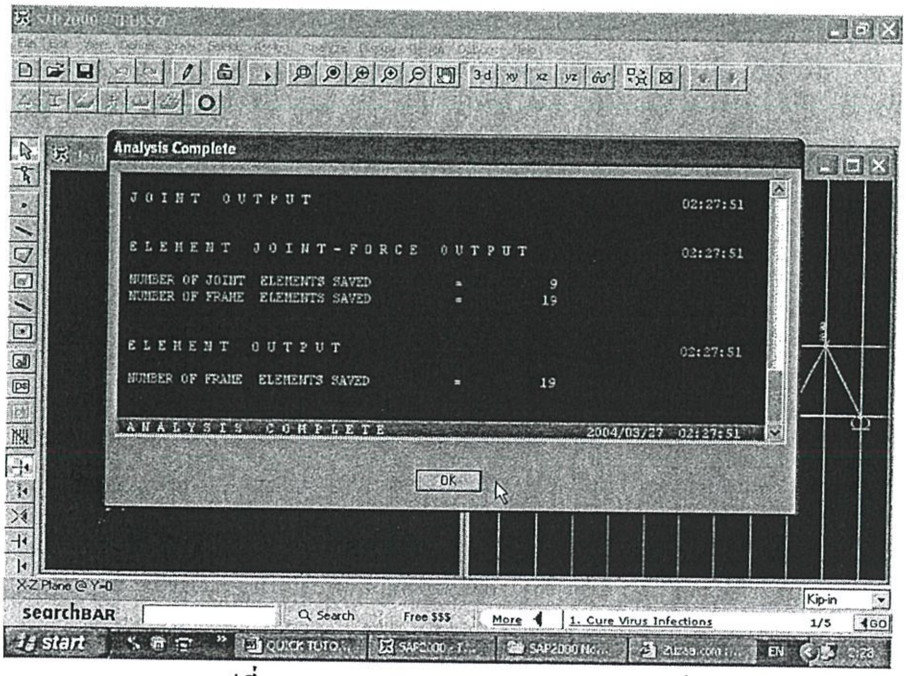


รูปที่ ผ-2.30 ภาพแสดงหน้าต่าง Save Model File As

หมายเหตุ: ถึงแม้ว่าไม่ใส่นามสกุล extension.SDB โปรแกรมจะเพิ่มเติมส่วนนี้ต่อออกไปโดยอัตโนมัติที่ชื่อแฟ้ม

- คลิกบนปุ่ม Save

หน้าต่างบนสุดถูกเปิดการรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต่างๆในกระบวนการ เมื่อการวิเคราะห์เสร็จสิ้นหน้าต่างจะปรากฏ

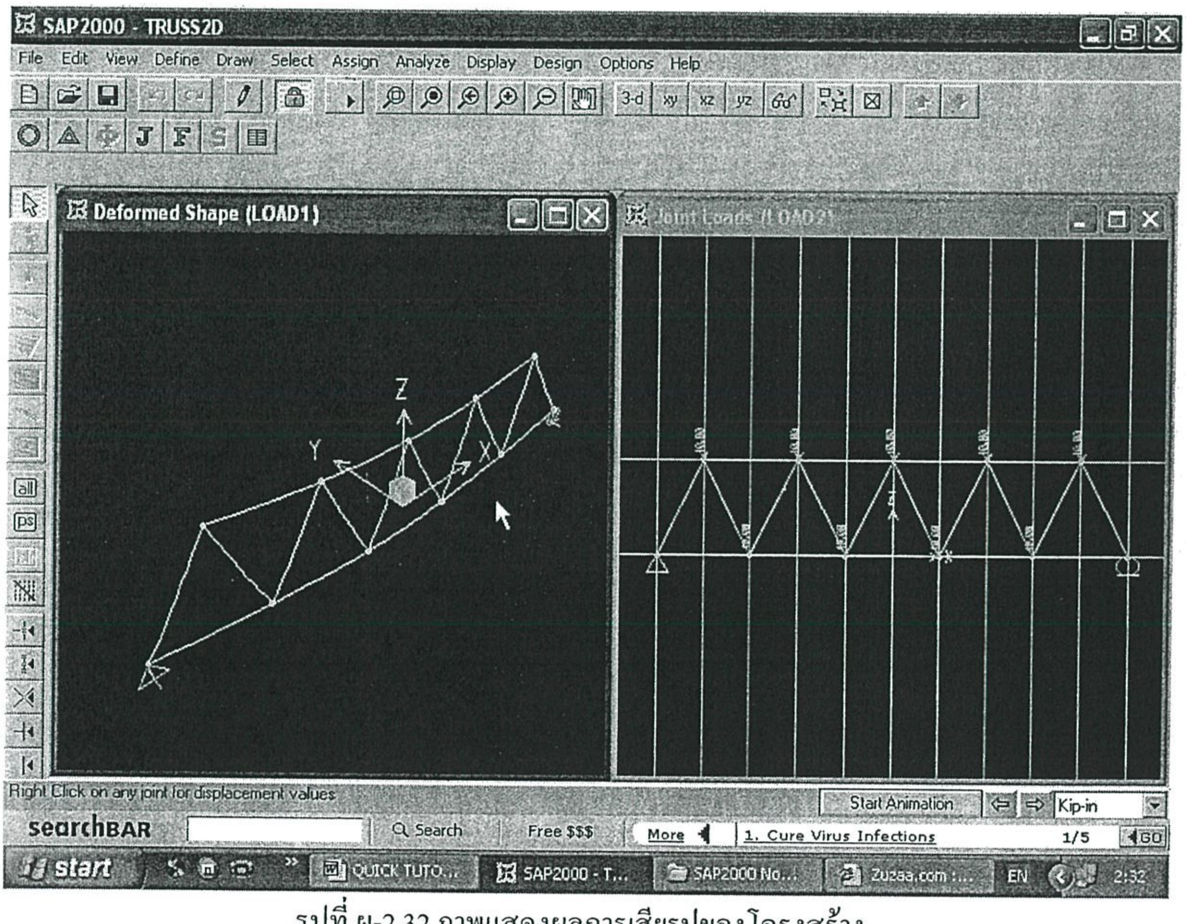


รูปที่ ผ-2.31 ภาพแสดงผลของการวิเคราะห์

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

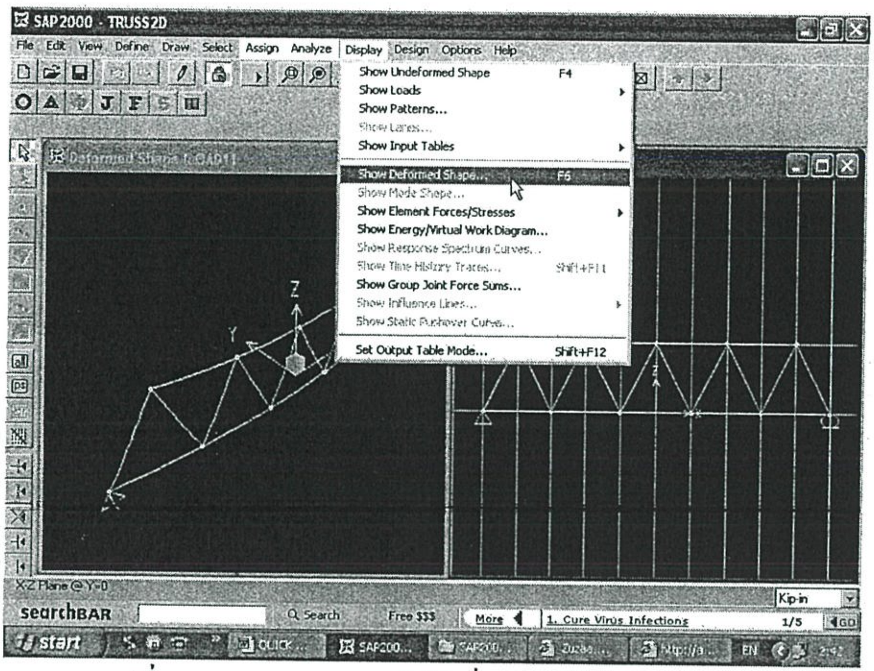


รูปที่ ผ-2.32 ภาพแสดงผลการเสียรูปของโครงสร้าง

จากรูปที่ ผ-2.32 จะเห็นแสดงการผิดรูปร่างที่เกิดจากน้ำหนักกระทำในกรณี LOAD2 กระทำในหน้าต่างทางด้านขวา

1. คลิก ที่ใดๆในหน้าต่างทางด้านขวาเพื่อกระตุ้นหน้าต่าง

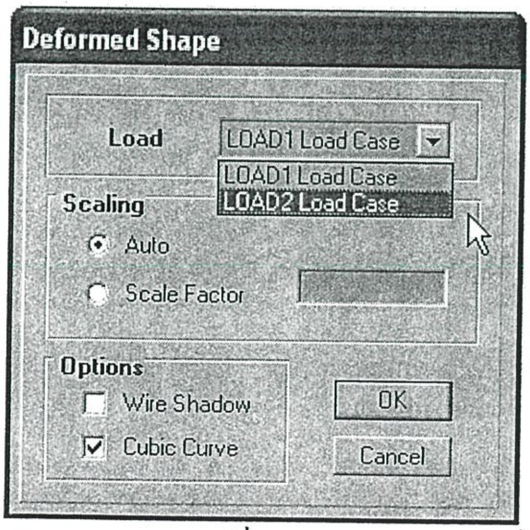
2. คลิกปุ่ม Display Static Deformed Shape บนแถบเครื่องมือหลัก ซึ่งจะแสดงการเสียรูปร่าง Deformed Shape dialog box.



รูปที่ ผ-2.33 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Deformed Shape

3.ใน dialog box:

xix.เลือกกรณี LOAD2 จาก drop down list



รูปที่ ผ-2.34 ภาพแสดงการเปลี่ยนชนิดของแรงกระทำที่กำหนด

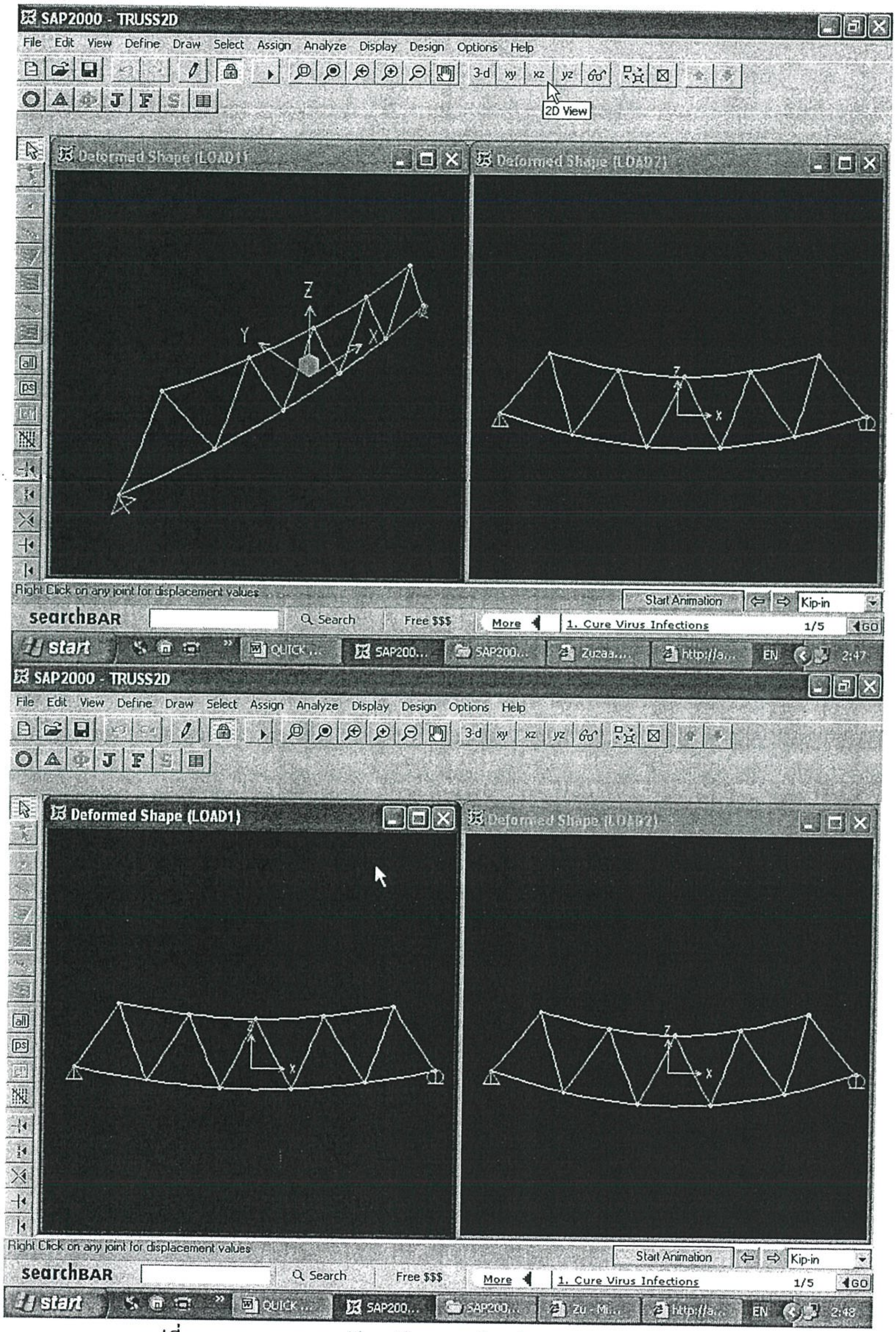
- คลิกบนปุ่ม OK

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

1) คลิกที่ใดๆในหน้าต่างซ้ายเพื่อหน้าต่างนี้

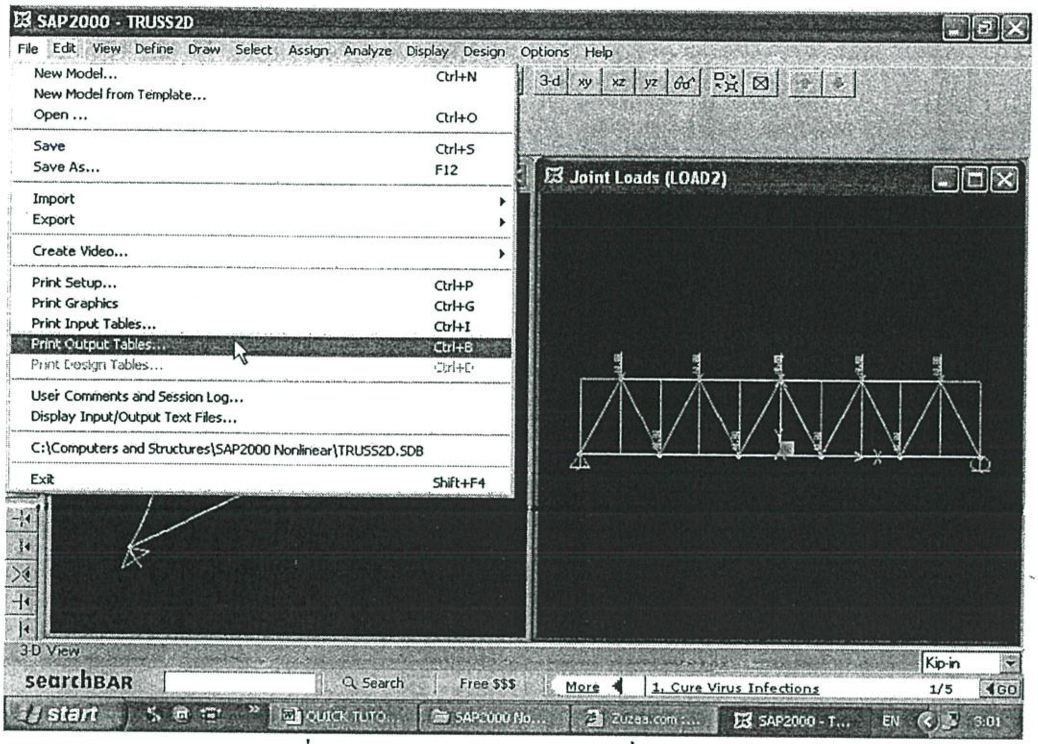
2) คลิกบนปุ่ม

บนแถบเครื่องมือหลักเพื่อที่จะดูแบบตัวอย่างแสดงดังรูปต่อไปนี้



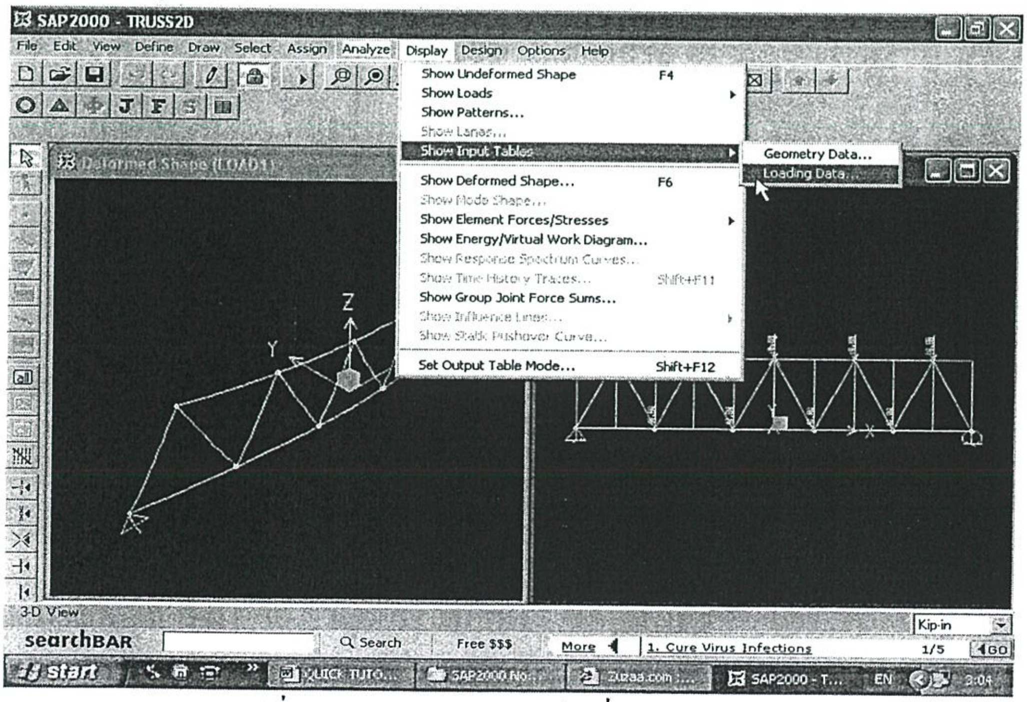
รูปที่ ผ-2.35 แสดงการเปรียบเทียบการเสียรูปจาก LOAD1 และ LOAD2

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

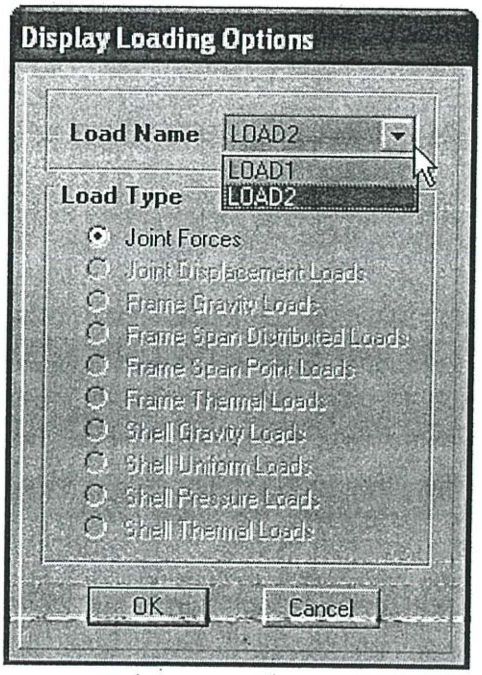


รูปที่ ผ-2.36 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Print ภาพ

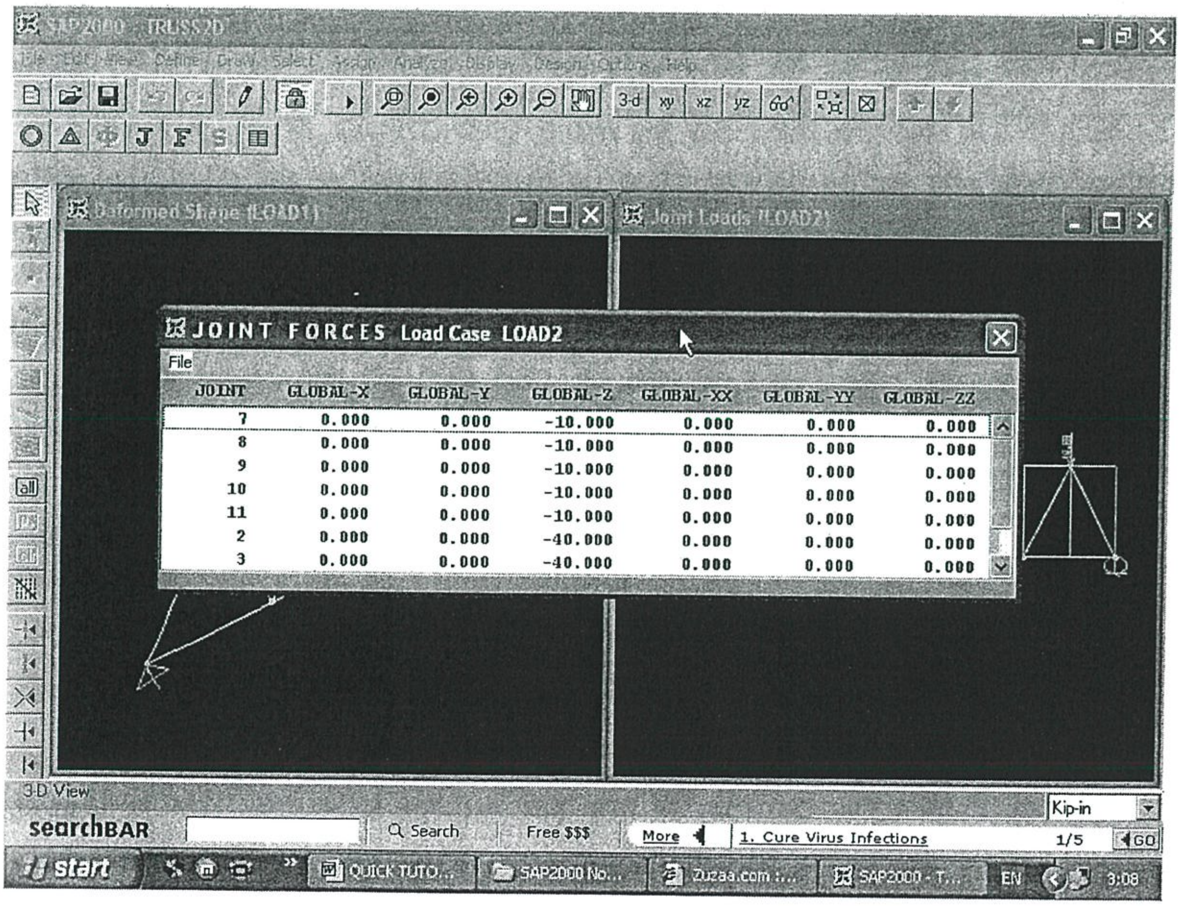
โปรแกรม SAP 2000 สามารถแสดงผลในรูปแบบของตารางโดยเลือก Set Output Table Modeจากเมนู Display



รูปที่ ผ-2.37 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Loading Data

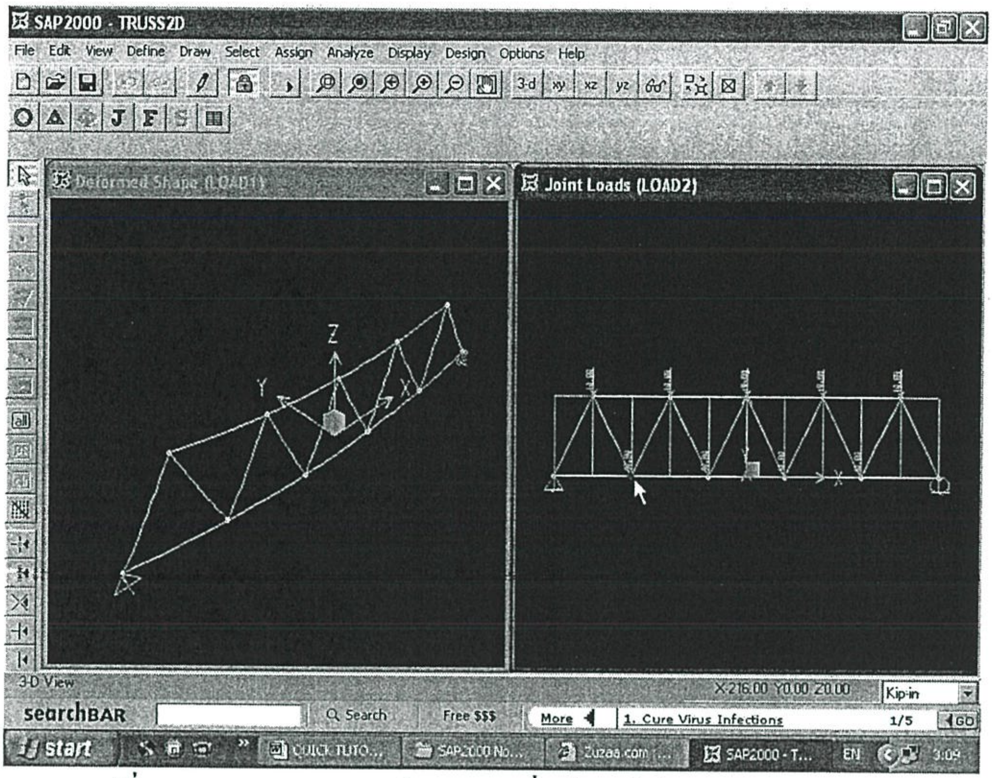


รูปที่ ผ-2.38 ภาพแสดงการเลือก LOAD2 ใน Display Loading Option dialog box

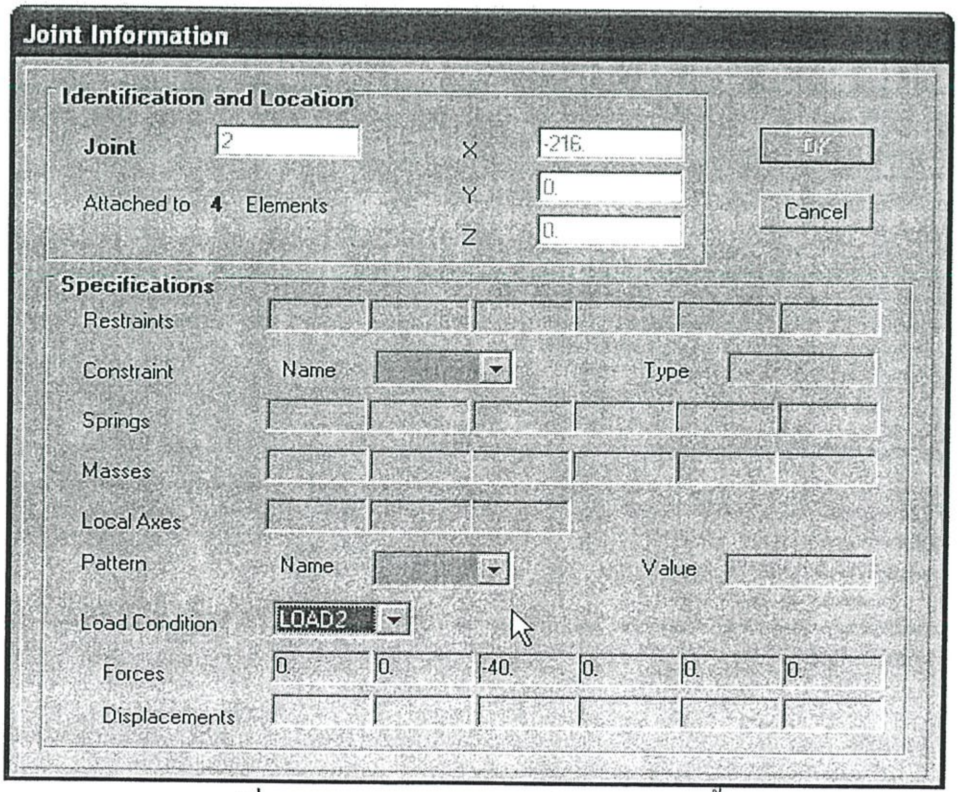


รูปที่ ผ-2.39 ภาพแสดงค่าแรงต่างๆในแต่ละแนวแกนเป็รรูปแบบตารางตัวเลข

คลิกขวาบนจุดต่อ

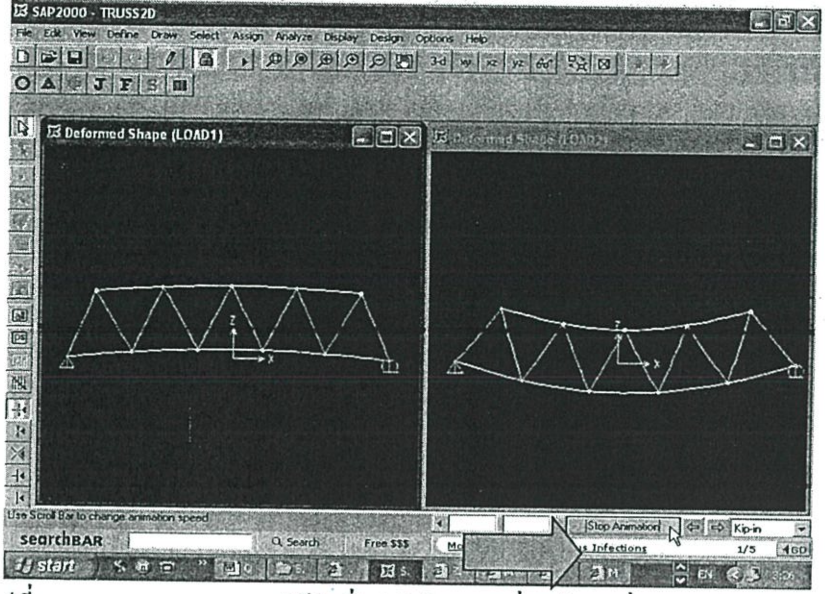


รูปที่ ผ-2.40 ภาพแสดงการเลือก Joint เพื่อเปิดหน้าต่าง Joint Information



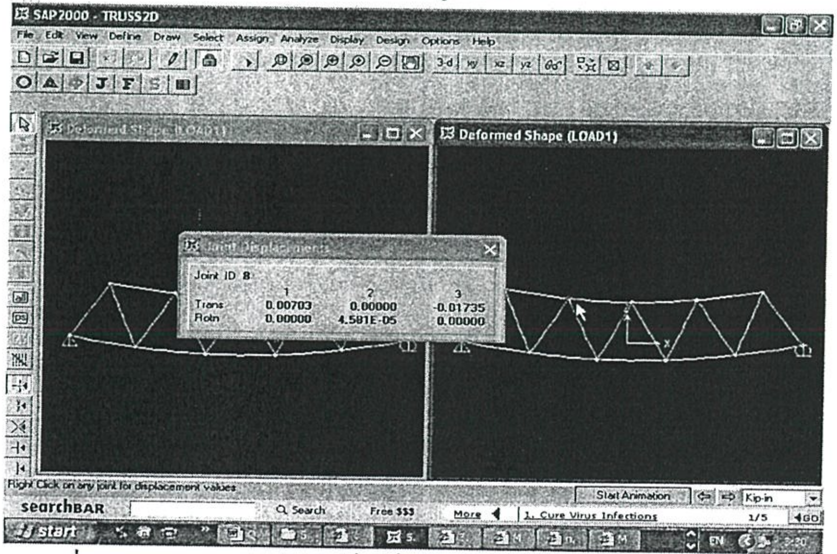
รูปที่ ผ-2.41ภาพแสดงรายละเอียดของจุดต่อนั้น

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



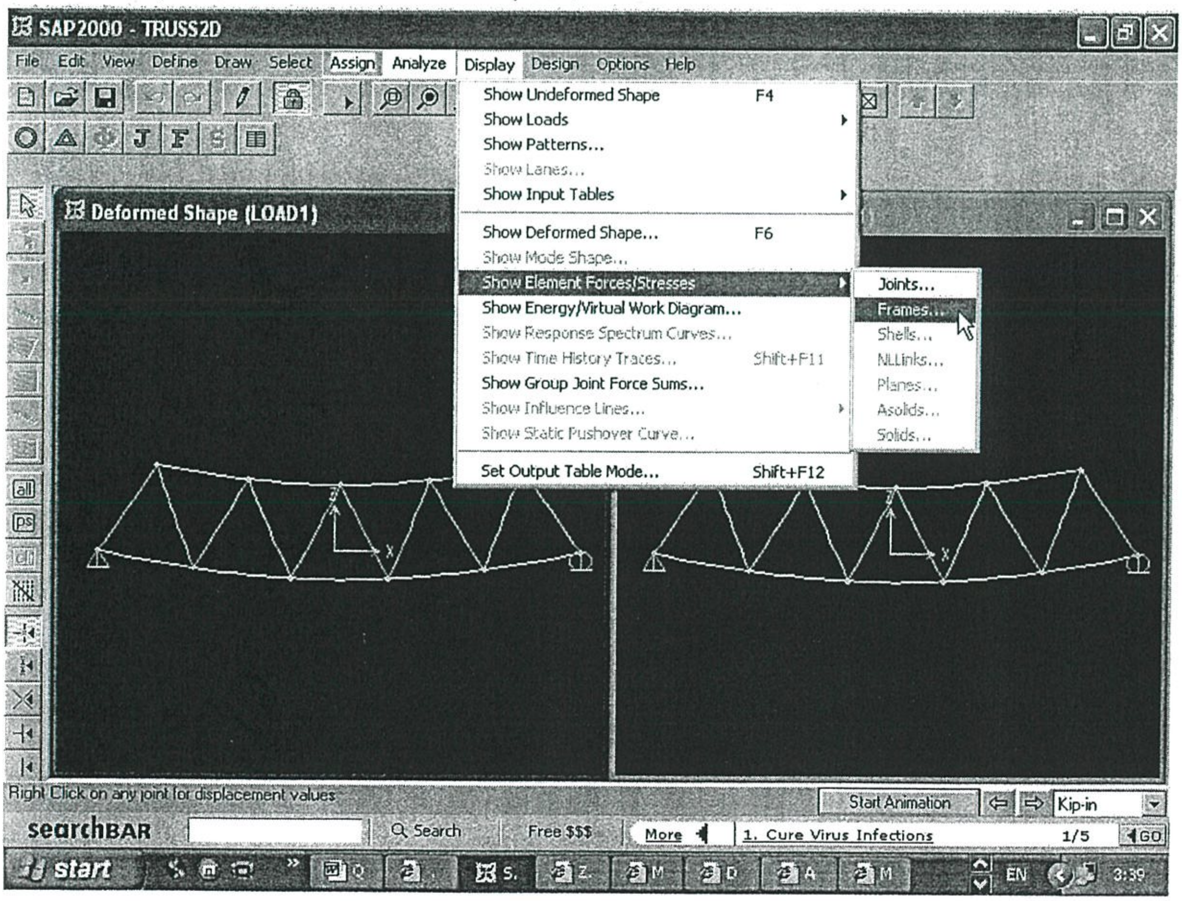
รูปที่ ผ-2.43 ภาพแสดงระยะที่เปลี่ยนแปลงและการหมุนในแกนต่างๆ

2.10. Displaying Member Forces

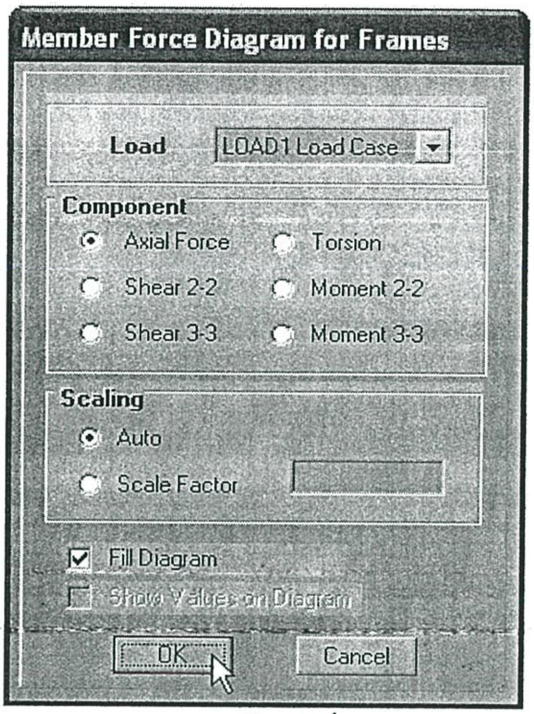
ในตัวอย่าง เราจะกำหนดจุดแผนภาพแกนกำลังสำหรับกรณี LOAD1 บนด้านซ้ายของหน้าต่าง

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

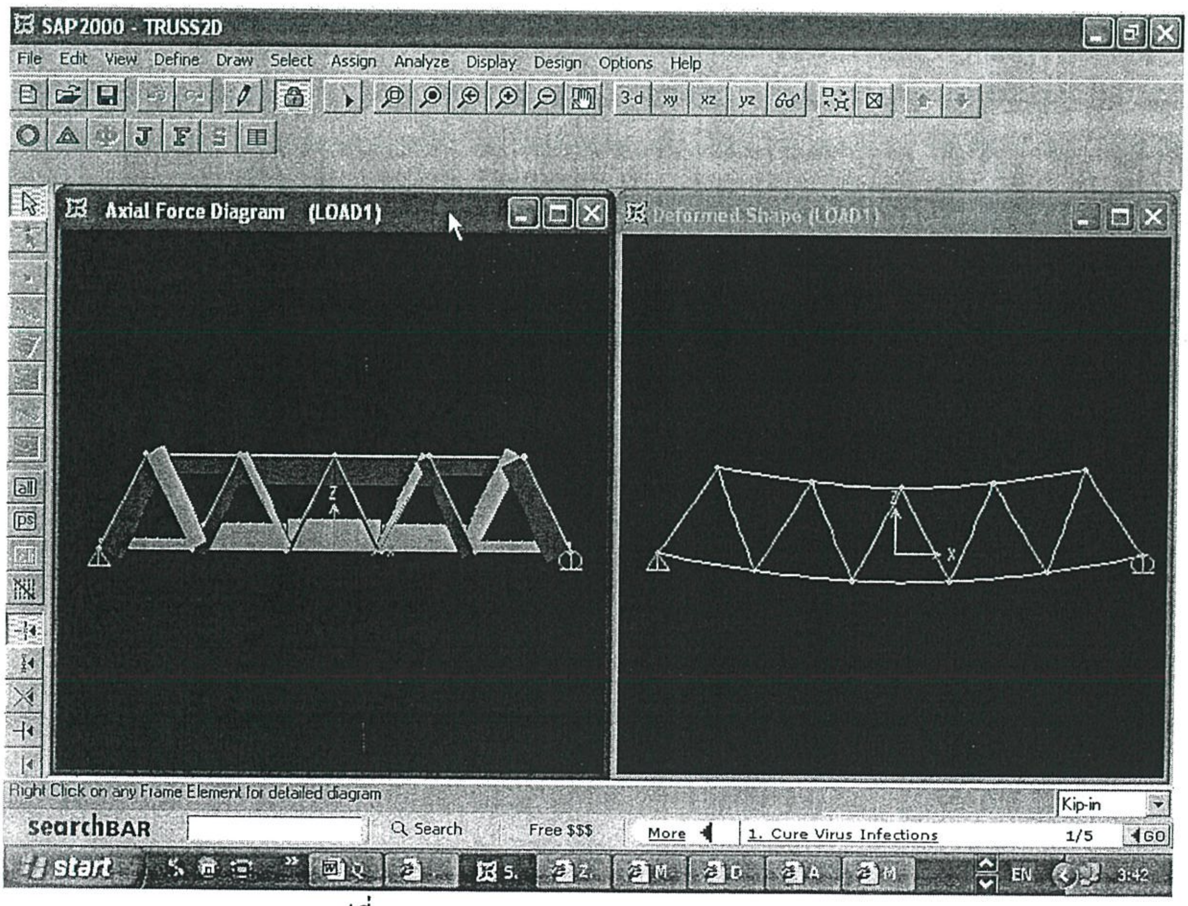


รูปที่ ผ-2.44 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Element Forces/Stresses แล้วเลือก Frame



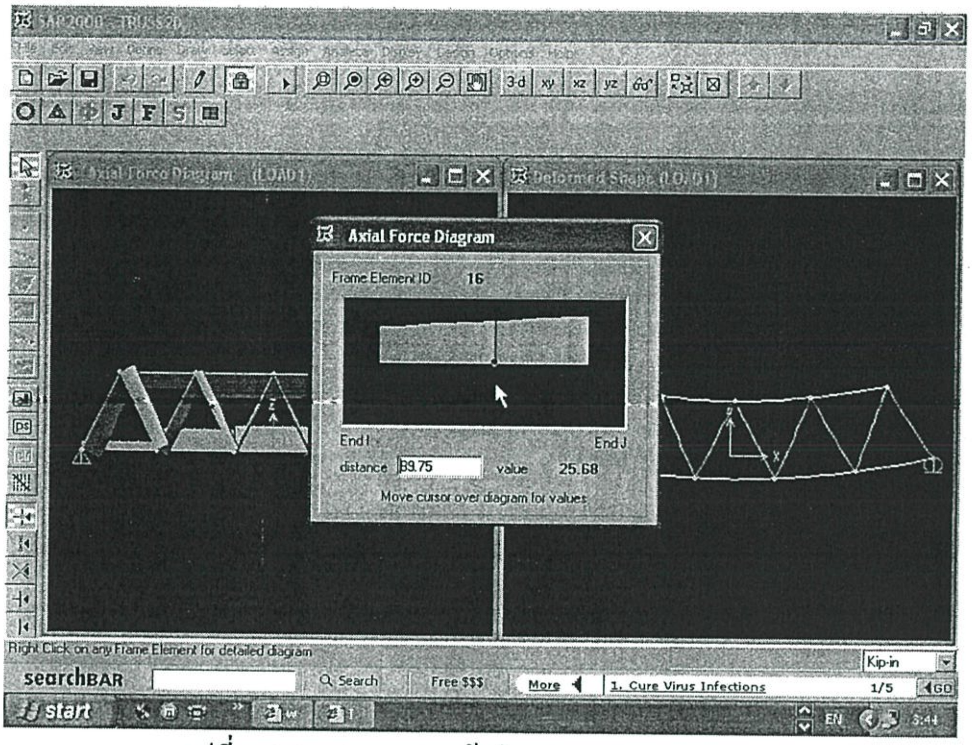
รูปที่ ผ-2.45 ภาพแสดงการเลือกคำสั่งแสดงผล Axial Force

กดปุ่ม OK เพื่อแสดงผล



รูปที่ ผ-2.46 ภาพแสดงผลของแรง Axial Force

3.คลิกขวาบนชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบบนหน้าต่างซ้าย จะมีหน้าต่างลอยซึ่งจะแสดงแผนภาพแนวแกนกำลังที่แสดงการสั่นไหวของแกนกำลังเหนือความยาวชิ้นสวน ทำการเคลื่อนย้ายตัวชี้จุดไปที่หน้าต่างลอยนี้แล้วเลื่อนไปทางซ้ายและขวาที่ตรงแถบเส้นสีแดงจะเห็นจำนวนค่าของแกนแรงและระยะที่ตรงกันกับตัวชี้จุด ดังในรูปที่ ผ-2.47



รูปที่ ผ-2.47 ภาพแสดงหน้าต่าง Axial Force Diagram

คลิกด้านนอกของหน้าต่างนี้เพื่อปิดหน้าต่าง

หมายเหตุ: ชิ้นส่วนแรงหรือส่วนประกอบ stress สามารถที่จะเลือกสำหรับแสดงในลักษณะที่คล้ายๆกัน

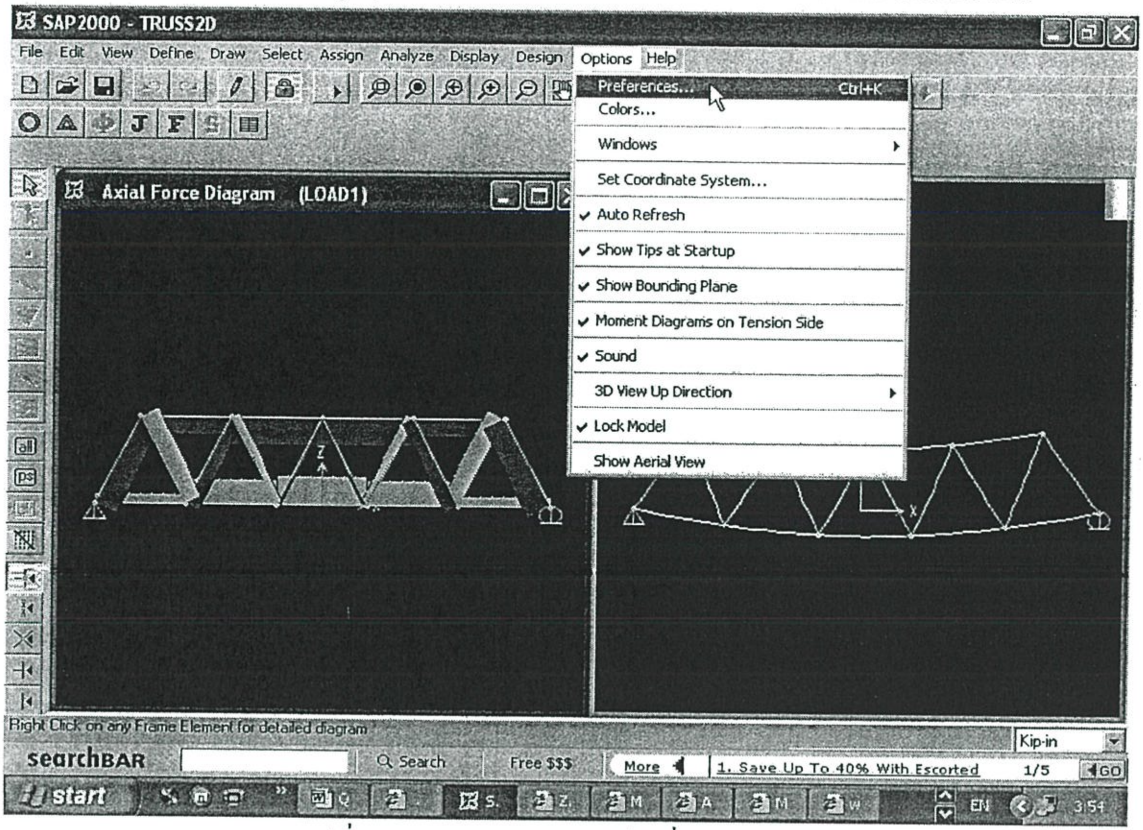
ข้อแนะนำ : ผลที่ได้สามารถ Print หรือ Save ในตารางสำหรับการเลือก Print ใน Output Tables... from ในเมนูไฟล์ ผลที่ได้รับสามารถแสดงในตารางจากการเลือก Set Output Table Mode จากเมนู Display และคลิกขวาบนชิ้นส่วน

2.11. Design Stress Check

การเช็ค Stress ในการออกแบบ

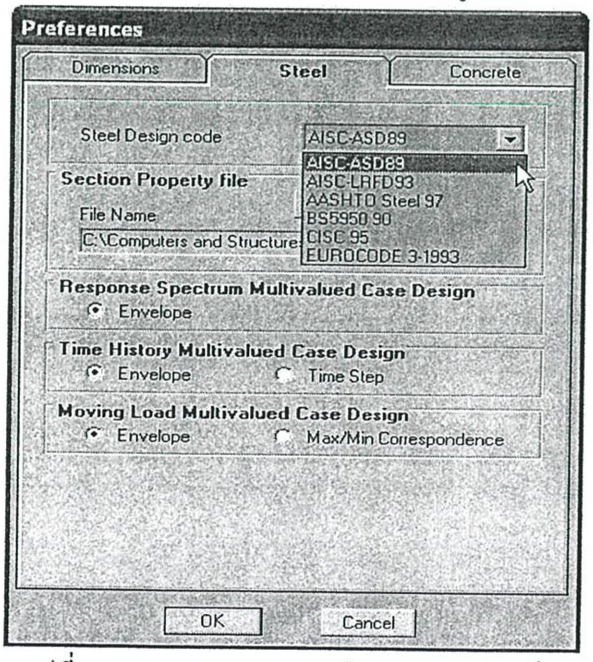
ในการออกแบบนี้จะใช้ข้อกำหนดตามมาตรฐานของ AISC - ASD89 ซึ่งสามารถเลือกข้อกำหนดได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. คลิกบน Preferences จากเมนู Options สิ่งนี้จะสร้างหน้าต่าง Preferences ไดอะลอกซ์บอกซ์



รูปที่ ผ-2.48 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Preferences

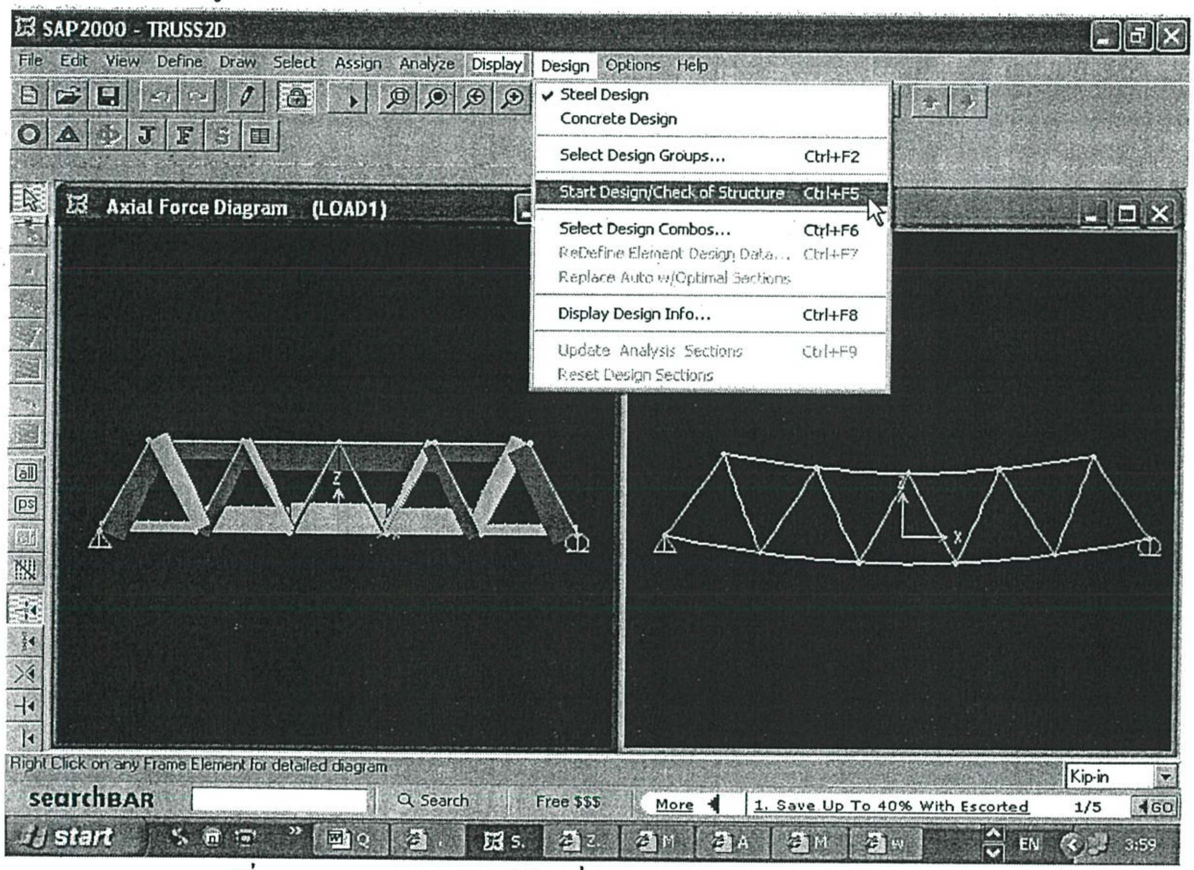
2. ในหน้าต่างข้อความ คลิกบนแท็ป Steel สามารถดูข้อกำหนดการออกแบบเหล็กที่เลือก จากแฟ้มคุณสมบัติพื้นฐาน และออพชั่นอื่นๆจำนวนหนึ่งตามที่แสดงในรูปที่ ผ-2.49



รูปที่ ผ-2.49 ภาพแสดง การเลือกCode ของเหล็ก

3. ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงค่าใดๆ
4. คลิกบนปุ่ม Cancel เพื่อที่จะปิดหน้าต่างข้อความ
5. เพื่อทำให้แน่ใจว่า SAP2000 ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนเหล็ก โดยทำการเลือกรายการเมนู Steel Design จากเมนู Design เราจะตรวจดูอัตราส่วน stress ในชิ้นส่วนโดยการใช้ข้อบังคับของ AISC /ASD89โดย

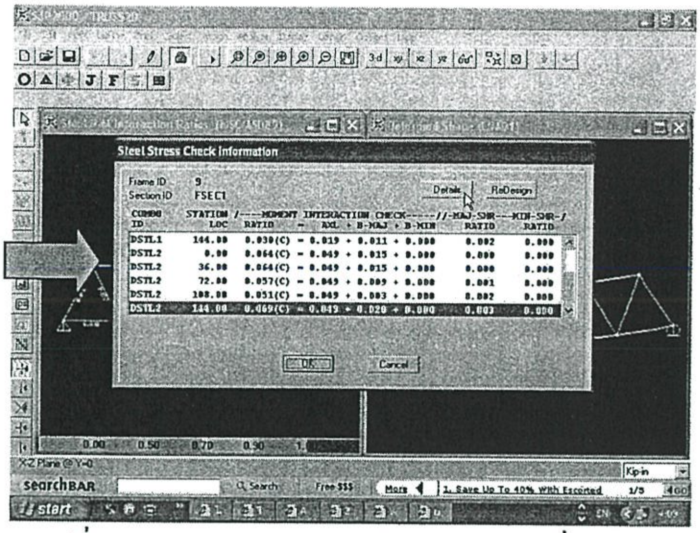
xx.จากเมนู Design เลือก Start Design/Check of Structure ค่าอัตราส่วน stress ratios ของชิ้นส่วนในแต่ละส่วนจะถูกแสดงขึ้นมาในแต่ละแถบสี



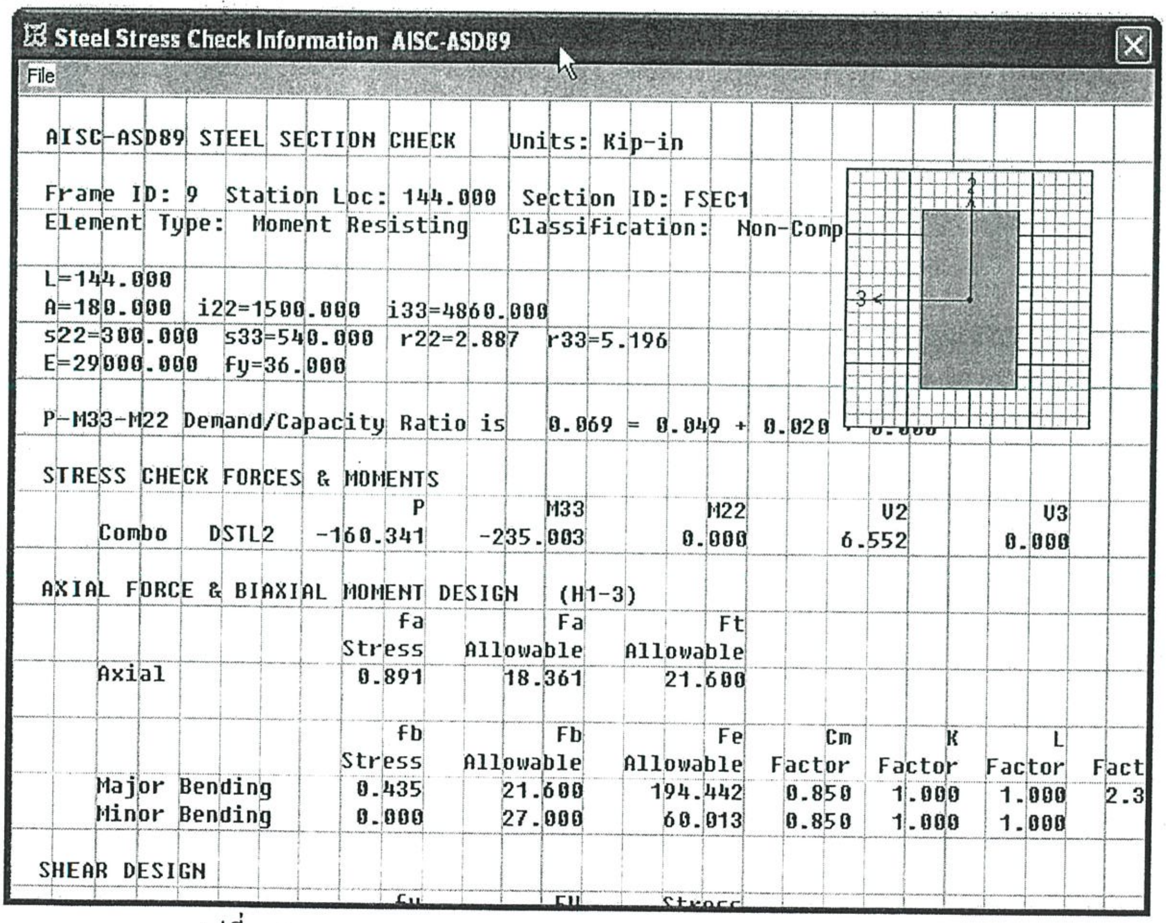
รูปที่ ผ-2.50 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Steel Design/Check of Structure

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

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



รูปที่ ผ-2.51 ภาพแสดงรายละเอียดsteel stress ที่จุดต่างๆ



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

xxii.ทำการกดปุ่ม OK เพื่อทำการปิดหน้าต่าง

โปรแกรม SAP2000 จะอนุญาตให้สามารถที่จะเปลี่ยนค่ามาตรฐานคุณสมบัติของชิ้นส่วน ที่ทำการออกแบบได้ และทำการ re-run ค่าที่ออกแบบได้

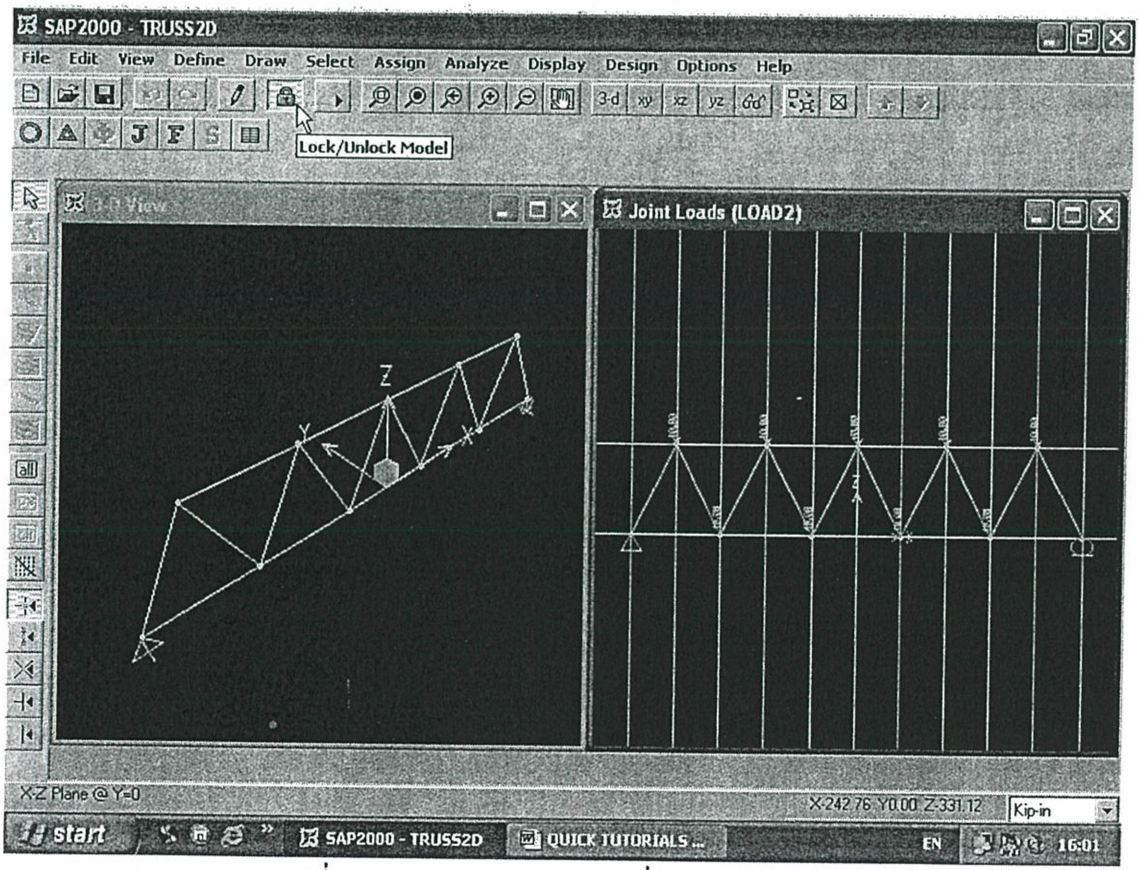
2.12. Modifying the Structure

การแก้ไขโครงสร้าง

สมมติว่าต้องการที่จะแก้ไขโครงข้อหมุนเพื่อรองรับค่าน้ำหนักที่กระทำแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 100 kips ที่ตรงกลางด้านล่างของโครงสร้าง เราสามารถที่จะทำได้โดยการเพิ่มชิ้นส่วนในแนวดิ่งที่ตรงกลางและแบ่งเป็นสองด้านจากตรงกลางของชิ้นส่วนแนวนอน

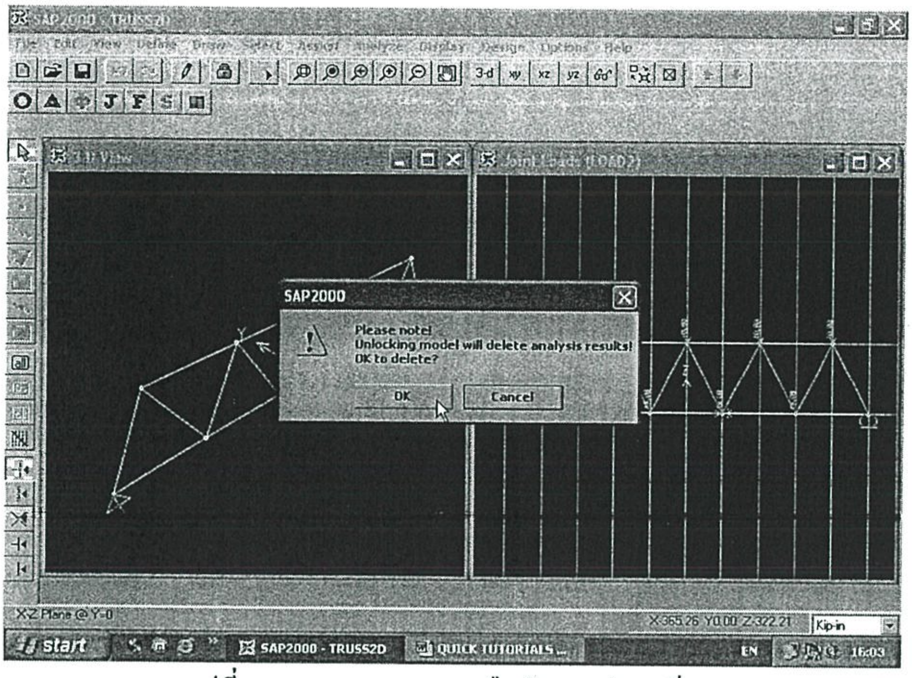
แบบตัวอย่างจะทำการล็อคขัดขวางไม่ให้สามารถเปลี่ยนแปลงแบบตัวอย่างเอาไว้ เราจะต้องทำการปลดล็อกแบบตัวอย่าง จึงจะทำการเปลี่ยนแปลงการออกแบบได้ ซึ่งการ re-analyze และทำการตรวจสอบผลในขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบมีขั้นตอนดังนี้

1. คลิกบนปุ่ม Lock/Unlock Model แบบตัวอย่างบนแถบเครื่องมือหลักเพื่อที่จะคลายล็อคแบบตัวอย่าง



รูปที่ ผ-2.53 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Un Lock Model

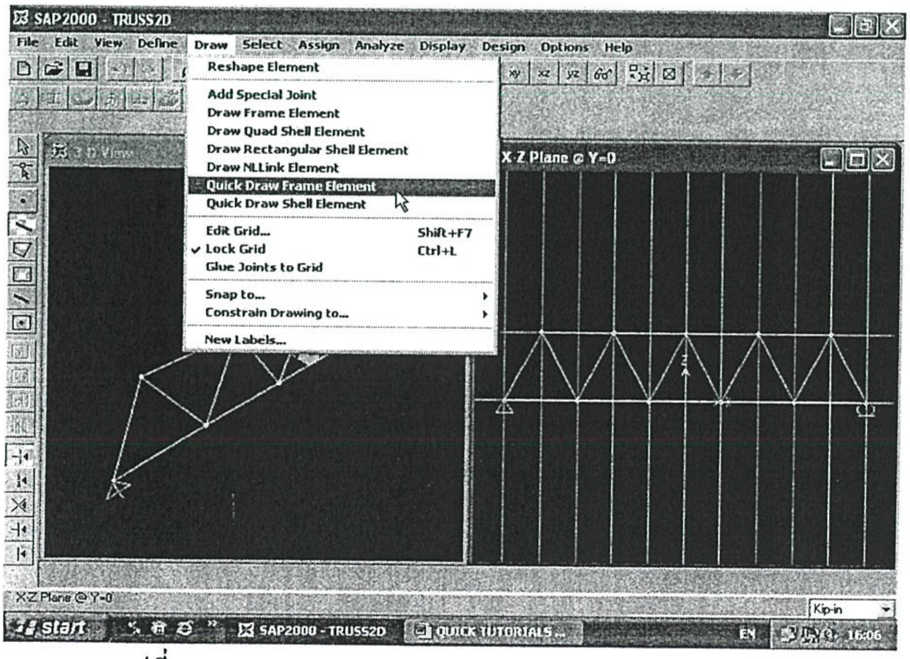
2. จะมีข้อความเตือนว่าการคลายล็อคแบบตัวอย่างจะมีผลคือลบผลลัพธ์การวิเคราะห์ทั้งหมด คลิกบนปุ่ม OK เพื่อยอมรับการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ ผ-2.54 ภาพแสดงการยืนยันการปลอดล็อค

ในที่นี้ เราจะใช้สองวิธีที่แตกต่างที่จะวาดชิ้นส่วนใหม่ แต่ละวิธีใช้สำหรับการเพิ่มชิ้นส่วนในแบบตัวอย่าง

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

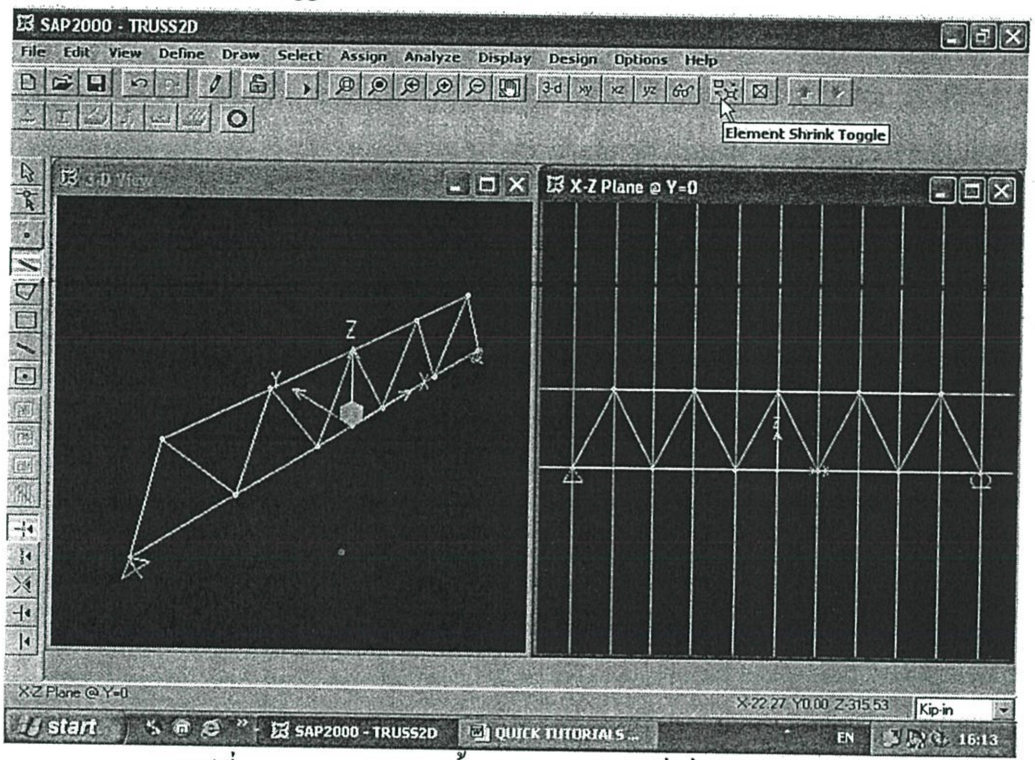


รูปที่ ผ-2.55 ภาพแสดงการวาด Quick Draw Frame Element

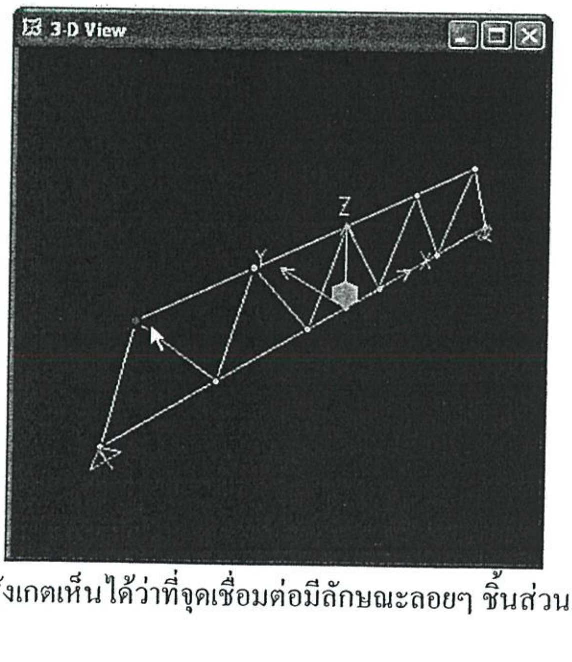
4. คลิก gridline ในแนวตั้งที่ศูนย์กลางของแบบตัวอย่างระหว่างด้านบนกับด้านล่างของ chords เพื่อเลือกชิ้นส่วนในแนวดิ่ง

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

5. คลิกบน Element Shrink Toggle บนเครื่องมือหลัก



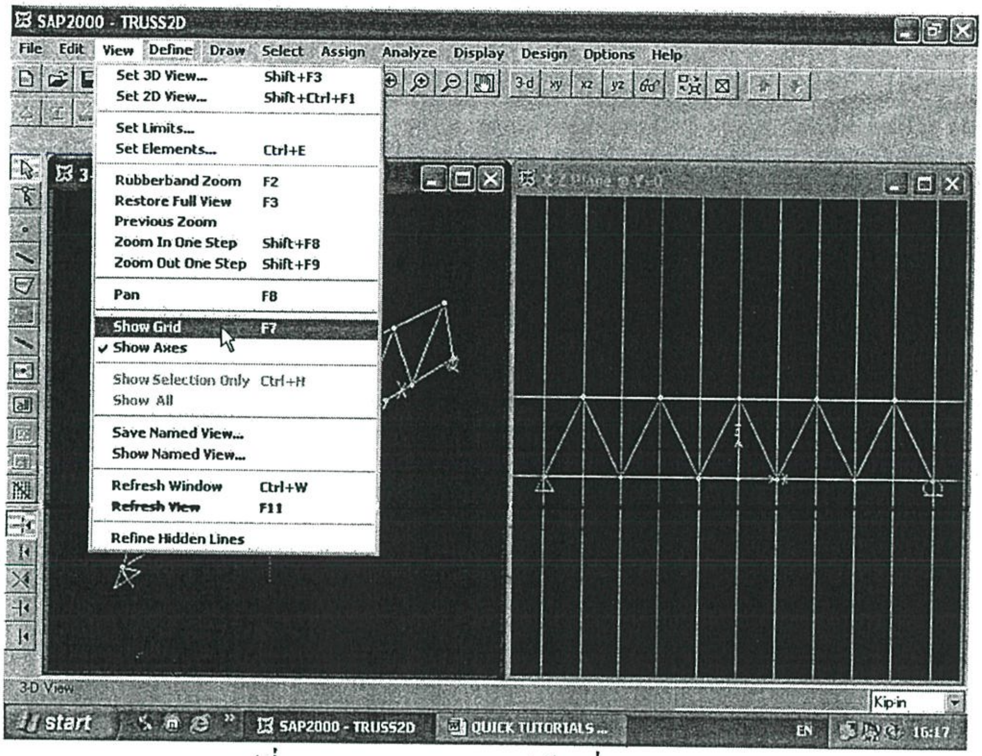
รูปที่ ผ-2.56 ภาพแสดง ชิ้นส่วนโครงสร้างที่เพิ่มเข้าไปใหม่



รูปที่ ผ-2.57 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่จุดเชื่อมต่อมีลักษณะลอยๆ ชิ้นส่วนต่างๆไม่ติดกัน

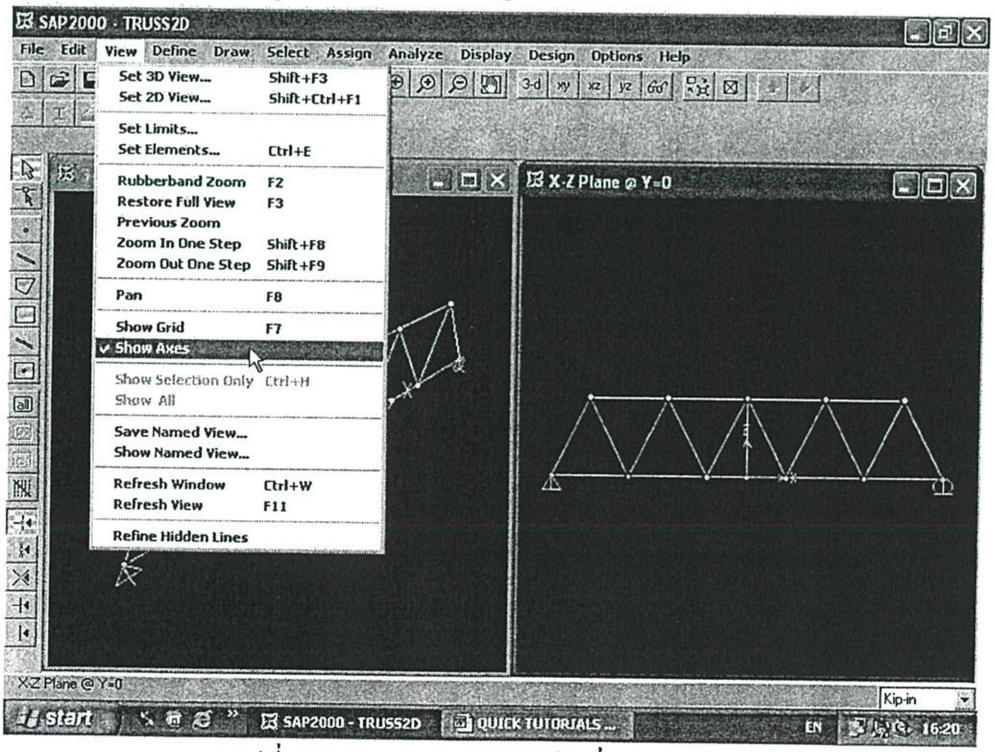
6. เพื่อที่จะดูรายละเอียดมากกว่าอย่างชัดเจน

- เลือก Show Grid จากเมนู View ที่จะปิดตาราง grid



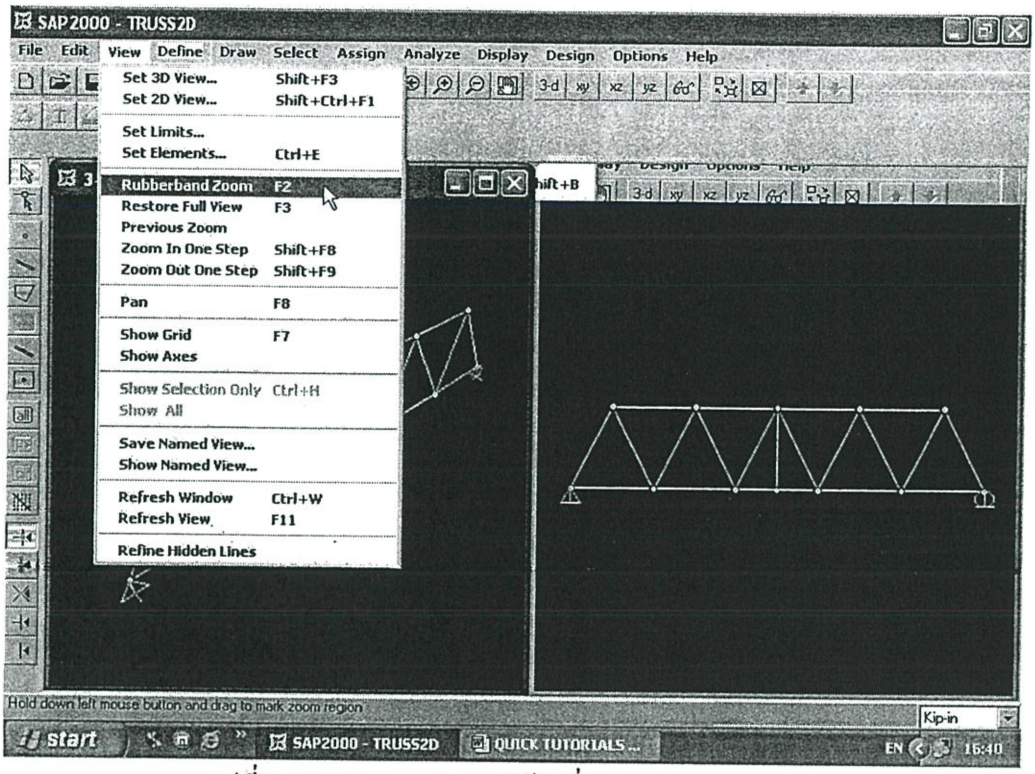
รูปที่ ผ-2.58 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Grid

- เลือก Show Axesจากเมนู View ที่จะปิดแกน global axes

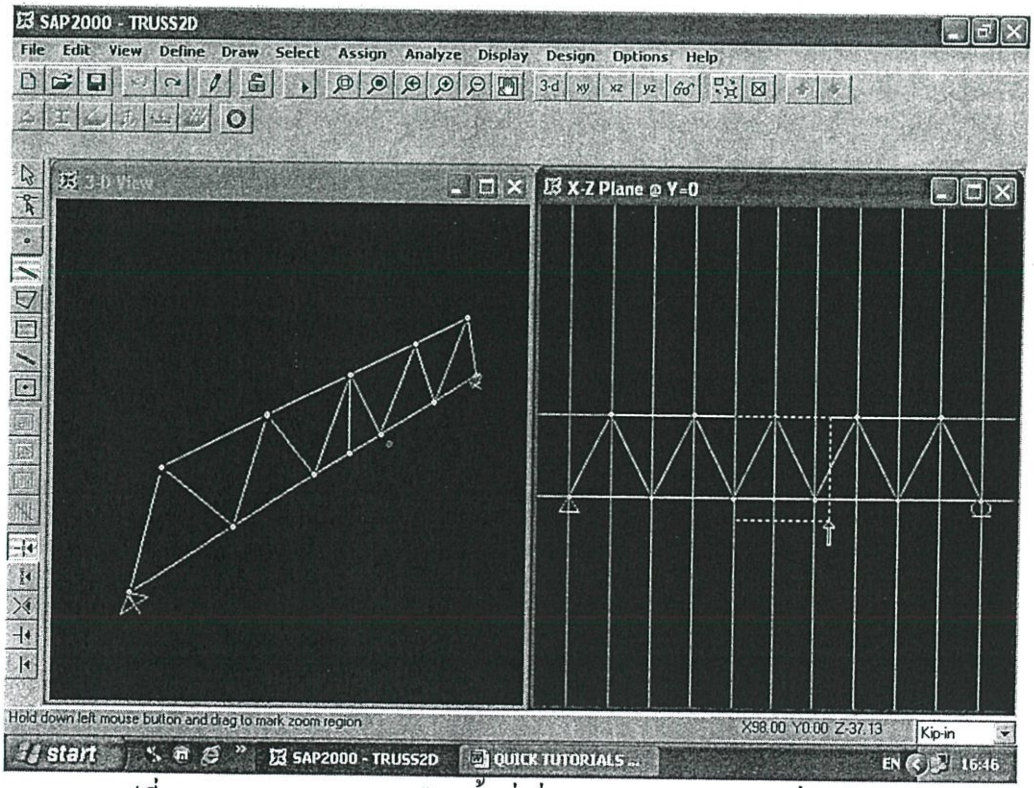


รูปที่ ผ-2.59 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Show Axes

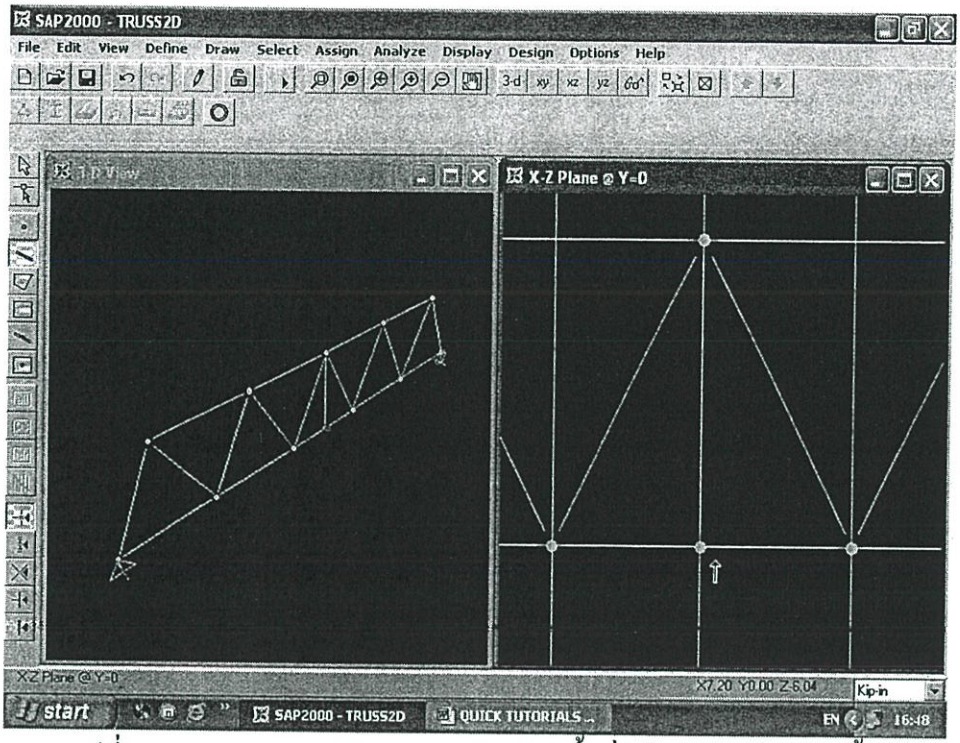
- คลิกบนปุ่ม Rubber Band Zoom บนแถบเครื่องมือหลัก



รูปที่ ผ-2.60 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Rubberband Zoom



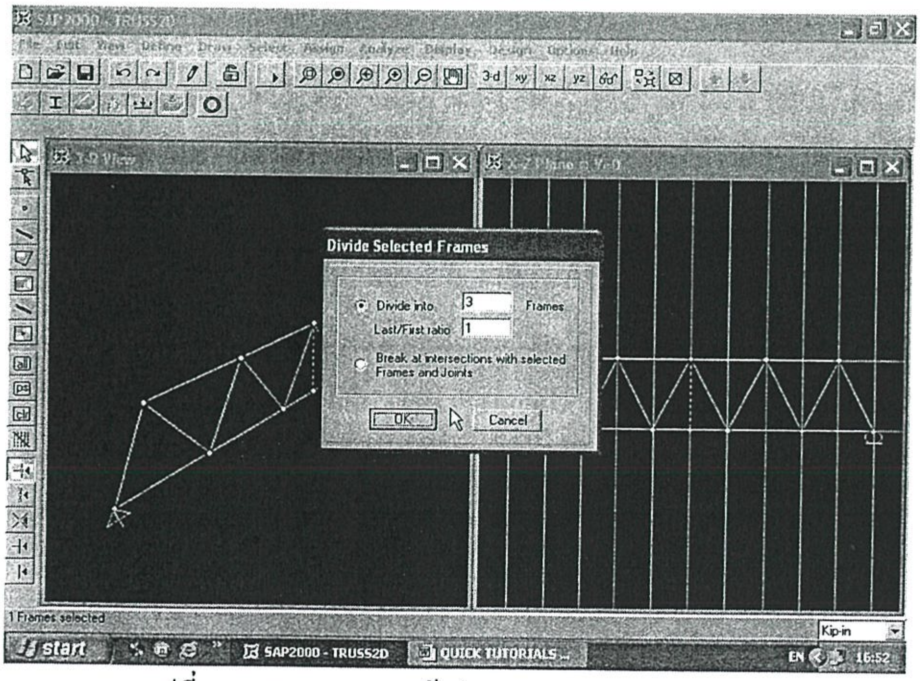
รูปที่ ผ-2.61 ภาพแสดงการเลือกพื้นที่เพื่อทำการขยายระยะจุดที่ต้องการดู



รูปที่ ผ-2.62 ภาพขยายหลังจากการคลิกเลือกพื้นที่ๆต้องการมองให้ชัดขึ้น

- ในหน้าต่างการแสดงการทำงาน คลิกและลากหน้าต่างที่ต้องการจะปิดส่วนกึ่งกลางของโครงสร้าง เนื้อหาสาระข้อมูลของหน้าต่างนี้จะถูกเพิ่มในส่วนที่แสดงผลในหน้าต่างหลัก

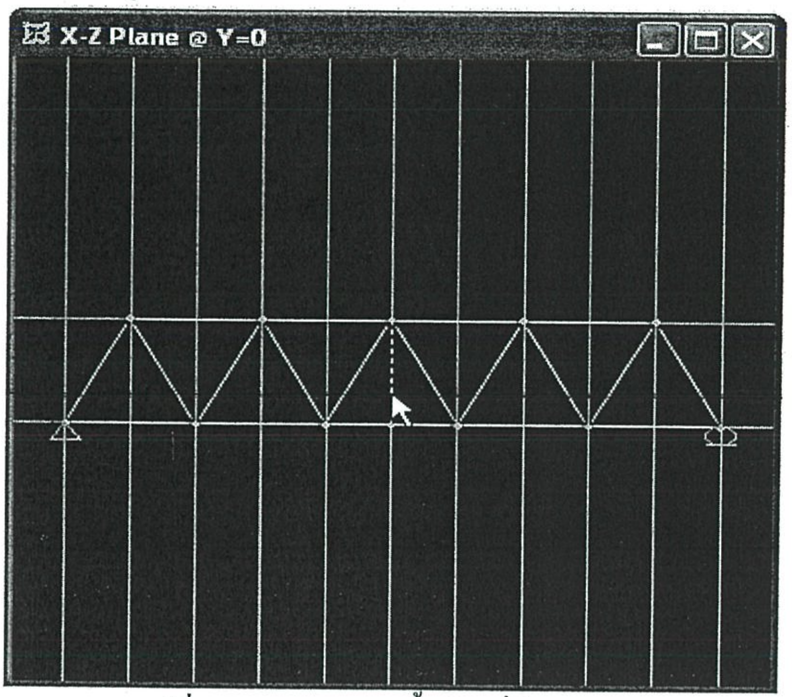
เราสามารถวาดชิ้นส่วนกึ่งกลางของใต้ chord ได้อีก วิธีหนึ่งโดยใช้ออพชั่น Divide Frames ในเมนู Edit เราจะแทนที่ส่วนที่ลบและวาดชิ้นส่วนใหม่



รูปที่ ผ-2.63 ภาพแสดงหน้าต่าง Divide Selected Frames

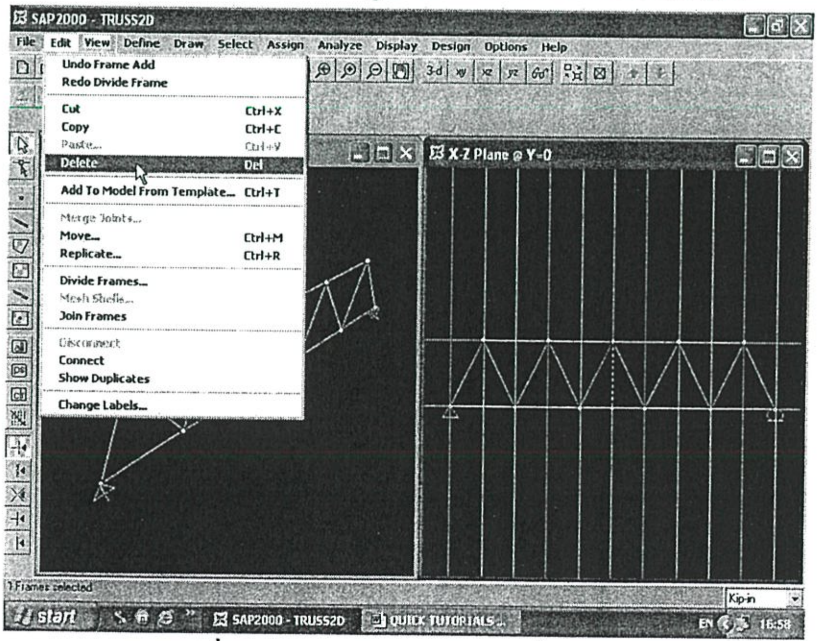
7. เพื่อลบชิ้นส่วนเก่า

- คลิกที่เครื่องมือ Pointer Tool บนแถบเครื่องมือด้านข้างเพื่อที่จะเริ่มต้นสวิตซ์สู่ SELECTION โหมด
- คลิกบนชิ้นส่วนที่จะถูกลบ



รูปที่ ผ-2.64 ภาพแสดง ชิ้นส่วนที่ต้องการลบ

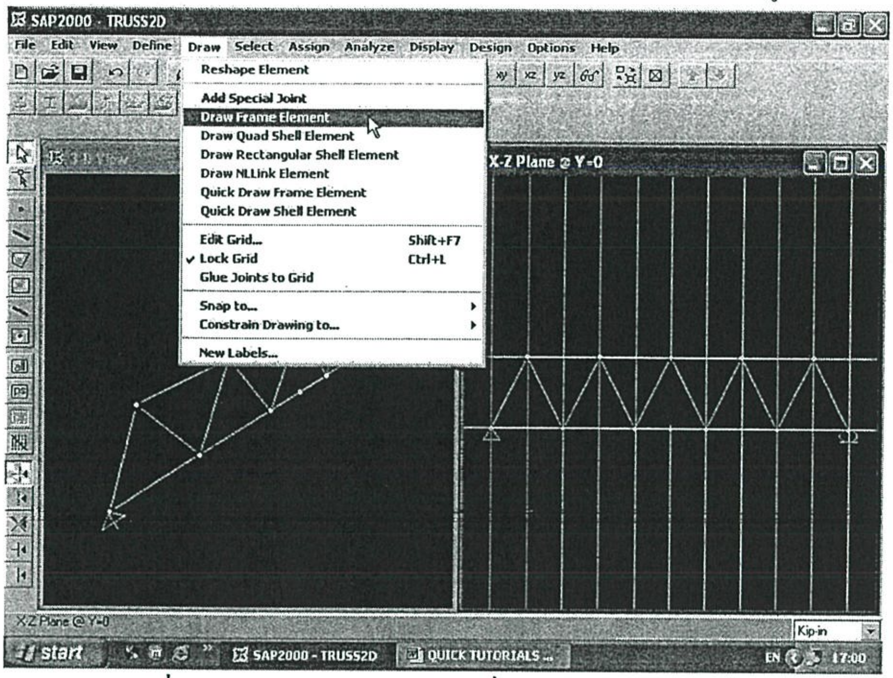
- กดกุญแจ Delete หรือเลือก Delete จากเมนู Edit เพื่อลบชิ้นส่วนที่ไม่ต้องการ



รูปที่ ผ-2.65 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Delete

8. เพื่อวาดสองชิ้นส่วนใหม่

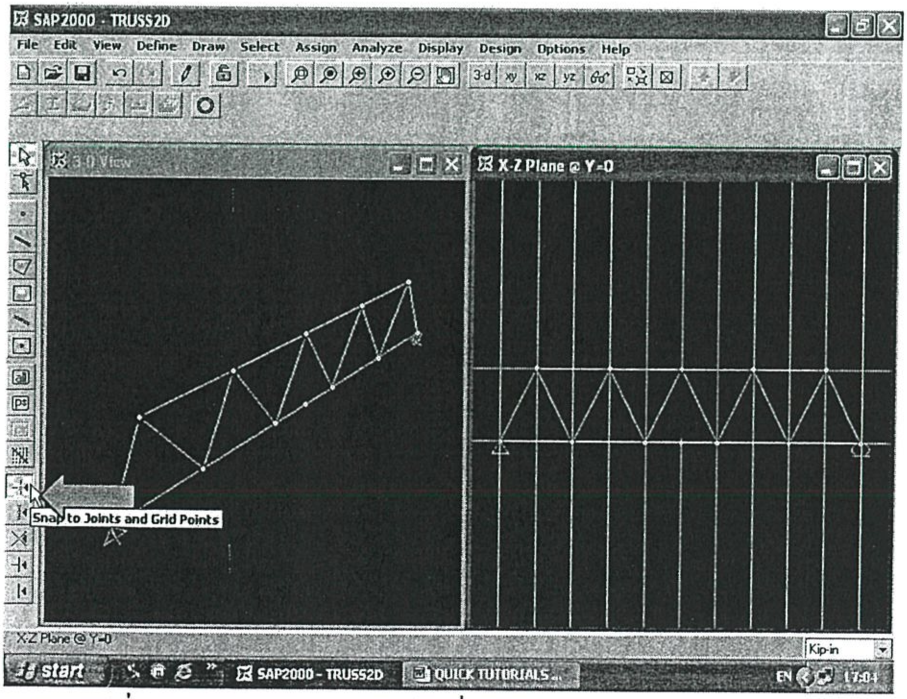
- คลิกปุ่ม Draw Frame Element บนแถบเครื่องมือด้านข้าง หรือเลือกจากเมนู Draw



รูปที่ ผ-2.66 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Draw Frame Element

หมายเหตุ: สามารถวาดในหน้าต่างวินโดวส์ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านได้

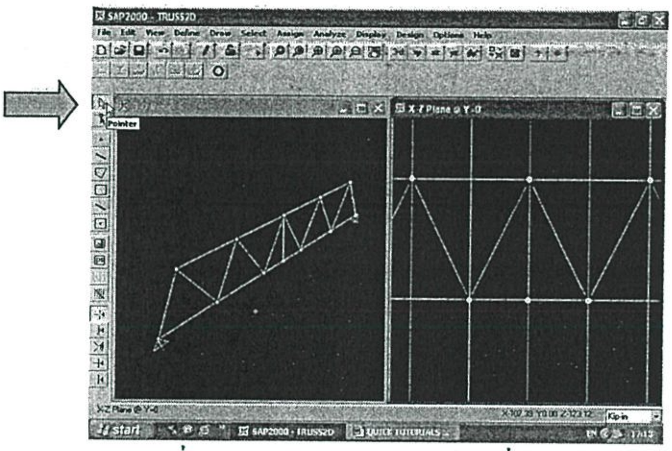
- คลิกบนปุ่ม Snap to Joints and Grid Points บนเมนูบาร์ด้านบนหรือปุ่มจุดตารางบนแถบเครื่องมือทางด้านข้างซ้ายของจอแสดงผล



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

- คลิกบนซ้ายที่สุดของสามข้อต่อกึ่งกลาง เริ่มต้นของส่วนประกอบแรกเพื่อที่จะจับตำแหน่งข้อต่อที่แน่นอน
- เช่นเดียวกันกับขั้นตอนที่ผ่านมา ทำการเคลื่อนย้ายเมาส์ แถบ “rubber band” จะแสดงส่วนประกอบแรกที่จะวาด คลิกบนข้อต่อกึ่งกลางที่จะวาด
- เช่นเดียวกันทำการเคลื่อนย้ายเมาส์ สามารถดูว่าส่วนประกอบถัดไปได้โดยเริ่มทำกลอบเส้นประที่ชิ้นส่วนสุดท้ายตรงจุดสิ้นสุด
- ดับเบิ้ลคลิก บน rightmost ของสามข้อต่อกึ่งกลางเพื่อเป็นจุดสิ้นสุดของชิ้นส่วนลำดับที่สอง ดับเบิ้ลคลิก เพื่อสิ้นสุดการขยายภาพแบบ “rubber-banding” ขณะที่ทำการตรวจสองชิ้นส่วนถัดไป

9. คลิกบนเครื่องมือตัวชี้ Pointer Tool เพื่อจบโหมดการวาด



รูปที่ ผ-2.68 ภาพแสดงการใช้คำสั่ง Pointer

โดยสรุปสำหรับ original model ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

- เลือกชิ้นส่วนใหม่และกำหนดส่วนหน้าตัดชิ้นส่วนตามที่ต้องการ
- เลือกข้อต่อใหม่ที่ข้างล่างโดยการคลิกบนส่วนที่ต้องการและกำหนดแรงกระทำในข้อต่อมีค่าเท่ากับ -100 kips ในกรณี LOAD2
- คลิกบนปุ่ม Restore Full View จากแถบเครื่องมือหลัก
- วิเคราะห์โครงสร้าง
- แสดงแรงในชิ้นส่วน
- ตรวจการออกแบบ

ที่จุดนี้อาจจะต้องการเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนคุณสมบัติส่วนหน้าตัดสำหรับชิ้นส่วนเฟรมที่อยู่ใต้การออกแบบ ซึ่งจะต้องคลายล็อคแบบตัวอย่างอีกครั้ง การเลือกชิ้นส่วนเฟรม การกำหนดส่วนหน้าตัดเฟรม รวมทั้งการวิเคราะห์อื่นๆและเช็คการออกแบบ