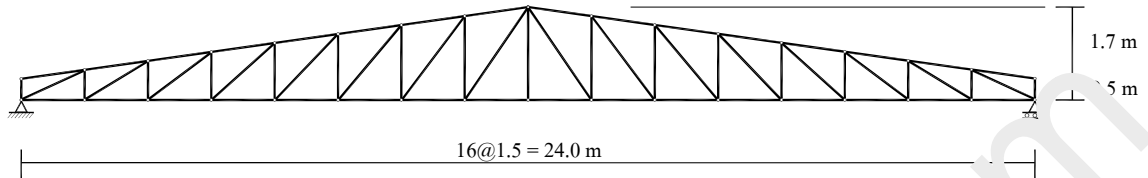


ตัวอย่างที่ 3 โครงหลังคา

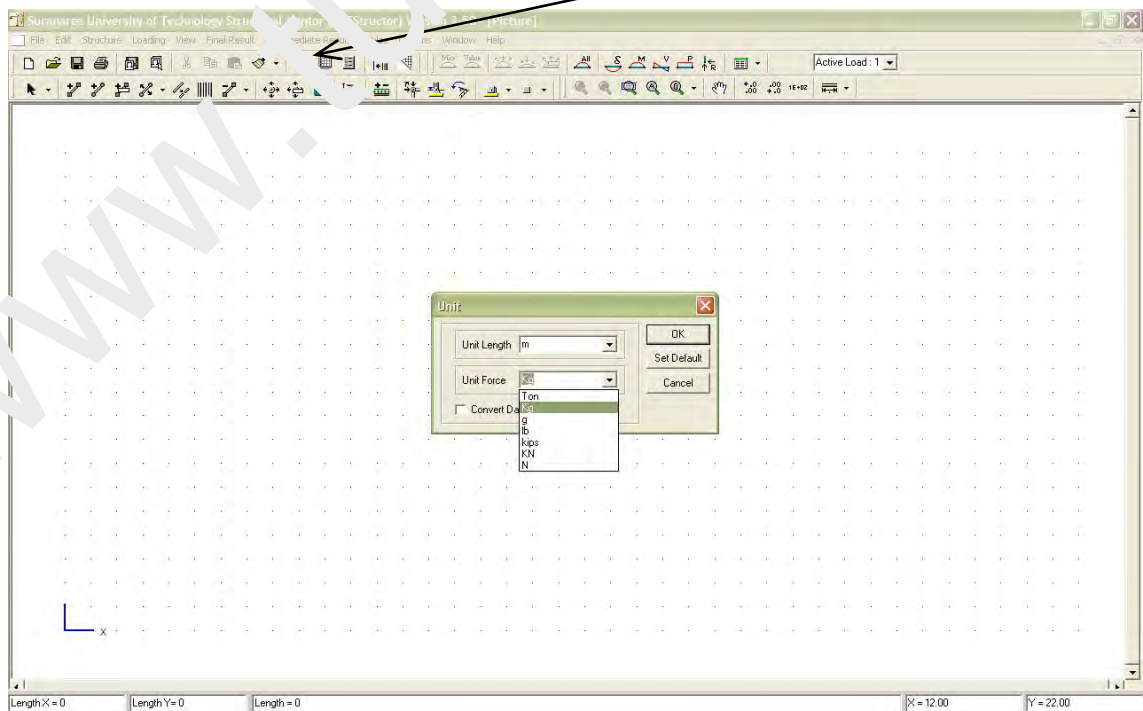
โครงหลังคาที่มีช่วงยาว (Span) 24 m โดยแบ่งออกเป็น 16 ช่องๆละ 1.5 m สูง 2.2 m



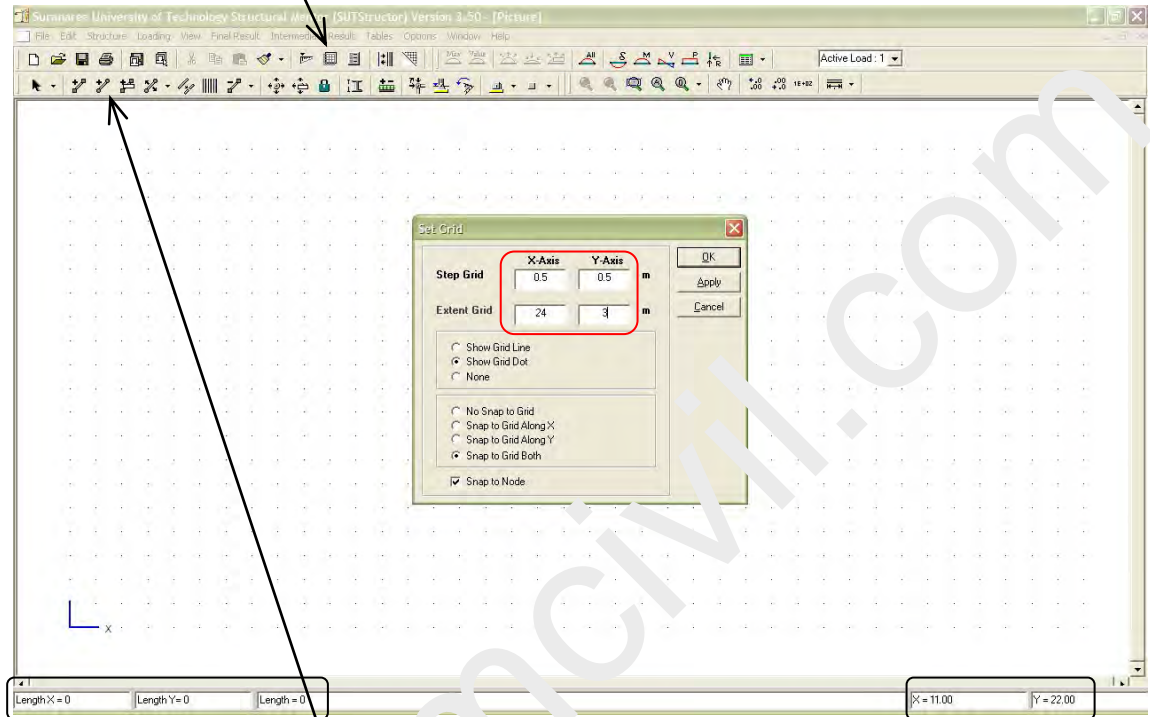
กำหนดให้

1. โครงหลังคานี้อยู่ที่ระดับ +15 m แต่ละโครงอยู่ห่างกัน 6 m
2. แผ่นหลังคาเหล็กมีน้ำหนัก 8 kg/m^2
3. แปเหล็กขนาด LG.125x40x3.2 mm. (7.76 kg/m) @ 5 m รมี Sag rod
4. น้ำหนักจร 30 kg/m^2
5. กำหนดให้ใช้ความเร็วลม $v = 90 \text{ km/h}$

ขั้นแรก ควรตรวจสอบหน่วยก่อนว่า นักแจะระยะต่างจากที่โปรแกรมกำหนดไว้ (KN & m) หรือไม่ ในที่นี้ต้องเปลี่ยนหน่วยของ m เป็น Kg โดยคลิกที่ปุ่ม Unit เลือก Kg แล้ว OK

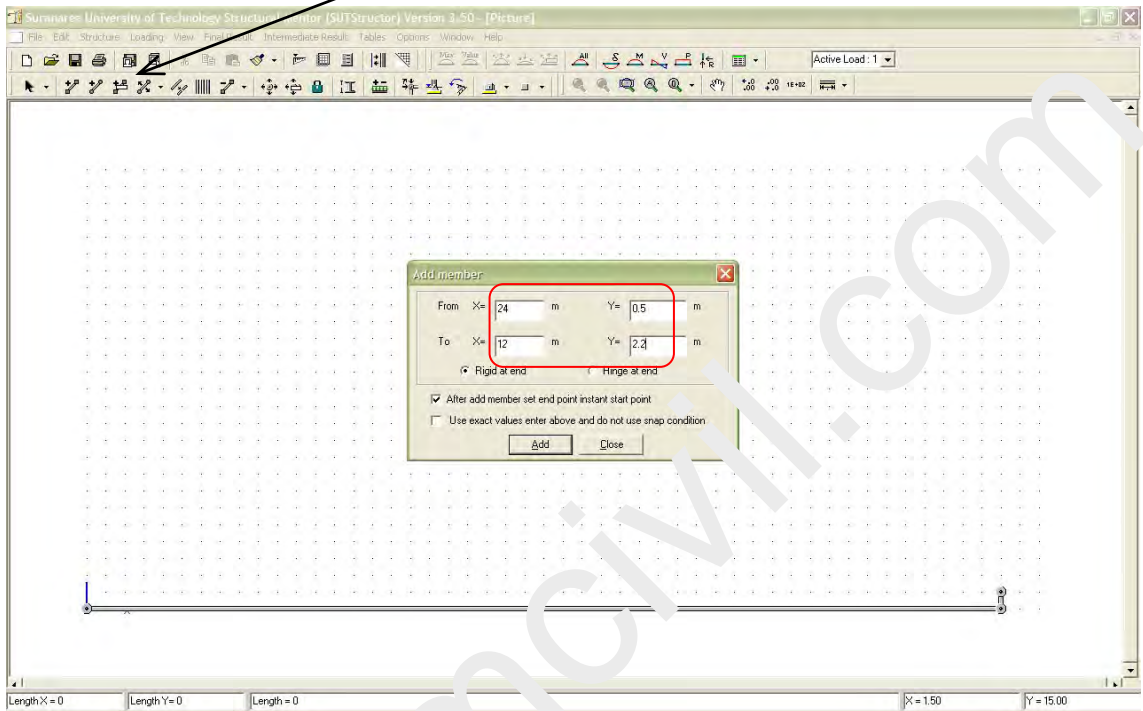


ขั้นตอนที่ 1 สร้างรูปโครงสร้าง เริ่มต้นสร้างโครงสร้างใหม่โดยคลิกที่ปุ่มคำสั่ง New แล้วเลือก Blank Project แล้วคลิกปุ่ม Grid แล้วกำหนดค่าให้เหมาะสม ในที่นี้กำหนดระยะห่างของ Grid ในแนวแกน X และ Y เท่ากับ 0.5 m ป้อนค่าให้แสดง Grid 24 m และ 3 m ในแกน X และ Y ตามลำดับ แล้ว OK

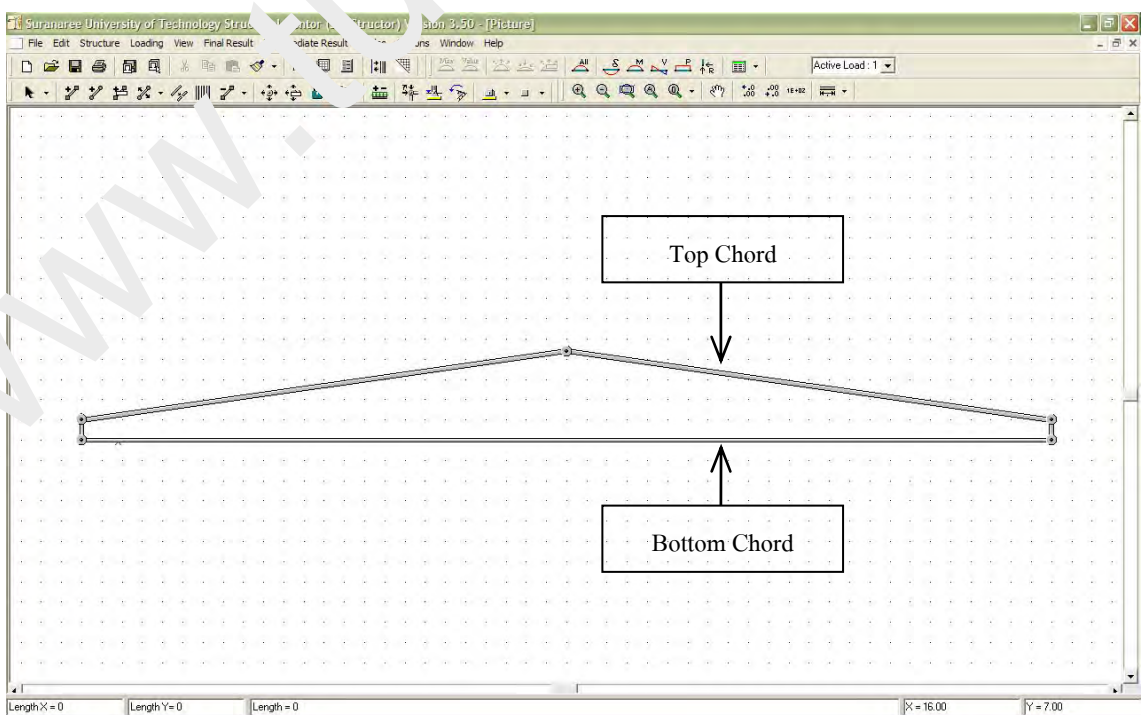


ต่อไปคลิกที่ปุ่ม Add Member Single End เพื่อเริ่มสร้างชิ้นส่วนของโครงหลังคา คลิกที่จุดเริ่มต้นที่พิกัด (0,0) แล้วเลื่อนตัวชี้ไปตามแกน X จนถึงพิกัด (24,0) โดยจะสังเกตได้จากตำแหน่งของตัวชี้ขณะที่เลื่อนไป หรือสังเกตจากความยาวตามแกน X และ Y หรือความยาวของชิ้นส่วนที่กำลังเลื่อนตัวชี้ไป ได้ตำแหน่งแล้วคลิก แล้วเลื่อนตัวชี้ขึ้นแนวตั้ง 1 ช่อง (0.5 m) ได้พิกัด (24,0.5) แล้วคลิก

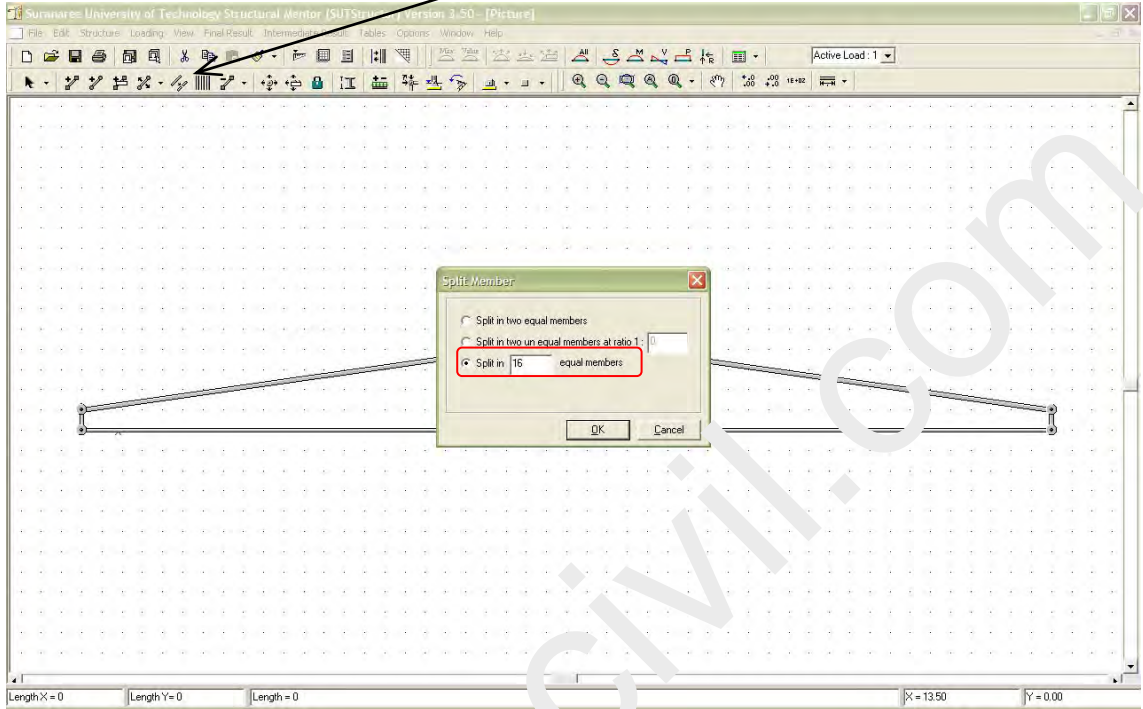
หลังจากนั้นคลิกขวาเลือกการสร้างชิ้นส่วนต่อเนื่อง แล้วคลิกปุ่ม Add Member Numerically เพื่อกำหนดจุดบนสุดของโครงหลังคา ป้อนค่าพิกัดจุดเริ่มต้น (จุดซ้ายสุด) ที่พิกัด (24,0.5) ไปยังจุด (12,2.2) คลิก Add



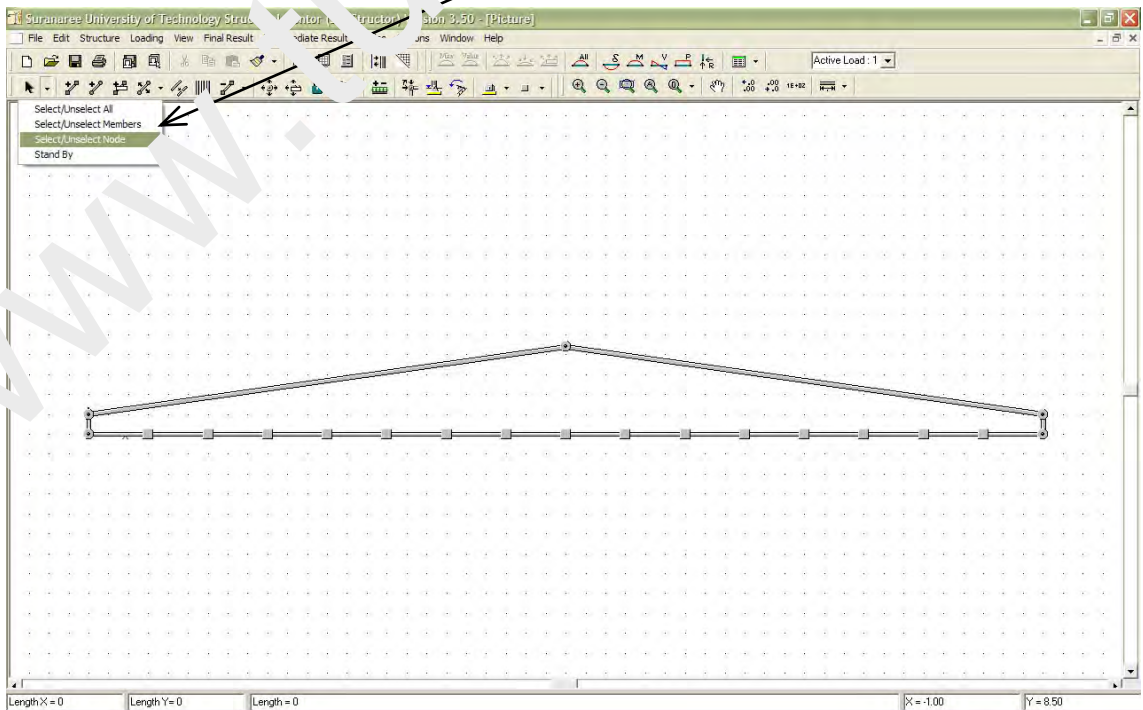
ต่อไปสร้างให้ได้โครงรอบนอก. ังภา. ้างล่าง

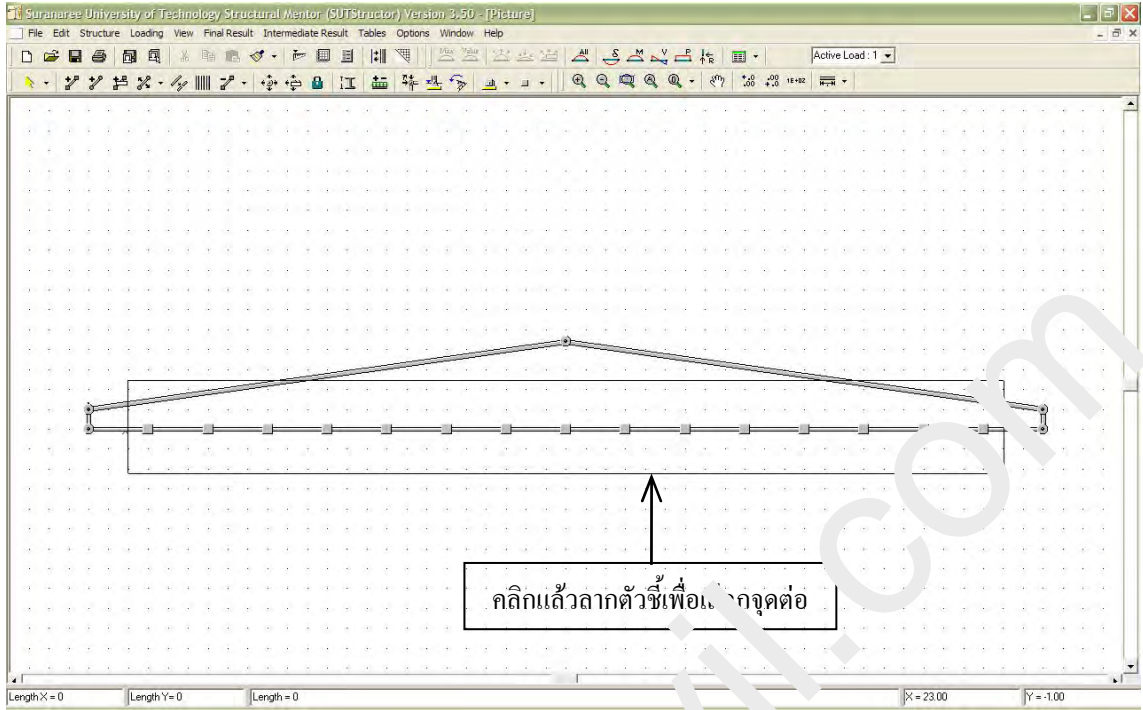


ต่อไปแบ่ง Bottom chord ออกเป็น 16 ส่วนเท่าๆกัน โดยคลิกปุ่ม Split Member แล้วคลิกที่ Bottom chord จะปรากฏหน้าต่างเล็ก คลิกเลือกแบ่งชิ้นส่วนออกเท่าๆกัน 16 ชิ้น

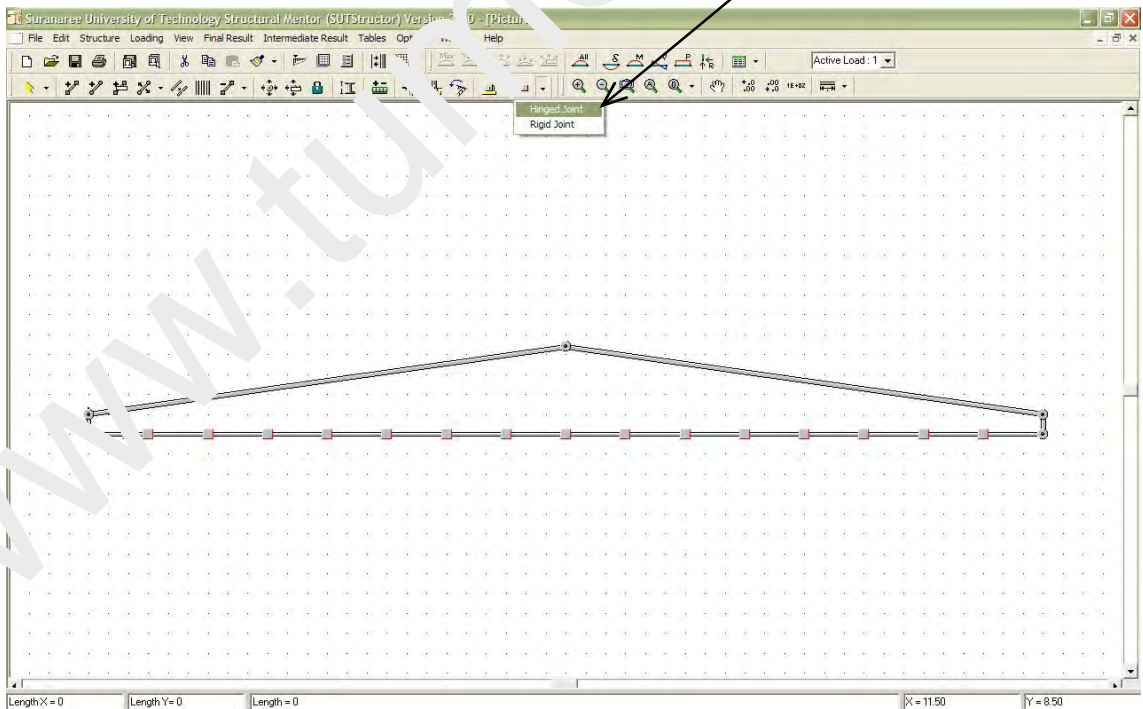


แล้ว OK จะเห็นว่าจุดต่อที่ได้เป็นแบบ Rigid Joint ต้องเปลี่ยนให้เป็นแบบ Hinged Joint โดยเปลี่ยนตัวชี้ให้เลือกเฉพาะจุดต่อ คลิกปุ่มเลือก Select/Unselect Node

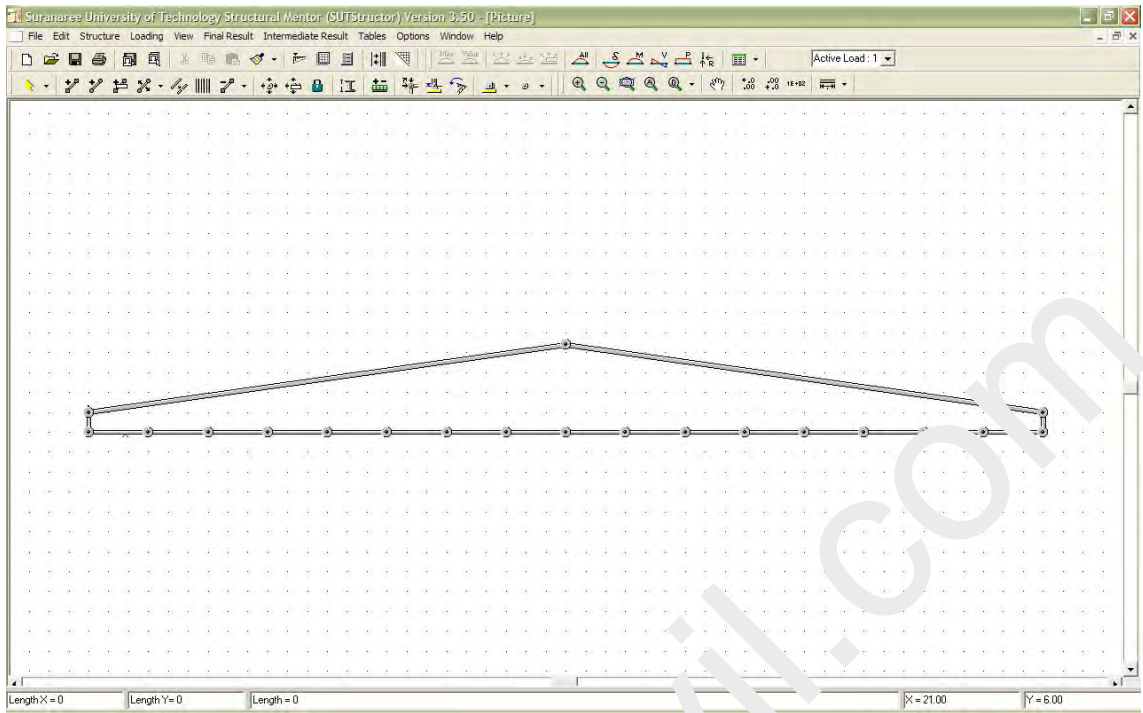




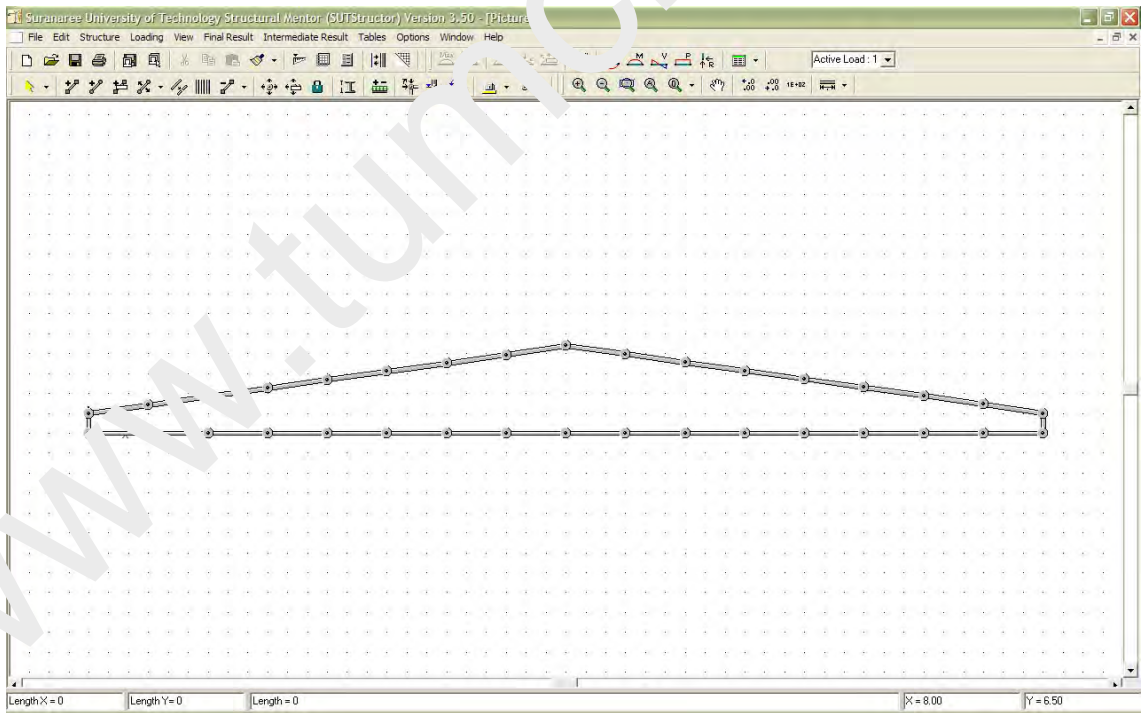
แล้วคลิกตัวชี้ลากไปห้ครอบคลุมจุดต่อทั้งหมดที่ต้อง การเปลี่ยนให้เป็น Hinged joint แล้วปล่อย จะสังเกตเห็นเงาสีแดงที่จุดต่อที่เลือกไว้



แล้วคลิกปุ่ม Hinged Joint จุดต่อทั้งหมดที่เลือกไว้จะเปลี่ยนเป็นแบบบานพับ ดังนี้

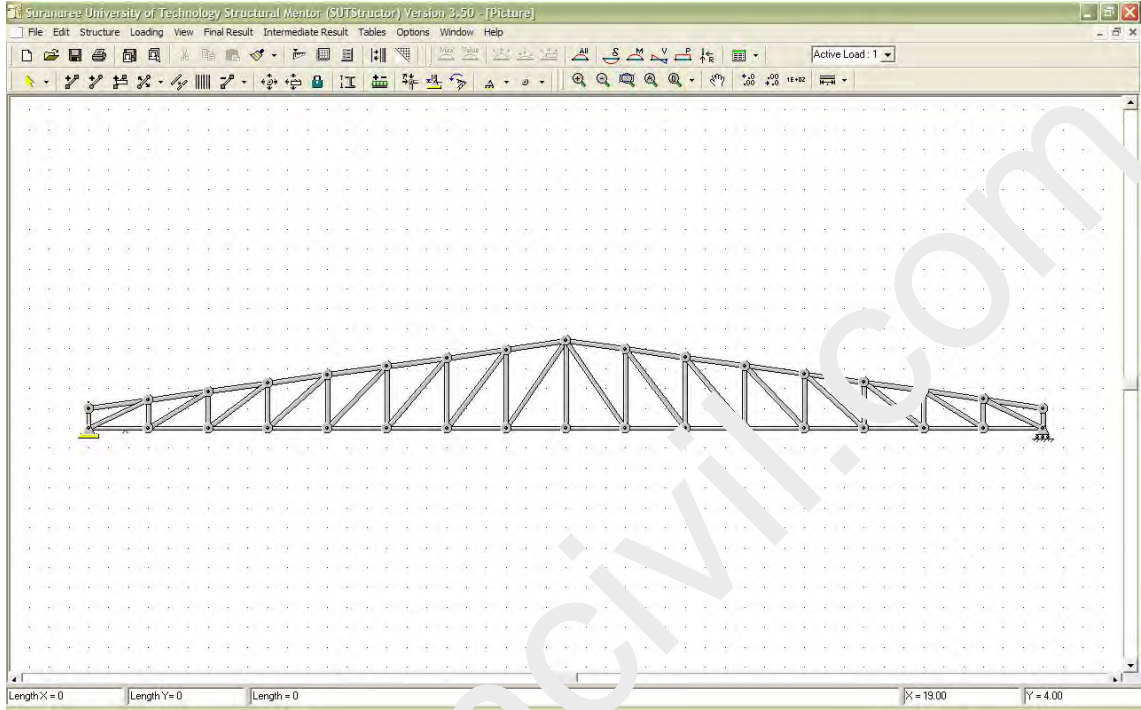


ทำนองเดียวกันหลังจากแบ่ง Top chords ออกเป็น 8 คอร์ด จะเกิด



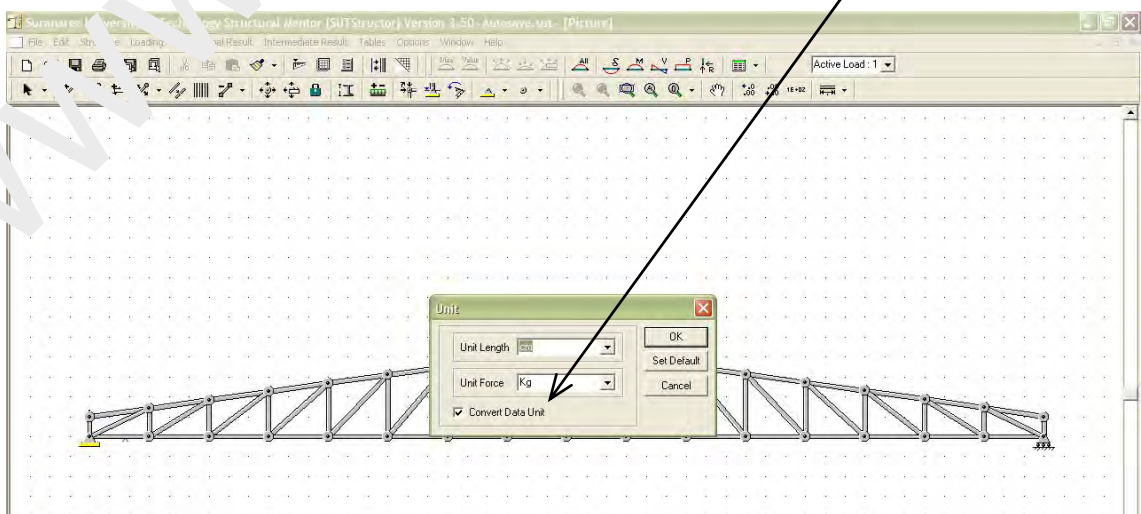
ต่อไปคลิกปุ่ม Add Member Numerically แล้วสร้างโครงสร้างให้ครบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดจุดรองรับ

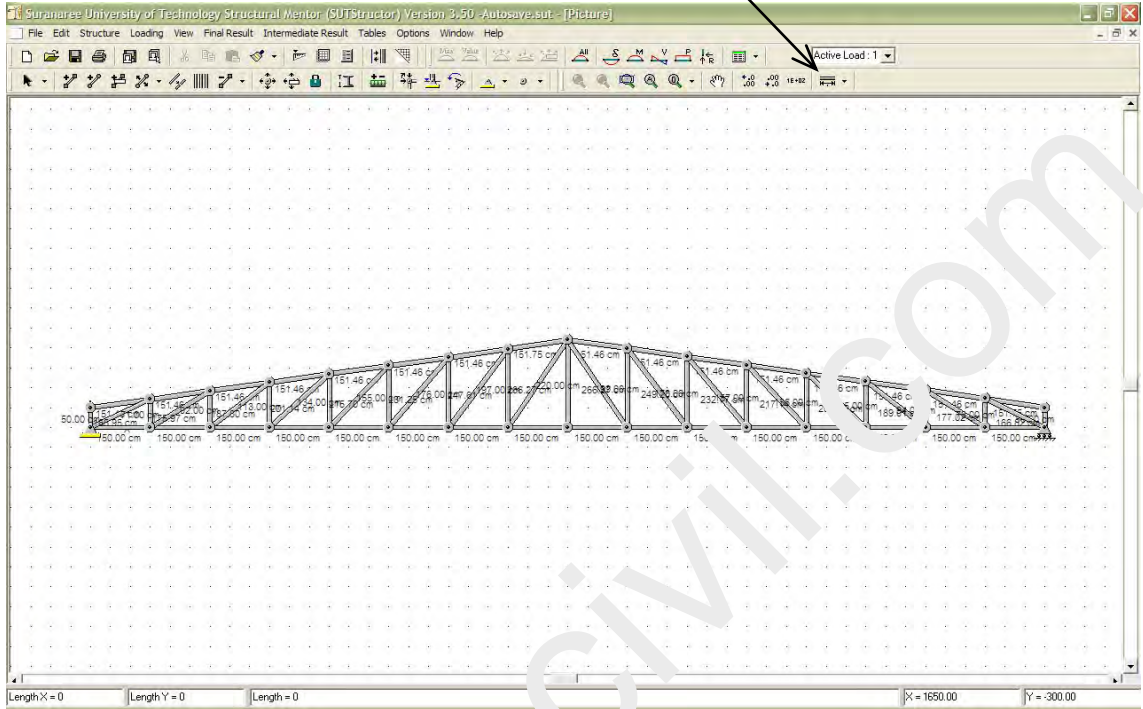


ขั้นตอนที่ 3 กำหนดคุณสมบัติ

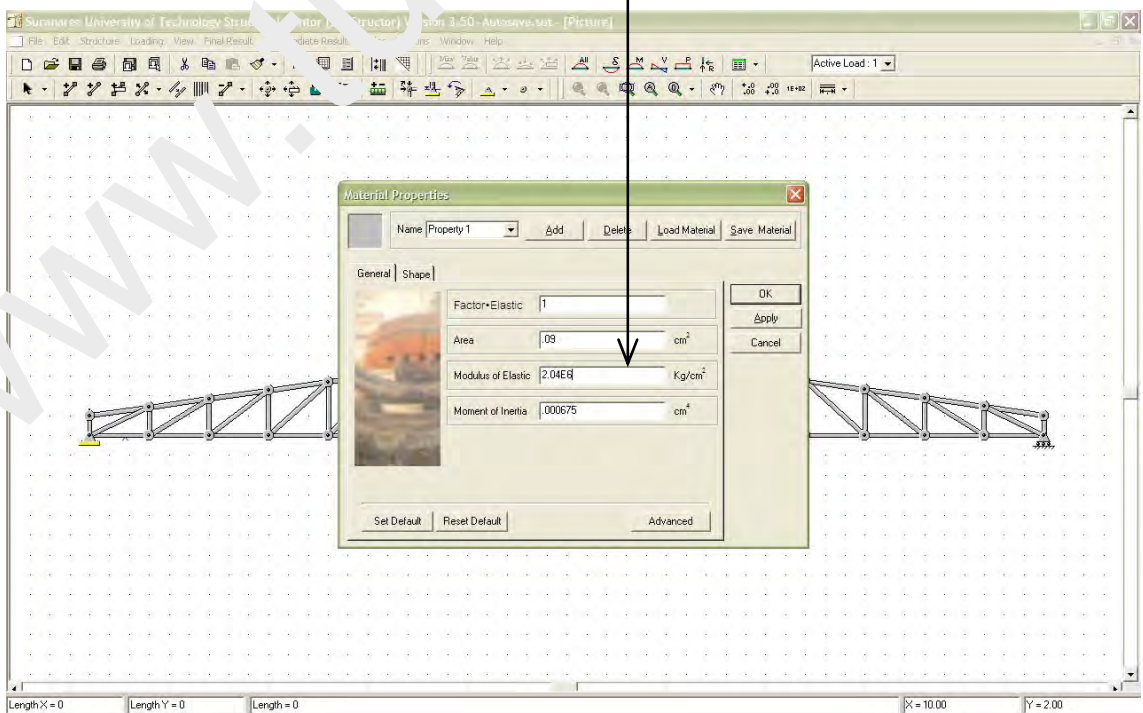
ชิ้นส่วนทั้งหมดของโครงเหล็กทำด้วยเหล็กที่มีค่า $E = 2.04 \times 10^6 \text{ ksc} = 2.04 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$ ตอนนี้นำหน่วยเป็น KG & m ฉะนั้นต้องกำหนดค่า $E = 2.04 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$ จะกำหนดตามนี้หรือจะให้โปรแกรมเปลี่ยนหน่วยให้ก็ได้โดยคลิกที่ปุ่ม Unit เปลี่ยนให้เป็น KG & cm และคลิกเลือก Convert Data Unit แล้ว OK



ลองตรวจสอบหน่วยความยาวได้โดยคลิกที่ปุ่ม Show Dimension Length จะพบว่าความยาวแต่ละชิ้นส่วนเป็น cm แล้ว จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Show Dimension Length อีกครั้งเพื่อปิดการแสดงผล



จากนั้นกำหนดคุณสมบัติของเหล็ก $E = 2.04 \times 10^6$ ksc โดยคลิกที่ปุ่ม Member Properties แล้วคลิกที่ชิ้นส่วนใดก็ได้จะปรากฏหน้าต่าง กำหนดสมบัติ บอค่า $2.04E6$ ที่ Modulus of Elastic แล้ว OK

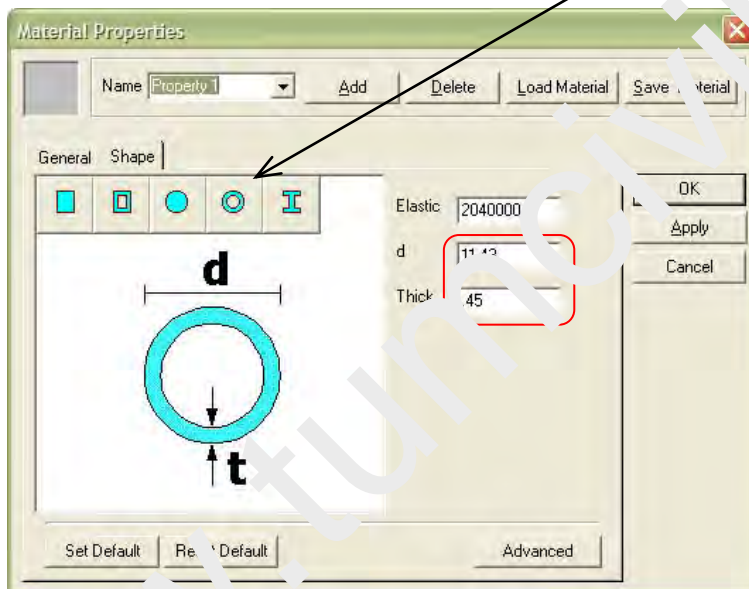


ขั้นตอนที่ 3 กำหนดหน้าตัด

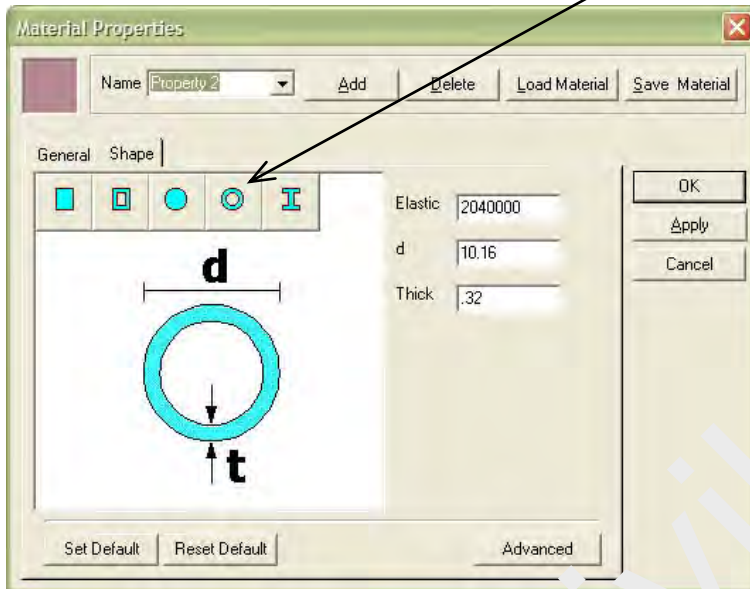
ชิ้นส่วนทั้งหมดของโครงหลังคาที่กำหนดให้มีหน้าตัดกลมกลวง ดังนี้

Top chord & Bottom chord	ใช้	Ø100×4.5 mm (OD = 114.3 mm)	#1
Web ที่ติดจุดรองรับ	ใช้	Ø90×3.2 mm (OD = 101.6 mm)	#2
Web ทั้งหมด (ยกเว้นที่ติดจุดรองรับ)	ใช้	Ø65×3.2 mm (OD = 76.3 mm)	#3

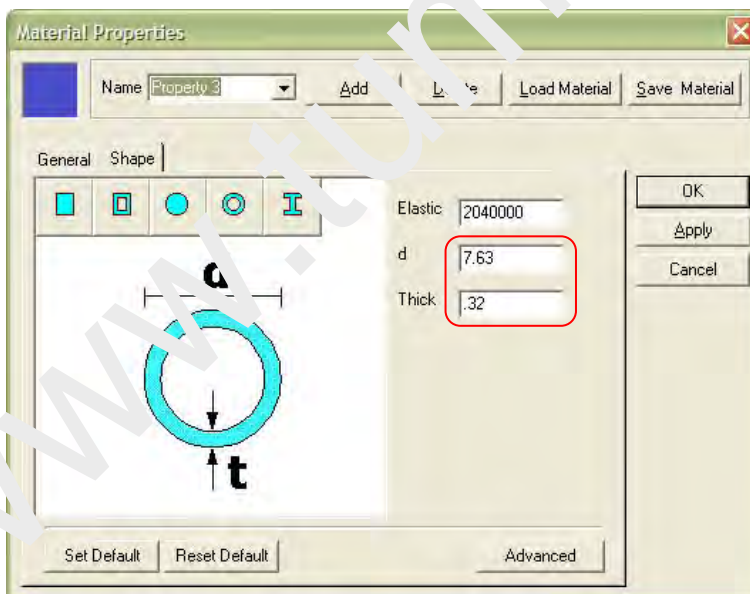
โดยการคลิกที่ชิ้นส่วนใดก็ได้ แล้วคลิก Shape จากนั้นคลิกรูปเหล็กกลวง ใส่นิ = 114.3 cm และ Thick = 0.45 cm แล้ว Apply เป็นการกำหนดให้ Property 1



เพิ่มหน้าตัดที่ 2 โดยคลิก Add แล้วคลิก Shape จากนั้นคลิกกรุปเหล็กกลวง ป้อน $d = 10.16$ cm และ Thick = 0.32 cm แล้ว Apply เป็นการกำหนดให้ Property 2

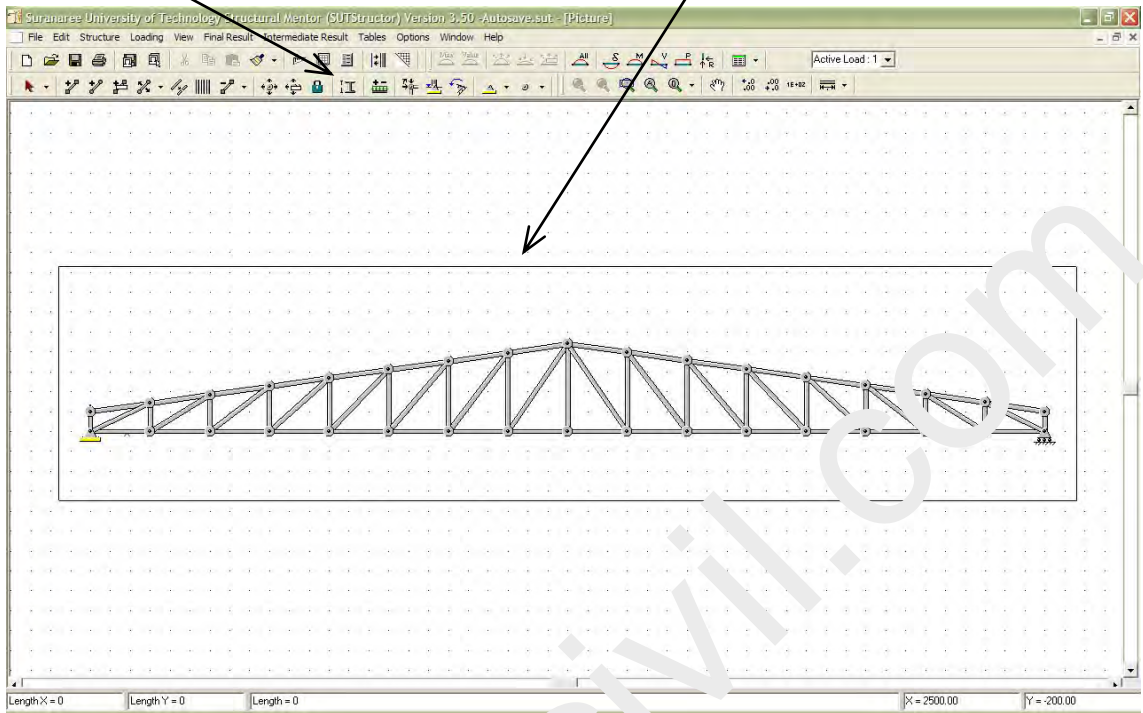


สุดท้ายเพิ่มหน้าตัดที่ 3 ทำเช่นเดียวกันโดย ป้อน $d = 7.63$ cm และ Thick = 0.32 cm แล้ว Apply เป็นการกำหนดให้ Property 3 แล้ว OK

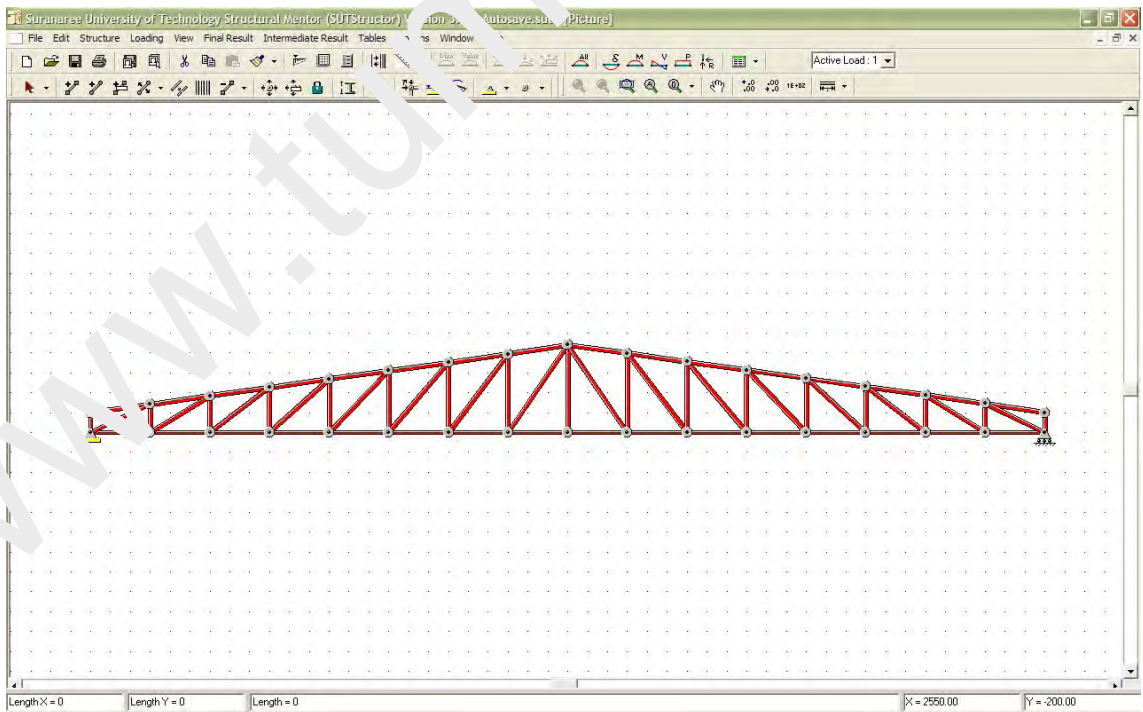


ต่อไปจะกำหนดให้ทุกชิ้นส่วนเป็น #3 ก่อน แล้วค่อยกำหนด #1 และ #2 ที่หลัง ดังนี้

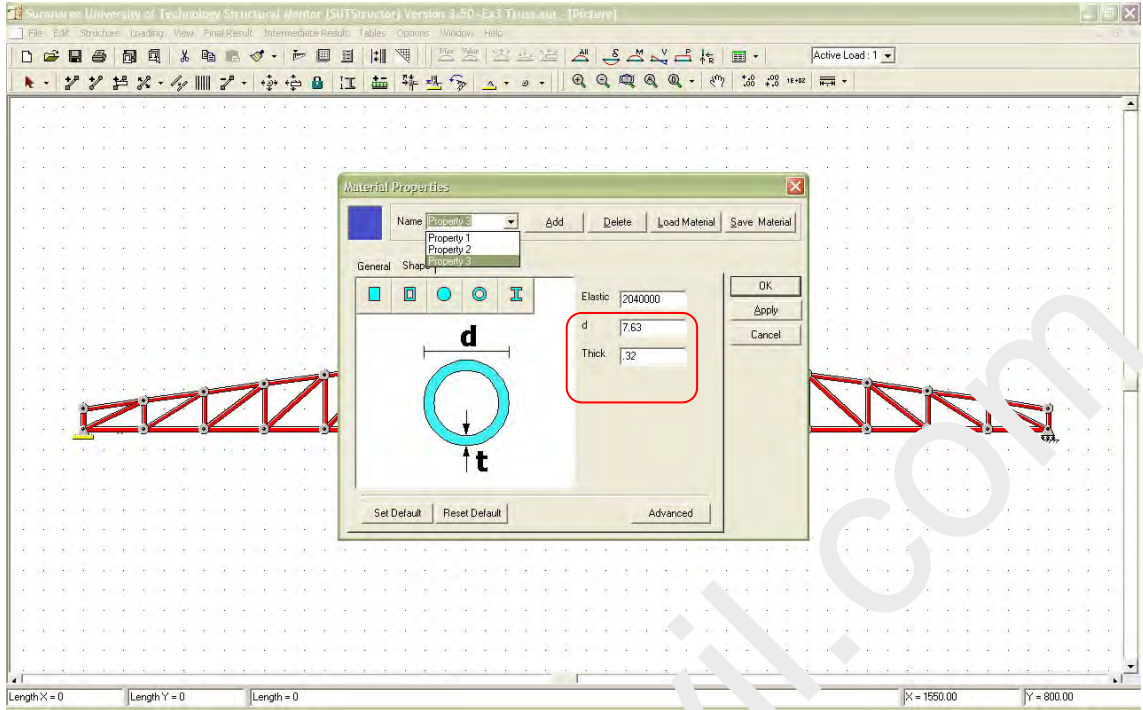
คลิกเปลี่ยนตัวชี้ Select/Unselect Members เป็นแบบเลือกเฉพาะชิ้นส่วนแล้ว คลิกลากคลุมทั้งหมด



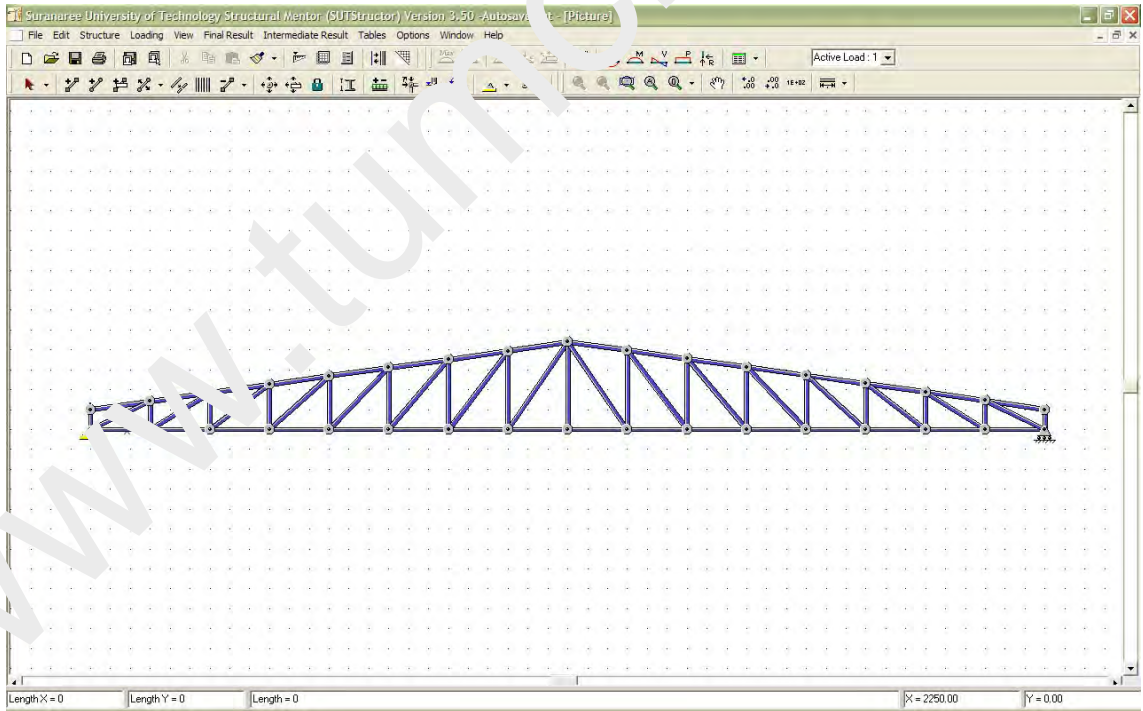
แล้วปล่อยจะเห็นว่าเลือกชิ้นส่วนทั้งหมดแล้ว



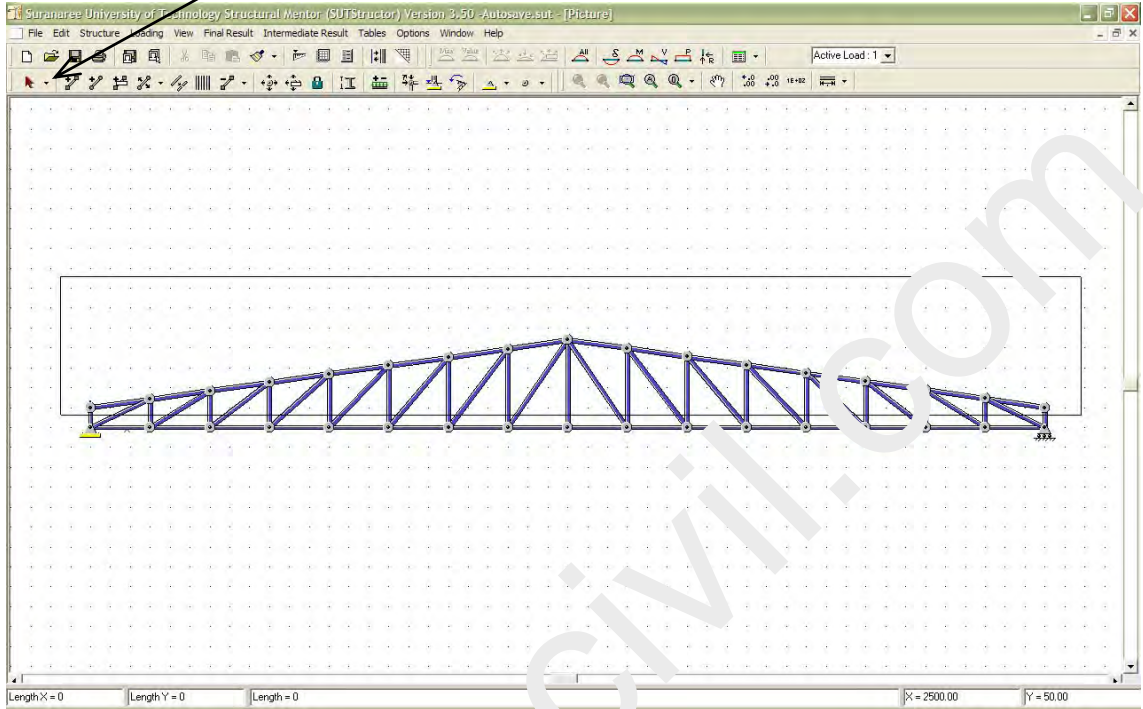
คลิกที่ปุ่ม Member Properties หน้าต่างจะขึ้นมาแล้วเลือก Property 3 แล้ว OK



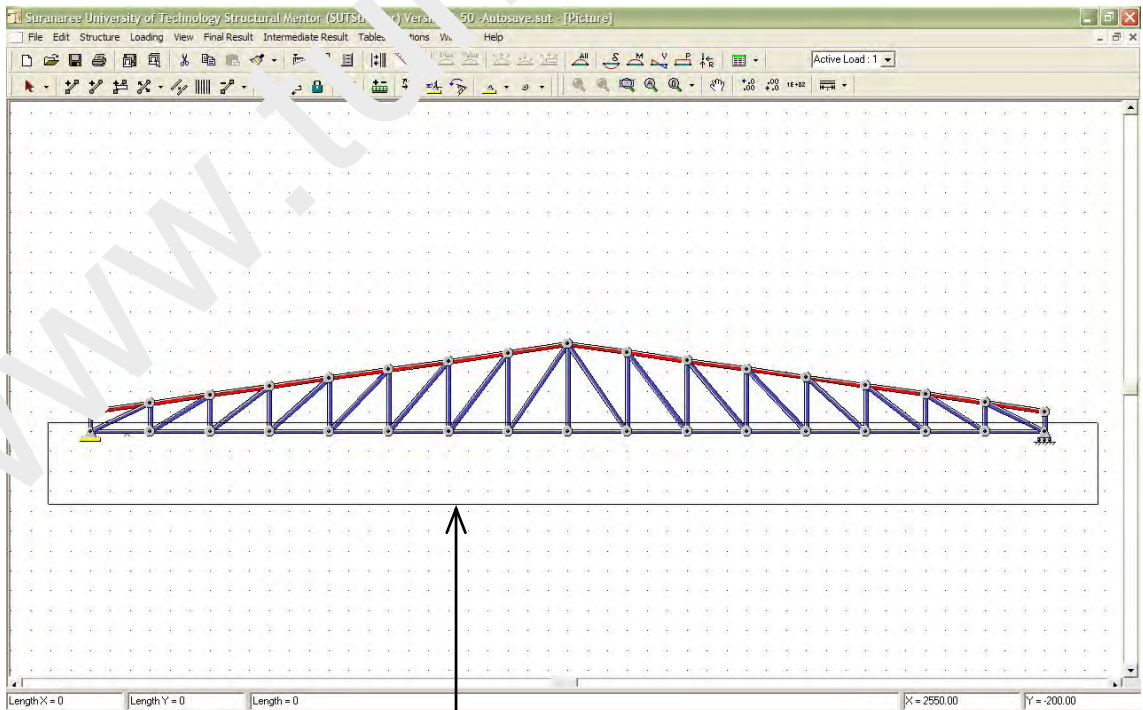
จะเห็นสีชิ้นส่วนเปลี่ยนไป



ต่อไปกำหนด #1 คลิกเปลี่ยนตัวชี้ Select/Unselect Members เป็นแบบเลือกเฉพาะชิ้นส่วนแล้วคลิกเลือกตามรูปภาพ

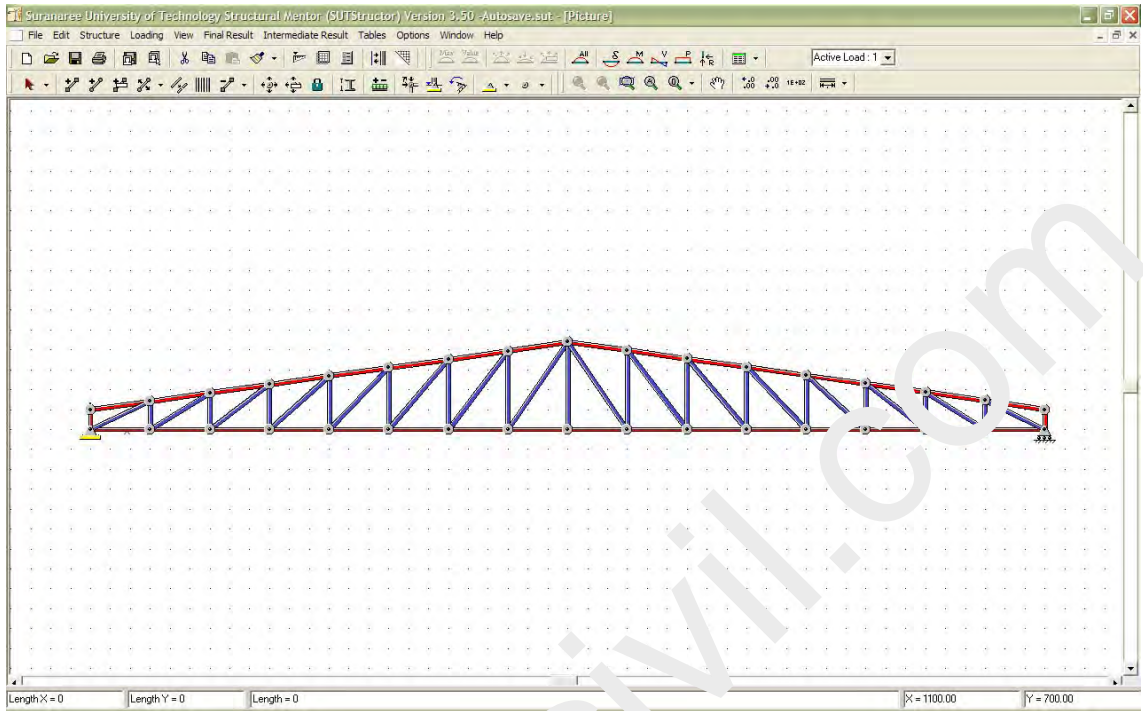


จะได้

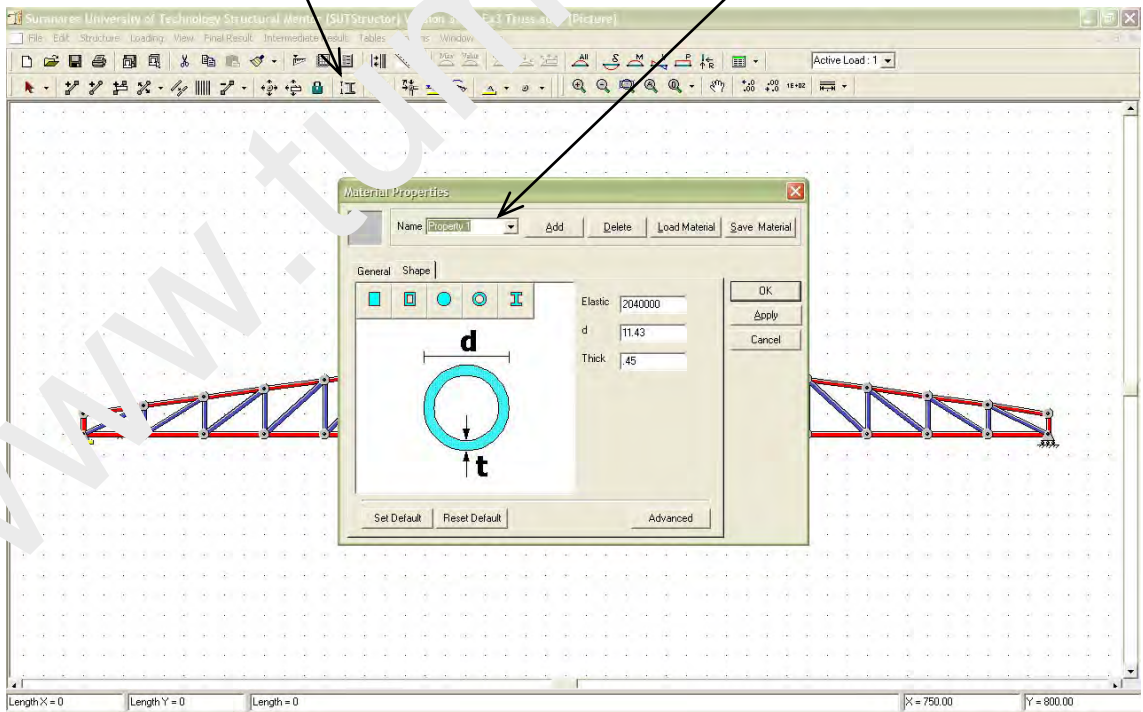


แล้วกดปุ่ม Shift หรือ Ctrl ค้างไว้แล้วลากเพิ่ม

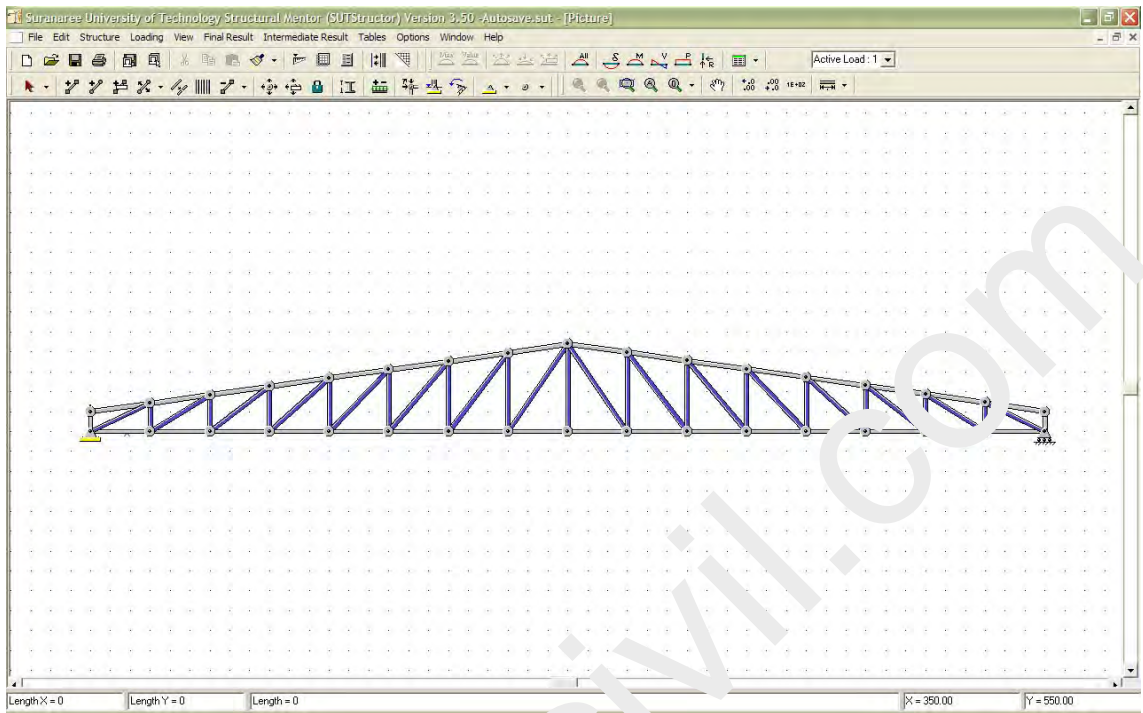
หลังจากเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการ (สีแดง) ครบแล้ว



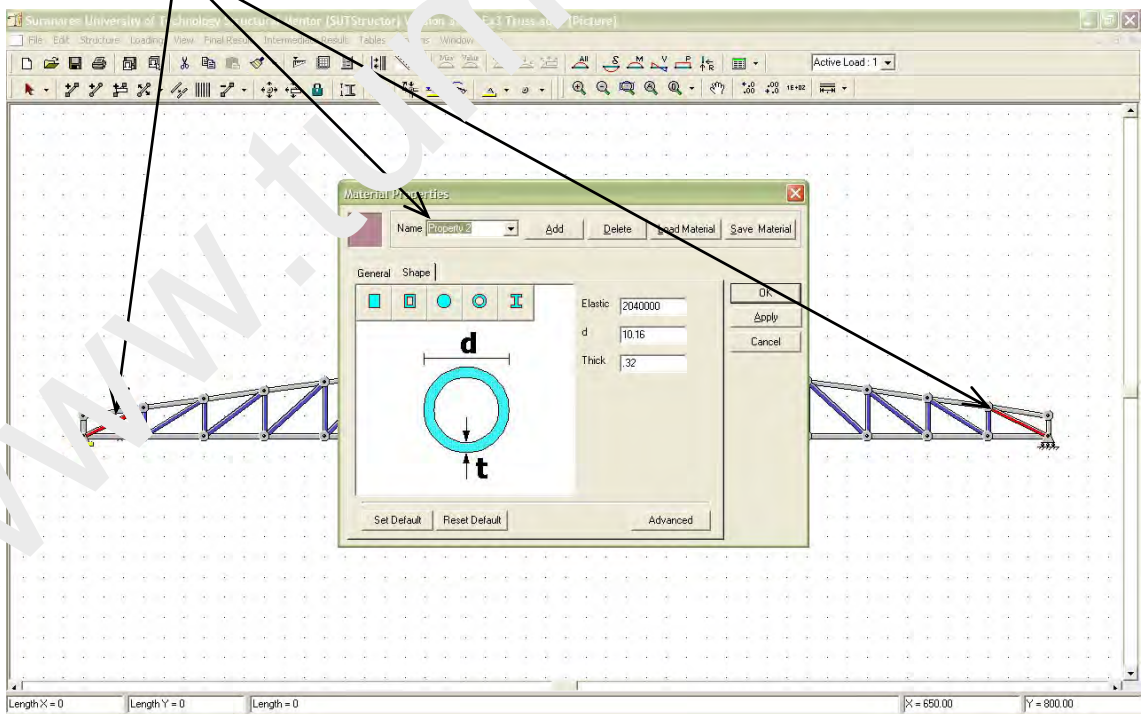
จากนั้น คลิกปุ่ม Member Properties หน้าต่างจะขึ้นมาให้เลือก Property 1 แล้ว OK



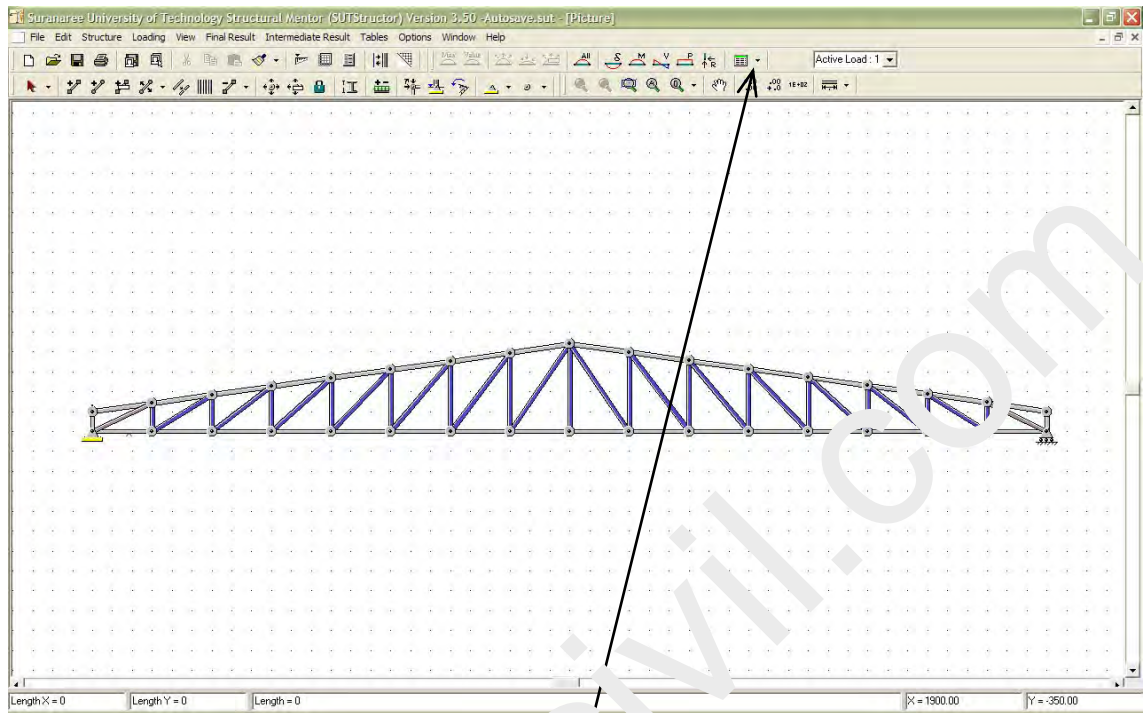
จะไดั



แล้วกำหนด #2 ดังนี้




หลังจากกำหนดหน้าตัดครบทุกชิ้นส่วนแล้ว

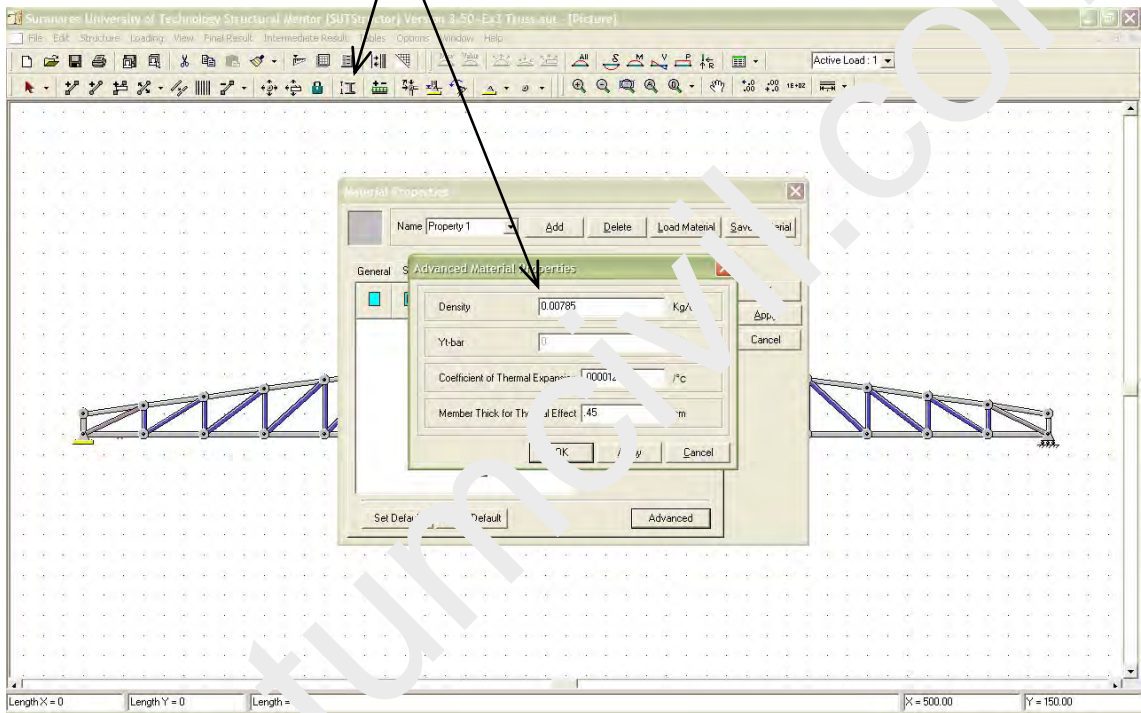


เราสามารถตรวจสอบข้อมูลได้โดยคลิกที่ Memb - Information

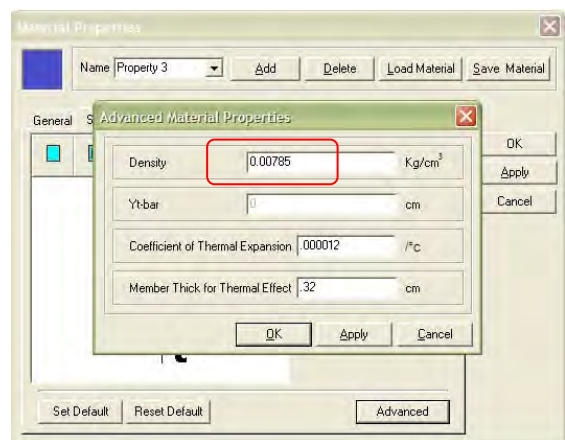
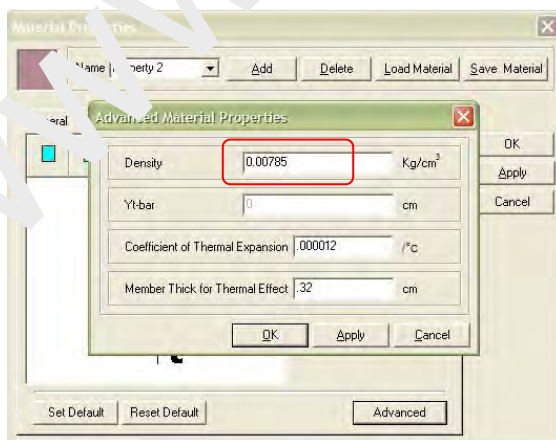
ขั้นตอนที่ 4 ใส่น้ำหนักบรรทุก

กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกแยกแต่ละกรณี

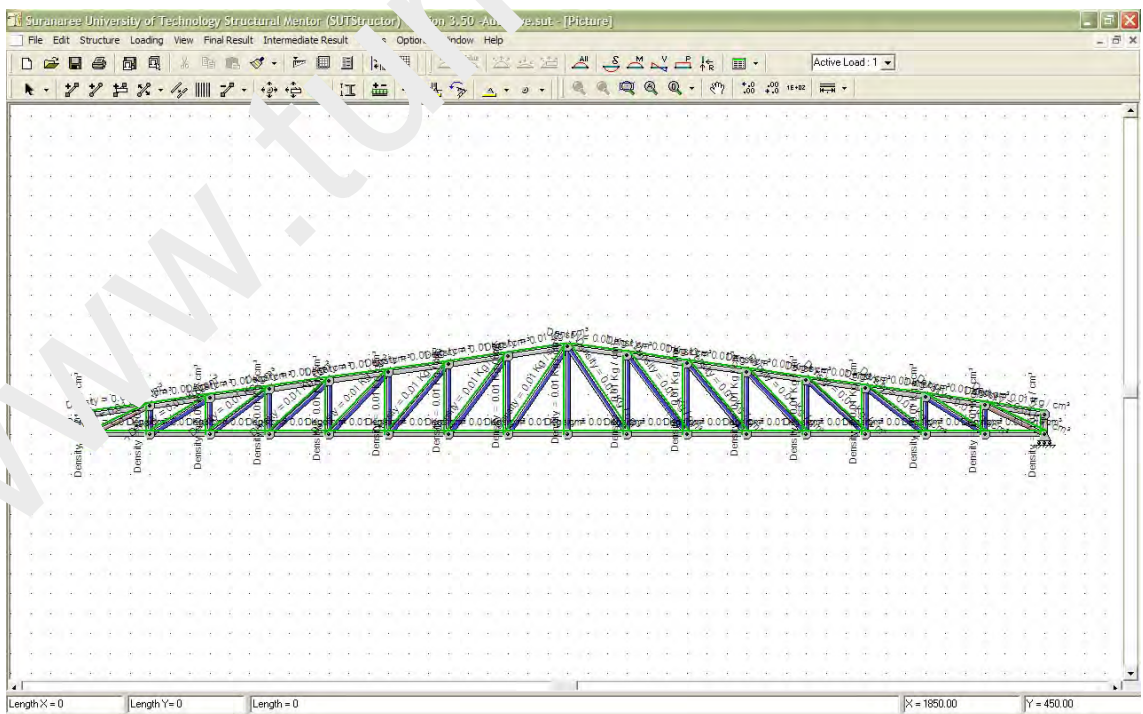
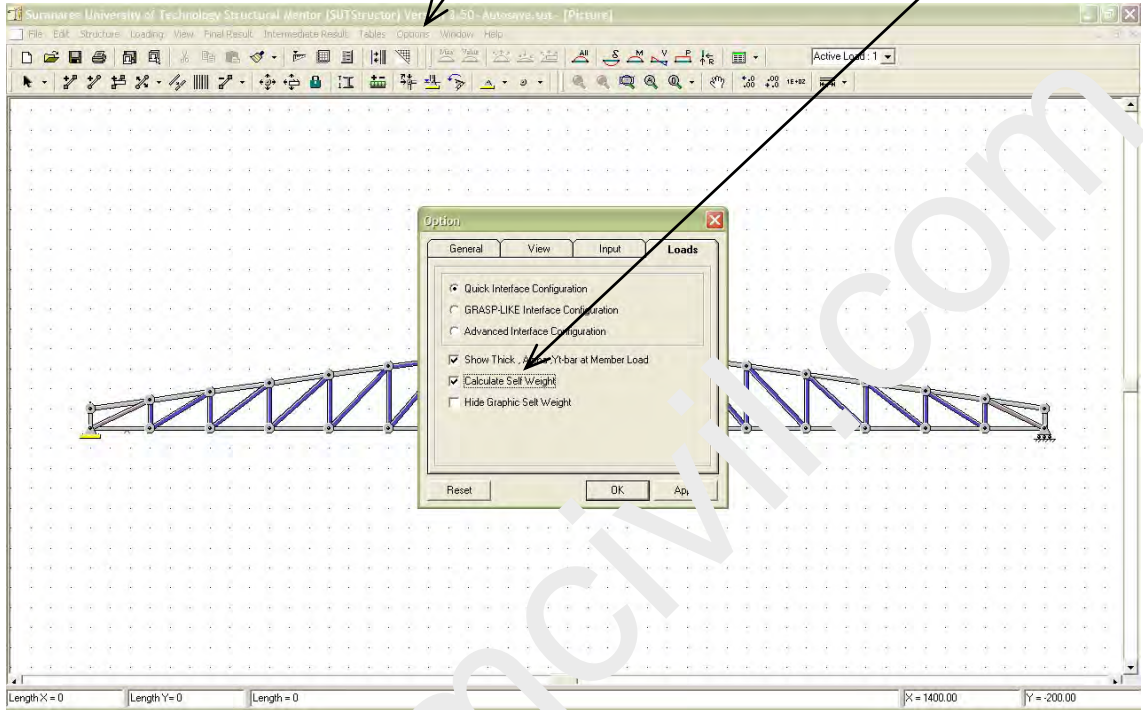
กรณีที่ 1 น้ำหนักตัวเอง (Self weight) ของแต่ละชิ้นส่วน กำหนดที่ค่าความหนาแน่นโดยเปลี่ยนตัวชี้เป็น Member Properties คลิกที่ปุ่ม  แล้วคลิกที่ Top chord (หรือชิ้นใดก็ได้) แล้วเลือก Property 1 แล้วคลิก Advanced ป้อนค่า 0.00785 kg/cm^3 แล้ว OK



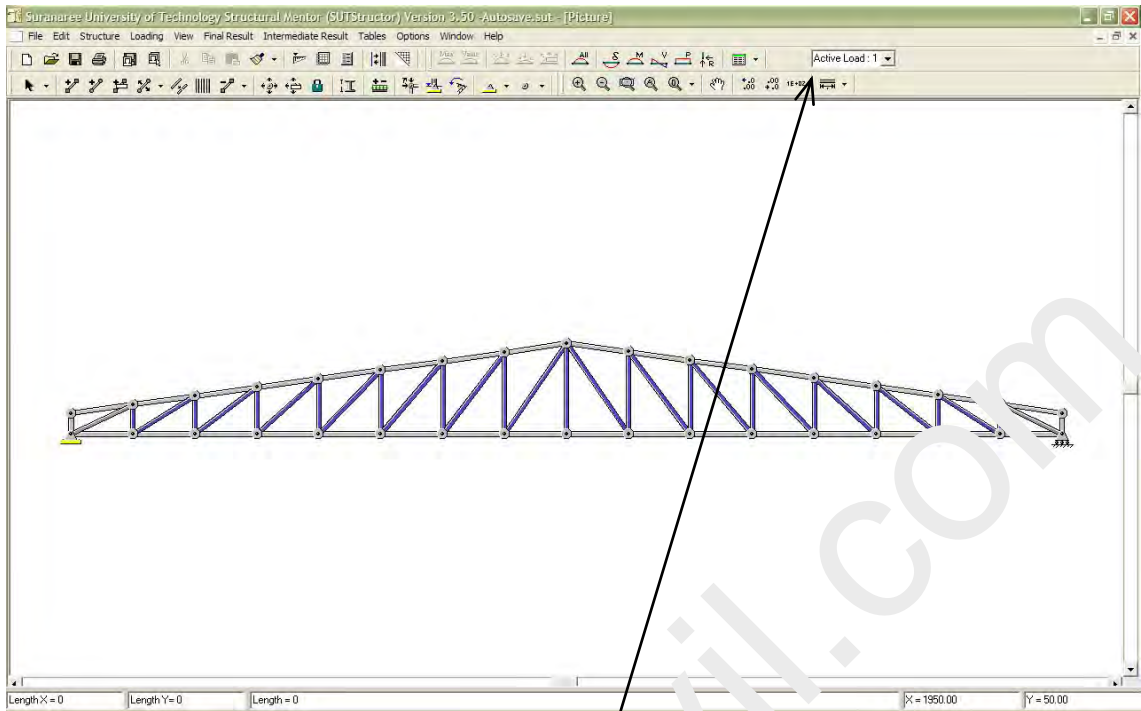
จากนั้นกำหนดค่าของ Property 2 และ Property 3



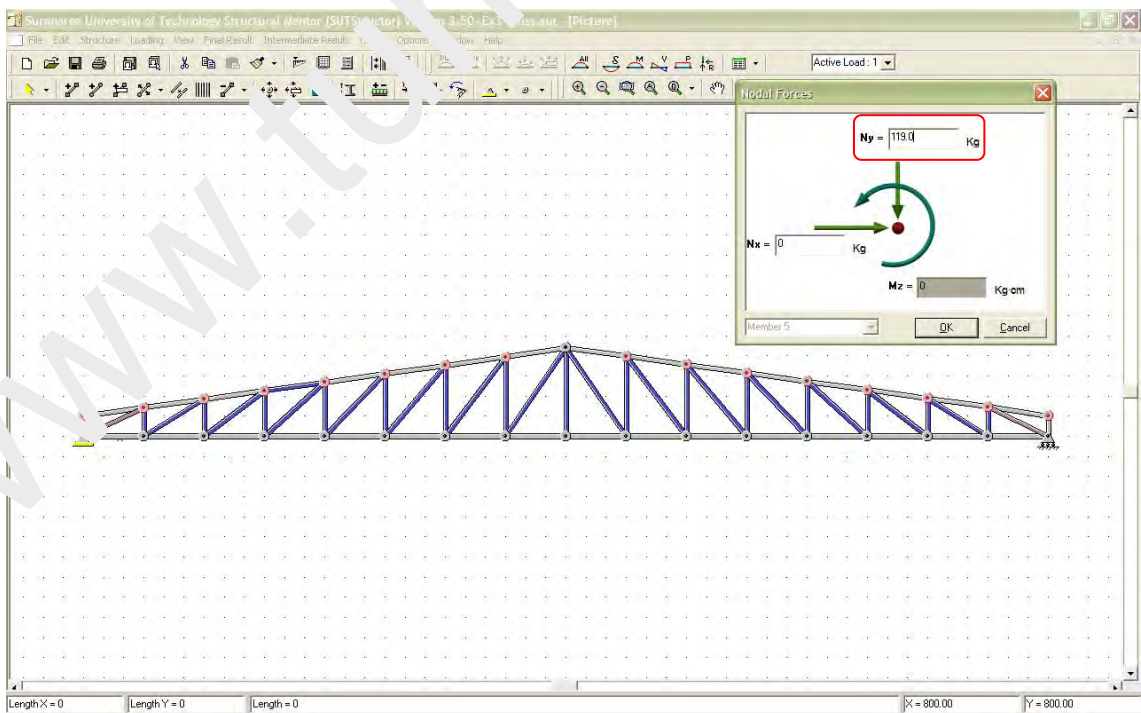
หลังจากกำหนดความหนาแน่นของทุกหน้าตัดแล้ว การกำหนดให้นำความหนาแน่นไปคำนวณน้ำหนักตัวเองจะระบุโดยคลิกที่ปุ่มคำสั่ง Options → All Option → Loads แล้วคลิกเลือก Calculate Self Weight แล้ว OK

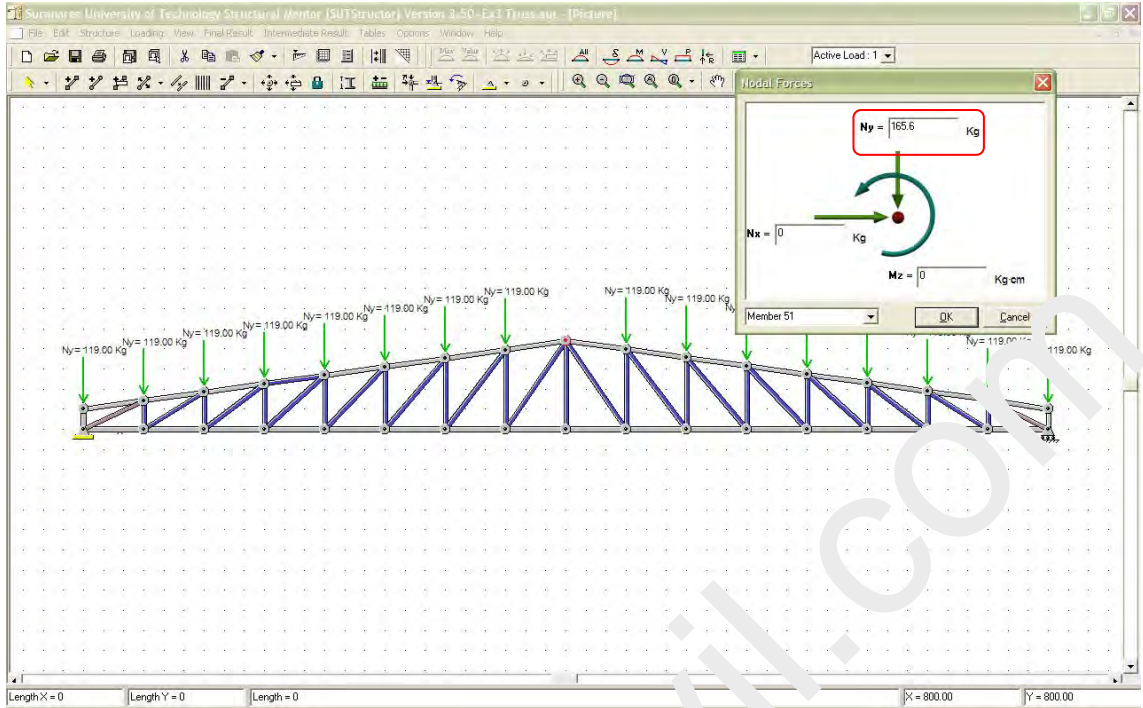


ความหนาแน่นจะแสดงให้เห็น คลิกใหม่เพื่อปิดการแสดงโดยคลิก Hide Graphic Self Weight

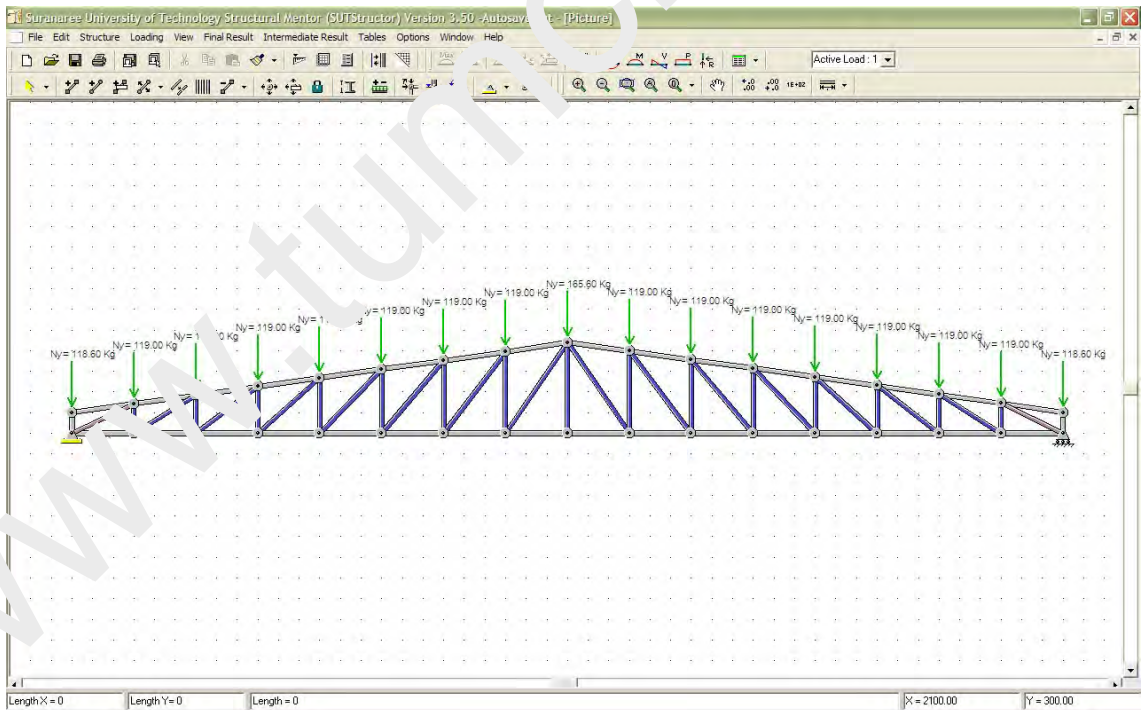


จะเห็นว่าขณะนี้ยังอยู่ที่น้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 1 (Active Load . . .) เราจะกำหนดให้กรณีนี้เป็นน้ำหนักคงที่ทั้งหมด ต่อ ไปใส่ น้ำหนักของแปและหลังคากระทำ ลงที่จุดต่อเท่ากับ $7.76 \text{ kg/m} \times 6 \text{ m} + 8 \text{ kg/m}^2 \times 1.51 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 119.0 \text{ kg}$ ยกเว้นที่จุด สนุด (แปสองตัว $(119.0 + 46.56 = 165.6 \text{ kg})$)



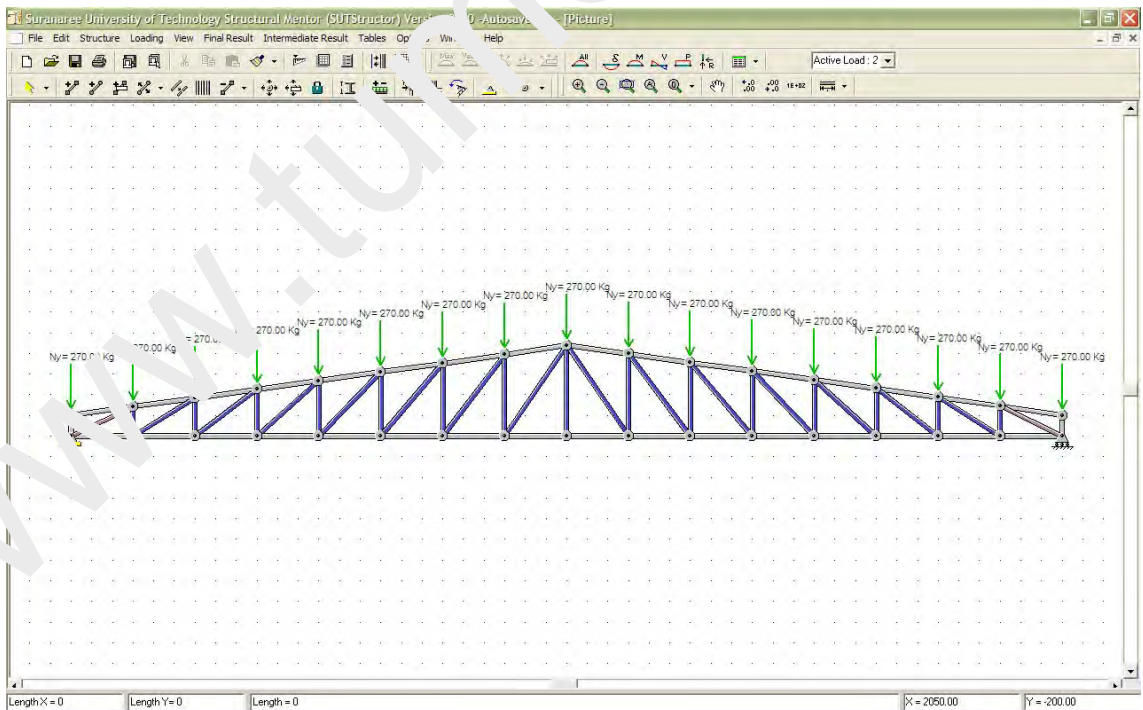
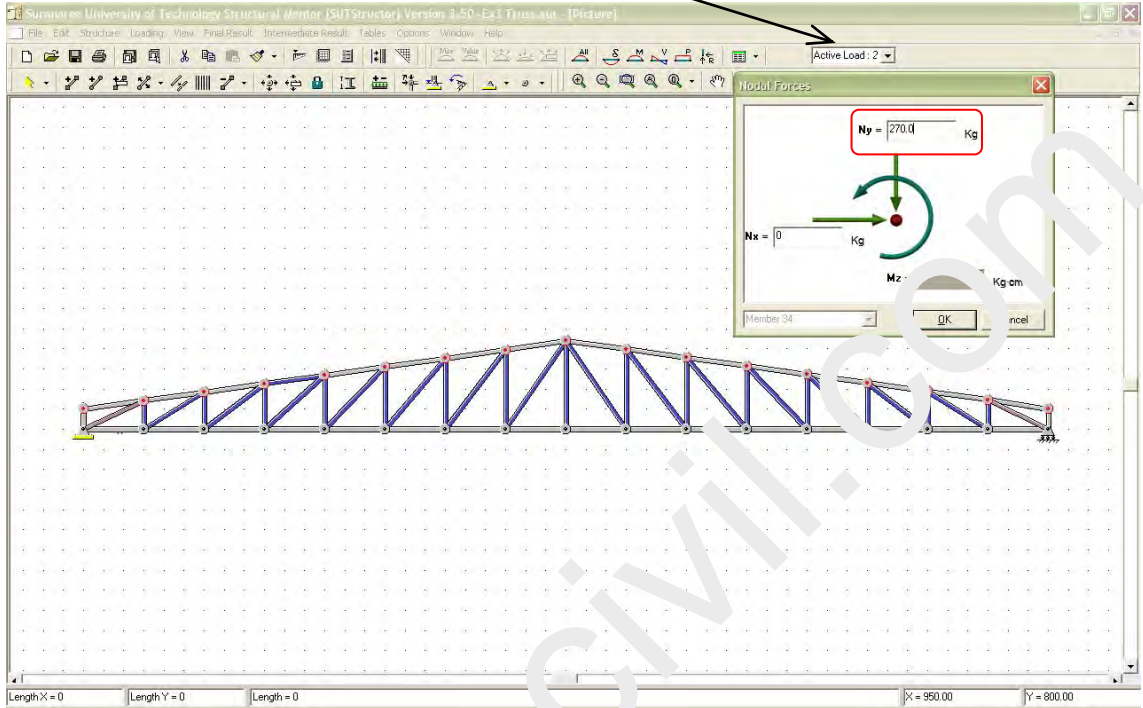


หลังจากป้อนน้ำหนักของแปและหลังคาแล้วเสร็จ



หมายเหตุ ที่ 2 จุดหัวทำน้ำหนักหลังคาควรคิดพื้นที่ของหลังคาเพียงครั้งเดียว แต่เราไม่จำเป็นต้องลดลงเพราะเพื่อมีรายน้ำหรือแผงบังตา และอีกผลหนึ่งคือการวิเคราะห์นี้ไม่ใช่การบ้านหรือข้อสอบไม่ต้องกลัวถูกหักคะแนน

กรณีที่ 2 น้ำหนักจร (Live load) 30 kg/m^2 กระจายลงตำแหน่งของแปเท่ากับ $30 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 270.0 \text{ kg}$ ต้องคลิกเปลี่ยนเป็น Active Load : 2 ก่อน



หมายเหตุ ที่ 2 จุดหัวทำน้ำหนักจรควรคิดพื้นที่ของหลังคาเพียงครั้งเดียว แต่เราไม่จำเป็นต้องลดลง เพราะเพื่อมีน้ำในรางน้ำ

กรณีที่ 3 แรงลม (Wind load) เนื่องจากหลังคาเอียงทำมุมเท่ากับ $\tan^{-1}(1.7/12) = 8.06$ องศา จะเกิดแรงลมดูดที่หลังคาทั้งด้านปะทะลม (Windward) และด้านหลบลม (Leeward)

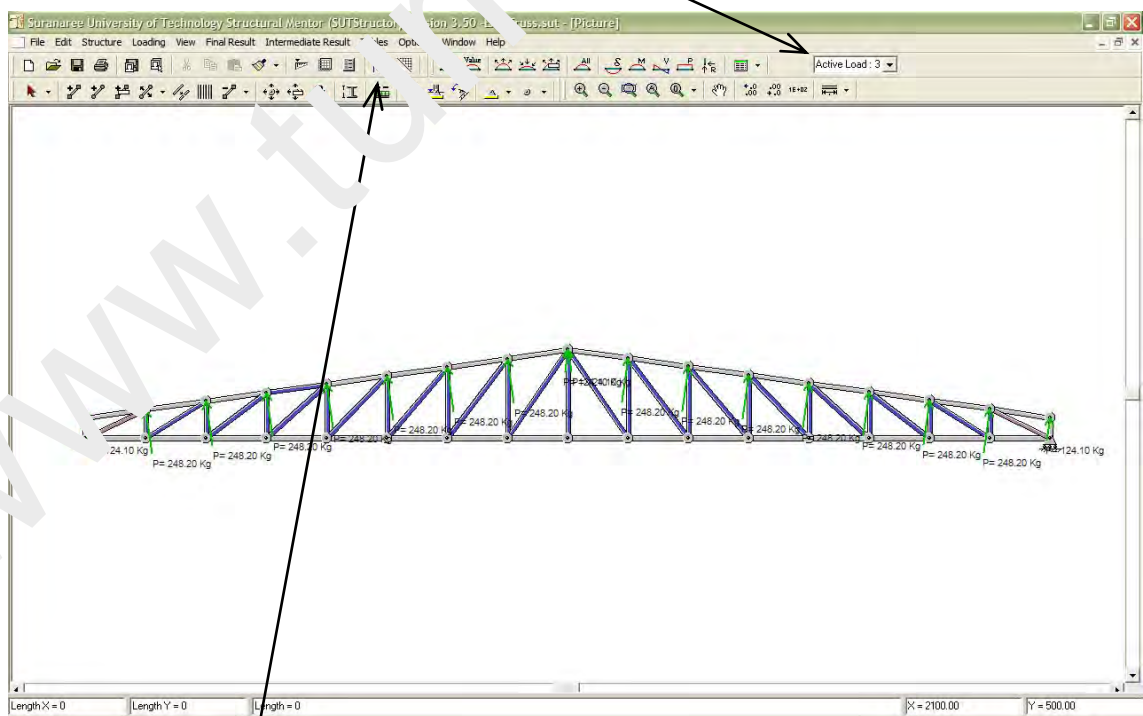
ใช้แรงลมตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2522 กำหนดให้ใช้ความเร็วลม $v = 90$ กม./ชม. ทำให้เกิดแรงลมดันแบบไดนามิก $q = 0.004826v^2 = 0.004826(90)^2 = 39.1 \text{ kg/m}^2$

ด้านปะทะลม (windward) ความชันของหลังคาน้อยกว่า 20° จะทำให้เกิดแรงลมดูดหลังคา $w_w = 0.7q = 0.7(39.1) = 27.4 \text{ กก./ตร.ม.}$

ด้านหลบลม (leeward) จะเกิดแรงลมดูดหลังคาขึ้นเสมอ $w_L = 0.7q = 27.4 \text{ กก./ตร.ม.}$

ฉะนั้น แรงลมกระทำที่ตำแหน่งของแปเท่ากับ $27.4 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 98.2 \text{ kg}$ ในทิศทางตั้งฉากกับแนวเอียงของหลังคาทั้งสองด้าน ยกเว้นที่จุดหัวท้ายและจุดเปลี่ยนแรงกระทำเพียงครั้งเดียว คือ 124.1 kg

ก่อนอื่นต้องคลิกเปลี่ยนเป็น Active Load : 3 ก่อน และ ป้อนแรงกระทำที่ชิ้นส่วนจะได้กำหนดให้กระทำตั้งฉากกับแกนชิ้นส่วนได้เลย



คลิกปุ่ม Toggle Show Member Style เพื่อให้เห็น โครงหลังคาชัดเจนขึ้น

กรณีการรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combination)

ต่อไปจะทำการกำหนดการรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combination) เท่าที่สามารถเป็นไปได้

- สำหรับการออกแบบหลังคาแบบยืดหยุ่น (Elastic design)

o Load Combination :	DL & LL	DL + LL
	DL & WL	0.75(DL + WL)

- สำหรับการออกแบบหลังคาแบบพลาสติก (Plastic design)

o Load Combination :	DL & LL	1.7(DL + LL)
	DL & WL	3(LL + WL)

ในที่นี้เราจะออกแบบโครงหลังคาข้อหมอนนี้แบบยืดหยุ่น ด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design) ฉะนั้น

o กรณีที่ 4 (Load Combination :	DL & LL)	1.00DL + 1.00LL
o กรณีที่ 5 (Load Combination 5 :	DL & WL)	0.75DL + 0.75WL

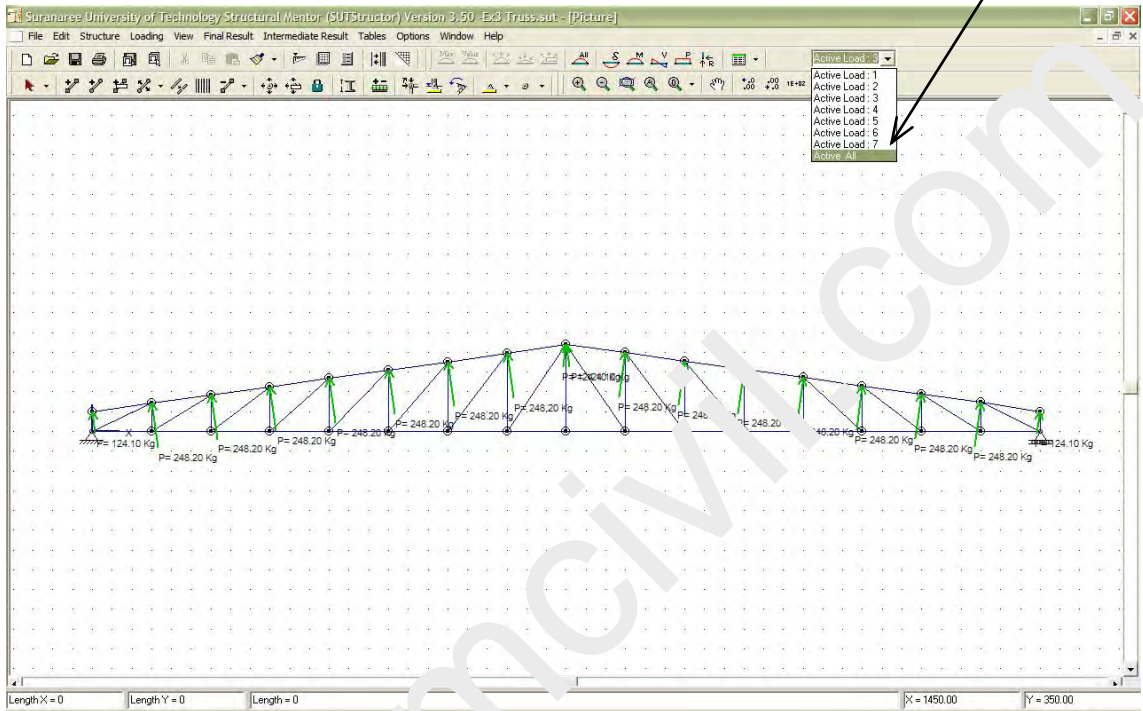
สำหรับโปรแกรม SUTStructor จะทำการวิเคราะห์การรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 4 และ 5 ได้ที่ละกรณีและยังสามารถหาค่าแรงภายในสูงสุดของแต่ละชิ้นส่วน (เฉพาะขนาด) สำหรับการรวมน้ำหนักบรรทุกแต่ละกรณีได้

ดังนั้นทุกครั้งที่วิเคราะห์การรวมน้ำหนักบรรทุกผู้ใช้จะต้องคัดลอกผลออกมาเก็บไว้ แล้วจึงวิเคราะห์การรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีต่อไปและคัดลอกผลอีก แล้วเป็นหน้าที่ของผู้ใช้จะนำผลของแต่ละชิ้นส่วนแต่ละกรณีของการรวมน้ำหนักบรรทุกไปออกแบบเอง

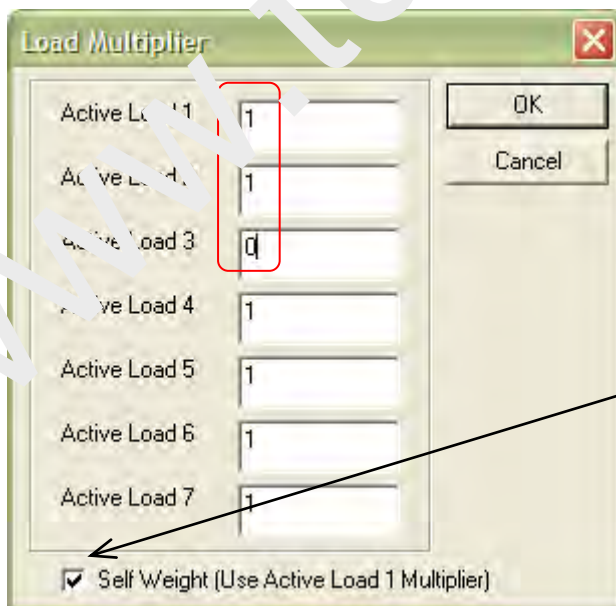
สรุป การออกแบบโครงหลังคาข้อหมอนในตัวอย่างนี้ต้องนำผลของกรณีที่ 4 และ 5 ไปใช้ในการออกแบบ

กรณีที่ 4 (Load Combination 4 : DL & LL) $1.00DL + 1.00LL$

ความหมายการรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีนี้คือ การเอา 1.00 คูณกับ Active Load : 1 นำไปบวกกับ เอา 1.00 คูณกับ Active Load : 2 สามารถกำหนดได้โดยคลิกที่ช่อง Active Load แล้วเลือก Active All



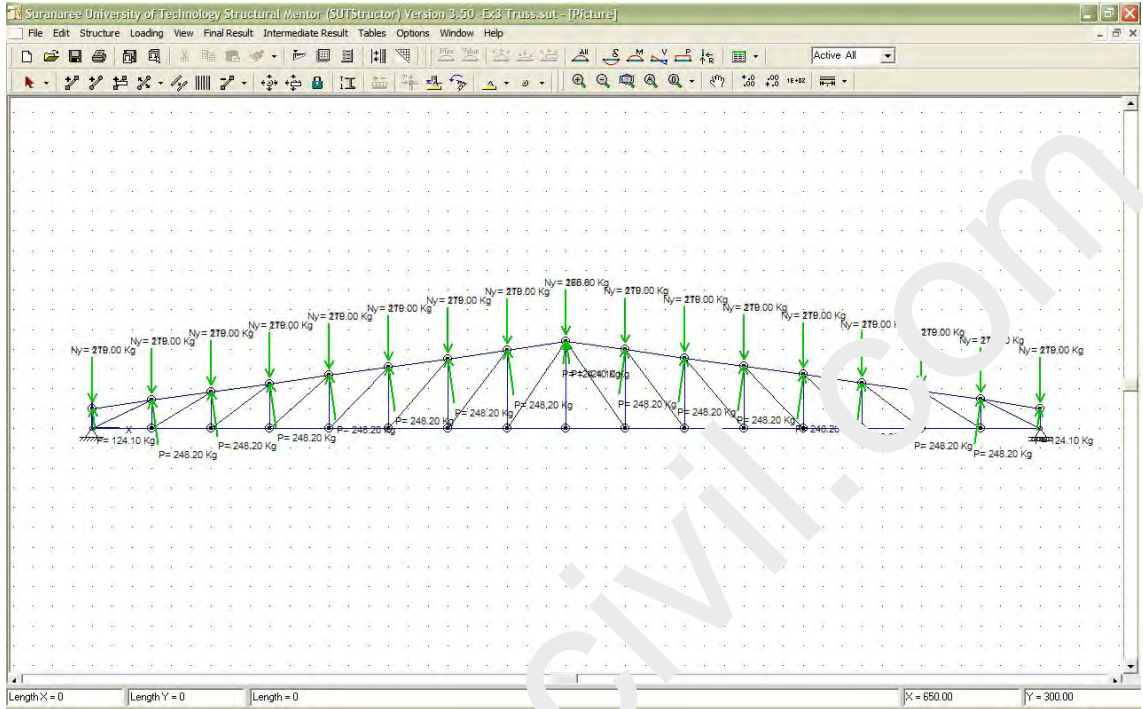
จะปรากฏหน้าต่าง



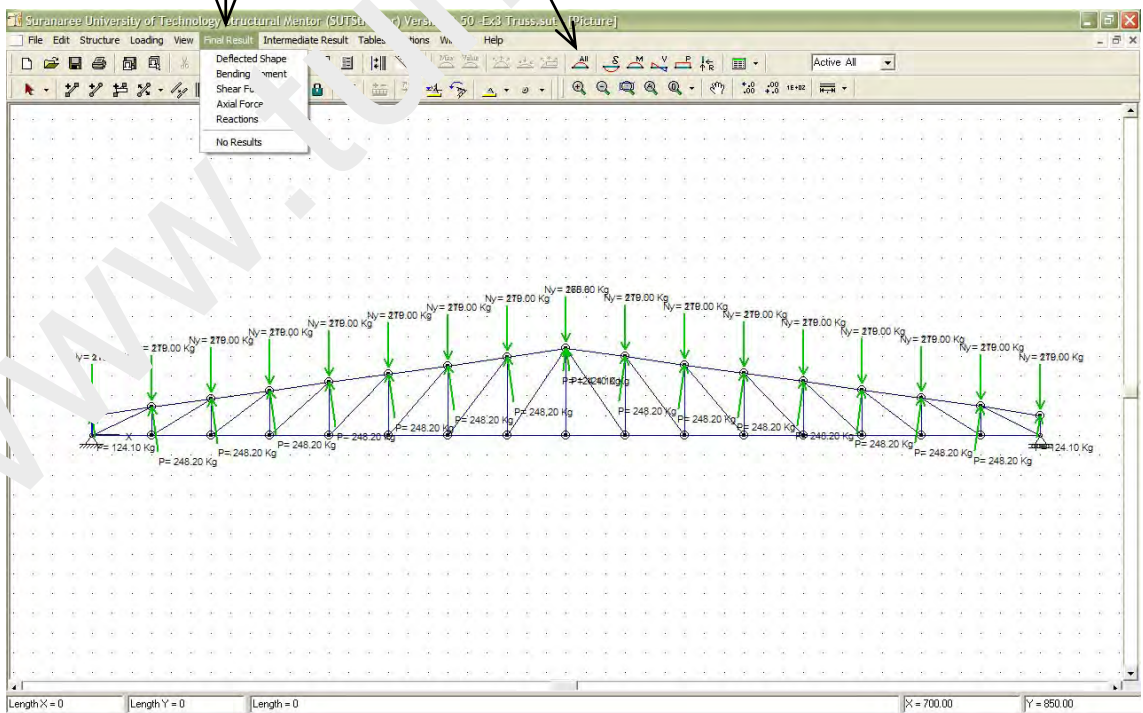
แก้ไขตัวคูณเป็น 0 เฉพาะกรณีที่ 3 นอกนั้นตรงตามที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว OK ได้เลย ส่วนกรณีอื่นๆ (กรณีที่ 4 ถึง 7) ไม่มีผลอะไรเนื่องจากกรณีเหล่านั้นไม่นำน้ำหนักบรรทุกจึงเป็นศูนย์โดยอัตโนมัติ

ข้อสังเกต เราจะเห็นว่าโปรแกรมจะนำ Self Weight มาคิดรวมด้วยแล้ว และจะคิดอยู่ในกรณีที่ 1 เท่านั้น

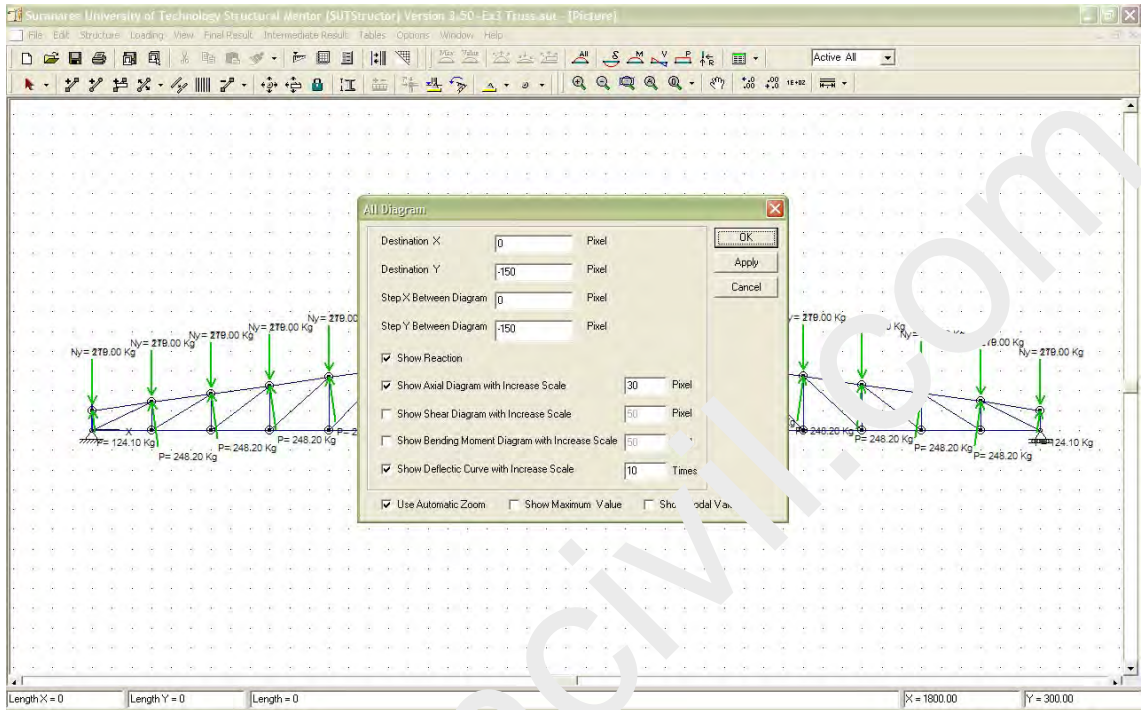
จะได้ภาพของน้ำหนักบรรทุกทุกในกรณีนี้ 4 นี้ แสดงให้เห็นทั้งหมด (แต่จริงๆแล้วภาพยังคงแสดงน้ำหนักบรรทุกทุกกรณีออกมา)



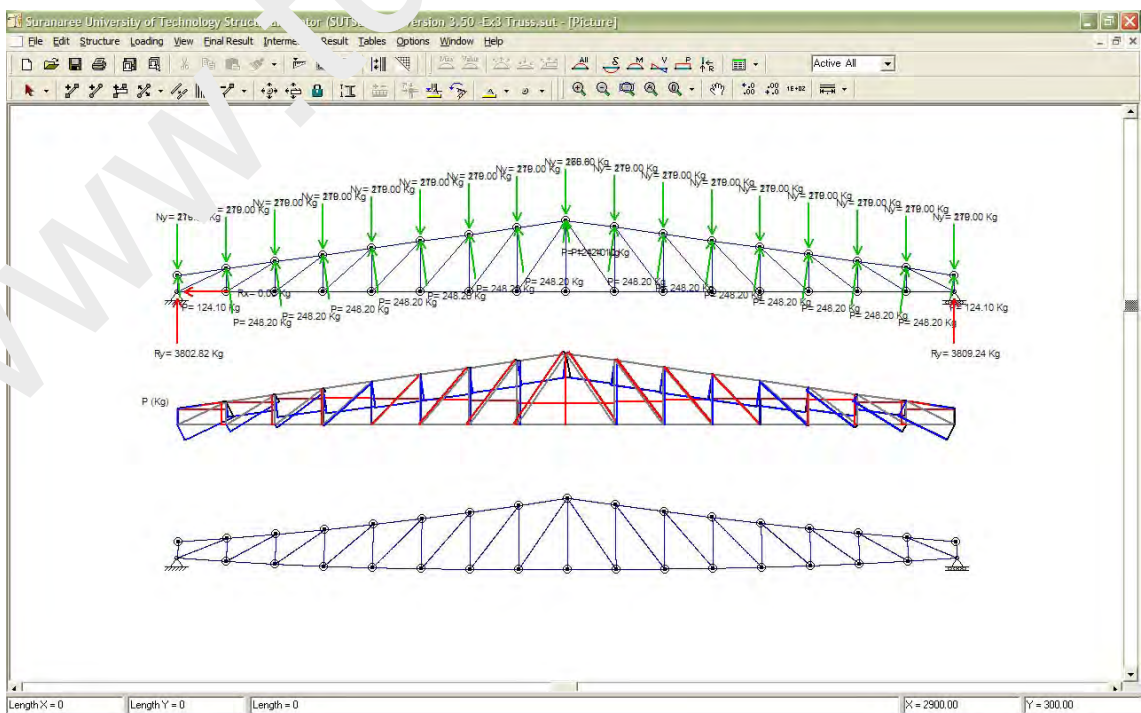
คลิกปุ่มคำสั่ง Final Result หรือเลือกเมนู Item Ico. เหล่านี้เพื่อดูผลได้เลย เช่น



คลิกเลือกดู Axial Force, Deflected Curve ลองปรับค่าต่างๆ แล้ว Apply & OK

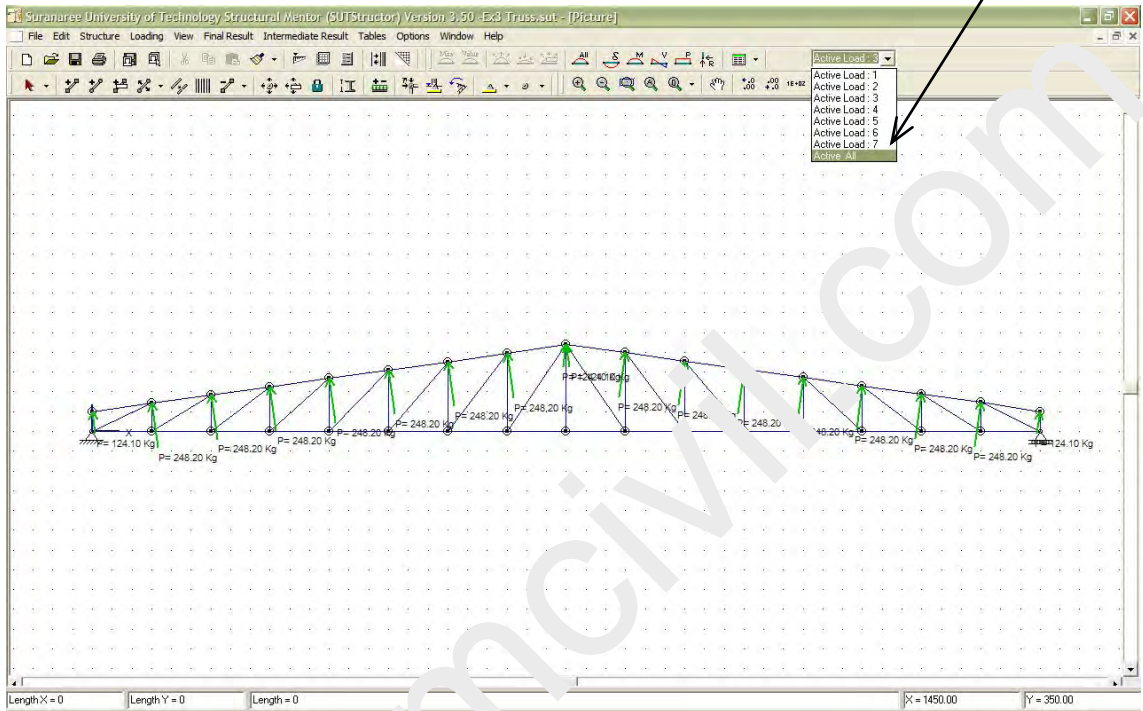


สำหรับ Axial Force จะเห็นสีแดงหมายถึงชิ้นรับแรงดึงและอยู่ด้านบนของชิ้นส่วน ส่วนสีน้ำเงินหมายถึงชิ้นส่วนรับแรงอัดและอยู่ด้านล่างของชิ้นส่วน

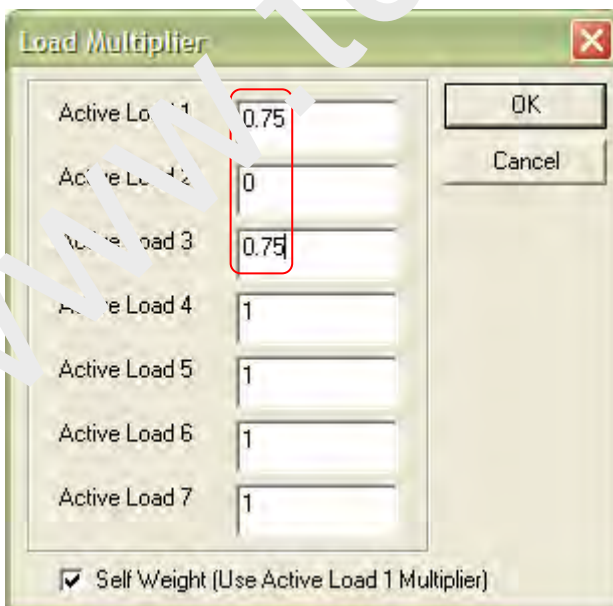


กรณีที่ 5 (Load Combination 5 : DL & WL) $0.75DL + 0.75WL$

ความหมายการรวมน้ำหนักบรรทุกกรณีนี้คือ การเอา 0.75 คูณกับ Active Load : 1 นำไปบวกกับ เอา 0.75 คูณกับ Active Load : 3 สามารถกำหนดได้โดยคลิกที่ช่อง Active Load แล้วเลือก Active All



จะปรากฏหน้าต่าง



กำหนดตัวคูณในช่องให้เป็นไปตามที่ต้องการแล้ว OK

