พิมพ์ครั้งที่ 1

SAP2000®

STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN

COMPUTERS & STRUCTURES, INC.
STRUCTURAL AND EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE

การใช้งานโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วย CSI SAP2000

เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษา และวิศวกรโครงสร้างทั่วไป

DRMK BOOKS

TUMCIVIL.COM

ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สำหรับลูกค้า DRMK Software สามารถเข้าเรียนคอร์สนี้ได้ฟรี แบบ Online ในระบบเรียน [คลิกเรียนที่นี่] (เพียงซื้อแค่ตัวใดตัวหนึ่ง)

หรือ ในกลุ่มเรียน [คลิกเรียนที่นี่]

ประชาสัมพันธ์สำหรับผู้ต้องการเรียน Online คอร์สนี้ ฟรี

สำหรับผู้ที่สนใจและต้องการสนับสนุนพวกเรา สามารถสั่งซื้อ DRMK Software ซึ่งมีหลายตัว ราคาไม่แพง อัปเดตฟรี คลิกสั่งซื้อโปรแกรมได้ที่นี่

DRMK Software for Civil Engineer

โดย ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สามารถสั่งซื้อโปรแกรมได้ที่ www.tumcivil.com

โทร. 089-4990739

LINE ID = @tumcivil.com

คู่มือการใช้โปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างด้วย SAP2000

Integrated Software for Structural Analysis & Design

โดย ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช

ลิขสิทธิ์ของผู้แต่ง

พิมพ์ครั้งที่ 1

พฤษภาคม 2566

TUMCIVIL•COM

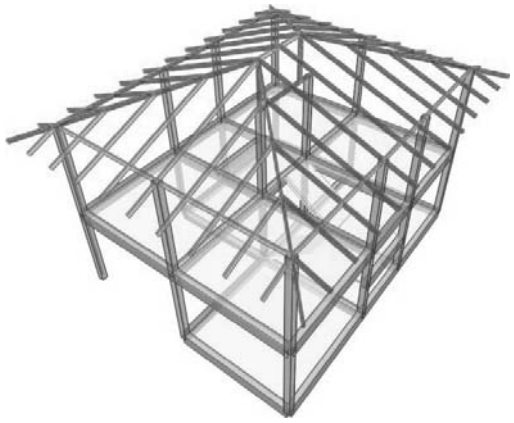
ผู้จัดทำ	:	ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช
พิสูจน์อักษร	:	ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช
ผู้ออกแบบปก	:	นายทินวัฒน์ จิ๋วรักษา
ผู้พิมพ์เข้าเล่ม	:	นายอธิพัชร์ ศรเกตุ
ควบคุมและจัดพิมพ์โดย	:	นายอธิพัชร์ ศรเกตุ

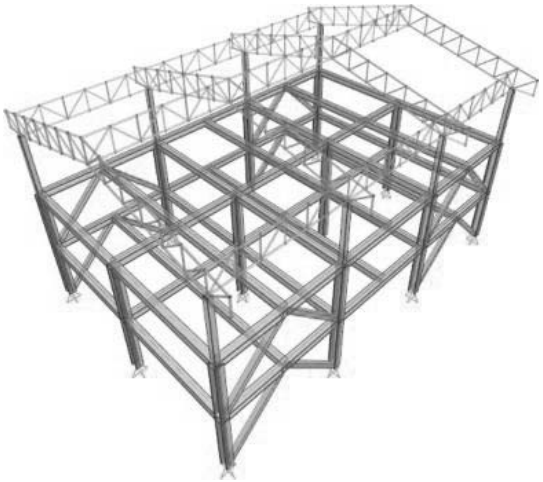
หมายเหตุ

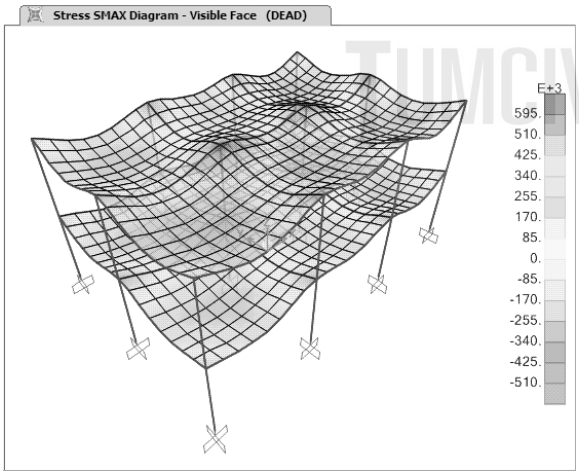
- สามารถสั่งซื้อหนังสือได้ที่ www.tumcivil.com / โทร. 089-4990739 / LINE ID = @tumcivil.com
- กรณีนิสิต นักศึกษา หรือ ในนามองค์กรซื้อจำนวนมาก ติดต่อ LINE ID = @tumcivil.com

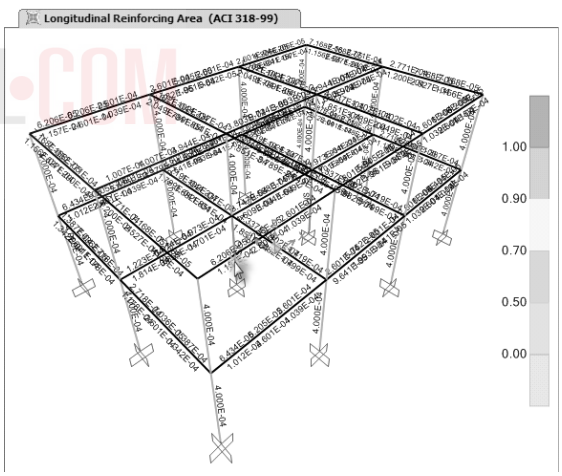
SAP2000

Integrated Software for Structural Analysis & Design









TUMCIVIL.COM

คู่มือการใช้งาน

ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คู่มือการใช้งาน **SAP2000**

Integrated Software for Structural Analysis & Design

TUMCIVIL•COM

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำนำ

SAP2000 คือโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างซึ่งถือได้ว่าได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุดในโลกโปรแกรมหนึ่ง โปรแกรมมีการพัฒนาต่อเนื่องมายาวนานจนถึงเวอร์ชั่นล่าสุดคือ SAP2000 V24 โปรแกรมมีความสามารถในการสร้างโมเดลได้หลากหลายรูปแบบทั้งสองมิติ สามมิติ ระบบพิกัดฉาก ระบบพิกัดวงกลม และระบบพิกัดกำหนดเอง นอกจากนั้นยังมีฟังชั่นช่วยในการสร้างโมเดลอีกมากมายเพื่อให้ผู้ใช้สามารถสร้างโมเดลโครงสร้างที่ซับซ้อนได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

การกำหนดคุณสมบัติองค์อาคารจะมีวัสดุให้เลือกคือ เหล็ก คอนกรีต ไม้ และอลูมิเนียม ถ้าเป็นหน้าตัดเหล็กจะมีตารางหน้าตัดให้เลือกหรือผู้ใช้อาจกำหนดหน้าตัดเอง ส่วนหน้าตัดคอนกรีตจะมีหน้าตัดหลายรูปแบบให้เลือกเพื่อกำหนดขนาดตามต้องการ การกำหนดน้ำหนักบรรทุกจะมีทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใส่ค่าโดยผู้ใช้โดยจะมีน้ำหนักบรรทุกให้เลือกใช้มากมายเช่น แรงกระทำเป็นจุด แรงกระจายบนคาน แรงกระจายบนพื้น แรงด้านข้างเช่น แรงลม และแรงแผ่นดินไหว และแรงเชิงพลศาสตร์อื่นๆ

การวิเคราะห์โครงสร้างใน SAP2000 จะมีให้เลือกทั้งแบบปกติ และแบบพิเศษเช่น การวิเคราะห์ P-Delta หรือการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ ในโหมดหลังการวิเคราะห์จะแสดงผลการคำนวณในรูปแบบตารางและกราฟิกอย่างละเอียดและผู้ใช้สามารถสร้างรายงานตามองค์ประกอบที่ต้องการได้ ในส่วนของการออกแบบไม่ว่าจะเป็นการเลือกหน้าตัดเหล็กหรือออกแบบเหล็กเสริมในคอนกรีตจะมีทั้งแบบรันภายใน SAP2000 โดยสามารถทำการออกแบบปฏิสัมพันธ์เพื่อความสะดวกรวดเร็ว

THAICIVIL.COM

เนื่องจากความสามารถที่มากมายของ SAP2000 นี้เอง การอธิบายรายละเอียดของเนื้อหาทั้งหมดแบบปกติอาจทำให้ผู้เริ่มเรียนรู้มีความยุ่งยากในการทำความเข้าใจจนหมดความสนใจในการใช้งานโปรแกรมนี้ไป คู่มือการใช้งาน SAP2000 ฉบับนี้เป็นคู่มือขั้นพื้นฐาน เน้นการเรียนรู้จากการใช้งาน นั่นคือจะมีตัวอย่างให้ผู้อ่านทำตามขั้นตอน โดยจะค่อยๆอธิบายเนื้อหาแทรกเข้าตามหัวข้อที่ใช้งาน เพื่อให้ผู้อ่านค่อยๆซึมซับเนื้อหา ทำความเข้าใจในการใช้งาน จนสามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการเรียนรู้เพื่อใช้งาน SAP2000 ในระดับชั้นสูงต่อไป ผู้เขียนหวังว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกร นักศึกษา และผู้สนใจ ไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดหรือคำแนะนำประการใด สามารถติดต่อผู้เขียนโดยตรงทางอีเมล์เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1 พฤษภาคม 2566

หัวข้อเนื้อหา

1 แนะนำโปรแกรม SAP2000 1

การสร้างโมเดล. 2
การแสดงผลกราฟิก 4
หน้าตัดองค์อาคารเชิงเส้น. 4
Section Designer. 5
ชิ้นส่วนเฟรม (Frame Elements). 5
ชิ้นส่วนแผ่น (Shell Elements) 6
ชิ้นส่วนวัตถุ (Solid Elements). 6
ชิ้นส่วนลวดอัดแรง (Tendon Elements). 7
น้ำหนักบรรทุก. 7
การวิเคราะห์ 9
การออกแบบ. 11
การแสดงผล. 12
การสร้างรายงาน 12
การนำเข้าและส่งออก 13

2 เริ่มต้นใช้งาน SAP2000 15

ขั้นตอนการทำงาน 15
เริ่มต้นโปรแกรม. 16
หน่วยวัด. 17
การสร้างโมเดลใหม่. 17
สภาวะแวดล้อมของโปรแกรม. 22
การเปลี่ยนมุมมอง 2D. 23
การจัดการหลายหน้าต่างแสดงผล 25
การเปลี่ยนมุมมอง 3D. 26
การปรับมุมมอง Zoom & Pan. 28

TUMCIVIL.COM

การใช้เม้าส์ในการปรับมุมมอง. 29
การตั้งค่าแสดงผล. 30
การตั้งค่าสีวัตถุ. 31

3 การสร้างโมเดล 33

โมเดลอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น. 33
กำหนดระบบกริด. 34
กำหนดคุณสมบัติวัสดุ 37
กำหนดหน้าตัดเฟรม 43
แกนเฉพาะที่ (Local Axis) ของเฟรม. 46
การวาดเสา 47
การเลือกวัตถุ. 48
การคัดลอกวัตถุ 50
การวาดคาน 53
กำหนดหน้าตัดพื้น. 56
การวาดพื้น 58
การวาดบันได. 60
โมเดลอาคารโครงเหล็ก 63
เทมเพลต 3D Frame 63
กำหนดหน้าตัดเฟรม 65
การนำเข้าหน้าตัดเหล็ก 67
กำหนดหน้าตัด. 71
การเปลี่ยนทิศทางแกนเฉพาะที่. 76
การปลดยึดรั้งของจุดต่อ 79
การวาดคานย่อย. 81
การวาดแกงแนง. 83
การวาดหลังคาโครงถัก. 84
การวาดโครงหลังคาจันทัน 94
การวาดเสาชั้นที่สองรับโครงหลังคา 103

TUMCIVIL.COM

4 จุดรองรับและน้ำหนักบรรทุก 107

การกำหนดจุดรองรับ. 108
การโมเดลฐานราก 111
การกำหนดรูปแบบและกรณีบรรทุก. 116
รูปแบบบรรทุกแผ่นดินไหวอัตโนมัติ. 117
รูปแบบบรรทุกแรงลมอัตโนมัติ 119
การใส่น้ำหนักบรรทุกผนัง 121
การใส่น้ำหนักบรรทุกพื้น 123
การสร้างไดอะแฟรม 126
น้ำหนักบรรทุกบนโครงสร้างเหล็ก 128
แรงลมบนผนังเสมือน. 130

5 การวิเคราะห์โครงสร้าง 135

อาคารคอนกรีต 135
การแบ่งพื้นย่อยอัตโนมัติ 136
การวิเคราะห์โครงสร้าง 137
การแสดงผลการเสียรูปทรง. 139
การแสดงผลแบบตาราง. 141
แรงภายในเสาและคาน 143
ผลของชนิดพื้น. 146
ผลของการแบ่งพื้นย่อย 147
ผลของแรงด้านข้าง. 150
น้ำหนักบรรทุกพื้นแผ่ลงโครง. 152
อาคารเหล็กรูปพรรณ 163
แรงกระทำบนหลังคา. 166
น้ำหนักผนังบนพื้น 175
น้ำหนักบนพื้นที่บางส่วน 181
ช่องเปิดในพื้น. 184

6 การออกแบบ 187

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก. 187
การเลือกหน้าตัดอัตโนมัติ. 187

TUMCIVIL•COM

การจัดกลุ่มองค์อาคาร. 190
กรณีบรรทุกร่วม. 191
การสั่งออกแบบโครงสร้างเหล็ก. 193
การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. 197
กรณีบรรทุกร่วมออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก 198
เหล็กเสริมตามยาวในคาน. 201
เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในคาน. 203
ผลการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 204
ผลของแฟกเตอร์รูปแบบบรรทุกจร 209
การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก. 210
การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นคอนกรีต. 213
การส่งออกข้อมูลไปยัง EXCEL 214
การสร้างรายงาน 217

7 การคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 219

TUMCIVIL.COM

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q). 219
วิธีคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า. 221
แรงลมออกแบบ 221
ตัวคูณสภาพการเปิดโล่ง (C_e) 223
ตัวคูณลมกระโชก (C_g) 226
สัมประสิทธิ์ความดันภายนอก (C_p) สำหรับอาคารเตี้ย. 227
สัมประสิทธิ์ความดันภายนอก (C_p) สำหรับอาคารสูง. 229
การรวมผลแรงลมในทิศทางลม, ทิศทางตั้งฉาก และโมเมนต์บิด 230
สัมประสิทธิ์ความดันภายในอาคาร (C_{pi}) 231
ตัวอย่างที่ 1 อาคารคลังสินค้าหลังคาทรงจั่ว 233
ตัวอย่างที่ 2 แรงลมบนอาคารโกดังโรงงาน SAP2000. 237
ตัวอย่างที่ 3 หลังคาที่จอดรถ 262

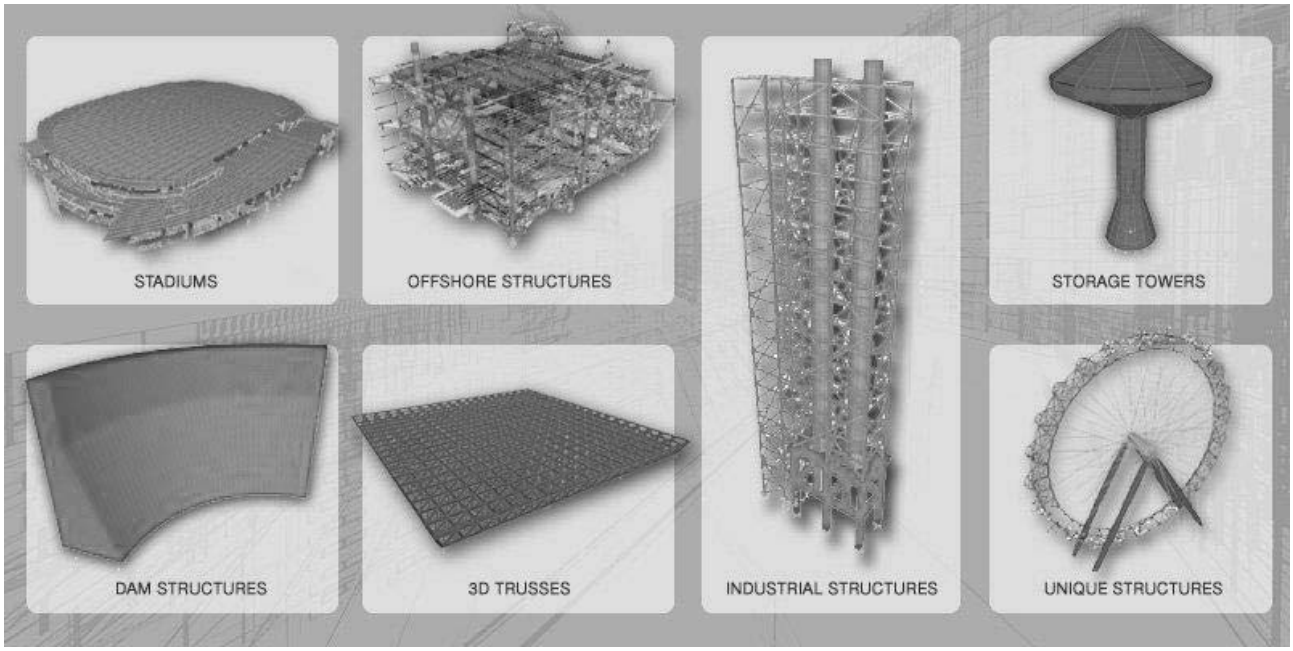
TUMCIVIL.COM

1

แนะนำโปรแกรม SAP2000

SAP2000 คือโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่มีการใช้งานกันมาอย่างยาวนานและแพร่หลาย SAP ย่อมาจาก Structural Analysis Program ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย Berkeley แคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา บริษัท Computers and Structures, Inc. (CSI), Berkeley, California, USA ได้ทำการพัฒนา SAP มาอย่างต่อเนื่องจนเป็น SAP2000 ซึ่งรันบนระบบปฏิบัติการ Windows มีการสั่งงานแบบกราฟิก (Graphical User Interface: GUI) เพื่อความสะดวกรวดเร็วและประสิทธิภาพในการทำงาน การสร้างและแก้ไขโมเดล, การวิเคราะห์โครงสร้าง, การตรวจสอบและปรับเปลี่ยนความเหมาะสมในการออกแบบ ตลอดจนการแสดงผลทั้งหมดจะใช้ GUI ตัวเดียวกันทั้งหมด

THAMCIVIL.COM



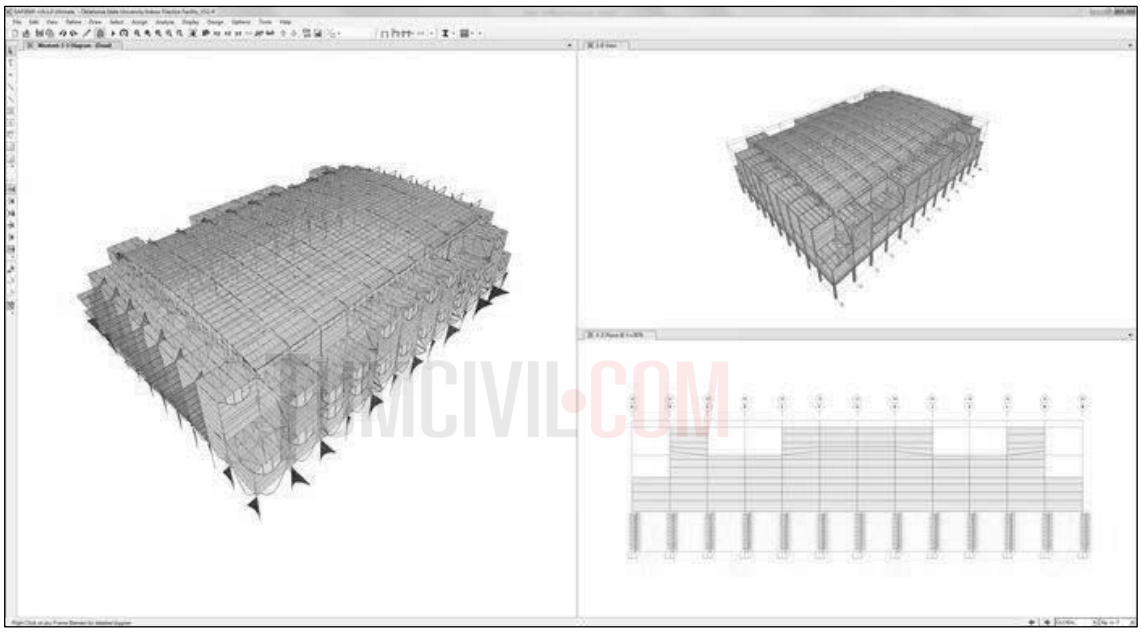
รุ่นล่าสุดของ SAP2000 คือ เวอร์ชั่น 24 สำหรับข้อมูลข่าวสารต่างๆของ SAP2000 สามารถเข้าไปดูได้ที่เวบไซต์ของ CSI : http://www.csiamerica.com/sap2000

การสร้างโมเดล

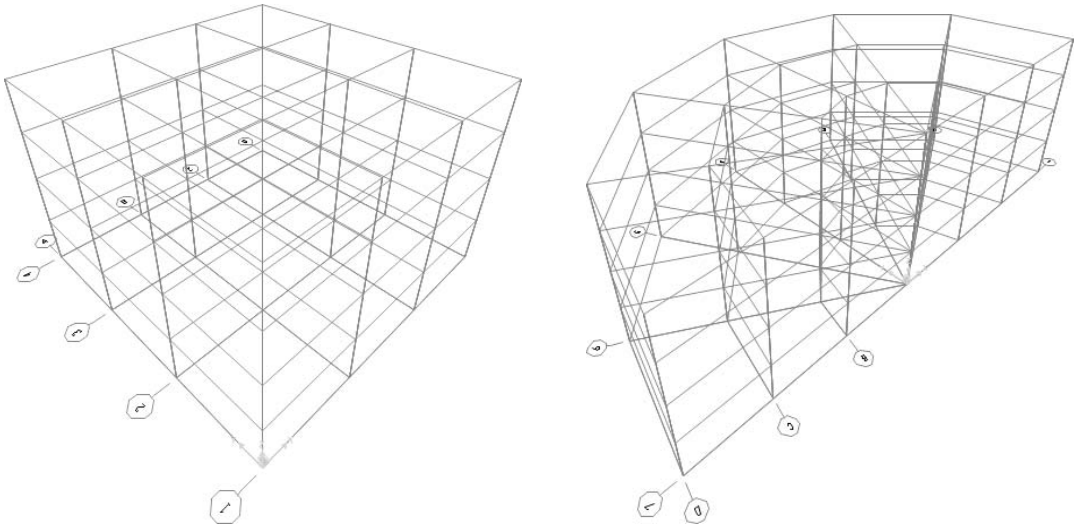
SAP2000 เป็นโปรแกรมที่มีระบบการทำงานแบบครบวงจร เริ่มตั้งแต่สร้างโมเดลโครงสร้าง ทำการวิเคราะห์ ออกแบบโครงสร้าง และตรวจสอบผลลัพธ์ได้ภายในระบบการติดต่อกับผู้ใช้เดียวกัน

ในการสร้างโมเดล SAP2000 มีเครื่องมือช่วยสร้างโครงสร้างรูปแบบต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ

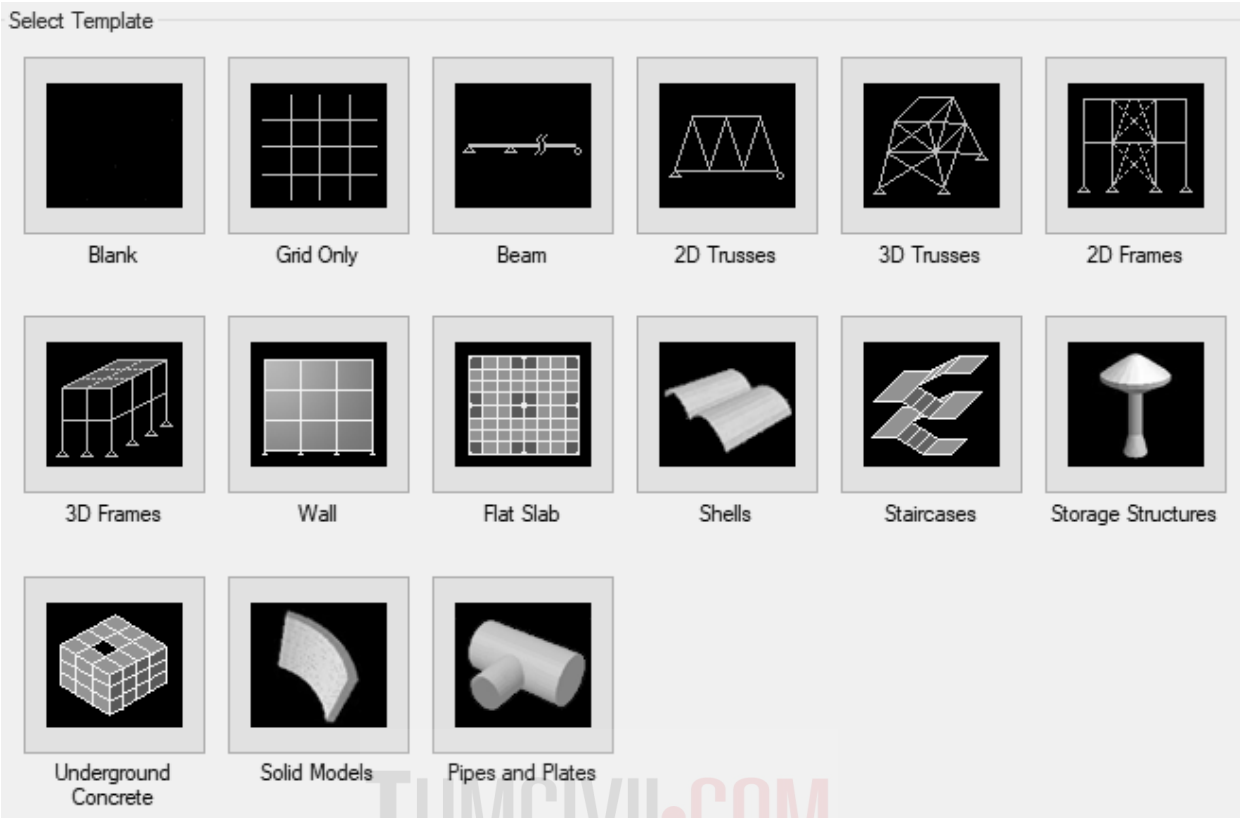
- เครื่องมือวาดในลักษณะเดียวกับ AutoCAD ช่วยสร้างโมเดลอย่างสะดวกรวดเร็ว
- การปรับมุมมองทั้งแบบ 3D และระนาบ XY, XZ, YZ รวมถึงการซูมย่อขยาย
- แสดงได้หลายหน้าจอกราฟิกได้พร้อมกัน สามารถไปมาระหว่างหน้าจออย่างง่ายดาย



- ระบบพิกัดและกริด สามารถเลือกกำหนดได้ทั้งแบบพิกัดฉาก (Cartesian), ระบบทรงกระบอก (Cylindrical) และระบบทั่วไป (Generalized System) ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดเส้นกริดเอียงได้ตามต้องการ นอกจากนั้นในโมเดลเดียวกันยังสามารถมีได้หลายระบบพิกัดและกริด

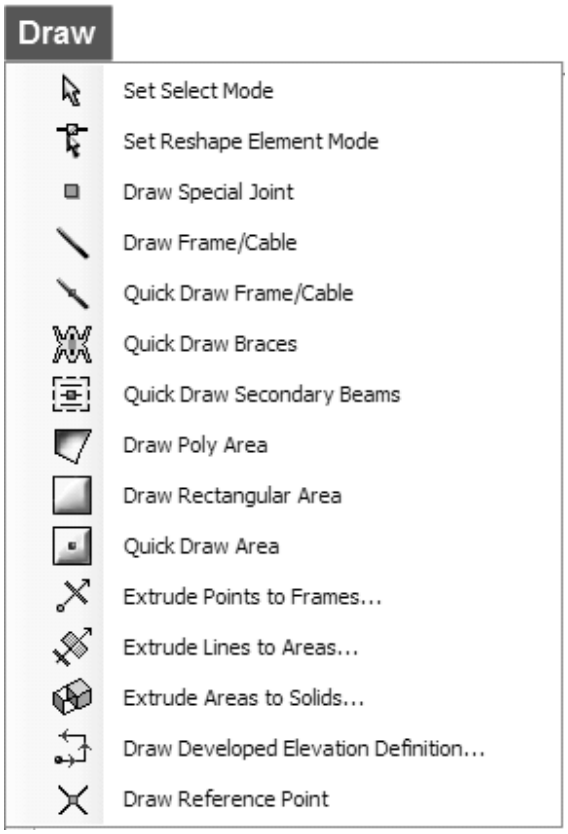


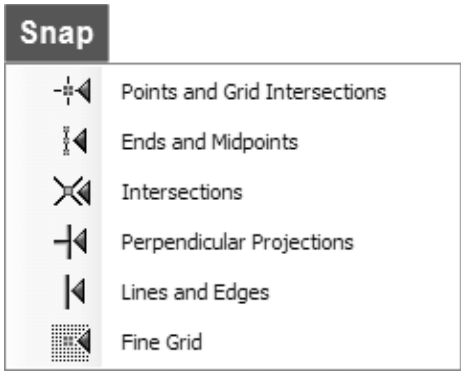
- การสร้างโมเดลใหม่ใน SAP2000 จะมีรูปแบบโครงสร้างให้เลือกเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการวาด หรือผู้ใช้อาจเลือกที่จะวาดโมเดลเอง



TUMCIVIL.COM

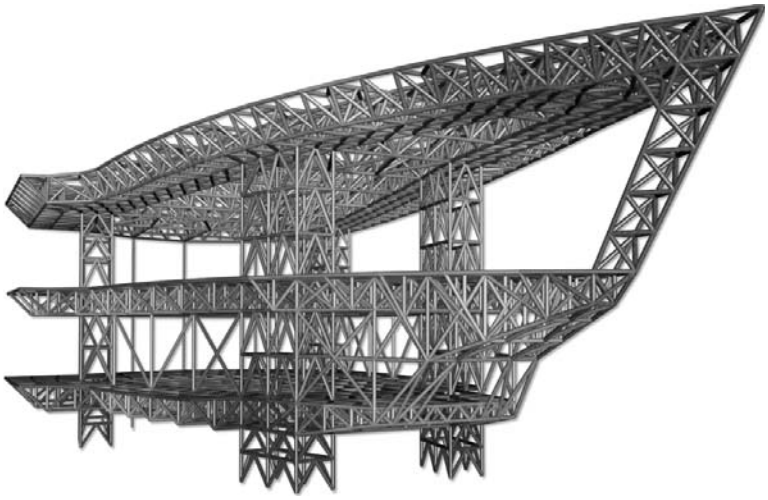
- SAP2000 มีเครื่องมือช่วยในการวาดวัตถุรูปแบบต่างๆมากมายเพื่อช่วยให้การวาดอย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกรวดเร็วเช่นเดียวกันในโปรแกรม CAD





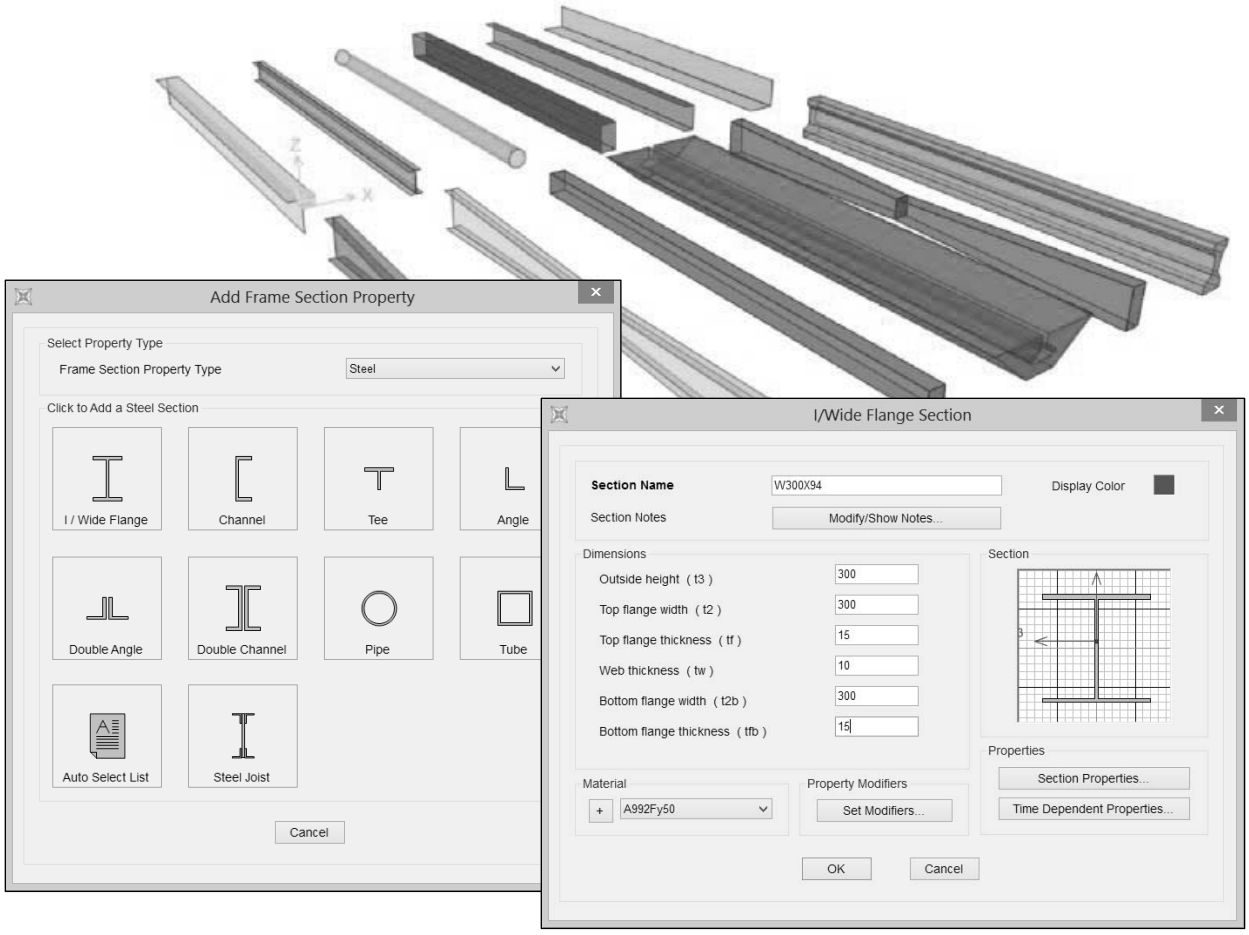
การแสดงผลกราฟิก

การแสดงผล DirectX ได้รับการพัฒนาทั้งด้านคุณภาพและความเร็วในมุมมอง 2D และ 3D เมื่อมีหน่วยความจำและประสิทธิภาพกราฟิกการ์ดที่ดีเพียงพอ การเร่งความเร็วกราฟิกโดยฮาร์ดแวร์จะทำให้การหมุนและซูมมุมมองเพื่อตรวจสอบโมเดลทำได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่องไม่กระตุก



หน้าตัดองค์อาคารเชิงเส้น

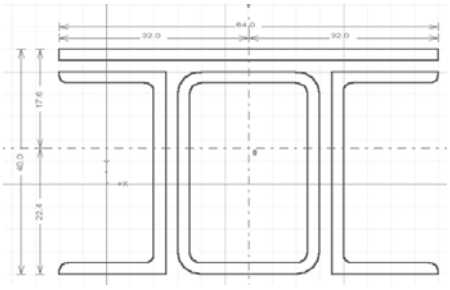
ใน SAP2000 จะแบ่งองค์อาคารออกเป็นแบบเชิงเส้นมีหน้าตัดมาตรฐานของเหล็กรูปพรรณ คอนกรีต อลูมินั่ม และเหล็กรีดเย็นให้เลือกใช้งานหลากหลายรูปแบบ



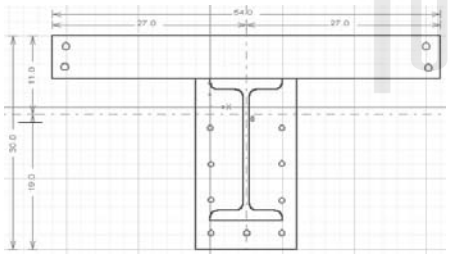
การกำหนดคุณสมบัติหน้าตัดทำโดยการใส่ขนาดต่างๆเพื่อสร้างหน้าตัดใหม่ หรือเลือกจากตารางหน้าตัดเป็นไฟล์นามสกุล .pro (Property file) โดยผู้ใช้สามารถสร้างตารางหน้าตัดเป็นไฟล์นามสกุล .pro ได้เอง

Section Designer

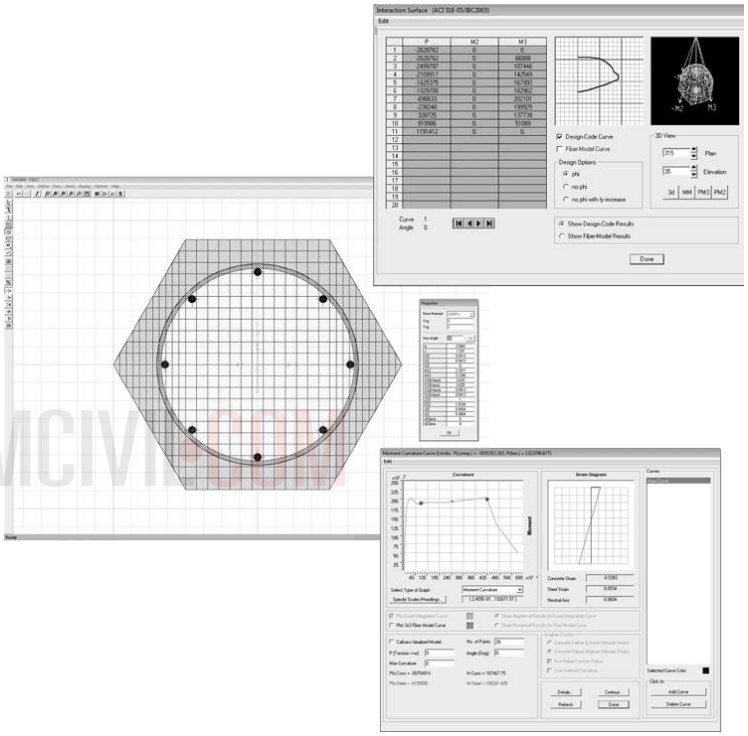
ใช้ในการสร้างหน้าตัดพิเศษซึ่งผู้ใช้สามารถวาดรูปหน้าตัดและกำหนดวัสดุได้เอง โปรแกรมจะทำการคำนวณคุณสมบัติหน้าตัดให้โดยอัตโนมัติ สร้างแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ในกรณีเสาคอนกรีตรับการดัดสองแกน หรือแผนภูมิโมเมนต์ดัดสำหรับคาน



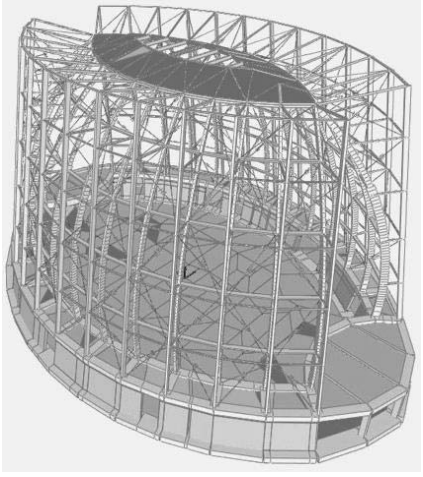
Built-up Steel



Composite Section



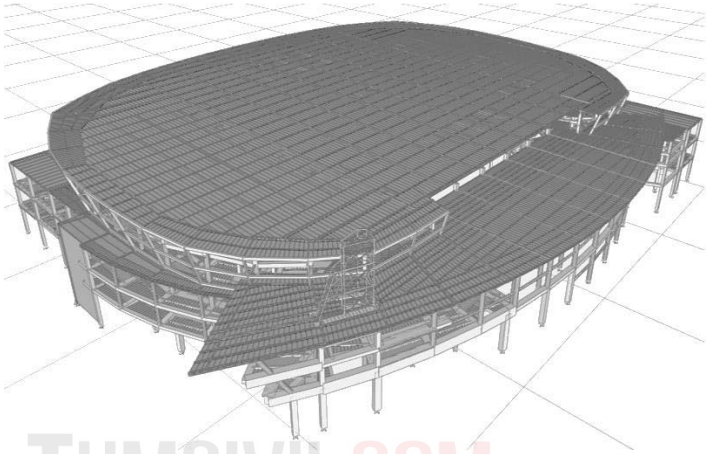
ชิ้นส่วนเฟรม (Frame Elements)



ชิ้นส่วนเฟรมใน SAP2000 ที่ใช้เป็นองค์อาคารที่เป็นเส้นเช่น เสา คาน และท่อนยึดโยง จะมีทั้งแบบเส้นตรงและและเส้นโค้ง โดยจุดต่อจะถูกสร้างขึ้นอัตโนมัติที่จุดตัดระหว่างองค์อาคารและชิ้นส่วนเฟรม

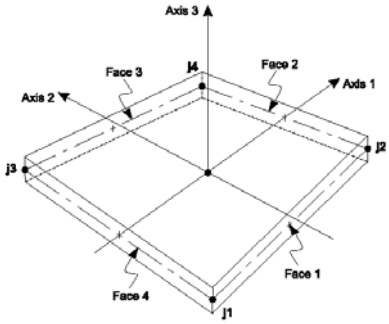
ชิ้นส่วนแผ่น (Shell Elements)

- ชิ้นส่วนแผ่นจะแบ่งเป็น membrane, plate และ shell ซึ่งจะถูกใช้เป็นองค์อาคารที่เป็นแผ่น เช่น ผนัง และ พื้น
- SAP2000 จะมีทางเลือก แผ่นหนา(Thick Shell/Plate) ให้เลือกในกรณีที่การเสียรูปทรงจากแรงเฉือนมีความสำคัญ ในขณะที่การใช้ **แผ่นบาง** ตามปกติจะคิดเฉพาะการเสียรูปทรงจากการดัด และละเลยการเสียรูปทรงจากการเฉือน มักจะใช้ในกรณีที่ความหนามากกว่า 1/10 ของช่วงความยาว เช่นในกรณีของฐานราก

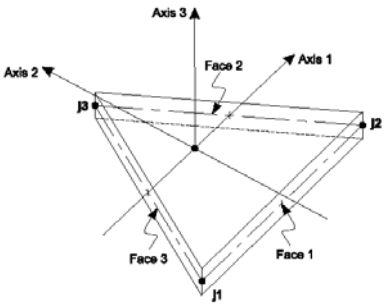


TUMCIVIL.COM

- ชิ้นส่วนแผ่นย่อยแบ่งเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Quadrilateral element) และแบบสามเหลี่ยม (Triangular element)



Quadrilateral Element

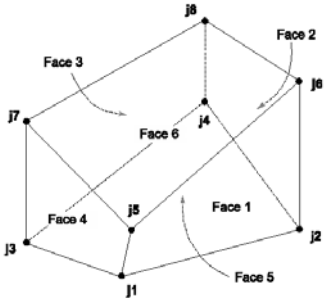


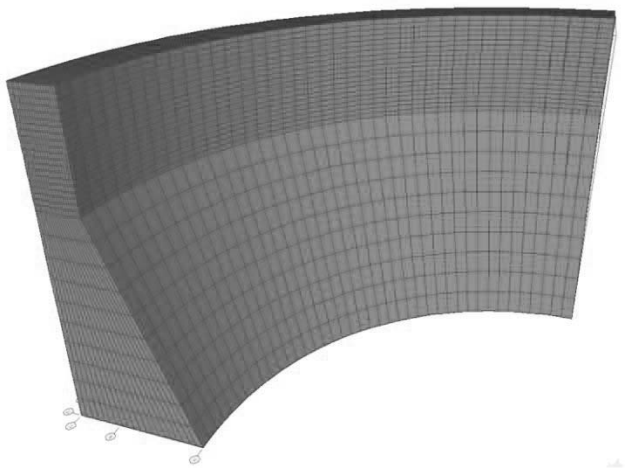
Triangular Element

- แต่ละจุดต่อจะมีดีกรีอิสระทั้งหมดหกดีกรี โดยเราสามารถเลือกให้มีพฤติกรรมแบบ membrane, plate, shell หรือ thick plate/shell

ชิ้นส่วนวัตถุ (Solid Elements)

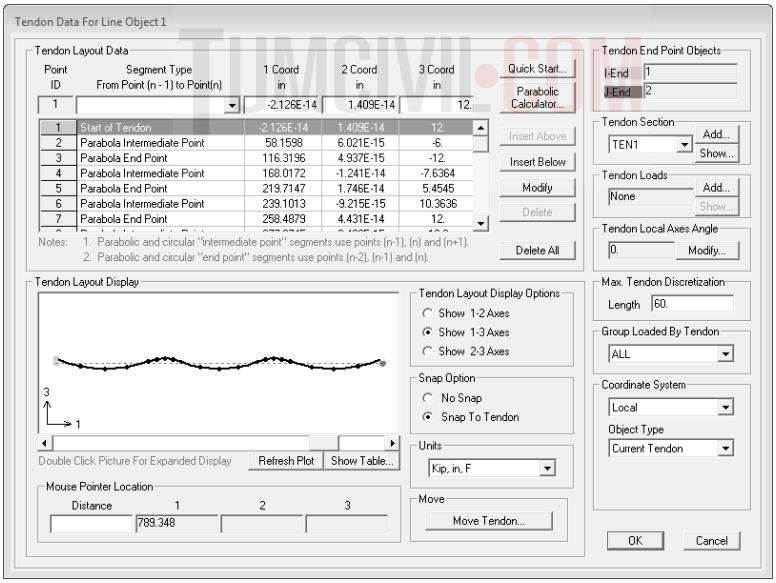
ชิ้นส่วนวัตถุสามมิติมี 8 โหนด สำหรับโมเดลวัตถุสามมิติที่อาจมีการรับน้ำหนักบรรทุก สภาวะขอบเขต หรือคุณสมบัติหน้าตัดแปรเปลี่ยนไปตามความหนา



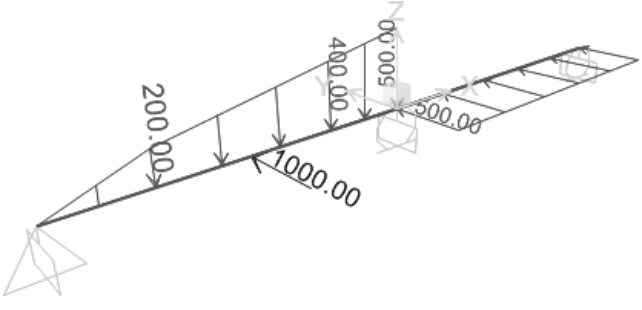


ชิ้นส่วนลวดอัดแรง (Tendon Elements)

- เราสามารถวาดเส้นลวดอัดแรงได้เหมือนเป็นวัตถุอิสระ โดยสามารถกำหนดโปรไฟล์เป็นเส้นตรง พาราโบลา ส่วนโค้งวงกลม หรือรูปทรงอิสระ
- SAP2000 จะต่อเส้นลวดอัดแรงเข้ากับชิ้นส่วน frame, shell หรือ solid ที่มีเส้นลวดอัดแรงอยู่ภายใน โดยเราสามารถกำหนดแรงดึงในเส้นลวดได้อย่างง่ายดาย



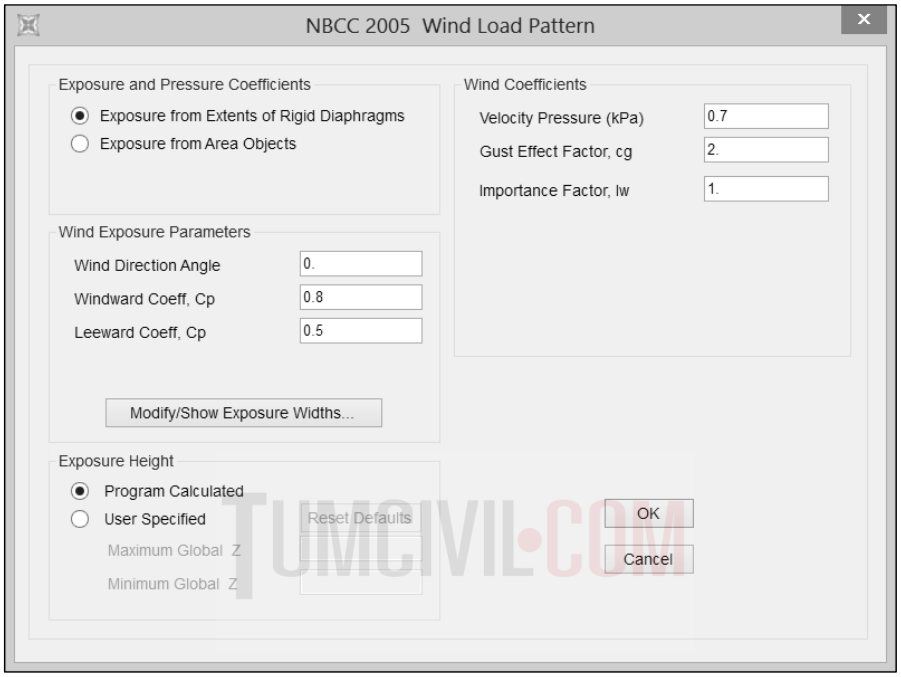
น้ำหนักบรรทุก



การใส่น้ำหนักบรรทุกมีทั้งแบบกระทำเป็นจุด (Point Load) น้ำหนักตามแนวเส้นมีทั้งแบบคงที่ (Uniform Load) และแบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Load) การอัดแรง (Prestress) และผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

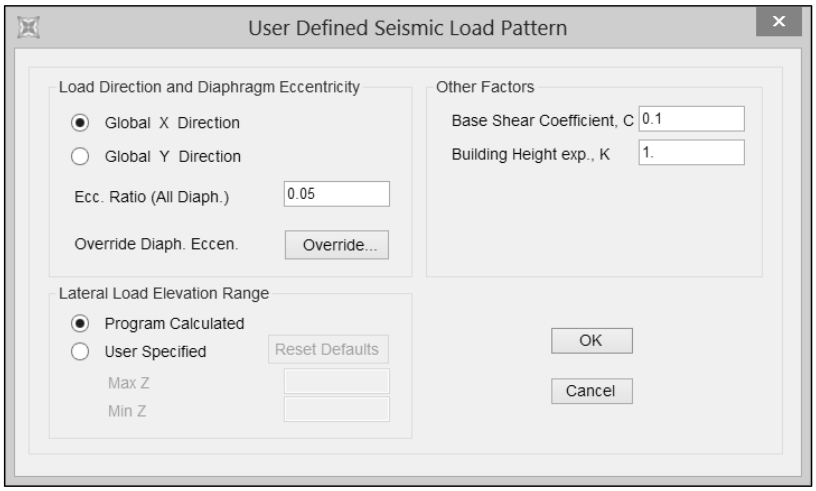
แรงลม : SAP2000 คำนวณแรงลมอัตโนมัติได้ตามมาตรฐานต่างๆดังนี้

- UBC 94, UBC 97
- BOCA 96
- ASCE 7-95, 02, 05, 10
- NBCC 95, 2005, 2010
- Chinese 2002
- BS 6399-95
- API 4F 2008
- Eurocode1 2005
- AS/NZS 1170.2:2
- User Define

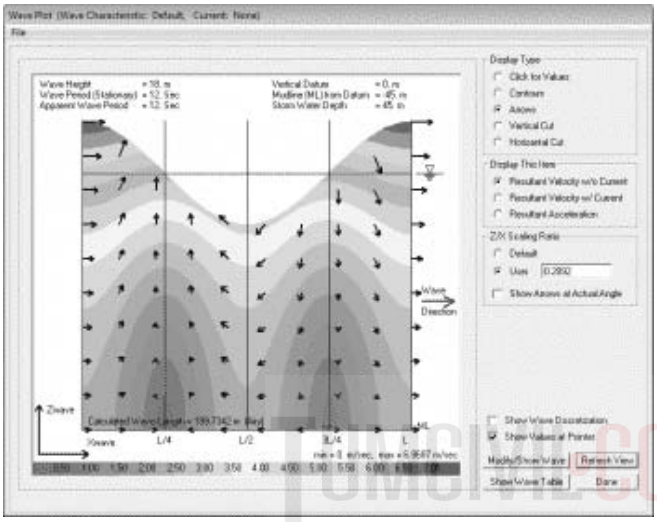


แรงแผ่นดินไหว : SAP2000 คำนวณแรงแผ่นดินไหวอัตโนมัติได้ตามมาตรฐานต่างๆดังนี้

- IBC 2003, 2006, 2009, 2012
- NEHRP 97
- NBCC 95, 2005, 2010
- Chinese 2010
- IS1893 2002
- Eurocode8 2004
- User Coefficient
- User Loads



น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ (Moving Load) : SAP2000 สามารถจำลองน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ไปบนองค์อาคาร เพื่อพิจารณาสภาวะที่เกิดแรงมากที่สุด โดยมีรถบรรทุกขนาดต่างๆตามมาตรฐาน AASHTO

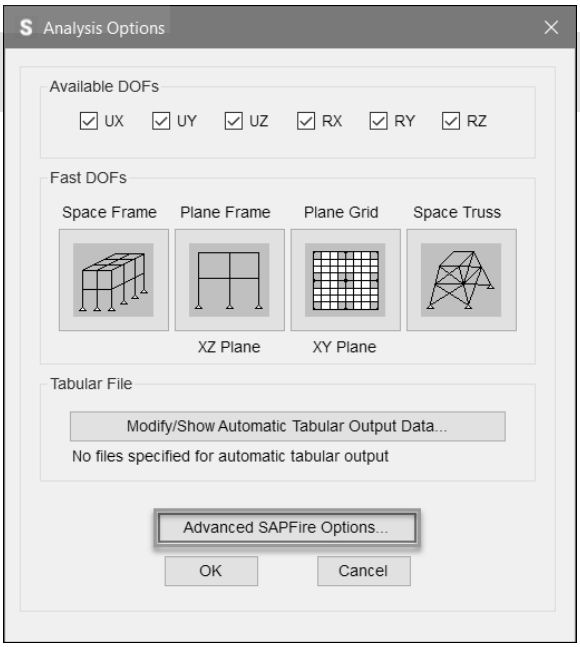


น้ำหนักบรรทุกจากคลื่น (Wave Load) : SAP2000 สามารถจำลองน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ไปบนองค์อาคาร เพื่อพิจารณาสภาวะที่เกิดแรง

การวิเคราะห์

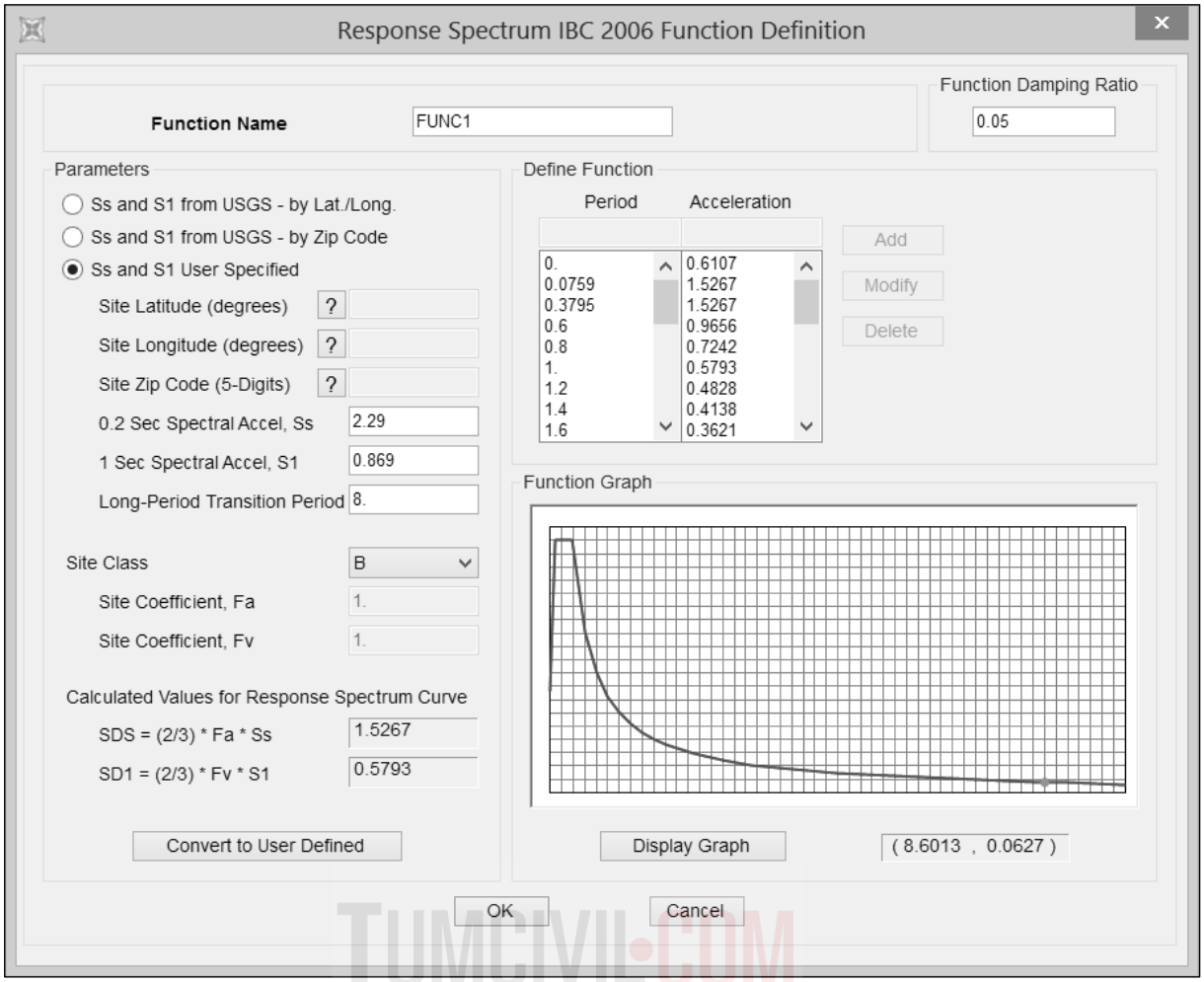
CSI Solver มีได้รับการใช้งานทดสอบในอุตสาหกรรมความน่าเชื่อถือมากเนื่องจากได้ถูกใช้งานมากว่า 45 ปีแล้ว

- Advanced SAPFire Analysis Engine
- Multiple 64-Bit Solvers
- Eigen Analysis (Autoshifting for ill-conditioned problems)
- Ritz Analysis



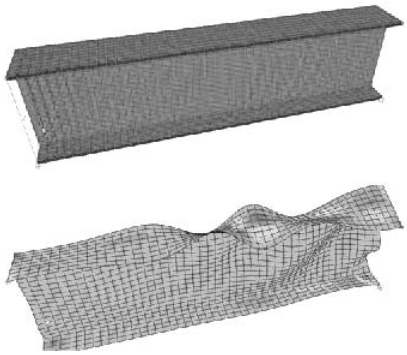
การวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงสเปคตรัม

เป็นการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการพิจารณาผลตอบสนองของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำแผ่นดินไหว โดยเราสามารถใส่ข้อมูลกราฟสเปคตรัมคือคาบการสั่นไหวและความเร่งตามที่มาตรฐานกำหนด



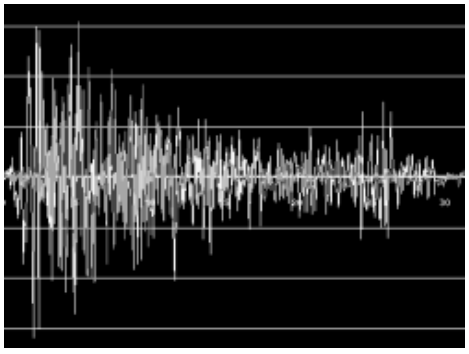
TUMCIVIL.COM

การวิเคราะห์การโก่งเดาะ (Buckling Analysis)



นอกจากจะวิเคราะห์การโก่งเดาะเชิงเส้นในโครงสร้างตามปกติแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์การโก่งเดาะห์แบบไม่เป็นเส้นตรง ในสถานะการณ์รับน้ำหนักต่างๆ

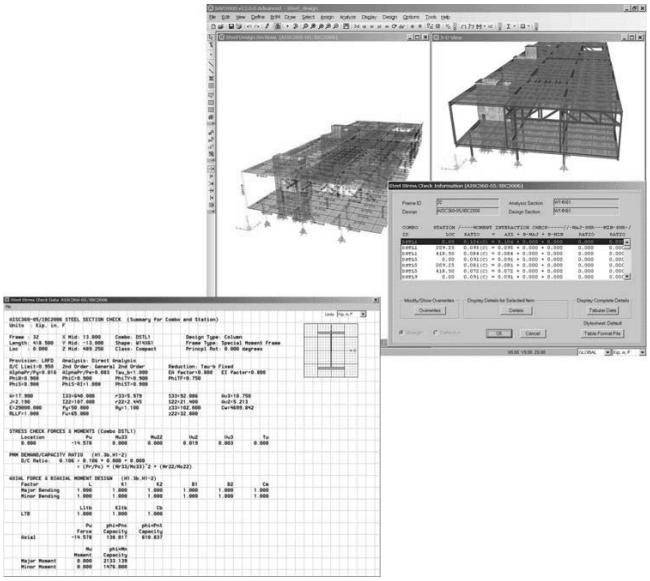
การวิเคราะห์แบบประวัติเวลา (Time History Analysis)



เป็นการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์โดยหาการตอบสนองหรือการสั่นไหวของโครงสร้างต่อแรงพลศาสตร์ที่มากระทำ เช่น ความเร่งที่พื้นดินจากแผ่นดินไหว โดยจะทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดในทุกขณะเวลาที่เกิดการสั่นไหวของโครงสร้าง

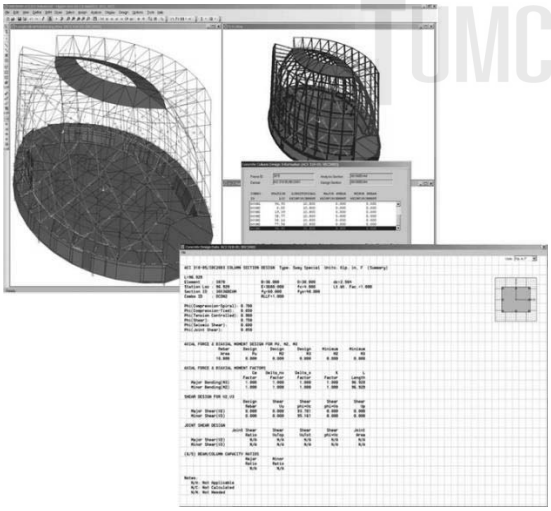
การออกแบบ

การออกแบบโครงสร้างเหล็ก



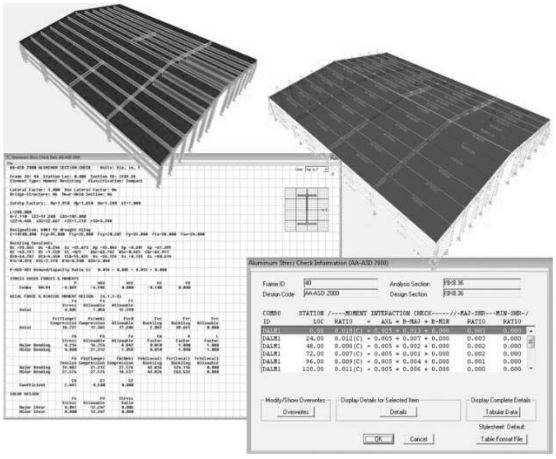
- สามารถเลือกหน้าตัดโดยอัตโนมัติโดยแยกหน้าตัด หรือจัดเป็นกลุ่ม
- การวิเคราะห์ความเหมาะสมของหน้าตัดตามหลักงานเสมือนสำหรับการโยกตัวด้านข้าง
- มาตรฐาน AISC360-05/IBC2006, AISC LRFD99, AISC ASD01
- ออกแบบสำหรับแรงสถิตและแรงพลศาสตร์
- กำหนดกรณีบรรทุกร่วมหรือผู้ใช้กำหนดเอง
- คำนวณแฟกเตอร์ K และ P-Delta อัตโนมัติ
- รวมตัวออกแบบหน้าตัดสำหรับหน้าตัดคอมโพสิตและหน้าตัดประกอบ
- ออกแบบเชิงปฏิสัมพันธ์
- ออกแบบโดยคิดผลของการบิด

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

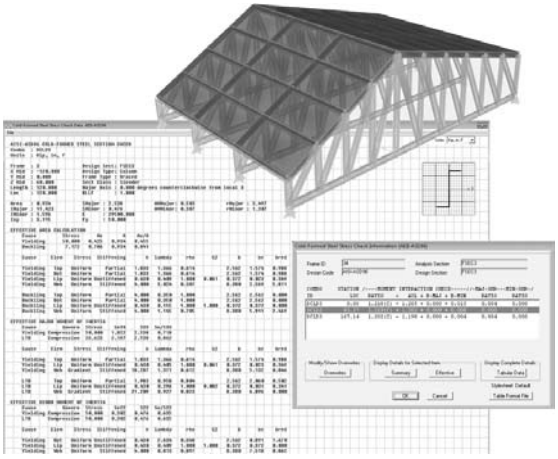


- มาตรฐาน ACI 318-14, ACI 318-11, ACI 318-08/IBC2009, ACI 318-05/IBC2003, ACI 318-02, ACI 318-99
- ออกแบบสำหรับแรงสถิตและแรงพลศาสตร์
- เสารับการดัดสองแกน
- คำนวณแฟกเตอร์การขยายค่าโมเมนต์
- คำนวณผลของ P-Delta
- ออกแบบเชิงปฏิสัมพันธ์
- ออกแบบโดยคิดผลของการบิด

การออกแบบโครงอลูมินั่ม



การออกแบบโครงเหล็กรีดเย็น

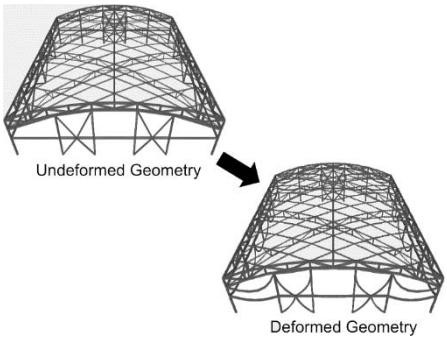


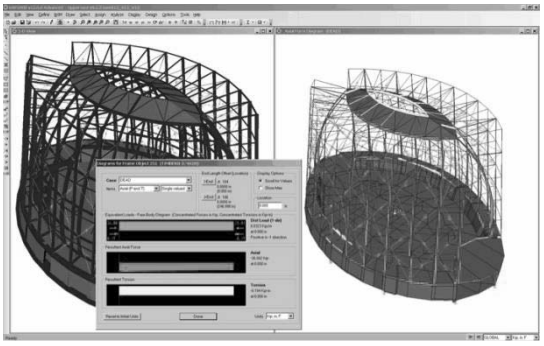
THAMCIVIL.COM

การแสดงผล

การเสียรูปทรง

- สามารถแสดงการเสียรูปทรงจากน้ำหนักบรรทุกแยกตามกรณีบรรทุก
- แสดงภาพเคลื่อนไหวของการเสียรูปทรง
- แสดงโหมดการสั่นไหวและภาพเคลื่อนไหว





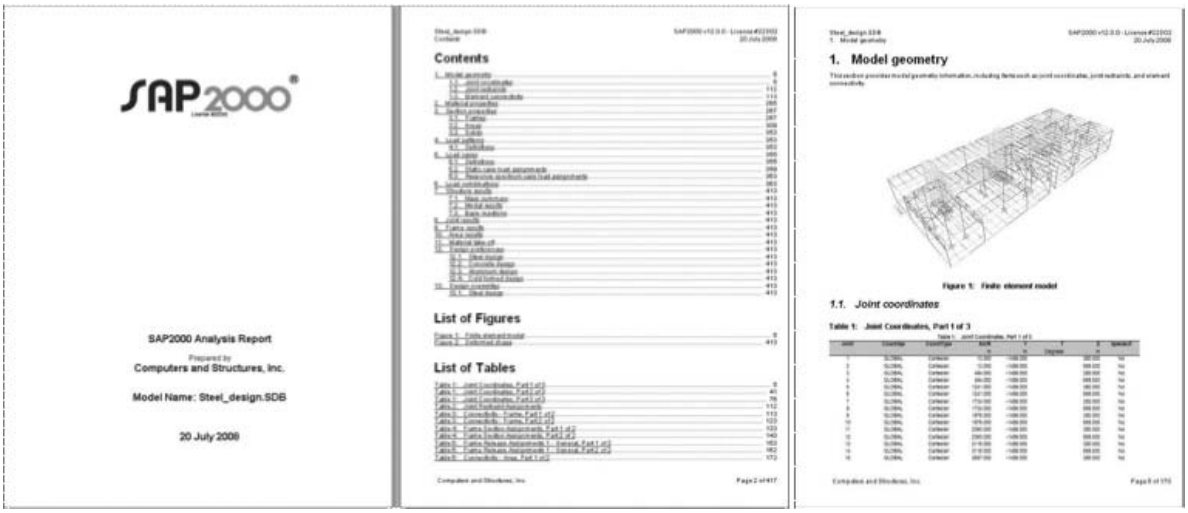
แผนภูมิแรงภายใน

- แผนภูมิแรงเฉือนและโมเมนต์แสดงแรงภายในที่ตำแหน่งต่างๆตามความยาวองค์อาคาร
- มีตัวเลื่อนให้ลากไปตามความยาวองค์อาคารเพื่อดูค่าต่างๆที่เปลี่ยนไปหรือไปยังตำแหน่งที่มีค่ามากที่สุด

การสร้างรายงาน

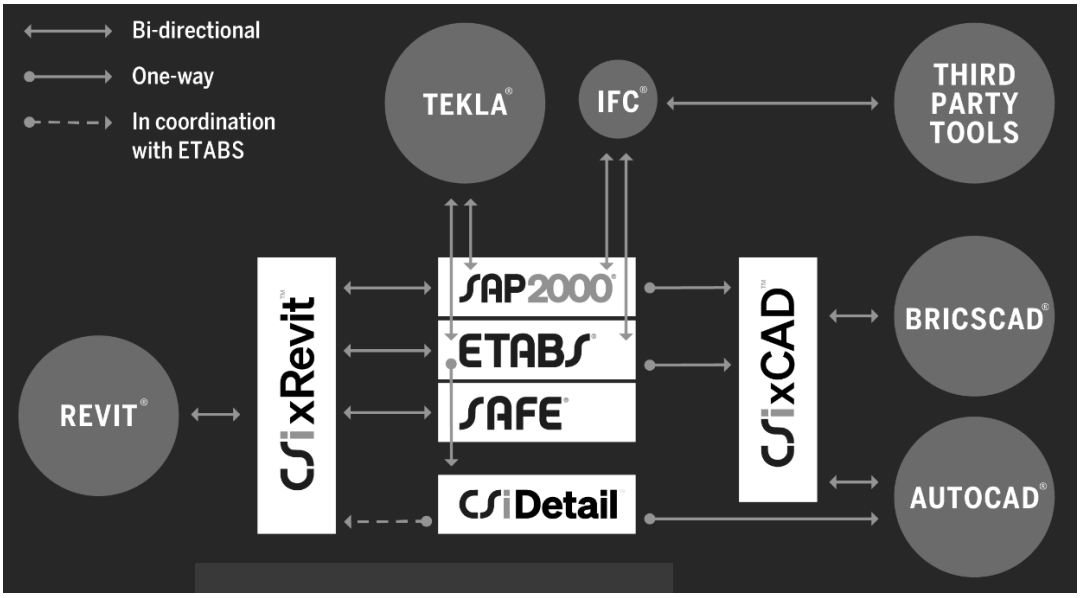
TUMCIVIL.COM

- สร้างรายงานที่จัดรูปแบบโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะมีทั้งข้อมูลโมเดล ผลจากการรันวิเคราะห์ และผลจากการออกแบบ
- รายงานจะประกอบด้วยข้อมูลในรูปของตารางและรูปกราฟิก
- สามารถกำหนดให้อยู่ในรูปของไฟล์ RTF (Rich Text Format) สำหรับไมโครซอฟท์เวิร์ด หรือในรูปแบบ HTML เพื่อการนำเสนอทางเวบ

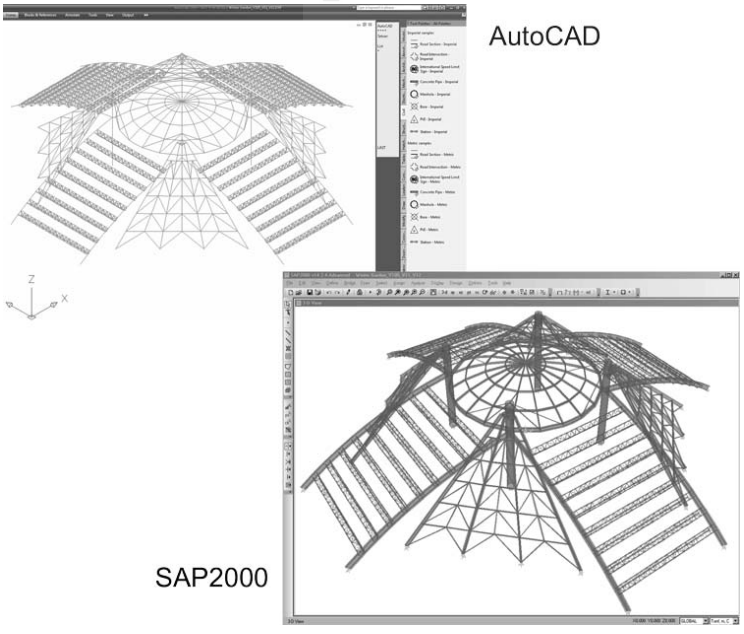


การนำเข้าและส่งออก

SAP2000 สามารถนำเข้าและส่งออกข้อมูลสำหรับอุตสาหกรรมที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็น AutoCAD (DXF/DWG), Revit, Tekla, IFC นอกจากนั้นยังสามารถส่งออกข้อมูลไปยัง Microsoft Access และ Excel ได้อีกด้วย



TUMCIVIL.COM



- Microsoft Access
- Microsoft Excel
- SAP2000 Text File(.s2k)
- CIS/2 STEP
- Steel Detailing Neutral File (SDNF)
- AutoCAD (.dxf/.dwg)
- Frameworks Plus
- IGES
- IFC
- Prosteel
- Other analysis software text files

TUMCIVIL.COM

2

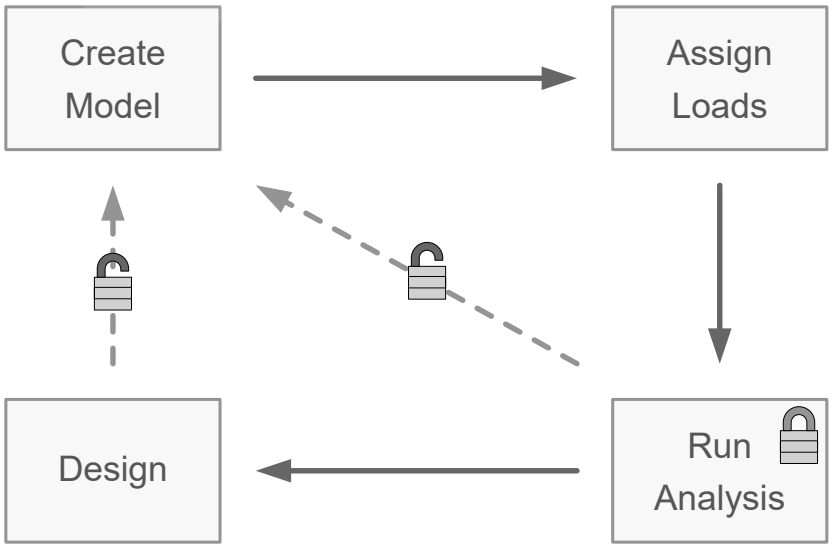
เริ่มต้นใช้งาน SAP2000

ในบทนี้จะแนะนำขั้นตอนการทำงานของ SAP2000 ในเบื้องต้น โดยเริ่มจากการเริ่มต้นโปรแกรม สภาวะแวดล้อมของโปรแกรม การปรับมุมมอง โดยใช้ตัวอย่างโครงสร้างสำเร็จรูปอย่างง่าย

ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานในโปรแกรม SAP2000 แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ การสร้างโมเดล การกำหนดน้ำหนักบรรทุก การวิเคราะห์ และการออกแบบ

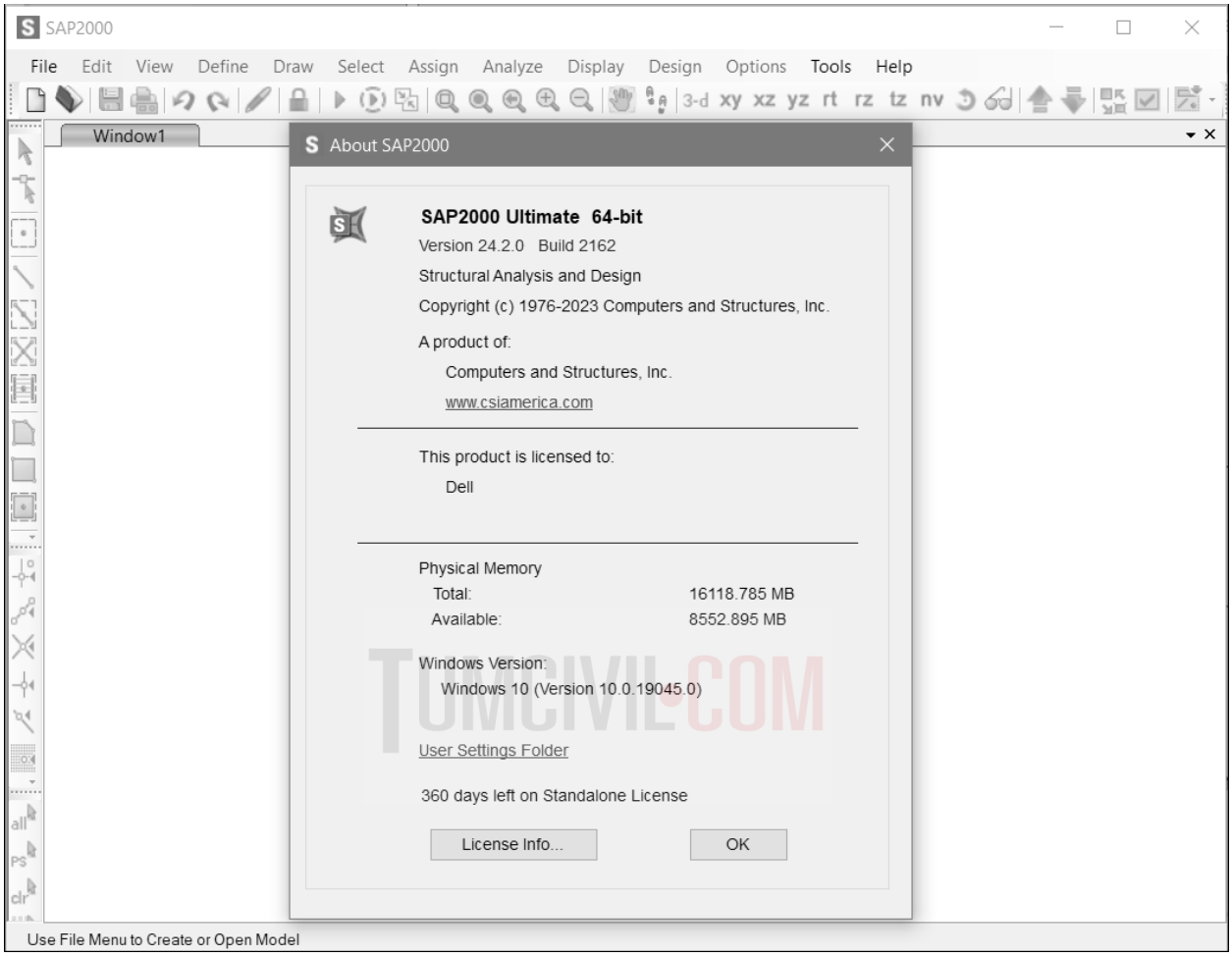
pomcivil.com



ในการสร้างโมเดลจะประกอบด้วยการกำหนดวัสดุ เส้นกริด หน้าตัดองค์อาคาร การวาดองค์อาคาร และกำหนดจุดรองรับ จากนั้นจะมาสู่ขั้นตอนการใส่น้ำหนักบรรทุก แล้วจึงทำการวิเคราะห์และออกแบบ บางครั้งเมื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์หรือออกแบบแล้วต้องการแก้ไข ก็สามารถกลับมาแก้ไขโมเดลใหม่ได้โดยการปลดล็อกโมเดล

เริ่มต้นโปรแกรม

▶ หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรม SAP2000 จะมีลักษณะดังในรูป สั่งเมนู Help > About SAP2000.... เพื่อตรวจสอบเวอร์ชั่นและจำนวนวันคงเหลือในการใช้งานโปรแกรม



หน้าจอ SAP2000 จะปรากฏขึ้นมาโดยมีลักษณะดังในรูป โดยจะมีส่วนประกอบหลักคือ

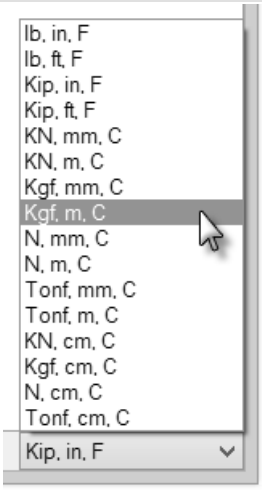
หน้าต่างแสดงผล (Display Windows) เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของหน้าจอโปรแกรมมีไว้เพื่อแสดงโมเดลในมุมมองต่างๆเช่นแบบแปลน รูปด้านข้าง หรือรูปสามมิติ โดยมักจะแบ่งเป็นสองหน้าต่างซึ่งผู้ใช้จะคลิกเลือกหน้าต่างให้ active เวลาต้องการแก้ไขมุมมอง

เมนูบาร์ (Menu Bar) เมนูบาร์จะมีเกือบทุกคำสั่งของ SAP2000 โดยจัดแบ่งเป็นกลุ่มให้ผู้ใช้เลือกหรือค้นหาได้โดยสะดวก ในคู่มือฉบับนี้การใช้คำสั่งผ่านเมนูจะเขียนเป็น Menu > Command กรณีมีเมนูย่อยจะใช้ Menu > Sub-menu > Command

ทูลบาร์ (Toolbars) ปุ่มบนทูลบาร์จะทำให้การสั่งงานทำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเลื่อนตัวชี้ของเม้าท์ผ่านบนปุ่มเหล่านี้จะมีคำอธิบายแสดงขึ้นมา โดยจะมีทั้งด้านบนในแนวนอน และด้านข้างซ้ายในแนวดิ่ง

หน่วยวัด (Units)

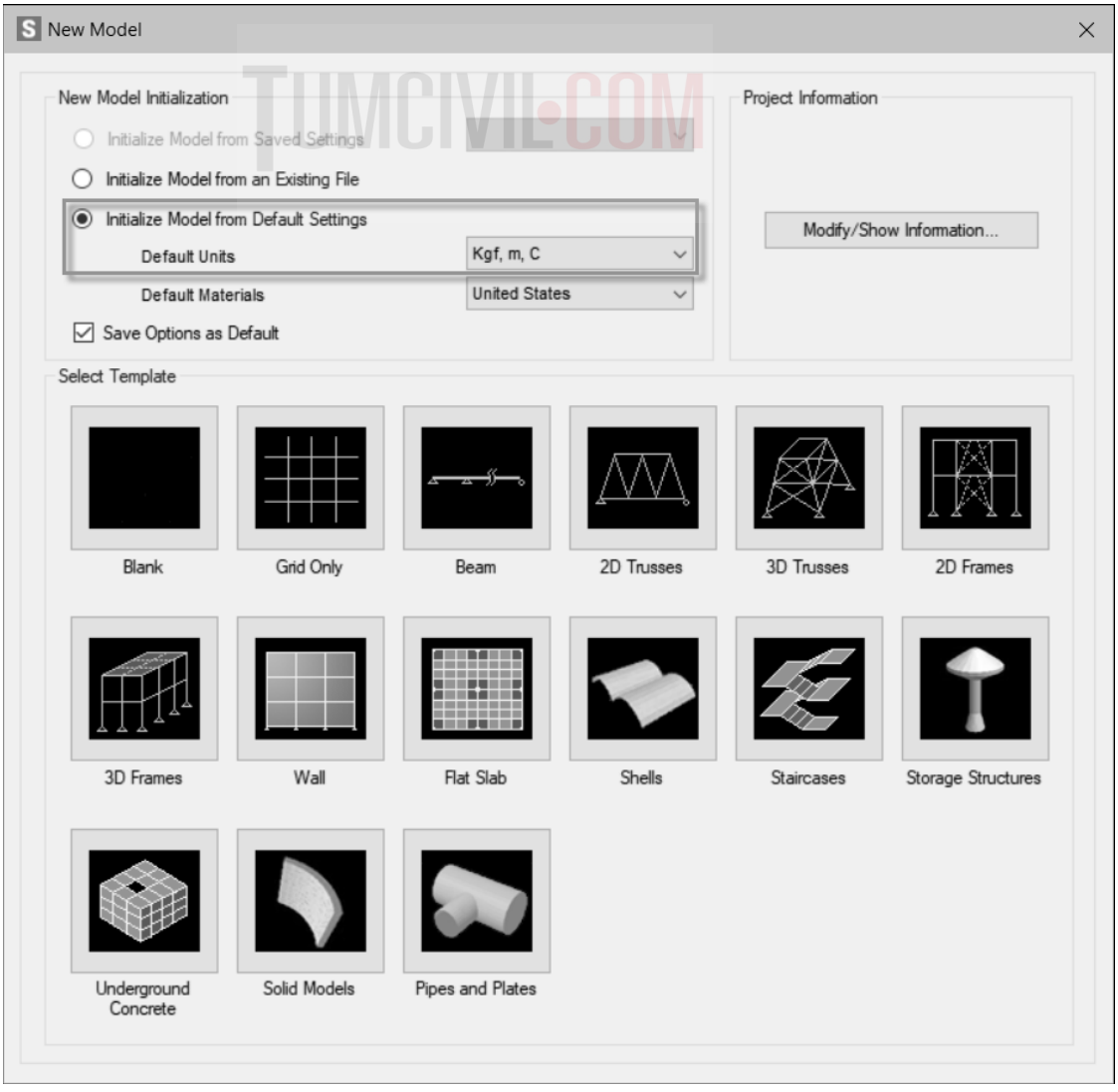
SAP2000 ทำงานโดยใช้หน่วยวัดพื้นฐานสี่ตัวคือ แรง, ความยาว , อุณหภูมิ และ เวลา เราสามารถเลือกหน่วยได้อย่างหลากหลาย เช่น Kip, in, F หรือ N, mm, C โดยจะแสดงหน่วยที่กำลังใช้อยู่ที่มุมขวาล่างของหน้าจอ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหน่วยได้ตลอดเวลา ในขณะใช้งานโปรแกรม



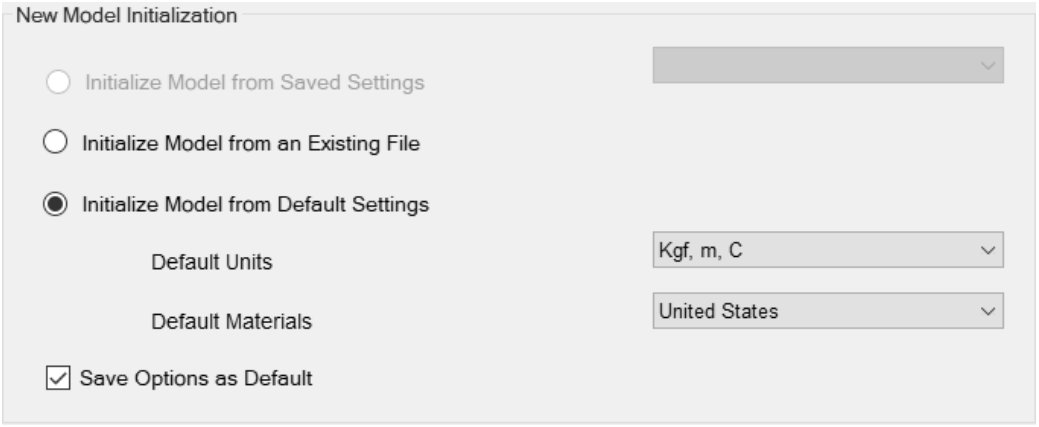
การวัดมุมโดยทั่วไปเช่นทิศทางของแกนต่างๆจะวัดเป็นองศา แต่การเคลื่อนตัวแบบหมุนมักจะใช้หน่วยเรเดียน เวลาจะใช้หน่วยเป็นวินาที และความถี่จะวัดเป็น รอบ/วินาที (Hz)

การสร้างโมเดลใหม่

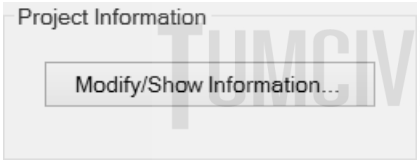
- เลือกหน่วย Kgf, m, C แล้วสั่งเมนู File > New หรือ คลิกปุ่ม บนทูลบาร์ หรือ กด Ctrl+N เพื่อเริ่มสร้างโมเดลใหม่ หน้าต่าง New Model จะแสดงขึ้นมาดังในรูป



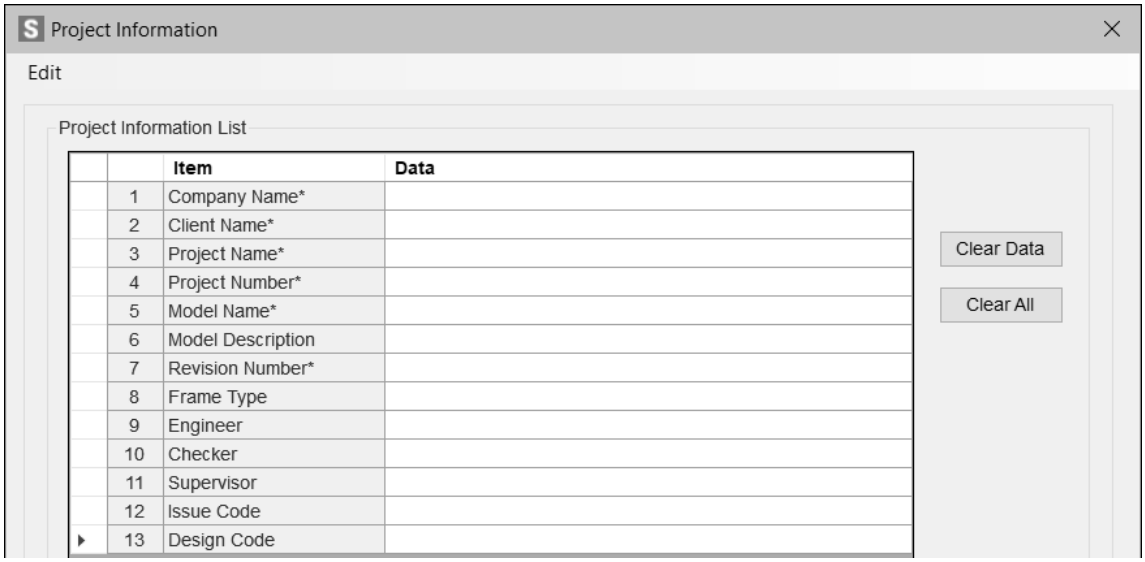
ในหน้าต่างจะแบ่งเป็น 3 กรอบคือ New Model Initialization, Project Information และ Select Template



เราสามารถบันทึกการตั้งค่าเป็นไฟล์เก็บไว้เพื่อใช้กับโมเดลใหม่โดยเลือก Initialize Model from Saved Settings เลือก Initialize Model from Defaults with Units จะเริ่มต้นโมเดลโดยใช้ค่าต่างๆตามที่กำหนดมากับตัวโปรแกรมตามหน่วยที่ระบุ แต่ถ้าเป็น Initialize Model from an Existing File จะเริ่มต้นโปรแกรมโดยใช้ค่าที่กำหนดตามไฟล์เดิมที่มีอยู่ ไม่ว่าจะเป็นหน้าตัด น้ำหนักบรรทุก และอื่นๆ



ในกรอบ Project Information จะเป็นข้อมูลต่างๆของโครงการ คลิกปุ่ม Modify/Show Info... เพื่อให้แสดงข้อมูลและแก้ไข

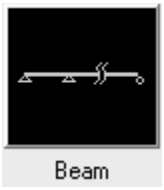


โดยข้อมูลที่มีเครื่องหมาย * จะปรากฏบนหน้าปกรายงาน

ในกรอบ **Select Template** จะเป็นแบบร่างซึ่งเป็นรูปแบบโมเดลโครงสร้างทั่วไปที่มีให้เลือกเพื่อให้การสร้างโมเดลทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วโดยผู้ใช้ใส่ค่าตัวแปรต่างๆเข้าไป มีรูปแบบโครงสร้างหลายรูปแบบให้เลือกดังนี้

Blank เป็นการเปิดขึ้นมาเป็นพื้นที่ว่างโดยไม่มีการสร้างอะไรขึ้นมาเลย

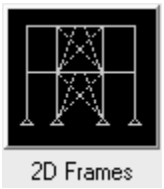
Grid Only เริ่มต้นด้วยการสร้างเส้นกริดเท่านั้น โดยโปรแกรมจะให้เรากำหนดระบบพิกัด จำนวนและระยะห่างของเส้นกริดในแต่ละทิศทาง



Beam สร้างโมเดลคานโดยจะให้เรากำหนดจำนวนช่วง ความยาวช่วง และหน้าตัดคาน

2D Trusses สร้างโมเดลโครงถักสองมิติ มีทั้งโครงถักเอียง โครงถักแนวดิ่ง และโครงถักแพร็ต โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

3D Trusses สร้างโมเดลโครงถักสามมิติ มีทั้งโครงถักหลังคา เสาส่งสัญญาณ และเสาสัญญาณแบบมีเคเบิ้ลยึด โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด



2D Frames สร้างโมเดลโครงข้อแข็งสองมิติ มีทั้งแบบโครงพอร์ทัล และโครงยึดโยง(แบบตรงศูนย์ หรือแบบเยื้องศูนย์) โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

3D Frames สร้างโมเดลโครงข้อแข็งสามมิติ มีทั้งโครงเปิด อาคารโครงรอบ อาคารแบบคาน-พื้น และอาคารแบบพื้นไร้คาน โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

Wall สร้างโมเดลผนังเฉือน โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

Flat Slab สร้างโมเดลพื้นไร้คาน โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

THUMCIVIL.COM

Shells สร้างโมเดลโครงสร้างเปลือกแข็ง มีทั้งแบบทรงกระบอก ทรงโค้งช่วงเดี่ยว ทรงโค้งหลายช่วง ทรงไฮเปอร์โบลิก โดมทรงกลม และทรงพาราโบลิก โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

Staircases สร้างโมเดลบันไดมีทั้งแบบขาเดียวต่อชั้น สองขาต่อชั้น และแบบเกลียว โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

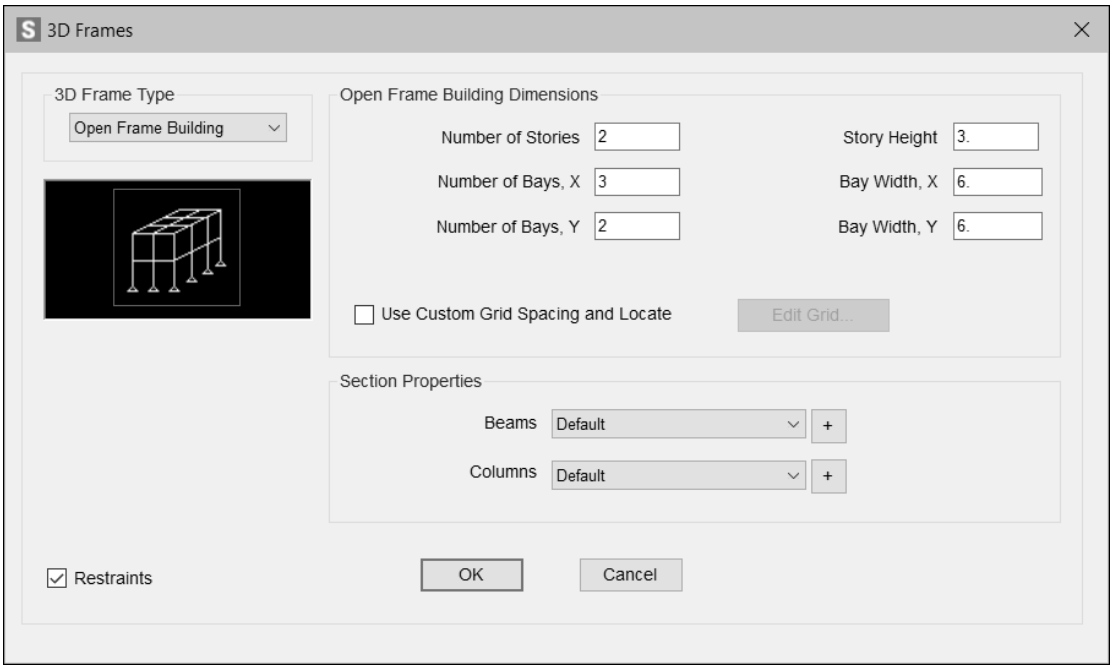
Storage Structures สร้างโมเดลถังสูงทั้งแบบแท้งน้ำ และไซโลทรงกระบอก โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

Underground Concrete สร้างโมเดลคอนกรีตใต้ดิน โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

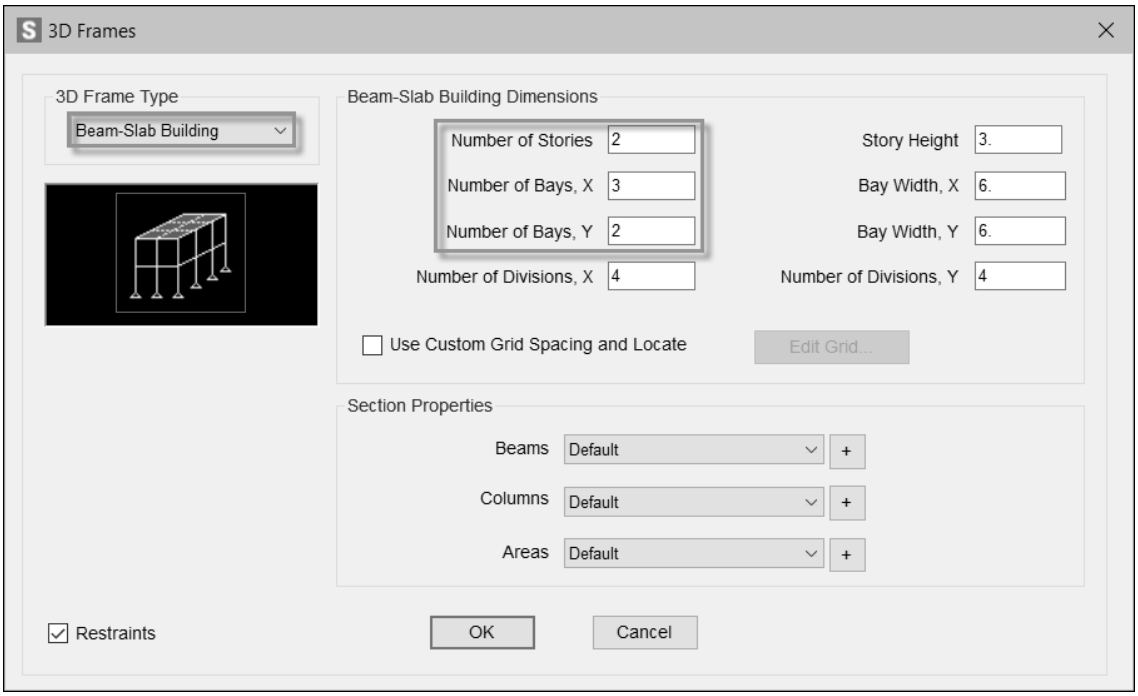
TUMCIVIL.COM

Solid Models สร้างโมเดลวัตถุมีทั้งแบบโค้งหนาคงที่ โค้งหนาแปรเปลี่ยน ปริซึม และบล็อก โดยผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดและหน้าตัด

▶ คลิกรูป 3D Frames เพื่อสร้างโครงสามมิติ หน้าต่าง 3D Frames จะแสดงขึ้นมาให้เลือกชนิดของ Frame จำนวนชั้น จำนวนช่อง และระยะห่างในแต่ละทิศทาง

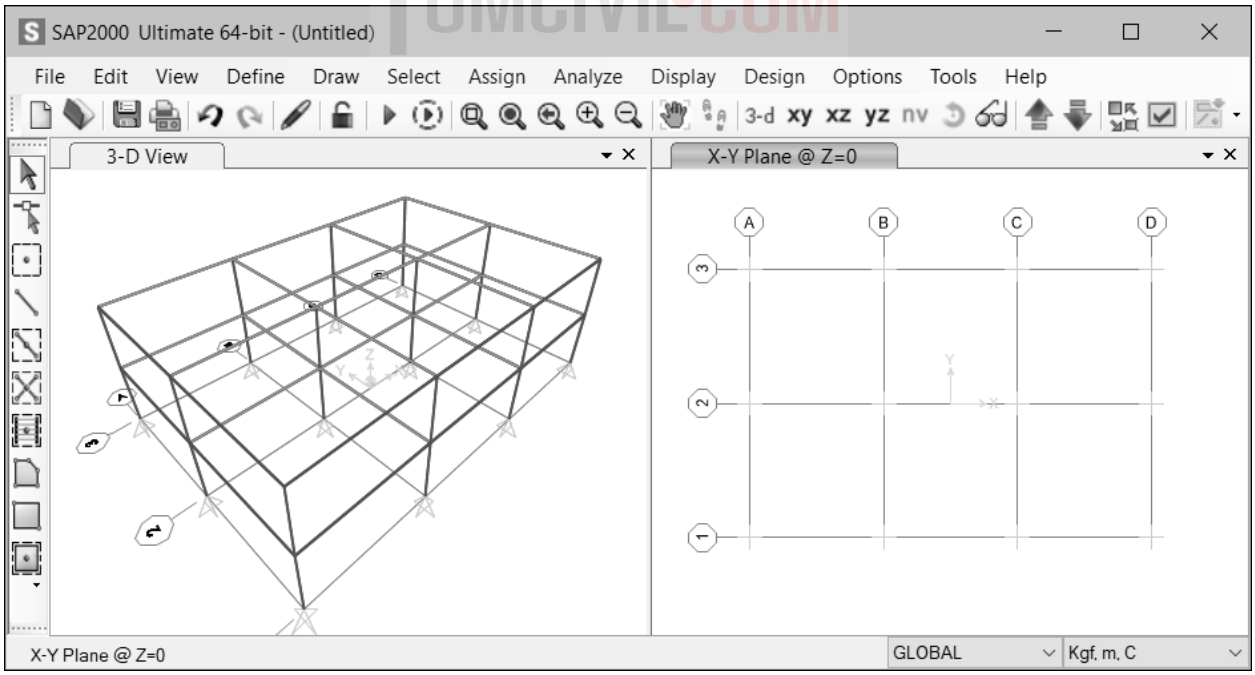


▶ เลือกโครงชนิด Beam-Slab Building และกำหนดค่าต่างๆดังในรูปข้างล่าง



เมื่อคลิกปุ่ม OK โมเดลจะถูกสร้างขึ้น และปุ่มต่างๆบนทูลบาร์ทั้งด้านบนและด้านข้างจะมีสีสันขึ้นหมายถึงใช้งานได้ดังในรูป

TUMCIVIL.COM

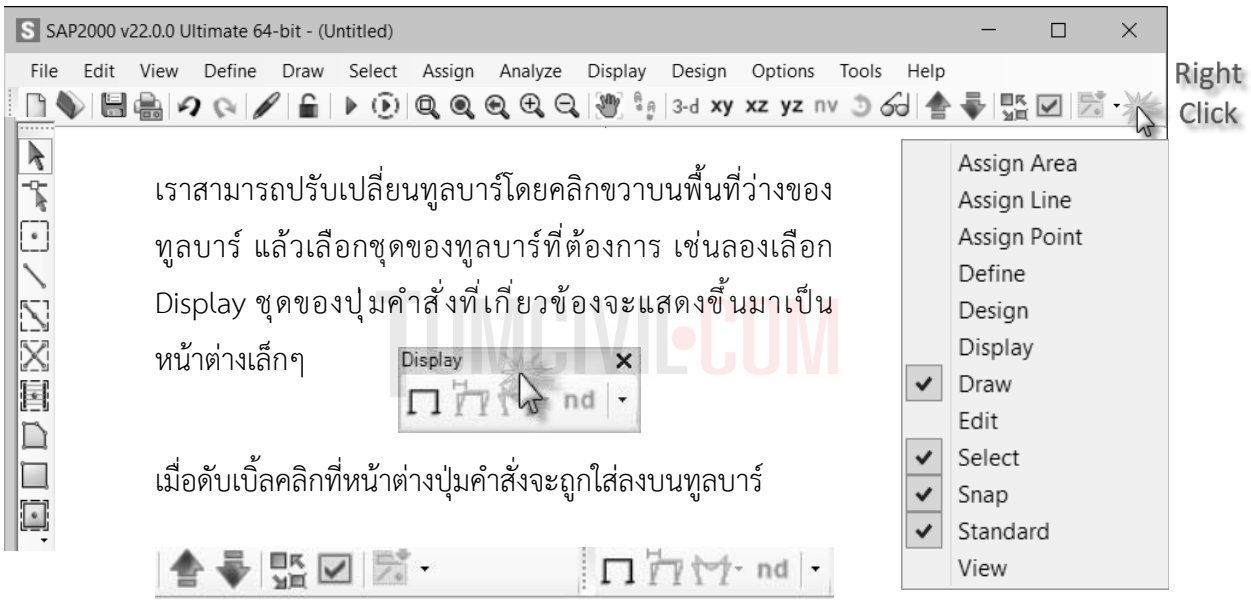


ในพื้นที่กราฟิกแสดงโมเดลจะแบ่งเป็นสองมุมมองคือ 3-D View แสดงรูปสามมิติ และ X-Y Plan แสดงรูปแปลนบนระนาบราบ X-Y ที่ระดับความสูง @ Z = 0

สภาวะแวดล้อมของโปรแกรม (Graphical User Interface, GUI)

ระบบการทำงานทุกขั้นตอนของ SAP2000 จะอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยจะแสดงผลบนหน้าจอกราฟฟิกในลักษณะต่างๆ เช่นในขั้นตอนการสร้างโมเดลจะแสดงรูปโครงสร้างโมเดลดังที่เห็นในรูป เมื่อรันการวิเคราะห์แล้วออกแบบก็จะแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบในหน้าจอเดิม

หน้าจอของโปรแกรมค่าย CSI ไม่ว่าจะเป็น SAP2000, ETABS และ SAFE จะมีรูปแบบเดียวกันทำให้ผู้ใช้ที่ใช้เป็นตัวหนึ่งแล้วจะเรียนรู้ตัวที่เหลือได้อย่างรวดเร็ว โดยหน้าจอจะแบ่งเป็น **เมนู(Menu)** ที่แถวบนสุดซึ่งจะมีทุกคำสั่งที่ใช้งานแบ่งตามกลุ่มและเรียงตามการใช้งาน เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งาน **ทูลบาร์(Toolbar)** แถบของปุ่มคำสั่งต่างๆซึ่งเราใช้งานบ่อย โดยจะมีทูลบาร์ด้านบนอยู่ถัดลงมาจากเมนู และทูลบาร์ในแนวดิ่งด้านข้างซ้าย

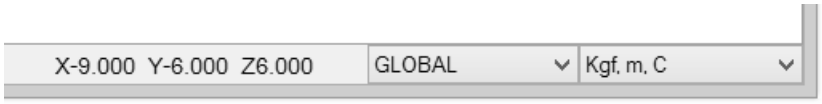


เราสามารถปรับเปลี่ยนทูลบาร์โดยคลิกขวาบนพื้นที่ว่างของทูลบาร์ แล้วเลือกชุดของทูลบาร์ที่ต้องการ เช่นลองเลือก Display ชุดของปุ่มคำสั่งที่เกี่ยวข้องจะแสดงขึ้นมาเป็นหน้าต่างเล็กๆ

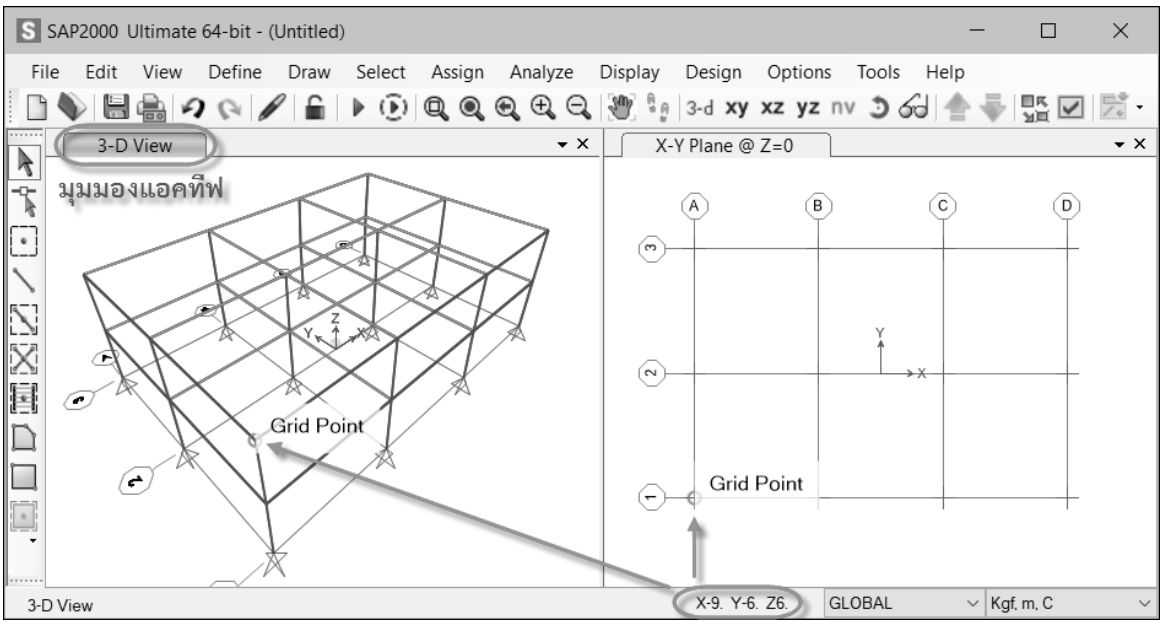
เมื่อดับเบิ้ลคลิกที่หน้าต่างปุ่มคำสั่งจะถูกใส่ลงบนทูลบาร์

แถบสถานะ(Status bar) ด้านล่างจะแสดงสถานะต่างๆ เช่นในขณะสร้างโมเดลทางข้างซ้ายจะแสดงว่าหน้าหน้าต่างไหน **แอคทีฟ(active)** คือใช้งานอยู่ โดยเราสามารถคลิกที่ชื่อมุมมองให้หน้าต่างแอคทีฟเพื่อทำงานในหน้าต่างนั้น

ลองคลิกหน้าต่าง 3-D View แล้วเลื่อนตัวชี้มาที่จุดต่อที่มุมอาคาร ในหน้าต่าง Plan View ก็จะแสดงตำแหน่งที่เราชี้เช่นกัน ส่วนแถบสถานะด้านล่างซ้ายจะแสดงว่าตอนนี้อยู่ในหน้าต่าง 3-D ส่วนทางฝั่งขวาจะแสดงพิกัดที่ตัวชี้อยู่ ในช่องถัดมาแสดงระบบกริดซึ่งตอนนี้มีหนึ่งระบบคือ Global



และช่องขวาสุดจะแสดงหน่วยที่ใช้ ณ ขณะนี้ โดยผู้ใช้สามารถเปลี่ยนหน่วยได้ตลอดเวลา ซึ่งก็เป็นจุดที่เสี่ยงต่อการผิดพลาด ดังนั้นจึงควรสังเกตหน่วยในช่องนี้เป็นประจำขณะทำงาน

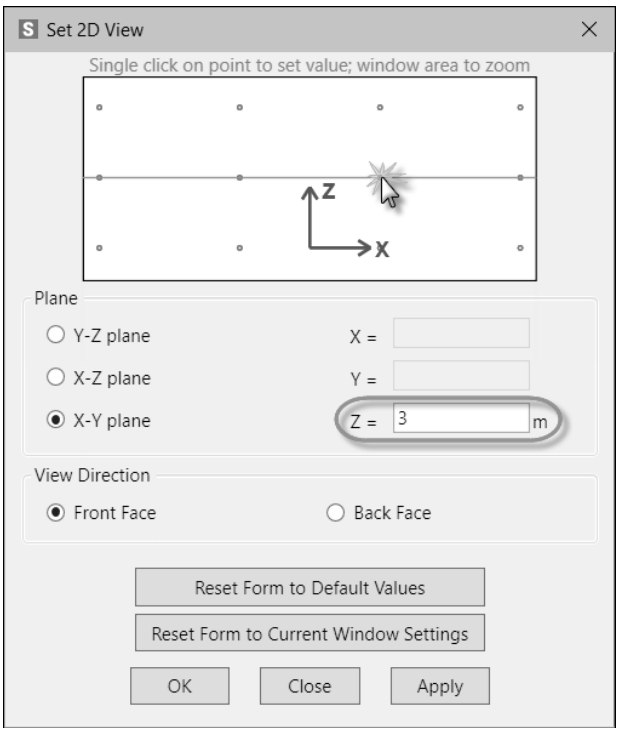


สัญลักษณ์ **แกนพิกัดรวม(Global Coordinate)** ของระบบกริดที่ใช้อยู่ตอนนี้คือ Global จะมีลักษณะเป็นลูกศรสามทิศทางโดยมีตัวอักษร X, Y และ Z กำกับ ซึ่งสำหรับโปรแกรมของค่าย CSI แกน Z จะอยู่ในแนวดิ่ง โดยมีแกน X, Y อยู่ในระนาบราบ โดยมีทิศทางตามกฎมือขวา

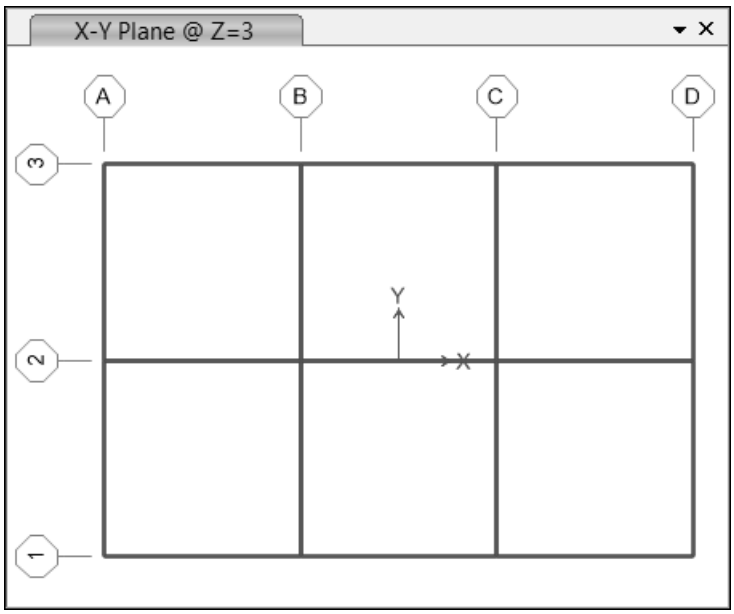
การเปลี่ยนมุมมอง 2D

TOMCIVIL.COM

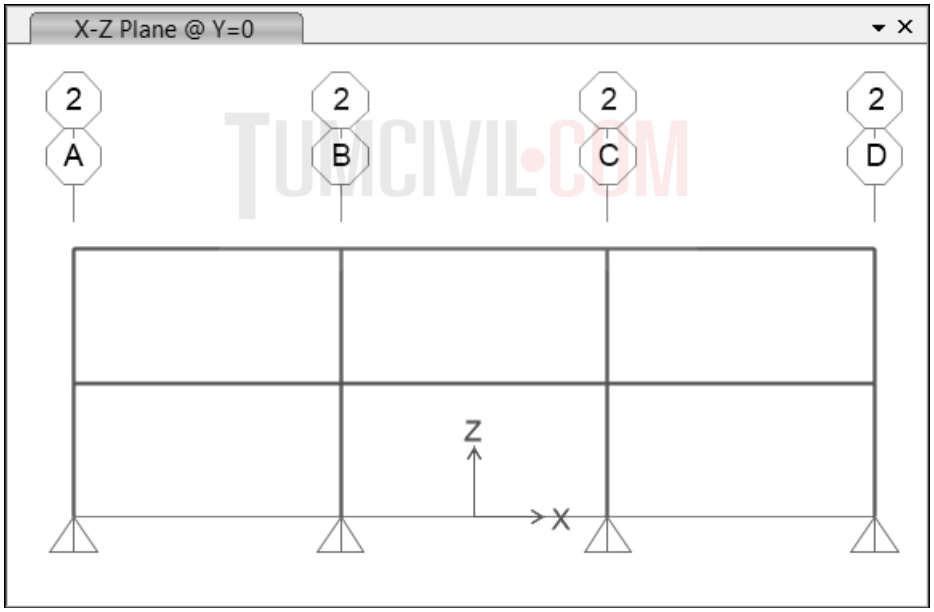
มุมมองใน SAP2000 จะแบ่งเป็นมุมมองสามมิติ (3D) และแบบ (2D) ซึ่งตอนนี้หน้าต่างซ้ายเป็น 3-D View เป็นมุมมองแบบ 3D ส่วนหน้าต่างขวาจะเป็น X-Y Plane ซึ่งเป็นมุมมองแบบ 2D



- คลิกหน้าต่าง X-Y Plane @ Z=0 ทางขวาให้แอคทีฟ โดยคลิกพื้นที่ภายในหน้าต่าง ชื่อหน้าต่างจะด้านบนจะถูกไฮไลท์ ตอนนี้เราอยู่ที่ระดับ Z=0 ซึ่งจะเห็นเฉพาะเส้นกริดและฐานราก
- สั่งเมนู View > Set 2D View... หรือกด Ctrl+Shift+F2 หน้าต่าง Set 2D View จะแสดงขึ้นมา ให้เปลี่ยนค่าเป็น Z=3 หรือคลิกที่จุดในจอเล็กให้เส้นสีแดงขยับขึ้นมาที่ระดับความสูงที่ต้องการ
- คลิกปุ่ม OK ในหน้าต่างทางขวาจะกลายเป็น X-Y Plane @ Z=3 จะเห็นคานที่ระดับความสูง 3 m

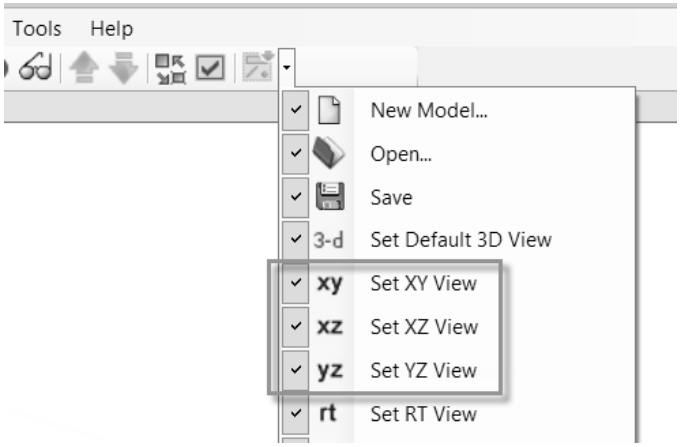


เราสามารถใช้การกำหนดระนาบในสองทิศทาง และระยะในทิศทางที่สาม แสดงมุมมองด้านข้างได้ในลักษณะเดียวกันเช่นลองเลือกเป็น X-Z plane @ Y=0 ก็จะได้รูปด้านข้าง

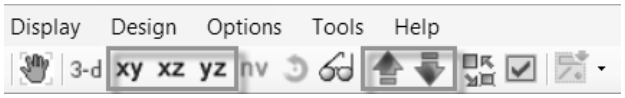


นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดทิศทางการมองว่าจะมองจาก ด้านหน้า(Front Face) หรือจากด้านหลัง (Back Face) ได้อีกด้วย

อีกวิธีหนึ่งในการกำหนดมุมมอง 2D คือคลิกปุ่มระนาบ xy, xz, yz บนทูลบาร์ ซึ่งถ้ายังไม่มีให้เลือกใส่เพิ่มเข้ามาก่อน โดยคลิกที่ปุ่ม ปลายแถวของปุ่มในทูลบาร์ รายการปุ่มที่แสดงอยู่มีเครื่องหมายถูกอยู่ด้านหน้า ซึ่งเราสามารถเปิดปิดการแสดงปุ่มต่างๆบนทูลบาร์ได้อย่างง่ายดายในลักษณะเช่นเดียวกันนี้



เมื่อเลือกรายการ xy, xz และ yz แล้ว จะมีปุ่มปรากฏบนทูลบาร์ดังในรูป



นอกจากนั้นเมื่อกดปุ่มลูกศรขึ้นลง จะเป็นการย้ายไปตามระยะเส้นกริดต่างๆ เช่นลองกด yz แล้วกดปุ่มขึ้นลง สังเกตการณ์แสดงเส้นกริดที่เปลี่ยนไป ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เราปรับเปลี่ยนมุมมอง 2D ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

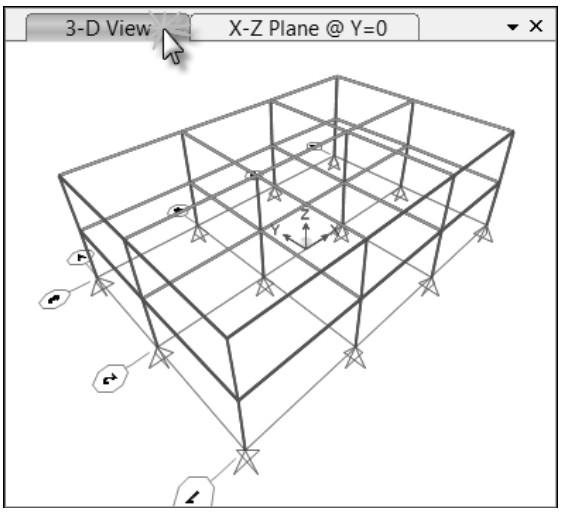
การจัดการหลายหน้าต่างแสดงผล

TUMCIVIL.COM

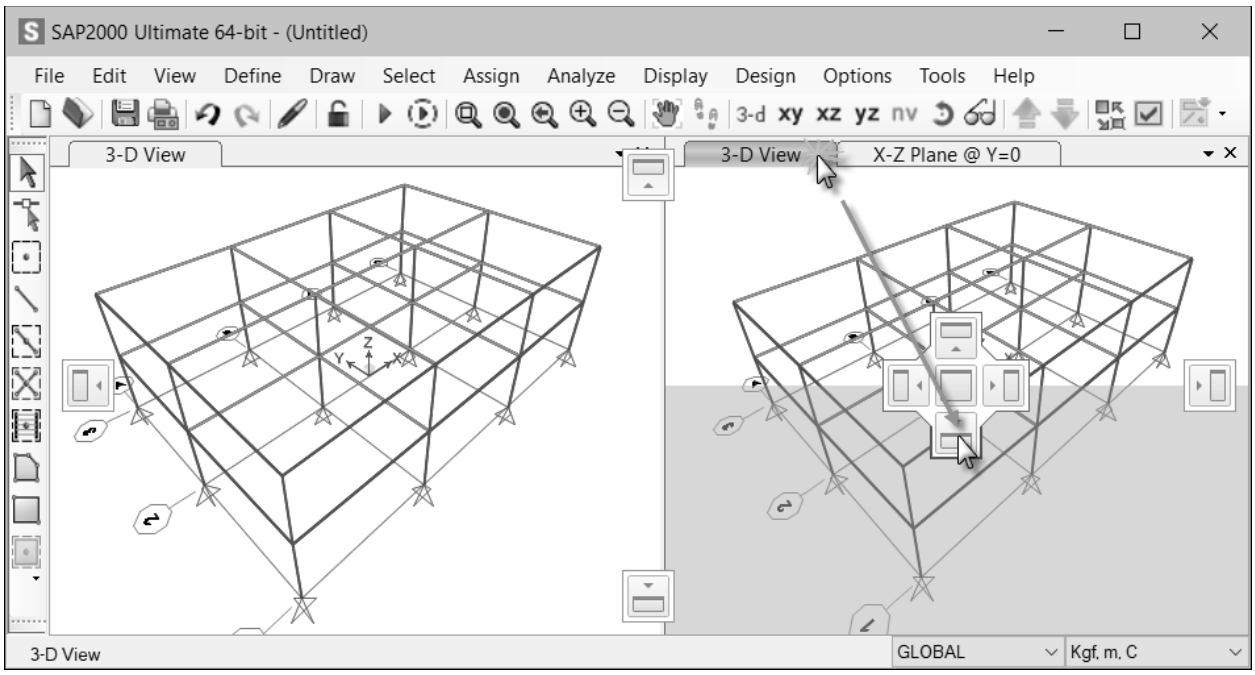
SAP2000 ตั้งแต่เวอร์ชั่น 17 มีความสามารถในการเปิดหน้าต่างแสดงผลได้มากกว่าสองหน้าต่าง โดยผู้ใช้สามารถจัดวางหน้าต่างได้ตามตำแหน่งและขนาดที่ต้องการ

- คลิกรูปสามเหลี่ยมที่มุมขวาบนของหน้าต่าง X-Z Plane @ Y=0

หน้าต่างใหม่ 3-D View จะถูกสร้างขึ้นซ้อนทับหน้าต่างเดิมดังในรูป

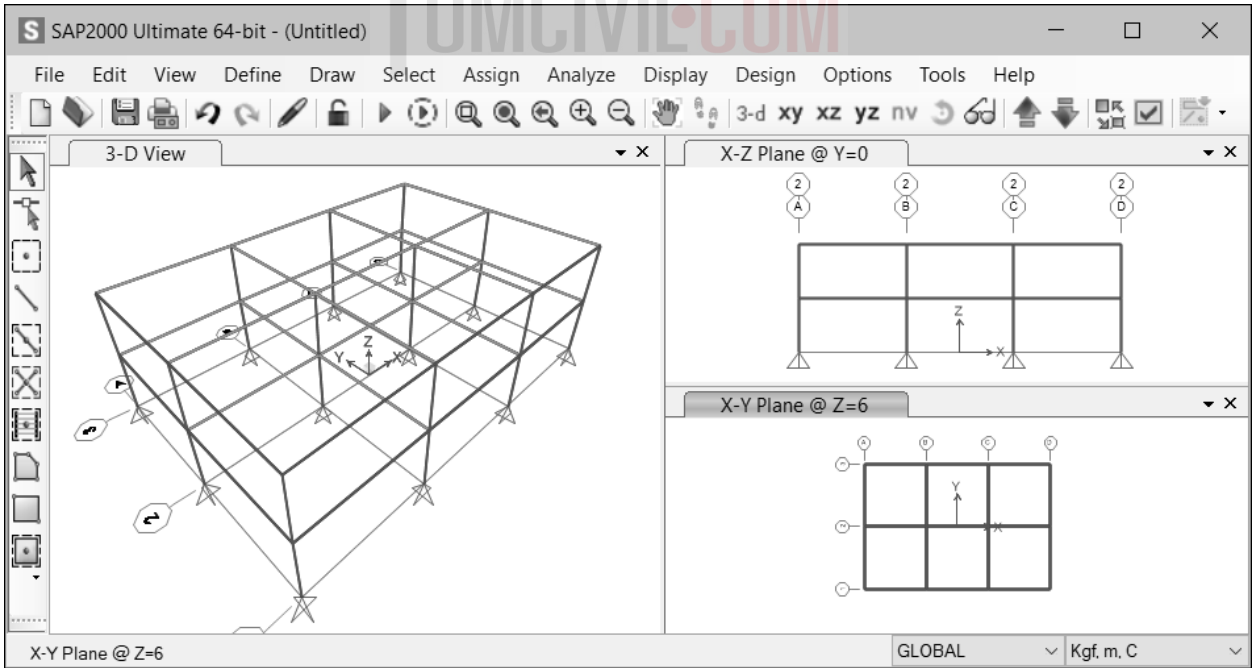


- คลิกลากที่ชื่อหน้าต่าง 3-D View ออกมา จะมีแผงควบคุมการวางตำแหน่งแสดงขึ้นมาให้เราเลือกวางหน้าต่างตามต้องการ



- คลิกปุ่ม เปลี่ยนเป็นมุมมอง X-Y Plane จะได้หน้าต่างดังในรูป

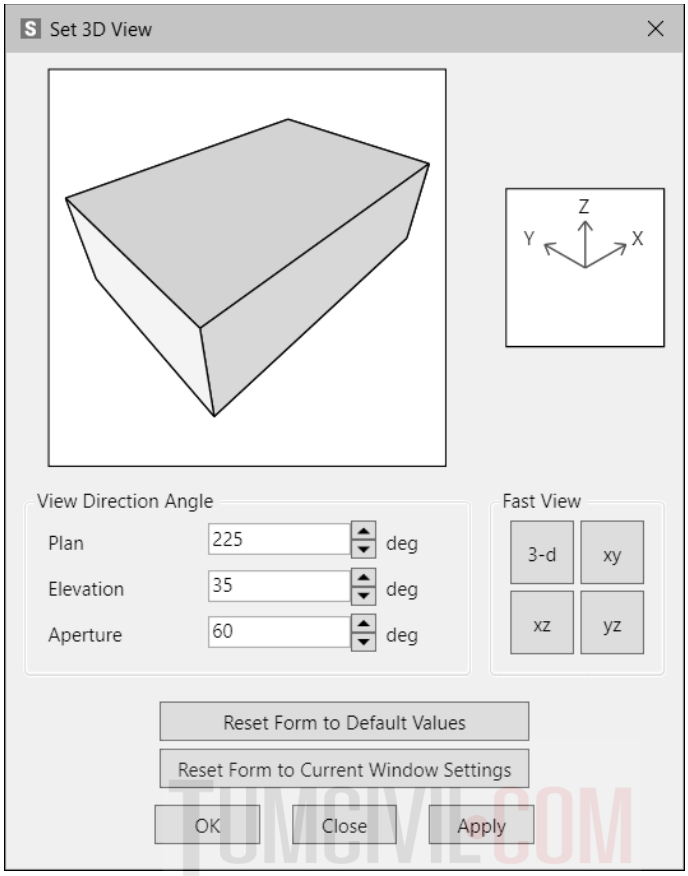
TUMCIVIL.COM



การเปลี่ยนมุมมอง 3-D

การปรับมุมมอง 3-D จะทำได้หลากหลายกว่า 2-D ก่อนอื่นให้คลิกเลือกหน้าต่างทางซ้ายที่แสดงรูป 3-D View ให้เป็นหน้าต่างแอคทีฟก่อน

- สั่งเมนู View > Set 3D View... หรือกด Ctrl+Shift +F3 หน้าต่าง Set 3D View จะแสดงขึ้นมาให้เรากำหนดมุมต่างๆในการแสดงรูปสามมิติ



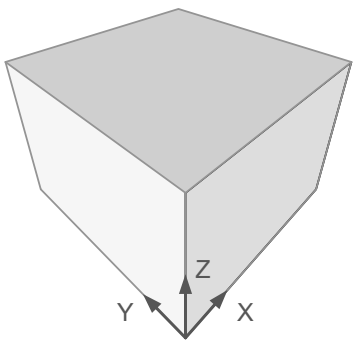
ทิศทางมุมมองมีดังนี้ :

- **Plan angle:** มุมราบในระนาบ XY วัดจากแกนบวก X ในทิศทวนเข็มนาฬิกา

- **Elevation angle:** มุมยกจากระนาบ XY ขึ้นไปยังแกนบวก Z

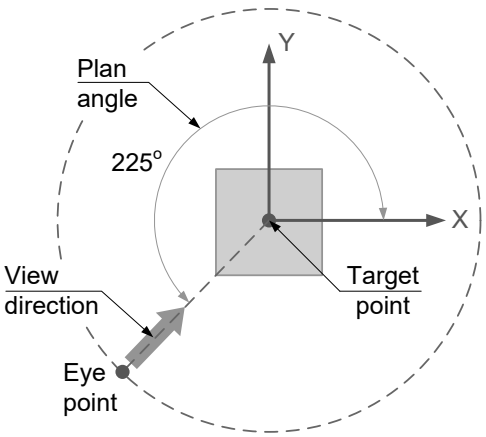
- **Aperture angle:** ความแคบกว้างของมุมหรือระยะห่างจากสายตาถึงวัตถุ

เมื่อคลิกปุ่ม จะได้มุมมอง Default 3D จะถูกตั้งค่า Plan angle = 225°, Elevation angle = 35° และ Aperture angle = 60°

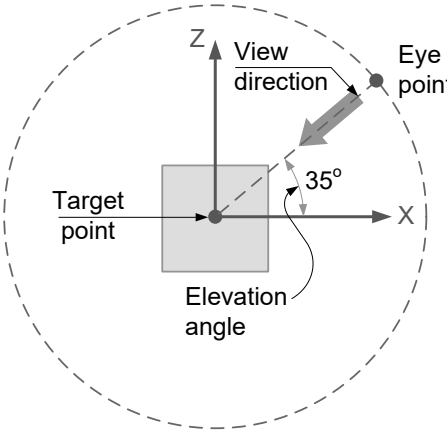


Plan angle = 225°
Elevation angle = 35°
Aperture angle = 60°

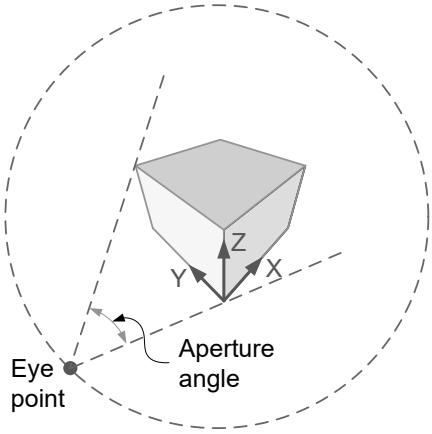
Default 3D View



Plan Angle

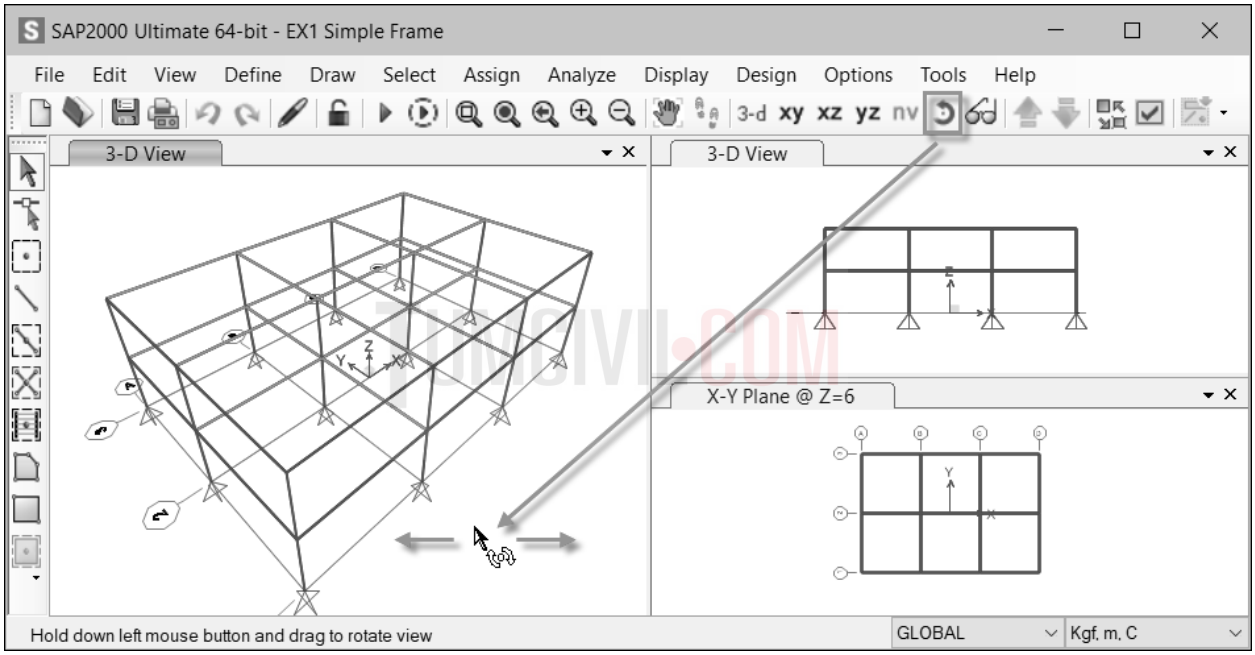


Elevation Angle



Aperture Angle

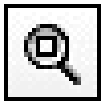
การเปลี่ยนมุมมอง 3D สามารถสั่งได้จากบนทูลบาร์โดยคลิกปุ่ม Rotate 3D View



- เลื่อนตัวชี้เข้ามาในหน้าต่าง 3-D View กดเม้าส์ปุ่มซ้ายค้างไว้ แล้วขยับเม้าส์เพื่อหมุนโมเดล
- ถ้าต้องการกลับมายังมุมมองดั้งเดิม คลิกปุ่ม Set Default 3D View

การปรับมุมมอง Zoom & Pan

Zoom & Pan เป็นคำสั่งซูมขยายและเคลื่อนย้ายซึ่งใช้มากในการวาดโมเดลและตรวจสอบโมเดล สามารถได้จากเมนู View หรือคลิกปุ่มบนทูลบาร์ได้โดยตรง มีคำสั่งให้ใช้ดังนี้

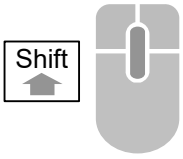
	Rubber Band Zoom [F2] ซูมแบบตีกรอบหน้าต่าง โดยคลิกมุมซ้ายบนแล้วลากทแยงลงมาที่มุมขวาล่างของบริเวณที่ต้องการซูมขยาย

	Restore Full View [F3] แสดงมุมมองของทั้งโมเดล มักใช้หลังจากซูมขยาย แล้วต้องการกลับมาแสดงมุมมองทั้งหมดเหมือนเดิม
	Previous Zoom ซูมย่อขยายย้อนกลับตามครั้งก่อนหน้า
	Zoom In One Step [Shift+F2] ซูมขยายหนึ่งระดับคือ 10%
	Zoom Out One Step [Shift+F3] ซูมย่อหนึ่งระดับคือ 10%
	Pan [Shift+F4] ตัวชี้จะกลายเป็นรูปมือ ให้เราจับโมเดลเคลื่อนย้ายมุมมองได้ตามต้องการ

TUMCIVIL.COM

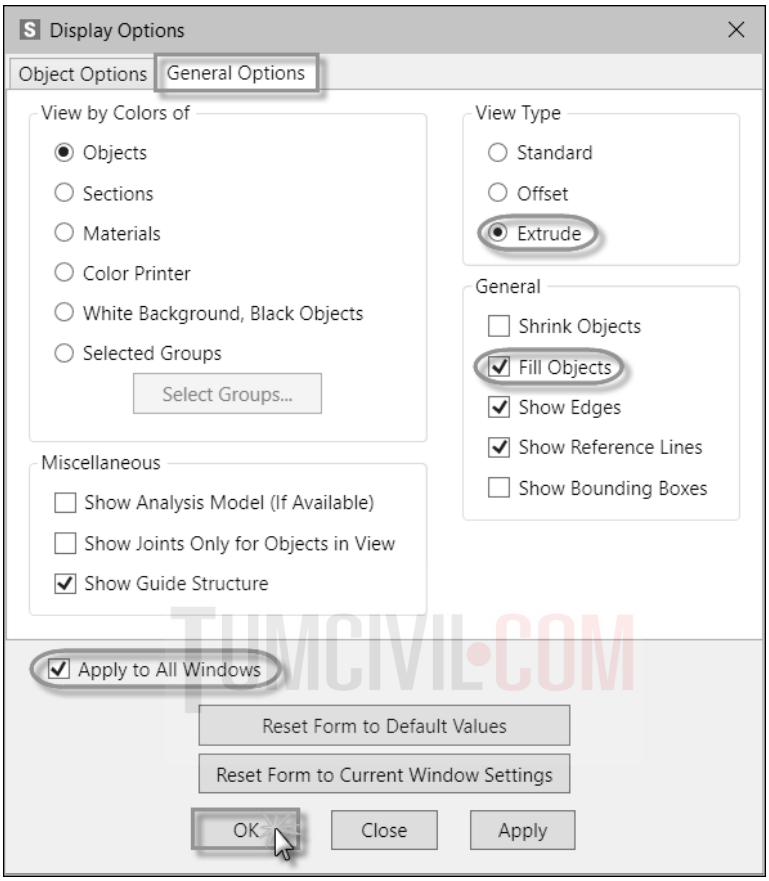
การใช้เม้าส์ในการปรับมุมมอง

การใช้เม้าส์ในการควบปรับเปลี่ยนมุมมองจะช่วยให้ทำงานได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยใน SAP2000 จะมีเทคนิคการใช้งานเม้าส์เหมือนกับใน AutoCAD โดยใช้ **ล้อกลิ้ง (scholl wheel)** ของเม้าส์ ดังนี้คือ

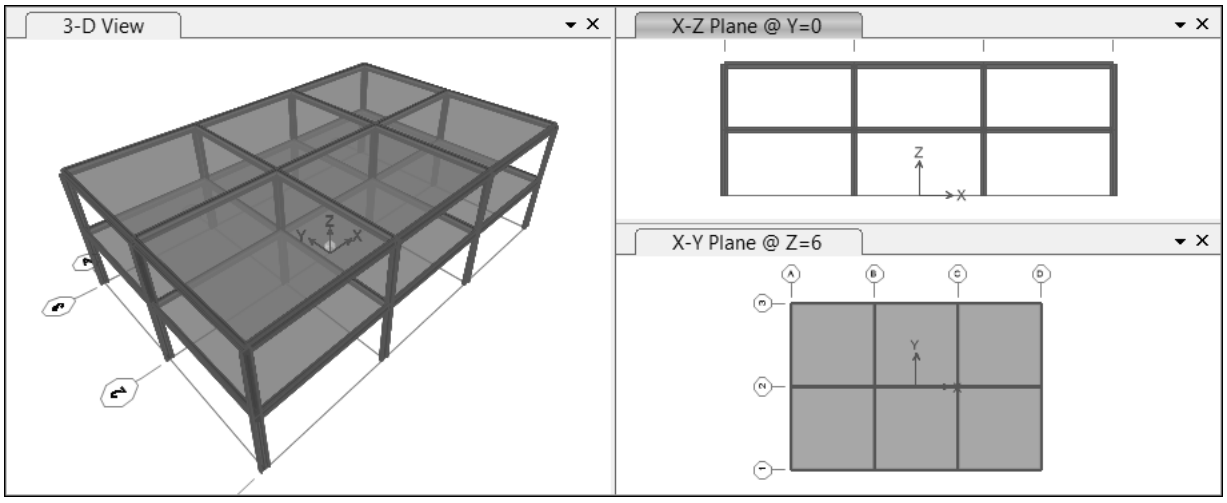
	Zoom กลิ้งออกจากตัวเราจะซูมขยาย กลิ้งเข้าหาตัวจะซูมย่อ
	Pan กดลูกกลิ้งค้างไว้ แล้วขยับเม้าส์จะเป็นการขยับภาพวาด
	Rotate 3D View กดปุ่ม Shift และลูกกลิ้งค้างไว้ แล้วขยับเม้าส์จะเป็นการปรับมุมมองสามมิติ

การตั้งค่าแสดงผล (Set Display Options)

เป็นการกำหนดค่าในการแสดงผลของวัตถุในรูปแบบต่างๆ การสั่งทำโดยการเลือกเมนู View > Set Display Options หรือกด Ctrl+W หรือคลิกปุ่ม บนทูลบาร์



- สั่ง Set Display Options ในหน้าต่างที่แสดงขึ้นมาให้เลือกแถบ General Options เลือก View Type > Extrude และ General > Fill Objects และเลือก Apply to All Windows

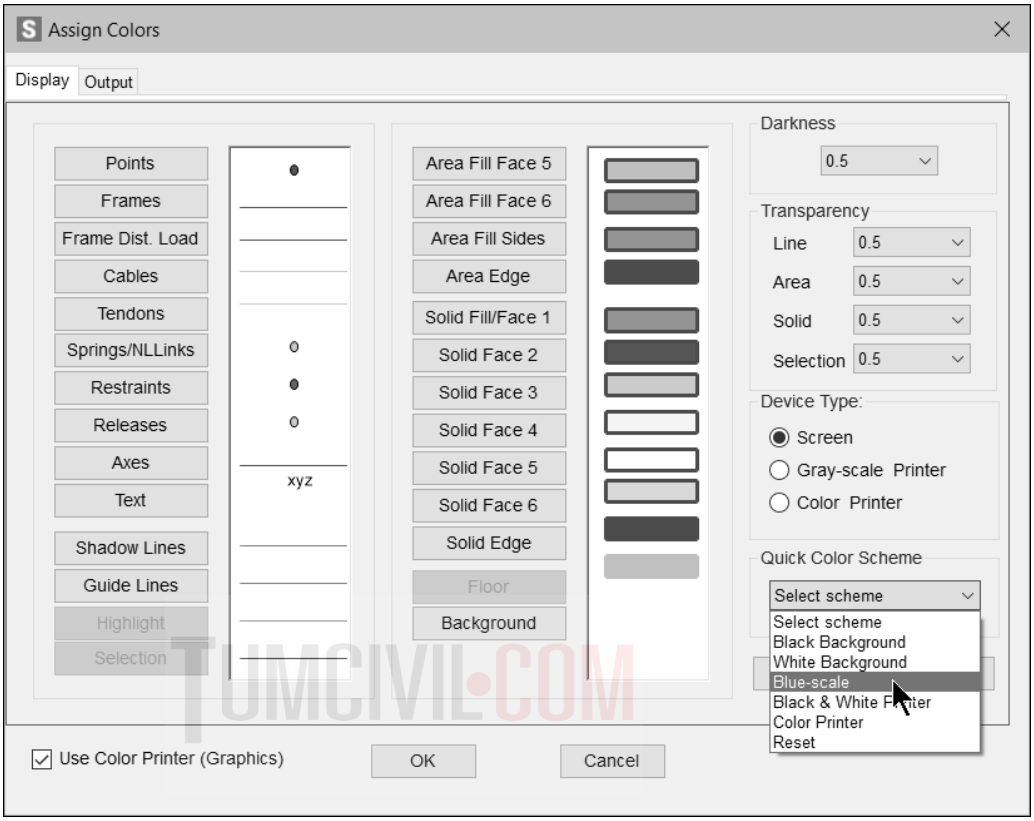


โมเดลจะถูกแสดงโดยมีขนาดหน้าตัด (Extrude View) และแสดงพื้น (Fill Object) ในทุกหน้าต่าง

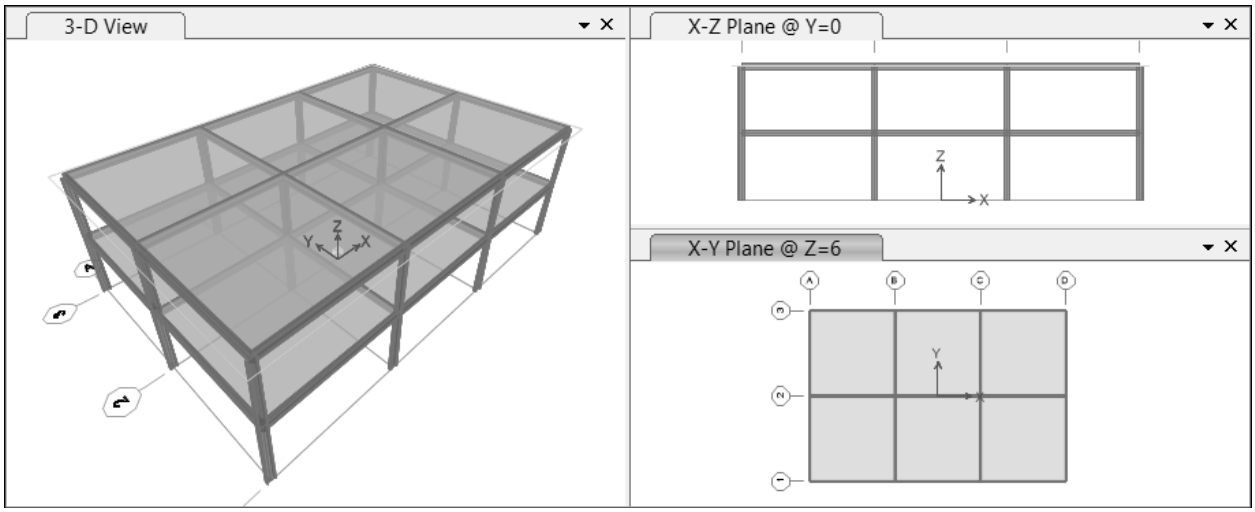
▶ สั่งเมนู File > Save หรือกด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูล ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX1 Simple Frame

การตั้งค่าสีวัตถุ

▶ เลือกเมนู Options > Colors > Display หน้าต่างกำหนดค่าสีสำหรับวัตถุต่างๆจะแสดงขึ้นมา

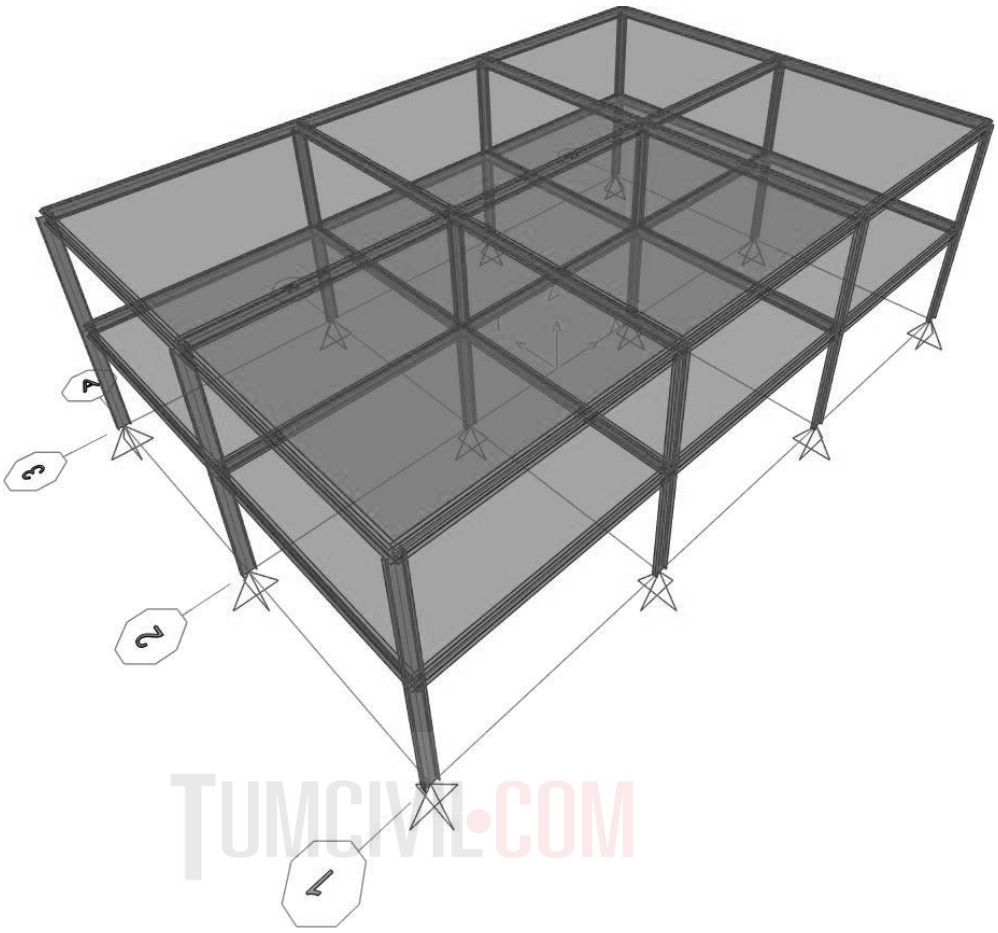


▶ ในช่อง Quick Color Scheme เป็นการเลือกชุดสีแบบรวดเร็ว ที่ใช้อยู่ตอนนี้จะเป็นชุด White Background อาจเลือกเป็น Black Background เพื่อถนอมสายตา หรือเลือกเป็นชุด Blue-scale เพื่อให้สีอ่อนลงดังในรูป

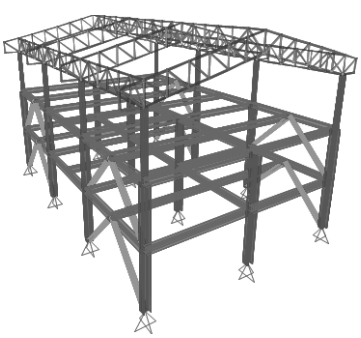


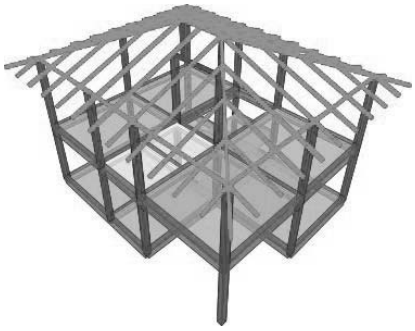
▶ สั่งเมนู Options > Colors > Display > Quick Color Scheme > White Background

- สั่งเมนู Options > Graphics Mode > DirectX จะได้รูปโมเดลที่คมชัดขึ้น หรือ เลือก Classic Plus เพื่อให้การทำงานรวดเร็วขึ้น



TUMCIVIL.COM





3

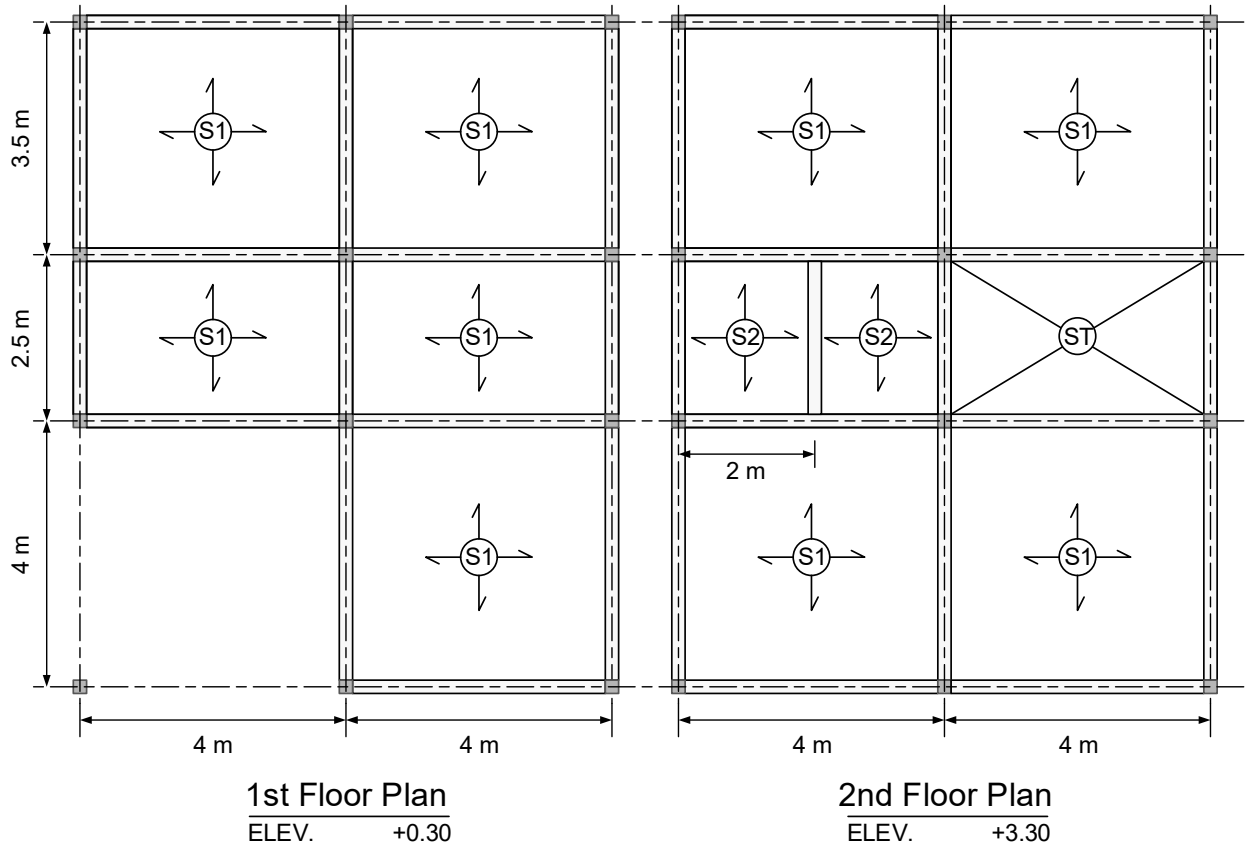
การสร้างโมเดล

ในบทนี้จะแนะนำขั้นตอนการสร้างโมเดลใน SAP2000 โดยเริ่มจากโมเดลบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อแนะนำขั้นตอนการกำหนดกริด การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ การกำหนดหน้าตัดเสาและคาน การกำหนดพื้นตามชนิดของวัตถุพื้นที่ และการใช้คำสั่งในการวาดวัตถุ ต่อจากนั้นจะเป็นโมเดลโครงสร้างเหล็ก ซึ่งจะกล่าวถึงการกำหนดหน้าตัดเหล็ก และการกำหนดจุดต่อปลายคาน

โมเดลอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น

TUMCIVIL.COM

ตัวอย่างแรกของการสร้างโมเดลคือบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น มีแปลนพื้นชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ดังแสดงในรูป



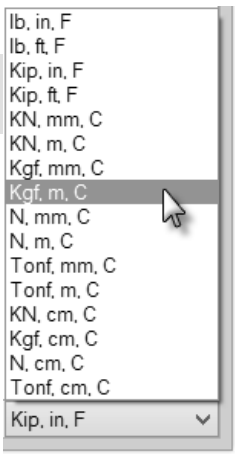
เสา: 0.20 x 0.20 ม. คาน: 0.20 x 0.40 ม.

พื้น: S1 = พื้นหล่อในที่สองทาง หนา 0.12 ม.

S2 = พื้นหล่อในที่สองทาง หนา 0.10 ม.

ST = พื้นบันได หนา 0.12 ม.

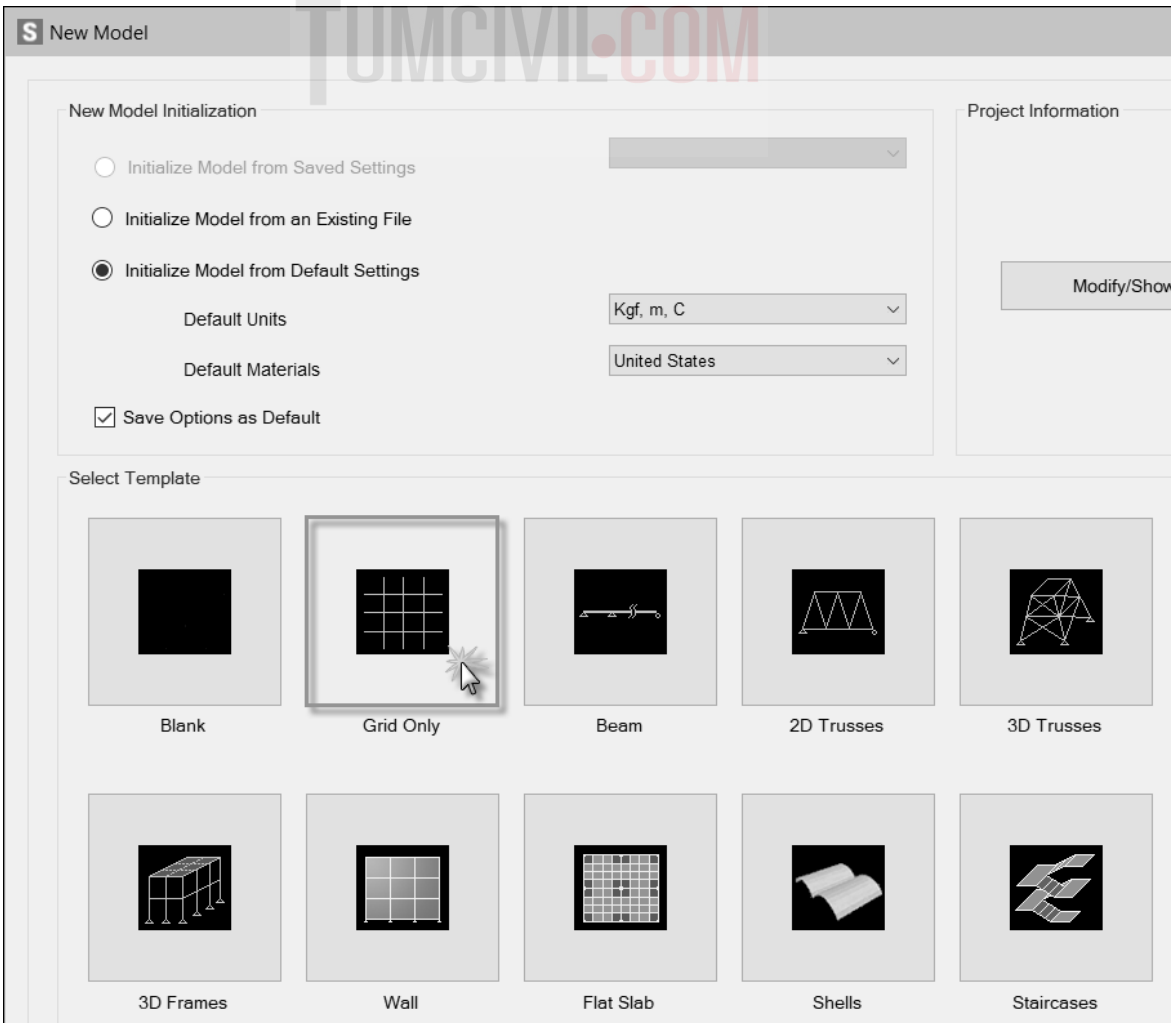
ในการสร้างโมเดลจะประกอบด้วยการกำหนดวัสดุ เส้นกริด หน้าตัดองค์อาคาร การวาดองค์อาคาร และกำหนดจุดรองรับ จากนั้นจะมาสู่ขั้นตอนการใส่น้ำหนักบรรทุก แล้วจึงทำการวิเคราะห์และออกแบบ บางครั้งเมื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์หรือออกแบบแล้วต้องการแก้ไข ก็สามารถกลับมาแก้ไขโมเดลใหม่ได้โดยการปลดล็อกโมเดล



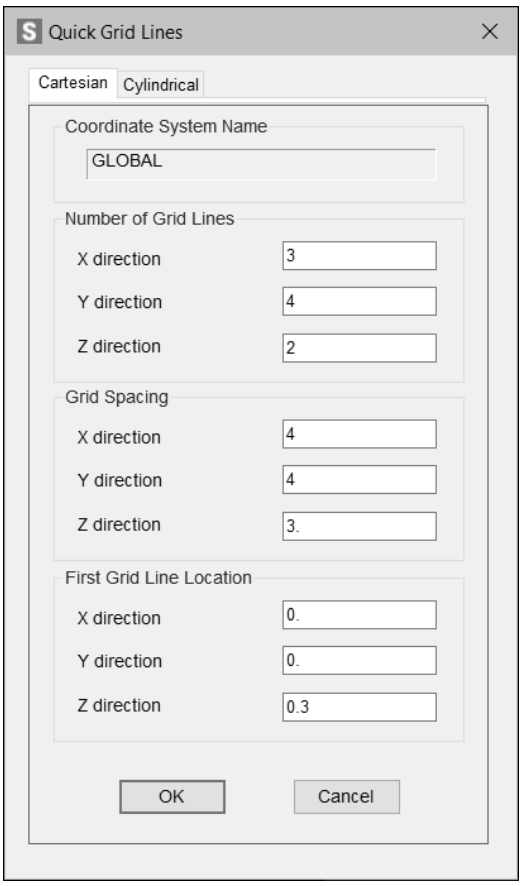
กำหนดระบบกริด

ในตัวอย่างนี้เราจะสร้างโมเดลด้วยการวาดองค์อาคารขึ้นเองโดยไม่ใช้เทมเพลตสำเร็จรูป

- เริ่มต้นโปรแกรม SAP2000 เปลี่ยนหน่วยเป็นหน่วย Kgf, m, C
- เริ่มต้นโมเดลใหม่ โดยสั่งเมนู File > New Model... หรือกด Ctrl+N เมื่อหน้าต่าง New Model แสดงขึ้นมา คลิกปุ่ม Grid Only



TUMCIVIL.COM



- ในหน้าต่าง Quick Grid Line เลือกระบบ Cartesian ใส่จำนวนเส้นกริด, ระยะห่างและตำแหน่งเส้นกริดแรกในทิศทาง X, Y และ Z ดังนี้

  จำนวน: X = 3, Y = 4, Z = 2

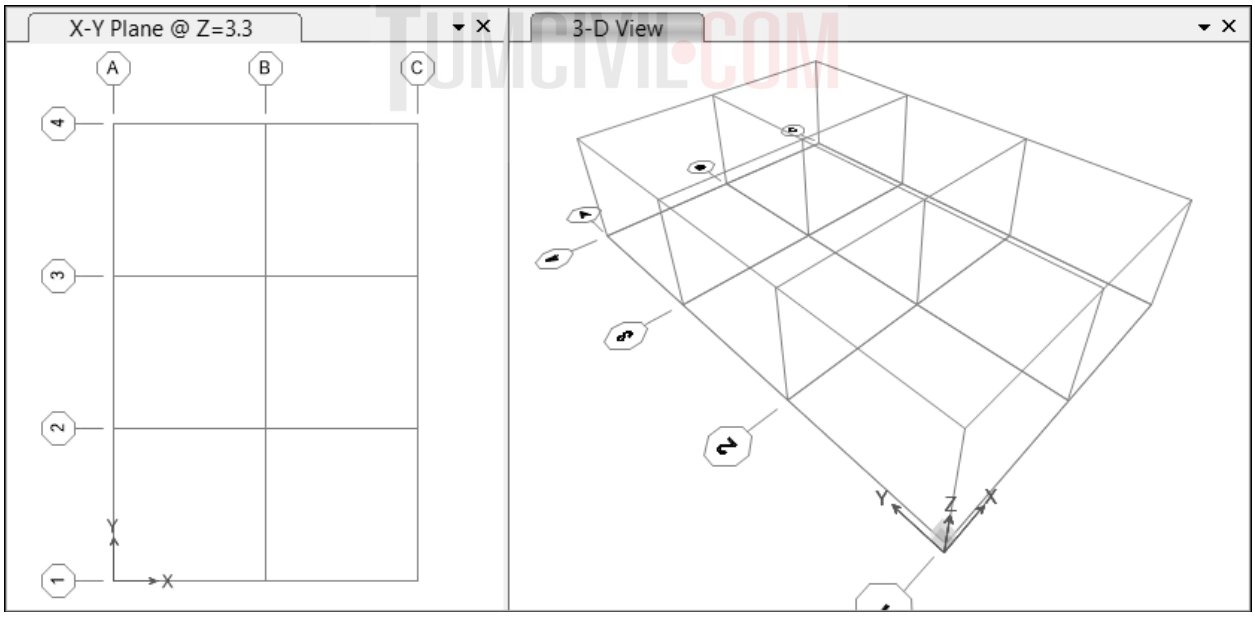
  ระยะห่าง: X = 4, Y = 4, Z = 3

  ตำแหน่ง: X = 0, Y = 0, Z = 0.3

  เส้นกริดในแต่ละทิศทางจะมีระยะห่างเท่ากันโดยจะทำการปรับเปลี่ยนในภายหลัง

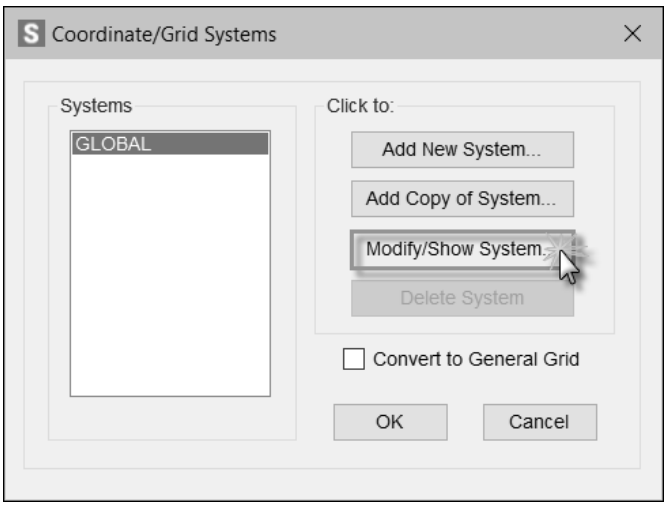
  ระบบกริดจะถูกสร้างขึ้นโดยแสดงเป็นหน้าต่าง X-Y Plan และ 3-D View

  สังเกตสัญลักษณ์แกนรวม Global ที่แสดงเป็นลูกศรสามทิศทาง โดยแกนบวก Z จะเป็นทิศชี้ขึ้น

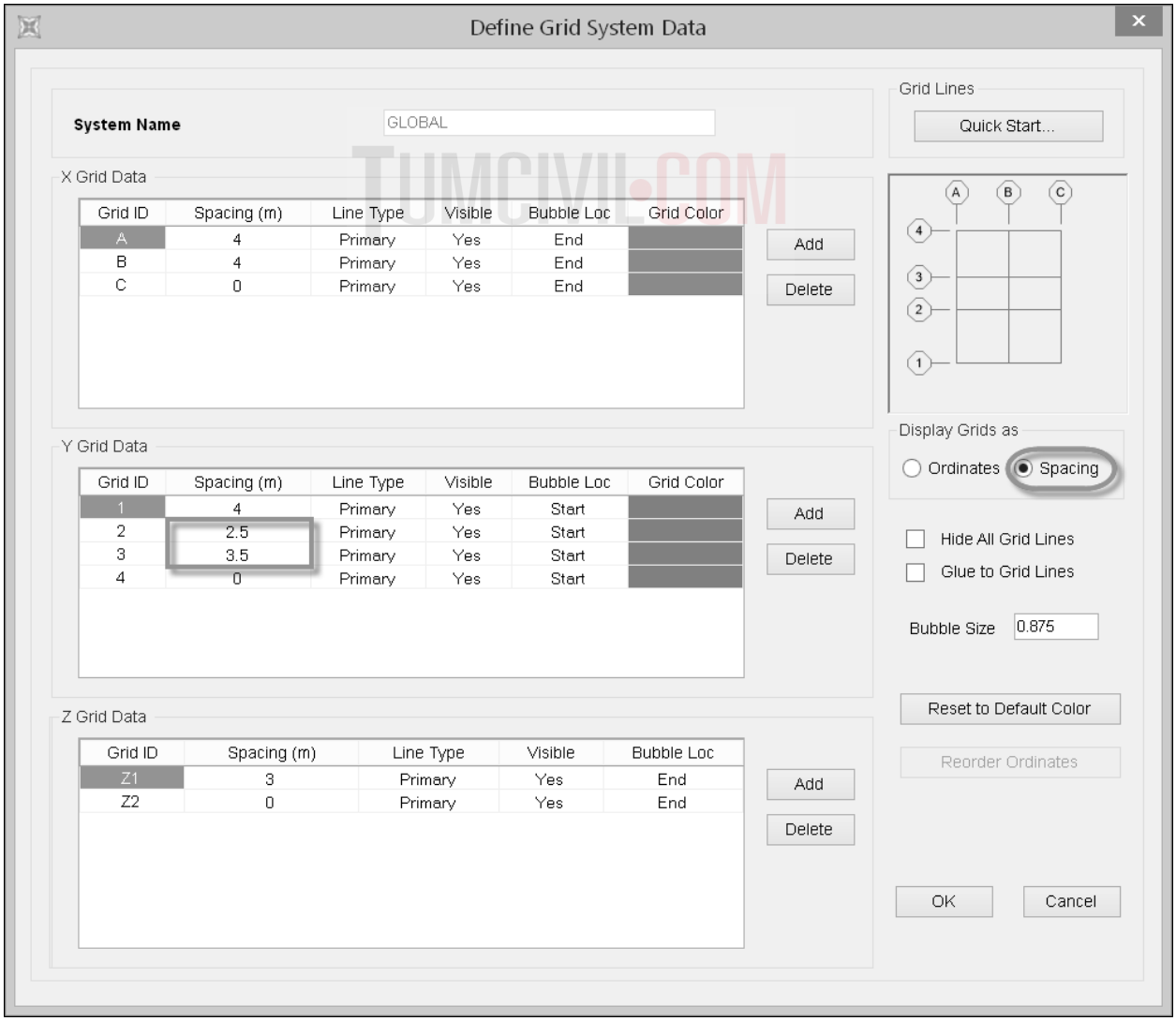


- สั่งเมนู File > Save หรือกด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูล ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX2 House2F ควรเก็บไว้ในโฟลเดอร์แยกต่างหาก เพราะระหว่างรันโปรแกรมจะมีไฟล์ถูกสร้างขึ้นมากมาย

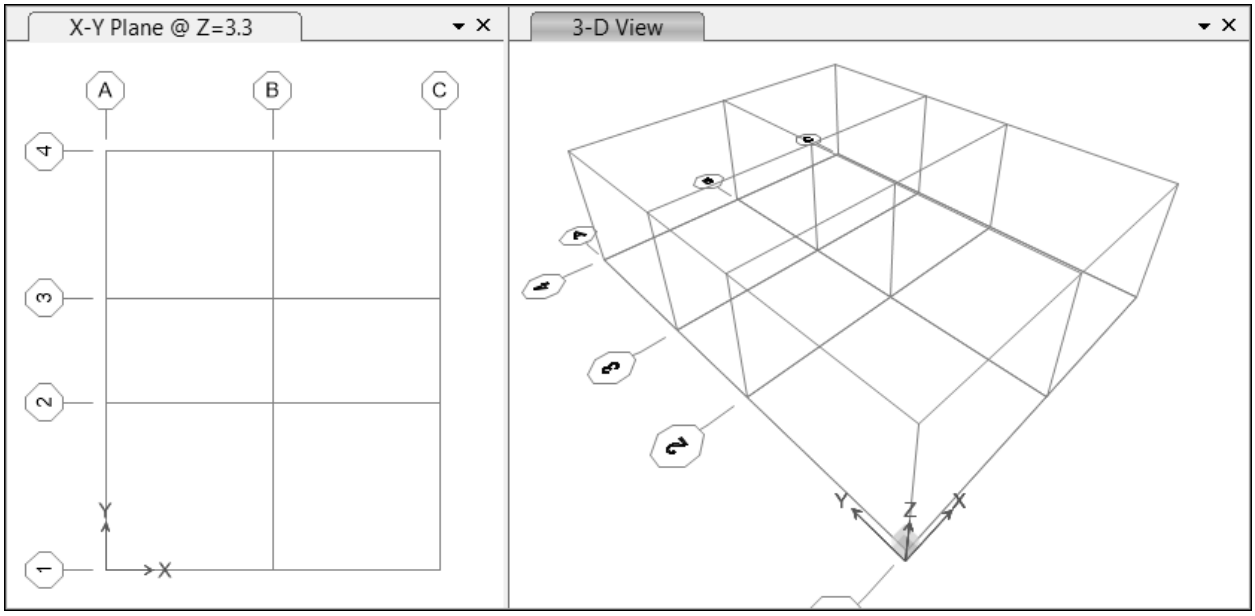
- ปรับเปลี่ยนระบบกริดโดยเลือกเมนู Define > Coordinate Systems/Grids... ในหน้าต่าง Coordinate/Grid Systems ที่แสดงขึ้นมาจะมีหนึ่งรายการคือระบบ GLOBAL



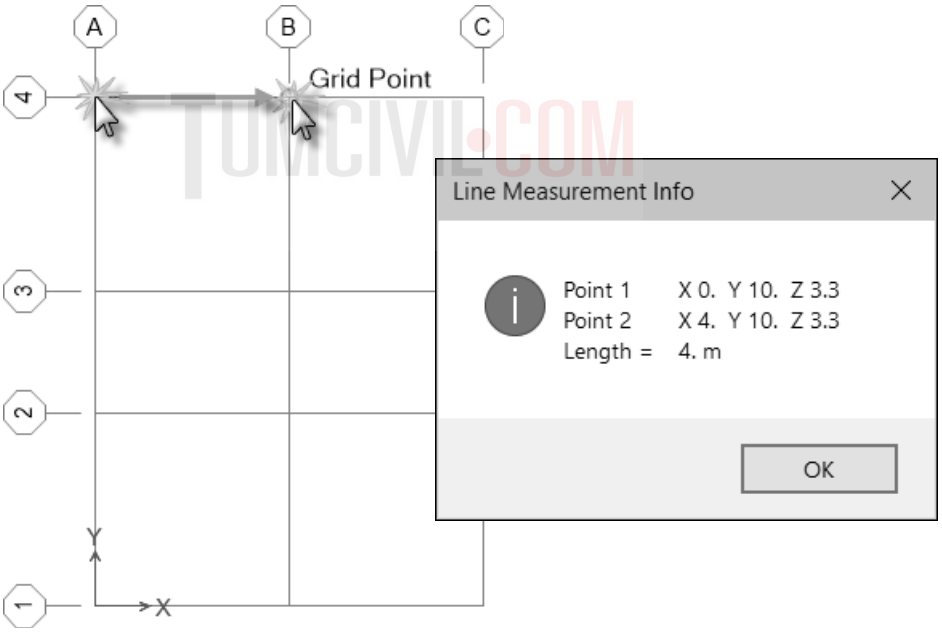
- คลิกปุ่ม Modify/Show System... เพื่อแก้ไขระบบกริด หน้าต่าง Define Grid Data จะแสดงข้อมูลตารางของข้อมูลกริดทั้งสามแกน
- เปลี่ยนการแสดงกริดเป็นแบบ Spacing แล้วแก้ไขข้อมูลกริด Y ดังในรูป



เมื่อคลิกปุ่ม OK จนกลับมาที่หน้าจอหลัก ระบบกริดจะเปลี่ยนไปตามที่กำหนด



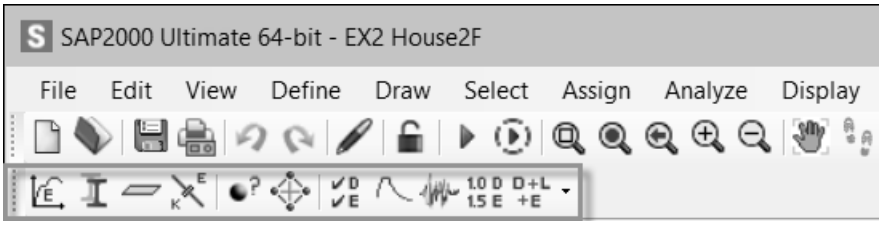
- เราสามารถตรวจสอบระยะห่างกริดโดยใช้เครื่องมือวัดจากเมนู View > Measure > Line แล้วคลิกลากเส้นระหว่างจุดที่ต้องการรู้ระยะทาง



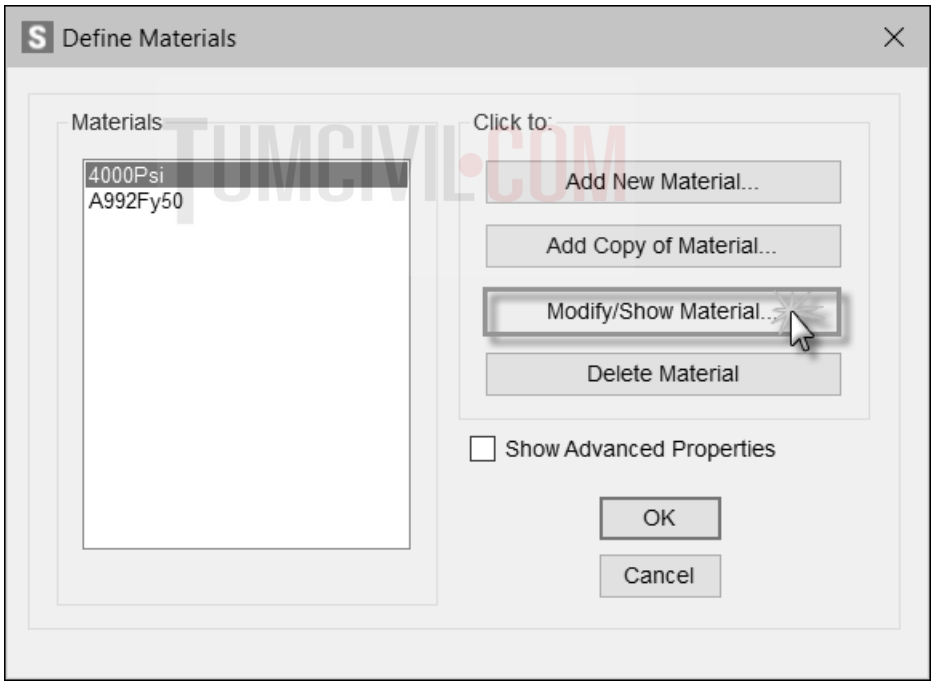
กำหนดคุณสมบัติวัสดุ

- คลิกเปลี่ยนหน่วยที่มุมล่างขวาของหน้าจอ เลือกเป็นหน่วย Kgf, cm

- คลิกขวาในพื้นที่ว่างบนทูลบาร์ เลือกรายการ Define ชุดเครื่องมือที่เลือกจะแสดงเพิ่มขึ้นมาบนทูลบาร์ด้านบน

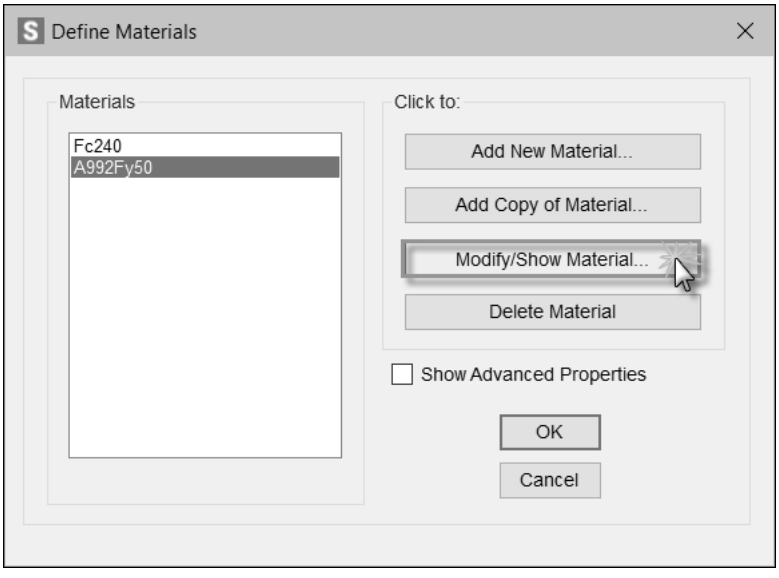


- สั่งเมนู Define > Materials... หรือคลิกปุ่ม หน้าต่างวัสดุจะแสดงขึ้นมา โดยมีสองรายการที่โปรแกรมกำหนดมาให้เป็นตัวอย่างได้แก่ 4000Psi คือคอนกรีต และ A992Fy50 คือเหล็กรูปพรรณ
- เราจะทำการปรับเปลี่ยนวัสดุเหล่านี้ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และสร้างเพิ่มใหม่อีกหนึ่งวัสดุ คือ เหล็กเสริม (Rebar)
- เลือกรายการ 4000Psi แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show Material ให้แสดงคุณสมบัติวัสดุเพื่อตรวจสอบหรือทำการแก้ไข

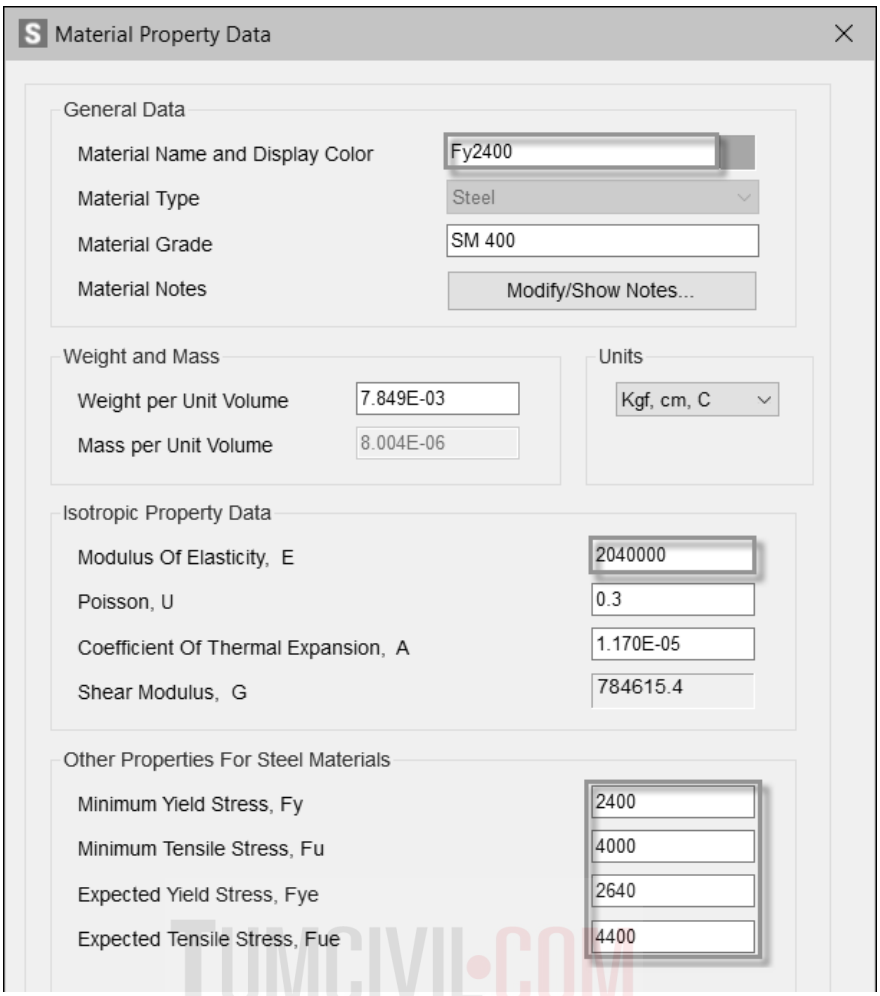


- หน้าต่าง Material Property Data จะแสดงขึ้นมา โดยระบุชนิดวัสดุเป็นคอนกรีต
  - เปลี่ยนชื่อวัสดุเป็น Fc240 เกรด f'c 240 ksc
  - เปลี่ยนค่าโมดูลัสยืดหยุ่น $E = 15{,}100\sqrt{240} = 233{,}928\ kg/cm^2$
  - เปลี่ยนค่าในช่องกำลังอัดคอนกรีตเป็น $f'c = 240\ kg/cm^2$

- คลิกปุ่ม OK กลับมาที่หน้าต่าง Define Materials รายการ Fc240 ถูกแสดงแทนที่วัสดุเดิม



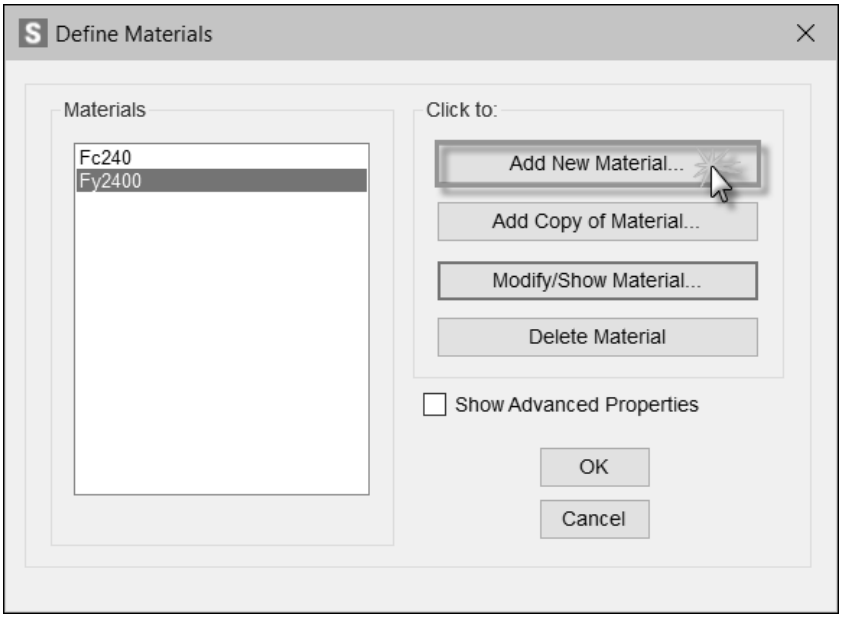
- เลือกรายการ A992Fy50 คลิกปุ่ม Modify/Show Material ให้แสดงคุณสมบัติวัสดุเพื่อตรวจสอบหรือทำการแก้ไข ดังในรูป



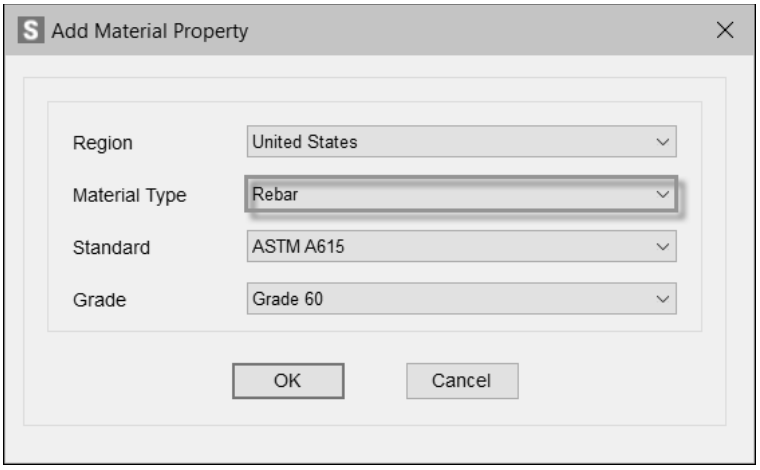
TUMCIVIL.COM

ค่า Effective Yield Stress, Fye และ Effective Tensile Stress, Fue หาได้จากการคูณกำลัง Fy และ Fu ด้วยแฟกเตอร์ตามมาตรฐานออกแบบ เช่น FEMA 356 ตารางที่ 5-3 ซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 1.1 ค่า Fye และ Fue จะใช้ในการสร้างคุณสมบัติของจุดต่อหมุน (hinge) โดยอัตโนมัติสำหรับจุดต่อหมุน P-M2-M3 และ P-M

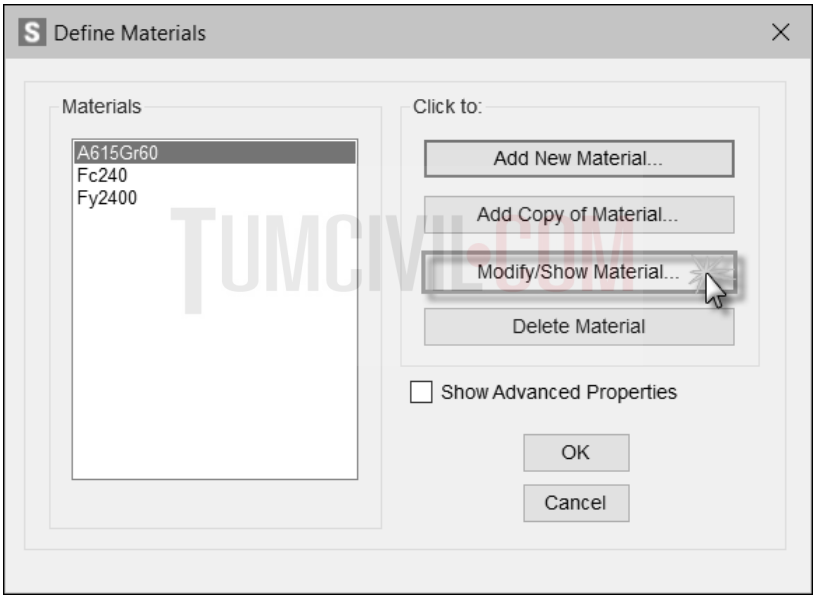
- รายการวัสดุจะกลายเป็น Fc240 และ Fy2400 ดังในรูป



- เพิ่มวัสดุใหม่คือเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (Rebar) คลิกปุ่ม Add New Material หน้าต่าง Add Material Property จะแสดงขึ้นมาให้เลือกเหล็กตามมาตรฐานที่ใกล้เคียงคือ ASTM A615



- เมื่อมีรายการ A615Gr60 เพิ่มเข้ามา ให้กดปุ่ม Mofify/Show Material เพื่อแก้ไขข้อมูล



- ใส่ข้อมูลเหล็กเสริมคอนกรีต SD40 ซึ่งมีคุณสมบัติตาม มอก. 24-2548 ดังนี้

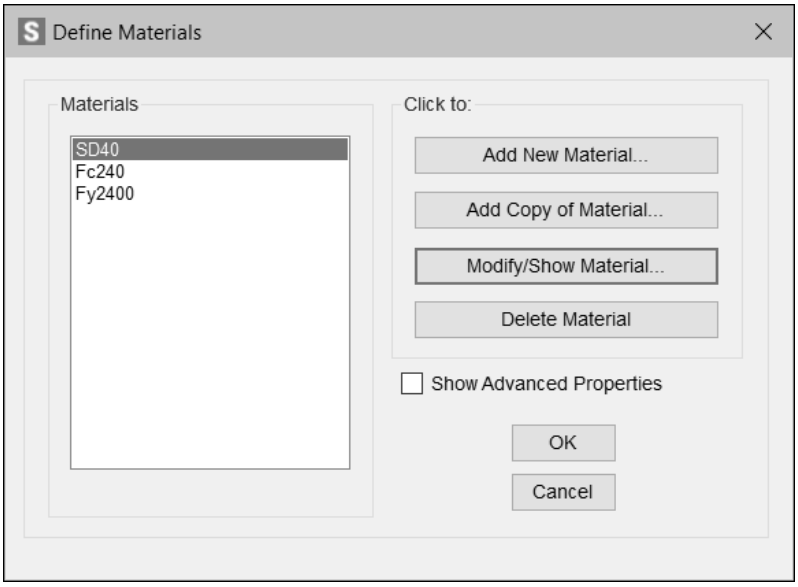
ตารางที่ 7 ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก และความยืดหยุ่น

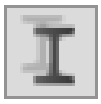
ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง MPa	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก MPa	ความยืด %
SD 30	480	295	17
SD 40	560	390	15
SD 50	620	490	13

ดังนั้นใช้ Fy = $390 \times 10^6 / (9.81 \times 10^4) = 3,976$ USE 4,000 kg/cm^2

Fu = $560 \times 10^6 / (9.81 \times 10^4) = 5,708$ USE 5,700 kg/cm^2

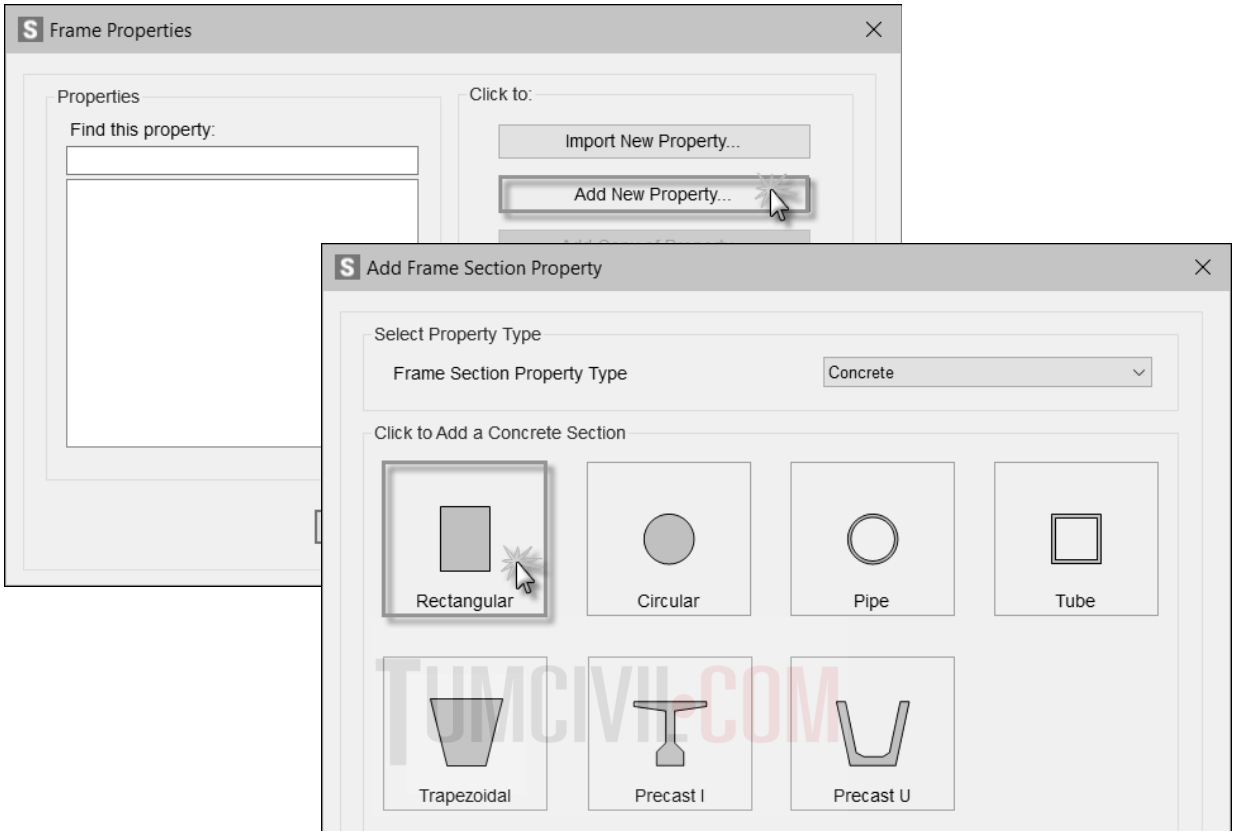
เมื่อใส่ข้อมูลเสร็จแล้วคลิก OK เราจะมีวัสดุสามรายการคือ คอนกรีต Fc240, เหล็ก Fy2500 และ เหล็กเสริม SD40

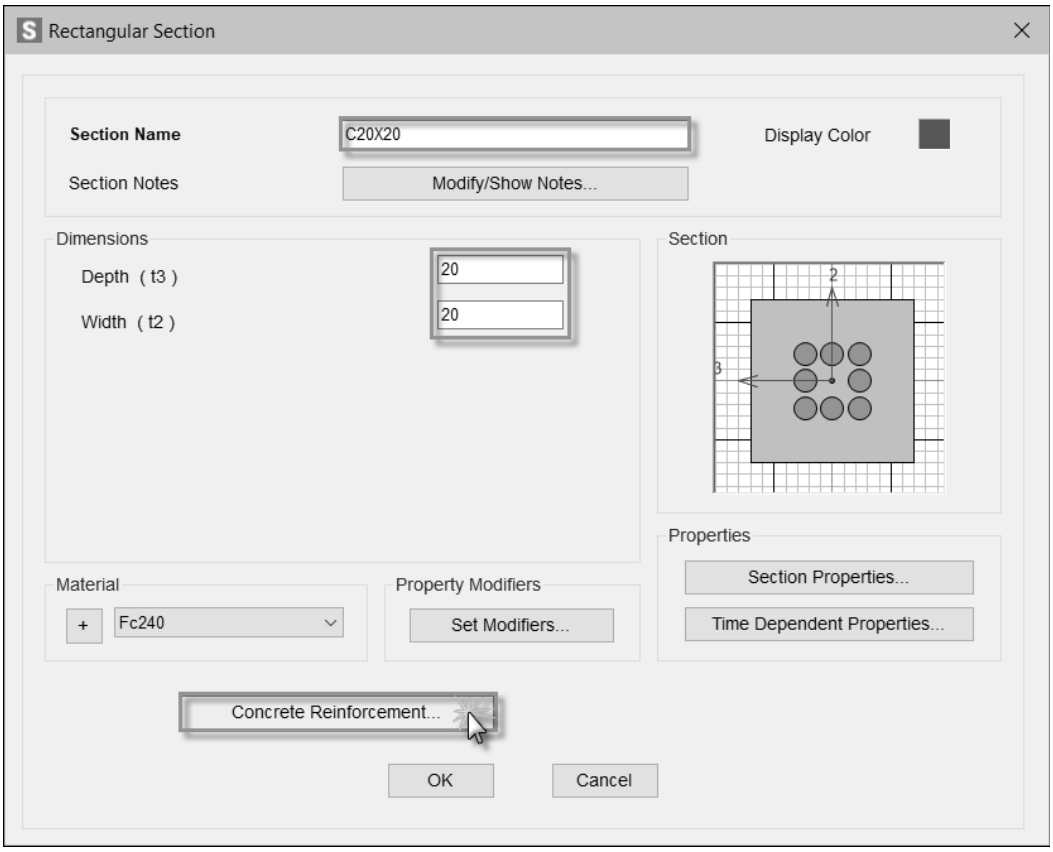




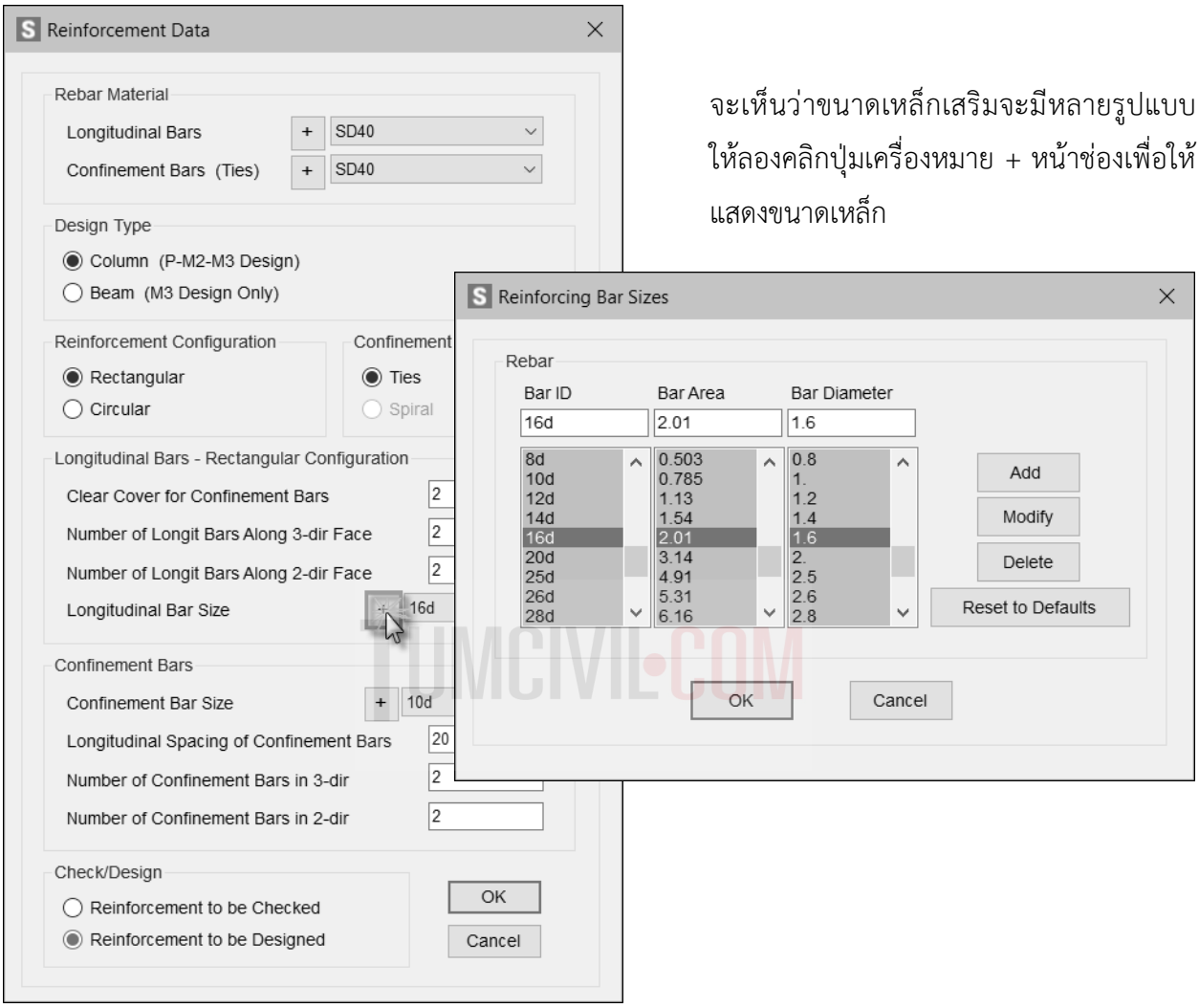
กำหนดหน้าตัดเฟรม Define Frame Sections

- สั่งเมนู Define > Section Properties ▶ Frame Sections... หรือคลิกปุ่ม บนทูลบาร์
- คลิกปุ่ม Add New Property เลือกหน้าตัด Concrete แบบ Rectangular



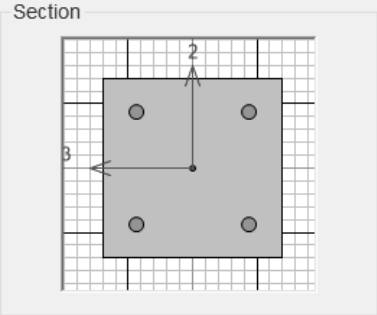


- ในหน้าต่าง Rectangular Section ที่แสดงขึ้นมา ตั้งชื่อเป็นหน้าตัดเสา C20X20 วัสดุ Fc240 ขนาด 20 x 20 cm แล้วคลิกปุ่ม Concrete Reinforcement
- ในหน้าต่าง Reinforcement Data ที่แสดงขึ้นมาจะให้เราเลือกชนิดองค์อาคารว่าจะเป็น เสา หรือ คาน และกำหนดข้อมูลการเสริมเหล็ก

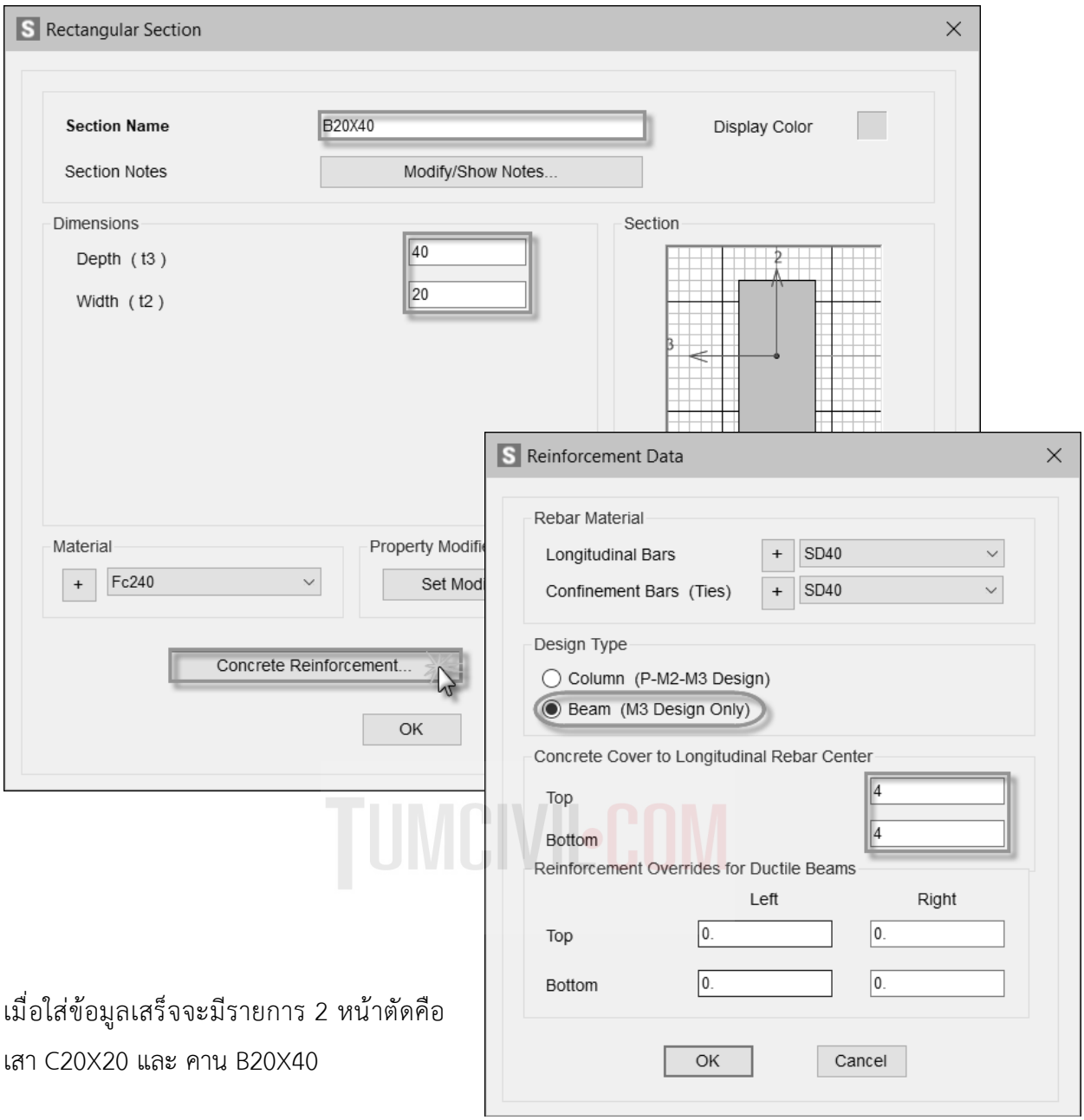


จะเห็นว่าขนาดเหล็กเสริมจะมีหลายรูปแบบ ให้ลองคลิกปุ่มเครื่องหมาย + หน้าช่องเพื่อให้แสดงขนาดเหล็ก

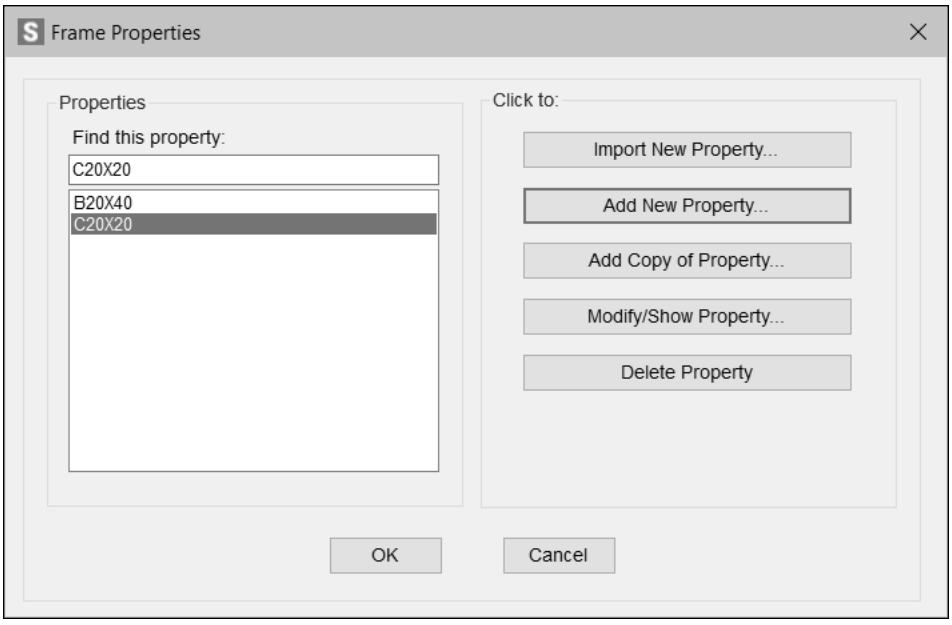
- เมื่อคลิก OK กลับมาที่หน้าต่าง Rectangular Section จะได้หน้าตัดดังในรูป



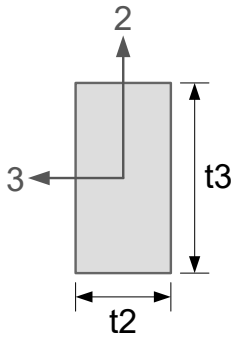
- คลิกปุ่ม Add New Property เลือกชนิดหน้าตัด Concrete แล้วเลือกหน้าตัดสี่เหลี่ยม Rectangular สร้างหน้าตัดคาน B20X40
- คลิกปุ่ม Concrete Reinforcement เลือกชนิดการออกแบบ Beam (M3 Design Only)



เมื่อใส่ข้อมูลเสร็จจะมีรายการ 2 หน้าตัดคือ เสา C20X20 และ คาน B20X40



แกนเฉพาะที่ (Local Axis) ของเฟรม



ในการใส่ขนาดหน้าตัดเสาและคานจะเห็นว่ามีการระบุขนาดหน้าตัดตามทิศทาง 2 และ 3 ซึ่งเป็นแกนเฉพาะที่ (Local Axis) ของแต่ละองค์อาคาร โดยจะมีทั้งหมดสามแกนคือ 1, 2 และ 3

ความเข้าใจเรื่องแกนองค์อาคาร 1-2-3 มีความสำคัญมากในการใช้งานโปรแกรมทั้งในขั้นตอนของการสร้างโมเดล และการในการแสดงผลการรันวิเคราะห์โครงสร้าง

แกนองค์อาคาร 1

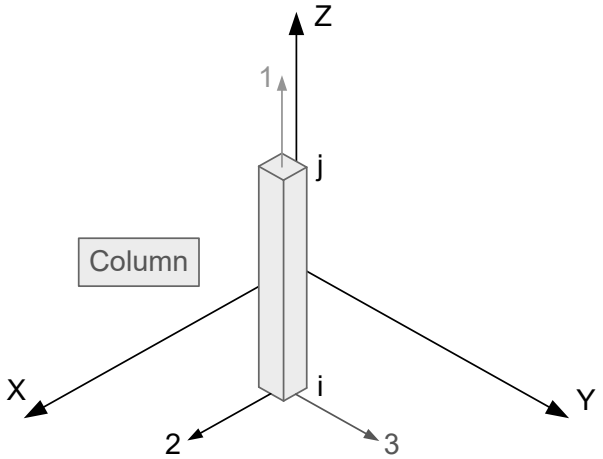
แกน 1 จะเป็นแกนตามแนวยาวขององค์อาคารเสมอ โดยมีทิศทางชี้จากปลายตั้งต้น i ถึงปลายสิ้นสุด j ทิศทางของแกน 1, 2 และ 3 จะตั้งฉากกันโดยเป็นไปตามกฎมือขวา เช่นเดียวกับแกนรวม X-Y-Z ดังนั้นถ้ากำหนดแกน 2 ได้ แกน 3 ที่เหลือก็จะหาได้จากกฎมือขวา

แกนองค์อาคาร 2 และ 3

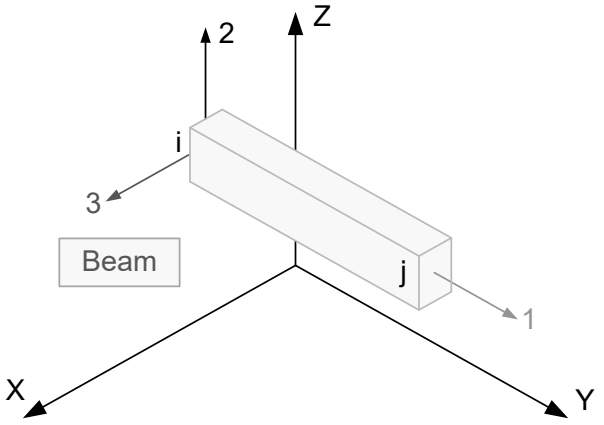
ทิศทางของแกน 2 และ 3 พิจารณาได้จากลักษณะของแกน 1 และแกนบวก Z คือ

- ระนาบแกน 1-2 จะอยู่ในแนวดิ่งขนานแกน Z
- แกน 2 จะชี้ในทิศขึ้น (+Z) ยกเว้นในกรณีที่องค์อาคารอยู่ในแนวดิ่ง แกน 2 จะอยู่ในแนวราบชี้ไปทางแกน +X
- แกน 3 จะอยู่ในแนวราบ ระนาบ X-Y

สำหรับองค์อาคารในแนวดิ่งหรือเสา แกน 1 จะชี้ตามแกนเสาในทิศบวก Z, แกน 2 ตั้งฉากกับเสาชี้ไปทางแกนบวก X และแกน 3 จะชี้ไปตามกฎมือขวาโดยใช้ทิศของแกน 1 และ 2 ในกรณีที่หน้าตัดเสาไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ต้องพิจารณาดูให้ดีว่าต้องการให้หน้าเสาหันไปทิศทางใด



Local 1 Axis is Parallel to +Z Axis
Local 2 Axis is Parallel to +X Axis



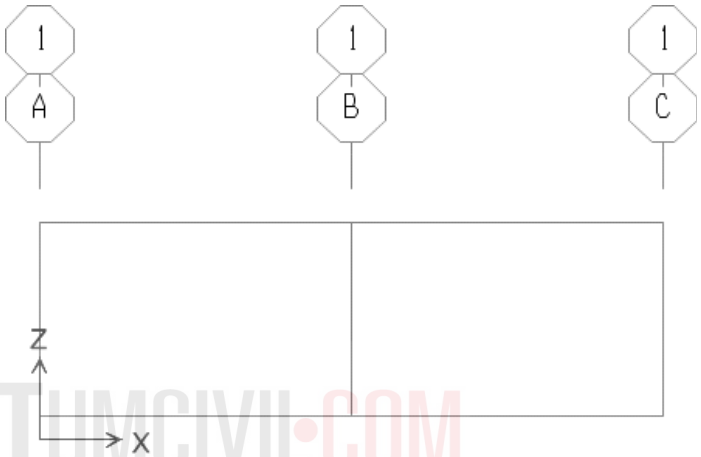
Local 1 Axis is Parallel to +Y Axis
Local 2 Axis is Parallel to +Z Axis

สำหรับองค์อาคารในแนวราบหรือคาน ไม่ว่าแกน 1 จะชี้ในทิศทางไหนในระนาบราบ X-Y แกน 2 จะชี้ขึ้นตามแกน +Z และแกน 3 จะชี้ไปตามกฎมือขวาโดยใช้ทิศของแกน 1 และ 2 ดังนั้นความกว้างคานจึงเป็น t2 และความลึกเป็น t3 เสมอ เช่นเดียวกับเวลาดูค่าแรงภายใน แรงเฉือนในคานจะเป็น V2 และโมเมนต์ดัดเป็น M3 เสมอ

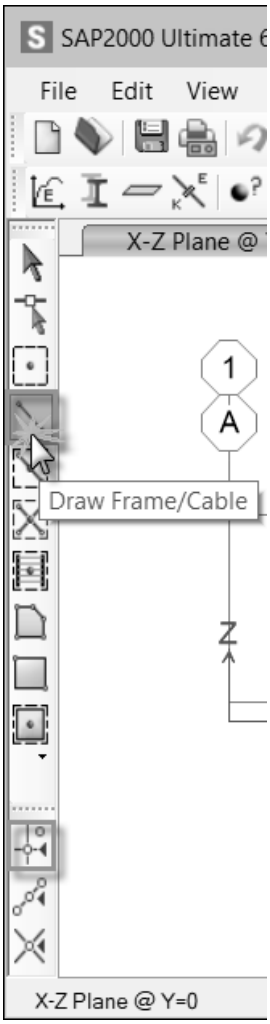
การวาดเสา Draw Column

ในขั้นตอนนี้เราจะวาดเสา C20X20 ที่ได้สร้างไว้ลงในโมเดล โดยใช้เครื่องมือวาดรูปแบบต่างๆ

- คลิกเลือกหน้าต่าง X-Y Plane แล้วคลิกปุ่ม XZ เปลี่ยนเป็นระนาบ X-Z ที่เส้นกริด 1 ดังรูป



TUMCIVIL.COM



Select Mode v.s. Draw Mode

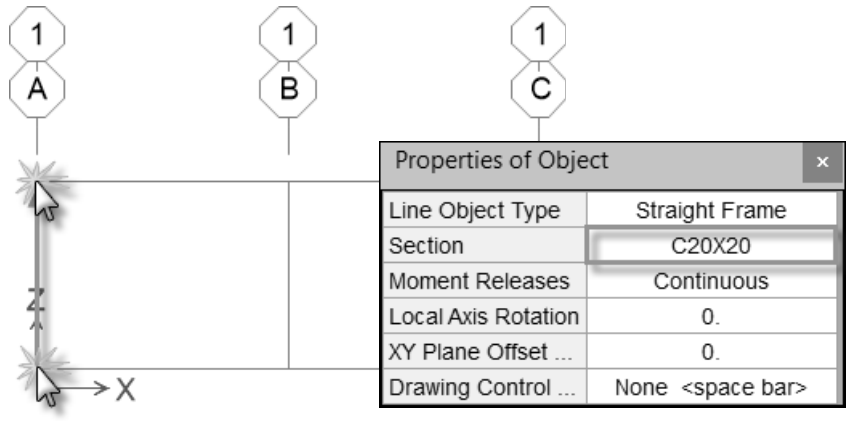
คำสั่งวาดจะอยู่ในเมนู Draw หรือสั่งแบบรวดเร็วโดยคลิกบนทูลบาร์ดิ่งข้างซ้าย โดยปกติตัวชี้จะเป็นลูกศร หมายถึงอยู่ในโหมดเลือกวัตถุ (Select Mode)

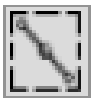
เมื่อใช้คำสั่งวาดตัวชี้จะเปลี่ยนเป็นรูป ↑ คืออยู่ในโหมดวาด (Draw Mode) เมื่อวาดเสร็จให้คลิกปุ่ม เพื่อกลับเข้าโหมดเลือกวัตถุ

Draw Frame

- คลิกปุ่ม Snap to Grid Intersection แล้วคลิกปุ่ม Draw Frame สั่งเกตตัวชี้จะเปลี่ยนเป็นรูป ↑ และมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาให้เรากำหนดองค์อาคารที่จะทำการวาด

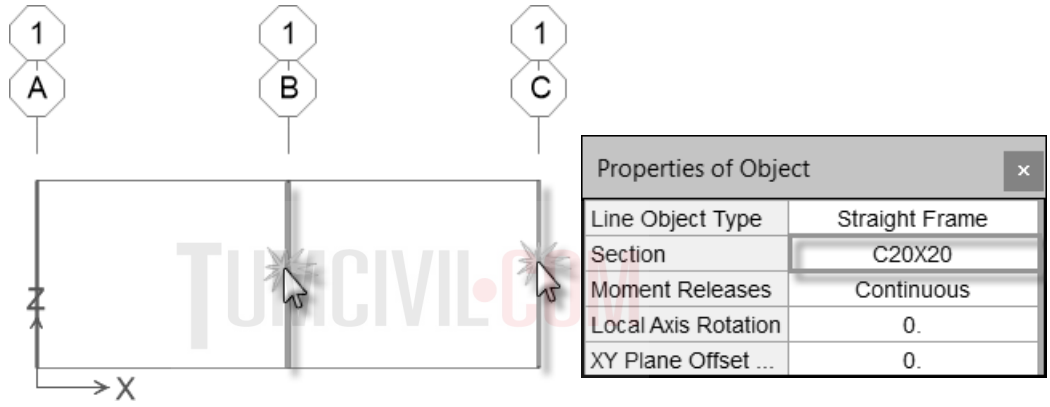
- วาดเสาที่เส้นกริด 1-A โดยคลิกที่จุดตัดกริดล่างแล้วลากมาที่จุดตัดกริดบนแล้วกด Esc เพื่อจบการวาด กลับมาโหมดเลือกวัตถุ





Quick Draw Frame

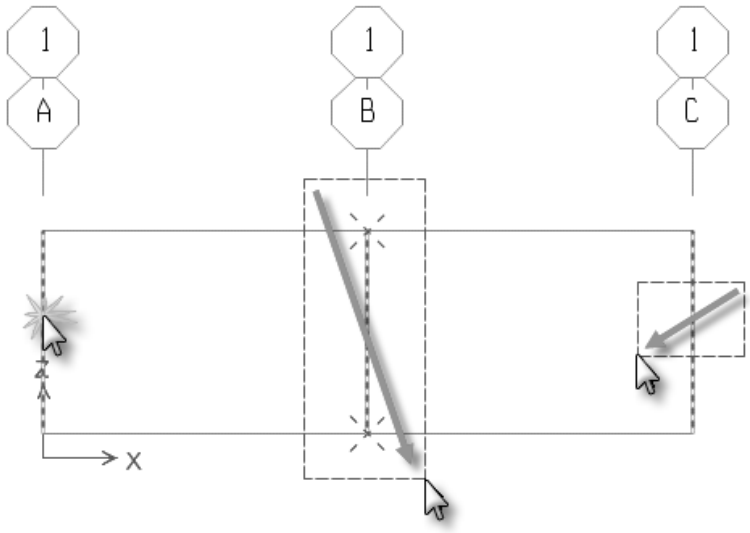
- คลิกปุ่ม Quick Draw Frame เป็นการวาดเฟรมอย่างรวดเร็ว โดยคลิกที่เส้นกริดที่ต้องการวาดที่เหลือคือ 1-B และ 1-C แล้วกด Esc เพื่อจบการวาด



TUNCIVIL.COM

การเลือกวัตถุ Select

การเลือกวัตถุเมื่อจะใช้คำสั่งกับวัตถุที่ต้องการไม่ว่าจะเป็น ปรับเปลี่ยน ทำซ้ำ หรือลบ ใน SAP2000 มีเทคนิกในการเลือกหลายวิธี ในตอนนี้เรายังมีวัตถุคือเสาเพียง 3 ต้นเท่านั้น จึงเหมาะที่จะลองฝึกเลือกวัตถุแบบง่ายๆในเบื้องต้น



Select > Pointer/Window

การเลือกวัตถุโดยใช้ตัวชี้มีสามวิธีคือ

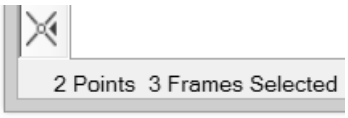
1) คลิกเม้าส์ซ้ายเลือกโดยตรง

2) ตีกรอบคลุมจากมุมซ้ายบน

3) ตีกรอบตัดจากมุมขวาบน

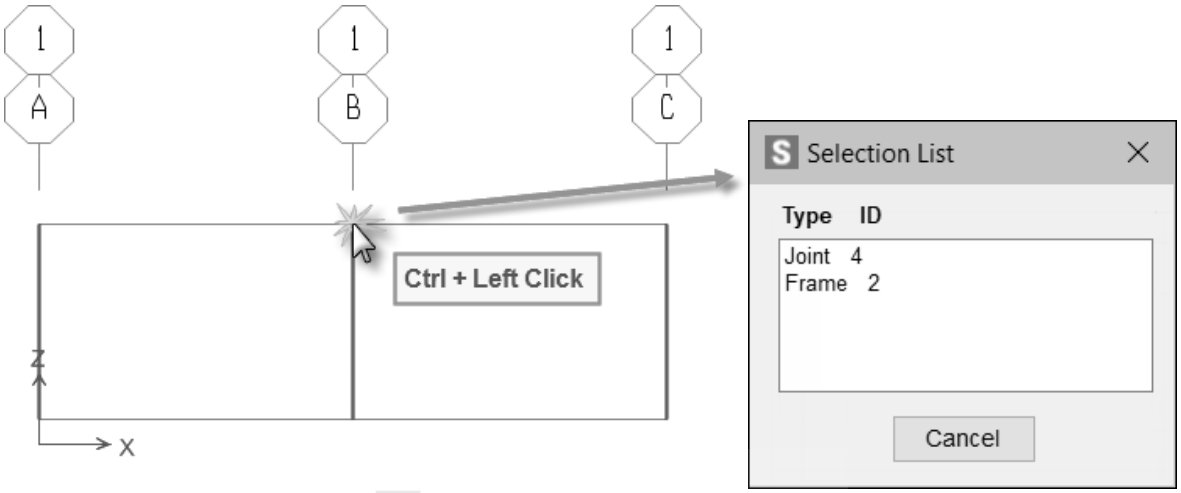
ถ้าต้องการยกเลิกการเลือกให้กด Esc

แถบสถานะด้านล่างจะแสดงชนิดและจำนวนวัตถุที่ถูกเลือก



- คลิกที่วัตถุอีกครั้งเพื่อยกเลิกการเลอก หรือกดปุ่ม Esc เพื่อยกเลิกการเลือกวัตถุทั้งหมด

ในกรณีที่มีหลายวัตถุซ้อนกันอยู่ให้กด **Ctrl** แล้วคลิกซ้าย จะมีรายการวัตถุแสดงขึ้นมาให้เลือก



TUMCIVIL•COM

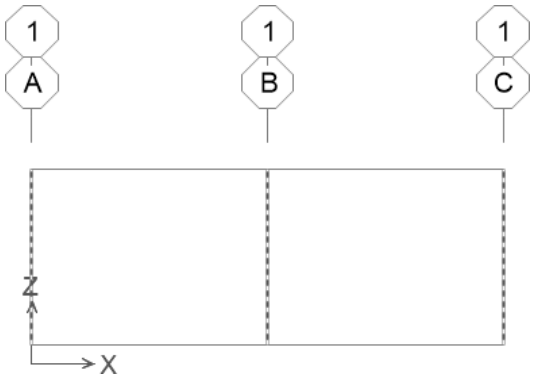
ปุ่มควบคุมการเลือก อยู่บนทูลบาร์ดิ่งด้านข้างมี 4 ปุ่มคือ

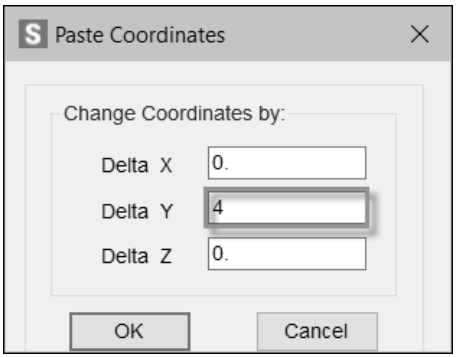
Ctrl + A	Select All เลือกวัตถุทั้งหมดในโมเดล (แม้แต่วัตถุที่สั่งไม่แสดง)
Ctrl + J	Get Previous Selection เลือกวัตถุที่เคยถูกเลือกครั้งก่อนหน้า
Ctrl + Q	Clear Selection ยกเลิกการเลือกวัตถุทั้งหมดในโมเดล (เท่ากับกด Esc)
Ctrl + Shift + L	Select using Intersecting Line เลือกวัตถุโดยการลากเส้นตัดผ่าน

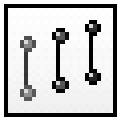
การคัดลอกวัตถุ Copy & Paste & Replicate

การคัดลอกวัตถุสามารถไปวางอีกที่หนึ่งสามารถทำได้อย่างง่ายดายเช่นเดียวกับโปรแกรมทั่วไปคือ

- เปลี่ยนเป็นหน่วย **Kgf, m, C** แล้วเลือกเสาทั้งหมด แล้วกด Ctrl+C เพื่อก็อปปี้ แล้วกด Ctrl+V เพื่อวาง จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมาให้เราระบุระยะห่าง

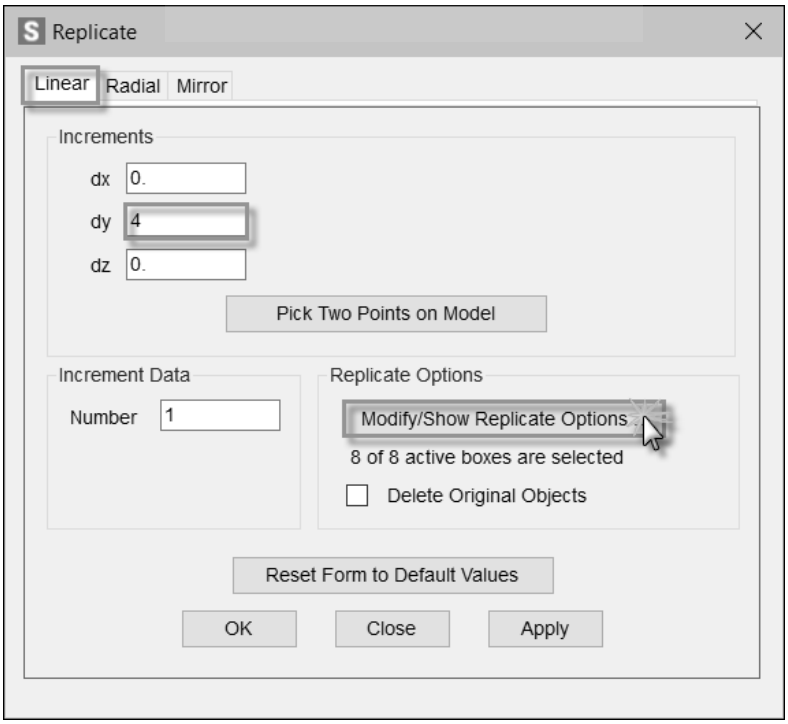






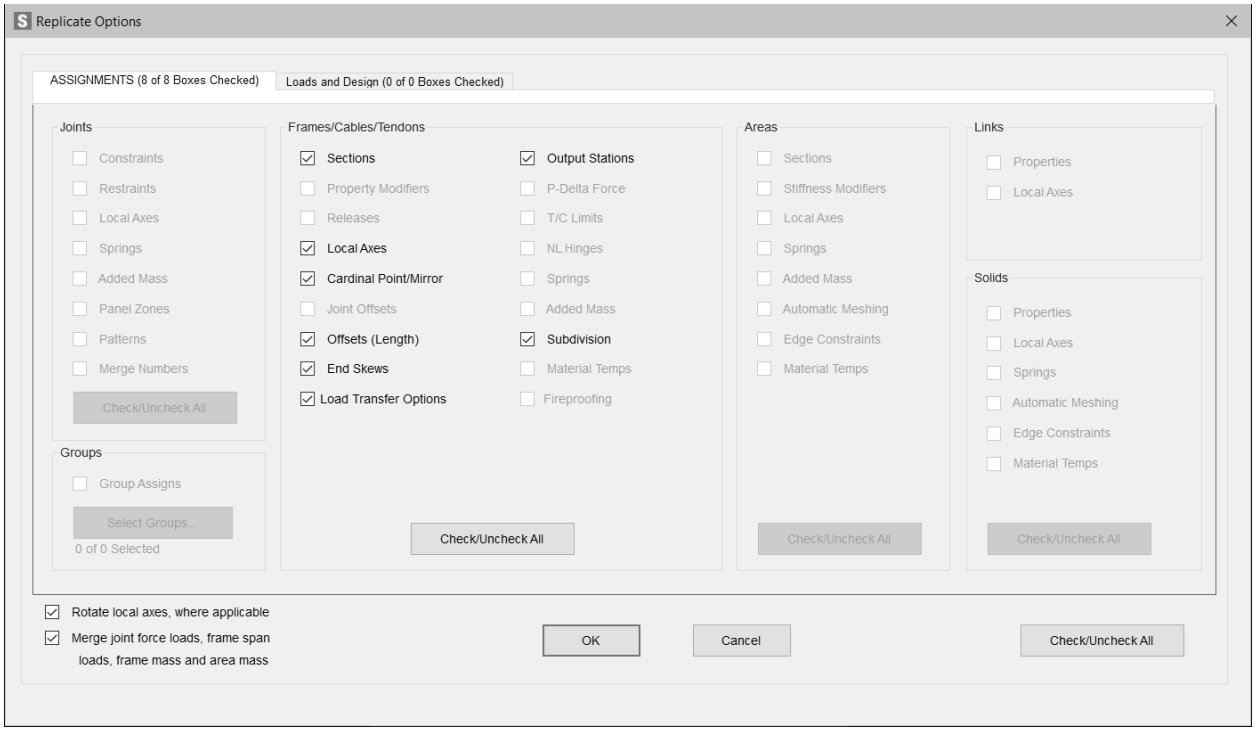
Replicate จะเป็นคำสั่งในการทำซ้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถทำซ้ำได้ครั้งละหลายวัตถุ เมื่อจุดต่อหรือวัตถุถูกคัดลอก สิ่งที่กำหนดให้แก่จุดต่อหรือวัตถุ เช่น หน้าตัด น้ำหนักบรรทุก หรือการยึดรั้งจุดต่อ จะถูกคัดลอกมาด้วย ซึ่งต่างจาก Ctrl+C & Ctrl+V ซึ่งจะคัดลอกเฉพาะวัตถุ

- เลือกวัตถุ แล้วสั่งเมนู Edit > Replicate หรือกด Ctrl+R หน้าต่าง Replicate ที่แสดงขึ้นมาจะมีทางเลือกในการทำซ้ำได้หลายรูปแบบ ได้แก่



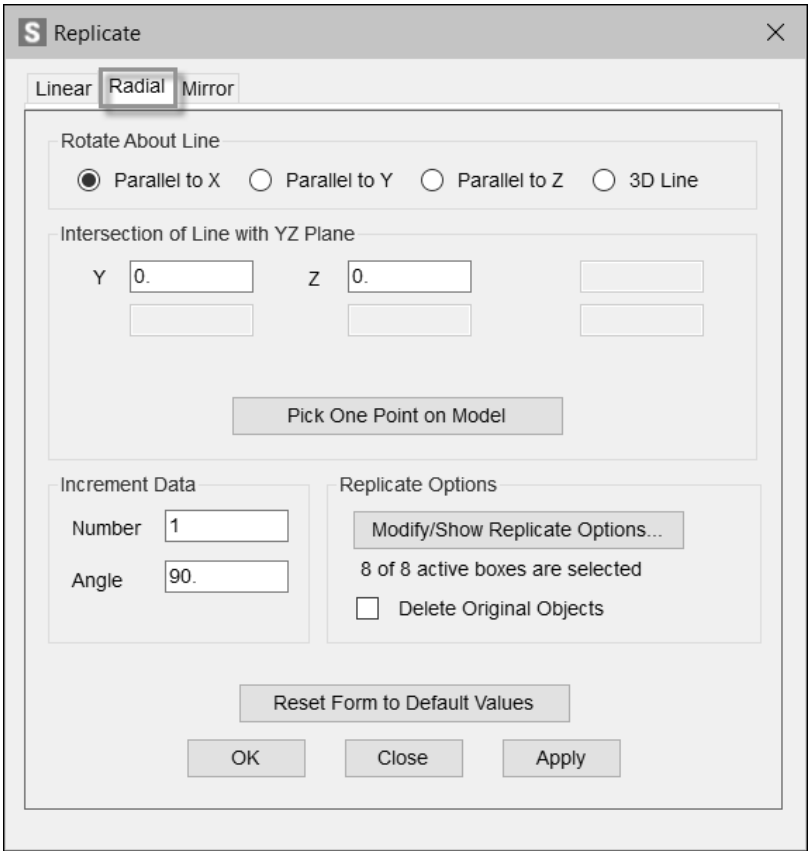
Linear จะทำซ้ำในแนวเส้นตรง โดยจะใส่ระยะห่างในแต่ละทิศทาง dx, dy และ dz และใส่จำนวนที่ต้องการทำซ้ำในช่อง Increments หรือคลิกปุ่ม Pick Two Points on Model แล้วคลิกสองจุดที่มีระยะห่างตามต้องการ

- ใส่ระยะห่าง dy = 4 และจำนวนทำซ้ำ Increment Data > Number = 1
- คลิกปุ่ม Modify/Show Replicate Options เพื่อตรวจสอบทางเลือกในการทำซ้ำ

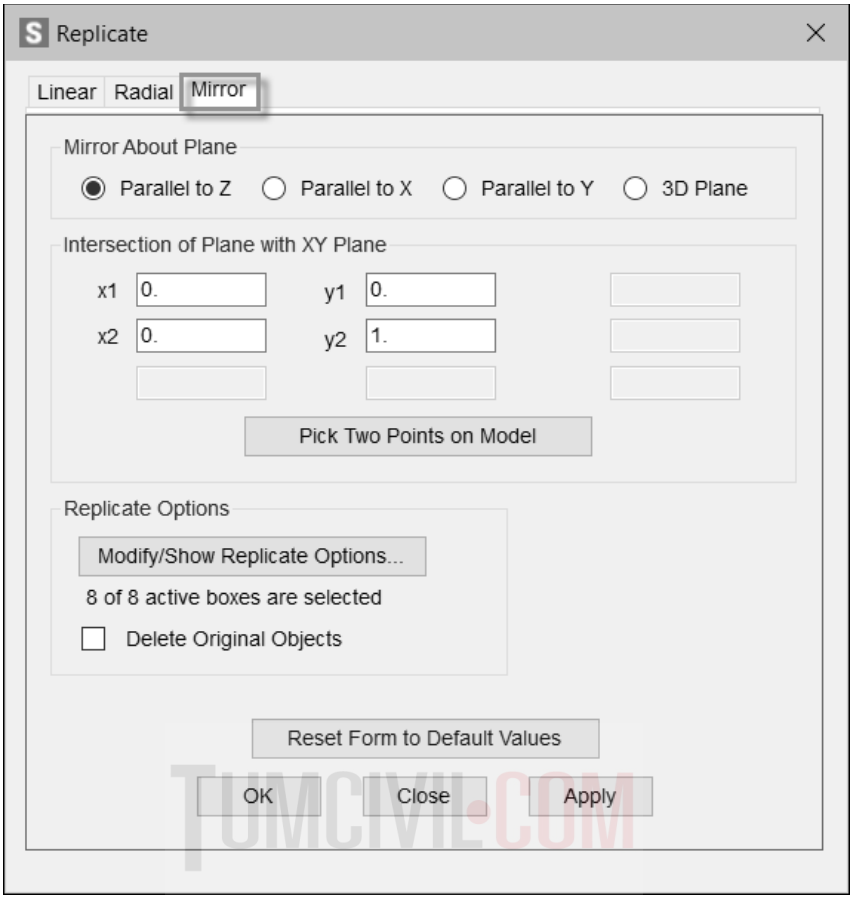


TUMCIVIL.COM

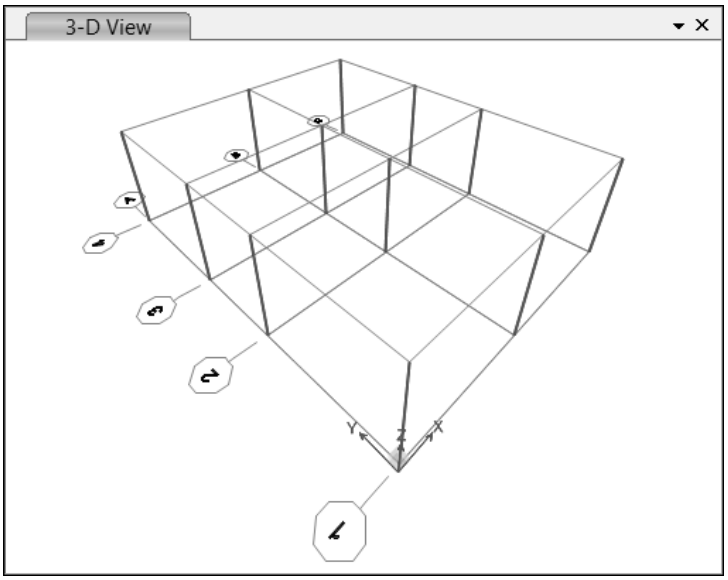
Radial จะทำซ้ำตามแนวรัศมีวงกลม โดยกำหนดแกนหมุนในทิศทางขนานแกน X, Y, Z หรือเส้นตรงในสามมิติ แล้วกำหนดจำนวนที่ต้องการทำซ้ำและมุมในช่อง Increment Data



Mirror จะทำซ้ำแบบกระจกเงาโดยกำหนดระนาบกระจกเงาในทิศทางขนานแกน X, Y, Z หรือระนาบในสามมิติ



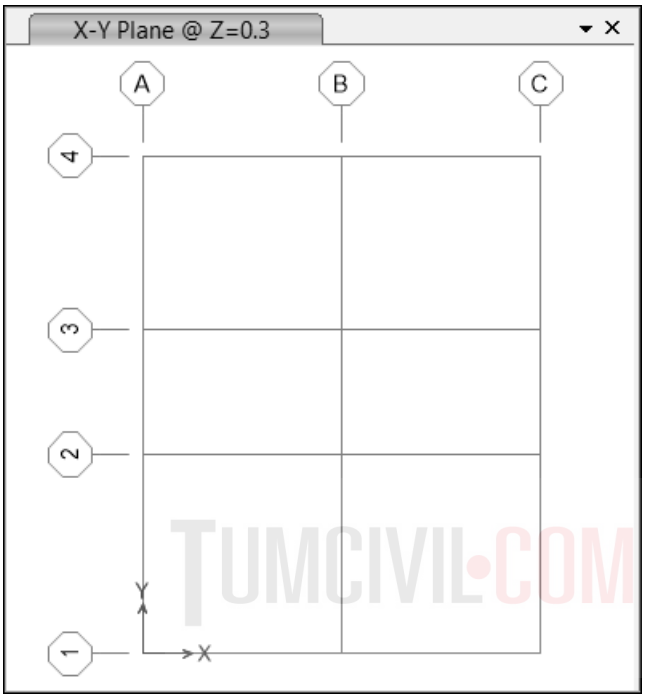
- เมื่อสั่งทำซ้ำแบบเส้นตรง dy = 4 แล้วคลิกปุ่ม Apply สังเกตในมุมมอง 3D จะเห็นเสาที่เพิ่มขึ้น
- ทำซ้ำอีกสองครั้งโดยคลิกปุ่ม หรือกด Ctrl+J เพื่อเลือกวัตถุเดิม ใช้ระยะ dy = 6.5 แล้วทำอีกครั้งใช้ระยะ dy = 10 แล้วคลิกปุ่ม OK จะได้เสาครบทุกตำแหน่งดังในรูป



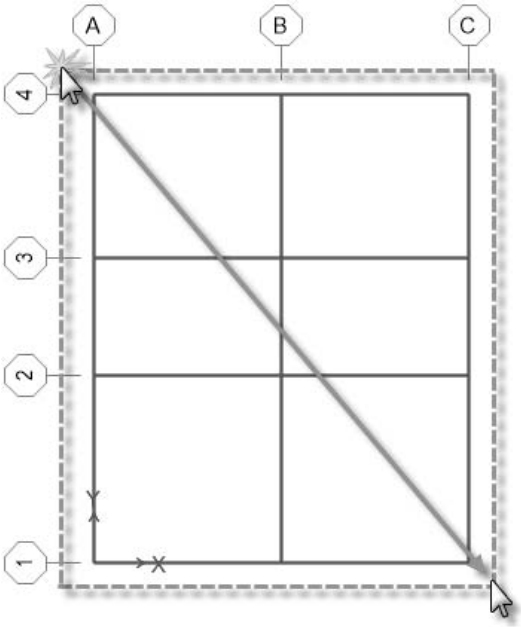
การวาดคาน Draw Beam

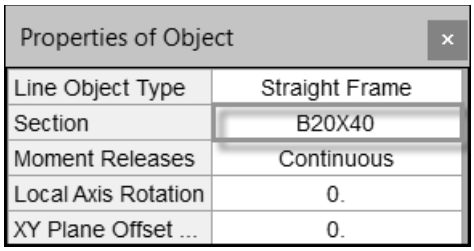
ในขั้นตอนนี้เราจะวาดคาน B20X40 โดยจะวาดผังคานในแต่ละชั้นซึ่งอยู่ในระนาบ X-Y ที่ความสูง Z @ 0.3 m และ 2.8 m

- คลิกเลือกหน้าต่าง X-Z Plane แล้วคลิกปุ่ม เปลี่ยนเป็นระนาบ X-Y แล้วคลิกปุ่ม จนได้ระนาบ X-Y @ Z = 0.3



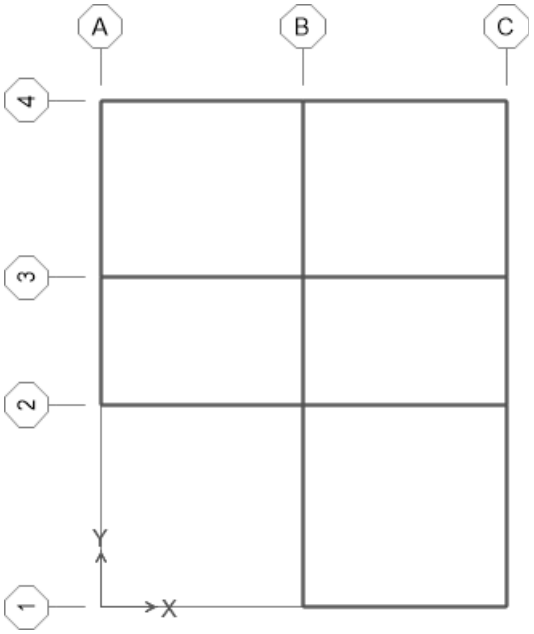
- คลิกปุ่ม Quick Draw Frame เลือกหน้าตัด B20X40 แล้วตีกรอบคลุมทั้งหมด



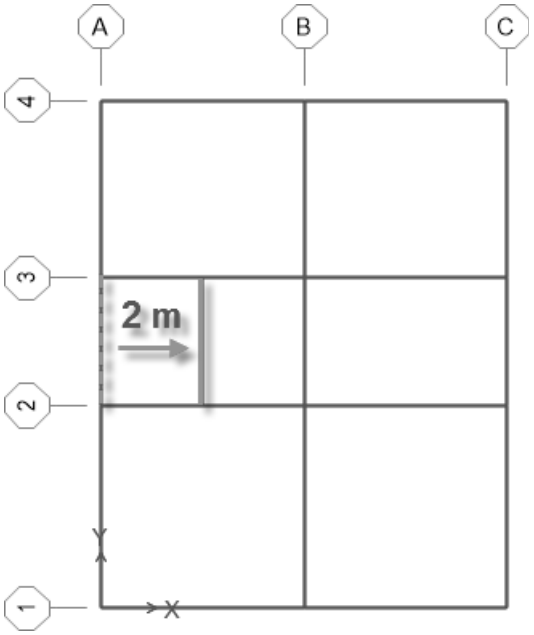


- คลิกปุ่ม หรือกด Esc เพื่อออกจากโหมดวาด กลับมาโหมดเลือกวัตถุ

- คลิกเลือกและลบคานระหว่างจุด A1-A2 และ A1-B1 จะได้ผังคานชั้นที่หนึ่ง



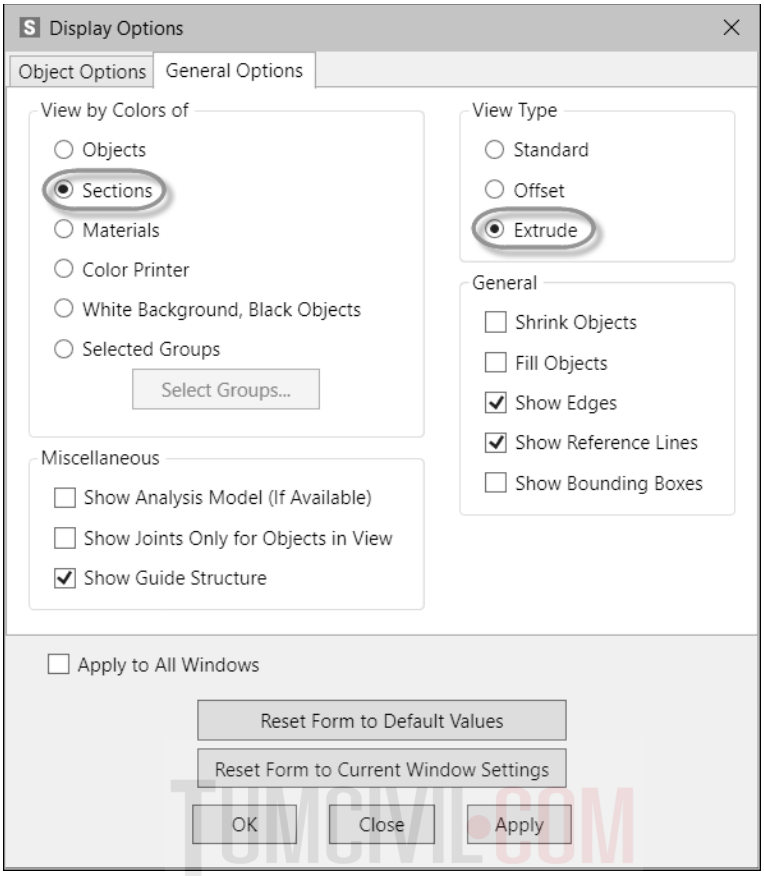
- คลิกเครื่องหมาย จนได้ระนาบ X-Y @ Z = 3.3
- วาดคานโดยคลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด B20X40 แล้วตีกรอบคลุมเช่นเดิม
- คลิกปุ่ม หรือกด Esc เพื่อออกจากโหมดวาด กลับมาโหมดเลือกวัตถุ
- จากนั้นคลิกเลือกคานระหว่างจุดตัดกริด A2-A3 สั่งทำซ้ำ Replicate ไประยะ dx = 2 m



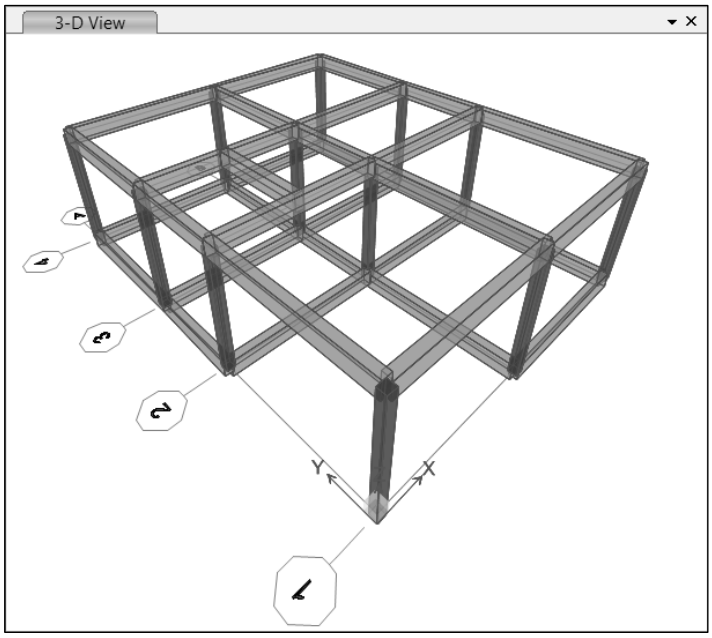
- เลือกหน้าต่างสามมิติ คลิกปุ่ม คลิกเลือก Apply to All Windows แล้วคลิกแถบ General Option เลือกให้แสดง View Type แบบ Extrude เพื่อให้แสดงขนาดหน้าตัด

TUMCIVIL.COM

- เลือก View by Colors of > Sections ให้แสดงสีตามหน้าตัด ซึ่งเราสามารถกำหนดได้ในหน้าต่างกำหนดหน้าตัด



- ถ้าต้องการเปลี่ยนสี เลือกเมนู Define > Section Properties > Frame Sections เลือกหน้าตัดแล้วคลิกปุ่ม Modify/Show Property แล้วคลิกเปลี่ยน Display Color ตามต้องการ
- ลองเปลี่ยนคานเป็นสีเขียวและเสาสีน้ำเงิน โมเดลในหน้าต่าง 3D จะมีลักษณะดังในรูป



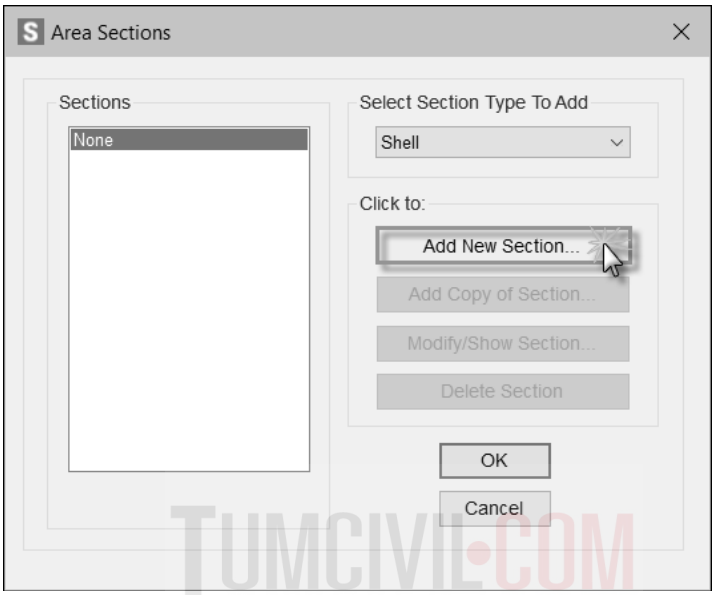
- คลิกปุ่ม เลือกแถบ General Option > View Type > Standard ให้กลับมาแบบเดิม

▶ สั่งเมนู File > Save หรือกด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูล

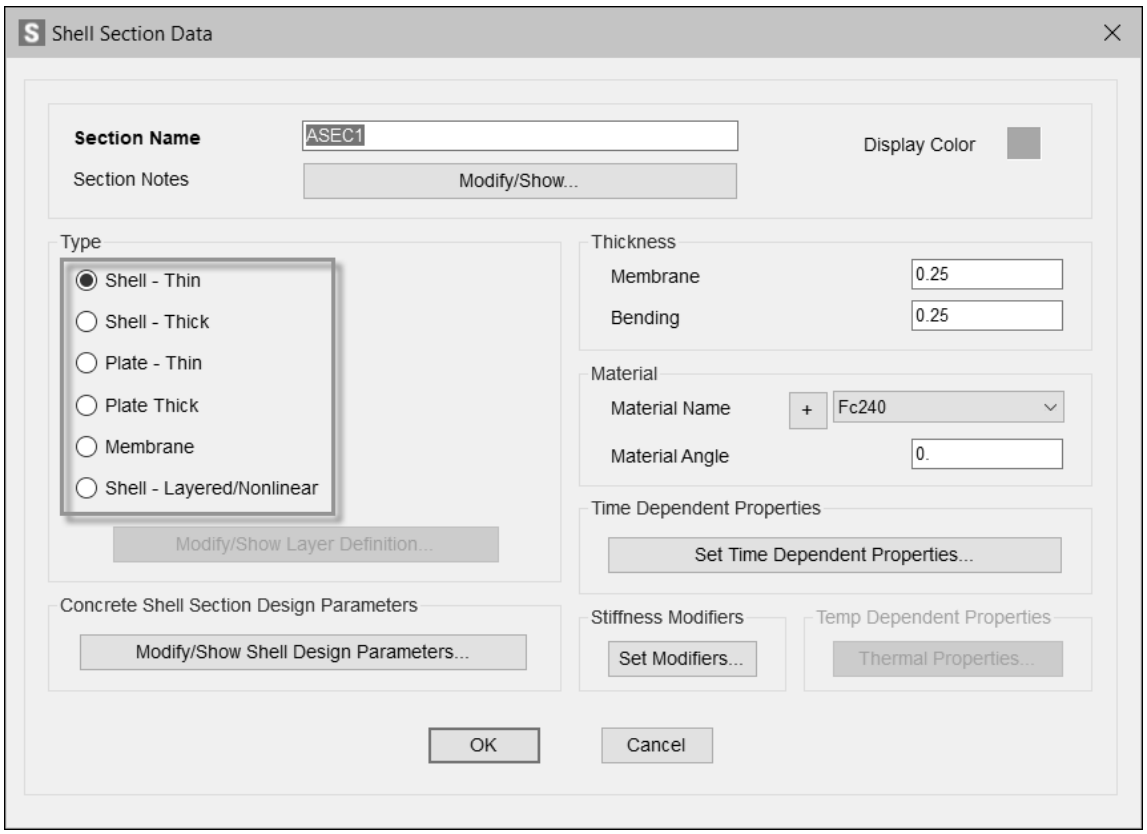
กำหนดหน้าตัดพื้น Define Area Sections

▶ สั่งเมนู Define > Section Properties > Area Sections... หรือคลิกปุ่ม บนทูลบาร์ หน้าต่าง Area Properties จะแสดงขึ้นมา

▶ เลือกชนิดวัตถุเป็น Shell แล้วคลิกปุ่ม Add New Section...



ในหน้าต่างที่แสดงขึ้นมาจะมีพื้นให้เลือกหลายชนิดเช่น Shell, Plate และ Membrane



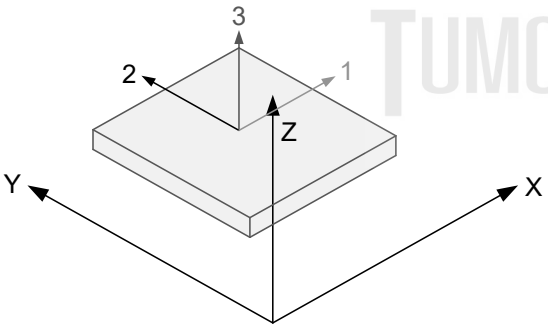
สำหรับหน้าตัด Shell มีแผ่น 4 ชนิดให้เลือกดังนี้

- **Shell** รับได้ทุกแรง มีทั้งแบบ Thick และ Thin ให้เลือก
- **Plate** จะรับเฉพาะโมเมนต์ดัดและแรงทางขวางมีทั้งแบบ Thick และ Thin
- **Membrane** จะรับเฉพาะแรงในแนวระนาบและโมเมนต์ในทิศตั้งฉากกับแผ่น
- **Thick & Thin** พฤติกรรมแบบแผ่นหนาหรือบาง แผ่นบางคิดเพียงการเสียรูปทรงจากการดัด แผ่นหนาจะคิดผลของการเสียรูปทรงจากแรงเฉือนด้วย มักใช้กับแผ่นที่หนาเกิน 1/10 ของขนาด

ในตัวอย่างนี้เรามีพื้นคอนกรีต **S1** และ **S2** ซึ่งเป็นพื้นหล่อในที่สองทางอาจเลือกเป็น Shell-Thin หรือ Membrane ก็ได้ ถ้าเลือกเป็น Shell-Thin จะคิดสติฟเนสการดัดของพื้นมาช่วยคานรับน้ำหนัก ทำให้แรงในคานลดลง สำหรับบ้านที่อยู่อาศัยซึ่งมีช่วงสั้นและรับน้ำหนักบรรทุกไม่มากมักใช้พื้น Membrane

ทิศทางแกนองค์อาคารของแผ่น

แต่ละแผ่นจะมีแกนองค์อาคารเฉพาะที่คือแกน 1, 2 และ 3 โดยแกน 1 และ 2 จะอยู่ในระนาบของแผ่น และแกน 3 ตั้งฉากกับระนาบแผ่น

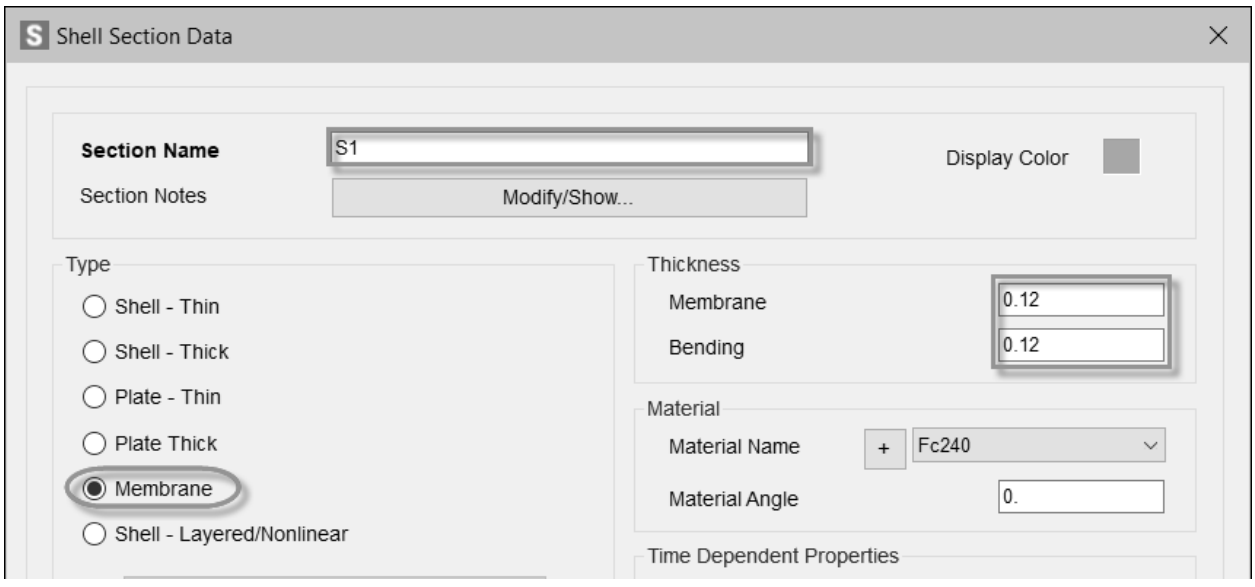


TUMCIVIL.COM

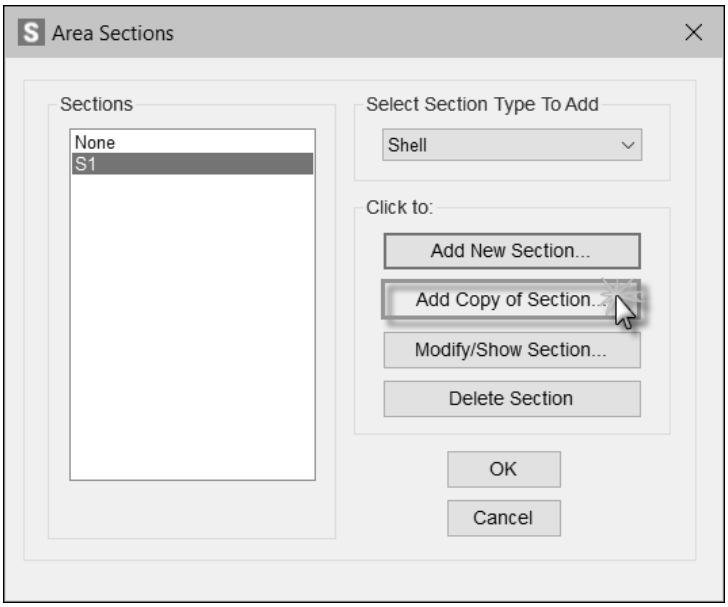
- ระนาบแกน 3-2 จะอยู่ในแนวดิ่ง ขนานแกน +Z
- แกน 2 จะชี้ไปทิศ +Z นอกเสียจากว่า แผ่นอยู่ในแนวราบแกน แกน 2 จะชี้ไปทาง +Y
- แกน 1 จะอยู่ในแนวราบ ในระนาบ X-Y

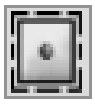
ในกรณีของพื้นซึ่งระนาบอยู่ในแนวราบ แกน 2 ชี้ไปทิศ +Y, แกน 1 จะอยู่ในทิศ X และแกน 3 ในทิศ Z ดังในรูป

▶ สร้างพื้น S1 เป็นชนิด Membrane หนา 0.12 ม. ดังในรูป



- เมื่อกด OK กลับมาในหน้าต่าง Area Sections จะมีรายการ S1 ถูกสร้างขึ้นมา ให้คลิกปุ่ม Add Copy of Section เพื่อทำซ้ำ ตั้งชื่อเป็น S2 แล้วเปลี่ยนความหนาเป็น 0.1 m

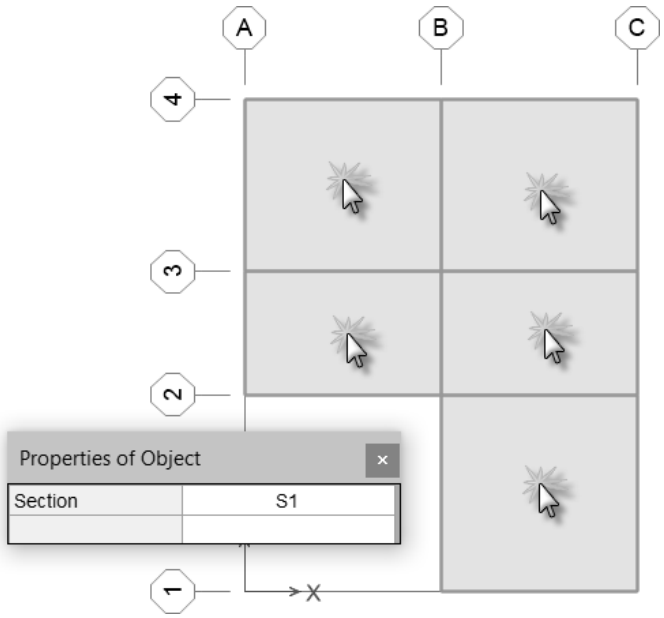




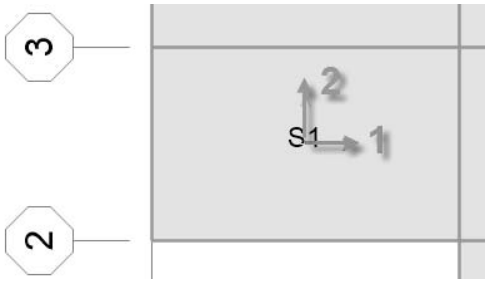
การวาดพื้น Draw Slab

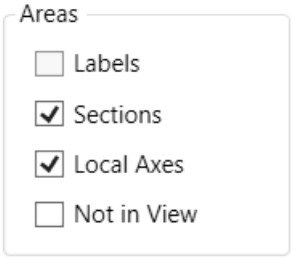
TUMCIVIL.COM

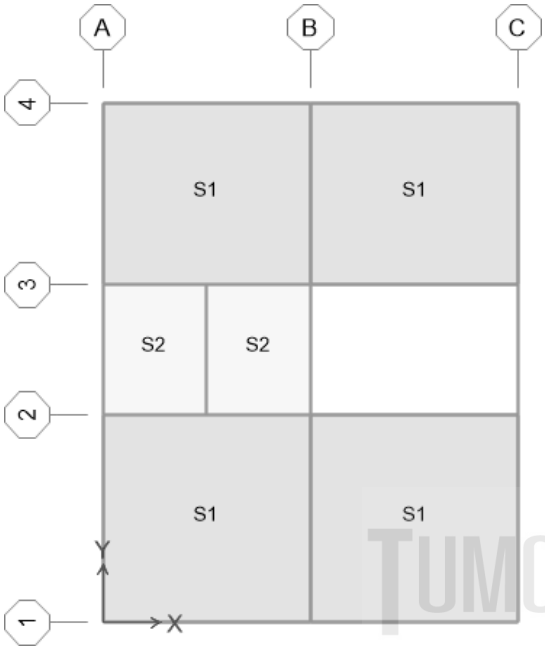
- ในหน้าต่าง X-Y Plane คลิกปุ่ม จนได้ระนาบ X-Y @ Z = 0.3
- คลิกปุ่ม คลิกแถบ General Options เลือก View Type > Standard และ General > Fill Objects เพื่อให้แสดงพื้น และคลิกเลือก Apply to All Windows
- คลิกปุ่ม จะเป็นการวาดแผ่นอย่างรวดเร็ว เลือกหน้าตัด S1 แล้วคลิกในช่องกริดเพื่อวาดพื้น S1 ดังในรูป



▶ คลิกปุ่ม ในแถบ Object Options เลือกให้แสดง Areas > Sections และ Local Axes







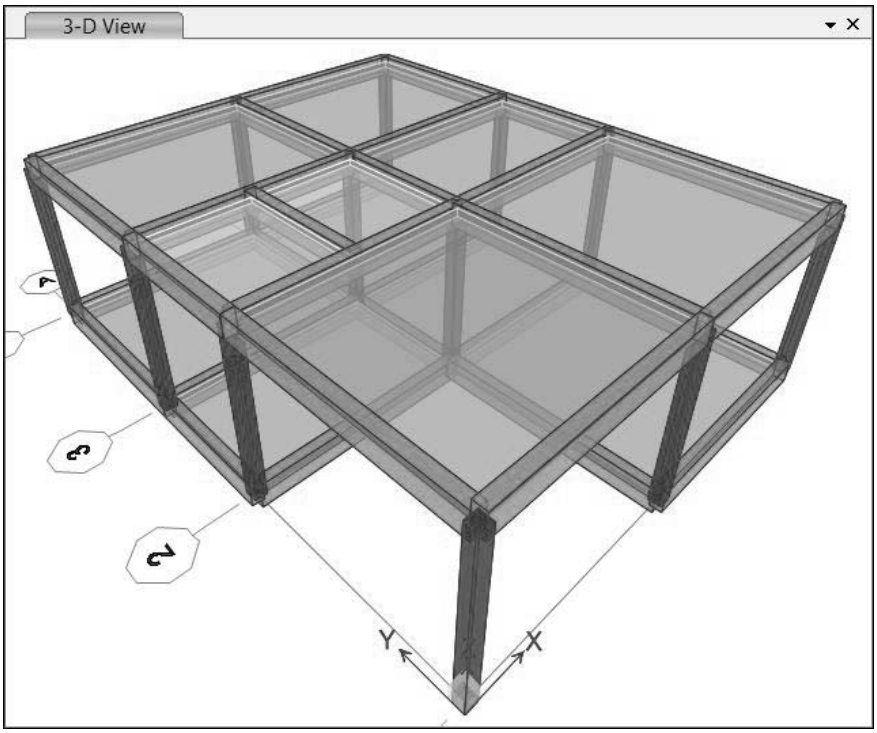
จะเห็นว่าลูกศรสีแดงคือแกน 1 ชี้ไปทางแกน +X ลูกศรสีเขียวคือแกน 2 ชี้ไปทางแกน +Y และลูกศรสีฟ้าคือแกน 3 ชี้ไปทางแกน +Z

▶ คลิกเครื่องหมาย จนได้ระนาบ X-Y @ Z = 3.3 แล้ววาดพื้น S1 และ S2

▶ สำหรับ S2 ให้คลิก ลากตีกรอบจนได้ดังในรูป

TUMCIVIL•COM

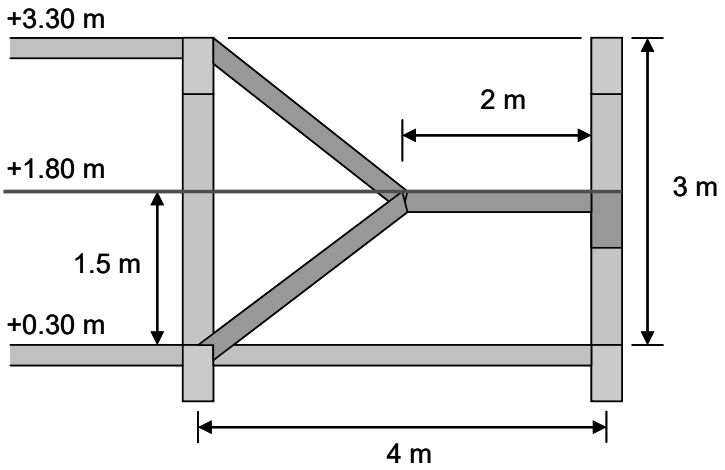
ในหน้าต่าง 3-D View จะมีลักษณะดังในรูป (Extrude View)



▶ สั่งเมนู File > Save หรือกด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูล

การวาดบันได Draw Stair

บันไดระหว่างชั้นหนึ่งและสองจะเป็นช่องพื้นที่ว่างเว้นไว้ระหว่างเส้นกริด 2-3 และ B-C โดยจะมีชานพักกลางความสูงชั้นที่ระดับ +1.80 m



- คลิกปุ่ม เลือกเอาการแสดงผลต่างๆออกเหลือเพียงที่จำเป็น และ Fill Objects
- สั่งเมนู Define > Coordinate Systems/Grids หรือคลิกขวาในพื้นที่ว่าง เลือกรายการ Edit Grid Data... แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show System
- คลิกปุ่ม Add เพื่อเพิ่มแถวของตาราง Z Grid Data, ใส่ข้อมูลเส้นกริด Z1.5 ที่ระดับความสูง +1.80 m คลิกช่องอื่นแล้วคลิกปุ่ม Reorder Ordinates เพื่อจัดเรียงข้อมูลตามตำแหน่ง

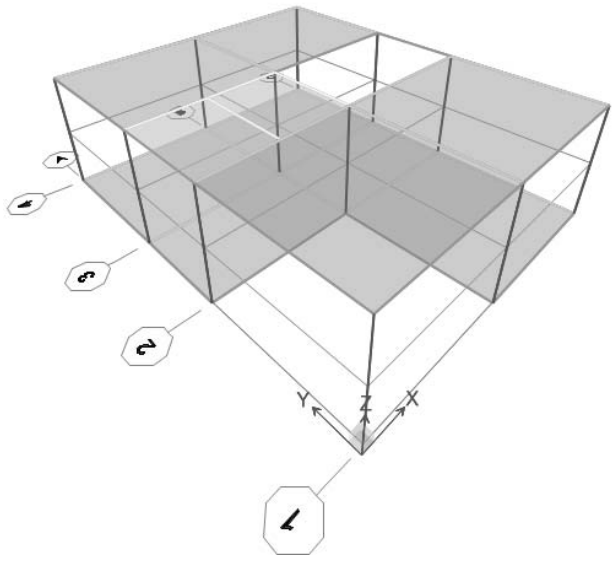
TUMCIVIL.COM

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc
Z1	0.3	Primary	Yes	End
Z1.5	1.8	Primary	Yes	End
Z2	3.3	Primary	Yes	End

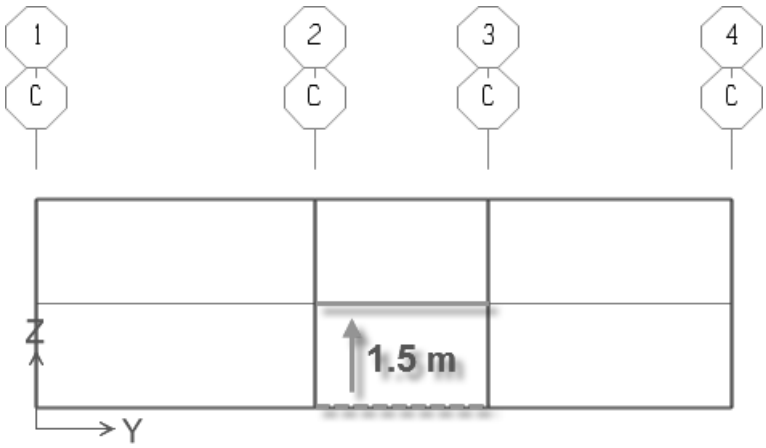
Add

Delete



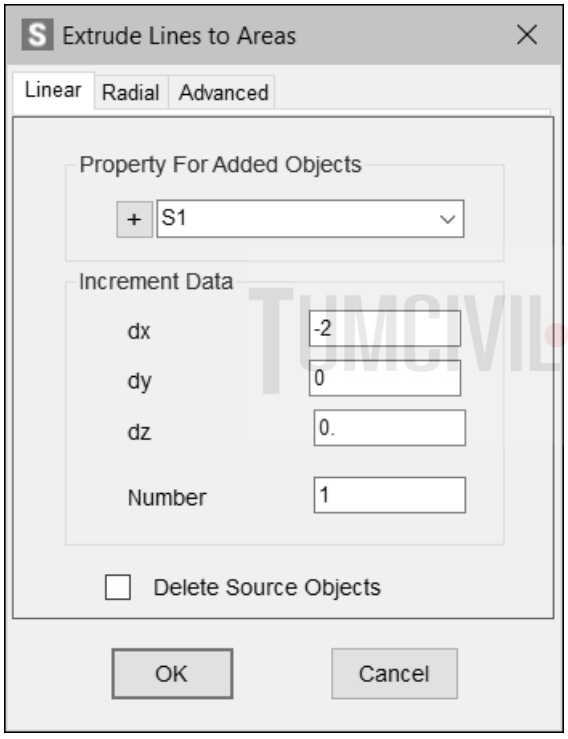
เมื่อคลิก OK จนกลับมายังหน้าจอโมเดลจะเห็นในหน้าต่าง 3-D View ว่ามีเส้นกริดเพิ่มขึ้นระหว่างชั้น

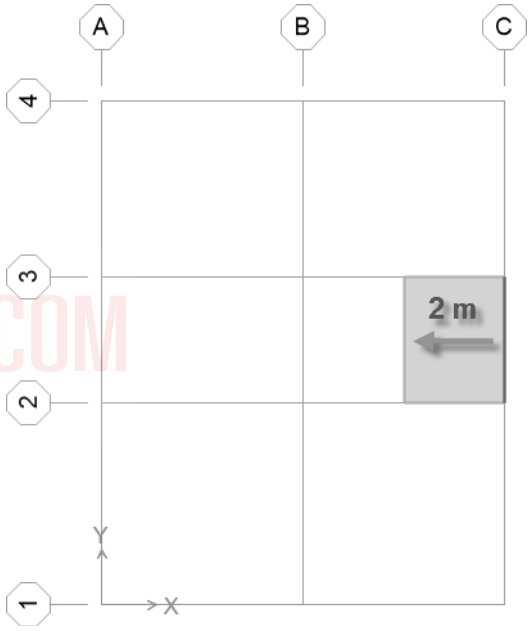
- คลิกหน้าต่าง X-Y Plane แล้วเปลี่ยนเป็นระนาบ Y-Z ที่เส้นกริด C
- คลิกเลือกคานชั้นล่างระหว่างจุด C2-C3 กด Ctrl+R หรือ สั่งเมนู Edit > Replicate ใส่ระยะ dz = 1.5 m



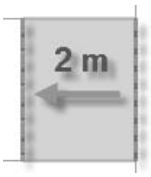
- เปลี่ยนมุมมองเป็น X-Y Plane @ Z = 1.8 แล้วคลิกเลือกคานชานพัก

- สั่งเมนู Edit > Extrude > Extrude Lines to Areas กำหนดค่าดังในรูป

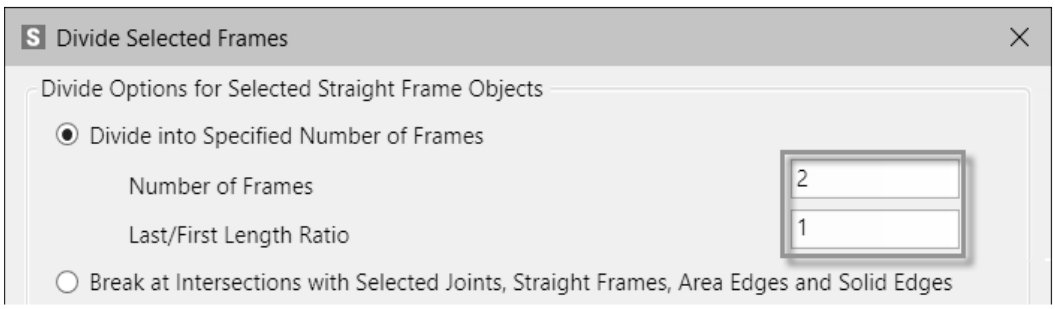




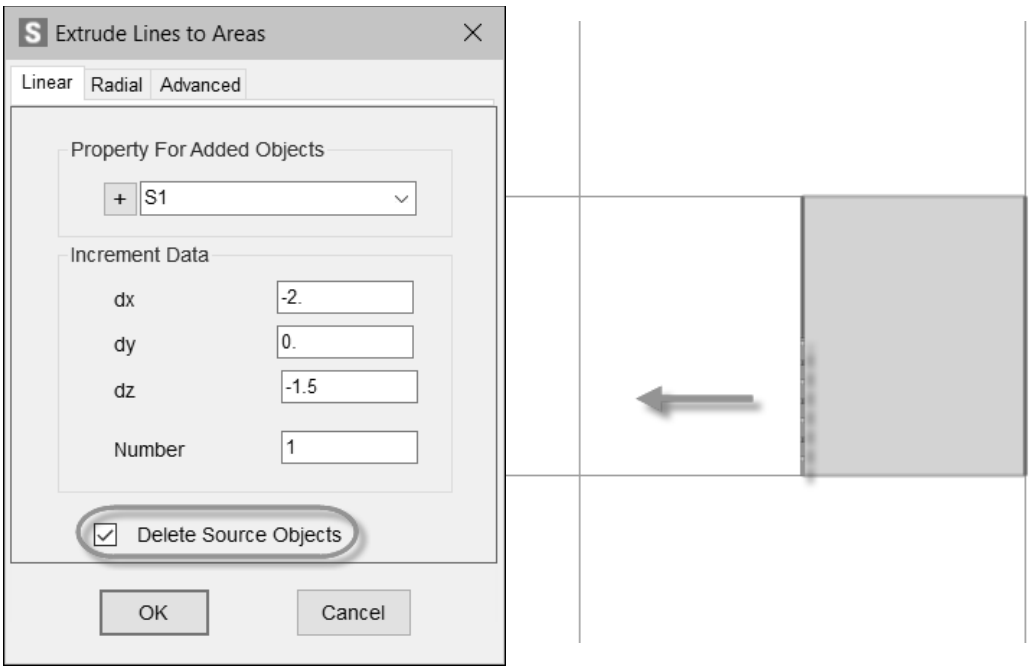
- คลิกเลือกคานชานพักอีกครั้ง กด Ctrl+R สั่งทำซ้ำมาที่ระยะ dx = -2 m



- คลิกเลือกคานที่ถูกทำซ้ำ สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames เพื่อแบ่งคานออกเป็นสองส่วนเท่ากัน

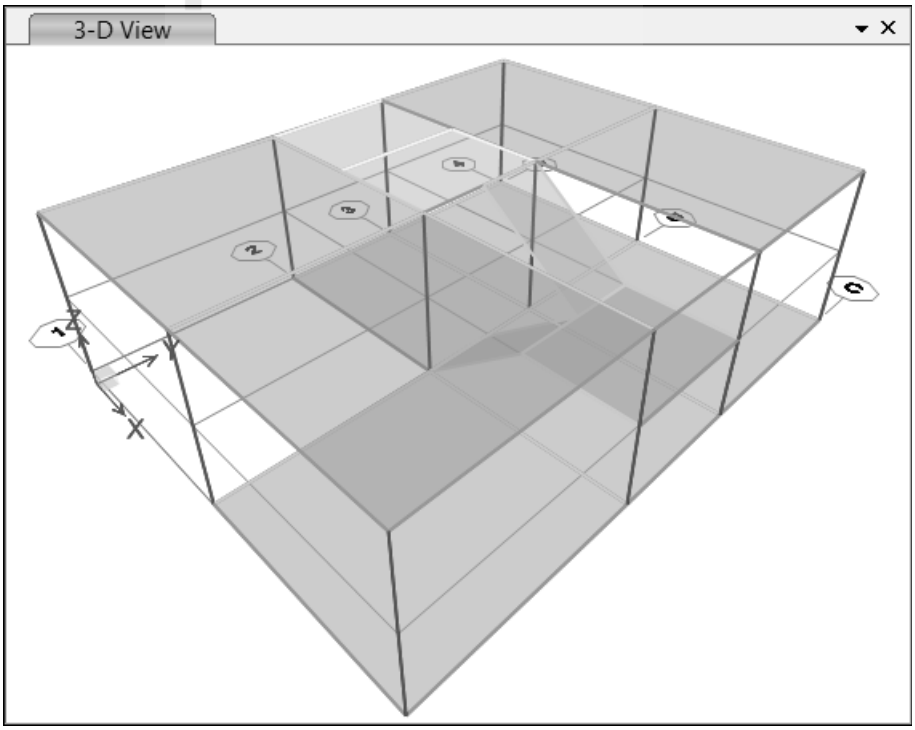


- เลือกคานท่อนล่าง สั่ง Extrude Lines to Areas ด้วยระยะ dx = -2, dz = -1.5 และเลือก Delete Source Object เพื่อให้ลบคาน



- เลือกคานท่อนบน สั่ง Extrude Lines to Areas ด้วยระยะ dx = -2, dz = 1.5
- ในหน้าต่าง 3-D View จะเห็นบันไดดังในรูป

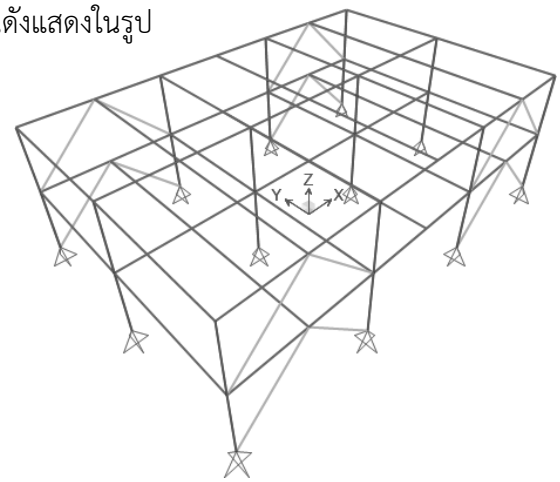
TUMCIVIL.COM

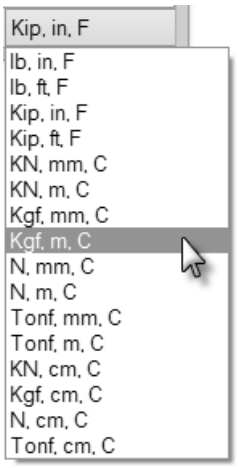


- สั่งเมนู File > Save หรือกด Ctrl+S บันทึกข้อมูล

โมเดลอาคารโครงเหล็ก

ตัวอย่างนี้จะเป็นการสร้างโมเดลโครงสร้างเหล็ก โดยมีองค์อาคารได้แก่ เสา คาน และ bracing เป็นหน้าตัดเหล็กรูปพรรณดังแสดงในรูป

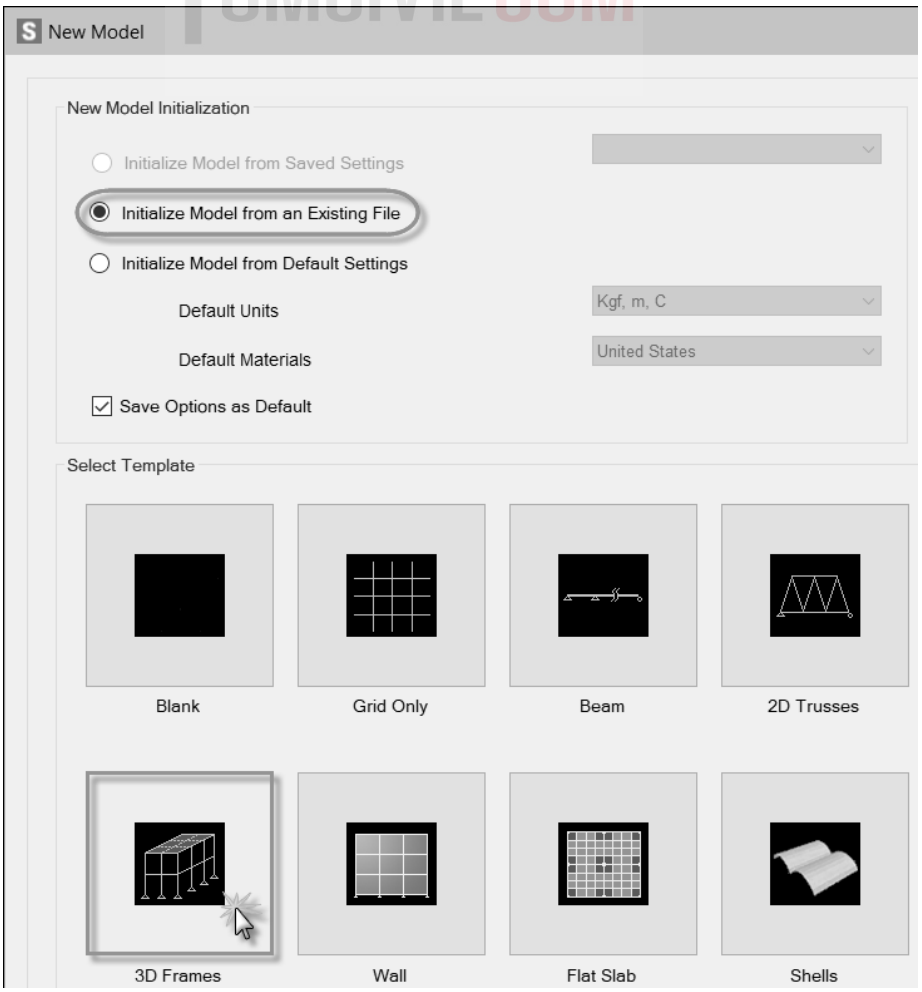




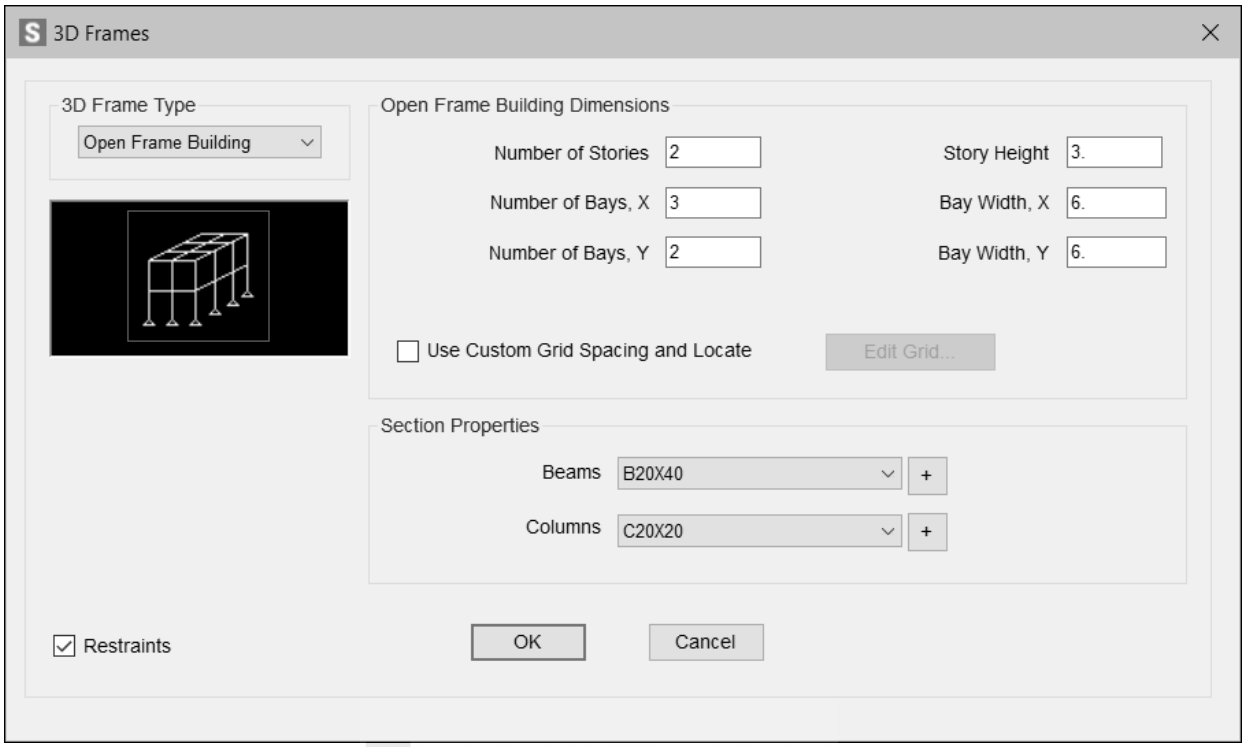
เทมเพลต 3D Frame

- เริ่มต้นโปรแกรม SAP2000 เปลี่ยนหน่วยเป็นหน่วย Kgf, m, C
- เริ่มต้นโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N เลือกเริ่มต้นโมเดลจากไฟล์ที่มีอยู่แล้วคลิกปุ่ม 3D Frames

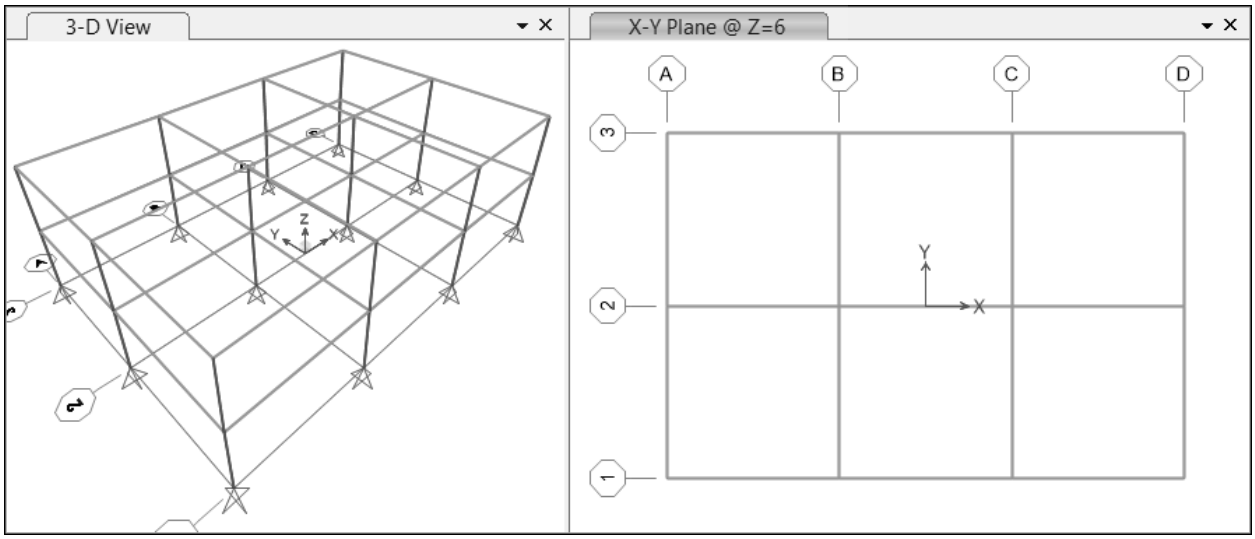
TUMCIVIL.COM



- เลือกไฟล์จากตัวอย่างที่แล้วคือ EX2 House2F.sdb เพื่อใช้เป็นต้นแบบ
- ในหน้าต่าง 3D Frames จะให้เลือกชนิดโครง และข้อมูลต่างๆดังในรูป



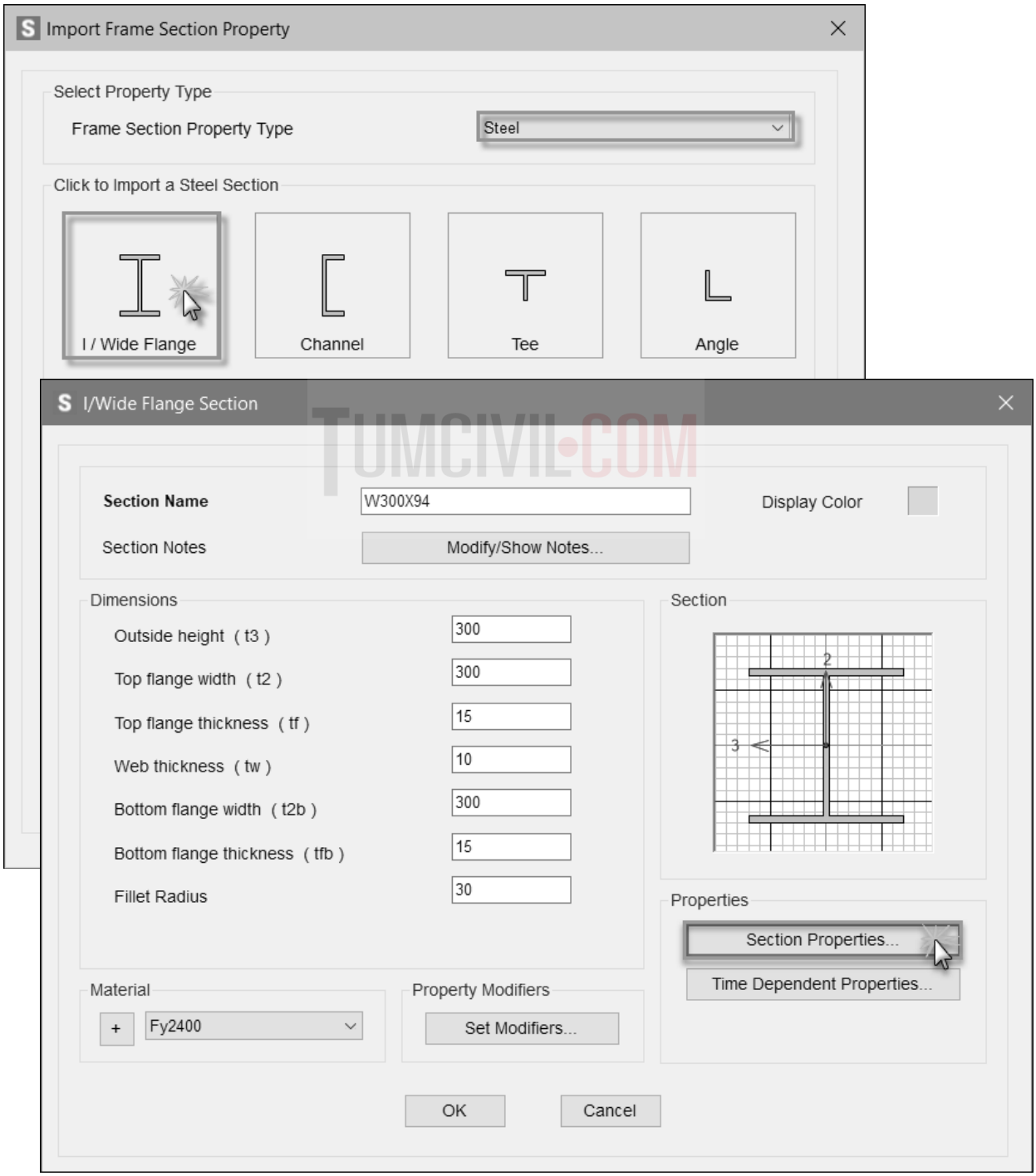
เมื่อกด OK โมเดลจะถูกสร้างขึ้นดังในรูป



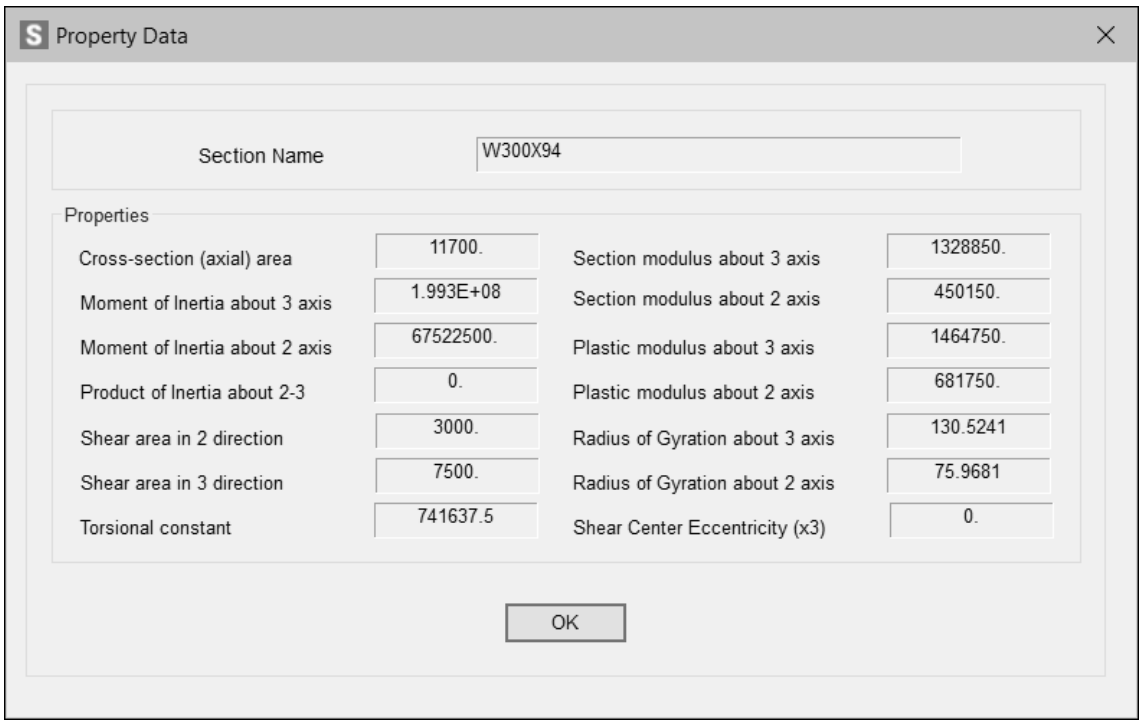
- กด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูล ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX3 Steel Frame
- ลองคลิกปุ่ม หน้าต่างวัสดุจะแสดงขึ้นมา จะมีรายการที่เราเคยกำหนดไว้แล้วสามรายการ คือ Fc240, Fy2500 และ SD40

กำหนดหน้าตัดเฟรม Define Frame Sections

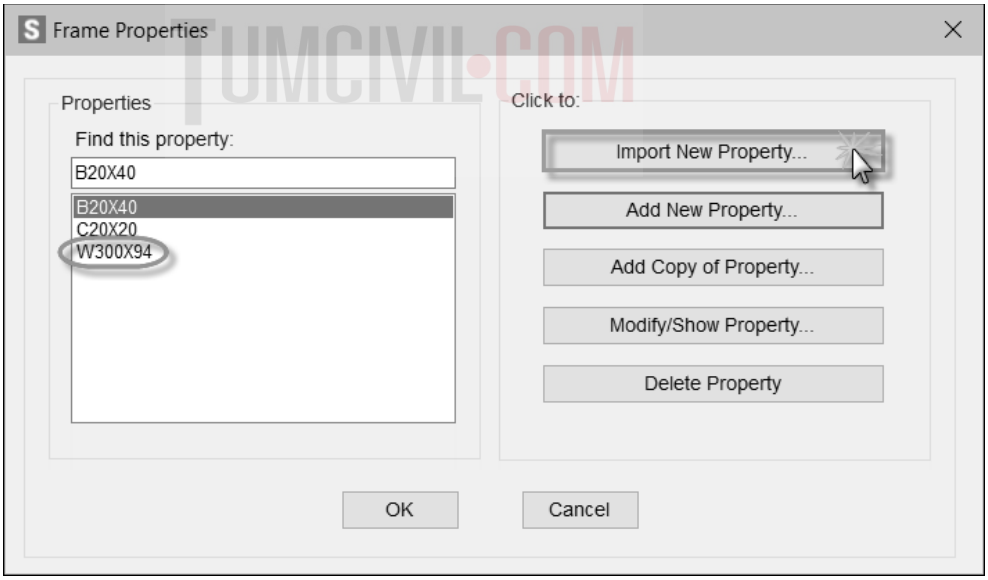
- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf-mm แล้วคลิกปุ่ม บนทูลบาร์ หน้าต่าง Frame Properties จะแสดงขึ้นมา โดยจะมีหน้าตัดของไฟล์เดิมที่เคยสร้างไว้
- คลิกปุ่ม Add New Property เลือกชนิดหน้าตัด Steel แล้วเลือกหน้าตัด I / Wide Flange
- ใส่ข้อมูลของหน้าตัด W300X94 โดยใส่ค่าขนาดต่างๆลงตามช่องที่กำหนดดังในรูป



- กดปุ่ม Section Properties... เพื่อดูคุณสมบัติตามที่โปรแกรมคำนวณจากข้อมูลที่ใส่เข้าไป



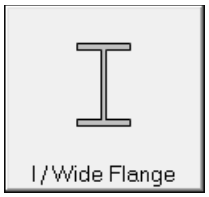
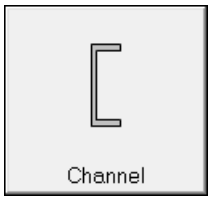
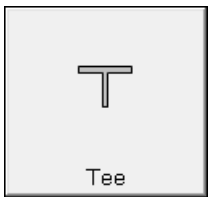
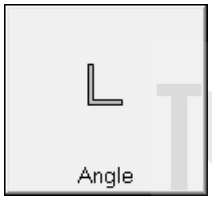
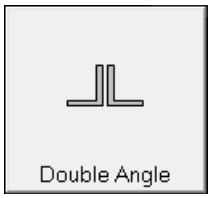
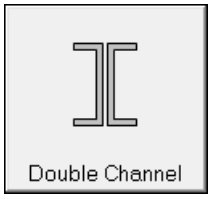
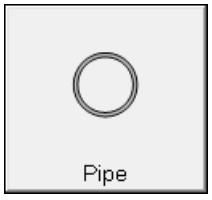
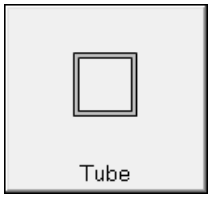
- เมื่อคลิก OK จนกลับมาที่หน้าต่าง Frame Properties จะมีรายการหน้าตัด W300X94 แสดงขึ้นมา ดังในรูป



ในการออกแบบโดยให้โปรแกรมเลือกหน้าตัดเหล็กโดยอัตโนมัติเรียกว่า Auto Select จะต้องสร้างรายการเหล็กจำนวนมาก ซึ่งอาจไม่สะดวกที่จะมาใส่ข้อมูลทีละหน้าตัด ถึงแม้ว่าจะสามารถดึงข้อมูลจากไฟล์ที่มีอยู่เดิมก็ตาม

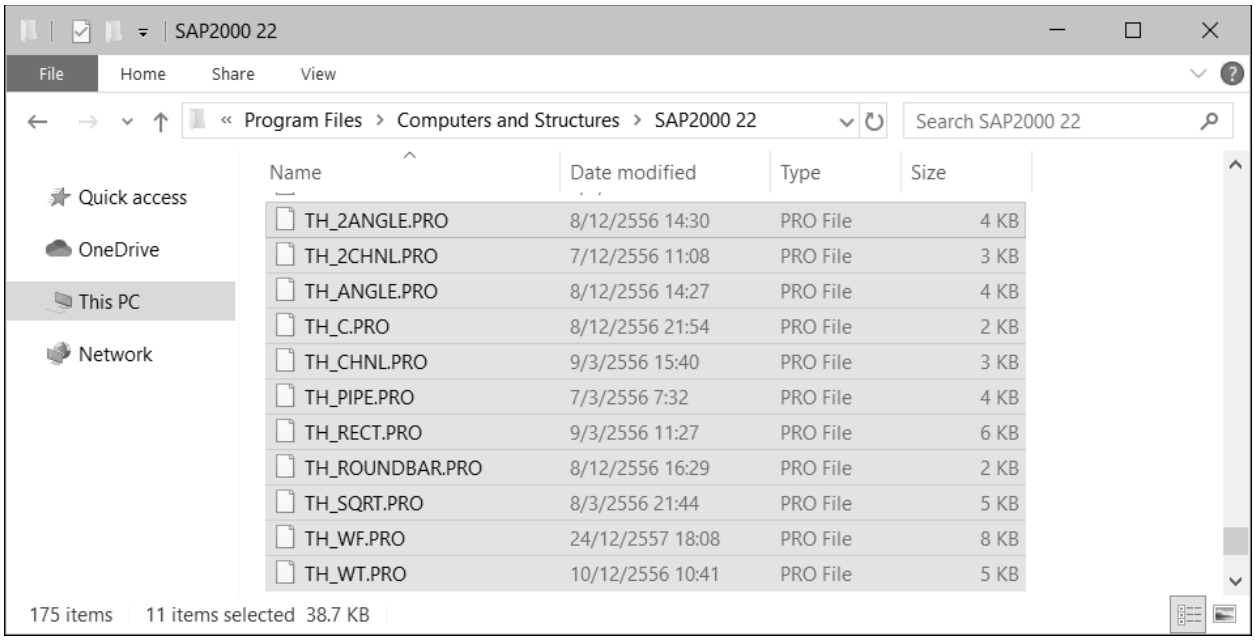
เราสามารถนำเข้าข้อมูลหน้าตัดจากภายนอกโดยมีให้เลือกทั้งแบบ Property Files (*.xml), (*.pro) และ FWP Sections File (*.ssc) โดยคลิกปุ่ม Import New Property... คลิกเลือกหน้าตัดที่ต้องการ แล้วเลือกไฟล์หน้าตัดที่อยู่ในโฟลเดอร์ ของโปรแกรม SAP2000 ซึ่งจะมีให้เลือกตามมาตรฐานของประเทศต่างๆมากมาย แต่ไม่มีประเทศไทย หรือญี่ปุ่น

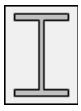
เพื่อให้สามารถใช้หน้าตัดไทยได้โดยสะดวก ผู้เขียนจึงได้จัดสร้างตารางหน้าตัดไทยตามมาตรฐาน มอก. ซึ่งเป็นไฟล์ Property Files (*.pro) โดยจะมีไฟล์ดังนี้

	TH_WF.PRO หน้าตัดเหล็กตัวเอชหรือ Wide Flange
	TH_CHNL.PRO หน้าตัดเหล็กรูปรางน้ำ TH_C.PRO หน้าตัดเหล็กรูปตัวซี
	TH_WT.PRO หน้าตัดเหล็กรูปตัวที
	TH_ANGLE.PRO หน้าตัดเหล็กฉาก
	TH_2ANGLE.PRO หน้าตัดเหล็กฉากคู่
	TH_2CHNL.PRO หน้าตัดเหล็กรางน้ำคู่
	TH_PIPE.PRO หน้าตัดท่อกลม TH_ROUNDBAR.PRO หน้าตัดเหล็กเส้นกลม
	TH_SQRT.PRO หน้าตัดกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส TH_RECT.PRO หน้าตัดกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

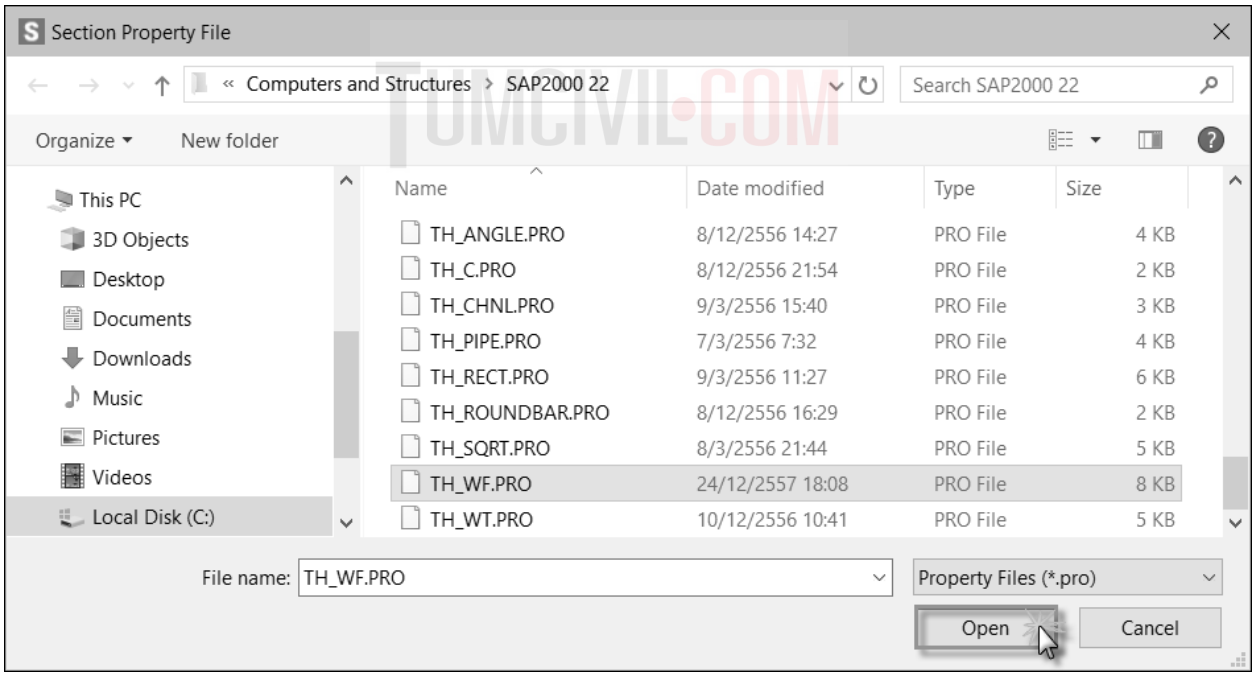
TUMCIVIL.COM

▶ นำไฟล์หน้าตัดมาวางในโฟลเดอร์ของโปรแกรม SAP2000

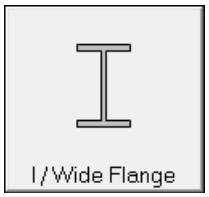
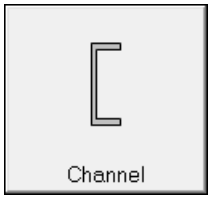
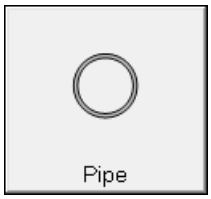
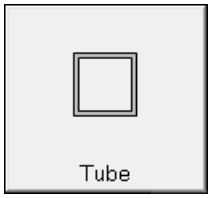




▶ คลิกไอคอนเพื่อ import หน้าตัด WF จากไฟล์ TH_WF.PRO เลือกนำเข้าหน้าตัดดังในรูป

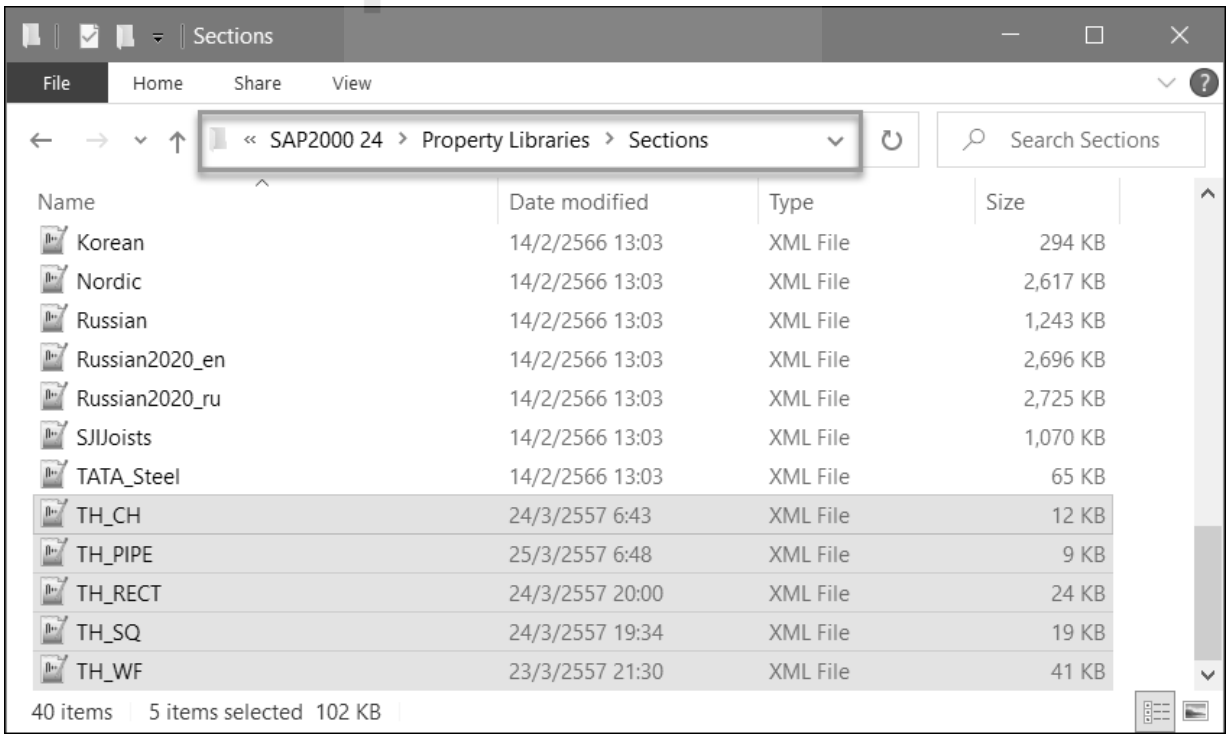


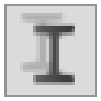
ไฟล์หน้าตัด *.pro เป็นไฟล์รูปแบบเก่าที่ใช้กันมานานแล้ว SAP2000 เวอร์ชั่น 24 ยังคงใช้ได้อยู่ แต่มีการแจ้งเตือนให้เปลี่ยนไปใช้ไฟล์หน้าตัด *.xml โดยไฟล์ *.pro จะค่อยๆลดการใช้งานลงในเวอร์ชั่นต่อไป อย่างไรก็ตามใน SAP2000 V24 ยังไม่สามารถส่งออกหน้าตัดเป็นไฟล์ *.xml ได้ แต่สามารถใช้ไฟล์หน้าตัดที่สร้างและส่งออกจากโปรแกรม ETABS ได้ ซึ่งผู้เขียนจึงได้จัดสร้างตารางหน้าตัดไทยตามมาตรฐาน มอก. ซึ่งเป็นไฟล์ Property Files (*.xml) โดยจะมีไฟล์ดังนี้

	TH_WF.XML หน้าตัดเหล็กตัวเอชหรือ Wide Flange
	TH_CH.XML หน้าตัดเหล็กรูปรางน้ำ
	TH_PIPE.XML หน้าตัดท่อกลม
	TH_SQRT.XML หน้าตัดกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส TH_RECT.XML หน้าตัดกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

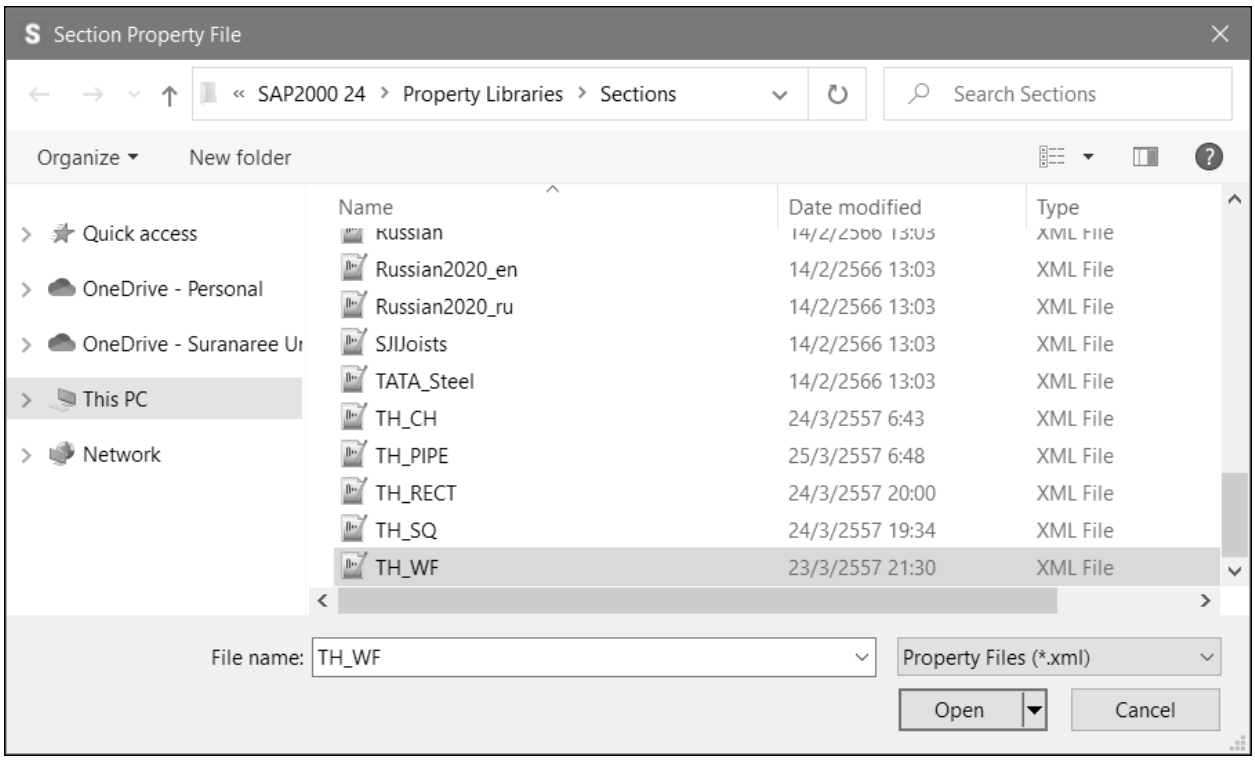
THAICIVIL.COM

- นำไฟล์หน้าตัดมาวางในโฟลเดอร์ของโปรแกรม SAP2000 > Property Libraries > Sections





- สั่งเมนู Define > Section Properties > Frame Sections คลิกปุ่ม Import New Property
- คลิกปุ่มหน้าตัด I / Wide Flange เลือกไฟล์ TH_WF.xml



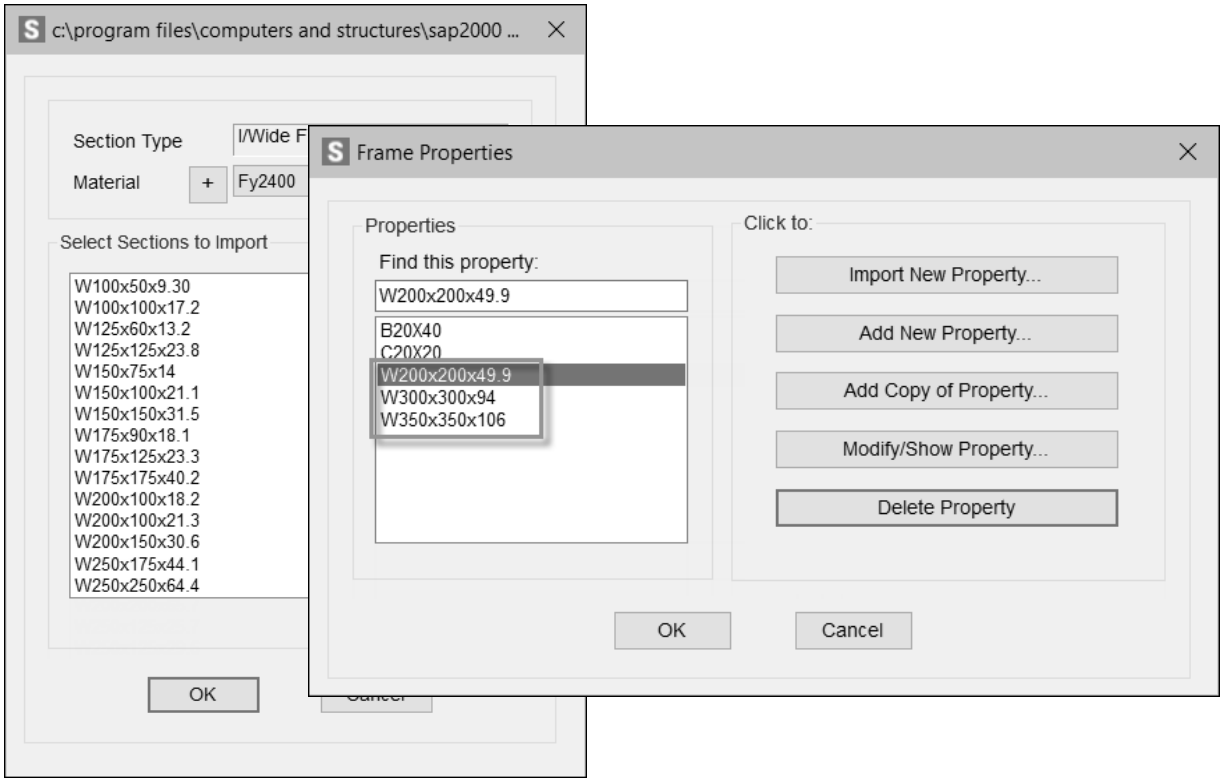
▶ คลิกปุ่ม Open เลือกหน้าตัดที่จะนำเข้าได้แก่ (กดปุ่ม Ctrl เพื่อคลิกเลือกหลายหน้าตัด)

W200X200X49.9

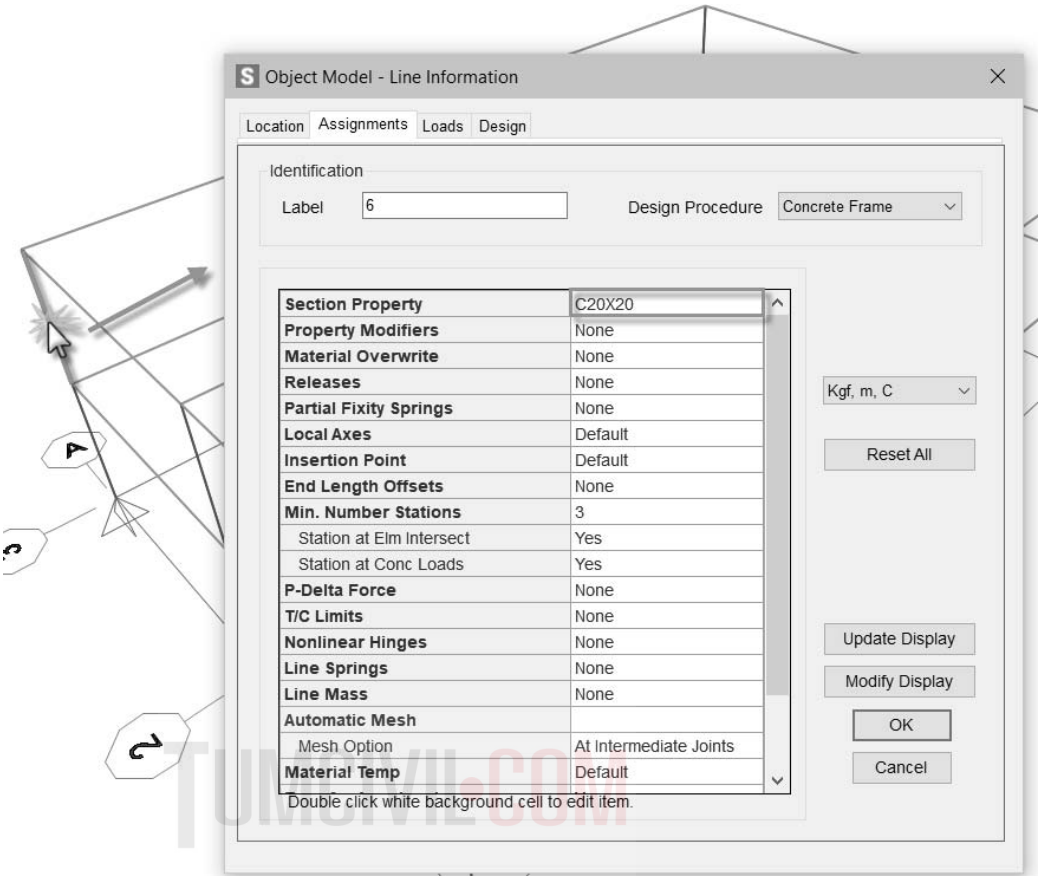
W300X300X94 และลบหน้าตัด W300X94 เนื่องจากซ้ำกัน

W350X350X106

TUMCIVIL.COM

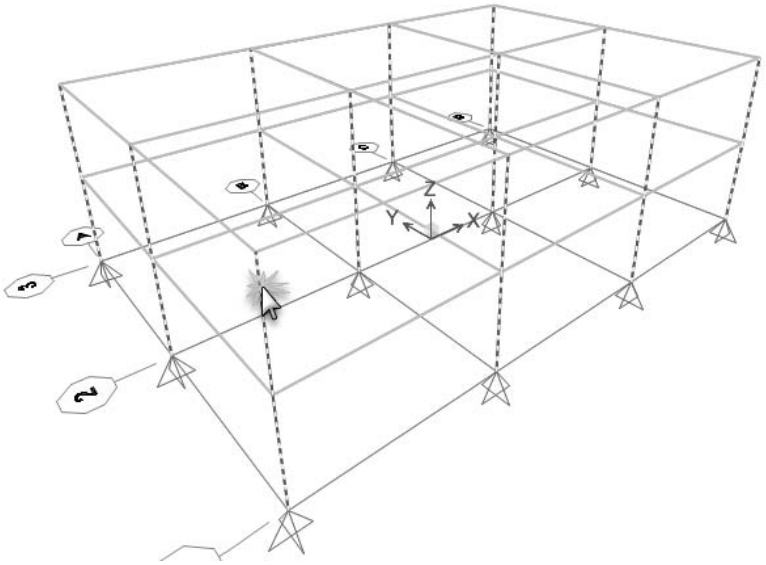


▶ คลิกขวาที่เสาและคานในหน้าต่าง 3D จะเห็นว่าถูกกำหนดเป็นหน้าตัด C20X20 และ B20X40



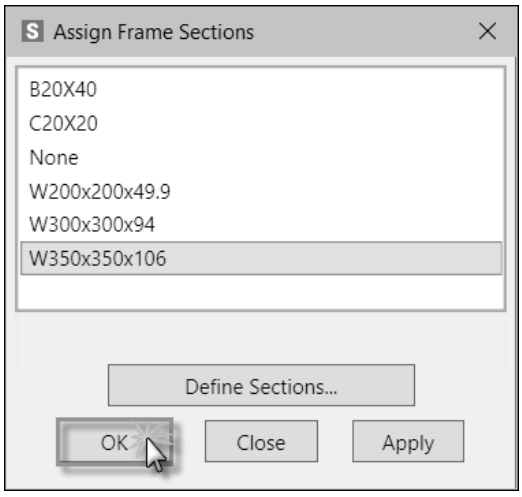
ในการเปลี่ยนเสามาเป็นหน้าตัดเหล็ก W300X300X94 เราจะเลือก (select) เสาทั้งหมดก่อน จากนั้นจึงกำหนด (assign) ให้มีคุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งการเลือกวัตถุที่มีจำนวนมากอาจใช้คำสั่งช่วยในการเลือกในเมนู Select ซึ่งในกรณีนี้เราต้องการเลือกเสาซึ่งเป็นองค์อาคารในแนวดิ่ง

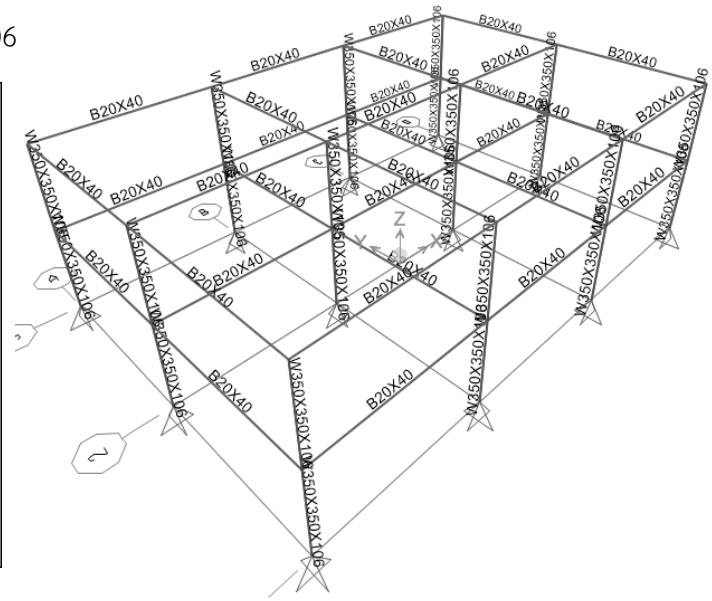
▶ สั่งเมนู Select > Select ▸ Select Lines Parallel To ▸ Click Straight Line Object แล้วคลิกที่เสาต้นหนึ่ง เสาทุกต้นซึ่งขนานกับเสาต้นนี้จะถูกเลือกหมด



▶ สั่งเมนู Assign > Frame ▸ Frame Sections

เลือกหน้าตัด W350X350X106



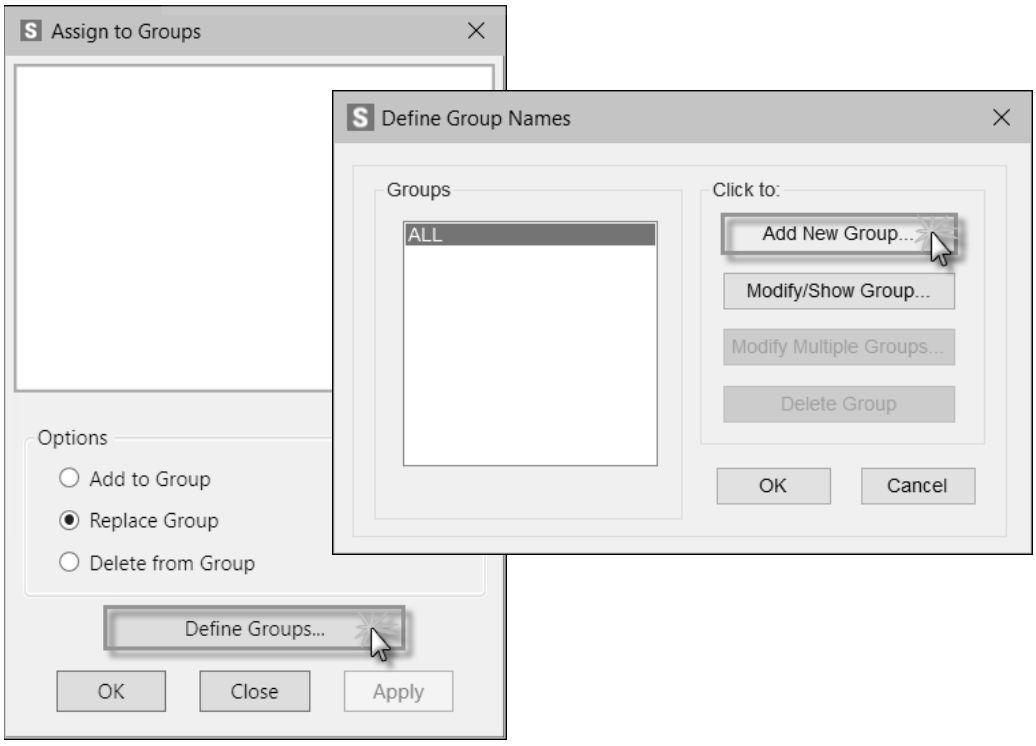


▶ สั่งเมนู Assign > Clear Display of Assigns เพื่อปิดการแสดงหน้าตัด

▶ คลิกปุ่ม หรือกด Ctrl+J เพื่อเลือกเสาอีกครั้ง สั่งเมนู Assign > Assign to Group หรือคลิกปุ่ม บนทูลบาร์ด้านบน หรือกด Ctrl+Shift+G

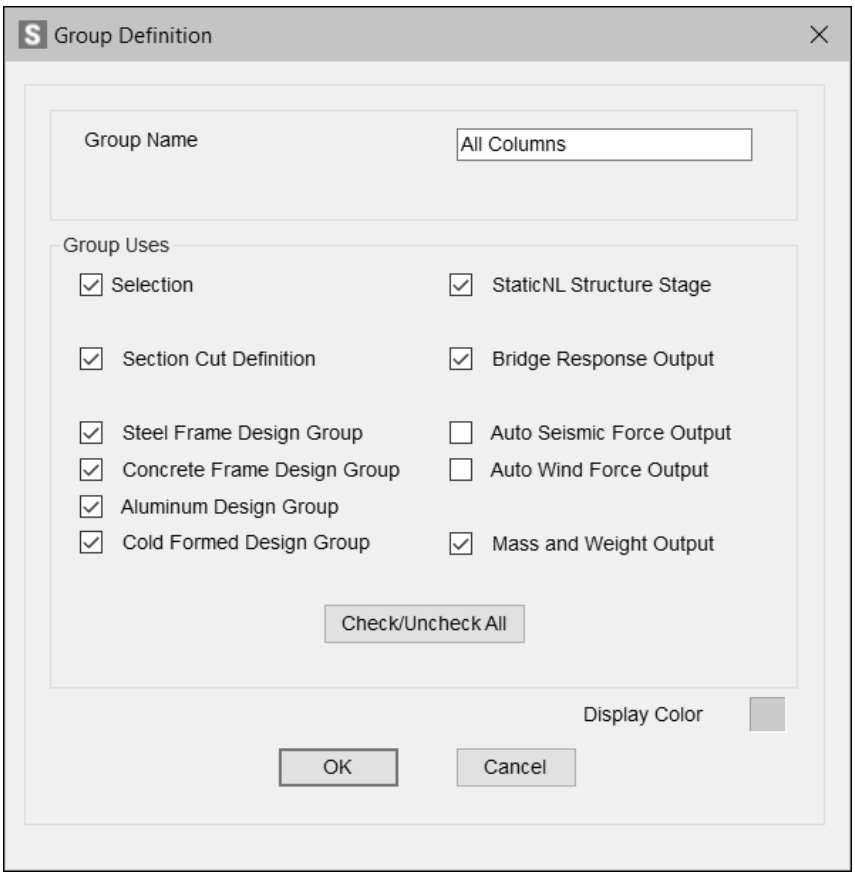
▶ ในหน้าต่าง Assign to Group คลิกปุ่ม Define Groups เพื่อตั้งกลุ่มใหม่

▶ ในหน้าต่าง Define Group Names คลิกปุ่ม Add New Group

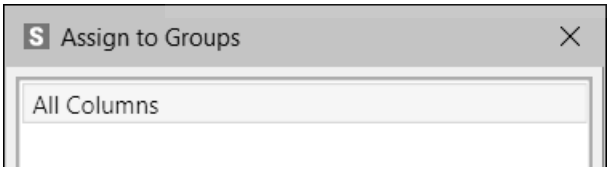


▶ ตั้งชื่อว่า All Columns ในหน้าต่าง Group Definition ที่แสดงขึ้นมา โดยเราสามารถเลือกหัวข้อที่จะใช้งานกลุ่มได้ เช่นเลือกรายการ Selection เพื่อใช้ในการเลือกเป็นกลุ่ม

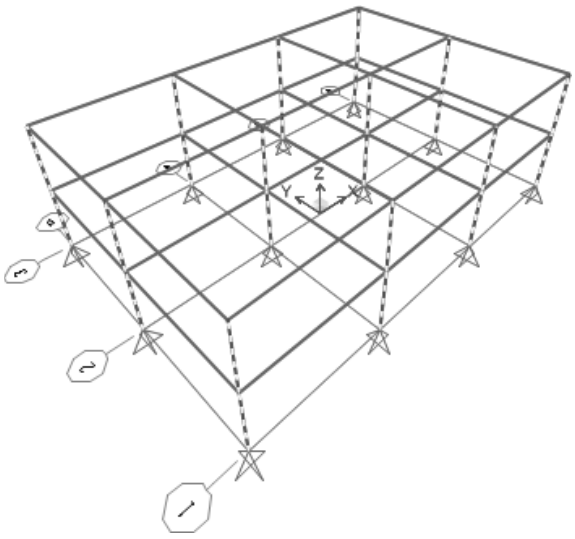
TUMCIVIL.COM

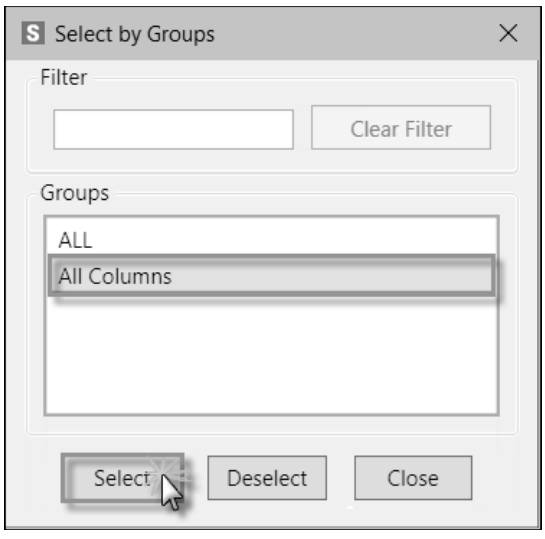


- เมื่อคลิกปุ่ม OK ในหน้าต่าง Assign to Groups จะมีชื่อกลุ่ม All Columns ที่เราตั้งไว้แสดงเพิ่มเข้ามา จากนั้นคลิกเลือกรายการ All Columns กดปุ่ม Apply แล้วกด OK

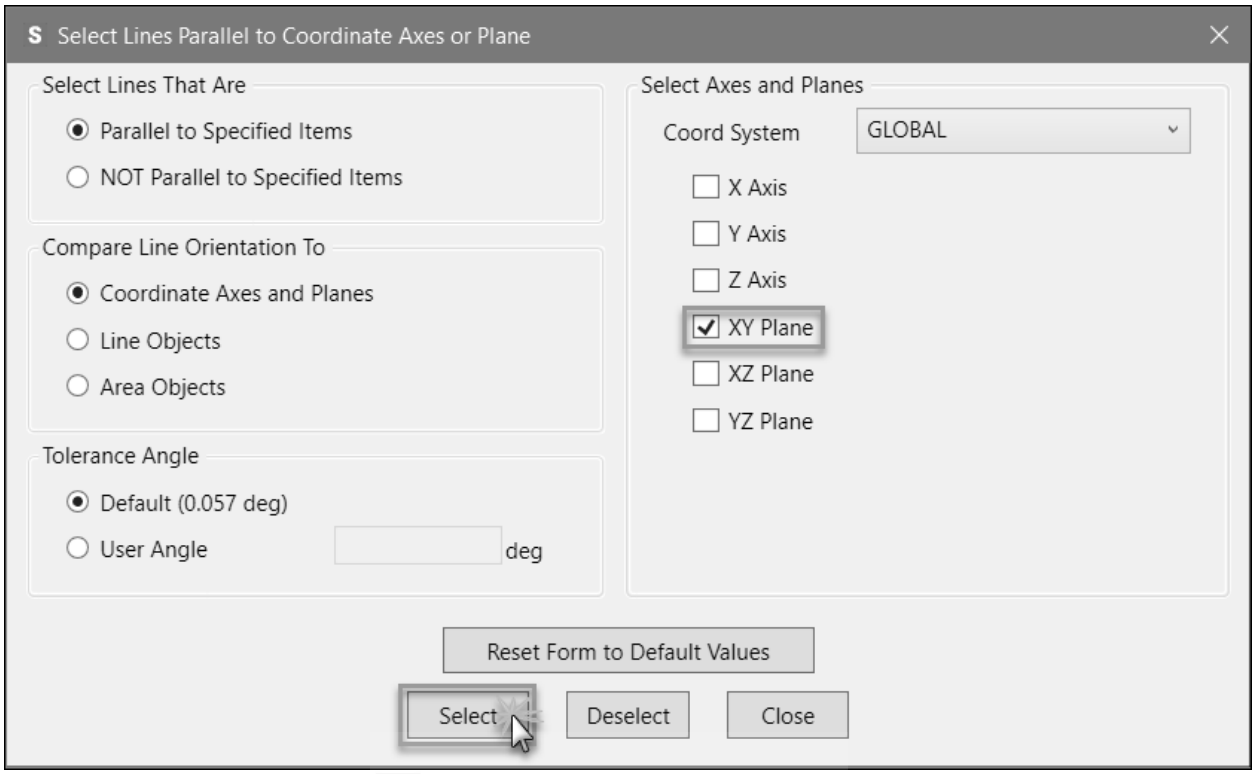


- ในครั้งต่อไปที่ต้องการเลือกเสา ให้สั่งเมนู Select > Select ▸ Groups หรือกด Ctrl+G เลือกกลุ่มที่ต้องการคือ All Columns แล้วคลิกปุ่ม Select

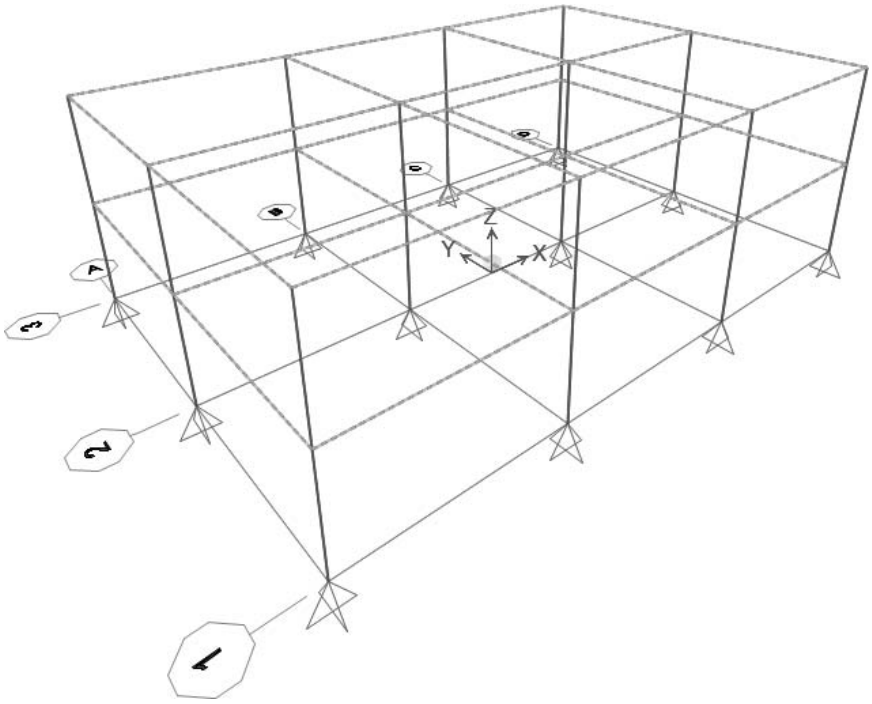




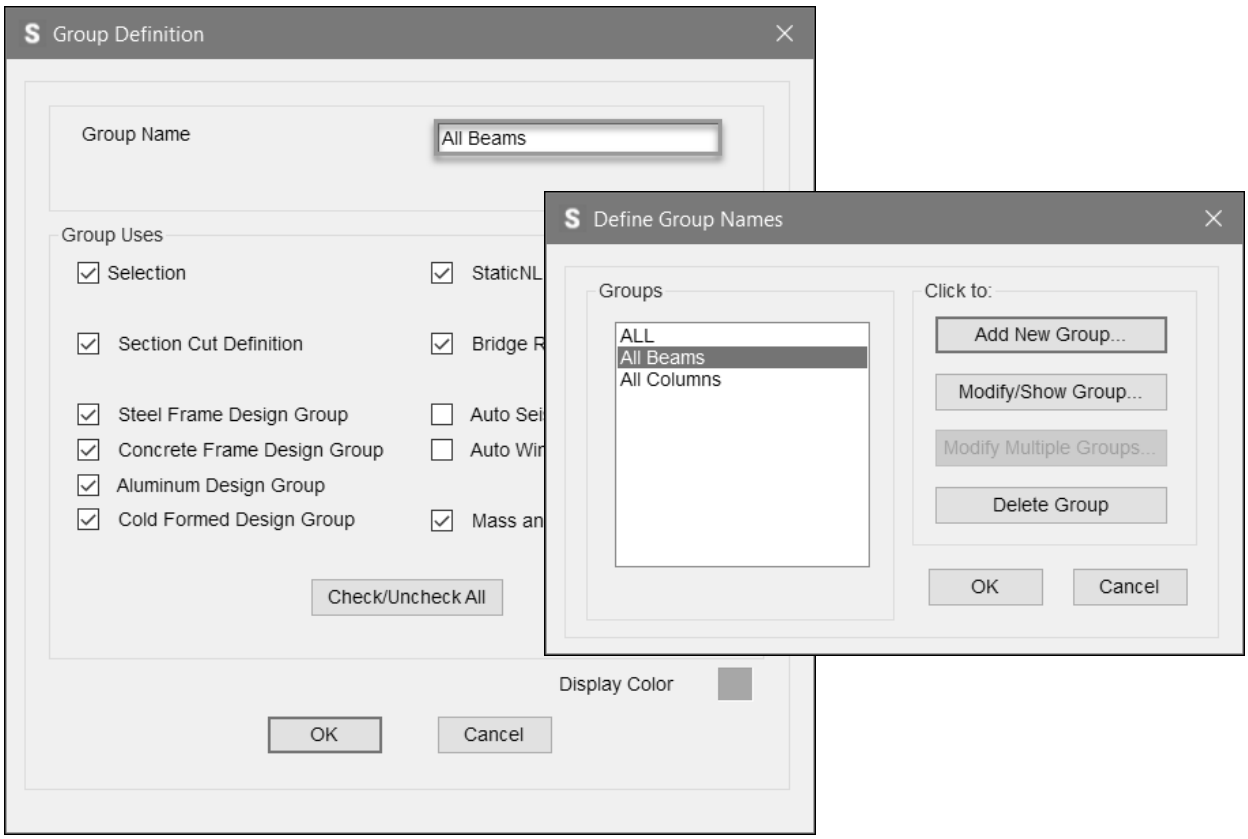
- เลือกคานทั้งหมดซึ่งจะอยู่ในระนาบราบ X-Y โดยสั่งเมนู Select > Select ▸ Select Lines Parallel To ▸ Coordinate Axes or Plane เลือก X-Y Plane



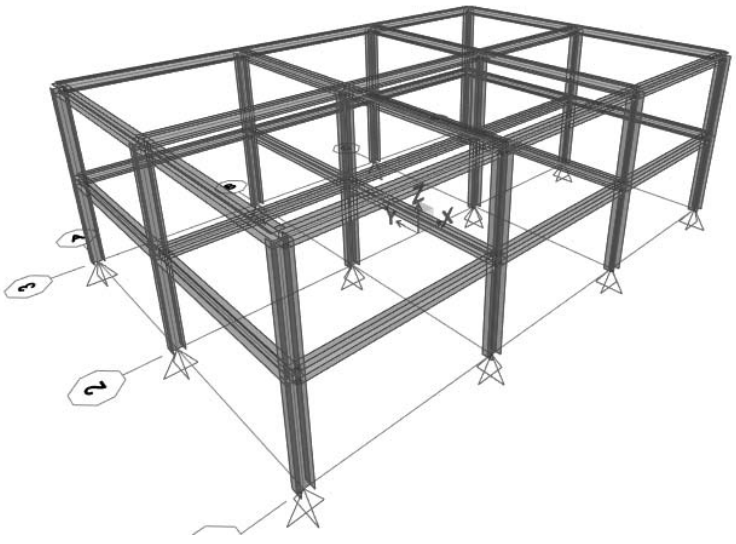
- คลิกปุ่ม Select แล้วตามด้วย Close คานทั้งหมดจะถูกเลือกดังในรูป

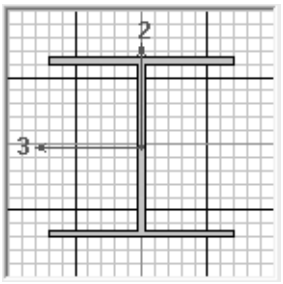


- กด Ctrl+Shift+G คลิกปุ่ม Define Groups > Add New Group สร้างกลุ่ม All Beams แล้วกดปุ่ม Apply



- กด Ctrl+G เลือกกลุ่มคาน All Beams แล้วสั่งเมนู Assign > Frame ▸ Frame Sections กำหนดให้เป็นหน้าตัด W300X300X94
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Extrude View, Color by Sections และเลือก Apply to All Windows และสั่งเมนู Options > Graphic Mode > Direct X ให้แสดงโมเดลแบบสวยงาม

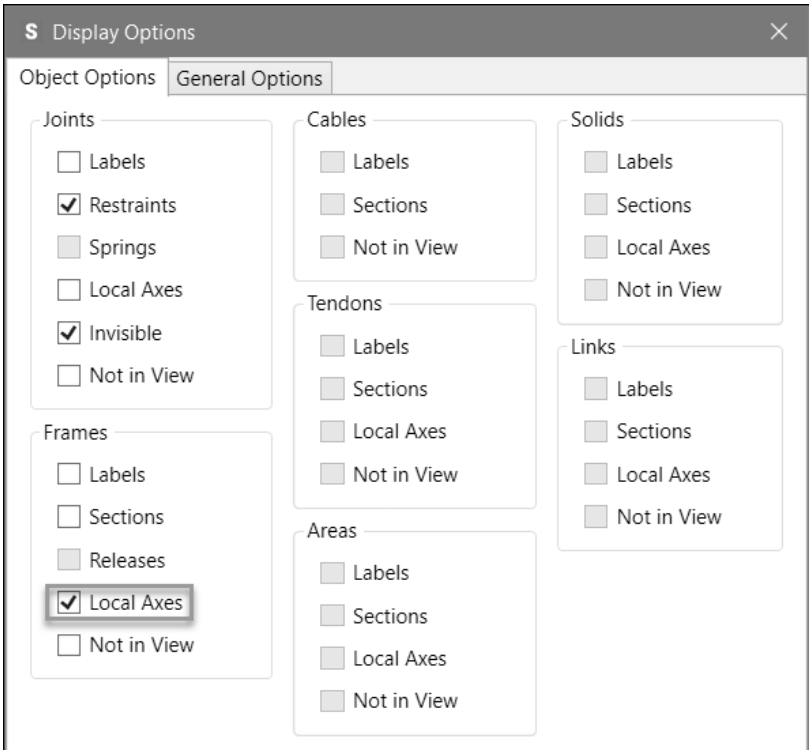




ถ้าสังเกตจะเห็นว่าทิศทางแกน 2 ของหน้าตัดเสาจะชี้ไปทางแกน +X

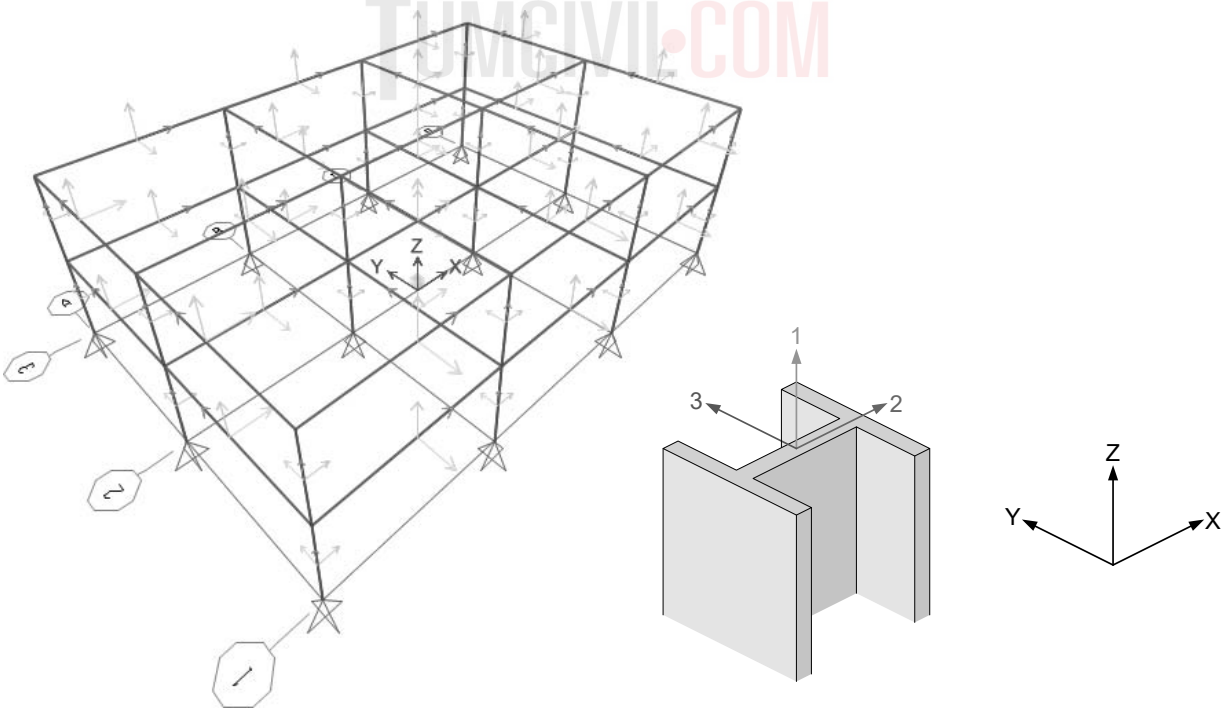
- สั่งเมนู Options > Graphic Mode > Classical Plus ให้แสดงกราฟิกแบบเดิม
- คลิกปุ่ม เลือก General Options > View Type > Standard และ Apply to All Windows

▶ เลือกให้แสดง Frames > Local Axes แล้วคลิกปุ่ม Apply



แกนองค์อาคารจะถูกแสดงโดยลูกศร สีแดง = แกน 1, สีเขียว = แกน 2 และ สีฟ้า = แกน 3

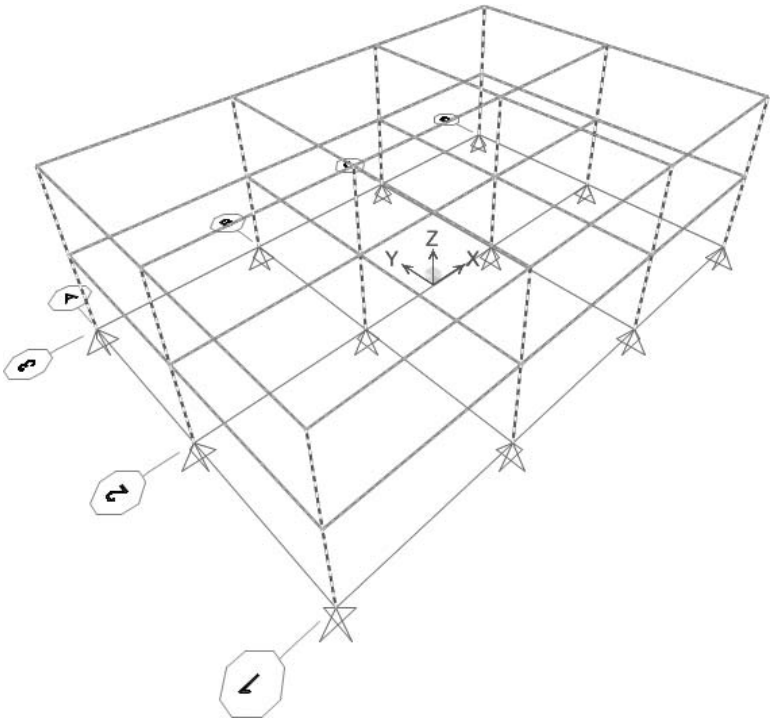
TUMCIVIL.COM



▶ ปิดการแสดง Frame Local Axes เลือก Apply to All Windows แล้วกดปุ่ม OK

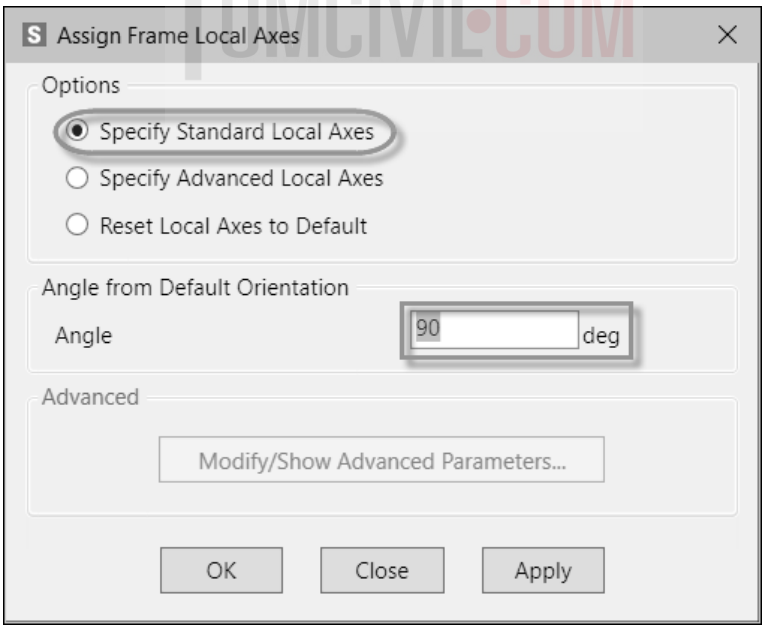
การเปลี่ยนทิศทางแกนเฉพาะที่ Change Local Axes

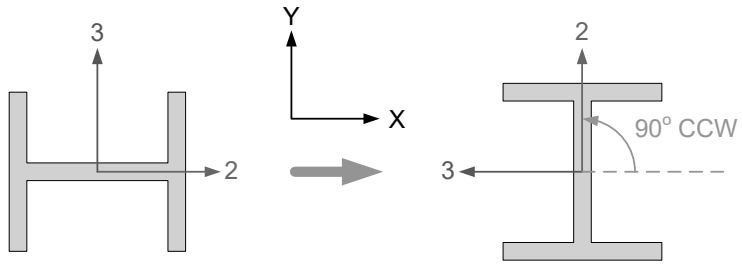
- เราสามารถเปลี่ยนทิศทางของหน้าตัดได้โดยเลือกเสา กด Ctrl+G เลือกกลุ่ม All Columns กดปุ่ม Select แล้วตามด้วย Close เพื่อเลือกเสาทั้งหมด



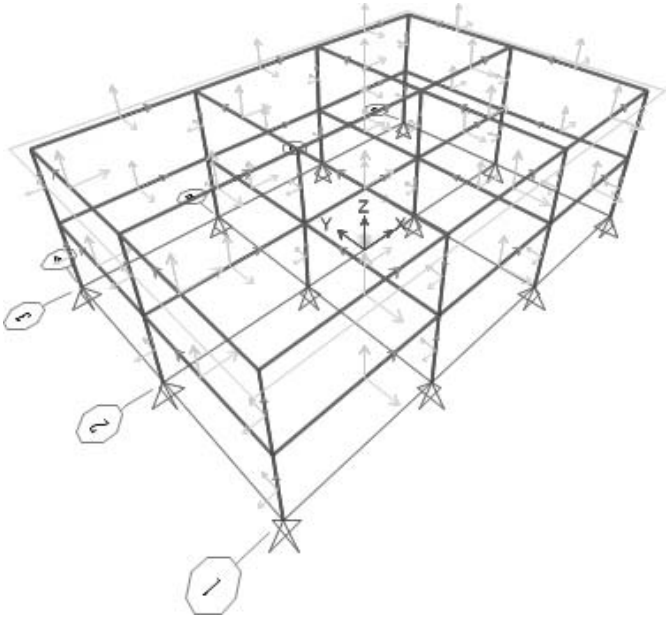
- สั่งเมนู Assign > Frame ▸ Local Axes ใส่ค่ามุมหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา

TUMCIVIL.COM

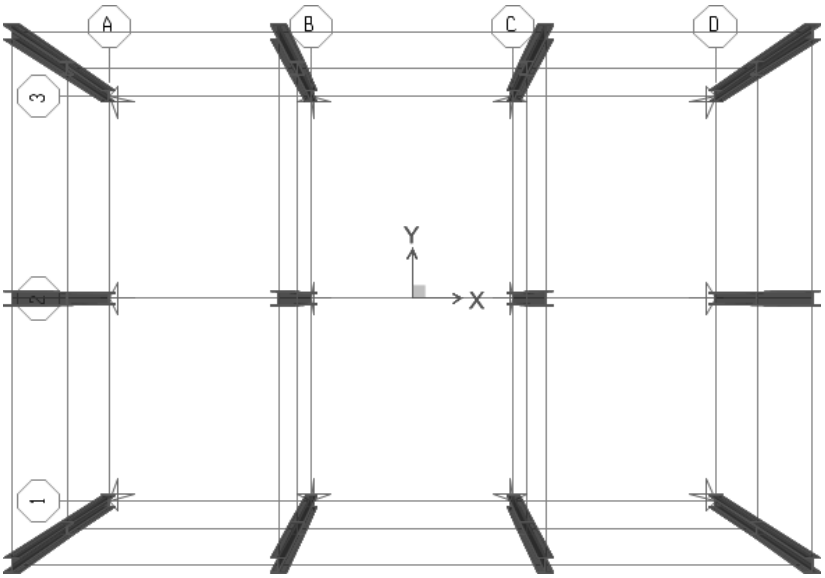




Default Direction Rotate 90° CCW

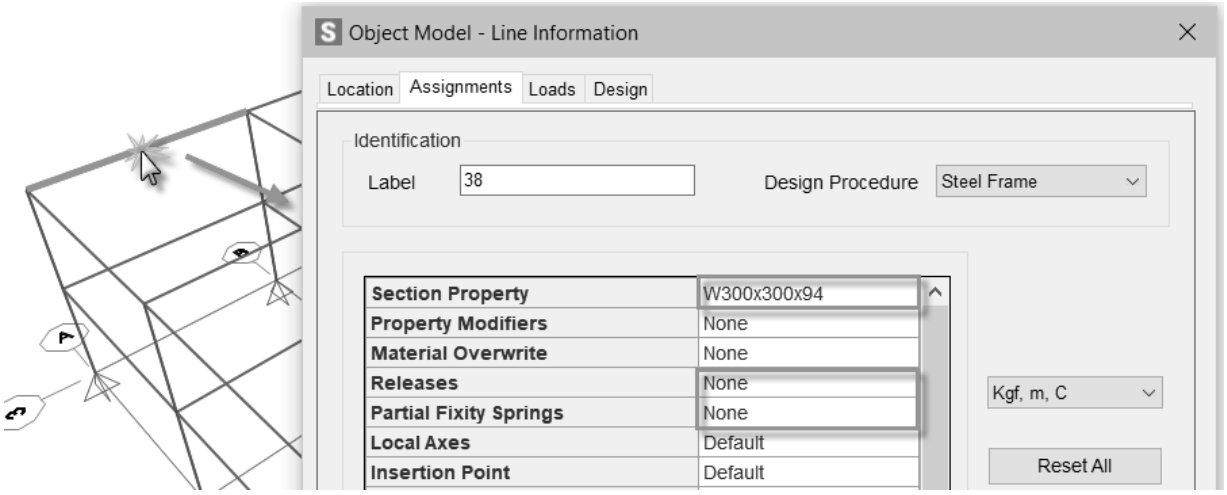


- สั่งเมนู Assign > Clear Display of Assigns เพื่อปิดการแสดงแกนเฉพาะที่
- เราสามารถดูทิศทางหน้าตัดเสาที่ชัดเจนขึ้นโดย คลิกเลือกหน้าต่าง 3-D View กด Ctrl + J หรือคลิกปุ่ม เพื่อเลือกเสาอีกครั้ง
- สั่งเมนู View > Show Selection Only หรือกด Ctrl+Shift+J เพื่อให้แสดงเฉพาะเสา
- คลิกปุ่ม คลิกแถบ General Options คลิกเลือก View Type > Extrude
- สั่งเมนู View > Set 3D View คลิกปุ่ม xy เพื่อให้แสดงมุมมองระนาบ X-Y

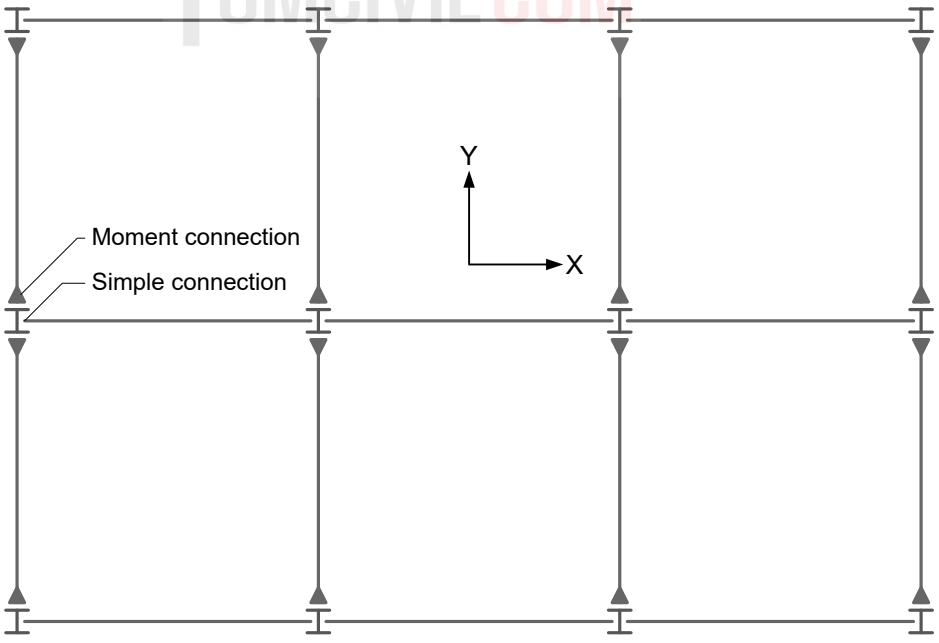


- คลิกปุ่ม กลับมามุมมองสามมิติเดิม แล้วสั่งเมนู View > Show All ให้แสดงทุกองค์อาคารดังเดิม และคลิกปุ่ม เปลี่ยน View Type กลับมาเป็นแบบ Standard

- ลองคลิกขวาที่คานจะพบว่าหน้าตัดเป็น W300X300X94 รายการถัดลงมาในช่อง Release และ Partial Fixity จะเป็น None แสดงว่าจุดต่อที่ปลายคานเป็นแบบต่อเนื่อง

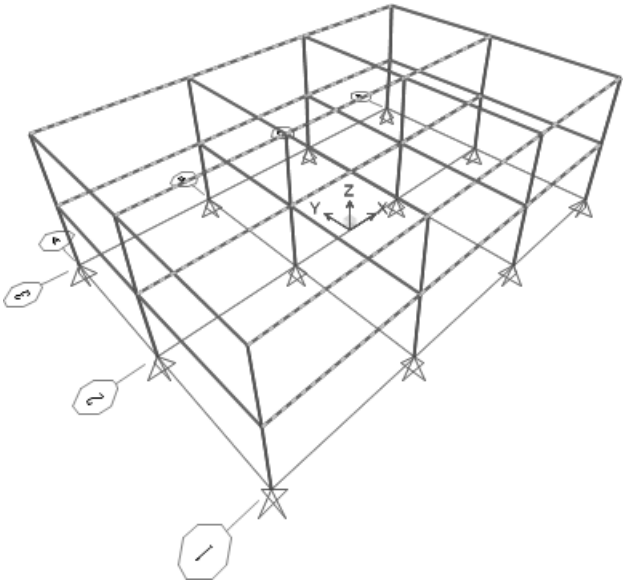


จุดต่อระหว่างคานและเสาในโครงสร้างจะมีทั้งแบบจุดหมุน (Simple Connection) และแบบโมเมนต์ (Moment Connection) ในตัวอย่างนี้ สมมุติว่าเราต้องการให้คานในทิศทาง X ใช้จุดต่อแบบจุดหมุน และคานในทิศทาง Y ใช้จุดต่อแบบโมเมนต์ ดังแสดงในรูป

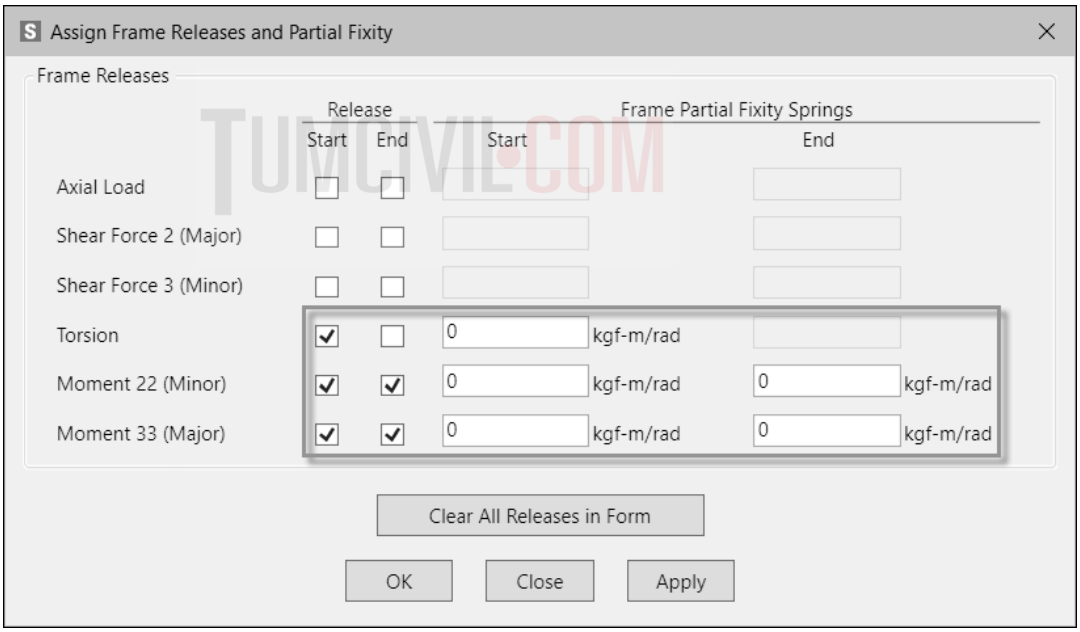


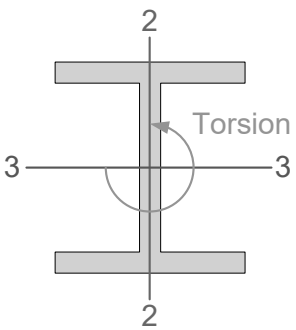
- เลือกคานทั้งหมดในทิศทาง X โดยสั่งเมนู Select > Select ▸ Select Lines Parallel To ▸ Click Straight Line Object แล้วคลิกที่คานทิศทาง X

- กด Ctrl+Shift+G คลิกปุ่ม Define Groups... คลิกปุ่ม Add New Group ตั้งชื่อกลุ่มว่า All Beams X เลือกรายการ แล้วคลิกปุ่ม OK



- กด Ctrl+G เลือกกลุ่ม All Beams X สั่งเมนู Assign > Frame ▸ Releases/Partial Fixity หน้าต่าง Assign Frame Releases ที่แสดงขึ้นมาจะให้เรากำหนดดีกรีที่ต้องการปลดปล่อยที่ปลายคาน หรือใส่ค่าคงที่สปริงสำหรับจุดต่อแบบกึ่งแข็ง (Semi-rigid Joint)



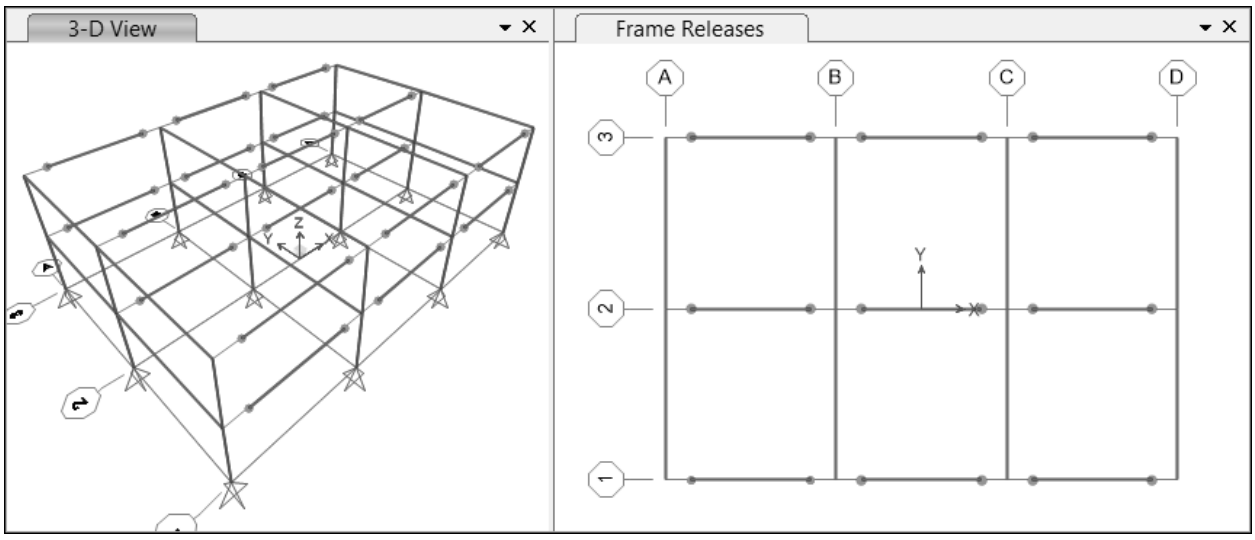


Moment 33 (Major) คือโมเมนต์ดัดรอบแกน 3 ขององค์อาคาร เป็นแกนหลักซึ่งรับน้ำหนักในแนวดิ่งจากแรงโน้มถ่วง

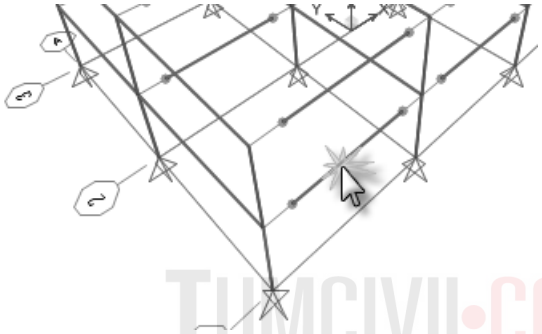
Moment 22 (Minor) คือโมเมนต์ดัดรอบแกน 2 ขององค์อาคาร เป็นแกนรองซึ่งรับแรงในแนวราบจากแรงลมหรือแรงแผ่นดินไหว

Torsion คือโมเมนต์บิดรอบแกน 1 ขององค์อาคาร จะปลดปล่อยเพียงปลายเดียวเพื่อหลีกเลี่ยงการเสียเสถียรภาพเมื่อรับน้ำหนักไม่สมดุล เช่นในกรณีของคานขอบ

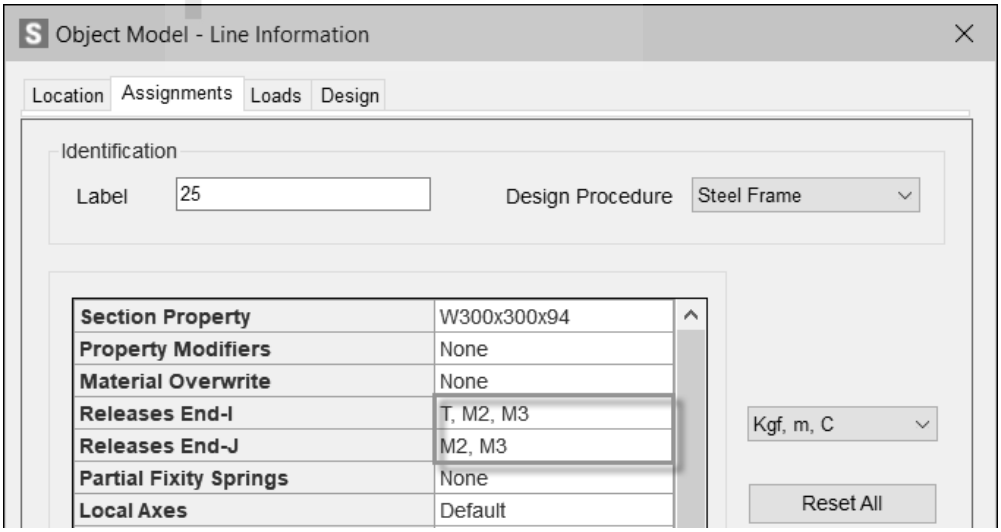
เมื่อกด OK ในหน้าต่าง X-Y Plane จะแสดงเป็นสัญลักษณ์จุดหมุนที่ปลายคาน



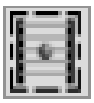
- ลองคลิกขวาที่คานทิศทาง X ตัวหนึ่งดู ในหน้าต่างข้อมูลจะเห็นว่ามีการปลดปล่อยที่ปลาย



TUMCIVIL•COM



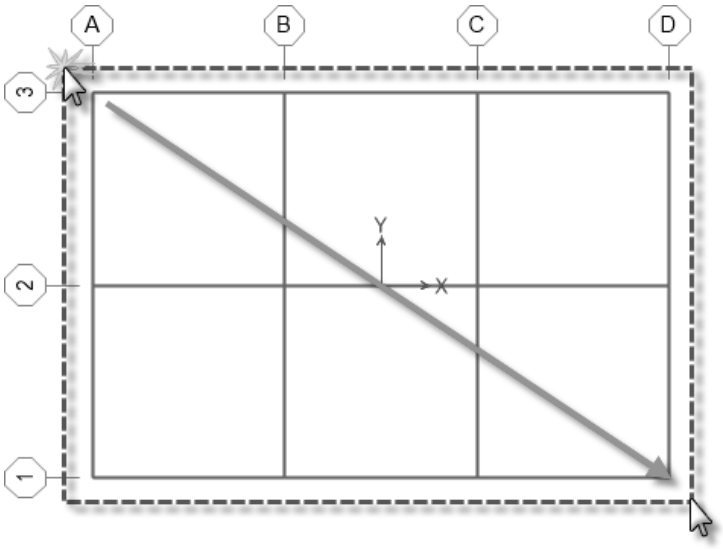
ในการวาดคาน หน้าต่างที่ให้เลือกหน้าตัดจะมีทางเลือก Moment Releases ให้เลือกว่าเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือแบบจุดหมุน (Pinned) ซึ่งจะทำได้สะดวกกว่า



การวาดคานย่อย Draw Secondary Beam

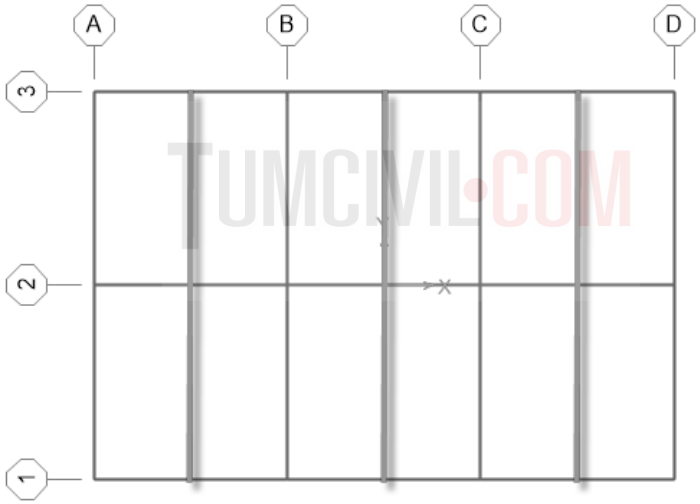
ผังคานของเราตอนนี้แต่ละช่องมีขนาด 6 m x 6 m สมมุติว่าเราต้องการวาดคานย่อย 1 ตัวในแนวดิ่งลงที่กึ่งกลางทุกช่อง

▶ คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัดคาน W300X300X94 เลือก Moment Releases แบบ Pinned แล้วตีกรอบคลุมทั้งหมดในระนาบ X-Y Plane @ Z = 3



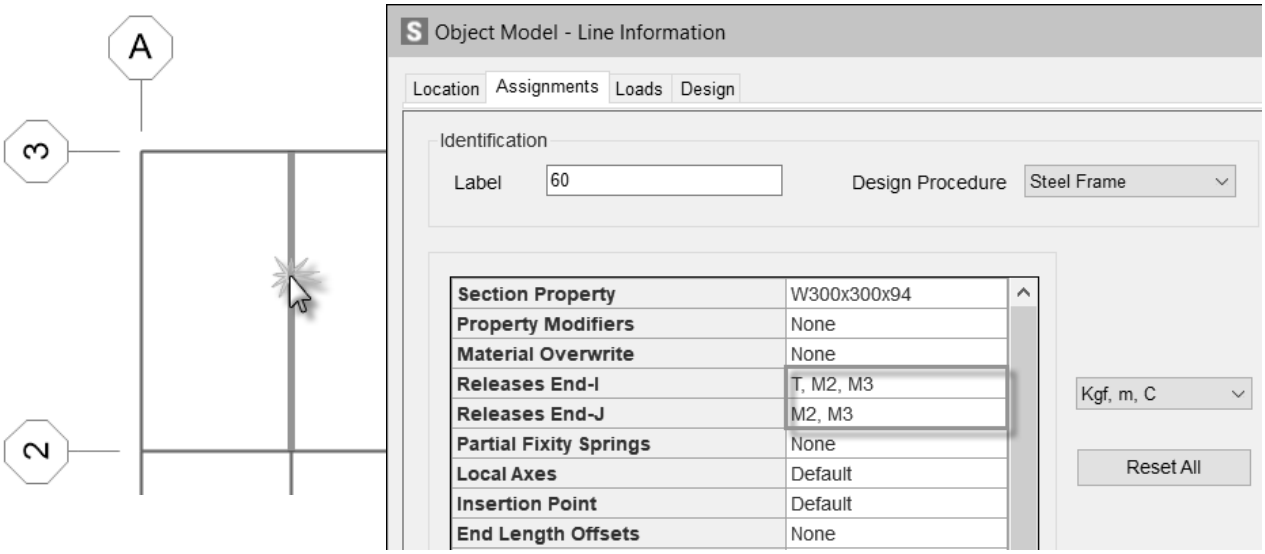
Properties of Object	
Section	W300x300x94
Moment Releases	Pinned
Local Axis Rotation	0.
Spacing	No. of Beams
No. of Beams	1
Approx. Orientati...	Parallel to Y or R
First Space	0
Last Space	0

คานย่อยจะถูกสร้างขึ้นในทุกช่องของผังคานดังในรูป



TUMCIVIL.COM

▶ กด Esc ออกจากโหมดวาด แล้วคลิกขวาที่คานย่อยตัวหนึ่ง จะเห็นในหน้าต่างข้อมูลคือ

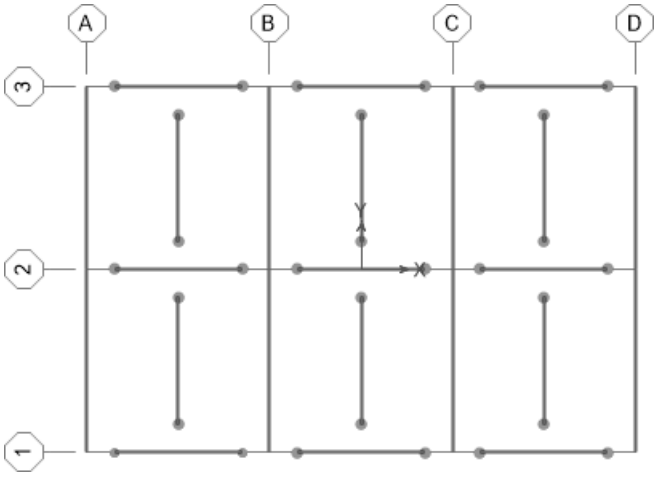


Releases End-I T, M2, M3

Releases End-J M2, M3

เช่นเดียวกับที่เราได้เคยกำหนดมาก่อนหน้านี้

- คลิกปุ่ม เปิดการแสดง Frames > Releases



- ปิดการแสดง Releases แล้วคลิกปุ่ม ขึ้นมาที่ระนาบ X-Y Plane @ Z = 6 เพื่อวาดคานย่อยโดยวิธีการเดิม

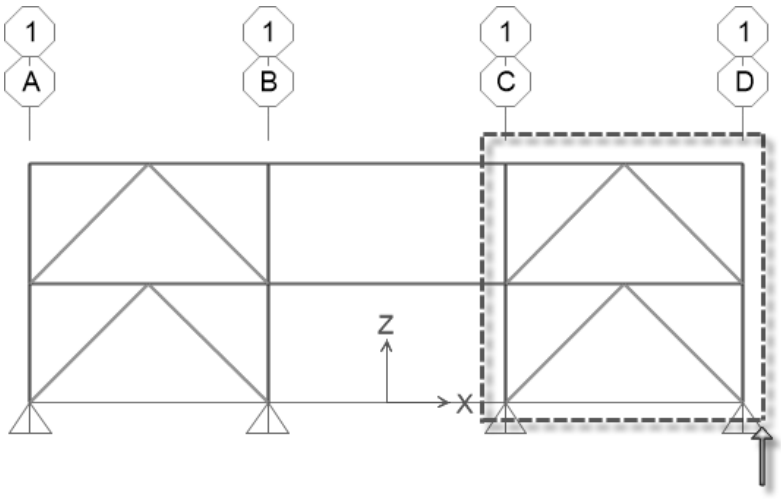
TUMCIVIL.COM

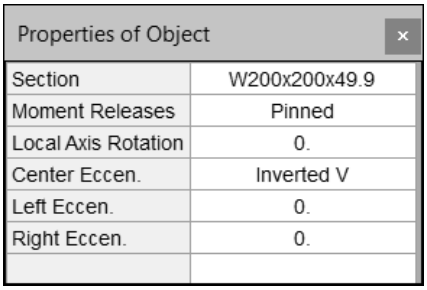
การวาดแกงแนง Draw Braces

เนื่องจากเราปลดปล่อยปลายคานในทิศทาง X เป็นจุดหมุน ดังนั้นจึงต้องใช้แกงแนง (Bracing) มาค้ำยันไว้เพื่อให้โครงมีเสถียรภาพและต้านทานแรงด้านข้าง

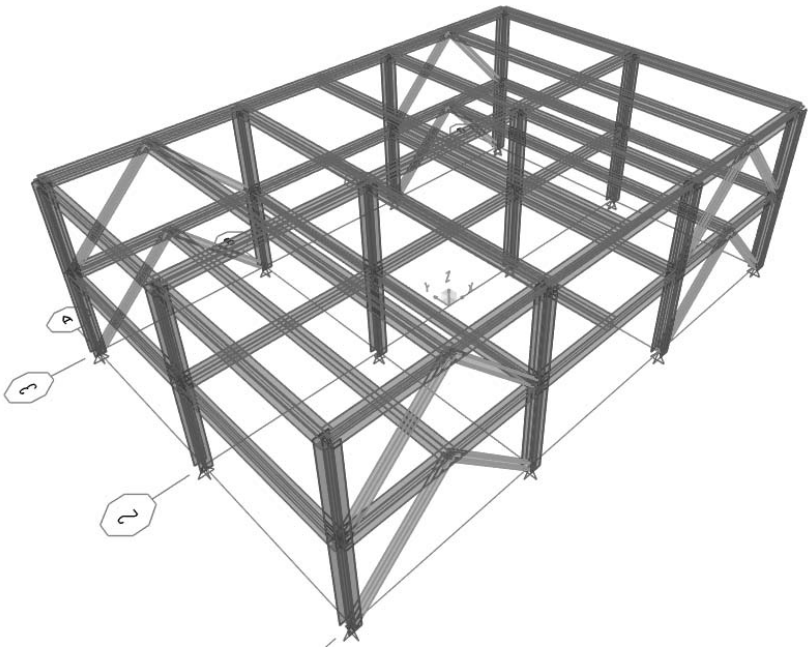
- คลิกปุ่ม เพื่อเปลี่ยนมุมมอง แล้วคลิกปุ่ม จนได้ระนาบ Plane X-Z @ Y = -6 บนเส้นกริด 1

- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด ชนิดของแกงแนง แล้วตีกรอบคลุมช่องที่ต้องการวาด





- คลิกปุ่ม จนได้ระนาบ Plane X-Z @ Y = 6 บนเส้นกริด 3 แล้ววาดแกงแนงโดยวิธีการเดิม

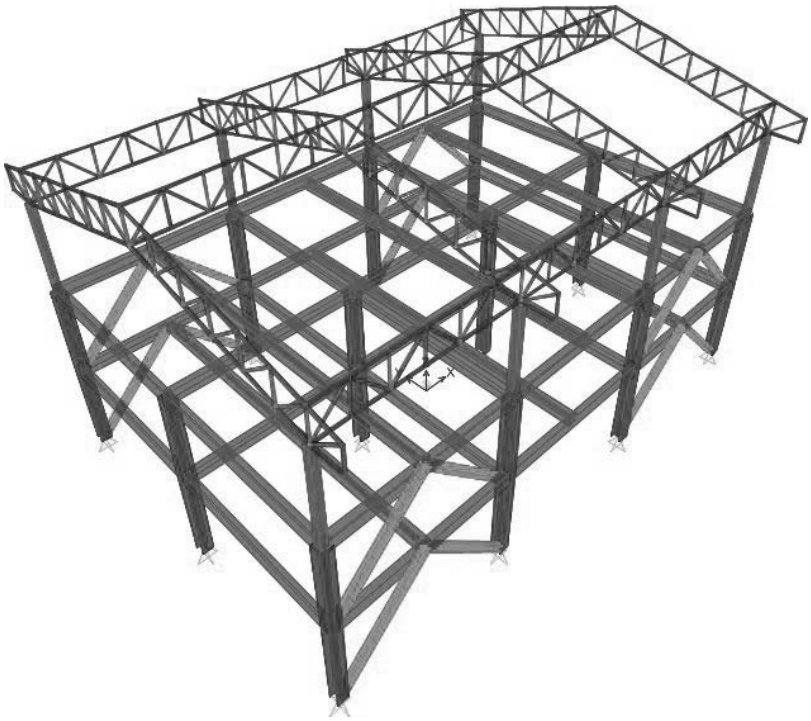


- กด Ctrl+S บันทึกข้อมูลไฟล์ EX3 Steel Frame.sdb

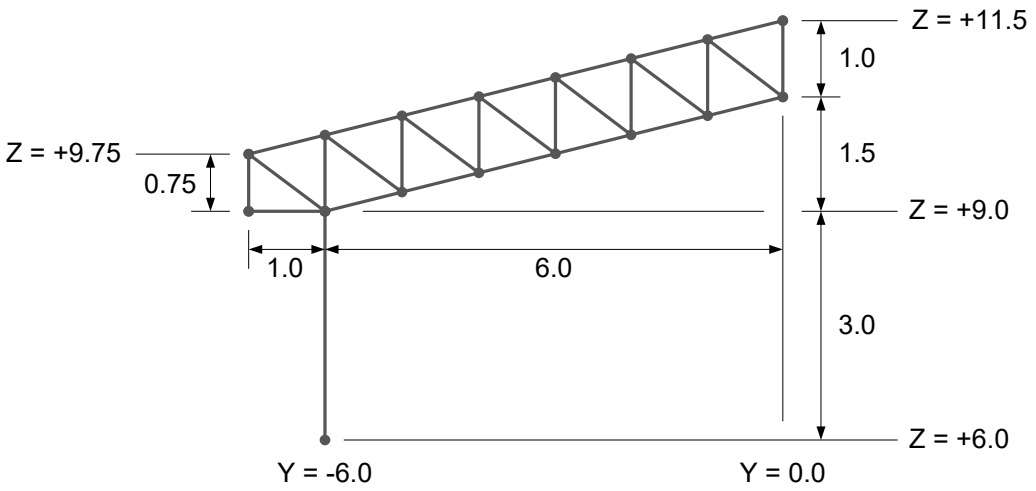
การวาดหลังคาโครงถัก Draw Roof Truss

UMCIVIL.COM

สมมุติว่าเราต้องการวาดหลังคาโครงถักเพิ่มขึ้นบนโครงเหล็กเดิม โดยจะเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งชั้นแล้ววาดเสาและโครงถักข้างซ้ายขึ้นมาก่อนดังในรูป

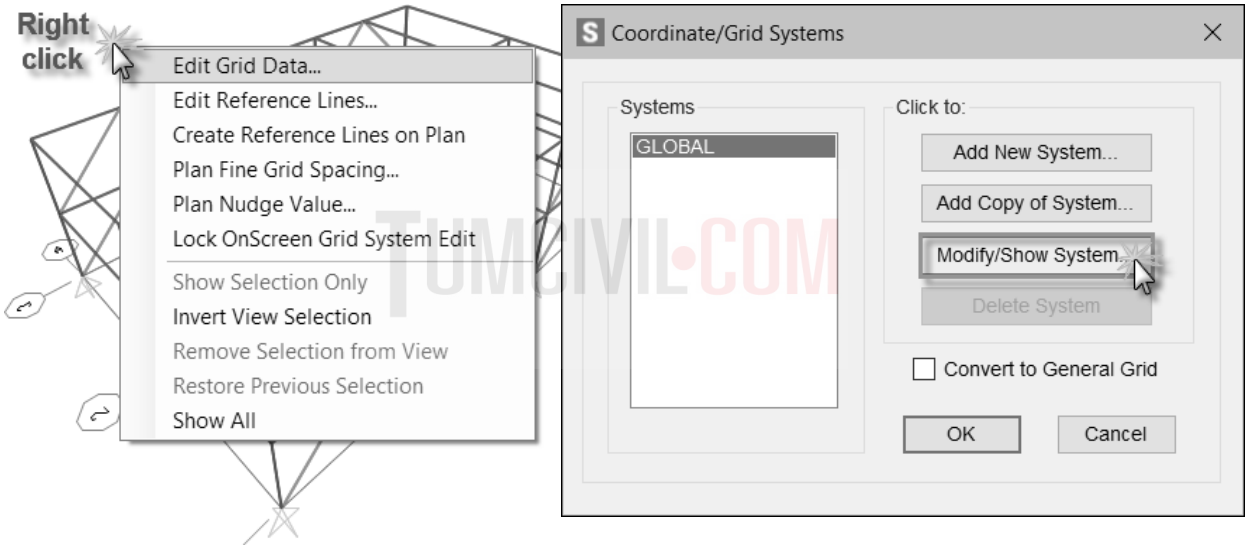


- ในโมเดล EX3 Steel Frame เดิม สั่ง File > Save As ตั้งชื่อใหม่ว่า EX3 Roof Truss

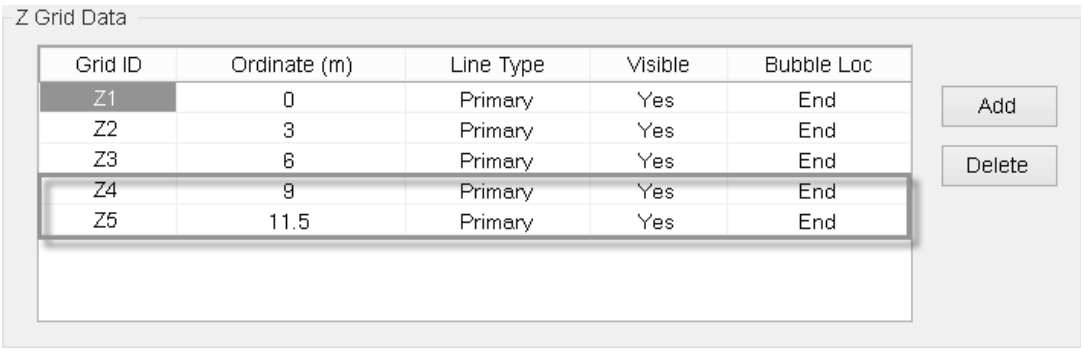


- แก้ไขเส้นกริดโดยคลิกขวาในพื้นที่ว่างในหน้าต่างแสดงโมเดล เลือก Edit Grid Data...

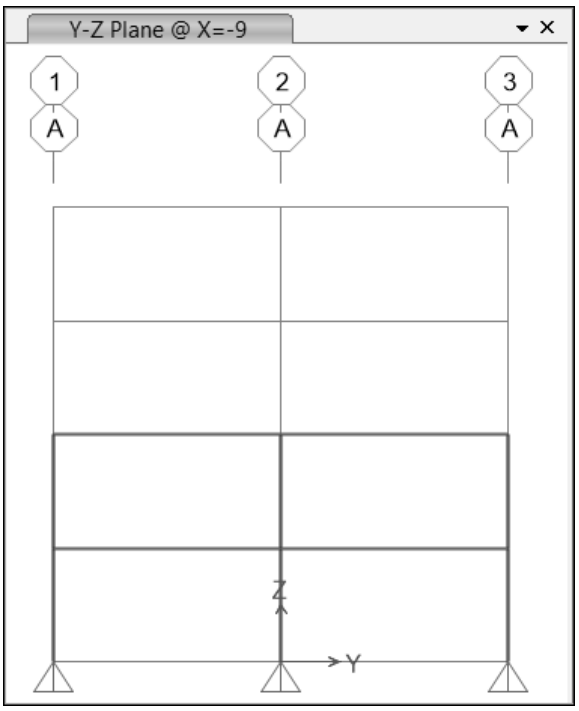
- ในหน้าต่าง Coordinate/Grid Systems คลิกปุ่ม Modify/Show System...

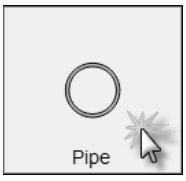


- ในตาราง Z Grid Data เพิ่มเส้นกริด Z ที่ระดับ 9 และ 11.5 เมตร ดังในรูป



- เมื่อกด OK แล้วเปลี่ยนมุมมองเป็น Y-Z Plane @ X = -9 บนเส้นกริด A จะมีเส้นกริดเพิ่มขึ้นที่ด้านบนของโครงสร้างดังในรูป



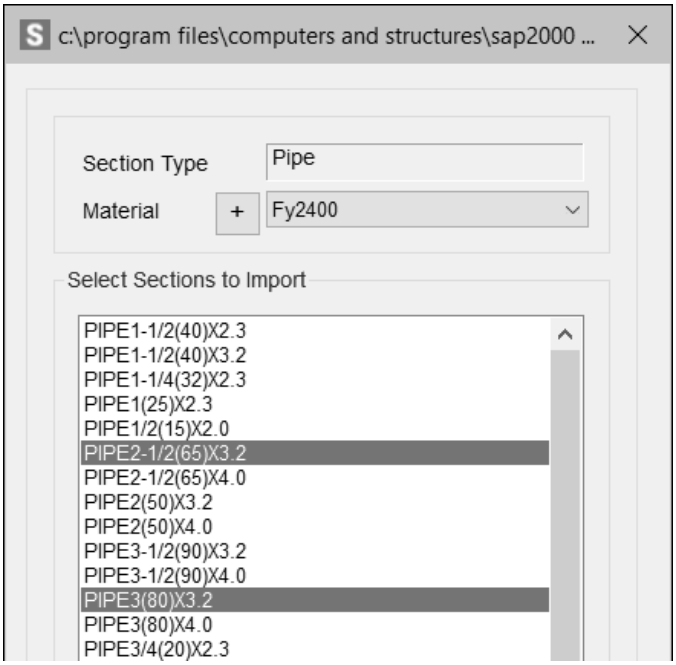


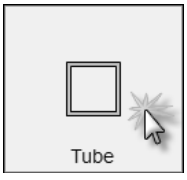
- คลิกปุ่ม เลือก Import New Property

  คลิกปุ่มหน้าตัด Pipe โดยเลือกไฟล์ TH_PIPE ที่มีหน้าตัดท่อกลมอยู่

TUMCIVIL.COM

- เลือกนำเข้าหน้าตัด PIPE2-1/2(65)X3.2 และ PIPE3(80)X3.2 (กด Ctrl ค้างเพื่อเลือกหลายหน้าตัด)

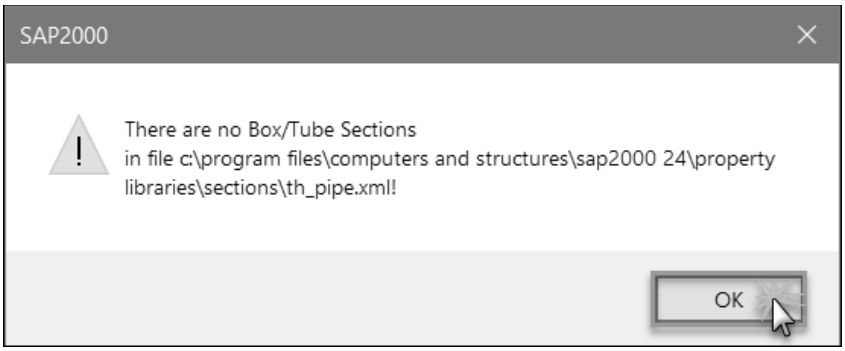




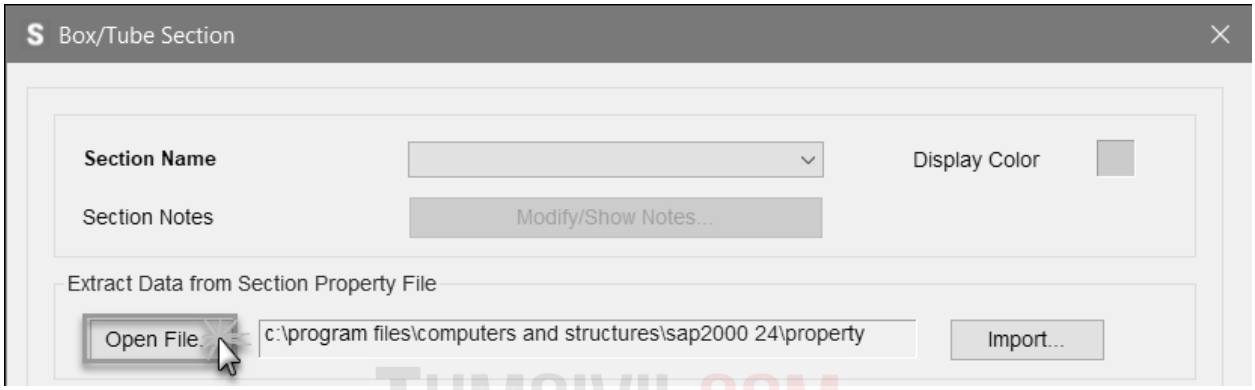
- คลิกปุ่ม Import New Property

  คลิกปุ่มนำเข้าหน้าตัด Tube

- อาจมีข้อความเตือนว่าไม่มีหน้าตัดเนื่องจากโปรแกรมไปหาในไฟล์ท่อกลมเดิม

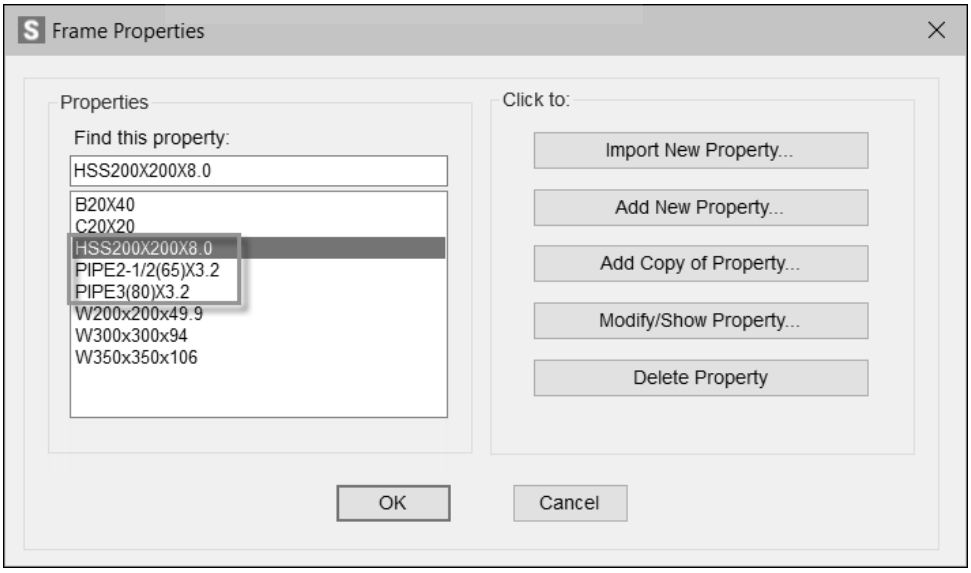


- เมื่อกลับมาหน้าต่าง Box/Tube Section คลิกปุ่ม Open File เพื่อเลือกหน้าตัดไฟล์ใหม่



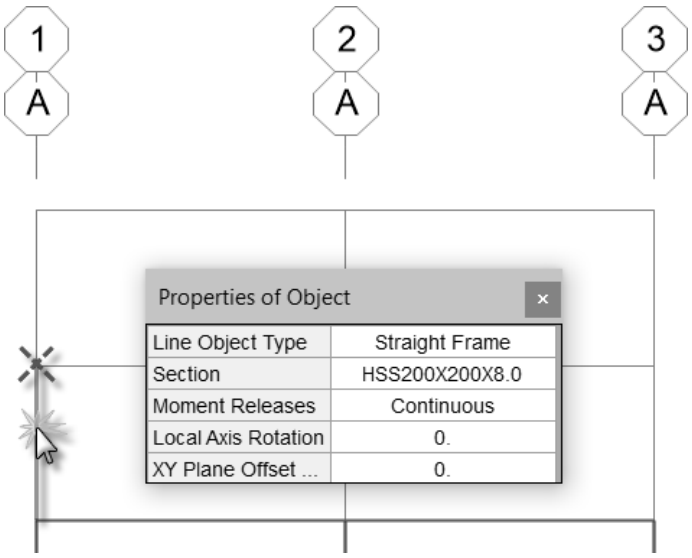
TUMCIVIL.COM

- เลือกไฟล์นำเข้าใหม่ TH_SQ แล้วเลือกหน้าตัด HSS200X200X8.0 จะได้รายการดังในรูป

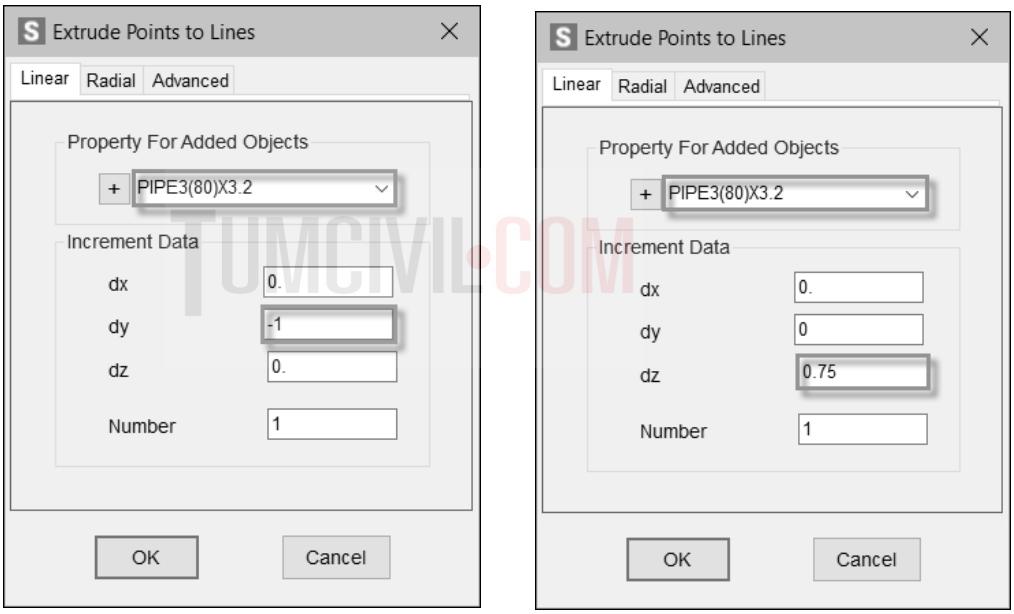


- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS200X200X8.0 คลิกวาดเสาข้างซ้าย

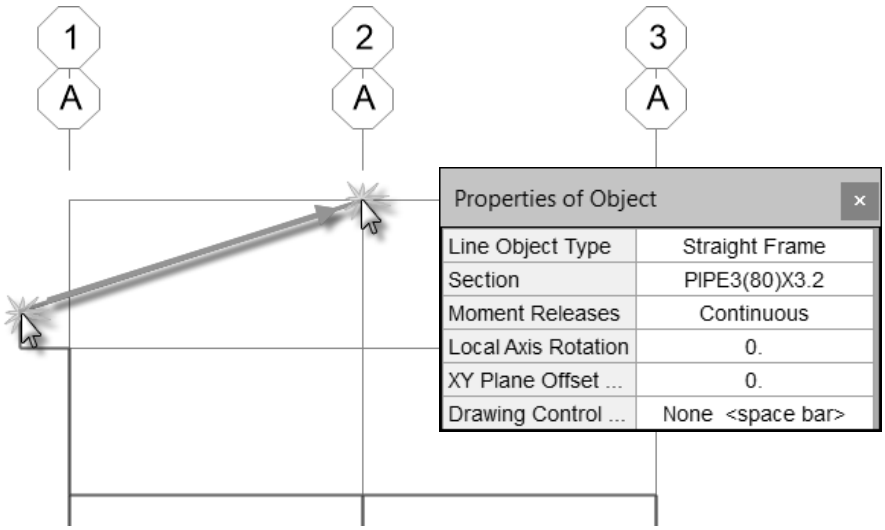
- คลิกปุ่ม เข้าโหมดเลือกวัตถุ แล้วคลิกเลือกจุดที่ปลายบนหัวเสาดังในรูป



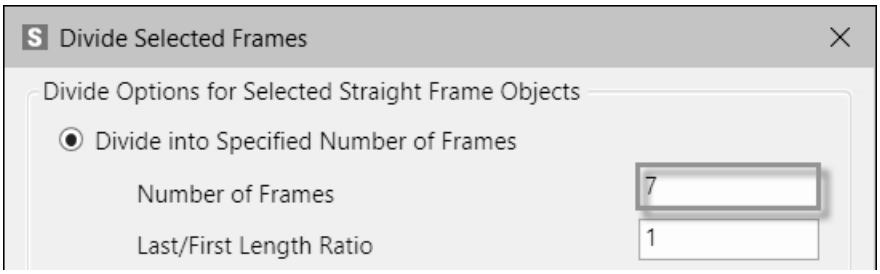
- สั่งเมนู Edit > Extrude > Extrude Points to Frames เลือกหน้าตัด PIPE3(80)X3.2 ใส่ระยะ dy = -1 m แล้วคลิกเลือกปลายเส้นยื่น สั่งอีกครั้งด้วยระยะ dz = 0.75



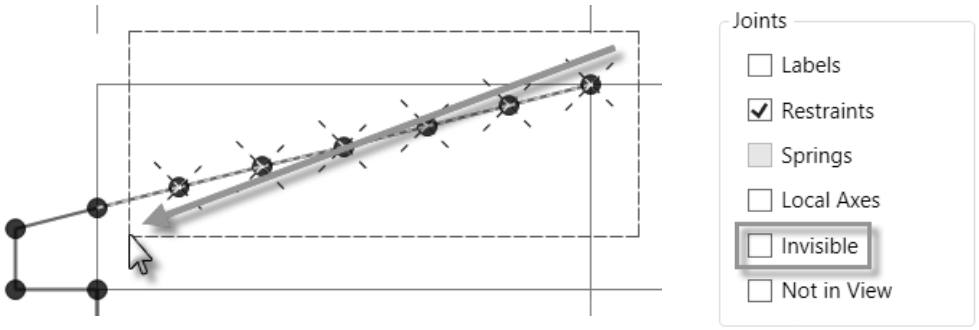
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด PIPE3(80)X3.2 วาดจันทันเอียงดังในรูป



- คลิกเลือกเส้นจันทันเอียง สั่งเมนู Edit > Edit Lines ▸ Divide Frames เลือกแบ่งเป็น 7 ช่วงเท่าๆกัน

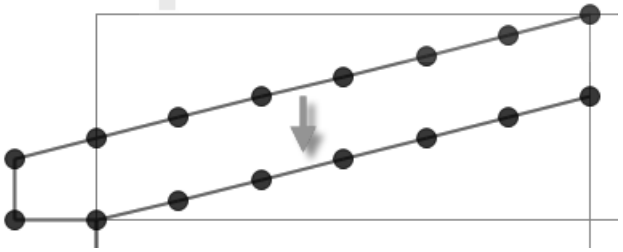


- คลิกปุ่ม ไม่เลือกช่อง Joints > Invisible เพื่อเปิดการแสดงจุดต่อปลายองค์อาคาร

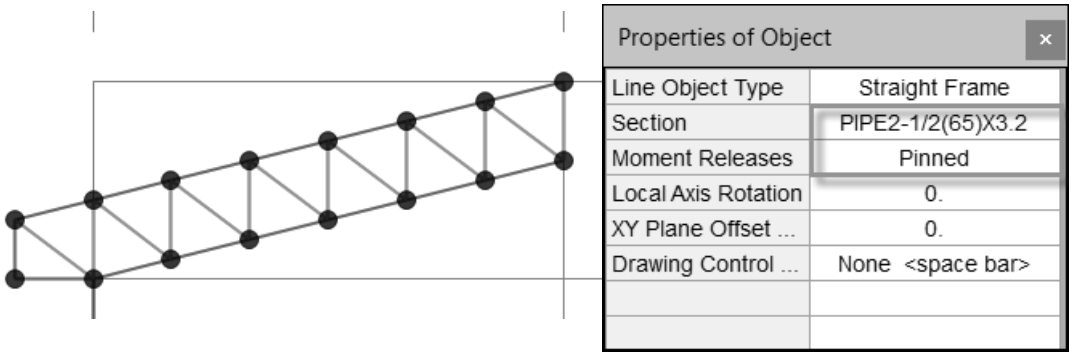


TUMCIVIL.COM

- ตีกรอบเลือกบางส่วนดังในรูปข้างบน กด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำลงมา dz = -1 จะได้

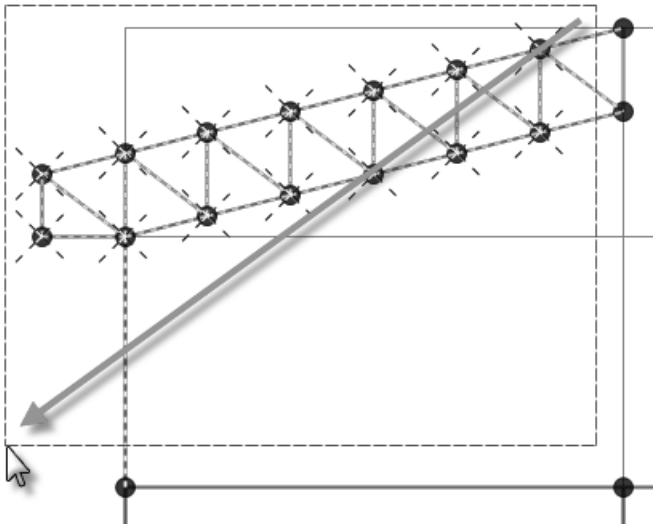


- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด PIPE2-1/2(65)X3.2 แบบ Pinned วาดส่วนท่อนถักดิ่งและทแยง

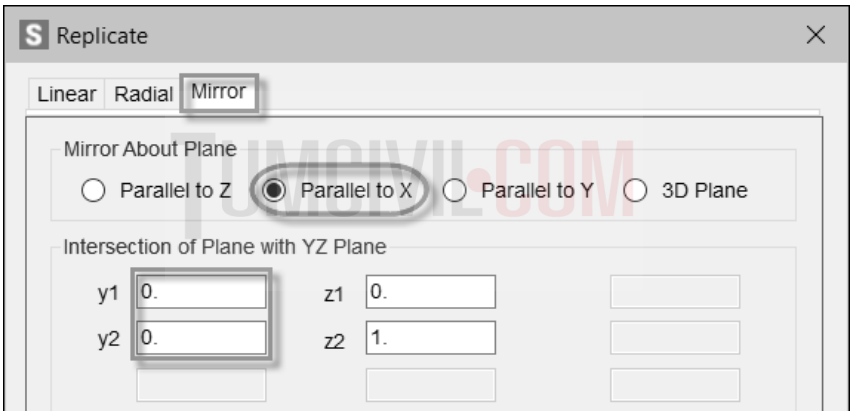


- เลื่อนตัวชี้มาที่จุดยอดโครงถักบนเส้นกริด A-2 จะได้พิกัด Y = 0 ซึ่งเราจะใช้เป็นกระจกเงา

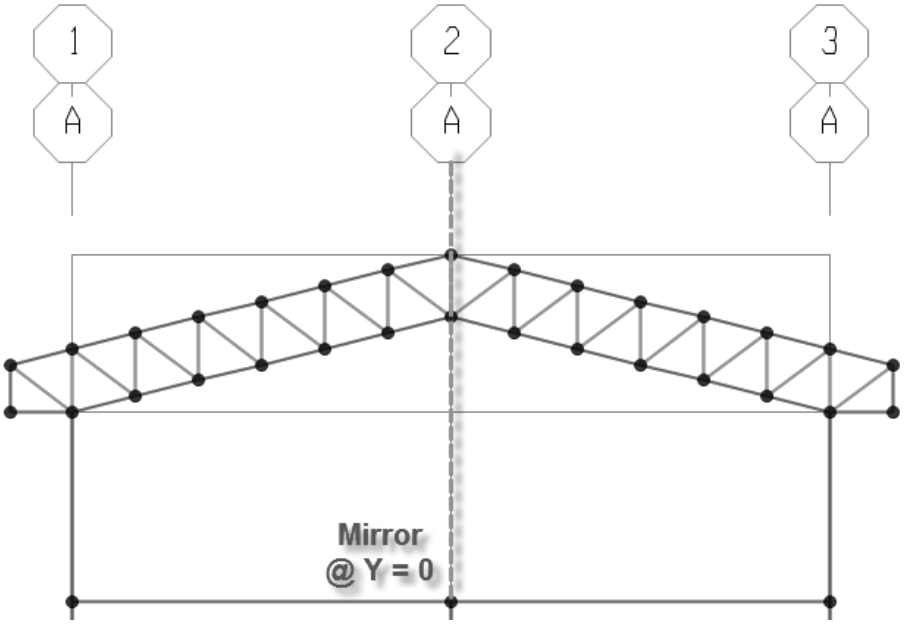
- ตีกรอบเลือกเสาและโครงถักยกเว้นท่อนดิ่งบนเส้นกริด A-2



- สั่งเมนู Edit > Replicate หรือกด Ctrl+R เลือกแบบ Mirror เป็นระนาบขนานแกน X และกำหนดพิกัด Y = 0

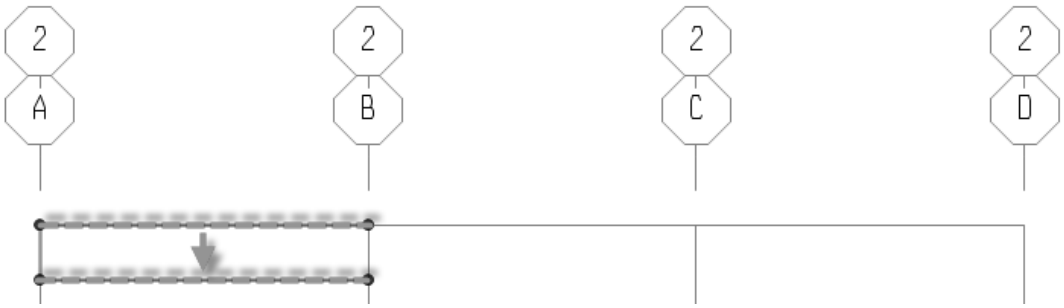


โครงถักจะถูกทำซ้ำแบบกระจกเงากับระนาบที่เส้นกริด A-2 ดังในรูป



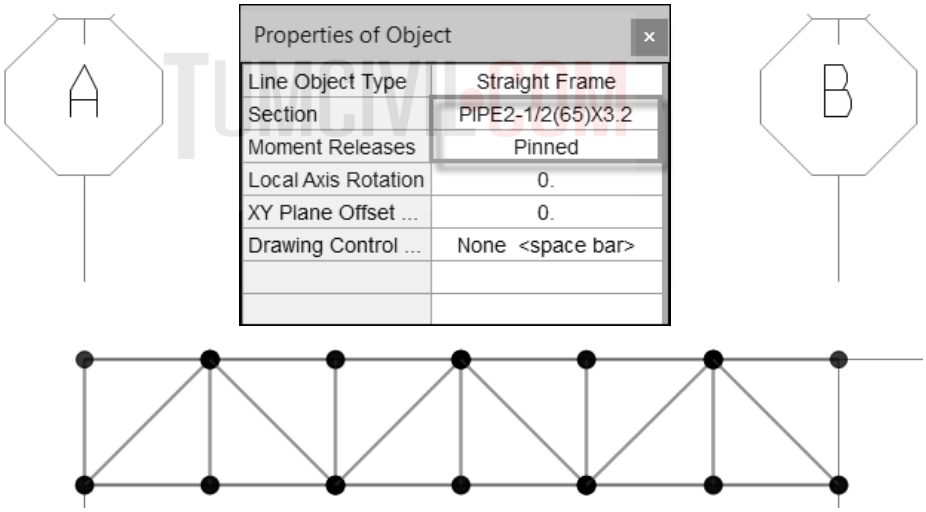
- คลิกปุ่ม เปลี่ยนมุมมองเป็นระนาบ X-Z แล้วกดปุ่ม มา @ Y = 0 บนเส้นกริด 2 เพื่อวาดโครงถักรอง

- คลิกปุ่ม แล้วเลือกหน้าตัด PIPE 3(80)X3.2 แบบ Pinned วาดเส้นนอนบนสุดจาก A-2 ไปยัง B-2 แล้ว Ctrl+R ลงมา dz = -1

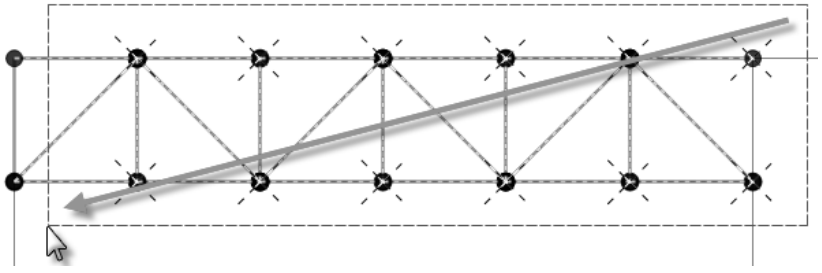


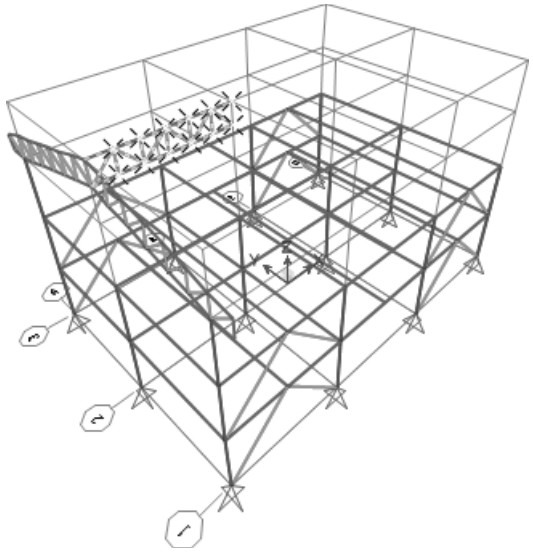
- คลิกเลือกทั้งสองเส้น สั่งเมนู Edit > Edit Lines ▸ Divide Frames เลือกแบ่งเป็น 6 ช่วง

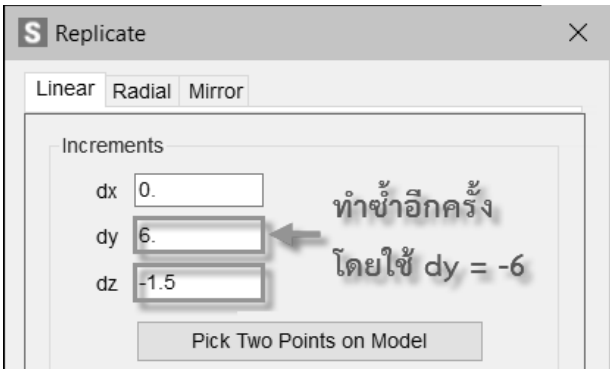
- คลิกปุ่ม แล้วเลือกหน้าตัด PIPE 2-1/2(65)X3.2 แบบ Pinned วาดเส้นดิ่งและทแยง (คลิกซ้ายลากเส้น, คลิกขวาหยุดวาด และ กด Esc ออกจากโหมดวาด)



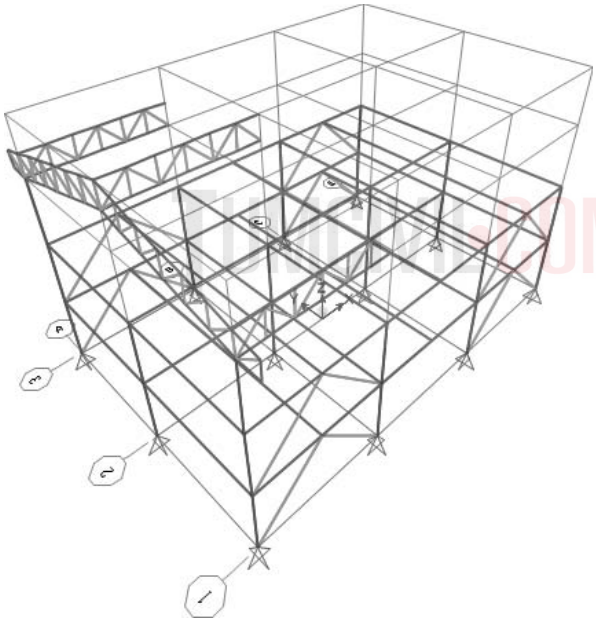
- ตีกรอบเลือกโครงถักรองที่สร้างขึ้น กด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำออกไปทั้งสองข้างโดยใช้ระยะ dy = 6 และ -6 ระยะ dz = -1.5 (ในเวอร์ชั่นเก่าห้ามกดปุ่ม เพื่อเลือกซ้ำ จะทำให้เกิดจุดต่อลอยๆ แต่สำหรับ V21 สามารถกด Ctrl+J ได้)



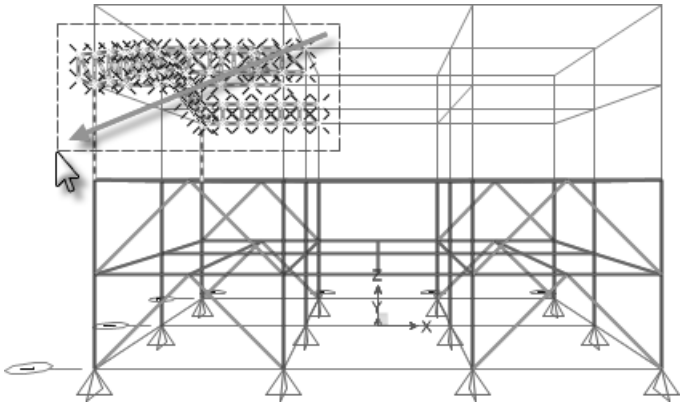




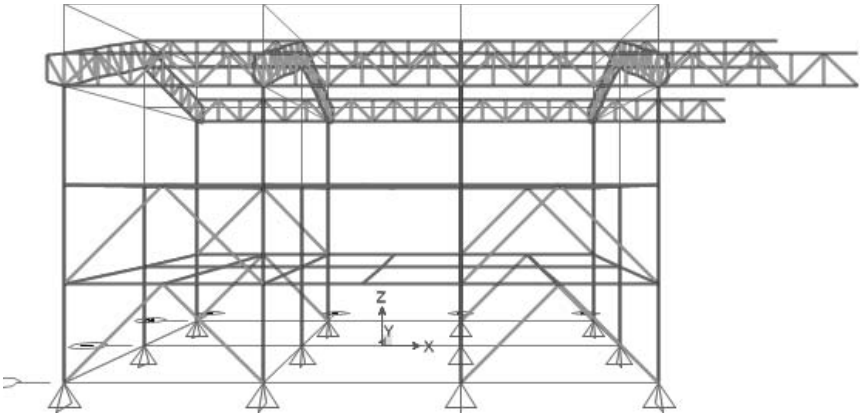
- คลิกปุ่ม เลือกช่อง Joints > Invisible เพื่อปิดการแสดงจุดต่อปลายองค์อาคาร



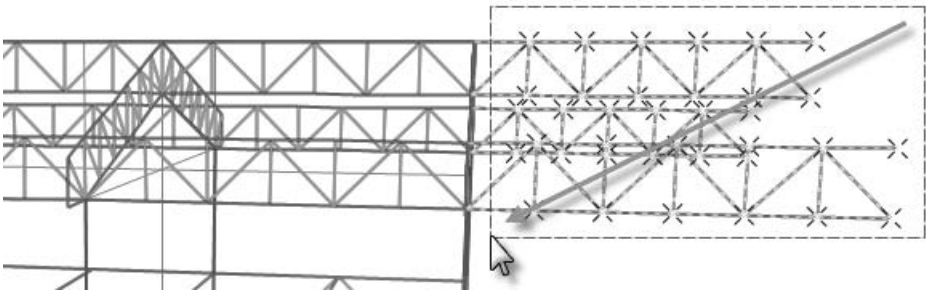
- คลิกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู View > Set 3D View คลิกปุ่ม xz ให้แสดงมุมมองสามมิติในระนาบ X-Z เพื่อให้ตีกรอบเลือกโครงถักทั้งหมดที่สร้างขึ้นได้



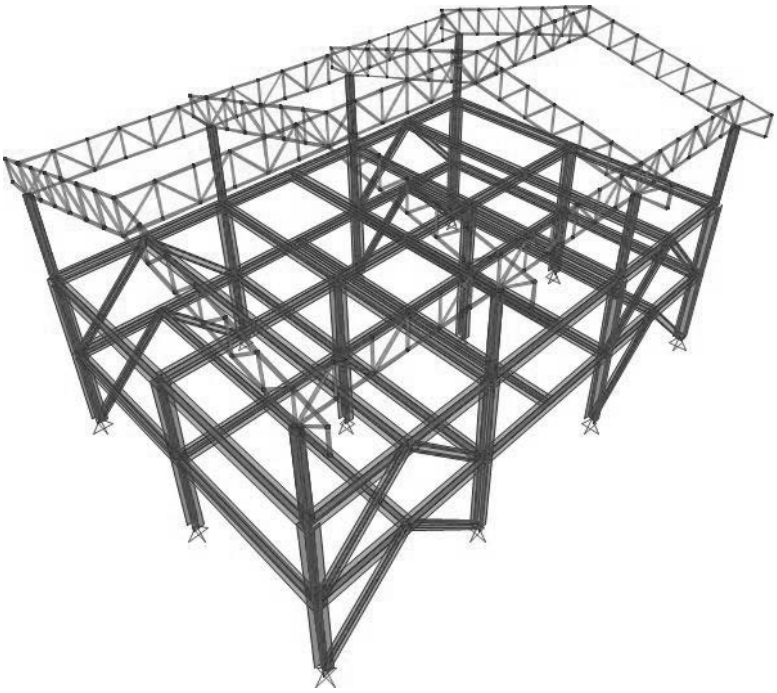
- สั่ง Replicate โดยกด Ctrl+R ใส่ระยะ dx = 6 , จำนวนที่ทำซ้ำ = 3 จะได้โครงดังในรูป



- กดปุ่ม Shift และลูกล้อของเม้าส์ หมุนโมเดลเล็กน้อย เพื่อตีกรอบเลือกโครงรองส่วนที่เกิน

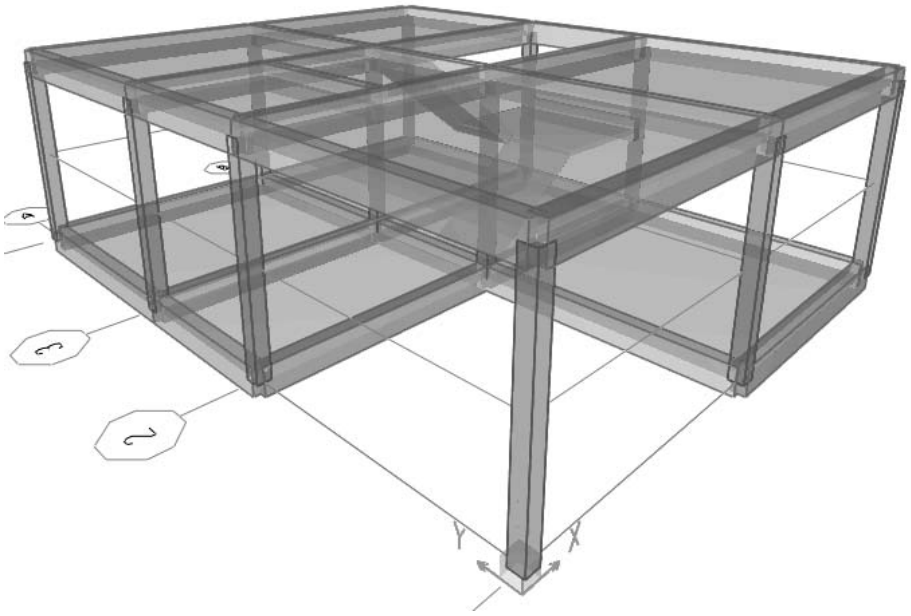


- กด Delete เพื่อลบโครงส่วนเกินที่เลือก แล้วคลิกปุ่ม 3-d ให้แสดงมุมมองสามมิติ
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง View Type แบบ Extrude
- สั่งเมนู View เลือกเอา Show Axes และ Show Grid ออกจะได้โครงถักดังในรูป



- กด Ctrl+S บันทึกข้อมูลไฟล์ EX3 Roof Truss

สมมุติว่าเราต้องการวาดโครงหลังคาจันทันของตัวอย่างบ้านพักอาศัยเดิมดังในรูป



- เปิดโมเดล EX2 House2F เดิม สั่ง File > Save As ตั้งชื่อใหม่ว่า EX2 House Roof
- แก้ไขเส้นกริดคลิกขวาในพื้นที่ว่างเลือก Edit Grid Data แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show System ในหน้าต่าง Coordinate/Grid Systems ที่แสดงขึ้นมา เพิ่มเส้นกริด X, Y และ Z ดังในรูป โดยคลิกปุ่ม Add ใส่ค่าแล้วคลิกช่องอื่น จากนั้นกดปุ่ม Reorder Ordinates ให้เรียงพิกัด

X Grid Data

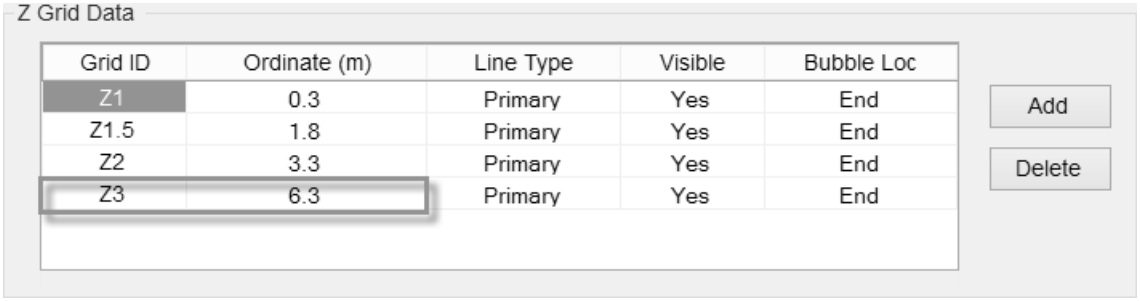
Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
X	-1	Primary	Yes	End	
A	0	Primary	Yes	End	
B	4	Primary	Yes	End	
C	8	Primary	Yes	End	
D	9	Primary	Yes	End	

Add
Delete

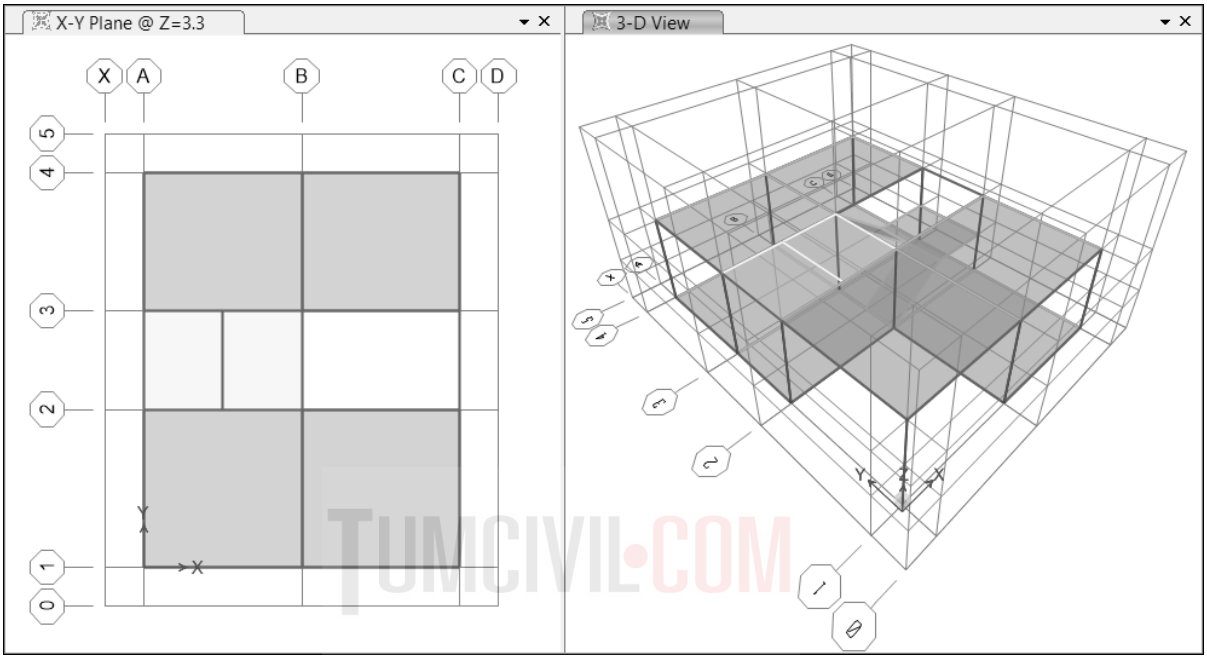
Y Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
0	-1	Primary	Yes	Start	
1	0	Primary	Yes	Start	
2	4	Primary	Yes	Start	
3	6.5	Primary	Yes	Start	
4	10	Primary	Yes	Start	
5	11	Primary	Yes	Start	

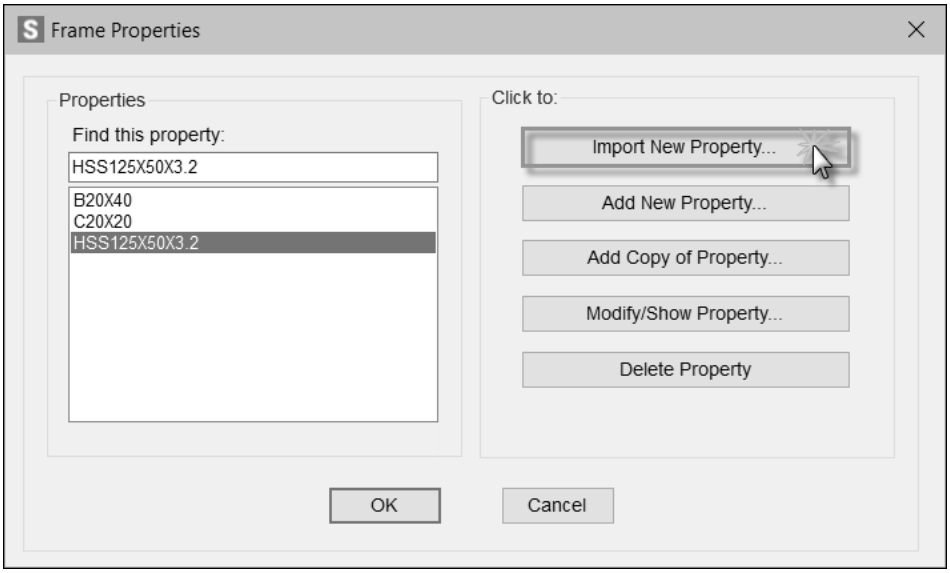
Add
Delete



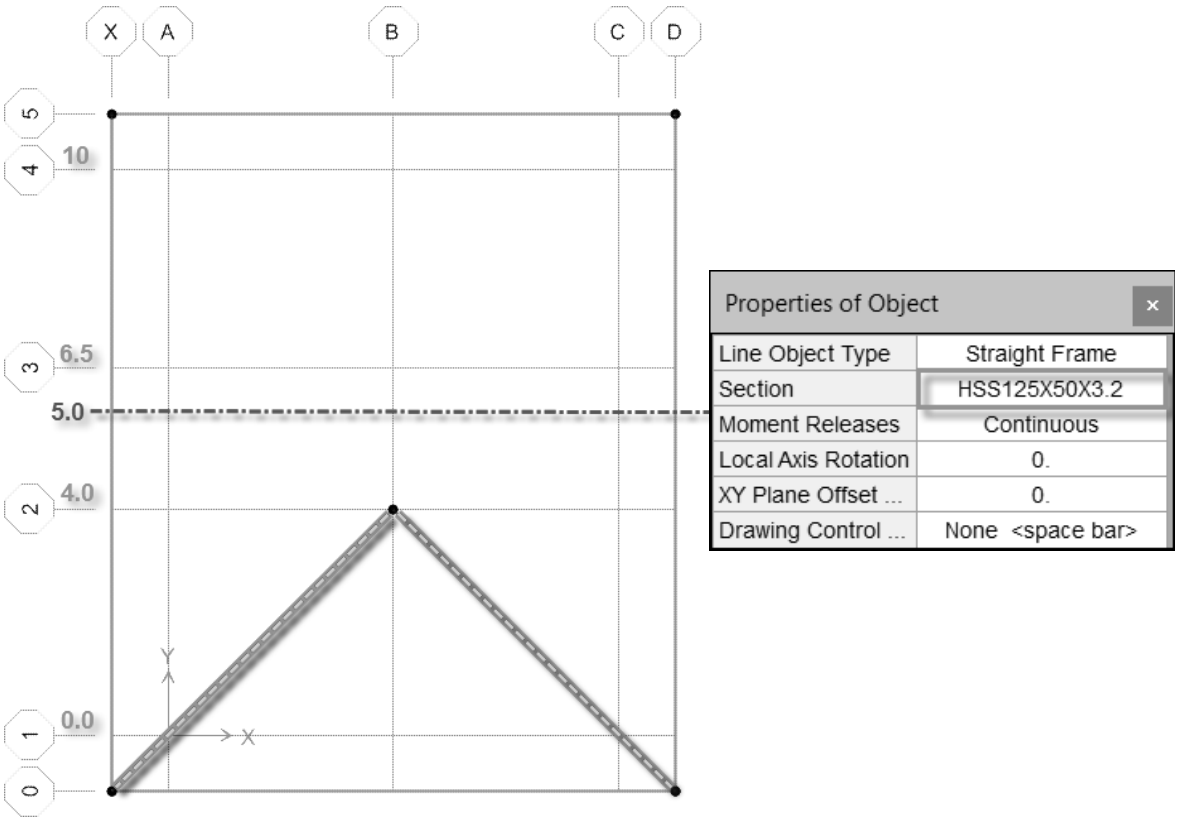
▶ คลิก OK จนกลับมาที่หน้าจอหลัก ระบบกริดที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นดังในรูป



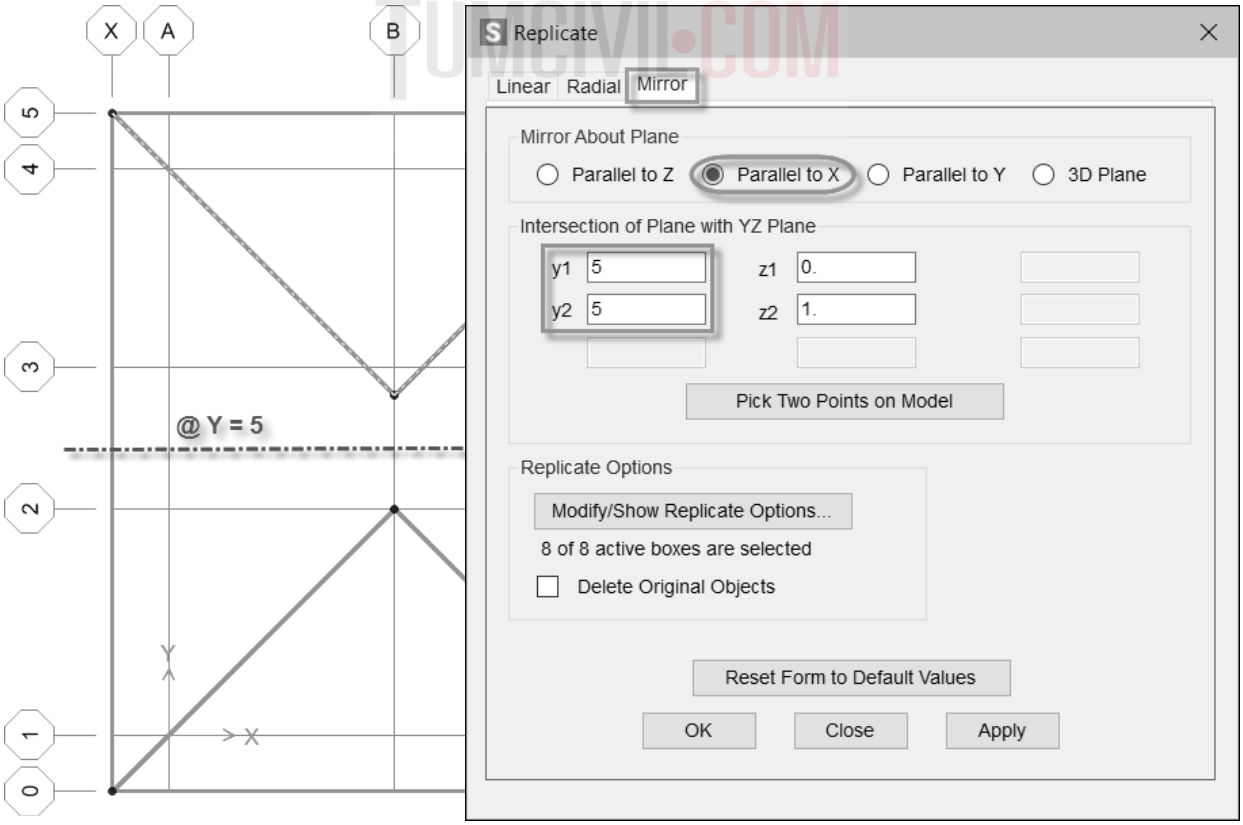
▶ คลิกปุ่ม เลือก Import New Property เลือกหน้าตัด Tube เพื่อนำเข้าหน้าตัด HSS125X50X3.2 จากตารางหน้าตัดไทยคือ TH_RECT จนได้รายการหน้าตัดดังในรูป



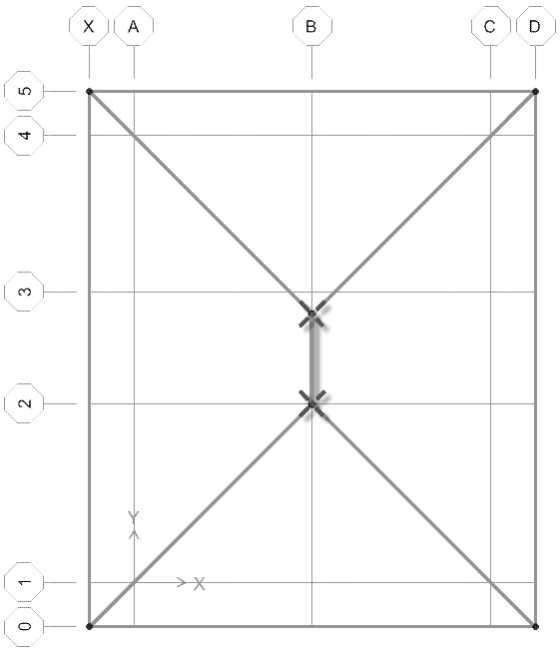
▶ ปรับมุมมองหน้าต่างสองมิติ มาที่ X-Y Plane @ Z = 6.3 คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS125X50X3.2 วาดโครงจันทันดังในรูป

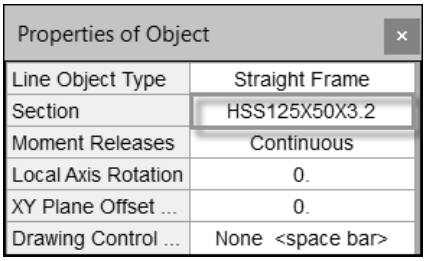


- คลิกเลือกตะเฆ่สัน(เส้นเอียง)ทั้งสอง สั่ง Replicate โดยกด Ctrl+R แบบ Mirror ที่ระยะ Y = 5

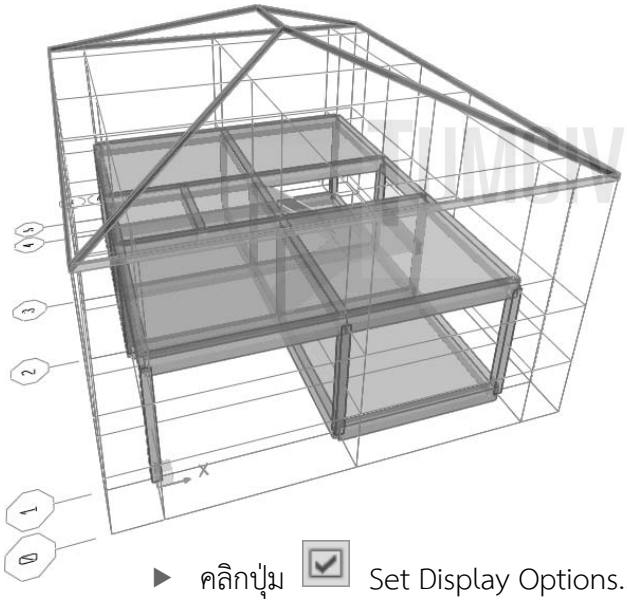


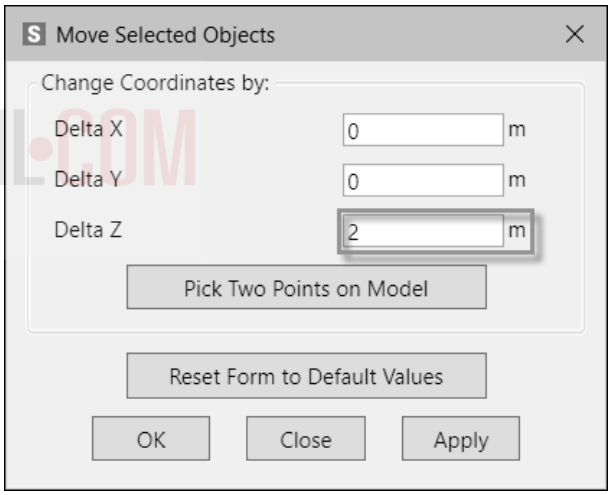
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS125X50X3.2 วาดเส้นดิ่งเชื่อมมุมแหลมทั้งสองข้าง กด Esc ออกจากโหมดวาด แล้วคลิกเลือกจุดที่ตัดทั้งสองจุดดังในรูป





- สั่งเมนู Edit > Move หรือกด Ctrl+M ย้ายจุดทั้งสองขึ้นไป dz = 2 สันหลังคาจะถูกยกขึ้นดังจะเห็นได้จากในมุมมอง 3-D View



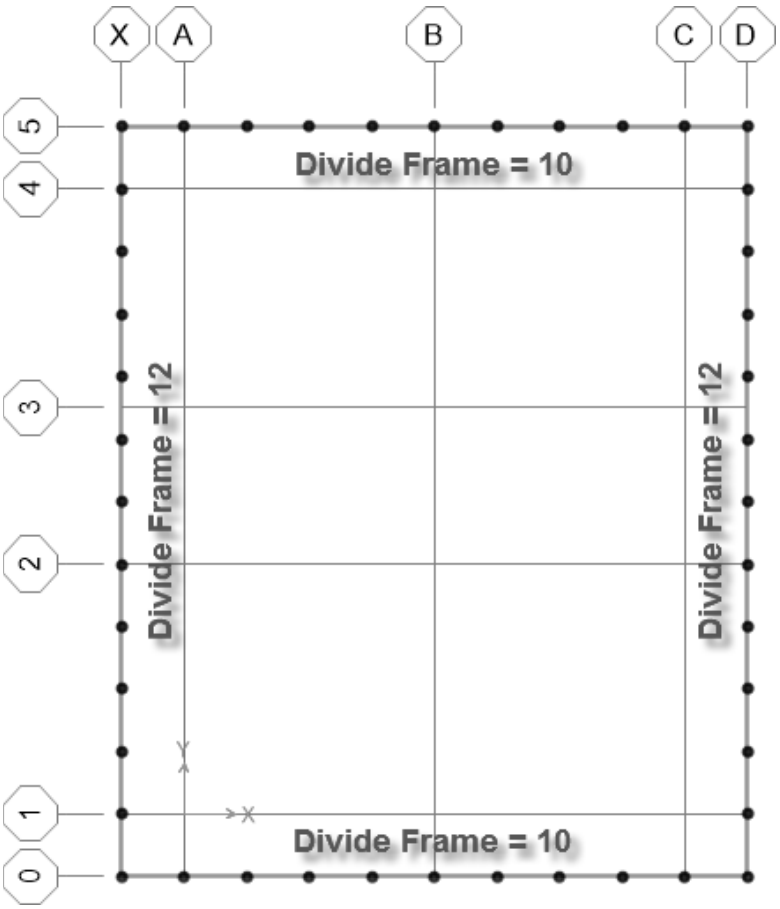


- คลิกปุ่ม Set Display Options... คลิกไม่เลือกช่อง Joint > Invisible เพื่อให้แสดงจุดต่อ

- แบ่งแต่ละท่อนของโครงหลังคาเป็นส่วนๆเพื่อวางจันทันระยะห่าง 1 m โดยคลิกองค์อาคารแล้วสั่ง Edit > Edit Lines > Devide Frames แล้วกำหนดจำนวนที่จะแบ่งดังนี้

X-Y Plane @ Z = 6.3

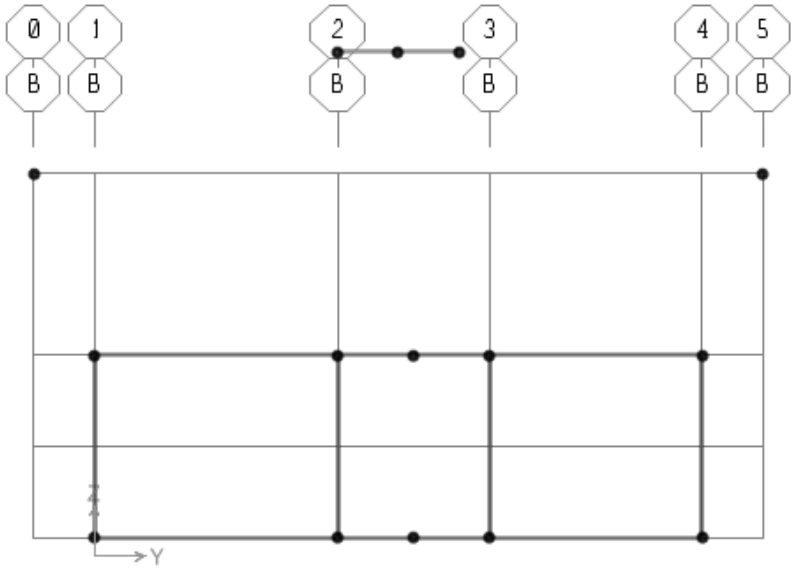
- องค์อาคารในทิศทาง X (แนวนอน) แบ่งเป็น 10 ส่วน
- องค์อาคารในทิศทาง Y (แนวนอน) แบ่งเป็น 12 ส่วน



THAMCIVIL.COM

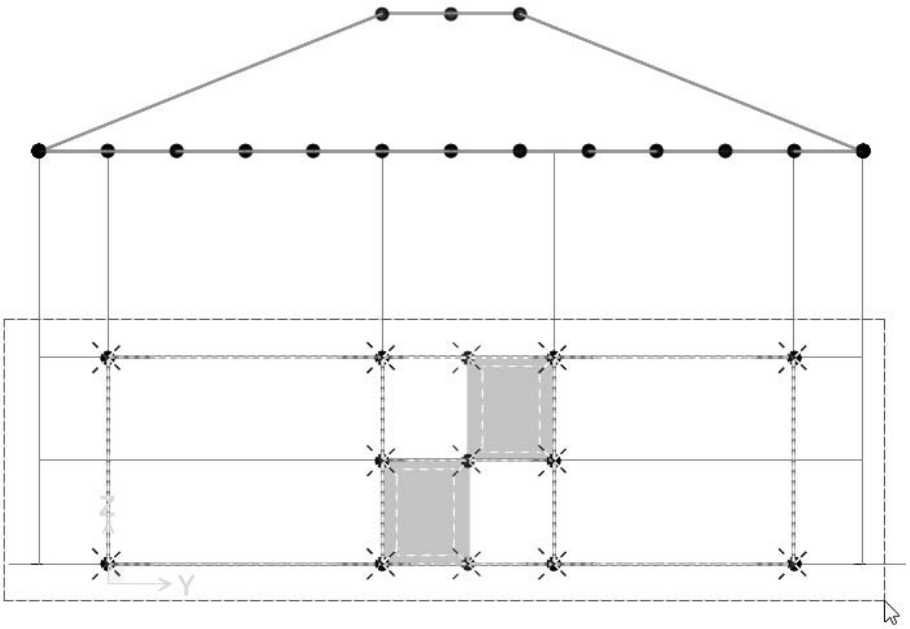
Y-Z Plane @ X = 4

- สันหลังคา (เส้นนอนบนสุด) แบ่งเป็น 2 ส่วน

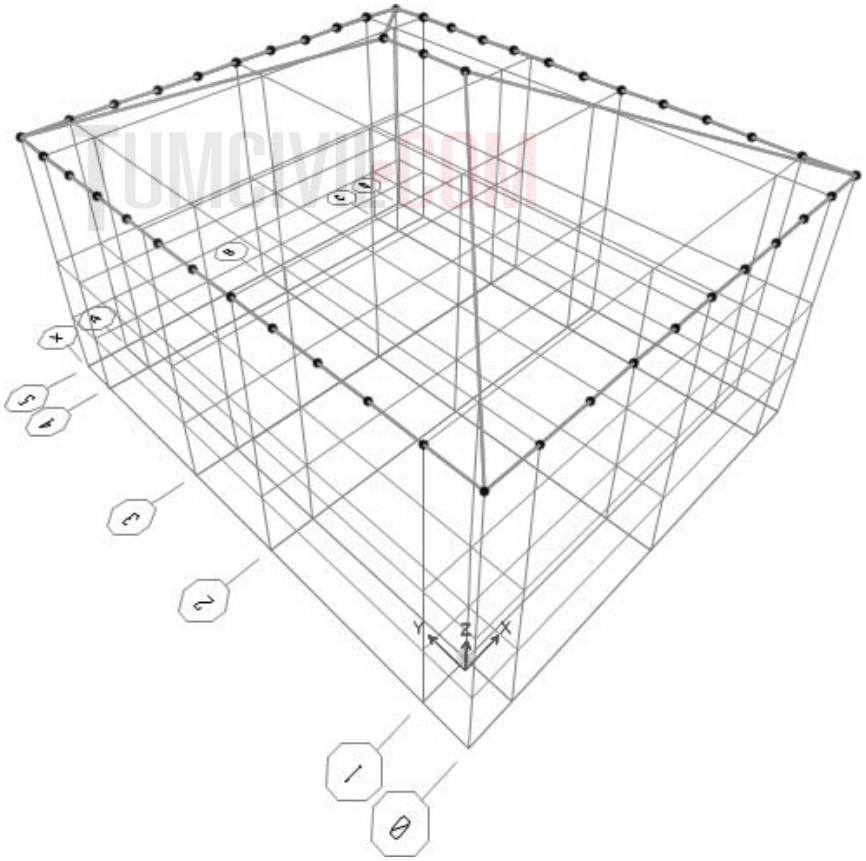


3-D View

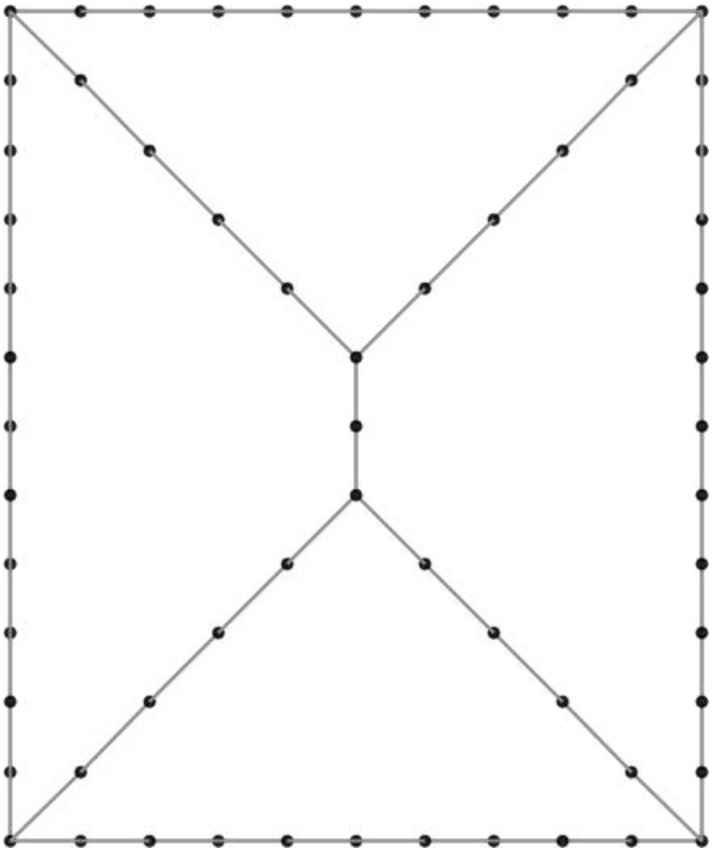
- สั่งเมนู View > Set 3D View ใช้มุม Aperture = 0 กดปุ่ม yz
- ตีกรอบเลือกโครงข้างล่าง



- สั่งเมนู View > Remove Selection From View เพื่อปิดการแสดงโครงอาคารข้างล่างเพื่อความสะดวกในการวาดโครงหลังคา

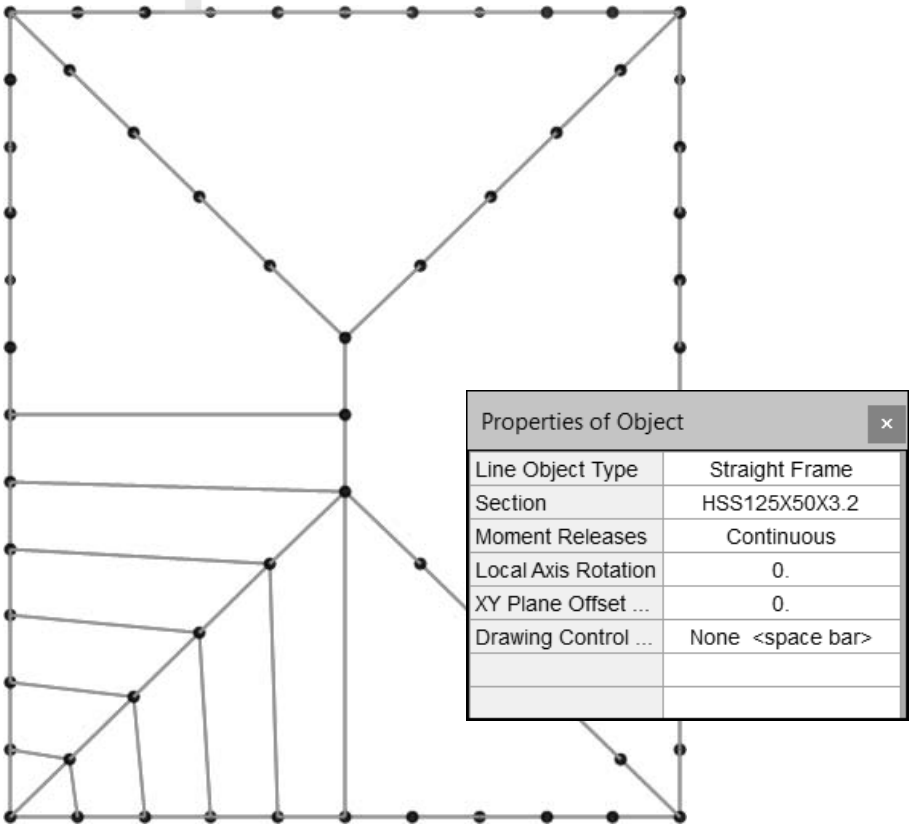


- สั่งเมนู View > Set 3D View กดปุ่ม xy
- สั่งเมนู View > Show Grid หรือกด Ctrl+D เพื่อปิดการแสดงกริด
- เลือกตะเฆ่สัน (เส้นเอียงทั้ง 4 เส้น) แบ่งเป็น 5 ส่วน

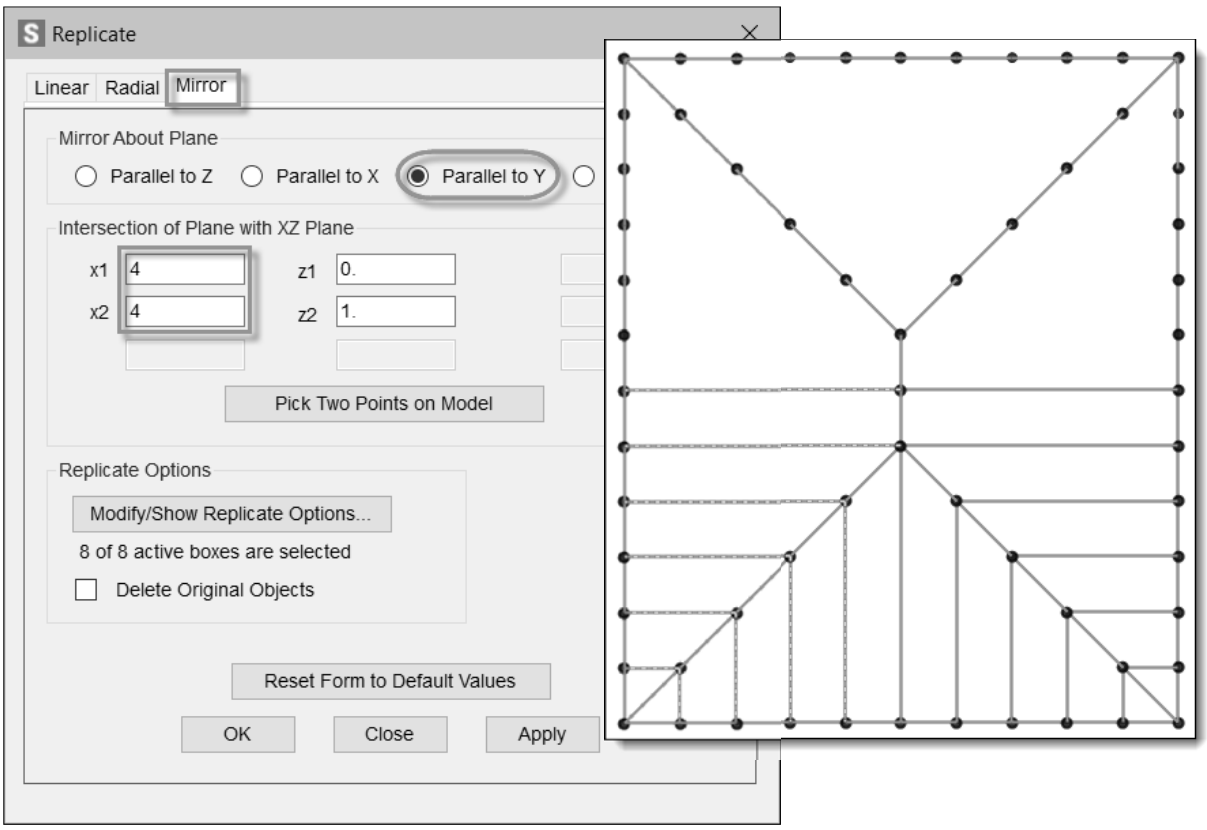


▶ คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS125X50X3.2 วาดจันทัน บางส่วนดังในรูป

TUMCIVIL.COM

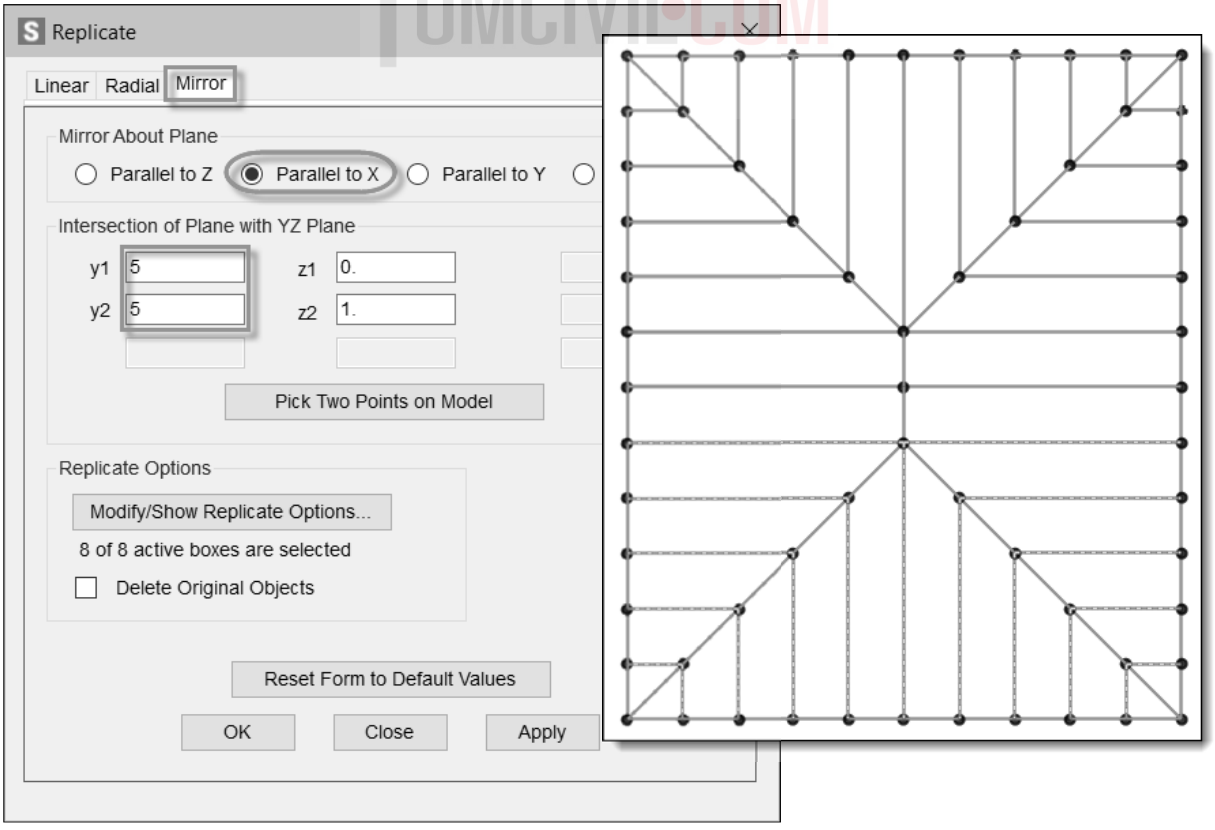


▶ คลิกเลือกจันทันที่วาด ยกเว้นเส้นดิ่งตรงกลาง สั่ง Replicate โดยกด Ctrl+R ไปข้างขวา



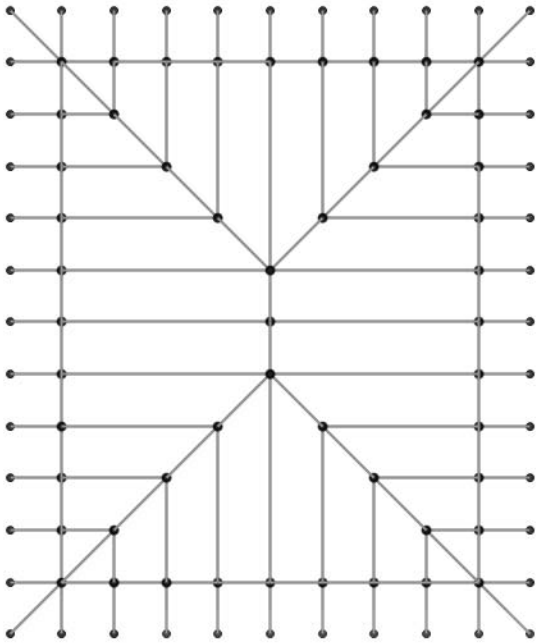
▶ คลิกเลือกจันทันที่วาด ยกเว้นเส้นนอนตรงกลาง สั่ง Replicate โดยกด Ctrl+R ไปข้างบน

TUMCIVIL.COM



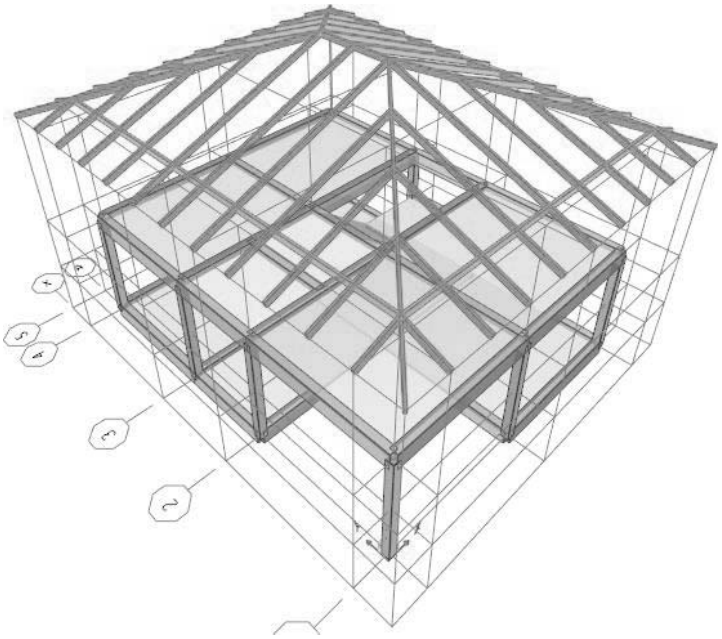
▶ วาดอะเสโดยคลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS125X50X3.2 แล้ววาดเส้นเป็นสี่เหลี่ยม ระหว่างจุดต่อภายในจุดแรกจากขอบนอกบนตะเฆ่สัน

- ตีกรอบคลุมเลือกทั้งหลังคา สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames เลือก Break at intersections with selected Joints, Frames, Area Edges and Solid Edges
- ลบเส้นสี่เหลี่ยมกรอบนอกออก โดยการตีกรอบคลุมจากซ้ายไปขวาทีละด้านแล้วกด Delete ลบเส้นขอบทั้งสี่ด้าน



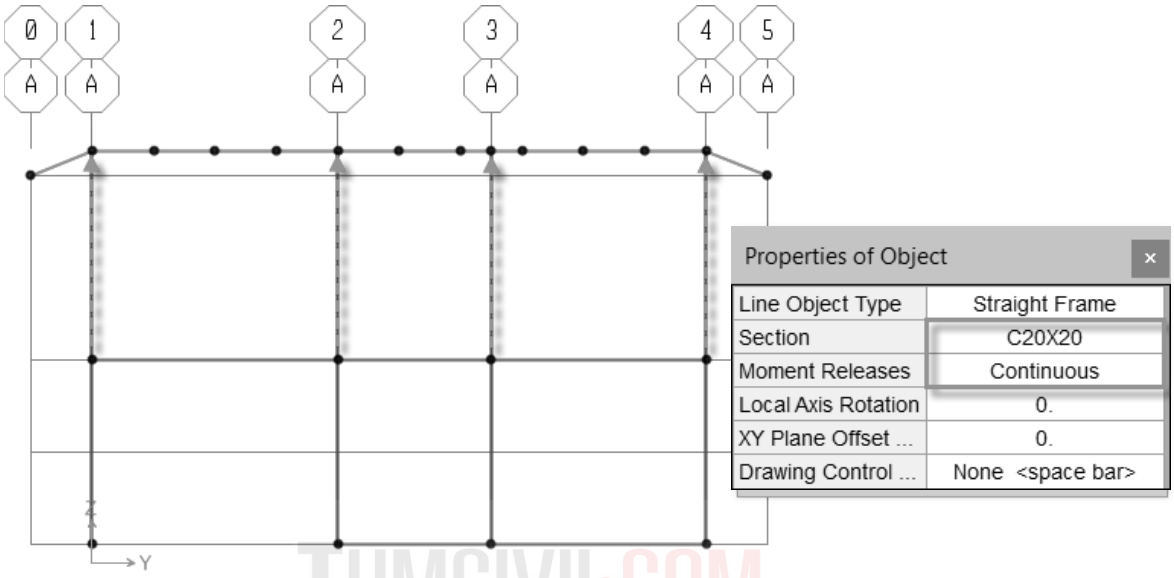
TUMCIVIL.COM

- คลิกปุ่ม Set Display Options... คลิกเลือกช่อง Joint > Invisible ปิดการแสดงจุดต่อ
- คลิกปุ่ม เพื่อเปลี่ยนเป็นมุมมองสามมิติดั่งเดิม
- สั่งเมนู View > Show Grid, View > Show Axes และ View > Show All เพื่อให้กลับมาแสดงทุกอย่างเหมือนเดิม
- คลิกปุ่ม Set Display Options เลือกให้แสดง Fill Objects และ Extrude View



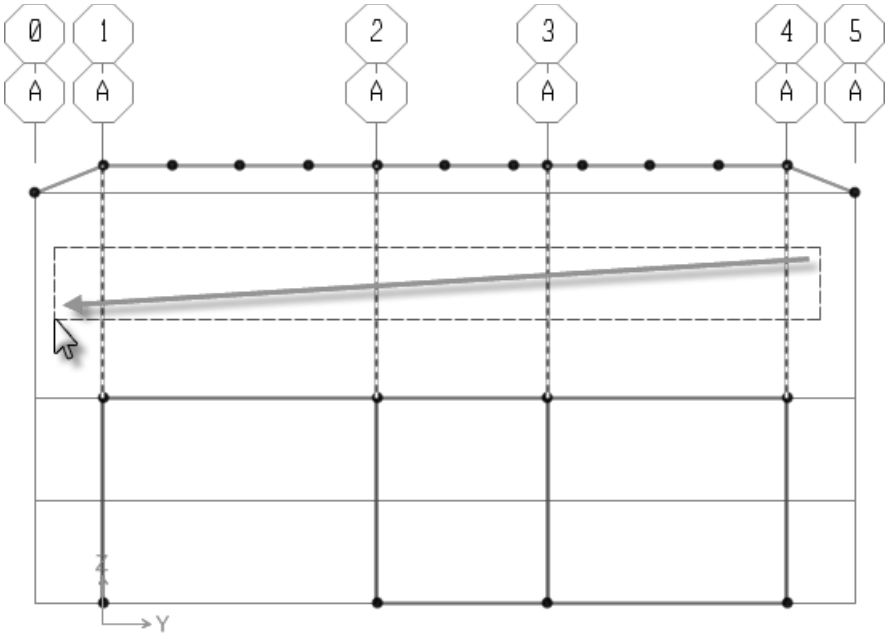
การวาดเสาชั้นที่สองรับโครงหลังคา Draw 2nd Floor Column

- เปิดการแสดงจุดต่อและปิดการแสดงหน้าตัด คลิกหน้าต่างสองมิติแล้วกดปุ่ม yz และ จนได้มุมมอง Y-Z Plane @ X = 0 แล้วคลิกปุ่มสแนปตั้งฉาก
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัดเสา C20X20 ลากเส้นวาดเสาชั้นที่สองดังในรูป

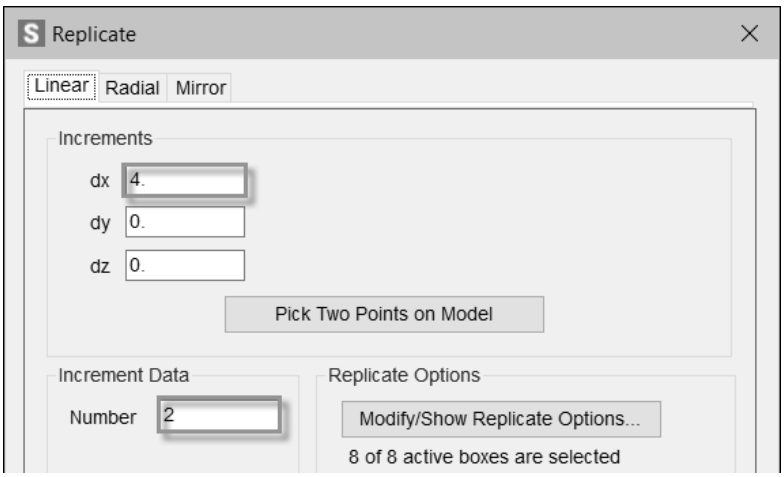


TUMCIVIL.COM

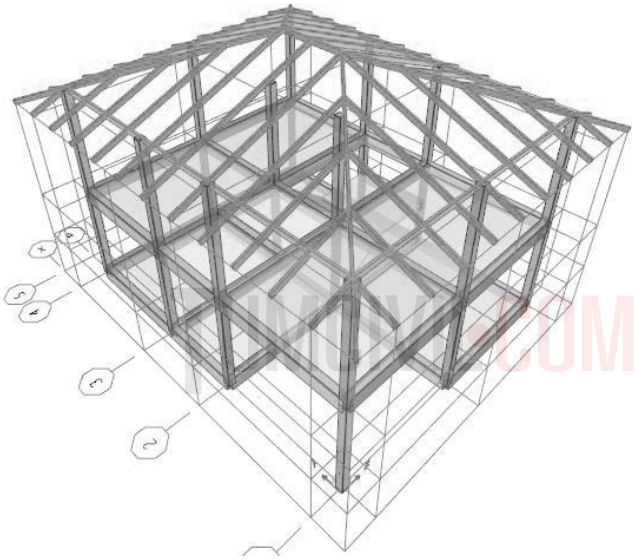
- ตีกรอบจากขวาไปซ้ายเลือกเสาทั้ง 4 ต้นที่เพิ่งวาด



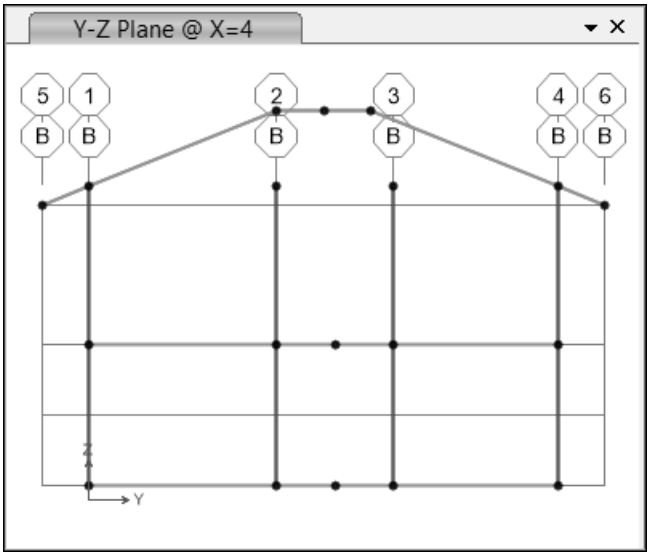
- ใช้คำสั่ง Replicate โดยกด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำไปยังตำแหน่งที่เหลือ โดยใช้ระยะ dx = 4 และจำนวนทำซ้ำ = 2



- เสาจะถูกทำซ้ำจนครบทุกต้น เมื่อปิดการแสดงจุดต่อแล้วเปิด Extrude View ในมุมมองสามมิติ จะเป็นดังในรูป

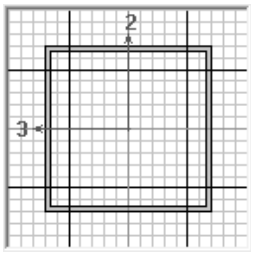


- ในหน้าต่างสองมิติคลิกปุ่ม จนได้มุมมอง Y-Z Plane @ X = 4

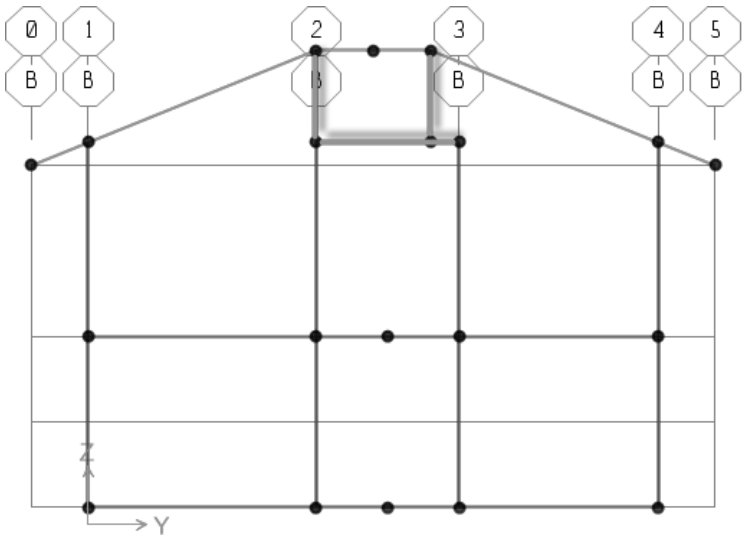


จะเห็นว่าปลายบนของเสาที่กริด B-2 และ B-3 ยังไม่รองรับหลังคา

- คลิกปุ่ม เลือก Import New Property เลือกหน้าตัด Tube คลิก Cancel แล้วกด Open File เลือกไฟล์ตารางหน้าตัดไทย TH_SQ เพื่อนำเข้าหน้าตัด HSS100X100X3.2



- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS100X100X3.2 ลากเส้นวาดคานและดั้งดังในรูป

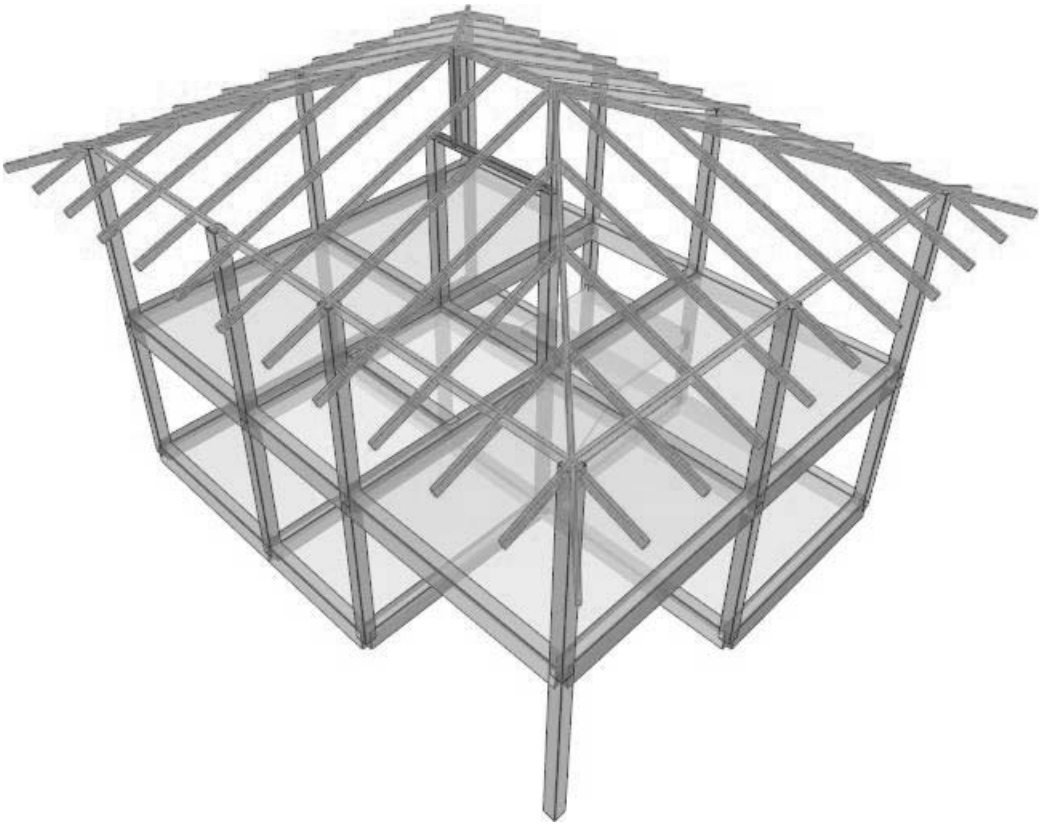


Properties of Object

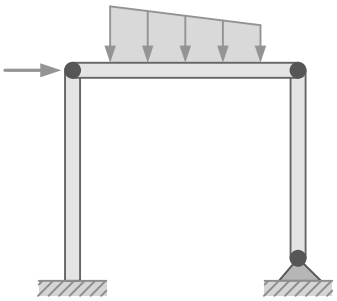
Line Object Type	Straight Frame
Section	HSS100X100X3.2
Moment Releases	Continuous
Local Axis Rotation	0.
XY Plane Offset ...	0.
Drawing Control ...	None <space bar>

TUMCIVIL.COM

- ในมุมมอง 3-D View จะได้รูปโมเดลบ้านพักอาศัยสองชั้นและหลังคาดังในรูป



TUMCIVIL.COM



4

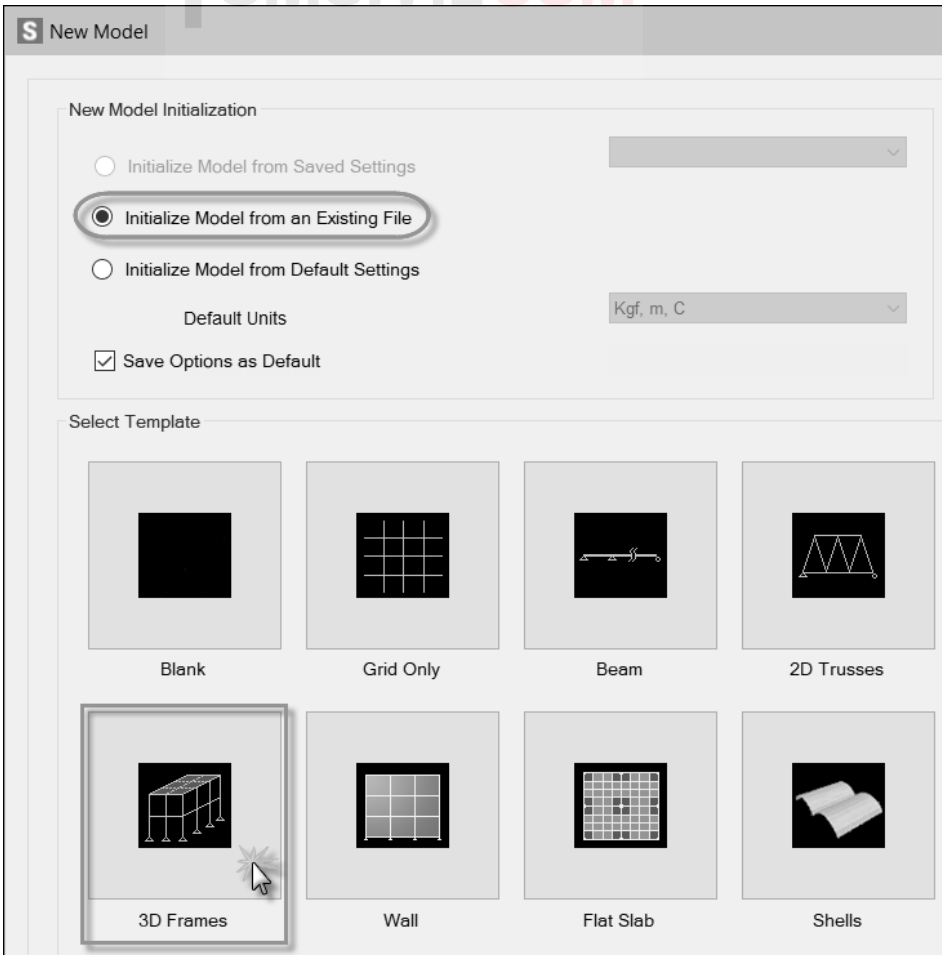
จุดรองรับและน้ำหนักบรรทุก

ในบทนี้จะกล่าวถึงการใส่น้ำหนักบรรทุกรูปแบบต่างๆได้แก่น้ำหนักกระทำเป็นจุด น้ำหนักแผ่เชิงเส้น และน้ำหนักแผ่บนพื้นที่ นอกจากนั้นยังมีการใส่น้ำหนักบรรทุกแบบอัตโนมัติ ได้แก่ แรงลม และ แรงแผ่นดินไหว เพื่อความสะดวกเราจะสร้างโมเดลอาคารอย่างง่ายขึ้นมาโดยใช้ข้อมูลวัสดุและหน้าตัดจากไฟล์ EX2 House2F ซึ่งได้กำหนดไว้ในบทที่แล้ว

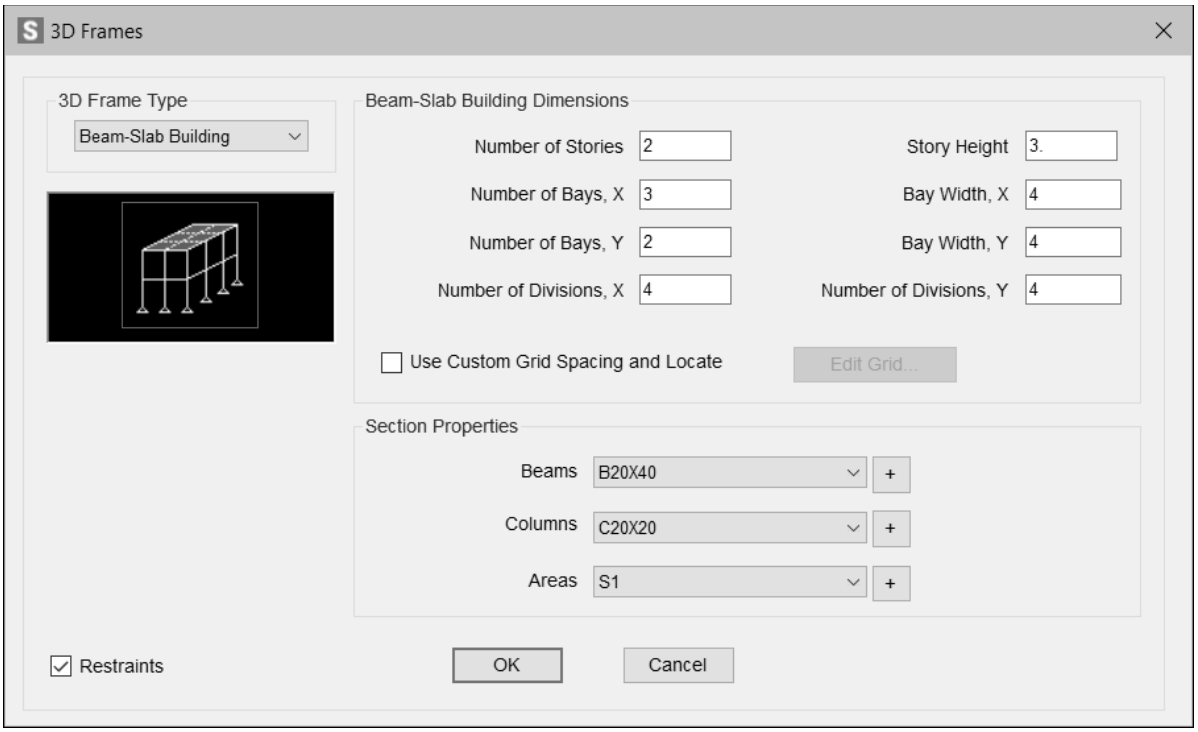
- เริ่มต้น SAP2000 ใช้หน่วย Kgf, m, C สร้างโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N

- ในหน้าต่าง New Model เลือก Initialized Model from an Existing File กดปุ่ม 3D Frames

TUMCIVIL.COM

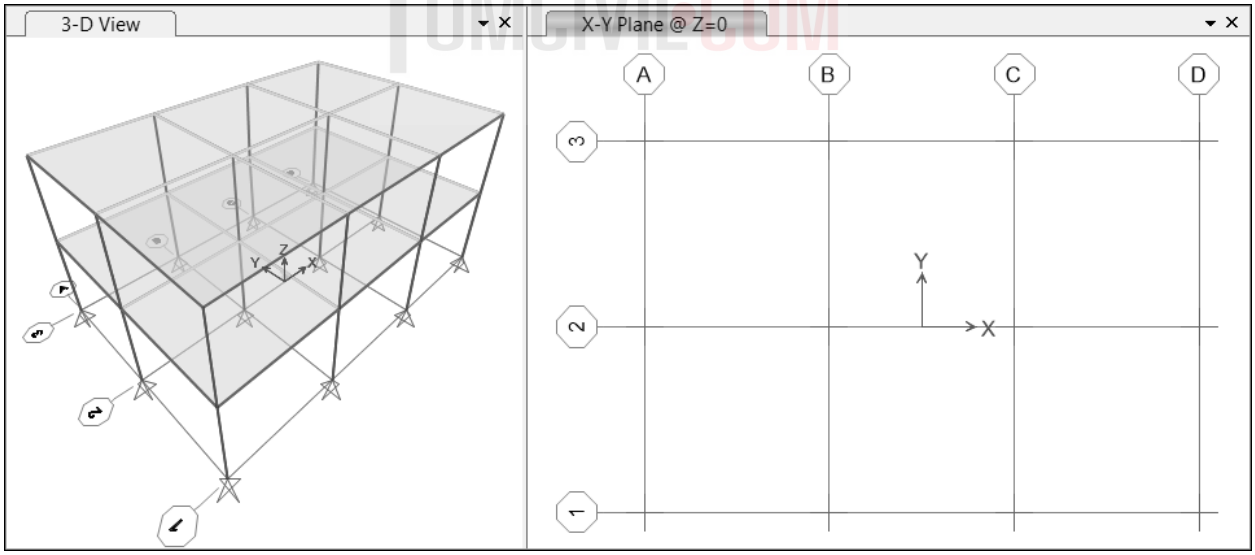


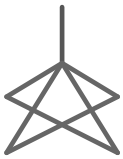
▶ เลือกไฟล์ EX2 House2F แล้วกำหนดขนาดต่างๆและหน้าตัดดังในรูป



▶ คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงจุดรองรับ Joints > Restraints และ Apply to All Windows

TUMCIVIL.COM

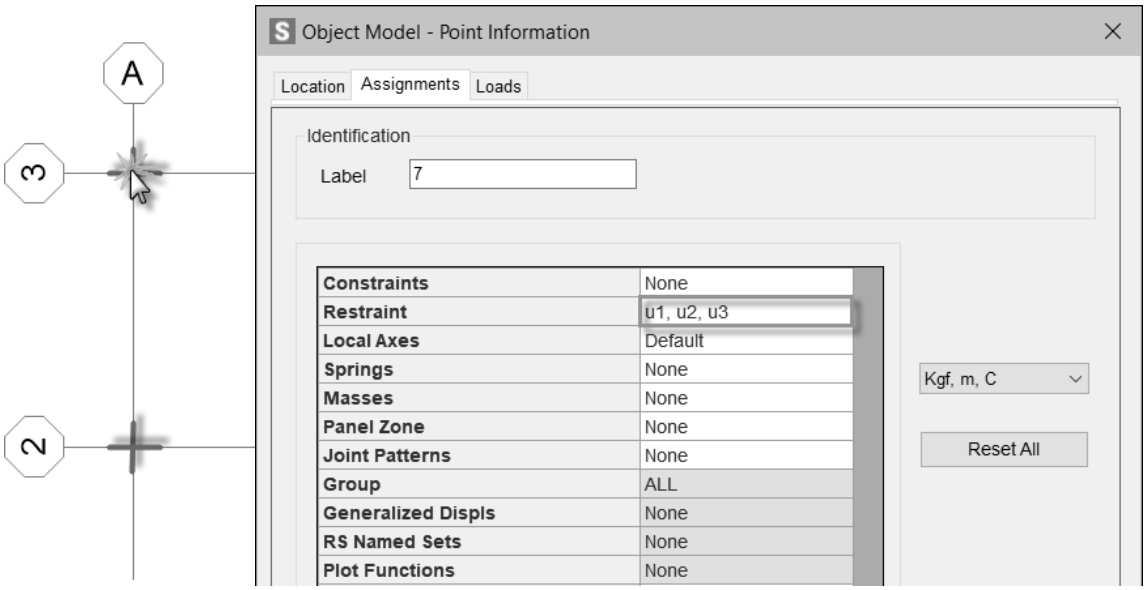




การกำหนดจุดรองรับ Support

จะเห็นว่าจุดรองรับในมุมมองสามมิติเป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งเป็นจุดรองรับแบบจุดหมุน

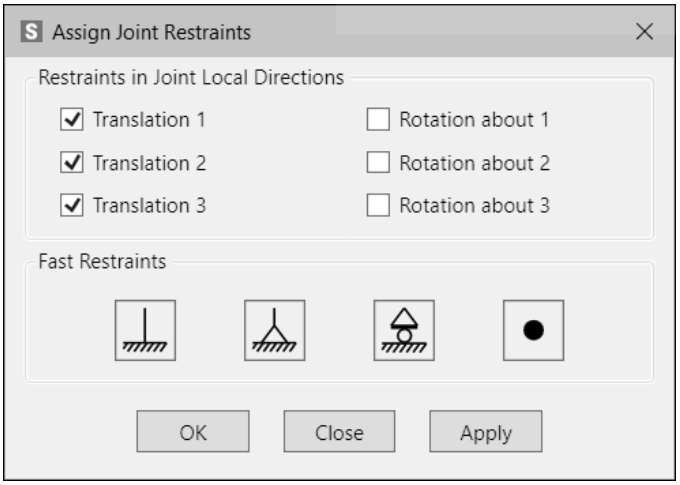
▶ ในหน้าต่าง X-Y Plane @ Z=0 คลิกขวาที่จุดรองรับจุดหนึ่งเพื่อให้แสดงข้อมูลของจุด

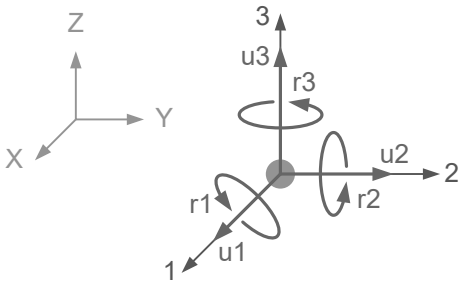


ดูที่รายการ Restraint จะแสดงว่า u1, u2, u3 หมายถึงการเคลื่อนที่ในทิศทาง 1, 2 และ 3 ถูกยึดรั้งไว้ โดยปกติแล้วแกนของจุดต่อ 1-2-3 จะตรงกับแกนระบบ X-Y-Z ดังจะเห็นในรายการ Local Axes ถัดมาแสดงว่า Default ซึ่งเราสามารถกำหนดแกนจุดต่อได้ เช่นในกรณีที่จุดต่อ Roller เอียง

- สมมุติว่าเราต้องการเปลี่ยนให้เป็นจุดรองรับแบบ Fixed ให้ตีกรอบเลือกจุดรองรับทั้งหมด

- สั่งเมนู Assign > Joint > Restrains... หน้าต่าง Joint Restraints จะแสดงขึ้นมาให้กำหนดจุดรองรับ ซึ่งจะเห็นว่าการยึดรั้งมีทั้งหมด 6 ดีกรี ที่ถูกยึดไว้คือ Translation 1-2-3



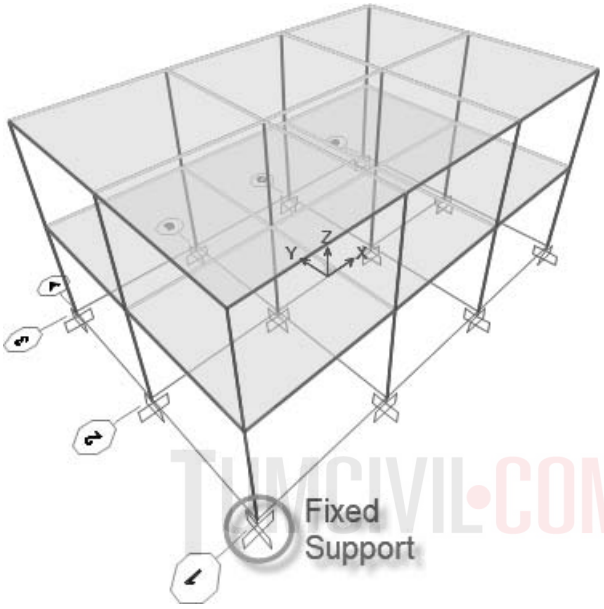


ในกรอบ Fast Restraints จะมีปุ่มให้เรากดเลือกชนิดของจุดรองรับแบบรวดเร็วคือ

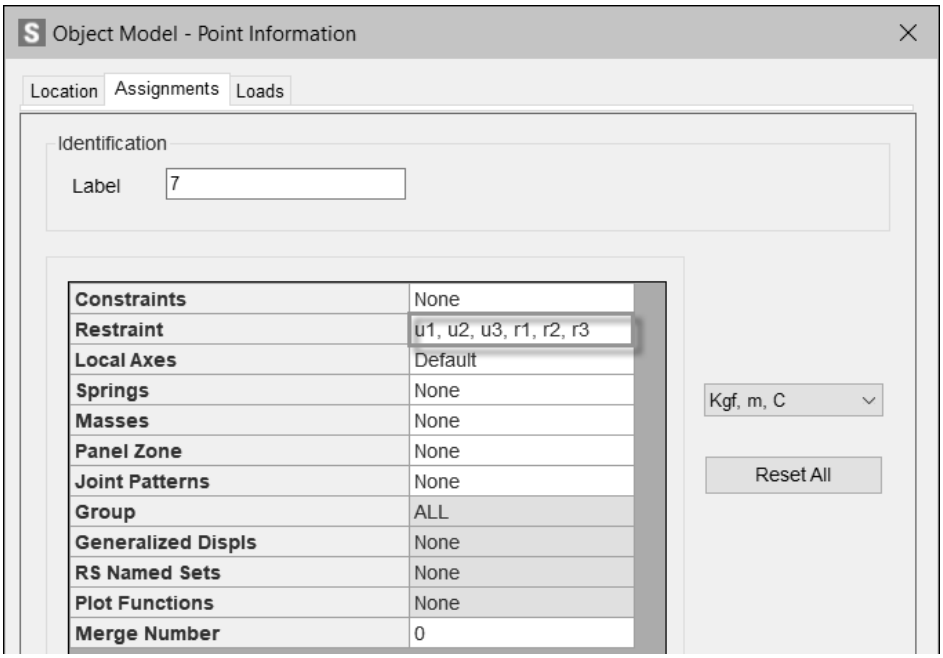
	Fully supported จุดรองรับแบบ fixed ที่ทุกดีกรีถูกยึดรั้ง
	Pinned จุดรองรับแบบจุดหมุน ทุกดีกรีการเคลื่อนที่ถูกยึดรั้ง

	Roller จุดรองรับล้อหมุน ยึดรั้งเฉพาะดีกรีการเคลื่อนที่ Z
	Fully free จุดอิสระ ทุกดีกรีไม่มีการยึดรั้ง

- คลิกปุ่ม เพื่อเลือกจุดรองรับแบบยึดแน่น แล้วกด OK สังเกตจุดรองรับในมุมมองสามมิติจะเปลี่ยนเป็นรูปสี่เหลี่ยม



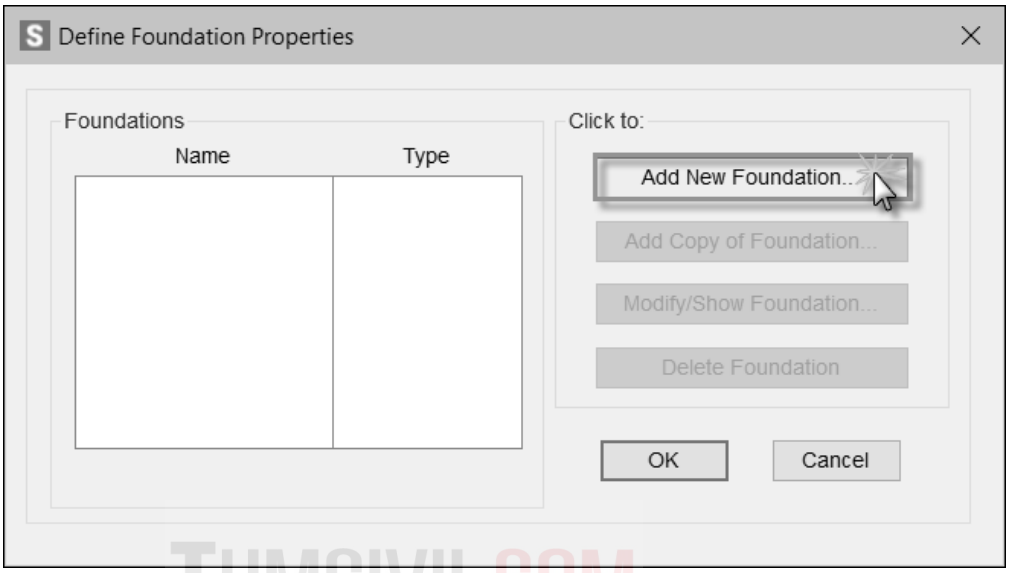
- คลิกขวาดูข้อมูลจุดรองรับใหม่จะเห็นว่ามีการยึดรั้งเพิ่มขึ้นคือ r1, r2, และ r3



- กด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูลตั้งชื่อไฟล์ว่า EX4 Simple RC

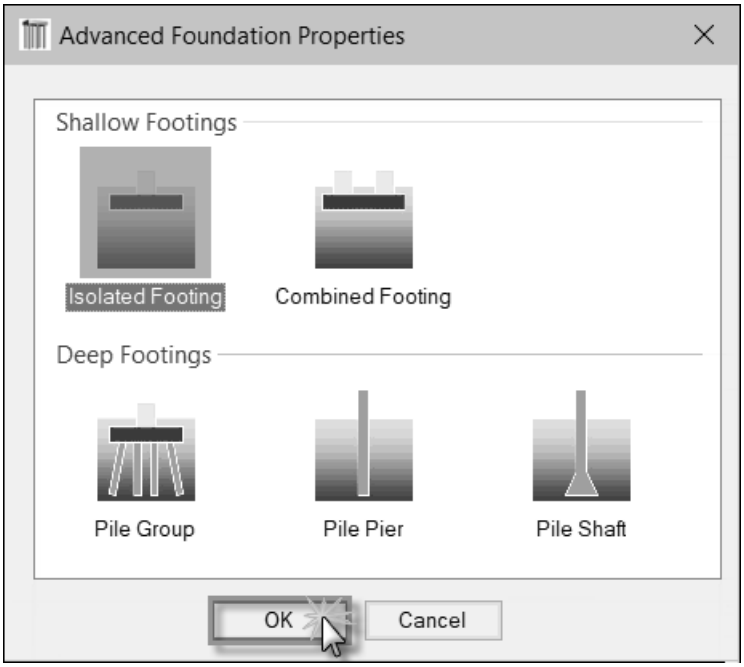
SAP2000 V22 เพิ่มคำสั่งสร้างฐานรากได้อย่างสะดวกรวดเร็วโดยผู้ใช้ใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อไฟล์ใหม่ว่า EX4 RC Footing
- สั่งเมนู Define > Foundation Properties



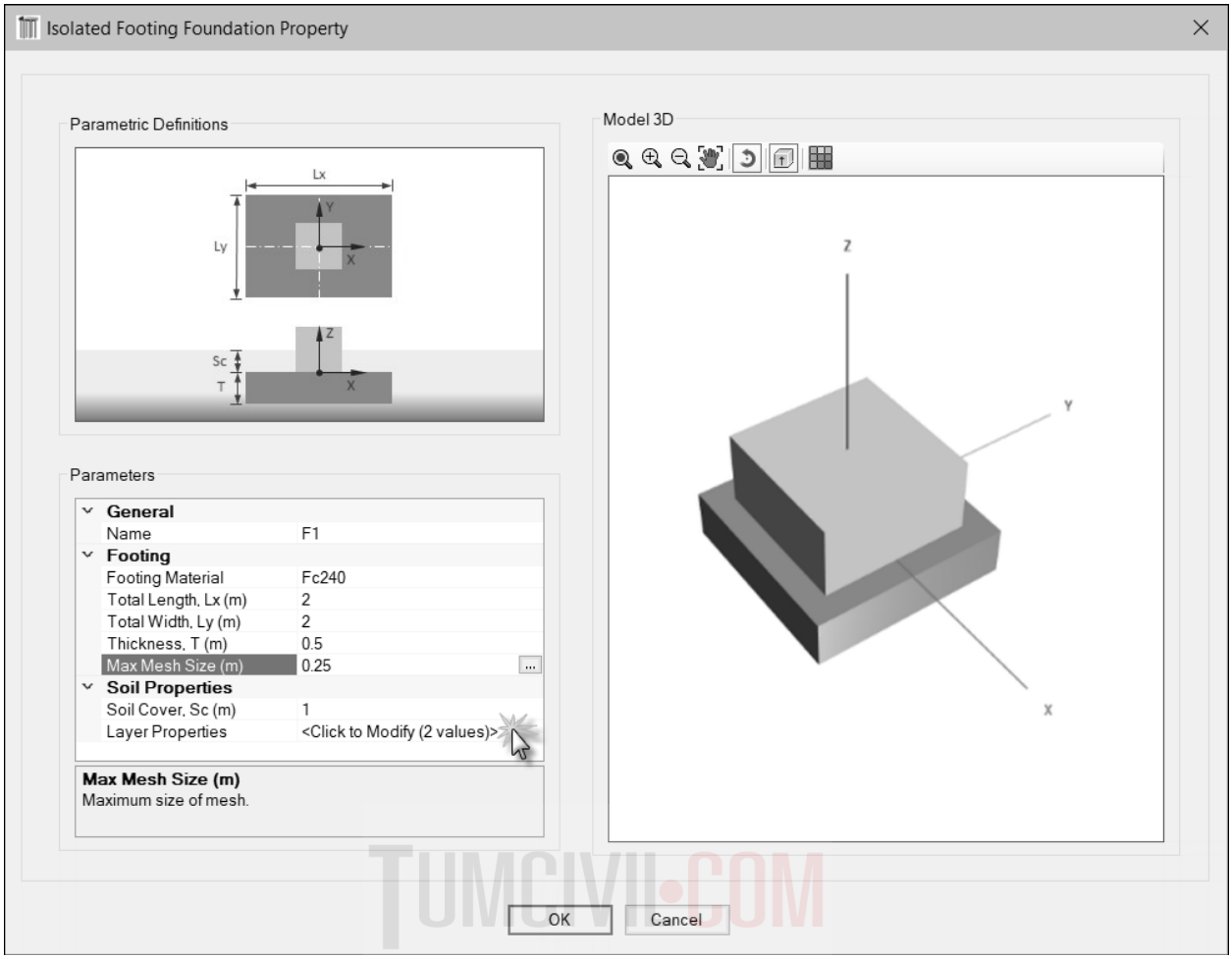
TUMCIVIL.COM

- ในหน้าต่างชนิดฐานรากให้คลิกเลือกฐานรากเดี่ยว (Isolated Footing) แล้วคลิกปุ่ม OK



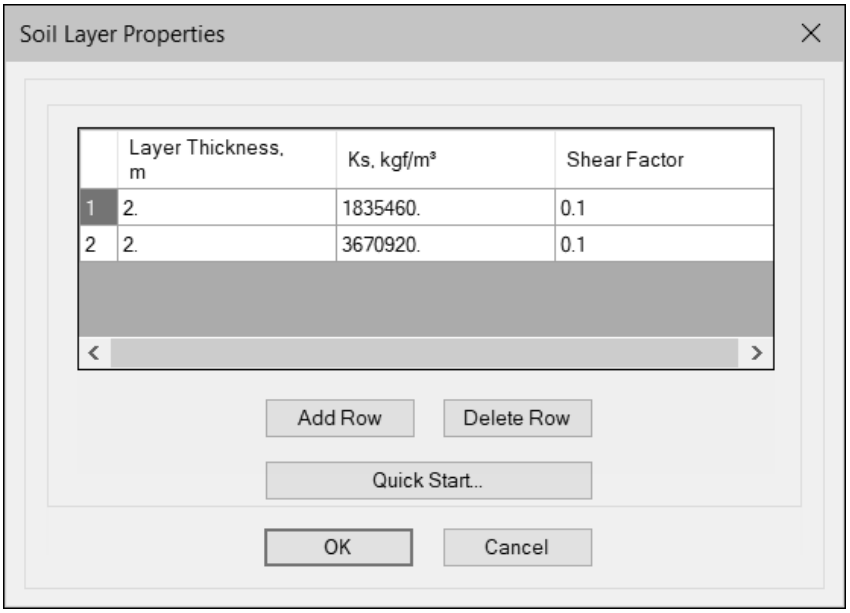
- ตั้งชื่อและใส่ขนาดต่างๆของฐานราก

  F1 = 2.0 x 2.0 x 0.5 m

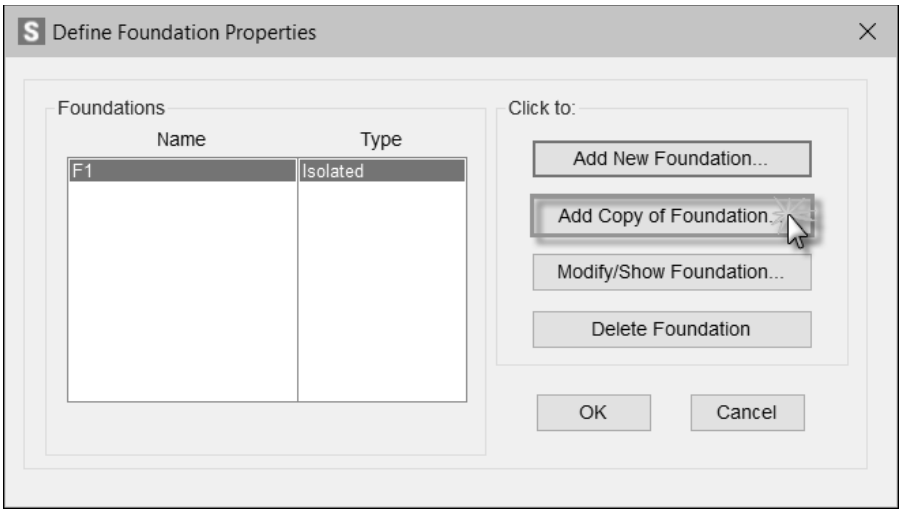


TUMCIVIL.COM

- จากนั้นคลิกที่หลังรายการ Layer Properties
- กำหนดค่า Subgrade Modulus และค่า Shear Factor ของพื้นดิน

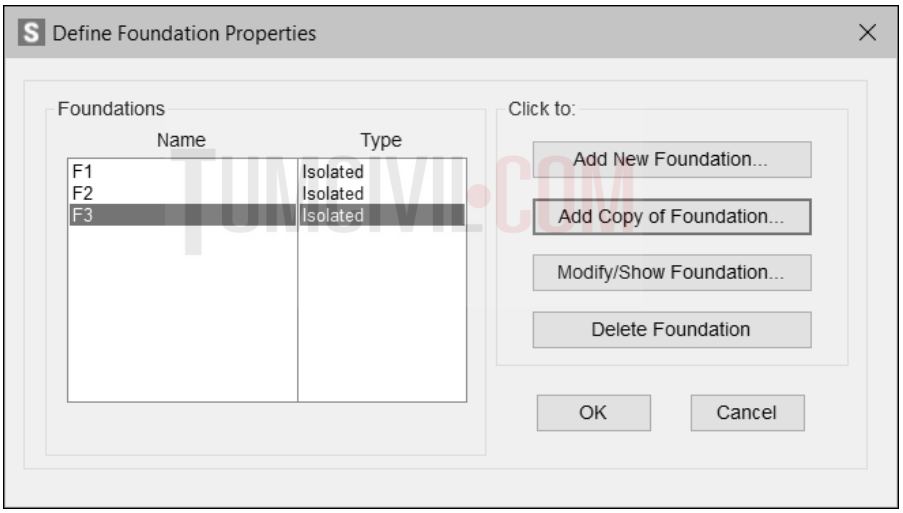


▶ คลิก OK จนกลับมาที่หน้าต่าง Define Foundation Properties จะมีรายการ F1 ถูกสร้างขึ้น

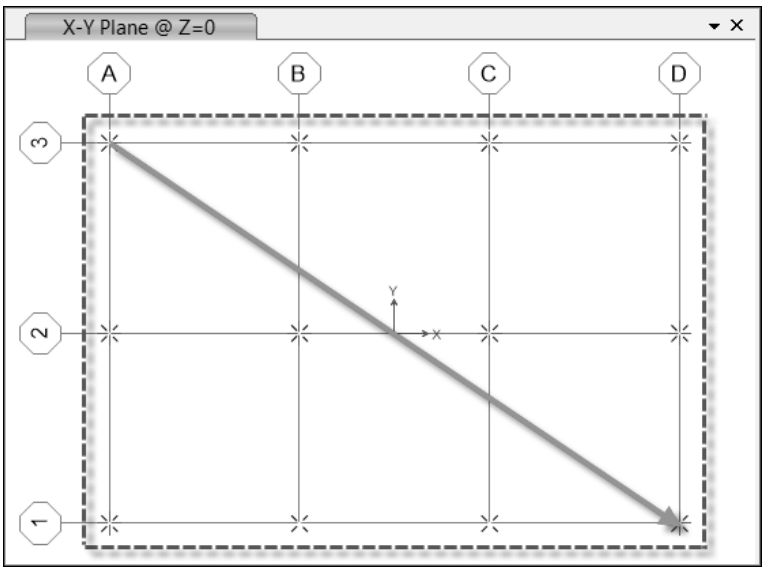


▶ คลิกปุ่ม Add Copy of Foundation สร้างฐานราก F2 และ F3 ดังนี้

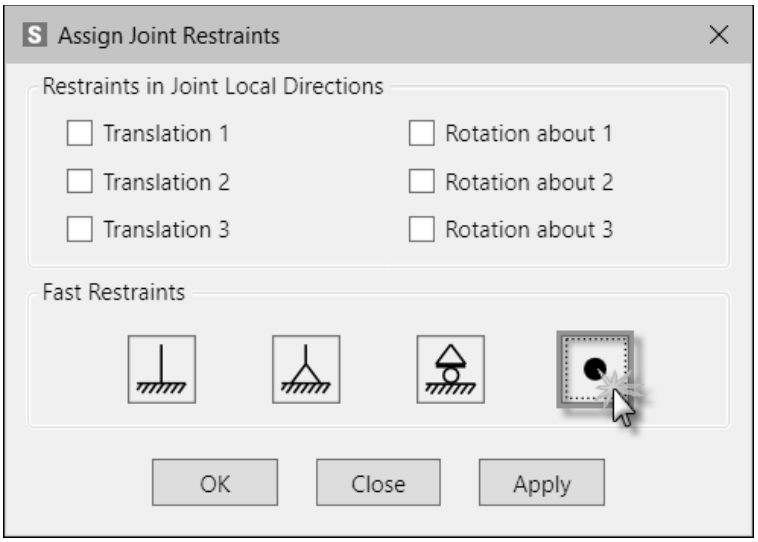
F2 = 2.5 x 2.5 x 0.5 m และ F3 = 3.0 x 3.0 x 0.5 m



▶ คลิกหน้าต่าง Plan View กดปุ่ม ลงมาที่ชั้นจุดรองรับ Z = 0 ตีกรอบคลุมเลือกทั้งหมด

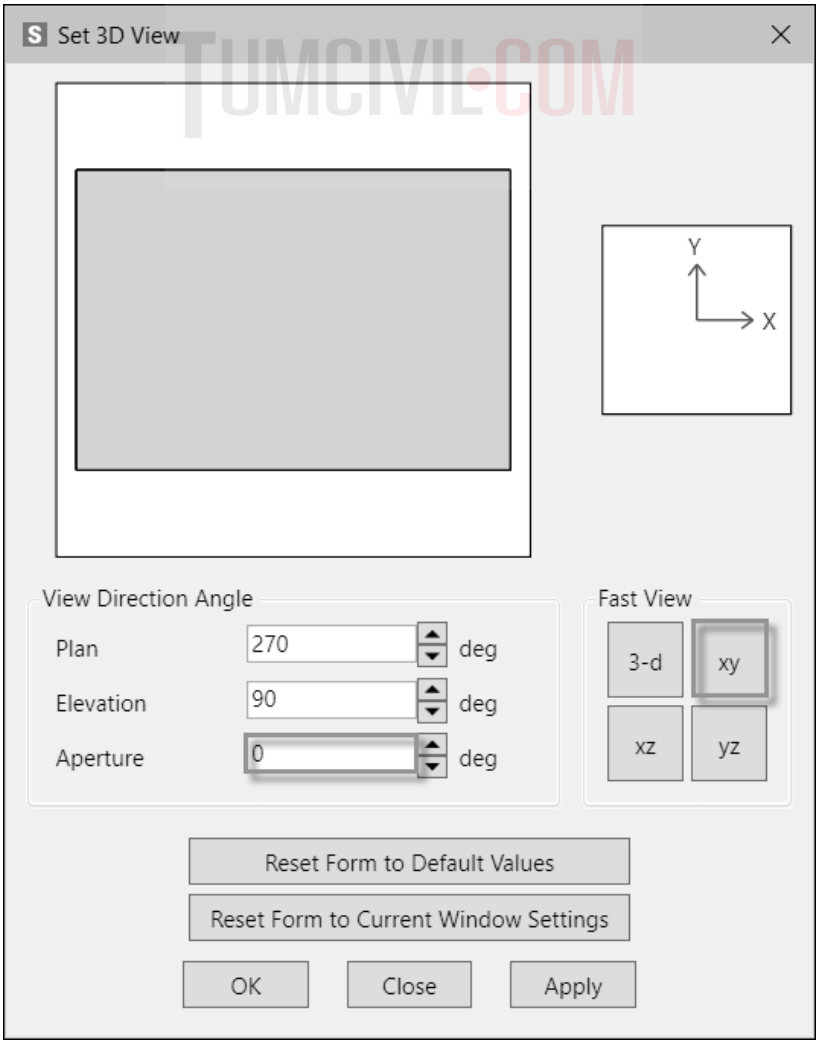


- สั่งเมนู Assign > Joints > Restraints... ปลดล๊อคทุกดีกรีอิสระ

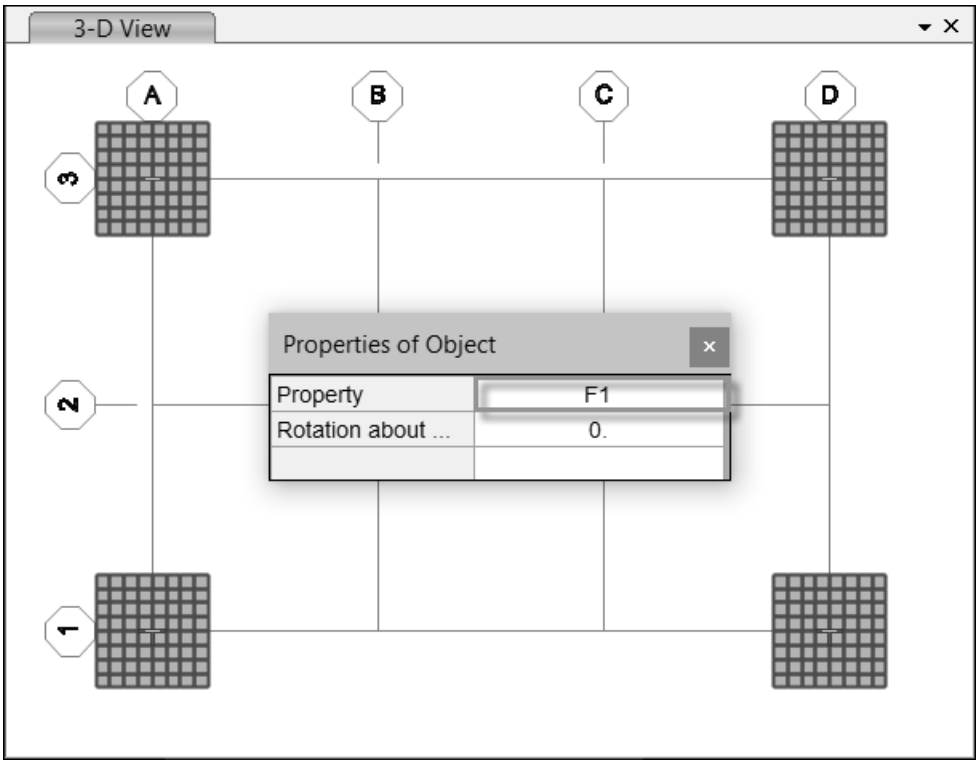


- เลือกหน้าต่าง 3-D View กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด สั่งเมนู View > Remove Selection from View เพื่อซ่อนโครงสร้างทั้งหมดชั่วคราว

- สั่งเมนู View > Set 3-D View คลิกปุ่ม xy ใส่ค่ามุม Aperture = 0 deg

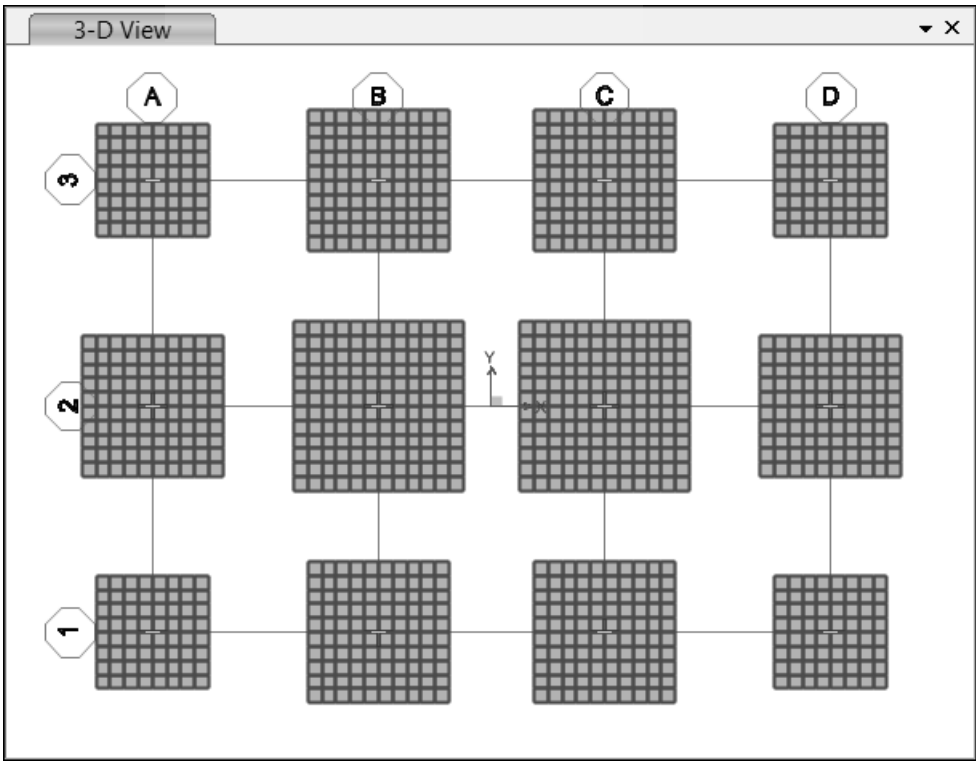


- สั่งเมนู Draw > Draw Isolated Foundation เลือกฐานราก F1 แล้วคลิกวาดฐานรากที่มุมทั้งสี่ของแปลนอาคาร



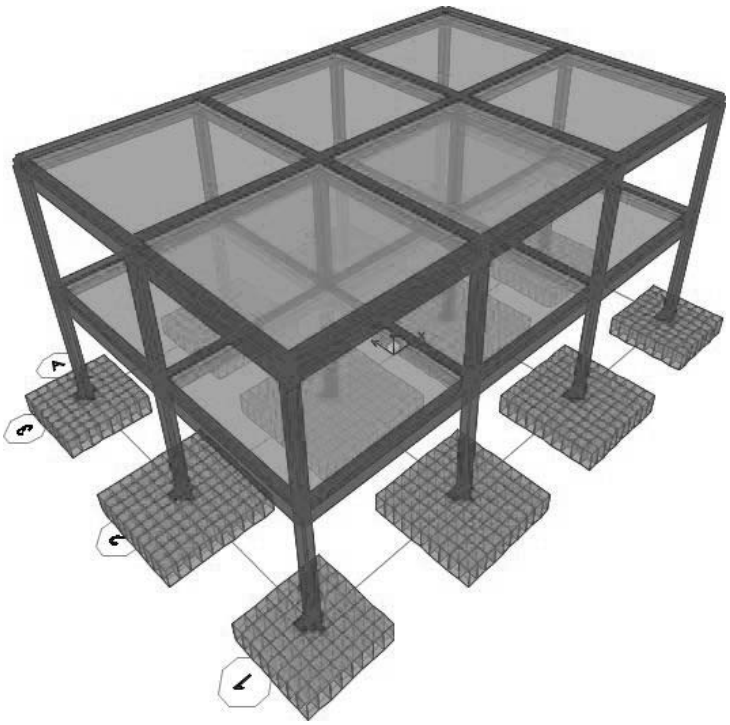
TUMCIVIL.COM

- วางฐานราก F2 ที่จุดตัดกริดที่เหลือตามขอบอาคาร และวาง F3 ที่จุดติดกริดภายใน



- คลิกปุ่ม แสดงมุมมองสามมิติดั้งเดิม สั่งเมนู View > Show All

▶ คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง General Options > Extrude



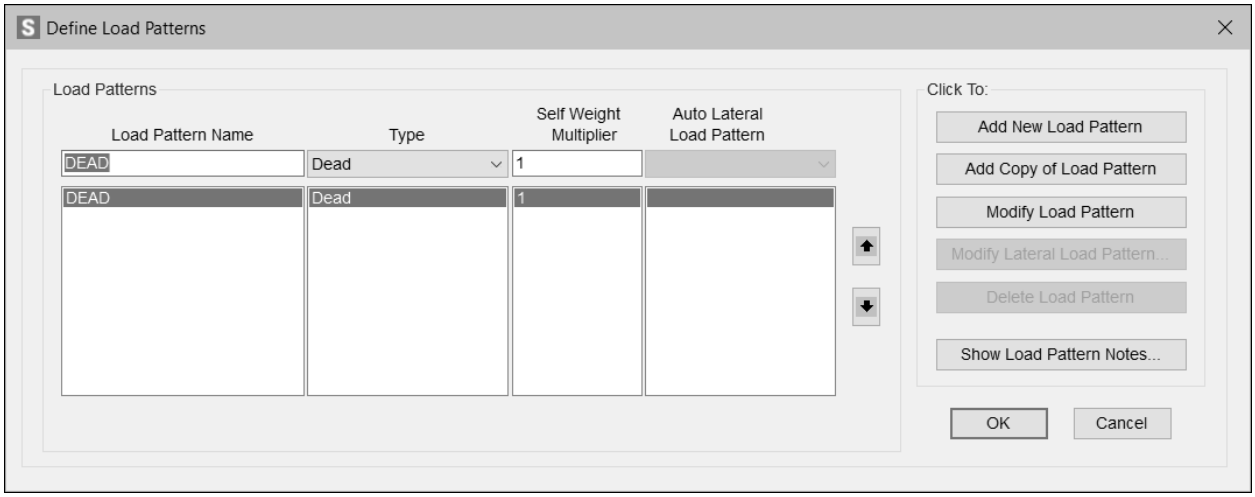
▶ กด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูล

TUMCIVIL.COM

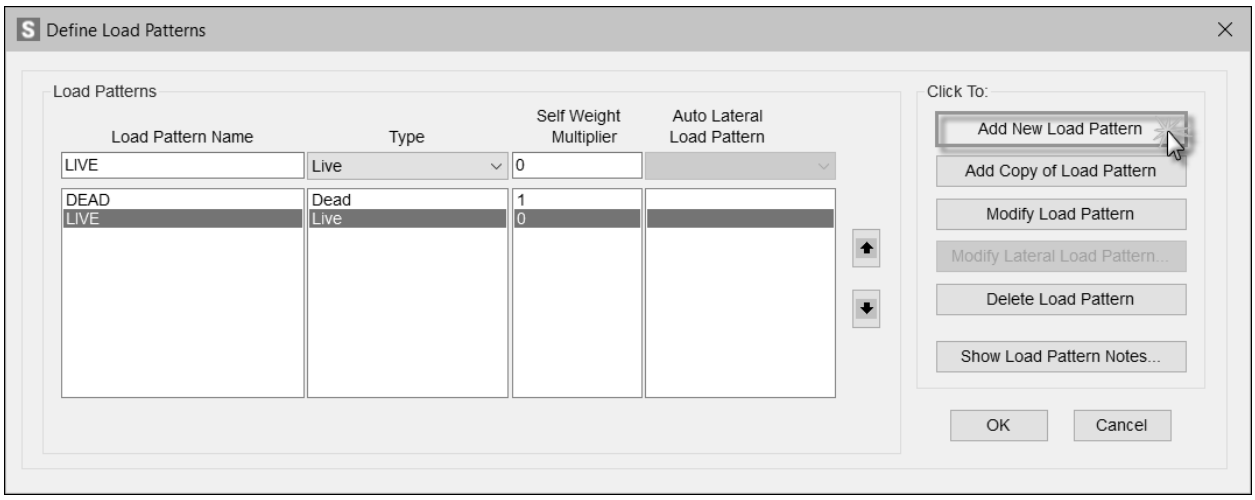
การกำหนดรูปแบบและกรณีบรรทุก Load Patterns & Load Cases

▶ เริ่มต้น SAP2000 เปิดไฟล์ EX4 Simple RC ที่ได้สร้างเอาไว้

▶ สั่งเมนู Define > Load Patterns เพื่อกำหนดรูปแบบน้ำหนักบรรทุก ซึ่งจะมีหนึ่งรายการคือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ DEAD ซึ่งจะใช้ Self Weight Multiplier = 1 หมายถึงคิดน้ำหนักตัวเอง



▶ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกจร LIVE โดยพิมพ์และกำหนดค่าในช่องแถวบนสุด แล้วคลิกปุ่ม Add New Load Pattern เพื่อสร้างรายการ



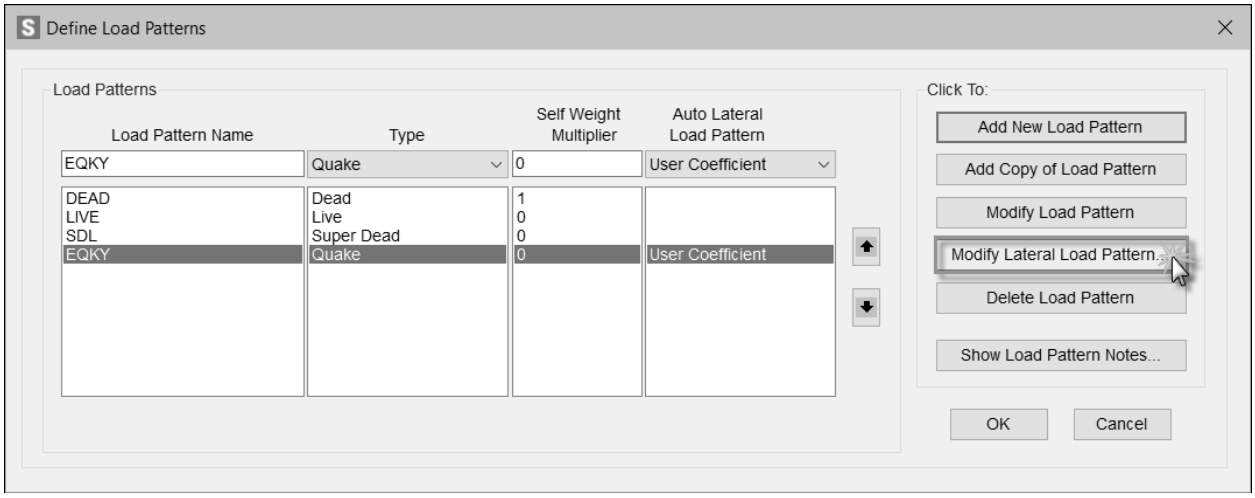
- ลองสร้างอีกรายการคือ SDL เลือกเป็นแบบ Super Dead คือน้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม

รูปแบบบรรทุกแผ่นดินไหวอัตโนมัติ

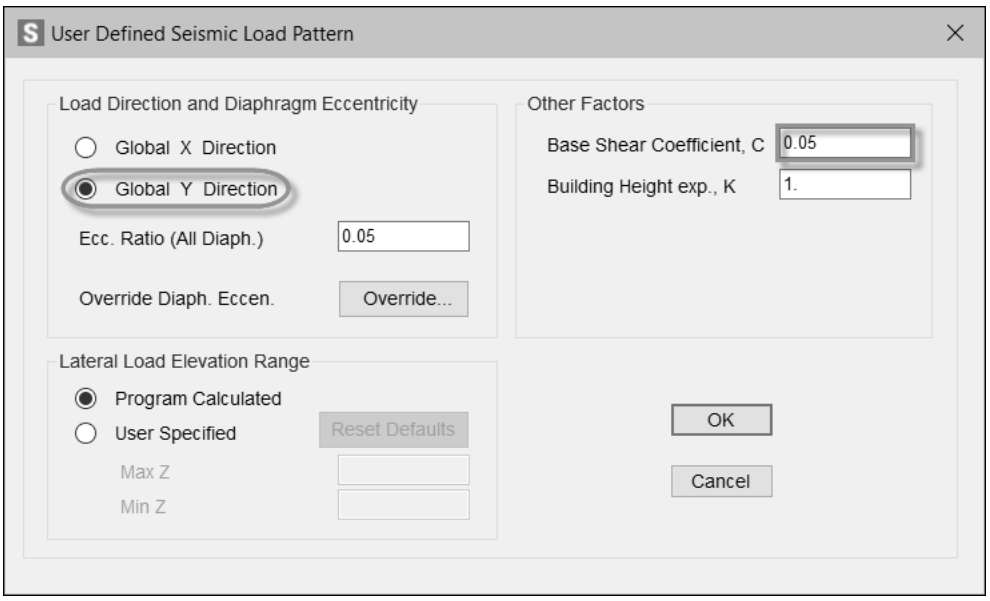
ใน SAP2000 แรงแผ่นดินไหวในแต่ละทิศทางจะต้องกำหนดเป็นรูปแบบบรรทุกแยกกัน เมื่อเลือกชนิดน้ำหนักบรรทุกเป็น QUAKE ในช่อง Auto Lateral Load Pattern จะทำงานโดยมีมาตรฐานต่างๆให้เลือก ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณแตกต่างกันไป

TUMCIVIL.COM

- สร้างรายการแรงแผ่นดินไหว EQKY เลือกแบบ QUAKE ในช่อง Auto Lateral Load Pattern จะมีรายการให้เลือก User Coefficient ซึ่งจะให้ผู้ใช้กำหนดสัมประสิทธิ์เอง

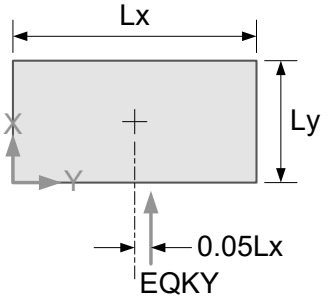


- คลิกรายการ EQKY แล้วกดปุ่ม Modify Lateral Load Pattern กำหนดค่าดังในรูป
  - ทิศทางแผ่นดินไหว = Global Y Direction
  - สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน = 0.05



Global X & Y Direction คือทิศทางของแรงแผ่นดินไหว ให้เลือกทิศทาง Y

Ecc. Ratio (All Diaph.) คือการกำหนดให้แรงแผ่นดินไหวที่มากระทำเยื้องศูนย์ เช่น 0.05 เท่าของขนาดด้านที่ตั้งฉากกับแรงคือด้าน X โดยจะต้องกำหนดพื้นเป็นไดอะแฟรมด้วย การเยื้องศูนย์ที่ระบุจึงจะมีผล



THAICIVIL.COM

Override Diaph. Eccen. คือการกำหนดระยะเยื้องศูนย์เพิ่มในกรณีที่อาคารมีรูปทรงไม่สม่ำเสมอในแนวราบเช่น รูปตัว L

Lateral Load Elevation Range คือช่วงที่จะทำการคำนวณแรงด้านข้าง โดยให้โปรแกรมคำนวณให้ หรือกำหนดช่วงระดับความสูงเอง

Base Shear Coeffient, C คือค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณตามมาตรฐานคือ V = CW เมื่อ V คือแรงเฉือนที่ฐาน และ W คือน้ำหนักโครงสร้าง ดังนั้นค่า C คือสัดส่วนของแรงแผ่นดินต่อน้ำหนักโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น C = 0.05 หมายความถึง แรงเฉือนที่ฐานจากแผ่นดินไหวคือ 5% ของน้ำหนักโครงสร้าง

กฎกระทรวง 2550 : $V = ZIKCSW = CW$, ดังนั้น $C = ZIKCS$

มยผ. 1302 : $V = C_s W$, ดังนั้น $C = C_s$

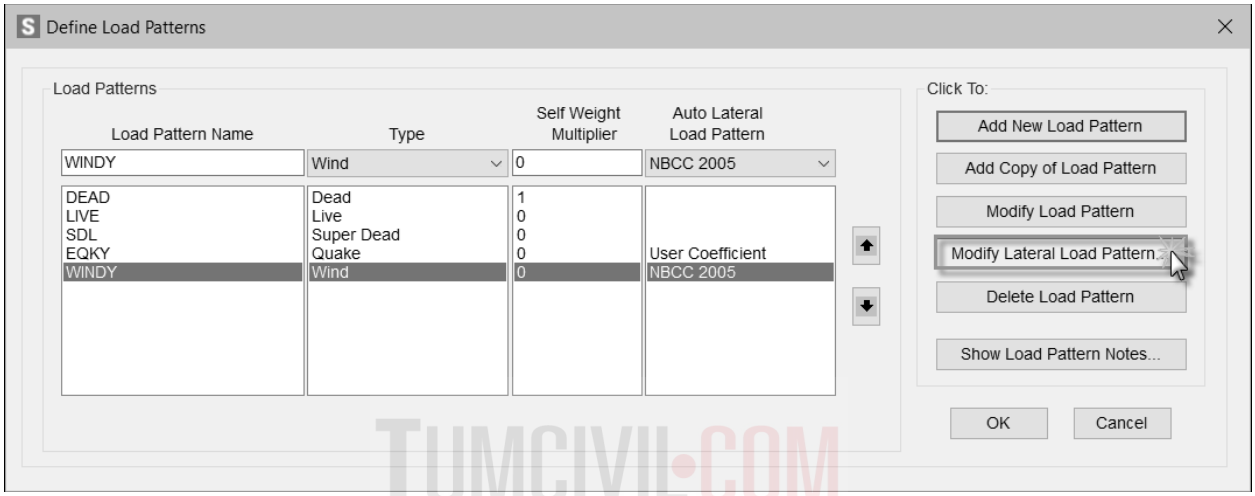
Building Height exp., K คือสัมประสิทธิ์การกระจายแรงแผ่นดินไปตามระดับชั้นต่างๆ

$$F_x = C_{vx}V \quad \text{เมื่อ} \quad C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

รูปแบบบรรทุกแรงลมอัตโนมัติ

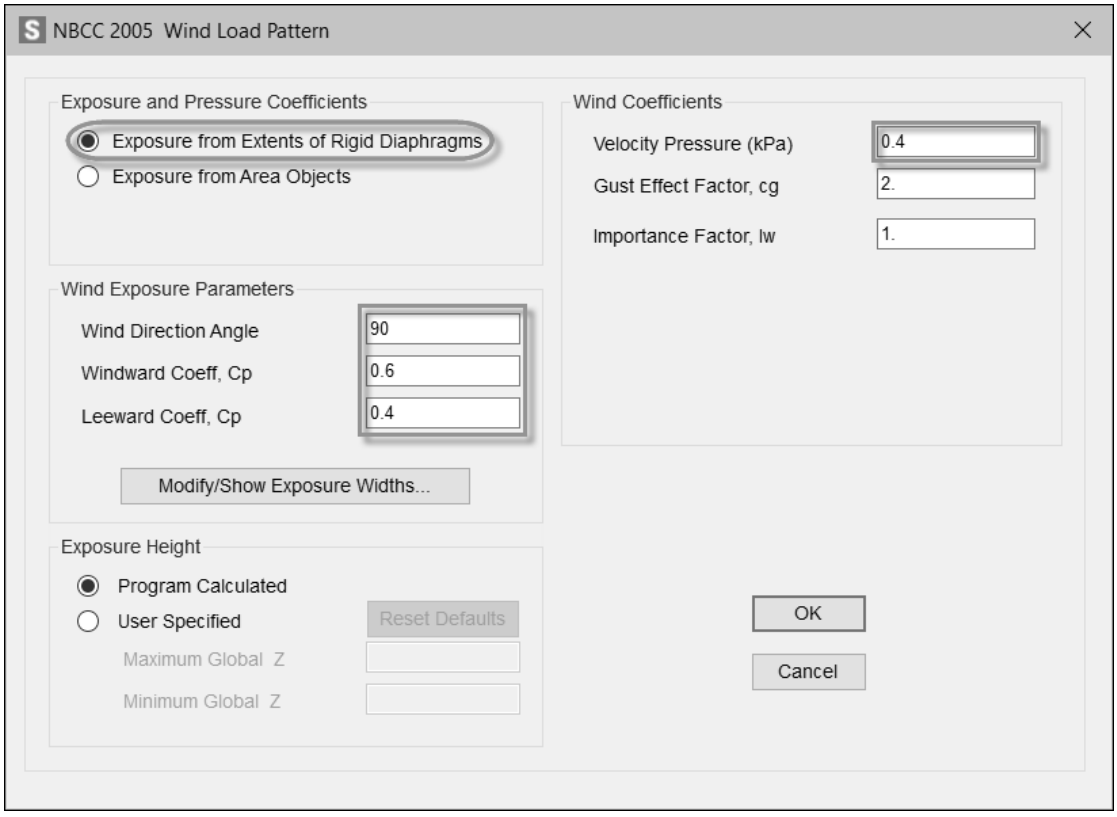
เมื่อเลือกชนิดน้ำหนักบรรทุกเป็น WIND ในช่อง Auto Lateral Load Pattern จะทำงานโดยมีมาตรฐานต่างๆให้เลือก ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีให้กำหนดทิศทางลมและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณแตกต่างกันไป สำหรับเมืองไทยจะใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ. 1311-50 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน National Building Code of Canada (NBCC)

- สร้างรายการแรงลม WINDY เลือกแบบ WIND เลือกมาตรฐาน NBCC 2005 คลิกปุ่ม Add New Load Pattern แล้วคลิกปุ่ม Modify Lateral Load Pattern



TUMCIVIL.COM

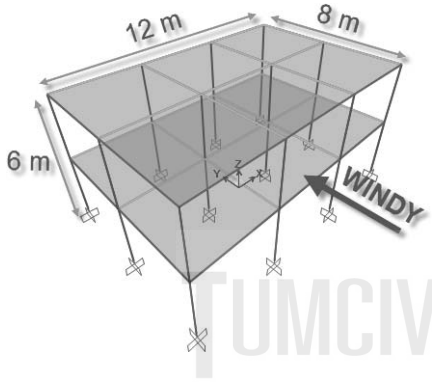
- กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณแรงลมตามมาตรฐานดังนี้



Exposure from Extents of Rigid Diaphragms จะคิดแรงด้านข้างที่กระทำต่อไดอะแฟรม (พื้น)แต่ละชั้นแยกกัน แรงลมที่คำนวณที่ระดับชั้นใดๆจะขึ้นกับระดับความสูง, ความสูงของชั้นที่เหนือกว่าและต่ำกว่า, ความกว้างของพื้นที่รับลมของไดอะแฟรม และค่าสัมประสิทธิ์ความดันตามที่มาตรฐานกำหนด สำหรับทางเลือกนี้จะต้องกำหนดพื้นเป็นไดอะแฟรม

Exposure from Area Objects จะคิดแรงลมบนผนังรับแรงลม ซึ่งอาจสร้างเป็นผนังดัมมี่ (dummy) ที่ไม่มีสติฟเนสขึ้นมา แรงลมที่คำนวณได้จะกระทำที่กึ่งกลางผนังดัมมี่แต่ละผนัง แรงลมจะกระทำบนพื้นผิวดิ่งและพื้นผิวราบตามพื้นวัตถุที่กำหนด

Wind Exposure Parameters พารามิเตอร์การเปิดรับลมได้แก่ทิศทางลมกำหนดเป็นมุม โดย 90 องศาจะมีทิศไปทางแกน Y และสัมประสิทธิ์แรงดัน C_p ด้านปะทะลม (Windward) และด้านหลบลม (Leeward) สำหรับอาคารสูงปานกลางจะเท่ากับ 0.8 และ 0.5 ตามลำดับ



อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างด้านแคบที่สุด

$H/D_s = 6/8 = 0.75 < 1.0$ **เป็นอาคารเตี้ย**

ค่า C_pC_g บนผนัง 1E และ 4E = 1.15 และ -0.8

ค่า $C_g = 2.0$ ดังนั้น $C_p = 0.6$ และ -0.4

TUMCIVIL.COM

Exposure Height คือช่วงความสูงที่จะทำการคำนวณแรงด้านข้าง โดยให้โปรแกรมคำนวณให้ หรือกำหนดช่วงระดับความสูงเอง

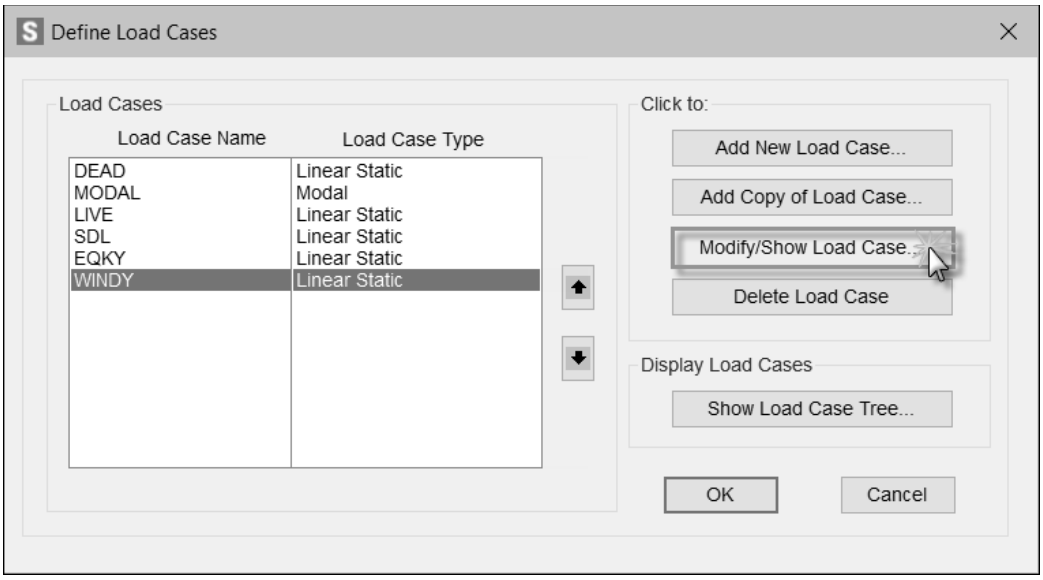
Wind Coefficients คือค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณตามมาตรฐาน สำหรับเมืองไทยจะใช้มาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ. 1311-50 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งประยุกต์มาจากมาตรฐาน National Building Code of Canada (NBCC) 2005

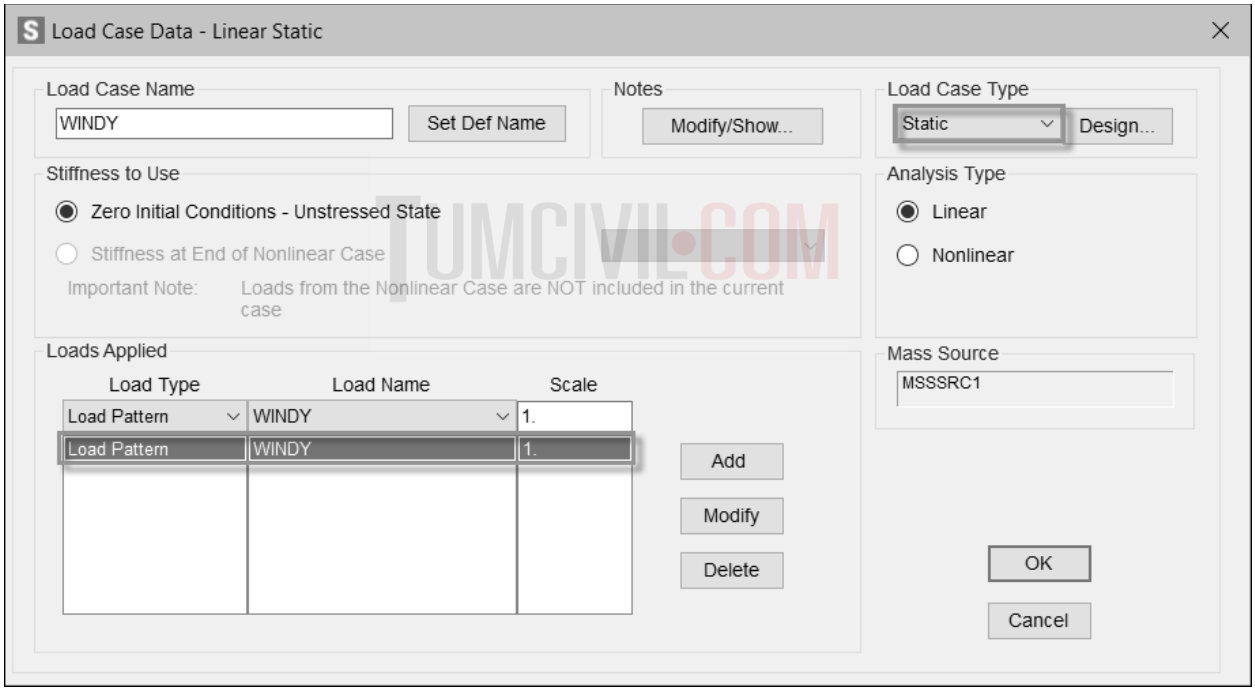
Velocity Pressure คือหน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q) นั้นจะคำนวณได้จากความเร็วลมอ้างอิง $\overline{V}$ เช่นถ้าความเร็วลมอ้างอิงคือ 25 เมตรต่อวินาที

$$q = \frac{1}{2}\rho\overline{V}^2 = \frac{1}{2}\times 1.25\times 25^2 = 390.6 \text{ นิวตัน/ม.}^2 = 0.4 \text{ kPa}$$

1.0 D
1.5 E

- สั่งเมนู Define > Load Cases เพื่อตรวจสอบกรณีบรรทุกซึ่งจะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติตามรูปแบบบรรทุกที่เรากำหนดขึ้นเป็นชนิด Linear Static และมีกรณีบรรทุก Modal เพิ่มขึ้นมาซึ่งเป็นการวิเคราะห์โหมดการสั่นไหวของโครงสร้าง
- ลองเลือกรายการ WINDY แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show Load Case...



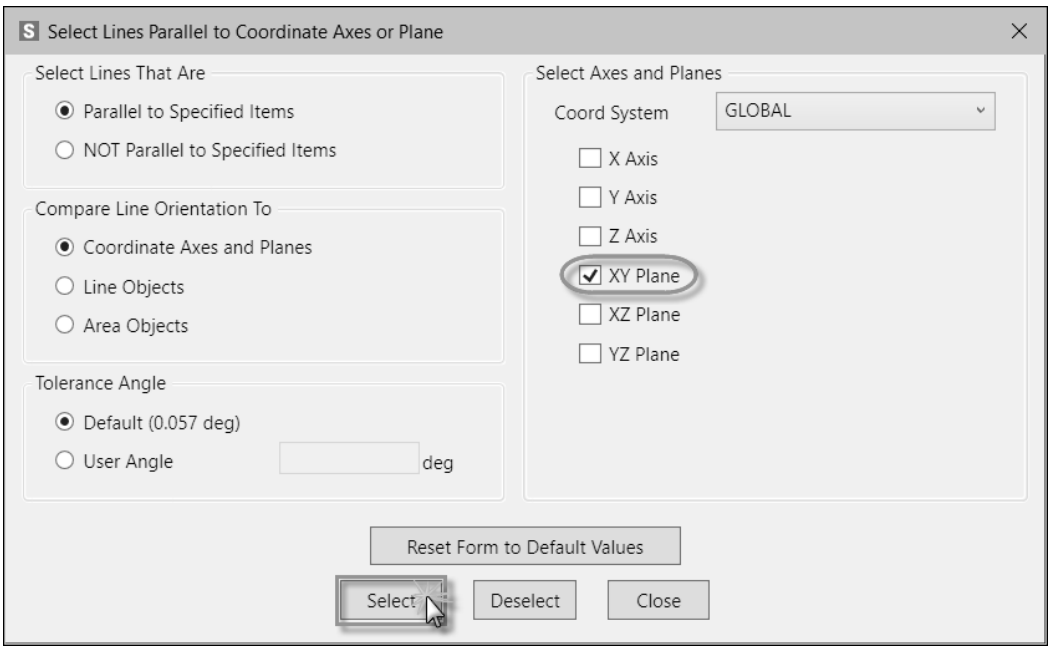


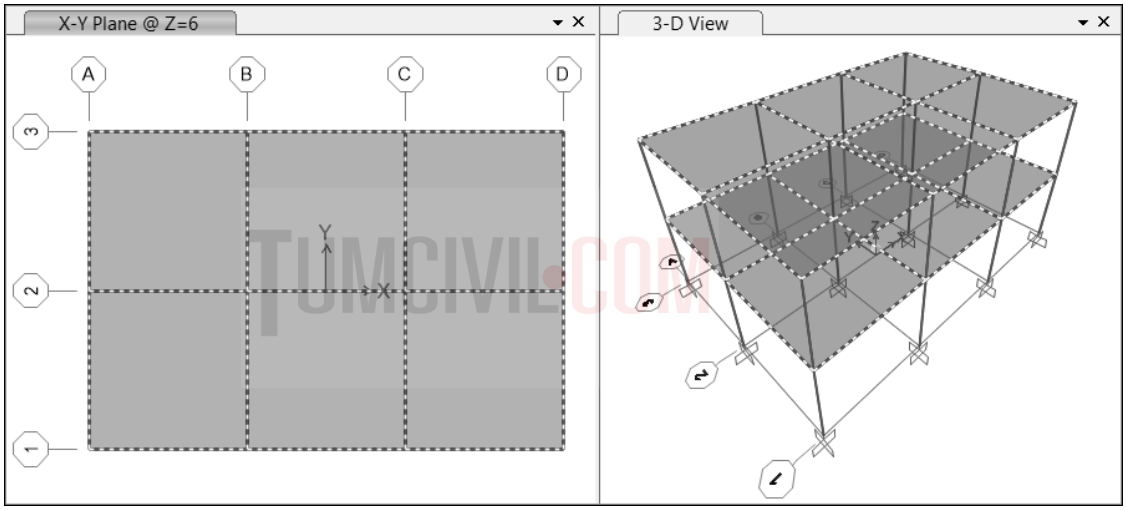
ตรวจสอบว่าเป็นกรณีบรรทุกชนิด Static และมีรูปแบบบรรทุก WINDY สเกลเท่ากับ 1

การใส่น้ำหนักบรรทุกผนัง Line Load

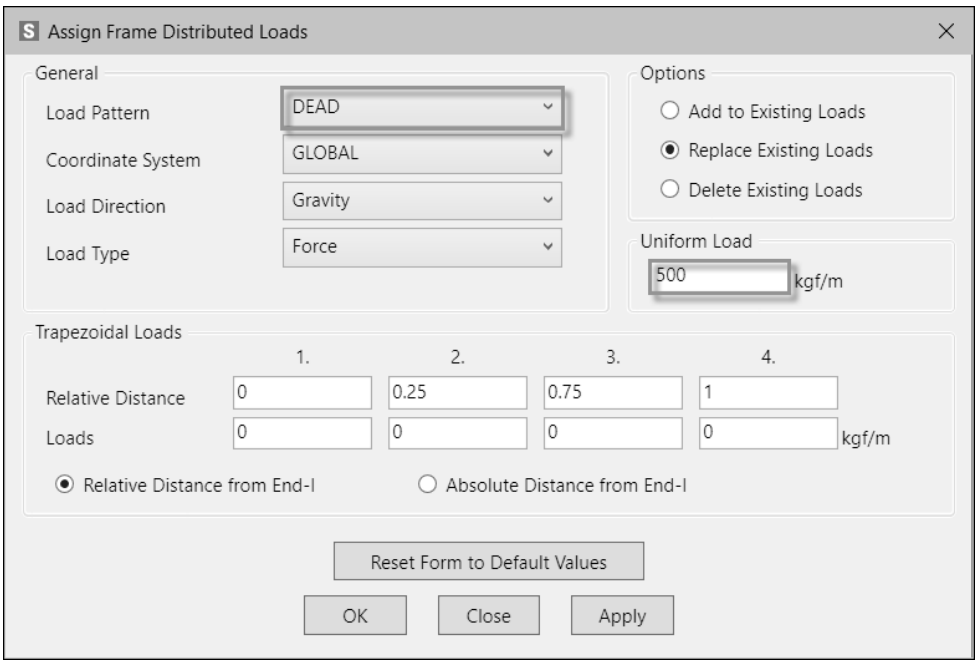
- เปลี่ยนไปใช้หน่วย Kgf, m, C

- เลือกคานทั้งหมดโดยสั่งเมนู Select > Select > Select Lines Parallel To > Coordinate Axes or Plane
- เลือกระนาบ XY แล้วกดปุ่ม Select ตามด้วย Close

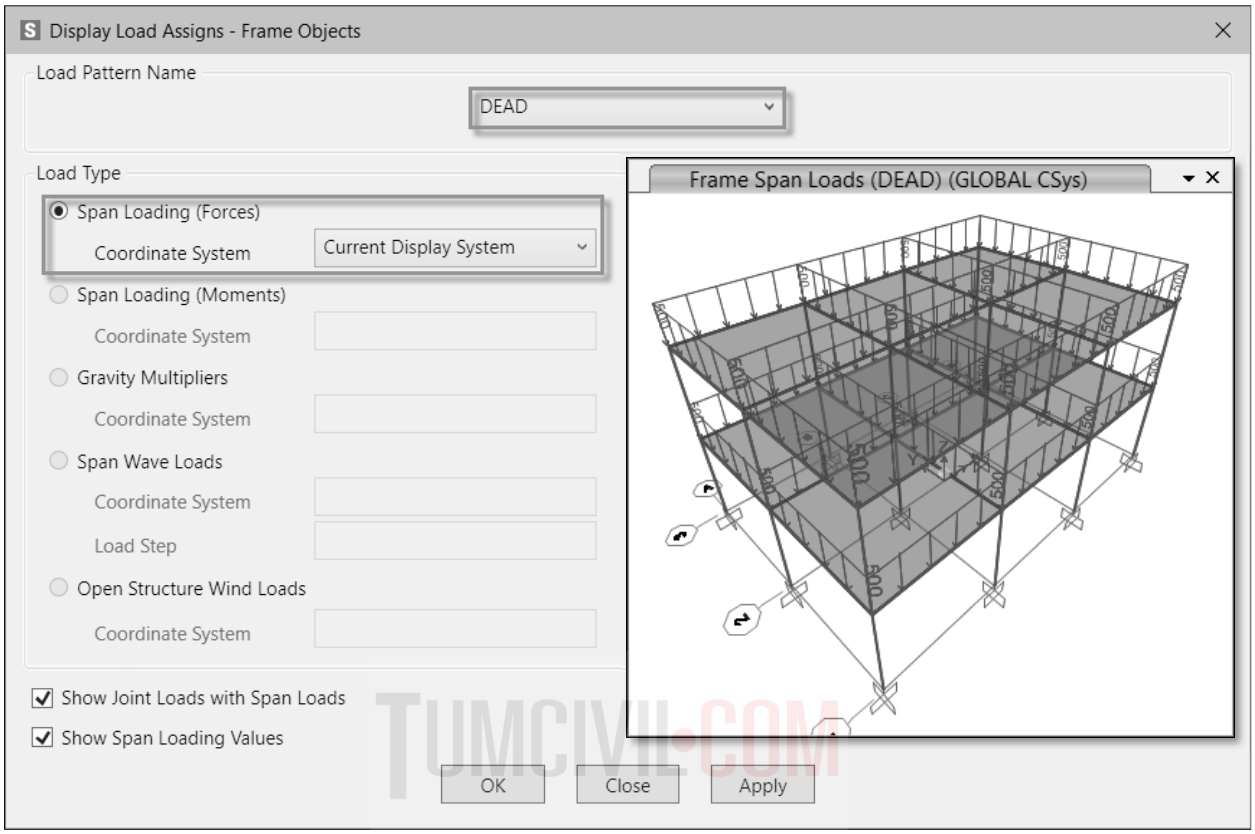




▶ สั่งเมนู Assign > Frame Loads > Distributed



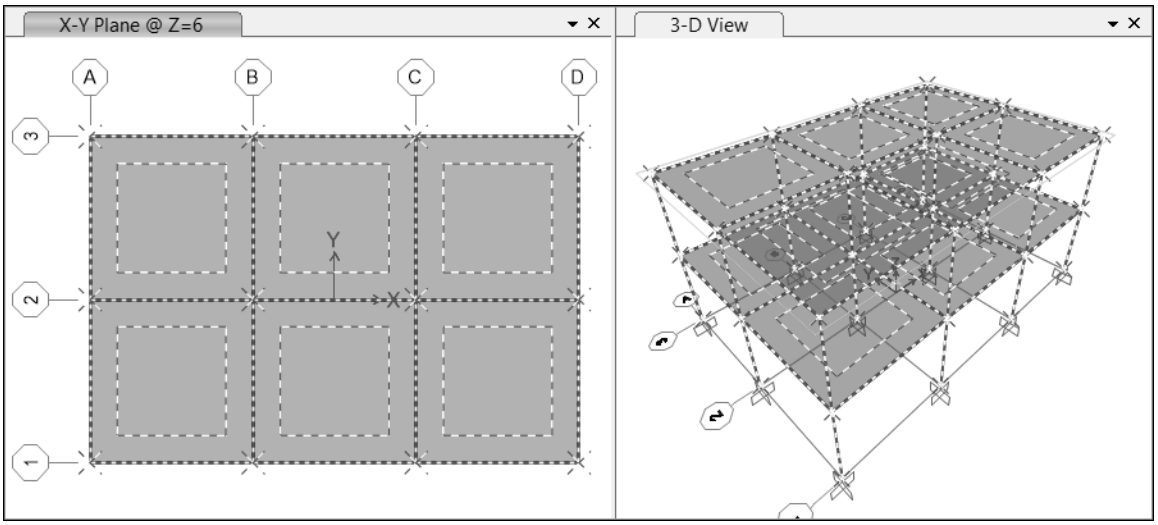
- เลือกกรณีบรรทุก DEAD ใส่ค่าในช่อง Uniform Load = 500 kgf/m แล้วคลิกปุ่ม OK
- คลิกหน้าต่างมุมมองสามมิติ สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Frame เลือกกรณีบรรทุก DEAD และ Span Loading (Forces)

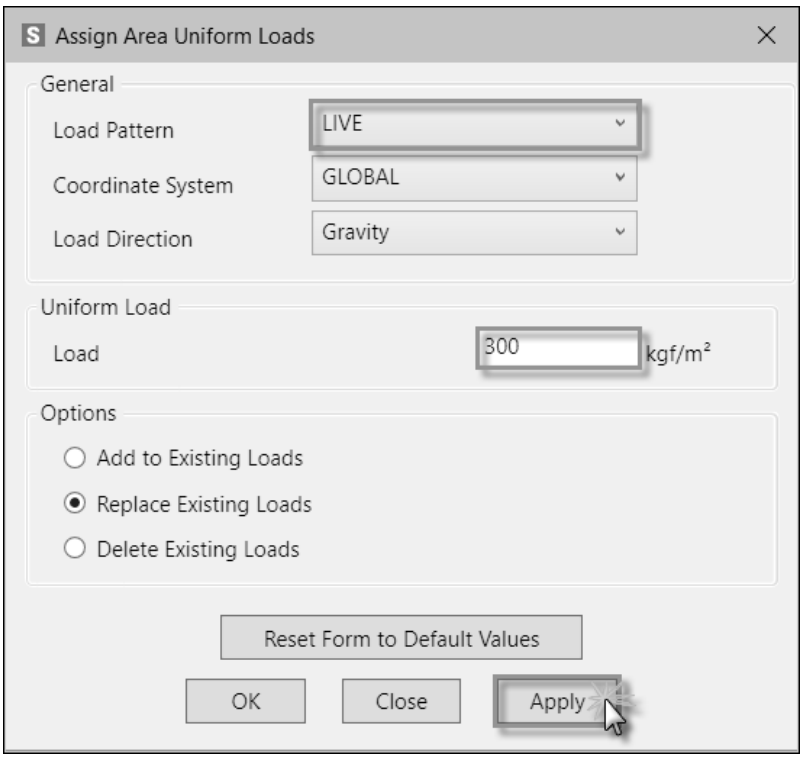


TUMCIVIL.COM

การใส่น้ำหนักบรรทุกพื้น Area Load

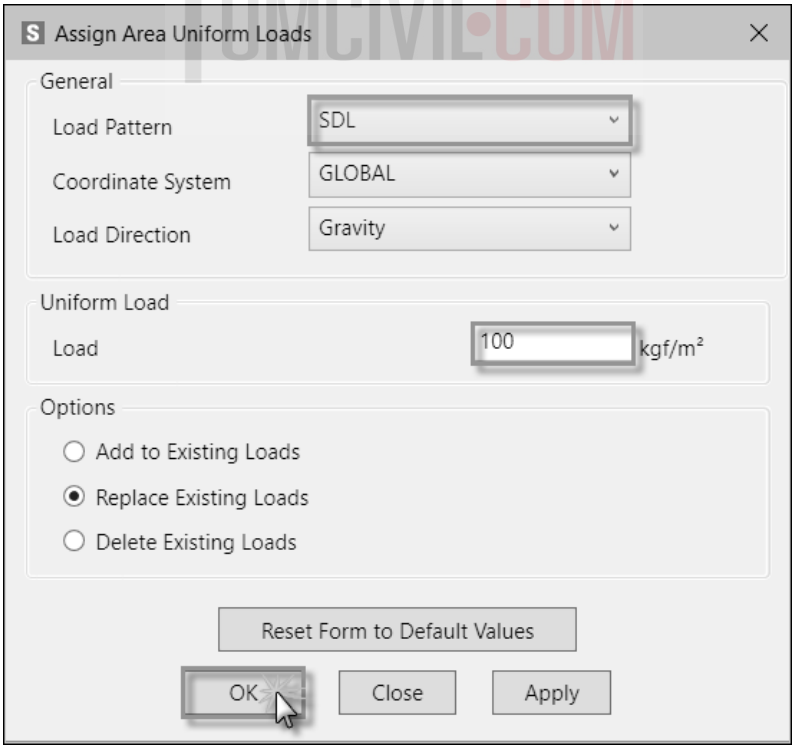
- สั่งเมนู Assign > Clear Display of Assigns เพื่อปิดการแสดงน้ำหนักผนังทั้งสองหน้าต่าง
- เลือกพื้นทั้งหมดโดยกด Ctrl+A ซึ่งจะเลือกทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform (Shell) กำหนดค่าดังในรูป เพื่อใส่น้ำหนักจร LIVE = 300 kg/m^2 คลิกปุ่ม Apply



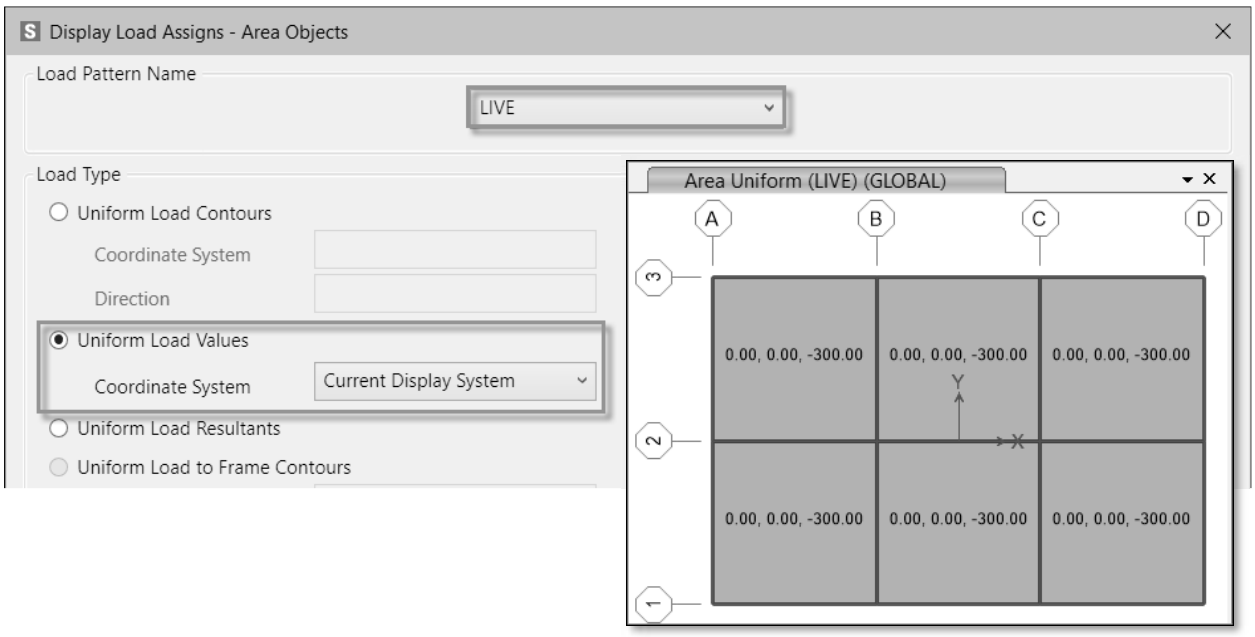


- คลิกเลือกหน้าต่าง 3-D View กด Ctrl+J เพื่อเลือกเช่นเดิม เปลี่ยนเป็นกรณีบรรทุก SDL ใส่ค่า 100 kgf/m^2 คลิกปุ่ม OK

TUMCIVIL.COM

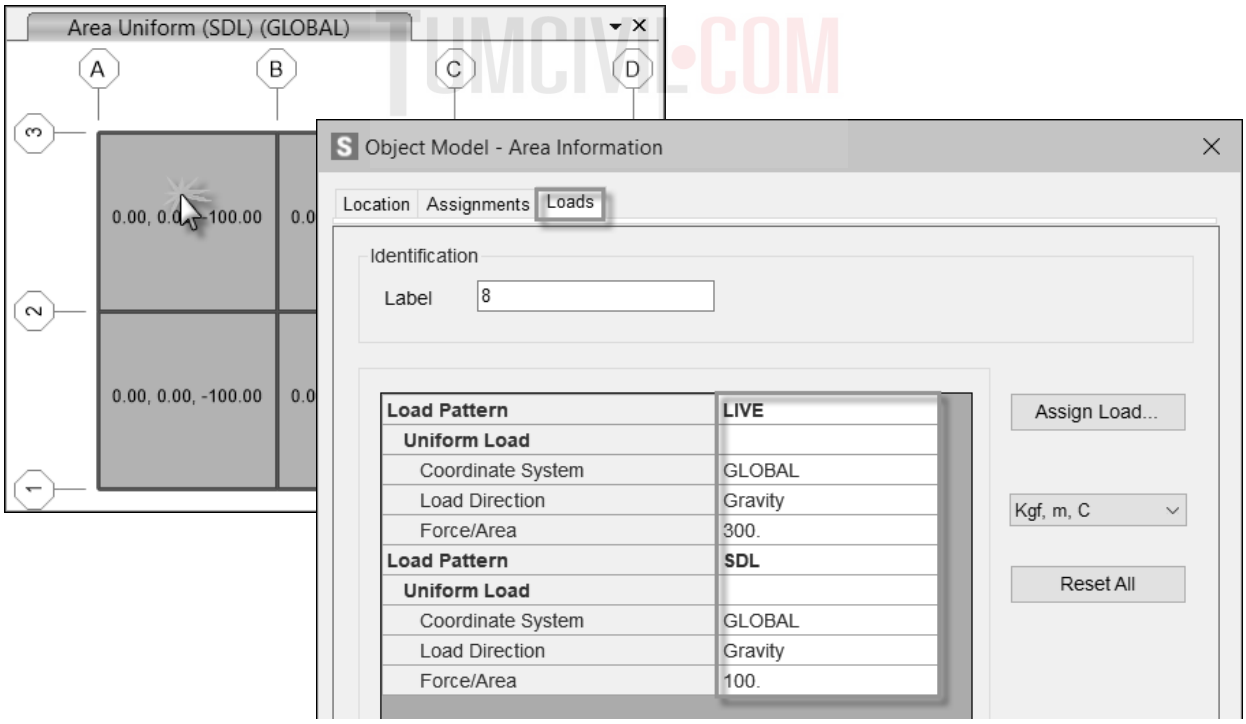


- คลิกหน้าต่างมุมมอง X-Y Plane สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Area เลือกกรณีบรรทุก LIVE และรูปแบบการแสดงดังในรูป แล้วคลิกปุ่ม Apply

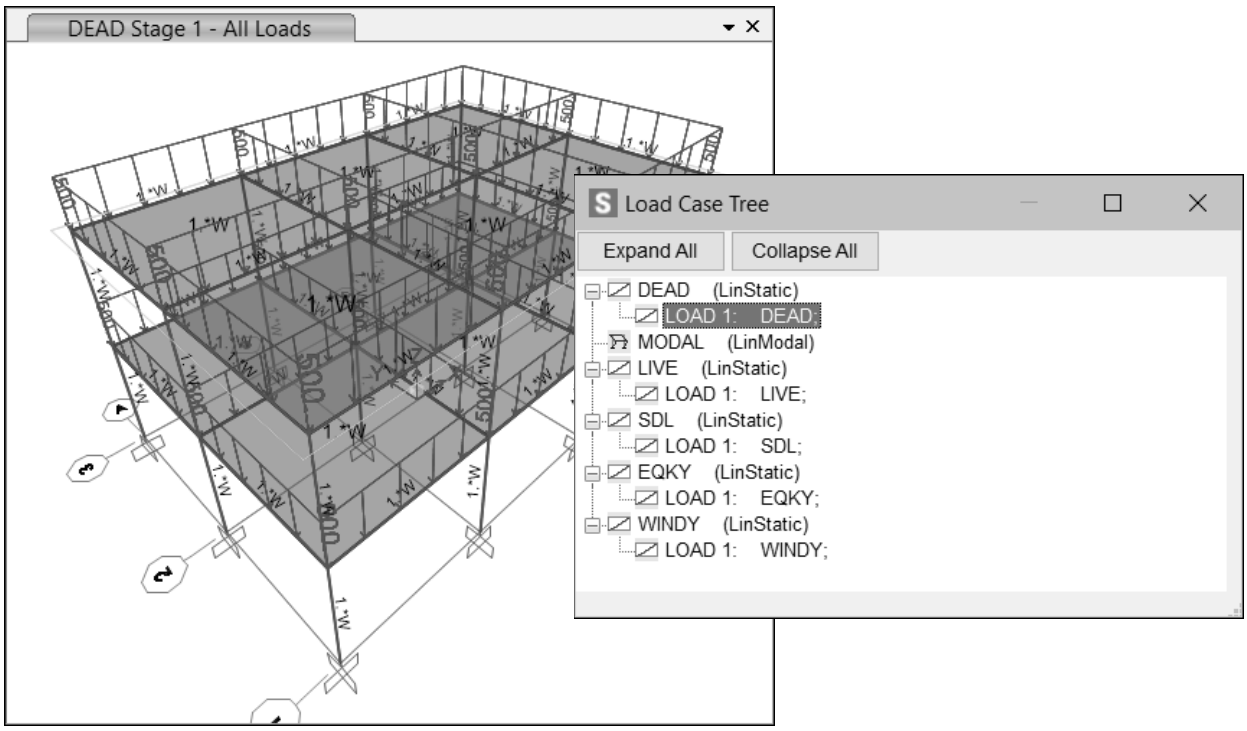


- เปลี่ยนเป็นน้ำหนัก SDL แล้วคลิกปุ่ม Apply

- ลองคลิกขวาภายในพื้นเปิดหน้าต่างข้อมูลพื้น เลือกแถบ Load ตรวจสอบค่าน้ำหนักบรรทุกกรณี LIVE และ SDL



- คลิกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Load Case... หรือสั่งเมนู Display > Show Load Case Tree แล้วกดปุ่ม Expand All ในหน้าต่างที่แสดงขึ้นมาเพื่อให้แสดงแผนผังกรณีบรรทุกทั้งหมด



ซึ่งจะสามารถสลับเปลี่ยนการแสดงน้ำหนักบรรทุกได้รวดเร็วกว่า และสามารถแสดงหลายน้ำหนักบรรทุกที่อยู่ในกรณีบรรทุกเดียวกันได้

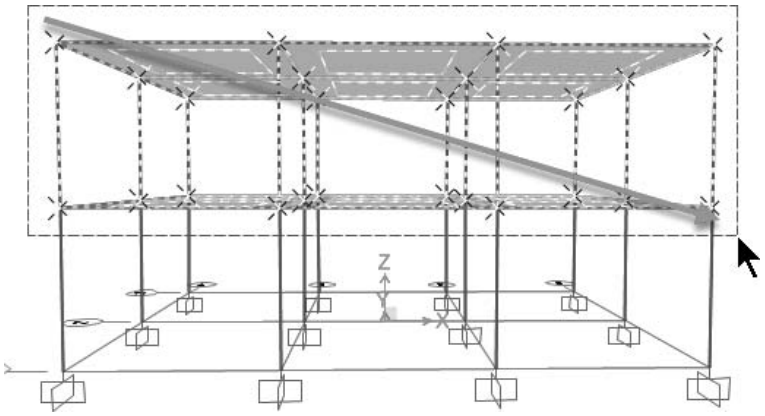
- สั่งเมนู Display > Show Undeformed Shape หรือกด F4 เพื่อปิดการแสดงน้ำหนักบรรทุก

UMCIVIL.COM

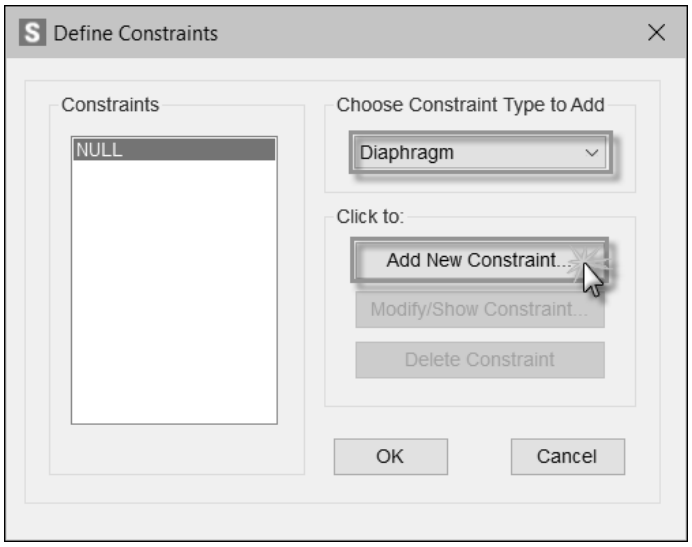
การสร้างไดอะแฟรม

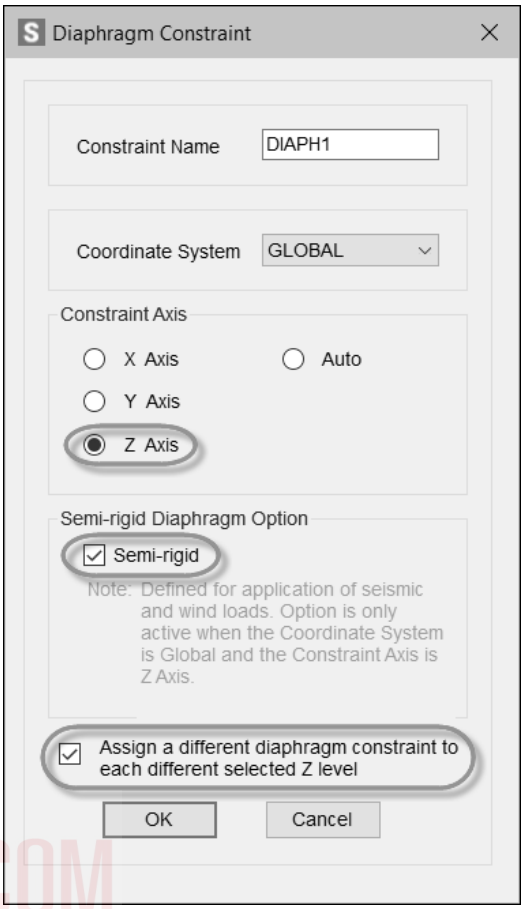
ในการใส่แรงลมกระทำต่ออาคารนั้น ก่อนอื่นเราจะสร้าง **ไดอะแฟรม** ซึ่งจะยึดจุดต่อทุกจุดในแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน โดยระยะจากทุกจุดถึงจุดศูนย์กลางคงที่ทำให้แผ่นพื้นทั้งชั้นโยกทางด้านข้างไปพร้อมกันเหมือนเป็นแผ่นแข็ง

- เลือกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู Display > Show Undeformed Shape หรือกด F4
- กดปุ่ม Shift และลูกกลิ้งเม้าส์ เพื่อหมุนโมเดลในหน้าต่างสามมิติดังในรูป แล้วตีกรอบเลือกจุดต่อในชั้นหนึ่งและสอง



- สั่งเมนู Define > Joint Constraints... เลือกชนิด Diaphragm คลิกปุ่ม Add New Constraint...

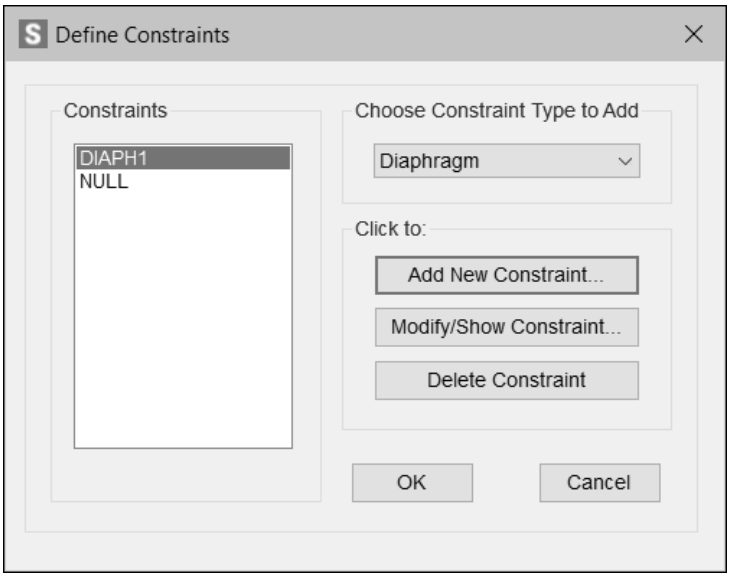




- กำหนดแกน Constraint เป็นแกน Z Axis
- เลือกไดอะแฟรมเป็นแบบ Semi-rigid และ
- เลือกแยกไดอะแฟรมสำหรับระดับ Z ที่ต่างกัน

TUMCIVIL.COM

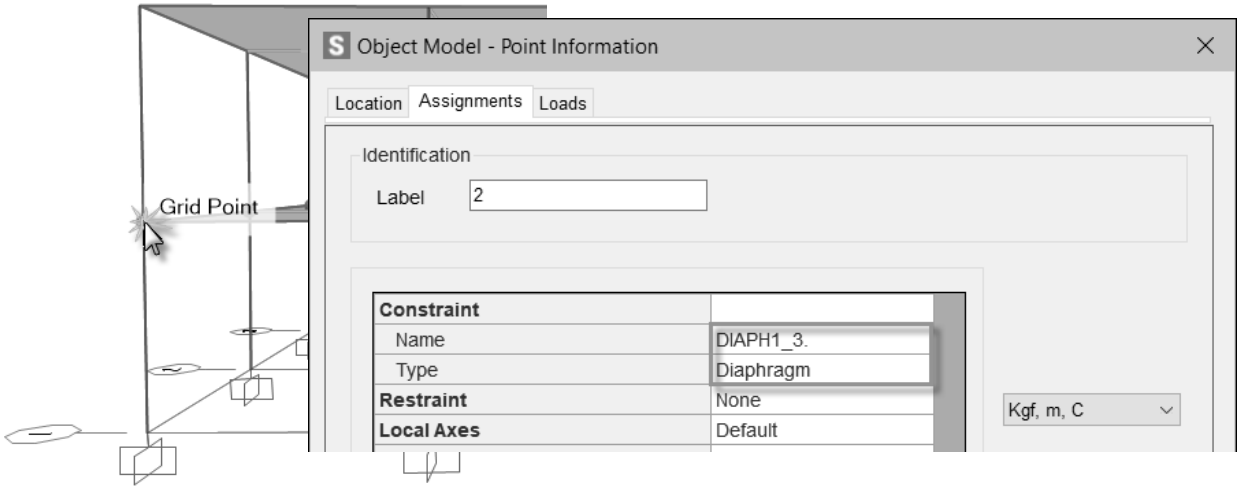
- เสร็จแล้วคลิกปุ่ม OK ในหน้าต่าง Define Constraints จะมีรายการไดอะแฟรม DIAPH1 เพิ่มขึ้นมา



- สั่งเมนู Assign > Joint > Constraints... เลือกรายการ DIAPH1 คลิกปุ่ม Apply แล้วกด Close (ถ้าต้องการปลดให้เลือกจุดต่อแล้วเลือก None)

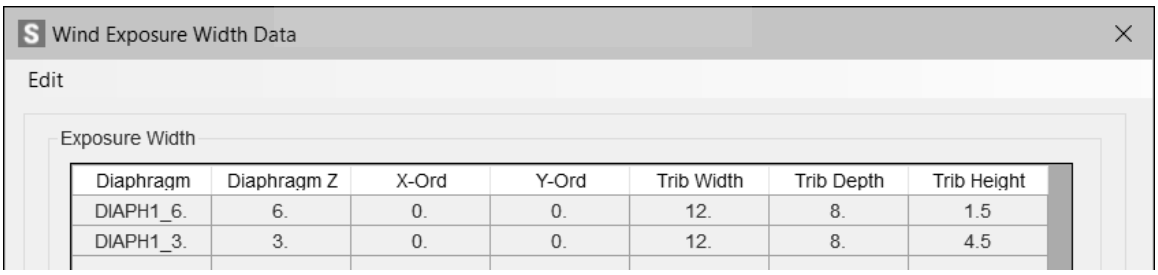
- คลิก OK กลับมาที่หน้าต่าง Assign Joint Constraints จะมีรายการ DIAPH1 ที่สร้างใหม่ ให้คลิกเลือกแล้วกดปุ่ม Apply

- ลองคลิกขวาที่จุดต่อเพื่อดูข้อมูลการยึดรั้งในแถบ Assignments > Constraint



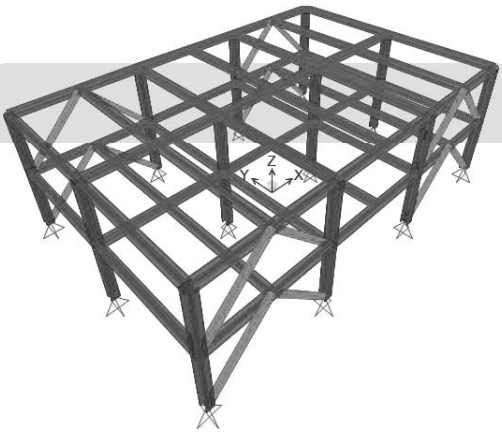
- ลองตรวจสอบโดยการสั่งเมนู Define > Load Patterns เลือกรายการ WIND กดปุ่ม Modify Lateral Load Pattern แล้วกดปุ่ม Modify/Show Exposure Widths...

TUMCIVIL.COM



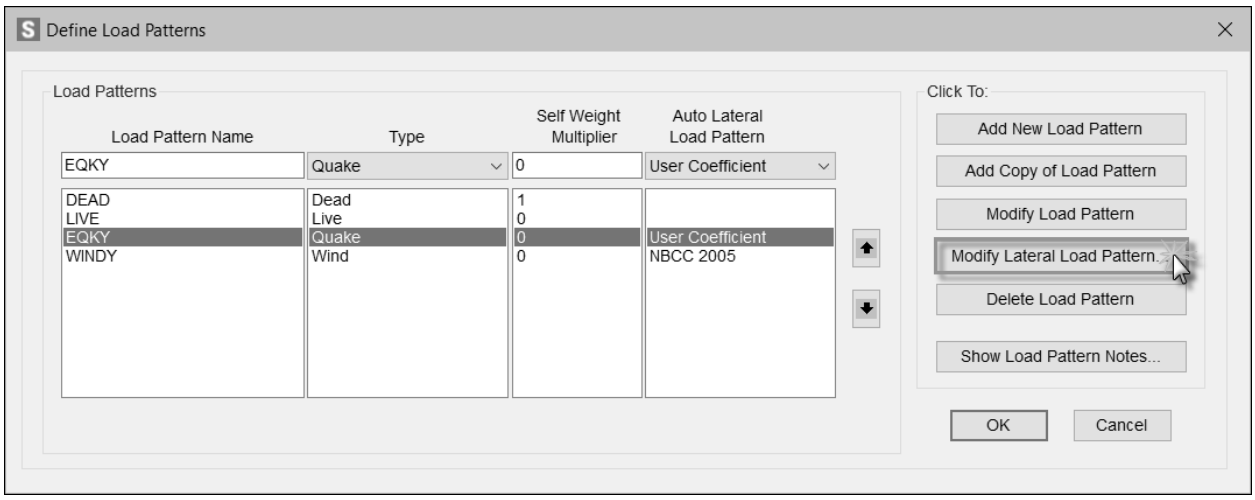
- กด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูลไฟล์ EX4 Simple RC เพื่อใช้ในบทต่อไป

น้ำหนักบรรทุกบนโครงสร้างเหล็ก

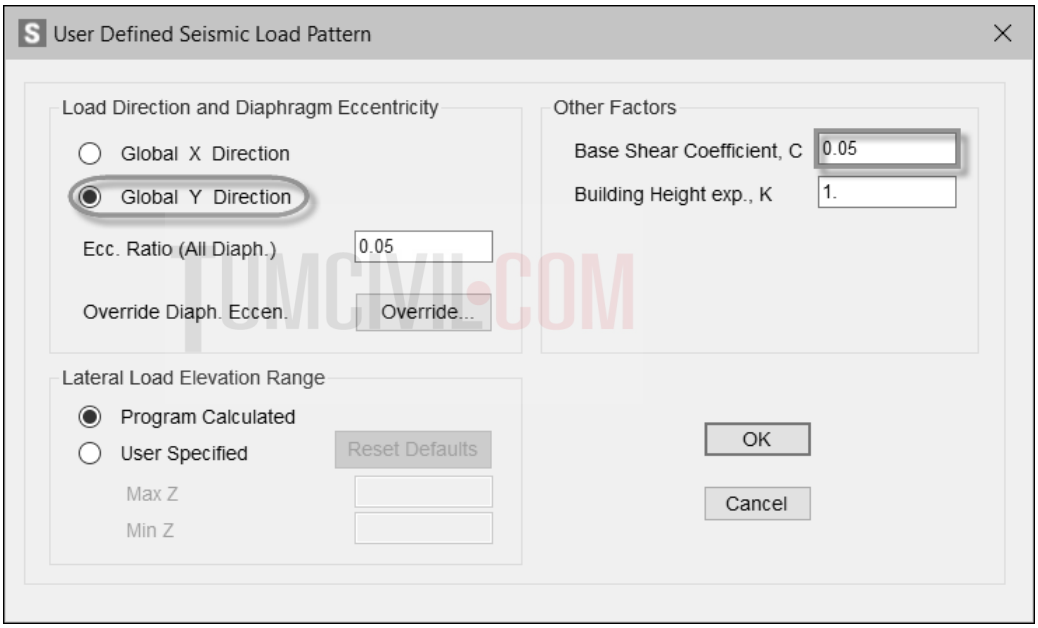


- สั่งเมนู File > Open หรือกด Ctrl+O เลือกเปิดไฟล์ EX3 Steel Frame ที่สร้างไว้ในบทที่แล้วขึ้นมาเพื่อใส่น้ำหนักบรรทุก

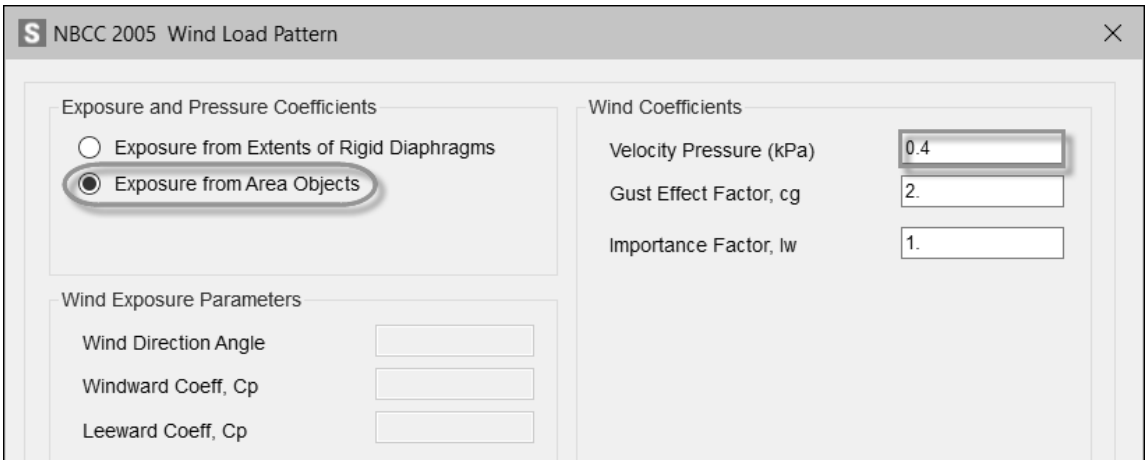
- สั่งเมนู Define > Load Patterns... สร้างรูปแบบบรรทุก LIVE, EQKY และ WINDY ดังในรูป



- คลิกเลือกรายการ EQKY แล้วกดปุ่ม Modify Lateral Load Pattern กำหนดค่าพารามิเตอร์แผ่นดินไหวดังในรูป



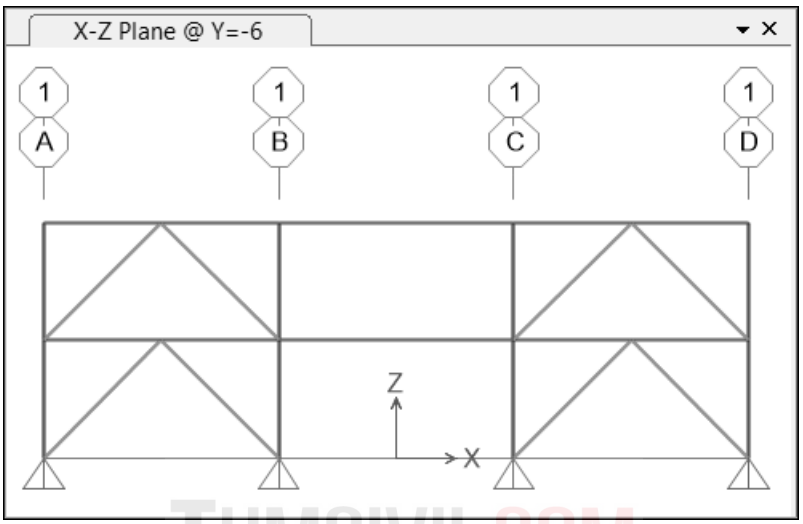
- คลิกเลือกรายการ WINDY แล้วกดปุ่ม Modify Lateral Load Pattern กำหนดค่าพารามิเตอร์แรงลมดังในรูป สำหรับตัวอย่างนี้เราจะเลือก Exposure from Area Objects



แรงลมบนผนังเสมือน Wind on None Wall

ในการใส่แรงลมกระทำต่ออาคารนั้น ก่อนอื่นเราจะสร้าง **ผนังเสมือน** ซึ่งไม่มีน้ำหนักและสติฟเนส ซึ่งจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์แรงในโครงสร้าง ผนังเสมือนนี้จะทำหน้าที่รับแรงดันลมที่จะคำนวณตามพารามิเตอร์มาตรฐานแรงลมที่เรากำหนดไว้

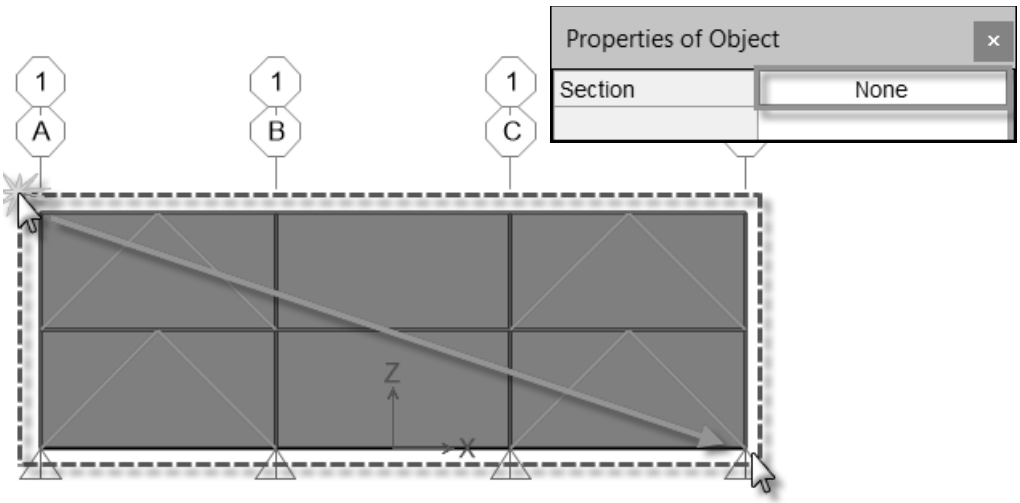
- คลิกหน้าต่างสองมิติ กดปุ่ม มาที่ระนาบ X-Z Plane @ Y = -6 บนเส้นกริด 1



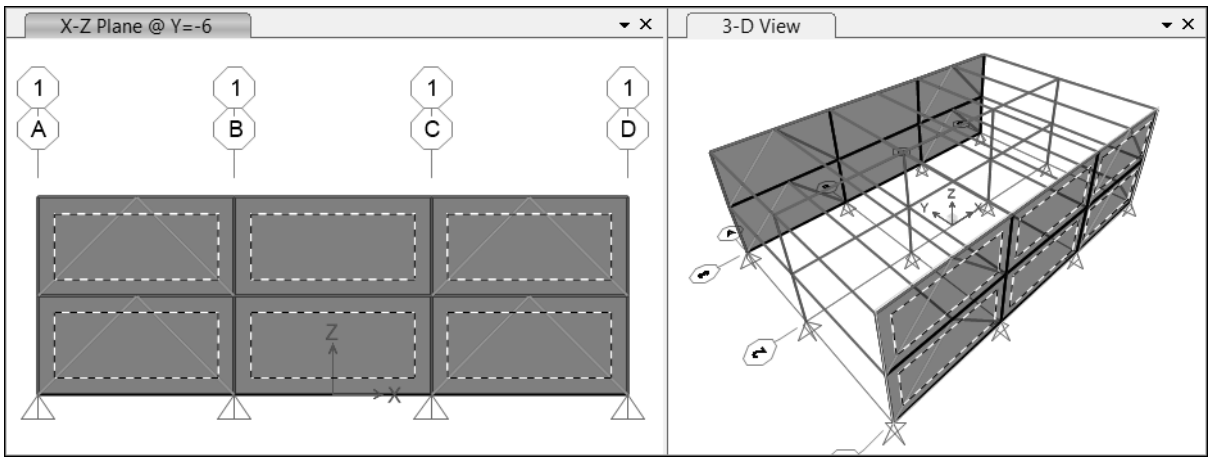
TUMCIVIL.COM

- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Fill Objects เพื่อให้เห็นผนังเวลาวาด

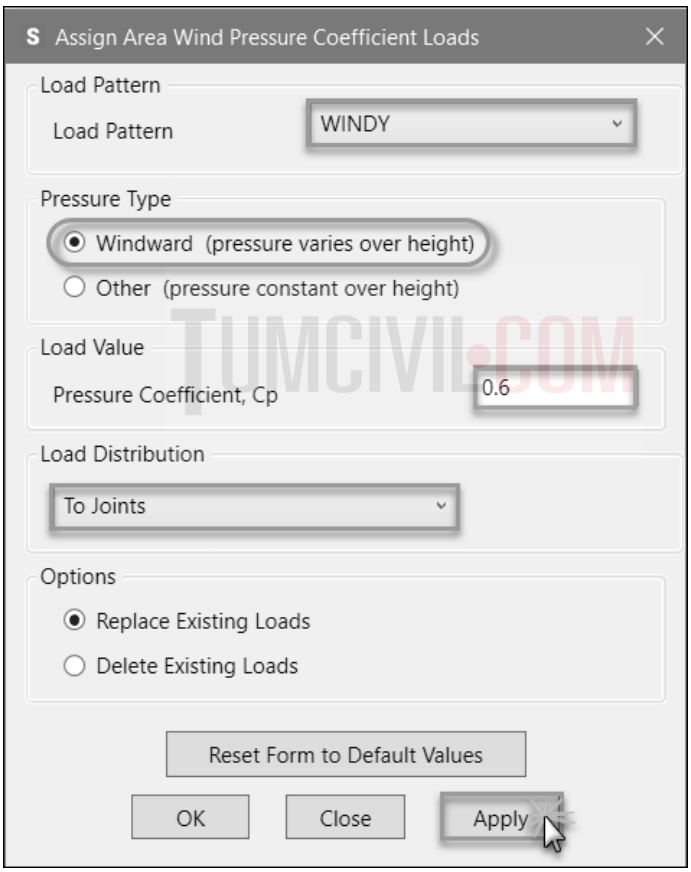
- สร้างผนังโดยกดปุ่ม Quick Draw Area เลือกหน้าตัดเป็น None คือเป็นวัตถุพื้นที่ไม่มีคุณสมบัติซึ่งจะใช้ในการรับแรงดันลม แล้วตีกรอบคลุมทั้งหมด แล้วกด Esc ออกจากโหมดวาด

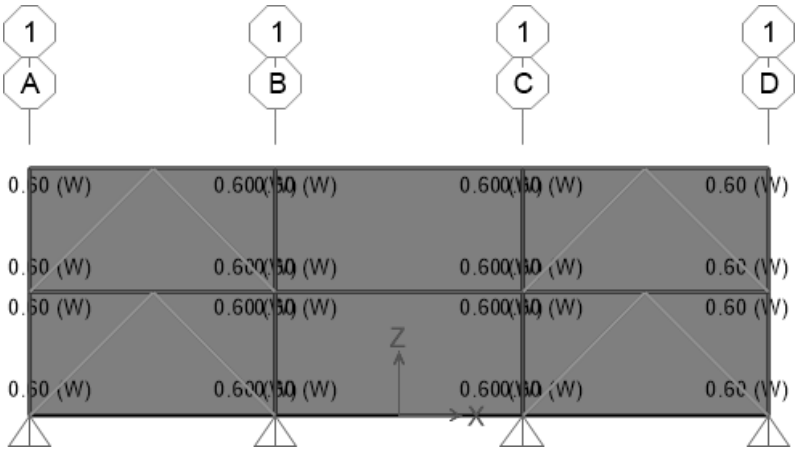


- คลิกเลือกผนังทั้ง 6 ทีละแผ่น แล้วกด Ctrl+R ทำซ้ำโดยใช้ระยะ dy = 12



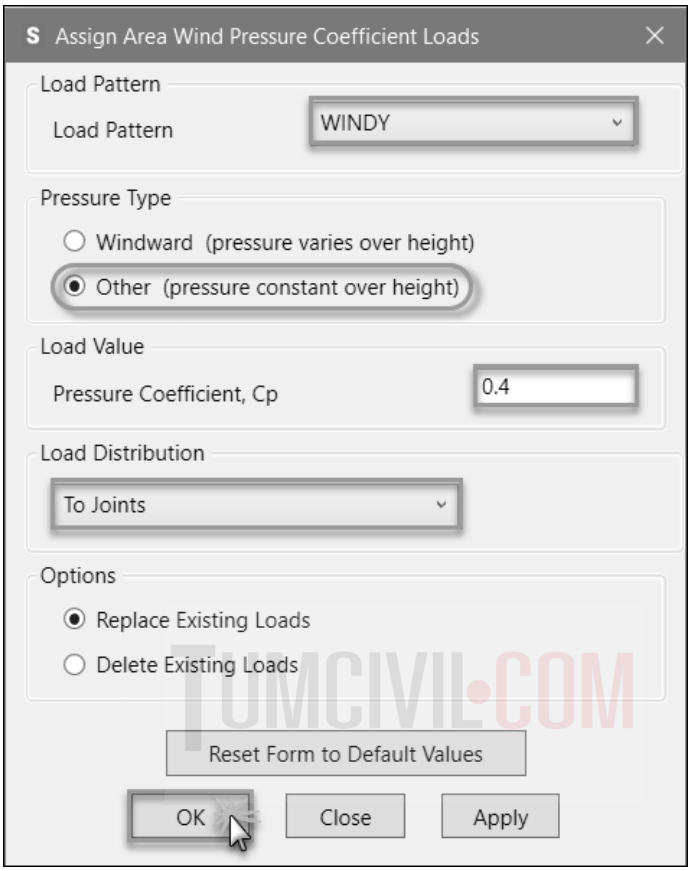
▶ ในมุมมองสองมิติ X-Z Plane @ Y = -6 ตีกรอบเลือกทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Area Loads > Wind Pressure Coefficients เลือกชนิด Windward ใส่ค่า Cp = 0.6

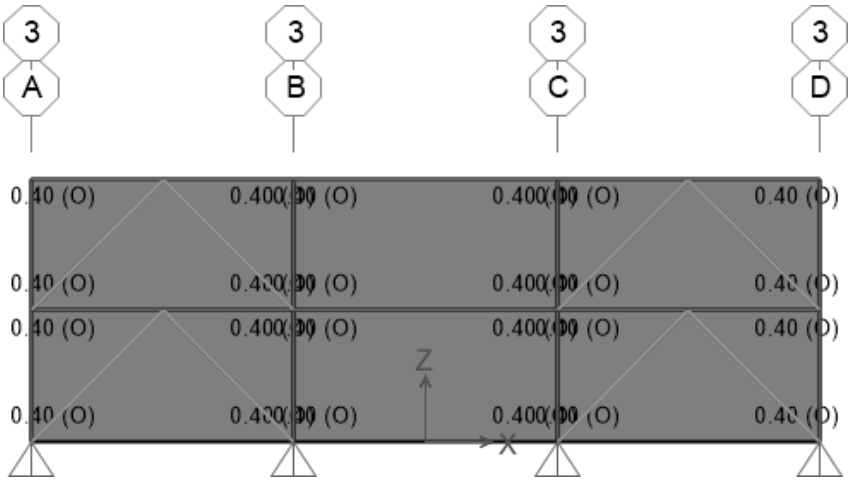




- ปรับมุมมองมาที่ X-Z Plane @ Y = 6 ตีกรอบเลือกทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Area Loads > Wind Pressure Coefficients

- เลือกกรณีบรรทุก WINDY ใส่แรงลมเป็นผนังด้านหลบลม (Leeward) เลือกแรงดันแบบ Other ใส่ค่า Cp = 0.4

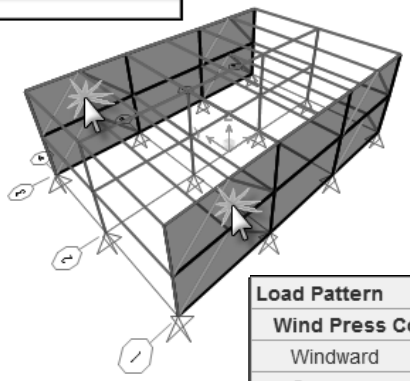




สังเกตวงเล็บด้านหลัง (O) หมายถึง Other ด้านอื่นที่ไม่ใช่ด้านปะทะลม โดยหน่วยแรงดันลมที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวจะถูกส่งผ่านมาเป็นแรงลงที่มุมของแต่ละแผ่น

- ในมุมมอง 3-D View ลองคลิกขวาที่ผนังด้านต้านลมและหลบลม เลือกแถบ Load ดูองค์ประกอบแรงว่าไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ (ในรูปไปทาง +Y)

Load Pattern	WINDY
Wind Press Coeff	
Windward	No
Cp	0.4
Global X Component	0.
Global Y Component	0.4
Global Z Component	0.

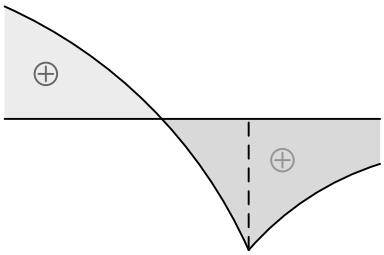


Load Pattern	WINDY
Wind Press Coeff	
Windward	Yes
Cp	0.6
Global X Component	0.
Global Y Component	0.6
Global Z Component	0.

▶ กด Ctrl+S เพื่อบันทึกข้อมูลตั้งชื่อไฟล์เป็น EX3 Steel Frame เพื่อใช้ในบทต่อไป

TUMCIVIL•COM

TUMCIVIL.COM



5

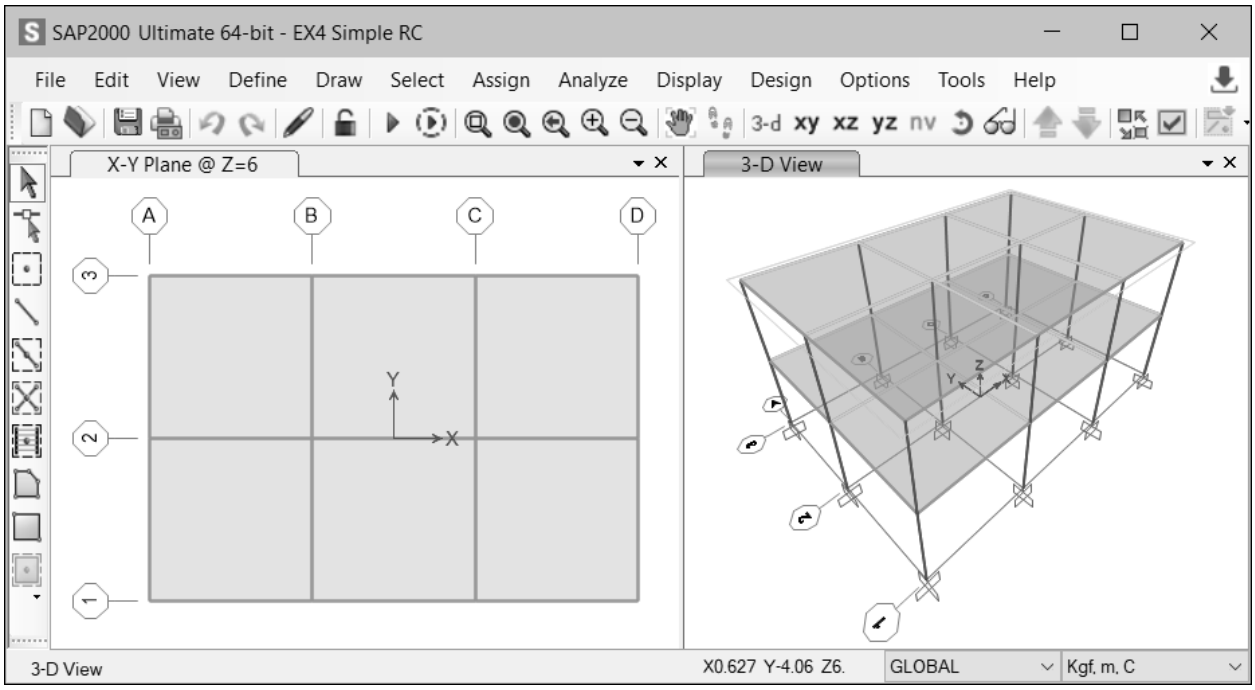
การวิเคราะห์โครงสร้าง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารคอนกรีตและโครงเหล็กที่ได้สร้างไว้ในบทที่ผ่านมา เมื่อรันการวิเคราะห์ผ่านจะสามารถดูผลการวิเคราะห์ได้แก่ การเสียรูปทรง และแรงภายในต่างๆ ภายใต้กรณีบรรทุกต่างๆ นอกจากนั้นยังจะได้เปรียบเทียบผลของการกำหนดโมเดลที่ต่างกัน

อาคารคอนกรีต Simple RC

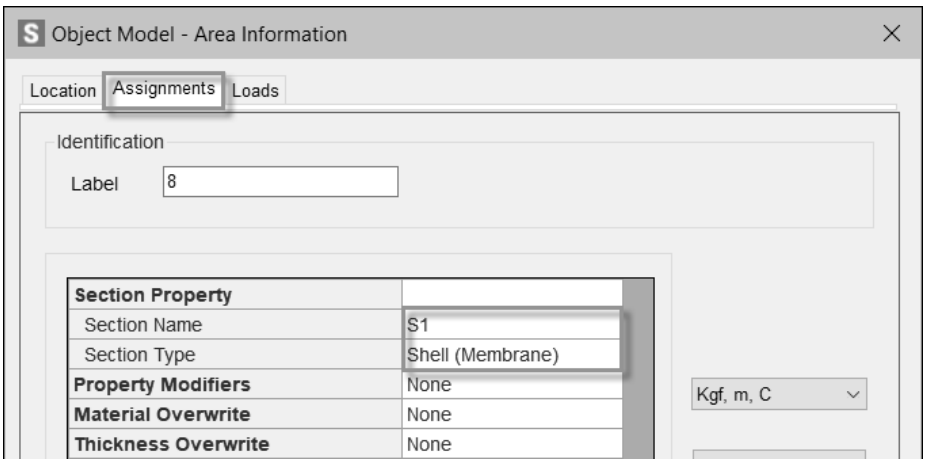
TUMCIVIL.COM

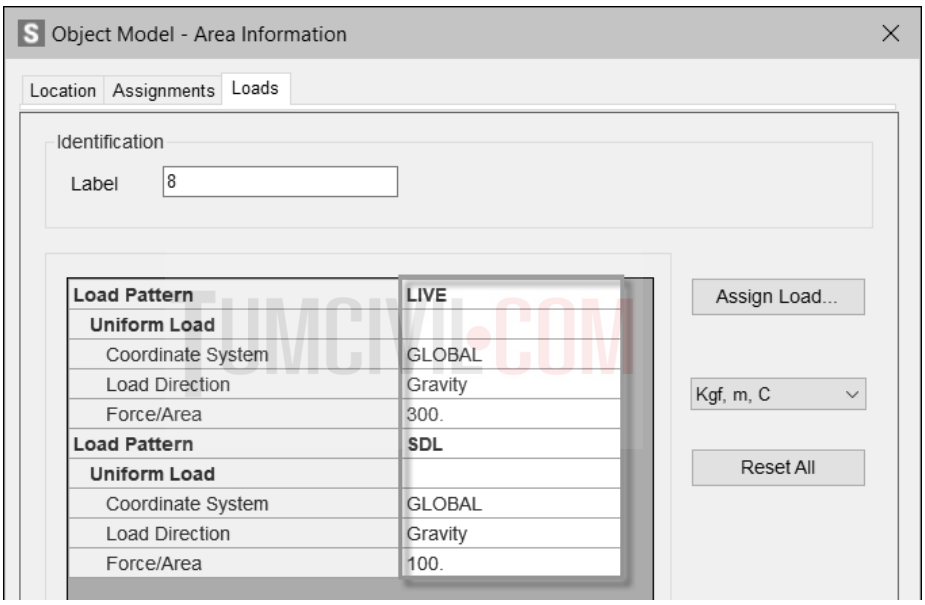
ในตัวอย่างนี้เราจะใช้ไฟล์ EX4 Simple RC ที่เคยสร้างไว้ในบทที่แล้ว เมื่อเปิดขึ้นมาให้สั่ง Save As บันทึกเป็นชื่อ EX4 Simple RC 2 แล้วคลิกหน้าต่าง 3-D View ให้แอคทีฟ



ก่อนสั่งรันการวิเคราะห์เราควรตรวจสอบโครงสร้างดูว่ามีการกำหนดคุณลักษณะและการรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ต้องการหรือไม่

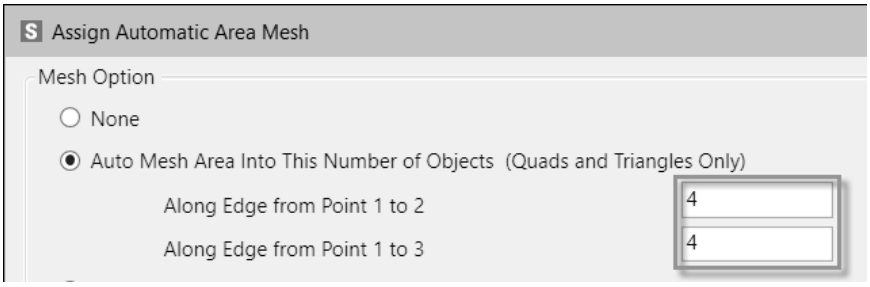
- คลิกขวาที่พื้นเพื่อดูข้อมูลจะพบว่าเป็นพื้น S1 แบบ Shell (Membrane) และคลิกแถบ Loads เพื่อตรวจสอบน้ำหนักบรรทุก





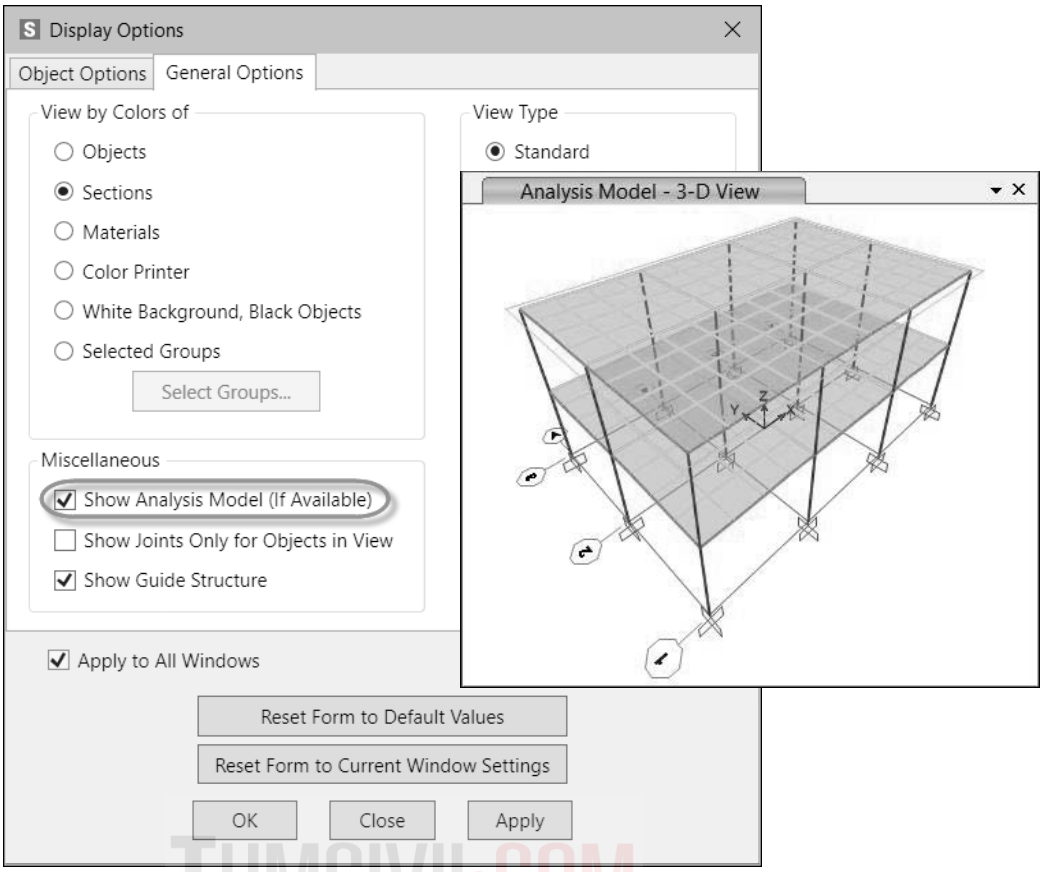
การแบ่งพื้นย่อยอัตโนมัติ

- กด Ctrl+A เพื่อเลือกทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mesh... ทางเลือกที่ใช้อยู่คือ 4X4 ดังในรูป แล้วคลิกปุ่ม OK

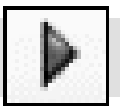


การแบ่งพื้นย่อยอัตโนมัติจะเกิดขึ้นเมื่อทำการวิเคราะห์โดยแรงจากพื้นจะถูกส่งไปยังคานผ่านจุดต่อพื้นย่อย ยิ่งพื้นย่อยถูกแบ่งละเอียดก็จะได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น จำนวนที่แบ่งไม่ควรน้อยกว่า 4

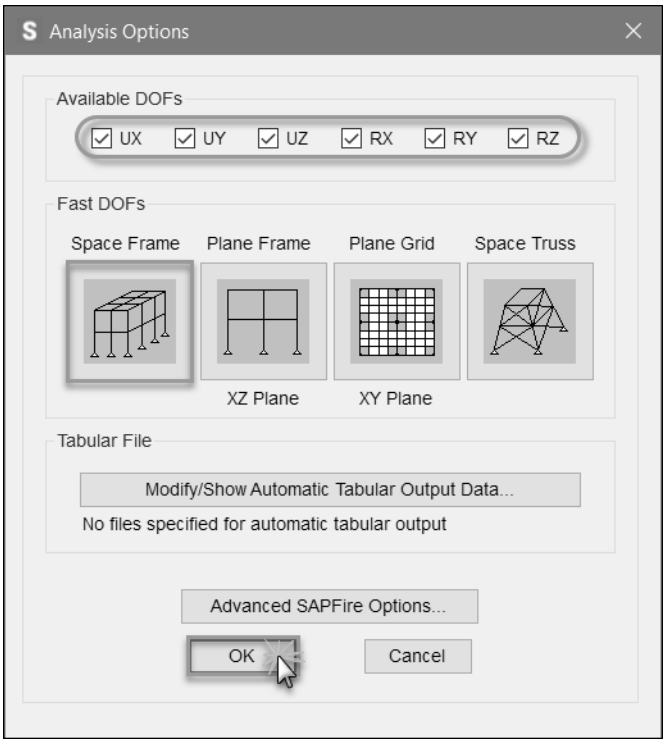
▶ เลือกหน้าต่าง 3-D View คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Show Analysis Model



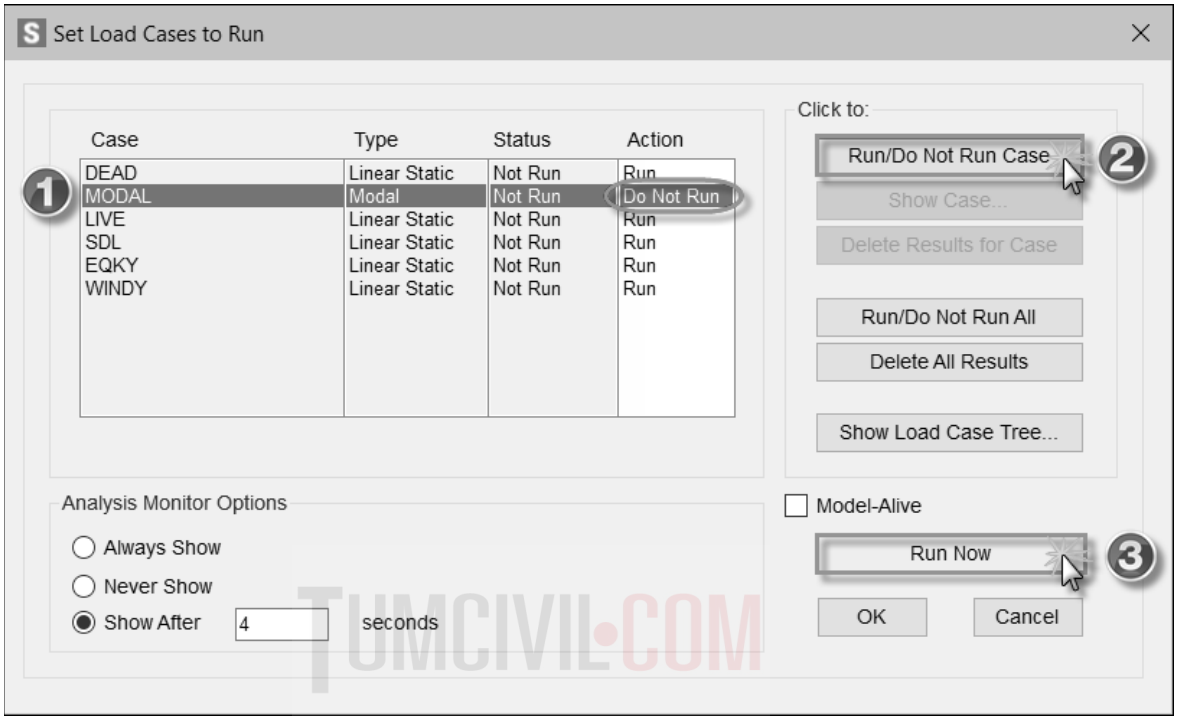
TUMCIVIL.COM

การวิเคราะห์โครงสร้าง Analysis 

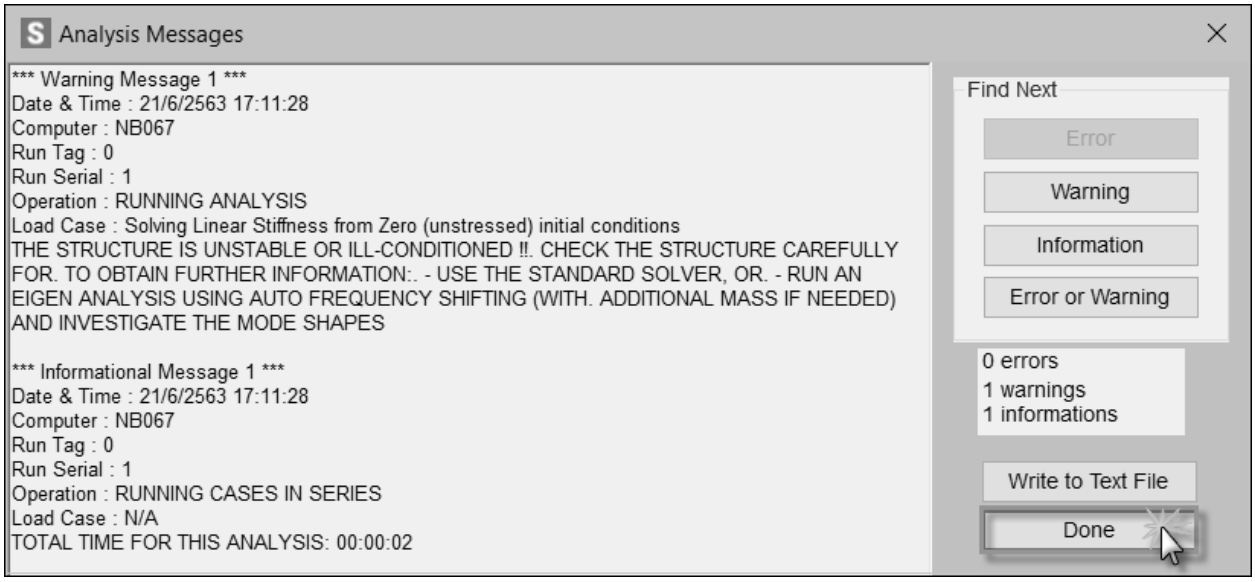
▶ เลือกเมนู Analyze > Set Analysis Options เพื่อกำหนดทางเลือกในการวิเคราะห์ คลิกเลือก Plane Frame ซึ่งจะวิเคราะห์แรงในระนาบ X-Z โดยคิดดีกรีอิสระ UX, UZ และ RY



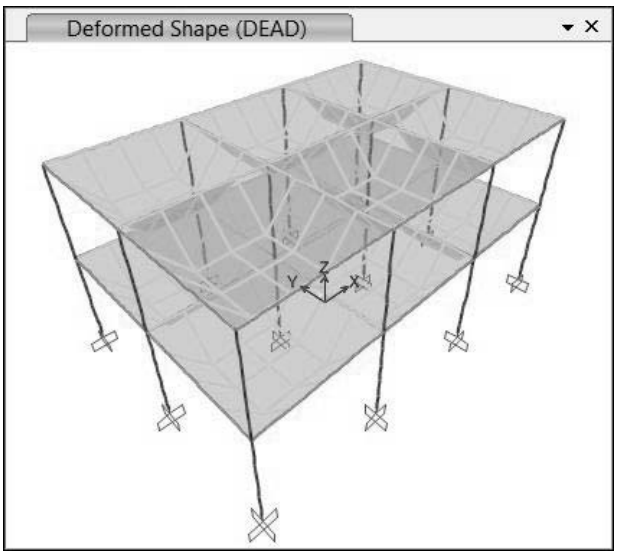
- เลือกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง หน้าต่าง Set Load Case to Run จะแสดงขึ้นมาเพื่อให้กำหนดกรณีบรรทุกที่จะทำการวิเคราะห์
- คลิกรายการ MODAL แล้วกดปุ่ม Run/Do Not Run Case เพื่อไม่ให้โปรแกรมคำนวณโหมดการสั่นไหว ซึ่งจะทำให้เสียเวลาถ้าเราไม่ได้ทำการวิเคราะห์พลศาสตร์



- คลิกปุ่ม Run Now โปรแกรมจะเริ่มทำการวิเคราะห์โครงสร้าง จะมีหน้าต่างแสดงคำเตือน (Warning ซึ่งในเวอร์ชั่นก่อนหน้า V22 ไม่มีปัญหา) ถ้าเปลี่ยนพื้นเป็นชนิด Shell-Thin จะไม่มีการแจ้งเตือนเกิดขึ้น

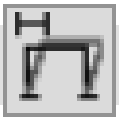


- คลิกปุ่ม Done เมื่อทำเสร็จจะแสดงภาพการเสียรูปทรงของภายใต้กรณีบรรทุก DEAD



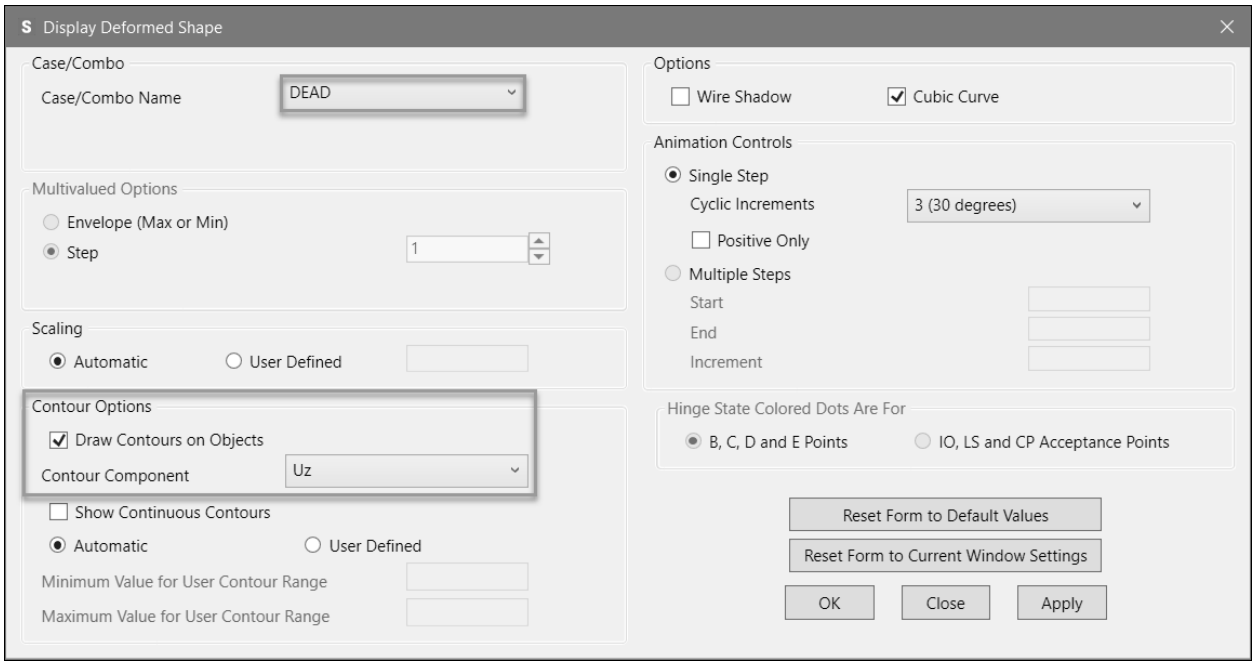
หลังการรันวิเคราะห์ โมเดลจะถูก **“ล็อค”** ไม่ให้ทำการแก้ไข โดยสังเกตได้จากปุ่มแม่กุญแจบนทูลบาร์ด้านบน ถ้าเราต้องการแก้ไขให้กดปุ่มนี้เพื่อ **“ปลดล็อค”** ก่อน ซึ่งโปรแกรมจะแสดงข้อความเตือนว่าจะผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะถูกลบทิ้งไป

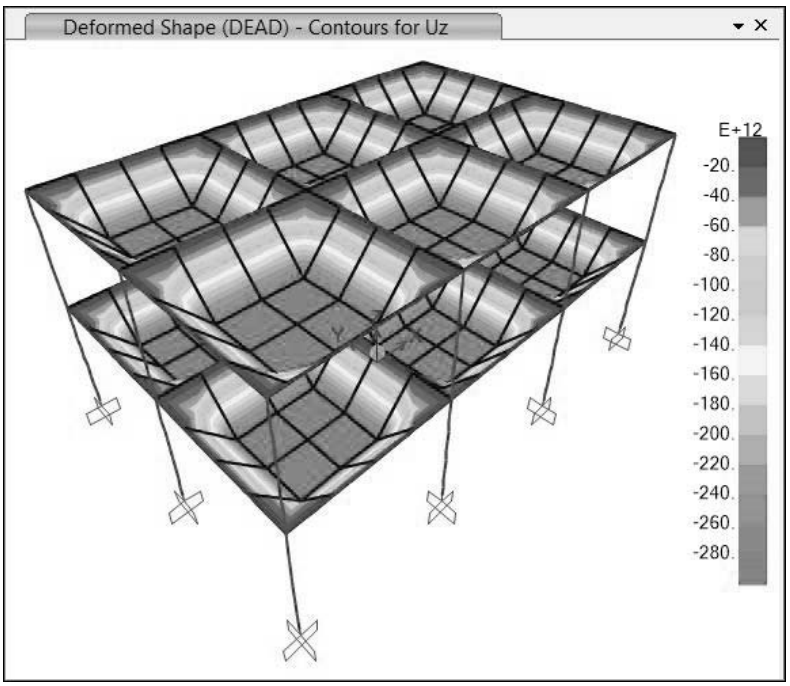
การแสดงผลการเสียรูปทรง



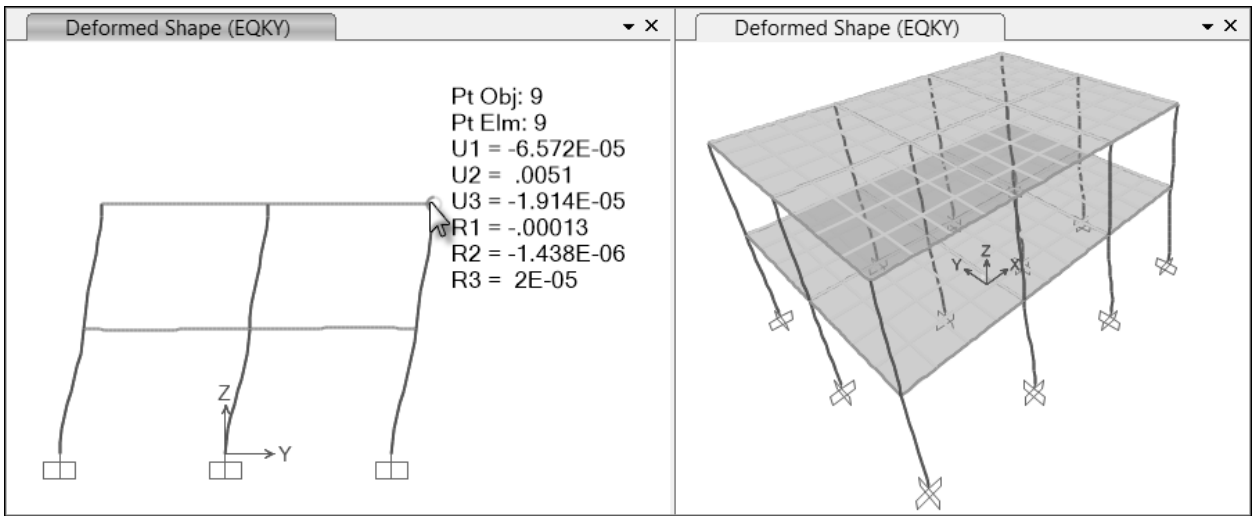
- คลิกขวาในพื้นที่ว่างหลังทูลบาร์ด้านบนเลือกรายการ Display จัดทูลบาร์ให้เป็นดังในรูป

- เราสามารถดูรูปแบบการเสียรูปทรงได้โดยสั่งเมนู Display > Show Deformed Shape หรือคลิกปุ่ม บนทูลบาร์ แล้วเลือกกรณีบรรทุกและรูปแบบการแสดงผลดังในรูป

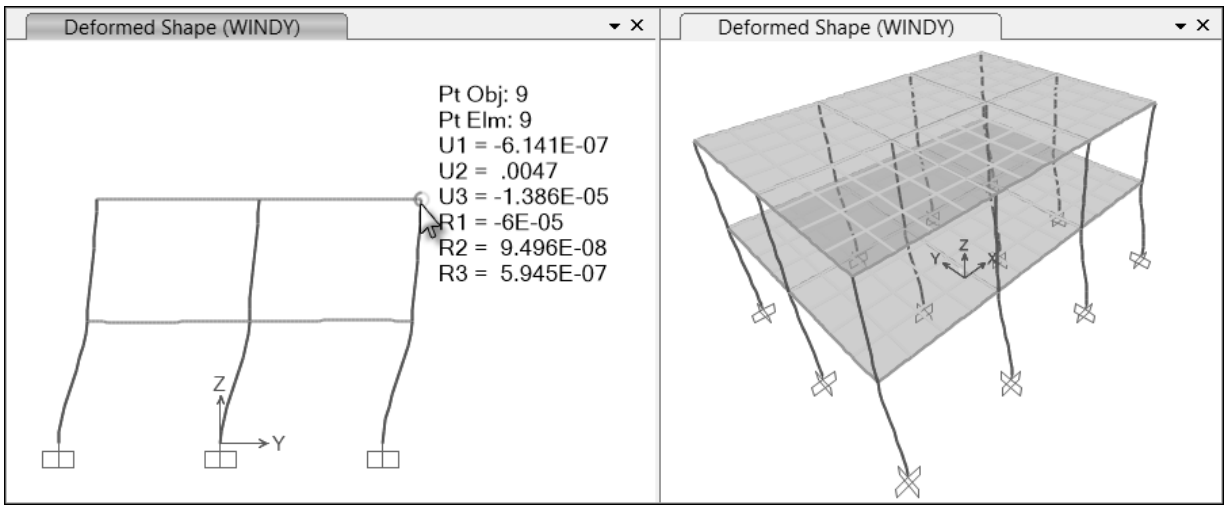




- เลือกกรณีบรรทุก DEAD และให้แสดงชั้นความสูงตามค่า Uz (การเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง) แล้วกดปุ่ม Apply ในหน้าจอกราฟิกจะแสดงตามที่เลือกโดยหน้าต่างตั้งค่ายังเปิดอยู่ทำให้สามารถเลือกปรับเปลี่ยนให้แสดงค่าอื่นๆได้สะดวกขึ้น
- เลือกให้แสดงผลของกรณีบรรทุกแผ่นดินไหว EQKY โดยเลือกไม่แสดงเส้นชั้นความสูง แล้วกดปุ่ม Apply
- คลิกหน้าต่างสองมิติแล้วกดปุ่ม yz ให้แสดงมุมมองระนาบ Y-Z @ X = -6 บนเส้นกริด A แล้วกดปุ่ม Apply แล้วสั่งให้แสดงการเสียรูปทรงเช่นเดียวกัน
- ลองเลื่อนตัวชี้ไปที่จุดต่อที่เคลื่อนตัวไปจะมีค่าระยะและการหมุนในแต่ละทิศทางแสดงขึ้นมา

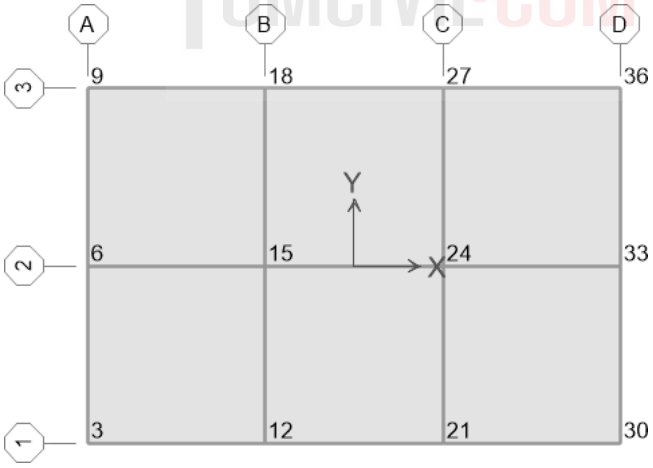


- คลิกหน้าต่างสามมิติ เลือกกรณี WINDY กดปุ่ม Apply แล้วคลิกหน้าต่างสองมิติทำเช่นเดียวกัน

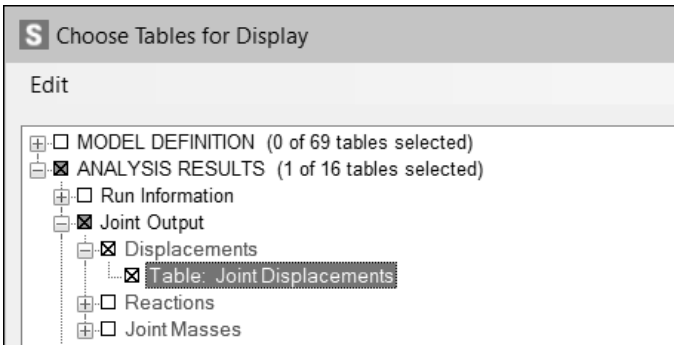


การแสดงผลแบบตาราง

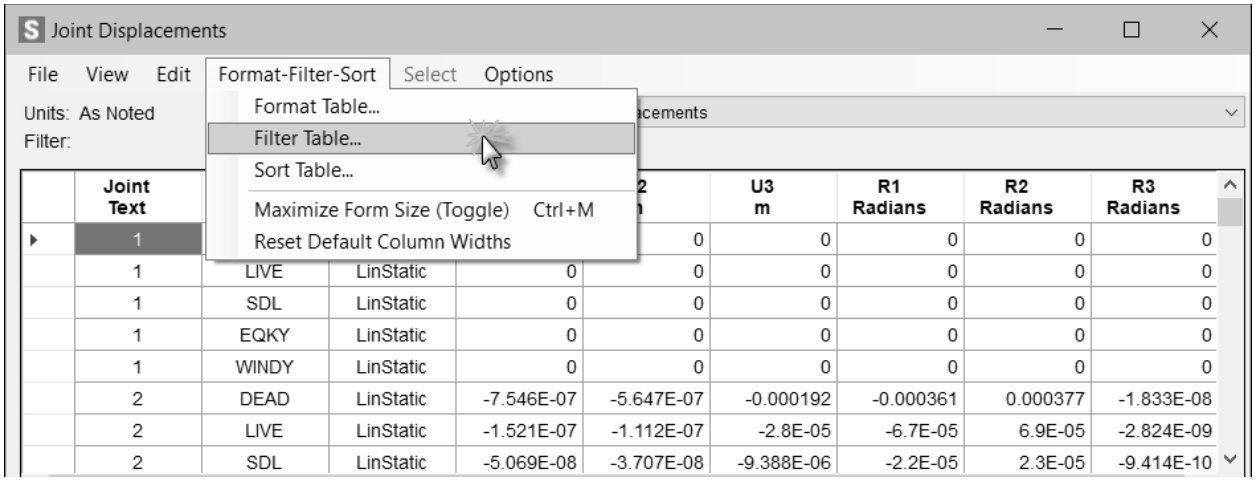
- คลิกปุ่ม ปิดการแสดง Analysis Model และ Apply to All Windows
- คลิกหน้าต่างสองมิติ สั่งเมนู Display > Show Undeformed Shape หรือคลิกปุ่ม ให้กลับมาไม่เสียรูปทรง แล้วคลิกปุ่ม ให้แสดงระนาบ X-Y @ Z = 6
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงหมายเลขจุดต่อ Joint > Label



- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf, cm, C สั่งเมนู Display > Show Table... หรือกด Ctrl+T เลือกตารางที่ต้องการให้แสดงตามในรูปข้างล่าง

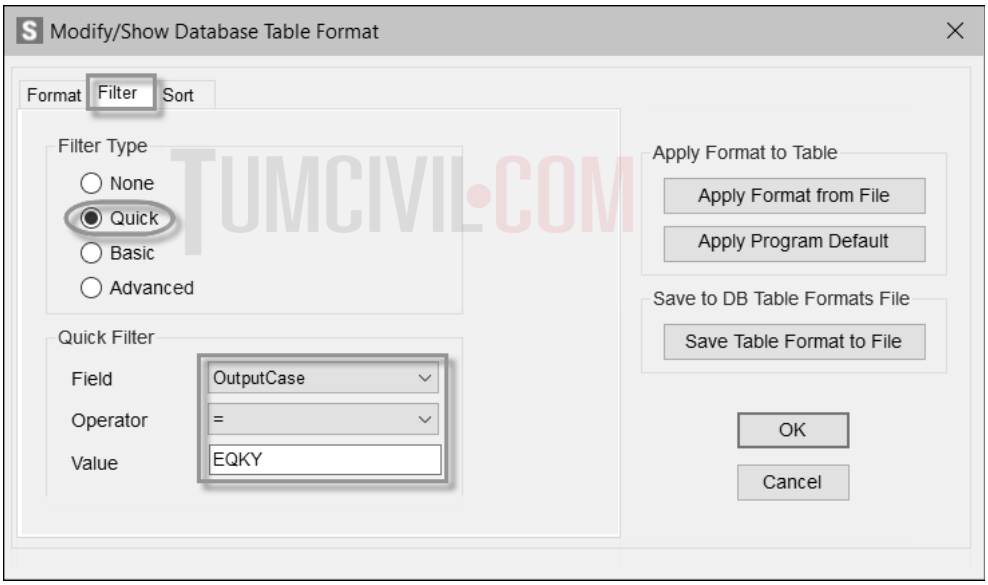


เมื่อคลิก OK หน้าต่างตารางจะแสดงขึ้นมา โดยค่าในตารางจะอ้างอิงตามหมายเลขจุดต่อ

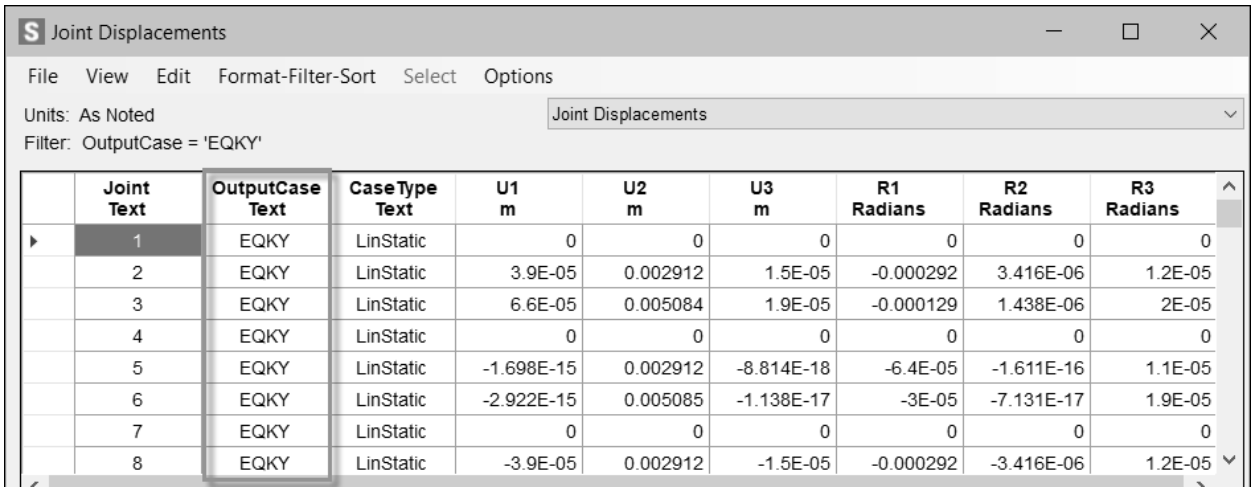


Joint Text					U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1				0	0	0	0	0
1	LIVE	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1	SDL	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
1	WINDY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
2	DEAD	LinStatic	-7.546E-07	-5.647E-07	-0.000192	-0.000361	0.000377	-1.833E-08
2	LIVE	LinStatic	-1.521E-07	-1.112E-07	-2.8E-05	-6.7E-05	6.9E-05	-2.824E-09
2	SDL	LinStatic	-5.069E-08	-3.707E-08	-9.388E-06	-2.2E-05	2.3E-05	-9.414E-10

- เราสามารถสั่งให้แสดงผลเฉพาะเจาะจงโดยเลือกเมนู Format-Filter-Sort > Filter Table...
- กำหนดเงื่อนไขในการกรองเช่นสมมุติว่าต้องการให้แสดงผลการโยกตัวจาก EQKY

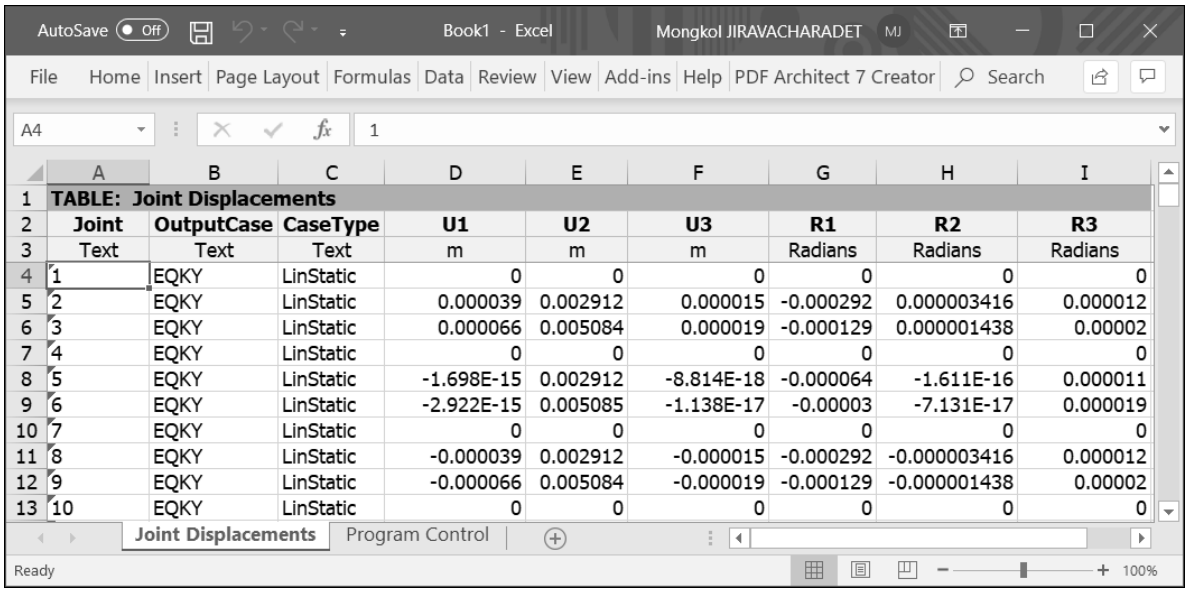


- เมื่อกด OK กลับมาที่ตารางจะแสดงผลของ EQKY ดังในรูป



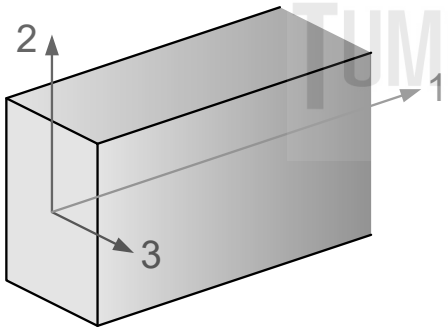
Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
2	EQKY	LinStatic	3.9E-05	0.002912	1.5E-05	-0.000292	3.416E-06	1.2E-05
3	EQKY	LinStatic	6.6E-05	0.005084	1.9E-05	-0.000129	1.438E-06	2E-05
4	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
5	EQKY	LinStatic	-1.698E-15	0.002912	-8.814E-18	-6.4E-05	-1.611E-16	1.1E-05
6	EQKY	LinStatic	-2.922E-15	0.005085	-1.138E-17	-3E-05	-7.131E-17	1.9E-05
7	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
8	EQKY	LinStatic	-3.9E-05	0.002912	-1.5E-05	-0.000292	-3.416E-06	1.2E-05

- ส่งออกตารางไปยัง Excel จากเมนู File > Export Current Table > To Excel หรือ
- คลิกที่ตารางช่องมุมซ้ายบน กด Ctrl+C แล้วนำไปวางใน Excel โดยกด Ctrl+V จะได้ดังในรูป



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TABLE: Joint Displacements								
2	Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
3	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
4	1	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
5	2	EQKY	LinStatic	0.000039	0.002912	0.000015	-0.000292	0.000003416	0.000012
6	3	EQKY	LinStatic	0.000066	0.005084	0.000019	-0.000129	0.000001438	0.00002
7	4	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
8	5	EQKY	LinStatic	-1.698E-15	0.002912	-8.814E-18	-0.000064	-1.611E-16	0.000011
9	6	EQKY	LinStatic	-2.922E-15	0.005085	-1.138E-17	-0.00003	-7.131E-17	0.000019
10	7	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0
11	8	EQKY	LinStatic	-0.000039	0.002912	-0.000015	-0.000292	-0.000003416	0.000012
12	9	EQKY	LinStatic	-0.000066	0.005084	-0.000019	-0.000129	-0.000001438	0.00002
13	10	EQKY	LinStatic	0	0	0	0	0	0

แรงภายในเสาและคาน



แรงภายในองค์อาคารที่เป็นวัตถุแบบเส้นเช่นเสาและคานจะมีการอ้างอิงทิศทางตามแกนองค์อาคาร 1-2-3 ดังนี้

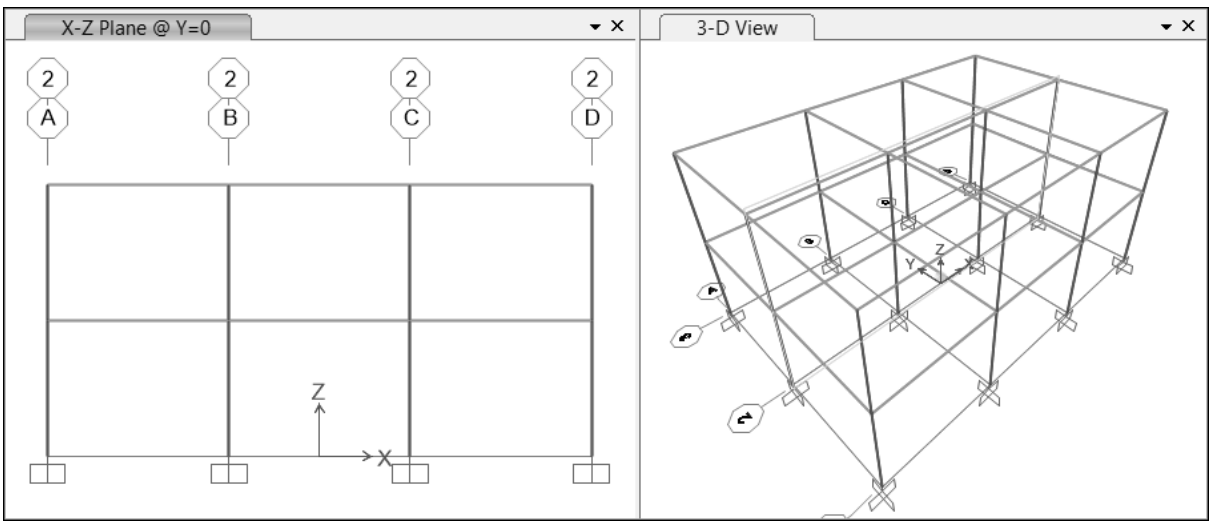
Axial Force = แรงตามแนวแกน 1

Shear 2-2, 3-3 = แรงเฉือนตามแกน 2 และ 3

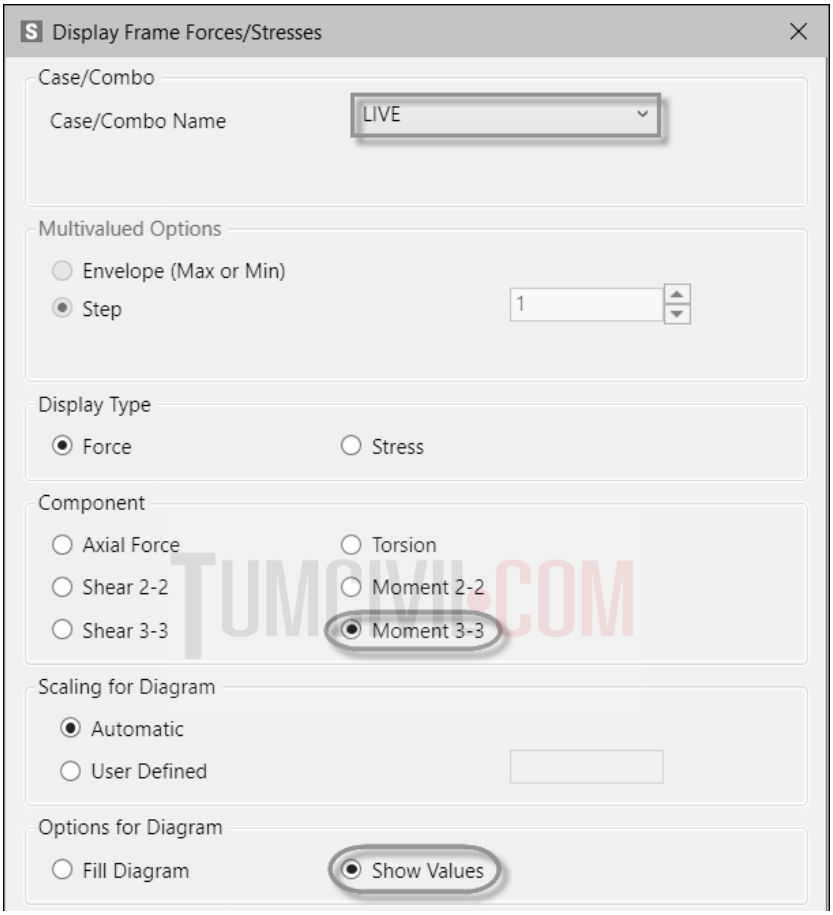
Torsion = โมเมนต์บิดรอบแกน 1

Moment 2-2, 3-3 = โมเมนต์ดัดรอบแกน 2 และ 3

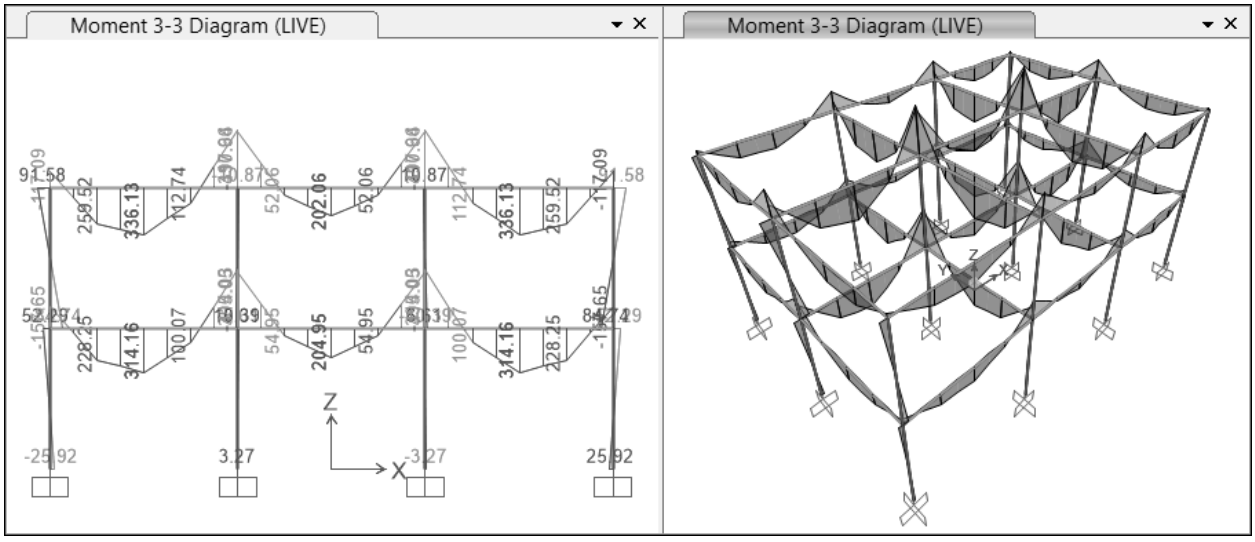
- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf-m คลิกปุ่ม เอา Joints > Labels และ Fill Objects ออกโดยเลือก Area > Not in View และ Apply to All Windows เพื่อให้แสดงเฉพาะเฟรม



- คลิกหน้าต่างสองมิติ แล้วปรับมุมมองให้แสดงระนาบ X-Z @ Y = 0
- คลิกปุ่ม บนทูลบาร์ด้านบนหรือ สั่งเมนู Display > Show Forces/Stresses เลือก Frames/Cables/Tendons
- ในหน้าต่างที่แสดงขึ้นมา เลือกกรณีบรรทุก LIVE, โมเมนต์ดัด Moment 3-3 และแสดงแบบ Show Values แล้วคลิกปุ่ม Apply

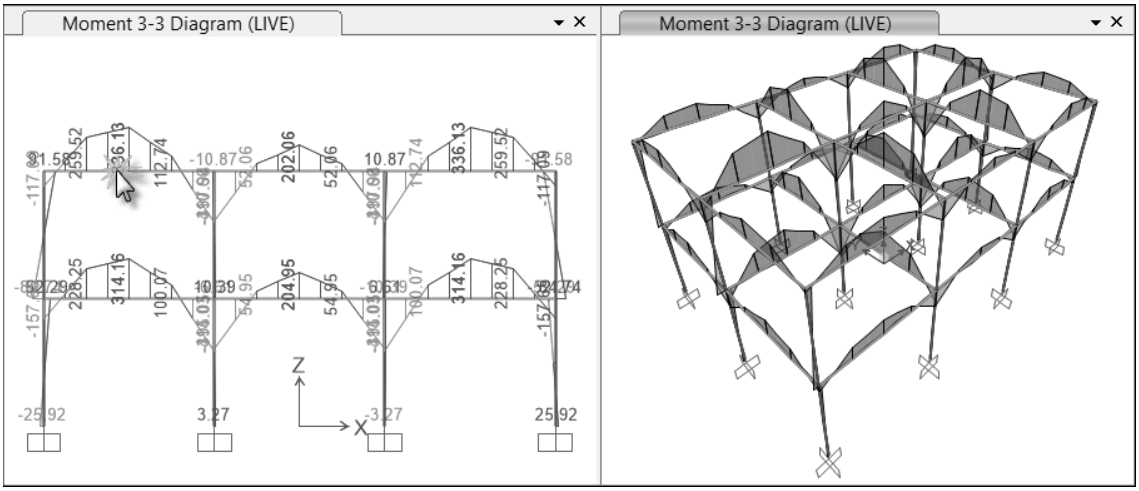


- คลิกหน้าต่างสามมิติ สั่ง Moment 3-3 เช่นเดียวกันแต่ให้แสดงแบบ Fill Diagram

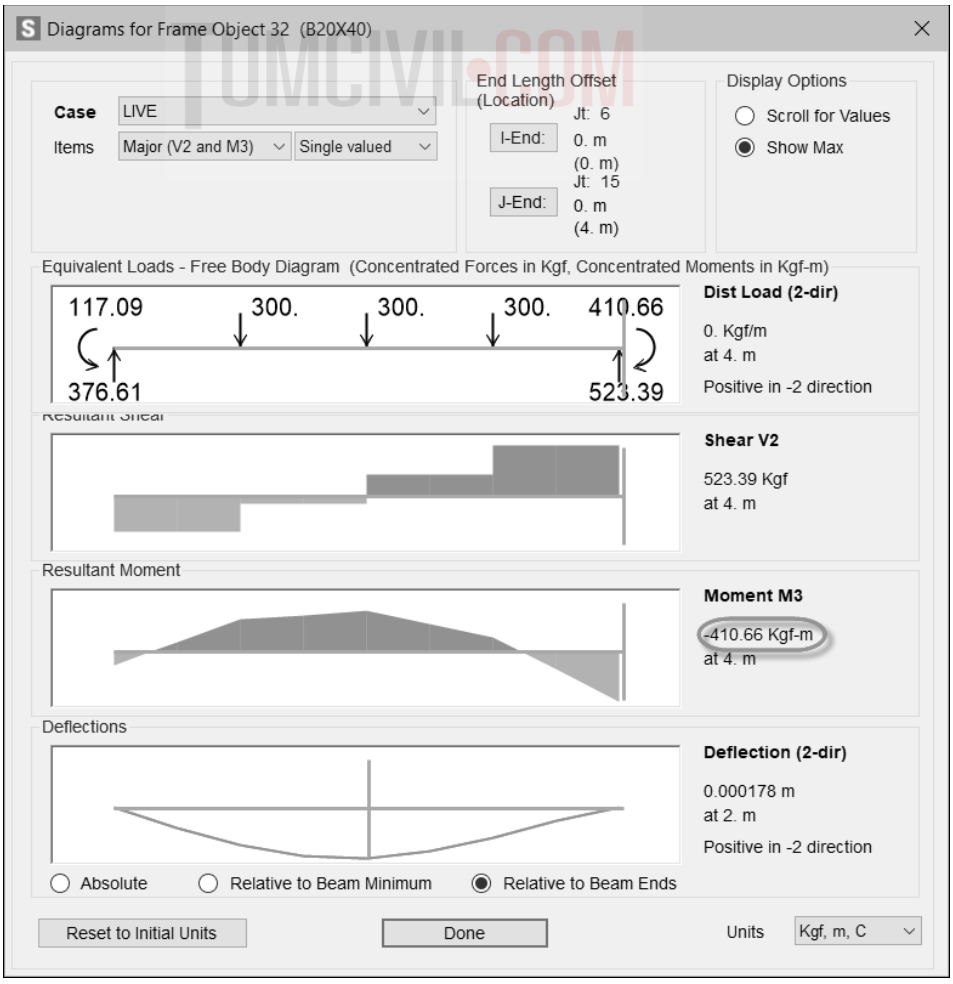


แผนภูมิโมเมนต์จะถูกแสดงขึ้นมาดังในรูป จะเห็นว่าโมเมนต์เป็นลบกลางช่วงคาน และเป็นบวกที่บริเวณจุดรองรับ การพล็อตแบบนี้เรียกว่า Moment diagram on tension side ซึ่งตรงกันข้ามกับที่ใช้ในเมืองไทย

- สั่งเมนู Options เลือกเอาเครื่องหมายถูกหน้ารายการ Moment Diagram on Tension Side ออก จะได้แผนภูมิโมเมนต์ในแบบที่เราคุ้นเคย

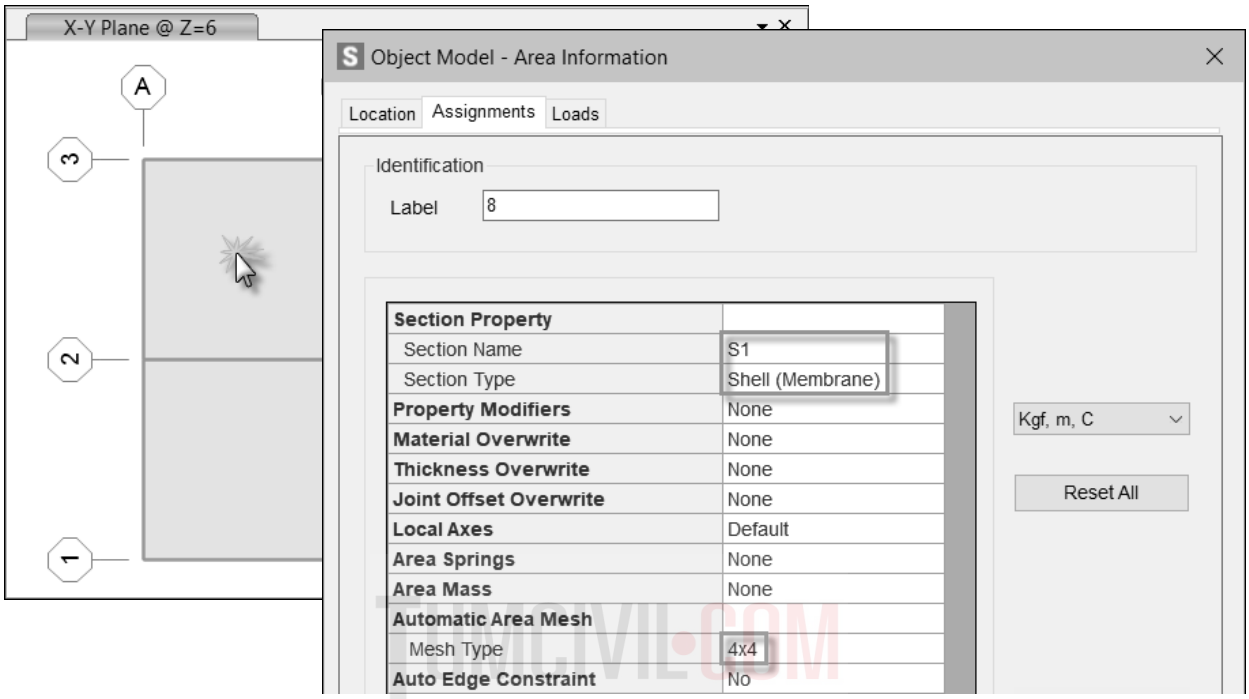


- คลิกขวาที่คาน จะมีหน้าต่างแสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงขึ้นมา

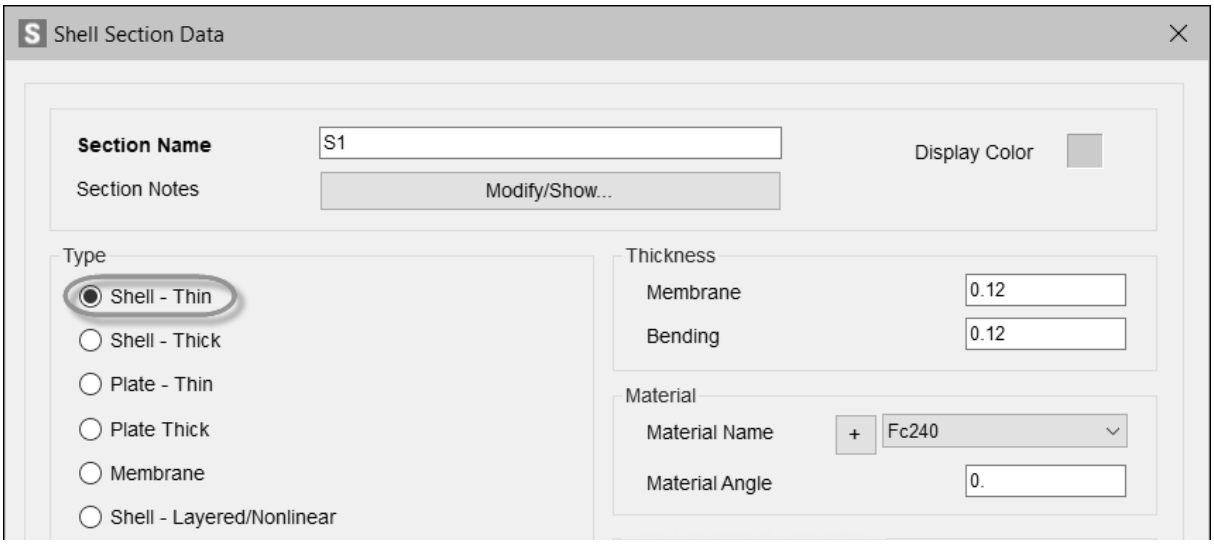


จะเห็นว่าค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุดคือ -411 Kgf-m เราจะใช้ค่านี้ในการเปรียบเทียบกับแบบอื่น

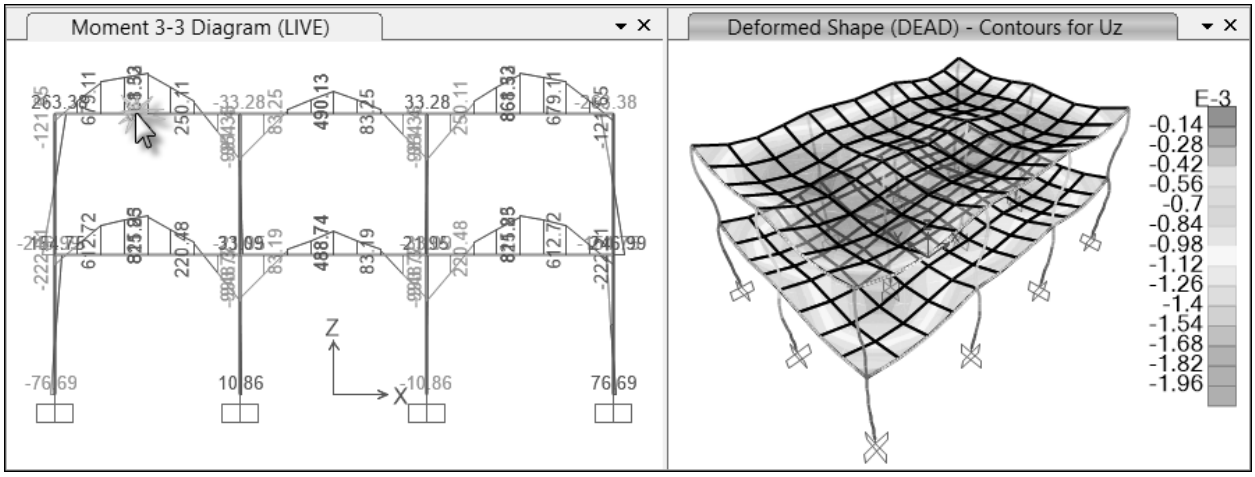
- กดปุ่ม เพื่อปลดล็อคโมเดล แล้วกด เอา Areas > Not in View ออก เลือกให้แสดง Fill Objects และ Apply to All Windows
- ในหน้าต่าง X-Y Plane ลองคลิกขวาที่พื้น หน้าต่างข้อมูลจะแสดงขึ้นมา



- คลิกแถบ Assignments จะเห็นว่าพื้นที่ใช้อยู่คือหน้าตัด S1 เป็นแบบ Shell (Membrane) และมีการแบ่งพื้นย่อยแบบ 4x4
- สั่งเมนู Define > Section Properties > Area Sections เลือก S1 แล้วกด Modify/Show Section จะเห็นว่าถูกเลือกเป็น Membrane อยู่ ให้เปลี่ยนเป็น Shell – Thin



- คลิกหน้าต่างสามมิติ สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้างอีกครั้ง จะเห็นว่าไม่มีการเตือนเหมือนในกรณีพื้นเมมเบรน
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก DEAD จะได้ดังในรูป

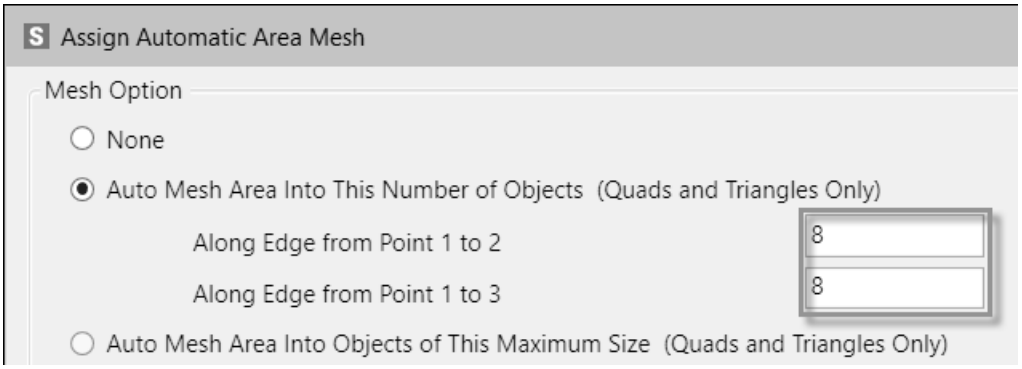


จะเห็นว่าพื้นบบ Shell มีการเสียรูปทรงที่ใกล้เคียงความเป็นจริงกว่าแบบ Membrane

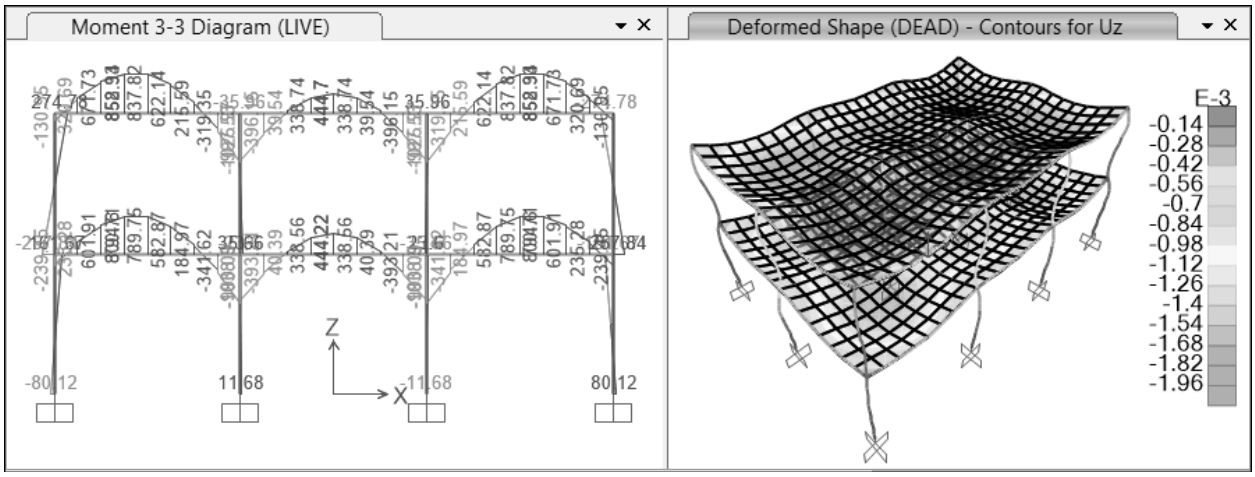
- ในหน้าต่างสองมิติที่ระนาบ X-Z @ Y = 0 คลิกขวาที่คานชั้นบนด้านซ้ายเช่นเดิม

ผลของการแบ่งพื้นย่อย

- กดปุ่ม เพื่อปลดล็อคโมเดล แล้วสั่งเมนู Select > Select > Properties > Area Sections เลือกหน้าตัด S1 เพื่อเลือกพื้นทั้งหมด
- สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mesh เพื่อกำหนดเงื่อนไขการแบ่งพื้นย่อย เปลี่ยนจากแบบ 4x4 มาเป็น 8x8



▶ คลิกหน้าต่างสามมิติ สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้างอีกครั้ง

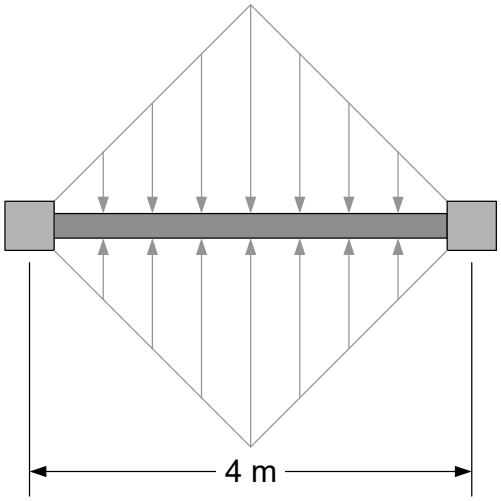


จะเห็นว่ามีการแบ่งพื้นย่อยละเอียดขึ้นทำให้ได้การเสียรูปทรงที่ดีขึ้นแต่จะเสียเวลาในการรันนานขึ้น ในเบื้องต้นควรแบ่งอย่างหยาบเช่น 4x4 ไปก่อน เมื่อตรวจสอบจนมั่นใจแล้ว ต้องการผลที่แม่นยำขึ้น ค่อยมาเพิ่มความละเอียดภายหลัง

▶ คลิกปุ่ม สั่งให้แสดงโมเมนต์ดัด M 3-3 แล้วคลิกขวาเช่นเดิมเพื่อดูความแตกต่างของค่าที่คำนวณได้

TUMCIVIL•COM

จะเห็นว่าทั้งสามครั้งมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งคำนวณด้วยมือตามปกติตามปกติสำหรับคานรับน้ำหนักจร 300 กก./ตรม. จากพื้นขนาด 4X4 เมตร สองข้างจะได้



น้ำหนักพื้นลงคาน :

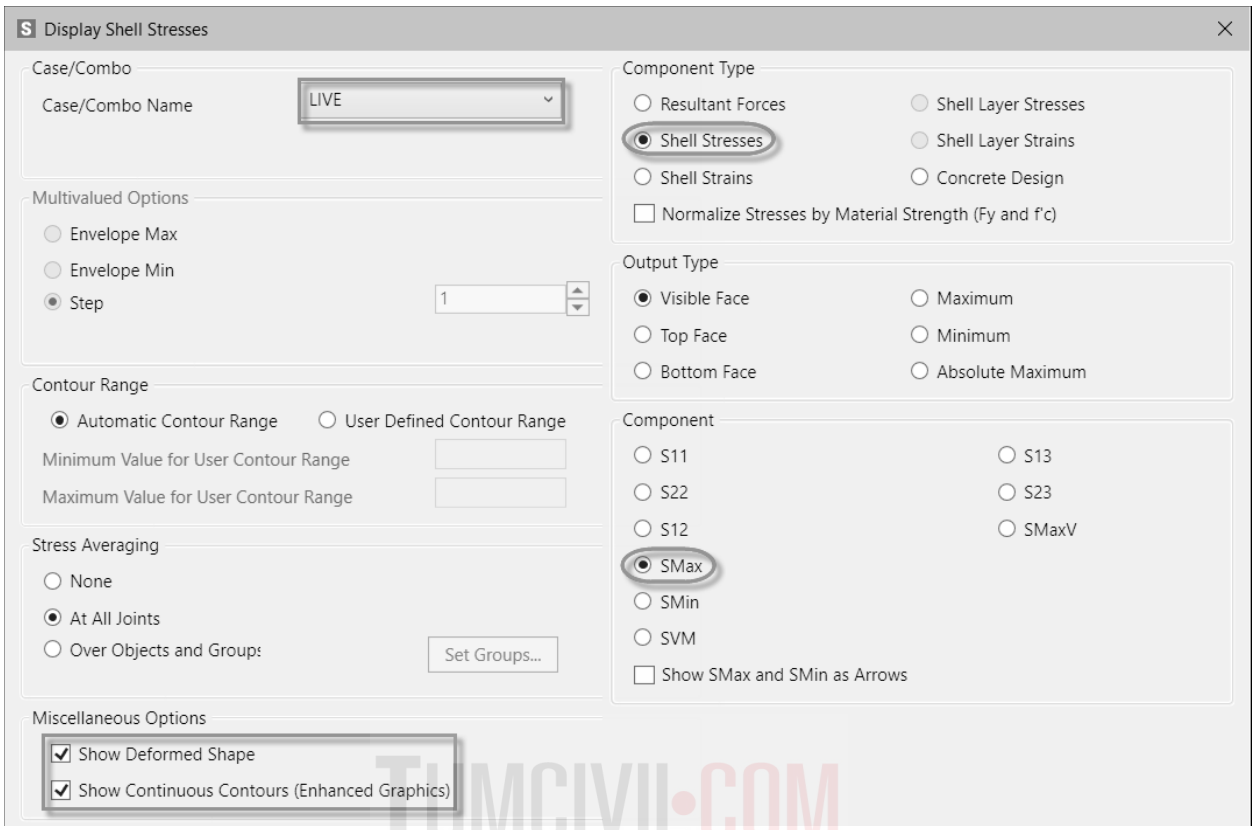
$w = 2 \times 300 \times 4 / 3 = 800$ กก./ม.

โมเมนต์ลบมากที่สุด :

$M = -(1/10) \times 800 \times 4^2 = -1{,}280$ กก.-ม.

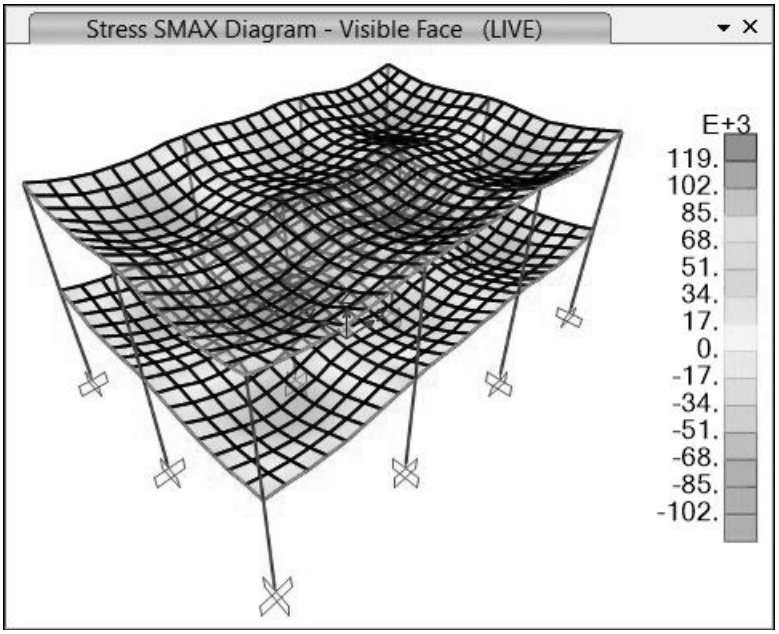
จะเห็นว่าพื้นแบบ Shell ให้ผลใกล้เคียงกว่าแบบ Membrane และยิ่งแบ่งแผ่นย่อยละเอียดจะให้ผลที่ใกล้เคียงมากขึ้น แต่จะใช้ทรัพยากรและเวลาในการคำนวณมากขึ้น

- คลิกหน้าต่างสามมิติ แล้วคลิกปุ่ม เลือกรายการ Shells เพื่อให้แสดงการกระจายหน่วยแรงในพื้น โดยกำหนดค่าดังในรูป



TUMCIVIL.COM

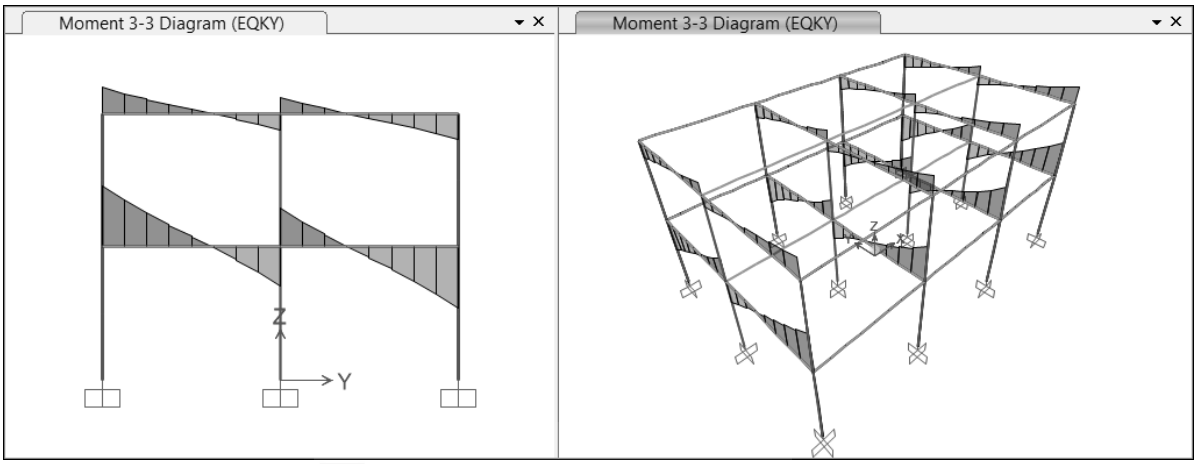
จะได้รูปการกระจายของหน่วยแรงในพื้นดังแสดงในรูป



- ปรับความหนาเส้นได้จากเมนู Options > Dimensions/Tolerances > Screen Line Thickness

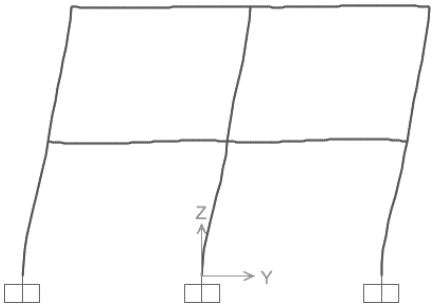
ผลของแรงด้านข้าง

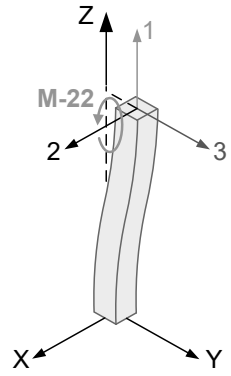
- ปิดการแสดงพื้นโดยคลิกปุ่ม เลือก Areas > Not in View เอา Fill Objects ออกและคลิก Apply to All Windows
- คลิกหน้าต่างสามมิติ แล้วคลิกปุ่ม เลือก Frames ให้แสดงโมเมนต์ดัด M-33 ภายใต้กรณีบรรทุก EQKY หรือ WINDY แบบ Fill Diagram แล้วกดปุ่ม Apply
- คลิกหน้าต่างสองมิติเปลี่ยนเป็นระนาบ Y-Z แล้วกดปุ่ม Apply จะได้ดังในรูป



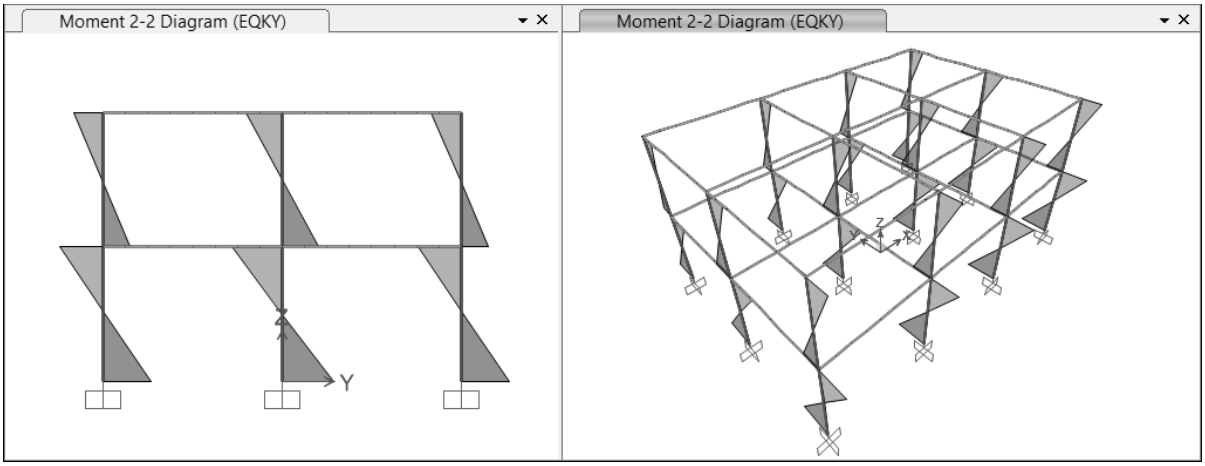
THMCIVIL.COM

เราจะไม่เห็นโมเมนต์ดัดในเสา เนื่องจากเสาในอาคารถูกโยกไปทางแกน Y โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจะมีทิศไปทางแกน X ซึ่งจะตรงกับแกนเฉพาะของเสาคือแกน 2



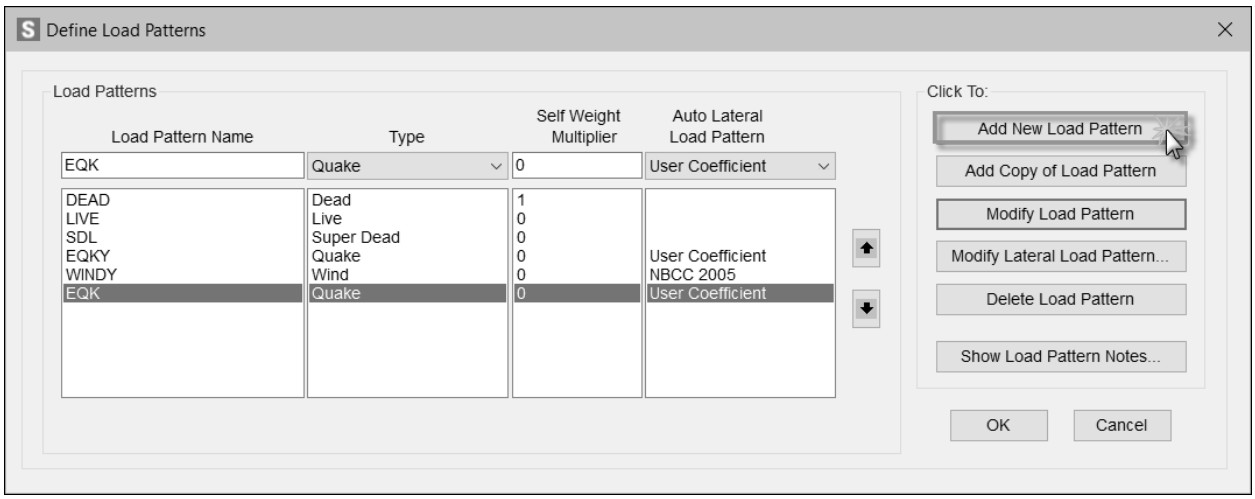


- เลือกให้แสดง M-22 เพื่อแสดงโมเมนต์ในเสา แล้วคลิกปุ่ม Apply ทั้งสองหน้าต่าง

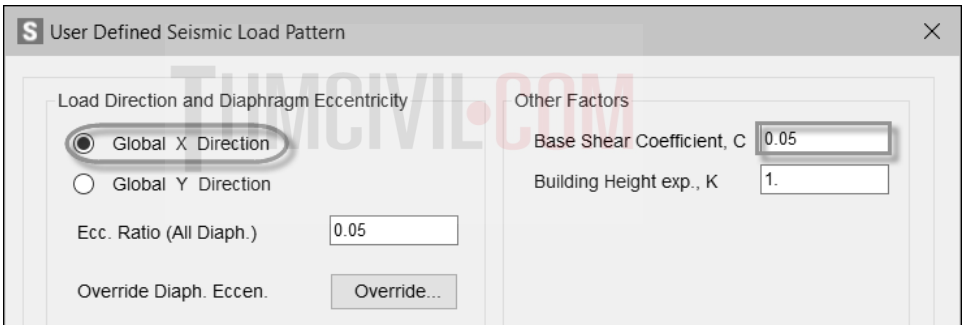


ถ้ามีแรงแผ่นดินไหวในทิศทาง X โมเมนต์ดัดในเสาจะแสดงในทิศทาง M-33 เช่นเดียวกับคาน

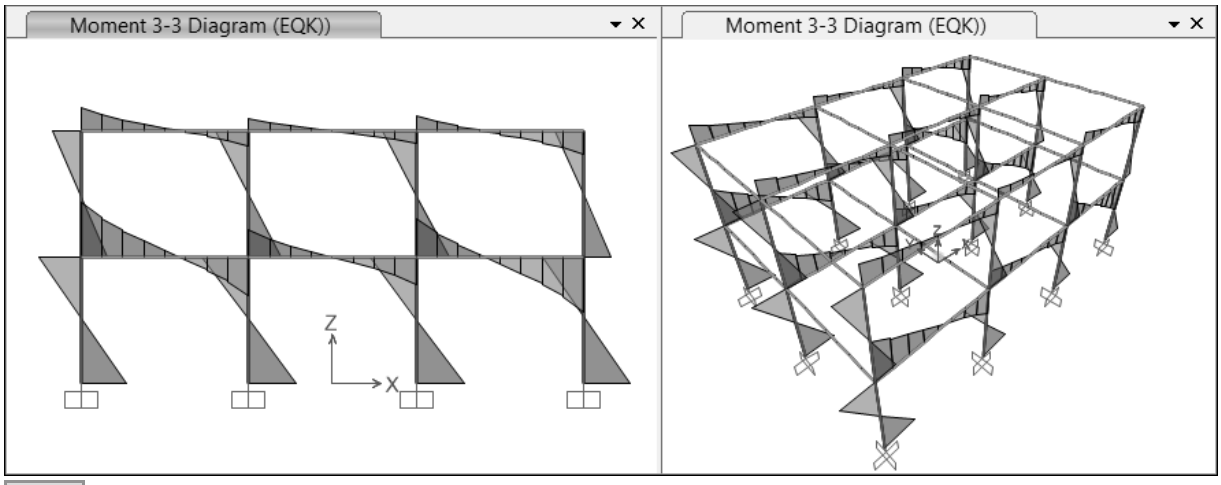
- คลิกปุ่ม ปลดล๊อคโมเดล สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างกรณีบรรทุก EQKX แบบ User Coefficient ดังในรูป (คลิกรายการ EQKY แล้วเปลี่ยนชื่อเป็น EQKX แล้วคลิก Add New Load)



- คลิกปุ่ม Modify Lateral Load Pattern... กำหนดเป็นทิศทาง X



- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้างอีกครั้ง
- คลิกปุ่ม เลือกกรณีบรรทุก EQKX ให้แสดง M-33 ในหน้าต่างสามมิติและระนาบ X-Z ดังในรูป ซึ่งจะเห็นทั้งโมเมนต์ดัดในเสาและคาน

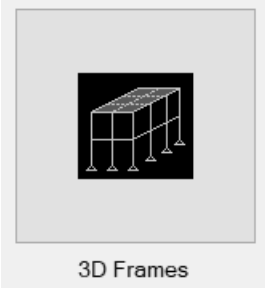


- สั่งเมนู File > Save บันทึกไฟล์เพื่อใช้ในบทต่อไป

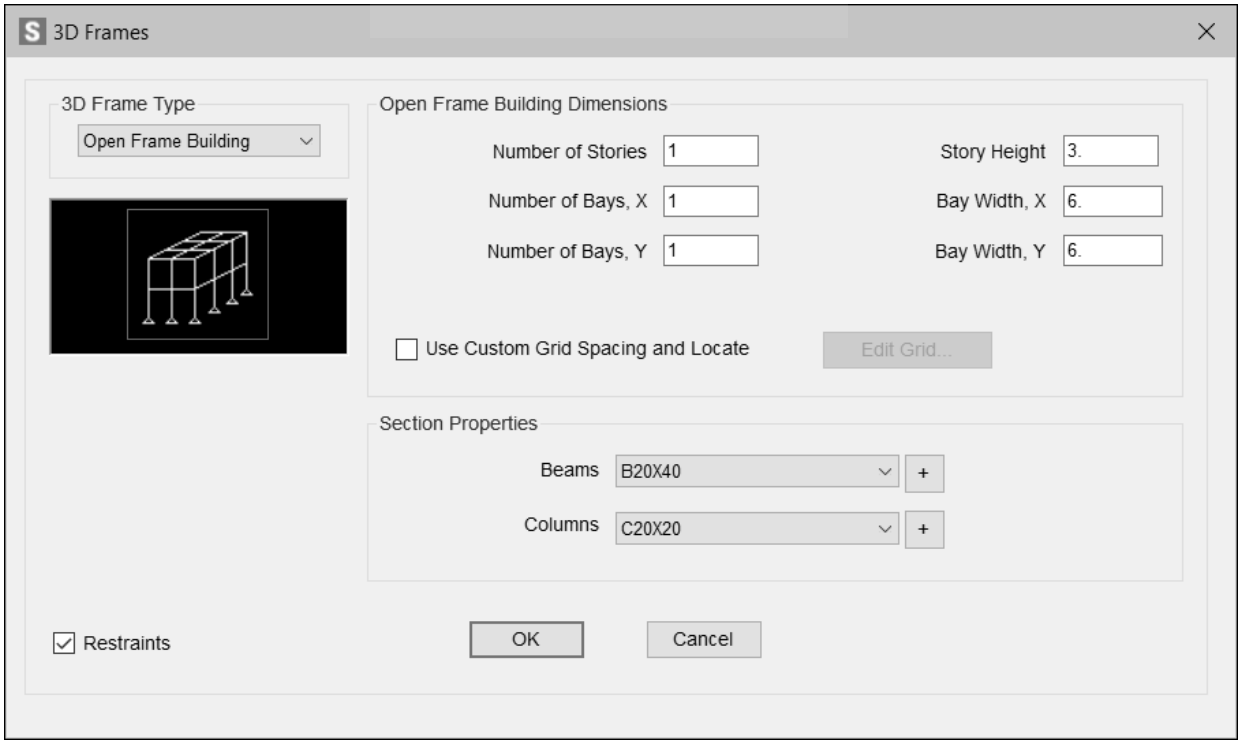
น้ำหนักบรรทุกพื้นแผ่ลงโครง Area Loads - Uniform to Frames

เป็นวิธีการใส่น้ำหนักบรรทุกแบบแผ่สม่ำเสมอบนพื้นลงโครงอาคารที่รองรับโดยรอบ โดยสามารถกำหนดทิศทางของน้ำหนักบรรทุกตามแกนหลักหรือแกนเฉพาะก็ได้ เหมาะสำหรับใช้กับพื้นแบบ None ในกรณีที่ไม่ต้องการโมเดลพื้นในโมเดลแต่ต้องการให้ถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงโครงเช่น ในกรณีของพื้นสำเร็จในอาคารคอนกรีต และพื้นคอมโพสิตในอาคารเหล็ก นอกจากนั้นยังนำไปใช้กับการถ่ายน้ำหนักจากหลังคาและผนังเหล็กรีดลอนได้อีกด้วย

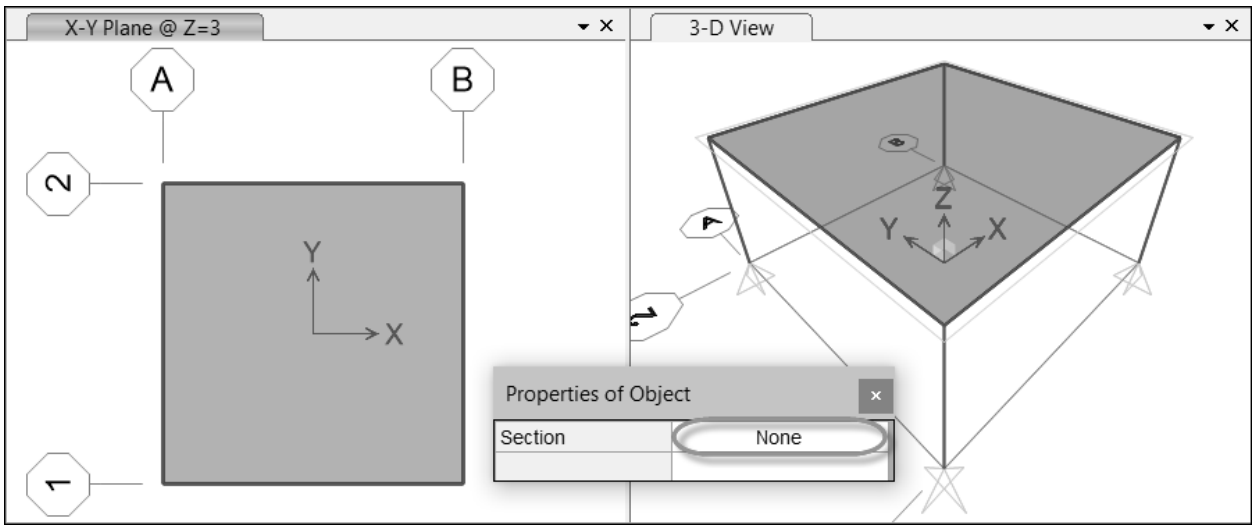
- เริ่มต้น SAP2000 ใช้หน่วย Kgf, m, C สร้างโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N เลือกเทมเพลต 3D Frames โดยใช้ข้อมูลจากไฟล์ที่มีอยู่



- เลือกไฟล์ EX2 House2F เป็นต้นแบบเพื่อให้มีหน้าตัดคาน B20X40 และเสา C20X20 ให้เลือกสำหรับโครงชนิด Open Frame Building และกำหนดข้อมูลดังในรูปข้างบน

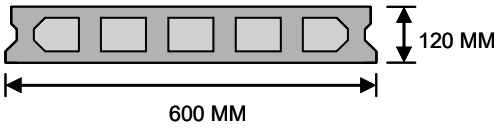


- คลิกหน้าต่างสองมิติ X-Y Plane @ Z = 3 กดปุ่ม เลือกพื้นชนิด None แล้วคลิกภายในเส้นกริดเพื่อวาดพื้นแบบรวดเร็วดังในรูป



สมมุติว่าเราต้องการใช้พื้นสำเร็จรูปดังในรูป

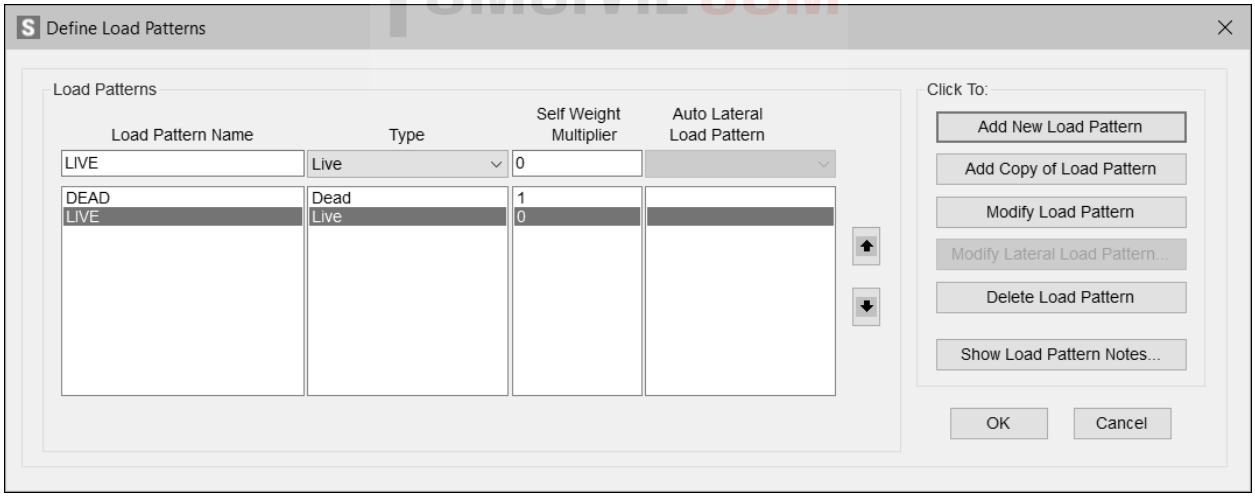
Hollow Core:

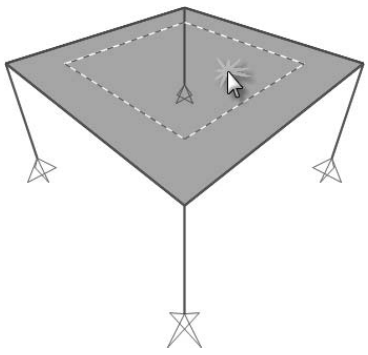


น้ำหนักพื้น	191	กก./ม.^{2}
คอนกรีตเททับหน้า 5 ซม.	120	กก./ม.^{2}
รวมน้ำหนัก DEAD	311	กก./ม.^{2}
น้ำหนัก LIVE	300	กก./ม.^{2}

▶ สั่งเมนู Define > Load Pattern สร้างกรณีบรรทุก LIVE ตามปกติ

TUMCIVIL.COM



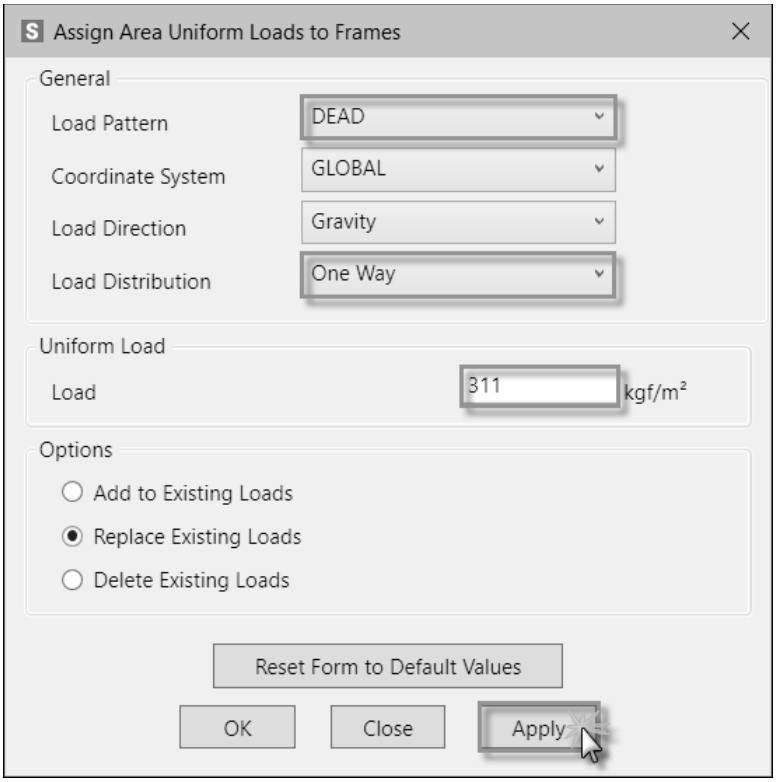


▶ คลิกเลือกพื้น สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform to Frame

▶ เลือกรูปแบบบรรทุก DEAD การกระจายน้ำหนักแบบ One Way

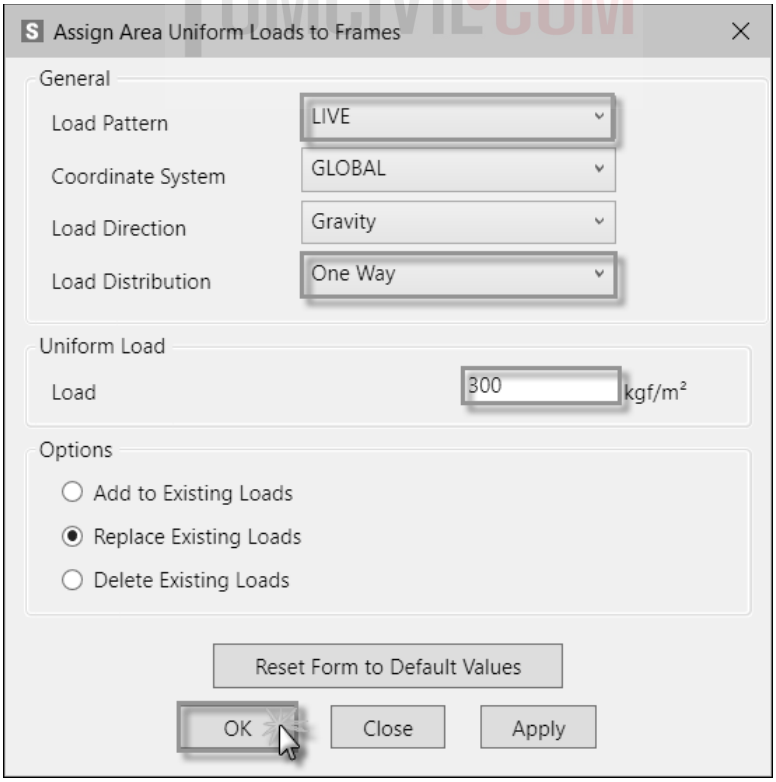
▶ ใส่น้ำหนักของพื้นคือ 311 kgf/m^2

▶ คลิกปุ่ม Apply เพื่อใส่น้ำหนักโดยยังเปิดหน้าต่างค้างไว้

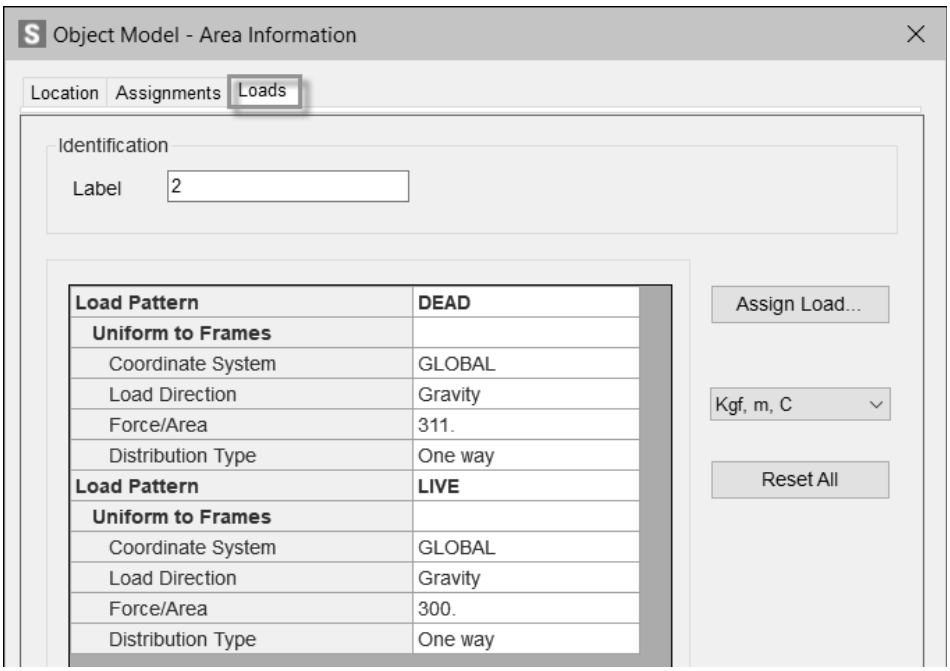


▶ คลิกเลือกพื้นอีกครั้งใส่น้ำหนัก LIVE : One-Way = 300 kg/m^2

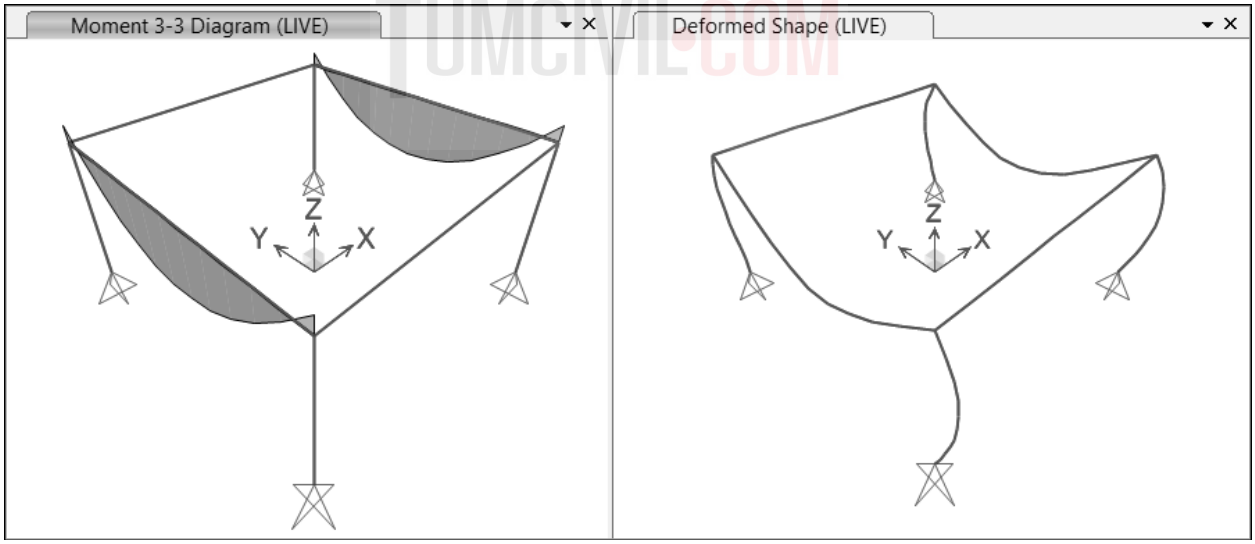
TUMCIVIL.COM



▶ คลิกขวาดูข้อมูลพื้น ในแถบ Load จะมีข้อมูลน้ำหนักบรรทุกกรณี DEAD และ LIVE แสดงเป็นน้ำหนักชนิด Uniform to Frames กระจายแบบ One way ดังในรูป

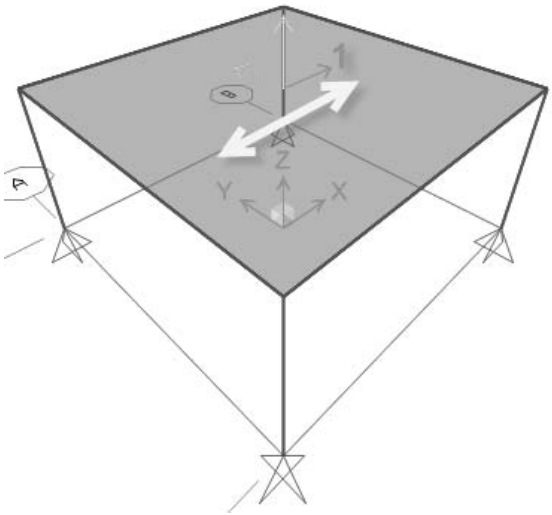


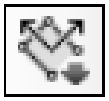
- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง เลือก Do Not Run กรณีบรรทุก MODAL และบันทึกโมเดลเป็น EX5 Uniform2Frame
- ดูการแสดงผลของการเสียรูปทรงและโมเมนต์ดัดของกรณี LIVE จะได้ดังในรูป



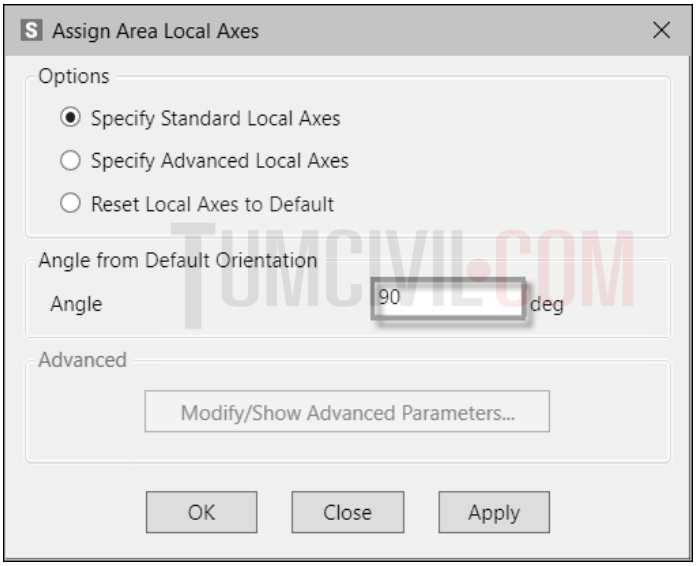
แม้จะไม่มีพื้นอยู่ในโมเดล แต่จะเห็นได้จากโมเมนต์ดัดและการเสียรูปทรงว่ามีการถ่ายน้ำหนักจากพื้นในทิศทางตามแกน X การคิดน้ำหนักจากพื้นโดยวิธีนี้ทำได้สะดวกกว่าเนื่องจากไม่ต้องคำนึงถึงการแบ่งพื้นย่อย และโปรแกรมจะรันการคำนวณได้เร็วกว่า แต่ถ้าต้องการกำหนดให้พื้นถ่ายน้ำหนักไปอีกทิศทางจะยุ่งยากขึ้น โดยต้องระบุโดยใช้แกนเฉพาะของพื้นดังนี้

- คลิกปุ่ม ปลดล็อคโมเดล กด เลือกให้แสดงแกน Local Axes ในพื้น จะเห็นว่าการถ่ายน้ำหนักทางเดียวไปตามแกน 1 ซึ่งปกติจะชี้ไปทางแกน Global X ดังในรูป

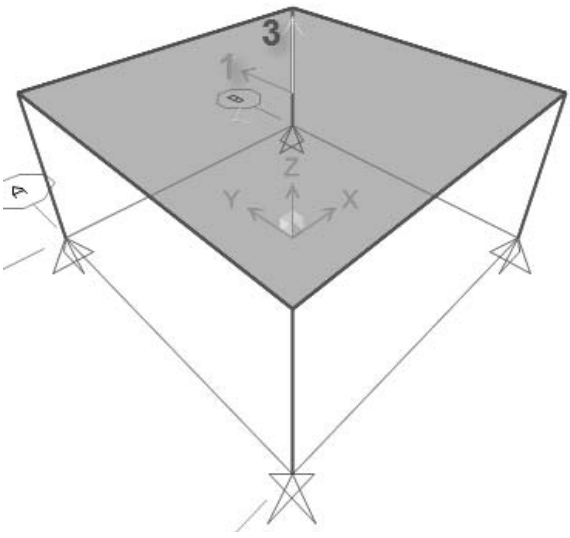




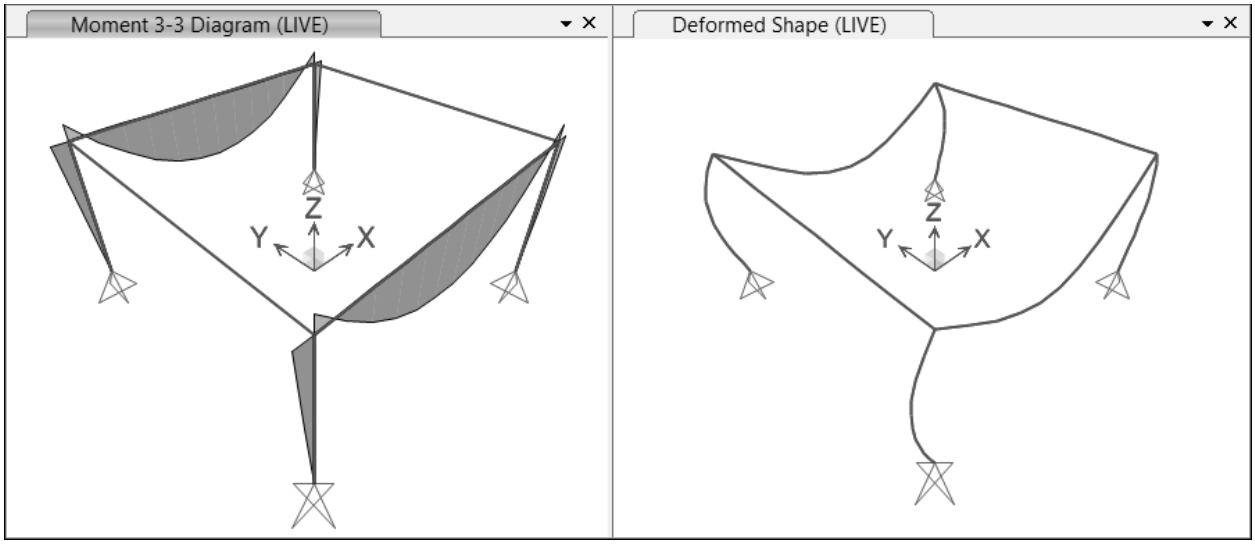
▶ คลิกเลือกพื้น สั่งเมนู Assign > Area > Local Axes ใส่ค่ามุม 90 องศาซึ่งจะทำการหมุนแกน Local รอบแกน 3 ในทิศทวนเข็มนาฬิกา



แกน Local ของพื้นจะหมุนไป 90 องศา แกน 1 จะชี้ไปทางแกน Global Y ดังในรูป



- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง



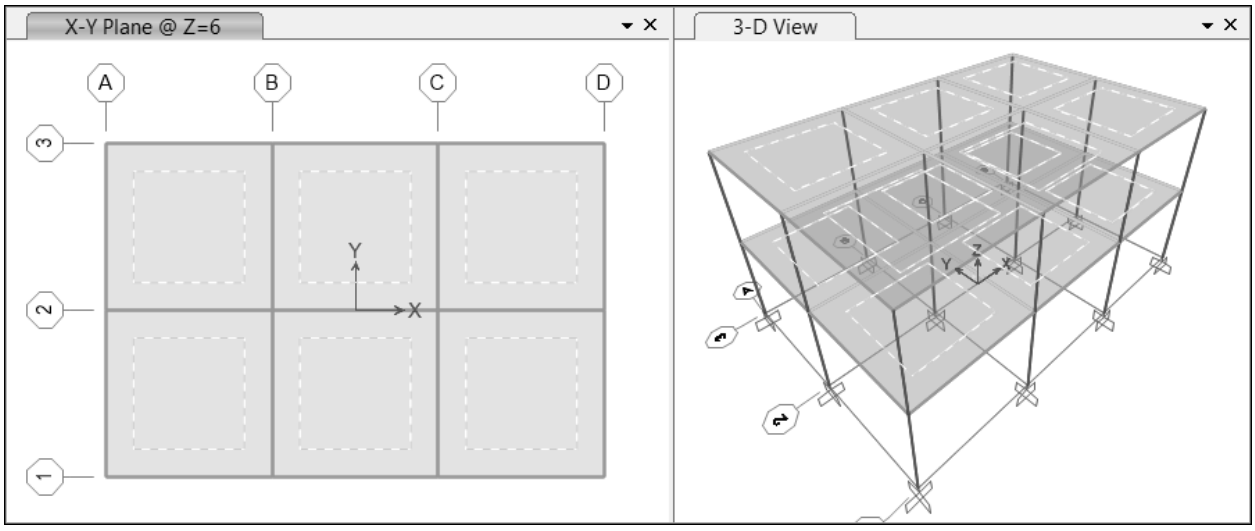
จะเห็นว่าการถ่ายน้ำหนักจากพื้นเปลี่ยนมาเป็นตามทิศทาง Y

- ถ้าต้องการหมุนกลับคืนให้สั่ง Assign > Area > Local Axes อีกครั้ง โดยใช้มุม 0 องศา

การใช้คำสั่ง Area Uniform Loads to Frames นี้ถึงแม้จะยุ่งยากในการกำหนดทิศทางอยู่บ้าง แต่ก็มีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย คือทั้งพื้น, ผนัง และหลังคา ที่เราต้องการเพียงการถ่ายน้ำหนักบรรทุก โดยไม่ต้องโมเดลวัตถุเข้าไปจริงๆ แต่ต้องไม่ลืมใส่น้ำหนักบรรทุก DEAD ของพื้น, ผนัง และ หลังคาเข้าไปด้วย

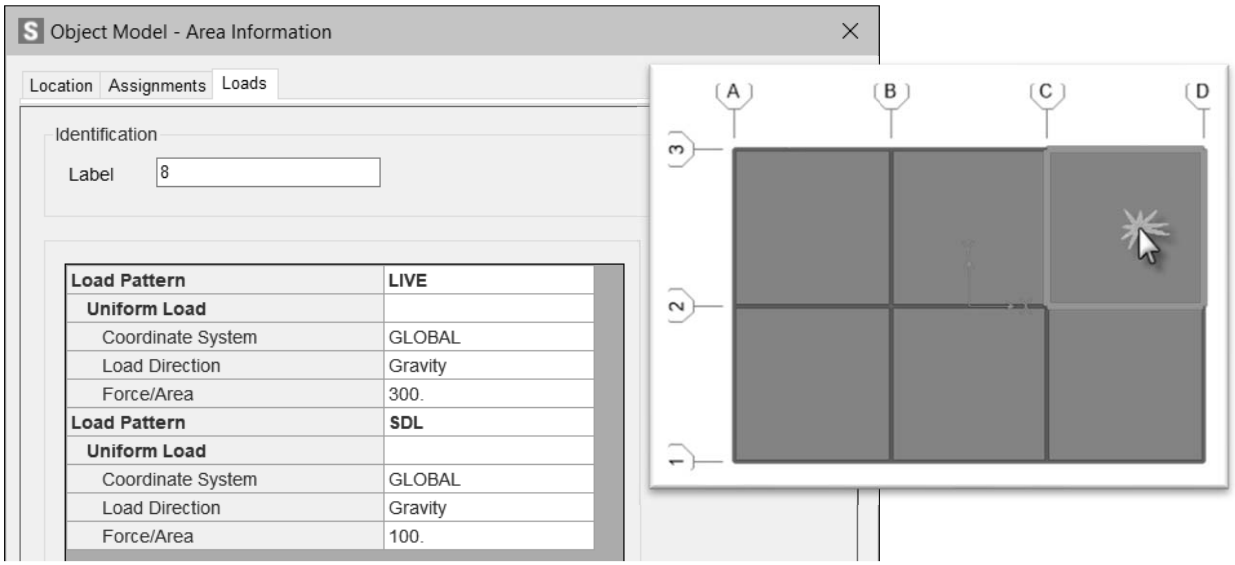
TUMCIVIL.COM

- สั่งเมนู File > Save เพื่อบันทึกข้อมูล
- สั่งเมนู File > Open เปิดไฟล์เดิม EX4 Simple RC แล้วสั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อว่า EX4 Simple RC2



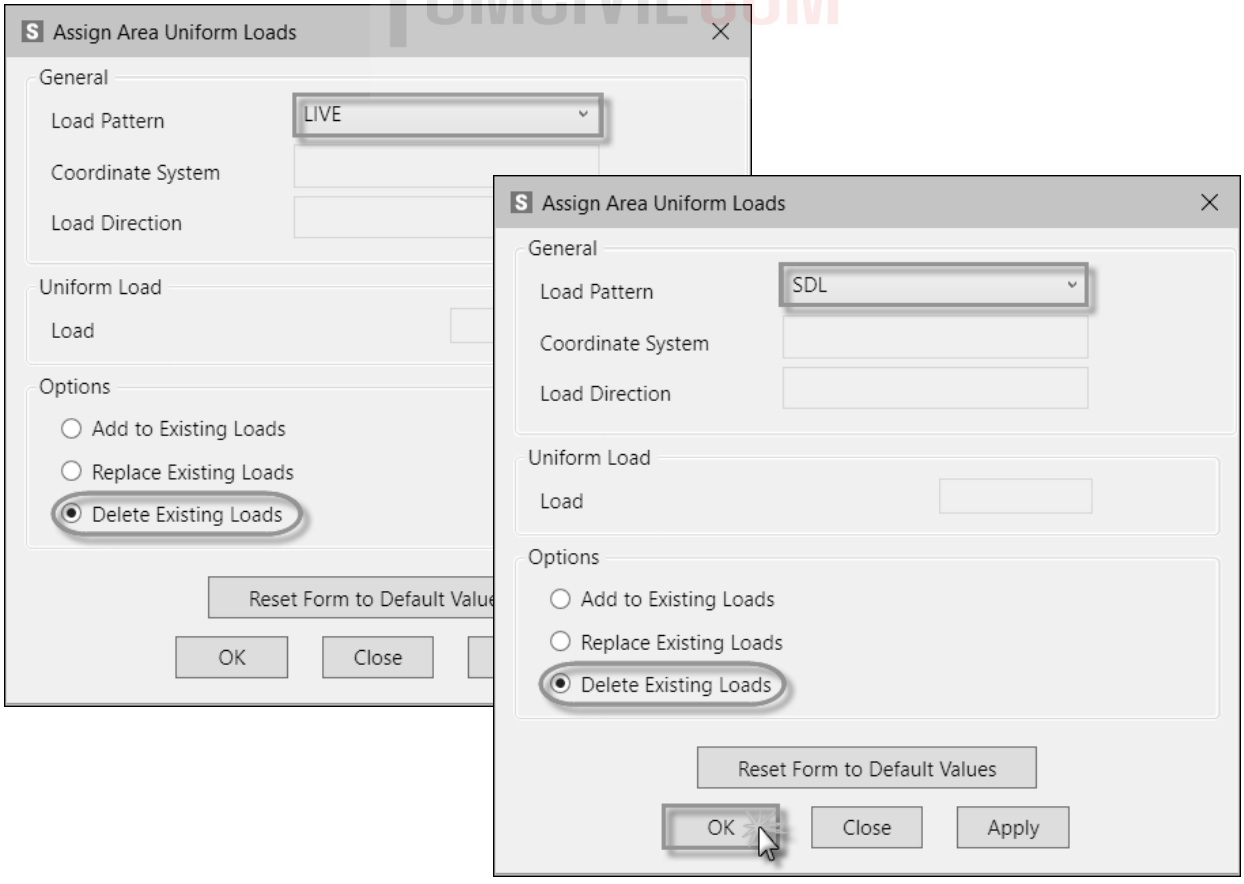
- สั่งเมนู Select > Select > Properties > Area Section เลือกพื้น S1

- สั่งเมนู Assign > Area > Sections เลือกเปลี่ยนเป็นพื้น None
- ลองคลิกขวาที่พื้นจะเห็นว่าน้ำหนักบรรทุกยังคงอยู่คือ LIVE และ SDL ซึ่งเราจะเอาออกแล้วเปลี่ยนเป็นน้ำหนัก Uniform to Frame



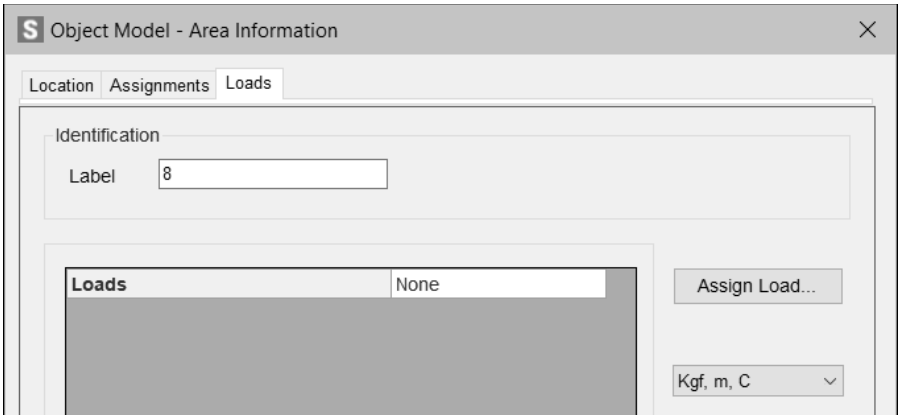
- คลิกปุ่ม หรือกด Ctrl+J เพื่อเลือกพื้นทั้งหมดอีกครั้ง สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform เลือกน้ำหนัก LIVE และ Delete Existing Loads

UMCIVIL.COM

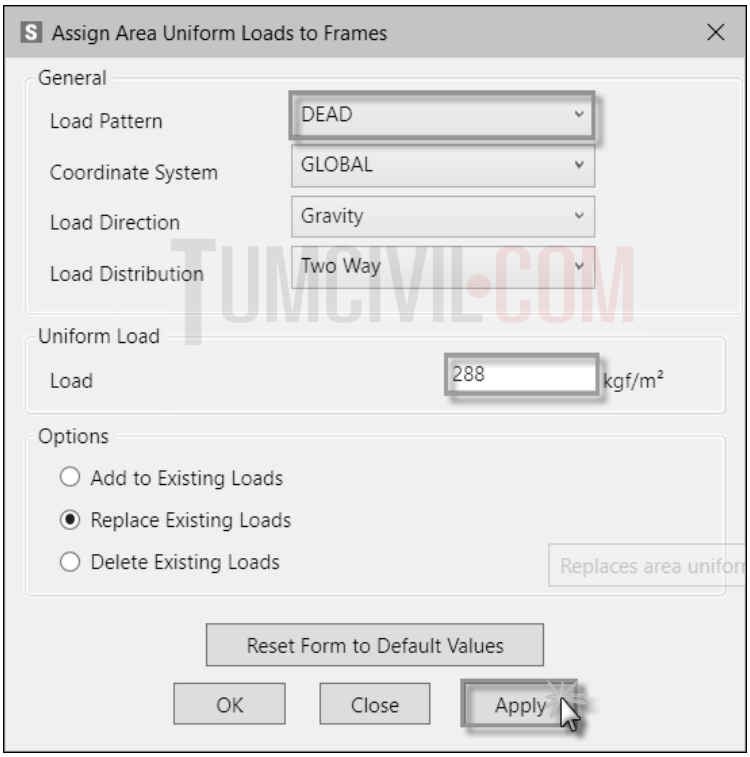


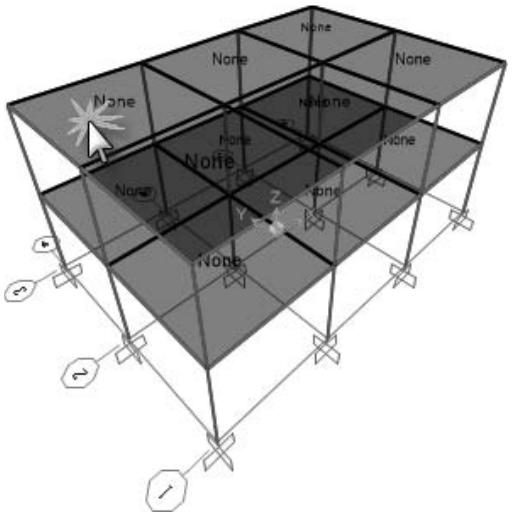
- ทำเช่นเดิมเพื่อเอาน้ำหนักน้ำหนัก SDL ออก

- คลิกขวาที่พื้นเพื่อตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกว่าไม่มีเหลือแล้ว



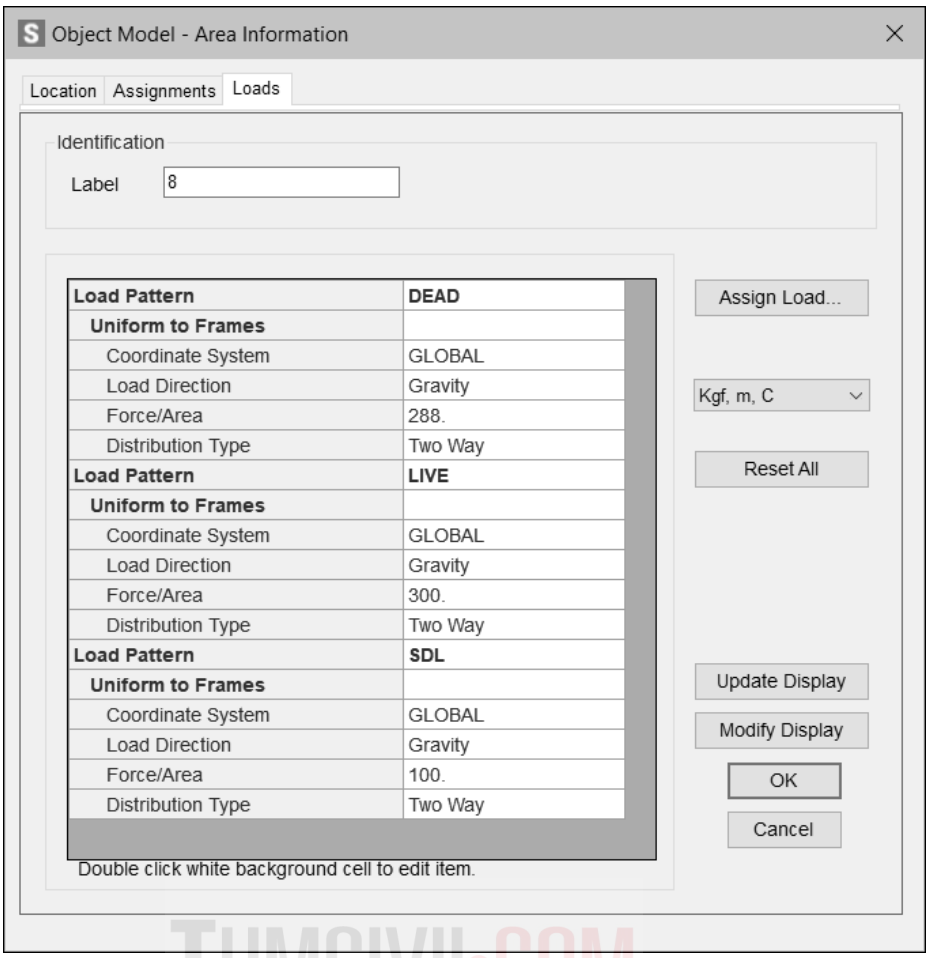
- คลิกปุ่ม เพื่อเลือกพื้นทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform to Frame เลือกน้ำหนัก DEAD ใส่น้ำหนักเท่ากับน้ำหนักพื้น S1 คือ 0.12x2400 = 288 กก./ม.^{2}





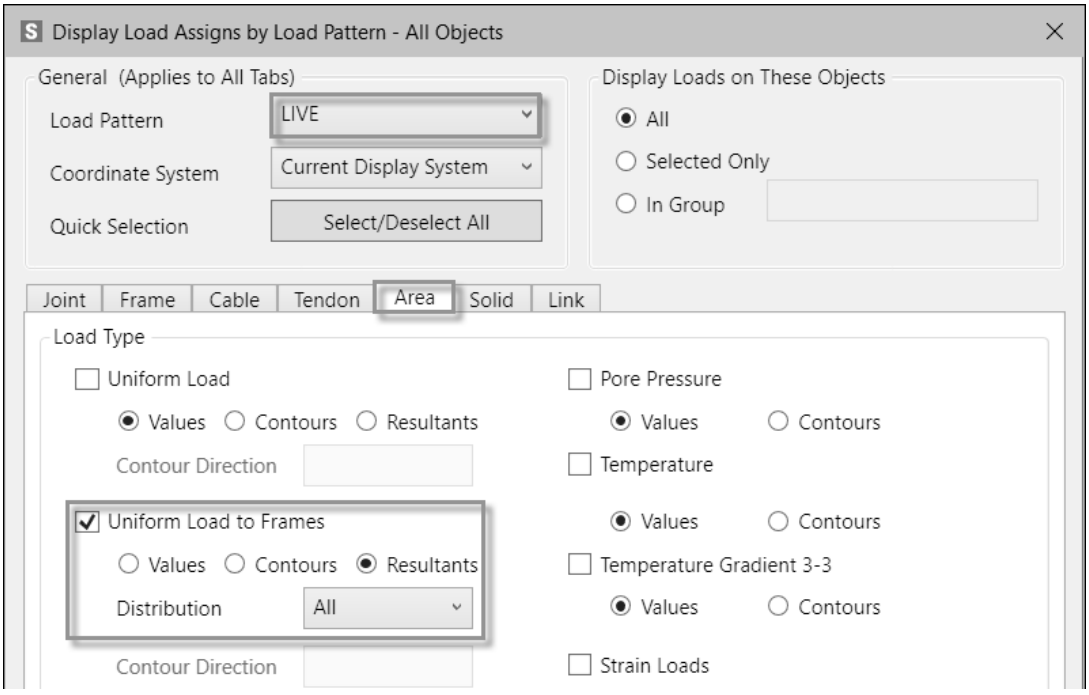
- โดยวิธีการเดิมใส่น้ำหนัก Uniform to Frame สำหรับน้ำหนัก LIVE = 300 กก./ม.^{2} และ SDL = 100 กก./ม.^{2} ใช้การกระจายแบบ Two-Way

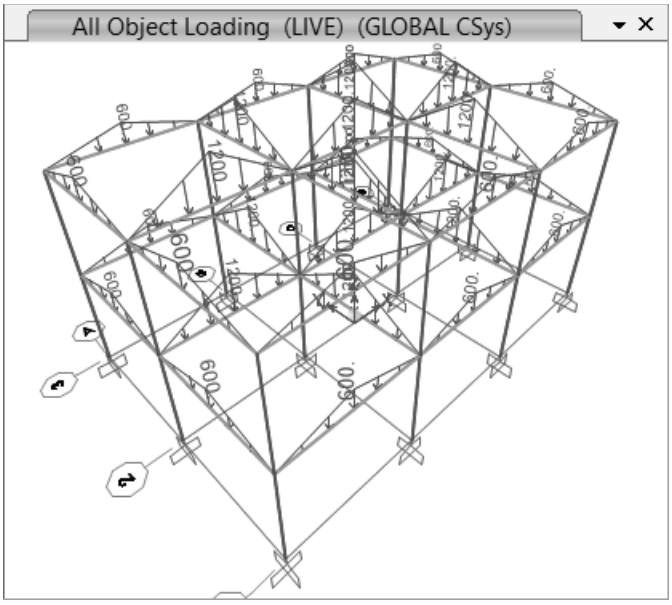
- คลิกขวาที่พื้นเพื่อตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกจะได้ดังในรูป คือมีน้ำหนัก DEAD, LIVE และ SDL



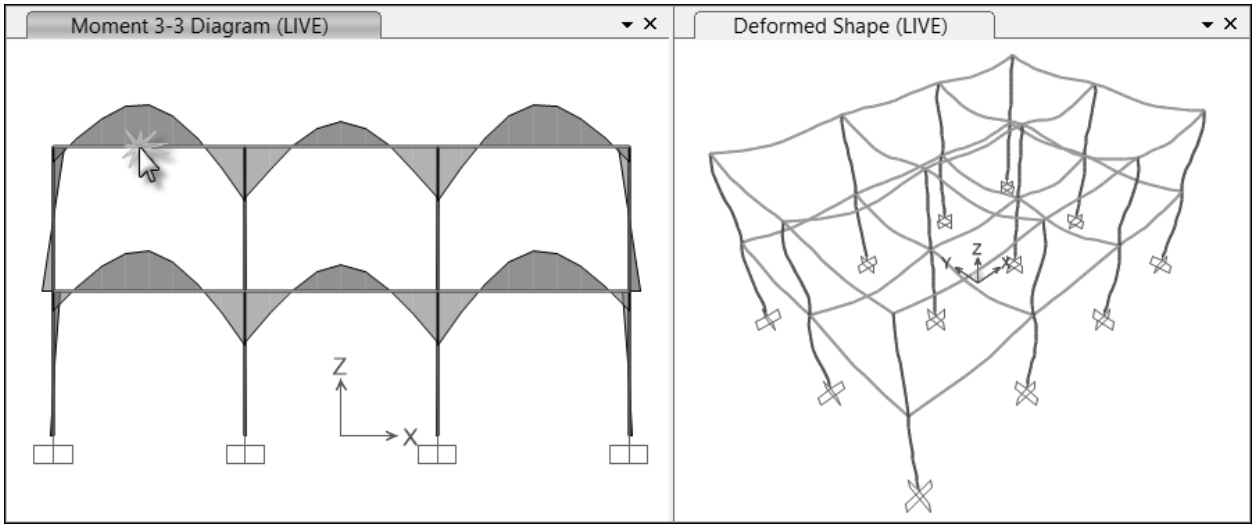
TUMCIVIL.COM

- คลิกหน้าต่าง 3-D View คลิกปุ่ม ปิดการแสดงพื้น สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Load Pattern...
- เลือกกรณีบรรทุก LIVE คลิกแถบ Area เลือกให้แสดง Uniform Load to Frame > Resultants

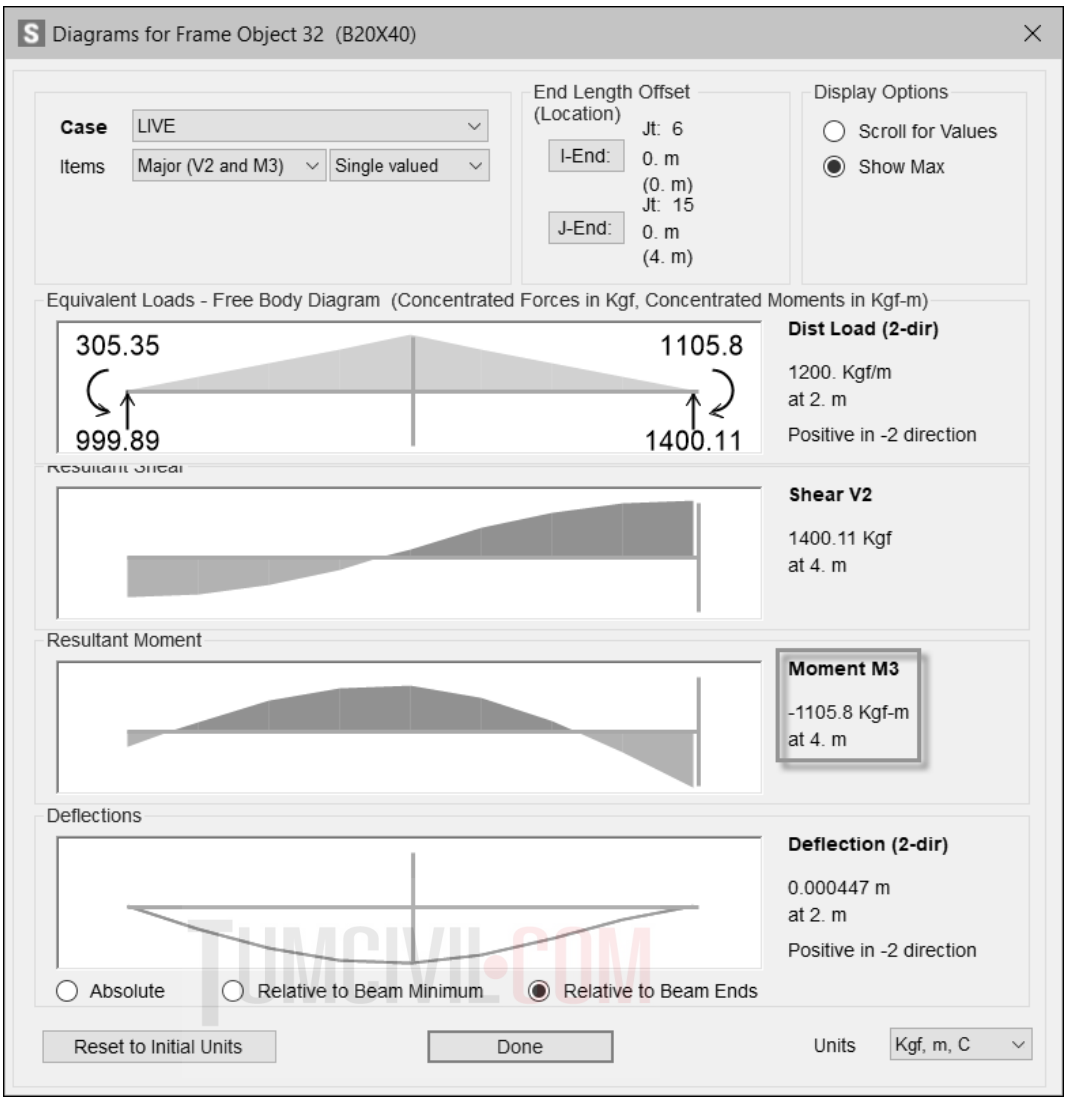




- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- คลิกหน้าต่างสามมิติ คลิกปุ่ม ให้แสดงการเสียรูปทรงของน้ำหนัก LIVE
- คลิกหน้าต่างสองมิติ แล้วปรับมุมมองให้แสดงระนาบ X-Z @ Y = 0
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงโมเมนต์ M33 ของน้ำหนัก LIVE
- เลือกเมนู Options > Moment Diagram on Tension Side ปรับการแสดงโมเมนต์



- ในหน้าต่างสองมิติที่ระนาบ X-Z @ Y = 0 คลิกขวาที่คานชั้นบนด้านซ้าย

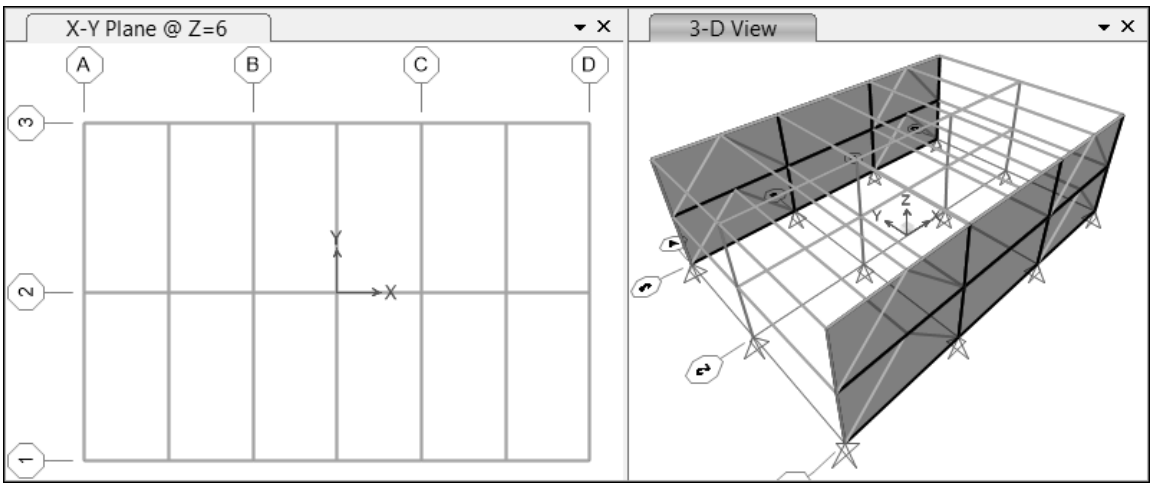


▶ เมื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์มากที่สุดกับการคำนวณมือและพื้นแบบ Shell ในตัวอย่างที่แล้ว

วิธีการคำนวณ	โมเมนต์ดัด (กก.-ม.)
คำนวณมือ	1,280
Shell Element (8 x 8)	1,023
Uniform to Frame	1,106

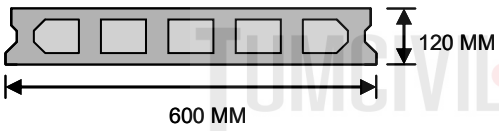
จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการใช้ Uniform to Frame ใกล้เคียงกับการคำนวณมือมากกว่า เนื่องจากการใช้พื้นแบบ Shell นั้น สติฟเนสของพื้นไปช่วยคานในการรับน้ำหนักบางส่วน ทำให้โมเมนต์ในคานมีค่าลดลง

▶ สั่งเมนู File > Open เปิดไฟล์ EX3 Steel Frame ที่เคยสร้างไว้ในบทที่แล้ว



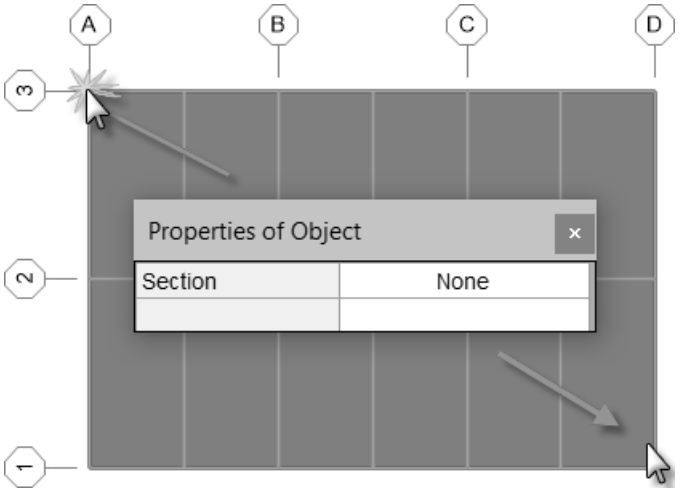
ในตัวอย่างนี้เรายังไม่มีพื้น โดยสมมุติว่าจะใช้พื้นสำเร็จรูปทางเดียววางในทิศทาง X คือ

Hollow Core:	น้ำหนักพื้น	191 กก./ม.^{2}
	คอนกรีตเททับหน้า 5 ซม.	120 กก./ม.^{2}
	รวมน้ำหนัก DEAD	311 กก./ม.^{2}
	น้ำหนัก LIVE	300 กก./ม.^{2}



THAICIVIL.COM

▶ คลิกหน้าต่างสองมิติ X-Y Plane @ Z = 3 กดปุ่ม เลือกพื้นชนิด None แล้วตีกรอบวาดพื้นคลุมพื้นที่ทั้งชั้นดังในรูป

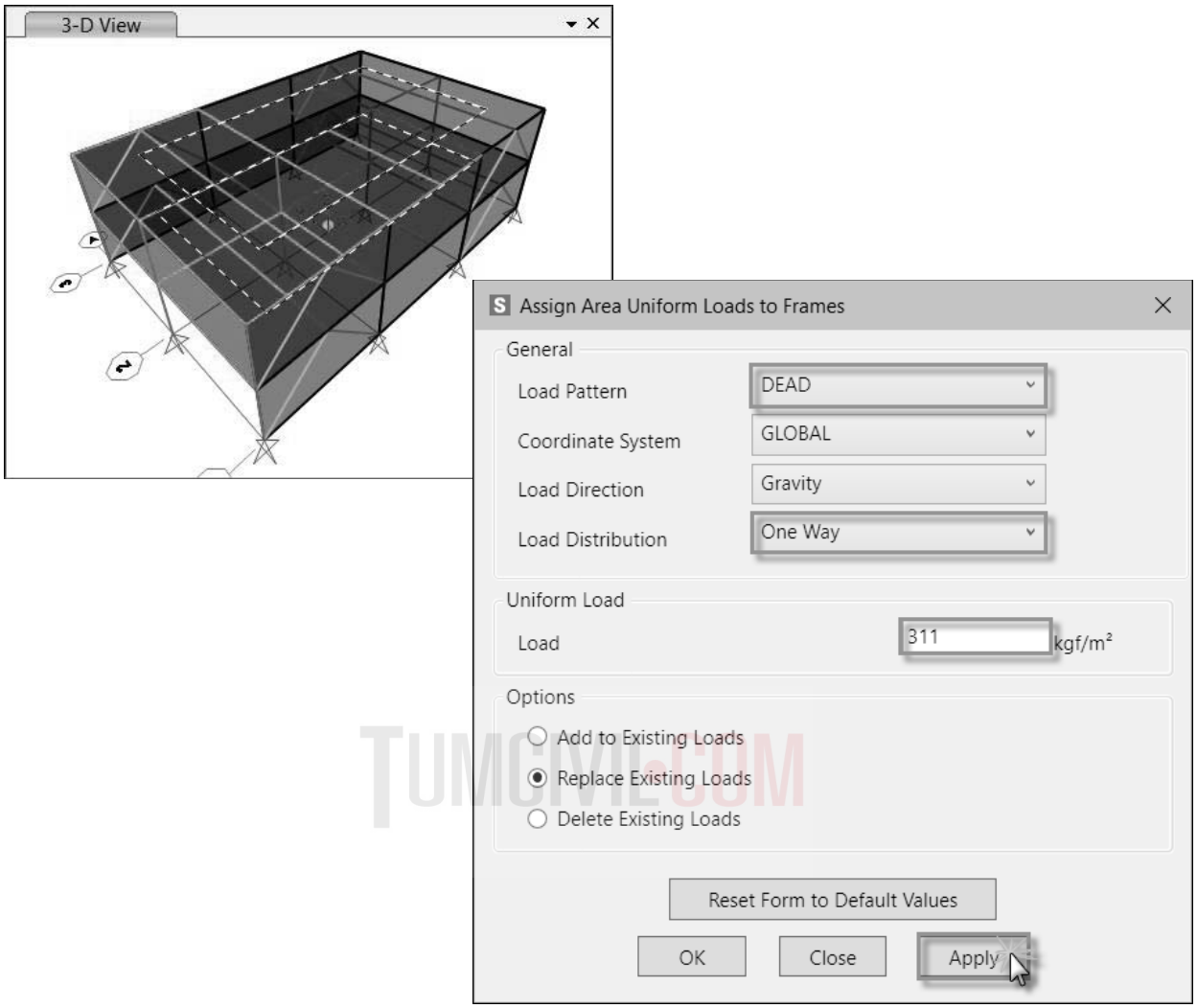


▶ วาดพื้นที่ระดับ X-Y Plane @ Z = 6 โดยวิธีการเดิม

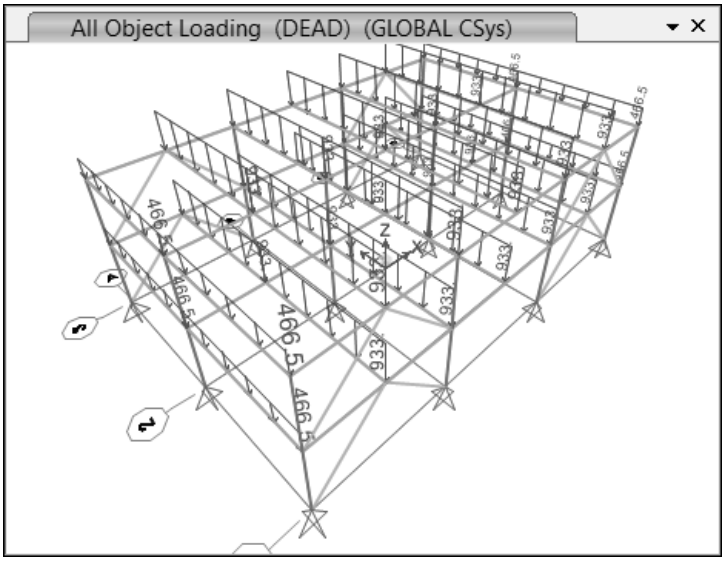
▶ เลือกพื้นทั้งสองชั้น สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform to Frame ใส่ค่าน้ำหนัก DEAD แล้วทำอีกครั้งใส่น้ำหนัก LIVE

DEAD : One-Way = 311 kg/m^2

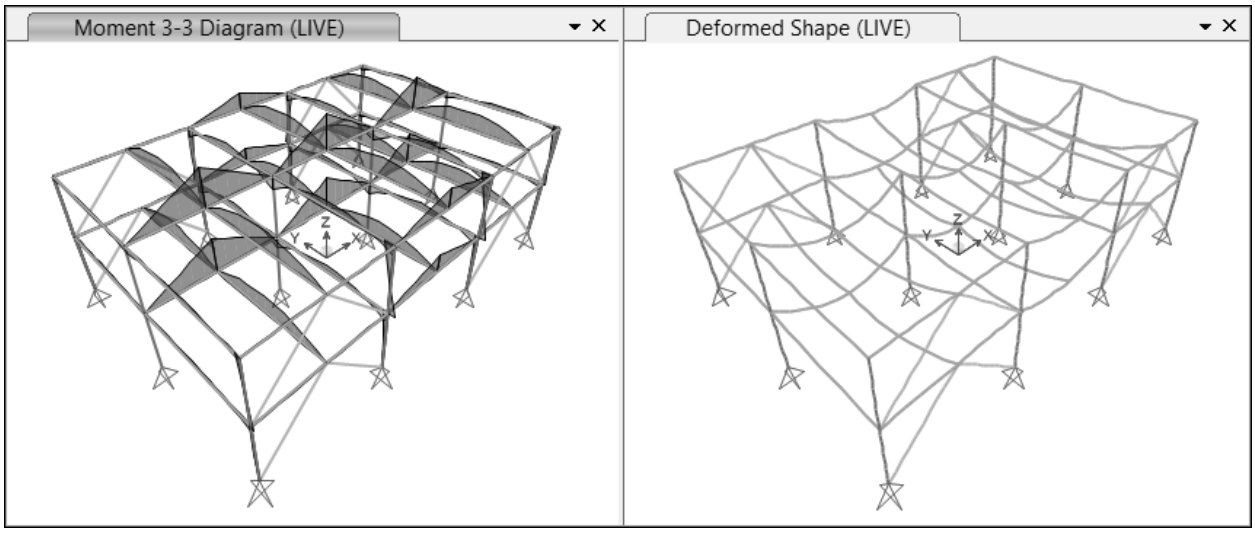
LIVE : One-Way = 300 kg/m^2



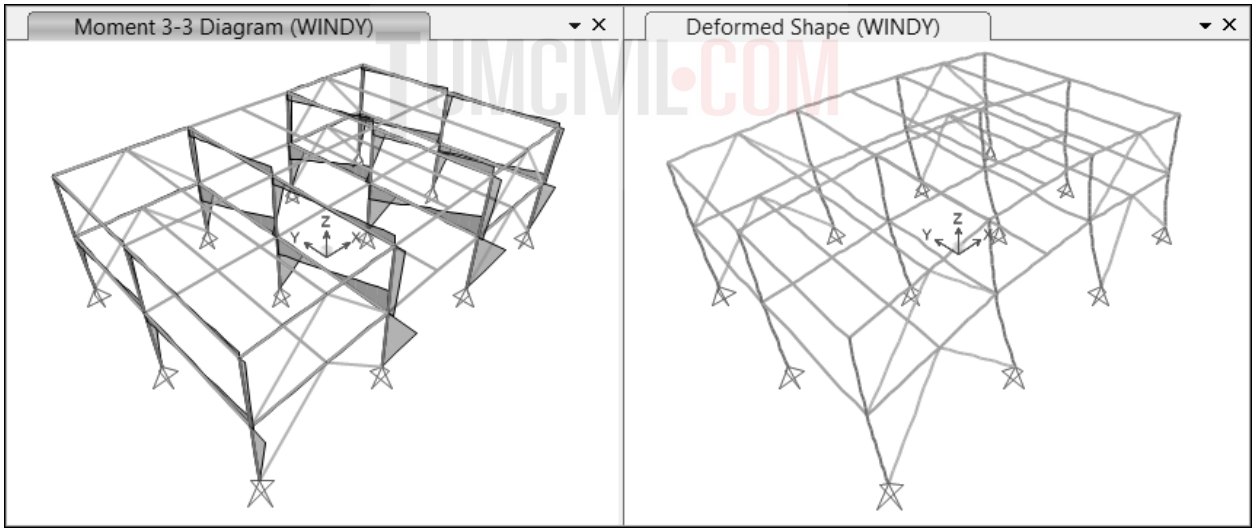
- เลือกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Load Pattern...
- เลือกกรณีบรรทุก DEAD คลิกแถบ Area เลือก Uniform Load to Frame > Resultants



- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- ดูการแสดงผลของการเสียรูปทรงและโมเมนต์ดัดของกรณี LIVE จะได้ดังในรูป



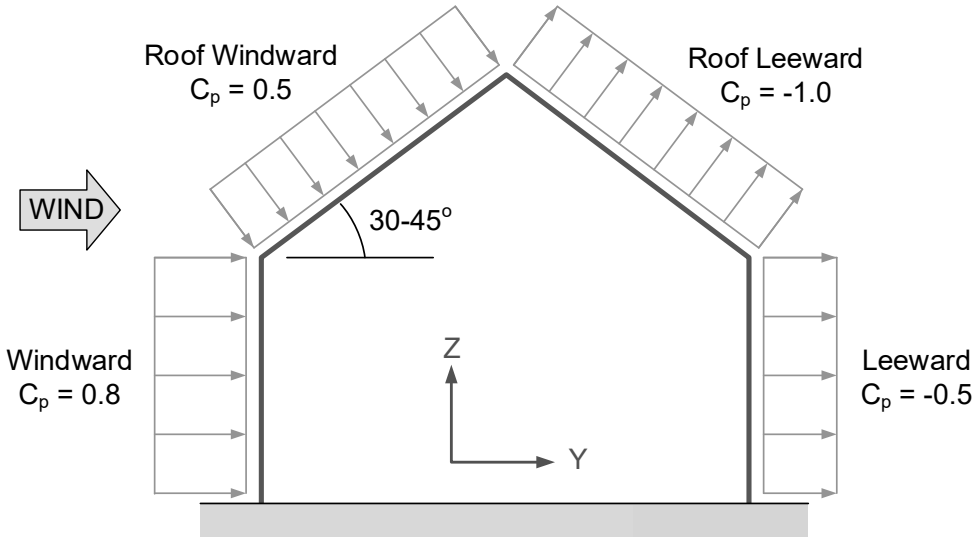
- ดูการแสดงผลของการเสียรูปทรงและโมเมนต์ดัดของกรณี WINDY จะได้ดังในรูป



- สั่งเมนู File > Save บันทึกไฟล์ EX3 Steel Frame เพื่อใช้ในบทต่อไป

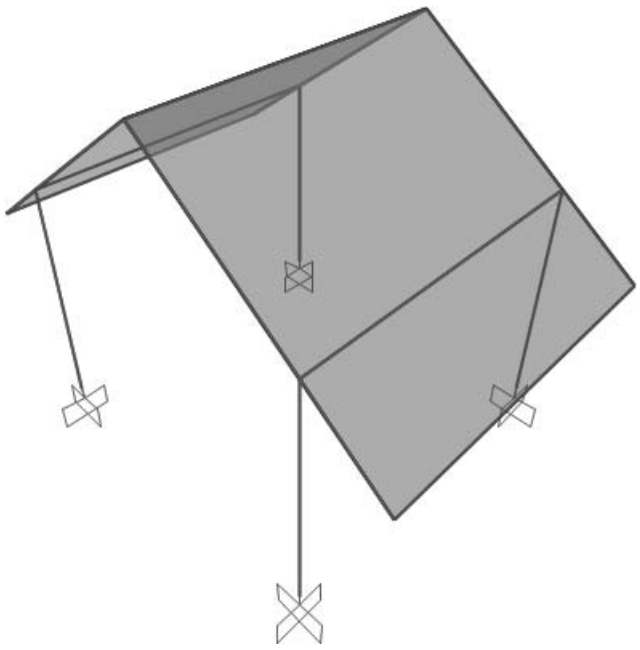
แรงกระทำบนหลังคา

แรงกระทำบนหลังคาที่มีความลาดเอียงได้แก่น้ำหนักโครงหลังคา, วัสดุมุง และน้ำหนักจรซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกโน้มถ่วงในทิศทางดิ่งลง และแรงลมที่ทำให้เกิดแรงดันซึ่งจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวหลังคา สำหรับมุมเอียง 0 ถึง 20 องศาแรงดันจะเป็นลบคือยกขึ้นทั้งสองด้าน สำหรับมุม 30 ถึง 45 องศาด้านปะทะลมแรงดันจะเป็นบวก ส่วนด้านหลบลมแรงดันจะเป็นลบ(แรงดูด)ดังในรูป



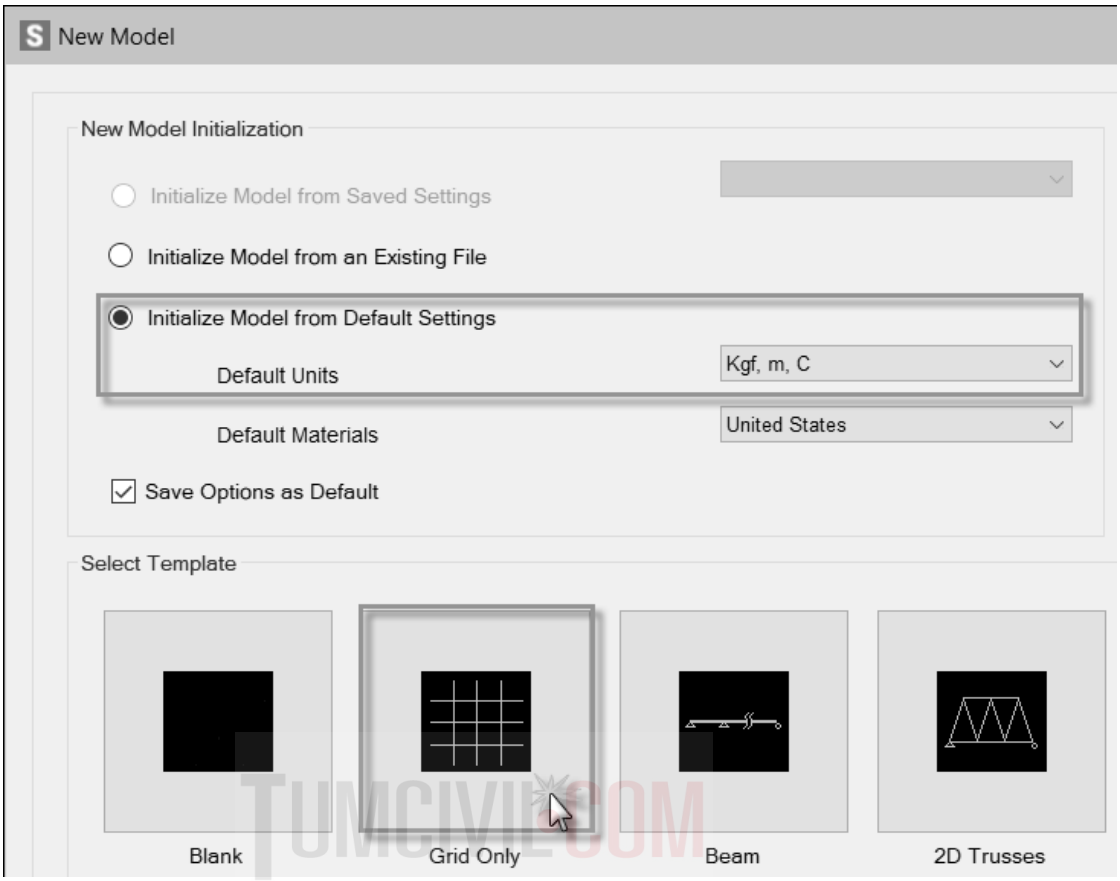
TUMCIVIL.COM

ในตัวอย่างต่อไปนี้จะสาธิตการใส่น้ำหนักบรรทุกลงบนหลังคาโดยมีทั้งน้ำหนักบรรทุกโน้มถ่วงในแนวดิ่งและแรงดันลมในทิศทางตั้งฉากผิวหลังคาโดยใช้พื้นผิวหนังคาแบบ None แล้วใส่น้ำหนักแบบ Uniform to frame สำหรับน้ำหนักโน้มถ่วง และใส่แรงลมแบบสัมประสิทธิ์แรงดัน

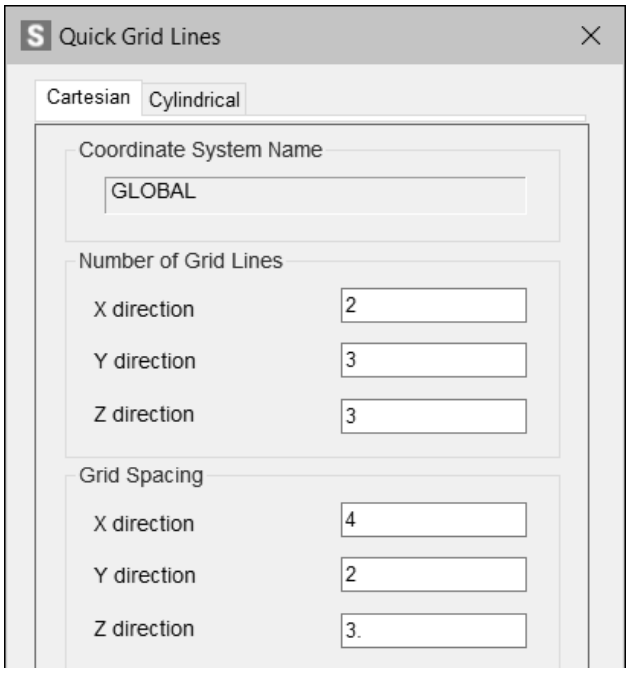


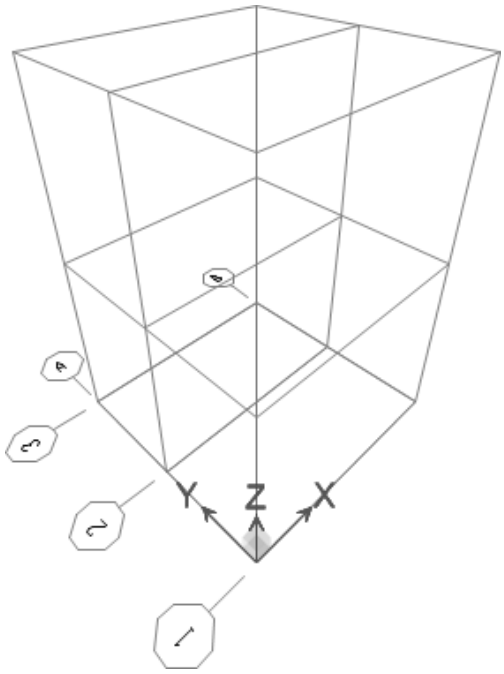
▶ เริ่มต้น SAP2000 ใช้หน่วย Kgf, m, C สร้างโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N

- ในหน้าต่าง New Model เลือก Initialize Model from Defaults with Units > Kgf, m, C และ Grid Only ดังในรูป



- กำหนดจำนวนและระยะห่างเส้นกริดในแต่ละทิศทาง





- คลิกขวาในพื้นที่ว่าง เลือกรายการ Edit Grid Data คลิกปุ่ม Modify/Show System...

- ในหน้าต่างข้อมูลกริด คลิกเลือก Display Grids as > Spacing ปรับระยะห่างเส้นกริด Z2 จาก 3 มาเป็น 1.5

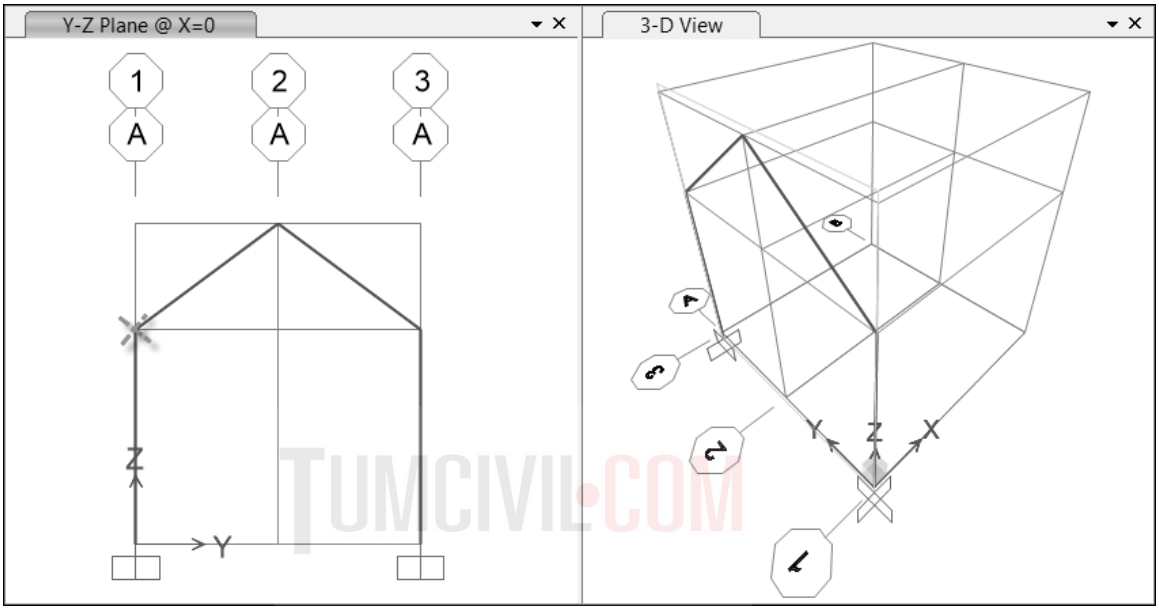
Z Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc
Z1	3	Primary	Yes	End
Z2	1.5	Primary	Yes	End
Z3	0	Primary	Yes	End

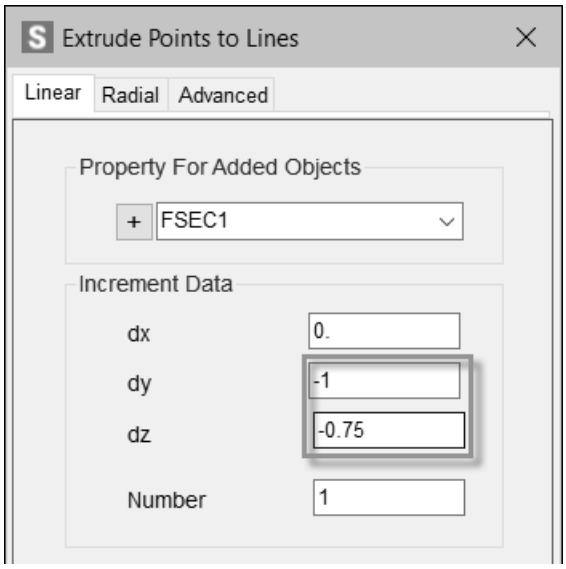
Add

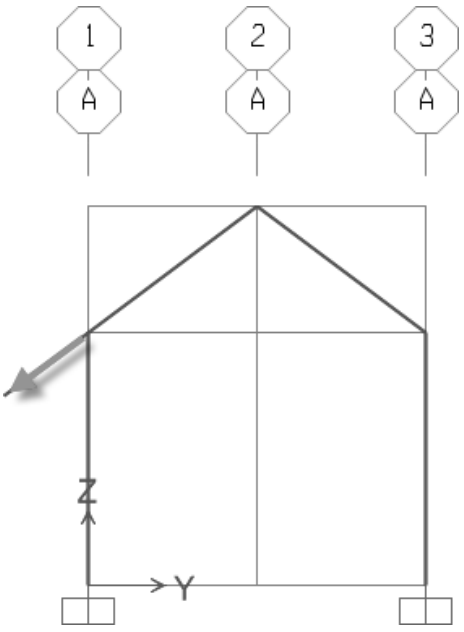
Delete

- ปรับมุมมองเป็นระนาบ Y-Z @ X = 0 แล้ววาดเสาและจันทันและใส่จุดรองรับดังในรูป



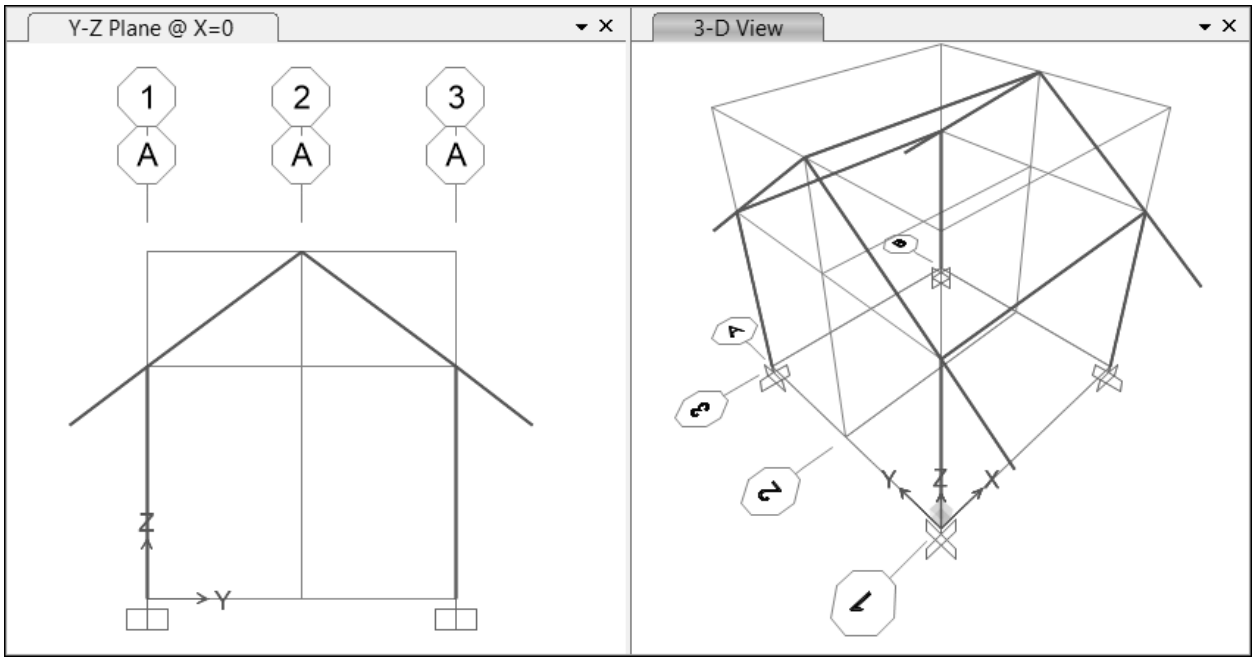
- คลิกจุดปลายบนเสาข้างซ้าย สั่งเมนู Edit > Extrude > Points to Frames ใส่ค่า dy = -1 และ dz = -0.75



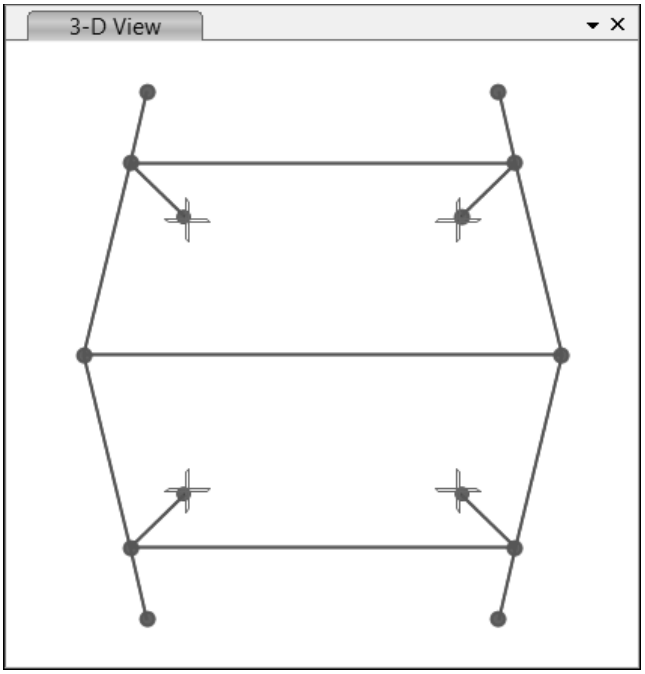


- คลิกจุดปลายบนเสาข้างขวา สั่งเมนู Edit > Extrude > Points to Frames ใส่ค่า dy = 1 และ dz = -0.75

- กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด แล้วกด Ctrl+R ทำซ้ำ โดยใช้ dx = 4 และจำนวน = 1
- ลากเส้นเชื่อมระหว่างโครงทั้งสองจนได้โครงสร้างดังในรูป

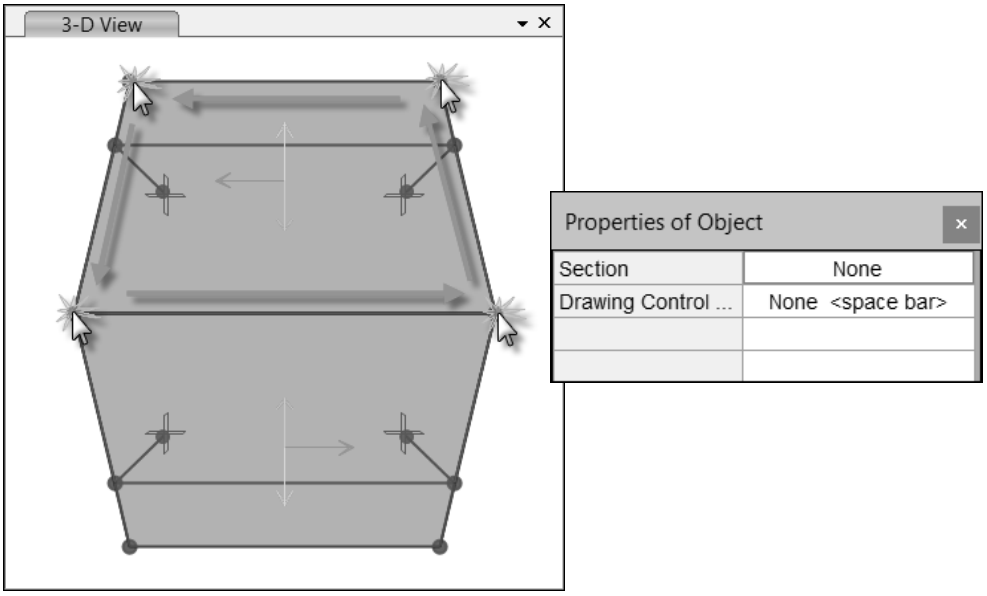


- สั่งเมนู File > Save บันทึกข้อมูล ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX6 Simple Roof
- สั่งเมนู View > Show Grid หรือกด Ctrl+D เพื่อปิดการแสดงเส้นกริด และ View > Show Axes เพื่อปิดการแสดงแกนทิศทาง
- คลิกปุ่ม เลือก Joints > Invisible ออก เพื่อให้แสดงจุดต่อ และเลือก Fill Objects
- สั่งเมนู View > Set 3D View... กดปุ่มให้แสดงมุมมอง xy



TUMCIVIL.COM

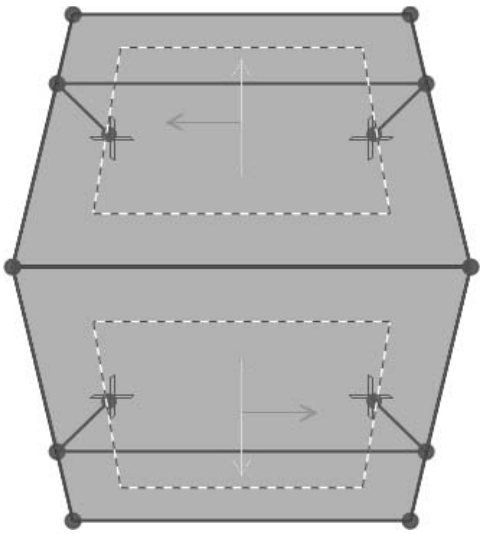
- คลิกปุ่ม เลือกพื้นชนิด None แล้ววาดพื้นหลังคาด้านบนและล่างโดยคลิกตามจุดต่อที่มุมทั้ง 4 วนทวนเข็มนาฬิกา (ดับเบิ้ลคลิกจุดที่ 4) แล้วกด Esc เพื่อออกจากการวาด
- คลิกปุ่ม เลือก Areas > Local Axes เพื่อให้แสดงแกน Loal Axes

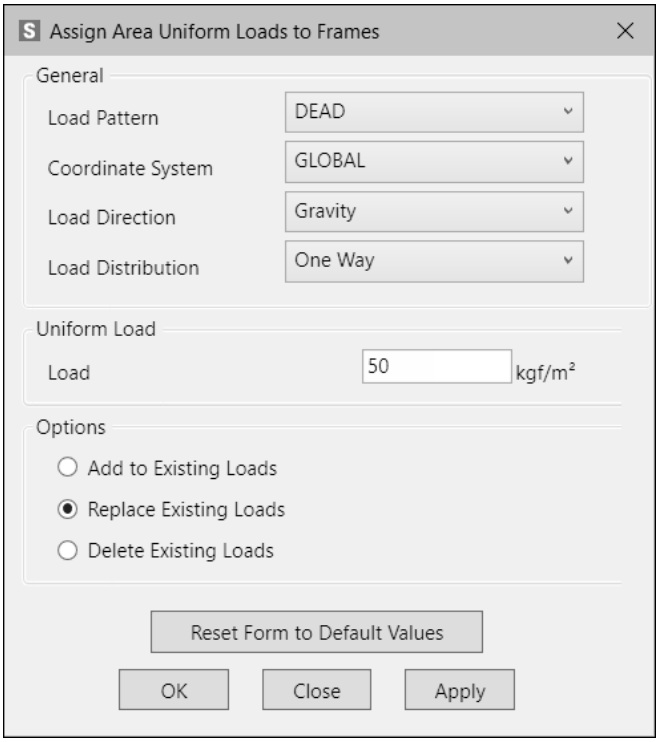


จะเห็นว่าลูกศรสีแดงแกน 1 ของพื้นอยู่ในแนวราบทิศตั้งฉากกับจันทันซึ่งเป็นทิศทางของแปตรงกับที่ต้องการให้ถ่ายน้ำหนัก (ถ้าไม่ตรงให้สั่ง Assign > Area > Local Axes ปรับมุม)

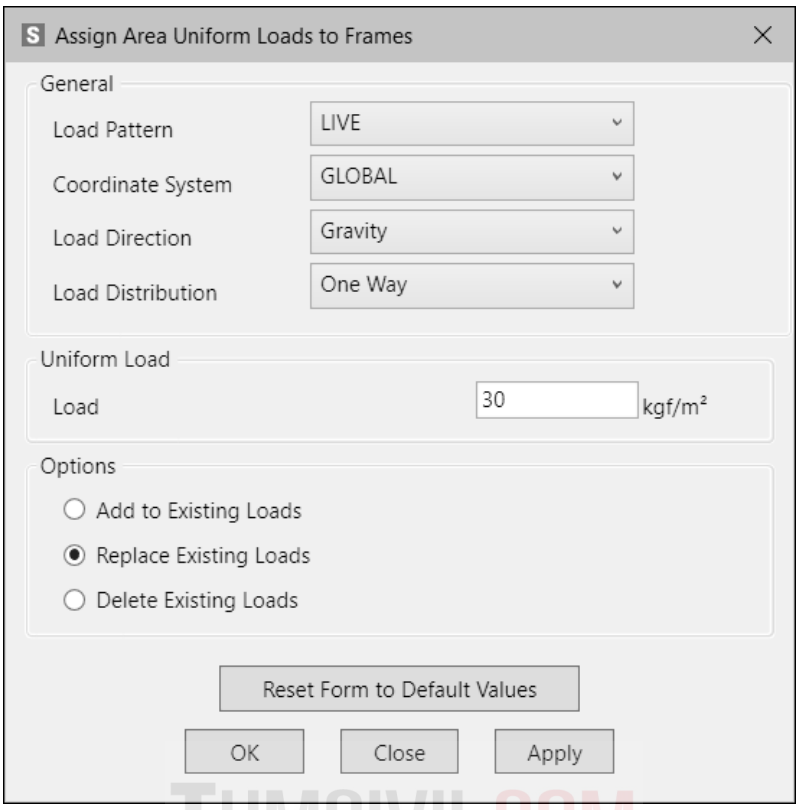
TUMCIVIL.COM

- สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างกรณีบรรทุก LIVE
- คลิกเลือกพื้นหลังคา สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform to Frame เพื่อใส่น้ำหนักบรรทุก DEAD แบบ One-way ขนาด 50 kg/m^2 แล้วกดปุ่ม Apply



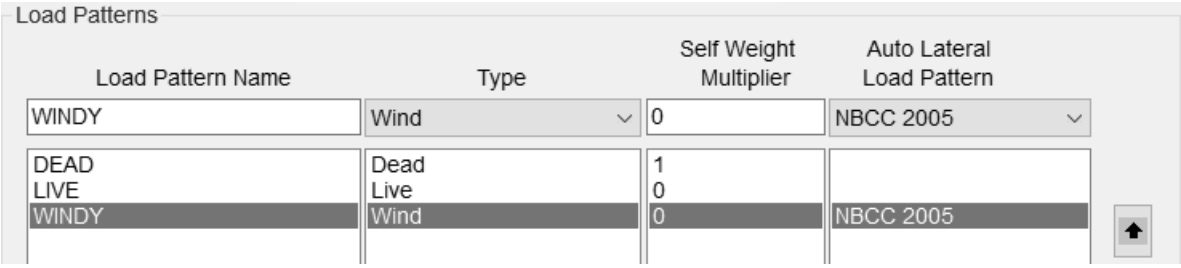


- กด Ctrl+J เลือกพื้นหลังคาอีกครั้ง เลือกกรณีน้ำหนักบรรทุก LIVE แบบ One-way ขนาด 30 kg/m^2 แล้วกดปุ่ม OK

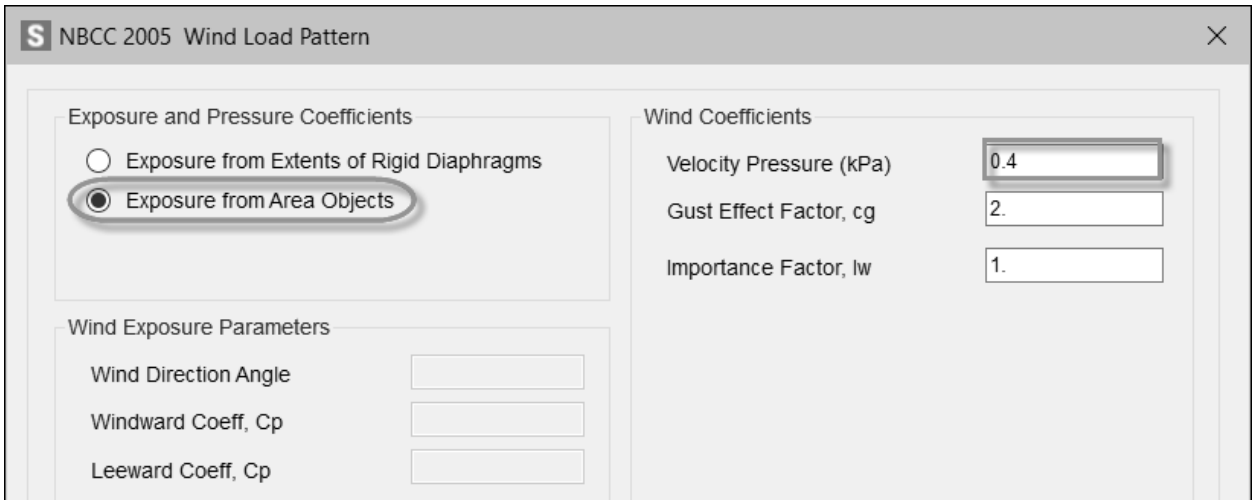


TUMCIVIL.COM

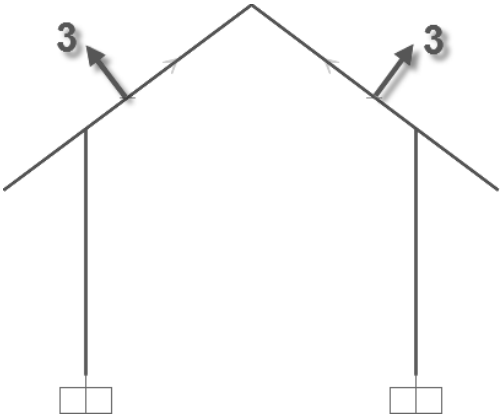
- สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างกรณีบรรทุก WINDY ใช้มาตรฐาน NBCC2005



- คลิกปุ่ม Modify Lateral Load Pattern เลือกแบบ Exposure from Area Objects

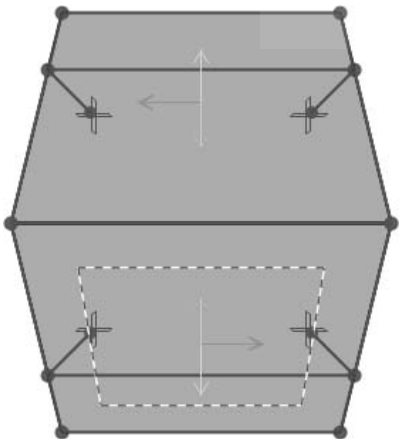


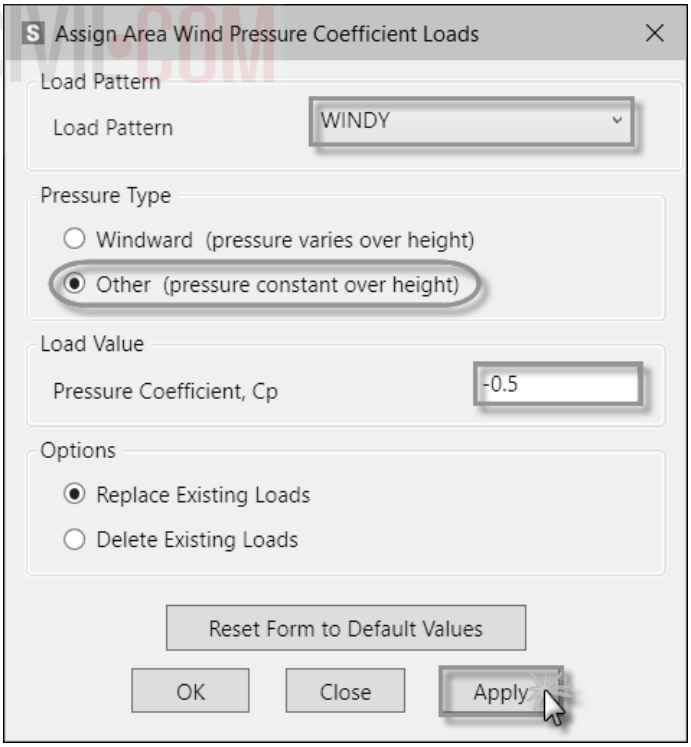
- คลิกหน้าต่างสองมิติ สั่งเมนู View > Set 3D View คลิกปุ่ม YZ แล้วคลิกปุ่ม เลือก Area > Local Axes จะเห็นว่าแกน 3 ลูกศรสีฟ้ามีทิศพุ่งออกทั้งสองด้านของหลังคา



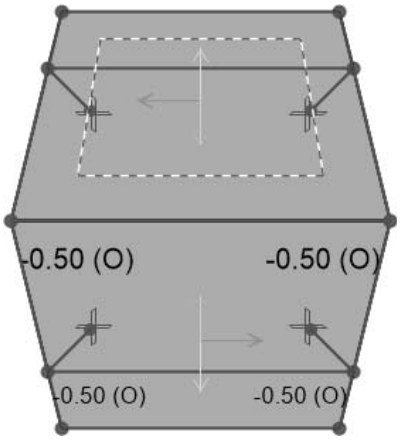
- ในหน้าต่าง 3-D View คลิกเลือกหลังคาด้านล่างซึ่งจะให้เป็นด้านต้านลม (Roof Windward)

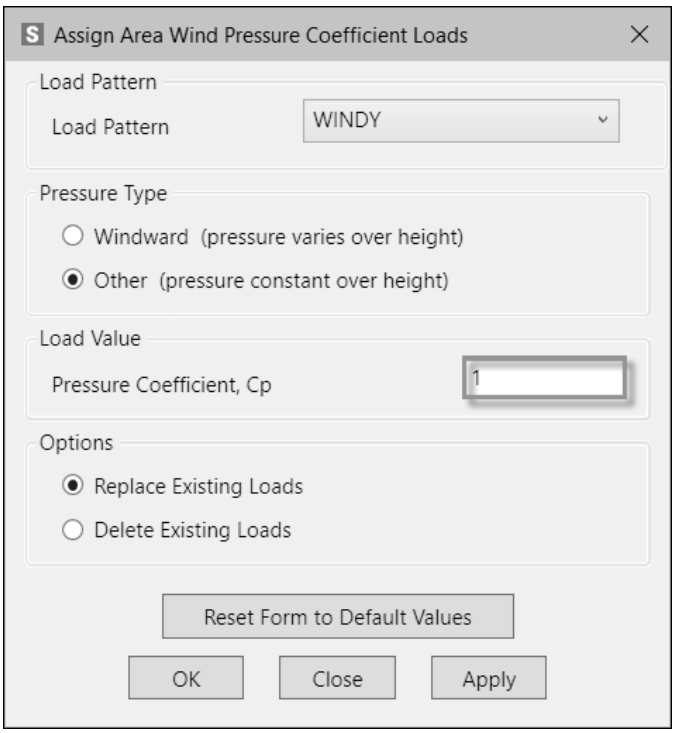
- สั่งเมนู Assign > Area Loads > Wind Pressure Coefficients เลือกกรณีบรรทุก WINDY ใส่ค่า Cp = -0.5 เพื่อให้เป็นแรงดันกดลงสวนทิศกับแกน 3 ของพื้น คลิกปุ่ม Apply





- คลิกเลือกพื้นหลังคาด้านบน เปลี่ยนค่า Cp = 1.0 เป็นบวกเพื่อให้เป็นแรงดันดึงขึ้นตามทิศทางแกน 3 ของพื้นหลังคา แล้วกดปุ่ม OK



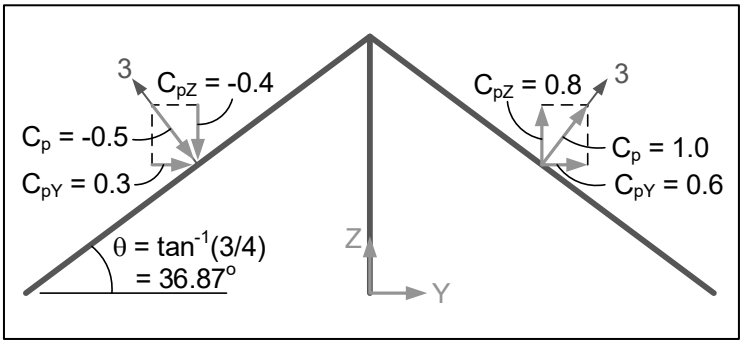


▶ ลองคลิกขวาที่พื้นหลังคาแต่ละด้านเพื่อตรวจสอบทิศทางแรงดันลมในแถบ Load

ด้านต้านลม:

Load Pattern	WINDY
Wind Press Coeff	
Windward	No
Cp	-0.5
Global X Component	0.
Global Y Component	0.3
Global Z Component	-0.4

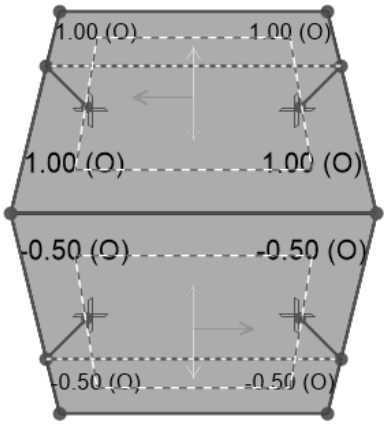
TUMCIVIL.COM

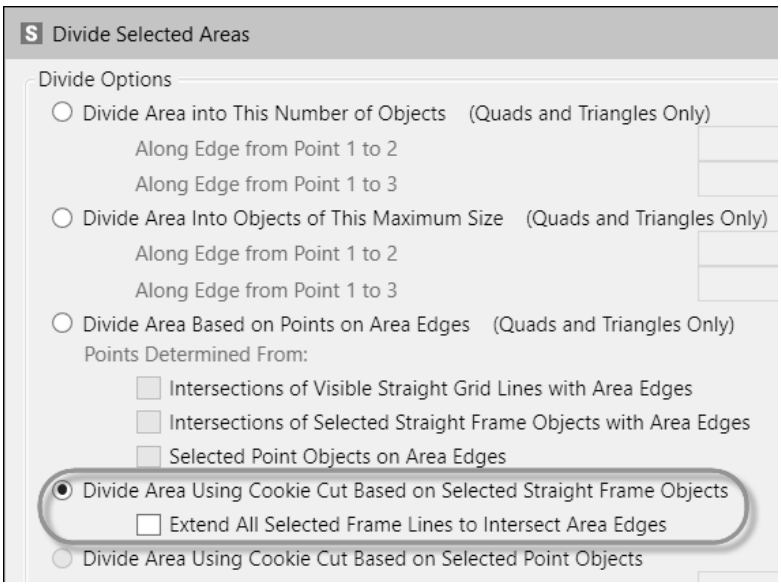


ด้านหลบลม:

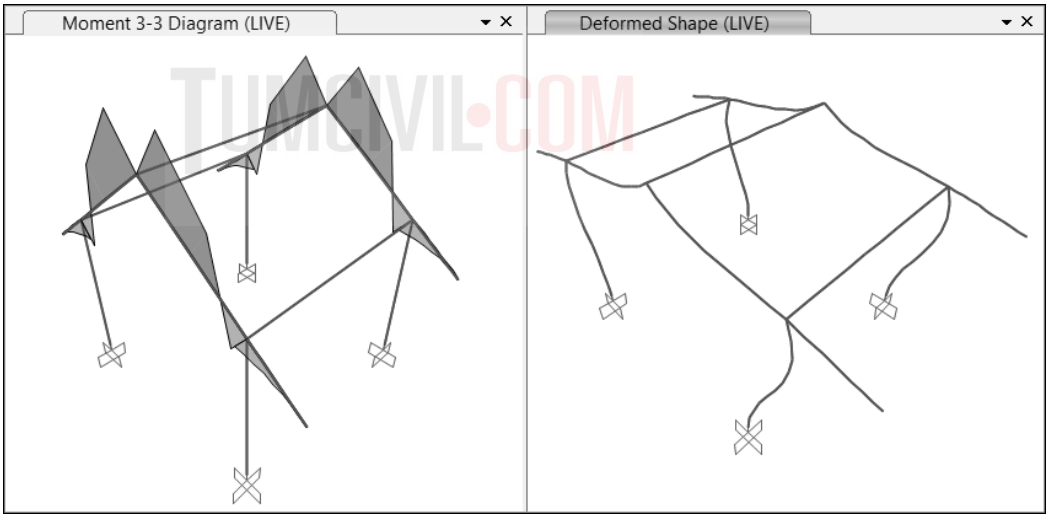
Load Pattern	WINDY
Wind Press Coeff	
Windward	No
Cp	1.
Global X Component	0.
Global Y Component	0.6
Global Z Component	0.8

▶ คลิกเลือกพื้นหลังคาทั้งสองด้านและคานอะเส สั่งเมนู Edit > Edit Areas > Divide Areas เลือกแบ่งพื้นตามเส้นที่เลือก เพื่อให้มีแรงส่งผ่านมุมพื้นมาลงที่จุดต่อหัวเสาและอะเส

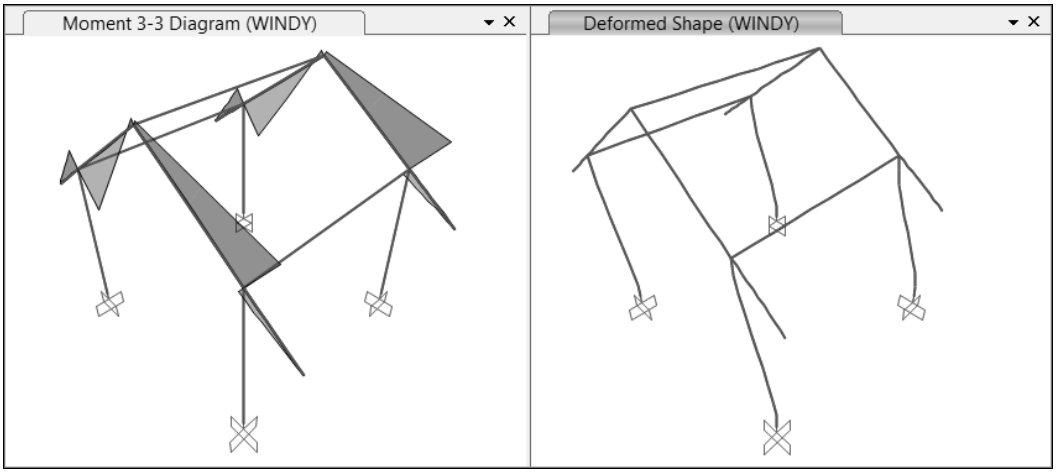




- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- เลือกรายการ MODAL กดปุ่ม Run/Do Not Run Case ให้ไม่รันกรณี MODAL
- ดูการแสดงผลของการเสียรูปทรงและโมเมนต์ดัดของกรณี LIVE จะได้ดังในรูป

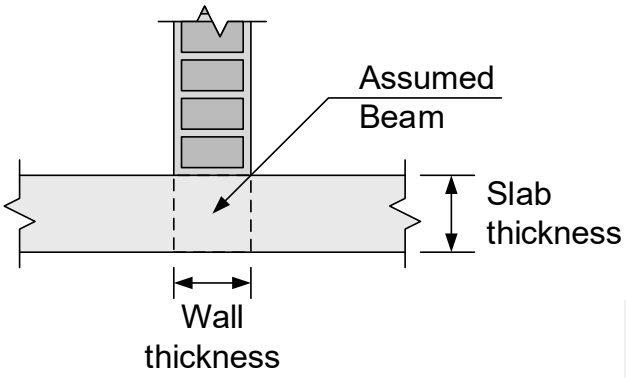


- ดูการแสดงผลของการเสียรูปทรงและโมเมนต์ดัดของกรณี WINDY จะได้ดังในรูป

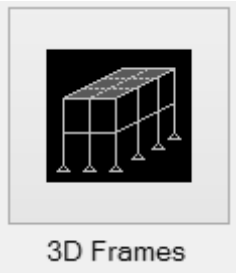


น้ำหนักผนังบนพื้น

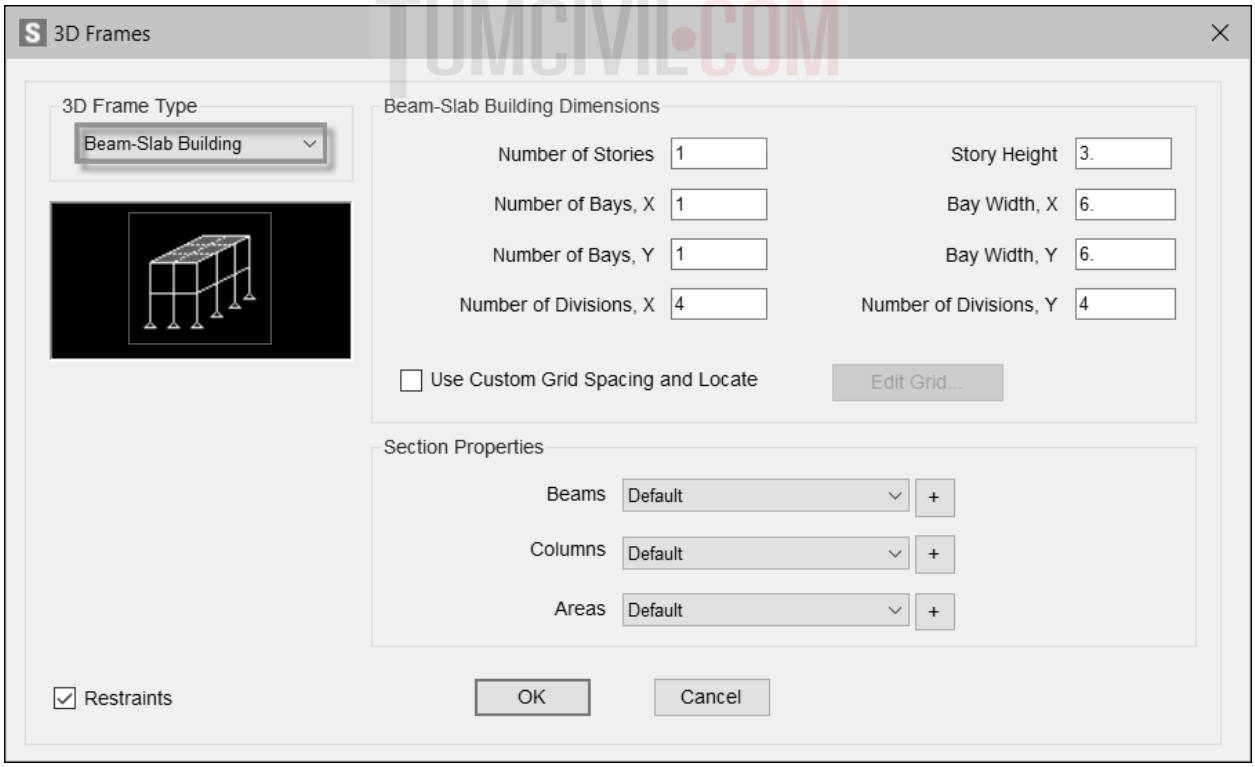
ในกรณีที่มีผนังอิฐก่อวางอยู่บนพื้นโดยที่ไม่มีคานรองรับอยู่ด้านล่าง อาจสมมุติให้ส่วนของพื้นที่อยู่ใต้ผนังทำหน้าที่คานโดยสร้างเป็นคานที่มีหน้าตัดลึกเท่ากับความหนาของพื้นและมีความกว้างเท่ากับความหนาของผนัง



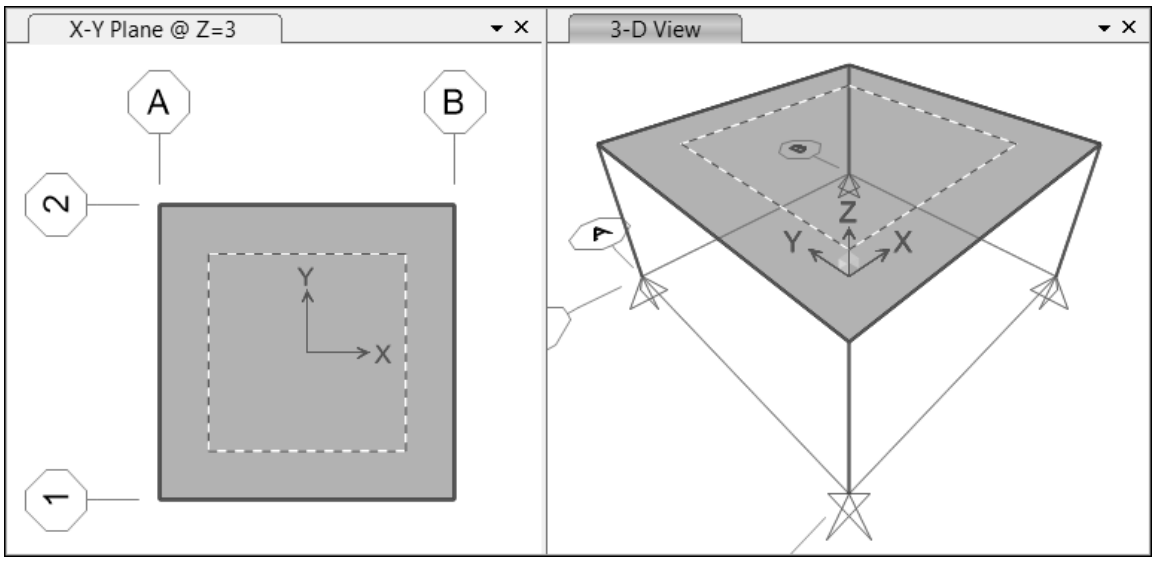
เริ่มต้น SAP2000 ใช้หน่วย Kgf, m, C สร้างโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N



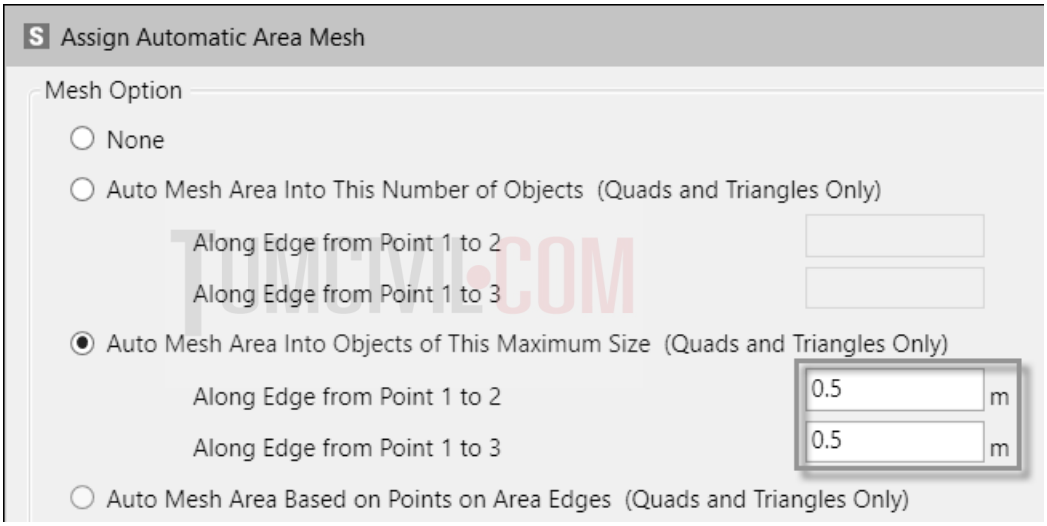
▶ ในหน้าต่าง New Model เลือก 3D Frames กำหนดค่าดังในรูป



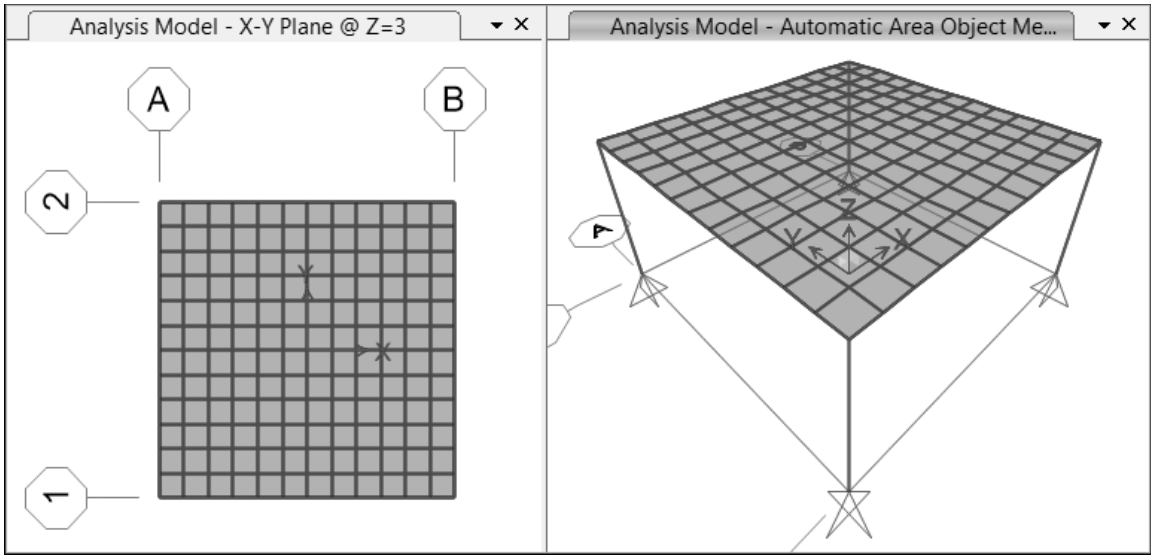
▶ คลิกปุ่ม เลือก Fill Objects และ Apply to All Windows แล้วจัดหน้าต่างดังในรูป



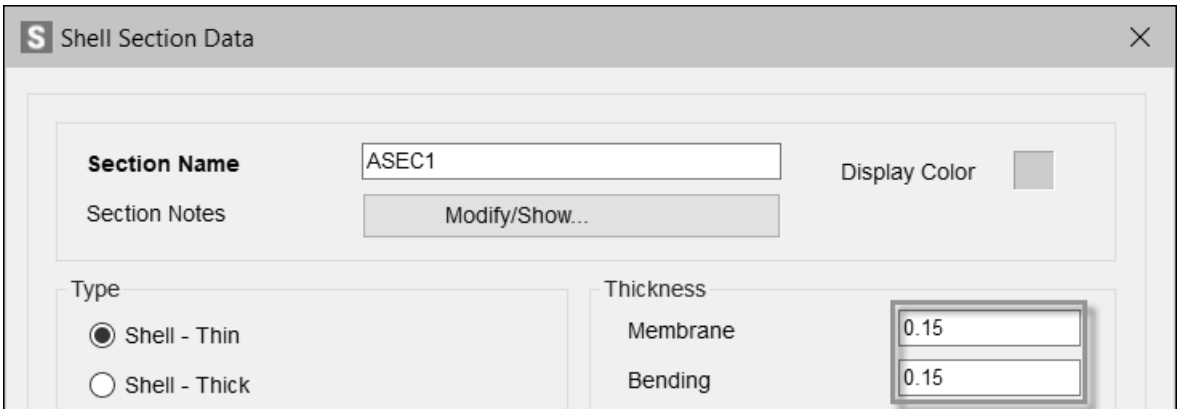
- คลิกเลือกพื้น สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mesh เลือกแบ่งพื้นย่อยขนาด 0.5



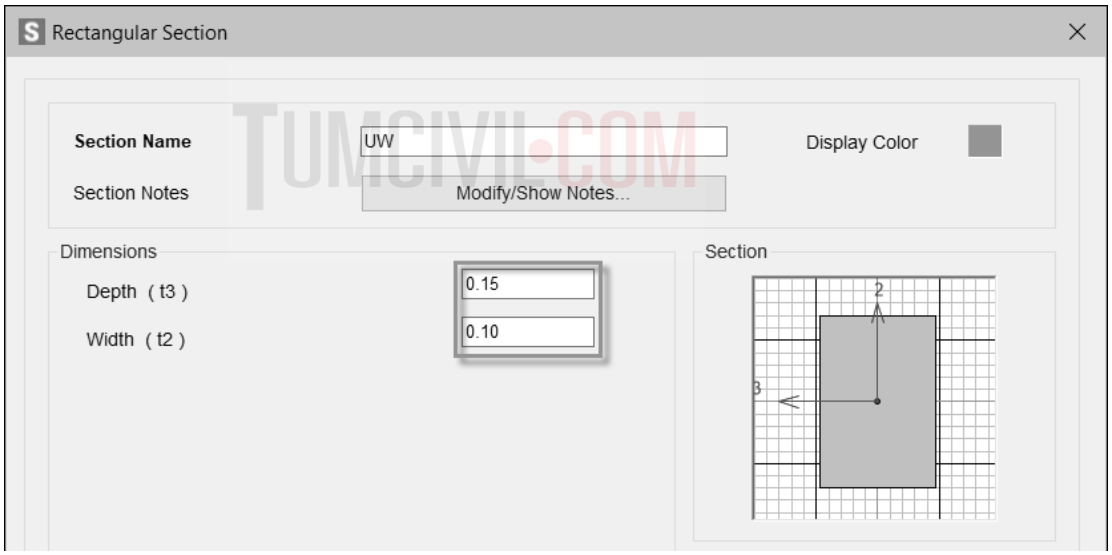
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Show Analysis Model และ Apply to All Windows คลิกปุ่ม Apply เพื่อให้แสดงการแบ่งย่อย เสร็จแล้วปิดการแสดงกลับคืน



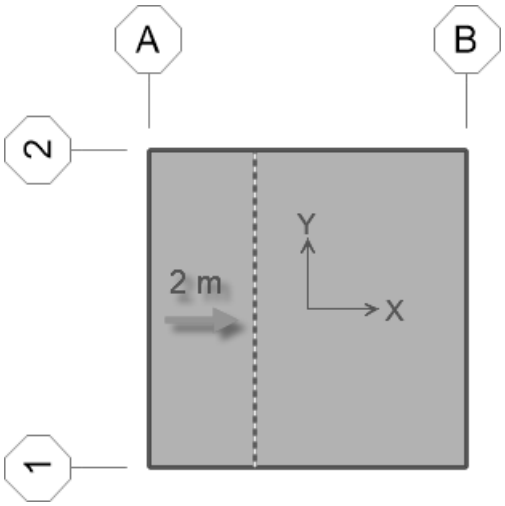
- สั่งเมนู Define > Section Properties > Area Sections... เลือกรายการ ASEC1 แล้วกดปุ่ม Modify/Show Section กำหนดให้มีความหนา 0.15 m



- สั่งเมนู Define > Section Properties > Frame Sections... คลิกปุ่ม Add New Property เลือกเป็นหน้าตัดคอนกรีตสี่เหลี่ยมสร้างเป็นหน้าตัดคาน UW ที่มีความลึก 0.15 m เท่ากับความหนาพื้น และความกว้าง 0.10 m เท่ากับความหนาผนัง

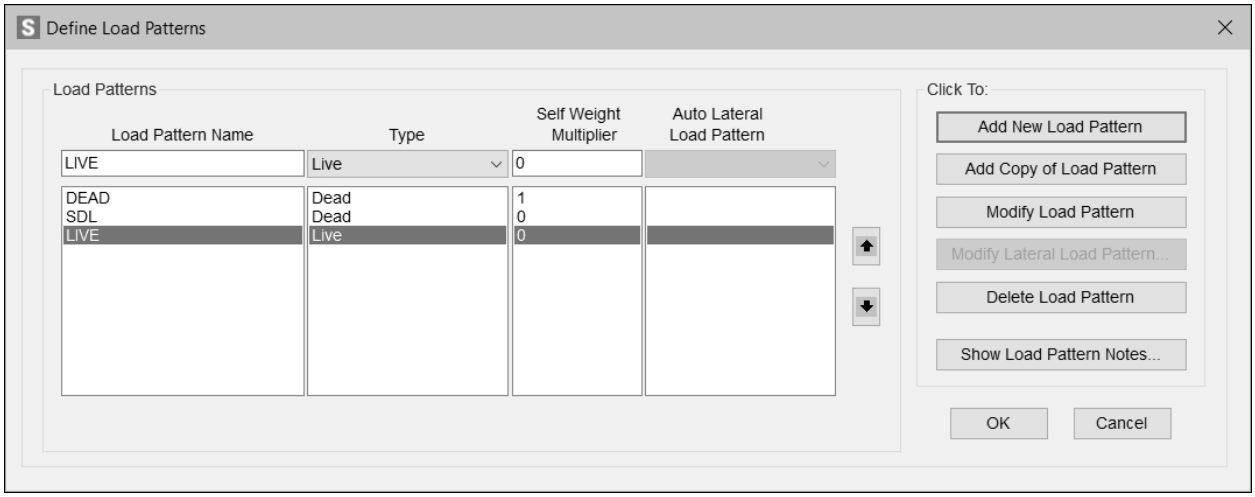


- ในหน้าต่างสองมิติ คลิกเลือกคานแนวดิ่งข้างซ้าย กด Ctrl+R ใส่ระยะ dx = 2 m

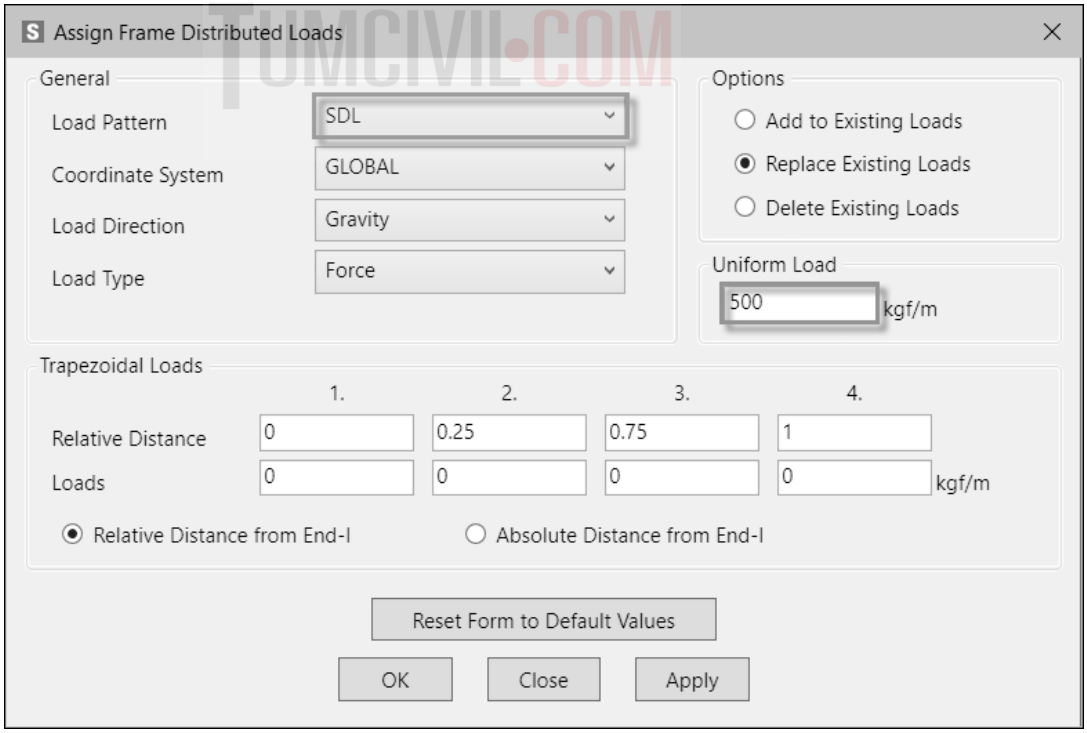


- คลิกเลือกคานที่สร้างขึ้นใหม่ สั่งเมนู Assign > Frame > Frame Sections เลือกกำหนดเป็นหน้าตัด UW

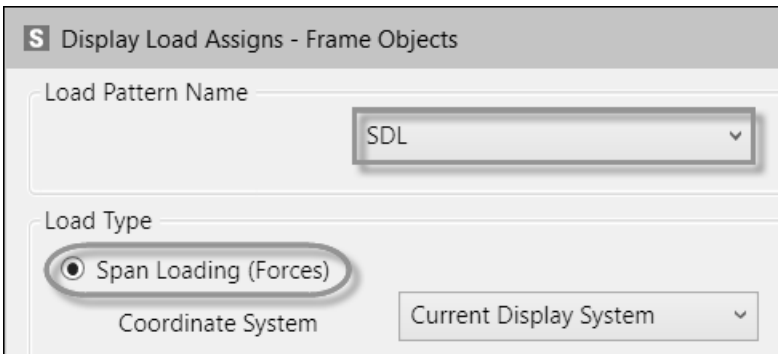
- สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างรูปแบบบรรทุก SDL และ LIVE

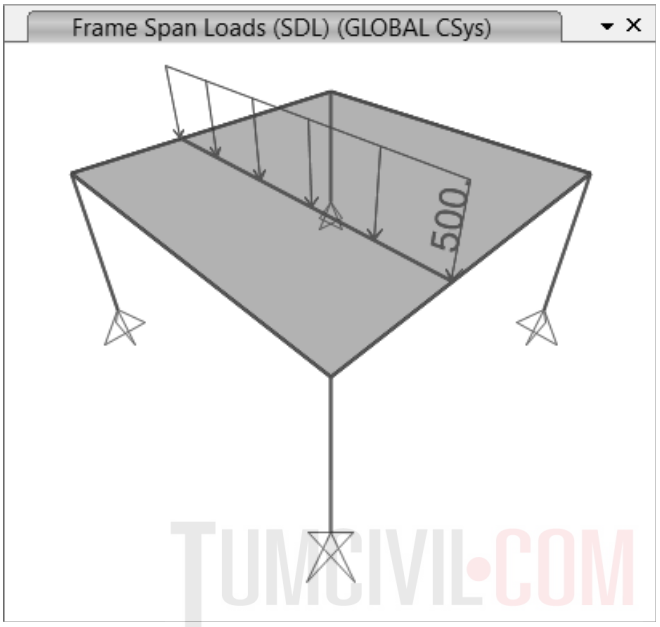


- คลิกเลือกคาน UW สั่งเมนู Assign > Frame Loads > Distributed เลือกกรณีบรรทุก SDL ใส่น้ำหนักแผ่คงที่ 500 กก./ม.



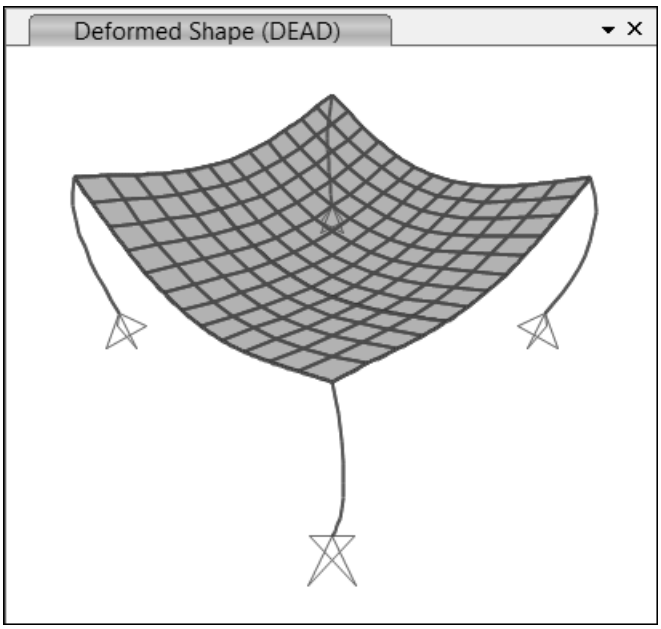
- คลิกหน้าต่างสามมิติ สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Frame เลือกกรณีบรรทุก SDL ให้แสดงน้ำหนักแบบ Span Loading (Forces) แล้วกดปุ่ม OK



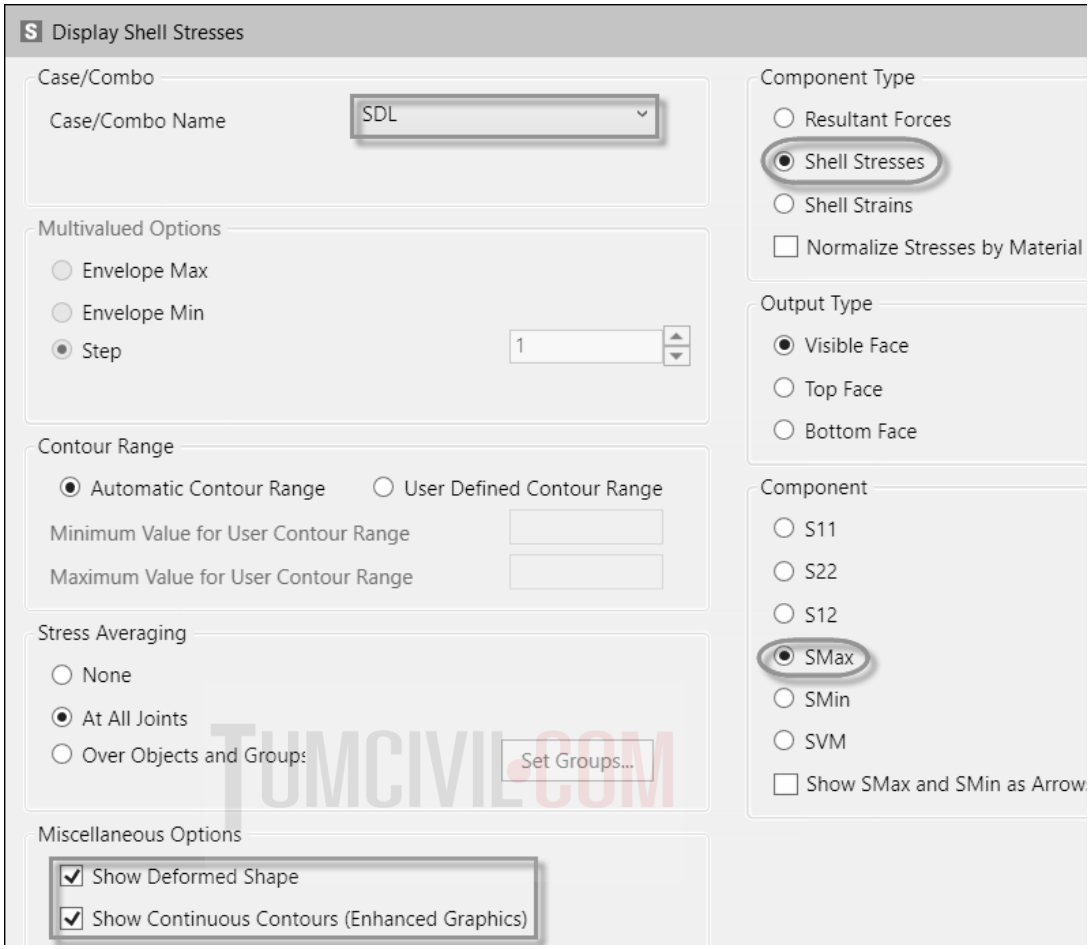


TUMCIVIL.COM

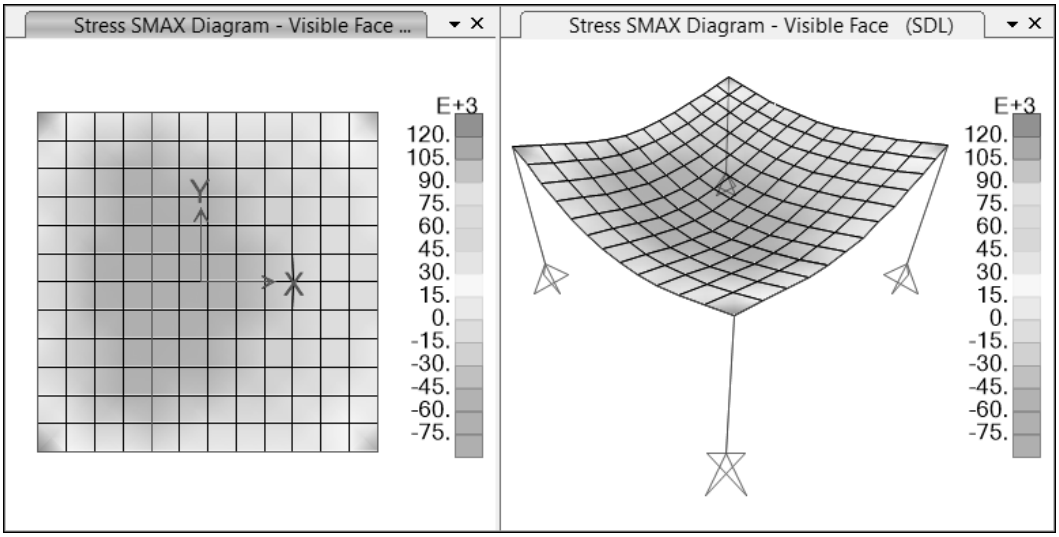
- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- เลือกรายการ MODAL กดปุ่ม Run/Do Not Run Case ให้ไม่รันกรณี MODAL
- ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX7 Wall on Slab



▶ ดูการแสดงผลของหน่วยแรงและการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก SDL โดยคลิกหน้าต่างสามมิติ สั่งเมนู Display > Show Forces/Stresses > Shells เลือกกรณี SDL, Shell Stresses, SMax และ Show Deformed Shape



▶ คลิกหน้าต่างสองมิติ สั่งเมนูให้แสดงหน่วยแรงภายใต้ SDL เช่นเดียวกัน

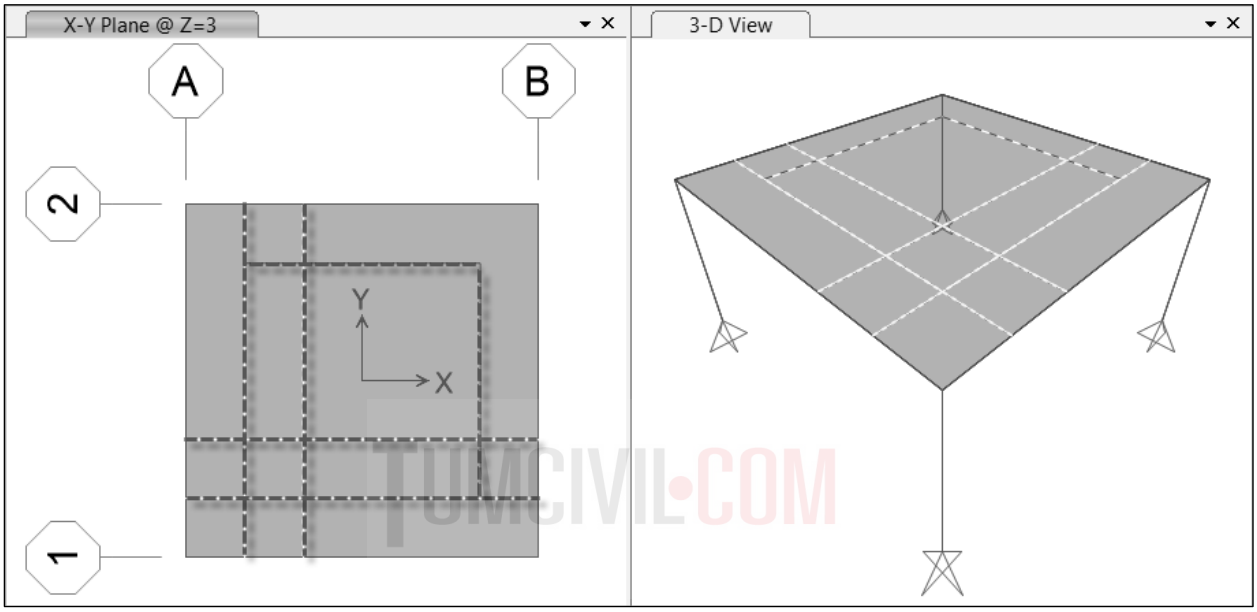


จะเห็นว่าหน่วยแรงและการแอ่นตมีค่าสูงบริเวณใต้ผนัง สำหรับการออกแบบอาจใช้ค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในพื้นซึ่งบริเวณใต้ผนังจะมีค่าสูงเช่นกัน

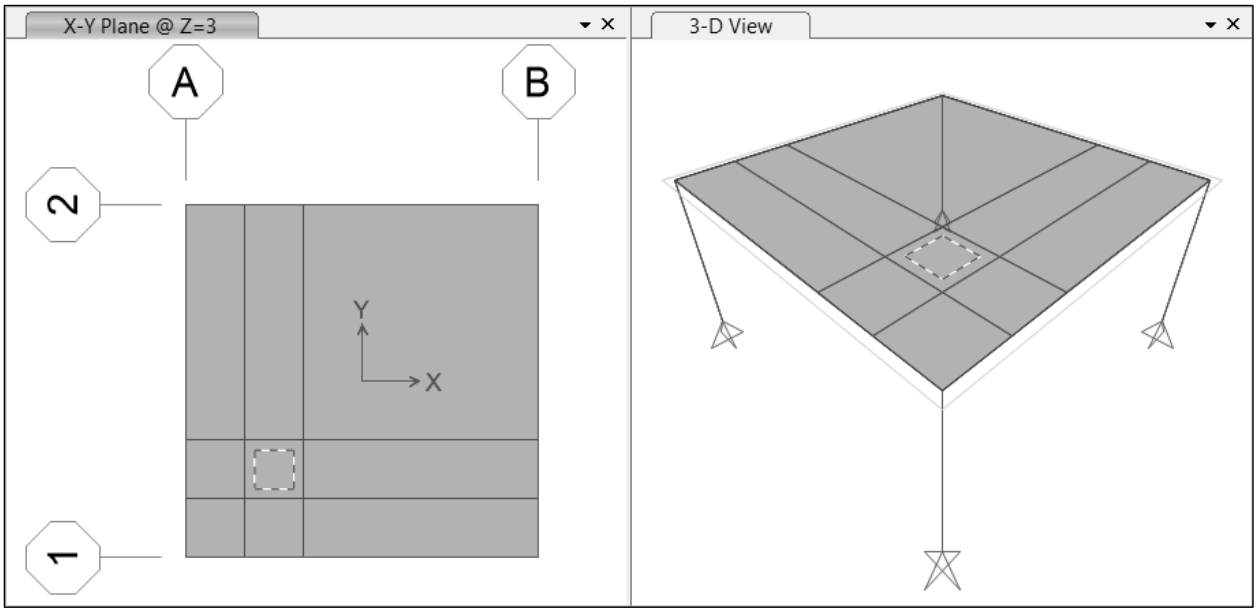
น้ำหนักบนพื้นที่บางส่วน

บางครั้งในพื้นเดียวกันอาจรับน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากันเช่นมีเครื่องจักรหนักวางบนพื้นหรือมีเสามากระทำโดยที่ด้านล่างไม่มีเสาหรือคานรองรับ เราสามารถทำได้โดยการแบ่งพื้นเป็นส่วนย่อยแล้วใส่น้ำหนักบรรทุกแยกกัน

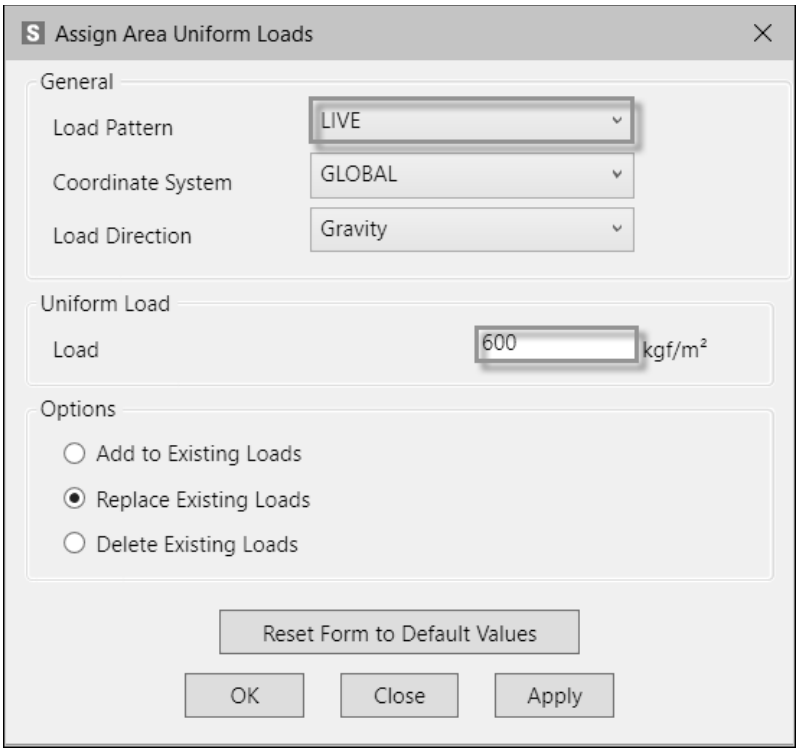
- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX8 Load on Slab
- คลิกเลือกคานแนวดิ่งและแนวนอน กด Ctrl+R ทำซ้ำจนได้ดังในรูป (ระยะห่าง 1 m)



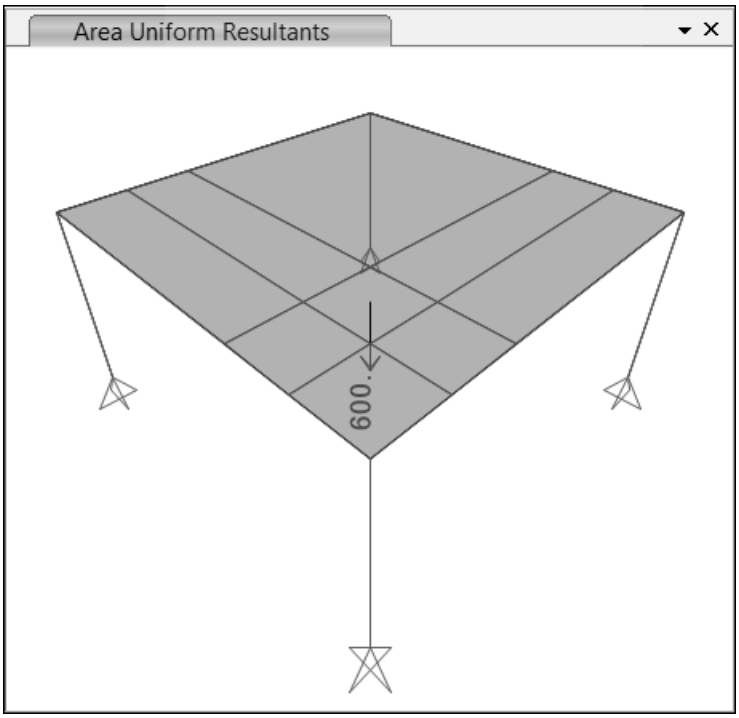
- เลือกพื้นและคานที่ใช้เป็นเส้นแบ่ง สั่งเมนู Edit > Edit Areas > Divide Areas เลือกแบ่งแบบ Divide Area Using Cookie Cut Based On Selected Straight Line Objects
- คลิกเลือกและลบคานภายในพื้นที่ใช้เป็นเส้นแบ่งออก



- คลิกเลือกพื้นภายใน สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform ใส่ค่าน้ำหนักบรรทุก LIVE

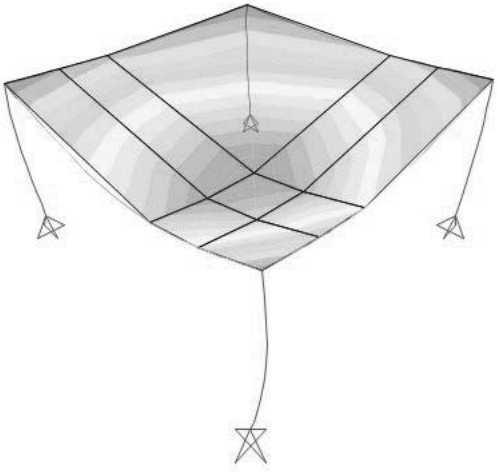


- สั่งคลิกหน้าต่างสามมิติ สั่งเมนู Display > Show Object Load Assigns > Area เลือกกรณีบรรทุก LIVE ให้แสดงน้ำหนักแบบ Uniform Load Resultants แล้วกดปุ่ม OK



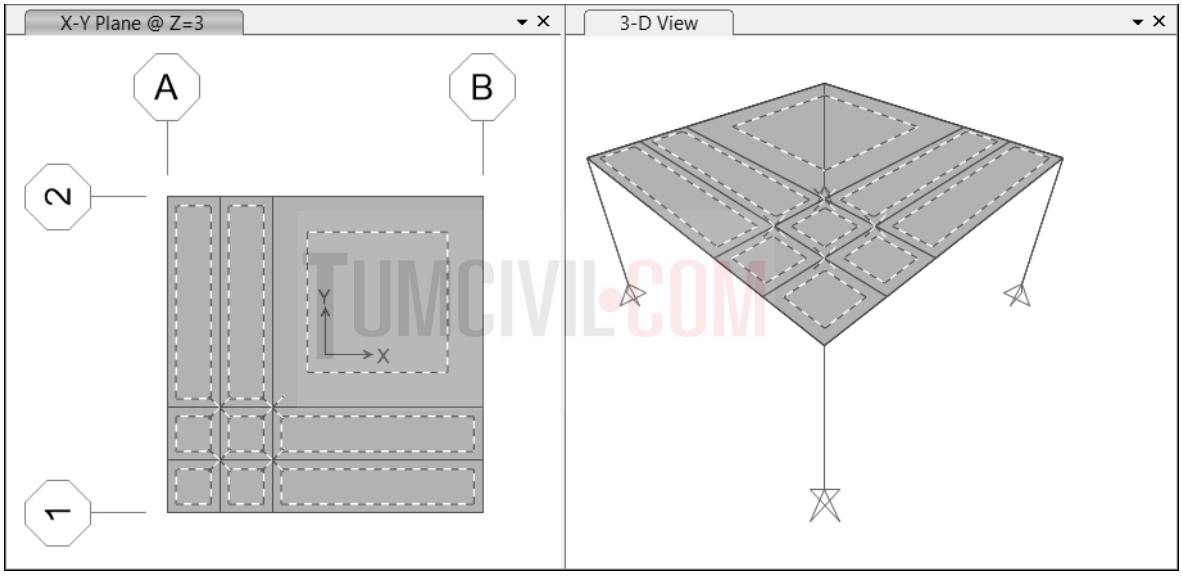
- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง

- ดูการแสดงผลของหน่วยแรงและการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก LIVE จะได้ดังในรูป

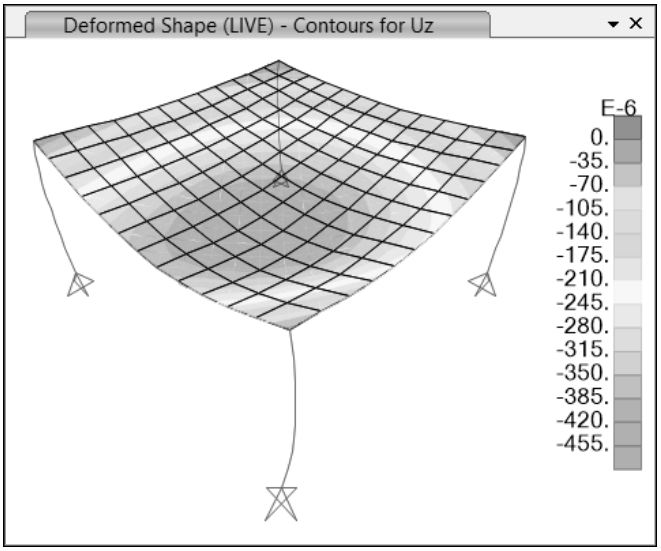


จะเห็นว่ามีการแอ่นตัวและหน่วยแรงสูงบริเวณรับน้ำหนัก

- คลิกปุ่ม ปลดล๊อคโมเดล เลือกพื้นทั้งหมด



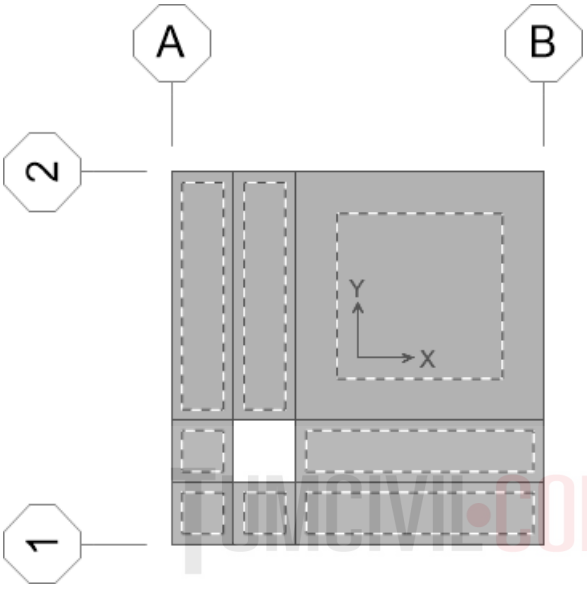
- สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mesh เมื่อกลับมาสั่งแบ่งพื้นย่อยขนาด 0.5 X 0.5 m จะได้การเสียรูปทรงดังในรูป



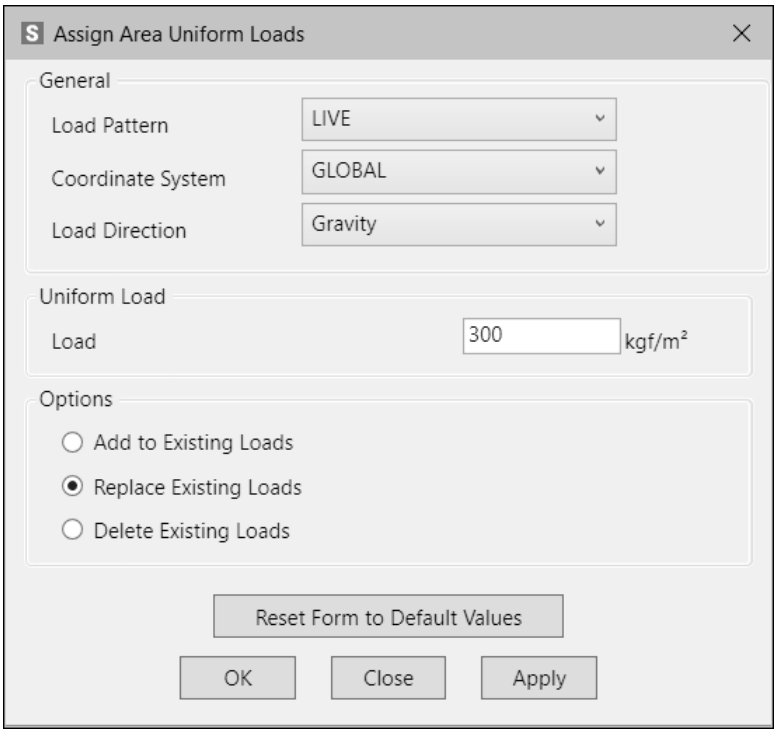
ช่องเปิดในพื้น

การวาดช่องเปิดในพื้นใช้หลักการเดียวกันคือวาดคานเพื่อใช้ในการแบ่งพื้นออกเป็นส่วนๆแล้วคลิกเลือกและลบส่วนทีเป็นช่องเปิดทิ้ง

- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX9 Slab Opening
- คลิกเลือกพื้นตรงกลางแล้วกด Delete ลบทิ้งเพื่อสร้างช่องเปิด

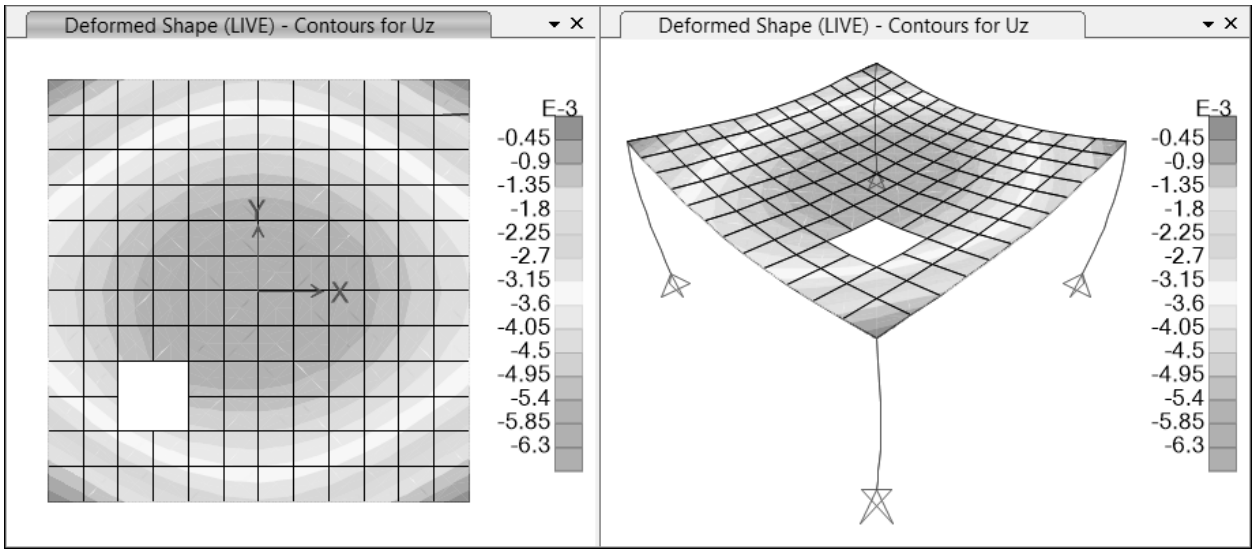


- คลิกเลือกพื้นที่เหลือทุกแผ่น สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform ใส่น้ำหนัก LIVE



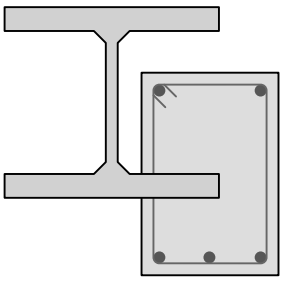
- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง

▶ ดูการแสดงผลของหน่วยแรงและการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก LIVE จะได้ดังในรูป



TUMCIVIL•COM

TUMCIVIL.COM



6

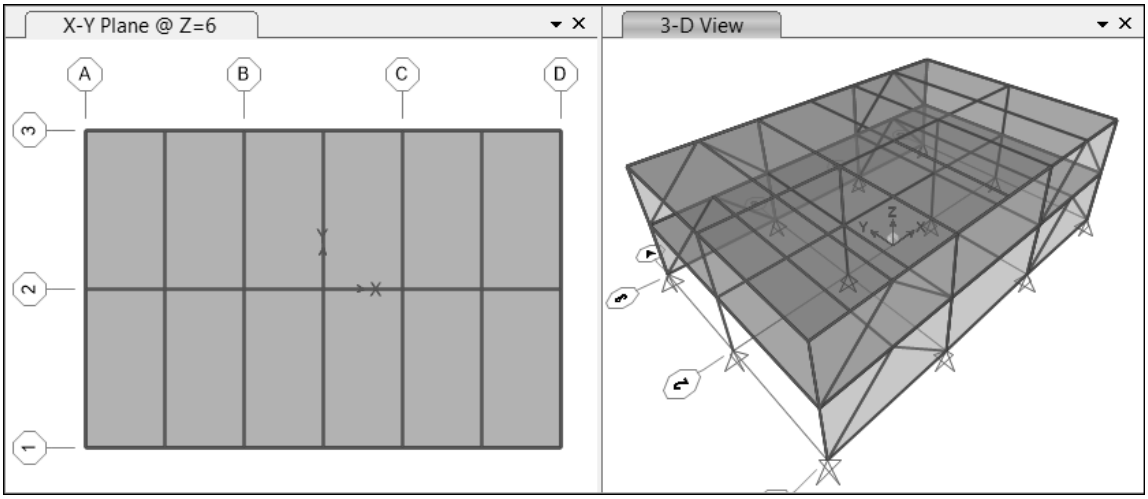
การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างใน SAP2000 โดยจะเป็นการออกแบบเหล็กซึ่งจะเป็นการเลือกหน้าตัดเหล็ก และการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยหลังจากโครงสร้างจะต้องผ่านการวิเคราะห์ เราจะกำหนดกรณีบรรทุกร่วมสำหรับออกแบบ เลือกมาตรฐานในการออกแบบและพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อออกแบบเสร็จก็จะแสดงผลการออกแบบรูปแบบต่างๆ ตลอดจนจัดทำเป็นรายงานออกมาในที่สุด

TUMCIVIL.COM

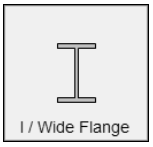
การออกแบบโครงสร้างเหล็ก Steel Design

▶ สั่งเมนู File > Open เปิดไฟล์ EX3 Steel Frame ขึ้นมาแล้วสั่ง File > Save As ตั้งชื่อว่า EX3 Steel Frame DSGN

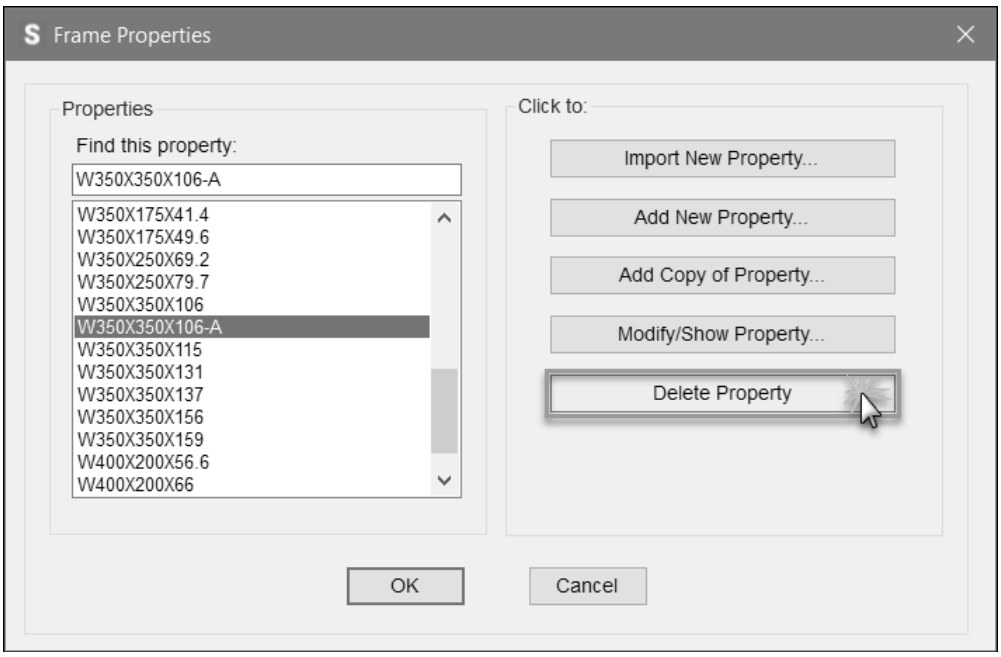


การเลือกหน้าตัดอัตโนมัติ Auto Select List

▶ สั่งเมนู Define > Section Properties > Frame Section คลิกปุ่ม Import New Property เลือกหน้าตัด I / Wide Flange



▶ เลือกตารางหน้าตัดเหล็กของไทยไฟล์ TH_WF เลือกหน้าตัด W200 ถึง W400 เข้ามาดังในรูป (ลบหน้าตัดที่ซ้ำกันโดยกด Delete Property)



▶ คลิกปุ่ม Add New Property เลือก Auto Select List

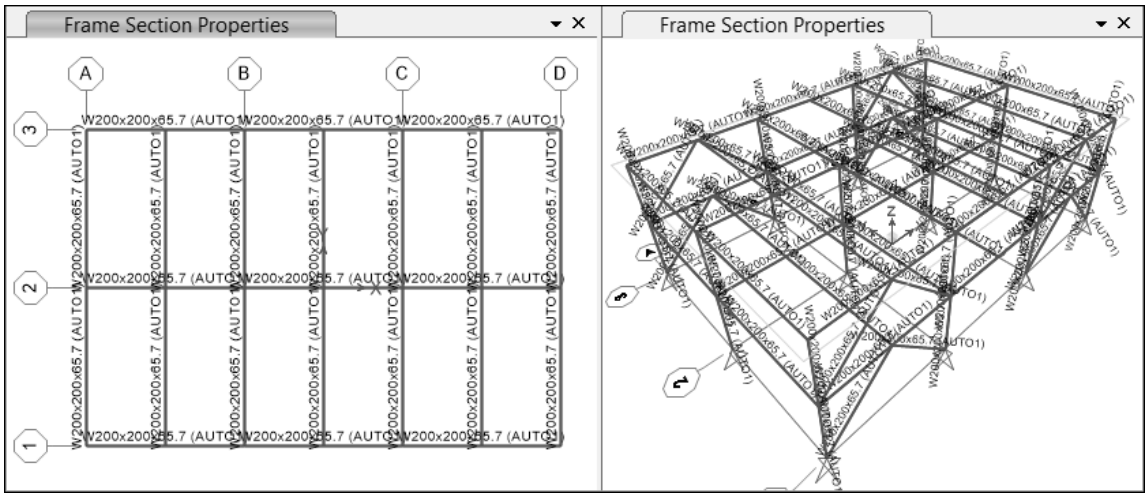
TUMCIVIL.COM

- ตั้งชื่อเป็น AUTO1 เลือกหน้าตัด W ทั้งหมดที่นำเข้ามา คลิกปุ่ม Add ย้ายมาทางขวา เพื่อให้โปรแกรมทำการเลือกโดยอัตโนมัติ

- คลิกปุ่ม ปิดการแสดงพื้น Fill Objects และ Areas > Not in View เลือก Apply to All Windows

- กด Ctrl+A เลือกองค์อาคารทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Frame > Frame Sections เลือก Auto Select List หน้าตัดกลาง (AUTO1) จะแสดงขึ้นบนทุกองค์อาคารดังในรูป

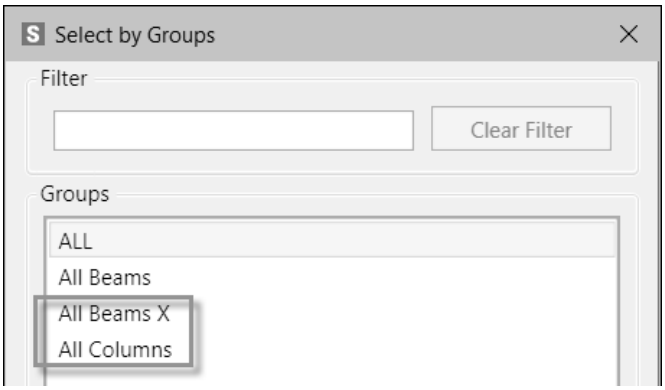
- คลิกอีกหน้าต่างที่ยังไม่แสดง สั่งเมนู Display > Show Misc Object Assigns > Frame เลือก Section Properties



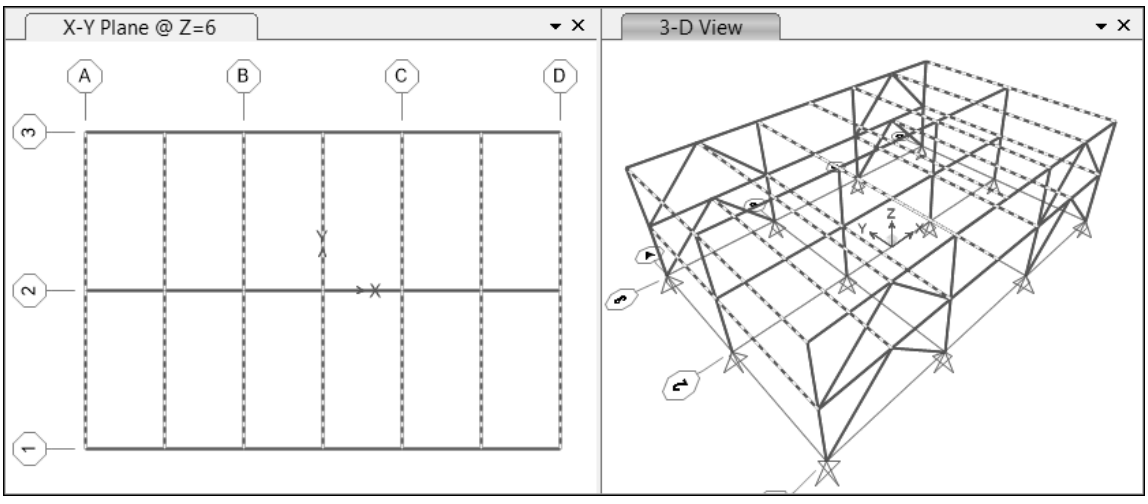
จัดกลุ่มองค์อาคาร Group Members

สำหรับอาคารในตัวอย่างนี้เราจะจัดเป็น 4 กลุ่มคือ เสา (Column), คานทิศทาง X (BeamX), คานทิศทาง Y (BeamY) และ แกงแนง (Brace)

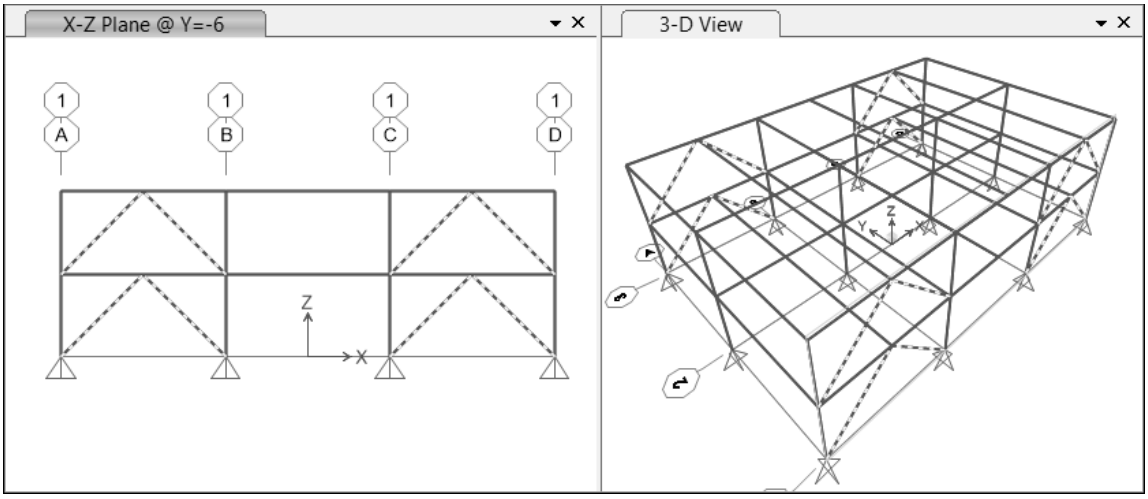
- สั่งเมนู Select > Select > Group หรือกด Ctrl+G จะเห็นว่ามีกลุ่มเสาและคานทิศทาง X ถูกกำหนดอยู่แล้ว



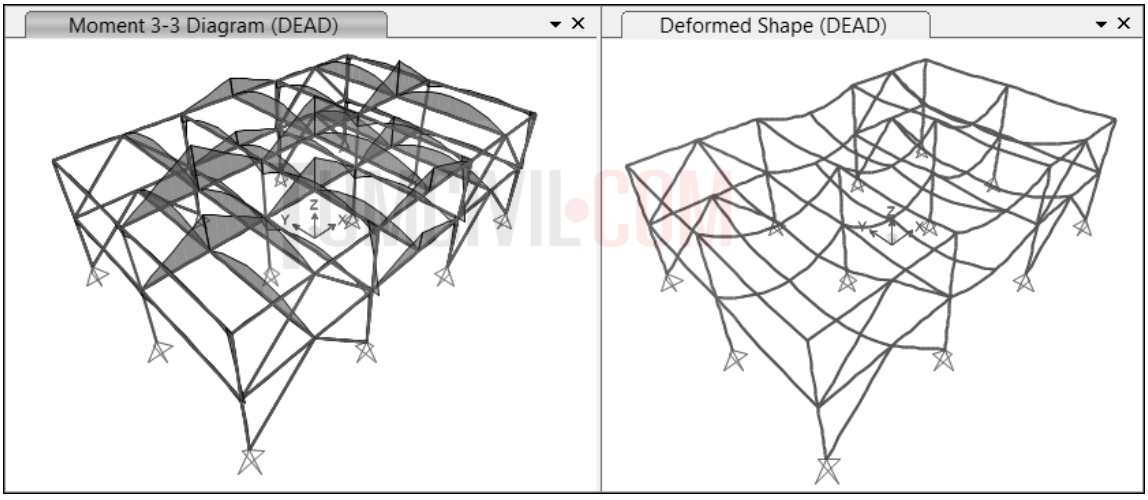
- สั่งเมนู Select > Select ▸ Select Lines Parallel To ▸ Coordinate Axes or Plane เลือกระนาบ XY คลิกปุ่ม Select เพื่อเลือกคานทั้งหมด แล้วกดปุ่ม Close
- กด Ctrl+Shift+G เลือกรายการ All Beams และ Replace Group คลิกปุ่ม OK
- กด Ctrl+G เลือกรายการ All Beams คลิกปุ่ม Select แล้วเลือก All Beams X คลิกปุ่ม Deselect เพื่อให้เหลือคานทิศทาง Y ที่ถูกเลือก



- กด Ctrl+Shift+G คลิกปุ่ม Define Groups > Add New Group ตั้งชื่อว่า All Beams Y เมื่อกลับมาที่หน้าต่าง Assign to Group เลือกรายการ All Beams Y กดปุ่ม OK
- คลิกเลือกท่อนแกงแนงทั้งหมด คลิกปุ่ม Define Groups > Add New Group ตั้งชื่อว่า Brace เมื่อกลับมาที่หน้าต่าง Assign to Group เลือกรายการ Brace กดปุ่ม Apply



- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- สั่งแสดงผลการเสียรูปทรงและโมเมนต์ดัดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง

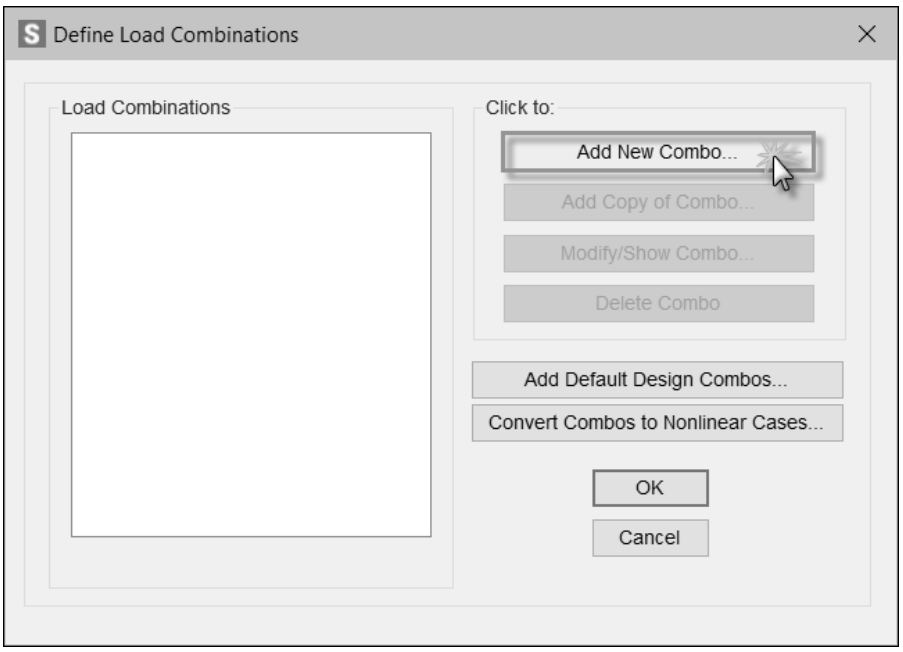


กรณีบรรทุกร่วม Load Combinations

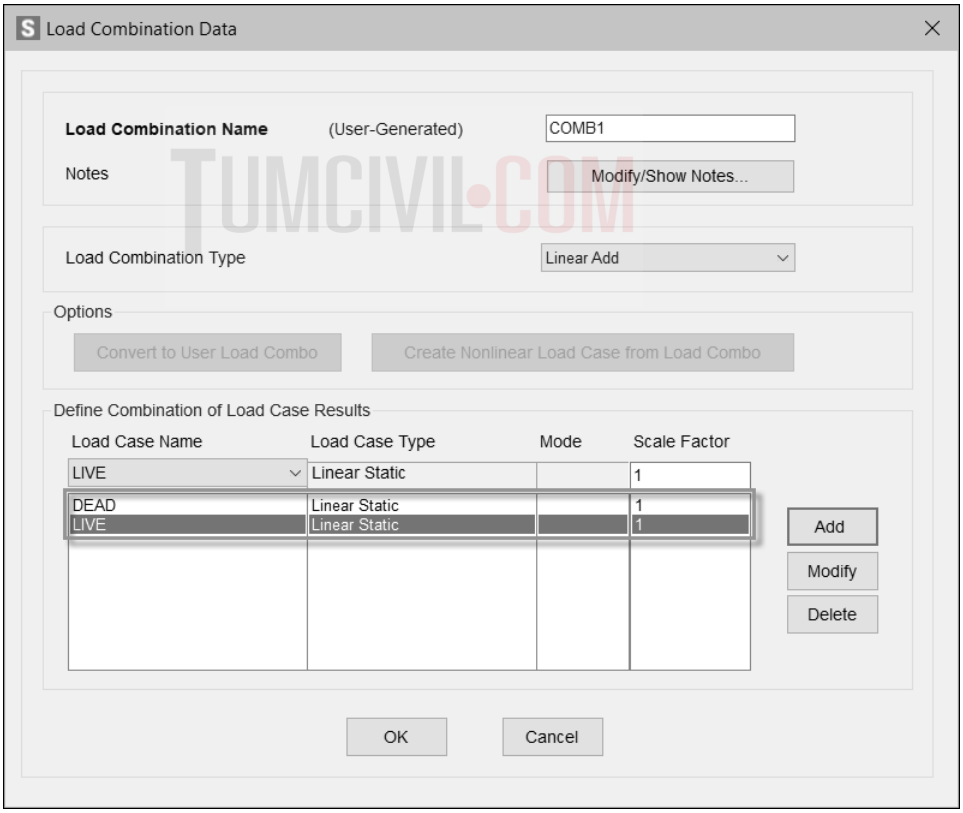
SAP2000 จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกแต่ละกรณีแยกกัน การกำหนดกรณีบรรทุกร่วมทำเมื่อต้องการผลการวิเคราะห์หรือนำไปใช้ในการออกแบบซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดกรณีบรรทุกร่วมที่แตกต่างกัน สำหรับในตัวอย่างนี้เราจะออกแบบโครงสร้างเหล็กแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design, ASD) สมมุติว่าต้องการใช้กรณีบรรทุกร่วมดังต่อไปนี้ (เป็นการสาธิตไม่ได้ใช้ครบทุกกรณี)

1) 1.0D + 1.0L
2) 1.0D + 0.75L + 0.45W
3) 1.0D + 0.75L + 0.525E

- สั่งเมนู Define > Load Combinations คลิกปุ่ม Add New Combo...



▶ กรณีบรรทุกร่วม COMB1 เลือกกรณีบรรทุก DEAD และ LIVE ใส่ค่า Scale Factor = 1



▶ สร้างกรณีบรรทุกร่วมที่เหลือโดยวิธีการเดิม กรณีบรรทุกที่มีแรงด้านข้าง WINDY หรือ EQKY จะมีทั้งค่า ± เนื่องจากแรงด้านข้างมีทั้งทิศ +Y และ –Y จนได้ 5 รายการ ดังนี้คือ

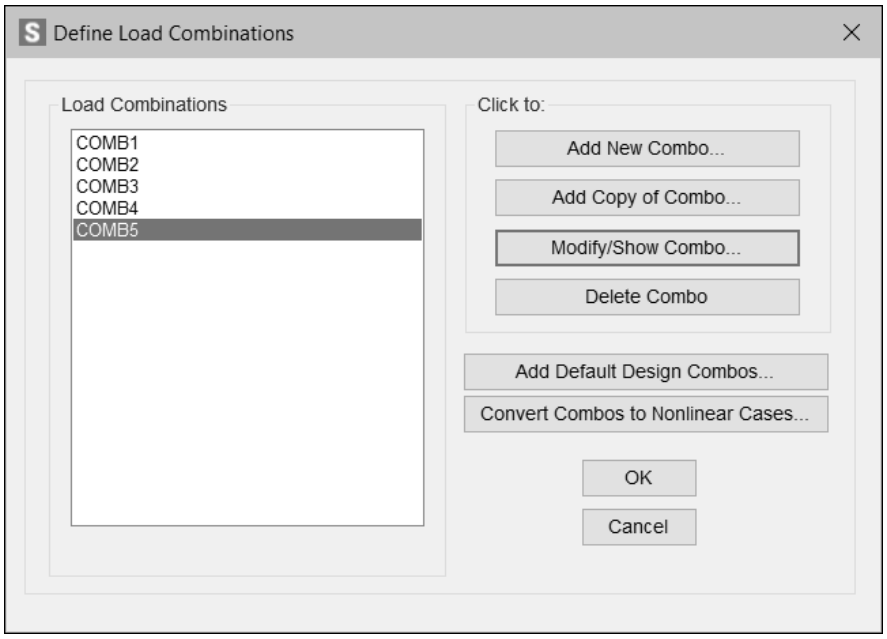
COMB1 = 1.0 DEAD + 1.0 LIVE

COMB2 = 1.0 DEAD + 0.75 LIVE + 0.45 WINDY

COMB3 = 1.0 DEAD + 0.75 LIVE – 0.45 WINDY

COMB4 = 1.0 DEAD + 0.75 LIVE + 0.525 EQKY

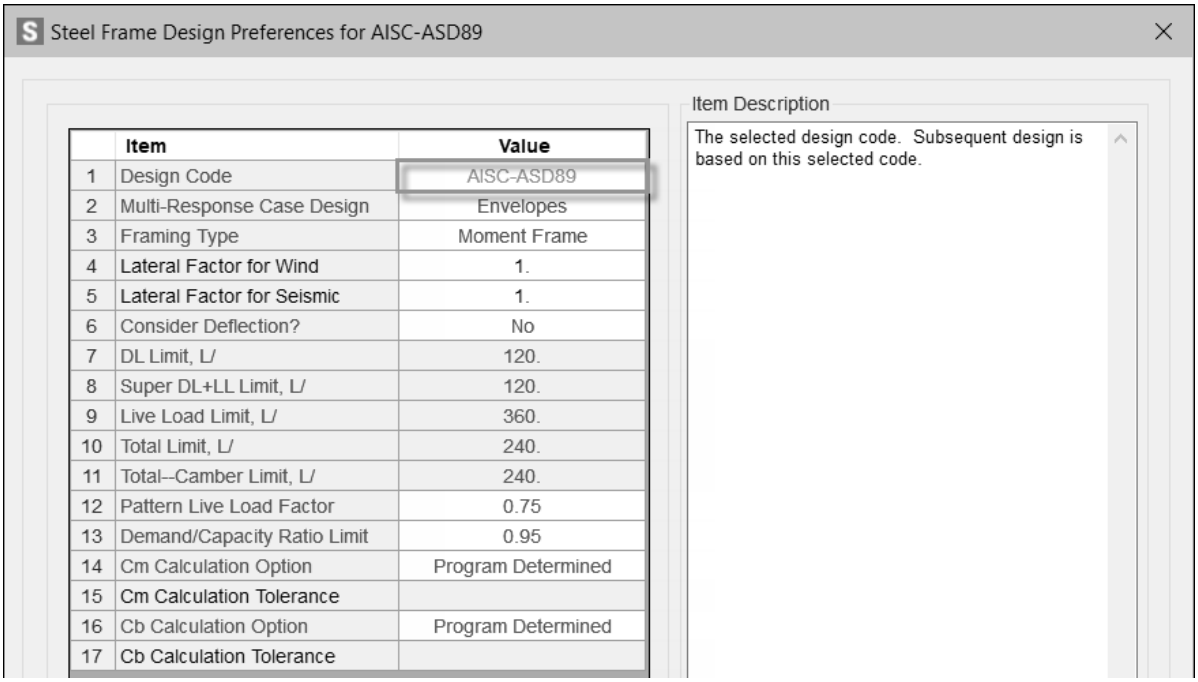
COMB5 = 1.0 DEAD + 0.75 LIVE – 0.525 EQKY



การสั่งออกแบบโครงสร้างเหล็ก Steel Frame Design

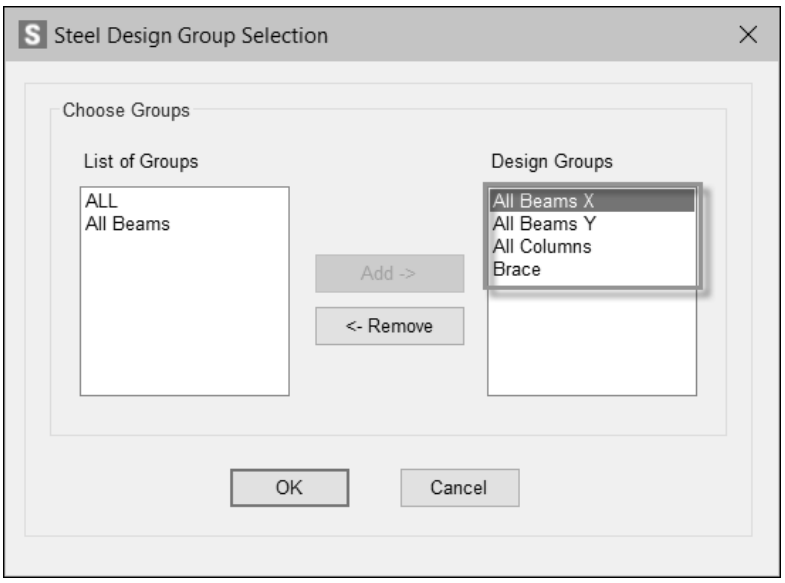
TUMCIVIL.COM

- เลือกเมนู Design > Steel Frame Design > View/Revise Preferences เลือกมาตรฐานออกแบบ AISC-ASD89 และกำหนดพารามิเตอร์ออกแบบ

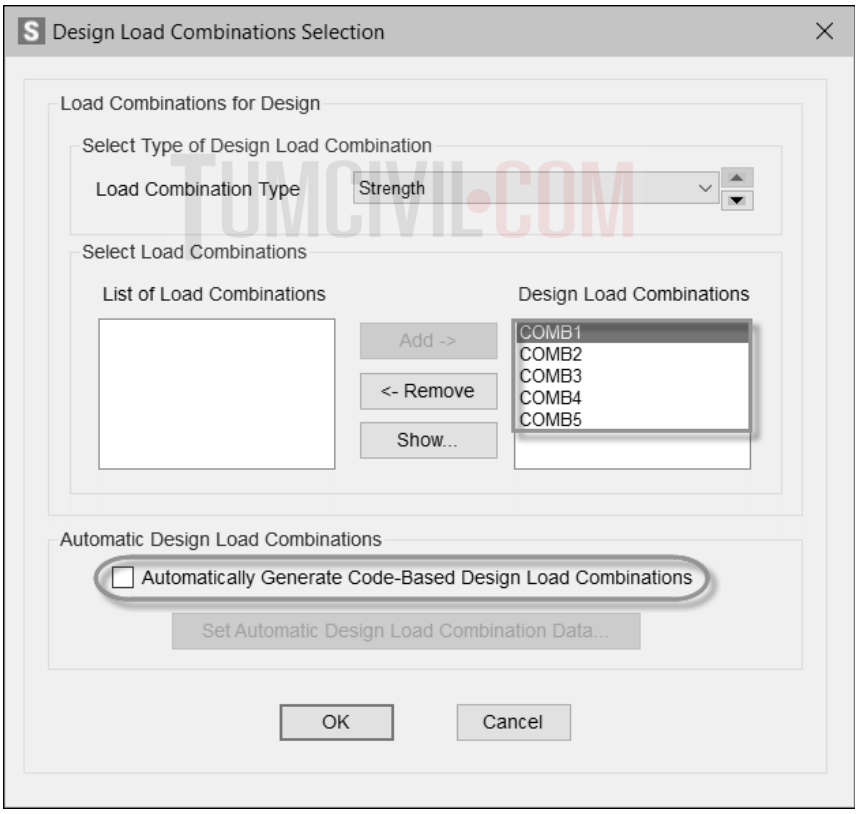


	Item	Value
1	Design Code	AISC-ASD89
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Framing Type	Moment Frame
4	Lateral Factor for Wind	1.
5	Lateral Factor for Seismic	1.
6	Consider Deflection?	No
7	DL Limit, L/	120.
8	Super DL+LL Limit, L/	120.
9	Live Load Limit, L/	360.
10	Total Limit, L/	240.
11	Total--Camber Limit, L/	240.
12	Pattern Live Load Factor	0.75
13	Demand/Capacity Ratio Limit	0.95
14	Cm Calculation Option	Program Determined
15	Cm Calculation Tolerance	
16	Cb Calculation Option	Program Determined
17	Cb Calculation Tolerance	

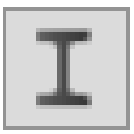
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Select Design Group เลือกกลุ่มที่จะออกแบบคือ All Columns, All Beams X, All Beams Y และ Brace



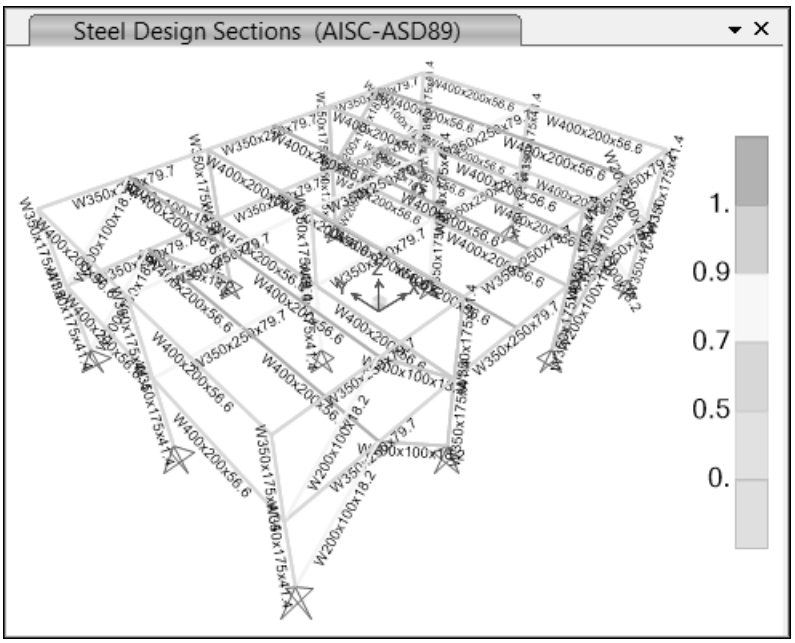
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Select Design Combos เลือกกรณีบรรทุกร่วมที่จะใช้ในการออกแบบ COMB1 ถึง COMB5 และคลิกไม่เลือกการสร้างกรณีบรรทุกร่วมอัตโนมัติ



- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure หรือกด Shift+F5 เพื่อเริ่มต้นทำการคำนวณออกแบบ



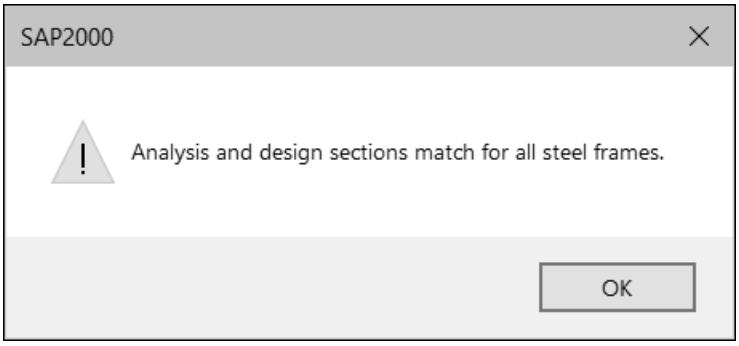
เมื่อโปรแกรมทำการออกแบบเสร็จจะแสดงหน้าตัดที่เลือกและผลการออกแบบโดยระบุสีบนแต่ละองค์อาคารตามอัตราส่วนความต้องการต่อกำลัง (Demand/Capacity Ratio) ถ้ามีค่าเกิน 1.00 เป็นสีแดงแสดงว่าองค์อาคารนั้นกำลังไม่เพียงพอไม่ผ่านการออกแบบ



- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Verify Analysis vs Design Section เพื่อตรวจสอบว่าหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์และที่ได้จากการออกแบบต่างกันหรือไม่จะได้

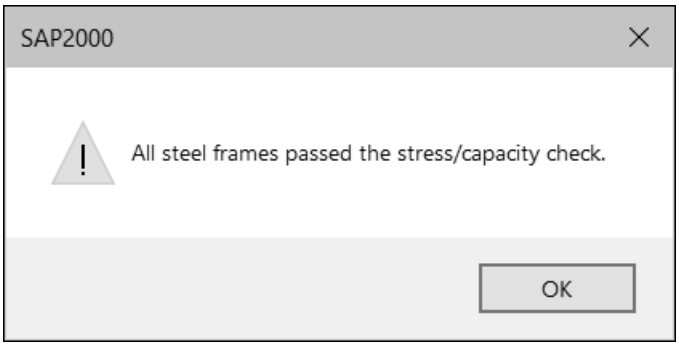
จากในรูปจะระบุว่ายังมี 86 องค์อาคารที่ผลจากการออกแบบต่างกับที่ใช้ในการวิเคราะห์

- คลิกปุ่ม ปลดล๊อคโมเดล แล้วกด F5 เพื่อรันวิเคราะห์โดยใช้หน้าตัดที่ได้จากการออกแบบ แล้วกด Shift+F5 เพื่อรันออกแบบ เลือกหน้าตัดใหม่ แล้วสั่งตรวจสอบซ้ำเช่นเดิม จำนวนองค์อาคารที่ต่างกันจะลดลง ซึ่งแม้ว่าจะทำหลายครั้งก็ยังเหมือนเดิม ซึ่งเราอาจกด Yes เพื่อดูว่าเป็นองค์อาคารไหนที่ยังมีปัญหาแล้วทำการกำหนดหน้าตัดให้โดยตรงแทนที่จะใช้ AUTO1

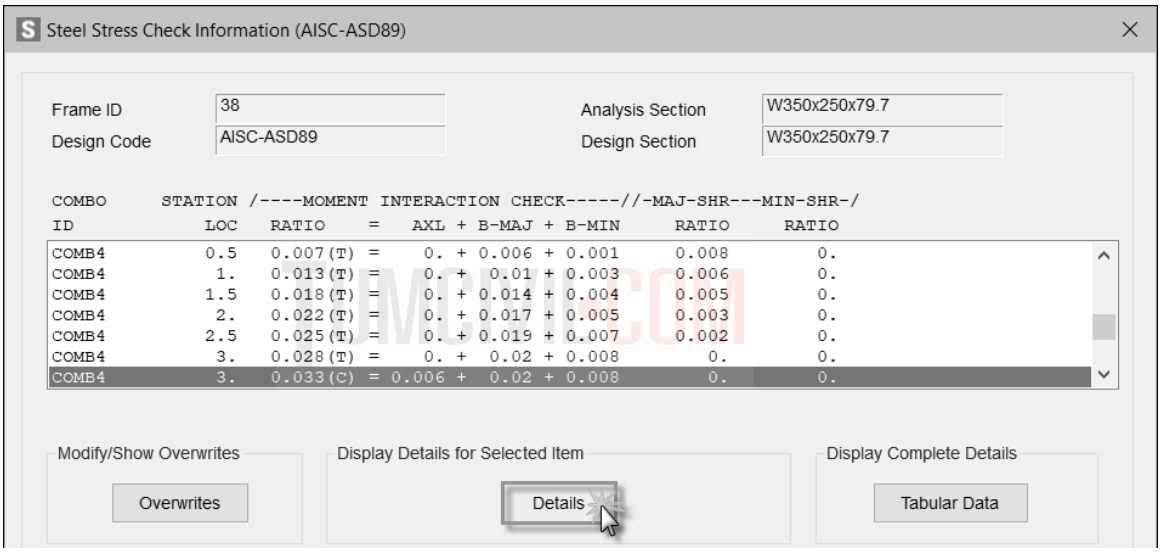


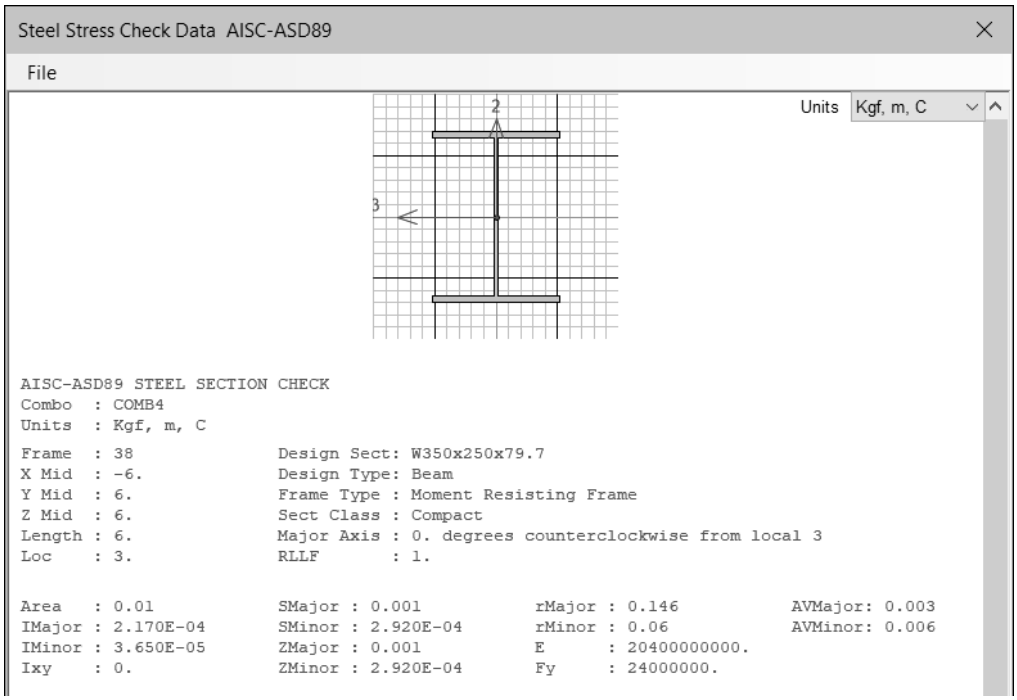
จนกระทั่งหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์และหน้าตัดที่ได้จากการออกแบบทั้งหมดตรงกัน

- เพื่อตรวจสอบเป็นครั้งสุดท้ายว่าทุกองค์อาคารผ่านหมด สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Verify All Members Passed

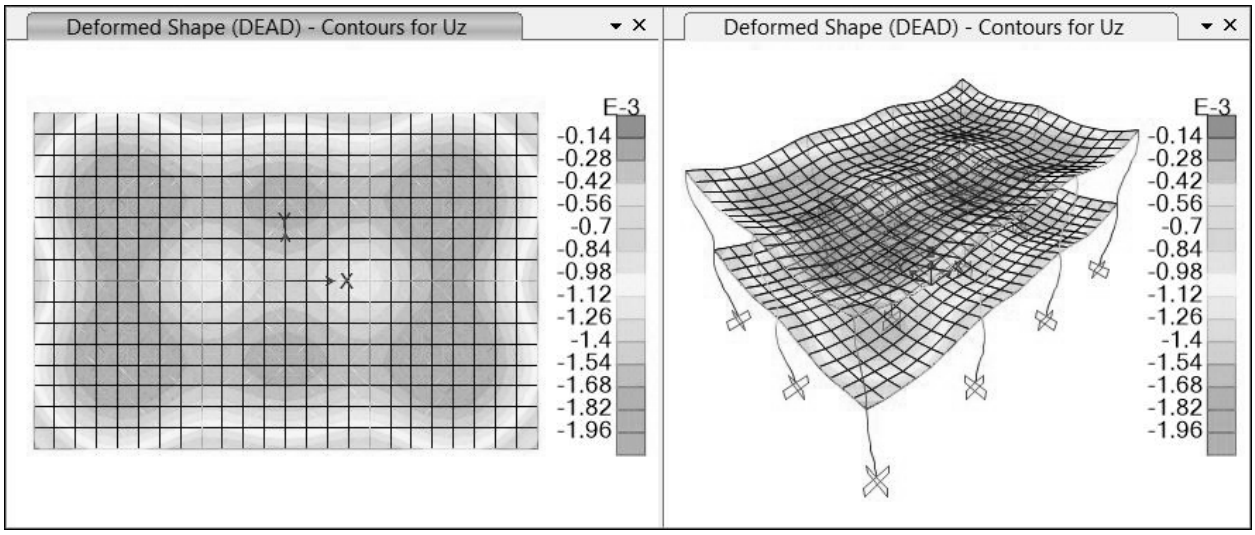


- คลิกขวาที่องค์อาคารเพื่อดูผลการออกแบบ แล้วคลิกปุ่ม Details เพื่อให้แสดงรายการคำนวณโดยละเอียดที่ตำแหน่งนั้น





- สั่งเมนู File > Open เปิดไฟล์ EX4 Simple RC 2 ขึ้นมาแล้วสั่ง File > Save As ตั้งชื่อว่า EX4 Simple RC DSGN แล้วกด F5 รันการวิเคราะห์



- สั่งเมนู Analyze > Run Analysis หรือกด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง

- สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > View/Revise Preferences เลือกมาตรฐาน ACI318-14 และปรับค่าพารามิเตอร์ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ดังในรูป

THAICIVIL.COM

Concrete Frame Design Preferences for ACI 318-14

	Item	Value
1	Design Code	ACI 318-14
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Number of Interaction Curves	24
4	Number of Interaction Points	11
5	Consider Minimum Eccentricity?	Yes
6	Seismic Design Category	D
7	Design System Rho	1.
8	Design System Sds	0.5
9	Phi (Tension Controlled)	0.9
10	Phi (Compression Controlled Tied)	0.7
11	Phi (Compression Controlled Spiral)	0.75
12	Phi (Shear and/or Torsion)	0.85
13	Phi (Shear Seismic)	0.6
14	Phi (Joint Shear)	0.85
15	Pattern Live Load Factor	0.75
16	Utilization Factor Limit	0.95

Pattern Live Load Factor :

มาตรฐาน ACI กำหนดให้คิดผลของการจัดรูปแบบน้ำหนักจร (Live Load Pattern) เมื่ออัตราส่วน LL/DL > 3/4 ในโปรแกรม SAP2000 และ ETABS จะใช้วิธีประมาณโดยใช้ Pattern Live Load Factor (Pllf) คือแฟกเตอร์ที่ใช้ประมาณความหลากหลายในการจัดรูปแบบน้ำหนักจร Pllf จะเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกจรที่จะถูกนำไปคำนวณโมเมนต์บวกกลางช่วงที่จะเพิ่มขึ้นตามสูตร

$$M_{pos,MAX} = f1 \cdot M_{DL} + \frac{f2 \cdot Pllf \cdot (LL \cdot L^2)}{8}$$

เมื่อ **f1** = ตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกคงที่ (1.4)

f2 = ตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจร (1.7)

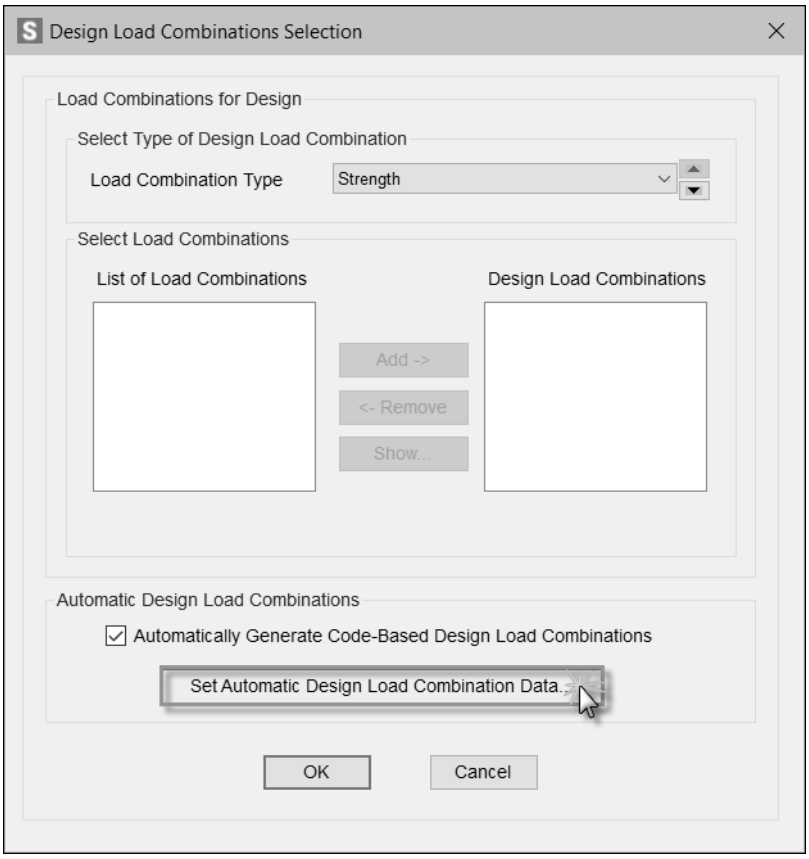
Pllf = ตัวคูณรูปแบบน้ำหนักบรรทุกจรใน SAP2000 และ ETABS จะกำหนดไว้ที่ 0.75 ถ้าต้องการให้คิดเต็มที่ใช้ 1.0 และใช้ 0 เพื่อปิดการใช้งานทางเลือกนี้

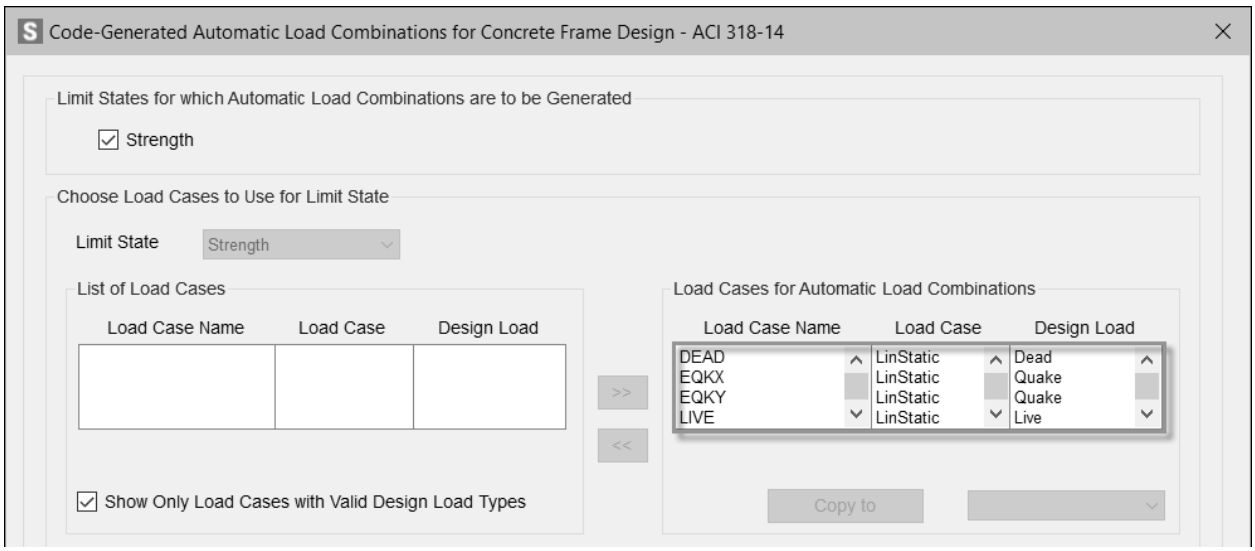
กรณีบรรทุกร่วมออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

- สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > Select Design Combos... เพื่อเลือกกรณีบรรทุกร่วมที่จะใช้ในการออกแบบ โดยอาจสร้างเองจากเมนู Define > Load Combinations เช่นเดียวกับในตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่แล้ว หรือให้โปรแกรมสร้างให้โดยอัตโนมัติตามมาตรฐานออกแบบที่เลือกไว้

THAICIVIL.COM

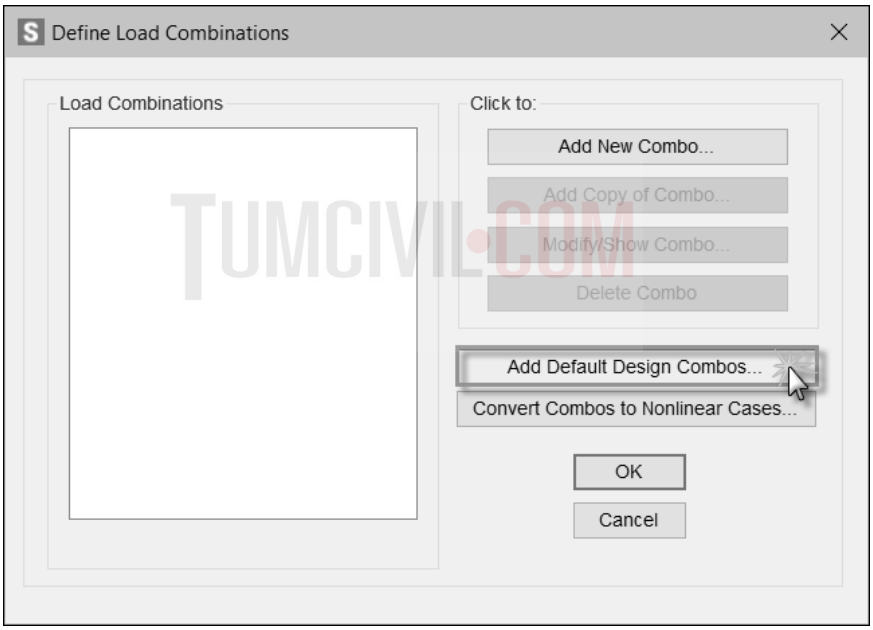
- คลิกปุ่ม Set Automatic Design Load Combination Data เพื่อตั้งค่ากรณีบรรทุกร่วม



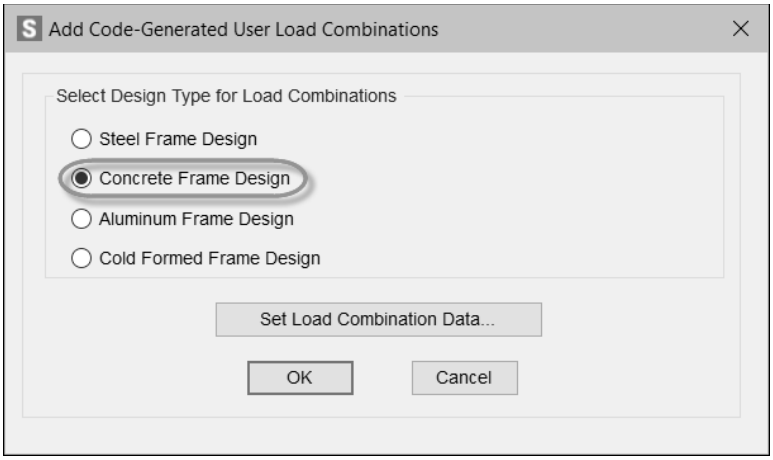


D+L +E

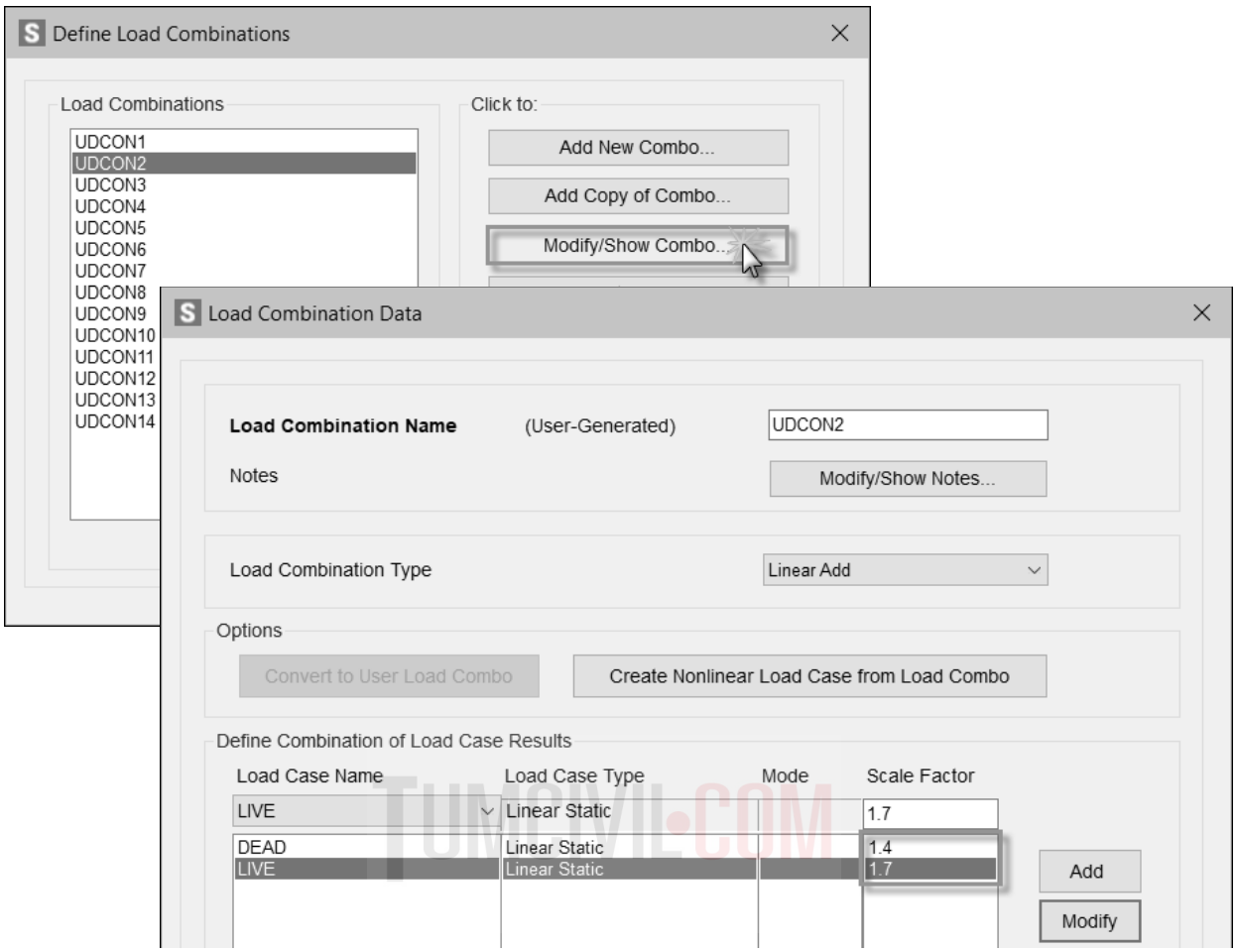
▶ อีกทางเลือกคือการกำหนดกรณีบรรทุกร่วมโดยตรงหลังจากเลือกมาตรฐานแล้ว สั่งเมนู Define > Load Combinations คลิกปุ่ม Add Default Design Combos



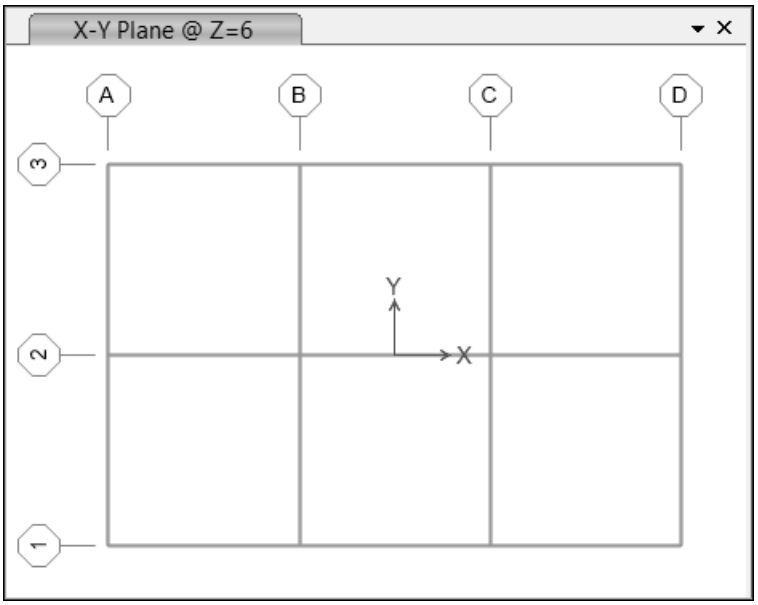
▶ เลือก Concrete Frame Design เพื่อสร้างกรณีบรรทุกร่วมตามมาตรฐานที่เลือกไว้



- กรณีบรรทุกร่วมจะถูกสร้างขึ้นมาดังในรูปซึ่งเราสามารถคลิกปุ่ม Modify/Show Combo เพื่อตรวจสอบแก้ไขได้

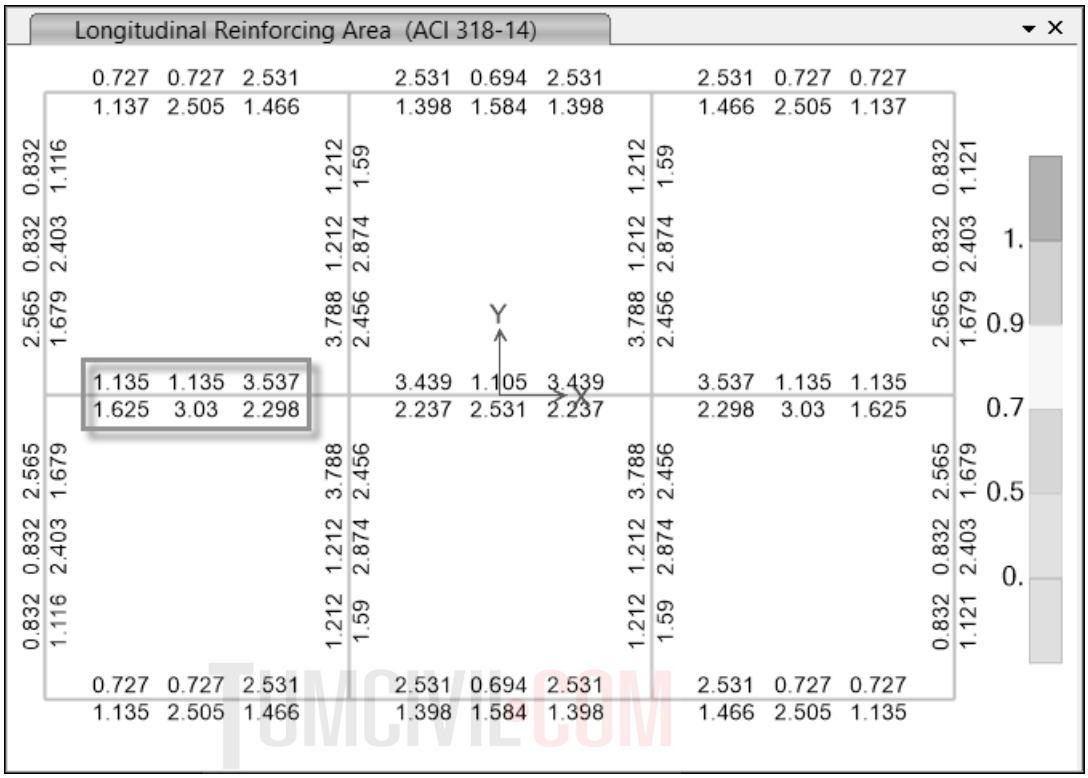


- คลิกหน้าต่าง X-Y Plane @ Z=6 แล้วคลิก คลิกเอา Fill Objects ออก และเลือก Areas > Not in View ให้แสดงเฉพาะ Frames

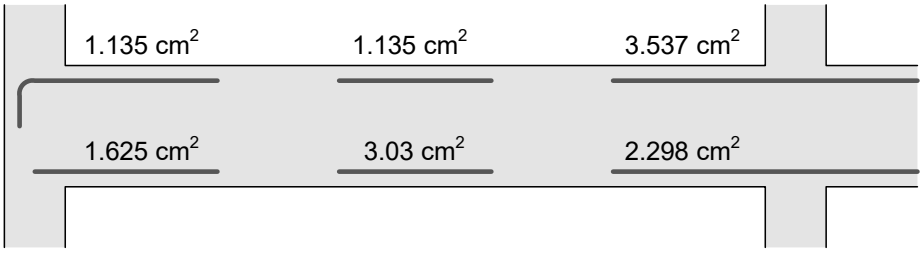


เหล็กเสริมตามยาวในคาน

▶ สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > Start Design/Check of Structures หรือกด Shift+F6 เพื่อเริ่มการคำนวณออกแบบ แล้วเปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf, cm, C

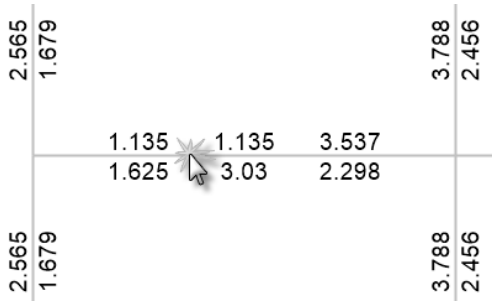


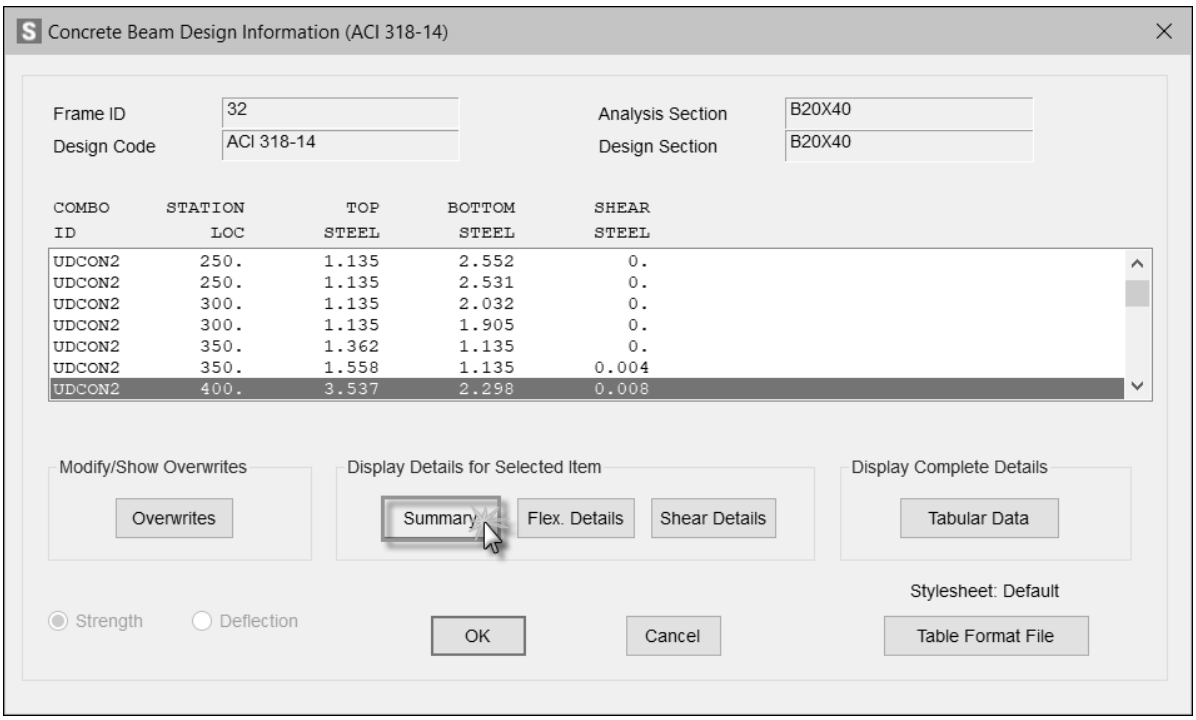
บนคานแต่ละตัวจะแสดงตัวเลข 6 ตัว คือปริมาณพื้นที่เหล็กเสริม (cm^2) ของเหล็กบนและเหล็กล่างที่ปลายคานข้างซ้าย, กลางช่วงคาน และปลายคานข้างขวา



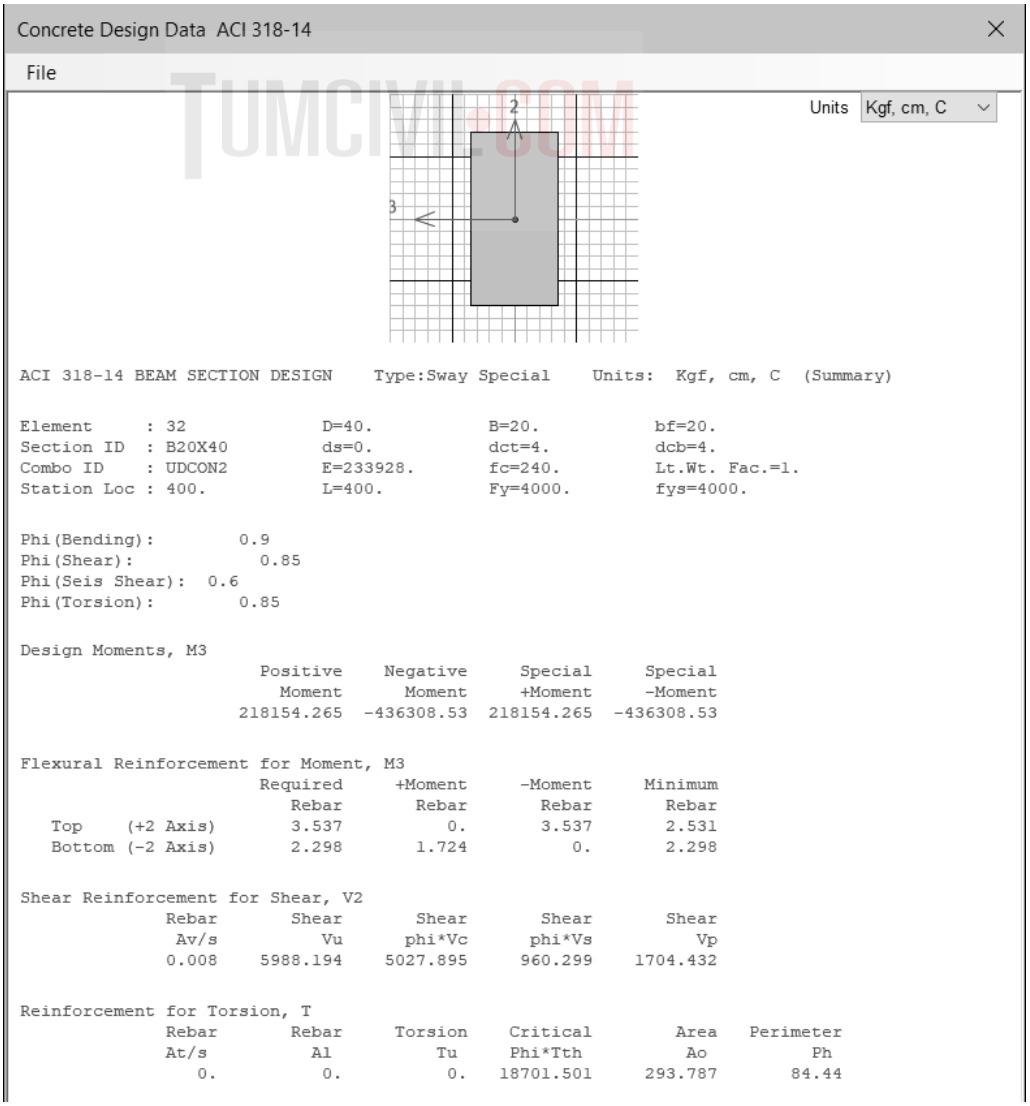
ดังนั้นใช้เหล็กเสริม 2-DB16 ทั้งบนและล่างยาวตลอด $A_s = 2(2.01) = 4.02\ cm^2$

▶ คลิกขวาที่คานเพื่อดูรายละเอียดผลการออกแบบ



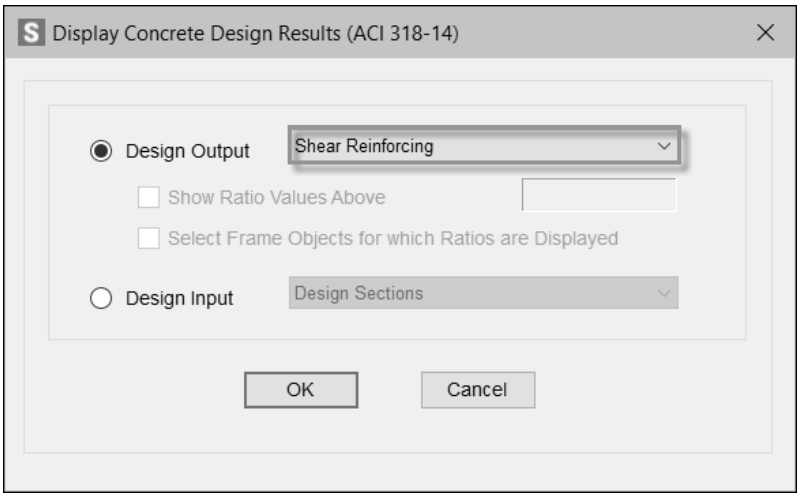


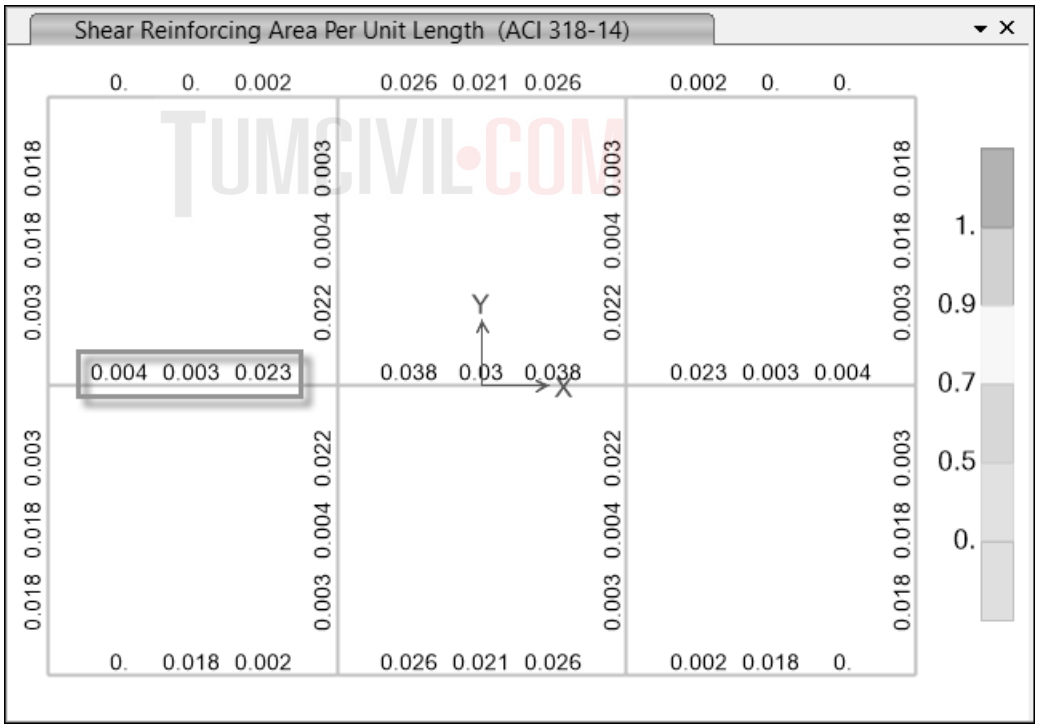
▶ คลิกปุ่ม Summary เพื่อดูรายการคำนวณโดยสรุปของการออกแบบหน้าตัดคาน



เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในคาน

- คลิกหน้าต่าง X-Y Plane สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > Display Design Info... เลือก Shear Reinforcing ให้แสดงเหล็กเสริมรับแรงเฉือน



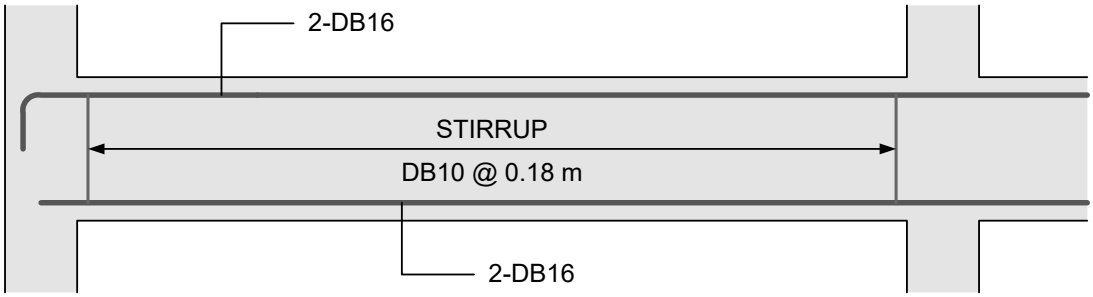


ค่าที่แสดงคือพื้นที่เหล็กรับแรงเฉือนต่อหน่วยความยาว (A_v/s) ตัวอย่างเช่น 0.023

สมมุติใช้เหล็กปลอก DB10 (A_v = 2(0.785) = 1.57 cm^2)

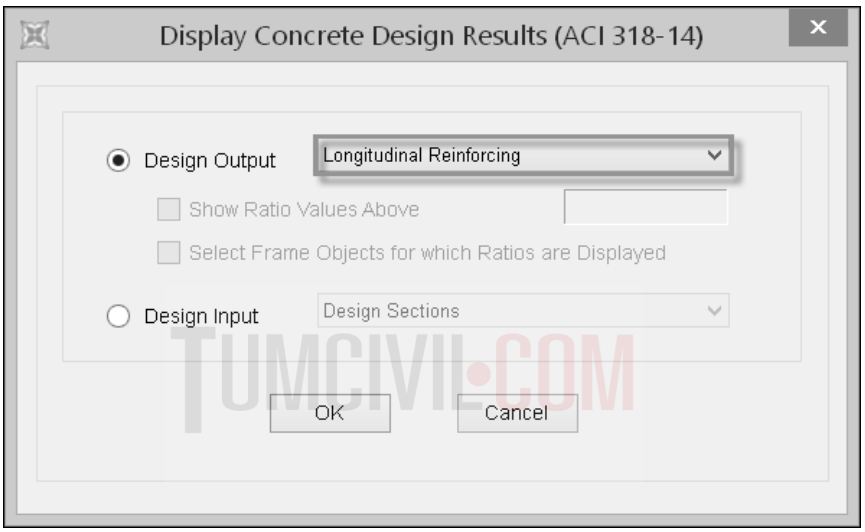
ระยะห่างเหล็กปลอก s = 1.57/0.023 = 68.3 cm > [d/2 = 18] Use s = 18 cm

ดังนั้นจะได้ผลการออกแบบคานคือ

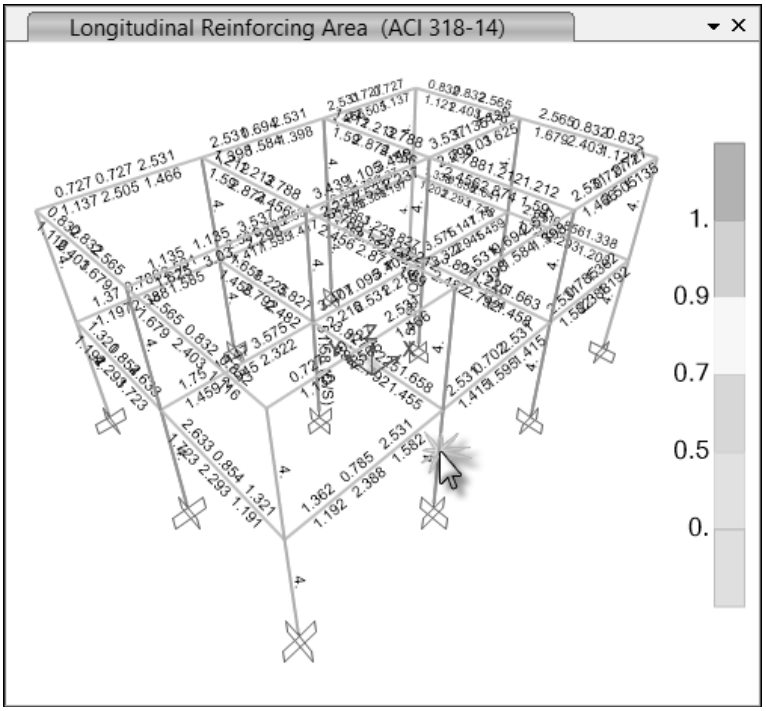


ผลการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

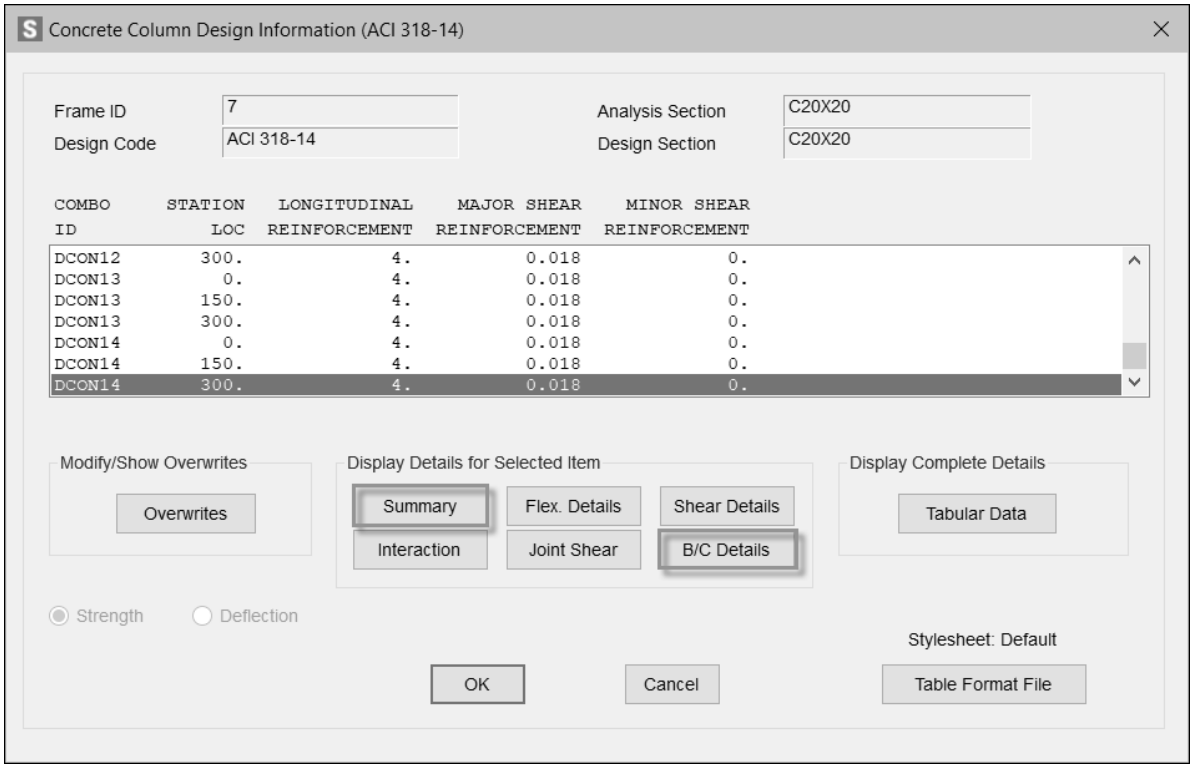
- คลิกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > Display Design Info... เลือก Longitudinal Reinforcing ให้แสดงเหล็กเสริมตามยาว



จะเห็นว่ามีเสาหลายต้นแสดงเป็นสีแดงหมายถึงออกแบบไม่ผ่านต้องตรวจสอบแก้ไข

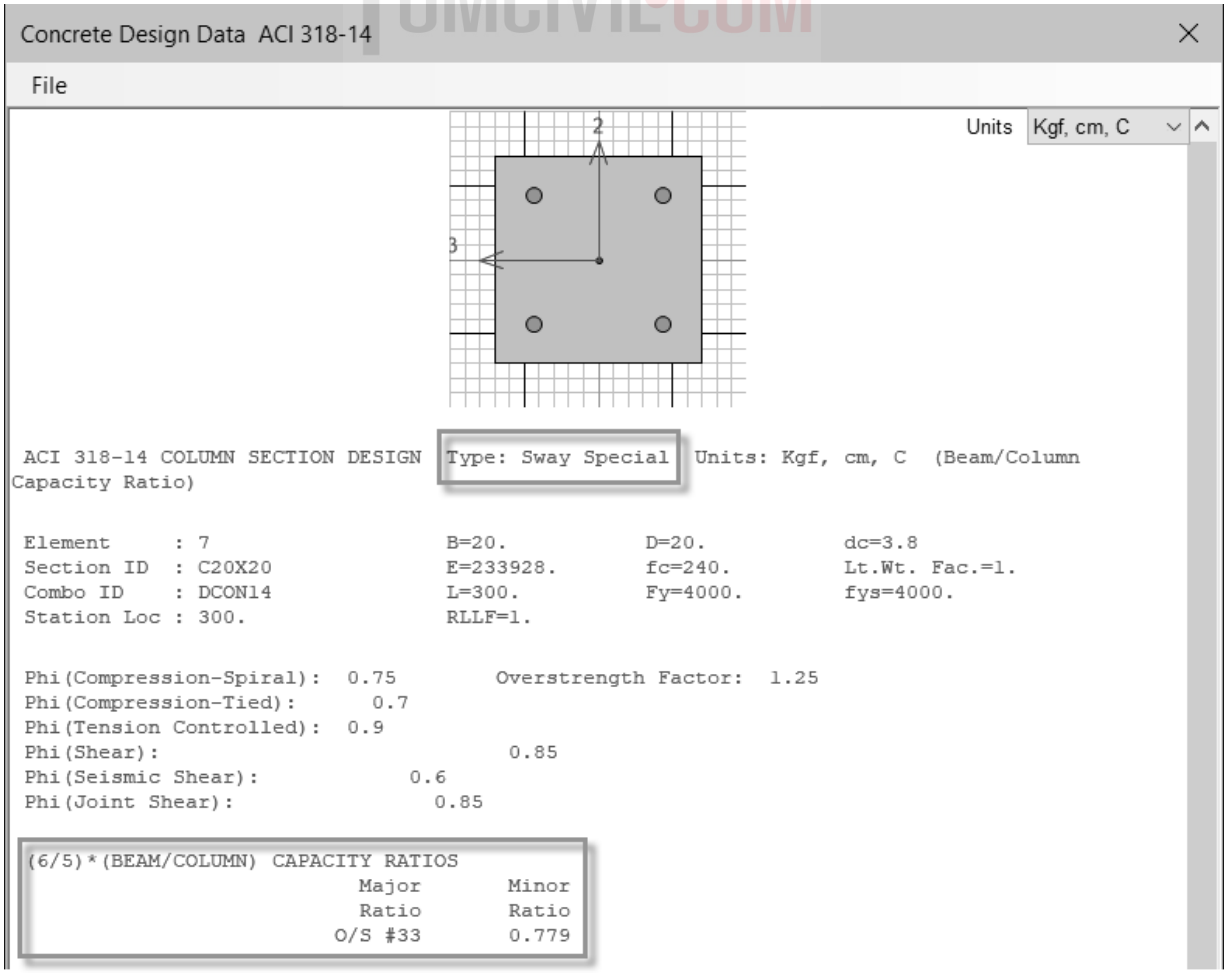


▶ คลิกขวาที่เสาต้นสีแดงเพื่อดูรายละเอียดการออกแบบ กดปุ่ม Summary และ B/C Details



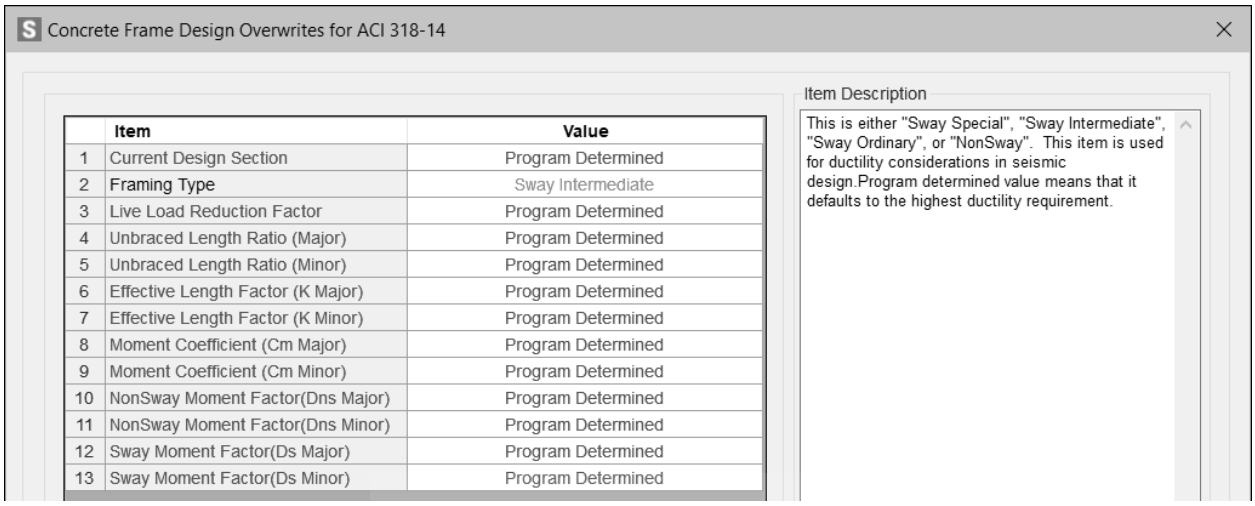
เมื่อกด B/C Details จะได้ดังในรูป

UMCIVIL.COM



เนื่องจากการออกแบบเป็นแบบ Sway Special ซึ่งใช้ในโซนแผ่นดินไหวรุนแรง ในมาตรฐาน มยผ.1302 คือการออกแบบแผ่นดินไหวประเภท ง ซึ่งจะมีข้อกำหนดให้เสาต้องแข็งแรงกว่าคานอย่างน้อย 20% หรือ 6/5 เท่า ดังนั้นจึงไม่ผ่านการออกแบบ

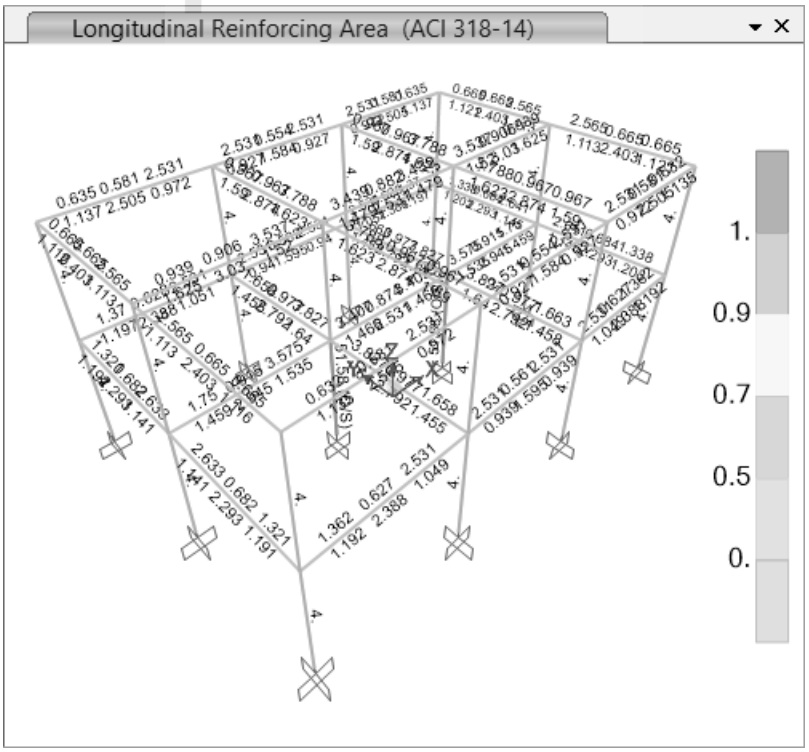
- กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด แล้วสั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > View/Revise Overwrites... ในช่อง Framing Type เปลี่ยนเป็น Sway Intermediate สำหรับโซนแผ่นดินไหวปานกลาง คือประเภท ค



	Item	Value
1	Current Design Section	Program Determined
2	Framing Type	Sway Intermediate
3	Live Load Reduction Factor	Program Determined
4	Unbraced Length Ratio (Major)	Program Determined
5	Unbraced Length Ratio (Minor)	Program Determined
6	Effective Length Factor (K Major)	Program Determined
7	Effective Length Factor (K Minor)	Program Determined
8	Moment Coefficient (Cm Major)	Program Determined
9	Moment Coefficient (Cm Minor)	Program Determined
10	NonSway Moment Factor(Dns Major)	Program Determined
11	NonSway Moment Factor(Dns Minor)	Program Determined
12	Sway Moment Factor(Ds Major)	Program Determined
13	Sway Moment Factor(Ds Minor)	Program Determined

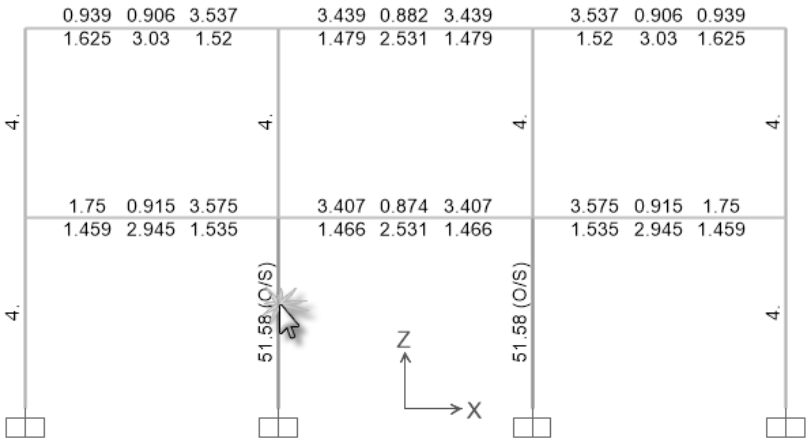
TUMCIVIL.COM

- คลิกหน้าต่าง 3-D View กด Shift+F6 เพื่อรันการออกแบบอีกครั้ง



จะเห็นว่าเหลือเสาต้นแดงอยู่ 2 ต้นตรงกลาง

- คลิกขวาที่เสาต้นกลางที่สีแดงเพื่อดูรายละเอียดการออกแบบ



Concrete Column Design Information (ACI 318-14)

Frame ID	9	Analysis Section	C20X20
Design Code	ACI 318-14	Design Section	C20X20

COMBO ID	STATION LOC	LONGITUDINAL REINFORCEMENT	MAJOR SHEAR REINFORCEMENT	MINOR SHEAR REINFORCEMENT
UDCON14	300.	4.	0.	0.
DCON1	0.	20.731	0.	0.
DCON1	150.	19.904	0.	0.
DCON1	300.	19.676	0.	0.
DCON2	0.	O/S #2	0.	0.
DCON2	150.	O/S #2	0.	0.
DCON2	300.	O/S #2	0.	0.

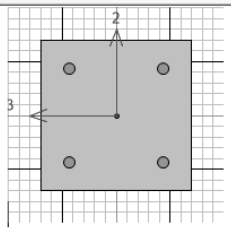
TUMCIVIL.COM

จะเห็นคำว่า O/S #2 แสดงว่ามีข้อผิดพลาดในการออกแบบ คลิกปุ่ม Summary เพื่อดูรายการคำนวณโดยสรุป จะเห็นว่าขนาดหน้าตัดไม่เพียงพอ

Concrete Design Data ACI 318-14

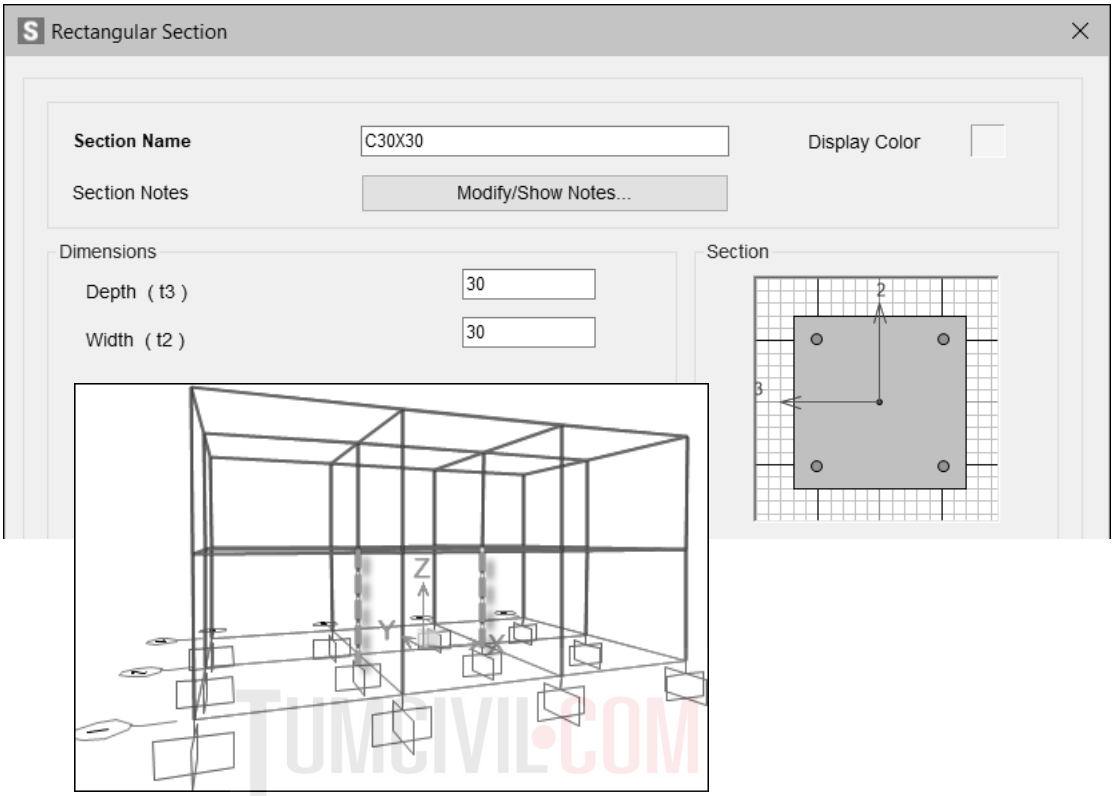
File

Units Kgf, cm, C

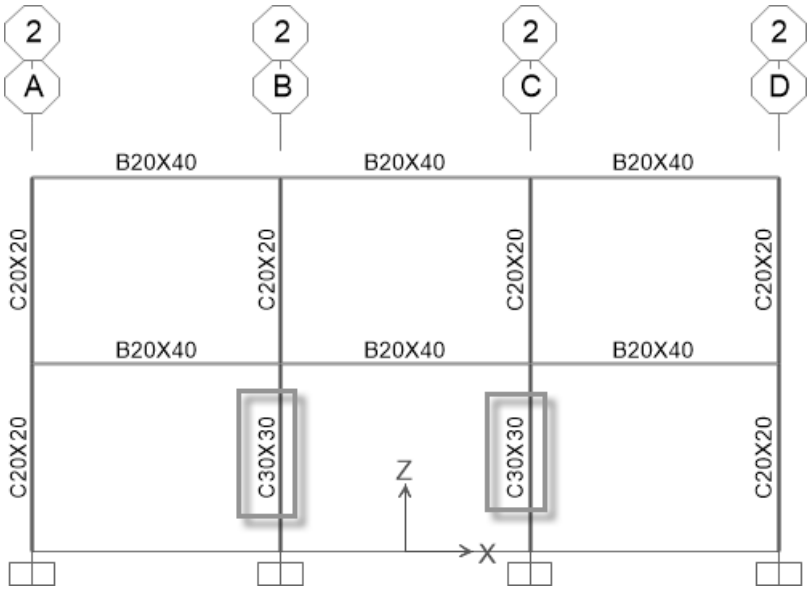



```
ACI 318-14 COLUMN SECTION DESIGN  Type: Sway Intermediate  Units: Kgf, cm, C  (Summary)

Element     : 9                   B=20.          D=20.          dc=3.8
Section ID  : C20X20              E=233928.      fc=240.        Lt.Wt. Fac.=1.
Combo ID    : DCON2               L=300.         Fy=4000.       fys=4000.
Station Loc : 300.                RLLF=1.

Phi(Compression-Spiral):  0.75
Phi(Compression-Tied):      0.7
Phi(Tension Controlled):  0.9
Phi(Shear):                          0.85
Phi(Seismic Shear):            0.6
Phi(Joint Shear):                0.85


AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN FOR PU, M2, M3
              Rebar       Design       Design       Design      Minimum      Minimum
               Area           Pu           M2           M3           M2           M3
            O/S #2   52743.237  712833.536  -24384.841  112026.635  112026.635

(6/5) BEAM/COLUMN CAPACITY RATIOS
                          Major       Minor
                          Ratio       Ratio
                            N/A         N/A


O/S #2   Reinforcing required exceeds maximum allowed.
```

▶ คลิก ปลดล๊อคโมเดล สั่งเมนู Define > Section Properties > Frame Sections สร้างหน้าตัดเสาเพิ่มขึ้นคือ C30X30 ใช้เหล็ก 4-DB20 แล้วกำหนดให้แก่เสาสองต้นกลางอาคาร

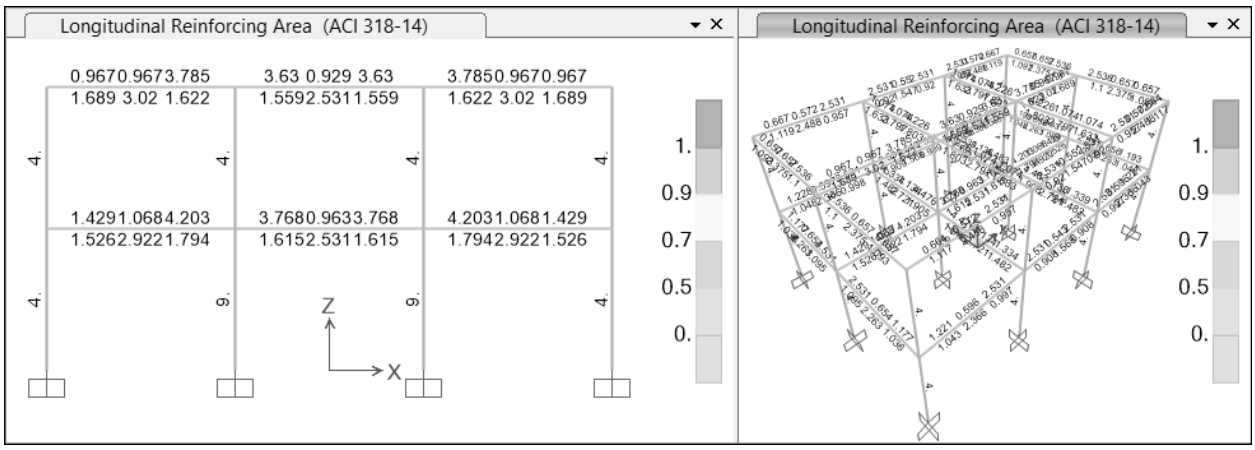


▶ คลิกเลือกเสาสองต้นกลาง สั่งเมนู Assign > Frame > Frame Sections เลือกหน้าตัด C30X30 แล้วกดปุ่ม OK



ในมุมมอง XZ บนเส้นกริด 2 จะเห็นเสาสองต้นกลางถูกเปลี่ยนเป็นหน้าตัด C30X30

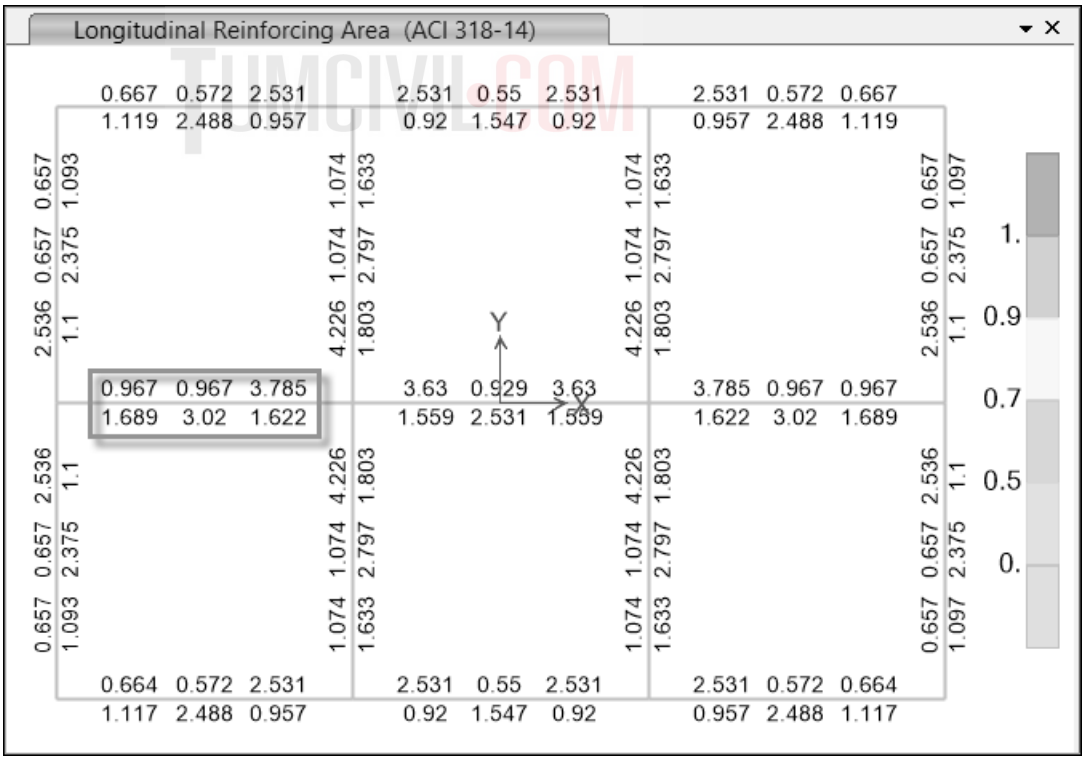
▶ กด F5 เพื่อรันการวิเคราะห์ แล้วกด Shift+F6 เพื่อรันการออกแบบ



จะเห็นว่าไม่มีเสาสีแดงเหลือ แสดงว่าออกแบบผ่านทั้งหมดแล้ว ที่เสาสองต้นกลางซึ่งเคยเป็น O/S จะแสดงผลออกแบบเหล็กเสริมยืน

ผลของแฟกเตอร์รูปแบบบรรทุกจร Pattern Live Load Factor

- คลิกหน้าต่าง X-Y Plane @ Z=6 สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > Display Design Info... เลือกให้แสดง Longitudinal Reinforcing



เราจะลองเปลี่ยนค่าแฟกเตอร์รูปแบบบรรทุกจร โดยใช้ผลการออกแบบคานที่วงไว้เป็นตัวเปรียบเทียบ

- สั่งเมนู Design > Concrete Frame Design > View/Revise Preferences จะเห็นว่าค่า Pattern Live Load Factor (Pllf) = 0.75 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่โปรแกรมตั้งไว้

Concrete Frame Design Preferences for ACI 318-14

	Item	Value
1	Design Code	ACI 318-14
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Number of Interaction Curves	24
4	Number of Interaction Points	11
5	Consider Minimum Eccentricity?	Yes
6	Seismic Design Category	D
7	Design System Rho	1.
8	Design System Sds	0.5
9	Phi (Tension Controlled)	0.9
10	Phi (Compression Controlled Tied)	0.7
11	Phi (Compression Controlled Spiral)	0.75
12	Phi (Shear and/or Torsion)	0.85
13	Phi (Shear Seismic)	0.6
14	Phi (Joint Shear)	0.85
15	Pattern Live Load Factor	0.75
16	Utilization Factor Limit	0.95

- ลองเปลี่ยนค่าเป็น Pllf = 0 คือไม่คิดผลการจัดน้ำหนักจร และ Pllf = 1 คือคิดผลการจัดน้ำหนักจร 100% จะได้ผลการออกแบบเหล็กเสริมดังนี้

TUMCIVIL.COM

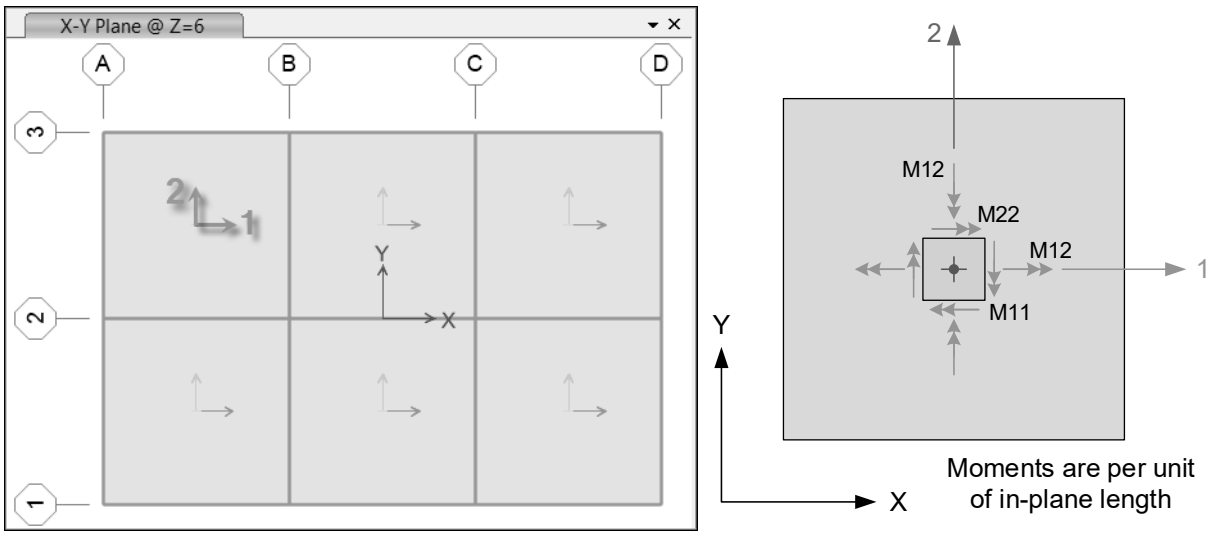
0.967 0.967 3.785 1.689 3.02 1.622 Pllf = 0.75	0.967 0.967 3.785 1.594 2.767 1.622 Pllf = 0	0.967 0.967 3.785 1.959 3.536 1.622 Pllf = 1

จะเห็นว่ามีบางค่าของโมเมนต์บวกที่เพิ่มขึ้นเมื่อคิดผลของการจัดน้ำหนักบรรทุกจร

การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก RC Slab Design

SAP2000 จะทำการออกแบบเฉพาะองค์อาคารที่เป็นโครง (Frame) แต่จะไม่การออกแบบพื้นและผนังให้ โดยการออกแบบพื้นอาจส่งออกไปทำในโปรแกรม SAFE ส่วนการออกแบบผนังจะอยู่ในโปรแกรม ETABS แต่ถ้าเราต้องการคำนวณแบบง่ายๆก็อาจจะพอทำได้ใน SAP2000 คือนำค่าแรงภายในพื้นมาคำนวณออกแบบเองด้วยมือดังนี้

- คลิกหน้าต่างสองมิติ สั่งเมนู Display > Show Undeformed Shape
- คลิกปุ่ม เลือก Fill Object และ Area > Local Axes ให้แสดงแกนเฉพาะของพื้นที่ จะเห็นว่าแกน 1 (สีแดง) ของพื้นชี้ไปทางแกน X และแกน 2 (สีเขียว) ชี้ไปทางแกน Y

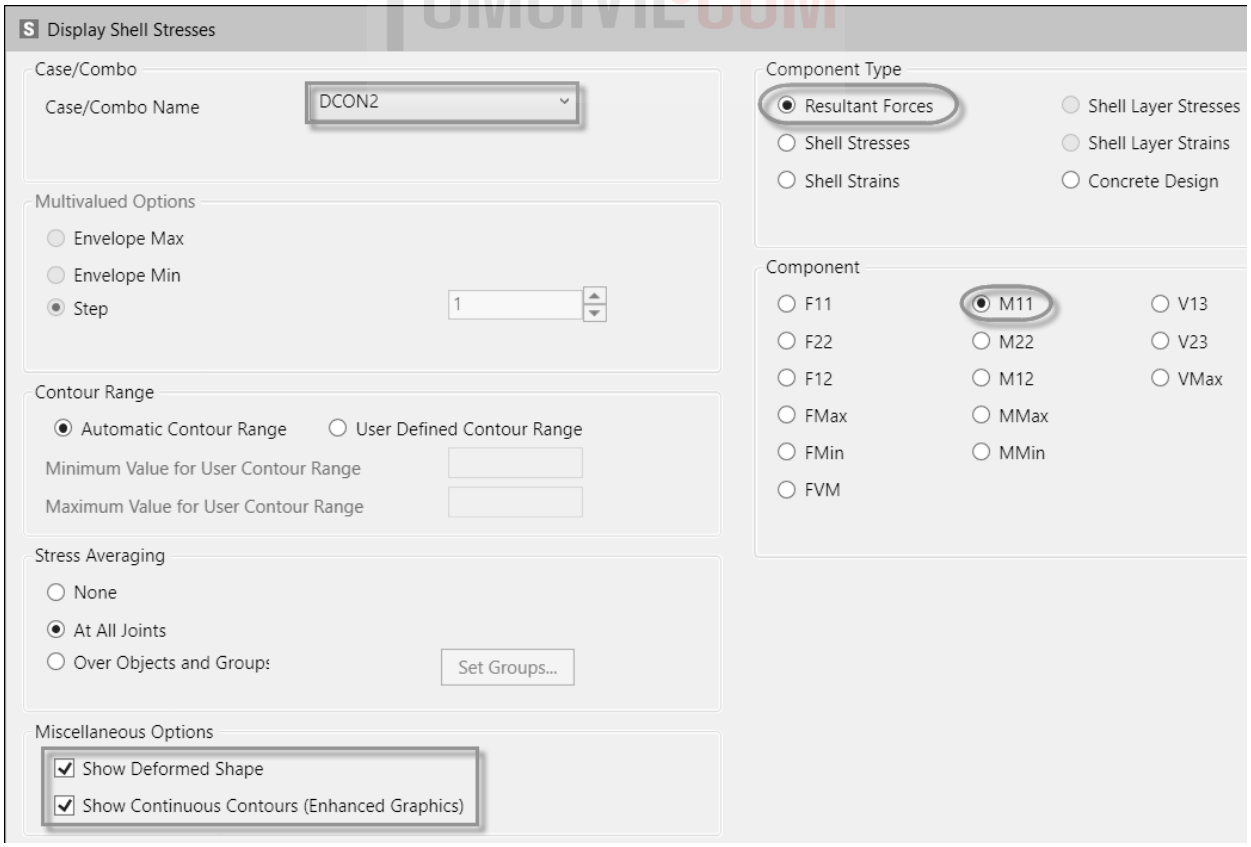


จากการวิเคราะห์พื้นจะได้แรงภายในเป็นองค์ประกอบย่อยในแต่ละชิ้นส่วนย่อยของพื้นโดยมีทิศทางอ้างอิงกับแกนเฉพาะของพื้นดังในรูป

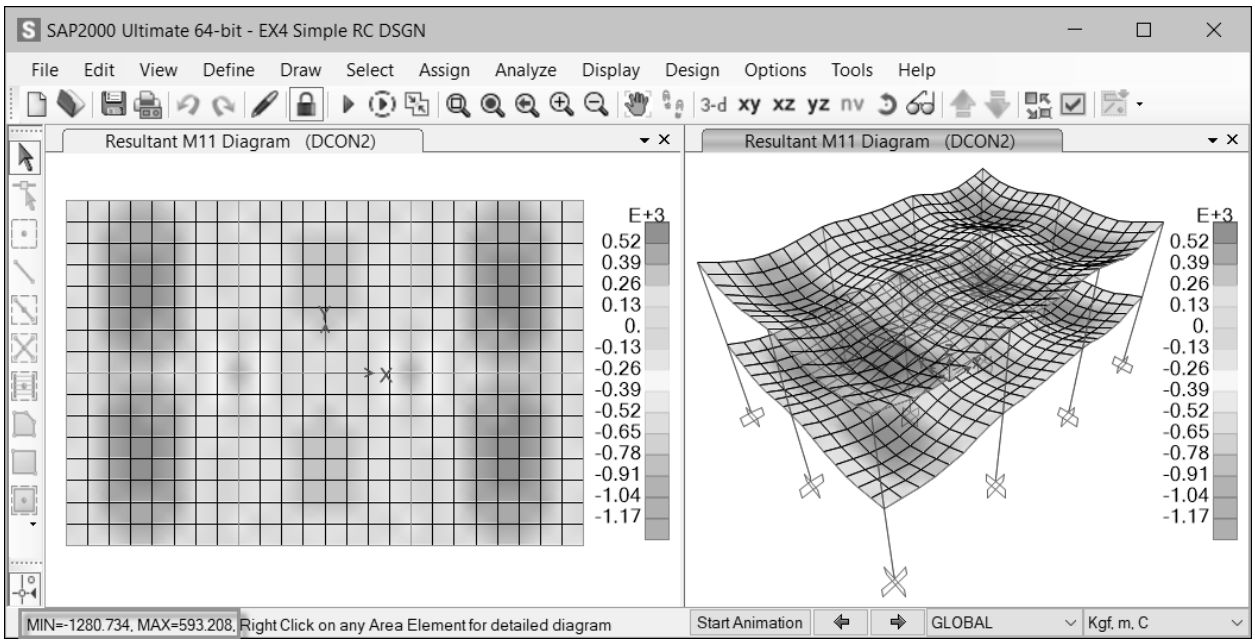
ตัวอย่างเช่นถ้าเราต้องการออกแบบเหล็กเสริมในทิศทาง X ซึ่งจะตรงกับแกน 1 องค์ประกอบแรงที่จะดูก็คือ M11 โดยจะเป็นค่าโมเมนต์ต่อหน่วยความยาวในระนาบ

- คลิกหน้าต่างสองมิติ กดปุ่ม เลือก Shells... เลือกกรณีบรรทุกร่วม DCON2 ซึ่งก็คือ 1.4DL + 1.7LL และกำหนดค่าต่างๆดังในรูป

TOMCIVIL.COM



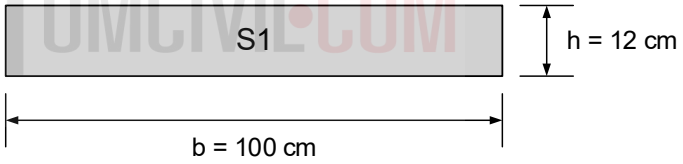
- คลิกหน้าต่างสามมิติ สั่งเช่นเดิม แล้วเลือกเมนู Options > Dimensions/Tolerances เปลี่ยนค่า Screen Line Thickness = 1



ที่มุมซ้ายล่างจะแสดงค่าโมเมนต์น้อยที่สุดคือ -1,281 Kgf-m/m คือโมเมนต์ลบบริเวณหัวเสา และค่าโมเมนต์มากที่สุด 593 Kgf-m/m คือโมเมนต์บวกที่กลางช่วง

เราสามารถนำค่าโมเมนต์มาออกแบบพื้นโดยคิดเสมือนคานที่มีความกว้าง 1 m = 100 cm และลึกเท่ากับความหนาพื้น S1 คือ 12 cm

TUMCIVIL.COM



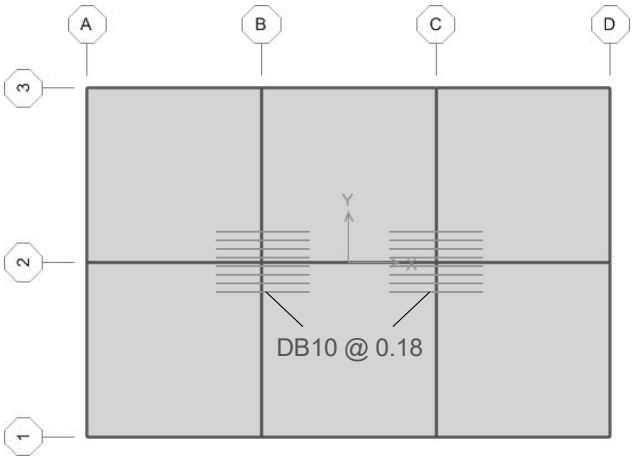
คำนวณพื้นที่เหล็กเสริมที่ต้องการโดยวิธีประมาณ

$$A_s = \frac{M_u}{\phi(0.9d)f_y} = \frac{1{,}281\times100}{0.9\times0.9\times9.5\times4{,}000} = 4.16\ cm^2$$

ใช้เหล็กเสริม DB10 (A_s = 0.785 cm^2)

ระยะห่าง s ที่ต้องการคือ 100×0.785/4.16 = 18.9 cm

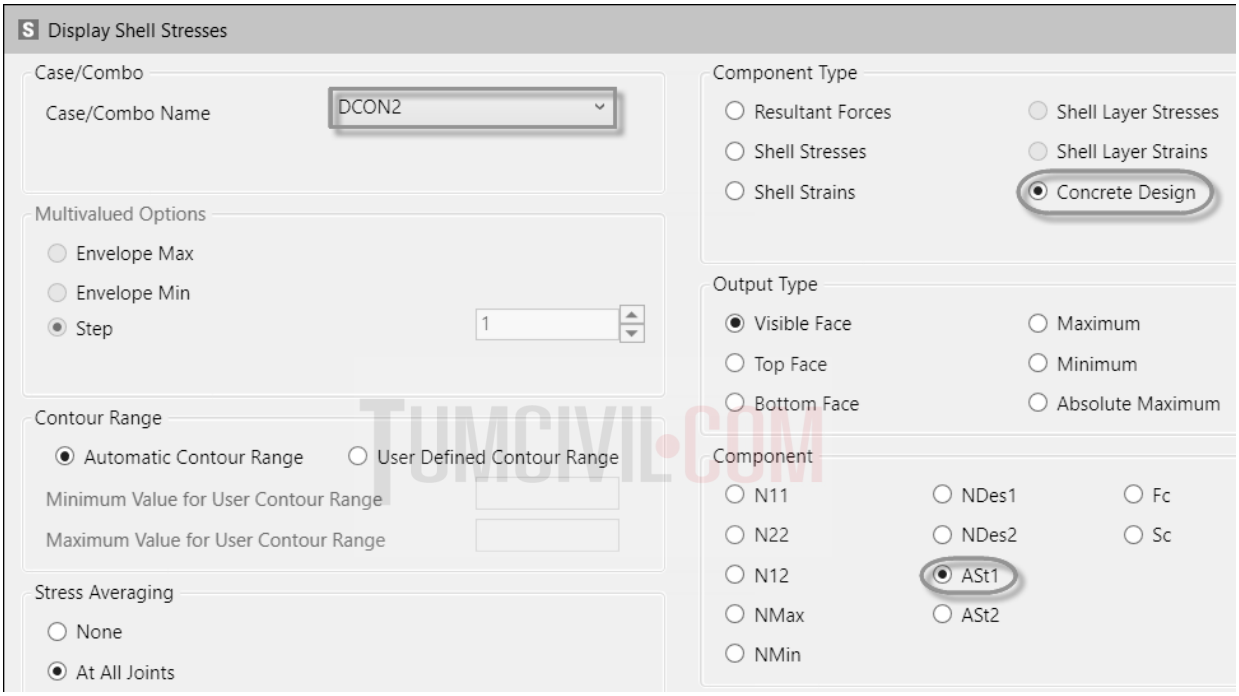
ดังนั้นใช้เหล็กเสริมบนเพื่อรับโมเมนต์ลบบริเวณหัวเสา DB10 @ 0.18 m



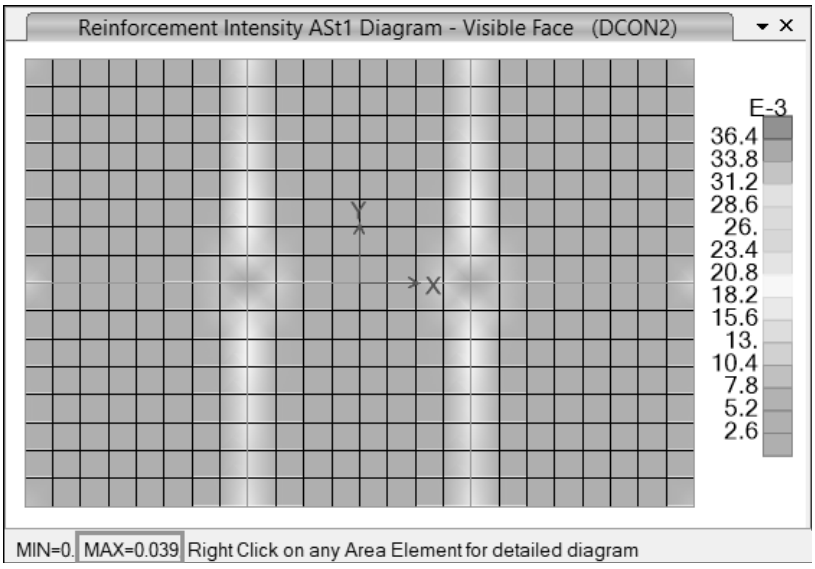
การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นคอนกรีต
Concrete Shell Reinforcement Design

โปรแกรม SAP2000 สามารถทำการออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นคอนกรีตจากสนามโมเมนต์ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดใน DD ENV 1992-1-1 1992 Eurocode 2: Design of Concrete Structures

- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf, cm, C, คลิกหน้าต่างสองมิติ แล้วกดปุ่ม เลือก Shells... เลือกกรณีบรรทุกร่วม DCON2 เช่นเดิม แต่ครั้งนี้เลือกชนิดการแสดงเป็น Concrete Design และเหล็กเสริม Ast1



ปริมาณเหล็กเสริม Ast1 คือค่าพื้นที่เหล็กเสริมต่อหน่วยความกว้างในทิศแกนเฉพาะที่ 1 ของแผ่นพื้นคอนกรีตซึ่งมีทิศไปทางแกน X



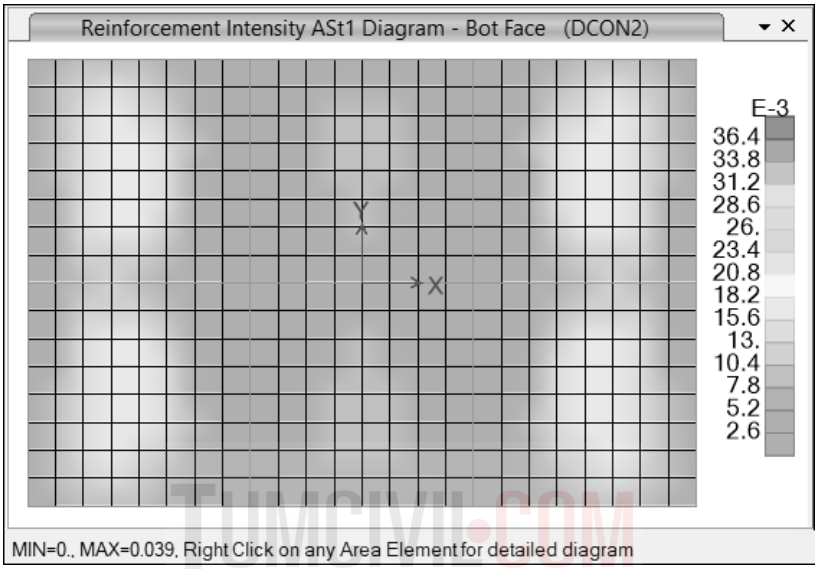
ที่มุมซ้ายล่างจะแสดงปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุด 0.039 cm^2/cm = 3.9 cm^2/m

ใช้เหล็กเสริม DB10 (A_s = 0.785 cm^2)

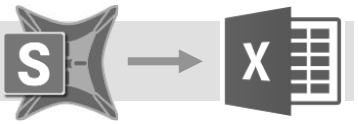
ระยะห่าง s ที่ต้องการคือ 100×0.785/3.9 = 20.1 cm

ดังนั้นใช้เหล็กเสริมบนเพื่อรับโมเมนต์ลบบริเวณหัวเสา DB10 @ 0.20 m

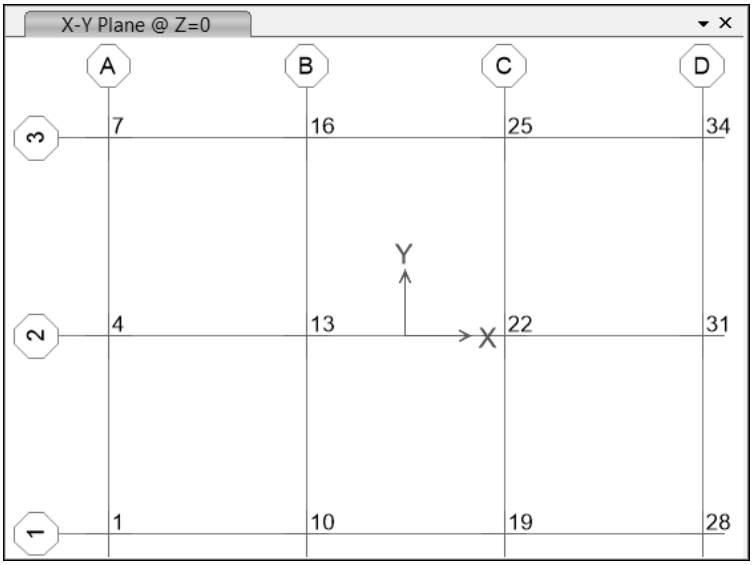
- กดปุ่ม เลือก Shells... และกรณี DCON2 เช่นเดิม แต่เลือกเป็น Bottom Face เพื่อให้แสดงเหล็กล่าง



การส่งออกข้อมูลไปยัง EXCEL

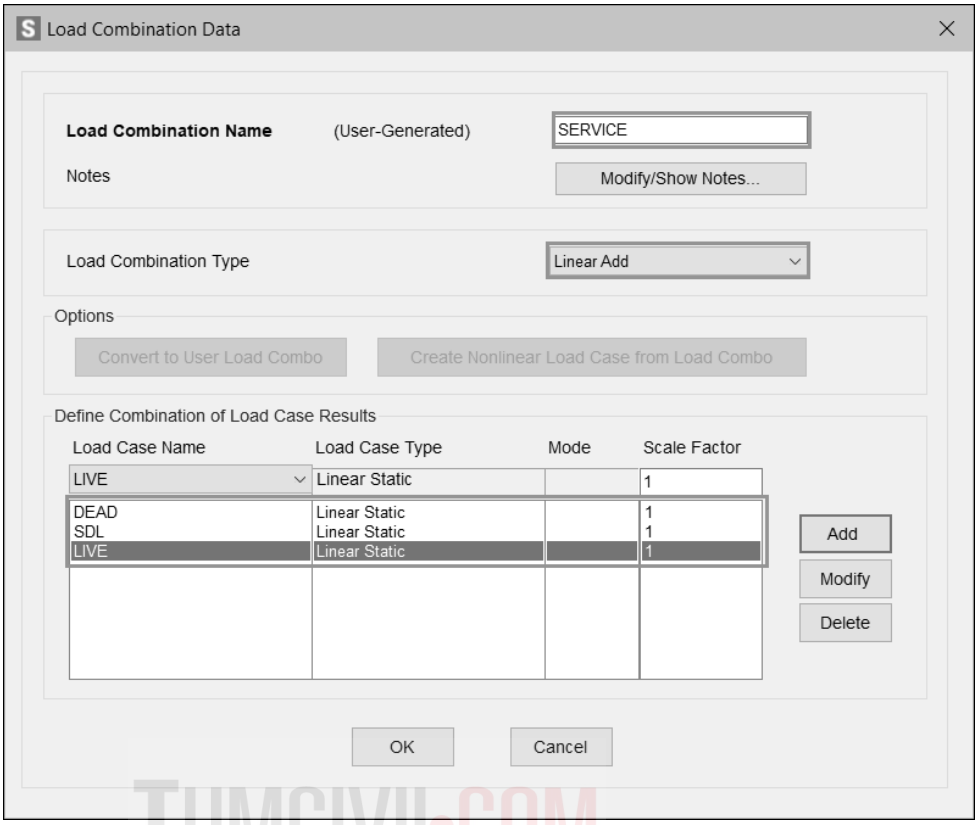


- ใน SAP2000 คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงหมายเลขจุดต่อ Joints > Labels



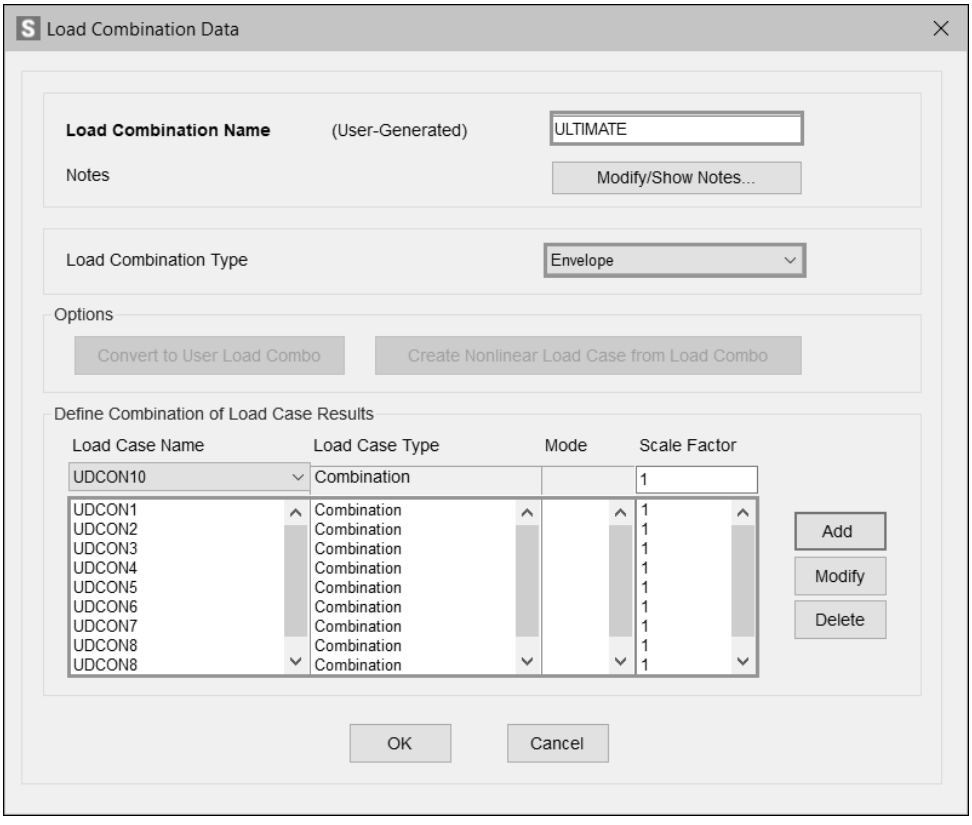
- สั่งเมนู Define > Load Combinations สร้างกรณีบรรทุกร่วมเพิ่มเติมคือ

- SERVICE : DEAD + SDL + LIVE คือน้ำหนักบรรทุกใช้งานสำหรับกำหนดขนาดฐานราก หรือจำนวนเสาเข็ม

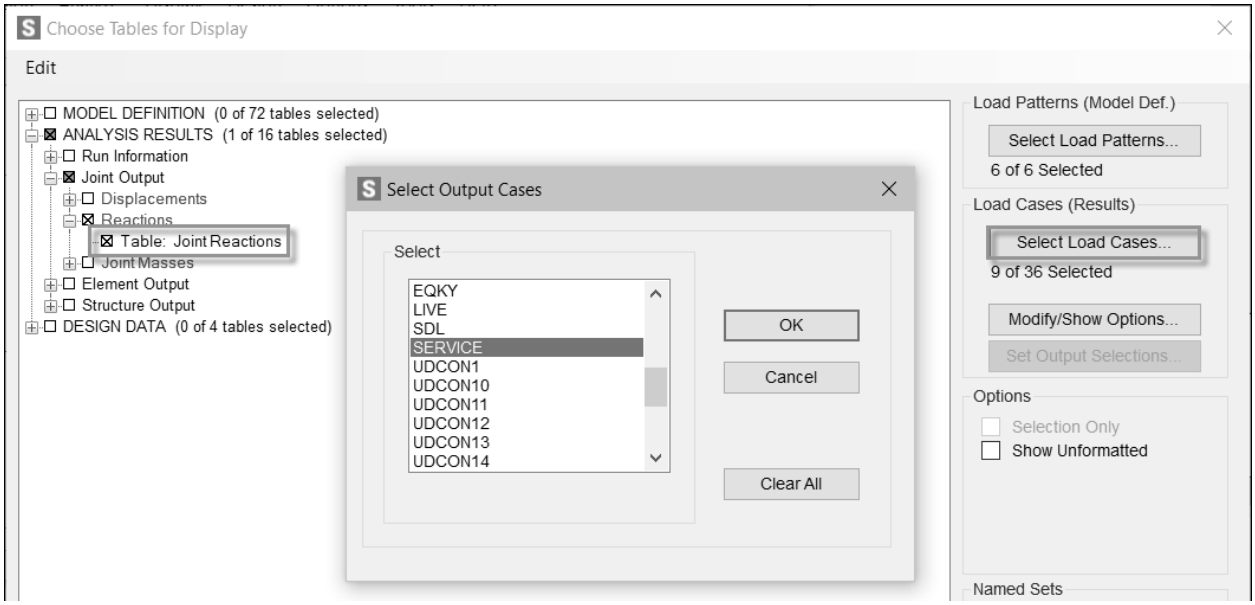


TUMCIVIL.COM

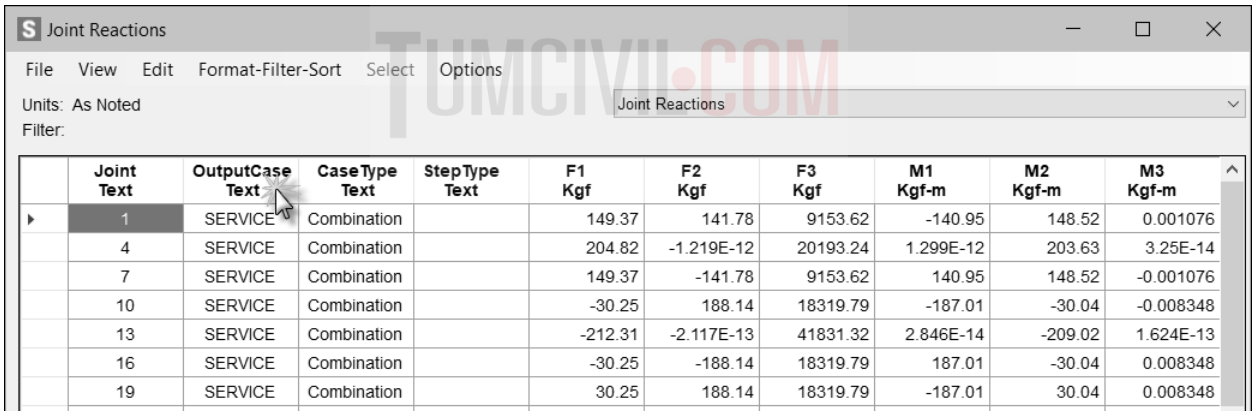
- ULTIMATE : เลือกวิธีรวมแบบ Envelope เพื่อหาค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดของทุกกรณีบรรทุกร่วม (UCDON)



- สั่งเมนู Display > Show Table หรือกด Ctrl+T เลือกให้แสดง Joint Reactions และกรณีบรรทุก SERVICE และ ULTIMATE (กด Ctrl ค้างไว้เพื่อเลือกหลายรายการ)

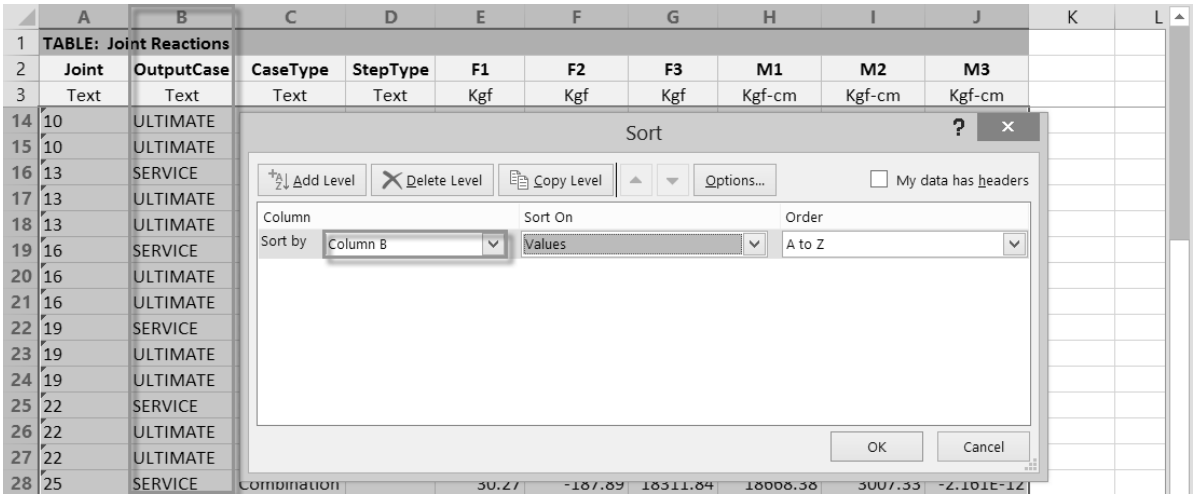


- ในตาราง Joint Reactions ที่แสดงขึ้นมา ให้คลิกที่ช่อง OutputCase เพื่อเรียงข้อมูลให้กรณีบรรทุก SERVICE และ ULTIMATE แยกกลุ่มกัน



Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	SERVICE	Combination		149.37	141.78	9153.62	-140.95	148.52	0.001076
4	SERVICE	Combination		204.82	-1.219E-12	20193.24	1.299E-12	203.63	3.25E-14
7	SERVICE	Combination		149.37	-141.78	9153.62	140.95	148.52	-0.001076
10	SERVICE	Combination		-30.25	188.14	18319.79	-187.01	-30.04	-0.008348
13	SERVICE	Combination		-212.31	-2.117E-13	41831.32	2.846E-14	-209.02	1.624E-13
16	SERVICE	Combination		-30.25	-188.14	18319.79	187.01	-30.04	0.008348
19	SERVICE	Combination		30.25	188.14	18319.79	-187.01	30.04	0.008348

- สั่งเมนู File > Export Current Table > To Excel
- ใน Excel ตารางยังไม่เรียงค่า ให้สั่ง Data > Sort เลือกให้เรียงตาม Column B

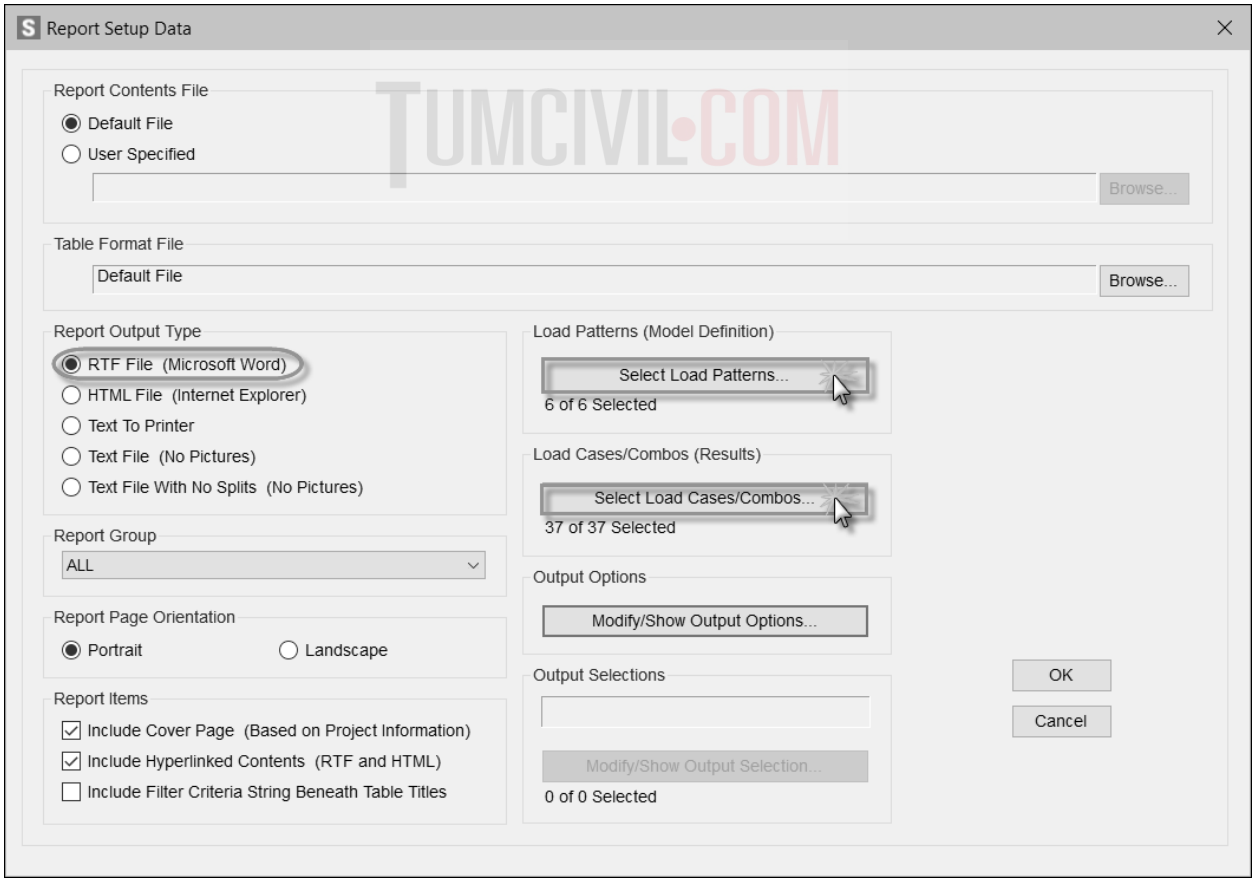


จะได้ตารางข้อมูลดังในรูปเพื่อนำไปออกแบบฐานรากต่อไป

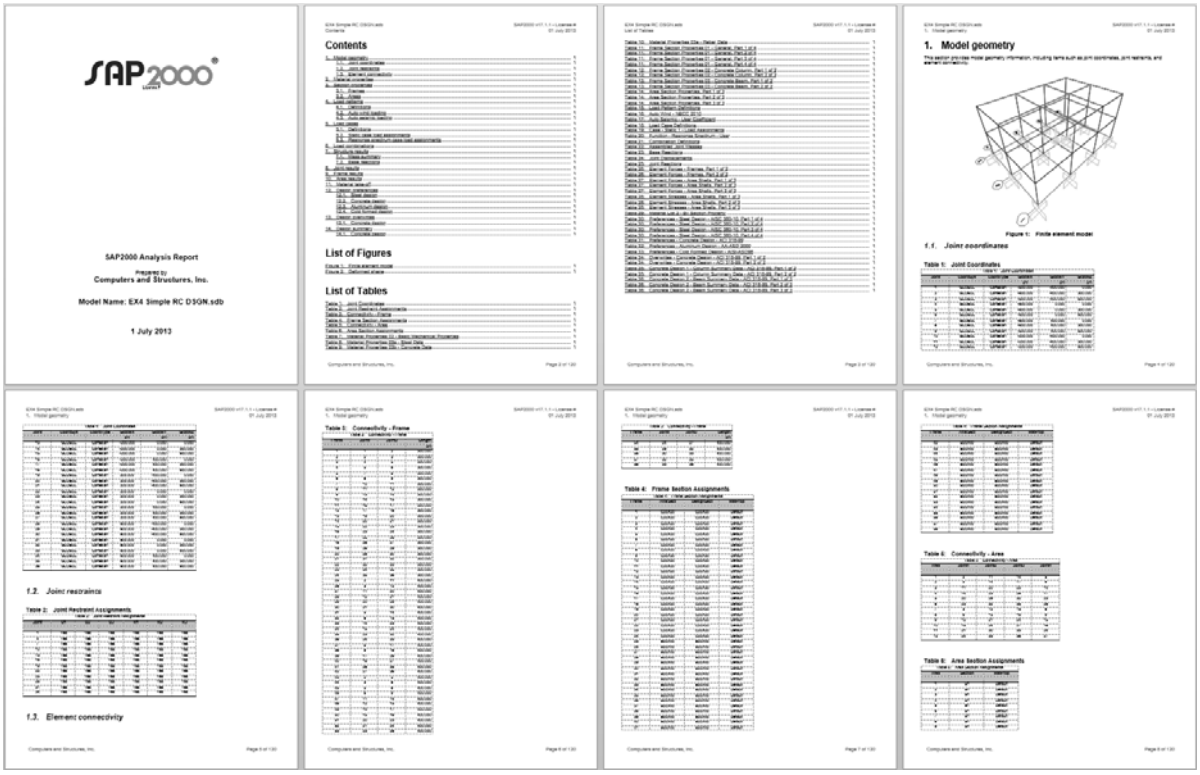
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	**TABLE: Joint Reactions**									
2	**Joint**	**OutputCase**	**CaseType**	**StepType**	**F1**	**F2**	**F3**	**M1**	**M2**	**M3**
3	Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm
4	1	SERVICE	Combination		149.06	141.54	9150.22	-14063.26	14810.81	-2.161E-12
5	4	SERVICE	Combination		204.46	-1.555E-12	20184.32	1.312E-10	20314.67	-2.161E-12
6	7	SERVICE	Combination		149.06	-141.54	9150.22	14063.26	14810.81	-2.161E-12
7	10	SERVICE	Combination		-30.27	187.89	18311.84	-18668.38	-3007.33	-2.161E-12
8	13	SERVICE	Combination		-212.58	-1.369E-11	41811.56	1.273E-09	-20951.85	-1.094E-11
9	16	SERVICE	Combination		-30.27	-187.89	18311.84	18668.38	-3007.33	-2.161E-12
10	19	SERVICE	Combination		30.27	187.89	18311.84	-18668.38	3007.33	-2.161E-12
11	22	SERVICE	Combination		212.58	-1.685E-12	41811.56	1.308E-10	20951.85	-1.094E-11
12	25	SERVICE	Combination		30.27	-187.89	18311.84	18668.38	3007.33	-2.161E-12
13	28	SERVICE	Combination		-149.06	141.54	9150.22	-14063.26	-14810.81	-2.161E-12
14	31	SERVICE	Combination		-204.46	-1.672E-12	20184.32	1.674E-10	-20314.67	-2.161E-12
15	34	SERVICE	Combination		-149.06	-141.54	9150.22	14063.26	-14810.81	-2.161E-12

การสร้างรายงาน Creat Report

▶ สั่งเมนู File > Report Setup เพื่อตั้งค่าต่างๆของรายงานที่จะสร้าง ดังในรูป



▶ สั่งเมนู File > Create Report เพื่อสร้างรายงานแบบอัตโนมัติ



SAP2000 Analysis Report

Prepared by
Computers and Structures, Inc.

Model Name: EX4 Simple RC DSGN.sdb

1 July 2013

Contents

List of Figures

List of Tables

1. Model geometry

1.1. Joint coordinates

Table 1: Joint Coordinates

1.2. Joint restraints

Table 2: Joint Restraint Assignments

1.3. Element connectivity

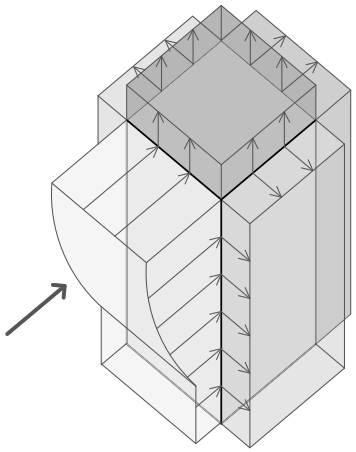
Table 3: Connectivity - Frame

Table 4: Frame Section Assignments

Table 5: Connectivity - Area

Table 6: Area Section Assignments

TUMCIVIL•COM



7

การคำนวณแรงลม

ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณแรงลมตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคารของกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2550 (มยผ.1311-50) ซึ่งจะใช้ความเร็วลมอ้างอิงเป็นความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารของประเทศแคนาดา ปี ค.ศ. 2005 (National Building Code of Canada (NBCC-2005)) โดยจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าโดยวิธีอย่างง่าย การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ในกรณีต่างๆสำหรับโครงสร้างรับแรงลมในประเทศไทย ตัวอย่างการคำนวณแรงลมบนโครงสร้างรูปแบบต่างๆ และการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SAP2000 ในการคำนวณวิเคราะห์แรงลมกระทำบนโครงสร้าง

TUMCIVIL.COM

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q)

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม สามารถคำนวณได้จาก

$$q = \frac{1}{2}\rho \bar{V}^2 \qquad (7.1)$$

เมื่อ q ที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

หรือ

$$q = \frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{g}\right)\bar{V}^2 \qquad (7.2)$$

เมื่อ q ที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

ρ คือ ความหนาแน่นมวลอากาศ มีค่าประมาณ 1.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความดันบรรยากาศปกติและอุณหภูมิระหว่าง 15 - 45 ^oC

$\bar{V}$ คือ ความเร็วลมอ้างอิงเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตร ในสภาพภูมิประเทศโล่ง (open exposure) โดยมีคาบกลับซ้ำ (return period) 50 ปี (V_{50}) ยกเว้น กลุ่ม 4A และ 4B ความเร็วลมอ้างอิงของพื้นที่ต่างๆในประเทศไทยเป็นดังแสดงในรูปที่ 7.1

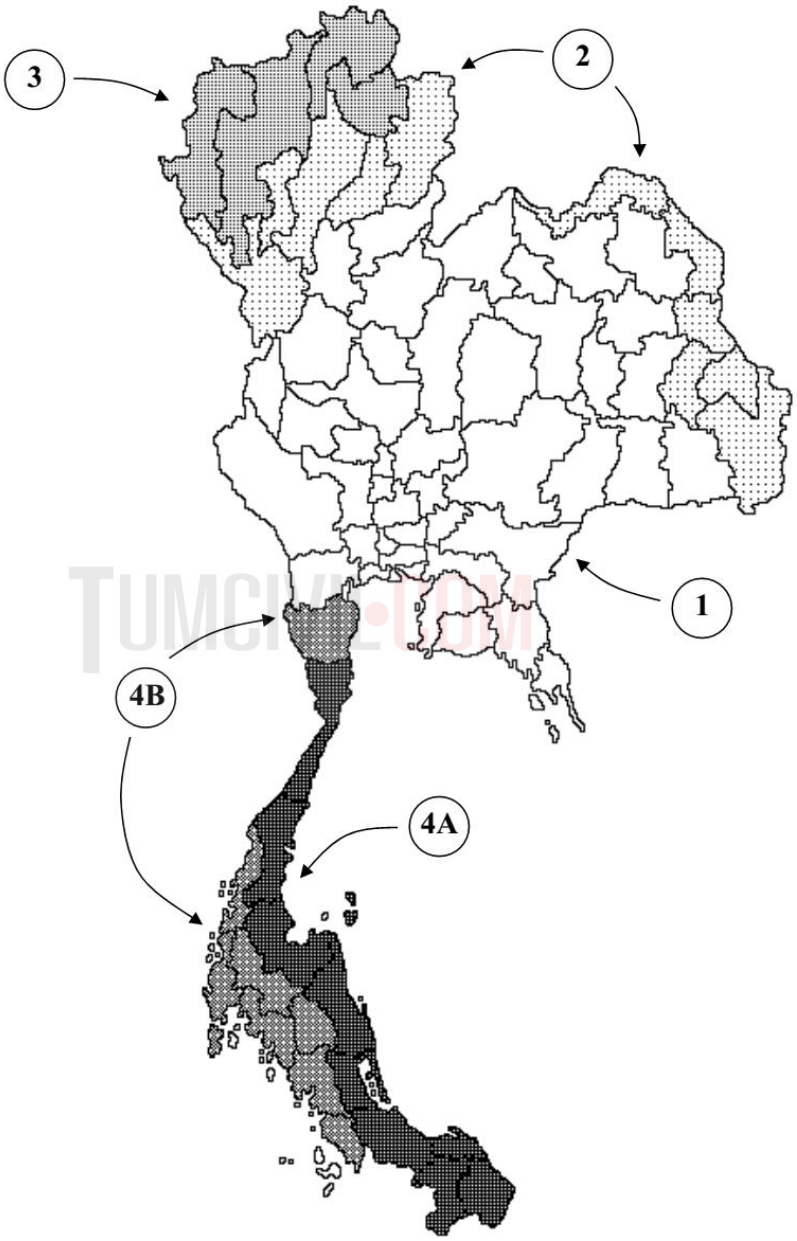
สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

$$\bar{V} = V_{50} \tag{7.3}$$

สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านกำลัง

$$\bar{V} = T_F \cdot V_{50} \tag{7.4}$$

โดย V_{50} คือค่าความเร็วลมที่คาบกลับซ้ำ 50 ปี และ T_F คือค่าประกอบไต้ฝุ่น



รูปที่ 7.1 แผนที่การแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิง

การจำแนกและการแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงมีจำนวน 5 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 V_{50} = 25 เมตร ต่อ วินาที T_F = 1.0

กลุ่มที่ 2 V_{50} = 27 เมตร ต่อ วินาที T_F = 1.0

กลุ่มที่ 3 V_{50} = 29 เมตร ต่อ วินาที T_F = 1.0

กลุ่มที่ 4A V_{50} = 25 เมตร ต่อ วินาที T_F = 1.2

กลุ่มที่ 4B V_{50} = 25 เมตร ต่อ วินาที T_F = 1.08

วิธีคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า

วิธีการคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าเป็นวิธีการอย่างง่ายในการคำนวณแรงลมสามารถใช้ได้กับโครงสร้างดังต่อไปนี้

ก. ระบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม (main wind-force resistant system) ของอาคารเตี้ยและอาคารสูงปานกลางที่มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุด สามารถคำนวณได้จาก

$$W = \frac{\Sigma h_i W_i}{\Sigma h_i} \qquad (7.5)$$

โดยที่ Σ = ผลรวมของทุกชั้นของอาคาร

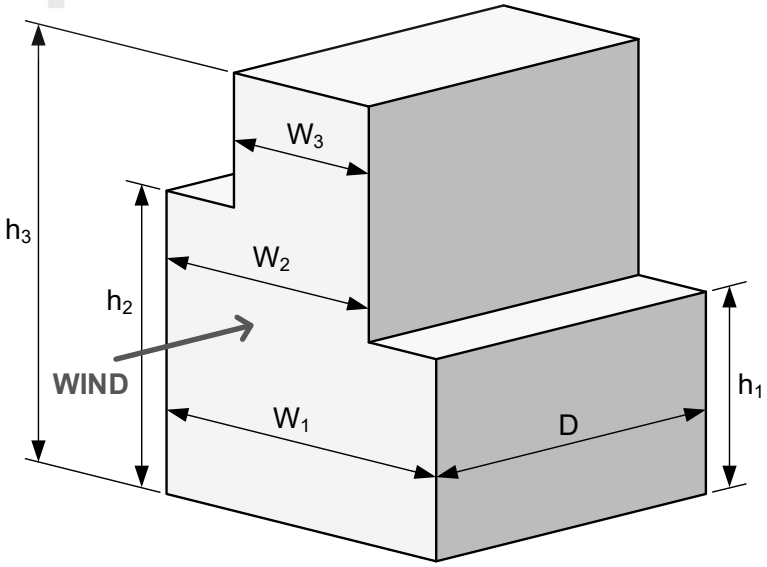
h_i = ความสูงจากพื้นดินถึงชั้นที่ i

W_i = ความกว้างของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ที่ความสูง h_i

ความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุดของอาคารให้พิจารณาจากทิศทางลมในทุกทิศทาง

ข. ผนังภายนอกอาคาร (cladding) ของอาคารทุกประเภท

THAMCIVIL.COM



รูปที่ 7.2 การพิจารณาความกว้างประสิทธิผลของอาคาร

แรงลมออกแบบ

หน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารในทิศทางลม สามารถคำนวณได้จาก

$$p = I_w q C_e C_g C_p \qquad (7.6)$$

โดยที่ p = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายนอกอาคาร โดยเรียกว่า **หน่วยแรงดัน** ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ **หน่วยแรงดูด** ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

I_w = ตัวคูณความสำคัญแรงลม

q = หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (reference velocity pressure)

C_e = ตัวคูณสภาพการเปิดโล่ง (exposure factor)

C_g = ตัวคูณลมกระโชก (gust factor)

C_p = สัมประสิทธิ์ความดันภายนอก (external pressure coefficient)

หน่วยแรงลมสุทธิเพื่อใช้ในการคำนวณแรงลมที่กระทำต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของด้านใดด้านหนึ่งของอาคารเช่นผนังภายนอกหรือหลังคา เป็นผลรวมแบบเวกเตอร์ของหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกและหน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวที่กระทำบนพื้นผิวภายใน โดยที่หน่วยแรงลมภายในคำนวณจาก

$$p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi} \qquad (7.7)$$

โดยที่ p_i = หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า (equivalent static wind pressure) กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวภายในอาคาร โดยเรียกว่า **หน่วยแรงดัน** ถ้ามีทิศเข้าหาพื้นผิว หรือ **หน่วยแรงดูด** ถ้ามีทิศพุ่งออกจากพื้นผิว

THAICIVIL.COM

C_{gi} = ตัวคูณลมกระโชก (gust factor) ของลมที่กระทำภายในอาคาร

C_{pi} = สัมประสิทธิ์ความดันภายในอาคาร

ตารางที่ 7.1 การจำแนกประเภทของอาคารตามความสำคัญต่อสาธารณชน

ประเภทของอาคาร	ความสำคัญ
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการวิบัติของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้นๆเช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็กๆซึ่งไม่มีความสำคัญ	**น้อย**
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ **น้อย** และ **สูงมาก**	**ปกติ**
อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลายจะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่งๆมากกว่า 300 คน	มาก

- โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัยที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	
อาคารและส่วนโครงสร้างที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชนเป็นอย่างมาก หรืออาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาสาธารณภัยหลังเกิดเหตุเป็นอย่างมาก เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และ โรงเก็บรถฉุกเฉินต่างๆ - โรงไฟฟ้า โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และ โรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารหรือส่วนโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ หรือการใช้สารพิษ เช่น เชื้อเพลิง หรือสารเคมี อันก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	**สูงมาก**

ตารางที่ 7.2 ตัวคูณความสำคัญของอาคาร

ความสำคัญอาคาร	ตัวคูณความสำคัญของแรงลม	
	สภาวะจำกัดด้านกำลัง	สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน
น้อย	0.8	0.75
ปกติ	1	0.75
มาก	1.15	0.75
สูงมาก	1.15	0.75

ตัวคูณสภาพการเปิดโล่ง (C_e)

ตัวคูณสภาพการเปิดโล่งใช้ปรับค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพการเปิดโล่งของภูมิประเทศ การคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างง่ายแบ่งสภาพการเปิดโล่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. สภาพเปิดโล่งแบบ A เป็นสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้าง กระจัดกระจายอยู่ห่างๆกัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล ให้คำนวณ C_e จากสมการ (7.8) หรือใช้ค่าจากตาราง 7.3

$$C_e = \left(\frac{z}{10}\right)^{0.2} \qquad (7.8)$$

โดยที่ z = ความสูงจากพื้นดิน (หน่วยเป็นเมตร) ณ ตำแหน่งที่คำนวณค่าหน่วยแรงลม โดยที่ถ้า C_e ที่คำนวณจากสมการ (7.8) มีค่าน้อยกว่า 0.9 กำหนดให้ใช้ค่า $C_e = 0.9$

ข. สภาพเปิดโล่งแบบ B เป็นสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก ให้คำนวณ C_e จากสมการ (7.9) หรือใช้ค่าจากตาราง 7.3

$$C_e = 0.7\left(\frac{z}{12}\right)^{0.3} \qquad (7.9)$$

โดยที่ถ้า C_e ที่คำนวณจากสมการ (3.8) มีค่าน้อยกว่า 0.7 กำหนดให้ใช้ค่า $C_e = 0.7$

สภาพภูมิประเทศใดๆ จะจัดอยู่ในสภาพเปิดโล่งแบบ B ได้จะต้องมีภูมิประเทศในลักษณะนี้อย่างสม่ำเสมอในทิศทางต้นลมเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร หรือ 10 เท่าของความสูงอาคาร โดยใช้ค่าที่มากกว่า

ข้อยกเว้น อาคารที่มีความสูงไม่เกิน 80 เมตร และตั้งอยู่ในกลุ่มที่มีความเร็วลมอ้างอิง ($\bar{V} = T_F V_{50}$) ไม่เกิน 25 เมตร/วินาที ในรูปที่ 7.1 ให้ใช้เฉพาะสภาพเปิดโล่งแบบ A เท่านั้น

TUMCIVIL.COM

ตารางที่ 7.3 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพเปิดโล่ง (C_e) สำหรับวิธีการอย่างง่าย

ความสูงจากพื้นดิน	สภาพเปิดโล่งแบบ A	สภาพเปิดโล่งแบบ B
สูงไม่เกิน 6 เมตร	0.90	0.70
สูงเกิน 6 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตร	1.00	0.70
สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	1.15	0.82
สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 30 เมตร	1.25	0.92
สูงเกิน 30 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	1.32	1.00
สูงเกิน 40 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร	1.43	1.13
สูงเกิน 60 เมตร แต่ไม่เกิน 80 เมตร	1.52	1.24

ความเร็วลมที่พัดขึ้นเนินเขาและจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 7.3 อาคารหรือโครงสร้างที่ตั้งอยู่บนภูเขาหรือเนินลาดชันที่มีความลาดเอียงคืออัตราส่วนระยะทางแนวดิ่งต่อแนวราบมากกว่า 1 ต่อ 10 ค่าตัวคูณสภาพการเปิดโล่งจะถูกปรับค่าขึ้นเป็น C_e^* คำนวณภายในระยะทาง $|x| < kL_h$ มีค่าเท่ากับ

$$C_e^* = C_e\left(1 + K_1K_2K_3\right)^2 \qquad (7.10)$$

โดยที่ H = ความสูงของภูเขาหรือเนินลาดชันวัดจากระดับพื้นที่ต้นลม (เมตร)

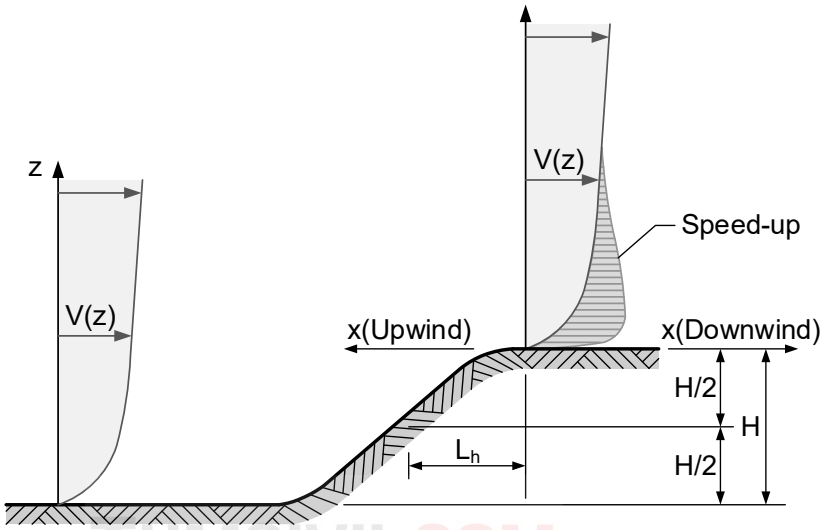
K_1 = พิจารณาจากตารางที่ 7.4

$$K_2 = 1 - \frac{|x|}{kL_h}$$

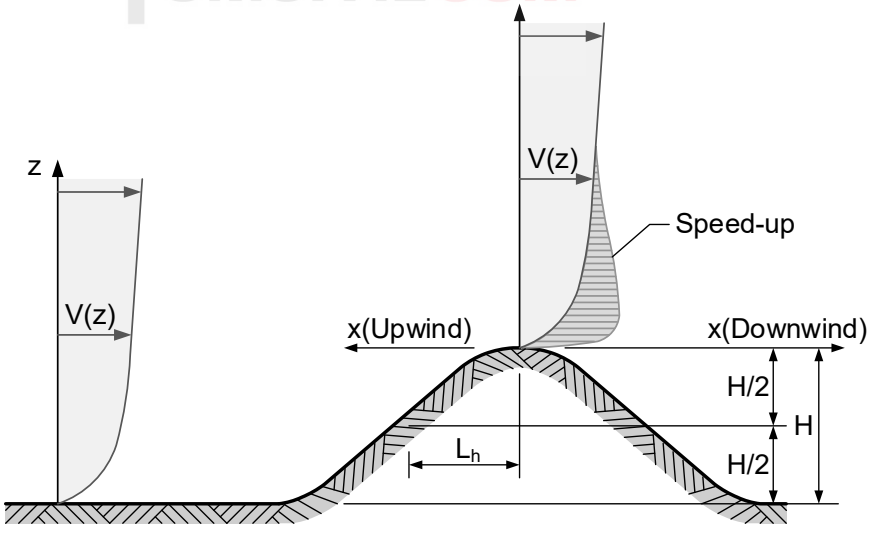
$$K_3 = e^{-az/L_h}$$

a = สัมประสิทธิ์ความเร็วลมตามความสูง

L_h = ระยะทางในแนวราบด้านต้นลมจากยอดเขาถึงระยะ $H/2$



(ก) ลมพัดขึ้นเนินลาดชัน



(ข) ลมพัดขึ้นภูเขา

รูปที่ 7.3 การเพิ่มขึ้นของความเร็วลมบริเวณเนินลาดชันและภูเขา

ตารางที่ 7.4 ค่าตัวคูณสำหรับคำนวณการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมบริเวณภูเขาและเนินลาดชั้น

รูปร่างเนินเขา	$\frac{K_1}{H/L_h}$	a	k	
			$x < 0$	$x > 0$
เนินเขา 2 มิติ (หรือหุบเขาที่ค่า H เป็นลบ)	2.2	3	1.5	1.5

เนินลาดชัน 2 มิติ	[1]1.3	2.5	1.5	4
เนินเขา 3 มิติ ไม่สมมาตร	1.6	3	1.5	1.5

หมายเหตุ : สำหรับอัตราส่วน $H/L_h > 0.5$ กำหนดให้ใช้ $H/L_h = 0.5$ และแทนค่า

$L_h = 2H$ เมื่อคำนวณ C_e^* ในสมการ (3.10)

ตัวคูณลมกระโชก (C_g)

ตัวคูณสภาพการเปิดโล่งใช้ปรับค่าหน่วยแรงลมให้แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดินและสภาพการเปิดโล่งของภูมิประเทศ การคำนวณแรงลมโดยวิธีอย่างง่ายแบ่งสภาพการเปิดโล่งเป็น 2 ประเภท

(1) ตัวคูณลมกระโชกที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร

ก. สำหรับโครงสร้างหลักต้านทานแรงลมใช้ค่า $C_g = 2.0$ ยกเว้น ป้ายและกำแพงให้ใช้ค่า $C_g = 2.35$

ข. สำหรับโครงสร้างรองและผนังห่อหุ้มอาคาร(cladding) ใช้ค่า $C_g = 2.5$

(2) ตัวคูณลมกระโชกที่กระทำภายในอาคารให้ใช้ค่า $C_{gi} = 2.0$ หรือค่าที่คำนวณจากสมการ (7.11) ขึ้นกับปริมาณช่องเปิดของอาคาร ในกรณีที่อาคารมีขนาดใหญ่และไม่มีผนังกั้นภายในซึ่งทำให้ปริมาตรอากาศในอาคารมีมาก ความดันลมภายในจะเปลี่ยนแปลงช้ากว่าภายนอก ซึ่งในกรณีดังกล่าวอาจใช้ค่าที่คำนวณจากสมการ (7.11)

THAICIVIL.COM

$$C_{gi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{6{,}950A_o}}} \qquad (7.11)$$

โดยที่ V_i = ปริมาตรภายในอาคาร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (เมตร^3)

A_o = พื้นที่ช่องเปิดบนผนังภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (เมตร^2)

(3) ตัวคูณลมกระโชกปรับแก้จากผลการเพิ่มความเร็วลมบริเวณเนินลาดชันและภูเขา

ก. ตัวคูณปรับแก้ C_g^* ใช้แทนตัวคูณลมกระโชกในบริเวณที่ราบ คำนวณได้ดังนี้

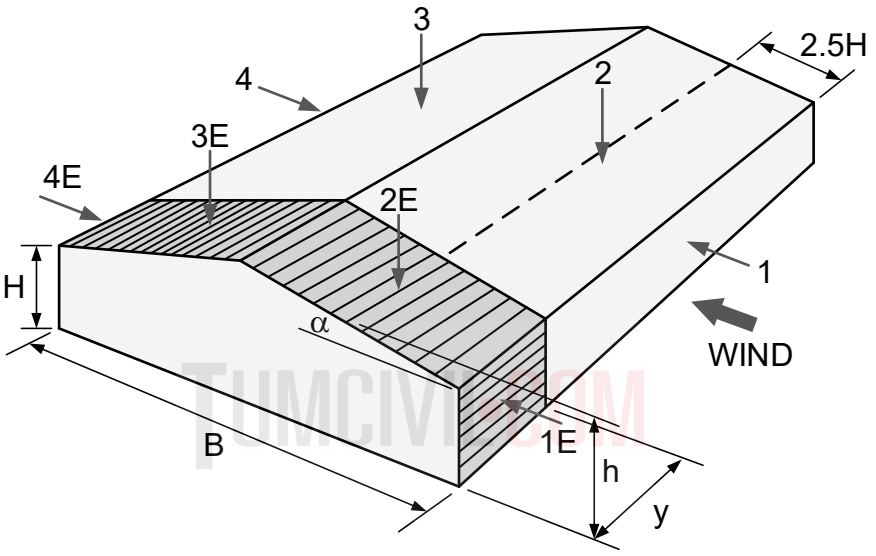
$$C_g^* = 1 + (C_g - 1)\sqrt{\frac{C_e}{C_g^*}} \qquad (7.12)$$

ข. การปรับแก้ผลคูณของ C_pC_g สำหรับอาคารเตี้ยที่ตั้งอยู่บนภูเขาและเนินลาดชันทำได้โดยคูณค่า C_pC_g ด้วยอัตราส่วน C_g^* / C_g โดยที่ C_g คำนวณได้จากหัวข้อ (1) และ C_g^* จากสมการที่ (7.12)

สัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอก (C_p) สำหรับอาคารเตี้ย

สัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอกขึ้นกับรูปทรงของอาคาร ทิศทางลม และ ลักษณะการแปรเปลี่ยนของความเร็วลมตามความสูงอาคาร สัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอกอาคารสำหรับระบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม (Main Wind Force Resisting System, MWFRS) แบ่งออกตามลักษณะอาคารได้แก่ อาคารเตี้ย, อาคารสูง และ โครงสร้างพิเศษ

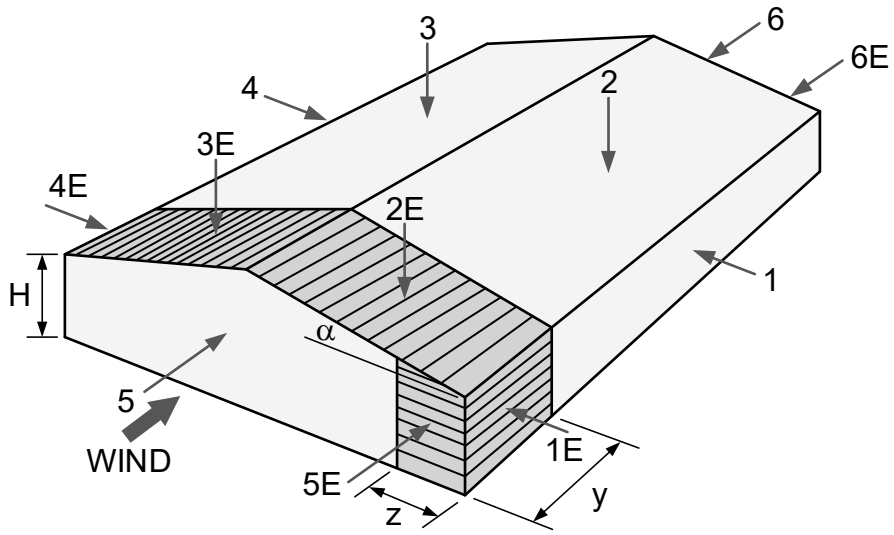
สำหรับอาคารเตี้ยที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง $H/D_s < 1$ (D_s คือความกว้างด้านแคบที่สุด) และมีความสูงอ้างอิง (reference height) น้อยกว่า 23 เมตร สัมประสิทธิ์ความดัน C_p จะพิจารณาได้จากรูปที่ 7.4 และ 7.5



รูปที่ 7.4 พื้นผิวอาคารเตี้ยกรณีที่ 1 ลมพัดตั้งฉากสันหลังคา

ตารางที่ 7.5 ผลคูณสัมประสิทธิ์ C_pC_g สำหรับอาคารเตี้ยกรณีลมพัดตั้งฉากสันหลังคา

ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0° ถึง 5°	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8
20°	1.0	1.5	-1.3	-2.0	-0.9	-1.3	-0.8	-1.2
30° ถึง 45°	1.05	1.3	0.4	0.5	-0.8	-1.0	-0.7	-0.9
90°	1.05	1.3	1.05	1.3	-0.7	-0.9	-0.7	-0.9



รูปที่ 7.5 พื้นผิวอาคารเตี้ยกรณีที่ 2 ลมพัดขนานสันหลังคา

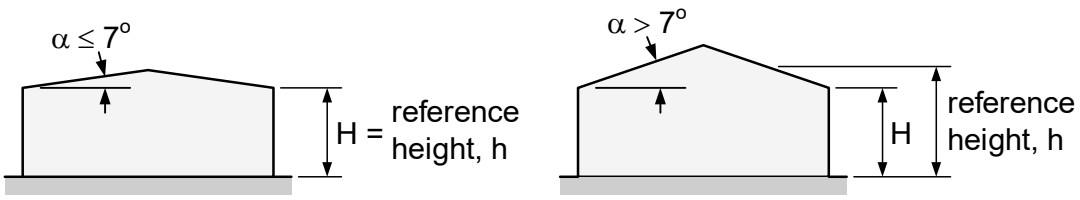
ตารางที่ 7.6 ผลคูณสัมประสิทธิ์ C_pC_g สำหรับสำหรับอาคารเตี้ยกรณีลมพัดขนานสันหลังคา

ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวอาคาร											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
0^o ถึง 90^o	-0.85	-0.9	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.85	-0.9	0.75	1.15	-0.55	-0.8

THAICIVIL.COM

คำอธิบายประกอบรูปที่ 7.4 และ 7.5

1. อาคารต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลมได้ทุกทิศทาง โดยมุมทั้ง 4 ของอาคารต้องถูกพิจารณาเป็นมุมรับแรงลม (windward corner) โดยแยกพิจารณาเป็นกรณีที่ 1 ลมพัดตั้งฉากสันหลังคา (รูปที่ 7.4) และกรณีที่ 2 ลมพัดขนานสันหลังคา (รูปที่ 7.5)
2. สำหรับความชันหลังคาค่าอื่นที่ไม่ได้แสดงในตารางให้ใช้การประมาณสัดส่วนโดยอ้างอิงจากค่าในตาราง
3. สัมประสิทธิ์ค่าบวกหมายถึงแรงกระทำตั้งฉากและพุ่งเข้าหาพื้นผิวอาคาร(แรงดัน) ส่วนค่าลบหมายถึงแรงกระทำพุ่งออก(แรงดูด)
4. ต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงดันภายนอกและภายในเพื่อให้ได้หน่วยแรงดันที่ถูกต้องสำหรับการออกแบบ โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงดันภายใน C_{pi} จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป
5. สำหรับการออกแบบฐานราก (ยกเว้นส่วนที่ยึดโครงสร้างและฐานราก (anchorage)) ให้ใช้ค่า 70% ของแรงประสิทธิผล (effective load) ในการออกแบบ
6. ความสูงอ้างอิง h มีค่าเท่ากับความสูงชายคาอาคาร H เมื่อความชันหลังคาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7^o แต่สำหรับหลังคาที่ชันกว่า 7^o จะใช้เป็นค่าที่มากกว่าระหว่างความสูงกึ่งกลางหลังคาและ 6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 ความสูงอ้างอิงของอาคารเตี้ย

7. ความกว้าง z ของพื้นที่บริเวณขอบผนังหน้าจั่ว (gable wall) ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของด้านที่แคบที่สุด และ 40% ของความสูง H โดยค่า z ต้องไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุดและไม่น้อยกว่า 1 เมตร

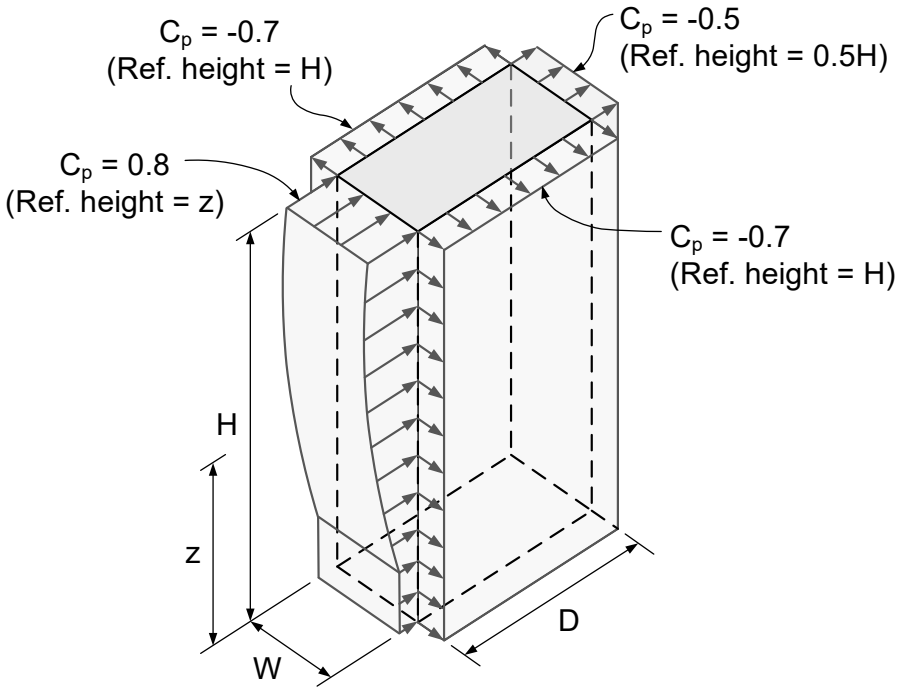
8. ความกว้าง y ของพื้นที่บริเวณขอบอาคาร (end zone) ให้ใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง 6 เมตร และ 2z สำหรับอาคารที่เป็นโครงข้อแข็งหลายตัวมาต่อกัน ค่า y อาจใช้เป็นระยะจากขอบอาคารถึงโครงข้อแข็งภายในตัวแรก (first interior frame)

9. สำหรับแรงกรณีที่ 1 ในกรณีที่อาคารมีค่า B/H > 5 ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นลบบนพื้นผิว 2 และ 2E ควรจะใช้กับพื้นที่ที่กว้าง 2.5H จากขอบอาคารด้านต้นลมเท่านั้น สำหรับพื้นส่วนที่เหลือบนพื้นผิว 2 และ 2E ให้ใช้เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์บนพื้นผิว 3 และ 3E ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอก (C_p) สำหรับอาคารสูง

TUMCIVIL.COM

สัมประสิทธิ์ความดันลมภายนอกสำหรับอาคารสูงที่มีค่า $H/D_s \geq 1$ (D_s คือความกว้างด้านแคบที่สุด) และมีความสูงอ้างอิง (reference height) มากกว่า 23 เมตร สัมประสิทธิ์ความดัน C_p จะพิจารณาได้จากตารางที่ 7.7 และรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 สัมประสิทธิ์ความดันภายนอกสำหรับอาคารสูง

ตารางที่ 7.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความดันบนผนังอาคารสูง

พื้นผิว	C_p	ความสูงอ้างอิง*
ผนังด้านปะทะลม	0.8	z
ผนังด้านหลบลม	-0.5	0.5H
ผนังด้านข้าง	-0.7	H
ผนังด้านบน	-1.0	H

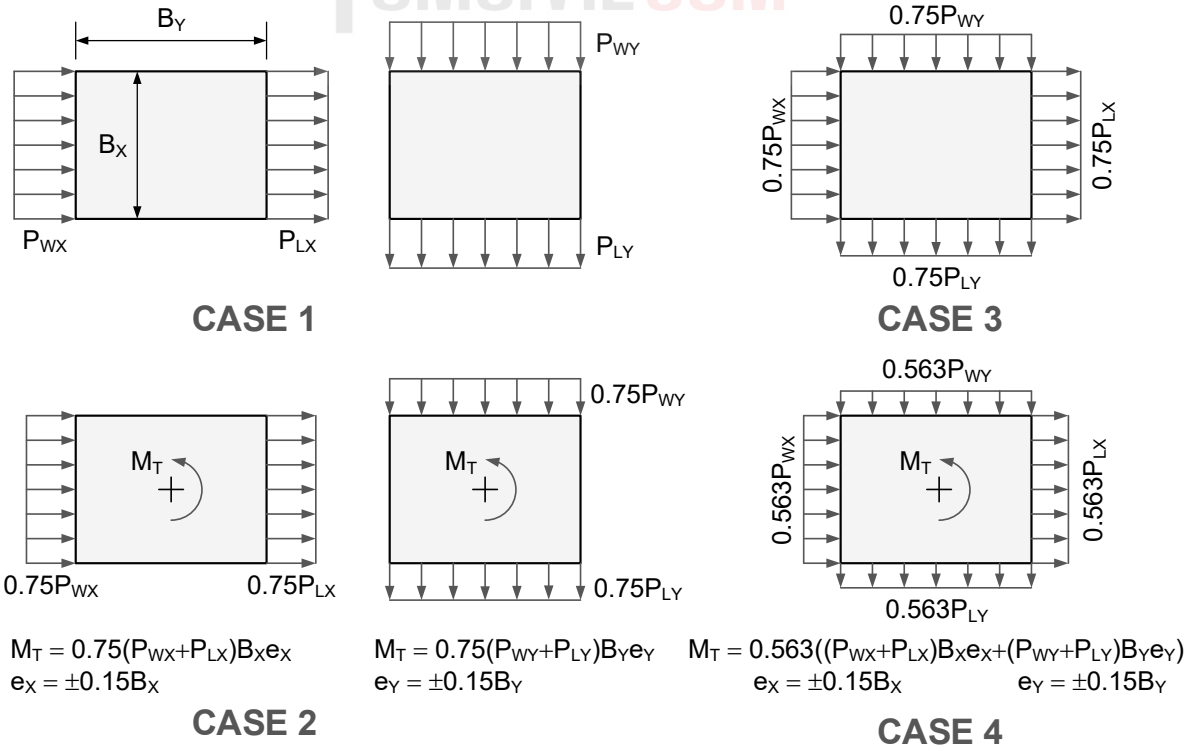
*ความสูงอ้างอิงใช้ในการคำนวณค่า C_e

การรวมผลแรงลมในทิศทางลม, ทิศทางตั้งฉาก และโมเมนต์บิด

การรวมผลของแรงลมเนื่องจากแรงลมในทิศทางลม แรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิด เพื่อคำนึงถึงการกระจายที่ไม่สมมาตรของหน่วยแรงลม และผลของลมกระทำที่มุมปะทะต่างๆกับอาคารซึ่งบางกรณีมีผลมากกว่าลมกระทำตั้งฉากกับอาคาร

การรวมผลแรงลมในหัวข้อนี้ใช้ได้กับอาคารสูงปานกลางซึ่งสูงไม่เกิน 80 เมตรและมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิผลน้อยที่สุด และอาคารรูปทรงปกติที่มีความสมมาตรทางโครงสร้างกล่าวคือ จุดศูนย์กลางแรงเฉือน และ จุดศูนย์กลางมวลของแต่ละชั้นจะอยู่ตำแหน่งเดียวกัน หรือห่างกันเล็กน้อย

THAMCIVIL.COM



รูปที่ 7.8 การรวมผลของแรงลมเนื่องจากแรงลมในทิศทางลม ตั้งฉากกับทิศทางลม และการบิด

อาคารและองค์อาคารจะต้องถูกออกแบบให้สามารถรับผลร่วมกระทำแรงลมในกรณี 1 ถึง 4 ดังแสดงในรูปที่ 7.8 ดังนี้

กรณีที่ 1 : หน่วยแรงลมกระทำเต็มที่บนพื้นที่ตั้งฉากกับแต่ละแกนหลักของโครงสร้างโดยพิจารณาแยกกระทำทีละทิศทาง

กรณีที่ 2 : 75% ของหน่วยแรงลมบนพื้นที่ตั้งฉากกับแต่ละแกนหลักของโครงสร้างร่วมกับโมเมนต์บิดจากผลของการเยื้องศูนย์โดยพิจารณาแยกกระทำทีละทิศทาง

กรณีที่ 3 : หน่วยแรงลมตาม **กรณีที่ 1** แต่พิจารณาให้กระทำทั้งสองทิศทางพร้อมกันที่ 75% ของค่าที่ระบุ

กรณีที่ 4 : หน่วยแรงลมตาม **กรณีที่ 2** แต่พิจารณาให้กระทำทั้งสองทิศทางพร้อมกันที่ 75% ของค่าที่ระบุ

โดยที่

P_{WX}, P_{WY} = หน่วยแรงลมด้านต้นลม ในทิศทางหลัก X และ Y ของอาคารตามลำดับ

P_{LX}, P_{LY} = หน่วยแรงลมด้านท้ายลม ในทิศทางหลัก X และ Y ของอาคารตามลำดับ

B_X, B_Y = ขนาดอาคารในทิศทางหลัก X และ Y ของอาคารตามลำดับ

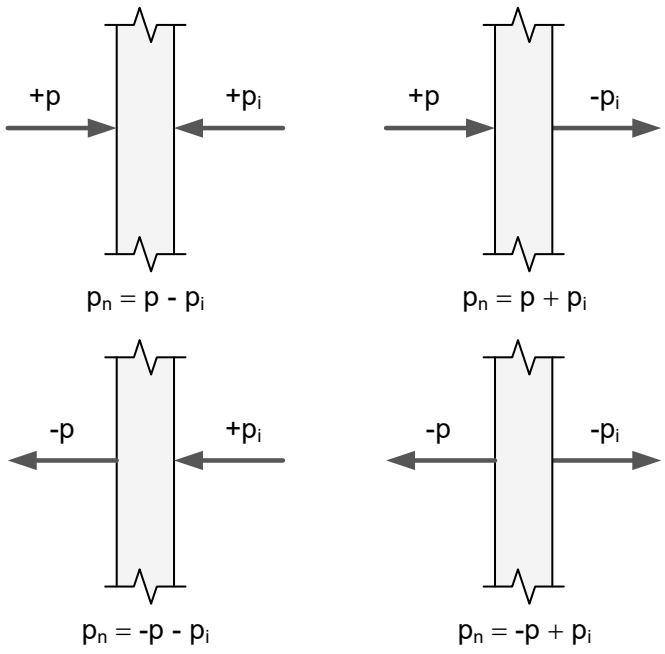
e_X, e_Y = ระยะเยื้องศูนย์ในทิศทางหลัก X และ Y ของอาคารตามลำดับ

M_T = โมเมนต์บิดต่อความสูง 1 เมตรรอบแกนดิ่งของอาคาร

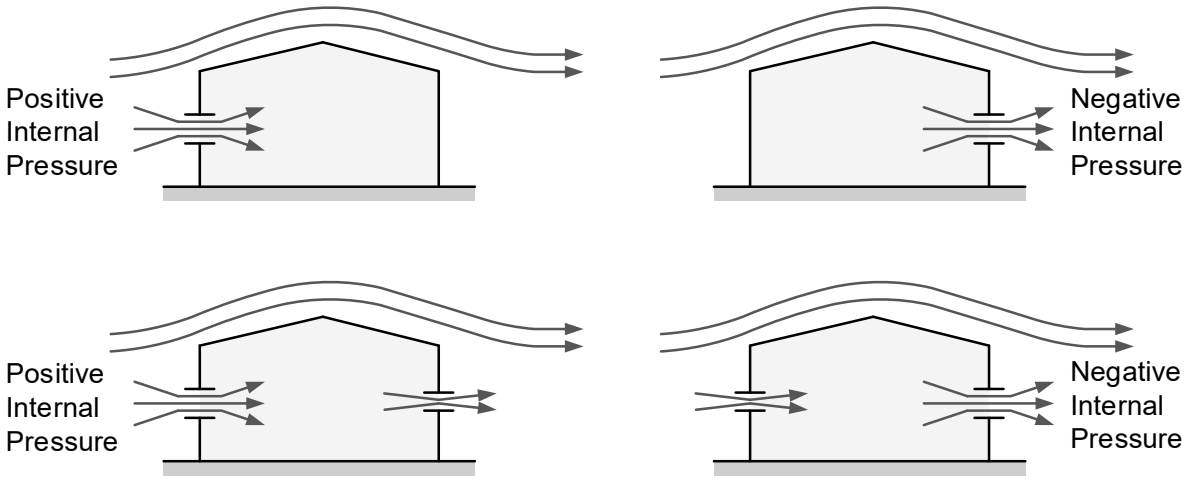
สัมประสิทธิ์แรงดันลมภายในอาคาร (C_{pi})

TOMCIVIL.COM

แรงดันภายในอาคารจากผลของลมอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบขึ้นกับตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดบนผนังภายนอกอาคาร ถ้า p คือแรงดันภายนอก และ p_i คือแรงดันภายใน แรงดันลมสุทธิ (net wind pressure) คือผลต่างระหว่างความดันภายนอกและภายใน ($p_n = p - p_i$) รูปที่ 3.9 แสดงสี่กรณีของแรงดันภายนอกและภายใน



รูปที่ 7.9 แรงดันลมสุทธิจากผลต่างจของแรงดันลมภายนอกและภายใน



รูปที่ 7.10 ผลของช่องเปิดที่มีต่อความดันลมภายใน

สัมประสิทธิ์แรงดันลมภายใน (C_{pi}) ใช้ในการคำนวณหาหน่วยแรงลมภายในอาคาร ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบผนังภายนอกอาคาร และระบบโครงสร้างหลักต้านแรงลม ค่าสัมประสิทธิ์ C_{pi} จะขึ้นกับช่องเปิดและรูรั่วบนผนังภายนอกของอาคาร โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยกำหนดให้ใช้ได้ทั้งวิธีอย่างง่ายและวิธีอย่างละเอียด และทุกกรณีจะต้องคำนวณหาค่า C_{gi} จากสมการ (7.11)

กรณีที่ 1 : อาคารปิดทึบ (Enclosed Building) ใช้ค่า C_{pi} = -0.15 ถึง 0.0

กรณีนี้ใช้กับอาคารที่ไม่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ แต่อาจมีช่องเปิดเล็กๆกระจายสม่ำเสมอ โดยมีผลรวมพื้นที่ช่องเปิดบนผนังภายนอกน้อยกว่า 0.1% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ค่า C_{pi} ควรจะเป็น -0.15 ยกเว้นบริเวณที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกภายนอกซึ่งจะใช้ C_{pi} = 0.0 อาคารในกลุ่มนี้จะเป็นอาคารส่วนใหญ่ที่มีผนังปิดล้อมทุกด้านและมีระบบปรับอากาศภายใน หรืออาคารอื่นเช่นคลังสินค้าที่ไม่มีหน้าต่างหรือช่องเปิดโดยที่ประตูถูกออกแบบให้ต้านทานแรงลมได้และปิดสนิทเมื่อเกิดพายุ

กรณีที่ 2 : อาคารปิดทึบบางส่วน (Partially Enclosed Building)

อาคารในกลุ่มนี้มีช่องเปิดขนาดใหญ่ (> 1% ของพื้นที่ผนัง) แต่ต้องได้รับการปิดสนิทเมื่อเกิดพายุและมีความแข็งแรงเพียงพอ ให้ใช้ค่า C_{pi} = -0.45 ถึง +0.3 ตัวอย่างเช่น อาคารขนาดเล็กทั่วไปและอาคารสูงที่มีหน้าต่างซึ่งสามารถเปิด-ปิดได้หรือมีระเบียงซึ่งมีประตูที่สามารถเปิดปิดได้

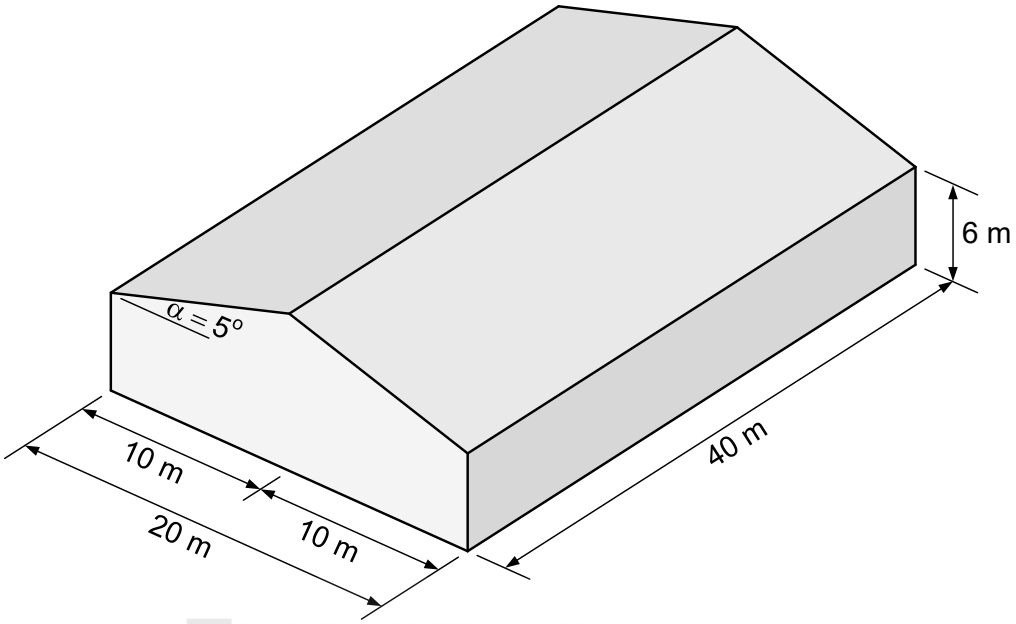
กรณีที่ 3 : อาคารเปิด (Opened Building) ใช้ค่า C_{pi} = -0.7 ถึง 0.7

อาคารที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ โดยที่ความแปรปรวนของลมภายนอกอาคาร สามารถส่งผลเข้าไปภายในได้ ตัวอย่างได้แก่ อาคารโรงงานอุตสาหกรรมและคลังสินค้าที่ประตูอาจจะเปิดในระหว่างเกิดพายุ หรือประตูไม่สามารถต้านพายุได้

TUMSIVIL.COM

ตัวอย่างที่ 1 อาคารคลังสินค้าหลังคาทรงจั่ว

คำนวณแรงลมสำหรับออกแบบอาคารคลังสินค้าชั้นเดียวมีความกว้าง 20 เมตร ยาว 40 เมตร ความสูงชายคา 6 เมตร หลังคาทรงจั่วมาความชัน 1:12 หรือ 5° อาคารมีช่องเปิดหลายขนาดจัดเป็นอาคารกรณีที่ 2 คือมีการปิดทึบบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 7.11



TUMCIVIL.COM

รูปที่ 7.11 อาคารคลังสินค้า

ข้อมูลอาคาร

ตำแหน่งที่ตั้ง กรุงเทพมหานคร (V_{50} = 25 m/s)

สภาพการเปิดโล่ง สภาพภูมิประเทศแบบโล่ง (A)

ขนาดอาคาร ด้านตั้งฉากสันหลังคา 20 m

ด้านขนานสันหลังคา 40 m

ความสูงชายคา 6 m

ความชันหลังคา 1:12 (5°)

ความสำคัญอาคาร อาคารปกติ (I_w = 1.0)

ช่องเปิดอาคาร อาคารปิดทึบบางส่วน (กรณีที่ 2)

หน่วยแรงลมอ้างอิง

$$q = \frac{1}{2}\rho \bar{V}^2 = \frac{1}{2}\times 1.25 \times 25^2 = 390.6 \text{ N/m}^2$$

ตัวคูณสภาพการเปิดโล่ง (C_e)

$$C_e = \left(\frac{z}{10}\right)^{0.2} = \left(\frac{6}{10}\right)^{0.2} = 0.90 \geq 0.9 \quad \textbf{OK}$$

แรงดันลมภายในอาคาร

ตัวคูณลมกระโชกภายในอาคารใช้ค่า $C_{gi} = 2.0$

อาคารปิดทึบบางส่วน (กรณีที่ 2) ใช้ค่า $C_{pi} = -0.45, +0.3$

ดังนั้นความดันลมภายในอาคารจะมีค่าเท่ากับ

$$p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi} = 1.0 \times 390.6 \times 0.9 \times 2.0 \times (-0.45) = -316.4 \text{ N/m}^2$$

$$p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi} = 1.0 \times 390.6 \times 0.9 \times 2.0 \times (+0.3) = +210.9 \text{ N/m}^2$$

แรงดันลมภายนอกอาคารและดวามดันลมสุทธิ

พิจารณาความกว้าง y ของพื้นที่ขอบอาคาร :

ระยะ y = ค่าที่มากกว่าระหว่าง 6 m และ 2z

ระยะ z = ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10% ของความกว้างด้านที่แคบที่สุดของอาคาร และ 40% ของความสูง (แต่ต้องไม่น้อยกว่า 4% ของด้านที่แคบที่สุด และไม่น้อยกว่า 1 เมตร)

ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $0.1 \times 20 = 2.0$ m และ $0.4 \times 6.0 = 2.4$ m

แต่ไม่น้อยกว่า $0.04 \times 20 = 0.8$ m และ ไม่น้อยกว่า 1 m

$\therefore z = 2.0$ m

ระยะ y = ค่าที่มากกว่าระหว่าง 6 m และ $2 \times 2.0 = 4$ m

$\therefore y = 6.0$ m

TUMCIVIL.COM

<u>กรณีที่ **1**</u> ทิศทางลมตั้งฉากกับสันหลังคา

จากรูปที่ 7.4 และตารางที่ 7.5 ค่าผลคูณ C_gC_p บนพื้นผิวต่างๆของอาคารคือ

มุมหลังคา	พื้นที่ผิวอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0-5°	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8

สำหรับอาคารนี้ อัตราส่วน $B/H = 20/6 = 3.33 < 5$ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นลบบนพื้นผิว 2 และ 2E ใช้ได้เต็มพื้นผิวตามปกติ

แรงดันลมภายนอกอาคารจะมีค่าเท่ากับ

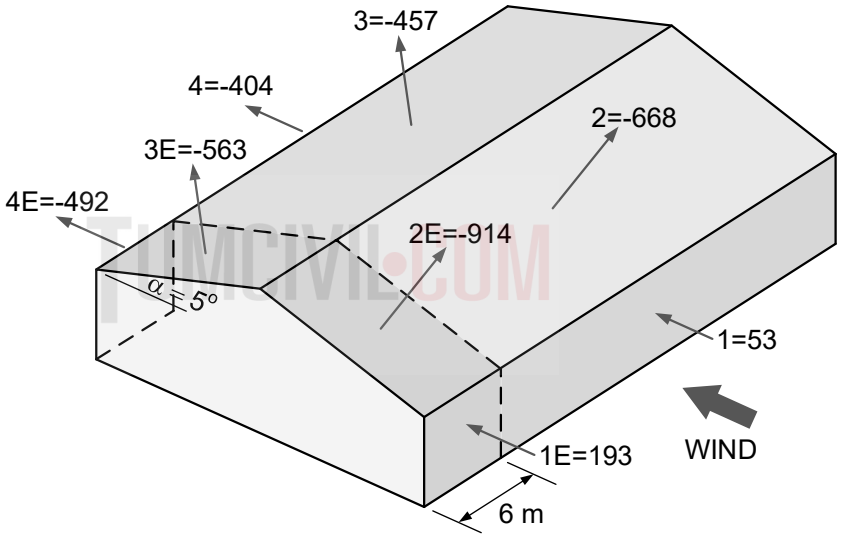
$$p = I_w q C_e C_g C_p = 1.0 \times 390.6 \times 0.9 \times C_g C_p = 351.5 C_g C_p$$

แรงดันลมสุทธิ (p_{net}) เป็นการรวมกันของแรงดันลมภายนอกและภายในอาคาร

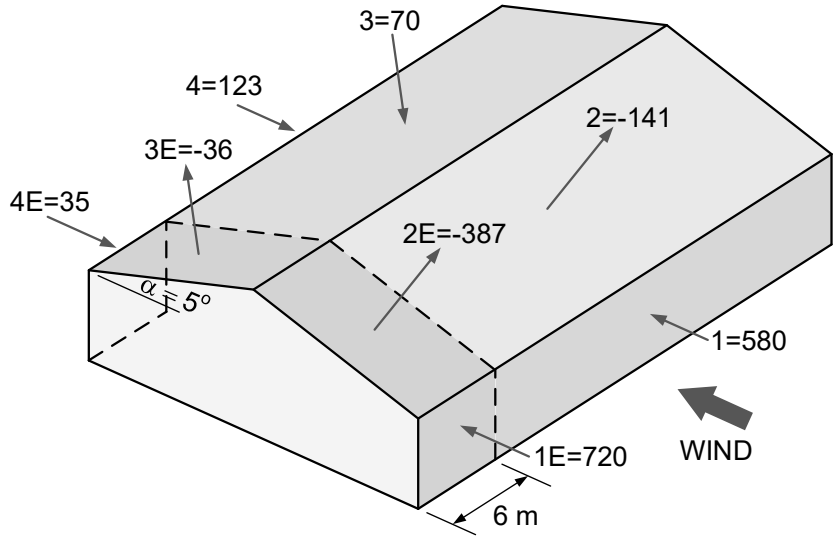
$$p_{net} = p + p_i$$

เมื่อแทนค่า C_gC_p ลงในสมการ แรงดันลมภายนอกและแรงดันลมสุทธิสำหรับกรณีที่ 1

พื้นผิวอาคาร	แรงดันภายนอก (N/m^2)	แรงดันสุทธิ (N/m^2)	
		แรงดันภายในเป็นบวก	แรงดันภายในเป็นลบ
1	264	53	580
1E	404	193	720
2	-457	-668	-141
2E	-703	-914	-387
3	-246	-457	70
3E	-352	-563	-36
4	-193	-404	123
4E	-281	-492	35



รูปที่ 7.12 แรงดันลมสุทธิในกรณีทิศทางลมตั้งฉากสันหลังคาและแรงดันภายในเป็นบวก



รูปที่ 7.13 แรงดันลมสุทธิในกรณีทิศทางลมตั้งฉากสันหลังคาและแรงดันภายในเป็นลบ

กรณีที่ 2 ทิศทางลมขนานกับสันหลังคา

จากรูปที่ 7.5 และตารางที่ 7.6 ค่าผลคูณ C_gC_p บนพื้นผิวต่างๆของอาคารคือ

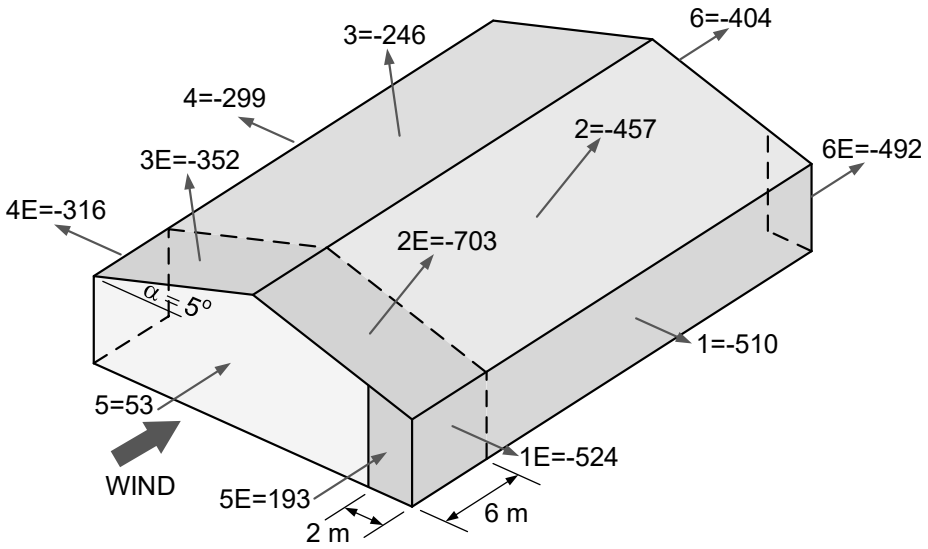
ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวอาคาร											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
0^o ถึง 90^o	-0.85	-0.9	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.85	-0.9	0.75	1.15	-0.55	-0.8

แรงดันลมภายนอกอาคารจะมีค่าเท่ากับ $p = I_w q C_e C_g C_p = 351.5 C_g C_p$

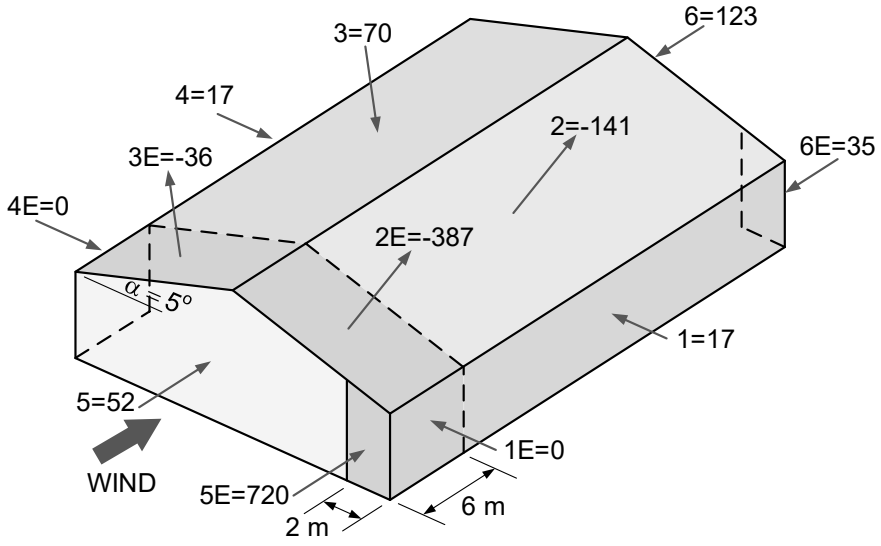
แรงดันลมสุทธิ $p_{net} = p + p_i$

เมื่อแทนค่า C_gC_p ลงในสมการ แรงดันลมภายนอกและแรงดันลมสุทธิสำหรับกรณีที่ 2

พื้นผิวอาคาร	แรงดันภายนอก (N/m^2)	แรงดันสุทธิ (N/m^2)	
		แรงดันภายในเป็นบวก	แรงดันภายในเป็นลบ
1	-299	-510	17
1E	-316	-527	0
2	-457	-668	-141
2E	-703	-914	-387
3	-246	-457	70
3E	-352	-563	-36
4	-299	-510	17
4E	-316	-527	0
5	264	53	52
5E	404	193	720
6	-193	-404	123
6E	-281	-492	35



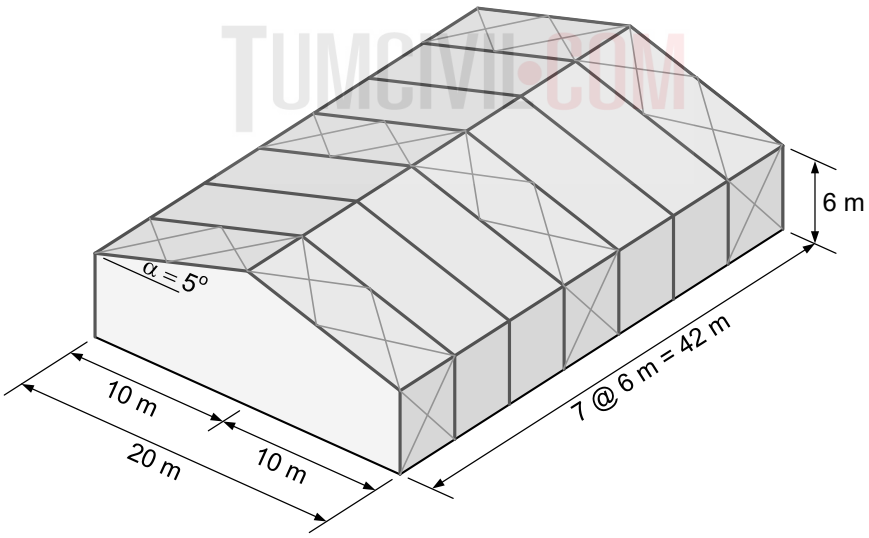
รูปที่ 7.14 แรงดันลมสุทธิในกรณีทิศทางลมขนานสันหลังคาและแรงดันภายในเป็นบวก



รูปที่ 7.15 แรงดันลมสุทธิในกรณีทิศทางลมขนานสันหลังคาและแรงดันภายในเป็นลบ

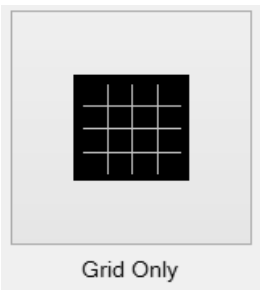
ตัวอย่างที่ 2 แรงลมบนอาคารโกดังโรงงาน SAP2000

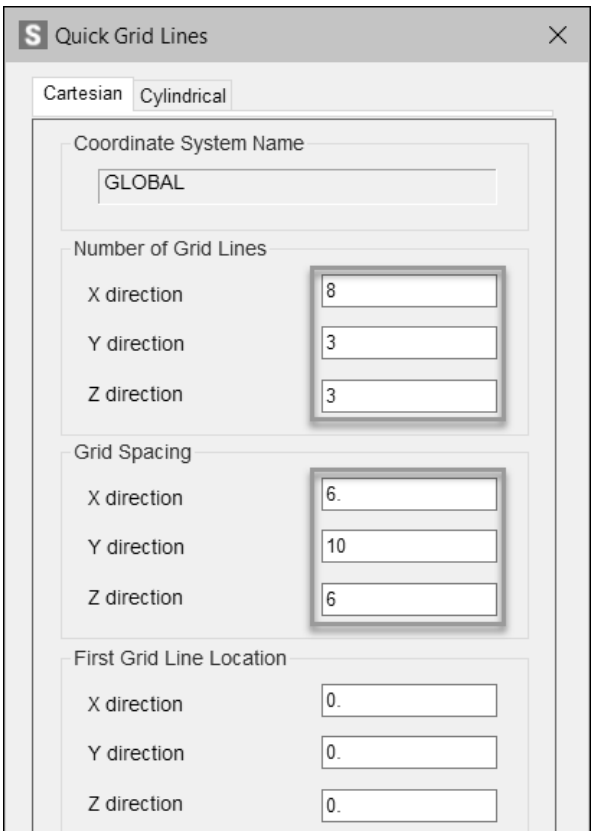
ในตัวอย่างนี้จะสาธิตการใส่ค่าแรงลมสำหรับอาคารโกดังโรงงานในตัวอย่างที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนให้ระยะห่างระหว่างโครงคือ 6 เมตร และมีการยืดโยงดังในรูป



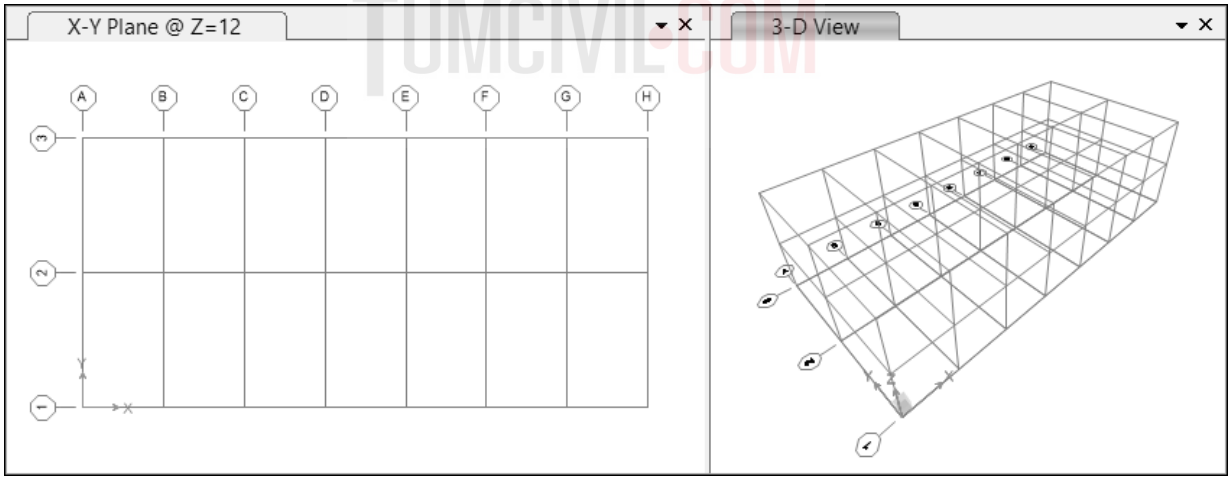
สร้างโมเดล

- เริ่มต้น SAP2000 ใช้หน่วย Kgf, m, C สร้างโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N
- เมื่อหน้าต่าง New Model แสดงขึ้นมา คลิกปุ่ม Grid Only
- กำหนดจำนวนและระยะห่างเส้นกริด

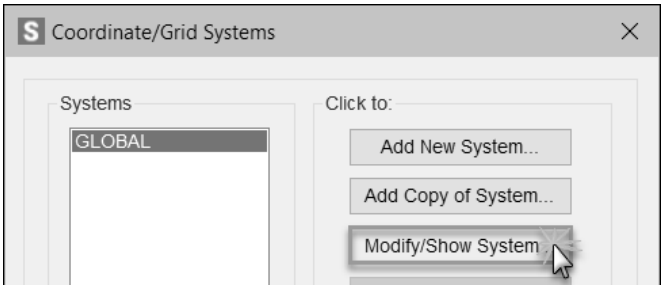




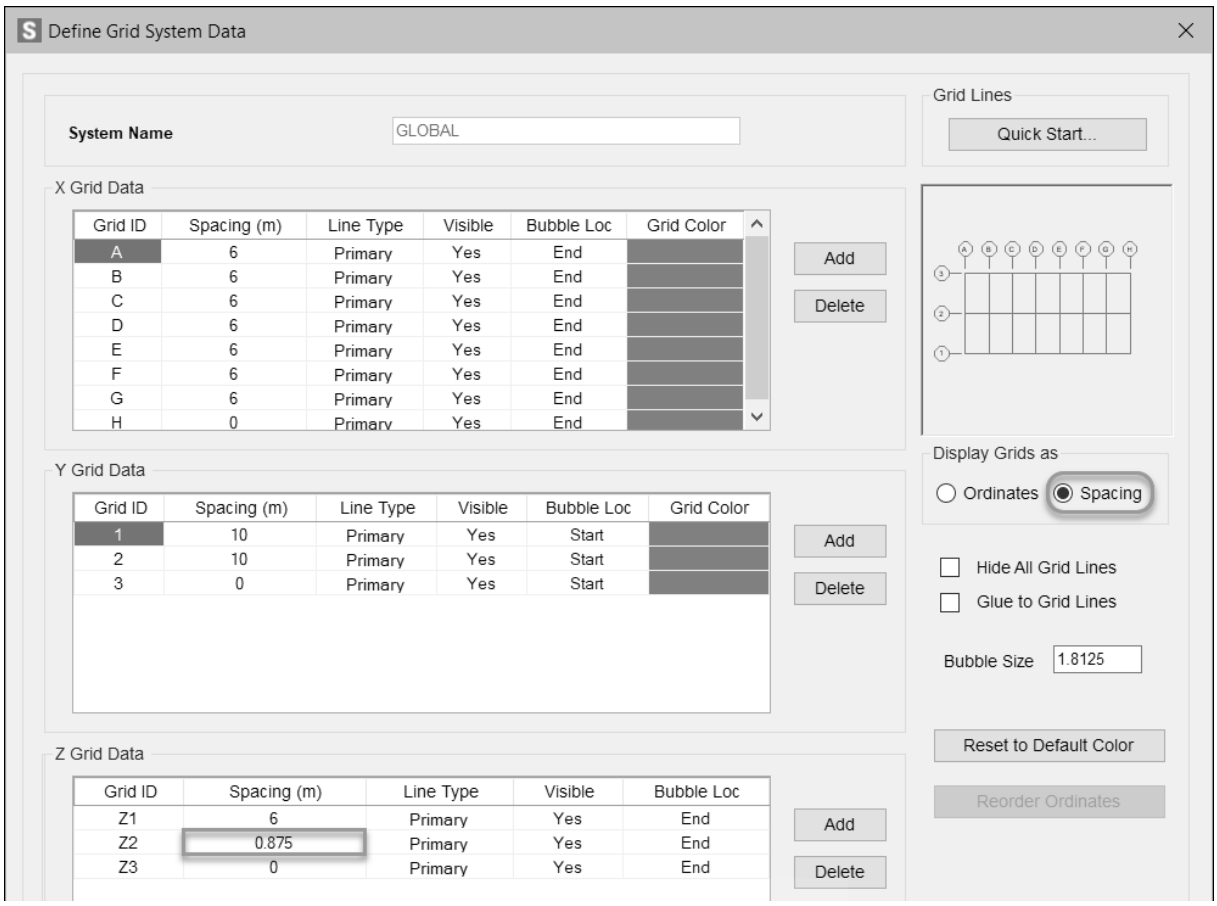
- เส้นกริดจะถูกสร้างขึ้นดังในรูป



- สั่งเมนู Define > Coordinate Systems/Grids คลิกปุ่ม Modify/Show System...

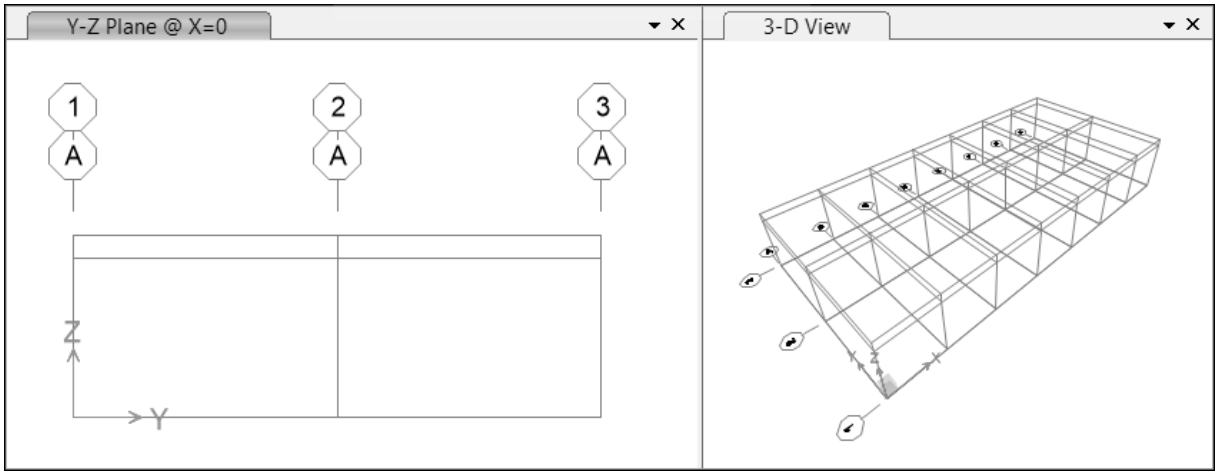


- ในหน้าต่าง Define Grid System Data คลิกเลือกให้แสดงกริดโดย Spacing
- เปลี่ยนค่า Grid ID : Z2 เป็น 10 tan 5° = 0.875

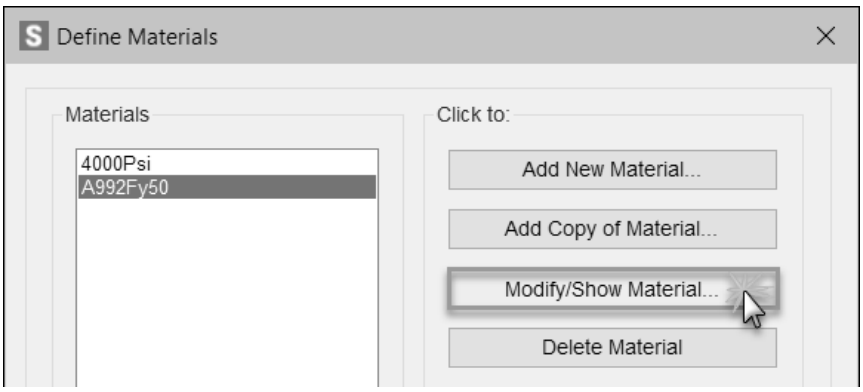


- คลิกหน้าต่างสองมิติแล้วคลิกปุ่ม yz และ ไปที่พิกัด X = 0 เส้นกริดจะถูกปรับเปลี่ยนดังในรูป

THAICIVIL.COM

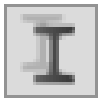


- คลิกปุ่ม บันทึกข้อมูลตั้งชื่อไฟล์ว่า EX4 Factory
- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf-cm สั่งเมนู Define > Materials หรือคลิกปุ่ม เลือกรายการ A992Fy50 แล้วกดปุ่ม Modify/Show Material...



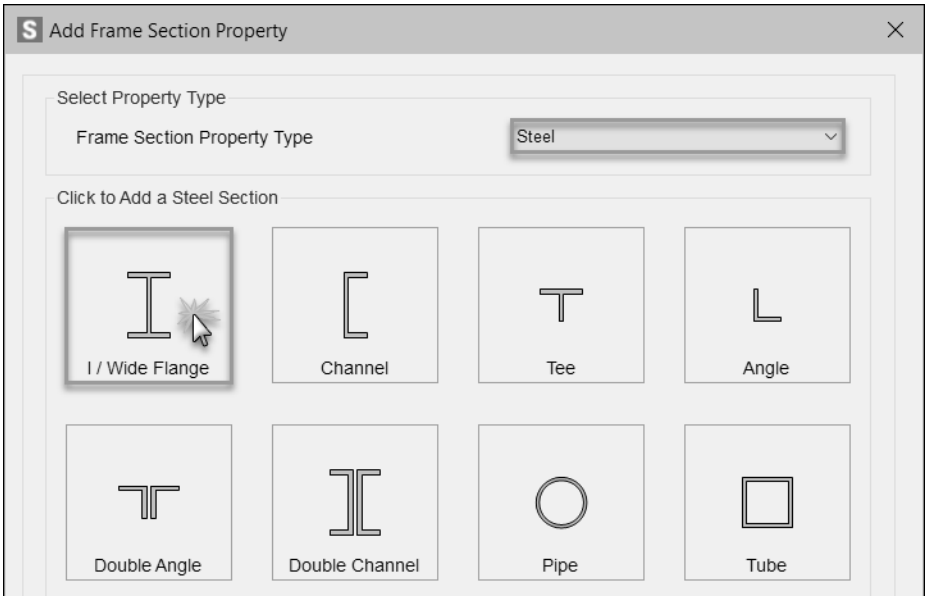
▶ ตั้งชื่อเป็น Fy2400 กำหนดค่าต่างๆในหน้าต่างคุณสมบัติดังในรูป

ค่า Effective Yield Stress, Fye และ Effective Tensile Stress, Fue หาได้จากการคูณกำลัง Fy และ Fu ด้วยแฟกเตอร์ตามมาตรฐานออกแบบ เช่น FEMA 356 ตารางที่ 5-3 ซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 1.1 ค่า Fye และ Fue จะใช้ในการสร้างคุณสมบัติของจุดต่อหมุน (hinge) โดยอัตโนมัติสำหรับจุดต่อหมุน P-M2-M3 และ P-M

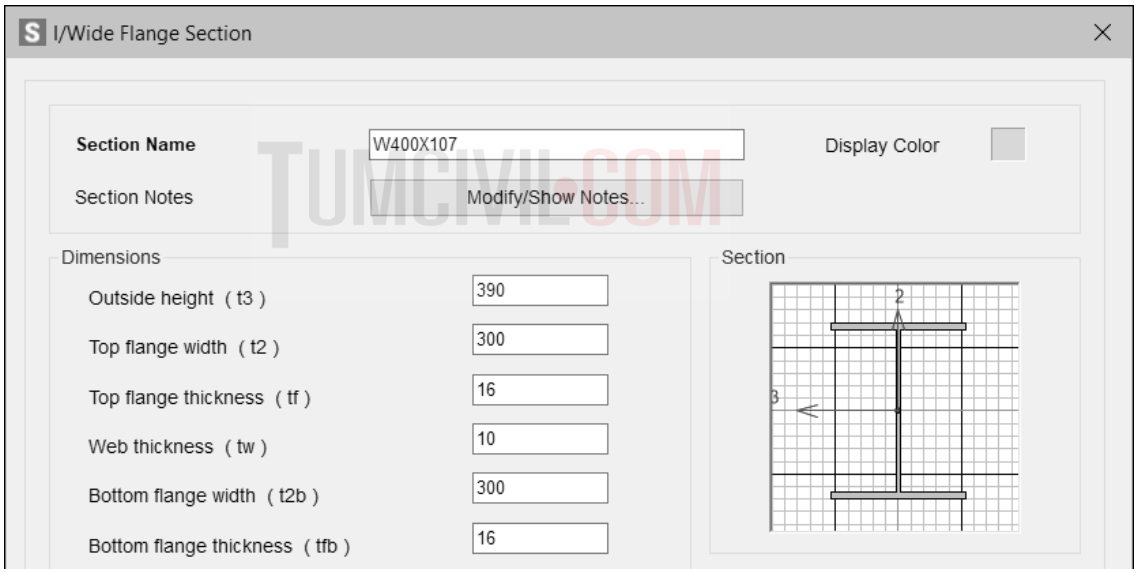


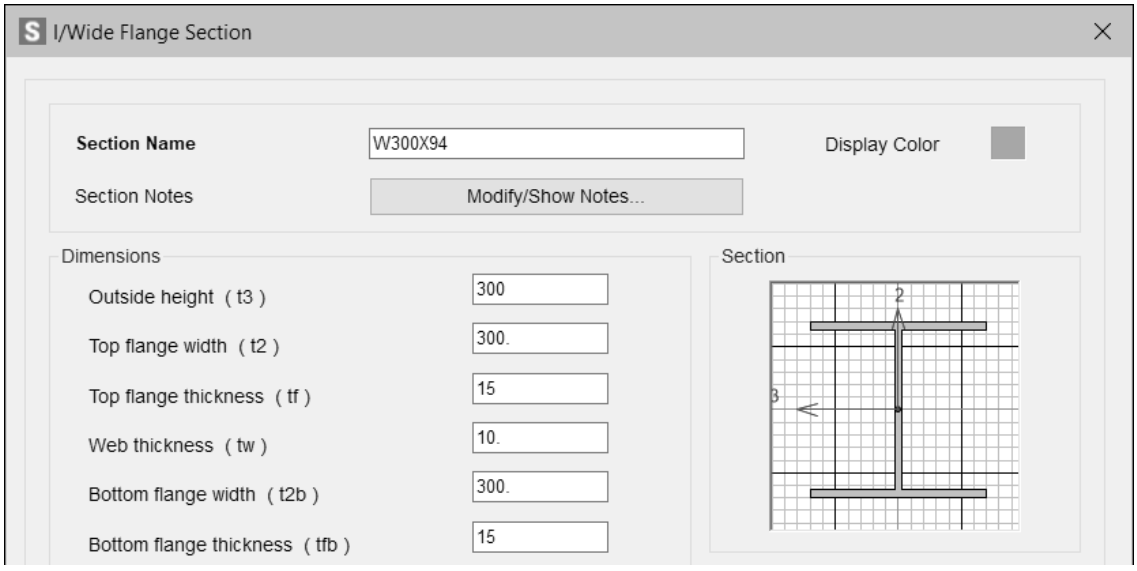
▶ เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf-mm สั่งเมนู Define > Section Properties ▶ Frame Sections... หรือคลิกปุ่ม บนทูลบาร์

▶ คลิกปุ่ม Add New Property เลือกหน้าตัด Steel แบบ I / Wide Flange

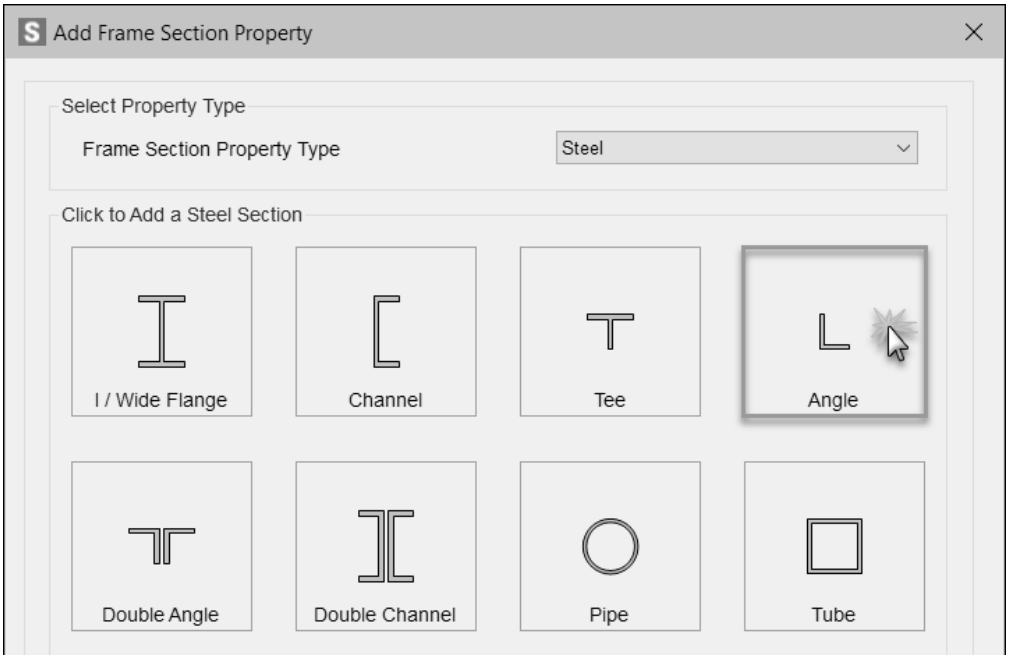


▶ ใส่ข้อมูลของหน้าตัด W400X107 และ W300X94 โดยใส่ค่าขนาดต่างๆดังในรูป

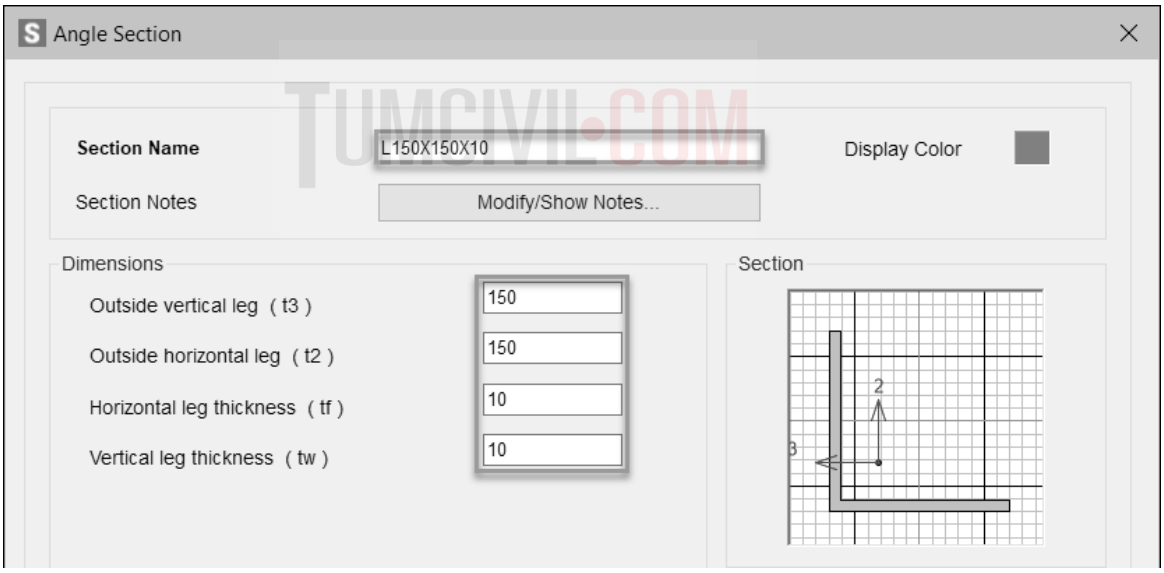




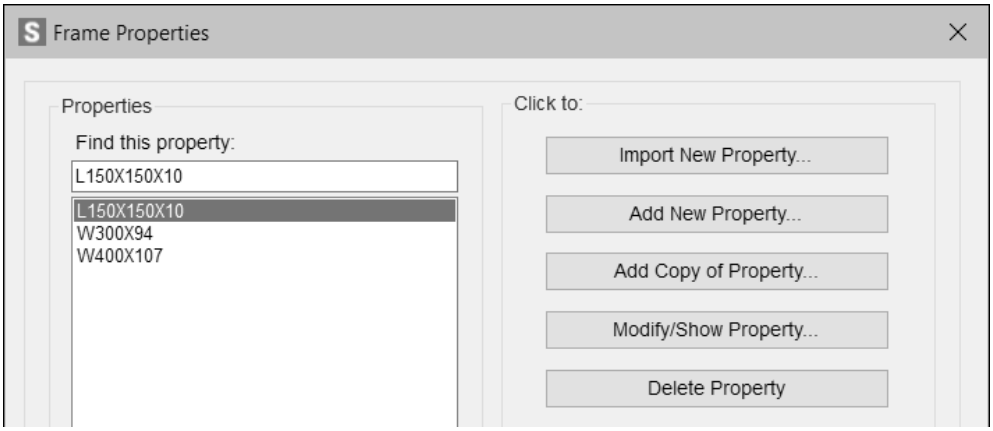
▶ คลิกปุ่ม Add New Property เลือกหน้าตัด Steel แบบ Angle หน้าตัดฉาก



▶ ใส่ข้อมูลของหน้าตัด L150X150X10 โดยใส่ค่าขนาดต่างๆลงตามช่องที่กำหนดดังในรูป

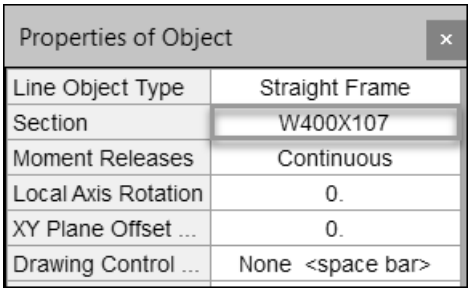


▶ เมื่อคลิก OK กลับมาที่หน้าต่าง Frame Properties จะมีรายการหน้าตัดดังในรูป

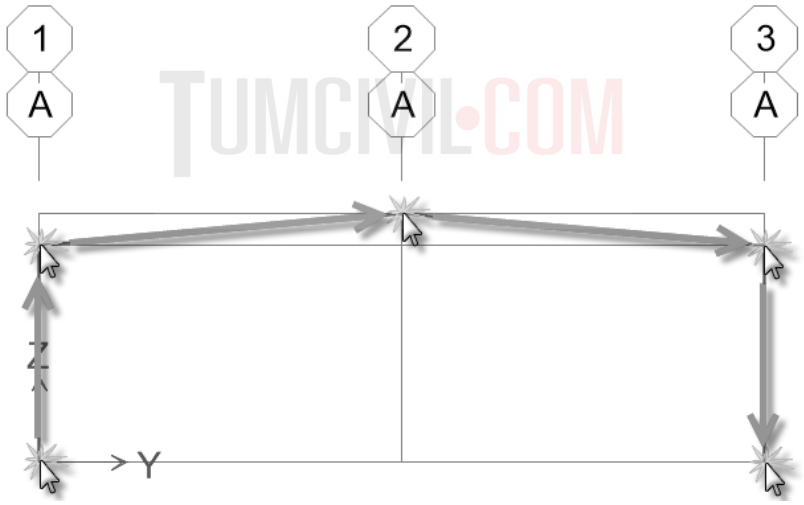


โดยหน้าตัด W400X107 จะถูกใช้เป็นหน้าตัดเสาและโครงหลังคาหลัก, หน้าตัด W300X94 ใช้เป็นโครงค้ำยันในทิศทางรอง และ หน้าตัด L150X150X10 จะถูกใช้เป็นองค์อาคารยึดโยง ในกรณีออกแบบเลือกหน้าตัดสามารถทำได้โดยใช้เป็นหน้าตัดเลือกอัตโนมัติ (Auto Select List) ในการเลือกหน้าตัดที่เบาที่สุด

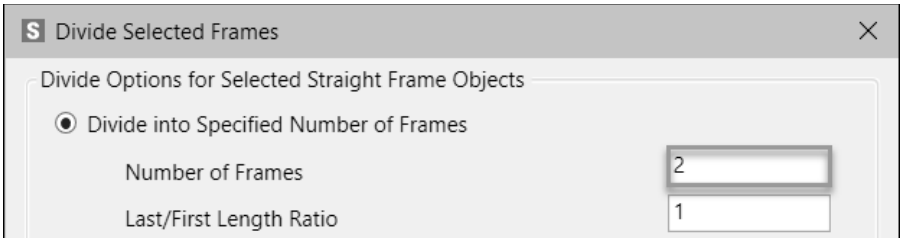
- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf. m, C แล้วเลือกหน้าต่างสองมิติ Y-Z Plane @ X=0
- คลิกปุ่ม Draw Frame เข้าสู่โหมดการวาด เลือกหน้าตัด W400X107



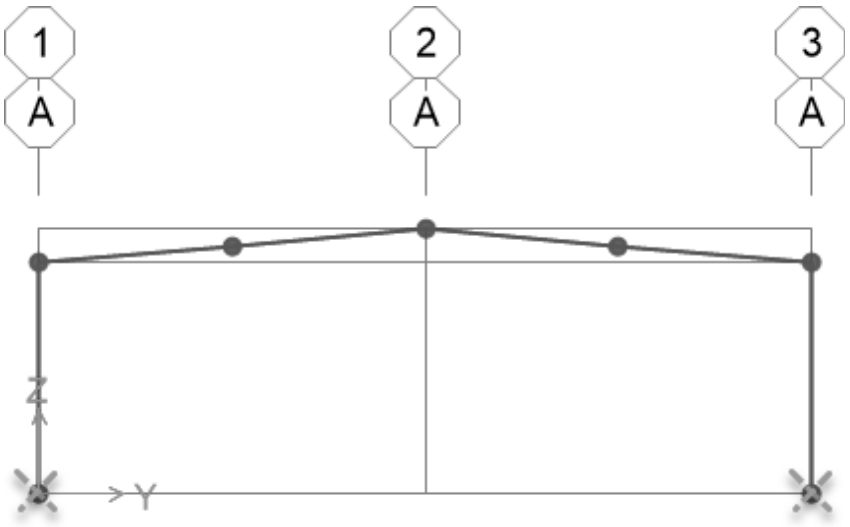
- คลิกสร้างเฟรมไปตามจุดตัดกริดดังในรูป แล้วกด Esc เพื่อออกจากโหมดการวาด



- คลิกเลือกท่อนจันทันหลังคา สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames เลือกแบ่งเป็นส่วนท่อนเท่ากัน

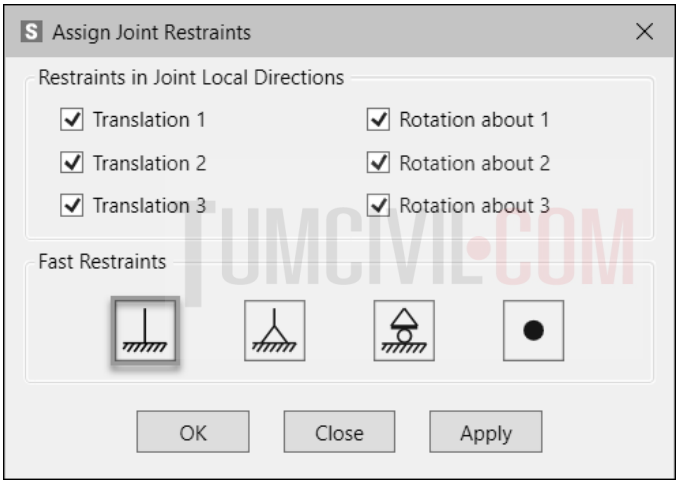


- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงจุดต่อโดยคลิกไม่เลือก Joints > Invisible

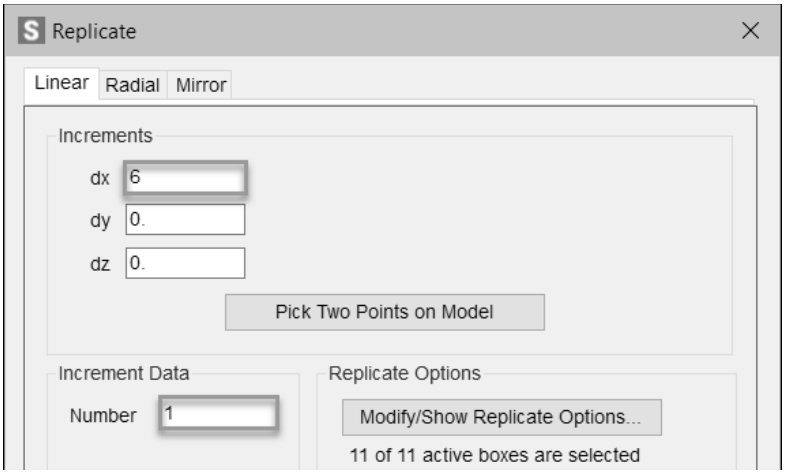


- คลิกเลือกสองจุดที่ฐาน สั่งเมนู Assign > Joint > Restraints...

  เลือกจุดรองรับแบบยึดแน่น Fixed Support

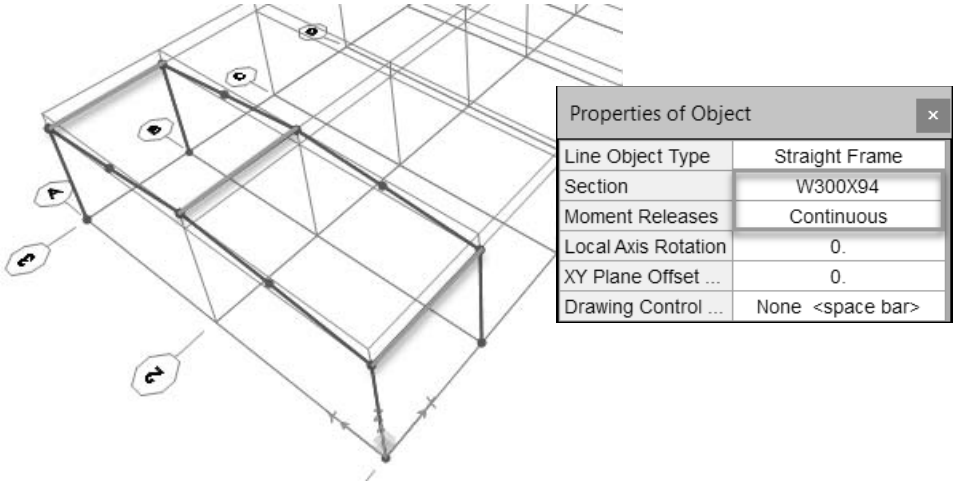


- กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด แล้วกด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำแบบเชิงเส้นโดยใช้ค่า dx = 6 m

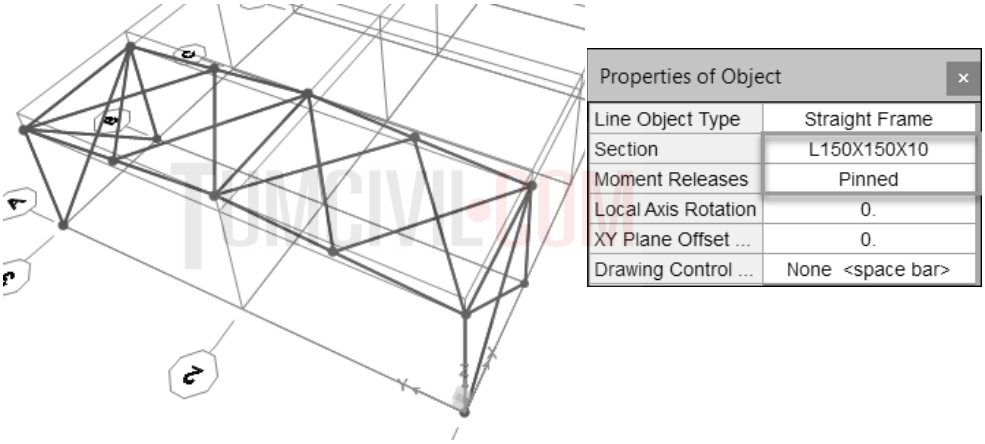


- เลือกหน้าต่างสามมิติ กดปุ่ม Shift และลูกล้อเม้าส์เพื่อหมุนมุมมอง และกดลูกล้อเม้าส์เพื่อย้ายมุมมองให้เหมาะสม

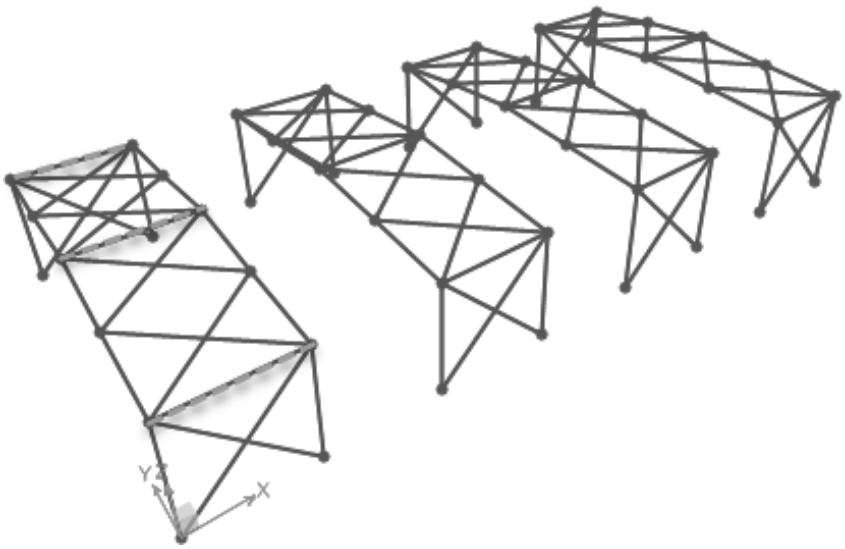
- คลิกปุ่ม Draw Frame เลือกหน้าตัด W300X94 วาดเส้นเชื่อมระหว่างโครงดังในรูป



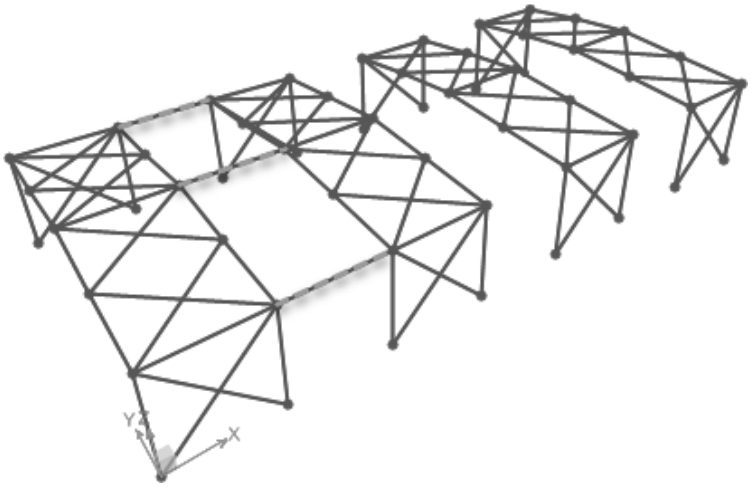
- คลิกปุ่ม Draw Frame เลือกหน้าตัด L150X150X10 วาดท่อนแกงแนงยึดโยงระหว่างโครงดังในรูป



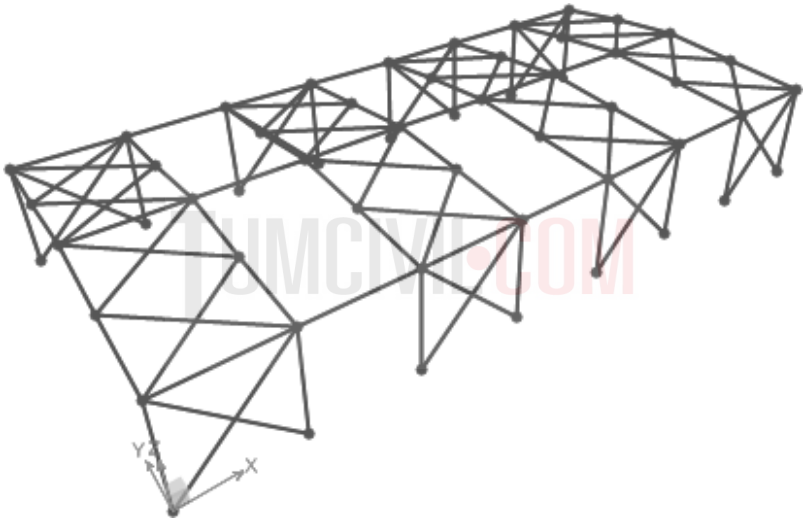
- กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด แล้วกด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำใช้ค่า dx = 12 m จำนวน = 3
- สั่งเมนู View > Show Grid หรือกด Ctrl+D เพื่อปิดการแสดงกริด



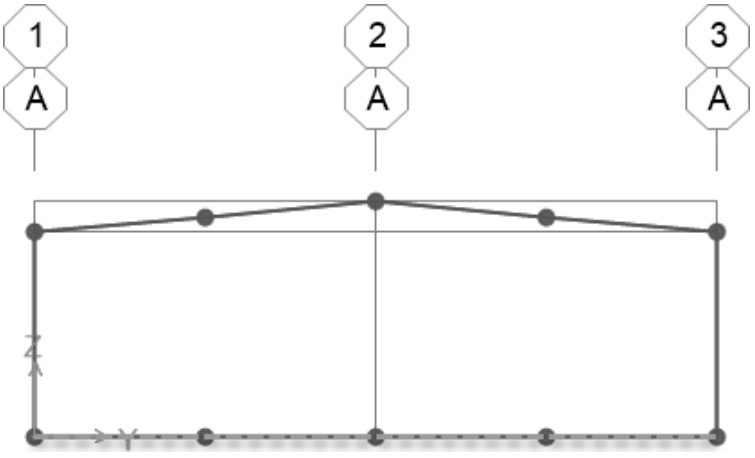
- คลิกเลือกคานเชื่อมในโครงตัวแรก แล้วกด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำใช้ค่า dx = 6 m จำนวน = 1



- คลิกเลือกคานเชื่อมระหว่างโครงที่เพิ่งถูกทำซ้ำ แล้วกด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำใช้ค่า dx = 12 m จำนวน = 2

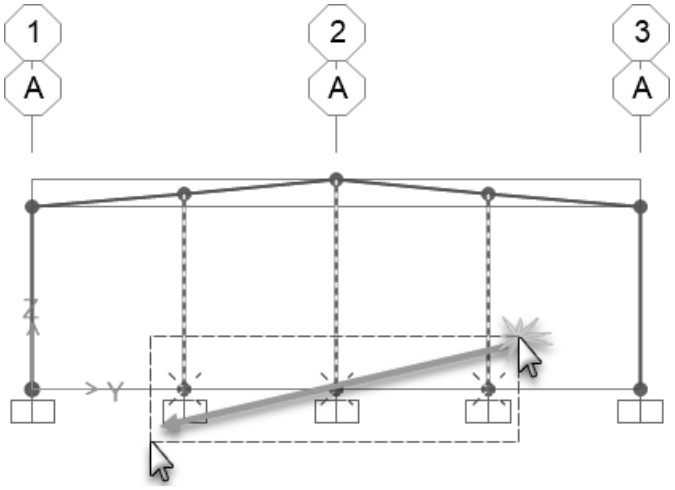


- สั่งเมนู File > Save หรือ คลิกปุ่ม เพื่อบันทึกข้อมูล
- คลิกหน้าต่าง Y-Z Plane @ X=0 คลิกปุ่ม วาดเส้นเชื่อมระหว่างจุดฐาน
- เลือกเส้นเชื่อม สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames แบ่งเป็น 4 ส่วน

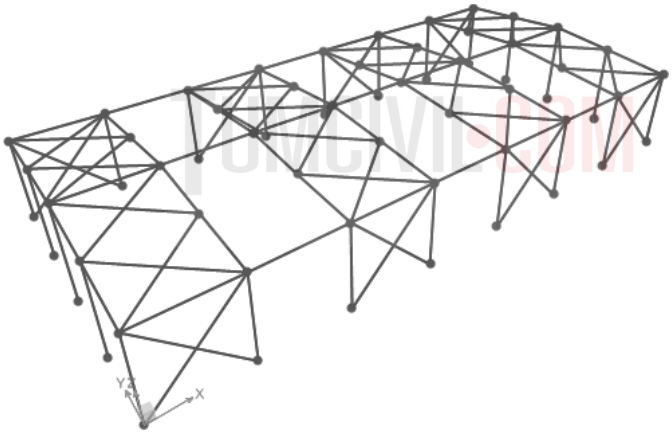


- วาดเส้นแนวดิ่งจากโหนดบนหลังคาลงมาที่จุดบนคานที่ฐานโดยใช้หน้าตัด W400X107

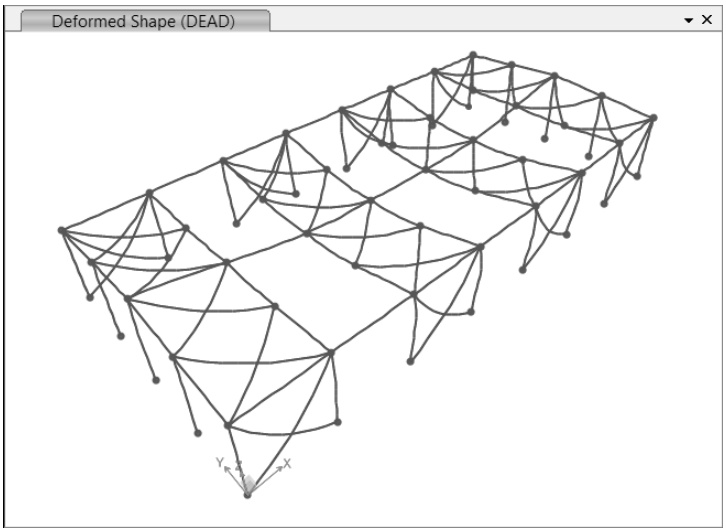
- ลบคานที่ฐานออก เลือกปลายเสาล่าง สั่งเมนู Assign > Joint > Restraints กำหนดให้เป็นจุดรองรับแบบ Fixed



- ตีกรอบจากขวาไปซ้ายเลือกเสาและฐานทั้งสามต้น กด Ctrl+R ทำซ้ำโดยใช้ dx = 42 m จำนวน = 1



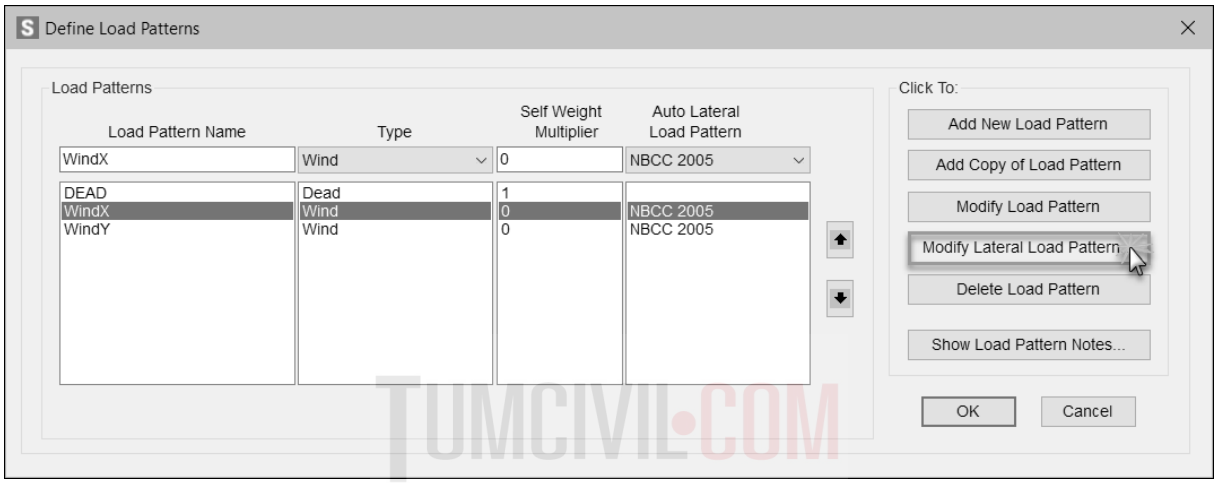
- คลิกปุ่ม เพื่อรันการวิเคราะห์โครงสร้าง เลือกกรณี MODAL คลิกปุ่ม Do Not Run เพื่อไม่ให้รันการวิเคราะห์โหมดการสั่นไหว



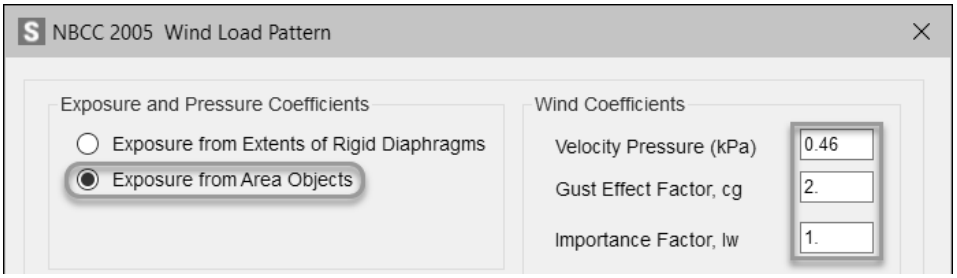
การกำหนดแรงลม

การใส่แรงลมอัตโนมัติทำได้โดยการเลือกมาตรฐานซึ่งสำหรับ มยผ.1311-50 จะอ้างอิงตามมาตรฐาน NBCC 2005 แล้วใส่ค่าพารามิเตอร์ให้โปรแกรมทำการคำนวณแรงลมสามารถทำได้เช่นกันโดยเลือกเป็นแรงลมกระทำบนพื้นผิว ทำการสร้างพื้นผิวแบบ None โดยหมุนแกนของพื้นไปในทิศที่จะส่งผ่านแรงไปยัง จากนั้นใส่แรงลมแบบสัมประสิทธิ์แรงดันลงเฟรมแบบทางเดียวซึ่งเป็นฟีเจอร์ใหม่ในเวอร์ชั่น 22.1.0

- คลิกปุ่ม เพื่อปลดล็อคโมเดล แล้วสั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างรูปแบบบรรทุก LIVE, WindX และ WindY เลือกมาตรฐาน NBCC 2005



- เลือกรายการ WindX แล้วคลิกปุ่ม Modify Lateral Load Pattern ใส่ค่าต่างๆดังนี้



Exposure from Area Objects จะคิดแรงลมบนพื้นผิว ถ้าไม่มีพื้นผิวจริงจะสร้างเป็นพื้นผิวแบบ none ที่ไม่มีคุณสมบัติ จากนั้นจะทำการใส่เป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงดันสำหรับแต่ละพื้นผิว ได้แก่ ผนังด้านปะทะลม, ผนังด้านหลบลม, หลังคาด้านปะทะลม และหลังคาด้านหลบลม สำหรับทางเลือกนี้ไม่ต้องกำหนดพื้นเป็นไดอะแฟรม

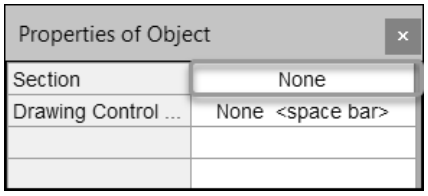
Velocity Pressure (kPa)

$$q = \frac{1}{2}\rho \bar{V}^2 = \frac{1}{2}\times 1.25 \times 27^2 = 455.6\ \text{N/m}^2 = 0.46\ \text{kPa}$$

Gust Effect Factor, cg → สำหรับโครงสร้างหลักโดยวิธีอย่างง่าย $C_g = 2.0$

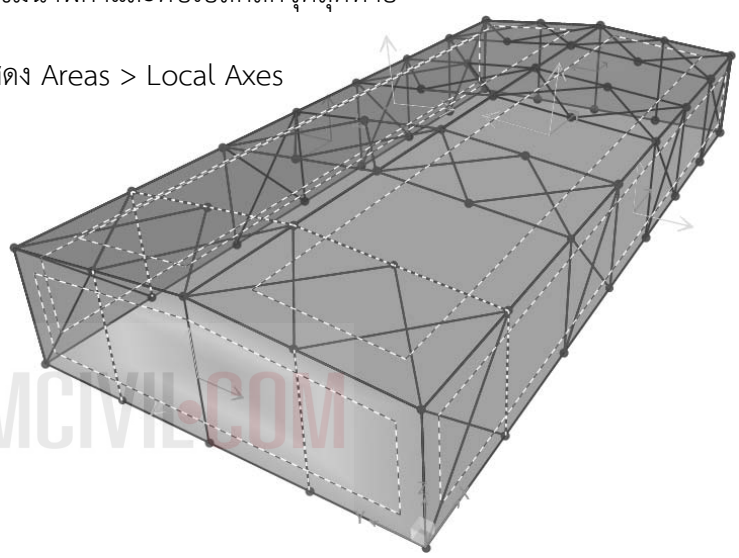
Importance Factor, Iw → อาคารปกติ $I_w = 1.0$

- เลือกรายการ WindY แล้วคลิกปุ่ม Modify Lateral Load Pattern ใส่ค่าต่างๆเหมือนกัน
- ใส่รูปแบบบรรทุก LIVE เลือกเป็นชนิด Live กดปุ่ม Add New Load Pattern
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง General Options > Fill Objects
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด None แล้วคลิกวาดพื้นผิวผนังและหลังคาเป็นแผ่นใหญ่

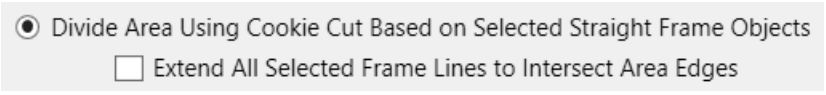


คลิกไปตามจุดมุมวนทวนเข็มนาฬิกาและดับเบิ้ลคลิกจุดสุดท้าย

- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Areas > Local Axes



- สังเกตุแกนสีแดงในผนังและหลังคาให้อยู่ในแนวนอนเพื่อส่งผ่านแรงลมไปยังเสาและโครงหลัง ถ้าไม่ใช่ให้เลือกพื้น สั่งเมนู Assign > Areas > Local Axes หมุนแกน 90 องศา
- เลือกพื้นผิวหลังคา สั่งเมนู Assign > Area Load > Uniform to Frame เลือกกรณี DEAD แบบ One Way ใส่ค่า 10 kgf/m^2 คลิกปุ่ม Apply
- กด Ctrl+J เลือกพื้นผิวอีกครั้ง เลือก LIVE แบบ One Way ใส่ค่า 30 kgf/m^2 คลิกปุ่ม OK
- คลิกเลือกพื้นผิว, เสา และจันทันดังในรูป สั่งเมนู Edit > Edit Areas > Divide Areas



สำหรับหลังคาลาดเอียง $\alpha = 5^{\circ}$

ตารางที่ 7.5 ผลคูณสัมประสิทธิ์ C_pC_g สำหรับอาคารเตี้ยกรณีลมพัดตั้งฉากสันหลังคา

ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0° ถึง 5°	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8

เมื่อค่า $C_g = 2.0$ ดังนั้นค่า C_p สำหรับ WindY คือ

	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
C_p	0.38	0.58	-0.65	-1.0	-0.35	-0.5	-0.28	-0.4

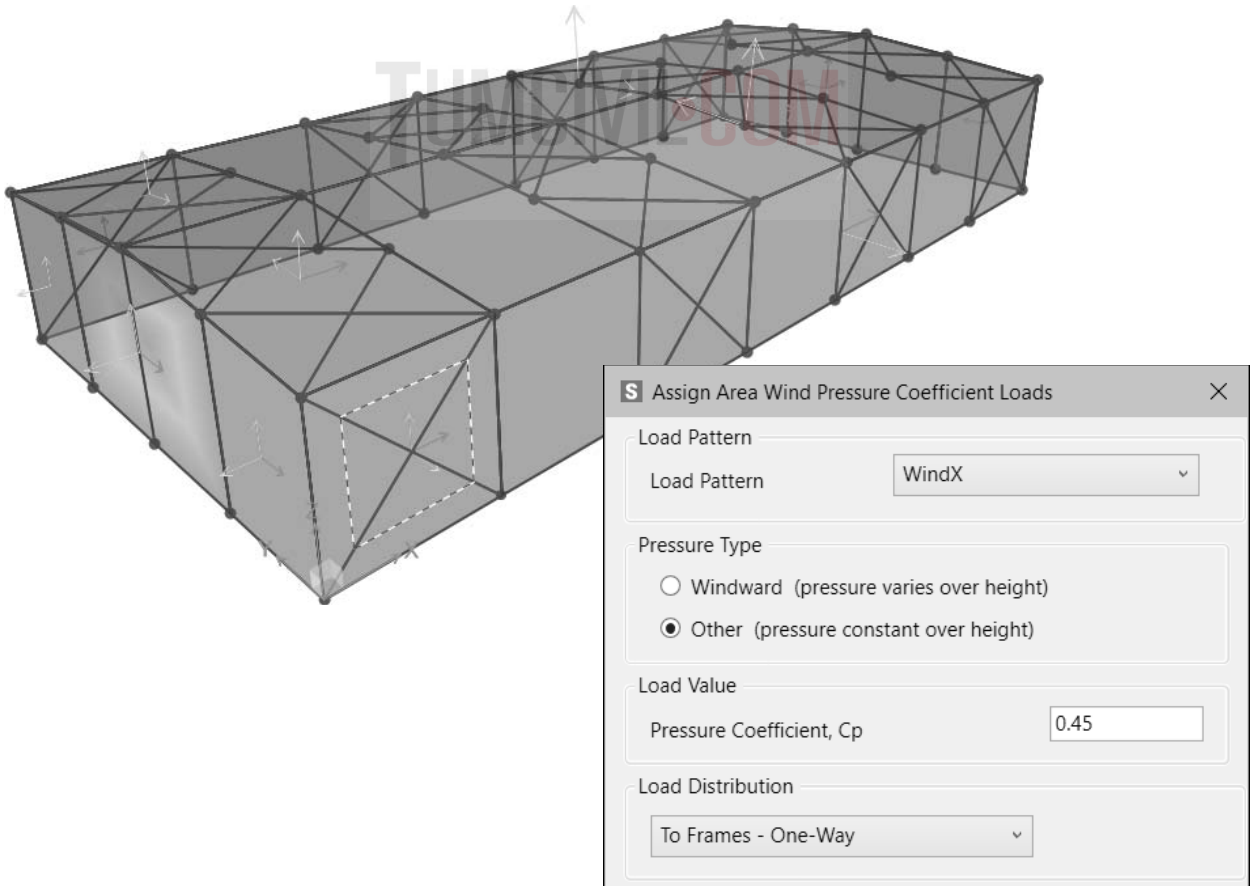
ตารางที่ 7.6 ผลคูณสัมประสิทธิ์ C_pC_g สำหรับสำหรับอาคารเตี้ยกรณีลมพัดขนานสันหลังคา

ความลาดชันของหลังคา	พื้นที่ผิวอาคาร											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
0^o ถึง 90^o	-0.85	-0.9	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.85	-0.9	0.75	1.15	-0.55	-0.8

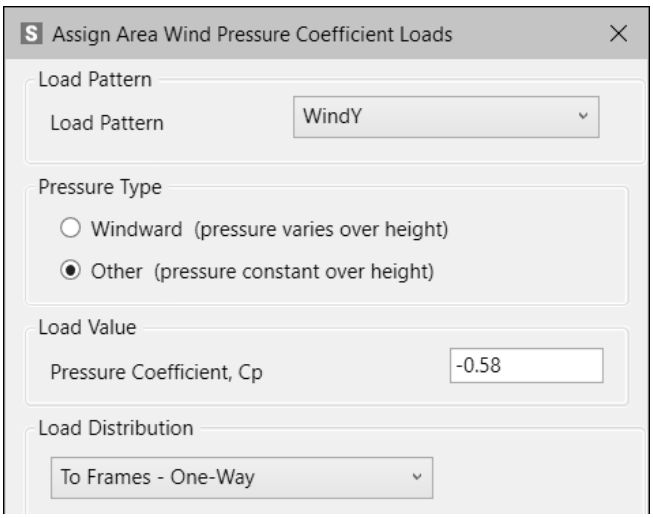
เมื่อค่า $C_g = 2.0$ ดังนั้นค่า C_p สำหรับ WindX คือ

	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
C_p	-0.43	-0.45	-0.65	-1.0	-0.35	-0.5	-0.43	-0.45	0.38	0.58	-0.28	-0.4

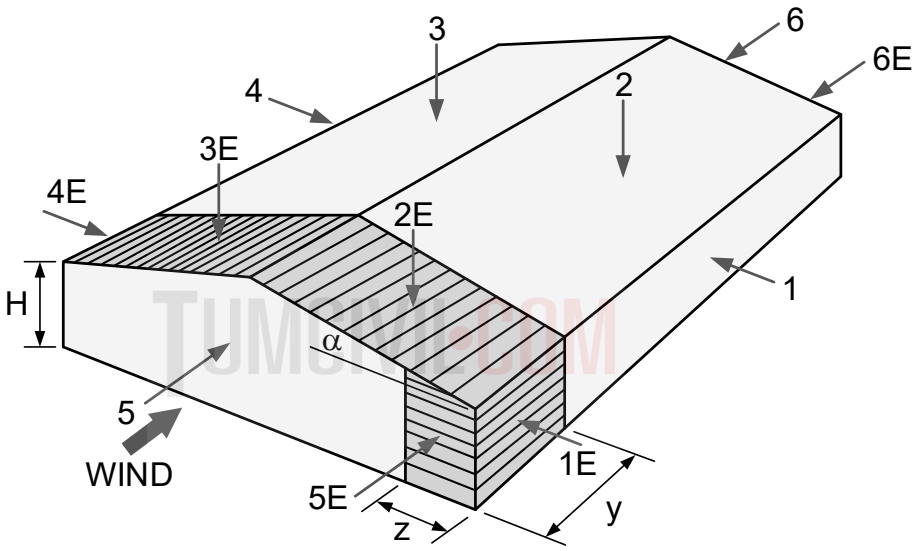
- คลิกเลือกพื้นผิว 1E สั่งเมนู Assign > Area Loads > Wind Pressure Coefficients เลือกรูปแบบบรรทุก WindX การกระจายแบบ To Frames – One-Way (มีในเวอร์ชั่น 22.1) ใส่ค่า $C_p = 0.45$ (แรงดูดทิศเดียวกับแกน 3)



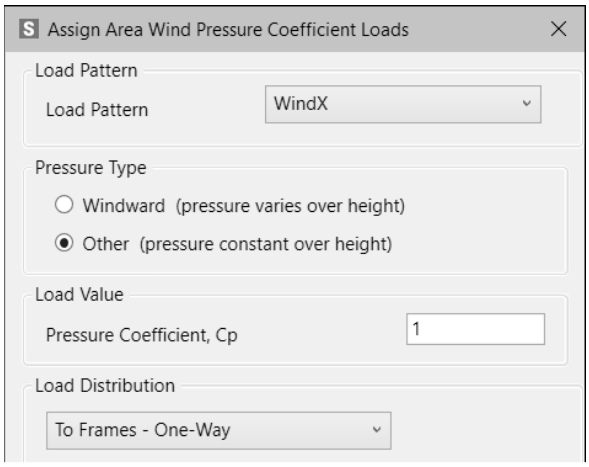
- คลิกปุ่ม Apply จากนั้นคลิกในพื้นที่ว่างในหน้าต่างโมเดล กด Ctrl+J เลือกพื้นผิวเดิม
- เปลี่ยนเป็นรูปแบบบรรทุก WindY และค่า $C_p = -0.58$ (แรงดันทิศตรงข้ามกับแกน 3)

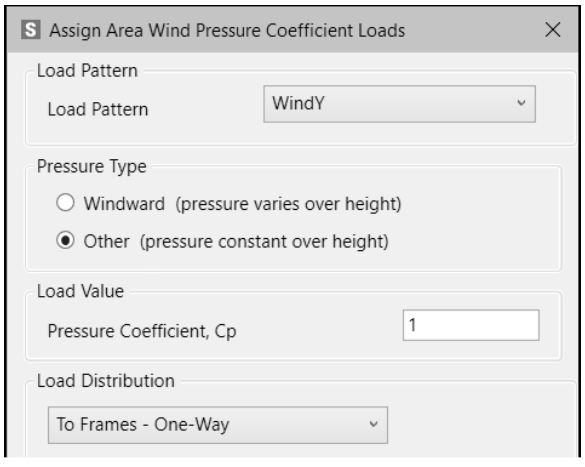


▶ ใส่ค่า C_p ลงบนพื้นผิวต่างๆโดยวิธีเดิมจนครบทุกพื้นผิว

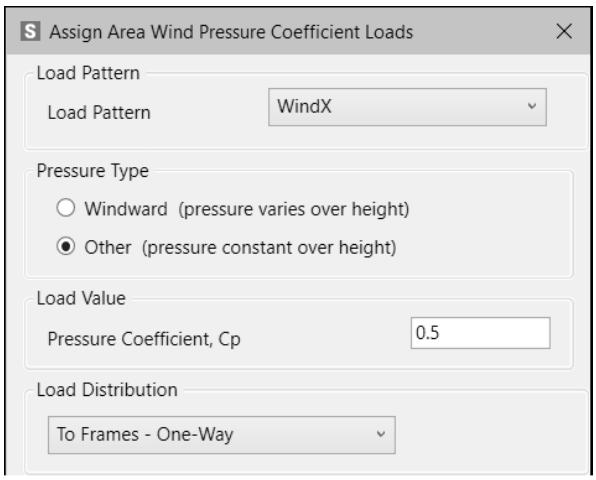


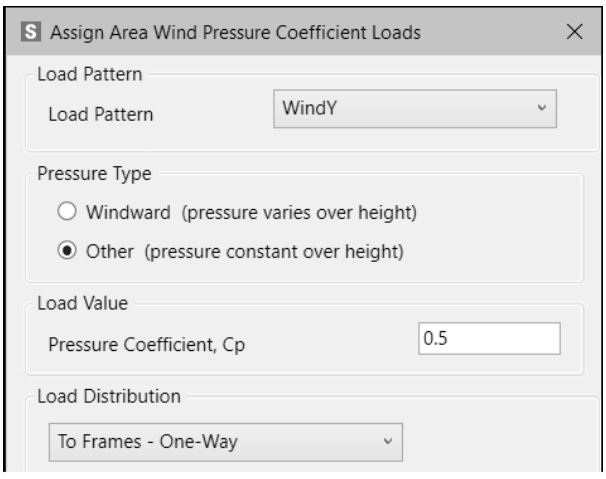
▶ ผนัง 2E : WindX > Cp = 1, WindY > Cp = 1



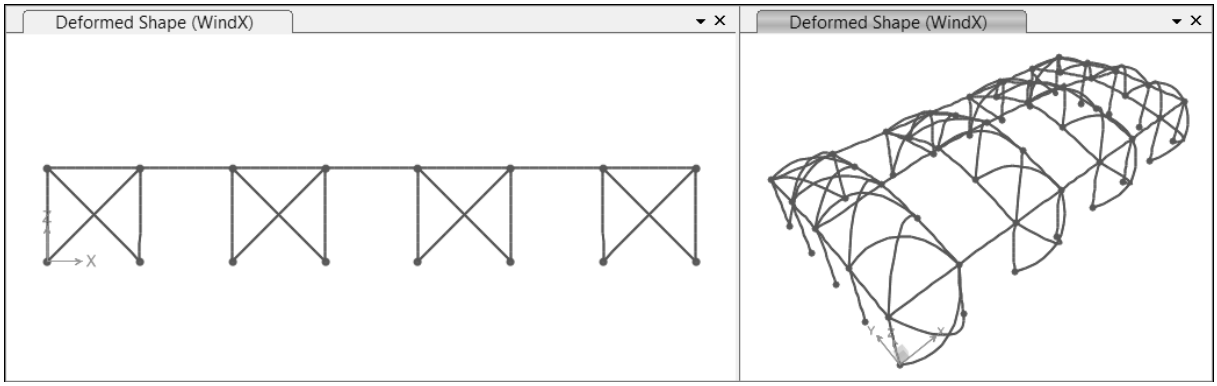


▶ ผนัง 3E : WindX > Cp = 0.5, WindY > Cp = 0.5

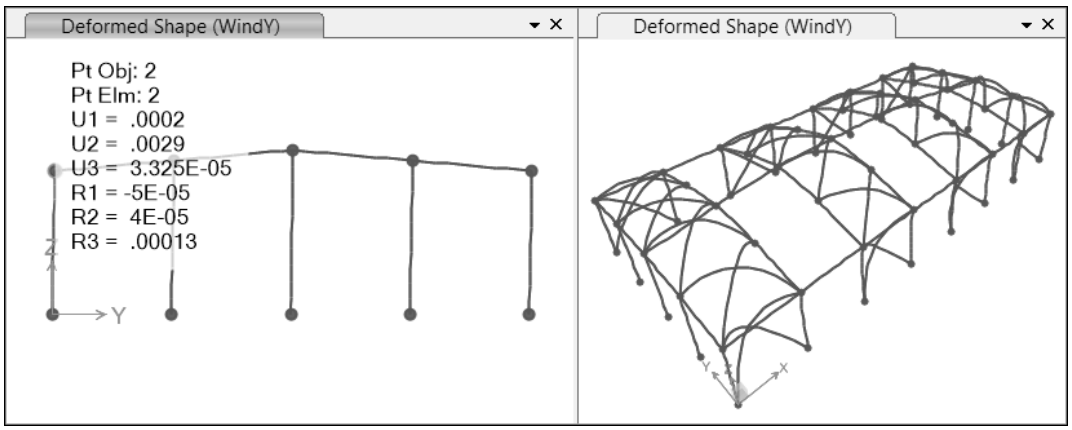




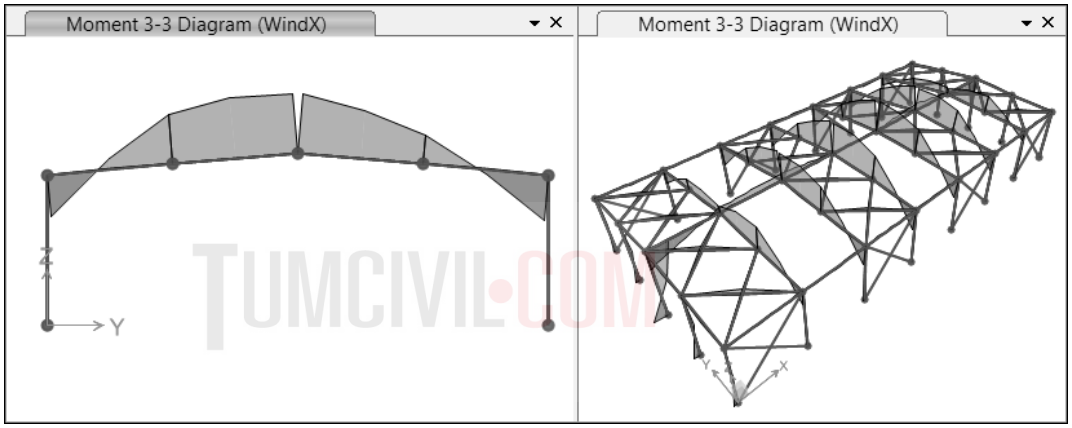
- ผนัง 4E : WindX > Cp = 0.45, WindY > Cp = 0.4
- ผนัง 5E : WindX > Cp = -0.58
- ผนัง 6E : WindX > Cp = 0.4
- ผนัง 1 : WindX > Cp = 0.43, WindY > Cp = -0.38
- ผนัง 2 : WindX > Cp = 0.65, WindY > Cp = 0.65
- ผนัง 3 : WindX > Cp = 0.35, WindY > Cp = 0.35
- ผนัง 4 : WindX > Cp = 0.43, WindY > Cp = 0.28
- ผนัง 5 : WindX > Cp = -0.38
- ผนัง 6 : WindX > Cp = 0.28
- สั่งเมนู Assign > Clear Display on Assigns
- คลิกปุ่ม เลือกปิดการแสดง Areas > Local Axes
- คลิกปุ่ม หรือกด F5 รันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก WindX และ WindY

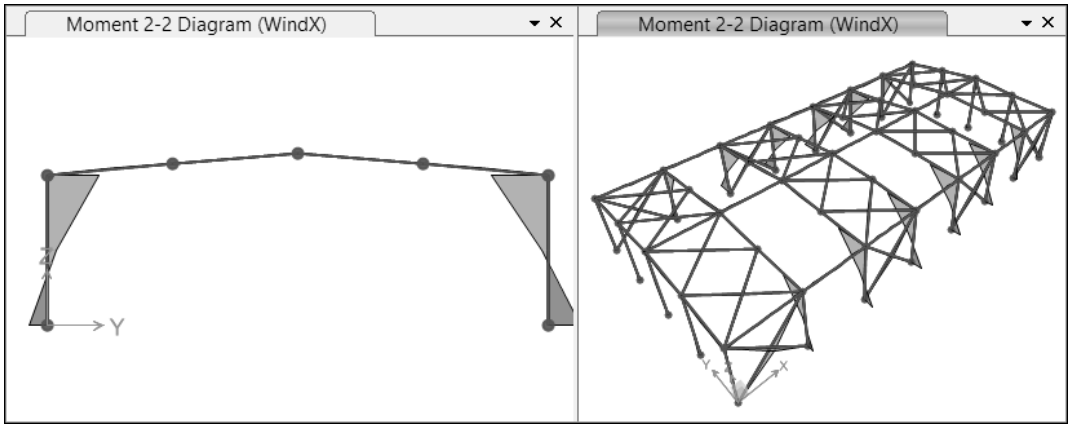


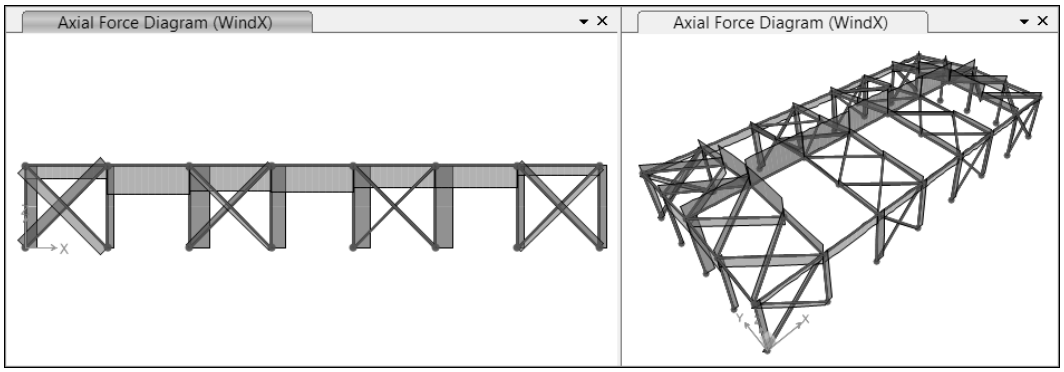
TUMCIVIL.COM



- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงโมเมนต์ M33 ภายใต้กรณีบรรทุก WindX และ WindY
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงโมเมนต์ M22 ภายใต้กรณีบรรทุก WindX และ WindY
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Axial Force ภายใต้กรณีบรรทุก WindX และ WindY







แรงดันลมภายใน

สำหรับโครงสร้างในตัวอย่างนี้สมมุติว่าอาคารมีประตู หน้าต่าง และช่องเปิดเพื่อระบายอากาศ รวมทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 5% ของพื้นผิวทั้งหมดของอาคาร ประตูและหน้าต่างมีขนาดใหญ่ และไม่สามารถต้านทานพายุได้ และช่องเปิดมีลักษณะกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ (non-uniformly distributed) โดยรอบอาคาร

เมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 หัวข้อ 2.6 (ในหนังสือเล่มนี้หน้าที่ 48) พบว่าอาคารจัดอยู่ในกรณีที่ 3 เนื่องจากมีช่องเปิดคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 0.1% ของพื้นที่ทั้งหมด มีประตูและหน้าต่างขนาดใหญ่ และไม่สามารถต้านทานพายุได้ และลักษณะของช่องเปิดกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอรอบอาคาร

ดังนั้นเลือกใช้ค่า $C_{pi} = \pm 0.7$ และ $C_{gi} = C_g = 2.0$ สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลมภายในอาคารตามสมการ $p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi}$ ซึ่งจะมีทั้งค่าบวกและลบ โดยจะนำไปรวมกับหน่วยแรงลมภายนอกเป็นค่าหน่วยแรงลมสุทธิ

$$p_{net} = p + p_i = I_w q C_e C_g (C_p + C_{pi}) = I_w q C_e C_g (C_p \pm 0.7)$$

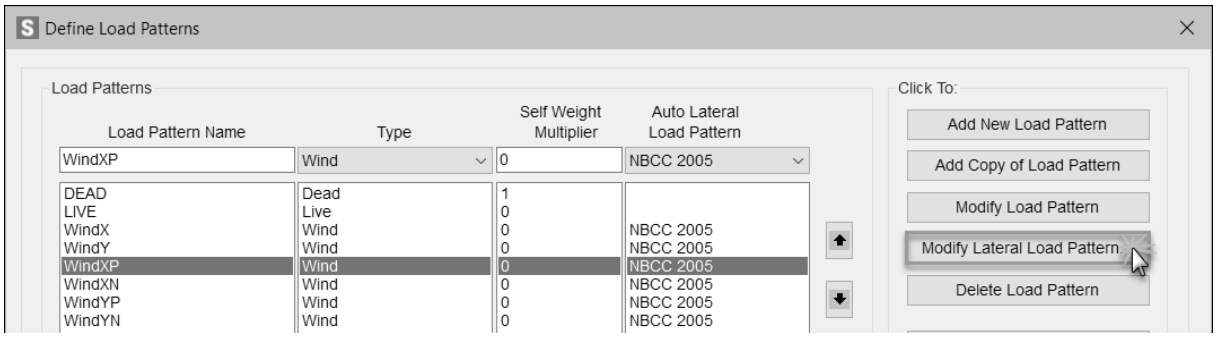
ดังนั้นค่า C_p สำหรับ WindY, WindYP และ WindYN คือ

	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
C_p	0.38	0.58	-0.65	-1.0	-0.35	-0.5	-0.28	-0.4
$C_p + 0.7$	1.08	1.28	0.05	-0.3	0.35	0.2	0.42	0.3
$C_p - 0.7$	-0.32	-0.12	-1.35	-1.7	-1.05	-1.2	-0.98	-1.1

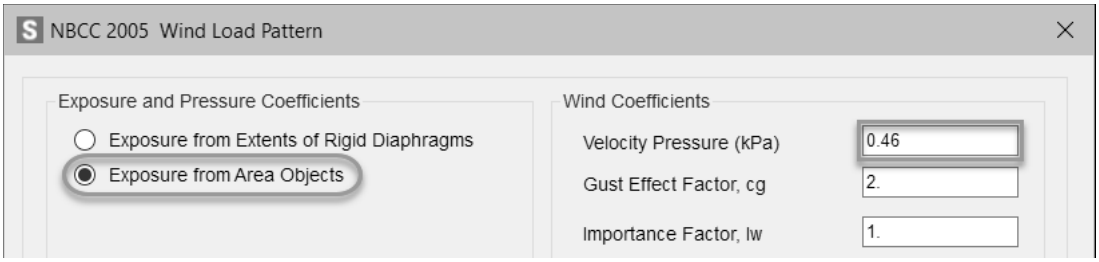
ดังนั้นค่า C_p สำหรับ WindX, WindXP และ WindXN คือ

	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
C_p	-0.43	-0.45	-0.65	-1.0	-0.35	-0.5	-0.43	-0.45	0.38	0.58	-0.28	-0.4
$C_p + 0.7$	0.27	0.25	0.05	-0.3	0.35	0.2	0.27	0.25	1.08	1.28	0.42	0.3
$C_p - 0.7$	-1.13	-1.15	-1.35	-1.7	-1.05	-1.2	-1.13	-1.15	-0.32	-0.12	-0.98	-1.1

- คลิกปุ่ม เพื่อปลดล็อคโมเดลให้สามารถแก้ไขได้
- สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างรูปแบบบรรทุกเพิ่มคือ WindXP, WindXN, WindYP และ WindYN โดยเลือกรายการ WindX และ WindY เดิมมาแก้ไขชื่อแล้วคลิกปุ่ม Add New Load Pattern

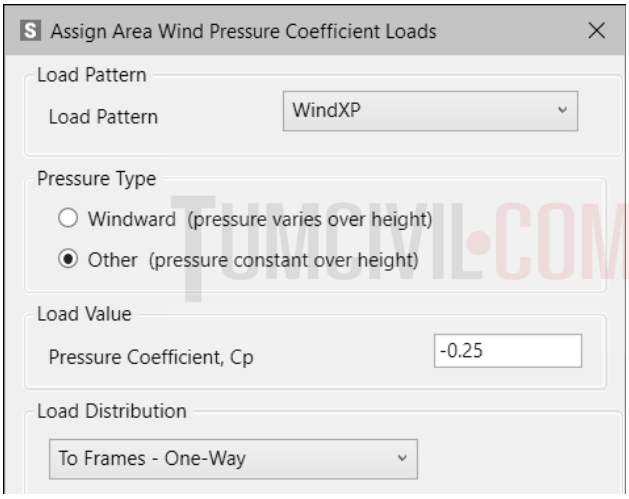


- คลิกเลือกรายการแรงลมที่สร้างขึ้นใหม่ กดปุ่ม Modify Lateral Load Pattern เลือกแบบ Exposure from Area Objects และใส่ค่า Velocity Pressure = 0.46

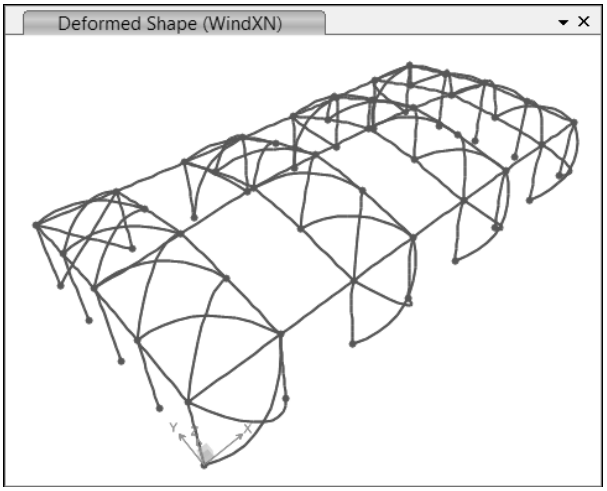


- คลิกเลือกแต่ละผนัง สั่งเมนู Assign > Area Load > Wind Pressure Coefficient เลือกรูปแบบบรรทุก WindXP, WindXN, WindYP หรือ WindYN แล้วใส่ค่า Cp จากตารางให้สอดคล้องกับทิศทางแกน 3 ของพื้นผิวซึ่งชี้ออกจากอาคาร ดังนั้นค่าที่เป็นลบ(หน่วยแรงดูด)จะใส่เป็นค่าบวก และเลือกการกระจายแบบ To Frame – One-Way

  ตัวอย่างเช่นในรูป สำหรับผนัง 1E :

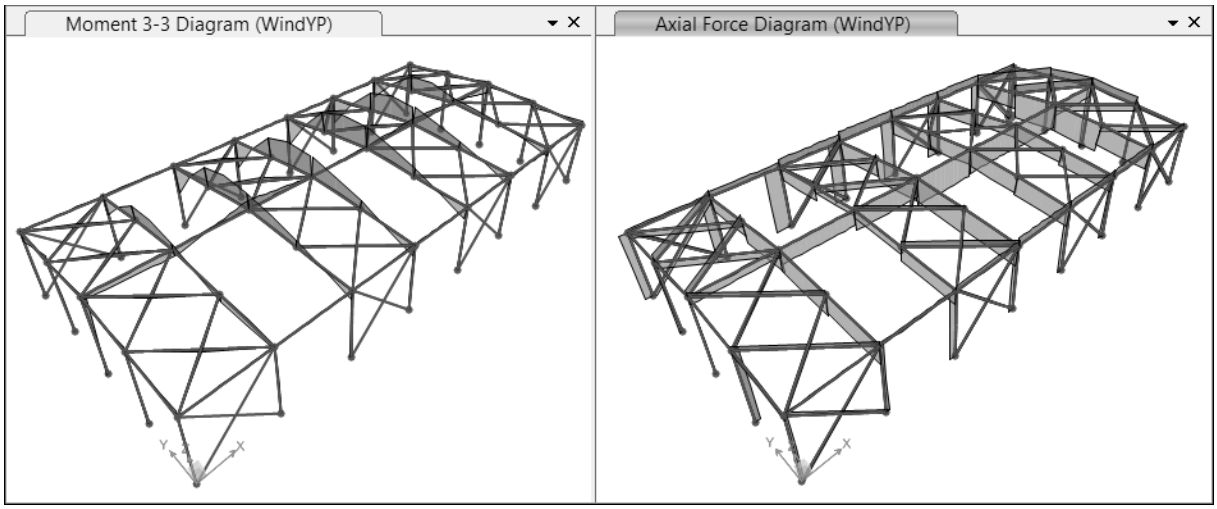


- คลิกปุ่ม หรือกด F5 รันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก WindXP, WindXN, WindYP และ WindYN



- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงโมเมนต์ M33 ภายใต้กรณีบรรทุก WindXP, WindXN, WindYP และ WindYN

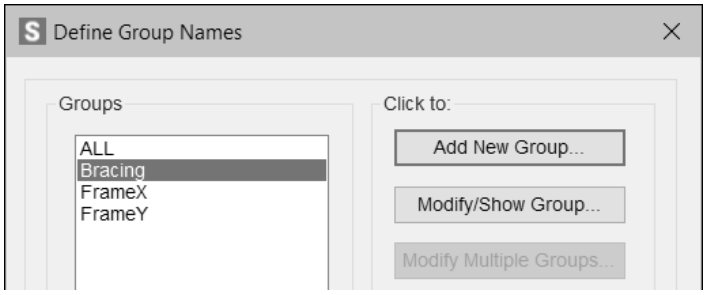
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงแรงตามแนวแกน Axial Force ภายใต้กรณีบรรทุก WindXP, WindXN, WindYP และ WindYN



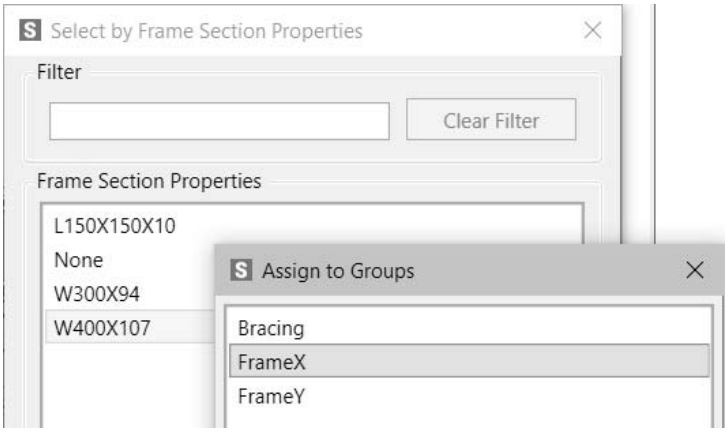
การออกแบบ

TUMCIVIL.COM

- สั่งเมนู Define > Group คลิกปุ่ม Add New Group สร้าง 3 กลุ่มคือ FrameX, FrameY และ Bracing

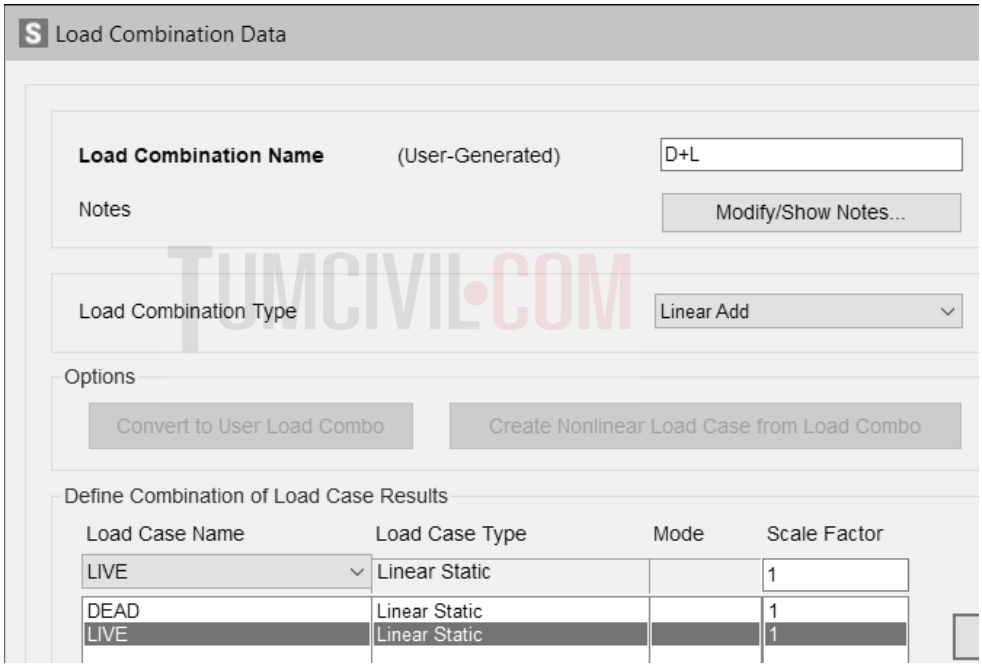


- สั่งเมนู Select > Select > Properties > Frame Sections เลือกหน้าตัด W400X107

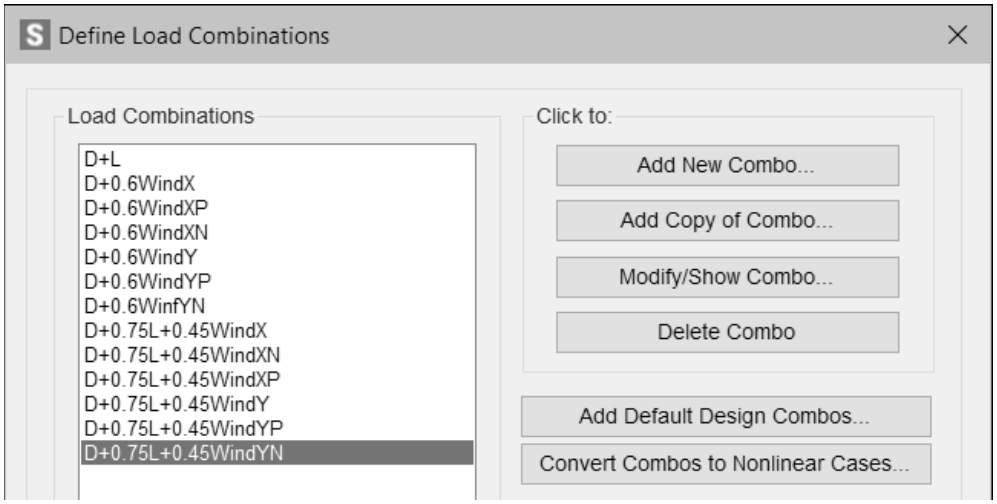


- สั่งเมนู Assign > Assign to Group หรือกด Ctrl+Shift+G เลือกให้เป็นกลุ่ม FrameX
- เลือกหน้าตัด W300X94 กำหนดให้เป็นกลุ่ม FrameY
- เลือกหน้าตัด L150X150X10 กำหนดให้เป็นกลุ่ม Bracing
- กด Ctrl+G ตรวจสอบการกำหนดแต่ละกลุ่ม
- สั่งเมนู Define > Load Combinations คลิกปุ่ม Add New Combo เพื่อสร้างกรณีบรรทุกสำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้คือ
  - D + L
  - D + 0.6W
  - D + 0.75L + 0.45W

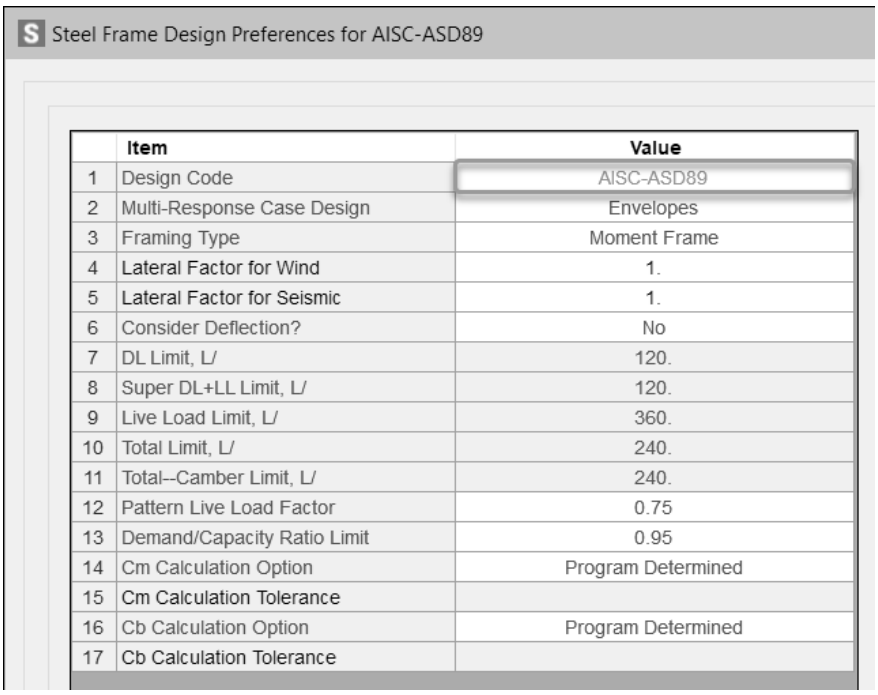
  เมื่อ W คือแรงลมได้แก่ WindX, WindXP, WindXN, WindY, WindYP และ WindYN



รายการกรณีบรรทุกร่วมจะเป็นดังในรูปข้างล่าง

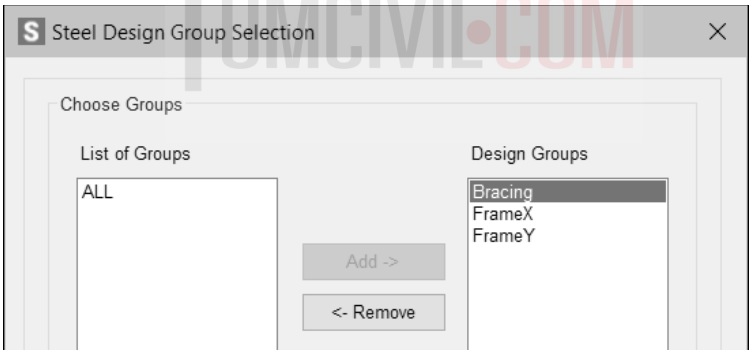


▶ สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > View/Revise Preferences... เลือกมาตรฐาน AISC ASD89



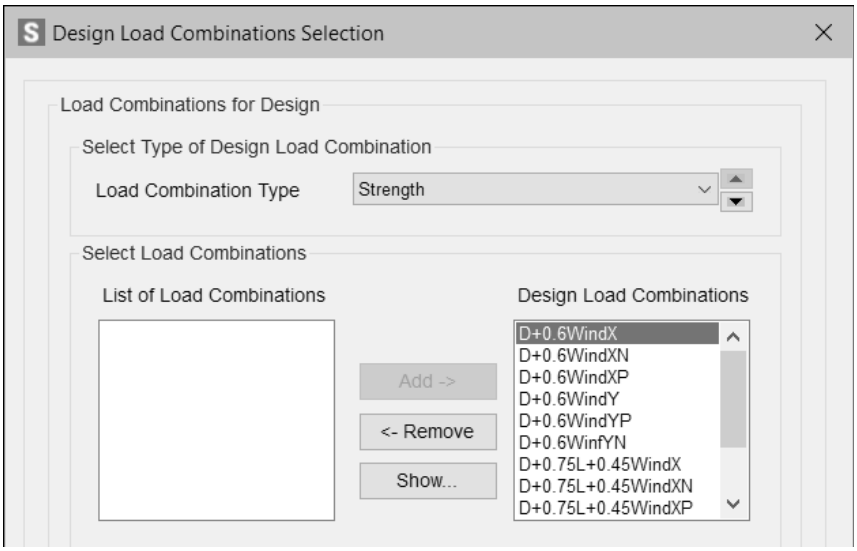
	Item	Value
1	Design Code	AISC-ASD89
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Framing Type	Moment Frame
4	Lateral Factor for Wind	1.
5	Lateral Factor for Seismic	1.
6	Consider Deflection?	No
7	DL Limit, L/	120.
8	Super DL+LL Limit, L/	120.
9	Live Load Limit, L/	360.
10	Total Limit, L/	240.
11	Total--Camber Limit, L/	240.
12	Pattern Live Load Factor	0.75
13	Demand/Capacity Ratio Limit	0.95
14	Cm Calculation Option	Program Determined
15	Cm Calculation Tolerance	
16	Cb Calculation Option	Program Determined
17	Cb Calculation Tolerance	

▶ สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Select Design Groups เลือกกลุ่มออกแบบ

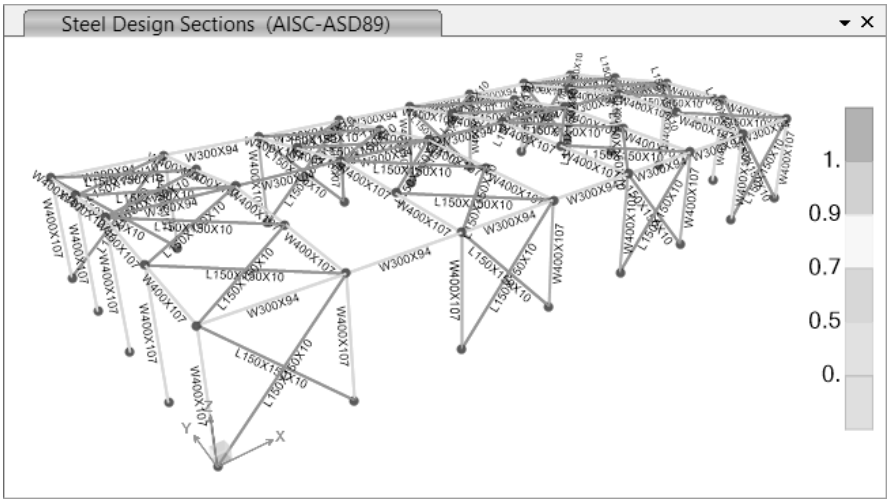


TUMCIVIL.COM

▶ สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Select Design Combo เลือกกรณีบรรทุกร่วม

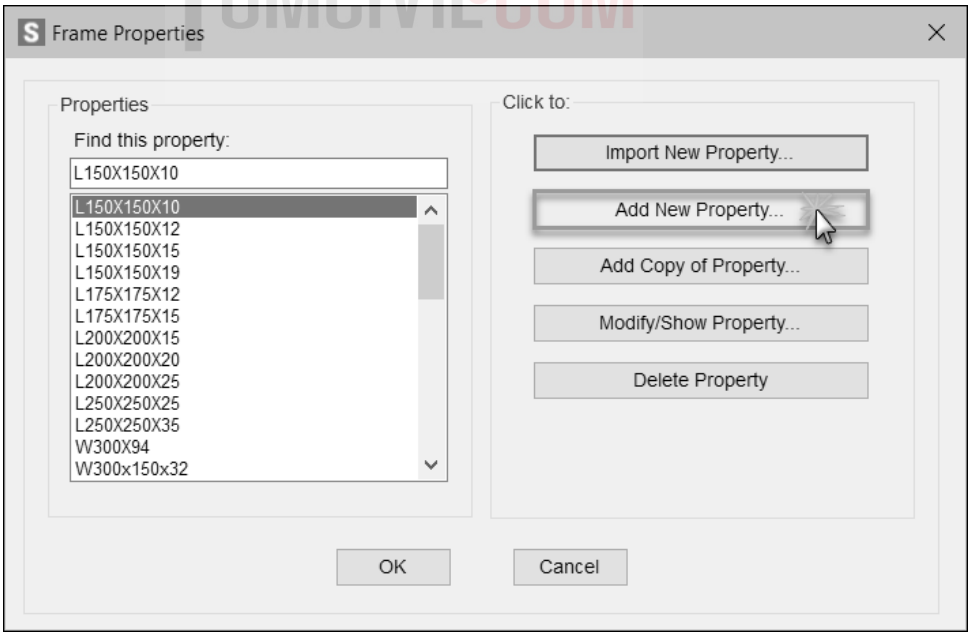


- คลิกปุ่ม เลือก Area > Not in View และไม่เลือก Fill Objects เพื่อปิดการแสดงพื้นผิว คลิก Apply to All Windows
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Start Design/Check เพื่อทำการออกแบบ

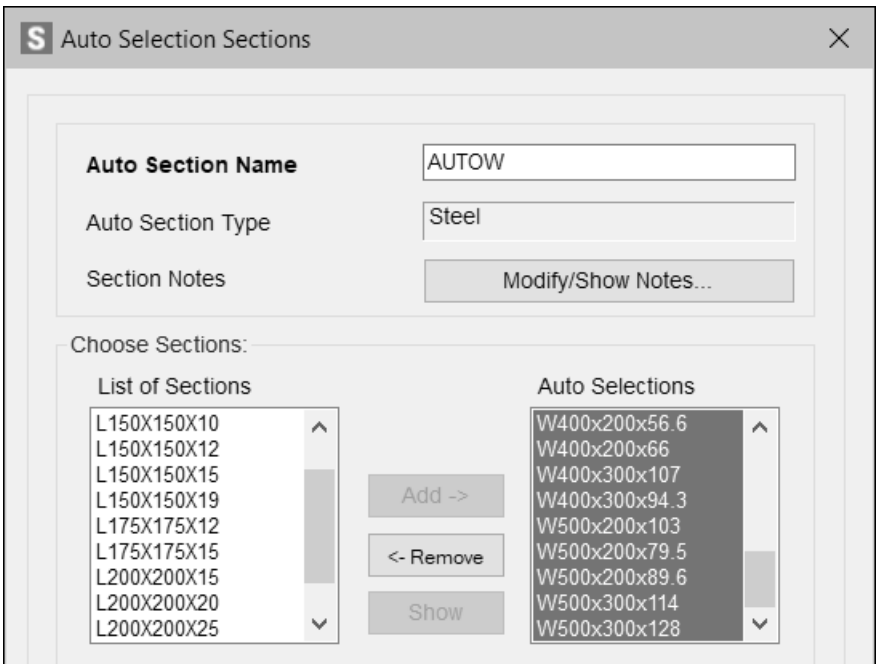


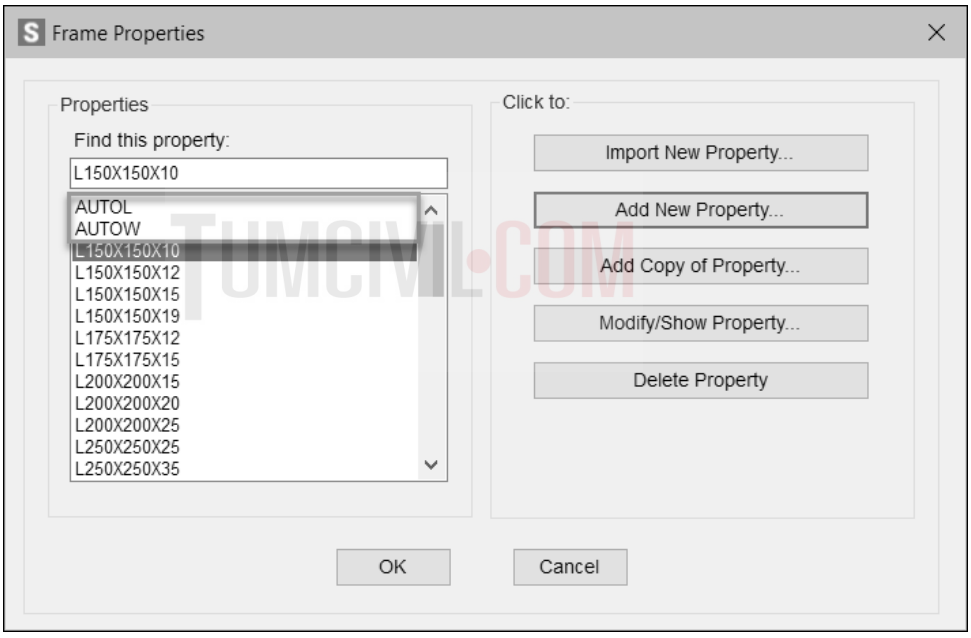
จะเห็นว่าหลายท่อนเป็นสีแดงแสดงว่าออกแบบไม่ผ่าน

- คลิกปุ่ม ปลดล็อคโมเดล แล้วคลิกปุ่ม กด Import New Property นำเข้าหน้าตัด W300-W700 และหน้าตัดฉาก L150-L250



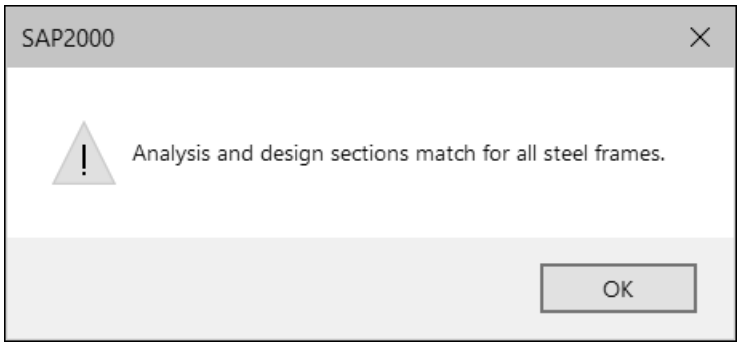
- Add New Property สร้างหน้าตัด Auto Select List สำหรับหน้าตัด W ตั้งชื่อว่า AUTOW และ AUTOL สำหรับหน้าตัดฉาก
- กด Ctrl+G เลือกกลุ่ม FrameX และ FrameY แล้วสั่งเมนู Assign > Frame > Frame Sections กำหนดให้เป็นหน้าตัด AUTOW กดปุ่ม Apply
- เลือกกลุ่ม Bracing กำหนดให้เป็นหน้าตัด AUTOL

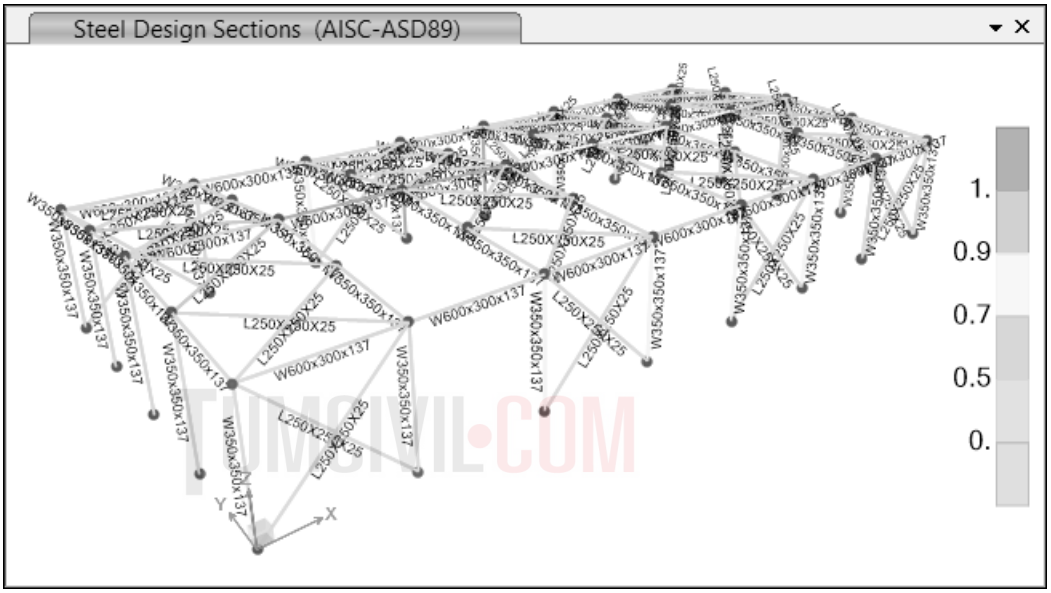




- คลิกปุ่ม หรือกด F5 รันการวิเคราะห์โครงสร้าง
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Start Design/Check เพื่อทำการออกแบบ
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Verify Analysis vs Design Section

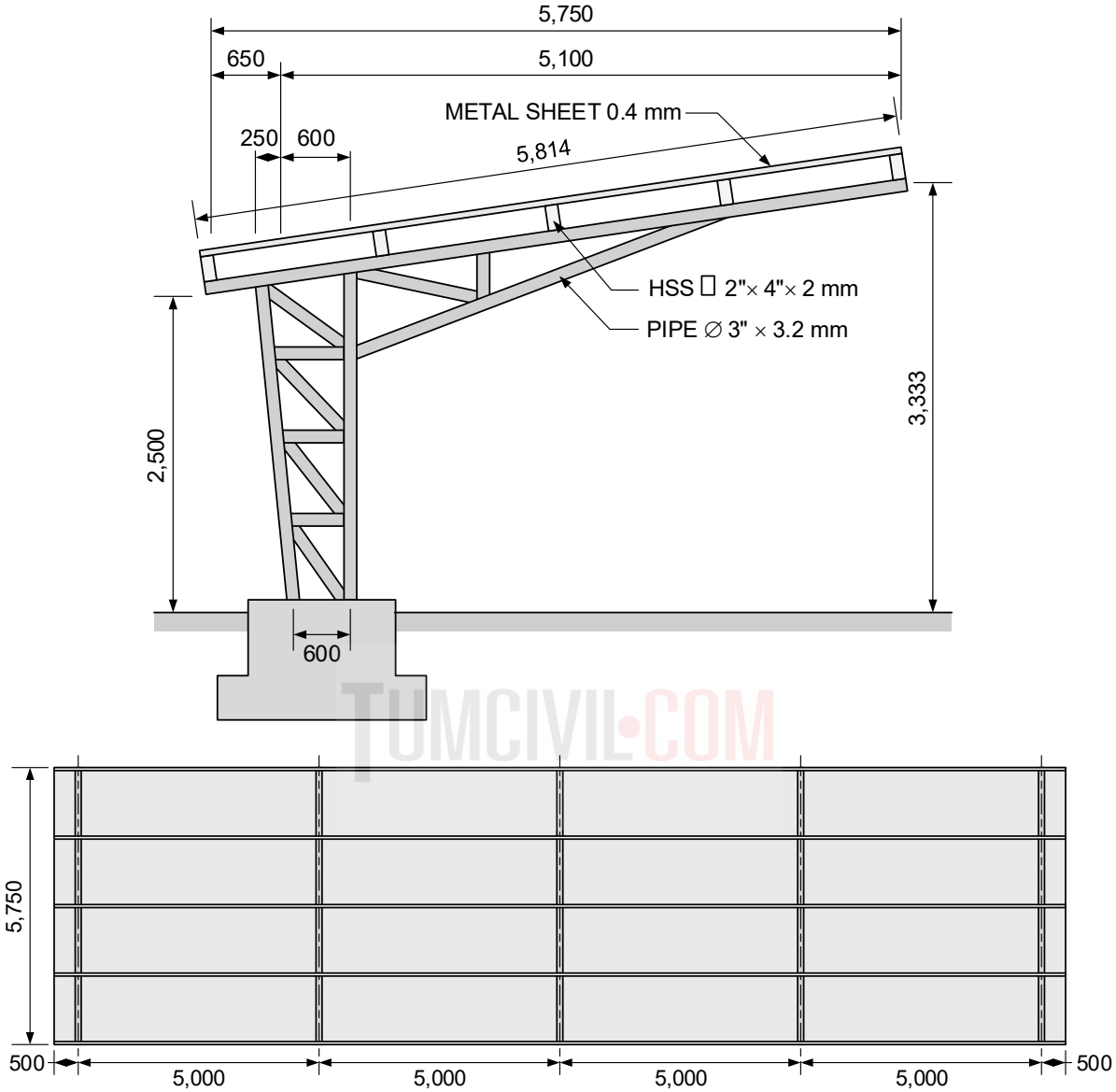
- ถ้ายังมีหน้าตัดที่ต่างกันให้กด F5 รันการวิเคราะห์ และ Shift+F5 รันการออกแบบ จากนั้นสั่งตรวจสอบใหม่ วนไปจนกระทั่งไม่มีหน้าตัดที่ต่างกัน





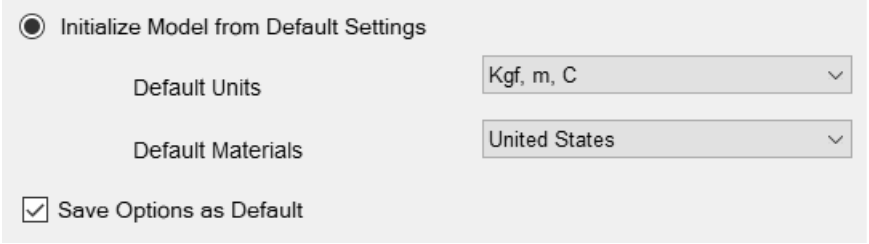
ตัวอย่างที่ 3 หลังคาที่จอดรถ

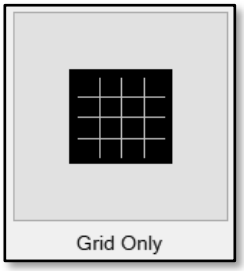
โครงสร้างหลังคาที่จอดรถมีขนาดต่างๆดังแสดงในรูป



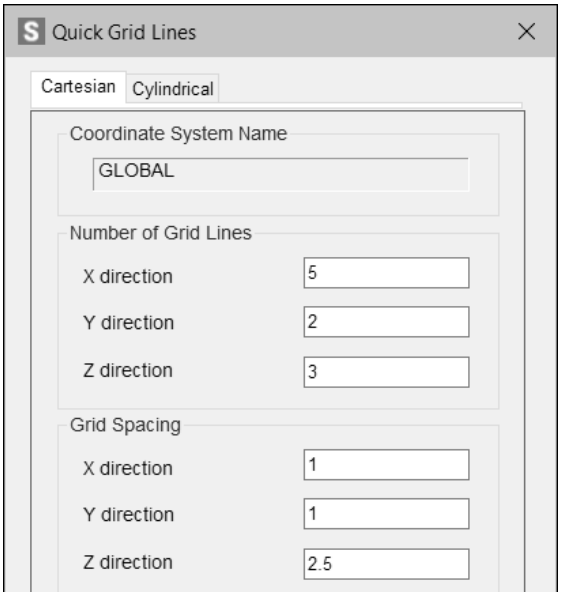
TUMCIVIL•COM

- เริ่มต้น SAP2000 ใช้หน่วย Kgf, m, C สร้างโมเดลใหม่ โดยกด Ctrl+N
- เมื่อหน้าต่าง New Model แสดงขึ้นมา เลือก Initial Model from Default Settings

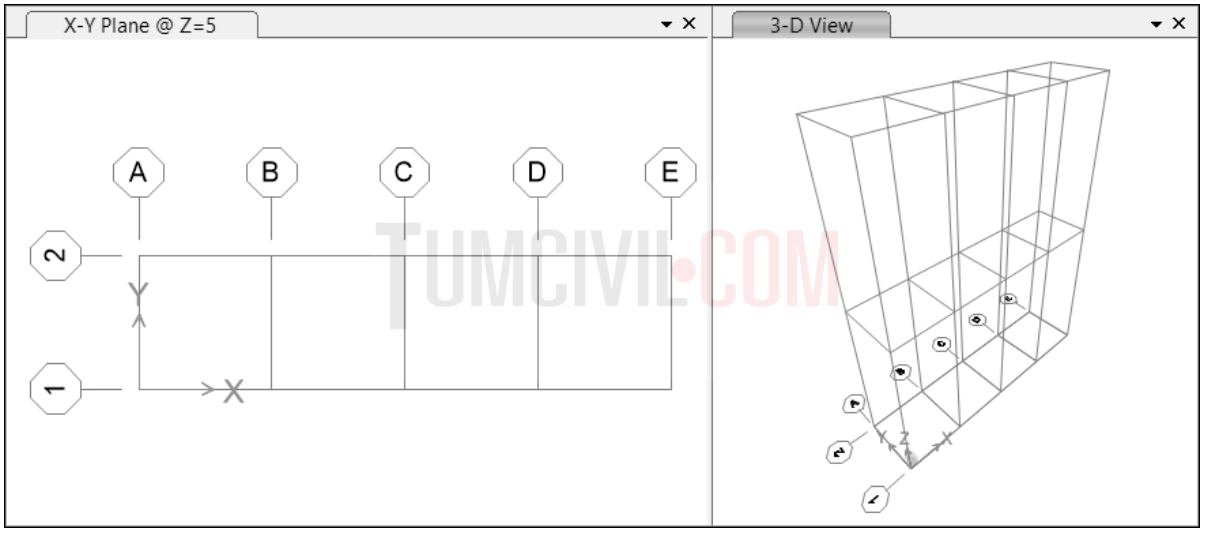




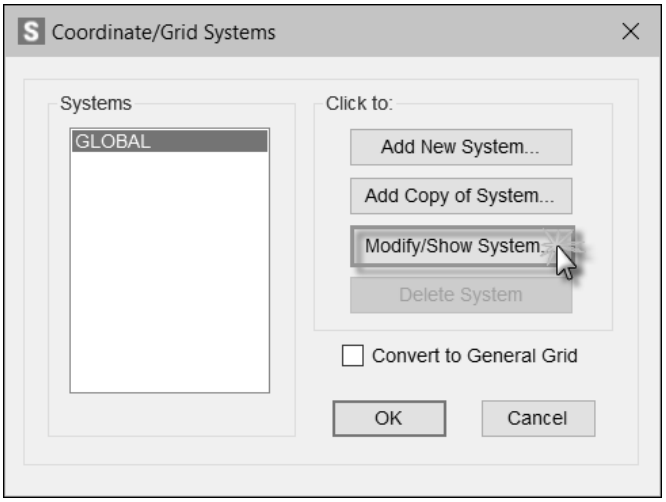
- เลือกเทมเพลต Grid Only
- ใส่จำนวนเส้นกริดและระยะห่างดังในรูป



▶ เลือกหน้าต่าง X-Y Plane คลิกปุ่ม เปลี่ยนเป็นมุมมองระนาบ X-Z



▶ คลิกขวาในพื้นที่ว่าง เลือกรายการ Edit Grid Data... คลิกปุ่ม Modify/Show System...



▶ แสดงกริดแบบ Spacing เปลี่ยนข้อมูลกริด X และ Z ตามที่ต้องการดังในรูป

X Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	0.4	Primary	Yes	End	
B	0.25	Primary	Yes	End	
C	0.6	Primary	Yes	End	
D	4.5	Primary	Yes	End	
E	0	Primary	Yes	End	

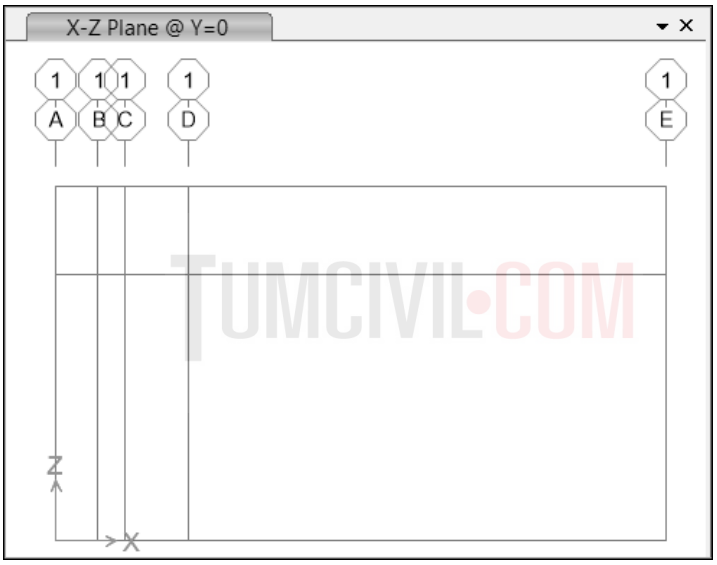
Add Delete

Z Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc
Z1	2.5	Primary	Yes	End
Z2	0.833	Primary	Yes	End
Z3	0	Primary	Yes	End

Add Delete

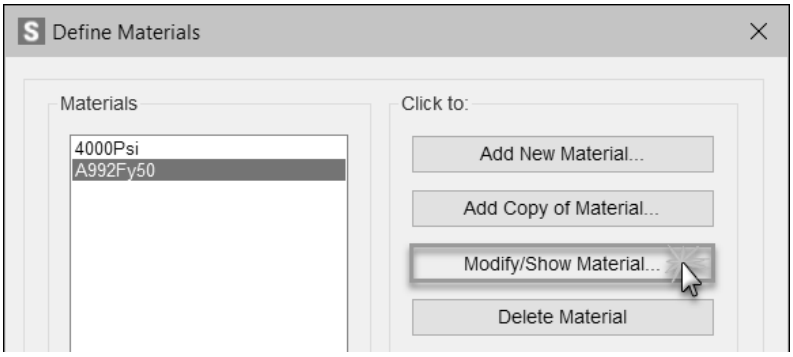
▶ เลือกหน้าต่างสองมิติ คลิกปุ่ม ให้แสดงมุมมองบนระนาบ X-Z @ Y=0



▶ คลิกปุ่ม เพื่อบันทึก ตั้งชื่อไฟล์ว่า EX5 Car Park

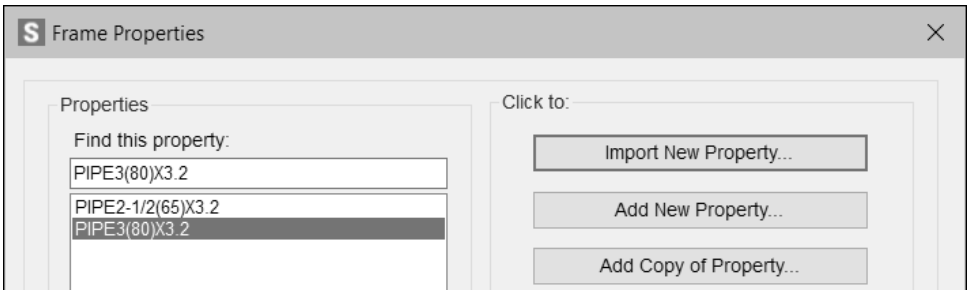
วัสดุและหน้าตัด Material & Sections

▶ เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf, cm, C สั่งเมนู Define > Materials... หรือคลิกปุ่ม เลือกรายการ A992Fy50 แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show Material...

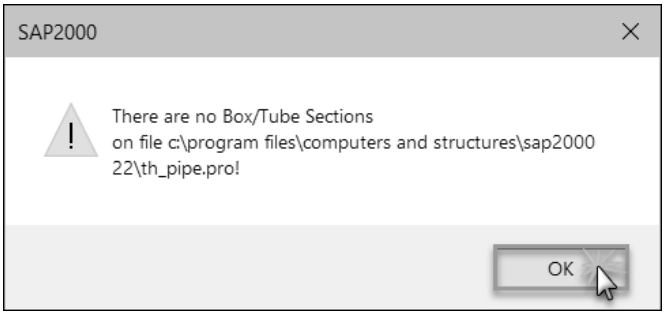


- ตั้งชื่อว่า Fy2400 ใส่คุณสมบัติต่างๆดังในรูป

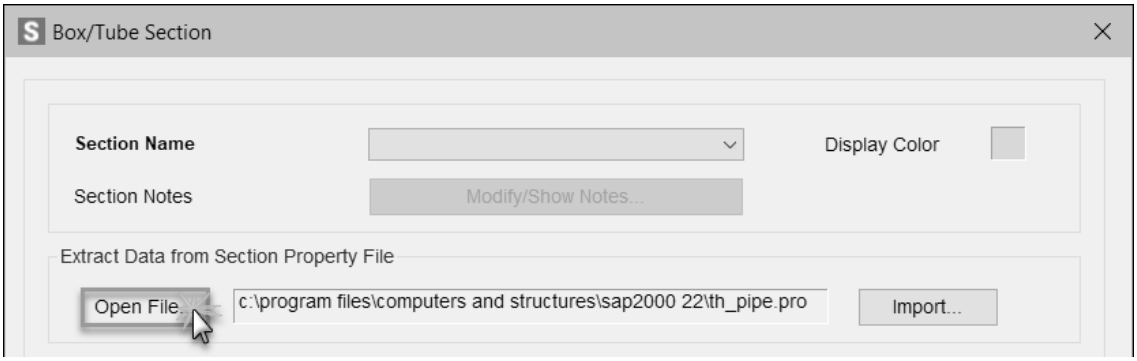
- เลือกหน่วย Kgf, m, C สั่งเมนู Define > Section Properties > Frame Sections
- คลิกปุ่ม Import New Property เลือกหน้าตัด Pipe และไฟล์ TH_PIPE.PRO
- เลือกนำเข้าหน้าตัด PIPE2-1/2(65)X3.2 และ PIPE3(80)X3.2



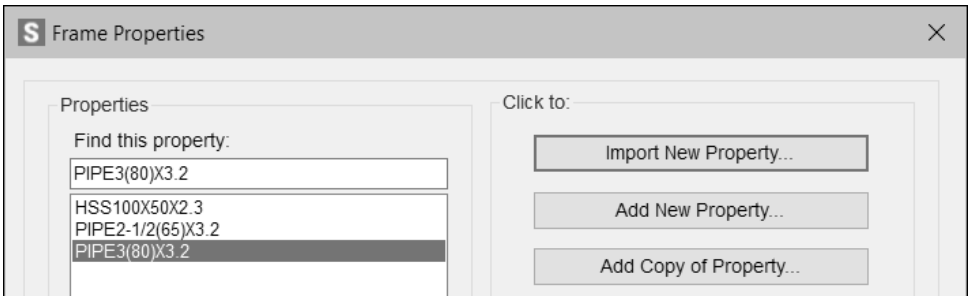
- คลิกปุ่ม Import New Property เลือกหน้าตัด Tube



- คลิกปุ่ม OK แล้วคลิกปุ่ม Open File... ในหน้าต่างต่อมา



- เลือกไฟล์ TH_RECT เลือกนำเข้าหน้าตัด HSS100X50X2.3

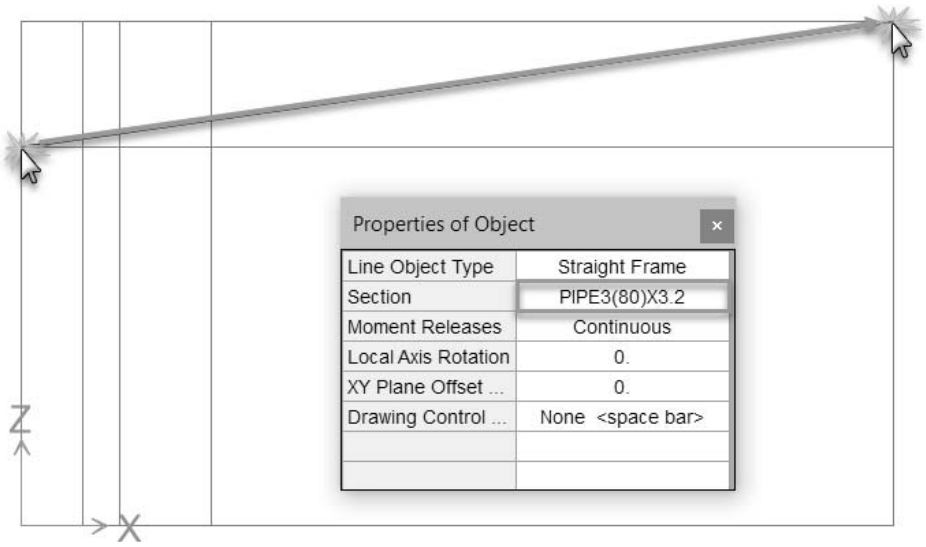


- คลิกปุ่ม เพื่อบันทึกข้อมูล

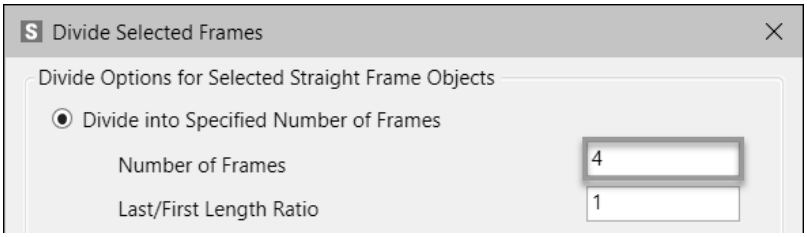
การวาดโครงสองมิติ 2D Frame

TUMCIVIL.COM

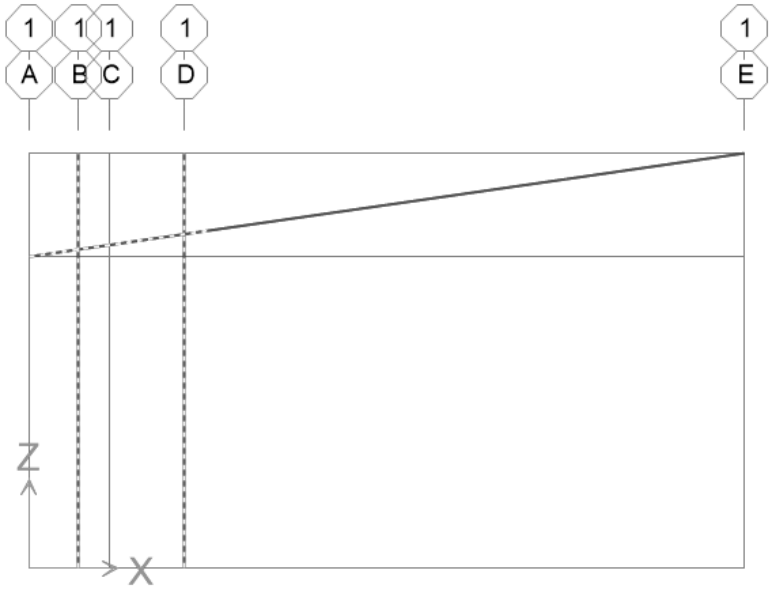
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด PIPE3(80)X3.2 แล้วคลิกวาดจันทันหลังคาดังในรูป



- คลิกเลือกจันทัน สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames เลือกแบ่งเป็น 4 ท่อน

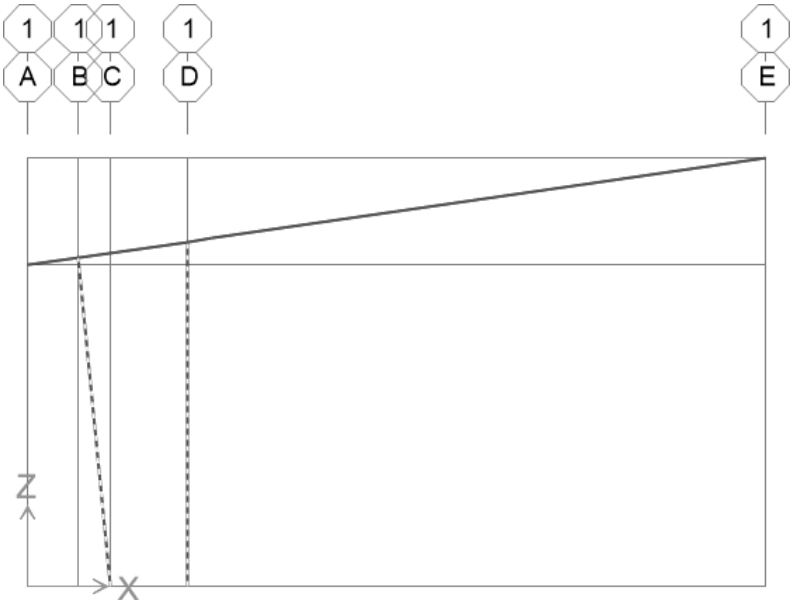


- วาดเสาดิ่งบนเส้นกริด B-1 และ D-1 แล้วคลิกเลือกเสาและจันทันที่ตัดกับเสา

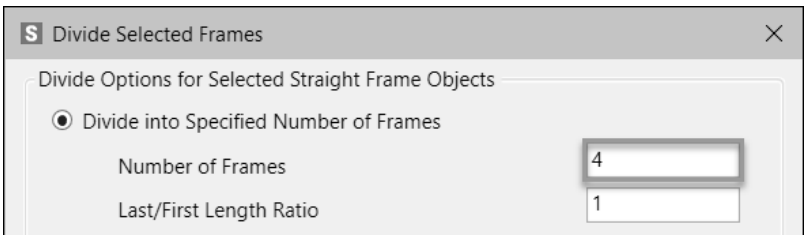


- สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames เลือกแบ่งที่จุดตัดเส้น

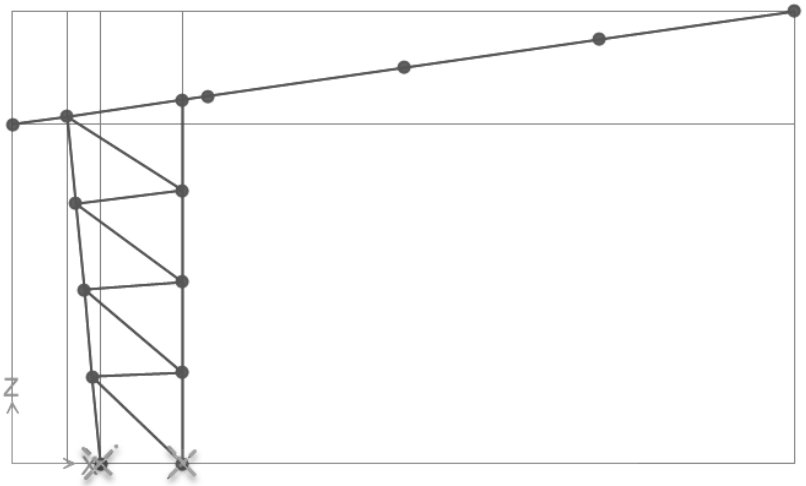
- วาดเสาเอียงจากปลายล่างเส้นกริด C-1 มาที่จุดตัดเสา B-1 กับจันทัน แล้วลบปลายเส้นที่ไม่ต้องการออกจนได้ดังในรูป



- คลิกเลือกเสาทั้งสอง สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames เลือกแบ่งเป็น 4 ท่อน

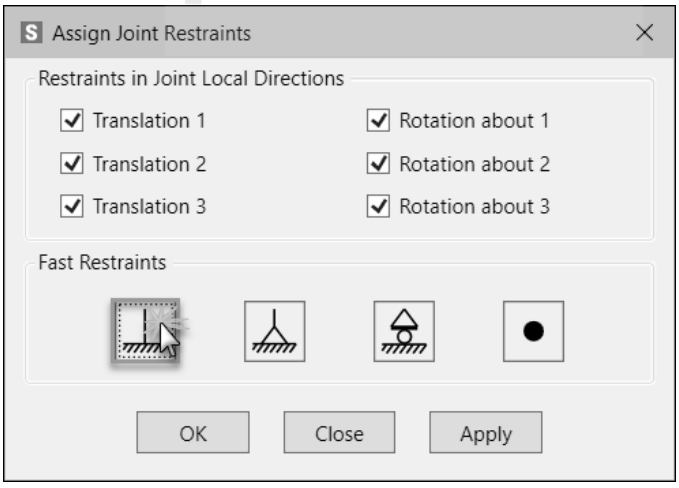


- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงจุดต่อโดยคลิกไม่เลือก Joints > Invisible
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด PIPE2-1/2(65)X3.2 แล้วคลิกวาดท่อนถักระหว่างเสาดังในรูป

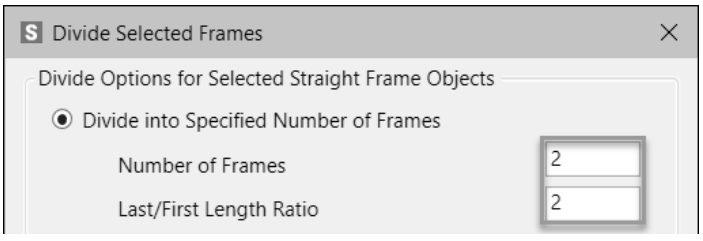


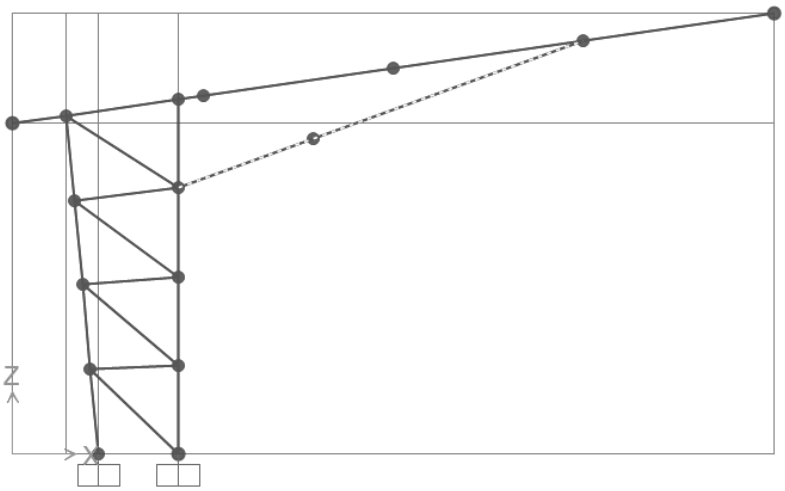
TUMCIVIL.COM

- คลิกเลือกปลายล่างเสา สั่งเมนู Assign > Joint > Restraints กำหนดให้เป็นแบบยึดแน่น

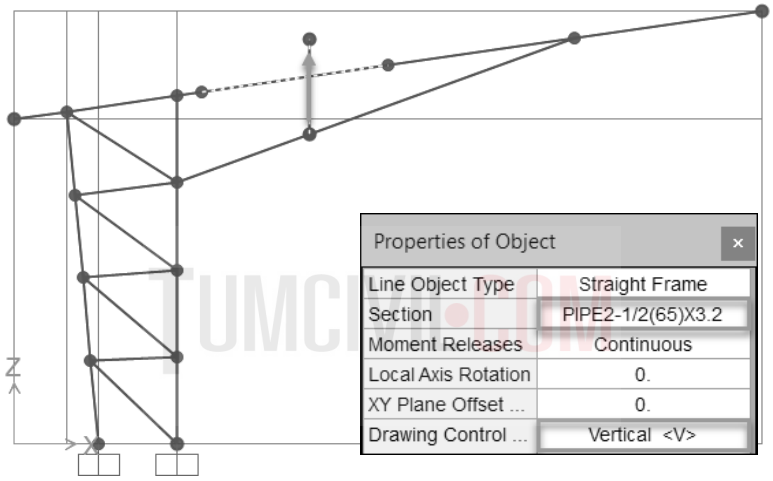


- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด PIPE3(80)X3.2 แล้วคลิกวาดท่อนค้ำยันใต้จันทันหลังคาดังในรูป
- คลิกเลือกท่อนค้ำยัน สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames แบ่ง 2 ท่อน

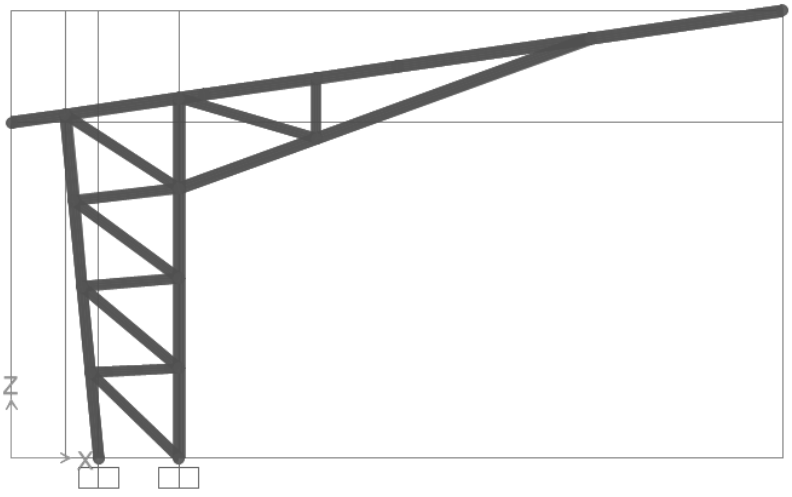




- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด PIPE2-1/2(65)X3.2 บังคับเป็นเส้นดิ่งแล้วคลิกวาดจากจุดแบ่งเลยจันทันขึ้นไปเล็กน้อย

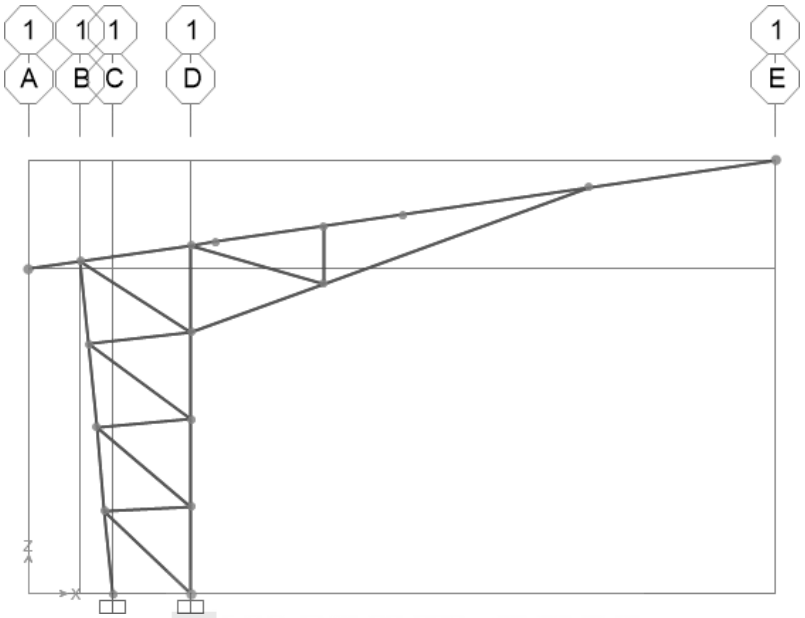


- คลิกเลือกจันทันและเส้นดิ่ง สั่งเมนู Edit > Edit Lines > Divide Frames แบ่งที่จัดตัด
- ลบเส้นส่วนเกินแล้ววาดท่อนทแยงที่เหลือ
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง View Type แบบ Extrude



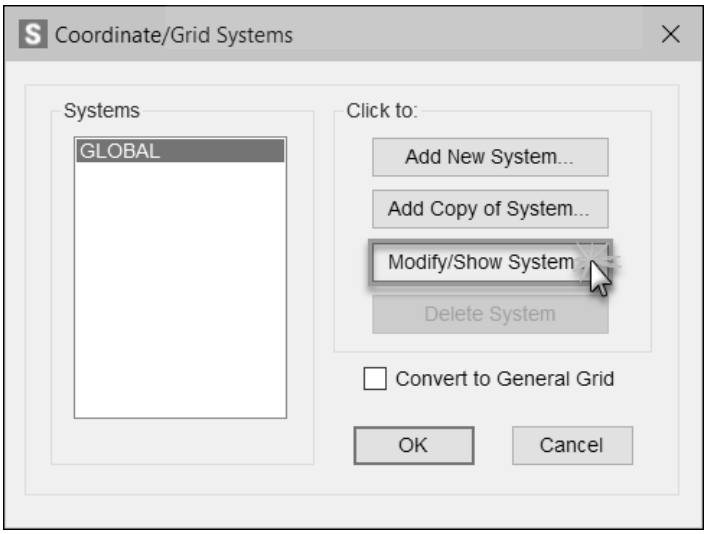
- คลิกปุ่ม เพื่อบันทึกข้อมูล

- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง View Type แบบ Standard และเลือกให้แสดงจุดต่อโดยคลิกไม่เลือก Joint > Invisible และเลือก Apply to All Windows
- สั่งเมนู Options > Color > Display เปลี่ยนสี Point เป็นสีแดง เพื่อให้เห็นชัดเจน

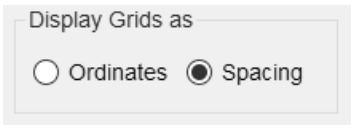


TUMCIVIL.COM

- คลิกขวาในพื้นที่ว่าง เลือก Edit Grid Data แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show System



- เลือก Display Grids as Spacing



- แก้ไข Y Grid Data โดยคลิกปุ่ม Add เพิ่มจำนวนเส้นกริดเป็น 5 เส้นระยะห่างช่วงละ 5 m จนได้ดังในรูป

Y Grid Data

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	5	Primary	Yes	Start	
2	5	Primary	Yes	Start	
3	5	Primary	Yes	Start	
4	5	Primary	Yes	Start	
5	0	Primary	Yes	Start	

Add

Delete

- ใน X Grid Data ปิดการแสดงเส้นกริด B, C และ D

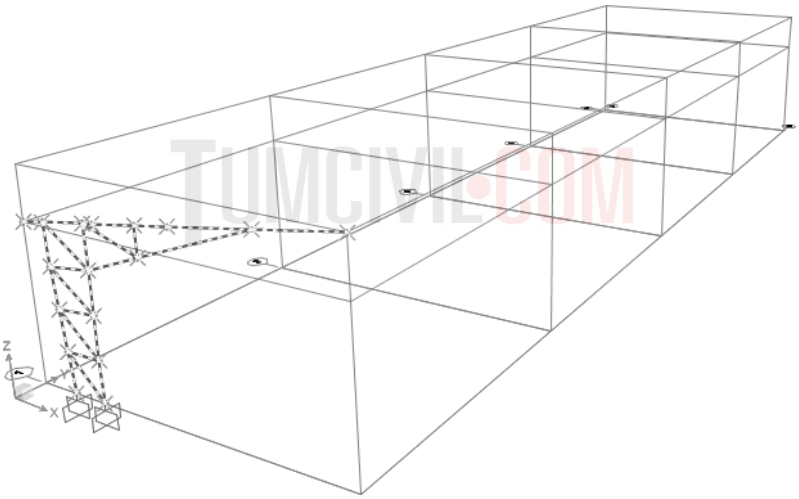
X Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	0	Primary	Yes	End	
B	0.4	Primary	No	End	
C	0.65	Primary	No	End	
D	1.25	Primary	No	End	
E	5.75	Primary	Yes	End	

Add

Delete

- เมื่อคลิก OK เส้นกริดในมุมมองสามมิติจะเป็นดังในรูป



- กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด สั่งเมนู Edit > Replicate หรือกด Ctrl+R ทำซ้ำด้วยระยะ dy = 5 m จำนวน 1 โครง

Replicate

Linear | Radial | Mirror

Increments

dx 0.

dy 5

dz 0.

Pick Two Points on Model

Increment Data

Number 1

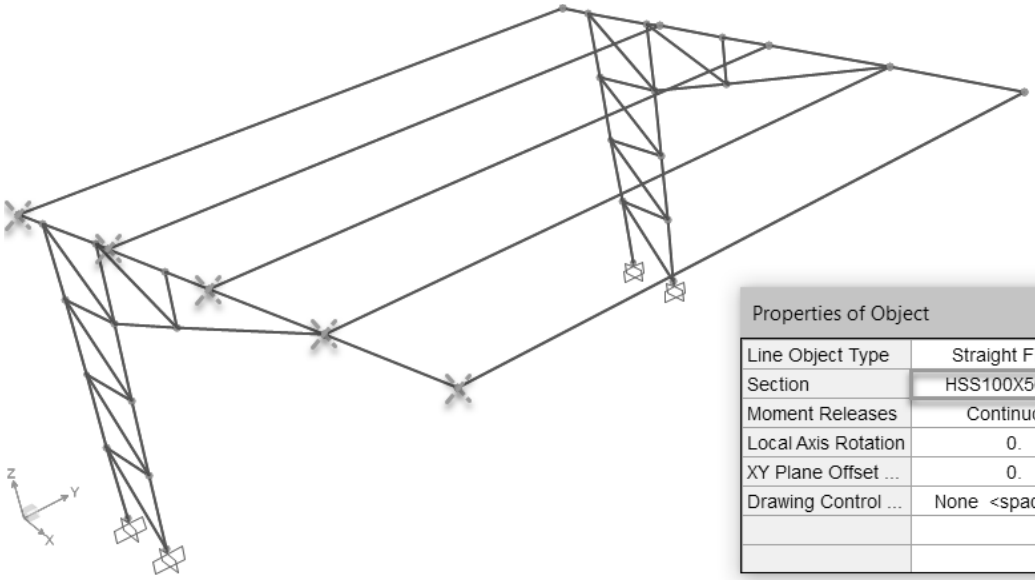
Replicate Options

Modify/Show Replicate Options...

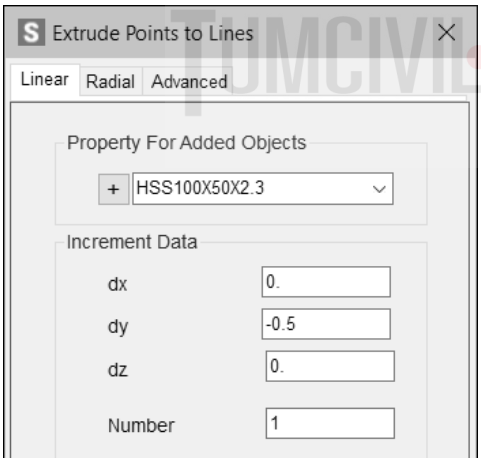
11 of 11 active boxes are selected

Delete Original Objects

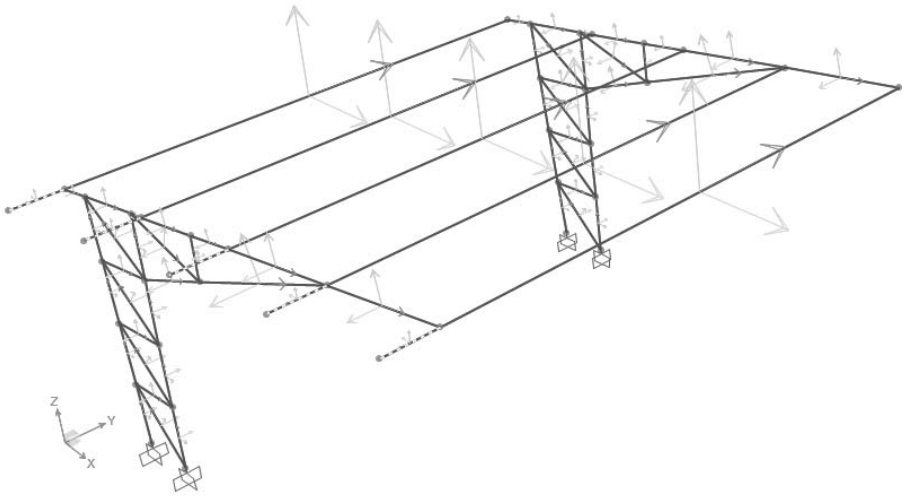
- สั่งเมนู View > Show Grid หรือกด Ctrl+D เพื่อปิดการแสดงกริด
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด HSS100X50X2.3 วาดแปเชื่อมระหว่างโครงดังในรูป



- คลิกเลือกจุดต่อที่ปลายแปดังในรูป สั่งเมนู Edit > Extrude > Extrude Points to Frames เลือกหน้าตัด HSS100X50X2.3 ระยะ dy = -0.5 จำนวน = 1

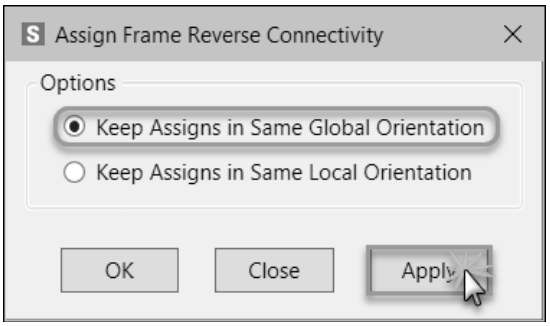


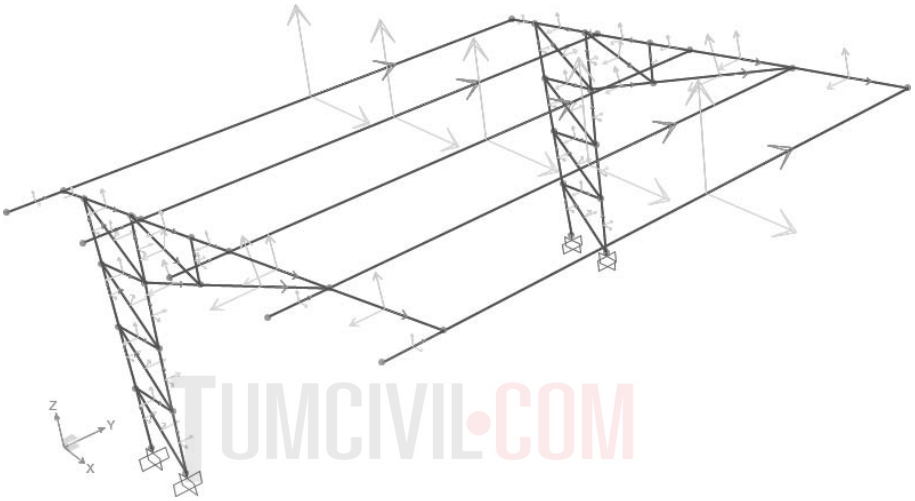
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดง Frame > Local Axes



จะเห็นว่าแกน 1 (สีแดง) ของแปส่วนยื่นไปคนละทิศกับแปช่วงภายใน ดังนั้นจึงต้องกลับทิศให้ตรงกันก่อน

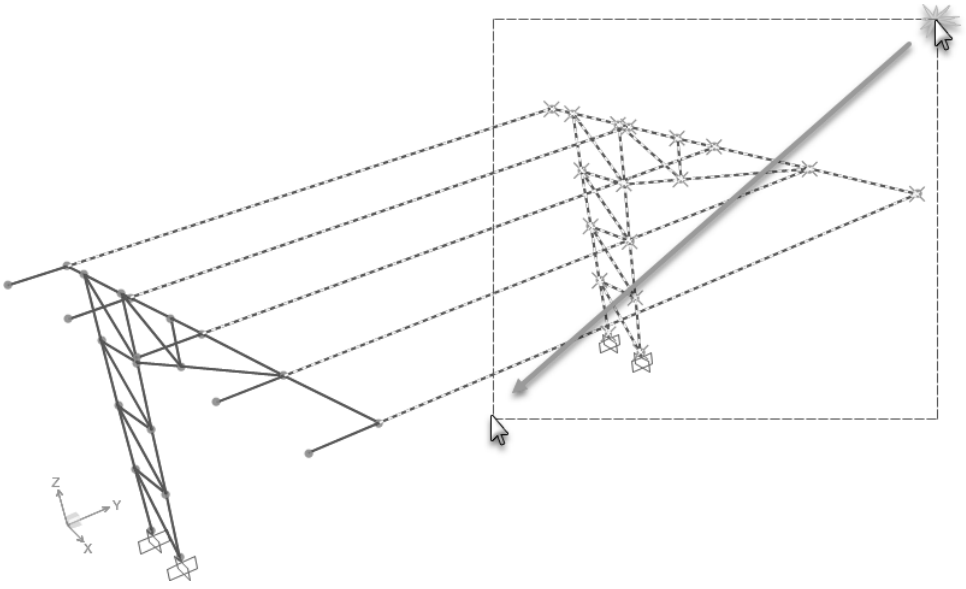
- เลือกแปส่วนยื่น สั่งเมนู Assign > Frame > Reverse Connectivity



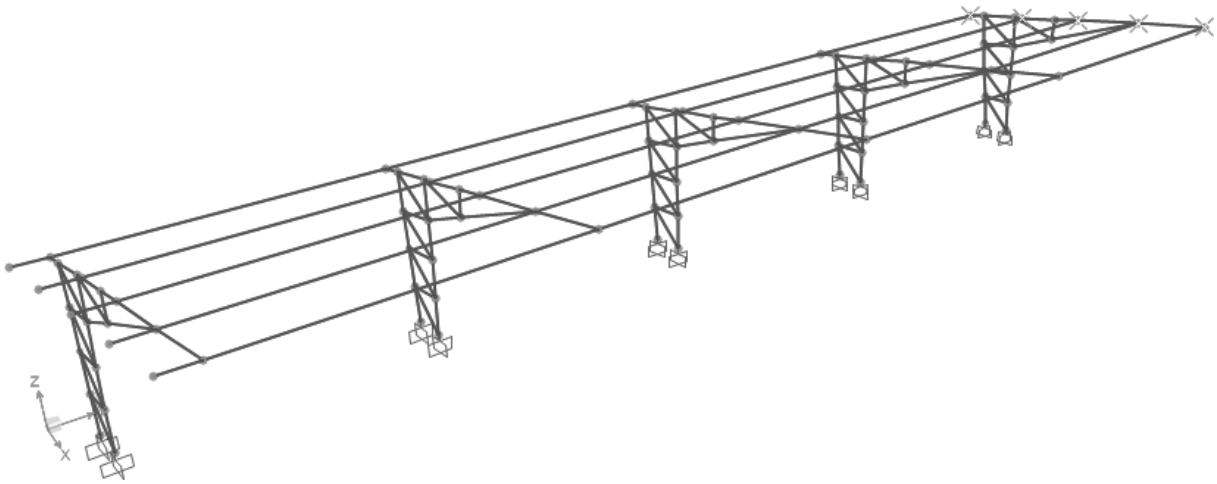


- คลิกปุ่ม เลือกปิดการแสดง Frame > Local Axes และสั่งเมนู Assign > Clear Display of Assign

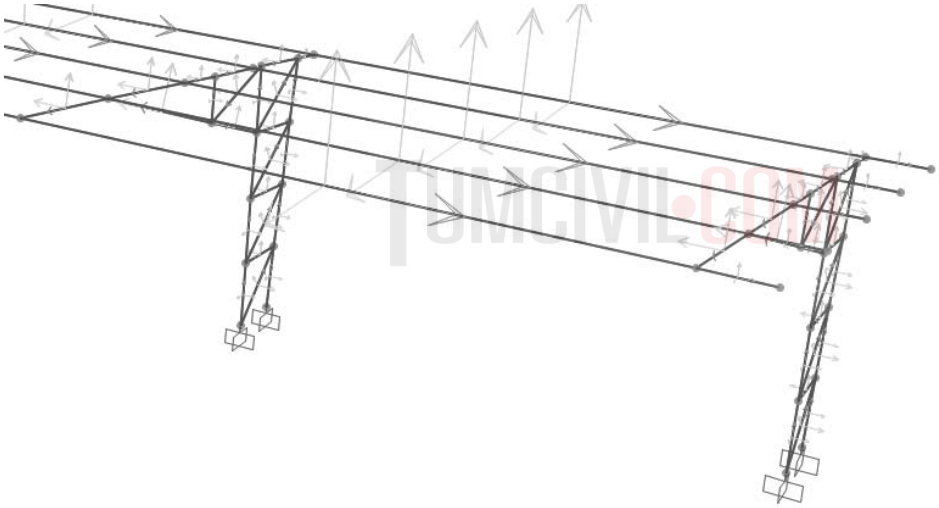
- ในมุมมองสามมิติตีกรอบจากขวาไปซ้ายเลือกโครงข้างขวาและแปช่วงในดัวในรูป



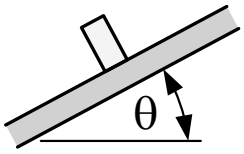
- สั่งเมนู Edit > Replicate หรือกด Ctrl+R ทำซ้ำด้วยระยะ dy = 5 m จำนวน 3 โครง



- คลิกเลือกจุดต่อที่ปลายแปดังในรูป สั่งเมนู Edit > Extrude > Extrude Points to Frames เลือกหน้าตัด HSS100X50X2.3 ระยะ dy = 0.5 จำนวน = 1
- คลิกปุ่ม เลือกปิดการแสดง Frame > Local Axes ตรวจสอบแกนเฉพาะที่ของแปส่วนยื่นว่าตรงกับแปช่วงในหรือไม่

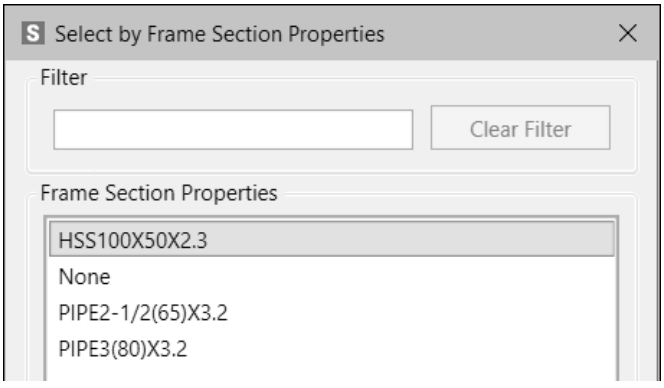


หน้าตัดแปจะเอียงไปตามความลาดเอียงของหลังคาคือ

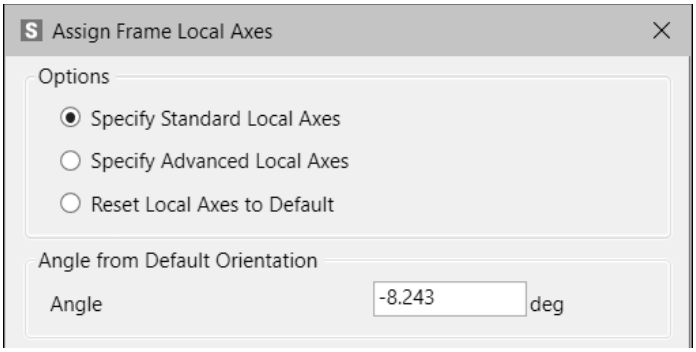


$$\theta = \tan^{-1}(3333-2500)/5750 = 8.243^{o}$$

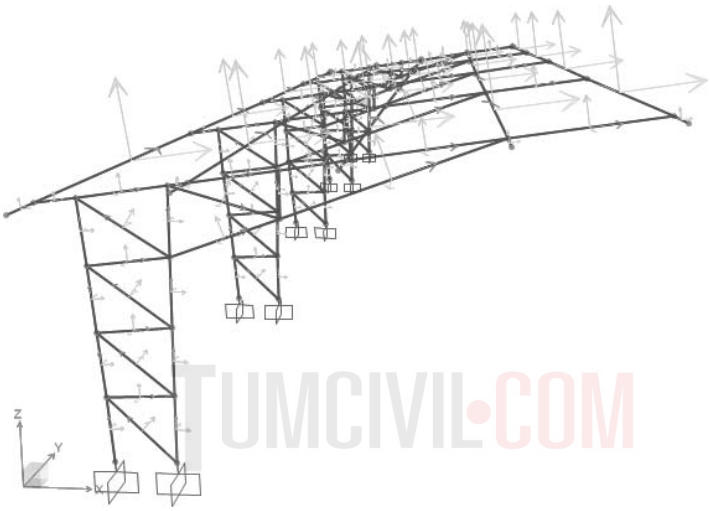
- สั่งเมนู Select > Select > Properties > Frame Sections เลือกหน้าตัด HSS100X50X2.3 คลิกปุ่ม Select แล้วกด Close



- สั่งเมนู Assign > Frame > Local Axes ใส่ค่ามุม -8.243



- หมุนโมเดลสามมิติเพื่อตรวจสอบแกนเฉพาะที่ 2 (สีเขียว) ของแปว่าเอียงตั้งฉากกับหลังคาหรือไม่

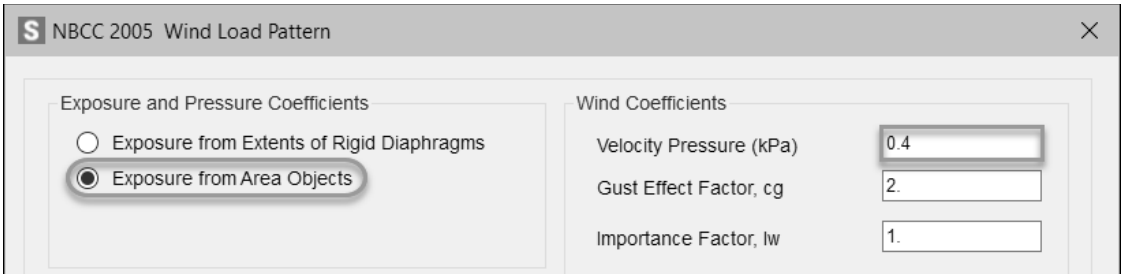


- คลิกปุ่ม เลือกปิดการแสดง Frame > Local Axes
- คลิกปุ่ม เพื่อบันทึกข้อมูล

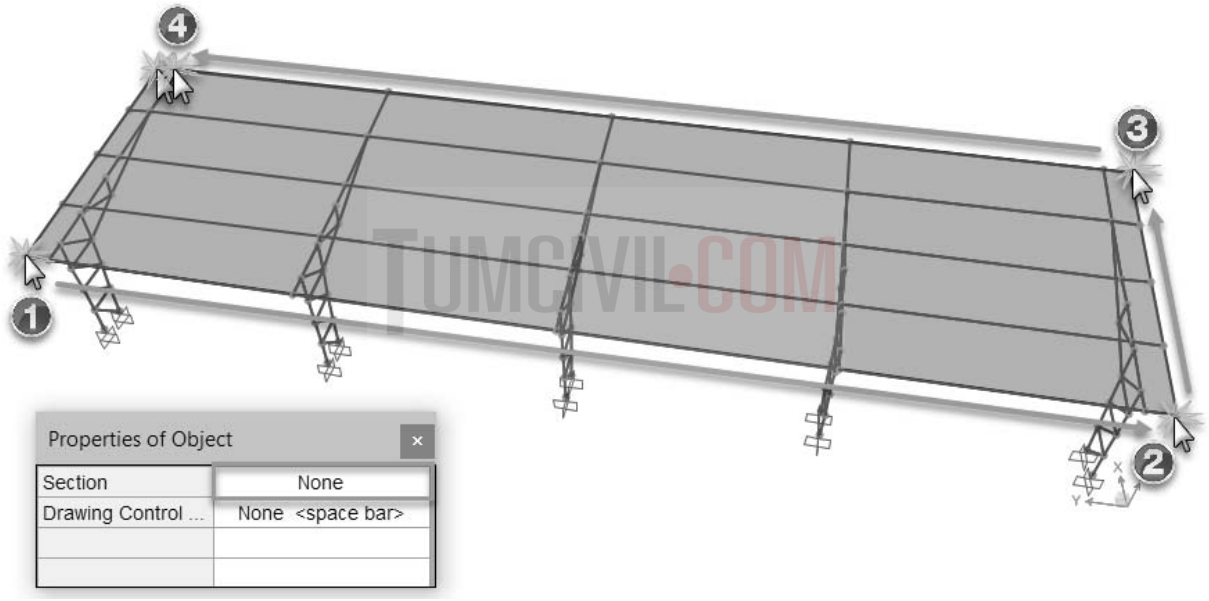
การใส่น้ำหนักบรรทุก

- สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างรูปแบบบรรทุก LIVE และ WIND ตามมาตรฐาน NBCC2005

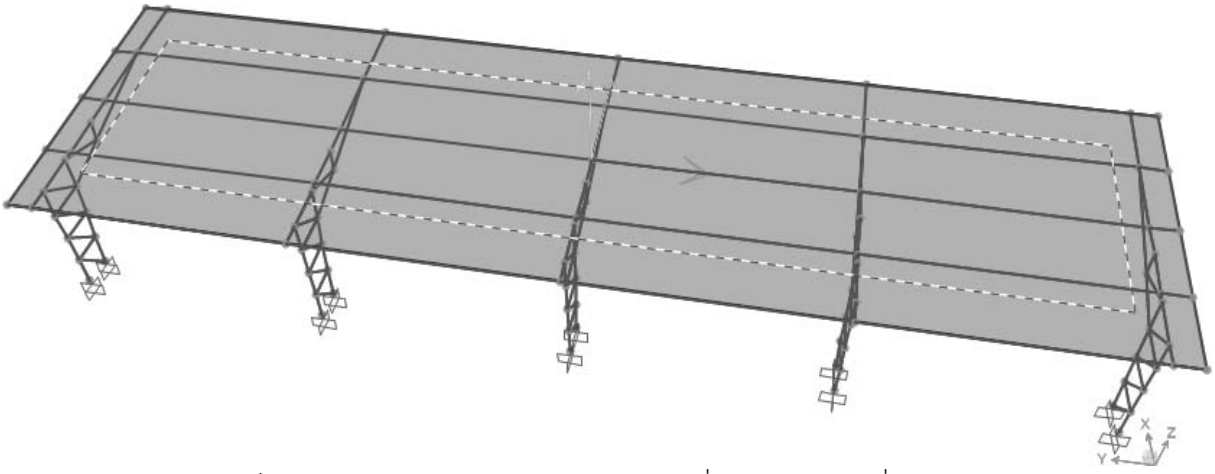
- เลือกรายการ WIND คลิกปุ่ม Modify Lateral Load Pattern...



- เลือกแบบ Exposure from Area Objects ใส่ค่า Velocity Pressure = 0.4 kPa
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงพื้นผิวโดยคลิกไม่เลือก Area > Not in View และเลือก General > Fill Object
- คลิกปุ่ม เลือกหน้าตัด None คลิกวาดพื้นผิวหลังคาไปตามมุมปลายแปโดยวนทวนเข็มนาฬิกาและดับเบิ้ลคลิกจุดสุดท้าย

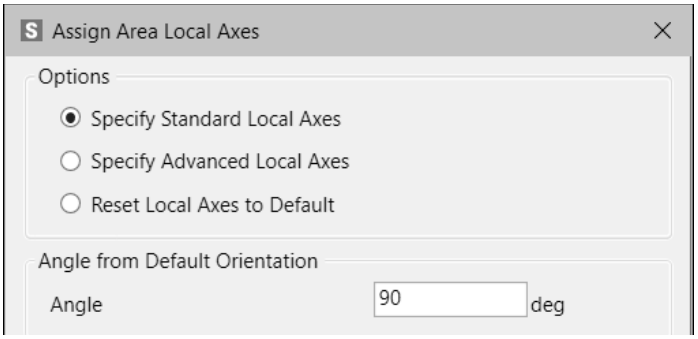


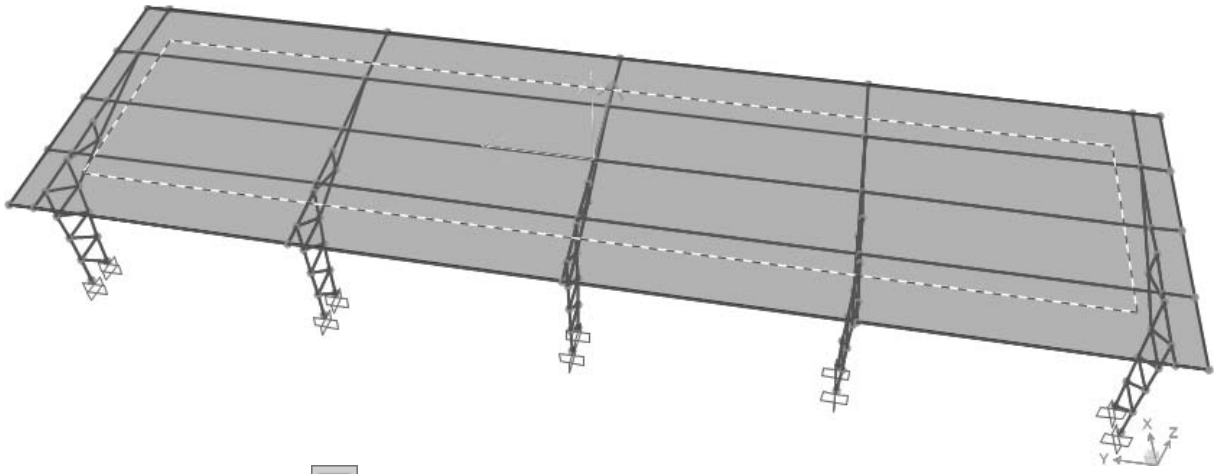
- คลิกเลือกพื้นผิว คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงแกนพื้นผิว Area > Local Axes



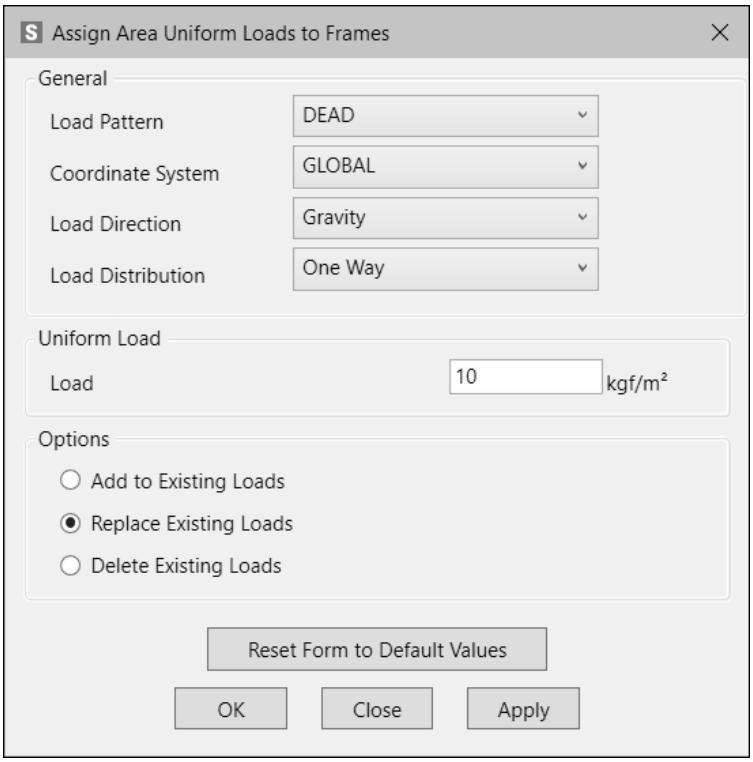
จะเห็นว่าแกน 1 (สีแดง) ขนานกับทิศทางแปซึ่งยังไม่เป็นตามที่ต้องการ

- คลิกเลือกพื้นผิว สั่งเมนู Assign > Area > Local Axes ใส่ค่ามุม 90 องศา



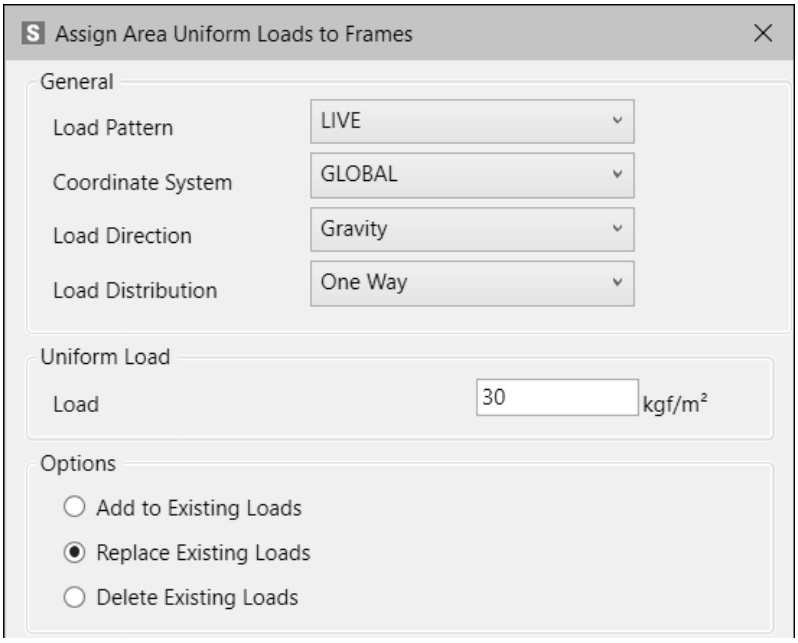


- คลิกปุ่ม ปิดการแสดงแกนพื้นผิว Area > Local Axes
- สั่งเมนู Assign > Clear Display of Assign
- คลิกเลือกพื้นผิว สั่งเมนู Assign > Area Load > Uniform to Frame เลือกรูปแบบ DEAD ใส่น้ำหนักบรรทุกและทิศทางดังในรูป แล้วกดปุ่ม Apply



TUMCIVIL.COM

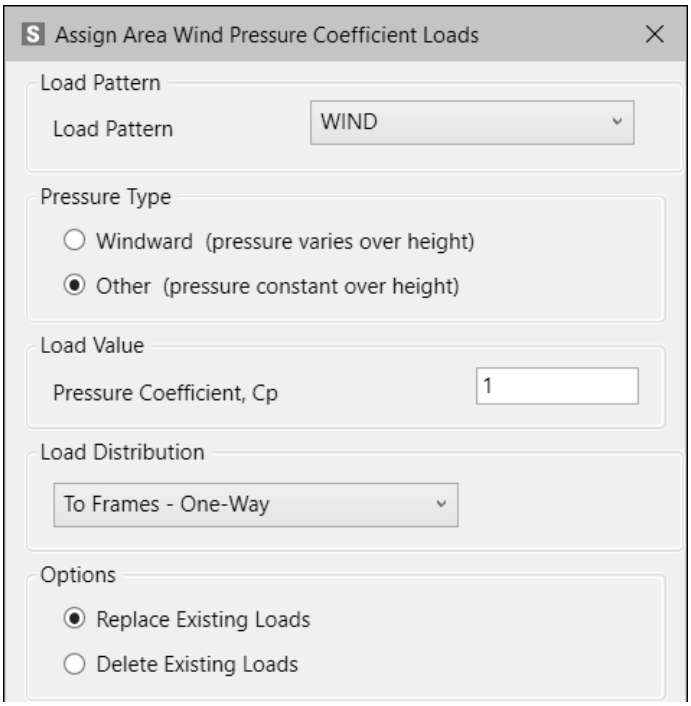
- คลิกเลือกพื้นผิว เปลี่ยนเป็นรูปแบบบรรทุก LIVE ใส่น้ำหนักบรรทุกและทิศทางดังในรูป แล้วกดปุ่ม OK



สำหรับแรงลมนั้น ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 ในรูปที่ ข.7 ในภาคผนวก ข สำหรับหลังคาความลาดชันด้านเดียวมุมไม่เกิน 10° ค่า $C_g C_p$ ของพื้นผิว r ส่วนใหญ่คือ -2.0 โดยที่ค่า C_g คือ 2.0 ดังนั้น C_p = -1.0 เป็นหน่วยแรงดูด

TUMCIVIL•COM

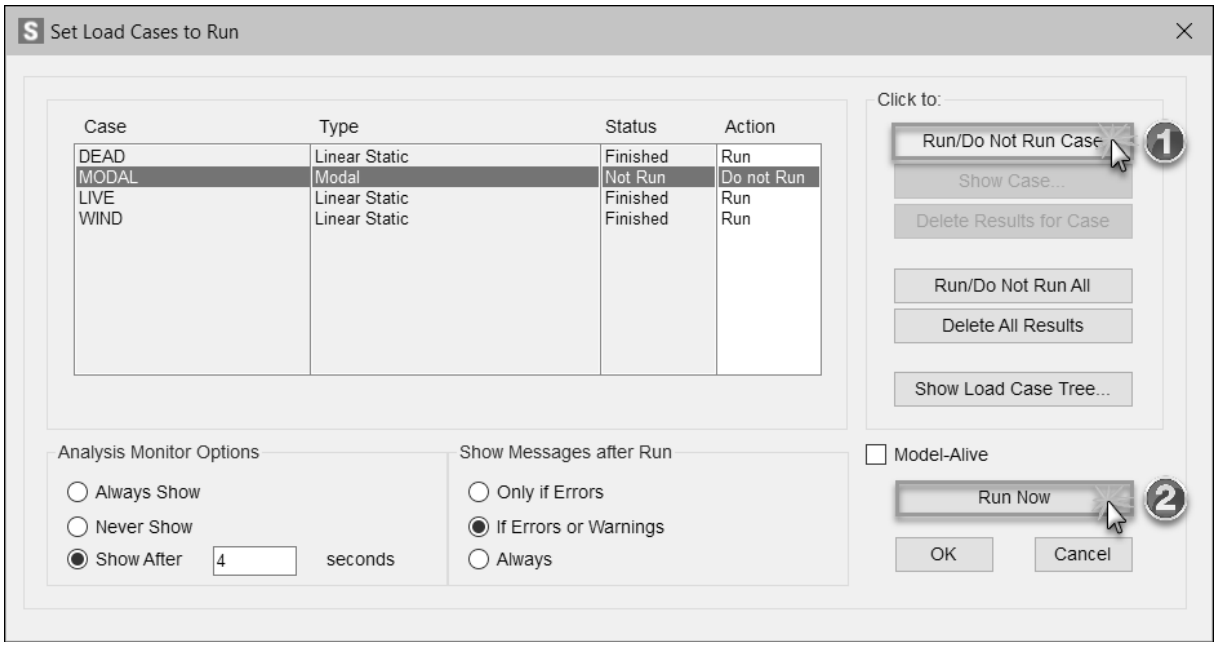
- คลิกเลือกพื้นผิว สั่งเมนู Assign > Area Load > Wind Pressure Coefficients เลือกรูปแบบ WIND ใส่น้ำหนักบรรทุกและทิศทางดังในรูป แล้วกดปุ่ม OK



- คลิกปุ่ม เพื่อบันทึกข้อมูล

การวิเคราะห์โครงสร้าง

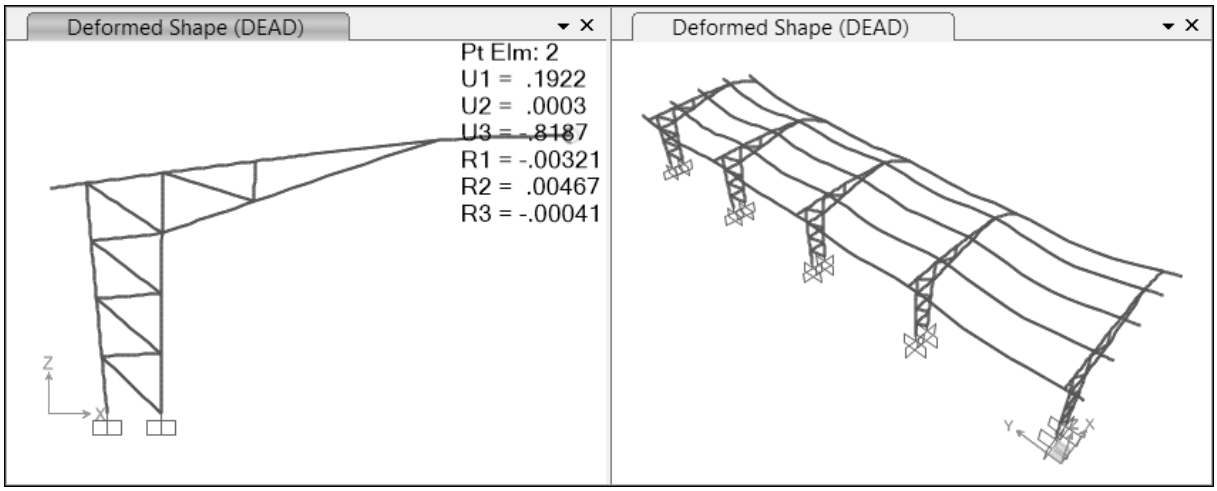
- สั่งเมนู Analyze > Set Load Case to Run



- เลือกกรณี MODAL คลิกปุ่ม Do Not Run แล้วคลิกปุ่ม Run Now เพื่อเริ่มรันการวิเคราะห์โครงสร้าง

TUMCIVIL•COM

- คลิกปุ่ม ปิดการแสดงจุดต่อ Joint > Invisible และปิดการแสดงพื้นผิว Area > Not in View และไม่เลือก Fill Object
- เปลี่ยนหน่วยเป็น Kgf-cm คลิกปุ่ม ให้แสดงการเสียรูปทรงภายใต้กรณีบรรทุก DEAD, LIVE และ WIND

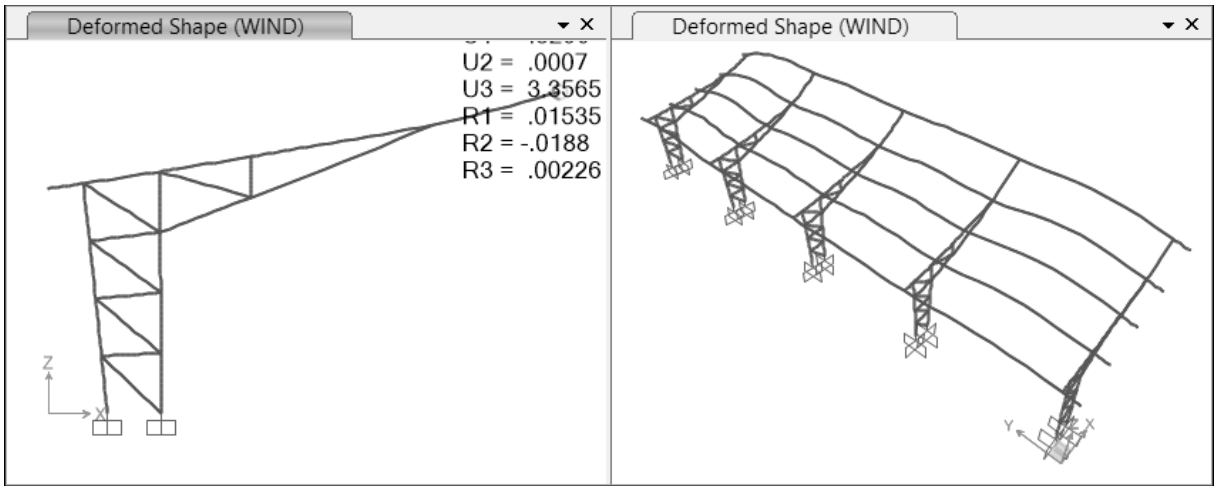


- ตรวจสอบการแอ่นตัวที่ปลายจันทัน ภายใต้น้ำหนักบรรทุกกรณี

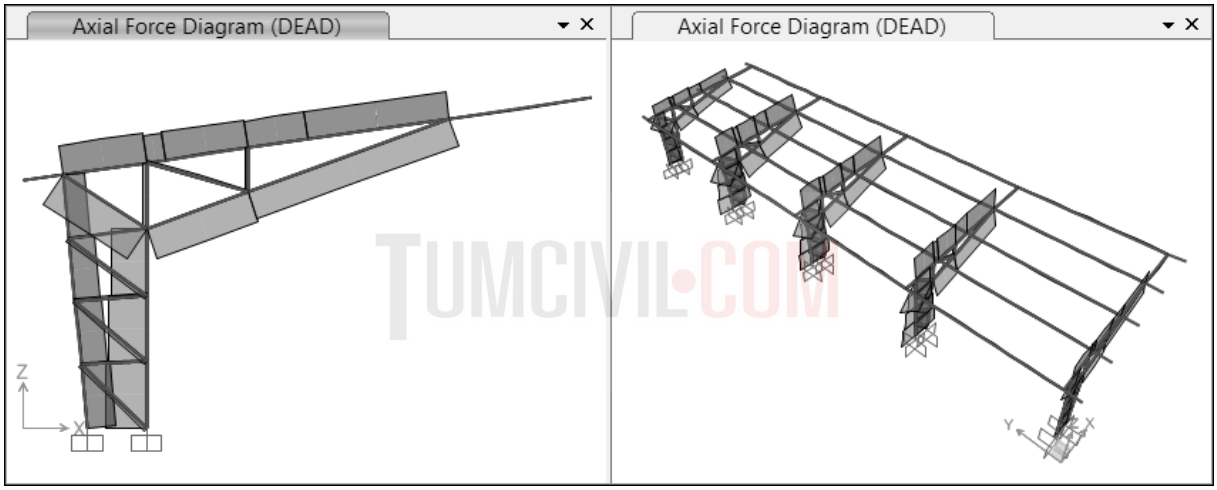
DEAD มีการแอ่นตัวลงมา 0.82 cm

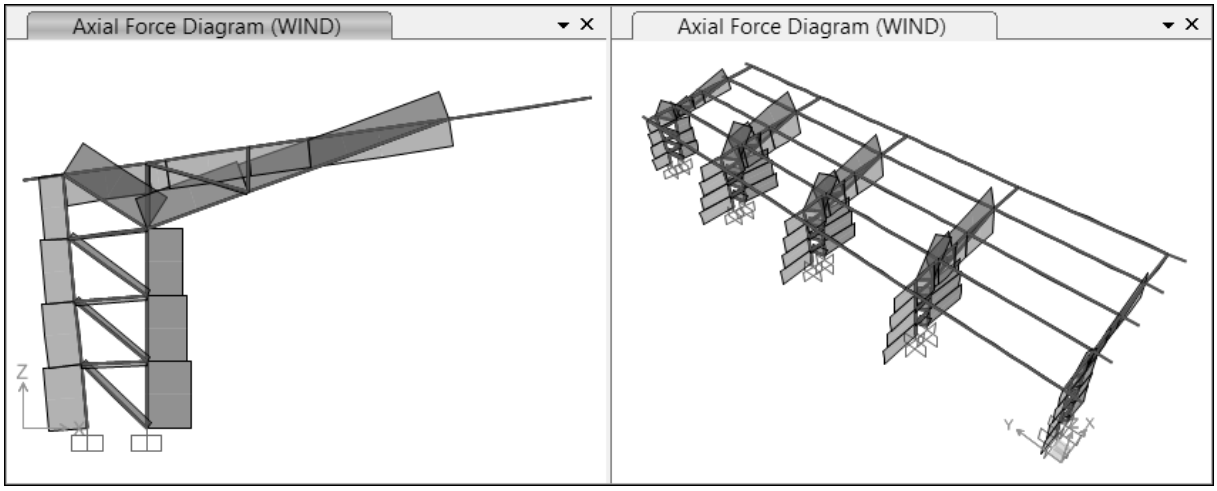
LIVE มีการแอ่นตัวลงมา 1.31 cm

WIND ปลายแอ่นตัวขึ้นไป 3.36 cm



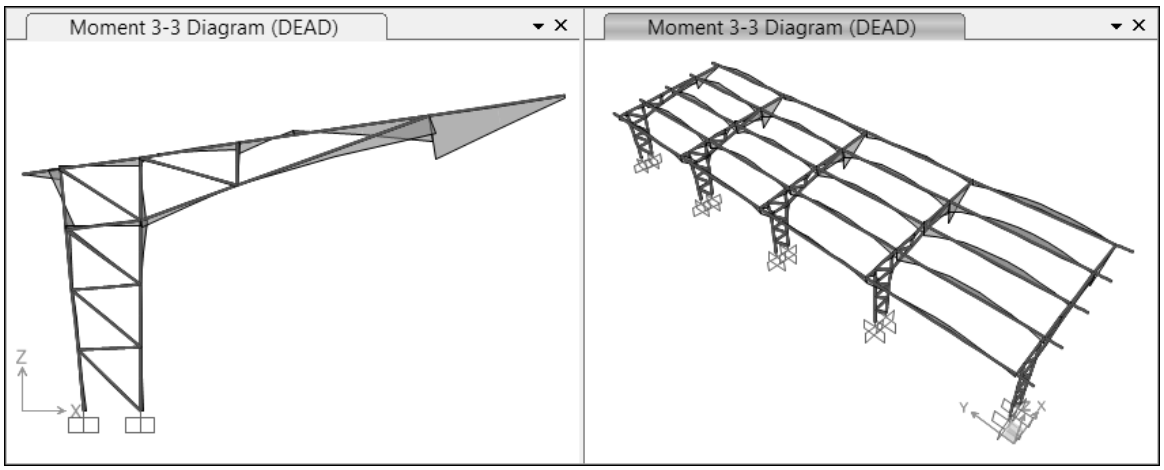
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงแรงตามแนวแกน Axial Force ภายใต้กรณีบรรทุกต่างๆ

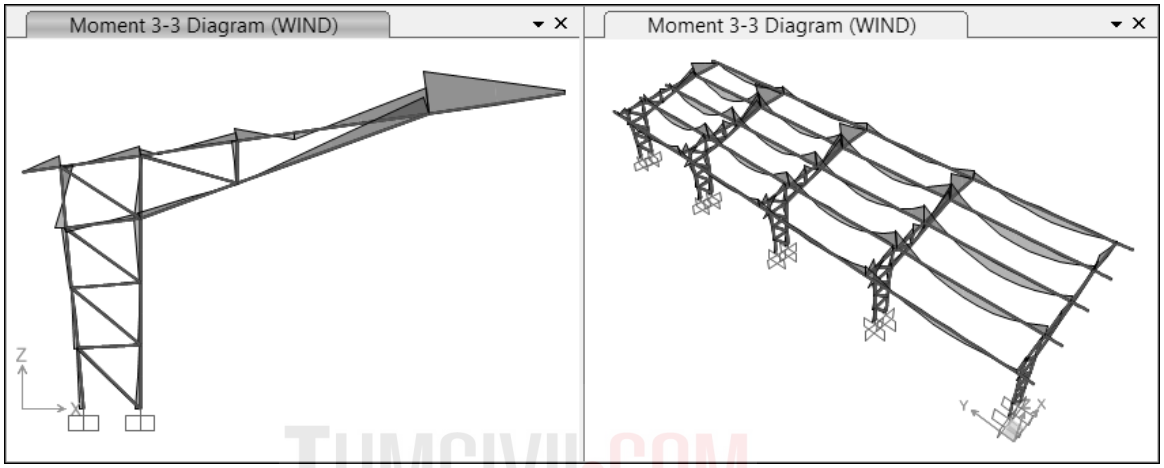




- เลือกเมนู Options > Moment Diagrams on Tension Sides ให้แสดงโมเมนต์ในรูปแบบที่ต้องการ
- คลิกปุ่ม เลือกให้แสดงแรงตามแนวแกน Moment 3-3 ภายใต้กรณีบรรทุกต่างๆ

TUMCIVIL.COM





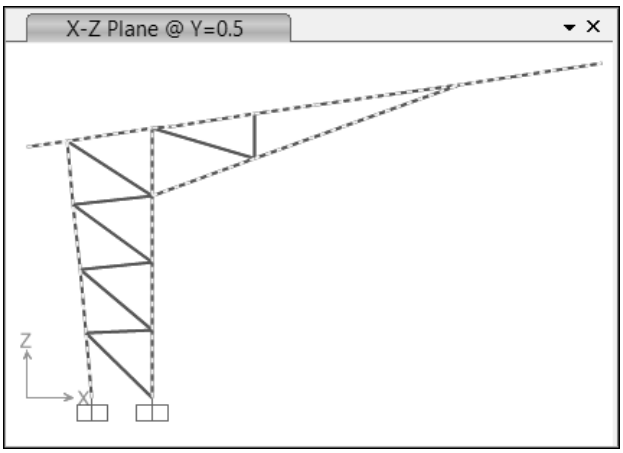
TUMCIVIL.COM

จะเห็นว่าการเสียรูปทรงและแรงภายในจากกรณีบรรทุก DEAD และ LIVE จะตรงกันข้ามกันแรงลม WIND ซึ่งช่วยทำให้แรงร่วมกระทำในการออกแบบลดลงซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

การออกแบบโครงสร้าง

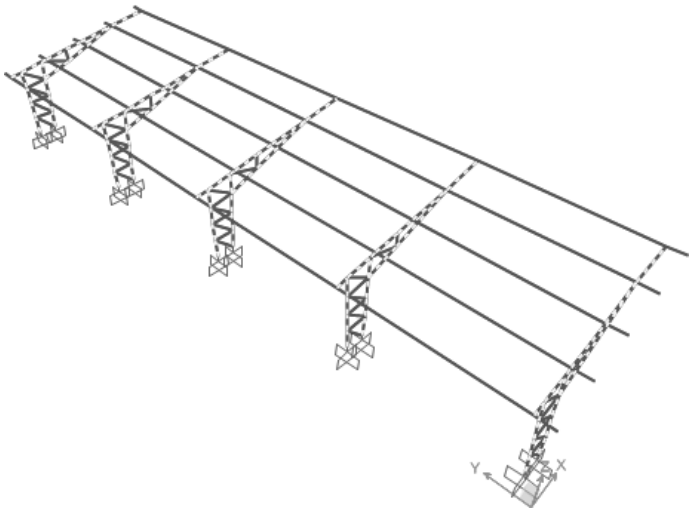
แบ่งองค์อาคารเป็นสามกลุ่มคือท่อนหลัก (Main) ที่รับแรงมากได้แก่จันทัน, ขื่อ และเสา, กลุ่มท่อนรอง (Web) ที่รับแรงน้อยคือท่อนถักระหว่างท่อนหลัก และกลุ่มแป (Purlin)

- คลิกปุ่ม ให้แสดงรูปทรงเดิมของโครงสร้าง



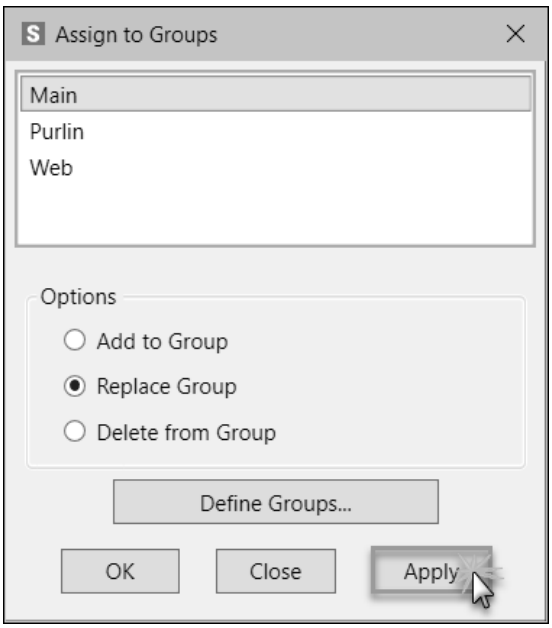
- เลือกหน้าต่างสองมิติมุมมอง X-Z Plane @ Y=0.5 คลิกเลือกกลุ่มท่อนหลัก

- คลิกปุ่ม ไปยังระนาบ X-Z อื่น เพื่อคลิกเลือกจนครบทุกระนาบ
- สั่งเมนู Select > Select > Properties > Frame Sections เลือกหน้าตัดท่อกลม PIPE 3(80)X3.2

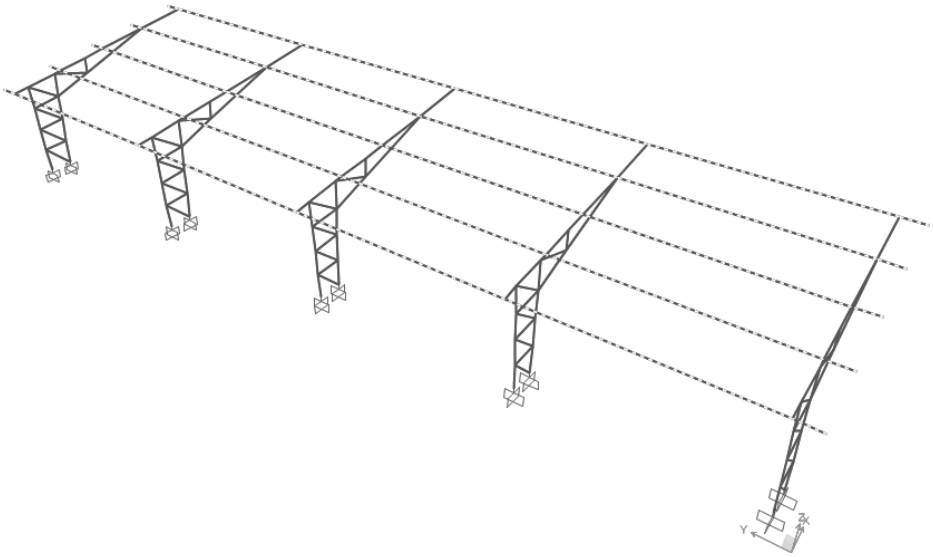


- สั่งเมนู Define > Group คลิกปุ่ม Add New Group สร้าง 3 รายการคือ Main, Web และ Purlin

- สั่งเมนู Assign > Assign to Group หรือกด Ctrl+Shift+G เลือกกลุ่ม Main

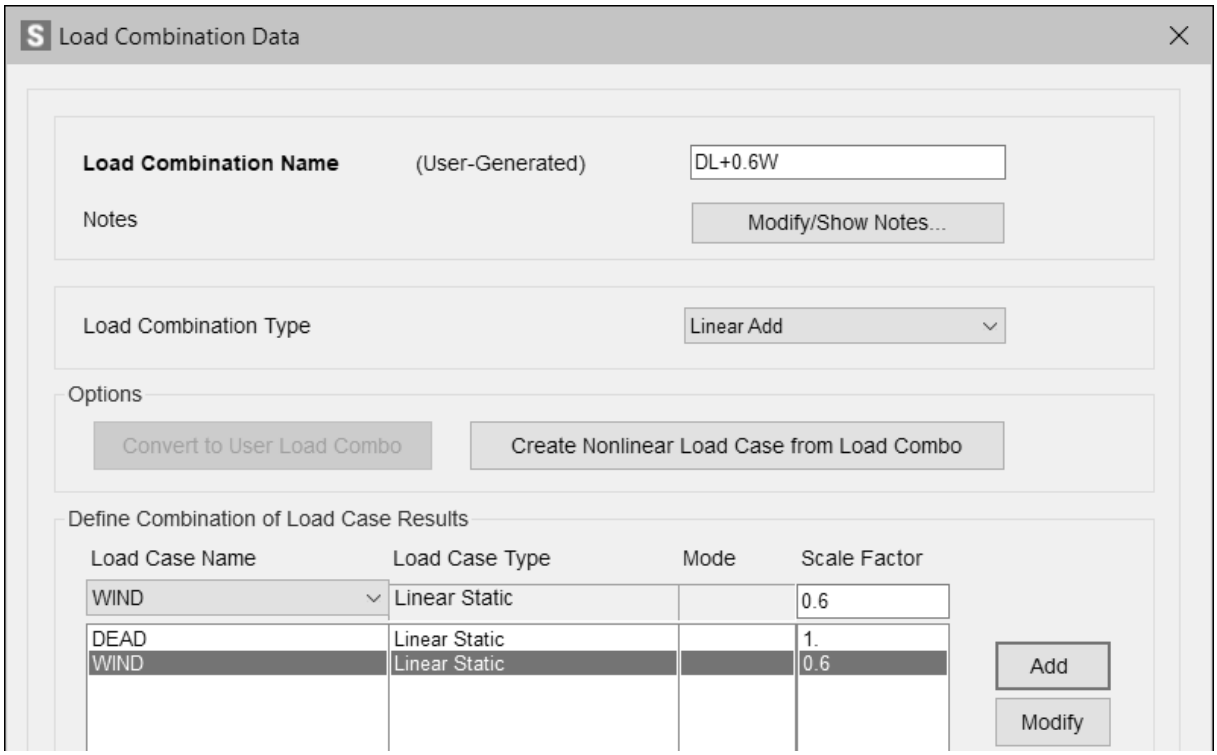


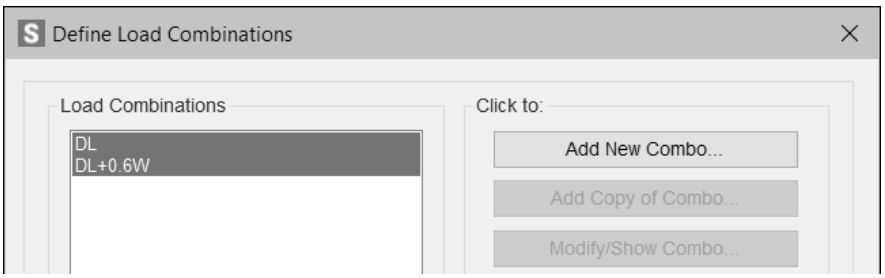
- สั่งเมนู Select > Select > Properties > Frame Sections เลือกหน้าตัดท่อกลม PIPE 2-1/2(65)X3.2
- สั่งเมนู Assign > Assign to Group หรือกด Ctrl+Shift+G เลือกกลุ่ม Web
- สั่งเมนู Select > Select > Properties > Frame Sections เลือกหน้าตัดกล่องสี่เหลี่ยม HSS100X50X2.3



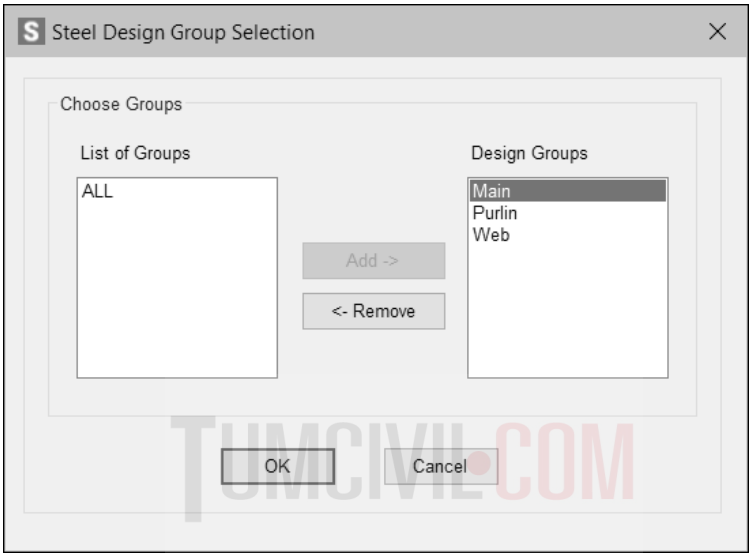
- สั่งเมนู Assign > Assign to Group หรือกด Ctrl+Shift+G เลือกกลุ่ม Purlin
- สั่งเมนู Define > Load Combinations คลิกปุ่ม Add New Combo สร้างกรณีบรรทุกร่วมสองกรณีคือ (อ้างอิงจากมาตรฐาน ASCE 7-16 สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้)

  LC1 : DL **LC2 : DL + 0.6W**

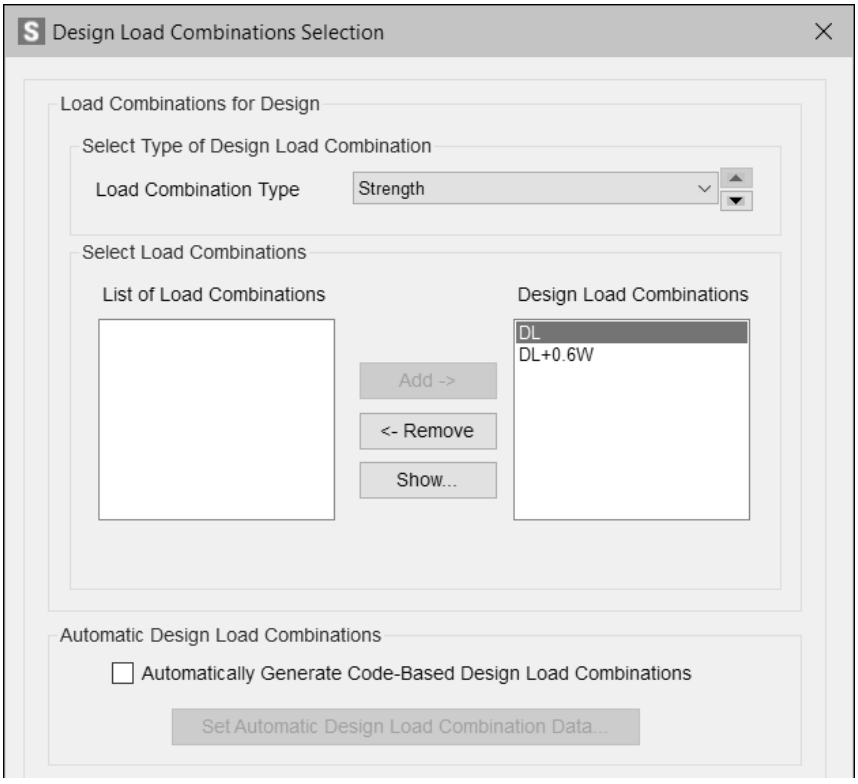




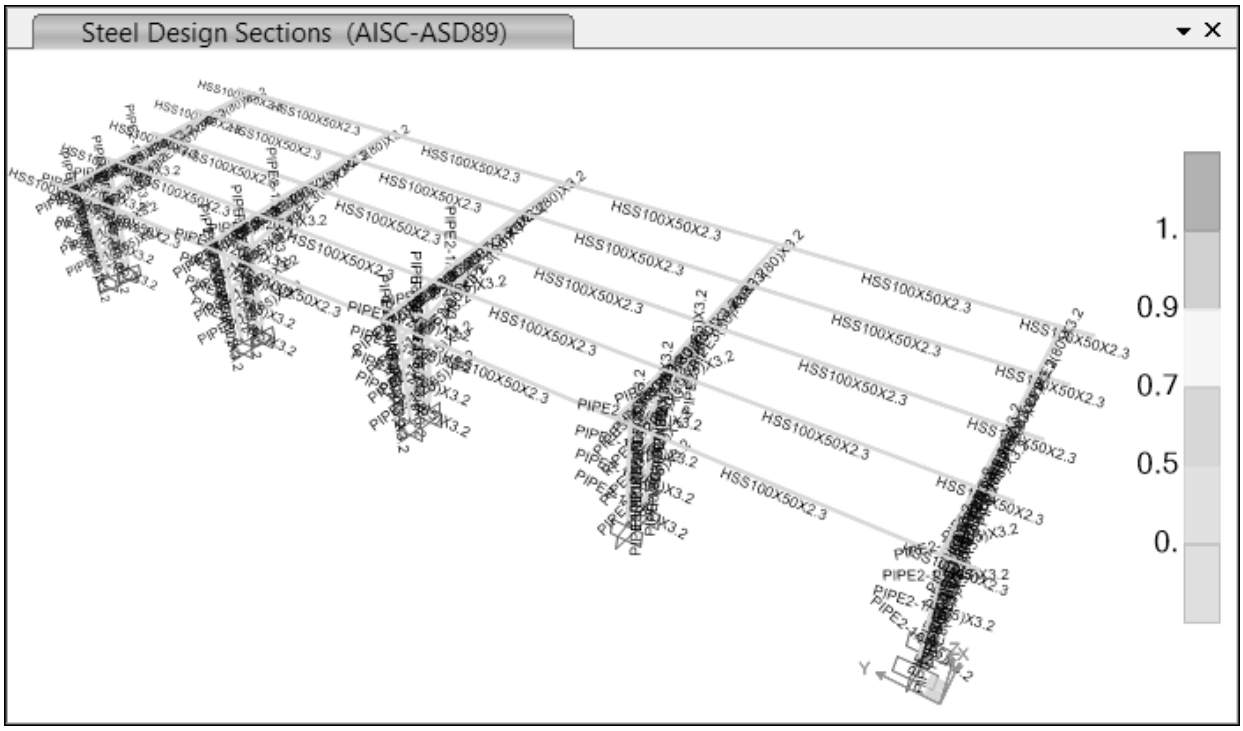
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > View/Revise Preferences เลือกมาตรฐาน AISC-ASD89
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Select Design Groups เลือกกลุ่มออกแบบ



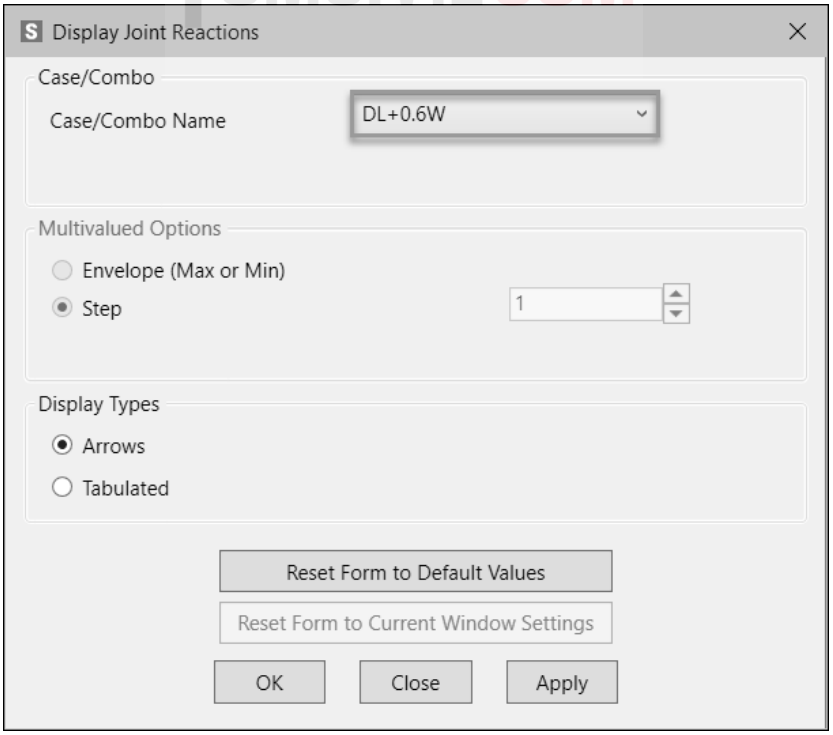
- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Select Design Combo เลือกกรณีบรรทุกร่วม

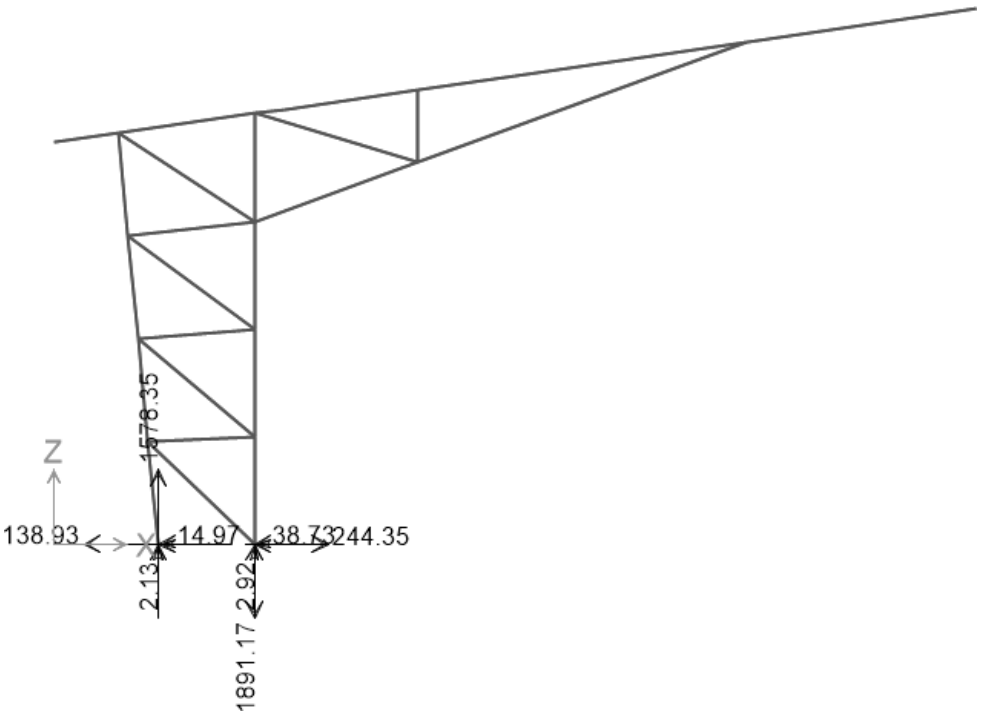


- สั่งเมนู Design > Steel Frame Design > Start Design/Check of Structure หรือกด Shift+F5 เพื่อรันการออกแบบ

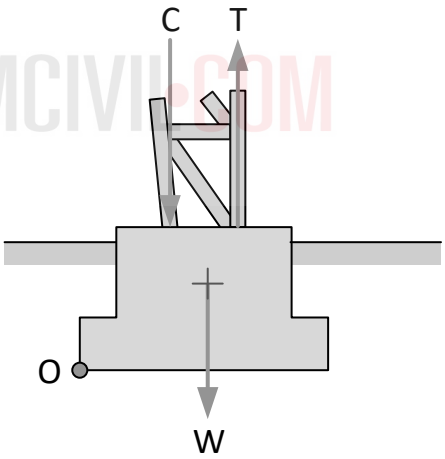


- ซูมขยายบริเวณจุดรองรับ สั่งเมนู เลือก Joints เลือกกรณี DL+0.6W





แรงดึงและแรงอัดในเสาทั้ง 2 ต้น แสดงให้เห็นถึงโมเมนต์พลิกคว่ำซึ่งเราจะต้องนำไปออกแบบจุดรองรับฐานเสา ตอม่อ และฐานรากเพื่อต้านทานการพลิกคว่ำ



ในกรณีที่โมเมนต์พลิกคว่ำไม่มากดังเช่นในกรณีนี้ การต้านทานอาจทำได้โดยใช้น้ำหนักฐานรากมาต้านทานโดยพิจารณาโมเมนต์รองจุดหมุน O ที่ขอบฐานราก

สำหรับลูกค้า DRMK Software สามารถเข้าเรียนคอร์สนี้ได้ฟรี แบบ Online ในระบบเรียน [คลิกเรียนที่นี่](#) (เพียงซื้อแค่ตัวใดตัวหนึ่ง)

หรือ ในกลุ่มเรียน [คลิกเรียนที่นี่](#)

ประชาสัมพันธ์สำหรับผู้ต้องการเรียน Online คอร์สนี้ ฟรี

สำหรับผู้ที่สนใจและต้องการสนับสนุนพวกเรา สามารถสั่งซื้อ DRMK Software ซึ่งมีหลายตัว ราคาไม่แพง อัปเดตฟรี คลิกสั่งซื้อโปรแกรมได้ที่นี่

DRMK Software for Civil Engineer

โดย ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สามารถสั่งซื้อโปรแกรมได้ที่ www.tumcivil.com

โทร. 089-4990739

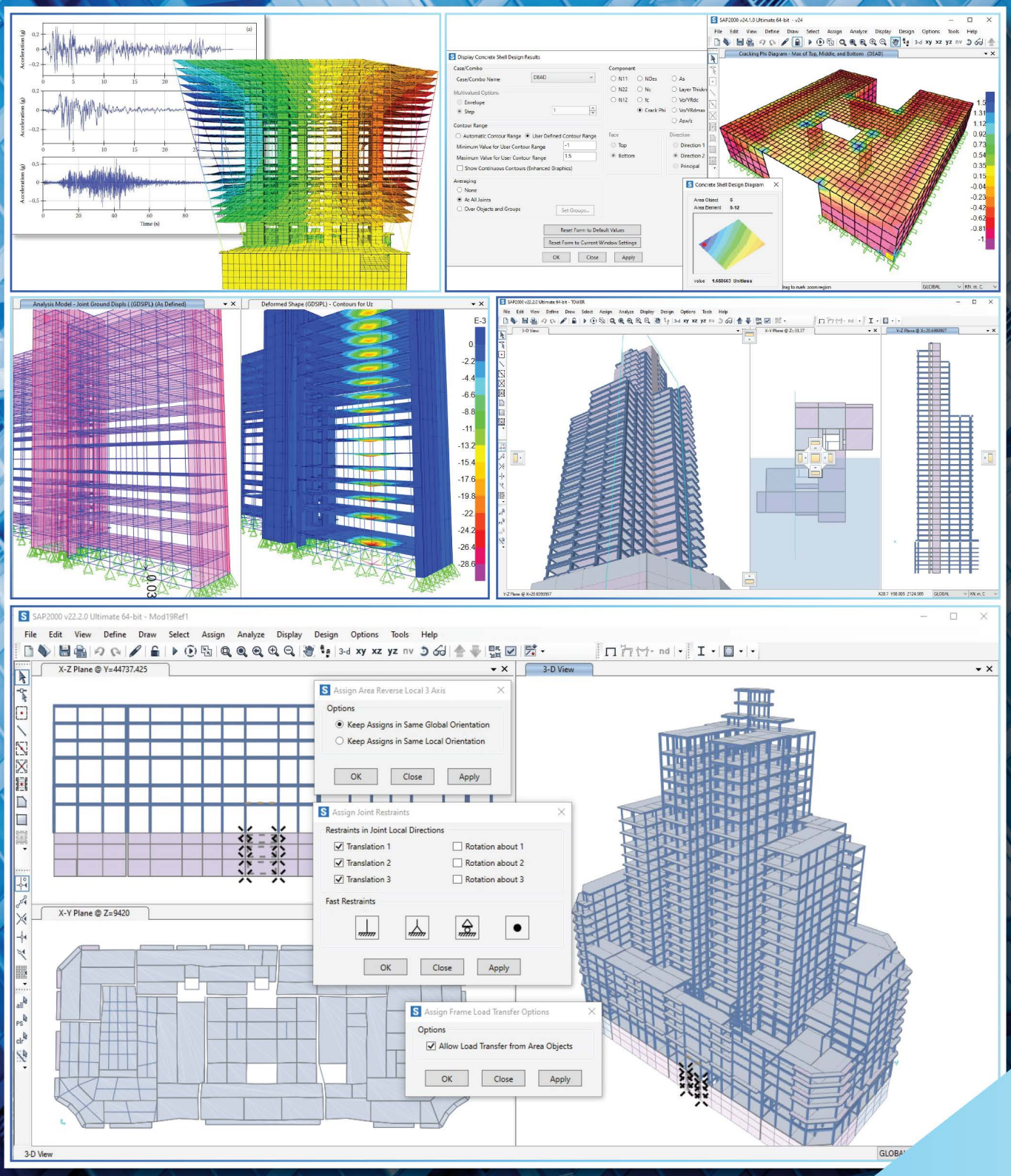
LINE ID = @tumcivil.com

หนังสือเล่มนี้สำหรับ

- [x] ผู้เริ่มต้น
- [x] ระดับกลาง
- [x] ระดับสูง
- [x] เรียนรู้การใช้งาน
- [x] คู่มืออ้างอิง
- [x] IBM Computer
- [ ] Macintosh

Engineering Book

TUMJOB.com



เขียนโดย ดร.มงคล จิรวัชรเดช

จัดจำหน่ายโดย นายอธิพัชร์ ศรเกตุ

สั่งซื้อหนังสือ TumCivil.com

TUMCIVIL.COM Engineering Software Center engfanatic CLUB &member

DRMK HOME

TumCivil.com