

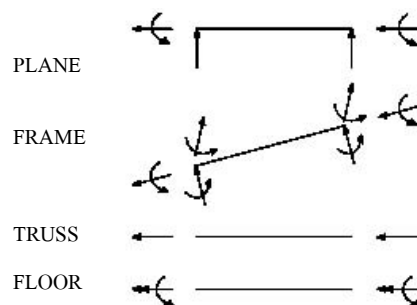
ภาคผนวก ก.

ข้อกำหนดของโปรแกรม

ก.1 ประเภทของโครงสร้าง (Type of Structures)

โครงสร้างเกิดจากการนำเอาแต่ละชิ้นส่วน (Elements) มาประกอบเข้าด้วยกัน โปรแกรม STAAD/Pro มีความสามารถในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนในได้แทบทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น โครงข้อแข็ง (Frames) ชิ้นส่วนแบบแผ่น (Plate/Shell) เป็นต้น เราสามารถจำแนกรูปแบบของโครงสร้างได้ดังต่อไปนี้

1. **แบบปริภูมิ (SPACE)** โครงสร้างส่วนใหญ่สามารถวิเคราะห์ได้ในตัวเลือกนี้ รูปแบบทั่วไปคือ โครงข้อแข็งสามมิติ และมีแรงกระทำในระนาบใดก็ได้
2. **แบบระนาบ (PLANE)** มีข้อจำกัดลดลงจากแบบปริภูมิ อันเนื่องจากแรงที่กระทำต้องอยู่ในระนาบเดียวกันเท่านั้น นิยมใช้ในระบบพิกัด X-Y
3. **แบบโครงข้อหมุน (TRUSS)** สำหรับวิเคราะห์โครงข้อหมุน ซึ่งหมายถึงแรงต้องกระทำตามแนวแกนเท่านั้น องค์อาคารไม่สามารถรับแรงคดได้
4. **แบบแผ่นพื้น (FLOOR)** โครงสร้างแบบสองหรือสามมิติที่ไม่มีแรงใดที่กระทำแล้วทำให้โครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบ



ภาพที่ ก.01 ดักรหัสของโครงสร้างแบบต่างๆ

การเลือกรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสม จะทำให้ลดจำนวนสมการในการคำนวณลง ซึ่งทำให้คำนวณได้รวดเร็วและแม่นยำ ดีกรีความอิสระ (Degree of Freedom) สำหรับโครงสร้างแบบต่างๆ แสดงในภาพที่ ก.01

ก.2 ระบบหน่วย (Unit Systems)

CAUTION!!



ผู้ใช้งานสามารถกำหนดระบบหน่วยที่ต้องการในการป้อนข้อมูลเข้า หรือการแสดงผลลัพธ์ได้ตามต้องการ คลอบคลุมหน่วยที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็น MKS, SI หรือ FPS และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ก็ครั้งก็ได้ตามต้องการ ข้อควรระวังก็คือหน่วยสำหรับป้อนข้อมูลค่ามุมหรือการหมุนเป็นองศา (Degrees) แต่หน่วยที่แสดงผลลัพธ์ การเสียดรูปของจุดต่อ (Joint Displacement) กลับเป็นหน่วยเรเดียน (Radians) ส่วนหน่วยอื่นๆ จะแสดงค่ากำกับไว้ชัดเจนอยู่แล้ว

ก.3 เรขาคณิตของโครงสร้างและระบบพิกัด (Structure Geometry & Coordinate System)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าโครงสร้างเกิดขึ้นจากการประกอบกันของของชิ้นส่วนต่างๆ เช่น กานเสา พื้น เป็นต้น การสร้างแบบจำลองใน STAAD ประกอบด้วยสองขั้นตอนดังนี้

- สร้างจุดต่อ (Joint หรือ Node)
- จำลององค์อาคาร (Members) หรือเอลิเมนต์ (Elements) ขึ้นโดยอาศัยการเชื่อมต่อจุดต่อนั้นเข้าด้วยกัน

โดยทั่วไปแล้วคำว่า องค์อาคาร มักจะหมายถึงชิ้นส่วนโครงข้อแข็ง ส่วนคำว่า เอลิเมนต์มักจะอ้างถึงชิ้นส่วนแบบแผ่น การเชื่อมต่อองค์อาคารจะทำผ่านชุดคำสั่ง MEMBER INCIDENCE ขณะที่เอลิเมนต์จะใช้ ELEMENT INCIDENCE

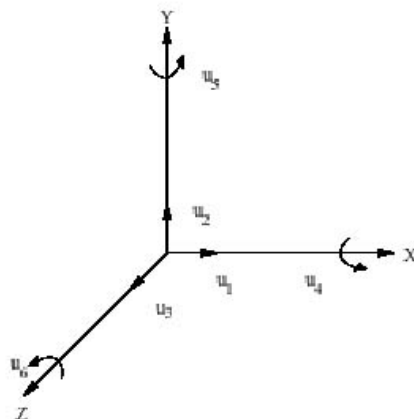
STAAD ใช้ระบบพิกัดสองแบบ ในการกำหนดเรขาคณิตของโครงสร้างและกำหนดรูป แบบน้ำหนักบรรทุก คือแบบ *โกลบอล* (Global) ซึ่งเป็นระบบพิกัดที่ครอบคลุมโครงสร้างและแรงทั้งหมดในภาพรวม ส่วนแบบ *โลคอล* (Local) จะเป็นระบบพิกัดสำหรับชิ้นส่วนแยกกันแต่ละชิ้น หรือใช้ในการกำหนดรูปแบบน้ำหนักบรรทุกบนชิ้นส่วน เป็นต้น

ระบบพิกัดโกลบอล (Global Coordinate System)

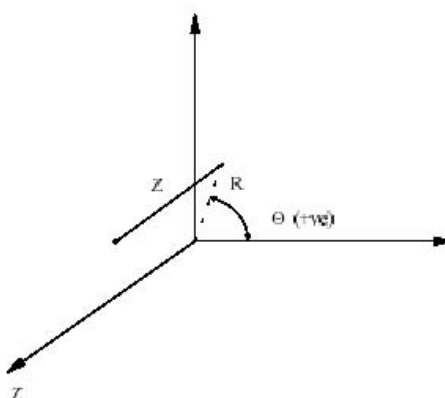
ที่นิยมใช้ก็คือระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Conventional Cartesian Coordinate System) ดังแสดงในภาพที่ ก.02 ซึ่งประกอบด้วยแกน X, Y และ Z ทำมุมตั้งฉากกันตามกฎมือขวานิยมใช้กำหนดตำแหน่งของจุดต่อ และทิศทางของแรง โดยดีกรีความอิสระของการเลื่อน

ก.3 เรขาคณิตของโครงสร้าง

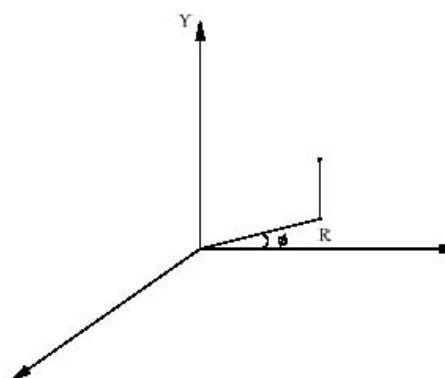
แทนด้วยสัญลักษณ์ u_1, u_2, u_3 ของการหมุนแทนด้วย u_4, u_5, u_6 นอกจากระบบพิกัดคาร์ทีเซียนแล้วยังมีระบบอื่นที่อาจนำมาใช้ได้ เช่น ระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate System) และระบบพิกัดทรงกระบอกกลับ (Reverse Cylindrical Coordinate System) ดังภาพที่ ก.03 และ ก.04



ภาพที่ ก.02 Conventional Catesian Coordinate System



ภาพที่ ก.03 Cylindrical Coordinate System

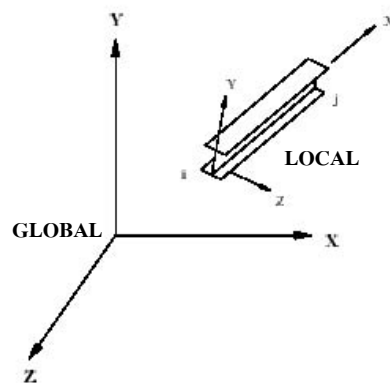


ภาพที่ ก.04 Reverse Cylindrical Coordinate System

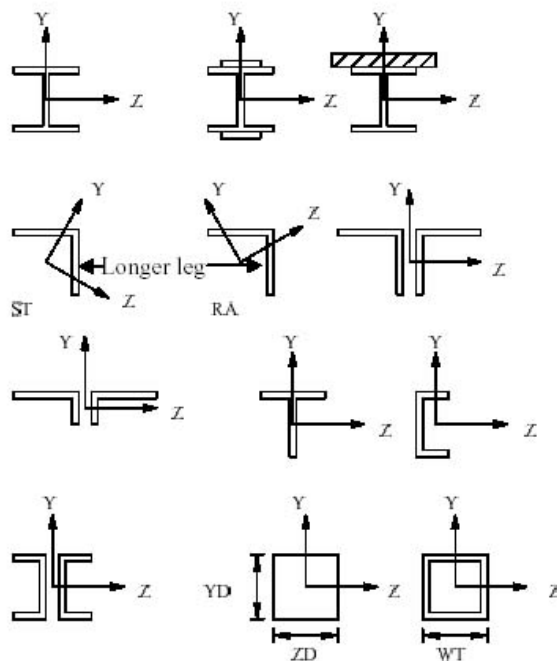
ระบบพิกัดโลคอล (Local Coordinate System)

ระบบพิกัดนี้จะใช้กับชิ้นส่วนย่อยแต่ละชิ้น โดยเป็นแกนตั้งฉาก ตามกฎมือขวาเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ ก.05 คานที่มีจุดเริ่มต้นที่ i และจุดปลายที่ j จะได้ทิศทางบวกของแกน X คือทิศทางตามแนวแกนของชิ้นส่วนจาก i ไป j ส่วนแกน Y และ Z จะพิจารณาจากแกนหลัก (Principal Moments of Inertia) ของหน้าตัด ส่วนทิศทางที่เป็นบวก ให้พิจารณาจากกฎมือขวา ระบบพิกัดโลคอลต้องเป็นพิกัดฉากเท่านั้น

ภาพที่ ก.06 แสดงแกนของระบบพิกัด สำหรับหน้าตัดแบบต่างๆ ที่นิยมเลือกใช้ในการวิเคราะห์



ภาพที่ ก.05 ระบบพิกัดโลคอลของคาน



ภาพที่ ก.06 แกนโลคอลของหน้าตัดแบบต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดโกลบอลและโลคอล

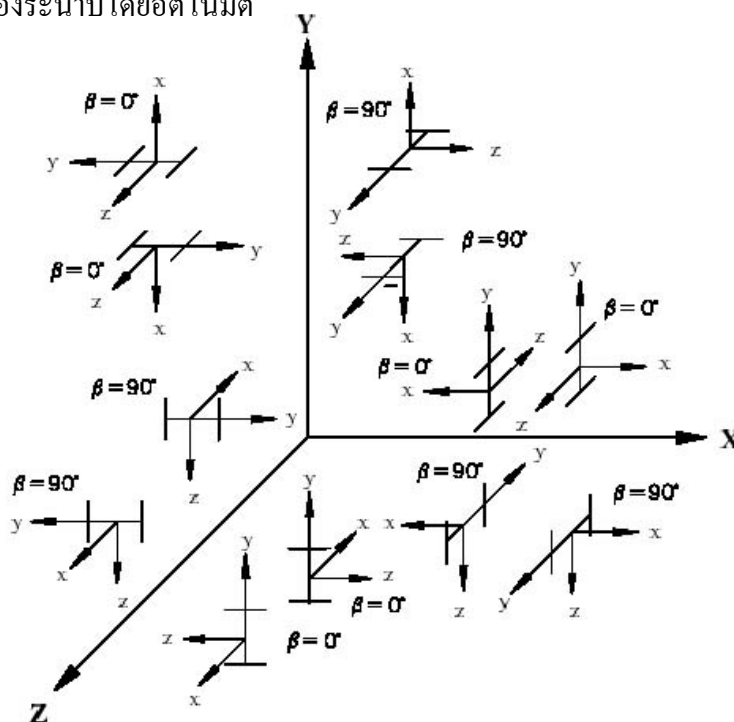
เนื่องจากการป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุกทุกในโครงสร้างโดยทั่วไปมักจะกำหนดในระบบพิกัดโกลบอล แต่ผลลัพธ์จากการคำนวณแรงที่ปลายชิ้นส่วน (Member End Forces) กลับอยู่ในระบบพิกัดโลคอล จึงจำเป็นที่ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดทั้งสอง เพื่อที่จะสามารถแปลความหมายของผลการคำนวณได้ถูกต้อง โดยทั่วไปแล้วจะนิยามความสัมพันธ์ให้เป็นมุมระหว่างแกนพิกัดทั้งสอง หรือ เบต้า

มุมเบต้า (Beta Angle- β)

เมื่อแกนโลคอล X ขนานกับแกนโกลบอล Y อย่างเช่นกรณีของเสาในอาคาร เป็นต้น มุมเบต้าก็คือมุมที่แกนโลคอล Z หมุนจากตำแหน่งเดิม ไปจนขนานกับแกนโกลบอล Z ส่วนในกรณีที่แกนโลคอล X ไม่ได้ขนานกับแกนโกลบอล Y มุมเบต้าจะเป็นมุมที่ทำการหมุนแกนพิกัดโลคอล จนกระทั่งแกนโลคอล Z ขนานกับระนาบโกลบอล X-Z ขณะเดียวกันแกนโลคอล Y ก็ชี้ไปในทิศทางบวกเดียวกันกับแกนโกลบอล Y ภาพที่ ก.07 แสดงตัวอย่างกรณีที่มุมเบต้าเท่ากับ 0 และ 90 องศา

จุดอ้างอิง (Reference Point)

นอกจากวิธีการกำหนดค่ามุมเบต้าแล้ว เรายังสามารถใช้วิธีกำหนดจุดอ้างอิงบนระนาบโลคอล X-Y ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่บนแกนขององค์อาคาร โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณทิศทางของระนาบโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ ก.07 ค่าของมุมเบต้าสำหรับกรณีต่างๆ

ก.4 คุณสมบัติขององค์อาคาร (Member Properties)

ผู้ใช้งานสามารถกำหนดคุณสมบัติขององค์อาคารได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

หน้าตัดรูปเหลี่ยม (PRISMATIC Properties)

คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับหน้าตัดรูปเหลี่ยมเพื่อที่จะนำไปใช้คำนวณ ได้แก่

A_X = พื้นที่หน้าตัด

I_X = ค่าคงที่ของการบิด (Torsional Constant)

I_Y = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน y (Moment of Inertia about y-axis)

I_Z = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน z (Moment of Inertia about z-axis)

นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดคุณสมบัติเพิ่มเติมได้ดังต่อไปนี้

A_Y = พื้นที่รับแรงเฉือนประสิทธิผล (Effective Shear Area) ในแนวแกน y

A_Z = พื้นที่รับแรงเฉือนประสิทธิผล (Effective Shear Area) ในแนวแกน z

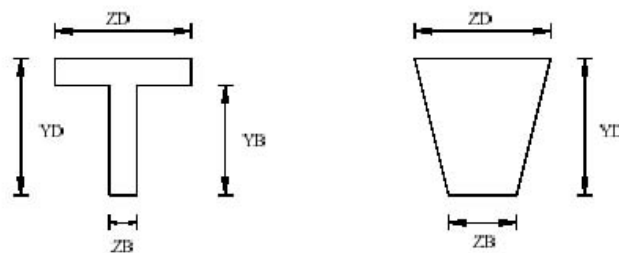
Y_D = ความลึกของหน้าตัด (Depth of Section) ในแนวแกน y

Z_D = ความลึกของหน้าตัด (Depth of Section) ในแนวแกน z

กรณีที่เป็นคานารูปตัวที (T-beam) หรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Section) ผู้ใช้ต้องกำหนดคุณสมบัติเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

Y_B = ความลึกของส่วนเอว (Depth of Web)

Z_B = ความกว้างของส่วนเอว (Width of Web) ดังแสดงในภาพที่ ก.08



ภาพที่ ก.08 คุณสมบัติหน้าตัดสำหรับคานารูปตัวที และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ตารางที่ ก.01 แสดงถึงคุณสมบัติหน้าตัดที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ สำหรับโครงสร้างแบบต่างๆ สำหรับโครงสร้างแบบ PLANE และ FLOOR โมเมนต์ความเฉื่อยที่จำเป็น จะขึ้นอยู่กับค่ามุมเบต้า ถ้าค่ามุมเบต้าเท่ากับศูนย์คุณสมบัติที่ต้องใช้คือ I_Z

ก.4 คุณสมบัติขององค์อาคาร

ตารางที่ ก.01 คุณสมบัติที่ต้องการ

ประเภทโครงสร้าง	คุณสมบัติที่ต้องการ
โครงสร้างแบบ TRUSS	AX
โครงสร้างแบบ PLANE	AX, IY หรือ IZ
โครงสร้างแบบ FLOOR	IX, IY หรือ IZ
โครงสร้างแบบ SPACE	AX, IX, IY, IZ

NOTES



- ถ้าผู้ใช้ป้อนค่าพื้นที่รับแรงเฉือน โปรแกรมจะคำนวณการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนด้วยโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าไม่ โปรแกรมก็จะไม่คำนวณ แต่โดยทั่วไปแล้วในโครงสร้างแบบ โครงข้อแข็งผลการแอ่นตัวเนื่องจากแรงเฉือนจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบผลเนื่องจากโมเมนต์ดัด
- ค่า YD และ ZD จะนำไปใช้คำนวณโมดูลัสของหน้าตัด เพื่อที่จะหาหน่วยแรงในองค์อาคารหรือใช้ออกแบบ คสล. ถ้าไม่ต้องการคำนวณหาค่าดังกล่าวก็ไม่จำเป็นต้องป้อน
- สำหรับองค์อาคารคอนกรีต ผู้ใช้ไม่ควรป้อนค่า AX แต่ควรป้อนค่า YD และ YZ ซึ่งถ้าไม่ได้กำหนดค่าโมเมนต์ความเฉื่อย หรือพื้นที่รับแรงเฉือนไว้ โปรแกรมจะนำค่าดังกล่าวไปคำนวณโดยอัตโนมัติ

ตารางเหล็กมาตรฐาน (Standard Steel Shapes)

STAAD/Pro ได้มีตารางเหล็กตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ เช่น อเมริกา อังกฤษ ญี่ปุ่น เป็นต้น มาให้ในตัวโปรแกรม ผู้ใช้เพียงแต่ระบุชื่อเพื่อเรียกใช้หน้าตัดที่ต้องการ และเนื่องจากในตารางคุณสมบัติมีค่าพื้นที่รับแรงเฉือนมาให้ด้วย ดังนั้นในการคำนวณของโปรแกรมจะนำผลเนื่องจากแรงเฉือนมาคิดด้วยเสมอ

ตารางเหล็กที่สร้างขึ้นเอง (User Created Steel Tables)

ผู้ใช้สามารถสร้างข้อมูลตารางเหล็กขึ้นมาได้ด้วยตัวเอง ซึ่งมีคุณสมบัติตามความต้องการ และเมื่อผู้ใช้อ้างถึงชื่อในตาราง โปรแกรมก็จะเรียกใช้ค่าคุณสมบัติจากตารางโดยอัตโนมัติ

นอกจากนี้ความสามารถในการเลือกหน้าตัด (Member Selection) สามารถใช้ได้กับตารางที่กำหนดขึ้นเองเท่านั้น

ตารางที่สร้างขึ้นดังกล่าว สามารถทำได้ 2 วิธี โดยเพิ่มเข้าไปในแฟ้มข้อมูลนำเข้า (STAAD Input) หรือสร้างเป็นไฟล์แยกต่างหากก็ได้ ซึ่งวิธีหลังเหมาะสำหรับข้อมูลที่ต้องเรียกใช้บ่อย หรือหลายๆ งาน

หน้าตัดแบบสอบ (TAPERED Sections)

ผู้ใช้งานสามารถกำหนดหน้าตัดแบบสอบ (หน้าตัดไม่คงที่มีลักษณะเรียว) ได้ โดยกำหนดหน้าตัดหลักไว้ แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณคุณสมบัติหน้าตัดย่อยในองค์อาคารเอง

กำหนดโดยคำสั่ง (Through ASSIGN Command)

ด้วยคำสั่ง ASSIGN ผู้ใช้งานสามารถกำหนดให้โปรแกรมเลือกหน้าตัดหลักจากตารางเพื่อทำการวิเคราะห์หรือออกแบบได้โดยอัตโนมัติ โดยหน้าตัดที่สามารถกำหนดได้ ได้แก่ กาน (Beam) เสา (Column) เหล็กทรงน้ำ (Channel) เหล็กฉาก (Angle) และเหล็กฉากคู่ (Double Angle) ถ้ากำหนดเป็นชนิดคานหรือเสา โปรแกรมจะทำการเลือกหน้าตัดประเภทตัวไอ (หรือชนิด WF ตาม AISC) มาใช้

ก.5 องค์อาคารพิเศษ (Special Member)

ในบางกรณี ก็มีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดให้องค์อาคารมีคุณสมบัติพิเศษ แตกต่างไปจากองค์อาคารทั่วไป STAAD มีความสามารถที่เรียกใช้ดังนี้

รีลีส (Member/Element Release)

โดยปกติแล้วเราจะสมมติว่า องค์อาคารจะทำการยึดแน่นที่จุดต่อ (ตามแต่ประเภทของโครงสร้างที่เลือก) และในกรณีที่ต้องการให้แรงบางตัวที่จุดต่อมีค่าเป็นศูนย์ สามารถทำได้โดยรีลีสองค์อาคารนั้น และสามารถเลือกทำได้ทั้งปลายใดปลายหนึ่ง หรือทั้งสองปลาย เมื่อกำหนดให้แรงใดถูกรีลีส ดิกรีอิสระที่จุดนั้นก็จะหายไป ไม่ถูกนำมาวิเคราะห์

NOTES



- การรีลีสจะกำหนดโดยใช้แกนพิกัดโลก
- ผู้ใช้ไม่สามารถรีลีสโมเมนต์แต่เพียงบางส่วนได้

โครงข้อหมุน (Truss) หรือองค์อาคารรับแรงดึง (Tension Only Members)

ในกรณีที่โครงสร้างทั้งโครงสร้างประกอบด้วยชิ้นส่วนที่รับแรงตามแนวแกนเท่านั้น ผู้ใช้สามารถกำหนดชนิดของโครงสร้างให้เป็นแบบ TRUSS ได้เลย แต่ในกรณีที่ต้องการให้เพียงบางชิ้นส่วนในโครงสร้างเป็นองค์อาคารที่รับแรงตามแนวแกนเท่านั้น ก็สามารถทำได้โดยกำหนดให้องค์อาคารนั้น เป็นโครงข้อหมุน โดยคำสั่ง MEMBER TRUSS ซึ่งการทำเช่นนี้ช่วยลดการคำนวณได้มากกว่าการกำหนดให้เป็นโครงข้อแข็งที่มีจุดหมุนอิสระ (Pinned) ทั้งสองปลาย

และนอกจากนี้ STAAD ยังมีความสามารถกำหนดให้โครงสร้างรับแรงตามแนวแกนที่เป็นแรงดึงแต่เพียงอย่างเดียวก็ได้

เคเบิล (Cable Members)

กำหนดได้โดยใช้คำสั่ง MEMBER CABLE ซึ่งต้องกำหนดแรงดึงเริ่มต้น (Initial Tension) ให้กับเคเบิลด้วย ซึ่งแนวคิดการคำนวณสติฟเนส (Stiffness) ของเคเบิลในโปรแกรมเป็นดังต่อไปนี้

ความยาวที่เพิ่มขึ้นของเคเบิลเป็นผลมาจาก อย่างแรกคือ การยืดแบบอีลาสติก เนื่องจากแรง ซึ่งควบคุมโดยสมการ

$$F = Kx \quad \text{โดยที่ } K_{\text{elastic}} = \frac{EA}{L}$$

อย่างที่สองคือ การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตของโครงสร้าง อย่างเช่น เมื่อแรงดึงเพิ่มขึ้นระยะตกท้องช้าง (Sag) ก็ลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$F = Kx \quad \text{โดยที่ } K_{\text{sag}} = \frac{12T^3}{w^2L^3}$$

เมื่อ w = น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเคเบิล

T = แรงดึงในเคเบิล

ดังนั้น สติฟเนสของเคเบิลจึงขึ้นอยู่กับแรงดึงเริ่มต้น รวมผลทั้งสองอย่างเข้าด้วยกันจะได้

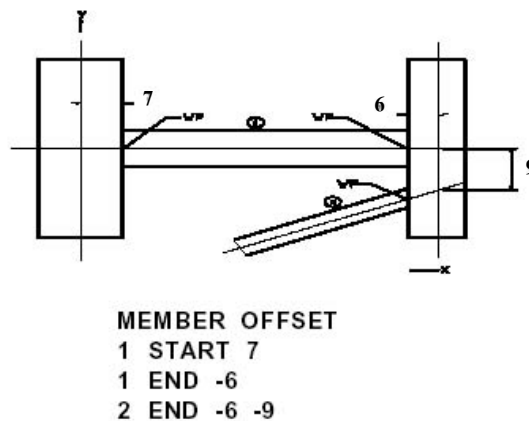
$$K_{\text{comb}} = 1/(1/K_{\text{elastic}} + 1/K_{\text{sag}})$$

$$= EA/L [1 + w^2L^3EA/12T^3]^{-1}$$

จะเห็นว่าเมื่อแรงดึงในเคเบิลเพิ่มขึ้น โครงสร้างจะมีพฤติกรรมเข้าใกล้ชิ้นส่วนรับแรงดึงอย่างเดียว

ออฟเซต (Member Offsets)

ในบางกรณีองค์อาคารก็ไม่ได้พบกันที่จุดต่อพอดี ดังแสดงในภาพที่ ก.10 โดยที่ระยะออฟเซตนี้จะกำหนดโดยใช้แกนพิกัดโกลบอล โปรแกรมจะคิดผลเนื่องจากการออฟเซตเป็นแรงรอง (Secondary Forces) ด้วย การออฟเซตสามารถทำได้ทั้งที่จุดเริ่ม (Start) และจุดปลาย (End) ของชิ้นส่วน รูปแบบคำสั่งแสดงในภาพที่ ก.10



ภาพที่ ก.10 แสดงตัวอย่างระยะออฟเซต และชุดคำสั่ง

จุดต่อนำ/ตาม (Master/Slave Joints)

ตัวเลือกจุดต่อนำ/ตาม จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างการเชื่อมต่อแบบแข็งเกร็ง (Rigid Links) หมายถึงจุดต่อตามจะเคลื่อนที่ตามจุดต่อนำเสมือนเป็นจุดเดียวกัน) ในโครงสร้างได้ โดยที่จุดต่อนำหนึ่งจุดสามารถมีจุดต่อตามได้หลายจุด นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดคิกริความอิสระ สำหรับจุดต่อตามที่นำมาต่อด้วย ถ้าเลือกคิกริความอิสระทั้งหมด (F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z) การเชื่อมต่อจะเป็นแบบแข็งเกร็ง

ก.6 ค่าคงที่ของวัสดุ (Material Constants)

ค่าคงที่วัสดุที่ต้องใช้ในโปรแกรม ได้แก่

- โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity: E)
- ค่าความหนาแน่น (Weight Density: DEN)
- อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio: POISS)
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Co-efficient of Thermal Expansion: ALPHA)
- มุมเบต้า (Beta Angle: BETA)

ก.6 ค่าคงที่ของวัสดุ

- หรือ พิกัดสำหรับจุดอ้างอิง (Coordinates for Reference Point: REF)

โดยที่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ต้องกำหนดเสมอ ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ ส่วนค่าความหนาแน่นจะจำเป็นก็ต่อเมื่อมีการคำนวณน้ำหนักตัวเอง (Selfweight) ของโครงสร้างเท่านั้น ค่าอัตราส่วนปัวซองจะใช้คำนวณค่าโมดูลัสการเฉือน (Shear Modulus: G) จากความสัมพันธ์ $G = 0.5 \times E / (1 + \text{POISS})$ แต่ถ้าไม่กำหนดค่าอัตราส่วนปัวซอง

CAUTION!!



โปรแกรมจะใช้ค่า $G = 0.5E$ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิจะใช้ในการคำนวณแรงเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Loads) โดยที่ค่าหน่วยของอุณหภูมิสำหรับแรงและสัมประสิทธิ์ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

ก.7 จุครองรับ (Supports)

การกำหนดลักษณะของจุครองรับใน STAAD สามารถทำได้ทั้ง จุครองรับแบบขนานกับแนวโครงสร้างและจุครองรับเอียง (Inclined Supports) เมื่อเทียบกับแกนพิกัดโกลบอล

รูปแบบของจุครองรับได้แก่ แบบยึดแน่น (Fixed) แบบหมุนได้ (Pinned) และแบบยึดแน่นแต่รีลีสแรงที่ต้องการ (Fixed but Release)

จุครองรับแบบหมุนได้ จะต้านทานต่อการเลื่อน (Translational) แต่ไม่ต้านทานต่อการหมุน (Rotational) หรือกล่าวได้ว่า จุครองรับแบบหมุนได้จะมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ในทุกทิศทาง แต่ไม่สามารถรับโมเมนต์ได้

ส่วนจุครองรับแบบยึดแน่น จะต้านทานต่อการเลื่อนที่และการหมุนในทุกทิศทาง ผู้ใช้สามารถรีลีสแรงของจุครองรับแบบยึดแน่นได้ในทิศทางที่ต้องการ

นอกจากนี้ยังมีจุครองรับแบบสปริง ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดค่านิย (k) ของสปริง หรือค่าความต้านทานแรงต่อหนึ่งหน่วยการเคลื่อนที่ ทั้งแบบเลื่อนที่และแบบหมุน

ก.8 น้ำหนักบรรทุก (Loads)

STAAD สามารถกำหนดรูปแบบน้ำหนักบรรทุก หรือแรงที่กระทำต่อโครงสร้างได้หลายรูปแบบ เช่น แรงกระทำที่จุดต่อ หรือ น้ำหนักตัวเองของโครงสร้างซึ่งสามารถกำหนดตัวคูณเพิ่มเติมและทิศทางได้อีกด้วย

แรงที่จุดต่อ (Joint Load)

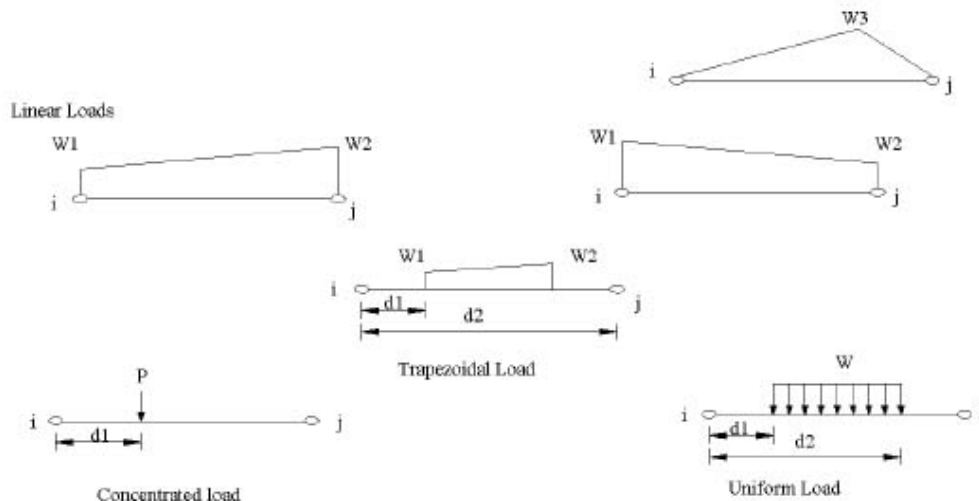
สามารถกำหนดให้แรงหรือโมเมนต์กระทำที่จุดต่อใดๆ ในโครงสร้างได้ โดยใช้ระบบพิกัดโกลบอล แรงที่เป็นบวก (Positive) หมายถึงแรงที่มีทิศทางไปทางบวกของแกนพิกัด และไม่จำกัดจำนวนแรงที่กระทำบนจุดต่อเดียวกัน

แรงที่กระทำบนชิ้นส่วน (Member Load)

แรงที่กระทำบนชิ้นส่วนมีอยู่สามรูปแบบ ได้แก่

- แบบแผ่กระจายคงที่ (Uniformly Distributed Loads) ซึ่งมีทั้งแบบกระทำเต็มความยาวหรือบางส่วนก็ได้
- แบบกระทำเป็นจุด (Concentrated Loads) บนจุดใดๆ ในองค์อาคาร
- และแบบแปรผันเป็นเส้นตรง (Linearly Varying Load) กระทำเต็มความยาวขององค์อาคาร หรือแบบสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งกระทำบนบางส่วน

แรงที่กระทำบนชิ้นส่วนอาจจะอ้างอิงระบบพิกัดโลคอลหรือโกลบอลก็ได้ โดยแรงที่มีค่าเป็นบวกหมายถึงมีทิศทางไปในทางบวกของระบบพิกัดที่อ้างอิง ภาพที่ ก.11 แสดงตัวอย่างแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนแบบต่างๆ



ภาพที่ ก.11 แรงที่กระทำบนชิ้นส่วน

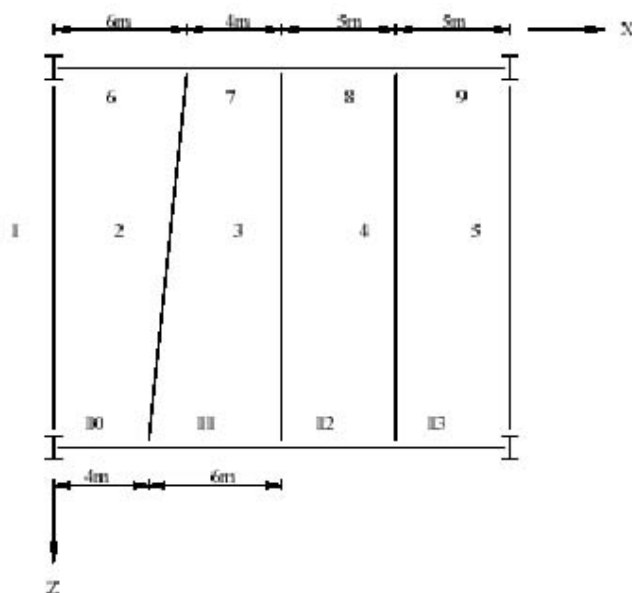
แรงแบบพื้นที่ (Area Load)

ในกรณีที่แผ่นพื้นรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่ อาจจะค่อนข้างยุ่งยากในการคำนวณแรงที่แต่ละชิ้นส่วนต้องรับ แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยคำสั่ง AREA LOAD ผู้ใช้สามารถกำหนดแรงแบบพื้นที่ (แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) สำหรับชิ้นส่วนที่เลือก แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณ

พื้นที่รับแรง (Tributary Area) ของชิ้นส่วนนั้นและคำนวณแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนให้โดยอัตโนมัติ โดยการคำนวณแรงแบบพื้นที่ให้เป็นแรงบนชิ้นส่วนมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- แรงบนชิ้นส่วนจะถูกสมมติให้เป็นแบบแปรผันเป็นเส้นตรง สำหรับกรณีที่แรงที่จุดเริ่มและจุดปลายของชิ้นส่วนมีค่าไม่เท่ากัน
- พื้นที่รับแรงของชิ้นส่วนคำนวณจาก ครึ่งหนึ่งของระยะห่างของชิ้นส่วนขนาน (หรือเกือบขนาน) ที่ใกล้ที่สุด ทั้งสองด้าน ถ้าระยะดังกล่าวเท่ากับหรือมากกว่าความยาวของชิ้นส่วนเองจะไม่นำมาคิด
- ไม่ควรกำหนดแรงแบบพื้นที่กระทำบนโครงสร้างที่เป็น CABLE, TRUSS หรือ TENSION

ภาพที่ ก.12 แสดงตัวอย่างการคำนวณแรงบนชิ้นส่วน เมื่อกำหนดแรงแบบพื้นที่เท่ากับ 0.1 จะได้ว่า ชิ้นส่วนที่ 1 จะมีค่าแรงแปรผันจาก 0.3 ที่ปลายหนึ่งและ 0.2 ที่อีกปลายหนึ่ง ส่วนชิ้นส่วนที่ 2 และ 4 จะมีแรงแผ่กระจายคงที่เท่ากับ 0.5 ตลอดความยาว ชิ้นส่วนที่ 3 มีแปรผันเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.45 ที่ปลายหนึ่งและ 0.55 ที่อีกปลายหนึ่ง ชิ้นส่วนที่ 5 จะมีแรงแผ่กระจายคงที่เท่ากับ 0.25 ชิ้นส่วนที่ 6 ถึง 13 จะไม่ได้รับแรงใด



ภาพที่ ก.12 ตัวอย่างการใช้งานแรงแบบพื้นที่

แรงบนชิ้นส่วนแบบปลายยึดแน่น (Fixed End Member Load)

แรงที่กระทำบนชิ้นส่วนสามารถที่จะแปลงให้เป็นแรงกระทำที่ปลายแบบยึดแน่นได้ โดยใช้พิกัดแบบโลคอล และจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่แรงกระทำจริงบนโครงสร้าง

และแต่ละปลายจะประกอบด้วยแรงทั้งหมด 6 แรงได้แก่ แรงตามแนวแกน, แรงเฉือน y , แรงเฉือน z , แรงบิด, โมเมนต์ y และโมเมนต์ z

แรงแบบอัดแรงก่อน/หลัง (Prestress and Poststress Member Load)

แรงเนื่องจากการอัดแรง (Prestressing Load) อาจจะทำตามแนวแกน (Axially) หรือกระทำเยื้องศูนย์ (Eccentrically) ก็ได้ ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าการเยื้องศูนย์ได้ที่จุดเริ่มต้น (es) จุดกึ่งกลาง (em) และที่จุดปลาย (ee) ค่าเยื้องศูนย์ดังกล่าวต้องอยู่ในทิศทางโลก y เท่านั้น โดยค่าบวกก็ตามทิศทางที่เป็นบวกของโลก y

รูปแบบการกำหนดการอัดแรง ทำได้ 2 แบบคือ แบบอัดแรงก่อนซึ่งจะคิดแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการอัดแรงด้วย และแบบอัดแรงหลังซึ่งสมมติว่าเกิดขึ้นภายหลังการอัดแรง ทำให้ไม่เกิดแรงปฏิกิริยาขึ้น การคำนวณแรงเนื่องจากการอัดแรงอยู่ภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

- สมมติให้ลวดอัดแรงวางตัวแบบพาราโบลา ซึ่งอยู่ในรูปสมการ

$$y = ax^2 + bx + c$$

โดยที่

$$a = \frac{1}{L^2} (2es - 4em + 2ee)$$

$$b = \frac{1}{L} (4em - ee - 3es)$$

- มุมเอียงของลวดอัดแรงเมื่อเทียบกับแกนโลก x มีค่าน้อยมากทำให้กล่าวได้ว่า

$$\sin \theta = \theta = dy/dx$$

และถ้าแรงในลวดอัดแรงเท่ากับ P จะได้ว่า แรงในแนวตั้งที่ปลายทั้งสองข้างเท่ากับ

$$P \left(\frac{dy}{dx} \right) \text{ ส่วนแรงในแนวราบเท่ากับ } P \sqrt{1 - \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} \text{ เพื่อให้สมมติฐานดังกล่าวใกล้เคียง}$$

ความจริงค่ามุมที่ใช้ควรไม่เกิน 5 องศา

- การคำนวณผลของการอัดแรงใช้วิธีของแรงเทียบเท่า (Equivalent Load Method) จะได้ว่าแรงแผ่กระจายเนื่องจากการอัดแรงมีค่าเท่ากับ

$$udl = \frac{8Pe}{L^2}$$

โดยที่

P = แรงในเส้นลวดอัดแรง

$$e = \frac{(es + ee)}{2} - em$$

L = ความยาวของชิ้นส่วน

- สมมติให้แรงในเส้นลวดมีค่าคงที่ตลอดความยาว นั่นคือไม่คิดผลการสูญเสีย (Losses) เนื่องจากแรงเสียดทาน หรือการสูญเสียอื่นๆ
- คำสั่ง MEMBER PRESTRESS ใช้ในเงื่อนไขที่ว่า ทำการก่อสร้างชิ้นส่วนก่อน แล้วทำการอัดแรงแก่ชิ้นส่วนนั้น ทำให้เกิดการเสียรูปซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการจับยึดที่ปลาย เกิดการถ่ายแรงสู่ชิ้นส่วนอื่นในโครงสร้าง นั่นคือคำว่า PRE หมายถึงทำการก่อสร้างชิ้นส่วนก่อนการอัดแรง
- คำสั่ง MEMBER POSTSTRESS ใช้ในกรณีเช่น ทำการหล่อชิ้นส่วนในโรงงานก่อน แล้วทำการอัดแรง จากนั้นจึงขนส่งไปเพื่อติดตั้งในโครงสร้าง ในลักษณะเช่นนี้ การอัดแรงจะส่งผลต่อชิ้นส่วนที่ทำการอัดแรงเท่านั้น ไม่มีการส่งผ่านไปยังชิ้นส่วนอื่นในโครงสร้าง นั่นคือคำว่า POST หมายถึงทำการก่อสร้างภายหลังการอัดแรง
- ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงไม่สามารถทำการคำนวณหาการเสียรูปที่ปลายชิ้นส่วนในกรณีที่เป็นการอัดแรงหลังได้ จึงสมมติให้มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนการเสียรูประหว่างกลางจะคำนวณเทียบกับเส้นตรงที่ลากระหว่างปลายทั้งสองข้างของชิ้นส่วน

แรงเนื่องจากอุณหภูมิและความเครียด (Temperature/Strain Load)

เมื่อเกิดมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสอง หรือที่ผิวหน้าแต่ละด้าน โปรแกรมจะคำนวณหาความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain) เช่น การยืดตัว (Elongation) การหดตัว (Shrinkage) เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิดังกล่าว แล้วจึงทำการคำนวณแรงเนื่องจากความเครียดดังกล่าว นอกจากนี้ผู้ใช้อย่างยังสามารถป้อนข้อมูลความเครียดที่เกิดขึ้นได้โดยตรง

การเคลื่อนตัวของจตุรองรับ (Support Displacement Load)

เราสามารถกำหนดแรงที่กระทำต่อโครงสร้างในรูปของการเคลื่อนตัวของจตุรองรับได้ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งระยะทางจากการเลื่อนที่ หรือมุมที่เกิดจากการหมุนในหน่วยของศา แต่สามารถกำหนดได้ในทิศทางที่ถูกจับยึดไว้ (Restraint) เท่านั้น ไม่สามารถกำหนดในทิศทางที่ถูกกรี๊ดแล้ว

แรงบนเอลิเมนต์ (Loading on Element)

สำหรับแรงที่กระทำต่อเอลิเมนต์แบบแผ่น (Plate/Shell) สามารถใช้แรงต่อไปนี้ได้

- แรงดัน (Pressure) ซึ่งประกอบด้วยแรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่น อาจจะ
เป็นแรงแผ่กระจายคงที่ หรือแบบคางหมู กระทำทั้งแผ่นหรือเพียงบางส่วนก็ได้
- แรงที่จุดต่อ อาจจะเป็นแรงหรือโมเมนต์ก็ได้โดยอ้างอิงระบบพิกัดโกลบอล
- แรงเนื่องจากอุณหภูมิ ซึ่งอาจจะเป็นแบบคงที่ตลอดความหนาของแผ่น ซึ่งจะทำให้การ
ยืดหรือหดตัว หรือเป็นแบบแปรผันตลอดความหนาของแผ่น ซึ่งจะทำให้เกิดการแอ่น
ตัว
- ในกรณีกำหนดค่าความหนาแน่น (Density) ไว้ ก็สามารถคำนวณหาแรงเนื่องจาก
น้ำหนักของชิ้นส่วนเองได้

สำหรับเอลิเมนต์แบบตัน (Solids) มีน้ำหนักบรรทุกเพียงสองแบบเท่านั้น คือ

- น้ำหนักของตัวเอง โดยคำนวณจากความหนาแน่น
- แรงที่จุดต่อ ซึ่งอาจเป็นแรงหรือโมเมนต์ก็ได้โดยอ้างอิงระบบพิกัดโกลบอล

ก.9 ตัวสร้างน้ำหนักบรรทุก (Load Generator)

STAAD มีตัวช่วยสร้างน้ำหนักบรรทุกแบบเคลื่อนที่ (Moving Loads) หรือสั่นสะเทือน
(Seismic Loads) ได้ การใช้งานตัวสร้างน้ำหนักบรรทุกประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ

- นิยามระบบของน้ำหนักบรรทุก
- สร้างชุดของน้ำหนักบรรทุกจากระบบของน้ำหนักบรรทุกที่ได้นิยามไว้

ตัวสร้างน้ำหนักบรรทุกแบบเคลื่อนที่ (Moving Load Generator)

น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ประกอบด้วย ชุดของแรงกระทำเป็นจุดซึ่งมีทิศทางและระยะห่าง
ระหว่างกันคงที่ ผู้ใช้ทำการกำหนดจำนวนชุดของน้ำหนักบรรทุก (Primary Load Cases) ที่
ต้องการให้โปรแกรมสร้างในการวิเคราะห์ STAAD ในชุดน้ำหนักตามมาตรฐานของ
AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ให้
สามารถเรียกใช้ได้

ตัวสร้างน้ำหนักบรรทุกสั่นสะเทือน (UBC Seismic Load Generator)

โปรแกรม STAAD จะทำการคำนวณผลของความสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน UBC
(Uniform Building Code) โดยผู้ใช้อ้างอิงค่าที่จำเป็น เช่น สัมประสิทธิ์ของพื้นที่
(Seismic Zone Coefficient) ตัวคูณความสำคัญ (Important Factor) เป็นต้น โปรแกรมจะทำ
การคำนวณโดยใช้วิธีการของราเลย์ (Raleigh Quotient Technique) เมื่อทำการคำนวณแรง

ก.9 ตัวสร้างน้ำหนักบรรทุก

เงื่อนไขพื้นฐาน (Base Shear) ได้แล้วก็จะทำการกระจายแรงเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง เพื่อทำการวิเคราะห์และออกแบบต่อไป

ตัวสร้างน้ำหนักบรรทุกจากแรงลม (Wind Load Generator)

ใช้ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม โดยผู้ใช้สามารถกำหนดความแรง (Intensity) และตัวคูณการกระจายตัว (Exposure Factor) ได้ โดยอาจให้มีความแรงแตกต่างกันที่ระดับความสูงต่างกัน และคำนวณตัวคูณการกระจายตัวจากช่องเปิดในแบบจำลอง ตัวโปรแกรมจะคำนวณแล้วแปลงให้เป็นแรงกระทำที่จุดต่อ

