

คู่มือผู้ใช้

ซอร์ฟแวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน **ACI 440.2R-08**

สำหรับผลิตภัณฑ์ **Sika® CarboDur®**

ธันวาคม 2558/ รุ่น 2.0 / SIKA SERVICES AG /

สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย

สารบัญ

1	บทนำ	4
2	ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1	ข้อพิจารณาการออกแบบทั่วไป	4
2.1.1	ขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 9.2)	4
2.1.2	ความคงทนต่ออัคคีภัยของโครงสร้าง (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 9.2.1)	4
2.1.3	ตัวคูณลดสำหรับ FRP (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 9.4)	5
2.2	การเสริมกำลังรับแรงดัด	5
2.2.1	สมภาวะด้านการใช้งาน (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 10.2.8)	6
2.2.2	การวิบัติจากการคืบและความล้า (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 10.2.9)	7
2.3	การเสริมกำลังรับแรงเฉือน	7
2.3.1	ขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ้างอิงจาก ACI 440.02R-08 ในหัวข้อที่ 0811.4.3)	9
2.4	การโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัด	9
2.4.1	สมภาวะด้านการใช้งาน (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 0812.1.3)	10
3	การใช้งานชอร์ฟแวร์ Sika® CARBODUR®	11
3.1	การติดตั้งและเปิดใช้งาน	11
3.2	บทนำ	12
3.3	ข้อมูลเบื้องต้น	12
3.4	การโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัด	15
3.4.1	การป้อนข้อมูลหน้าตัด	15
3.4.2	การป้อนข้อมูลเหล็กเสริม	16
3.4.3	การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก	17
3.4.4	การป้อนข้อมูลแผ่น FRP	18
3.4.5	การตรวจสอบหน้าตัด	19
3.4.6	การพิมพ์ผลวิเคราะห์	21
3.5	การเสริมกำลังรับแรงดัดสำหรับหน้าตัดเดี่ยว (SINGLE SECTION)	22
3.5.1	การป้อนข้อมูลหน้าตัด	22
3.5.2	การป้อนข้อมูลเหล็กเสริม	23
3.5.3	การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก	24
3.5.4	การป้อนข้อมูลแผ่น FRP	26
3.5.5	การตรวจสอบหน้าตัด	28
3.5.6	การพิมพ์ผลวิเคราะห์	28
3.6	การเสริมกำลังรับแรงดัดสำหรับองค์อาคารโครงสร้าง	29
3.6.1	การป้อนรูปร่างขององค์อาคารโครงสร้าง	29
3.6.2	การป้อนข้อมูลหน้าตัดตามขวาง	30
3.6.3	การป้อนข้อมูลเหล็กเสริม	30

คู่มือผู้ใช้

ชอร์ฟแวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08

สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika® Carbodur®

ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

ภาษาไทย

สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย

3.6.4	การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก	31
3.6.5	การป้อนข้อมูลแผ่น FRP	33
3.6.6	การตรวจสอบหน้าตัดที่ใช้	33
3.6.7	การตรวจสอบการยึดเหนี่ยว	33
3.6.8	การพิมพ์ผลวิเคราะห์	34
3.7	การเสริมกำลังรับแรงเฉือนสำหรับหน้าตัดเดี่ยว	35
3.7.1	การป้อนข้อมูลหน้าตัดตามขวาง	35
3.7.2	การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก	36
3.7.3	การป้อนข้อมูลแผ่น FRP	38
3.7.4	การพิมพ์ผลวิเคราะห์	39
3.8	การเสริมกำลังรับแรงเฉือนสำหรับองค์อาคารโครงสร้าง	39
3.8.1	การป้อนรูปร่างขององค์อาคารโครงสร้าง	39
3.8.2	การป้อนข้อมูลหน้าตัด	39
3.8.3	แรงเฉือน	40
3.8.4	การป้อนข้อมูลแผ่น FRP	41
3.8.5	การพิมพ์ผลวิเคราะห์	42
คำอธิบายทางกฎหมาย		43

1 บทนำ

ซอฟต์แวร์ Sika® Carbodur® จัดทำขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณขนาดของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber Reinforced Polymer - CFRP) ที่ใช้สำหรับงานเสริมกำลังรับแรงดัดและแรงเฉือนในคาน รวมถึงงานโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งทฤษฎีการคำนวณพื้นฐานได้กล่าวไว้ในส่วนถัดไป

วิธีการคำนวณที่ใช้ในซอฟต์แวร์นี้ เพื่อการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการติดเสริมภายนอก ด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (ACI 440.2R-08: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.) และอ้างอิงแนวทางการคำนวณอื่นตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตของอเมริกา (ACI 318-14: Building code requirements for structural concrete.) และยุโรป (Eurocode 2: Design of concrete structure)

2 ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ข้อพิจารณาการออกแบบทั่วไป

2.1.1 ขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 9.2)

ขีดจำกัดการเสริมกำลัง กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันการพังทลายของโครงสร้างเนื่องจากการวิบัติที่วัสดุประสาน (BOND FAILURE) หรือการวิบัติแบบอื่นในระบบเสริมกำลังด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (FIBER REINFORCED POLYMER - FRP) ซึ่งอาจนำไปความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

จากปัจจัยในข้างต้นและในกรณีที่ FRP ได้รับความเสียหาย องค์อาคารที่ไม่ได้เสริมกำลังและโครงสร้างโดยรวมต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ในระดับหนึ่งโดยไม่เกิดการพังทลาย

น้ำหนักบรรทุกรวมขั้นต่ำ เป็นไปตามสมการ

$$(\phi R_n)_{existing} \geq (1.1S_{DL} + 0.75S_{LL})_{new} \quad (2.1.n)$$

กรณีที่มีน้ำหนักบรรทุกจรออกแบบ (design live load) กระทำต่อองค์อาคารเป็นเวลานาน เช่น คลังสินค้า ห้องสมุด พื้นที่เก็บพัสดุ ต้องใช้การรวมน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำเพื่อกระทำต่อองค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง ดังสมการ

$$(\phi R_n)_{existing} \geq (1.1S_{DL} + S_{LL})_{new} \quad (2.1.ข)$$

ในการเสริมกำลังองค์อาคารเพื่อรับแรงดัด แรงเฉือน หรือแรงอัด ต้องพิจารณาข้อกำหนดเพิ่มเติมตามรายละเอียดที่ระบุไว้ในคู่มือนี้

2.1.2 ความคงทนต่ออัคคีภัยของโครงสร้าง (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 9.2.1)

การออกแบบและให้แรงกระทำต่อโครงสร้างเนื่องจากอัคคีภัย จัดอยู่ในสภาวะการออกแบบโครงสร้างแบบพิเศษ

ในขณะที่เกิดไฟไหม้ อาจทำให้ CFRP ส่วนที่ไม่มีการป้องกันเพลิงไหม้ถูกทำลายเนื่องจากอุณหภูมิที่สูง ดังนั้น องค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง ต้องรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่ปรับลดค่าแล้ว (reduced design loads) ตามที่ระบุไว้ในข้อบังคับหรือมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้อง

ซอฟต์แวร์นี้ ใช้การตรวจสอบอย่างง่ายเพื่อคำนวณกำลังต้านทานระบุขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลังในกรณีที่เกิดอัคคีภัย

การรวมน้ำหนักบรรทุกเพื่อคำนวณกำลังต้านทานขององค์อาคารที่ใช้ในซอฟต์แวร์นี้ เป็นไปตามหลักการรวมน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (unfactored service loads) ดังสมการ

$$(R_n)_{existing,t=0} \geq (S_{DL} + S_{LL})_{new} \quad (2.1.ค)$$

คู่มือผู้ใช้

ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08

สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika® Carbodur®

ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

ภาษาไทย

สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย

ภายใต้สถานการณ์ดังกล่าว หากผลวิเคราะห์ระบุว่า กำลังต้านทานขององค์อาคารก่อนเสริมกำลังมีค่าไม่น้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานรวมที่คาดการณ์ อาจไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัย อย่างไรก็ตาม องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กควรติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ของอัตราการทนไฟ (fire rating) ซึ่งคำนวณตามมาตรฐาน ACI 216R หรือจากการทดสอบ

2.1.3 ตัวคูณลดสำหรับ FRP (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 9.4)

สภาพแวดล้อมของโครงสร้างอาจลดทอนคุณสมบัติการรับแรงดึง การวิบัติจากการคืบ (creep rupture) ความคงทนต่อความล้า (fatigue endurance) ของแผ่น FRP ส่งผลให้ต้องลดทอนคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในสมการออกแบบตามสภาวะการสัมผัส (exposure condition) ดังนี้

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad (2.1.ง)$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^* \quad (2.1.จ)$$

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\epsilon_{fu}} \quad (2.1.ฉ)$$

โดยที่ตัวคูณลดเนื่องจากสภาพแวดล้อม (environmental reduction factor หรือ C_E) สามารถหาได้จากตาราง

สภาวะการสัมผัส	ประเภท	C_E
ภายใน	เส้นใยคาร์บอน	0.95
	เส้นใยแก้ว	0.75
ภายนอก (เช่น สะพาน ทำเทียบเรือ และที่จอดรถ)	เส้นใยคาร์บอน	0.85
	เส้นใยแก้ว	0.65
รุนแรง (เช่น อาคารเก็บสารเคมี และอาคารบำบัดน้ำเสีย)	เส้นใยคาร์บอน	0.85
	เส้นใยแก้ว	0.50

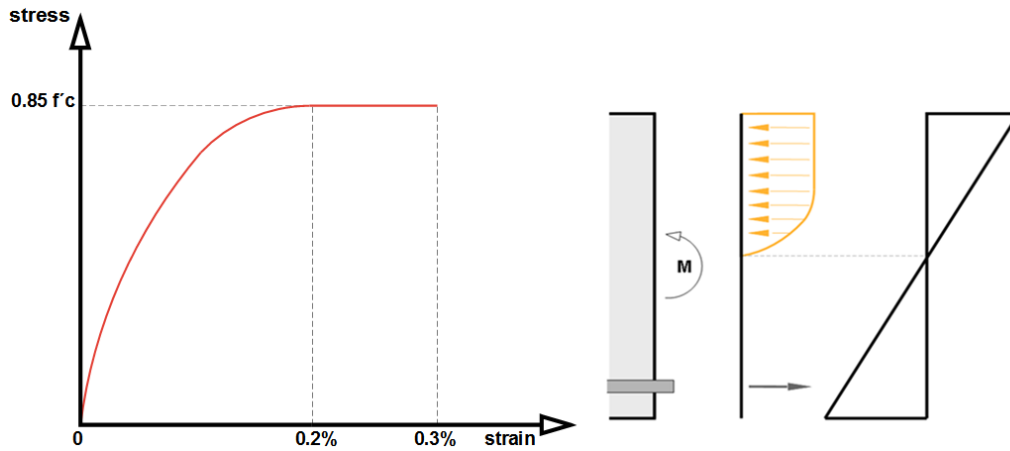
2.2 การเสริมกำลังรับแรงดัด

องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น คาน พื้น และเสา สามารถเสริมกำลังรับแรงดัดได้ โดยใช้ FRP ยึดเหนี่ยวกับเรซินสังเคราะห์ (epoxy) ในบริเวณรับแรงดัด และจัดให้เส้นใยขนานกับทิศทางตามแนวแกนขององค์อาคารซึ่งเป็นที่ทิศทางที่เกิดหน่วยแรงดัดสูง

การคำนวณหาขนาดของ FRP เพื่อเสริมกำลังรับแรงดัด เป็นไปตามหลักการที่ปรากฏในมาตรฐาน ACI 318-14 และ ACI 440-2R-08 ในหัวข้อที่ 10 ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม ดังนี้

ก) ซอร์ฟแวร์นี้คำนวณแรงอัดในคอนกรีตโดยพิจารณาบล็อกหน่วยแรงอัดแบบพาราโบลาและสี่เหลี่ยมแทนการใช้บล็อกหน่วยแรงอัดของวิทนี (Whitney stress block) เพื่อให้การคำนวณแรงอัดไม่ขึ้นกับคุณสมบัติเชิงเรขาคณิตของหน้าตัดคอนกรีต

สมมูลแรงของหน้าตัด คำนวณร่วมกับหน่วยแรงอัดแบบพาราโบลาและสี่เหลี่ยมตามหลักการที่ปรากฏในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตของยุโรป (อ้างอิงจาก Eurocode 2 รูปที่ 2-8)



หน่วยแรงอัดในคอนกรีต สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_c = 0.85f'_c \left(1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{0.002}\right)^2\right) \quad \text{เมื่อ } 0 \leq \epsilon_c \leq 0.002$$

$$f_c = 0.85f'_c \quad \text{เมื่อ } 0.002 \leq \epsilon_c \leq 0.003$$

ข) สำหรับกรณีที่ใช้แผ่น CFRP รุ่น Sika® Carbodur® S plate ที่มีการอัดแรงภายหลัง (post-tensioned) กำหนดให้ความเครียดประสิทธิผลสูงสุดในแผ่น CFRP มีค่าเท่ากับ 1.26% ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ Sika® CarboStress

$$\epsilon_{f,d,postensioned} \leq 1.26\%$$

2.2.1 สภาวะด้านการใช้งาน (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 10.2.8)

องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน (service load) ต้องมีค่าไม่เกิน 80% ของกำลังคราก (yield strength) ของเหล็กเสริม

$$f_{s,s} \leq 0.80 f_y$$

หน่วยแรงอัดในคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน ต้องมีค่าไม่เกิน 45% ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต

$$f_{c,s} \leq 0.45 f'_c$$

องค์อาคารคอนกรีตอัดแรง

ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน ต้องจำกัดหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กอัดแรงเพื่อป้องกันการคราก โดยใช้ค่าดังนี้

$$f_{ps,s} \leq 0.82 f_{py}$$

$$f_{ps,s} \leq 0.74 f_{pu}$$

หน่วยแรงอัดในคอนกรีตภายใต้หน้าทับบรรทุกใช้งาน ต้องมีค่าไม่เกิน 45% ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต เช่นเดียวกับในกรณีขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$f_{c,s} \leq 0.45 f'_c$$

แผ่น CFRP ที่มีการอัดแรงภายหลัง

ความเครียดประสิทธิผลของแผ่น CFRP ภายใต้หน้าทับบรรทุกใช้งาน ต้องมีค่าไม่เกิน 0.92% ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ Sika® CarboStress

$$\varepsilon_{fe,postensioned} \leq 0.92\%$$

2.2.2 การวิบัติจากการคืบและความล้า (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 10.2.9)

ในการป้องกันการวิบัติจากการคืบ การวิบัติเนื่องจากหน่วยแรงคงค้าง (sustained stress) หน่วยแรงแบบวัฏจักร (cyclic stress) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ใน FRP ที่นำมาเสริมกำลังทั้งแบบติดเสริมภายนอก (externally bonded) และแบบฝังใกล้ผิว (Near Surface Mounted - NSM) หน่วยแรงที่เกิดขึ้นใน FRP ต้องมีค่าไม่เกินกว่า

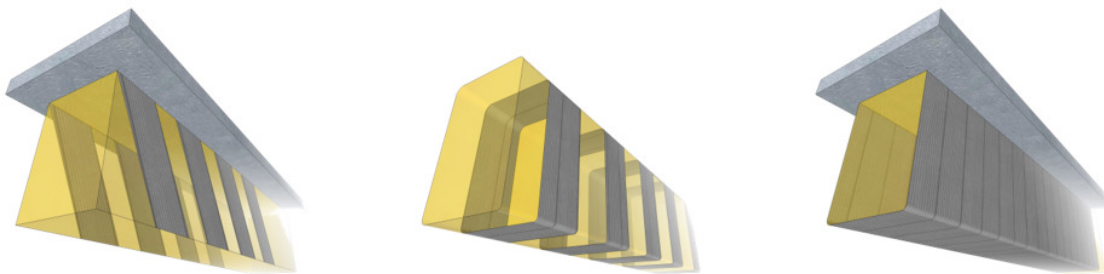
$$0.55 f_{fu} \quad \text{สำหรับเส้นใยคาร์บอน}$$

$$0.20 f_{fu} \quad \text{สำหรับเส้นใยแก้ว}$$

2.3 การเสริมกำลังรับแรงเฉือน

องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถเสริมกำลังรับแรงเฉือนได้ โดยใช้ FRP ยึดเหนี่ยวภายนอกโดยจัดให้ทิศทางหลักของเส้นใยขนานกับทิศทางที่เกิดหน่วยแรงดึงหลักสูงสุด (maximum principal tensile stress) เพื่อให้ FRP เกิดประสิทธิผลในการรับแรงเฉือนได้มากที่สุด สำหรับกรณีส่วนใหญ่ที่องค์อาคารต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกด้านข้าง แนววิถีของหน่วยแรงหลักสูงสุด (maximum principal stress trajectories) ในบริเวณที่เกิดแรงเฉือนวิกฤติ (shear-critical zone) มีลักษณะทำมุมกับแนวแกนขององค์อาคารประมาณ 45 องศา ส่งผลให้มีการเสริมกำลังด้วย FRP ที่ด้านข้างของคาน

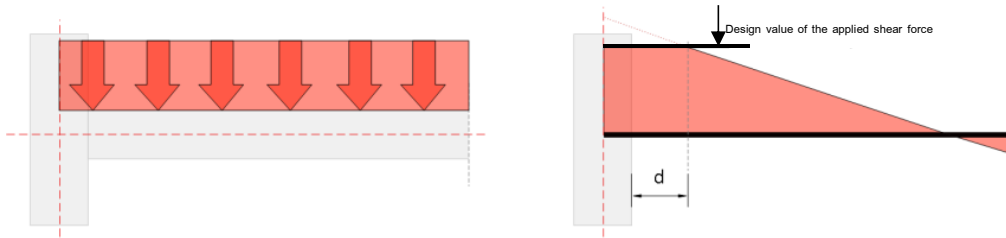
อย่างไรก็ตาม การใช้ FRP เพื่อเสริมกำลังรับแรงเฉือนในทางปฏิบัติ นิยมเสริมแบบพันรอบ (complete wrapping) หรือพันแบบรูปตัวยู (U-wrapping) โดยจัดให้ทิศทางหลักของเส้นใยตั้งฉากกับแนวแกนขององค์อาคาร



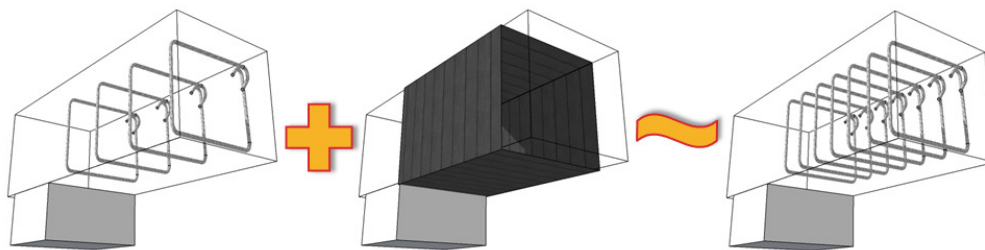
การหุ้มแบบปิด (closed jacket) หรือการยึดฝังแบบแถบ (anchored strip) อย่างเหมาะสม จัดเป็นวิธีการเสริมกำลังที่ดีกว่าการหุ้มแบบเปิด (open jacket) เนื่องจากการหลุดลอกก่อนกำหนด (premature debonding) เป็นรูปแบบการวิบัติที่พบได้มากกว่าการหุ้มแบบเปิด

ซึ่งการหลุดล่อนก่อนกำหนดส่งผลให้ CFRP มีประสิทธิภาพลดลง สำหรับรูปแบบการหุ้มแบบเปิดที่ FRP เกิดประสิทธิภาพน้อยที่สุดและมีแนวโน้มต่อการเกิดการหลุดล่อนสูงสุดคือการห่อแบบสองด้าน (2-sided wrapping)

มาตรฐาน ACI 318-14 ระบุว่าไม่ต้องทำการตรวจสอบแรงเฉือนออกแบบ (design shear force) ที่กระทำในระยะน้อยกว่า d ซึ่งวัดจากขอบของฐานรองรับสำหรับกรณีที่มีองค์อาคารรับน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอ



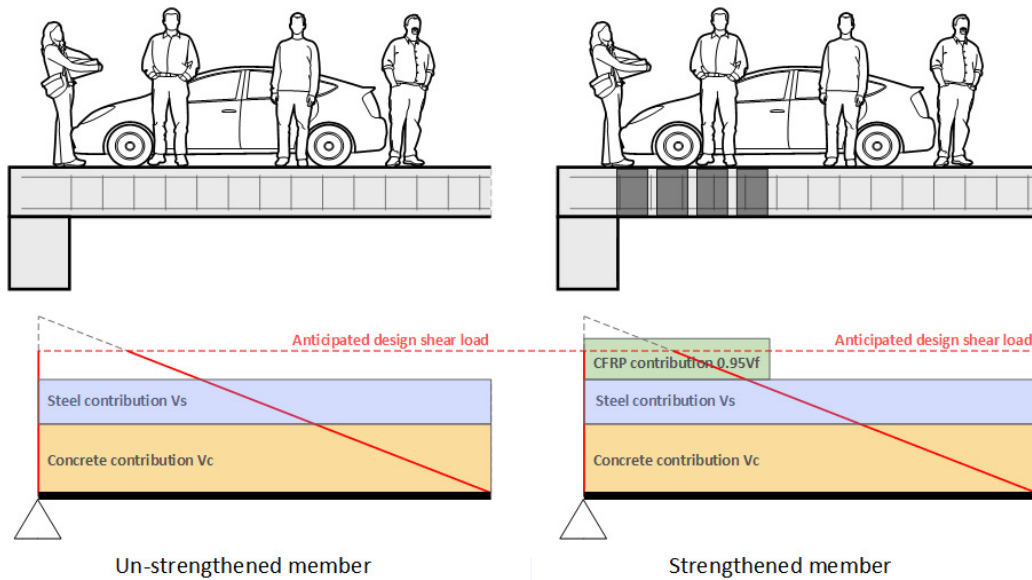
การเสริมกำลังโดยใช้ FRP สามารถจัดรูปแบบให้มีความคล้ายคลึงกับการใช้เหล็กเสริมในคอนกรีตได้ ภายใต้แนวคิดที่ CFRP รับเฉพาะหน่วยแรงตามแนวแกนในทิศทางการวางตัวของเส้นใย โดยสมมติให้ CFRP พัฒนาค่าความเครียดประสิทธิผล (E_{fe}) ในทิศทางการวางตัวของเส้นใยที่สภาวะกำลัง (ultimate limit state) ในแนวเฉือนหรือในแนวแยงของคอนกรีตส่วนที่รับแรงดึง อย่างไรก็ตาม ค่าความเครียดประสิทธิผลที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป มีค่าไม่เกินความเครียดดึงประลัยของ FRP (E_{fu})



ความเครียดประสิทธิผลขึ้นกับระดับการหลุดล่อนของ CFRP ขณะเกิดแรงภายในองค์อาคารเท่ากับกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ระบุของหน้าตัด กล่าวคือ ลักษณะการยึดฝังของ CFRP เช่น การพันรอบ การห่อแบบรูปตัวยู และการห่อแบบสองด้าน ล้วนส่งผลต่อค่าความเครียดประสิทธิผล ดังนั้น กำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารภายหลังเสริมกำลัง สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$V_n = V_c + V_s + 0.95V_f$$

โดยที่ V_f คือกำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารเนื่องจาก FRP สามารถคำนวณได้ตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 11.4



2.3.1 ขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 11.4.3)

สิ่งที่ต้องทำการตรวจสอบเพิ่มเติมจากขีดจำกัดการเสริมกำลังตามปกติ คือผลรวมของกำลังต้านทานแรงเฉือนเนื่องจากเหล็กปลอกและ FRP ต้องไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ของ ACI 318 ดังนี้

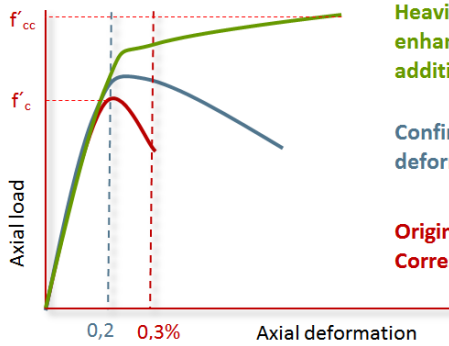
$$V_s + V_f \leq 0.66\sqrt{f'_c} b_w d$$

2.4 การโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัด

การโอบรัดเสามีวัตถุประสงค์หลักคือ การเพิ่มกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตและความสามารถในการเสียรูป (deformation capacities) การทำหน้าที่รองรับเหล็กเสริมตามยาวในทิศทางด้านข้าง และการป้องกันการกระเทาะของคอนกรีต (spalling) ภายในระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (concrete cover)

การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดวงกลมสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในข้างต้นได้โดยใช้ FRP โอบรัดตลอดความสูงเสาหรือโอบรัดบางส่วนเป็นแถบ FRP แต่ในกรณีของเสาด้านสี่เหลี่ยม ต้องทำการลบบนผิวของเสาก่อนทำการติดตั้งเนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่ FRP เกิดประสิทธิผลในแง่ของพฤติกรรมการโอบรัด (confinement action) ต่ำลงในบริเวณมุมเสา นอกจากนี้ ต้องเพิ่มความหนาของ FRP ที่มุมเสาเพื่อช่วยในการยึดรั้งการขยายตัวทางด้านข้าง (lateral dilation) ของเสากายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำ และป้องกันการโก่งเดาะของเหล็กเสริม (rebar buckling)

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วย CFRP แสดงดังรูป



Heavily confined concrete. Performance at 0.2% deformation is enhanced. However, the concrete is still capable to assume additional load. Ultimate load is higher than peak load.

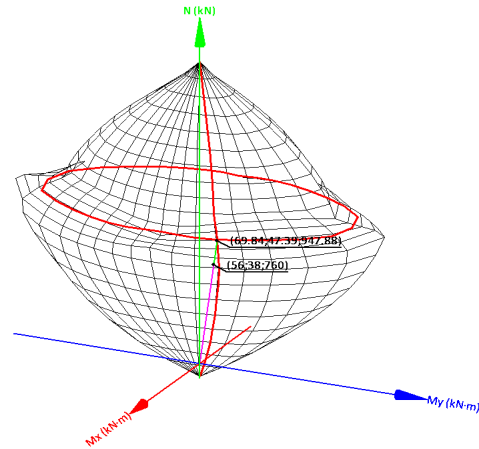
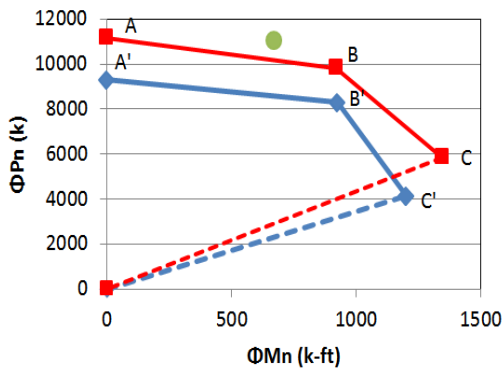
Confined concrete. The enhanced peak stress remains at ~0.2% deformation. The ductility is significantly increased.

Original concrete. Peak Stress Corresponding to 0,2% deformation, ultimate strain 0,3%.

รูปที่ปรากฏในข้างต้น แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดที่ใกล้เคียงกับรูปแบบเชิงเส้นสองส่วน (bilinear) ร่วมกับพฤติกรรมความเครียดอ่อนลง (strain-softening range) แบบฉับพลันและมีช่วงการเปลี่ยนแปลง (transition zone) เมื่อคอนกรีตเกิดหน่วยแรงภายในใกล้เคียงกับกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแทนเจนต์สตีฟเนส (tangential stiffness) จนหน่วยแรงภายในถึงค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ถูกโอบรัด (f'_{cc}) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่ความเครียดภายใน FRP ถึงค่า ϵ_{fe}

การคำนวณกำลังต้านทานออกแบบของเสาคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วย FRP ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ ACI 440.2R-08 ในบทที่ 12

กำลังต้านทานของเสาในกรณีที่ได้รับน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัดสองแกน สามารถหาได้จากการสร้างเส้นโค้งปฏิสัมพันธ์ (interaction diagram) โดยวิธีประมาณอย่างง่ายแบบสามจุด (simplified 3-point diagram) ตามที่ระบุไว้ใน ACI 440.2R-08 หัวข้อ 12.2 หรือตามที่แสดงไว้ดังรูปด้านซ้าย ในขณะที่ซอฟต์แวร์นี้สามารถคำนวณได้อย่างละเอียดทั้งแบบเส้นโค้งสองมิติและสามมิติดังรูปด้านขวา



2.4.1 สภาวะด้านการใช้งาน (อ้างอิงจาก ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 12.1.3)

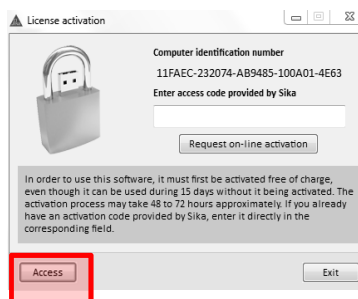
หน่วยแรงอัดในคอนกรีตต้องมีค่าไม่เกิน 65% ของกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต เพื่อป้องกันการเกิดรอยร้าวตามแนวรัศมี (radial cracking) ในคอนกรีต ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

นอกจากนี้ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมตามยาวภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ต้องมีค่าไม่เกิน 60% ของกำลังครากของเหล็กเสริม

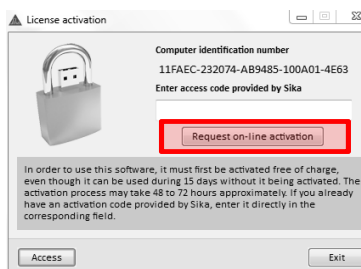
3 การใช้งานซอฟต์แวร์ SIKAR[®] CARBODUR[®]

3.1 การติดตั้งและเปิดใช้งาน

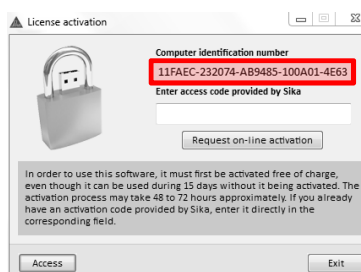
ในการติดตั้งซอฟต์แวร์ ให้ทำการ unzip โฟลเดอร์ที่ได้รับการบีบอัดและเปิดไฟล์ Install Sika Carbodur.exe ภายหลังจากการติดตั้ง ให้ผู้ใช้ทำการเปิดซอฟต์แวร์ ซึ่งในการใช้งานครั้งแรก สามารถสังเกตเห็นแถบตัวเลือกได้ดังรูป ผู้ใช้สามารถทดลองใช้งานซอฟต์แวร์ได้เป็นเวลา 15 วัน โดยการกดปุ่ม Access



ผู้ใช้สามารถยื่นคำขอใบอนุญาตเพื่อให้ซอฟต์แวร์ใช้งานได้โดยไม่จำกัดเวลา โดยการกดปุ่ม Request on-line activation และกรอกข้อมูลส่วนตัวเพื่อนำส่งเจ้าหน้าที่ของ Sika Thailand ซึ่งเจ้าหน้าที่อาจใช้เวลาประมาณ 48-72 ชั่วโมง ในการดำเนินการและตอบกลับ



ภายหลังจากตอบกลับของเจ้าหน้าที่ ผู้ใช้สามารถเข้าถึงการใช้งานของซอฟต์แวร์ในครั้งต่อไปได้ทันทีโดยไม่ปรากฏแถบข้อความในข้างต้นขึ้นอีก ในกรณีที่ไม่ได้รับการตอบกลับภายใน 72 ชั่วโมง ให้กรอกข้อมูลส่วนตัวซึ่งประกอบด้วย ชื่อ บริษัท หมายเลขโทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้ เมือง และประเทศของผู้ใช้ รวมถึงหมายเลขประจำเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งรายละเอียดด้านล่าง เพื่อทำการส่งอีเมลไปที่ rataporn.r@th.sika.com



คู่มือผู้ใช้
ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08
สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika[®] Carbodur[®]
ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

ภาษาไทย
สำหรับใช้ในประเทศไทย

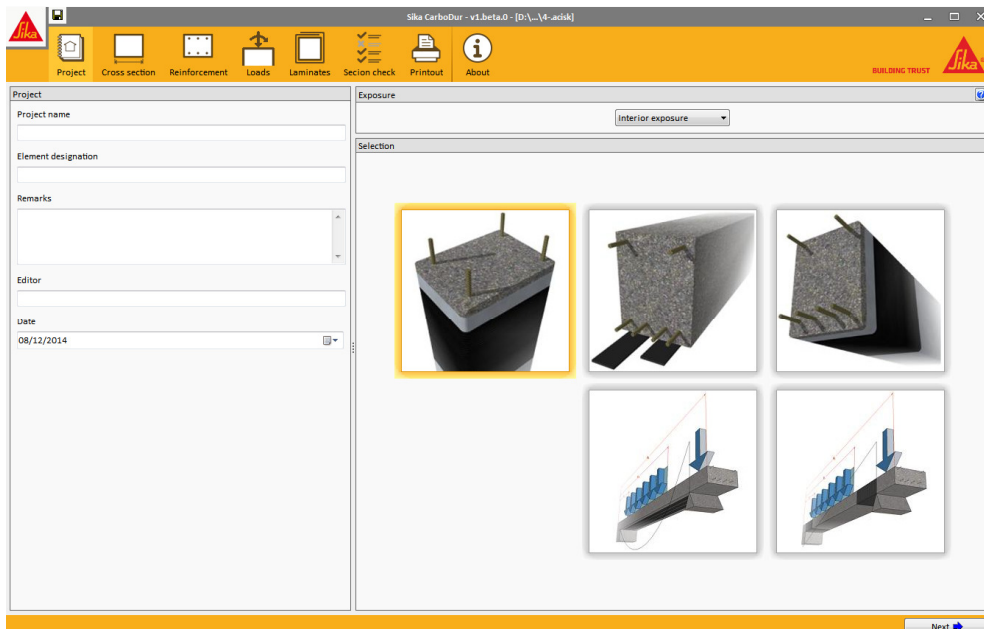
3.2 บทนำ

Sika® CarboDur® จัดเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้ง่ายและมีความน่าเชื่อถือในการคำนวณขนาดของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber Reinforced Polymer - CFRP) ที่ใช้สำหรับงานเสริมกำลังรับแรงดัดและแรงเฉือนในคาน รวมถึงงานโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัดของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง

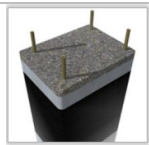
ภายหลังการเปิดซอฟต์แวร์ ผู้ใช้ต้องเลือกภาษาที่ใช้ ประเทศที่พำนัก และระบบหน่วยที่ใช้สำหรับการคำนวณ เพื่อให้ซอฟต์แวร์จัดเตรียมฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ Sika ให้เหมาะสมตามฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จริงที่วางจำหน่ายในประเทศที่พำนักของผู้ใช้

3.3 ข้อมูลเบื้องต้น

ในหน้าจอหลัก ผู้ใช้ต้องระบุข้อมูลทั่วไป เช่น ชื่อโครงการ ชื่อหน้าตัดส่วนโครงสร้าง หมายเหตุ ชื่อผู้ออกแบบเสริมกำลัง และวันที่ดำเนินการออกแบบเสริมกำลัง ดังรูป เพื่อประโยชน์ในการเข้าถึงข้อมูลและจัดระเบียบผลวิเคราะห์ต่อไปในอนาคต

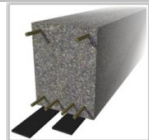


ในแถบเครื่องมือเดียวกัน ให้ผู้ใช้เลือกสถานะการสัมผัสและประเภทของการเสริมกำลัง ซึ่งในแต่ละโมดูลมีความหมายดังนี้



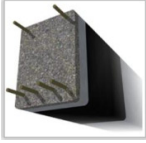
การโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัด

โมดูลนี้มีจุดประสงค์ในการเพิ่มกำลังต้านทานขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกตามแนวแกน โดยพิจารณาทั้งในกรณีเสารับน้ำหนักบรรทุกทุกตามแนวแกนอย่างเดียว และกรณีที่เสารับน้ำหนักบรรทุกรวมตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัดสองแกน เพื่อคำนวณขนาดของผลิตภัณฑ์ SikaWrap® ที่ใช้ในการโอบรัดเสา



การเสริมกำลังรับแรงดัดของหน้าตัดวิกฤติในคาน

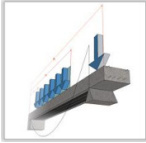
โมดูลนี้มีจุดประสงค์ในการคำนวณขนาดของ FRP ที่ต้องใช้เพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดกระทำต่อหน้าตัดวิกฤติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรง



การเสริมกำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดวิกฤตในคานหรือเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยม

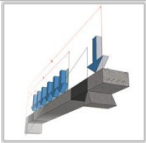
โมดูลนี้มีจุดประสงค์ในการคำนวณขนาดของ FRP ที่ต้องใช้เพื่อดำเนินงานแรงเฉือนกระทำต่อหน้าตัดวิกฤตของคานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรง

นอกจากนี้ การคำนวณกำลังต้านทานของหน้าตัดของอาคารที่ไม่เสริมกำลังได้พิจารณากรณีที่เกิดอัคคีภัยร่วมด้วย



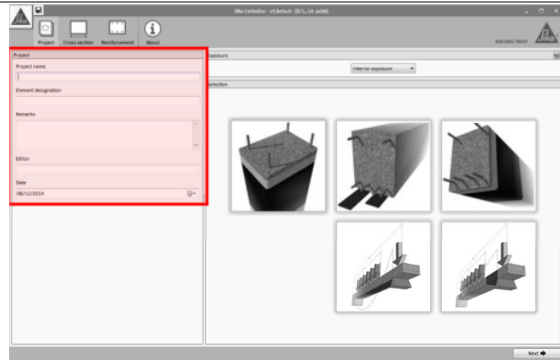
การเสริมกำลังรับแรงดัดของคาน

โมดูลนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาการกระจายโมเมนต์ดัดในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง รวมถึงการคำนวณขนาดของ FRP ที่ต้องใช้และการจัดเรียง FRP ตลอดความยาวของชิ้นส่วนคานโครงสร้าง



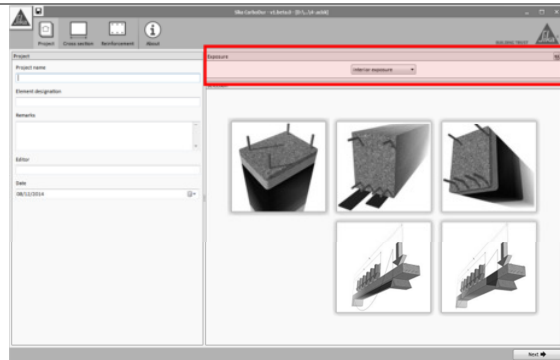
การเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคาน

โมดูลนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาการกระจายแรงเฉือนในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง รวมถึงการคำนวณขนาดของ FRP ที่ต้องใช้และการจัดเรียง FRP ตลอดความยาวของชิ้นส่วนคานโครงสร้าง



ในบริเวณที่แรเงา ผู้ใช้ต้องกรอกข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วยชื่อโครงการ ชื่อหน้าตัดส่วนโครงสร้าง หมายเลข ชื่อผู้ออกแบบเสริมกำลัง และวันที่ดำเนินการออกแบบเสริมกำลัง ดังที่ไดกล่าวไว้ก่อนหน้านี้ และข้อมูลเหล่านี้เป็นรายละเอียดที่ปรากฏในเอกสารแสดงรายการคำนวณที่ผู้ใช้พิมพ์ออกมาเช่นเดียวกัน

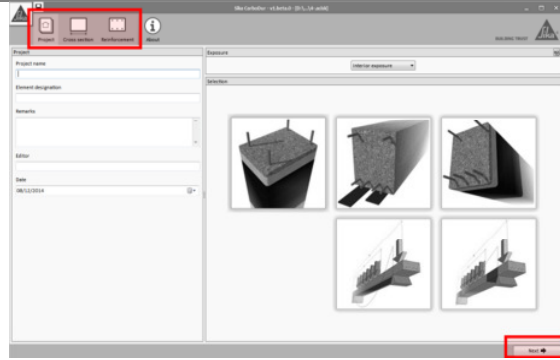
อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ไม่ควรระบุข้อมูลยาวเกินไป เนื่องจากซอฟต์แวร์ได้จำกัดความยาวของการป้อนข้อความลงในแถบกรอกข้อมูล



ในบริเวณที่แรเงา ผู้ใช้ต้องเลือกสถานะแวดล้อมตามตารางที่ 9.1 ในมาตรฐาน ACI 440.2R-08 ซึ่งสามารถเลือกได้สามรูปแบบ ดังนี้

- การสัมผัสภายใน
- การสัมผัสภายนอก (เช่น สะพาน ท่าเทียบเรือ และที่จอดรถ)
- การสัมผัสรุนแรง (เช่น อาคารเก็บสารเคมี และอาคารบำบัดน้ำเสีย)

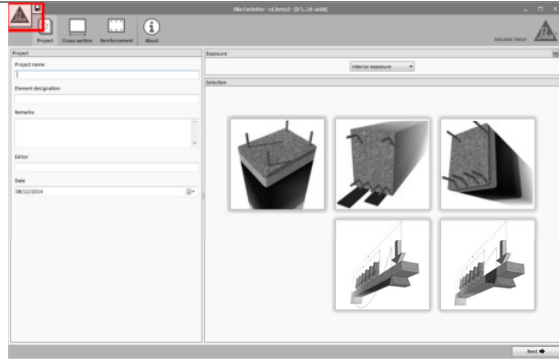
สถานะแวดล้อมที่ผู้ใช้ทำการเลือกไว้ เป็นปัจจัยร่วมกับประเภทของเส้นใยในการกำหนดตัวคูณลดเนื่องจากสภาพแวดล้อม เพื่อการออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่อไป



แนวการคำนวณของซอฟต์แวร์ได้รับการจัดลำดับขั้นตอนเพื่อความเป็นระบบและง่ายต่อการป้อนข้อมูลเพื่อออกแบบการเสริมกำลัง ซึ่งจำนวนของลำดับขั้นตอนการคำนวณ ขึ้นกับโมดูลการเสริมกำลังที่ผู้ใช้พิจารณาเลือกใช้ พื้นแรกทางด้านบนแสดงจำนวนและรายละเอียดเบื้องต้นในแต่ละลำดับขั้นตอนการคำนวณ

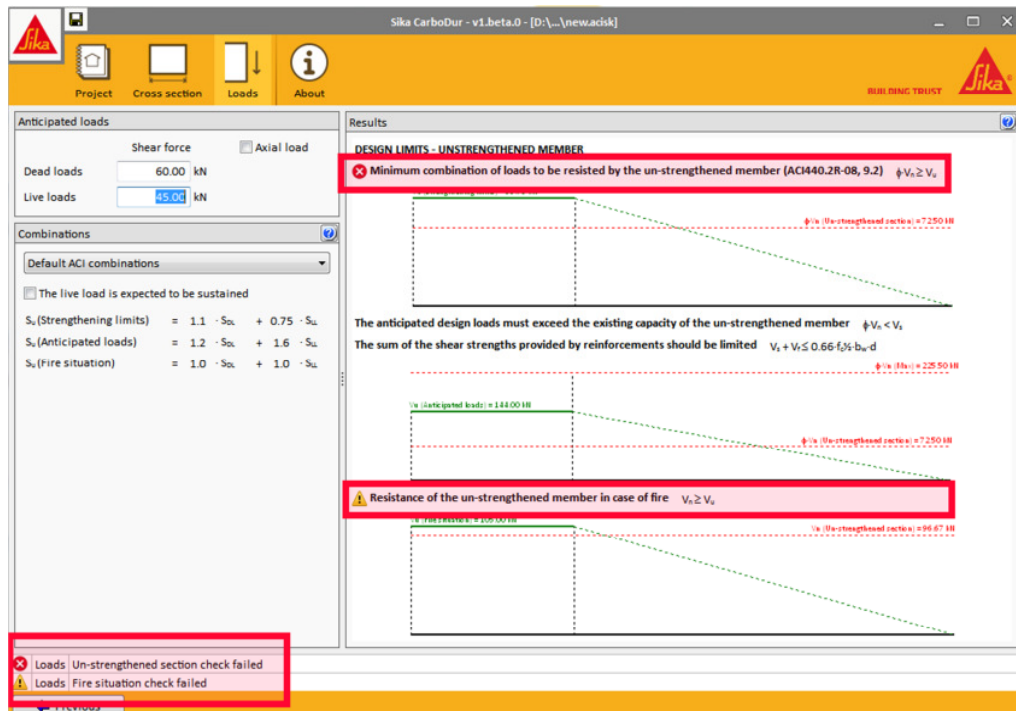
นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถดำเนินในขั้นตอนการคำนวณต่อไปได้โดยกดปุ่ม Next ที่พื้นแรกด้านขวาล่าง หรือย้อนกลับไปแก้ไขรายละเอียดในขั้นตอนการคำนวณก่อนหน้าโดยการกดปุ่ม Previous ซึ่งปรากฏขึ้นที่มุมซ้าย





ผู้ใช้สามารถเปิดไฟล์งานใหม่หรือบันทึกไฟล์งานปัจจุบันได้ตลอดการ ออกแบบเสริมกำลัง โดยกดปุ่มที่สัญลักษณ์ของ SIKA ที่พื้นที่แรงแจ มุมซ้ายบน หรือสามารถกดปุ่มสัญลักษณ์นี้สเกดต์เพื่อบันทึกไฟล์งานได้ทันที

ระหว่างที่ผู้ใช้งานทำการออกแบบเพื่อเสริมกำลังโครงสร้าง อาจมีการป้อนค่าหรือตั้งค่าที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานออกแบบการเสริมกำลัง ซึ่งซอฟต์แวร์สามารถแสดงข้อความการป้อนค่าหรือตั้งค่าที่ไม่เหมาะสมของผู้ใช้ได้ โดยการแสดงผลเป็นข้อความที่หน้าจอหลักหรือด้านล่างของ หน้าต่างซอฟต์แวร์ดังรูป



⚠ สัญลักษณ์นี้ ปรากฏขึ้นในกรณีที่มีการป้อนค่าที่ก่อให้เกิดการคำนวณที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ผู้ใช้สามารถดำเนินการคำนวณได้จนครบทุกขั้นตอน แต่ซอฟต์แวร์จัดให้มีการระบุข้อความแจ้งเตือนในเอกสารผลวิเคราะห์ที่ผู้ใช้ทำการพิมพ์ออกมา

❌ สัญลักษณ์นี้ ปรากฏขึ้นในกรณีที่มีการป้อนค่าผิดพลาดร้ายแรง ผู้ใช้ไม่สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้ หากไม่มีการแก้ไข

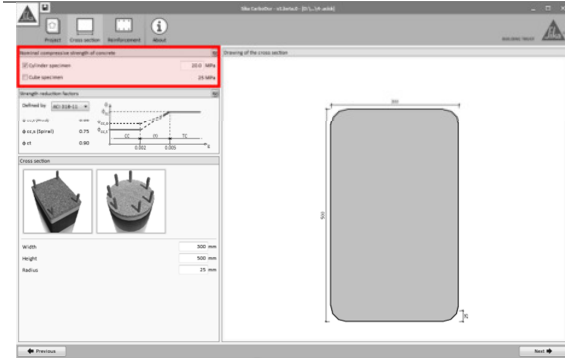


สำหรับรูปหรือกราฟบางส่วนที่ปรากฏในซอฟต์แวร์ ผู้ใช้สามารถใช้แถบเครื่องมือนี้ได้ในกรขขยายรูป เข้า ดึงรูปออก หรือส่งออกรูปเป็นรูปแบบไฟล์ทั่วไป เช่น CAD BMP EMF หรือรูปแบบอื่น

3.4 การโอบรัดเสาเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัด

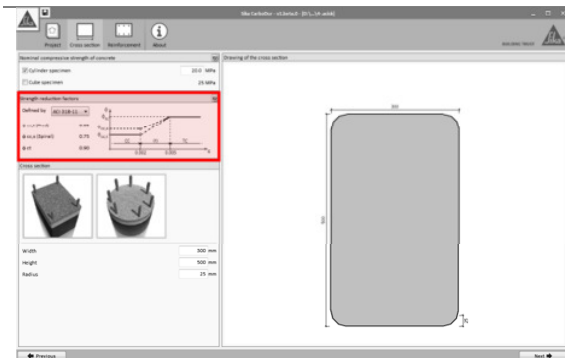
โมดูลนี้มีจุดประสงค์ในการคำนวณขนาดของ FRP ที่ต้องใช้โอบรัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมหรือวงกลมเพื่อเสริมกำลังต้านทานแรงอัดหรือกรณีเสารับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัด ซึ่ง FRP มีส่วนช่วยในการเพิ่มกำลังต้านทานและความเหนียวขององค์อาคารเสา

3.4.1 การป้อนข้อมูลหน้าตัด



ผู้ใช้ต้องระบุค่า f_c' ซึ่งเป็นกำลังรับแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 318 อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถป้อนค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของลูกบาศก์คอนกรีตได้โดยการแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นกำลังรับแรงอัดประลัยเทียบเท่าของทรงกระบอกคอนกรีต ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน EN-1992-1-1

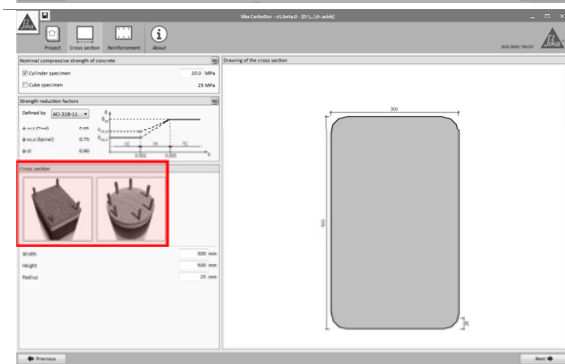
กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในเอกสารผลวิเคราะห์ที่ผู้ใช้พิมพ์จากซอฟต์แวร์ คือกำลังรับแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 318



กำลังต้านทานออกแบบขององค์อาคาร คือผลคูณระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงที่ระบุตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 และตัวคูณลดกำลัง (ϕ)

ซอฟต์แวร์นี้ใช้ตัวคูณลดสำหรับพฤติกรรมควบคุมโดยแรงอัด (compression-controlled) และพฤติกรรมควบคุมโดยแรงดึง (tension-controlled) ตามมาตรฐาน ACI 318 เป็นเบื้องต้น (default)

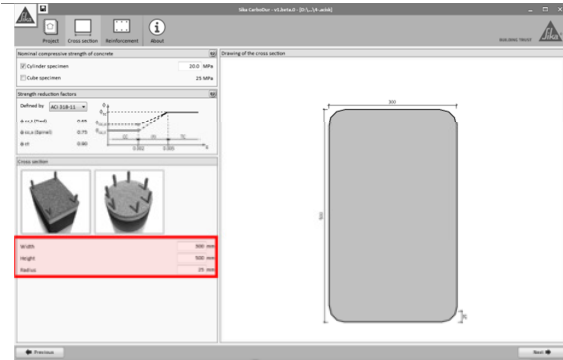
อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณลดกำลังได้ตามความเหมาะสม



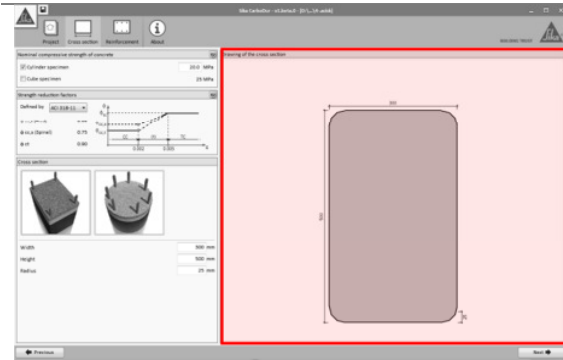
พื้นที่แรงป้อนเลือกรูปแบบหน้าตัดขององค์อาคาร โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้สองรูปแบบ คือหน้าตัดสี่เหลี่ยมและหน้าตัดวงกลม

ข้อจำกัดในการเลือกใช้หน้าตัดสี่เหลี่ยม มีดังนี้

- อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (aspect ratio) ของหน้าตัดต้องไม่เกิน 2 ต่อ 1
- ด้านมีความยาวไม่เกิน 900 มม.
- รัศมีโค้งมน (corner radius) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 13 มม.

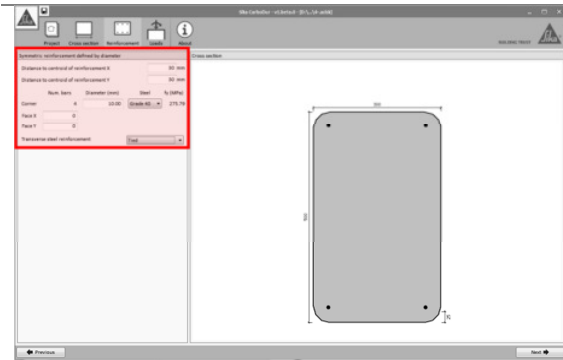


ผู้ใช้สามารถป้อนขนาดหน้าตัดตามขวางขององค์อาคารได้ในแถบป้อนค่า
ได้ปุ่มเลือกรูปแบบหน้าตัด ดังพื้นที่แรงงา



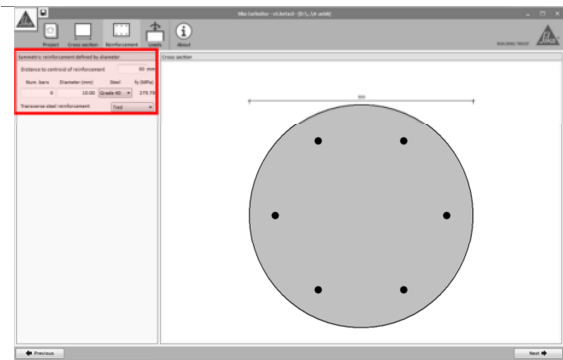
หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าหน้าตัดที่ผู้ใช้ป้อนเข้า แสดง
ในหน้าจอหลักดังพื้นที่แรงงา

3.4.2 การป้อนข้อมูลเหล็กเสริม



ผู้ใช้ป้อนรายละเอียดเหล็กเสริมของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมโดยการระบุ
ระยะห่างจากขอบเสา นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถป้อนรายละเอียดเหล็กเสริม
แถวกลางได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อให้ซอฟต์แวร์แสดงผลการป้อน
ข้อมูลเหล็กเสริมได้สอดคล้องกับหน้าตัดเสาที่พิจารณา
ชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมสามารถเลือกได้จากแถบตัวเลือกแบบดึงลง
หรือผู้ใช้สามารถกำหนดเองได้

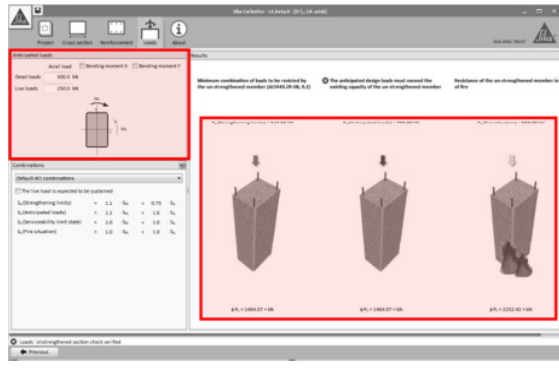
ผู้ใช้ต้องระบุข้อมูลเหล็กปลอก โดยทำการเลือกระหว่างเหล็กปลอกเดี่ยว
(tied) หรือเหล็กปลอกเกลียว (spiral) ซึ่งตัวคูณลดกำลังที่ซอฟต์แวร์ใช้
เป็นไปตามมาตรฐาน ACI 318



ในกรณีของเสาหน้าตัดวงกลม การเสริมเหล็กตามยาวมีลักษณะกระจาย
สม่ำเสมอตามเส้นรอบวงของเสาดังรูป

เนื่องจากซอฟต์แวร์ไม่สามารถระบุระยะหุ้มคอนกรีตของเสาหน้าตัด
วงกลมได้ ผู้ใช้ต้องระบุค่าในลักษณะของระยะจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริม
แทน

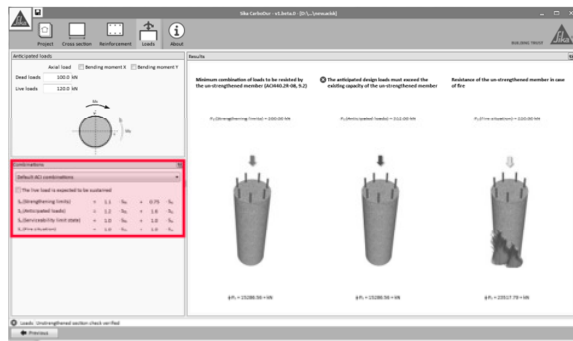
3.4.3 การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก



การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุกในเบื้องต้นคือกรณีเสารับแรงอัดอย่างเดียว ซึ่งผู้ใช้สามารถตั้งค่าเพิ่มเติมได้ในส่วนของโมเมนต์ดัดกระทำแกนเดียวหรือโมเมนต์ดัดกระทำพร้อมกันสองแกน ผ่านค่าสั่ง Bending Moment X และ Bending Moment Y ดังพื้นที่แรเงาด้านซ้าย

ในกรณีที่ผู้ใช้พิจารณาเฉพาะแรงอัดอย่างเดียว ซอร์ฟแวร์สามารถคำนวณกำลังต้านทานที่ระบุขององค์อาคารเสาที่ไม่เสริมกำลังได้สามกรณีดังพื้นที่แรเงาในส่วนของหน้าจอหลัก

ข้อมูลทั้งสามกรณี แสดงค่าแรงกระทำและกำลังต้านทานที่ระบุของเสาตามการรวมน้ำหนักบรรทุกกระทำและข้อมูลเบื้องต้นที่ผู้ใช้ป้อนค่าไว้

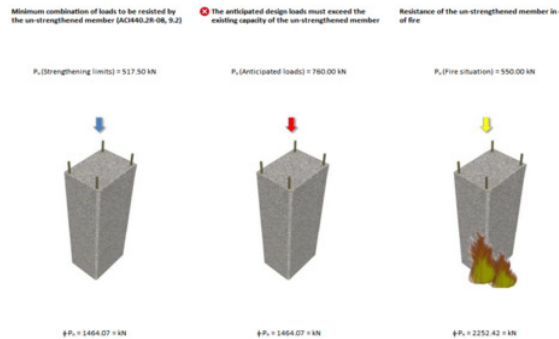


การรณน้ำหนักบรรทุกกระทำในกรณีที่แตกต่างกัน แสดงดังพื้นที่แรเงา ซึ่งซอร์ฟแวร์ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำไว้ตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

- ขีดจำกัดการเสริมกำลัง พิจารณาน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำโดยสมมติให้ CFRP เกิดความเสียหายตามหัวข้อที่ 2.1.1 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำในระยะยาว
- น้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ (anticipated loads) พิจารณาการรณน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงออกแบบที่คาดการณ์หลังการเสริมกำลัง
- สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน (serviceability limit state) พิจารณาการรณน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
- สถานการณ์ไฟไหม้ (fire situation) พิจารณาการรณน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่เกิดอัคคีภัย

ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีได้ตามความเหมาะสม

ซอร์ฟแวร์ทำการรณน้ำหนักบรรทุกกระทำทั้งสามกรณีและแสดงค่าน้ำหนักบรรทุกรวมในแต่ละกรณีไว้ที่ค่าด้านบน เหนือรูปเสาทั้งสามรูป นอกจากนี้ ค่ากำลังต้านทานในแต่ละกรณีได้แสดงไว้ด้านล่างของรูปเสาทั้งสามรูปเช่นกัน

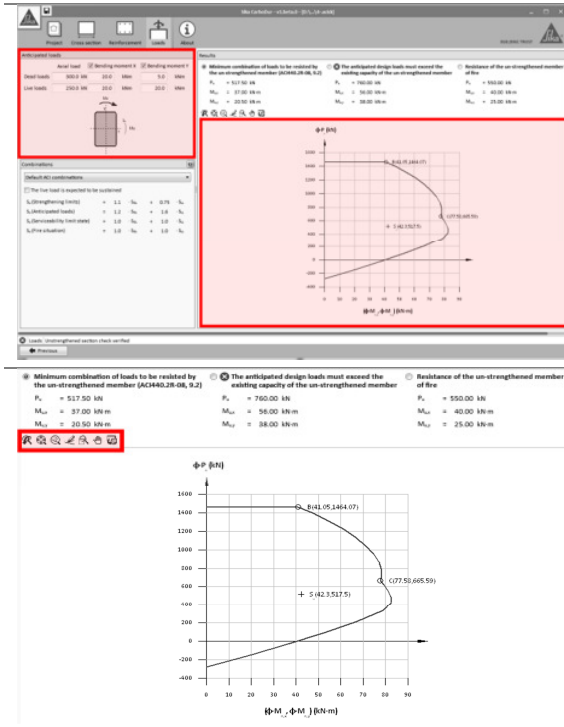


รูปซ้ายแสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำรวมในกรณีขีดจำกัดการเสริมกำลังและกำลังต้านทานของเสาที่ไม่เสริมกำลัง ซึ่งกำลังต้านทานต้องมากกว่าน้ำหนักบรรทุกกระทำเพื่อให้การวิเคราะห์สามารถดำเนินการต่อไปได้

รูปกลางแสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำรวมในกรณีน้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์และกำลังต้านทานของเสาที่ไม่เสริมกำลัง ซึ่งกำลังต้านทานต้องมากกว่าน้ำหนักบรรทุกกระทำเพื่อให้การวิเคราะห์สามารถดำเนินการต่อไปได้เช่นเดียวกัน

รูปขวาแสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำรวมในสถานการณ์ไฟไหม้ (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.2) และกำลังต้านทานของเสาที่ FRP ได้รับความเสียหายจากไฟไหม้ ซึ่งซอร์ฟแวร์มีการระบุ

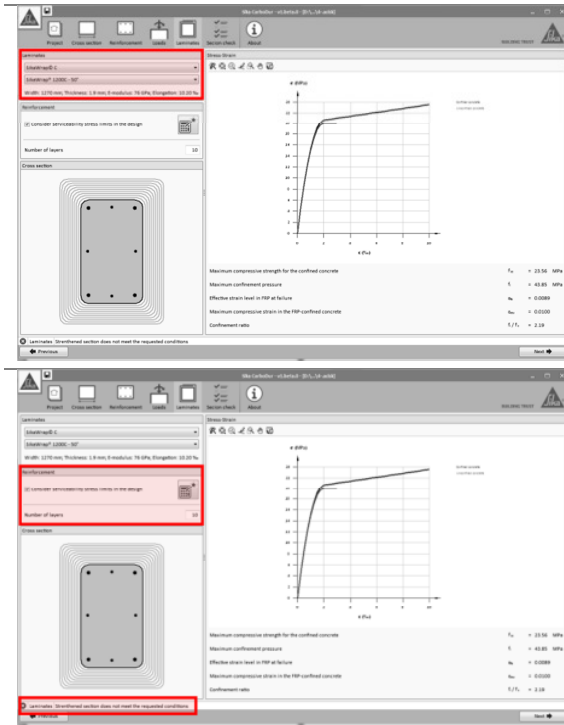
ไว้ในเอกสารผลวิเคราะห์ เพื่อให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการติดตั้งระบบป้องกัน FRP จากอัคคีภัย



ในกรณีที่เสารับน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัดดัด ซอร์ฟแวร์สามารถแสดงเส้นโค้งปฏิสัมพันธ์แบบสองมิติพร้อมกับน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อเสาได้ทั้งสามกรณีของการรวมน้ำหนักบรรทุกค่าน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดกระทำได้แสดงไว้ที่ส่วนบนของหน้าจอหลัก ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนกรณีของเส้นโค้งปฏิสัมพันธ์ได้จากการกดปุ่มเลือกดูในแต่ละกรณี

ผู้ใช้สามารถใช้แถบเครื่องมือในพื้นที่แรงกับเส้นโค้งปฏิสัมพันธ์ได้เพื่อการขยายรูปเข้า ดึงรูปออก หรือส่งออกรูปเป็นรูปแบบไฟล์ทั่วไป เช่น CAD BMP EMF หรือรูปแบบอื่น

3.4.4 การป้อนข้อมูลแผ่น FRP



ผู้ใช้สามารถเลือกผลิตภัณฑ์ FRP ของ Sika® ได้จากแถบตัวเลือกแบบดึงลง ดึงพื้นที่แรง

ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ FRP เช่น ความกว้างของ FRP ความหนาของชั้น FRP โมดูลัสยืดหยุ่น และค่าการยืดตัว (elongation) แสดงไว้ใต้แถบตัวเลือกแบบดึงลงหลังจากที่ผู้ใช้ทำการเลือกผลิตภัณฑ์ FRP

การคำนวณเสร็จสิ้นเมื่อผู้ใช้กดปุ่มรูปเครื่องคิดเลข ซึ่งซอร์ฟแวร์สามารถคำนวณจำนวนชั้นของแผ่น SikaWrap® ที่เสาคือต้องการเพื่อเสริมกำลังได้ ตัวเลือกทางด้านซ้ายคือการพิจารณาสถานะจำกัดด้านการใช้งานซึ่งค่าเริ่มต้นของซอร์ฟแวร์คือมีการพิจารณาในส่วนนี้ร่วมด้วยเสมอ ซึ่งสถานะดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการคิดผลของหน่วยแรงในวัสดุที่แตกต่างกัน (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.4.1)

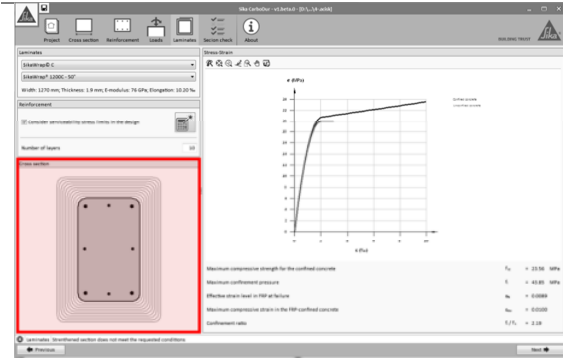
ในบางกรณี ผู้ใช้ต้องเลือกใช้เส้นใยที่มีความหนาแน่นสูง รวมถึง FRP จำนวนหลายชั้น เพื่อให้การออกแบบเสริมกำลังมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดในมาตรฐาน

คู่มือผู้ใช้
ซอร์ฟแวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08
สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika® Carbodur®
ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

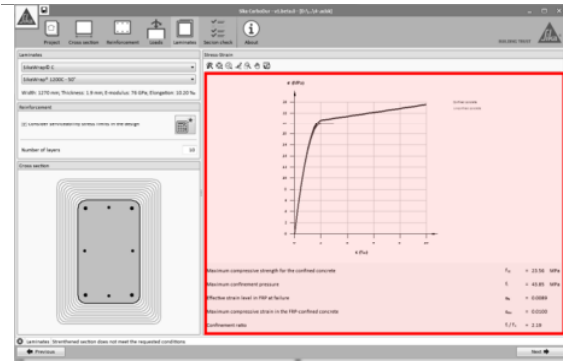
ภาษาไทย
สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย



กรณีที่ไม่มีพิจารณาภาวะจำกัดด้านการใช้งาน ส่งผลให้การคำนวณ FRP เป็นไปตามสภาวะต้านกำลัง และซอฟต์แวร์มีการแสดงข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้ถึงการไม่คิดผลของสภาวะด้านการใช้งาน

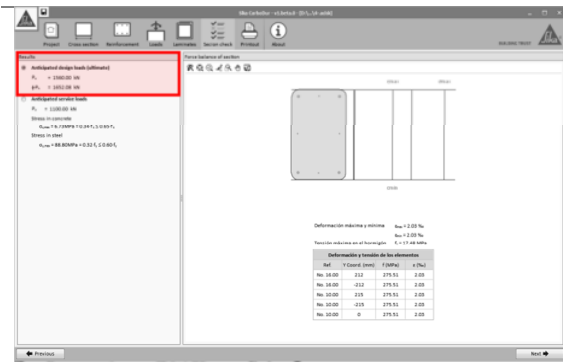


รูปในพื้นที่แรงงา แสดงจำนวนชั้นของแผ่น SikaWrap® ที่จำเป็นต่อการเสริมกำลังองค์อาคารเสา

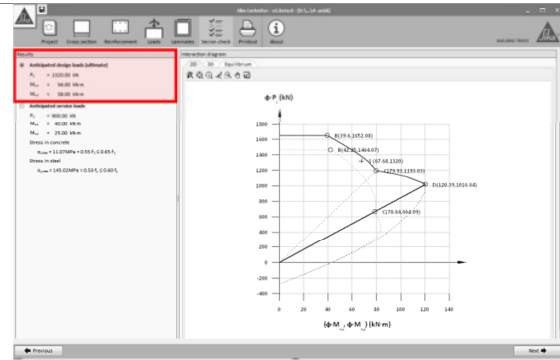


หน้าจอหลักในพื้นที่แรงงา แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตที่ไม่ถูกโอบรัดและคอนกรีตที่ถูกโอบรัด ค่าในแนวตั้งและแนวนอนคือหน่วยแรงอัดตามแนวแกนและความเครียดตามแนวแกน ตามลำดับ ค่าที่แสดงไว้ได้รูปความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด คือ รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเสริมกำลัง

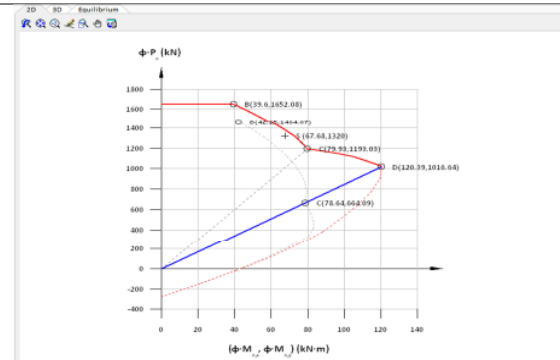
3.4.5 การตรวจสอบหน้าตัด



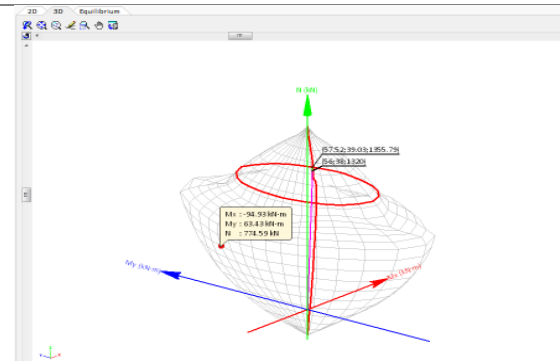
ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการเกิดหน่วยแรงและความเครียดในหน้าตัดเสา ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบรวมหรือน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานรวมได้ การกระจายหน่วยแรงและความเครียดในหน้าตัด แสดงผลในรูปแบบกราฟิกและค่าตัวเลขตั้งหน้าจอหลัก



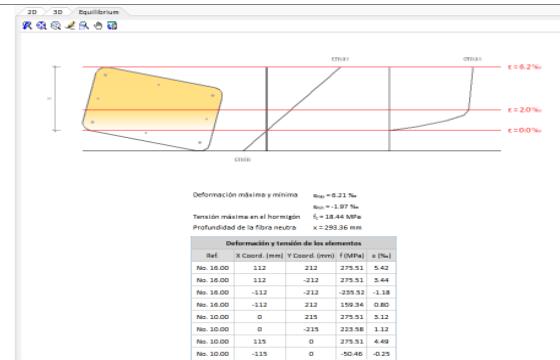
กรณีเสารับน้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัดที่มีค่าการเยื้องศูนย์ (eccentricity) มากกว่า $0.1h$ ส่งผลให้เซอร์ฟแวร์แสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเสาที่ได้รับการเสริมกำลังภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำออกแบบแทนการแสดงเส้นโค้งปฏิสัมพันธ์



แถบตัวเลือกชื่อ 2D แสดงกำลังต้านทานประลัยขององค์อาคารเสาก่อนเสริมกำลังและหลังเสริมกำลังตามเส้นประและเส้นทึบสีแดง ตามลำดับ นอกจากนี้ ตัวเลือกดังกล่าวสามารถแสดงเส้นสภาวะสมดุล (balanced condition line) ในรูปแบบเส้นทึบสีน้ำเงินและน้ำหนักบรรทุกออกแบบรวมในรูปแบบของสัญลักษณ์รูปเครื่องหมายบวกได้เช่นกัน



แถบตัวเลือกชื่อ 3D แสดงกำลังต้านทานประลัยขององค์อาคารเสาลงเสริมกำลังและพิกัดที่สอดคล้องกับสภาวะที่เกิดแรงภายในเสาเท่ากับน้ำหนักบรรทุกออกแบบรวม ผู้ใช้สามารถตรวจสอบผลของน้ำหนักบรรทุกกระทำรวมในแต่ละกรณีได้ โดยการขยับตัวชี้ไปสุดจุดยอดของพื้นผิวรูปสามมิติในแต่ละตำแหน่งรูปสามมิติที่ปรากฏ สามารถทำการหมุน ขยายรูปเข้า และส่งออกรูปเป็นรูปแบบไฟล์ทั่วไปได้



แถบตัวเลือกชื่อ "Equilibrium" แสดงการกระจายหน่วยแรงและความเครียดในหน้าตัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกออกแบบรวม

คู่มือผู้ใช้

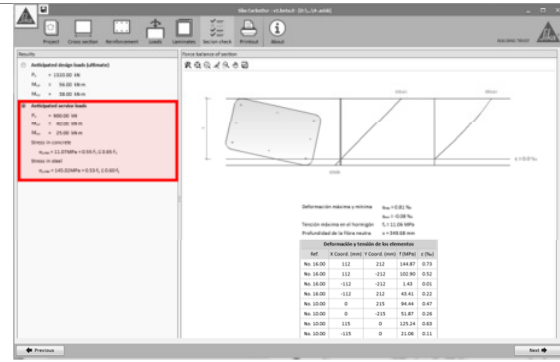
ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08

สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika® Carבודุร

ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

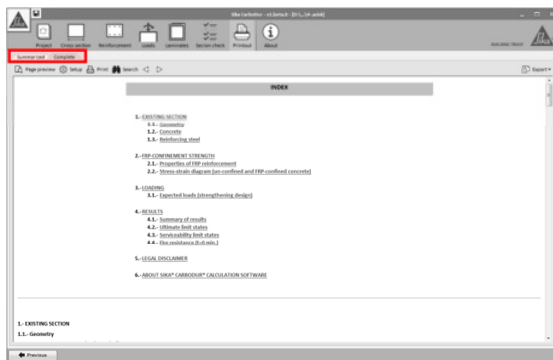
ภาษาไทย

สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย



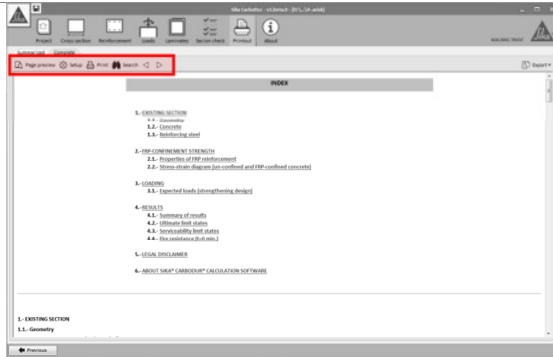
ปุ่มตัวเลือกชื่อ “Anticipated service load” ในพื้นที่แรงงา สามารถแสดงการกระจายหน่วยแรงและความเครียดขององค์อาคารเสาลงเสริมกำลังภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานได้เช่นเดียวกัน

3.4.6 การพิมพ์ผล

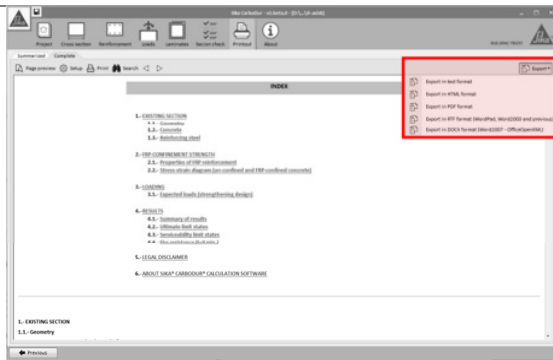


เอกสารผลวิเคราะห์ที่สามารถพิมพ์หรือส่งออกข้อมูลได้สองรูปแบบ ดังนี้

- รายการคำนวณโดยสรุป แสดงรายละเอียดของสภาวะการออกแบบเบื้องต้น น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำออกแบบ ชื่อผลิตภัณฑ์และจำนวนชั้นของ FRP ที่ต้องใช้เพื่อเสริมกำลังองค์อาคารเสา โดยสามารถดูตัวอย่างก่อนพิมพ์ได้จากแถบตัวเลือกชื่อ Summarized
- รายการคำนวณแบบสมบูรณ์ แสดงรายละเอียดการคำนวณรวมถึงสูตรออกแบบและวิเคราะห์ทั้งหมด โดยสามารถดูตัวอย่างก่อนพิมพ์ได้จากแถบตัวเลือกชื่อ Complete



ปุ่มตัวเลือกในพื้นที่แรงงา สามารถใช้ในการดูตัวอย่างก่อนพิมพ์ สิ่งพิมพ์ตั้งค่า และค้นหาข้อมูลในเอกสารผลวิเคราะห์ได้

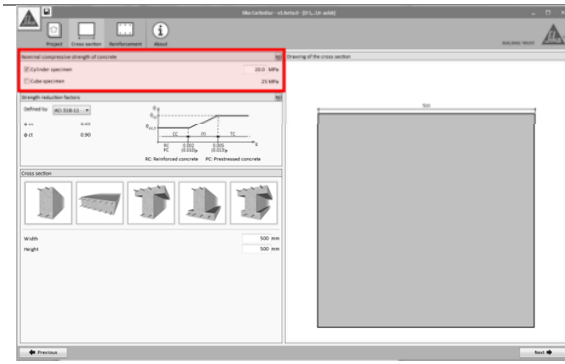


ปุ่ม Export ในพื้นที่แรงงา สามารถใช้ในการเลือกรูปแบบไฟล์ของเอกสารผลวิเคราะห์ได้ ดังนี้

- รูปแบบตัวอักษร (TXT)
- รูปแบบ PDF
- รูปแบบ DOCX
- รูปแบบ RTF
- รูปแบบ HTML

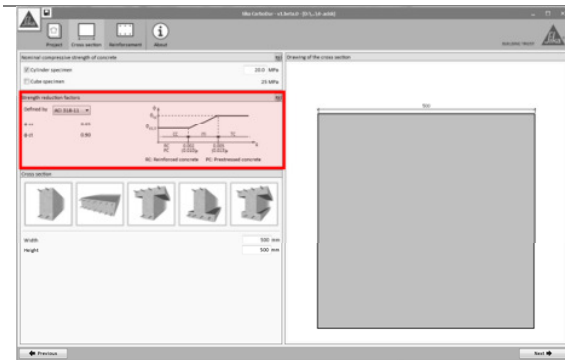
การเสริมกำลังรับแรงดัดสำหรับหน้าตัดเดี่ยว (SINGLE SECTION)

3.4.7 การป้อนข้อมูลหน้าตัด



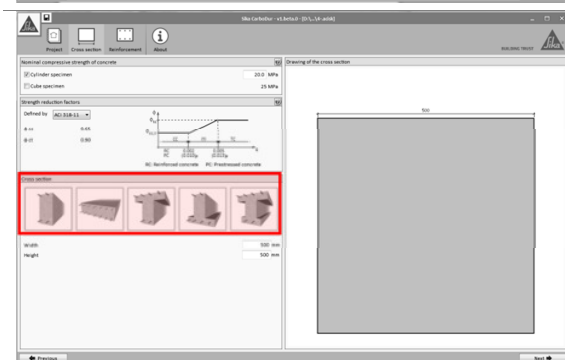
ผู้ใช้งานระบุค่า f_c' ซึ่งเป็นกำลังรับแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 318 อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถป้อนค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของลูกบาศก์คอนกรีตได้โดยการแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นกำลังรับแรงอัดประลัยเทียบเท่าของทรงกระบอกคอนกรีต ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน EN-1992-1-1

กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในเอกสารผลวิเคราะห์ที่ผู้ใช้พิมพ์จากซอฟต์แวร์ คือกำลังรับแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 318



กำลังต้านทานออกแบบขององค์อาคาร คือผลคูณระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงที่ระบุตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 และ ϕ

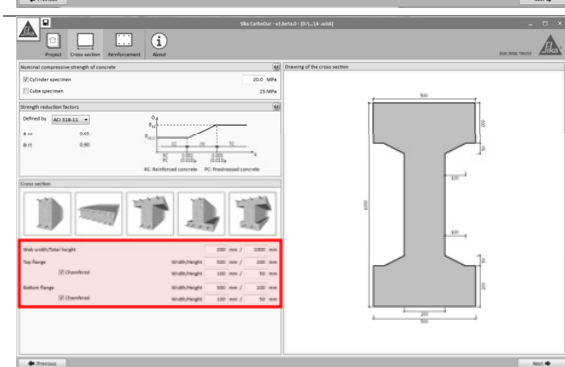
ซอฟต์แวร์นี้ใช้ตัวคูณลดสำหรับพฤติกรรมควบคุมโดยแรงอัดและพฤติกรรมควบคุมโดยแรงดึงตามมาตรฐาน ACI 318 เป็นค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณลดกำลังได้ตามความเหมาะสม



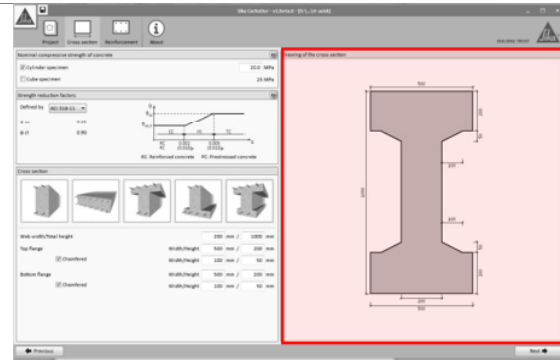
ผู้ใช้งานสามารถเลือกหน้าตัดพื้นฐานเพื่อเสริมกำลังรับแรงดัดได้ดังนี้

- คานหน้าตัดสี่เหลี่ยม
- แผ่นพื้น (slab)
- คานรูปตัวที (T-beam)
- คานรูปตัวทีกลับหัว (inverted T-beam)
- คานรูปตัวทีแบบคู่ (double T-beam)

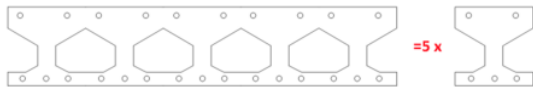
การเลือกตัวเลือก slab เพื่อออกแบบเสริมกำลังแผ่นพื้น ส่งผลให้ซอฟต์แวร์แสดงการกระจายเหล็กเสริมและแผ่น FRP ในรูปแบบของระวางแทนการแสดงผลตามปกติ



ผู้ใช้งานสามารถป้อนขนาดของหน้าตัด รวมถึงการลบมุม (chamfer) ของหน้าตัดบางรูปแบบได้ในช่องกรอกข้อมูลตั้งพื้นที่แรก

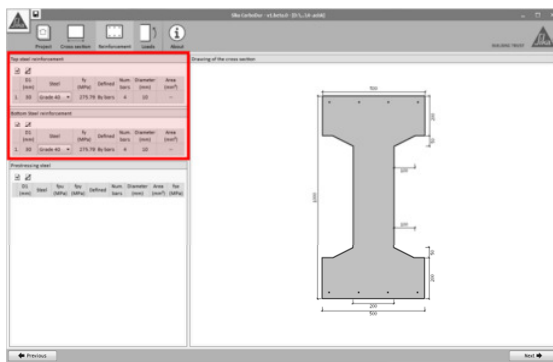


รูปหน้าตัดตามขวางที่ผู้ใช้ป้อนค่าเรียบร้อยแล้ว แสดงดังพื้นที่แรเงาในหน้าจอหลัก



หมายเหตุ: ผู้ใช้สามารถสร้างส่วนขององค์อาคารที่มีลักษณะหน้าตัดซับซ้อนได้จากการพิจารณาลักษณะเชิงเรขาคณิตของหน้าตัดตัวอย่างเหมาะสม

3.4.8 การป้อนข้อมูลเหล็กเสริม

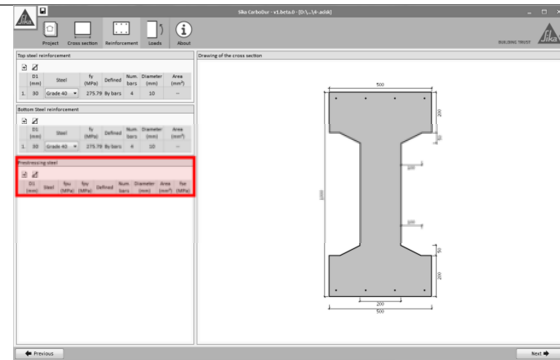


การให้รายละเอียดเหล็กเสริมบน ล่าง หรือเหล็กเสริมในแต่ละชั้น ประกอบด้วยข้อมูลป้อนเข้าดังนี้

- ระยะจากจุดศูนย์ถ่วง ไปสู่ผิวคอนกรีต
- ชั้นคุณภาพหรือกำลังครากของเหล็กเสริมที่ป้อนค่าโดยผู้ใช้
- หน้าตัดเหล็กเสริมซึ่งระบุได้จากจำนวนและเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม

ซอฟต์แวร์ไม่มีการจำกัดจำนวนชั้นของเหล็กเสริมที่ผู้ใช้สามารถป้อนค่าได้

ในกรณีของการเสริมกำลังแผ่นพื้น ให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลเหล็กเสริมในรูปแบบของระยะห่างแทนการระบุในรูปแบบตามปกติ

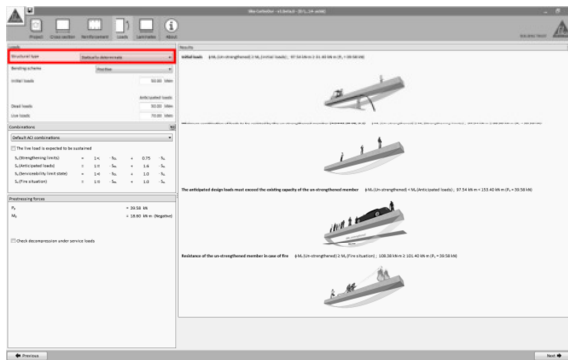


รายละเอียดของเหล็กเสริมอัดแรงแบบยึดเหนี่ยว (bonded prestressed steel) สามารถป้อนเข้าซอฟต์แวร์ได้เช่นเดียวกับเหล็กเสริมปกติ

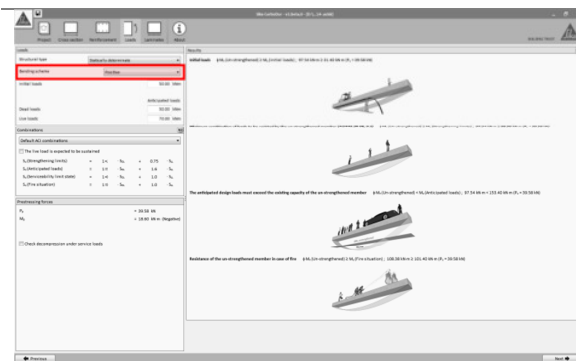
ผู้ใช้อาจตรวจสอบคุณลักษณะทางกลของเหล็กอัดแรงและระบุค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในเหล็กอัดแรงในสถานะที่เกิดโมเมนต์ดัดกระทำภายหลังการเสริมกำลัง (f_{se}) ซึ่งหาได้จากผลต่างระหว่างการอัดแรงเริ่มแรก (original prestressing stress) และหน่วยแรงผ่อนคลาย (stress relaxation) ในสถานะที่เกิดโมเมนต์ดัดกระทำภายหลังการเสริมกำลัง

3.4.9 การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก

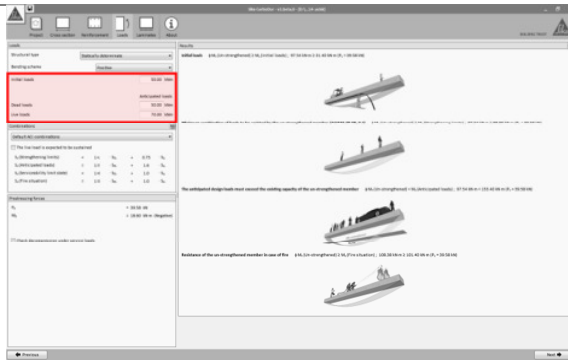
ผู้ใช้งานระบุประเภทขององค์อาคารว่าจัดอยู่ในลักษณะโครงสร้างแบบตีเทอริมีเนท (statically determinate structure) หรือโครงสร้างแบบอินดีเทอริมีเนท (statically indeterminate structure)



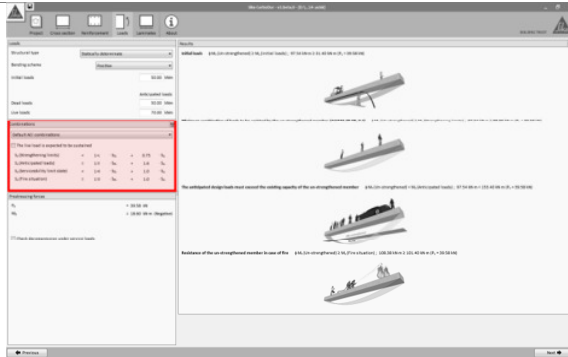
- การเลือกองค์อาคารเป็นโครงสร้างแบบตีเทอริมีเนท ส่งผลให้ซอฟต์แวร์คำนวณค่าแรงและโมเมนต์ตัดเนื่องจากการอัดแรงโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ สามารถใช้ค่าแรงที่วิเคราะห์จากระบบ Sika® CarboStress® แบบอัดแรงที่หลังเพื่อการคำนวณได้เช่นกัน
- ในการเลือกองค์อาคารเป็นโครงสร้างแบบอินดีเทอริมีเนท ส่งผลให้ผู้ใช้งานระบุแรงและโมเมนต์ตัดประสิทธิผลในหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรงด้วยตนเอง ซึ่งสามารถใช้ค่าแรงที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบการติดตั้งเสริมภายนอกหรือ NSM ได้เช่นกัน



CFRP ใช้ในการเสริมกำลังรับได้ทั้งโมเมนต์ตัดค้ำบวกและค่าลบ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกได้จากแถบตัวเลือกแบบดึงลง ดังพื้นที่แรเงา



- น้ำหนักบรรทุกเริ่มต้น สัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกที่ไม่เพิ่มค่าระหว่างการเสริมกำลัง ซึ่งค่าดังกล่าวเกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกคงที่สำหรับกรณีทั่วไป
- น้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร สัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกใช้งานที่คาดการณ์ (anticipated service load) ซึ่งสมมติค่าขึ้นจากองค์อาคารหลังเสริมกำลัง



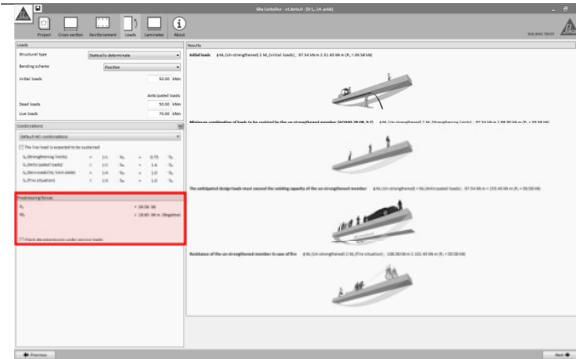
การรวมน้ำหนักบรรทุกกระทำในกรณีที่แตกต่างกัน แสดงดังพื้นที่แรเงา ซึ่งซอฟต์แวร์ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของตัวคุณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำไว้ตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

- ขีดจำกัดการเสริมกำลัง พิจารณาน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำโดยสมมติให้ CFRP เกิดความเสียหายตามหัวข้อที่ 2.2.1 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกจรกระทำในระยะยาว
- น้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงออกแบบที่คาดการณ์หลังการเสริมกำลัง
- สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน พิจารณาการรวมน้ำหนัก

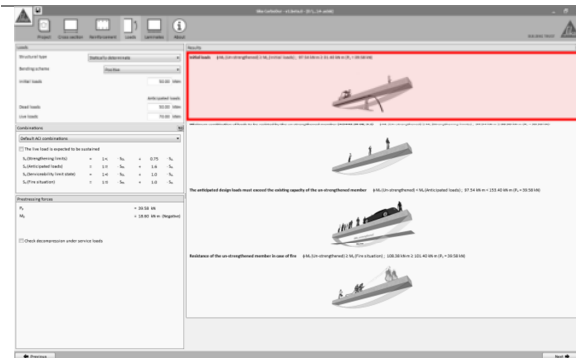
บรรทุกใช้งาน

- สถานการณ์ไฟไหม้ พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่เกิดอัคคีภัย

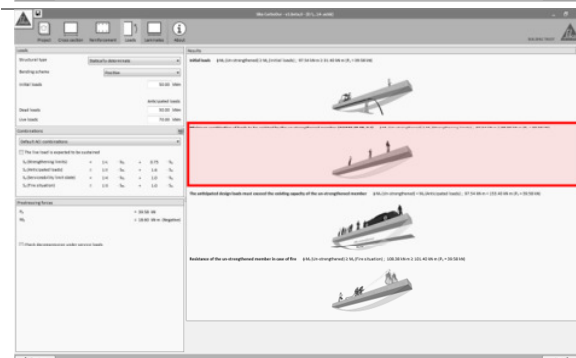
ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีได้ตามความเหมาะสม



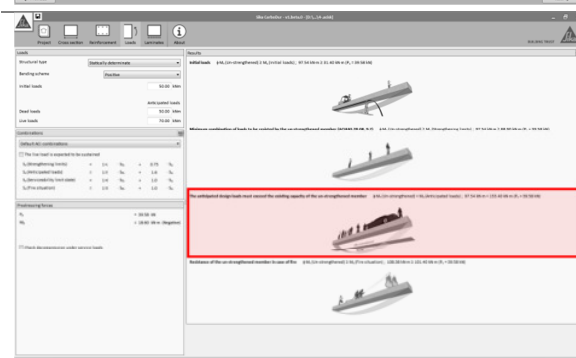
สำหรับองค์อาคารคอนกรีตอัดแรง ซอร์ฟแวร์มีการแสดงค่าน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ตัดกระทำเนื่องจากการอัดแรงไว้ตั้งพื้นที่แรงเฉื่อย และในกรณีที่ผู้ใช้วิเคราะห์โครงสร้างแบบอินทีเกรตมีเนท ต้องป้อนน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนและโมเมนต์ตัดประสิทธิภาพด้วยตนเอง



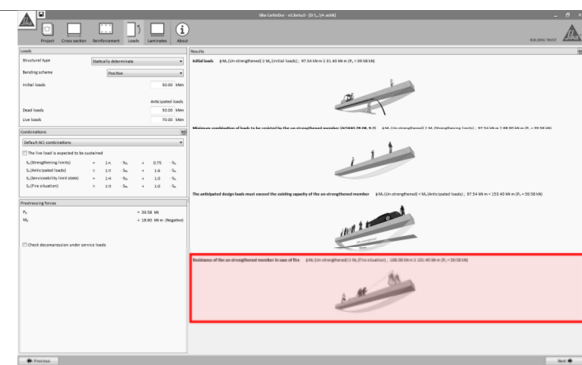
การเปรียบเทียบระหว่างกำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลังและน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีที่ผู้ใช้ป้อนค่าไว้ แสดงตั้งหน้าจอหลักพื้นที่แรงเฉื่อยแสดงค่าน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นขณะทำการเสริมกำลัง ซึ่งค่าดังกล่าวต้องน้อยกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอร์ฟแวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้



พื้นที่แรงเฉื่อยแสดงน้ำหนักบรรทุกรวมในกรณีขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.1) ซึ่งค่าดังกล่าวต้องน้อยกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอร์ฟแวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้



พื้นที่แรงเฉื่อยแสดงค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่คาดการณ์ ซึ่งค่าดังกล่าวต้องมากกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอร์ฟแวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้



พื้นที่แรงเฉือนแสดงการเปรียบเทียบระหว่างหน้าหน้าบรรทุกทุกรวมในสถานการณ์ไฟไหม้ (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.2) และกำลังต้านทานขององค์อาคารภายหลังการเสริมกำลังที่ FRP ได้รับความเสียหายจากไฟไหม้ ซึ่งซอฟต์แวร์มีการระบุไว้ในเอกสารผลวิเคราะห์ เพื่อให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการติดตั้งระบบป้องกัน FRP จากอัคคีภัย

3.4.10 การป้อนข้อมูลแผ่น FRP

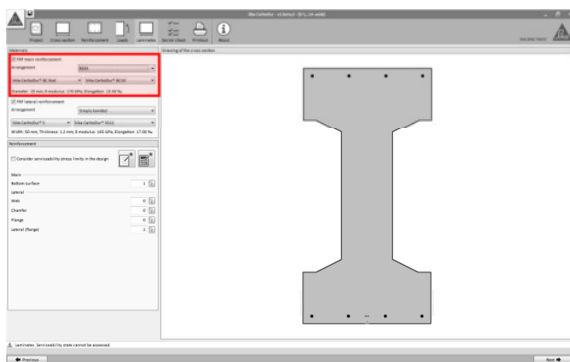
FRP เสริมเอก (main reinforcement)

ผู้ใช้ต้องเลือกของ FRP จากแถบตัวเลือกแบบตั้งลงในพื้นที่แรงเฉือน เพื่อเสริมกำลังองค์อาคารที่บริเวณรับแรงดึงด้านนอกสุด (extreme tension fiber) ซึ่งตำแหน่งดังกล่าว ตรงกับผิวล่างสุดและผิวบนสุดของหน้าตัด สำหรับกรณีของอาคารรับโมเมนต์ดัดบวกและโมเมนต์ดัดลบตามลำดับ

ในขั้นตอนแรกของการเสริมกำลัง ผู้ใช้ต้องเลือกระบบการติดตั้ง FRP โดยมีตัวเลือกดังนี้

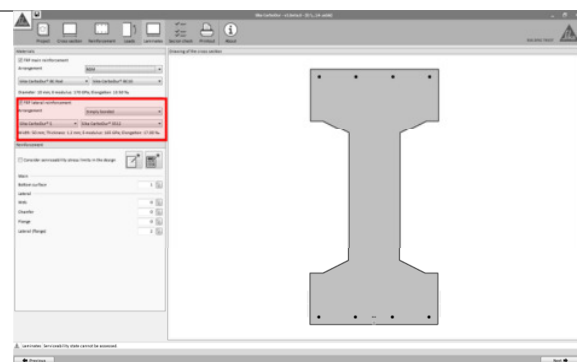
- การติดตั้งเสริมภายนอก
- NSM
- CFRP แบบอัดแรงที่หลัง ซึ่งใช้ระบบ Sika® CarboStress® ร่วมกับองค์อาคารคานโครงสร้างแบบตีเทออร์มีนเท

ภายหลังการเลือกระบบการติดตั้ง FRP ผู้ใช้สามารถกำหนดชื่อและชั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อการคำนวณในลำดับถัดไปได้

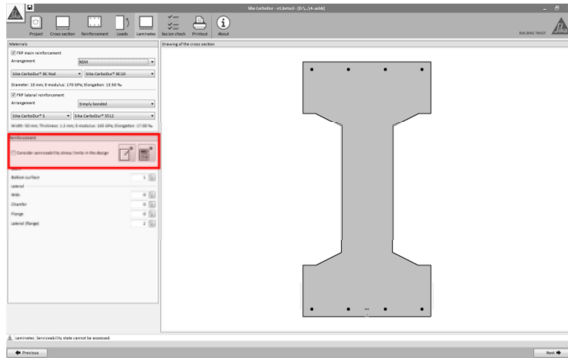


FRP เสริมทางข้าง (lateral reinforcement)

ผู้ใช้ต้องกำหนดการเสริม FRP ในตำแหน่งด้านข้างคาน เส้นรอบปิกของคาน หรือตำแหน่งอื่นนอกเหนือจากรูปแบบ FRP เสริมเอก ซึ่งใช้วิธีการป้อนค่าลงในซอฟต์แวร์เช่นเดียวกับกรณี FRP เสริมเอก

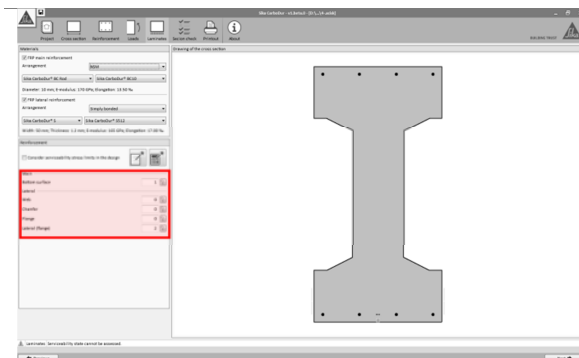


ในการคำนวณขนาดของ FRP สามารถกำหนดให้ซอฟต์แวร์พิจารณา สภาวะจำกัดด้านการใช้งานได้จากการเลือกแถบตัวเลือกในพื้นที่แรงง ซึ่งการเอาแถบตัวเลือกดังกล่าวออก ส่งผลให้ซอฟต์แวร์คำนวณตาม สภาวะกำลังแทน



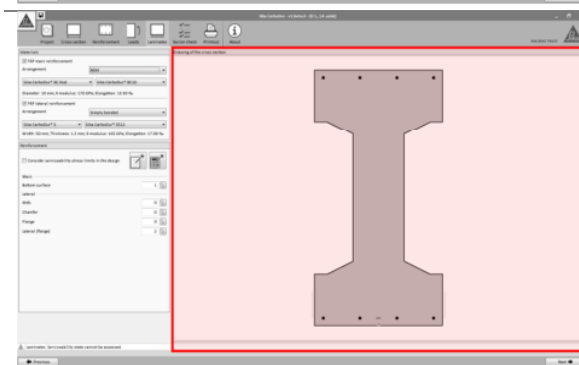
ผู้ใช้งานสามารถเลือกวิธีการคำนวณได้สามแบบ ดังนี้

- การคำนวณแบบอัตโนมัติ เลือกโดยการกดปุ่มรูปเครื่องคิดเลข ซึ่งส่งผลให้ซอฟต์แวร์ทำการคำนวณจำนวนชั้นของ CFRP ที่ต้องใช้เพื่อเสริมกำลังให้โดยอัตโนมัติ และคำนวณการเสริม FRP ทางข้างให้เช่นเดียวกันในกรณีที่ FRP เสริมเอกมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำ
- การคำนวณแบบกึ่งอัตโนมัติ เลือกโดยการกดปุ่มรูปกระดาษจดบันทึก ซึ่งส่งผลให้ซอฟต์แวร์แสดงแนวทางการเสริม FRP จำนวนหลายรูปแบบในลักษณะของแถบข้อความแจ้งเตือน เพื่อให้ผู้ใช้เลือกด้วยตนเอง โดยในแต่ละแนวทางที่ซอฟต์แวร์เสนอ มีความสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบตามมาตรฐาน



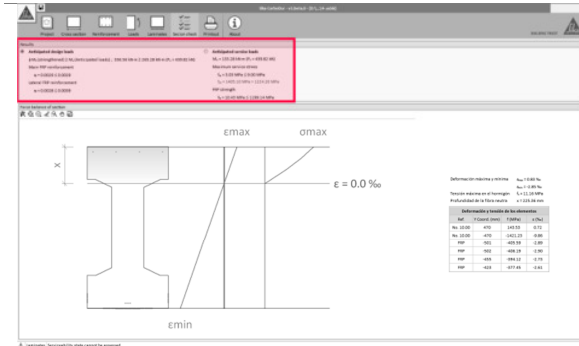
- การจัดเรียง FRP แบบกำหนดเอง ซึ่งผู้ใช้งานสามารถป้อนจำนวนชั้นของ FRP ในแถบป้อนค่าได้ด้วยตนเอง ดังพื้นที่แรงง

ปุ่มเครื่องหมายถูกที่ปรากฏอยู่ข้างแถบป้อนค่า ใช้ในการควบคุมข้อมูลที่ป้อนเข้าซอฟต์แวร์ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกวิธีการคำนวณแบบอัตโนมัติ ซึ่งสัญลักษณ์ถูกจะมีการล๊อค ส่งผลให้ซอฟต์แวร์ควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าในแถบป้อนค่าดังกล่าว

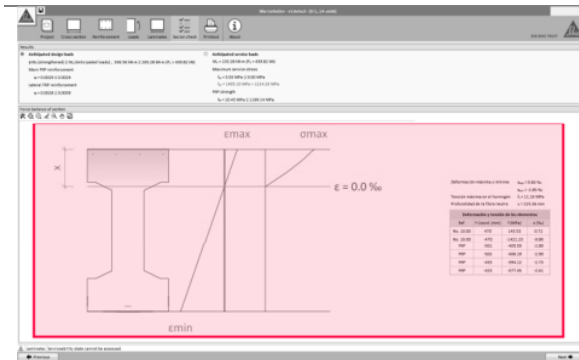


หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลแผ่น FRP ที่ผู้ใช้งานกรอกแบบเสริมกำลัง แสดงในหน้าจอหลักดังพื้นที่แรงง

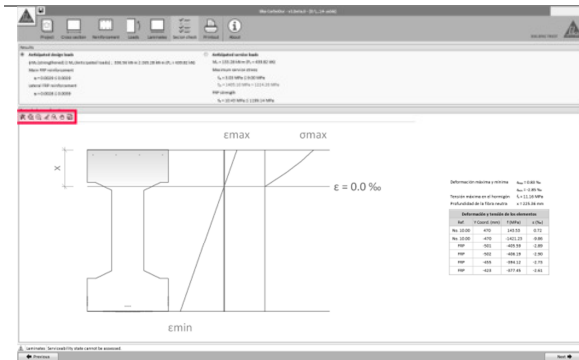
3.4.11 การตรวจสอบหน้าตัด



ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการเกิดหน่วยแรงและความเครียดในหน้าตัดคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบรวมหรือน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานรวมได้จากคำสั่งในพื้นที่นี้



การกระจายหน่วยแรงและความเครียดในหน้าตัด แสดงผลในรูปแบบกราฟิกและค่าตัวเลขตั้งหน้าจอหลัก



ผู้ใช้งานสามารถใช้แถบเครื่องมือในพื้นที่นี้ร่วมกับรูปการกระจายหน่วยแรงและความเครียดในหน้าตัดได้ เพื่อการขยายรูปเข้า ดึงรูปออก หรือส่งออกรูปเป็นรูปแบบไฟล์ทั่วไป เช่น CAD BMP EMF หรือรูปแบบอื่น

3.4.12 การพิมพ์ผลวิเคราะห์

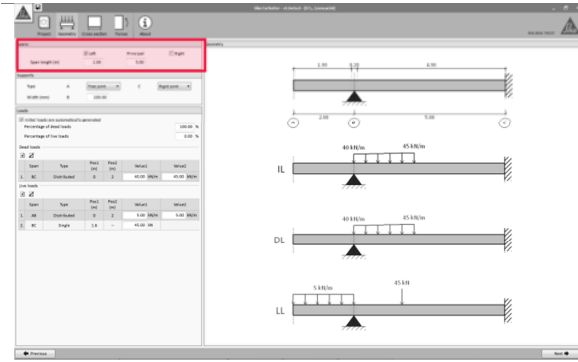
การพิมพ์ผลวิเคราะห์ เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.6.

คู่มือผู้ใช้
ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08
สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika® Carבודุร®
ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

ภาษาไทย
สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย

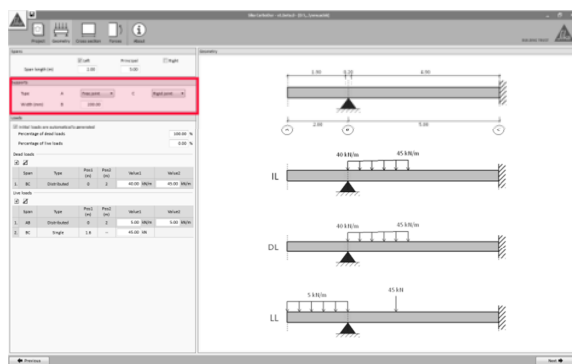
3.5 การเสริมกำลังรับแรงตัดสำหรับองค์อาคารโครงสร้าง

3.5.1 การป้อนรูปร่างขององค์อาคารโครงสร้าง



ซอฟต์แวร์สามารถวิเคราะห์โครงสร้างช่วงพาดเดี่ยว (one single span) รวมถึงกรณีที่มีหลายช่วงพาดเพื่อพิจารณาผลของน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ตัดกระทำต่อองค์อาคารโครงสร้างได้ ซึ่งซอฟต์แวร์สามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้มากที่สุดที่โครงสร้างสามช่วงพาด

ในการสร้างแบบจำลององค์อาคาร ให้ผู้ใช้ก๊อปปี้ค่าจากแถบตั้งพื้นที่แรกเพื่อระบุคุณลักษณะขององค์อาคารโครงสร้างและความยาวช่วงพาด

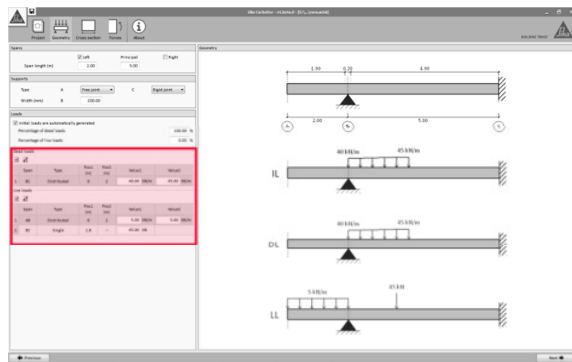


ผู้ใช้สามารถทำการเลือกลักษณะของฐานรองรับ (supports) องค์อาคารโครงสร้างได้ดังนี้

- จุดต่ออิสระ (free joint) สำหรับโครงสร้างแบบยื่น (cantilever)
- ฐานรองรับแบบยึดหมุน (hinged support)
- จุดต่อแข็งเกร็ง (rigid joint)

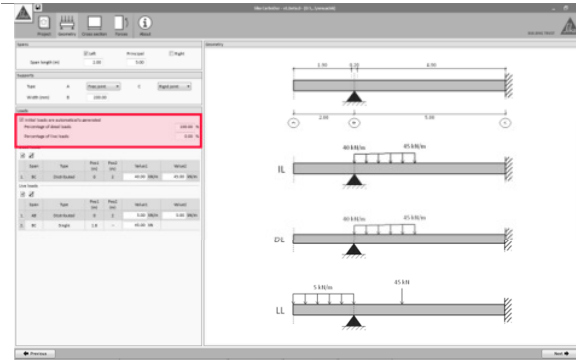
ในกรณีที่เลือกฐานรองรับแบบยึดหมุน ต้องระบุความกว้างของฐานรองรับ ซึ่งซอฟต์แวร์ใช้ค่าดังกล่าวเป็นความกว้างทั้งสองด้านของฐานรองรับ

ซอฟต์แวร์สามารถวิเคราะห์ห้องค้ำอาคารที่มีเหล็กอัดแรงรวมถึงการติดตั้งระบบ Sika® CarboStress ซึ่งเป็น CFRP แบบอัดแรงที่หลังได้เฉพาะกรณีโครงสร้างช่วงพาดเดี่ยวที่มีฐานรองรับอย่างง่าย (simply-supported)



รายละเอียดในการป้อนค่าน้ำหนักบรรทุกกระทำคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรที่ไม่ปรับค่า มีดังนี้

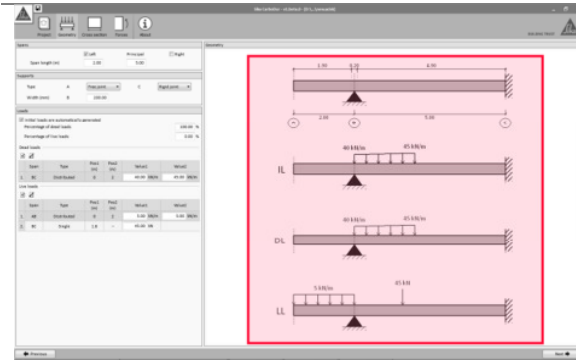
- ช่วงพาดที่รับน้ำหนักบรรทุก ซึ่งเลือกโดยผู้ใช้
- น้ำหนักบรรทุกกระจาย ซึ่งผู้ใช้สามารถป้อนได้ในรูปแบบน้ำหนักบรรทุกสม่ำเสมอ (uniform load) และน้ำหนักบรรทุกกระจายแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal distributed load) โดยการกำหนดความเข้ม (intensity) ของการกระจายน้ำหนักบรรทุกที่ปลายองค์อาคารทั้งสองฝั่ง
- น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (concentrated load) ซึ่งผู้ใช้ต้องระบุขนาดและตำแหน่งที่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำ
- โมเมนต์ตัดกระทำ ซึ่งผู้ใช้ต้องระบุขนาดและตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์ตัดกระทำ



ผู้ใช้งานระบุค่าน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นระหว่างการเสริมกำลังที่ไม่คูณเพิ่มค่าเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์โครงสร้าง

ในการระบุค่าดังกล่าว ให้ผู้ใช้ป้อนอัตราร้อยละ (percentage) ของน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรด้วยตนเอง ซึ่งเป็นแนวทางอย่างง่ายในการป้อนค่าน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้น ค่าสำหรับกรณีทั่วไปคือ อัตราร้อยละของน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 100 และ 0 ตามลำดับ

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวและการกระจายน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นได้ตามความเหมาะสม



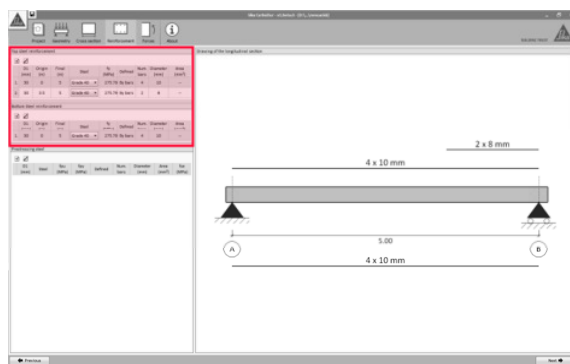
หน้าจอหลักแสดงแถบเครื่องมือที่ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อองค์อาคารโครงสร้างได้ดังนี้

- ข้อมูลเชิงเรขาคณิต (geometry)
- น้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นที่ไม่คูณเพิ่มค่า
- น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ไม่คูณเพิ่มค่า
- น้ำหนักบรรทุกจรที่ไม่คูณเพิ่มค่า

3.5.2 การป้อนข้อมูลหน้าตัดตามขวาง

การป้อนข้อมูลหน้าตัดตามขวาง เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.7.

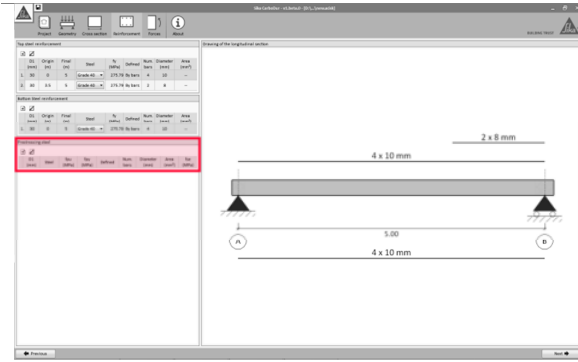
3.5.3 การป้อนข้อมูลเหล็กเสริม



การป้อนข้อมูลเหล็กเสริมตามยาวเป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.8

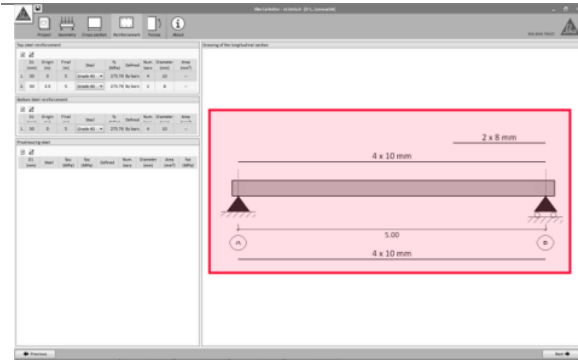
ข้อแตกต่างระหว่างการป้อนข้อมูลเหล็กเสริมเพื่อวิเคราะห์แบบหน้าตัดเดียวและแบบองค์อาคารโครงสร้าง คือผู้ใช้งานระบุตำแหน่งและระยะการเสริมเหล็กที่ใช้ขนาดเหล็กเสริมแตกต่างกัน รวมถึงชั้นคุณภาพและกำลังครากของเหล็กเสริมร่วมด้วย

รายละเอียดเหล็กเสริมที่ผู้ใช้งานระบุคือข้อมูลสำหรับช่วงพาดหลัก (principal span) ซึ่งซอฟต์แวร์ทำการคำนวณกำลังต้านทานและให้รายละเอียดการเสริม FRP เฉพาะช่วงพาดหลักเท่านั้น ผู้ใช้งานทำการวิเคราะห์แยกในกรณีที่ต้องการผลวิเคราะห์สำหรับช่วงพาดข้างเคียง



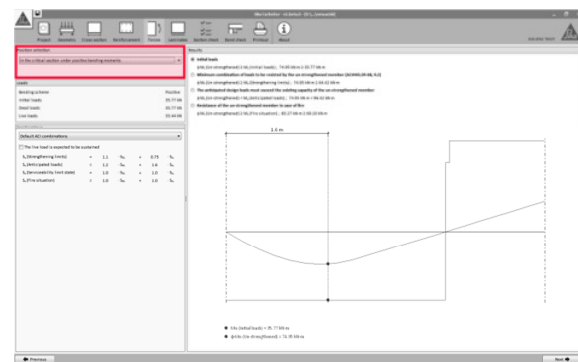
ในกรณีที่ผู้ใช้วิเคราะห์คานคอนกรีตอัดแรงช่วงพาดเดี่ยวที่มีฐานรองรับอย่างง่าย ต้องระบุค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในเหล็กอัดแรงในสภาวะที่เกิดโมเมนต์ดัดกระทำภายหลังการเสริมกำลังซึ่งหาได้จากผลต่างระหว่างการอัดแรงเริ่มแรกและหน่วยแรงผ่อนคลายในสภาวะที่เกิดโมเมนต์ดัดกระทำภายหลังการเสริมกำลัง

ซอฟต์แวร์สามารถวิเคราะห์ห้องค้ออาคารคอนกรีตอัดแรงได้เฉพาะกรณีที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงแบบยึดเหนี่ยว



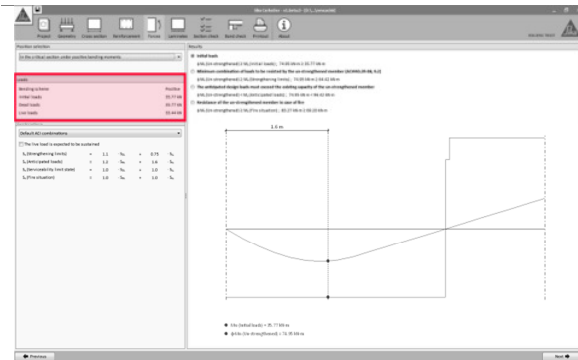
หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลการจัดเรียงเหล็กเสริมที่ผู้ใช้ป้อนค่า แสดงในหน้าจอหลังดึงพื้นที่แรเงา

3.5.4 การป้อนข้อมูลน้ำหนักบรรทุก



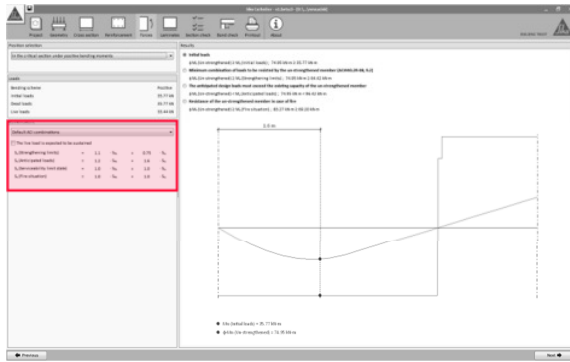
ซอฟต์แวร์คำนวณจำนวนชั้นของ FRP ที่ต้องใช้เสริมกำลังองค์อาคารจากหน้าตัดวิกฤติที่เกิดค่าโมเมนต์ดัดบวกหรือโมเมนต์ดัดลบกระทำสูงสุด

แถบตัวเลือกแบบดึงลงดังพื้นที่แรเงา มีตัวเลือกที่ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ซอฟต์แวร์คำนวณจำนวนชั้นของ FRP จากตำแหน่งขององค์อาคารที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม การคำนวณจำนวนชั้นของ FRP ที่ต้องใช้เสริมกำลังองค์อาคารจากตำแหน่งขององค์อาคารที่กำหนดด้วยตนเองอาจส่งผลให้ซอฟต์แวร์ไม่สามารถดำเนินการจัดเรียง FRP เพื่อเสริมกำลังองค์อาคารตามขั้นตอนของการตรวจสอบการยึดเหนี่ยวได้ (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 3.5.7) นอกจากนี้ ผลการออกแบบเสริมกำลังอาจให้ค่าจำนวนชั้นของ FRP ที่ต้องใช้เสริมกำลังได้ไม่เหมาะสมกับค่าโมเมนต์ดัดบวกหรือโมเมนต์ดัดลบกระทำที่หน้าตัดวิกฤติ



หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ที่ผู้ใช้ป้อนค่า แสดงดังพื้นที่แรเงา

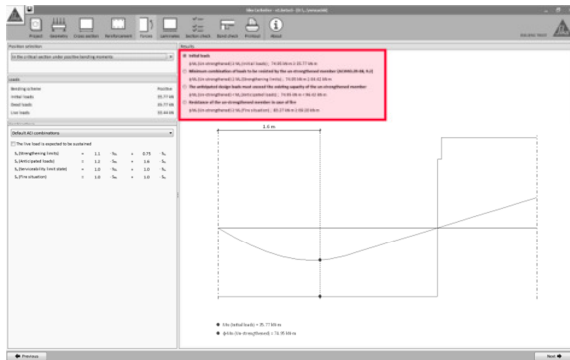
การรณมน้ำหนักบรรทุกกระทำในกรณีที่แตกต่างกัน แสดงดังพื้นที่แรเงา ซึ่งซอร์ฟแวร์ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของตัวคุณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำไว้ตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้



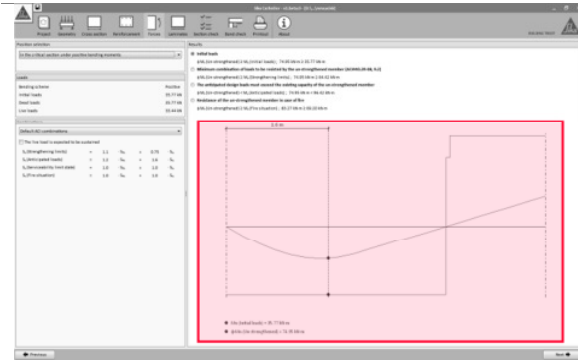
- ขีดจำกัดการเสริมกำลัง พิจารณาน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำโดยสมมติให้ CFRP เกิดความเสียหายตามหัวข้อที่ 2.1.1 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำในระยะยาว
- น้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ พิจารณาการรณมน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงออกแบบที่คาดการณ์หลังการเสริมกำลัง
- สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน พิจารณาการรณมน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
- สถานการณ์ไฟไหม้ พิจารณาการรณมน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่เกิดอัคคีภัย

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงตัวคุณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีได้ตามความเหมาะสม

การเปรียบเทียบระหว่างกำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลังและน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีที่ผู้ใช้ป้อนค่าไว้ แสดงดังหน้าจอหลัก ผู้ใช้สามารถตรวจสอบไดอะแกรมโมเมนต์ดัด (bending moment diagram) ของน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีได้จากกราฟดัดปุ่มตัวเลือกที่ปรากฏในพื้นที่แรเงา



- ตัวเลือกที่หนึ่ง แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นขณะทำการเสริมกำลัง ซึ่งค่าดังกล่าวต้องน้อยกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอร์ฟแวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้
- ตัวเลือกที่สอง แสดงน้ำหนักบรรทุกรวมในกรณีขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.1) ซึ่งค่าดังกล่าวต้องน้อยกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอร์ฟแวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้
- ตัวเลือกที่สาม แสดงค่าน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่คาดการณ์ ซึ่งค่าดังกล่าวต้องมากกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอร์ฟแวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้
- ตัวเลือกที่สี่ แสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกรวมในสถานการณ์ไฟไหม้ (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.2) และกำลังต้านทานขององค์อาคารภายหลังการเสริมกำลังที่ FRP ได้รับความเสียหายจากไฟไหม้ ซึ่งซอร์ฟแวร์มีการระบุไว้ในเอกสารผลวิเคราะห์ เพื่อให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการติดตั้งระบบป้องกัน FRP จากอัคคีภัย



ไดอะแกรมที่ปรากฏในพื้นที่แรงเฉือน แสดงการกระจายโมเมนต์ที่ตัดตามความยาวคานในแต่ละกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำตามเส้นสีเขียว ค่ากำลังต้านทานขององค์อาคารในแต่ละกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำแสดงตามเส้นสีแดง

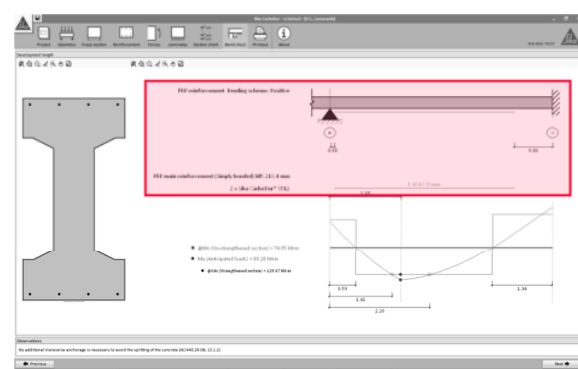
3.5.5 การป้อนข้อมูลแผ่น FRP

อ้างอิงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.10

3.5.6 การตรวจสอบหน้าตัดที่ใช้

อ้างอิงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.11

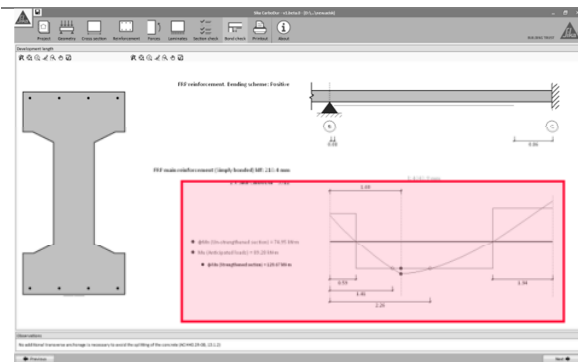
3.5.7 การตรวจสอบการยึดเหนี่ยว



ซอฟต์แวร์ทำการคำนวณจำนวนชั้นและการจัดเรียงแผ่น FRP โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ACI 440.2R-08 ในหัวข้อที่ 13.1

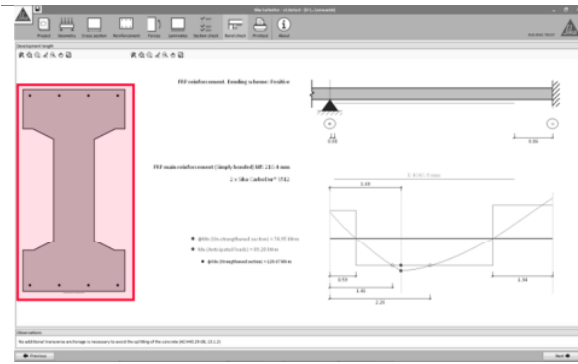
ตำแหน่งที่ต้องทำการติดตั้งแผ่น FRP รวมถึงระยะพัฒนาแรงดึง (development length) ของแผ่น FRP แสดงดังพื้นที่แรงเฉือน ซึ่งค่า l_{dF} และ l_{dB} ที่ปรากฏในผลวิเคราะห์คือระยะพัฒนาแรงดึงสำหรับกรณีติดตั้งเสริมภายนอกและ NSM ตามลำดับ

หมายเหตุ: ซอฟต์แวร์ทำการคำนวณจำนวนชั้นและการจัดเรียงแผ่น FRP เฉพาะช่วงพาดหลักเท่านั้น ซึ่งผู้ใช้ต้องทำการวิเคราะห์แยกในกรณีที่ต้องการผลวิเคราะห์สำหรับช่วงพาดข้างเคียงที่อาจต้องเสริมกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดลบหรือออกแบบการยึดฝังที่เหมาะสม

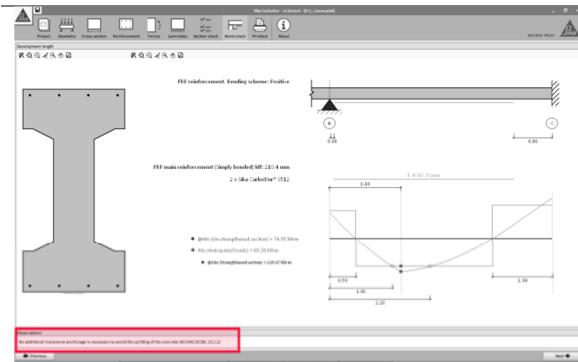


ไดอะแกรมที่ปรากฏในพื้นที่แรงเฉือน แสดงการกระจายโมเมนต์ที่ตัดตามความยาวคานในกรณีน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่ค่าการดัดและกำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง

ค่าที่ปรากฏข้างไดอะแกรมโมเมนต์ดัด คือกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคารก่อนและหลังเสริมกำลัง รวมถึงค่าโมเมนต์ดัดกระทำต่อองค์อาคาร



หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับหน้าตัดตามขวางภายหลังการเสริมกำลังที่ผู้ใช้ป้อนค่า แสดงที่ด้านซ้ายของหน้าจอหลักดังพื้นที่แรเงา



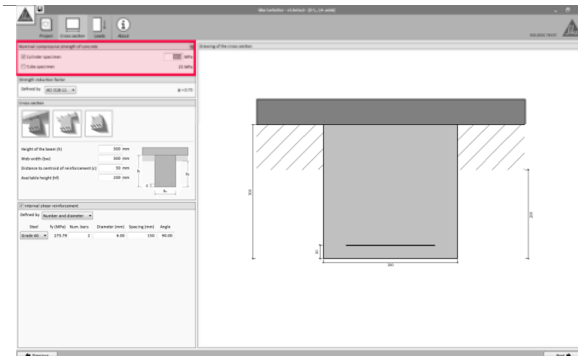
พื้นที่แรเงา แสดงการตรวจสอบการหลุดล่อนที่ปลายแผ่น FRP ตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08 ซึ่งผู้ใช้ต้องทำการยึดฝัง FRP เพื่อป้องกันการแยก (splitting) ของคอนกรีตในกรณีแรงเฉือนปรับค่า (factored shear force) ที่ตำแหน่งปลายแผ่น FRP (termination point) มีค่ามากกว่าสองในสามของกำลังต้านทานแรงเฉือนเนื่องจากคอนกรีต

3.5.8 การพิมพ์ผลวิเคราะห์

อ้างอิงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.6

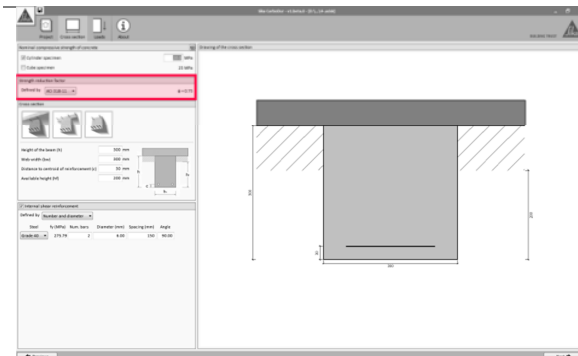
3.6 การเสริมกำลังรับแรงเฉือนสำหรับหน้าตัดเดี่ยว

3.6.1 การป้อนข้อมูลหน้าตัดตามขวาง

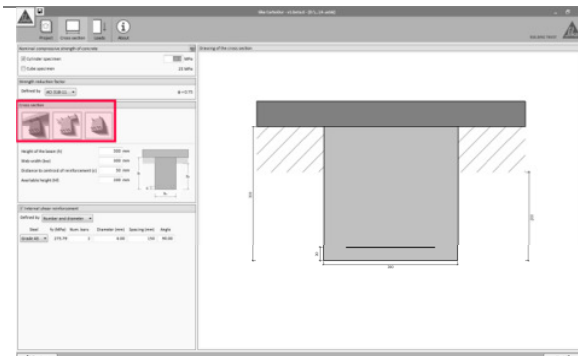


ผู้ใช้ต้องระบุค่า f'_c ซึ่งเป็นกำลังรับแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 318 อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถป้อนค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของลูกบาศก์คอนกรีตได้โดยการแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นกำลังรับแรงอัดประลัยเทียบเท่าของทรงกระบอกคอนกรีต ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน EN-1992-1-1

หมายเหตุ: กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตในเอกสารผลวิเคราะห์ที่ผู้ใช้พิมพ์จากซอฟต์แวร์ คือกำลังรับแรงอัดประลัยของทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 318

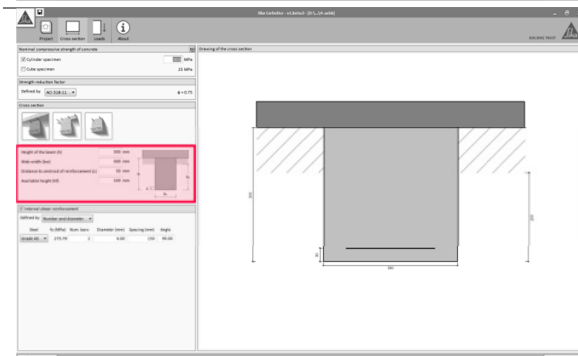


กำลังต้านทานออกแบบขององค์อาคาร คือผลคูณระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงที่ระบุตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 และ ϕ ซอฟต์แวร์นี้ใช้ตัวคูณลดสำหรับพฤติกรรมควบคุมโดยแรงอัดและพฤติกรรมควบคุมโดยแรงดึงตามมาตรฐาน ACI 318 เป็นค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณลดกำลังได้ตามความเหมาะสม

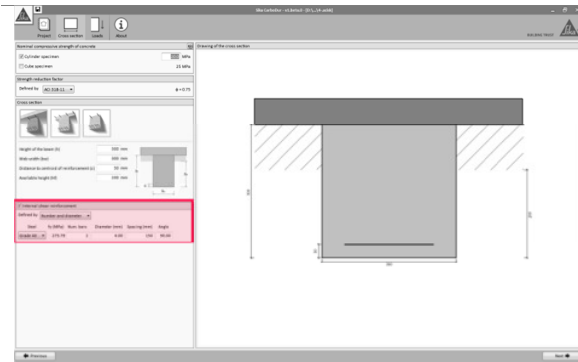


จากปุ่มที่ปรากฏในพื้นที่แรงงา ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบของหน้าตัดองค์อาคารได้ดังนี้

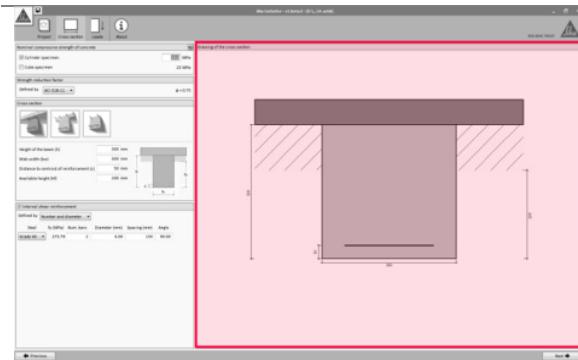
- คานหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ไม่ได้หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแผ่นพื้น
- คานรูปตัวทีหรือคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแผ่นพื้น
- คานหน้าตัดสี่เหลี่ยม



ผู้ใช้สามารถป้อนขนาดของหน้าตัดคานได้ในแถบป้อนค่าที่ปรากฏในพื้นที่แรงงา อย่างไรก็ตาม ซอฟต์แวร์อาจจำกัดความสูงของแผ่น FRP ที่เสริมกำลังเนื่องจากแผ่นพื้นเหนือคานหรือปีกของคานรูปตัวที

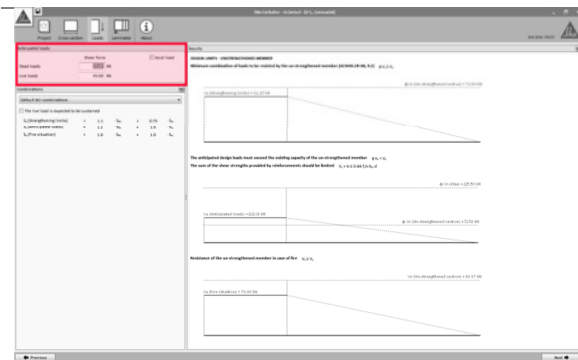


ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลการจัดเรียงเหล็กปลอกได้จากพื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอก หรือระบุโดยจำนวนขานเหล็กปลอกร่วมกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก



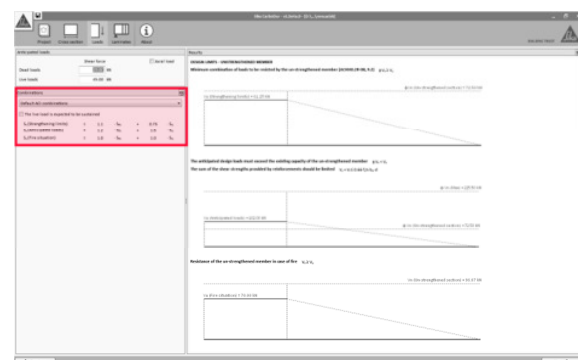
หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลหน้าตัดตามขวางที่ผู้ใช้ป้อนค่า แสดงในหน้าจอหลักดังพื้นที่แรเงา

3.6.2 การป้อนข้อมูลหน้าหน้ากรทุก



ผู้ใช้สามารถป้อนค่าหน้าหน้ากรทุกที่ไม่ปรับค่าได้ในแถบป้อนค่าดังพื้นที่แรเงา

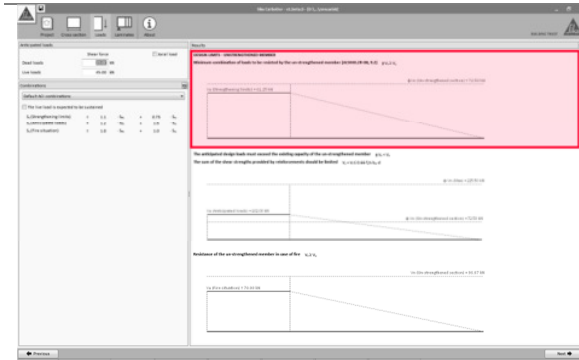
นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถป้อนหน้าหน้ากรทุกตามแนวแกนเพื่อคำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนได้ในกรณีที่ต้องวิเคราะห์เสาน้ำตดสี่เหลี่ยมหรือคานคอนกรีตอัดแรง



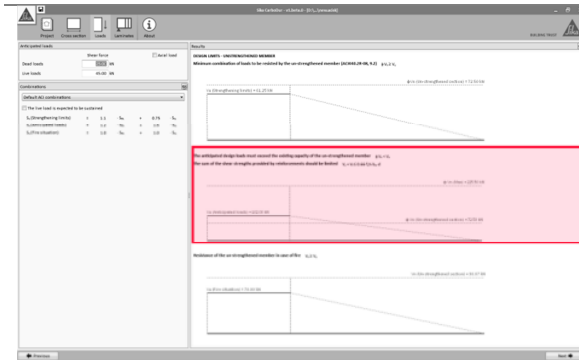
การรวมหน้าหน้ากรทุกกระทำในกรณีที่แตกต่างกัน แสดงดังพื้นที่แรเงา ซึ่งซอฟต์แวร์ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของตัวคูณเพิ่มหน้าหน้ากรทุกกระทำไว้ตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

- ซีดจำกัดการเสริมกำลัง พิจารณาน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำโดยสมมติให้ CFRP เกิดความเสียหายตามหัวข้อที่ 2.1.1 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำในระยะยาว
- น้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงออกแบบที่คาดการณ์หลังการเสริมกำลัง
- สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
- สถานการณ์ไฟไหม้ พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่เกิดอัคคีภัย

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกในแต่ละกรณีได้ตามความเหมาะสม

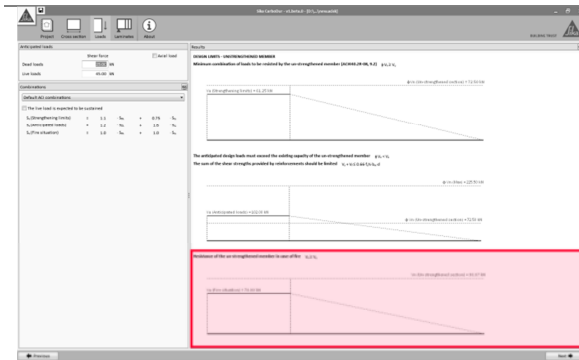


พื้นที่แรงแสดงน้ำหนักบรรทุกรวมในกรณีขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.1) ซึ่งค่าดังกล่าวต้องน้อยกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอฟต์แวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้



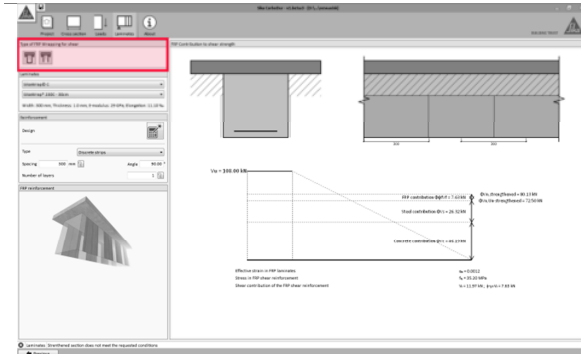
พื้นที่แรงแสดงการตรวจสอบดังนี้

- น้ำหนักบรรทุกออกแบบที่คาดการณ์ ซึ่งค่าดังกล่าวต้องมากกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอฟต์แวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้
- การตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากเหล็กปลอกร่วมกับ FRP (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.3.1)



พื้นที่แรงแสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกรวมในสถานการณ์ไฟไหม้ (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.2) และกำลังต้านทานขององค์อาคารภายหลังการเสริมกำลังที่ FRP ได้รับความเสียหายจากไฟไหม้ ซึ่งซอฟต์แวร์มีการระบุไว้ในเอกสารผลวิเคราะห์ เพื่อให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการติดตั้งระบบป้องกัน FRP จากอัคคีภัย

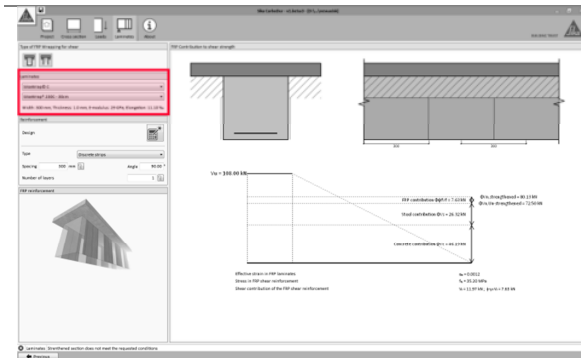
3.6.3 การป้อนข้อมูลแผ่น FRP



ปุ่มตัวเลือกที่ปรากฏในพื้นที่แรกๆ แสดงรูปแบบการใช้ FRP เพื่อเสริมกำลังรับแรงเฉือน (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.3) ซึ่งผู้ใช้ต้องระบุก่อนดำเนินการคำนวณในขั้นตอนถัดไป

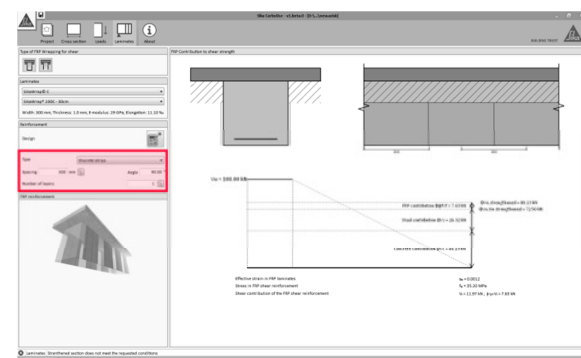
ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการห่อ FRP ได้ดังนี้

- การพันรอบ ใช้ได้เฉพาะในกรณีคานหน้าตัดสี่เหลี่ยม
- ห่อแบบรูปตัว V
- ห่อแบบสองด้าน



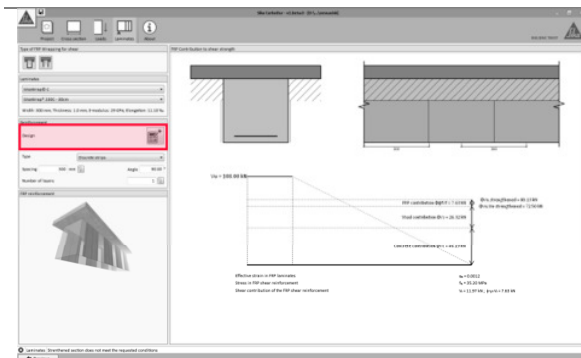
ผู้ใช้สามารถเลือกผลิตภัณฑ์ FRP ของ Sika[®] ได้จากแถบตัวเลือกแบบดิ่งลง ดังพื้นที่แรกๆ

อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ FRP ในบางรุ่น มีการจำกัดรูปแบบการเสริม FRP ซึ่งผู้ใช้ต้องตรวจสอบข้อมูลกับ Sika[®] ร่วมด้วย



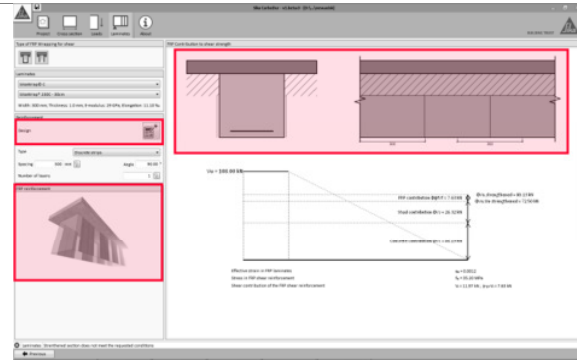
นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถระบุการจัดเรียง FRP ด้วยตนเองได้ดังนี้

- รูปแบบของแถบ FRP (strip configuration) โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้สองรูปแบบคือ ห่อหุ้มต่อเนื่อง (continuous wrapping) หรือเสริมมองค้อการบางส่วนด้วยแถบ FRP (discrete strips)
- ระยะเรียง (center-to-center spacing) ของแถบ FRP ซึ่งมีค่าไม่เกินผลบวกระหว่าง $d/4$ และความกว้างของแถบ FRP
- จำนวนชั้นของ FRP
- มุมเอียงของแถบ FRP ระบุเฉพาะกรณีห่อแบบสองด้าน



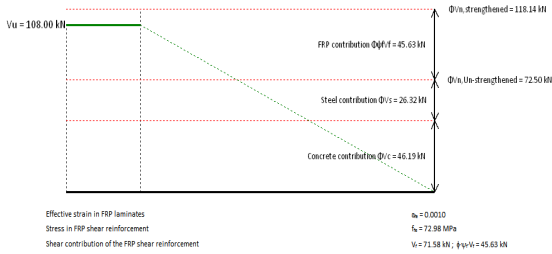
การกดปุ่มรูปเครื่องคิดเลข ส่งผลให้ซอฟต์แวร์ใช้ข้อมูลรูปแบบการห่อ FRP ประเภทของแผ่น FRP และรูปแบบของแถบ FRP เพื่อทำการจัดเรียง FRP ที่ต้องใช้เพื่อเสริมกำลังให้โดยอัตโนมัติ

ปุ่มเครื่องหมายถูกที่ปรากฏอยู่ข้างแถบป้อนค่า ใช้ในการควบคุมข้อมูลที่ซอฟต์แวร์ดำเนินการจัดเรียง FRP ไว้ หรือสำหรับกรณีที่ใช้ป้อนค่าด้วยตนเอง ซึ่งสัญลักษณ์ถูกแจที่มีการล็อก ส่งผลให้ซอฟต์แวร์ควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าในแถบป้อนค่าดังกล่าว



ซอฟต์แวร์สามารถแสดงผลการจัดเรียง FRP ได้สองรูปแบบ ดังนี้

- รูปแบบสามมิติ ตั้งพื้นที่แรงทางด้านซ้าย
- รูปแบบสองมิติ ตั้งพื้นที่แรงในหน้าจอกหลัก



จากผลวิเคราะห์ในข้างต้น ซอฟต์แวร์สามารถแสดงกำลังต้านทานแรงเฉือนได้สามส่วนคือ กำลังต้านทานแรงเฉือนเนื่องจากคอนกรีต เหล็กปลอก และ FRP

นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ได้แสดงข้อมูลเพิ่มเติม ประกอบด้วยกำลังต้านทานรวมก่อนเสริมกำลัง กำลังต้านทานรวมหลังเสริมกำลัง (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.3) และน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่คาดการณ์

3.6.4 การพิมพ์ผลวิเคราะห์

อ้างอิงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.6

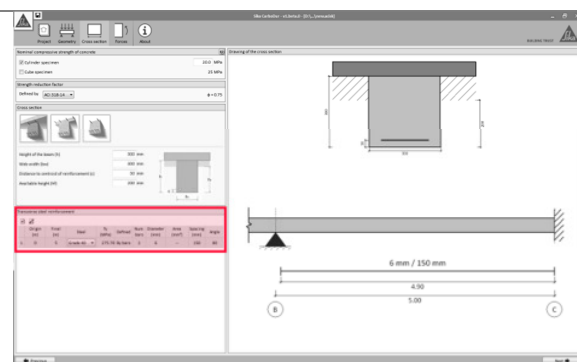
3.7 การเสริมกำลังรับแรงเฉือนสำหรับองค์อาคารโครงสร้าง

3.7.1 การป้อนรูปร่างขององค์อาคารโครงสร้าง

อ้างอิงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.5.1

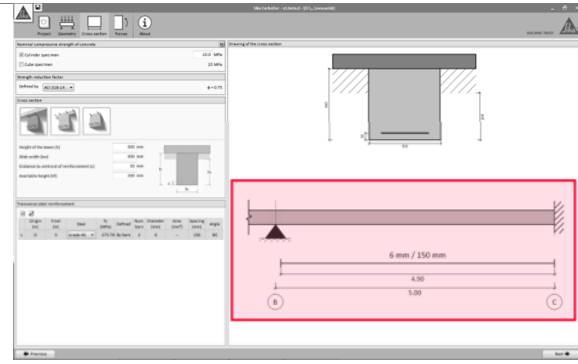
3.7.2 การป้อนข้อมูลหน้าตัด

การป้อนข้อมูลหน้าตัด เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.6.1 และมีข้อพิจารณาเพิ่มเติม ดังนี้



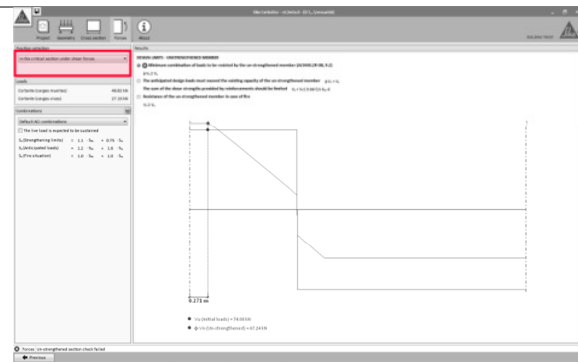
จากแถบป้อนค่าและตั้งค่าในพื้นที่แรง ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลการเสริมเหล็กปลอกได้ดังนี้

- ตำแหน่งที่มีการเสริมเหล็กปลอก
- ชั้นคุณภาพของเหล็กปลอก
- เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- ระยะเรียงเหล็กปลอก
- มุมเอียงของเหล็กปลอก



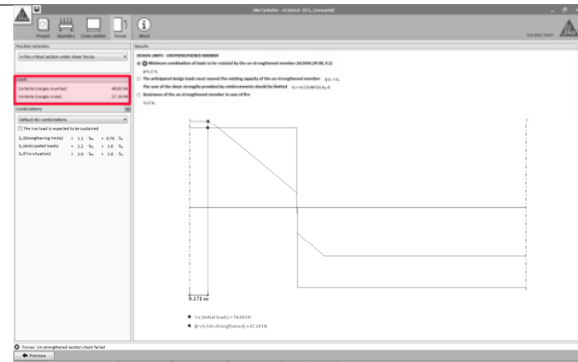
หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลการจัดเรียงเหล็กปลอกและข้อมูลเชิงเรขาคณิตที่ผู้ใช้ป้อนค่า แสดงในหน้าจอหลักดังพื้นที่แรเงา

3.7.3 แรงเฉือน

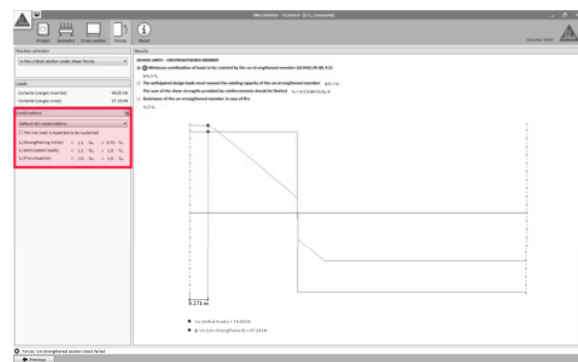


ซอฟต์แวร์ทำการจัดเรียง FRP ที่ต้องใช้เสริมกำลังองค์อาคารจากหน้าตัดวิกฤติที่เกิดค่าแรงเฉือนสูงสุด

แถบตัวเลือกแบบดึงลงดังพื้นที่แรเงา มีตัวเลือกที่ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ซอฟต์แวร์ทำการจัดเรียง FRP จากตำแหน่งขององค์อาคารที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม การจัดเรียง FRP ที่ต้องใช้เสริมกำลังองค์อาคารจากตำแหน่งขององค์อาคารที่กำหนดด้วยตนเองอาจส่งผลให้การจัดเรียง FRP ที่ไม่เหมาะสมกับค่าแรงเฉือนกระทำที่หน้าตัดวิกฤติ



หลังจากใส่ข้อมูลในข้างต้นเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลที่เกี่ยวกับกับน้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ที่ผู้ใช้ป้อนค่า แสดงดังพื้นที่แรเงา

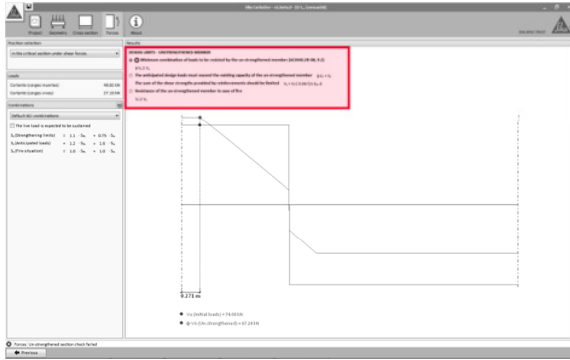


การรวมน้ำหนักบรรทุกกระทำในกรณีที่แตกต่างกัน แสดงดังพื้นที่แรเงา ซึ่งซอฟต์แวร์ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำไว้ตามมาตรฐาน ACI 318 และ ACI 440.2R-08 โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

- ขีดจำกัดการเสริมกำลัง พิจารณาน้ำหนักบรรทุกขั้นต่ำโดยสมมติให้ CFRP เกิดความเสียหายตามหัวข้อที่ 2.1.1 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกกระทำในระยะยาว
- น้ำหนักบรรทุกที่คาดการณ์ พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงออกแบบที่คาดการณ์หลังการเสริมกำลัง
- สถานการณ์ไฟไหม้ พิจารณาการรวมน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่เกิดอัคคีภัย

ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีได้ตามความเหมาะสม

การเปรียบเทียบระหว่างกำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลังและน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีที่ใช้ป้อนค่าไว้ แสดงตั้งหน้าจอหลัก ผู้ใช้สามารถตรวจสอบไดอะแกรมแรงเฉือน (shearing force diagram) ของน้ำหนักบรรทุกในแต่ละกรณีได้จากการกดปุ่มตัวเลือกที่ปรากฏในพื้นที่แรงเฉือน

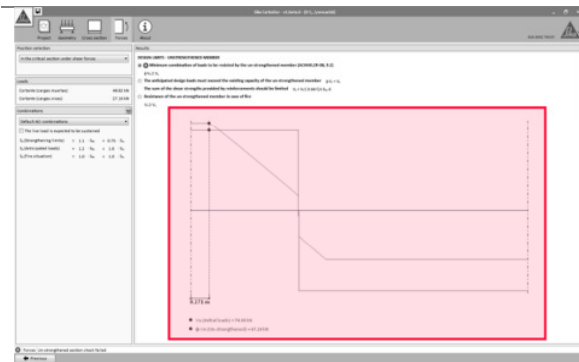


ตัวเลือกที่หนึ่ง แสดงน้ำหนักบรรทุกรวมในกรณีขีดจำกัดการเสริมกำลัง (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.1) ซึ่งค่าดังกล่าวต้องน้อยกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอฟต์แวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้

ตัวเลือกที่สอง แสดงการตรวจสอบดังนี้

- น้ำหนักบรรทุกออกแบบที่คาดการณ์ ซึ่งค่าดังกล่าวต้องมากกว่ากำลังต้านทานขององค์อาคารที่ไม่เสริมกำลัง เพื่อให้ซอฟต์แวร์สามารถดำเนินการคำนวณในลำดับถัดไปได้
- การตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากเหล็กปลอกร่วมกับ FRP (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.3.1)

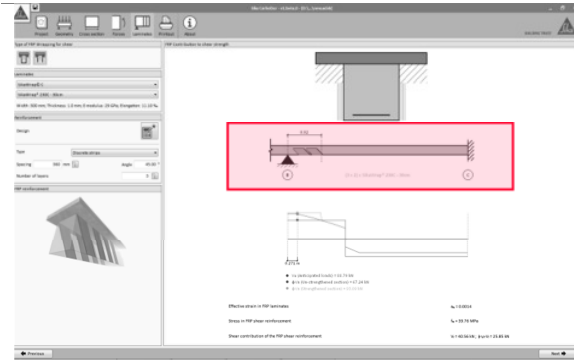
ตัวเลือกที่สาม แสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักบรรทุกรวมในสถานการณ์ไฟไหม้ (อ่านเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.1.2) และกำลังต้านทานขององค์อาคารภายหลังการเสริมกำลังที่ FRP ได้รับความเสียหายจากไฟไหม้ ซึ่งซอฟต์แวร์มีการระบุไว้ในเอกสารผลวิเคราะห์ เพื่อให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการติดตั้งระบบป้องกัน FRP จากอัคคีภัย



ไดอะแกรมที่ปรากฏในพื้นที่แรงเฉือน แสดงการกระจายแรงเฉือนตามความยาวคานในแต่ละกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำตามเส้นสีเขียว ค่ากำลังต้านทานขององค์อาคารในแต่ละกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำแสดงตามเส้นสีแดง

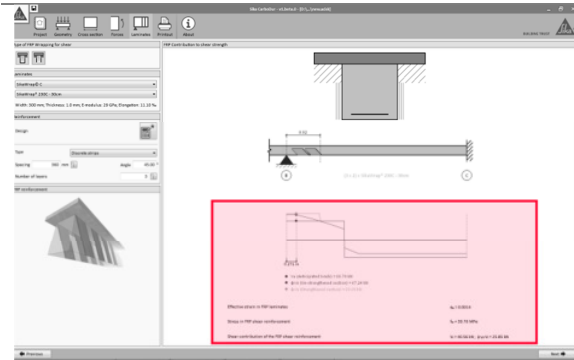
3.7.4 การป้อนข้อมูลแผ่น FRP

การป้อนข้อมูลแผ่น FRP เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.6.3 และมีข้อพิจารณาเพิ่มเติมดังนี้



ซอฟต์แวร์ทำการจัดเรียง FRP จากข้อมูลน้ำหนักบรรทุกกระทำที่คาดการณ์และกำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารก่อนเสริมกำลังที่ผู้ใช้ป้อนค่าไว้

รูปแบบของแถบ FRP และตำแหน่งที่ต้องทำการติดตั้ง FRP แสดงดังพื้นที่แรเงา



จากผลวิเคราะห์ในข้างต้น ซอฟต์แวร์สามารถแสดงข้อมูลได้สามส่วนคือ กำลังต้านทานรวมก่อนเสริมกำลัง กำลังต้านทานรวมหลังเสริมกำลัง และน้ำหนักบรรทุกออกแบบที่คาดการณ์

3.7.5 การพิมพ์ผลวิเคราะห์

อ้างอิงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.6

คำอธิบายทางกฎหมาย

ซอฟต์แวร์นี้ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมายลิขสิทธิ์และสนธิสัญญาสิทธิระหว่างประเทศ ถือเป็นซอฟต์แวร์ที่มีลิขสิทธิ์และไม่มีการจัดจำหน่าย ผู้ใช้ซอฟต์แวร์นี้ (หมายรวมถึงผู้ใช้ผลวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์) ต้องมีความรู้และความเชี่ยวชาญทางทฤษฎีการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้พอลิเมอร์เสริมเส้นใย และผู้ใช้ต้องพิสูจน์ความถูกต้องของผลวิเคราะห์ก่อนนำไปใช้งาน โดยใช้วิธีตรวจสอบอื่นที่เป็นอิสระต่อระเบียบวิธีคำนวณของซอฟต์แวร์ ทั้งนี้ ผู้ใช้ต้องคำนึงถึงสถานะของสถานที่ตั้งโครงสร้าง ลักษณะการใช้งาน ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ข้อแนะนำทางเทคนิค รวมถึงมาตรฐานการเสริมกำลังโดยใช้พอลิเมอร์เสริมเส้นใย

Sika® ไม่รับประกันความถูกต้อง ความน่าเชื่อถือ ความสมบูรณ์ ความต้องการของตลาด รวมถึงความเหมาะสมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้ซอฟต์แวร์และผลวิเคราะห์ที่ได้จากซอฟต์แวร์

Sika® ไม่ขอรับผิดชอบต่อผลกระทบ บทลงโทษ อุบัติเหตุค่าปรับ หรือความเสียหาย (หมายรวมถึงการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและผลประกอบการของผู้ใช้) ที่เกิดขึ้นจากการใช้ซอฟต์แวร์และผลวิเคราะห์ที่ได้จากซอฟต์แวร์

ข้อมูลทางเทคนิคจากทาง Sika® ที่เกี่ยวข้องการใช้งานและการสันอายุของผลิตภัณฑ์เสริมกำลังโครงสร้าง จัดเป็นข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้ในกรณีที่มีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไว้ในสภาพที่เหมาะสมตามคำแนะนำของ Sika® ซึ่งในทางปฏิบัติ ความแตกต่างของวัสดุ สารเคมี และสภาพจริงของสถานที่ตั้งโครงสร้างผู้ใช้ต้องนำผลิตภัณฑ์ของ Sika® มาทำการทดสอบความเหมาะสมเพื่อให้พร้อมใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ โดย Sika® ขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อแนะนำ และจัดให้ผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่าย เป็นไปตามเงื่อนไขการขายและการจัดส่งในปัจจุบันของ Sika® ผู้ใช้ต้องอ้างอิงข้อมูลผลิตภัณฑ์ตามรายการสินค้าที่ปรับปรุงล่าสุด

หมายเหตุในข้างต้นมีการควบคุมขยหายความ และบังคับใช้ตามข้อกำหนดของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ยกเว้นส่วนที่ไม่ใช่ข้อกำหนดในเรื่องความขัดแย้งทางกฎหมายซึ่งจัดให้มีการอภิปรายข้อกำหนดได้เฉพาะที่ศาลเมืองซูริก ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

นโยบายความเป็นส่วนตัว

ซอฟต์แวร์นี้จัดเก็บและส่งข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ไปสู่อ Sika® เมื่อมีการเปิดใช้งานเป็นครั้งแรก การปรับซอฟต์แวร์ให้เป็นรุ่นปัจจุบัน และการเปลี่ยนข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้

Sika® ใช้ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้เพื่อการออกใบอนุญาตให้ซอฟต์แวร์เท่านั้น และในบางกรณี Sika® อาจใช้ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้เพื่อส่งข่าวสารการปรับซอฟต์แวร์ให้เป็นรุ่นปัจจุบันหรือสำรวจความเห็นของผู้ใช้เพื่อการปรับปรุงซอฟต์แวร์ในอนาคต

Sika® เคารพและปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขและเพิ่มเติมข้อมูลส่วนบุคคลได้ตลอดเวลา และ Sika® มีการล้างข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ในกรณีที่บรรลุวัตถุประสงค์ในการประมวลผลข้อมูลดังกล่าว

Sika® Sikadur® CarboDur® และ SikaWrap® เป็นเครื่องหมายการค้าของ Sika AG

ผลิตภัณฑ์อื่นและชื่อตราผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องอาจเป็นเครื่องหมายการค้าของเจ้าของเดียวกัน

สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ.2556 โดย Sika Services AG

Sika (Thailand) Limited
TM Refurbishment

Version given by
Ranongthanee Rataporn
Phone: +6681 945 0100

Email: rataporn.r@th.sika.com

คู่มือผู้ใช้
ซอฟต์แวร์ช่วยคำนวณตามมาตรฐาน ACI 440.2R-08
สำหรับผลิตภัณฑ์ Sika® CarboDur®
ธันวาคม 2558, รุ่น 2.0

ภาษาไทย
สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย