

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีใหม่ๆ

การเสริมกำลังโครงสร้างด้วยระบบ Carbo Stress

เรียบเรียงจากบทความเรื่อง “Strengthening of Structures with CarboStress

System” โดย F.Fischli ,R.Cle’nin, A. De Silva และ P.Chaem- mangkang” จาก

Asia-Pacific Conference on FRP in Structures(APFIS 2007) 2007 International Institute for FRP in Construction

ในปัจจุบันมีโครงสร้างที่สร้างเสร็จแล้วและใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง เป็นจำนวนมาก โครงสร้างเหล่านี้อาจแตกต่างกันทั้งในด้านลักษณะ ขนาด อายุ และ สภาพการใช้งาน บ่อยครั้งที่เจ้าของโครงสร้างอาจมีความจำเป็นต้องเสริมกำลังเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงการใช้งานที่ต่างไปจากที่ออกแบบไว้เดิม หรือจำเป็นต้องเสริมกำลังอาคารเก่าที่เสื่อมสภาพไปให้มีขีดความสามารถตามที่ ออกแบบไว้ และเทคโนโลยีในการก่อสร้างที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันทั้งทางด้านวัสดุ และเทคนิคการทำงาน ทำให้ผู้ใช้มีทางเลือกที่จะรองรับความต้องการมากขึ้น CarboStress ก็เป็นหนึ่งในคำตอบเหล่านั้น

เทคนิคในการเสริมกำลังโครงสร้างอาจแบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือระบบเชิงรับ หรือ Passive และ ระบบเชิงรุก หรือ Active ซึ่งเกณฑ์การจำแนกนั้นขึ้นอยู่กับว่าน้ำหนักบรรทุกนั้นมีปฏิสัมพันธ์ (interact) กับวัสดุเสริมกำลังอย่างไร

สำหรับเทคนิคที่เป็นระบบเชิงรับนั้น วัสดุเสริมกำลังจะเริ่มทำหน้าที่รับแรงต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือมีการเสีรูรูปเพิ่มขึ้นหรือมีน้ำหนักบรรทุกใหม่เพิ่มขึ้นซึ่งลักษณะ

เช่นนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในวิธีการเสริมกำลังหลายวิธี และตัวอย่างหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันคือการเสริมกำลังแบบ Bonded – non prestressed Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) อย่างไรก็ดี ในบางครั้งวิธีการเช่นนี้อาจประยุกต์ใช้ไม่ได้ เนื่องจากโครงสร้างเดิมอาจเกิดหน่วยแรงที่สูงมากเกินไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เทคนิคของระบบเชิงรับ การเลี่ยงปัญหาเช่นนี้อาจทำได้โดยใช้เทคนิคการซ่อมที่ประยุกต์ใช้ระบบเชิง รุก เช่น ระบบ CFRP แบบอัดแรงก่อน ซึ่งสามารถลดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นทันทีโดยการแบ่งรับน้ำหนัก

บริษัท Sika และบริษัท VSL ได้ร่วมกันพัฒนาระบบอัดแรงที่หลัง ซึ่งใช้วัสดุ CFRP เป็นวัสดุหลักที่เรียกว่าระบบ CarboStress ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีหลักการให้ชิ้นส่วนรับแรงดึงเป็นแผ่น CFRP ยึดอยู่ในตัวยึด CFRP โดยมีแท่นยึด (Non Stressing หรือ dead end) และอุปกรณ์ถ่ายแรง (Stressing load-Transfer) ซึ่งใช้ได้กับงานทุกลักษณะที่ต้องการเสริมกำลังโดยการให้แรงดึงจากภายนอก

ระบบนี้สามารถใช้ได้กับระบบ Bonded หรือ Unbonded ที่ประยุกต์ใช้กับการเสริมกำลังโครงสร้างสำคัญ ๆ หลายลักษณะ เช่น สะพานโรงงานอุตสาหกรรม อาคารสูง อนุสาวรีย์ หรือโครงสร้างที่ต้องการเสริมกำลังเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว รวมถึงโรงงานพลังงานนิวเคลียร์ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของการประยุกต์ใช้ระบบนี้ เนื้อหาในบทความนี้เป็นรายงานการพัฒนาระบบดังกล่าว โดยกล่าวถึงคุณลักษณะของระบบข้อได้เปรียบและการประยุกต์ใช้งานจริง

การพัฒนา ระหว่าง ปี ค.ศ. 1999-2001 ซึ่งเป็นช่วงแรกของการพัฒนา หน่วยวิจัยใน Swiss Federal (Institute of Technology) ในเมืองซูริก ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ได้ดำเนินการทดสอบชิ้นตัวอย่างจำนวนมาก โดยมุ่งประเด็นไปที่หัวข้อต่าง ๆ ดังนี้ - การทดสอบในระยะสั้นโดยใช้แผ่น CFRP ที่มีลักษณะต่าง ๆ (ขนาด 80 มม. X 2.4 มม. และ 60 มม. X 2.4 มม.) ร่วมกับหัวยึดที่ทำจากเหล็กและพลาสติก

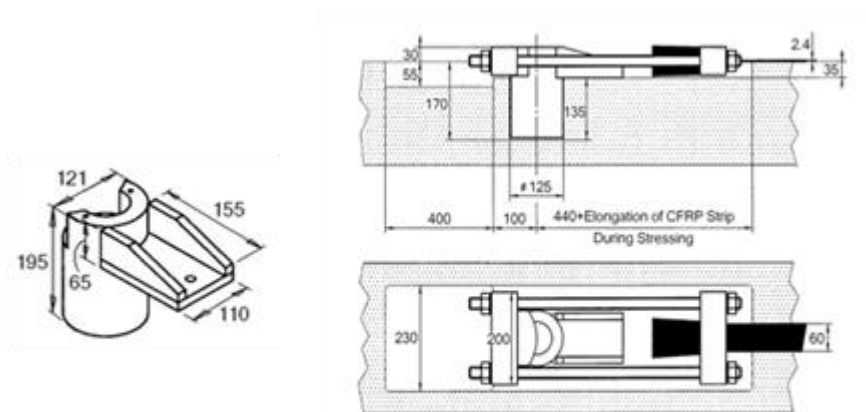
- การทดสอบแรงดึงซ้ำ ๆ เป็นวงรอบ (load – cycle Tensile Test)
- การทดสอบรับแรงดึงในระยะยาว
- พฤติกรรมการถ่ายแรงจากอุปกรณ์ถ่ายแรงเข้าสู่คอนกรีต
- การทดสอบการถ่ายแรงจากแผ่น CFRP เข้าสู่หัวยึด CFRP

ในปี 2004 ได้มีการทดสอบเพิ่มเติมอีกหลายลักษณะที่ School of Engineering and Architecture ใน How/Lucerne ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ดังนี้

- การทดสอบการติดตั้งลักษณะต่าง ๆ เช่นการติดตั้งในระดับเหนือศีรษะ (Overhead placing) และการใช้มอร์ตาร์ยึดอุปกรณ์ถ่ายแรง
- การทดสอบการรับแรงดึงถึงระดับที่เกิดการระเบิด
- การทดสอบอุปกรณ์ถ่ายน้ำหนักจนถึงกำลังประลัย

ระบบ CarboStress

ใน ระบบ CarboStress ซึ่งใช้แผ่น CFRP ยึดฝังในหัวยึด (หรือ Stresshead) ทั้งสองปลายนั้น หัวยึดจะถูกจับยึดอยู่ในอุปกรณ์ถ่ายแรงซึ่งเป็นเหล็กและเป็นตัวยึดและถ่าย แรง Prestressed ใน โครงสร้าง โดยมีรายละเอียดวัสดุ ภาพอุปกรณ์และการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 1 ตารางที่ 1 และรูปที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ภาพอุปกรณ์ถ่ายแรงของระบบ CarboStress (ก)ภาพด้านข้าง (ข)ด้านบน

วิธีการประยุกต์ใช้แผ่น CFRP แบบ ยึด-อัดแรง ในระบบ CarboStress อาจสรุปได้ดังนี้

1. เตรียมพื้นผิวคอนกรีตด้วยวิธีเช่นเดียวกับที่ใช้สำหรับระบบแผ่น CFRP แบบยึดติดอีพอกซีทั่วไป

2. ยึดติดแผ่น CFRP กับหัวยึด CFRP หัวยึดที่ได้รับการออกแบบที่เหมาะสมจะป้องกันความผิดพลาดในการทำงานได้ และทำให้รอยต่อมีขีดความสามารถรับแรงตามต้องการได้ กระบวนการยึดส่วนนี้กระทำในโรงงานที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม ทั้งนี้การยึดแผ่น CFRP จากปลายถึงปลาย เข้ากับหัวยึดนั้นจะต้องมีการวัดขนาดจากหน้างานมาก่อน

3. ติดตั้งหัวยึดเข้ากับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการเสริมกำลัง โดยใช้อุปกรณ์ถ่ายแรงแบบ Stressing/ nonStressing (รูป 2a – 2e)

4. ใช้วัสดุอีพอกซีเคลือบยึดแผ่น CFRP กับผิวหน้าคอนกรีตด้วยวิธีแบบเดียวกันกับการใช้แผ่น CFRP ในงานปกติ (รูป 2c)

5. ใช้เครื่องดึงไฮดรอลิกให้แรงดึงต่อแผ่น CFRP ที่หัวยึดโดยควบคุมการให้แรงก่อนด้วยมาตรวัด เช่นเดียวกับวิธีการอัดแรงก่อนตามปกติ เมื่อแล้วเสร็จให้วัดระยะยึดของแผ่น CFRP และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณตามทฤษฎี

6. ถอดอุปกรณ์ให้แรงออก

7. กดแผ่น CFRP ให้แนบผิวคอนกรีตด้วยวิธีเดียวกับที่ใช้สำหรับแผ่น CFRP ทั่วไป ระบบ Carbo Stress นี้ใช้ได้กับระบบ Unbonded- prestressed CFRP ด้วย และในกรณีนั้นอาจข้ามขั้นตอนที่ 1, 4 และ 7 ได้

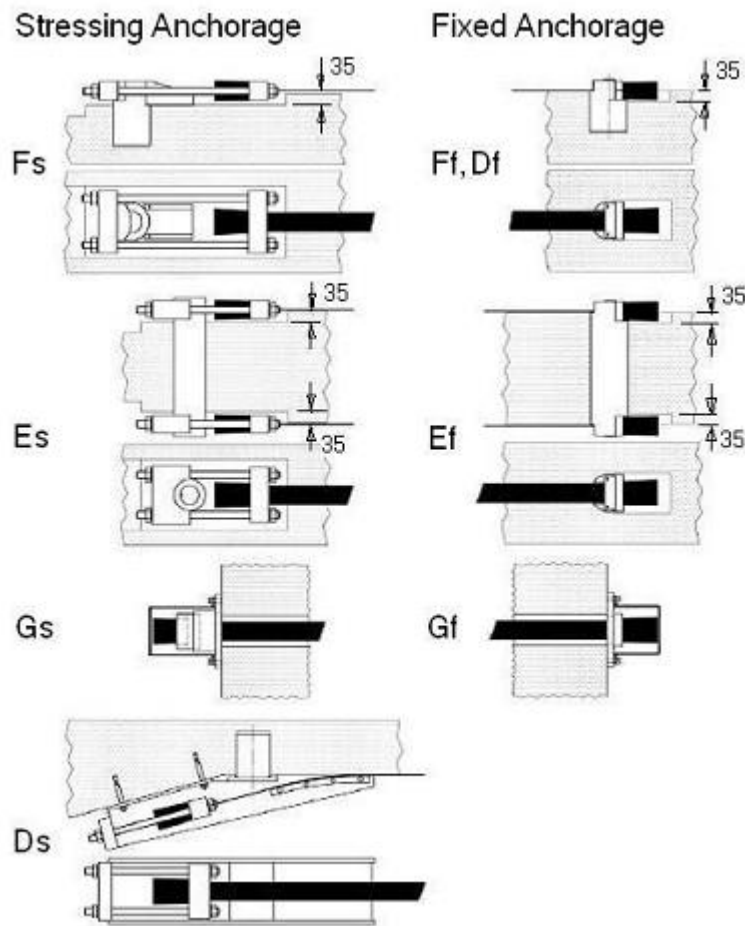


รูปที่ 2 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ระบบ CarboStress

ตารางที่ 1 ข้อมูลของระบบ CarboStress

CarboDur CFRP Plate	S64
Dimensions(WidthXThickness)	60mmX2.4mm
Cross-sectional area	144mm ²
Tensile Strength, min.	2800N/mm ²
Nominal Breaking Load	400kN
E-Modulus, min.	165,000 N/mm ²
Elongation at Break, min.	1.7%

CFRP Anchor Head (StressHead)	StressHead 220
Dimensions(WidthXLength)	60/80 mmX110mm
Weight	0.55kg.
Tension Force, P ₀	220kN
Tensile Strength at P ₀	1540 N/mm ²
Pre-strain at P ₀	0.95%
Guaranteed Maximum Anchor Force, P _{max.}	300kN
-Strain at Maximum Anchor Force, P _{max.}	1.3%



รูปที่ 3 หัวยึดแผ่น CFRP ในระบบ CarboStress (StressHead 220)

ระบบการยึด

แนวคิดของแท่นยึดแบบ non - Stressing (fixed) และแบบ Stressing (รูป 4a – 4b) ซึ่งมีอุปกรณ์ถ่ายแรงนั้นมาจากแนวคิดของการประยุกต์ใช้ระบบที่ง่ายและการใช้ที่ยึดหยุ่นได้ สำหรับงานทุก ๆ โครงการ

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



ทั้งนี้แรงที่ถูกดึงก่อน (prestressing force) จะถ่ายเข้าสู่โครงสร้างคอนกรีตด้วยอุปกรณ์เหล็กที่มีรูปทรงด้านข้างเป็นทรงกลม (circular steel profile) ที่ทำหน้าที่เสมือนตัวถ่ายแรง โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มม. และยาว 255 มม. วางอยู่ในรูที่เจาะเตรียมไว้ อย่างไรก็ตามก็อาจมีการปรับใช้อุปกรณ์ถ่ายแรงรูปทรงอื่นได้ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพจริงของงานแต่ละโครงการดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทั่ว ๆ ไปแล้วมักใช้การปรับฝังให้กดต่ำลง 35 มม. เพื่อคิดให้แผ่น CFRP มีระดับใกล้เคียงกับผิวคอนกรีตมากที่สุด โดยอาจใช้ร่วมกับ Sika dur 330 หรือไม่ก็ได้ ในกรณีของระบบ bonded และ Unbonded ทั้งนี้ในกรณีที่หัวยึดมีขนาด 60 มม. สำหรับโครงสร้างที่คอนกรีตมีระยะหุ้มน้อยกว่า 35 มม. อาจปรับลดความหนานี้ได้โดยเพิ่มความหนาของ Sikadur 330 หรือยอมให้เพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่น CFRP และผิวคอนกรีตในกรณีที่โครงสร้างมีเหล็กเสริมเดิมแน่น อาจจำเป็นต้องเสริมเหล็กเพิ่มเพื่อให้แนวการถ่ายแรงมีความต่อเนื่อง ในบริเวณที่คาดว่าเหล็กเสริมเดิมจะขาดหายไปเนื่องจากการเตรียมพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายแรงที่ต้องกดลึกต่ำกว่าผิวเดิม



(ก)ตัวยึดแบบ Ds (ข)ตัวยึดแบบ Df ชนิด Non-Stressing (Fixed)รูปที่ 4 ตัวยึดแบบ D

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

รูปที่ 5 ตัวยึดหลากหลายชนิด ทั้งแบบ Stressing และแบบ Fixed ชนิด Non-Stressing ที่มีใช้ในระบบ CarboStress ตัวยึด (anchorage) แบบ F มักนิยมใช้กับระบบที่ต้องให้แรงแบบไม่สมมาตร เนื่องจากสามารถให้แรงโดยไม่เสี่ยงต่อความเสียหายของโครงสร้าง (jeopardizing) ได้ โดยอาจประยุกต์ใช้ทั้งกรณีมีการให้แรงด้านบน ด้านล่างหรือด้านข้างของโครงสร้าง เช่น คานหรือกำแพง เหล็กถ่ายแรง (dowel) มักจะวางทะลุตลอดความหนาของโครงสร้างเช่น ตลอดความหนาของพื้นหรือความหนาคานเป็นต้น

ตัวยึดแบบ G มักใช้ในกรณีที่ต้องการวางตำแหน่งตัวยึดที่ส่วนปลายของโครงสร้าง นอกจากตัวยึดแบบนี้จะมีส่วนเกลียวถ่ายแรง (threaded transfer body) ซึ่งทำให้สามารถดึงแผ่น CFRP ได้แม้ในกรณีที่ตัวยึดอาจมีระยะห่างจากที่รองรับเพียงเล็กน้อย ซึ่งเหมาะสำหรับโครงสร้างแม้ในกรณีที่มีพื้นที่ทำงานจำกัดสำหรับตัวยึดแบบ D เหมาะกับโครงสร้างที่มีความลาดชันเช่นพื้นหรือคานหลักที่มีส่วนเอียงลาด (haunch)

รูปที่ 6 แสดงลักษณะการประยุกต์ใช้ตัวยึดแบบ F1E1G และ D ตามลำดับ

รูปที่ 6 การประยุกต์ใช้ตัวยึดชนิดต่างๆ(ก)ชนิด F (ข)ชนิด E (ค)ชนิด G (ง)ชนิด D

การเสริมกำลังด้วยระบบ Bonded CarboStress

ข้อดีของระบบ Bonded Prestress CFRP ซึ่งเป็นการดึงแผ่น CFRP ก่อนการยึดติดแน่นกับผิวคอนกรีตอาจสรุปได้ดังนี้

- รอยร้าวที่เกิดในช่วง shear span ที่ระดับน้ำหนักรับน้ำหนักสูง ๆ จะแคบกว่าปกติและมักมีระยะห่างปรากฏแคบลง

- รอยร้าวเดิมในโครงสร้างจะปิดหรือปิดแคบลง

- ที่ระดับการเสริมกำลังเท่ากัน จะใช้พื้นที่หน้าตัดของแผ่น CFRP น้อยลงกว่าการใช้ระบบ bonded – non prestressed CFRP ปกติ

- เหล็กเสริมภายในของหน้าตัดมักจะถึงจุดครากที่ระดับน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ bonded – non pressed CFRP

ข้อดีเหล่านี้นอกจากจะเป็นผลดีต่อการปรับปรุงพฤติกรรมการใช้งานและความคงทนของโครงสร้างแล้ว ยังเป็นผลดีต่อการใช้งานวัสดุ CFRP ให้คุ้มค่าที่สุดที่สุด

ลักษณะการใช้งานของระบบนี้ในโครงสร้างหลากหลายรูปแบบ มีตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 รายละเอียดของบางโครงการที่ประยุกต์ใช้ระบบ Bonded CarboStress

	Name-Location	Reason for Strengthening	Client	Year
Bridges	Xiaofeng Bridge, Hunan Province China	Insufficient strength in longitudinal direction	Guangzhou Railway Bureau	2007
	Stegweid Bridge, Spiez, Switzerland	Insufficient strength of pier head beams	Canton of Berne Public Works Department	2006
	Landten Bridge, Biel Switzerland	Increasing of traffic loads from 20 to 40 tons	Civil Engineering Office of the City of Biel	2004
	Clinton & Hopkins Bridge, Ohio, USA	Corrosion of prestressed steel tendon	State of Ohio, Department of Transportation	2003
	Hutten Bridge, Westenstein, Switzerland	Increasing of traffic loads from 20 to 40 tons	Canton of Lucerne Agriculture Department	2003
	Sung San Bridge, Seoul, Korea	Insufficient existing steel reinforcement	Western Roads & Bridges Maintenance Office, Seoul	2002
	A3 Escher Canal Bridge, Glarus, Switzerland	Insufficient existing steel reinforcement	Canton of Glarus Public Works Department	2002
	A4 Reuss Bridge, Fluelen, Switzerland	Redevelopment of the bridge structure	Uri Public Works Department	1999
Other	IWB Basel	Upgrading of Seismic	City of Basel, Utility	2006

structure	Resistance	of Wasgenring, CH	
Similasan AG, Jonen, , Switzerland	Renovation of the structure	SIMILASAN AG, Jonen	2006
Wallin a Nuclear Power Plants , Gosgen,Switzerland	Upgrading of Seismic Resistance	Kernkraftwerk Gosgen Daniken AG	2004 2006
Farmer's school in Hohenems, Austria	Renovation of the structure	Government of Vorarlberg, Austria	2005
Sports Hall Roof, Thorl,	Insufficient Strength	Municipality	2005

บทสรุป

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมเดิมมักเป็นปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดเทคนิคการซ่อมแซมแบบระบบเชิงรับ(passive) ดังเช่นระบบ bonded nonprestressed ในบางกรณีการลดน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้างเพื่อลดหน่วยแรง ในเหล็กเสริมเดิมก่อนการเสริมกำลังนั้นอาจทำได้ยากหรือทำไม่ได้เลย และทำให้ต้องปิดการใช้งาน โครงสร้างนั้นขณะเสริมกำลัง นอกจากนี้ลักษณะเช่นนี้ยังเป็นเพียงการลดหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจรเท่านั้น การใช้เทคนิคการซ่อมเสริมกำลังในระบบเชิงรุก(active) เช่น prestressed CFRP นั้นช่วยลดหน่วยแรงทั้งจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรไปพร้อมกัน โดยเฉพาะในกรณีโครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพ หน่วยแรงในเหล็กเสริมที่เป็นสนิมซึ่งมักมีค่าสูง ก็จะมีค่าลดลง และอาจไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กใหม่ เพื่อทดแทนเหล็กเสริมทั้งหมด พฤติกรรมในการใช้งานและความคงทนของโครงสร้างมักดีขึ้น

เนื่องจากรอยร้าวที่มีแต่เดิมปิดสนิทหรือปิดแคบลงกว่าเดิมระบบ CarboStress เป็นระบบการซ่อมแซมแบบรุก (active) ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้มีการถ่ายแรงซึ่งดึงไว้ก่อนผ่านระบบตัวยึดที่ฝังลึกในคอนกรีตที่มีเนื้อแน่นอย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างส่วนรับแรงดึงที่ทำจาก CFRP ส่วนนั้นทนทานต่อการเกิดสนิมหรือสึกกร่อน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าระบบนี้เป็นระบบการซ่อมเสริมกำลังที่ใช้วัสดุ CFRP อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Non – prestressการใช้งานของระบบนี้จัดว่าง่ายและมีการทำงานประกอบอื่น ๆ เพิ่มเติมน้อย เช่น ต้องการเพียงการเจาะ คอนกรีตเพื่อฝังอุปกรณ์ถ่ายแรงเพิ่มขึ้น จากลักษณะงานทั่วไปที่ใช้สำหรับ bonded – nonprestressed CFRP ความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบ bonded หรือ Unbonded prestressed CFRP นั้นขึ้นกับลักษณะ ของคอนกรีตเดิมชั้นล่างและข้อจำกัดของโครงการ อย่างไรก็ตาม ทั้งสองระบบนั้นใช้ได้ดีกับระบบ CarboStressed ทั้งสิ้น (เรียบเรียงโดย รศ.ดร.สุวิมล สัจฉาณิษฐ์ ภาควิชาวิศวกรรมยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)