

ข้อจำกัดและข้อพึงระวังในการใช้งานวัสดุ FRP Composites ในงานเสริมกำลังโครงสร้าง

สดสวย สุจริตธรรมกุล บริษัท นนทรี จำกัด

www.nontrico.com

ในปัจจุบันวัสดุประเภท Composites หรือ Fiber Reinforced Plastic (FRP) มีการนำมาใช้งานด้านการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความสะดวกในการติดตั้ง สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ มีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูง และไม่เปื้อนสนิม แต่ในขณะเดียวกัน ก็เริ่มพบปัญหาของการใช้ FRP Composites ในลักษณะที่ไม่เหมาะสมหรือไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในงานที่เจ้าของงานหรือผู้ควบคุมงานขาดความรู้ความเข้าใจในเทคนิคการเสริมกำลังด้วยวัสดุดังกล่าว หรือในบางครั้งเกิดจากความเข้าใจผิดของผู้ออกแบบ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังลดลงหรืออาจเกิดอันตรายได้ ข้อจำกัดและข้อพึงระวังในการใช้งานวัสดุ FRP Composites ในงานเสริมกำลังโครงสร้าง สามารถรวบรวมได้ดังนี้

1. ด้านการเลือกใช้วัสดุ

1.1. การเลือกชนิดของเส้นใย เส้นใยที่มักใช้ในงานเสริมกำลังโครงสร้าง ได้แก่ Carbon Fiber, Glass Fiber และ Aramid Fiber ซึ่งแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดย

- Carbon Fiber มีกำลังรับน้ำหนักสูง ทนทานต่อกรด-ด่าง และทนต่อความเค็มและความล้าได้ดี เหมาะสำหรับการเสริมกำลังโครงสร้างที่มีการบรรทุกน้ำหนักต่อเนื่องยาวนาน, โครงสร้างที่รับ cyclic load เช่น สะพาน แต่มีความเปราะ ไม่สามารถดัดงอ 90° ได้ อาจแตกหักหรือไม่สามารถถ่ายแรงได้

- Glass Fiber มีการยึดหดตัวใกล้เคียงกับคอนกรีต ทนต่อแรงกระแทกได้สูง เป็นฉนวน เหมาะสำหรับงานระยะสั้นและกลาง หรือไม่มีการใ้น้ำหนักต่อเนื่องยาวนาน นอกจากนี้ยังมีความเปราะ ไม่สามารถดัดงอ 90° ได้ อาจแตกหักหรือไม่สามารถถ่ายแรงได้

- Aramid Fiber ทนต่อแรงกระแทกได้ดี มีการยึดหยุ่นสูง สามารถดัดงอ 90° ได้ โดยไม่แตกหัก มักใช้กับงานที่ต้องการทั้งกำลังและความยืดหยุ่น เช่น ในการเสริมกำลังเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวหรือแรงระเบิด

1.2. การกำหนดการเรียงตัวของเส้นใย สำหรับในงานเสริมกำลังโครงสร้าง จำเป็นต้องมีการกำหนดทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยให้ชัดเจน เพื่อให้สามารถออกแบบและกำหนดพฤติกรรมของโครงสร้างได้ ซึ่งมักนิยมใช้รูปแบบการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) แต่ในบางกรณีอาจใช้รูปแบบการจัดเรียง 2 ทิศทาง (Bidirectional) เพื่อการกระจายแรงหรือการรับแรงตามความเหมาะสมที่ออกแบบไว้

1.3. การเลือกรูปแบบผลิตภัณฑ์ รูปแบบผลิตภัณฑ์ FRP ที่นิยมใช้ในงานเสริมกำลัง ได้แก่ Sheet, Laminate (หรือ Plate) และ Rod โดยแต่ละรูปแบบมีข้อพึงระวังดังนี้

- Sheet ต้องควบคุมคุณภาพในการติดตั้ง ให้เส้นใยยังอยู่ในแนวตรง และเรียบแนบสนิทกับผิวคอนกรีต

- Plate ต้องควบคุมการใช้ adhesive หากมากเกินไปจะทำให้เกิด deformation รับแรงได้น้อย หรือหากไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้เกิด debonding ได้ง่าย และไม่ควรรใช้ plate หลายชั้นซ้อนกันมากเกินไป จะทำให้ debonding ได้ง่าย

- Rod ต้องควบคุมความกว้างของร่องให้พอดี และมี profile เสมอ นอกจากนี้ในการต่อทาบ ทำได้ยาวและต้องใช้ระยะทาบยาว

1.4. การเลือกชนิด Adhesive Adhesive จะต้องเหมาะสมและเข้ากันได้กับเส้นใยที่เลือกใช้ เนื่องจากผิวของเส้นใยแต่ละชนิด แต่ละผู้ผลิต จะมีกระบวนการ surface treatment ให้สามารถยึดเกาะกันกับ Adhesive ประเภทที่เหมาะสมเท่านั้น หากเลือกใช้ไม่เหมาะสม การยึดเกาะจะไม่สมบูรณ์ จึงควรทำการศึกษาทดสอบ fiber และ adhesive ที่จะใช้ร่วมกันอย่างรอบคอบก่อนนำไปใช้งาน

2. ด้านการตรวจสอบสภาพที่แท้จริงของโครงสร้าง ก่อนดำเนินการออกแบบและเสริมกำลังโครงสร้างควรทำการตรวจสอบสภาพโครงสร้างในปัจจุบันก่อน เพื่อให้สามารถเลือกวิธีการและวัสดุที่เหมาะสมให้เกิดประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูงสุด โดยควรทำการตรวจสอบ

2.1. สภาพโครงสร้างและความบกพร่องเสียหายของโครงสร้าง เช่น

- สำรวจลักษณะ ตำแหน่ง และระดับความเสียหายของโครงสร้างเดิม เนื่องจากโครงสร้างที่จะทำการเสริมกำลังได้ จะต้องยังคงมีความแข็งแรงเพียงพอ หากมีความเสียหายหรือเสื่อมสภาพต้องหยุดความเสื่อมสภาพหรือการเคลื่อนตัวเหล่านั้น และทำการซ่อมแซมก่อน จึงเสริมกำลังโครงสร้าง เพราะหากความเสียหายเดิมยังคงอยู่และลุกลามต่อเนื่อง ก็อาจทำให้วัสดุ FRP หลุดร่อน ไม่ทำงานและอาจเกิดอันตรายได้

- สำรวจปริมาณและรายละเอียดเหล็กเสริม รวมถึงความต่อเนื่องของชิ้นส่วนโครงสร้างและจุดต่อต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณออกแบบการเสริมกำลัง และควบคุมพฤติกรรมการวิบัติของโครงสร้าง

2.2. คุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างเดิม ความแข็งแรงและสมบัติของคอนกรีตโครงสร้างมีผลต่อประสิทธิภาพในการเสริมกำลังด้วย FRP มากเพราะการเสริมกำลังดังกล่าวจะต้องอาศัยกำลังการยึดเกาะบริเวณผิวคอนกรีต เพื่อถ่ายเทแรงจากโครงสร้างมาสู่ FRP ดังนั้นจึงควรทำการตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตเดิม เช่น กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงอัด ระดับ pH ปริมาณคลอไรด์ ระดับความเสื่อมสภาพ อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของวัสดุ เป็นต้น

2.3. สภาพแวดล้อมและสิ่งกีดขวางการสำรวจสภาพแวดล้อมของสถานที่จริงก่อน จะช่วยให้การออกแบบเสริมกำลังสอดคล้องและเหมาะสมกับการทำงานในพื้นที่จริงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น

- สภาพความชื้นและอุณหภูมิของบริเวณที่จะทำการเสริมกำลังโครงสร้าง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกำลังการยึดเกาะและอายุการใช้งาน ของ FRP
- คุณภาพน้ำ ระดับ pH ปริมาณคลอไรด์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ
- สิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ช่องเปิด ผิวต่างระดับ ท่อและสายไฟ ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการติดตั้ง ซึ่งผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงรายละเอียดในการติดตั้ง การเปลี่ยนทิศทางของเส้นใยเพื่อหลบเลี่ยงอุปสรรคดังกล่าว การต่อขยายความยาว ให้เหมาะสม

3. ด้านการออกแบบและข้อกำหนดรายละเอียด ในการออกแบบการเสริมกำลังโครงสร้างด้วยวัสดุ FRP นั้น มีข้อพึงระวัง เช่น

- ควรตรวจสอบ mode of failure ไม่ให้เกิดกรณี Concrete Crushing นอกจากนี้ แม้ใน mode Fiber Rupture ก็ควรทำการตรวจสอบ ductility ของโครงสร้างให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยด้วย
- โดยส่วนใหญ่ Mode of Failure มักเกิดการแยกเป็นชั้น (Delaminate) โดยเริ่มเกิดบริเวณที่ปลายของ fiber ก่อน จึงควรออกแบบป้องกันหรือหลีกเลี่ยงมิให้เกิดการ delaminate ในบริเวณดังกล่าว
- จำนวนชั้นในการเสริมกำลัง ควรมีจำนวนชั้นที่น้อยที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด debonding
- ควรมีการออกแบบให้มีการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยแนวแรงควรเป็นเส้นตรงในระนาบให้มากที่สุด การเปลี่ยนทิศทางของแรงอย่างกะทันหัน เช่นการหักมุม หรือโค้งงอ อาจทำให้เกิดความบกพร่องและเสียหายได้ หากจำเป็นควรมี รัศมีความโค้งที่เพียงพอ
- ระยะ Development Length จากตำแหน่งที่ต้องการเสริมกำลัง และการต่อทาบของแต่ละชั้น ต้องเพียงพอต่อการถ่ายเทกระจายแรง ทั้งใน Flexural Strengthening และ Shear Strengthening
- ทิศทางในการเสริมกำลัง Unidirectional FRP จะสามารถรับแรงได้ทิศทางเดียว คือตาม

ทิศทางของเส้นใยเท่านั้น ส่วนในทิศทางตั้งฉากจะอ่อนแอกว่ามากหรือใช้ไม่ได้เลย ในการออกแบบจะไม่ใช่ในการรับแรง

- ไม่ควรออกแบบติดตั้ง FRP ผ่านมุมงอด้านใน (Inner Corner) เนื่องจากจะเป็นจุดเริ่มต้นของ debonding ได้ง่าย

- การเสริมกำลังโครงสร้างเสาเหลี่ยมด้วยวิธี Confinement นั้น ไม่แนะนำให้ใช้กับโครงสร้างเสาแบนที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง เกินกว่า 2:1 เนื่องจากประสิทธิภาพของการเสริมกำลังจะลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ในการทาบบริเวณด้านของเสา ไม่ควรทาบบริเวณมุมเสา เพราะจะทำให้เกิดการ debonding ได้ง่าย

- ในการออกแบบ FRP แรงใน Fiber จะเป็นแรงดึงเท่านั้น ไม่สามารถรับแรงอัดได้

- ความปลอดภัยในกรณี FRP ได้รับความเสียหาย เช่น จากเพลิงไหม้ การออกแบบการรับน้ำหนักบรรทุกใหม่ควรพิจารณาความแข็งแรงของโครงสร้างเดิมที่ไม่น้อยกว่า Unfactored Load นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง Safety ในกรณี Fiber Rupture

- การออกแบบควรคำนึงถึง Repeated Live Load ที่มีผลต่อ fatigue strength ของโครงสร้างและ FRP และผลของ sustained stress

4. ด้านกระบวนการทำงานและคุณภาพแรงงาน กระบวนการเสริมกำลังเป็นงานที่ต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสูง อย่างไรก็ตามมักพบปัญหาบุคลากรขาดความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมโครงสร้างและการควบคุมคุณภาพ นอกจากนี้แรงงานที่ใช้มักเป็นคณงานรายวันที่หมุนเวียน จึงขาดทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานที่มีความละเอียดและอาจมีอันตรายหากดำเนินการไม่เหมาะสม ข้อพึงระวังในกระบวนการทำงาน มีดังนี้

4.1. การเตรียมผิว

- การเตรียมพื้นผิวบริเวณที่จะทำการติดตั้ง FRP มีความสำคัญ และมีผลต่อประสิทธิภาพการเสริมกำลังมาก โดยพื้นผิวจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการถ่ายเทแรง (โดยทั่วไป ควรทำการทดสอบ Pull-off Test ตาม ASTM C-496 และได้ค่าไม่ต่ำกว่า 12 ksc) ไม่ควรติดตั้ง FRP บนผิวปูนฉาบ ควรทำการติดตั้งบนผิวเนื้อคอนกรีตจริง
- พื้นผิวต้องทำการขัดผิวส่วนที่ขรุขระ ไม่สม่ำเสมอให้เรียบ กำจัดรอยเปื้อน สี หรือสิ่งอื่นใดที่อาจมีผลกระทบต่อแรงยึดเกาะที่ผิวคอนกรีต สำหรับบริเวณที่เป็นร่องหรือหลุม ให้ทำการอุดหรือฉาบปิดให้เรียบก่อน และพื้นผิวจะต้องสะอาด ไม่มีฝุ่น และแห้ง เพราะจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการยึดเกาะ และการทำงานของ FRP ในระยะยาวได้

4.2. การเก็บและการผสม adhesive

- การเก็บจะต้องแยกเก็บส่วน Part A และ Part B ควรเก็บในที่ที่มีการระบายอากาศที่ดี มีการป้องกันไม่ให้กระทบแสงแดดโดยตรงหรือเปลวไฟ และควรจัดเก็บในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นภายในช่วงที่ผู้ผลิตกำหนด
- การเก็บและการขนย้าย fiber ต้องระวังมิให้เส้นใยฉีกขาด หักงอ หรือแนวเส้นใยเบี่ยงเบนไปจากเดิม และควรมีการป้องกันฝุ่นและสิ่งสกปรกที่อาจปนเปื้อนแผ่นเส้นใย เพราะอาจมีผลต่อกำลังรับแรงและคุณสมบัติอื่นๆของระบบหลังการติดตั้งได้

- การผสม Part A และ Part B ของ Adhesive มักไม่ได้อาศัยการชั่งตวงที่ถูกต้อง หรือใช้การประมาณส่วนผสมเอาเอง (บางผู้ผลิตจะระบุอัตราส่วนผสมแบบอัตราส่วนน้ำหนัก ในขณะที่บางผู้ผลิตจะระบุแบบอัตราส่วนปริมาตร) การผสม Part B (Hardener) น้อยเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์ ในขณะที่ถ้า Part B มากเกินไป จะทำให้ resin แข็งตัวรวดเร็วและเกิดความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจเปราะแตกได้ การติดตั้ง
- การใช้ Adhesive ที่มากเกินไปอาจทำให้แนวเส้นใย Fiber เกิดการเคลื่อนตัว และหย่อนในขณะที่ยึด Adhesive ไม่เพียงพอ ก็จะทำให้เกิด Unsaturated Area ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทแรงไม่สมบูรณ์ หรือเป็นจุดเริ่ม Debonding

4.3. การติดตั้ง

- วิธีการติดตั้งที่ไม่ถูกต้องหรือขาดความชำนาญ อาจทำให้เกิดโพรงช่องว่าง (Void) หรือเส้นใย fiber เกิดการหย่อนงอ ซึ่งอาจเป็นอันตรายโดยเฉพาะในบริเวณที่มี Stress สูง
- การลบมุมเสา, คาน ที่ไม่เรียบร้อย หรือมีรัศมีความโค้งที่ไม่เพียงพอ จะทำให้บริเวณมุมมี stress สูง และ fiber อาจหักในขณะติดตั้ง หรือนึกขาดในขณะรับแรง
- ในกรณีติดตั้ง Fiber หลายชั้น การติดตั้ง Fiber ในแต่ละชั้น ต้องทำในขณะที่ Adhesive ชั้นก่อนหน้ายังไม่แข็งตัว หากแข็งตัวไปแล้วจำเป็นต้องทำการเตรียมผิวใหม่ เช่นอาจใช้การขัดด้วยกระดาษทรายเบาๆ และฉาบด้วยวัสดุฉาบ นอกจากนี้การติดตั้ง Fiber มากชั้นเกินไปในคราวเดียว อาจทำให้ fiber มีการเลื่อนหรือแยกตัวเนื่องจากน้ำหนักของตัวแผ่นเส้นใยเอง
- ไม่แนะนำให้ทำการยึดแผ่น FRP ด้วยหมุดหรือตัวยึดทางกล แต่หากจำเป็น ต้องระวังไม่ให้เส้นใยหรือคอนกรีตเสียหาย และต้องระวังการกัดกร่อนทางไฟฟ้า (Galvanic Corrosion) ในกรณีใช้เหล็กยึด FRP ที่เป็นเส้นใยคาร์บอน สำหรับตัวยึดที่เป็นวัสดุ FRP ระยะฝังในคอนกรีตต้องเพียงพอ

- การติดตั้ง Fiber จะต้องทำการรีดไล่ฟองอากาศที่ถูกขังอยู่ระหว่างแผ่น FRP และคอนกรีต โดยรีดไปตามทิศทางของเส้นใย ให้วัสดุ adhesive ซึมผ่านออกมา ไม่ชุ่มเกินไป และกำจัด adhesive ส่วนที่เกินออกมา และจะต้องทิ้งระยะเวลาให้บ่มตัวเต็มที่โดยไม่มีภาระบกดทับ เพื่อทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาการยึดเกาะอย่างสมบูรณ์

บรรณานุกรม

- [1] ACI and ICRI (2002), Concrete Repair Manual, ACI international and ICRI
(international Concrete Repair Institute)
- [2] มยพ. 1508-51, 2551, มาตรฐานที่เสริมกำลัง โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย, กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย
- [3] ธรรมชาติ กุลประภา, 2544, การบำรุงรักษาและซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ / วันที่ 21-22 ก.พ. 2544
- [4] ธรรมชาติ กุลประภา, 2544, การบำรุงรักษาและซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีต, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7, วันที่ 17-18 พ.ค. 2544, MAT 69 – MAT 75