

การเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบภายนอก ด้วยวัสดุเส้นใยเสริมแรง

Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structure

บทนำ

วัสดุประเภทเส้นใยเสริมกำลัง หรือ FRP (Fiber Reinforce Polymer) ได้เริ่มมีการใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา วัสดุประเภทนี้เมื่อนำมาใช้ร่วมกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วจะทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างนั้นเปลี่ยนไป

ปัจจุบันสถาบันทางด้านวิศวกรรมในต่างประเทศ เช่น ACI (American Concrete Institute) หรือ fib (International Federation for Structural Concrete) ต่างได้ตั้งคณะทำงานเพื่อกำหนดมาตรฐานการใช้งานวัสดุ FRP ในเดือนกรกฎาคม 2001 fib ได้จัดทำหนังสือรายงานข่าวฉบับที่ 14 นำเสนอ “Technical report on the design and use of external bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures” และในปี ค.ศ. 2002 ACI ได้จัดทำ “ACI 440.2R-02 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.” ซึ่งนับว่าเป็นความก้าวหน้าครั้งสำคัญสำหรับที่จะทำให้วัสดุ FRP ได้รับความยอมรับอย่างแพร่หลายในอนาคต ในส่วนของ ว.ส.ท. ก็ได้ตั้งคณะทำงานเพื่อศึกษาข้อแนะนำต่างๆ ในการใช้งานวัสดุประเภทนี้และปรับปรุงให้สอดคล้องกับข้อกำหนดต่างๆ ในประเทศไทย เพื่อจัดทำเป็นแนวทางการใช้งานวัสดุประเภทนี้ อย่างถูกต้องและปลอดภัยในอนาคต

ในการจัดการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 นี้ ทาง ว.ส.ท. ก็ได้จัดวงเสวนาให้ผู้เข้าร่วมการประชุมเห็นผลของการเสริมกำลังโครงสร้างรับแรงอัดด้วยวัสดุประเภท FRP

แบบ fabric ผลการสาธิตแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเสริมกำลังของวัสดุอย่างเป็นที่น่าพอใจ

1. ภาพรวมการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุ FRP

การซ่อม การเสริมกำลัง การปรับปรุงให้ได้มาตรฐาน

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการตื่นตัวอย่างมากในการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมโยธา การเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพาน อาคาร พื้นที่จอดรถ เกิดจากการเสื่อมสภาพตามอายุขัย การเสื่อมสภาพเนื่องจากผลจากสภาพแวดล้อม การออกแบบหรือการก่อสร้างตั้งแต่แรกที่ไม่ดี การขาดการบูรณะรักษาหรืออุบัติเหตุ เช่น แผ่นดินไหว เมื่อรวมเข้ากับภาระบรรทุกที่เพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างต้องการการออกแบบที่ซับซ้อนขึ้น ในขณะเดียวกันการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อรับแผ่นดินไหวก็มีความสำคัญไม่ด้อยไปกว่ากัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว

การเสริมกำลังด้วยการยึดด้วยวัสดุโพลีเมอร์เสริมเส้นใยแบบภายนอก

ปัจจุบันวัสดุ เทคนิค และวิธีการในการเสริมกำลังได้ถูกพัฒนาไปอย่างมาก เทคนิคขั้นสูงอย่างหนึ่งที่ใช้คือ การใช้วัสดุโพลีเมอร์เสริมเส้นใย

ที่ปัจจุบันวิศวกรโครงสร้างมองว่าเป็นวัสดุที่ใหม่ และเมื่ออนาคตที่ดี วัสดุประเภทนี้มีอยู่ในท้องตลาด หลักๆ แล้วจะอยู่ในรูปของ

- แถบบางเรียงตัวทิศทางเดียว ความหนาประมาณหนึ่งมิลลิเมตร

- ฉินหรือเส้นใยเรียงตัวในทิศทางเดียวหรือมากกว่า

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของวัสดุคอมโพสิตที่เรียงตัวแบบทิศทางเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก แสดงดังภาพ

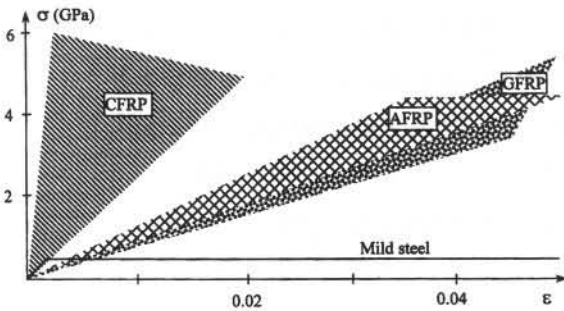


Fig. 1-1: Uniaxial tension stress-strain diagrams for different unidirectional FRPs and steel. CFRP = carbon FRP, AFRP = aramid FRP, GFRP = glass FRP.

เหตุผลที่ทำให้วัสดุคอมโพสิตได้รับการยอมรับในการใช้เสริมกำลังโครงสร้างอย่างแพร่หลายมากขึ้น ประกอบด้วย ตัวมันไม่เกิดสนิม น้ำหนักเบาทำให้ทำงานได้ง่ายในพื้นที่จำกัด ทำให้ไม่ต้องมีการใช้น้ำหนักและลดค่าแรงในการติดตั้ง กำลังรับแรงดึงสูงมาก (ทั้งในสภาวะสถิตและระยะยาว สำหรับวัสดุคอมโพสิตบางประเภทเท่านั้น) สามารถผลิตให้มีความเหนียวได้ตามที่ต้องการ และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาด รูปทรงและมิติ แต่ในขณะเดียวกันวัสดุคอมโพสิตก็มีข้อด้อยเช่นกัน เช่น เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กซึ่งมีพฤติกรรมแบบ Elastoplastic แล้ว วัสดุคอมโพสิตจะมีพฤติกรรมแบบ Linear Elastic to Failure ทำให้ความเหนียวลดลง และราคาของวัสดุคอมโพสิตเมื่อเทียบตามน้ำหนักของวัสดุแล้วสูงกว่าเหล็กมาก (แต่เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนโดยเทียบกำลังกันแล้วก็จะต่างกันอย่างน้อยลง) ยิ่งไปกว่านั้นวัสดุคอมโพสิตบางประเภท เช่น คาร์บอนและอารามิด มีค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อน

ที่ไม่เท่ากับคอนกรีต และสุดท้ายคือเมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิสูง วัสดุคอมโพสิตอาจเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติหรืออาจวิบัติได้ ดังนั้นจึงไม่ควรคือนำวัสดุคอมโพสิตมาใช้แทนเหล็กหรือวัสดุอื่นๆ อย่างขาดความเข้าใจ ในทางตรงกันข้าม ข้อดีของวัสดุคอมโพสิตควรถูกประเมินเทียบกับข้อด้อยของมัน และการตัดสินใจเลือกใช้ควรพิจารณาปัจจัยหลายๆ อย่าง นอกเหนือจากสมรรถนะทางกลแล้ว ควรพิจารณาถึงการทำงาน และความคงทนด้วย

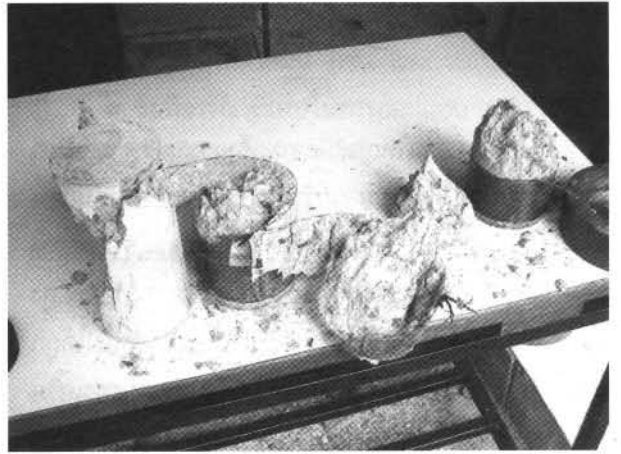
2. เทคนิคและวัสดุโพลีเมอร์เสริมเส้นใยในการเสริมกำลัง

การเลือกใช้วัสดุสำหรับการเสริมกำลัง เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ทุกๆ ระบบมีความเหมือนกันคือ เส้นใยและการสำหรับยึดต่างถูกออกแบบมาเพื่อใช้ร่วมกัน ดังนั้นหมายความว่า การสำหรับระบบหนึ่งจะไม่สามารถใช้งานกับเส้นใยของอีกระบบหนึ่งได้โดยอัตโนมัติ ยิ่งไปกว่านั้นระบบกาบบหนึ่งอาจจะไม่จำเป็นที่จะให้แรงยึดเกาะที่ดีกับคอนกรีตที่จะนำมาใช้ในการเสริมกำลังแบบการยึดภายนอก

วัสดุแบบแถบจากพื้นผิวที่เรียบและตรงในขณะที่สุดแบบฉินจะเหมาะสำหรับพื้นผิวโค้ง การทำงานจริงและการติดตั้ง เช่น การเตรียมพื้นผิว อุณหภูมิ มีความสำคัญมากในการที่จะให้แรงยึดเกาะที่ดี ส่วนประกอบสำคัญของระบบประกอบด้วย

กา

หน้าที่ของกา คือการถ่ายแรงเฉือนระหว่างพื้นผิวคอนกรีตกับวัสดุคอมโพสิต ซึ่งจะทำให้เกิดพฤติกรรมโครงสร้างแบบคอมโพสิตได้อย่างสมบูรณ์ ศาสตร์ของกาเป็นสหวิชาการ



เปรียบเทียบลักษณะการวิบัติของลูกตัวอย่าง

อย่างหนึ่ง เช่น เคมีของพื้นผิว เคมีของโพลิเมอร์ การวิเคราะห์ความเค้นและกลศาสตร์การแตกหัก

กาวที่ใช้ในการยึดโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้กาวอีพอกซีซึ่งประกอบด้วย Resin และ Hardener และสารผสมเพิ่มอื่นๆ ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เมื่อใช้งานอีพอกซีจะมีแนวความคิดด้านเวลาที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ Pot Life และ Open Time โดย Pot Life จะแสดงถึงระยะเวลาที่เราสามารถใช้งานอีพอกซีได้หลังจากที่เราผสม Resin กับ Hardener แล้ว ก่อนที่อีพอกซีจะแข็งตัว Open Time หมายถึง ระยะเวลาระหว่างการทาภาวลงบนกาวที่ทาไปแล้วและกาวสามารถที่จะยึดติดเข้าด้วยกัน ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ Glass Transition Temperature ซึ่งหมายถึง อุณหภูมิที่โพลิเมอร์เปลี่ยนสภาพจากวัสดุที่แข็งเหมือนแก้วไปเป็นวัสดุที่นิ่มขึ้นเหมือนยาง

Matrices

Matrix สำหรับวัสดุคอมโพสิต สามารถใช้ได้ทั้งประเภท Thermosetting และ Thermoplastic แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้วัสดุประเภท Thermosetting มากกว่าหน้าที่ของ Matrix คือ การป้องกันวัสดุคอมโพสิตจากการเสียดสี การสึกกร่อนจากสภาพแวดล้อม การยึดเส้นใยเข้าด้วยกันและช่วยกระจายน้ำหนัก

อีพอกซี โพลีเอสเตอร์และไวนิลเอสเตอร์ เป็น Matrix ที่นำมาใช้กับเส้นใยเสริมกำลังสมรรถนะสูง ทั้งหมดนี้เป็น Thermosetting ซึ่งทำการผลิตได้ง่ายและทนทานต่อสารเคมีได้ดี โดยทั่วไปแล้วอีพอกซีจะมีคุณสมบัติทางกลดีกว่าโพลีเอสเตอร์และไวนิลเอสเตอร์ และมีความคงทนสูงมาก ในขณะที่โพลีเอสเตอร์และไวนิลเอสเตอร์จะมีราคาถูกกว่า

Fiber

วัสดุโดยส่วนใหญ่จะมีความแข็งแรงและความเหนียวเมื่ออยู่ในรูปของเส้นใยมากกว่าเมื่ออยู่ในรูปของกลุ่มก้อน เส้นใยที่มี Aspect Ratio (อัตราส่วนระหว่างความยาว/เส้นผ่านศูนย์กลาง) สูงจะให้การถ่ายแรงผ่านทาง Matrix สูง เส้นใยที่มีประสิทธิภาพมาก ดังนั้นทำให้ข้อดีของเส้นใยได้ถูกนำมาใช้อย่างเต็มที่ เส้นใยที่เราสนใจพิจารณาในการเสริมกำลังคือ เส้นใยแบบต่อเนื่องซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 5-20 ไมครอน และสามารถผลิตในแบบการเรียงตัว



ลักษณะการวิบัติของลูกตัวอย่างที่ได้รับการเสริมกำลังสองชั้น

ทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง เส้นใยที่ใช้ในการเสริมกำลังทั้งหมดจะมีคุณสมบัติ Linear Elastic to Failure คือ ไม่มีการครากเหมือนเหล็กเสริม โดยหลักๆ แล้วจะมีเส้นใยสามประเภทที่ใช้ในการเสริมกำลังด้านวิศวกรรมโยธาคือ แก้ว (Glass), อารามิด (Aramid) และคาร์บอน (Carbon)

เส้นใยแก้วแบบต่อเนื่องที่ใช้แบ่งเป็นสามประเภท คือ แบบ S, แบบ E และแบบ AR หรือ Alkali Resistant ใยแก้วแบบ E เป็นแบบที่มีกรดบอริกและอลูมิเนียมสูง มีข้อด้อยคือ มีความทนต่อด่างต่ำ เส้นใยแบบ S มีความแข็งแรงและความเหนียวมากกว่าเส้นใยแบบ E แต่ก็ยังไม่ทนต่อความเป็นด่างเช่นกัน เพื่อป้องกันไม่ให้ถูกกัดกร่อนจากความเป็นด่างของซีเมนต์ จึงมีการเติมสารเซอร์คอน (Zircon) ลงไป เส้นใยกลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับใยแก้วแบบ E ข้อดีของใยแก้วคือราคาถูก

เส้นใยอารามิด ได้รับการแนะนำเมื่อปี ค.ศ. 1971 และได้รับการผลิตโดยหลายผู้ผลิต โดยใช้ชื่อแตกต่างกันไป เส้นใยอารามิดโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 ไมครอน อารามิดจะแสดงพฤติกรรมแบบไม่เป็นเส้นตรง และมีความเหนียวภายใต้แรงอัด นอกจากนี้แล้วมันยังมีความเหนียว ความทนต่อความเสียหาย และทนต่อความล้าได้เป็นอย่างดี

เส้นใยคาร์บอนปกติจะใช้วัตถุดิบแบบ Pitch หรือ PAN ในการผลิต เส้นใยแบบ Pitch

ผลิตมาจากการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ผ่านการกลั่น นีดผ่านหัวฉีดขนาดเล็กและทำให้คงรูปด้วยความร้อน ส่วนเส้นใยแบบ PAN ผลิตจาก Polyacrylonitrile ซึ่งจะกลายเป็นคาร์บอนเมื่อถูกเผาด้วยความร้อน เส้นใยแบบ Pitch จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9-18 ไมครอน ส่วนเส้นใยแบบ PAN จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-8 ไมครอน โครงสร้างของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์จะแตกต่างกันไปตามการเรียงตัวของผลึก ที่ระดับการเกิดคาร์บอนสูง จะมีการเรียงตัวที่ดีและให้ความแข็งแรงสูง เส้นใยคาร์บอนแบบ Pitch จะเหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปและมีกำลังต่อความยืดหยุ่นตัวสูง ส่วนเส้นใยคาร์บอนแบบ PAN จะให้กำลังและความยืดหยุ่นตัวสูง

3. พื้นฐานการออกแบบและแนวความคิดเกี่ยวกับความปลอดภัย

พื้นฐานการออกแบบและแนวความคิดเกี่ยวกับความปลอดภัยในรายงานฉบับนี้กล่าวถึงการใช้วัสดุโพลีเมอร์เสริมเส้นใยในการซ่อมและเสริมกำลังภายนอกเท่านั้น

ความต้องการทั่วไป

เพื่อรับประกันความปลอดภัยของโครงสร้างที่เสริมกำลัง จำเป็นต้องเลือกระบบวัสดุโพลีเมอร์เสริมเส้นใยอย่างถูกต้อง รวมทั้งมีการออกแบบและมีรายละเอียดในการทำงานอย่างถูกต้อง

วิศวกรโครงการควรมีประสบการณ์ในการออกแบบการซ่อมอาคารและควรมีความรู้เกี่ยวกับวัสดุและระบบ รวมถึงพฤติกรรมโครงสร้างหลังการเสริมกำลัง และความปลอดภัยและความเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง

ความต้องการในการออกแบบ

ข้อมูลการออกแบบและการประสานประสานของภาระบรรทุกจะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบด้วย ในการออกแบบจะต้องมีการระบุถึงสถานะสุดท้ายต่างๆ ด้วยการออกแบบจะต้องแสดงถึงผลของการเสริมกำลังให้กับหน้าตัดนั้นๆ (การออกแบบ



เครื่องทดสอบซึ่งทาง บ. CPAC ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการทำการทดสอบ

ที่สมมติให้มีพฤติกรรมประกอบแบบสมบูรณ์) และสามารถในการถ่ายแรงผ่านหน้าตัดที่ยึดเกาะ (การตรวจสอบการหลุดลอก)

เนื่องจากวัสดุ FRP เป็นวัสดุที่ขาดความเป็นพลาสติก จึงไม่ยอมให้มีการ Redistribution ของโมเมนต์ในหน้าตัด เว้นแต่ว่าจะมีการ Confine คอนกรีตอย่างเพียงพอ

การออกแบบควรประกอบด้วย การตรวจสอบทั้งสถานะสุดท้ายการใช้งาน (Serviceability Limit State, SLS) และสถานะสุดท้ายกำลัง (Ultimate Limit State, ULS) ในบางครั้งการออกแบบอาจถูกควบคุมด้วยสถานะสุดท้ายการใช้งาน การออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาวะการณ ต่อไปนี้

- สภาวะการณใช้งานติดต่อกัน ภายใต้การใช้งานปกติของโครงสร้าง
- สภาวะการณภายใต้อุบัติเหตุ เท่ากับการสูญเสียการเสริมกำลังแบบไม่คาดฝัน (เช่น แรงกระแทก ไฟไหม้)
- ข้อพิจารณาพิเศษในการออกแบบ (เช่น ความต้านทานแรงกระแทก ความทนไฟ)

การตรวจสอบสถานะสุดท้ายการใช้งาน

- ประกอบด้วย การตรวจสอบ
- ค่าความเค้น : จะต้องจำกัดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดลึกริมเกิดรกราก ความเสียหายหรือการคืบของคอนกรีตที่มากเกินไป และการคืบและการวิบัติจากการคืบของ FRP
 - การเสีรูปร่างหรือการแอ่นตัว ซึ่งเป็นตัวจำกัดการ

ใช้งานของโครงสร้าง และเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่ไม่ได้รับน้ำหนักหรือแลดูไม่สวยงาม

● การแตกร้าว (รวมถึงการหลุดลอกของ FRP) ซึ่งทำให้โครงสร้างเสียความคงทน ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ และแลดูไม่สวยงาม หรือการแตกร้าวที่ทำให้สูญเสียการยึดเกาะของ FRP กับคอนกรีต

ถ้าเหตุผลในการเสริมกำลังเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงการใช้งาน สภาวะสุดขีดการใช้งานจะเป็นตัวควบคุมการออกแบบ แต่ถ้าเหตุผลในการเสริมกำลังโครงสร้างเพื่อการเพิ่มต้านกำลังรับน้ำหนัก เช่น อาจเกิดจากส่วนของโครงสร้างที่รับแรงดัดต้องรับน้ำหนักมากขึ้น กรณีนี้การออกแบบสภาวะสุดขีดต้านกำลังจะเป็นตัวควบคุมการออกแบบ

การตรวจสอบสภาวะกำลังสุดขีด

ที่สภาวะกำลังสุดขีดจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบการวิบัติแบบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น โดยปกติแล้วจะแบ่งการพิจารณาเป็นการสมมติให้เกิดพฤติกรรมคานประกอบแบบสมบูรณ์ และการตรวจสอบการหลุดลอกที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้ต้องพิจารณาการประสมประสานของภาวะบรรทุกแบบต่างๆ และค่าความปลอดภัยต่างๆ ทั้งค่าความปลอดภัยของวัสดุ และค่าความปลอดภัยของน้ำหนักบรรทุก

ผลการทดสอบที่ได้

ตัวอย่าง	ควบคุม	เสริมกำลังด้วย CFRP แบบ Fabric 1 ชั้น	เสริมกำลังด้วย CFRP แบบ Fabric 2 ชั้น
กำลังรับแรงอัด (ksc)	450	550	700

4. การสาธิตการเสริมกำลังโครงสร้างรับแรงอัดด้วยวัสดุ FRP แบบ Fabric

การสาธิตนี้ได้ทำโดยการทดสอบกำลังรับแรงอัดของลูกคอนกรีตแบบ Cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบไว้ที่ 400 ksc ที่ 28 วัน โดยได้แบ่งตัวอย่างที่ใช้การทดสอบนี้เป็นสามตัวอย่างด้วยกันคือ

1. ตัวอย่างควบคุมเป็นลูกตัวอย่างคอนกรีตธรรมดาไม่ได้รับการเสริมกำลัง
2. ตัวอย่างที่ได้รับการเสริมกำลังด้วยวัสดุ CFRP แบบ Fabric ที่มีปริมาณเส้นใย 230 กรัมต่อตารางเมตร

และมีค่ากำลังรับแรงดึงประลัยที่ 35,000 ksc ค่าการยึดตัวประลัยที่ 1.5% จำนวนหนึ่งชั้น

3. ตัวอย่างที่ได้รับการเสริมกำลังด้วยวัสดุ CFRP แบบ Fabric ที่มีปริมาณเส้นใย 230 กรัมต่อตารางเมตร และมีค่ากำลังรับแรงดึงประลัยที่ 35,000 ksc ค่าการยึดตัวประลัยที่ 1.5% จำนวนสองชั้น

ผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นถึงกำลังรับแรงอัดของลูกตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการได้รับการเสริมกำลังอย่างชัดเจน ในการใช้งานจริงผลจากการเสริมกำลังอาจไม่เป็นตามผลการทดสอบเนื่องจากโครงสร้างจริงจะมีการเสริมเหล็กทั้งในแนวแกนและเหล็กปลอก และมี Slenderness Ratio ที่เปลี่ยนไป ผู้ที่สนใจรายละเอียดในการออกแบบการเสริมกำลังโครงสร้างควรศึกษารายละเอียดได้จากเอกสารของ Fib และ ACI ที่ได้ระบุไว้ในหน้า

สรุป

วัสดุ FRP ได้รับการยอมรับและเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลกในการเป็น

ทางเลือกหนึ่งในการเสริมกำลังโครงสร้างเพื่อให้โครงสร้างสามารถรับกำลังได้เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มส่วนความปลอดภัยในแก่โครงสร้าง เนื่องจากมีน้ำหนักเบา กำลังรับแรงดึงสูง และไม่เป็นสนิม ผู้ออกแบบ ผู้ใช้งาน ผู้ติดตั้ง ควรมีความรู้ในการใช้งานวัสดุนี้อย่างแท้จริง ปัจจุบัน ว.ส.ท. อยู่ระหว่างการศึกษาข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบของมาตรฐานต่างประเทศ เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานใช้งานภายในประเทศ

