

**เทคโนโลยีวัสดุ Fiber Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) ในการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีต**

ในปัจจุบันการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตด้วยวัสดุคอมโพสิต (Composites) ประเภท Polymer-Matrix Composites หรือ Fiber Reinforced Plastic (FRP) เป็นที่รู้จักและนิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ เนื่องจากมีความสะดวกในการติดตั้งและสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายรูปแบบ โดยสามารถเลือกใช้เส้นใยแรงดึงสูง (High Tensile Strength Fiber) หลายชนิด เช่น Carbon fiber, Glass fiber, หรือ Aramid fiber และวัสดุประสานยึดเกาะ (Polymer-Matrix) หลายชนิด เช่น Epoxy Resin, Vinyl-Ester Resin หรือ Polyester Resin ตามความเหมาะสมของคุณสมบัติเชิงกลและราคาที่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามวัสดุ Polymer-Matrix Composites แม้ว่าจะมีคุณสมบัติด้านการรับแรงดึงในแนวตรงที่สูงกว่าเหล็กกล้าหลายเท่า แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านการรับแรงอัดและแรงที่กระทำในทิศทางอื่น ๆ ซึ่งไม่ขนานแนวการจัดเรียงเส้นใย นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดของการใช้ Polymer Matrix (หรือ Adhesive) ที่สำคัญ 3 ประการคือ

- 1) ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงตั้งแต่ระดับประมาณ 70-80 °C ขึ้นไป ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิ Glass Transition Temperature (Tg) ของวัสดุ Polymer Matrix โดยทั่วไป ซึ่งจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและสูญเสียกำลัง (Strength) ในทันที
- 2) สูญเสียกำลังการยึดเกาะ (Bonding) จากความชื้นบนพื้นผิวคอนกรีต ซึ่งการสูญเสียกำลังการยึดเกาะนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในระหว่างการติดตั้งและภายหลังการใช้งานอย่างต่อเนื่องในสภาวะที่มีความชื้นสูง
- 3) ปัญหาความเข้ากันได้ (Compatibility) ของวัสดุ Polymer Matrix และผิวคอนกรีตที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น Modulus, Coefficient of Thermal Expansion (CTE), Vapor Transmission เป็นต้น ซึ่งในบางกรณีอาจจะทำให้เกิดการแยกตัวออกจากกัน

เนื่องจากข้อจำกัดของ Polymer Matrix ดังกล่าว ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่ใช้วัสดุประสานยึดเกาะที่เป็น Cementitious Matrix เพื่อให้สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงและทนต่อความชื้นสูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคอนกรีตจึงไม่มีปัญหาความเข้ากันได้ (Compatibility) ในทุกกรณี ซึ่งวัสดุคอมโพสิตดังกล่าวนี้เรียกว่า Fiber Reinforced Cementitious Matrix (FRCM)

เส้นใยแรงดึงสูงที่สามารถใช้ร่วมกับวัสดุประสานยึดเกาะ (Cementitious Matrix) ในปัจจุบันนิยมใช้เส้นใย Polyparaphenylene Benzobisoxazole (PBO) ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์เชิงพาณิชย์ที่กล่าวได้ว่าอยู่ในกลุ่มเส้นใยที่มี Tensile Strength สูงที่สุดในโลก อีกทั้งมี Tensile Modulus ที่ Stable ในอุณหภูมิสูง

โครงสร้างโมเลกุลของเส้นใย PBO สามารถสร้างพันธะทางเคมี (Chemical Bond) ได้กับสาร Hydrate Compounds ในวัสดุ Cementitious & Pozzolan Materials หลายชนิดได้อย่างแข็งแรงและเสถียร ดังนั้นวัสดุคอมโพสิต FRCM จึงสามารถยึดเกาะกับโครงสร้างคอนกรีตได้โดยตรงอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยทั่วไปเส้นใย PBO จะมีคุณสมบัติเชิงกลและมี Strain Energy ที่สูงกว่า Carbon Fiber มาก ดังเห็นได้จากข้อมูลเปรียบเทียบ (ตารางที่ (1) ) ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการประสิทธิภาพสูง หรือต้องการคุณสมบัติในการต้านทานแรงกระแทก (Impact) หรือแรงระเบิด (Explosion) หรือในกรณีโครงสร้างต้านรับแผ่นดินไหว เป็นต้น

Comparison of Fiber Mechanical Properties	PBO Fiber	Carbon Fiber	Aramid Fiber	S-Glass Fiber
Ultimate Tensile Strength (GPa)	5.8	3.8	2.9	3.0
Modulus of Elasticity (GPa)	270	240	120	73
Ultimate Elongation (%)	2.15	1.50	2.50	4.50

{ ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเส้นใยแรงดึงสูง }

นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิต FRCM สามารถทนความร้อนได้สูงเช่นเดียวกับคุณสมบัติของวัสดุประเภทคอนกรีต โดยทั่วไป  $>> 150^{\circ}\text{C}$  จึงเหมาะกับการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ปล่องไฟ ไฮโดรเจนซีเมนต์ หลังกาตาลิฟา โครงสร้างส่วนบนสะพาน ( อุณหภูมิสะสมจากแสงอาทิตย์  $> 70^{\circ}\text{C}$  ) เป็นต้น

ในกรณีที่พื้นผิวคอนกรีตมีความเปียกชื้น หรืออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ (RH) สูงกว่า 70% ขึ้นไป (ปกติใน กทม. จะมี RH สูงกว่า 90% ในช่วงเช้าเฉลี่ยตลอดทั้งปี) Polymer Matrix (Adhesive) ที่ทาลงไปบนผิวคอนกรีตจะไม่สามารถยึดเกาะกับคอนกรีตได้ดี ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการขจัดความชื้นที่ผิวคอนกรีต หรือจะต้องรอให้ผิวคอนกรีตแห้งสนิทก่อนการติดตั้ง..... แต่สำหรับ FRCM กลับตรงกันข้ามเนื่องจากต้องการความชื้นสูงที่ผิวคอนกรีตในการทำปฏิกิริยาทางเคมีของ Cementitious Matrix จึงทำให้ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับความชื้นที่ผิวคอนกรีต ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการใช้งานเพื่อเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในน้ำหรือมีความชื้นสูง เช่น สะพาน ท่าเรือ เขื่อน อ่างเก็บน้ำ โครงสร้างใต้ดิน เป็นต้น

วัสดุคอมโพสิต FRCM มีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า FRP เนื่องจากในกรณีเพลิงไหม้ Polymer Matrix เช่น Epoxy, Polyester ที่ถูกเผาไหม้จะเกิดการติดไฟลุกลามและเกิดควันพิษที่เป็นอันตราย นอกจากนี้ Epoxy ยังเป็น

วัสดุที่ย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยากมากและส่วนประกอบทั้ง Part A และ part B ที่เป็นของเหลวมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและไวไฟ จึงต้องทำการบริหารจัดการวัสดุอย่างเข้มงวดเพื่อความปลอดภัย ในขณะที่ Cementitious Matrix เป็นวัสดุประเภทเดียวกับปูนซีเมนต์ ไม่ติดไฟ ไม่เกิดควันพิษ และเมื่อแข็งตัวแล้วไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

จากที่กล่าวมาข้างต้นวัสดุคอมโพสิต FRCM จะมีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุคอมโพสิต FRP แต่อย่างไรก็ตาม FRCM ก็มีข้อจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับ FRP เช่นกัน กล่าวคือ

- 1) ราคาของเส้นใย PBO Fiber จะสูงกว่าเส้นใย Carbon Fiber ที่น้ำหนักเท่ากัน
- 2) การติดตั้ง FRCM ในลักษณะ Overhead กระทำได้ยากลำบากกว่า FRP (Carbon Fiber Sheet)
- 3) แต่ละชั้น (Layer) ของ FRCM จะมีความหนามากกว่า FRP (Carbon Fiber Sheet)
- 4) กรณีศึกษาและข้อแนะนำหรือมาตรฐานในการออกแบบยังมีน้อยกว่า FRP ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป
- 5) ระยะเวลาในการทำงาน (Workability Time, Pot Life) อาจสั้นกว่า FRP (Carbon Fiber Sheet)

ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุคอมโพสิต FRCM จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตนอกเหนือจากวัสดุ FRP หรือกระบวนการเสริมกำลัง Conventional อื่นๆ ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบควรจะต้องพิจารณาข้อดีข้อเสียและความเหมาะสมในแต่ละกรณีไป

ธรรมชาติ กุลประภา

กรรมการผู้จัดการบริษัท นนทรี จำกัด

[www.nontrico.com](http://www.nontrico.com)