

ข้อพิจารณาในการใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

CONSIDERATIONS FOR USING FIBER REINFORCED POLYMER BARS

เมธี บุญพิเชษฐวงศ์^{๑,๒}

^๑สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

^๒ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ความเชี่ยวชาญ : วิศวกรรมโครงสร้าง, กลศาสตร์ของโครงสร้าง, วัสดุในงานโครงสร้าง





1. บทนำ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อสัมผัสกับความชื้นและอากาศภายใต้ระยะเวลาที่มากพอจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุได้ทั้งการเสื่อมสภาพในคอนกรีตและการเสื่อมสภาพในเหล็กเสริม เป็นที่ทราบกันว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเมื่อกระจายเข้าไปในเนื้อคอนกรีตจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันในคอนกรีตส่งผลให้คุณสมบัติความแข็งแรงของคอนกรีตลดลง รวมไปถึงกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตมีสถานะแวดล้อมที่สัมผัสกับสารคลอไรด์จะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดกัดกร่อนหรือการเกิดสนิมในเหล็กเสริม ปัญหาการเสื่อมสภาพของเหล็กเสริมจากการเกิดสนิมเป็นปัญหาที่พบได้มากเป็นลำดับต้นๆในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้งานรับน้ำหนักของโครงสร้างและส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมปรับปรุงโครงสร้างคอนกรีตเพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตภายหลังการปรับปรุงมีสมรรถนะเป็นไปตามข้อกำหนดด้านการรับน้ำหนักและความคงทนถาวรของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ไม่นานนี้ได้เริ่มมีการนำแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมาใช้ในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยข้อดีของการนำแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมาใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตคือการที่ตัววัสดุเองมีความคงทนไม่พบการเกิดสนิมดังเช่นในเหล็กเสริม จากการสืบค้นเอกสารทางวิชาการ ผู้เขียนพบว่าในต่างประเทศได้มีการพิจารณาใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพื่อทดแทนการใช้เหล็กเสริมตั้งแต่ ในช่วงปี ค.ศ. 1960 หลังจากนั้นได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ทั้งในประเด็นของตัววัสดุเอง และพฤติกรรมเมื่อนำแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมาใช้เป็นวัสดุเสริมรับแรงในโครงสร้างคอนกรีตเรื่อยมา [1]

2. แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

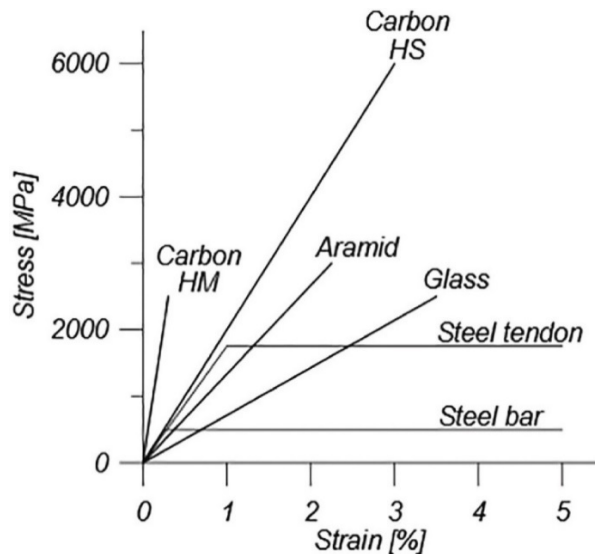
แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเป็นวัสดุคอมโพสิตทำจากเส้นใยที่ยาวต่อเนื่อง โดยชนิดของเส้นใยที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมประกอบด้วย เส้นใยอะรามิด, เส้นใยคาร์บอน และ เส้นใยแก้ว โดยเส้นใยที่เรียงตัวตามยาวจะถูกเคลือบด้วยสารเรซิน และผู้ผลิตมักใส่วัสดุเติม (filler) เพื่อลดปริมาตรของพอลิเมอร์ โดยไม่ให้เกิดผลกระทบต่อพฤติกรรมของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ออกแบบการผลิตไว้ ตัวเส้นใยเองและสัดส่วนเส้นใยที่มีในหนึ่งหน่วยปริมาตรของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะส่งผลหลักต่อคุณสมบัติการรับแรงของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ตัวสารเรซินนอกจากจะช่วยถ่ายแรงและกระจายแรงระหว่างเส้นใยและทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยจากการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก สัดส่วนเส้นใยที่มีในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่สูงจะทำให้ค่ากำลังรับแรงดึงของตัวแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีค่าสูง



รูปที่ 1 ตัวอย่างแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย [2]

จากลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยจะทำให้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีลักษณะการรับแรงไม่เหมือนกันทุกทิศทาง (anisotropic material) โดยคุณสมบัติเด่นจะเป็นการรับแรงดึงในทิศทางเดียวกับการวางตัวของเส้นใยซึ่งโดยปกติจะถูกวางเรียงตัวขนานไปกับทิศทางของตัวแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย โดยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีความสามารถในการรับแรงดึงที่สูงกว่าเหล็กเสริมและสำหรับแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแล้วจะพบว่ามีความอดุลลัสยืดหยุ่นภายใต้แรงดึงในทิศทางของแท่งที่ต่ำกว่าในกรณีของเหล็กเสริม

นอกจากนี้พฤติกรรมการรับแรงดึงของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย จะไม่แสดงจุดครากโดยสามารถพิจารณาให้มีพฤติกรรมที่ยืดหยุ่นจนกระทั่งจุดวิบัติ สมบัติของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจึงแสดงความเปราะ ไม่มีความเหนียว และส่งผลให้หลักการออกแบบเมื่อใช้ในโครงสร้างคอนกรีตมีความแตกต่างไปจากกรณีของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับทิศทางที่ตั้งฉากกับแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย พบว่า จะมีค่ากำลังรับแรงดึงและค่ามอดุลลัสยืดหยุ่นที่ต่ำกว่า ทำให้พบว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนรวมถึงกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าในกรณีของเหล็กเสริม



รูปที่ 2 กราฟตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นดึงและความเครียดดึงของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย [3]

จุดเด่นของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย มีดังต่อไปนี้

1) คุณสมบัติการไม่เกิดสนิม ทำให้ในต่างประเทศมีการใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเป็นวัสดุเสริมรับแรงในโครงสร้างคอนกรีตในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อนเป็นสนิมในกรณีที่ใช้เหล็กเสริมเป็นวัสดุเสริมรับแรง โครงสร้างที่ตั้งอยู่ติดชายฝั่งทะเลที่มีการสัมผัสกับน้ำทะเลสูง หรือ โครงสร้างที่ตั้งใกล้ชายฝั่งที่มีอากาศสัมผัสกับไอน้ำทะเล โครงสร้างพื้นสะพานและผิวทางที่มีการสัมผัสกับเกลือที่ใช้ละลายน้ำแข็งในฤดูหนาว รวมไปถึงพื้นที่ที่มีสภาวะการกัดกร่อนรุนแรงเช่นพื้นที่รับหอล่อเย็น

2) พอลิเมอร์เสริมเส้นใยเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา โดยมีหน่วยน้ำหนัก ประมาณหนึ่งในสี่ของน้ำหนักเหล็กเสริมทั่วไป น้ำหนักวัสดุที่เบาทำให้ลดต้นทุนการขนส่ง การก่อสร้าง และ ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง นอกจากนี้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยสามารถตัดให้ขาดอย่างไม่ลำบากไปโดยใช้เลื่อยทั่วไป ทำให้ลดเวลาในการเตรียมชิ้นงาน

3) พอลิเมอร์เสริมเส้นใยไม่มีสมบัติการเป็นโลหะ ในกรณีของพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วนั้น ไม่มีการเหนียวเข้ากับสนิมแม่เหล็ก ทำให้เหมาะสมในการนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีการติดตั้งเครื่องมือประเภทที่ทำให้เกิดสนิมแม่เหล็กและมีความจำเป็นต้องลดผลกระทบจากการถูกรบกวนสัญญาณในระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องมือชิ้นๆ ซึ่งการถูกรบกวนสัญญาณนี้เป็นปัญหาที่มักจะพบได้ในกรณีที่มีการใช้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตในพื้นที่ติดตั้งเครื่องมือชิ้น พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติการ

ไม่นำไฟฟ้า และ มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ ทำให้มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่เป็นต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาการเหนี่ยวนำไฟฟ้าในโครงสร้างคอนกรีต

3. มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ.2562 ประเทศไทยมีการประกาศใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2973-2562 [4] พอลิเมอร์เสริมเส้นใยสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตไม่อัดแรง สำหรับโครงสร้างในแนวราบ เนื้อหาสาระในมาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงแบบ (แบบเส้นตรง หรือ แบบตะแกรง) ประเภทของเส้นใย (อะรามิต, คาร์บอน หรือ แก้ว) ชั้นคุณภาพ (ขึ้นกับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นตามแนวยาวต่ำสุด) ชนิด (ตามความทนทาน) วัสดุที่ใช้ผลิต การทำ รวมถึงคุณลักษณะที่ต้องการ และ ขณะนี้ยังไม่มีมาตรฐานบังคับใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ออกโดยหน่วยงานในประเทศไทย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องอ้างอิงมาตรฐานจากต่างประเทศ

ผู้เขียนใคร่ขออ้างอิงมาตรฐานที่มีในประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อรวบรวมข้อกำหนดต่างๆล่าสุดที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและก่อสร้างที่ใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ที่ออกโดยหน่วยงาน ASTM (American Society for Testing and Materials) และ ACI (American Concrete Institute) โดยในปี ค.ศ. 2017 ในประเทศสหรัฐอเมริกา ทาง ASTM ได้มีการออกมาตรฐาน ASTM D7957, Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement และ ได้มีการปรับปรุงเร็ว ๆ นี้เป็น ASTM D7957-22 [5] เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดด้านวัสดุซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ทำจากใยแก้ว

ในปี ค.ศ.2008 ได้มีการออกมาตรฐานและข้อกำหนดในงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยและมีการปรับปรุงเร็ว ๆ นี้ในปี ค.ศ. 2022 กลายเป็นมาตรฐาน ACI 440.5-22, Construction with Glass Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars [6]

ในปี ค.ศ.2001 ทาง ACI ได้เริ่มจัดทำแนวทางการออกแบบ ACI 440.1R Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer และได้มีการปรับปรุงในปี ค.ศ.2015 เป็น ACI 440.1R-15 [2] สำหรับการคำนวณออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย โดยครอบคลุมประเด็นข้อพิจารณาต่างๆ และข้อแนะนำในการออกแบบใช้งานแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย เพื่อให้เท่าทันกับการเปลี่ยนแปลงในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ทำให้เกิดอุปสรรคในการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตอย่างแพร่หลาย

ในเดือน กันยายน ปี ค.ศ.2022 ACI ได้มีการออกมาตรฐานและข้อกำหนดการออกแบบอาคารโครงสร้างคอนกรีตที่ใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว ACI 440.11-22 Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars [7] โดยสามารถใช้กับแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากใยแก้วเท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงเส้นใยประเภทอื่น

4. ข้อพึงพิจารณาในการออกแบบตามมาตรฐาน ACI440.11-22

4.1 สมบัติรับแรงดึง

สมบัติรับแรงดึงที่จำเป็นในการออกแบบได้แก่ค่าแรงดึงประลัยต่ำสุด (guaranteed ultimate tensile force) ที่อ้างอิงตาม ASTM D7957 [5] ความเค้นดึงประลัยต่ำสุดของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วหาได้จากการหารค่าแรงดึงประลัยต่ำสุดด้วยพื้นที่หน้าตัดของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว โดยทั่วไปจะพบว่าความเค้นดึงประลัยมีค่าลดลงสำหรับแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางระบุที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ผิวนอกจะมีการรับแรงที่มากกว่าเส้นใยที่ด้านในของแท่งทำให้เกิดการขาดของเส้นใยที่ผิวนอกของแท่งก่อน โดยให้การทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรับแรงดึงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D7205 [8] โดยต้องเตรียมกระบอกยึดปลายทั้งสองด้านของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว เพื่อหลีกเลี่ยงการวิบัติที่ปลายของแท่งที่มีการยึดกับหัวจับของเครื่องทดสอบรับแรงดึงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย [9]

4.2 สมบัติรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นภายใต้แรงอัดของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว โดยทั่วไปจะมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง ถึงแม้โดยทั่วไปจะพบว่าความเครียดอดประลัยของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วมีค่าไม่น้อยไปกว่าความเครียดอดประลัยของคอนกรีตแต่เนื่องจากพฤติกรรมการรับแรงอัดของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วสามารถเพิ่มกำลังของชิ้นส่วนคอนกรีตที่รับแรงอัดได้อยู่ในเพียงช่วงร้อยละ 5 ถึง 12 ซึ่งถือว่ามียุทธค่าน้อยกว่า ACI 440.11-22 [7] จึงกำหนดให้ไม่ต้องพิจารณาผลของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วในการช่วยรับแรงอัดโดยให้พิจารณาเสมือนเป็นคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นภายใต้แรงอัดของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วเทียบเท่ากับคอนกรีต

4.3 สมบัติรับแรงเฉือน

ค่ากำลังรับแรงเฉือนของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วโดยทั่วไปจะมีค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับแรงดึงเนื่องจากกลไกการรับแรงเฉือนของเส้นใยทางขวาง โดยพบว่าค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเส้นที่ขนาดหน้าตัดระบุเดียวกัน ปัจจุบัน ACI 440.11-22 [7] ยังไม่มีข้อกำหนดที่ครอบคลุมถึงพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงเฉือนผ่านรอยต่อโดยใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว

4.4 สมบัติรับแรงยึดเหนี่ยว

สมบัติรับแรงยึดเหนี่ยว แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่ใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการการถ่ายแรงยึดเหนี่ยว จะถูกกำหนดให้มีการเตรียมผิวเพื่อให้มีกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวที่เพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต การเตรียมผิวอาจทำได้โดยกระบวนการพ่นทรายเคลือบผิว หรือกระบวนการปรับผิวโดยการเสริมเส้นครีบกาวหรือบั้งหรือปล้อง แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วในขอบเขตของมาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] จะต้องมีค่ากำลังยึดเหนี่ยวไม่น้อยกว่า 8 เมกะปาสคาล

4.5 การตัดโค้ง

แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะไม่สามารถตัดโค้งให้ขึ้นตามรูปได้ที่หน้างานจากสมบัติความยืดหยุ่นที่มี การตัดโค้งจะต้องทำในขั้นตอนการผลิตจากโรงงาน การตัดโค้งจะทำให้เกิดความเค้นคงค้าง

และทำให้กำลังรับแรงดึงลดลงที่ตำแหน่งตัดโค้ง ASTM D7957 [5] กำหนดให้กำลังรับแรงดึงของแท่งที่ถูกตัดโค้ง ณ ตำแหน่งตัดโค้งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ของกำลังรับแรงดึงที่มีในแท่งตรง

4.6 ระยะคอนกรีตหุ้ม

แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโดยปกติจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่ขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของเส้นใย โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนในทิศทางตามยาวของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่มีทิศทางของเส้นใยวางขนานกับแท่งนั้นจะมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนในทิศทางตามขวางที่ตั้งฉากกับแนวแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนในทิศทางตามยาวของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยถือว่ามีค่าใกล้เคียงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของคอนกรีต มาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] ได้กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มขั้นต่ำที่จำเป็นในโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อป้องกันการแตกร้าวจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิและให้มีการยึดเหนี่ยวรวมถึงความยาวยึดรั้งเป็นไปตามสมการออกแบบที่กำหนดไว้

ตารางที่ 1 ระยะคอนกรีตหุ้มระบุขั้นต่ำ (ACI 440.11-22) [7]

ประเภทการสัมผัสของผิวคอนกรีต	ชั้นส่วน	ขนาดของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว	ระยะคอนกรีตหุ้ม (เซนติเมตร)
สัมผัสกับดินถาวร	ทุกประเภท	ทุกขนาด	7.5
เมื่อต้องถูกแดด ฝน	ทุกประเภท	เส้นผ่านศูนย์กลางระบุตั้งแต่ 19 มม – 32 มม	5.0
	ทุกประเภท	เส้นผ่านศูนย์กลางระบุต่ำกว่า 16 มม ลงไป	3.8
อยู่ในที่ร่ม ไม่สัมผัสกับดิน ไม่ถูกแดด ฝน	พื้น ตง ผัง	ทุกขนาด	1.9
	คาน เสา ชั้นส่วนรับแรงดึง	ทุกขนาด	3.8

4.7 อัตราการทนไฟ

สารประกอบพอลิเมอร์ในแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งคล้ายแก้ว เป็นของที่อ่อนตัวคล้ายยางเมื่ออุณหภูมิแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเพิ่มสูงเข้าใกล้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว ซึ่งจะส่งผลให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีค่าลดลง อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วโดยทั่วไปไม่ควรต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสตามข้อกำหนดใน ASTM D7957 [5] แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยควรมีอุณหภูมิใช้งานต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้าย แก้วอย่างน้อย 15 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย สมบัติการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเมื่อได้รับความร้อนจน มีอุณหภูมิสูงนี้เป็นข้อพึงระวังที่สำคัญเมื่อต้องพิจารณาอัตราทนไฟของโครงสร้างที่พิจารณา มาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] ไม่อนุญาตให้ใช้ในอาคารที่ถูกกำหนดอัตราทนไฟของโครงสร้างยกเว้นในกรณีที่มี ผลการทดสอบหรือรายการคำนวณที่สามารถรับรองค่าอัตราการทนไฟของโครงสร้างที่พิจารณา สำหรับค่าอัตราการทนไฟของโครงสร้างที่มีระยะคอนกรีตหุ้มชั้นต่ำจาก **ตารางที่ 1** มาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] ได้ให้ค่าอัตราการทนไฟเป็นไปดังแสดงใน **ตารางที่ 2** สำหรับแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้น ใยแก้วที่พฤติกรรมไม่ถูกควบคุมด้วยการยึดเหนี่ยว

ตารางที่ 2 ค่าอัตราการทนไฟที่ระยะคอนกรีตหุ้มชั้นต่ำสำหรับแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่ พฤติกรรมไม่ถูกควบคุมด้วยการยึดเหนี่ยว (ACI 440.11-22) [7]

ระยะคอนกรีตหุ้ม (เซนติเมตร)	ค่าอัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)		
	พื้น ผนังไม่รับแรง	คาน	เสา ผนังรับแรง
5.0	1.5	1	0.5
3.8	1	0.5	0.5
1.9	0.5	ไม่มี	น้อยกว่า 0.5

4.8 ความเค้นค้ำ

การวิบัติฉีกขาดจากการคืบ ภายใต้แรงกระทำค้ำแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะเกิดการ คืบหรือการเสียรูปเพิ่มเติมที่แปรผันตามเวลา ซึ่งถ้ามีค่ามากพอจะทำให้เกิดการวิบัติฉีกขาดได้ มาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] ได้กำหนดให้ แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว รับความเค้นค้ำได้ สูงสุดไม่เกินร้อยละ 30 ของกำลังรับแรงดึงออกแบบประลัย

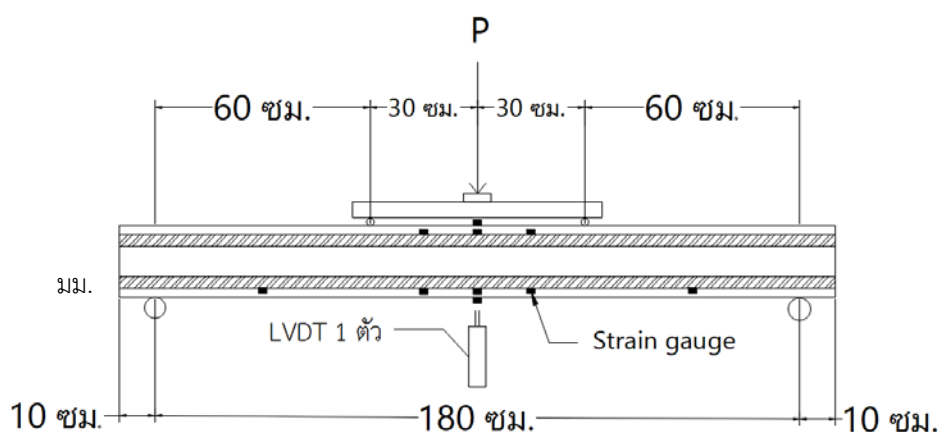


4.9 การใช้งานในโครงสร้างอาคาร

สำหรับการใช้ในโครงสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยจากจากแผ่นดินไหว จากคุณสมบัติที่ไม่แสดงจุดครากของ แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ทำให้โครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะไม่แสดงความเหนียว มาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] อนุญาตให้ใช้ในโครงสร้างอาคารได้ก็ต่อเมื่อค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบที่คาบการสั่น 0.2 และ 1 วินาที มีค่าที่ทำให้อาคารที่ออกแบบอยู่ในประเภทการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแบบ A ซึ่งเมื่อเทียบเคียงกับมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61 [10] จะหมายถึงประเภทการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ก (ไม่ต้องออกแบบ) จากข้อจำกัดที่ระบุในมาตรฐานการออกแบบ ทำให้ยังไม่ควรใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ในชิ้นส่วนหรือองค์อาคารในแนวตั้งที่ต้องการพฤติกรรมของโครงสร้างที่มีความเหนียวในการกระจายแรงดัดภายในชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตที่พิจารณา

จากสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่มีความแตกต่างจากเหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้ไม่สามารถพิจารณาใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยในการแทนที่เหล็กเสริมด้วยแนวคิดการใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากันและระยะเรียงเท่ากัน ในที่นี้ ผู้เขียนขอยกตัวอย่างผลการทดสอบแรงดัดของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่มีขนาดหน้าตัดกว้าง 20 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร ชิ้นตัวอย่างทดสอบนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยด้านพฤติกรรมโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น [9] ชิ้นตัวอย่างเสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วขนาด 16 มิลลิเมตร โดยจัดวางด้านบนและด้านล่างของหน้าตัดด้านละ 2 เส้น โดยมีความยาวของชิ้นส่วนเท่ากับ 1.8 เมตร รับแรงกระทำทดสอบแบบ 4 จุดเพื่อทดสอบการดัดตั้งแสดงในรูปที่ 4 แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่นำมาศึกษาเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลจะได้ดังตารางที่ 3 ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่ทดสอบได้มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์กำลังของหน้าตัดตามมาตรฐาน ACI 440.11-22 [7] โดยจากตารางที่ 4 จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดจากการทดสอบของทั้งสองตัวอย่างมีค่าเกือบเท่ากัน แต่มีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดทางทฤษฎีอยู่เล็กน้อย รูปแบบการวิบัติเป็นการวิบัติจากการอัดแตกของคอนกรีตรับแรงอัดเป็นหลัก เมื่อพิจารณาค่าแรงดัดประลัยที่ชิ้นส่วนรับได้ตามมาตรฐานการออกแบบจะมีค่าภายหลังคูณด้วยตัวคูณลดอยู่ที่ $\phi M_n = 0.65 \times 2.5 = 1.62$ ตัน.เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของหน้าตัดชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กทางทฤษฎีที่ใช้เหล็กเสริม SD40 จะได้ค่าแรงดัดประลัยในกรณีของคอนกรีตเสริมเหล็กรับได้ตามมาตรฐานการออกแบบจะมีค่าภายหลังคูณ

ด้วยตัวคูณลดอยู่ที่ $\phi M_n = 0.9 \times 2.23 = 2.01$ ตัน.เมตร ในกรณีตัวอย่างที่ยกมานี้จะเห็นได้ว่าชิ้นส่วนที่เสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยในการแทนที่เหล็กเสริมสามารถรับแรงดัดประลัยได้เพียงร้อยละ 80 ของชิ้นส่วนรับแรงดัดที่ใช้เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 4 ตำแหน่งการทดสอบกำลังรับแรงดัดของเสาโดยวิธีแรงดัดแบบ 4 จุด [9]

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของตัวอย่างแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วตามมาตรฐาน มอก.2973-2562 [4]

รายการ	ข้อกำหนด มอก.2973-2562	ตัวอย่างแท่ง
1. ความต้านแรงดึงตามแนวยาว (เมกะพาสคาล)	650	1166.9
2. มอดูลัสยืดหยุ่นตามแนวยาว (จิกะพาสคาล)	50	64.8
3. การยืดหดสูงสุดที่วิบัติจากแรงดึง	ไม่น้อยกว่า 1.2 %	2.04 %

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าแรงดัดสูงสุดของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตเสริมแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย
แก้วจากการทดสอบกับทางทฤษฎี [9]

รายการ	ค่าแกน สะเทิน (ชม.)	แท่งพอลิเมอร์รับน		แท่งพอลิเมอร์ล่าง		แรงดัดสูงสุด (ตัน-เมตร)
		ความเครียด	ความเค้นดึง (กก./ชม. ²)	ความเครียด	ความเค้นดึง (กก./ชม. ²)	
ตัวอย่างที่ 1	2.32	0.0004	260	0.0082	5530	2.31
ตัวอย่างที่ 2	3.28	0.0005	325	0.0082	5330	2.30
ค่าจากทาง ทฤษฎี	4.43	0.0004	260	0.0072	4680	2.50

5. สรุป

สมบัติของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่แตกต่างไปจากสมบัติของของเหล็กทำให้พฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีความแตกต่างไปจากพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงมีความจำเป็นที่วิศวกรผู้เกี่ยวข้องในงานโครงสร้างคอนกรีตมีความเข้าใจในข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการพัฒนามาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตที่เสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยของประเทศไทย เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในการออกแบบและใช้งานโครงสร้างคอนกรีตเสริมด้วยแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยให้กับวิศวกรที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Deshmukh, A., Gold, W., AlAithan, G. H., & Nanni, A. (2023). *Non-Metallic Reinforcement for Concrete*. STRUCTURE Magazine. <https://www.structuremag.org/?p=23430>
- [2] ACI 440.1R-15. (2015) Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars, American Concrete Institute.
- [3] Abbood, I. S., aldeen Odaa, S., Hasan, K. F., & Jasim, M. A. (2021). Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures—A review. *Materials Today, Proceedings*, 43, 1003-1008.
- [4] TIS 2973-2562. (2019). Fibre-reinforced polymers for non-prestressed concrete structures. Thailand Industrial Standards Institute Ministry of Industry, Thailand. (in Thai)
- [5] ASTM D7957-22. (2022). Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [6] ACI 440.5-22. (2022). Construction with Glass Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars. American Concrete Institute.
- [7] ACI 440.11-22. (2022). Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars—Code and Commentary. American Concrete Institute.
- [8] ASTM D7205 (2021). Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [9] Thiankhao, R., Hirankittiwong, A., & Sooksabai, P. (2021) *Comparative study of flexural improvement of column reinforced by FRP and Steel rods*. Undergraduate Student Project Report, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.
- [10] DPT 1301/1302-61. (2018). Building design standards for earthquake resistance. Department of Public Works and Town & Country Planning, Ministry of Interior, Thailand.

เกี่ยวกับผู้แต่งบทความ

รองศาสตราจารย์เมธี บุญพิเชฐวงศ์ ดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และปัจจุบันยังดำรงตำแหน่งในคณะกรรมการสาขาคอนกรีตและวัสดุ และคณะกรรมการสาขาโครงสร้างเหล็ก ในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เชี่ยวชาญทางสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง โดยมุ่งเน้นไปที่กลศาสตร์ของโครงสร้างคอนกรีต และโครงสร้างเหล็ก

การอ้างอิงบทความ (citation)

เมธี บุญพิเชฐวงศ์ (2566), "ข้อพิจารณาในการใช้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Considerations for using fiber reinforced polymer bars)," *วารสารคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2), บทความหมายเลข TCA_M 170201, พฤษภาคม-สิงหาคม, 14 หน้า.

Boonpichetvong, M. (2023) "Considerations for using fiber reinforced polymer bars," *TCA Magazine, Thailand Concrete Association*, Vol. 17, Issue 2, Paper ID TCA_M 170201, May - August, 14 pages.