กำลังรับแรงดึงของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วภายหลังสภาวะเพลิงไหม้

Post-fire Tensile Strength of Glass Fiber-reinforced Polymer Rebars

ปฐมพร โซ๊ะมณี* ชนะชัย ทองโฉม และ สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี

**Corresponding author; E-mail address: pathomporn.live@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วในด้านความต้านทานการรับแรงดึงสูงสุด ภายหลังจากการเผาไหม้ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 16, 20 และ 25 มิลลิเมตร และให้ความร้อนกับแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วด้วยอัตราความร้อนคงที่เท่ากับ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งอุณหภูมิเป้าหมายที่ศึกษาคือ 25, 100, 200, 300 และ 400 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าการเผาไหม้ที่ระดับอุณหภูมิ 100 และ 200 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วมีค่าที่สูงขึ้นมากกว่าที่ระดับอุณหภูมิห้องเล็กน้อย และมีค่าลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าหากอุณหภูมิมีค่าเกิน 400 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วจะมีค่าลดลงอย่างมากแบบไม่เป็นเชิงเส้น สำหรับขนาดตัวอย่างในการทดสอบของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วนั้นพบว่าการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเดียวกันค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่ามีค่ามากกว่าขนาดที่เล็กกว่าเพียงเล็กน้อย

คำสำคัญ: แท่งพอลิเมอร์ใยแก้ว, อุณหภูมิสูง, กำลังรับแรงดึง, ความร้อน

Abstract

This study aims to investigate the effect of elevated temperatures on the mechanical behavior of glass fiber reinforced polymer (GFRP) rebars in terms of their tensile strength. To achieve this, GFRP rebars with diameters of 16, 20, and 25 mm. were subjected to thermal processing at a constant heating rate of 20 °C/min, with target temperatures of 25, 100, 200, 300, and 400 °C. The results showed that the tensile strength of the GFRP rebars was higher than that at room temperature when subjected to combustion temperatures of 100 and 200 °C, but decreased significantly at 300 °C. Moreover, the tensile strength of the GFRP rebars decreased dramatically in a nonlinear manner at temperatures beyond 400 °C. It was also found that the tensile strength of the larger diameter rebar was marginally higher than that of the smaller diameter rebar for the tested sample size of GFRP rebars at a single temperature of combustion.

Keywords: GFRP Rebars, high temperature, tensile strength, heat.

1. คำนำ

เหล็กเป็นวัสดุเสริมแรงที่นำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานโครงสร้างเกือบทุกประเภท เนื่องจากเหล็กเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงคงทน สามารถรับน้ำหนักได้มาก มีการยืดตัวได้ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน หาซื้อได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างมาก

ปัจจุบันมีวัสดุที่เข้ามาเป็นทางเลือกที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างทางวิศวกรรมคือ พอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย (FRP: Fiber Reinforce Polymer) ซึ่งเป็นที่นิยมและได้รับความสนใจเป็นอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรมทั่วโลก ตัวพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยนั้นมีคุณสมบัติที่โดดเด่นทั้งคุณสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางเคมี โดยสามารถรับความต้านทานแรงดึงสูง มีน้ำหนักที่เบา สามารถขนส่งได้ง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง ทนต่อการเกิดสนิม และมีความคงทนต่อสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง เป็นที่นิยมนำไปใช้ในงานก่อสร้างหรือซ่อมแซมสะพาน โครงสร้างติดชายฝั่ง เป็นต้น [1] แต่อย่างไรก็ตามในงานโครงสร้างการที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างอาคารหลายชั้น อาคารจอดรถ และโครงสร้างอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น ยังมีด้อยบางประการที่เกี่ยวกับโครงสร้างที่จำเป็นต่อการศึกษาอย่างละเอียดและทดลองเพิ่มเติม ซึ่งวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยนี้ก็ต่างมีด้วยกันหลายชนิด บทความนี้เราจะให้มุ่งเน้นไปที่วัสดุพอลิเมอร์เสริมด้วยเส้นใยแก้ว (GFRP: Glass fiber) ในรูปแบบของแท่งพอลิเมอร์เสริมด้วยเส้นใยแก้ว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความต้านทานแรงดึงสูงมาก [2] เมื่อพิจารณาวัสดุแท่งพอลิเมอร์เสริมด้วยเส้นใยแก้วจะเป็นวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ ซึ่งจะประกอบด้วยเส้นใยและเรซิน โดยเส้นใยจะเป็นสารประกอบอนินทรีย์มีความสเถียรสูงและไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Tg) [3] แท่งพอลิเมอร์เสริมด้วยเส้นใยแก้วจะยังคงแสดงความสามารถและประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมเมื่อเทียบกับวัสดุโลหะอื่น ๆ แต่ก็ยังคงมีข้อเสียในเรื่องคุณสมบัติของตัววัสดุเมื่อถูกความร้อนสูงจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็ว

การเกิดเพลิงไหม้ ณ ปัจจุบันซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและทำให้สิ่งก่อสร้างเกิดความเสียหายส่งผลกระทบอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สิน เมื่อโครงสร้างพังลง ซึ่งวัสดุเสริมความแข็งแรงต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแท่งเหล็ก

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการรับแรงดึงของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว

จากการที่นำแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16, 20 และ 25 มม. ใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 25 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C และ 400 °C โดยที่หนึ่งอุณหภูมิการทดสอบใช้ 2 ตัวอย่างแล้วทำการเย็นตัว

ลักษณะทางกายภาพจากผลการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่กำหนดพบว่าหลังจากการที่เผาไฟ ที่อุณหภูมิ 100 °C สีที่พื้นผิวที่โดนความร้อนแทบไม่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะอุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิ 200 °C ผิววัสดุมีสีเหลืองเข้มออกน้ำตาลเนื้อวัสดุยังแข็งแรง ที่อุณหภูมิ 300 °C พื้นผิวเป็นสีดำเนื่องจากถูกไหม้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เนื้อวัสดุยังคงสภาพค่อนข้างแข็งแรงอยู่ และที่อุณหภูมิ 400 °C ผิววัสดุที่โดนความร้อนไหม้เป็นสีดำ และเปลือกเรซินหลุดออกเหลือเป็นเส้นใยภายในที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กอาจจะเกิดการงอได้ ถ้าออกแรงในการสัมผัสมากเกินไป

การทดสอบทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วหลังได้รับความร้อนที่อุณหภูมิห้อง 100 °C, 200 °C, 300 °C และ 400 °C แล้วนำไปเย็นตัวโดยอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงดึง โดยได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 16 มม.

ตัวอย่างทดสอบ	อุณหภูมิ (T,°C)	โมดูลัสยืดหยุ่น (E_s,MPa)	ความเค้นสูงสุด (f_u,MPa)	ความเครียดสูงสุด (ε_u,m/m)	ค่ากำลังโหลดสูงสุด (kgf)
GFRP 16-RT-1	RT	51416	826	0.019	16607
GFRP 16-RT-2	RT	51523	840	0.020	16889
Mean		**51469**	**833**	**0.019**	**16748**
GFRP 16-100-1	100	43105	841	0.020	16909
GFRP 16-100-2	100	41125	857	0.024	17231
Mean		**42115**	**849**	**0.022**	**17070**
GFRP 16-200-1	200	41111	844	0.022	16969
GFRP 16-200-2	200	39154	840	0.069	16889
Mean		**40132**	**842**	**0.045**	**16929**
GFRP 16-300-1	300	37879	822	0.040	16527
GFRP 16-300-2	300	32656	797	0.040	16024
Mean		**35267**	**810**	**0.040**	**16286**

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 16 มม. (ต่อ)

ตัวอย่างทดสอบ	อุณหภูมิ (T,°C)	โมดูลัสยืดหยุ่น (E_s,MPa)	ความเค้นสูงสุด (f_u,MPa)	ความเครียดสูงสุด (ε_u,m/m)	ค่ากำลังโหลดสูงสุด (kgf)
GFRP 16-400-1	400	NA	619	NA	12445
GFRP 16-400-2	400	NA	628	NA	12626
Mean		**NA**	**624**	**NA**	**12546**

พบว่าเมื่อแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะลดลง ที่อุณหภูมิ 100 °C ค่าโมดูลัสลดลงจากอุณหภูมิห้องถึง 18% ในช่วง 100 °C - 200 °C โมดูลัสยืดหยุ่นนั้นมีค่าลดลง และแตกต่างกันเล็กน้อยเพียง 4.7% และจะเริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่อุณหภูมิ 300 °C ขึ้นไป โดยที่อุณหภูมิ 300 °C มีโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงถึง 31% อาจเกิดจากความร้อนที่เผาไหม้เรซินที่ผิวจนไหม้แล้ว แผ่เข้าไปถึงเส้นใยในเนื้อวัสดุทำให้ค่าลดลงค่อนข้างมาก ค่าความเค้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 100 °C สังเกตได้ว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเกิดจากเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิช่วงนี้แล้วเย็นตัวโดยอากาศกลับคืนสู่สภาวะอุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดการบ่มเรซินจึงทำให้แข็งแรงขึ้น หลังจากนั้นค่าที่อุณหภูมิ 200 °C - 300 °C เริ่มมีแนวโน้มที่จะลดลง จนกระทั่งตั้งแต่ 400 °C เป็นต้นไป ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าลดลงถึง 25% เกิดจากความร้อนเข้าไปเผาไหม้ถึงเส้นใยในเนื้อวัสดุ จึงทำให้กำลังรับแรงดึงลดลง สามารถสังเกตลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบหลังได้รับแรงดึงของอุณหภูมิต่าง ๆ ได้ตามรูปที่ 6

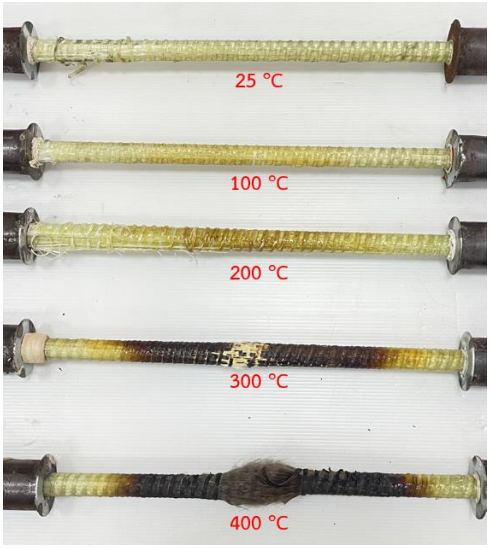


รูปที่ 6 ลักษณะแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 16 มม. หลังได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 25 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C และ 400 °C

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 20 มม.

ตัวอย่างทดสอบ	อุณหภูมิ (T,°C)	โมดูลัสยืดหยุ่น (E_s,MPa)	ความเค้นสูงสุด (f_u,MPa)	ความเครียดสูงสุด (ε_u,m/m)	ค่ากำลังโหลดสูงสุด (kgf)
GFRP 20-RT-1	RT	50804	717	0.014	22525
GFRP 20-RT-2	RT	50926	708	0.014	22273
Mean		**50865**	**713**	**0.014**	**22399**
GFRP 20-100-1	100	40827	725	0.017	22776
GFRP 20-100-2	100	43698	737	0.016	23153
Mean		**42263**	**731**	**0.017**	**22965**
GFRP 20-200-1	200	39143	742	0.019	23310
GFRP 20-200-2	200	42725	728	0.017	22870
Mean		**40934**	**735**	**0.018**	**23090**
GFRP 20-300-1	300	37936	618	0.016	19415
GFRP 20-300-2	300	NA	631	Na	19823
Mean		**37936**	**625**	**0.016**	**19634**
GFRP 20-400-1	400	NA	508	NA	15959
GFRP 20-400-2	400	NA	496	NA	15585
Mean		**NA**	**502**	**NA**	**15770**

ผลการทดสอบพบว่าเมื่อแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะค่อย ๆ ลดลง ที่อุณหภูมิ 100 °C ค่าโมดูลัสลดลงจากอุณหภูมิห้องถึง 17% ในช่วง 100 °C - 200 °C โมดูลัสยืดหยุ่นนั้นแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง และจะเริ่มลดลงมากขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 300 °C ขึ้นไป ที่อุณหภูมิ 300 °C มีโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงถึง 25% ค่าความเค้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 100 °C และ 200 °C มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียง 2.5% และ 2.4% ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าที่อุณหภูมิ 300 °C เริ่มจะมีแนวโน้มที่ค่าจะลดลง โดยลดลงถึง 12.3% จนกระทั่งตั้งแต่ 400 °C เป็นต้นไปค่าความเค้นสูงสุดมีค่าลดลงถึง 30% ซึ่งผิวของตัววัสดุถูกเผาไหม้ทำให้ความร้อนเข้าถึงเส้นใยวัสดุภายในทำให้ลดค่าความเค้นสูงสุดลงอย่างมาก สามารถสังเกตลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบหลังได้รับแรงดึงของอุณหภูมิต่าง ๆ ได้ตามรูปที่ 7

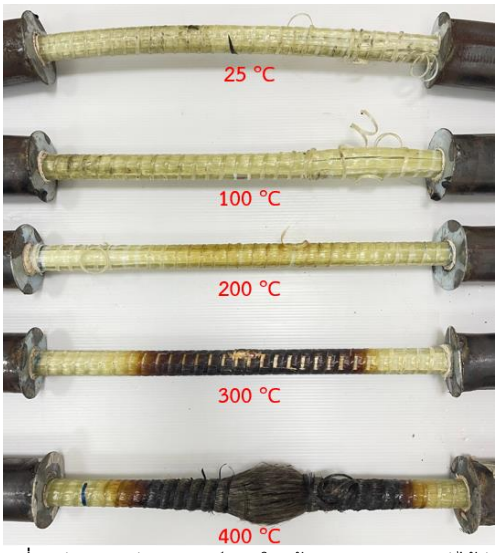


รูปที่ 7 ลักษณะแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 20 มม. หลังได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 25 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C และ 400 °C

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 25 มม.

ตัวอย่างทดสอบ	อุณหภูมิ (T,°C)	โมดูลัสยืดหยุ่น (E_s,MPa)	ความเค้นสูงสุด (f_u,MPa)	ความเครียดสูงสุด (ε_u,m/m)	ค่ากำลังโหลดสูงสุด (kgf)
GFRP 25-RT-1	RT	50126	686	0.019	33673
GFRP 25-RT-2	RT	53864	721	0.020	35392
Mean		**51995**	**703**	**0.019**	**34508**
GFRP 25-100-1	100	43600	740	0.020	36324
GFA 16-100-2	100	45895	718	0.024	35244
Mean		**44747**	**729**	**0.022**	**35784**
GFRP 25-200-1	200	45474	732	0.022	35931
GFRP 25-200-2	200	42134	744	0.069	36521
Mean		**43804**	**738**	**0.046**	**36226**
GFRP 25-300-1	300	41564	655	0.040	32152
GFRP 25-300-2	300	39784	633	0.040	31072
Mean		**40674**	**655**	**0.040**	**31612**
GFRP 25-400-1	400	NA	584	NA	28667
GFRP 25-400-2	400	NA	568	NA	27881
Mean		**NA**	**576**	**NA**	**28274**

ผลการทดสอบพบว่าเมื่อแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วได้รับอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะลดลง ที่อุณหภูมิ 100 °C ค่าโมดูลัสลดลงจากอุณหภูมิห้องถึง 14% ในช่วง 100 °C - 200 °C โมดูลัสยืดหยุ่นนั้นลดลงเพียงเล็กน้อยจนมีค่าเกือบจะใกล้เคียงกัน และที่อุณหภูมิ 300 °C มีแนวโน้มที่ค่าจะลดลงมากขึ้น โดยมีโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงถึง 21% ส่วนค่าความเค้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 100 °C - 200 °C สังเกตได้ว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น 3.7% และ 4.98% ตามลำดับ อาจเกิดจากเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิช่วงนี้แล้วเย็นตัวโดยอากาศกลับคืนสู่สภาวะอุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดการบ่มเรซินจึงทำให้แข็งแรงขึ้น หลังจากนั้นค่าที่อุณหภูมิ 300 °C ค่าเพิ่งเริ่มจะลดลงโดยลดลงไป 8.4% และที่อุณหภูมิ 400 °C ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าลดลง 18% เนื่องจากเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ทำให้ตัวเส้นใยวัสดุยังสามารถรับกำลังได้ดีกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 และ 20 มม. จึงทำให้ร้อยละที่ลดลงไม่ได้มีค่าที่สูง สามารถสังเกตลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบหลังได้รับแรงดึงของอุณหภูมิต่าง ๆ ได้ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 ลักษณะแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วขนาด 25 มม. หลังได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 25 °C ,100 °C 200 °C , 300 °C และ 400 °C

4. บทสรุป

จากผลการทดสอบแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วภายใต้สภาวะเพลิงไหม้ พบว่าสภาพทางกายภาพของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วทุกขนาดเริ่มมีสีดำเนื่องจากการไหม้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส สำหรับคุณสมบัติเชิงกลของแท่งพอลิเมอร์จากการทดสอบพบว่า ค่าอิลาสติกมอดูลัสของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วมีค่าลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนกำลังรับแรงดึงของแท่งพอลิเมอร์นั้นในสภาวะเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิ 100 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วมีค่าสูงกว่าที่ระดับอุณหภูมิห้อง และลดลงที่ระดับอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังพบว่าหากอุณหภูมิมีค่าเกิน 400 องศาเซลเซียส กำลังรับแรงดึงสูงสุดของแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วจะมีค่าลดลงอย่างมากแบบไม่เป็นเชิงเส้น สำหรับผลของขนาดแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วนั้นมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลเพียงเล็กน้อยมากซึ่งไม่มีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณบริษัทไทยรีบาร์เทค จำกัด ที่ได้สนับสนุนแท่งพอลิเมอร์เสริมใยแก้วที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Siddika, A., Al Mamun, M.A., Ferdous, W. and Alyousef, R. (2020). Performances, challenges and opportunities in strengthening reinforced concrete structures by using FRPs–A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis*, 111, 104480.

[2] Weli, S.S., Abbood, I.S., Hasan, K.F. and Jasim, M.A. (2020, July). Effect of steel fibers on the concrete strength grade: a review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 888, No. 1, 012043). IOP Publishing.

[3] Chowdhury, E.U., Eedson, R., Bisby, L.A., Green, M.F. and Benichou, N. (2011). Mechanical characterization of fibre reinforced polymers materials at high temperature. *Fire technology*, 47, pp. 1063-1080.

[4] Gudonis, E., Timinskas, E., Gribniak, V., Kaklauskas, G., Arnautov, A.K. and Tamulenas, V. (2013). FRP reinforcement for concrete structures: state-of-the-art review of application and design. *Engineering Structures and Technologies*, 5(4), pp. 147-158.

[5] Ahmed, A., Guo, S., Zhang, Z., Shi, C. and Zhu, D. (2020). A review on durability of fiber reinforced polymer (FRP) bars reinforced seawater sea sand concrete. *Construction and Building Materials*, 256, 119484.

[6] Ellis, D.S., Tabatabai, H. and Nabizadeh, A. (2018). Residual tensile strength and bond properties of GFRP bars after exposure to elevated temperatures. *Materials*, 11(3), 346.

[7] Li, G., Zhao, J. and Wang, Z. (2018). Fatigue behavior of glass fiber-reinforced polymer bars after elevated temperatures exposure. *Materials*, 11(6), 1028.