

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว

Ultimate strength of concrete confined by glass fiber reinforced polymer.

โนริ บิลโตะหมาด^{1,*} ชิชญาส์ บุญมี² และ กิตติภูมิ รอดสิน³

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

³ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยเฉพาะทางพลศาสตร์โครงสร้างและการจัดการเมือง

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: s6102032856121@email.kmutnb.ac.th ; chichaya.b@fte.kmutnb.ac.th ; kittipoom.kmutnb@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก โดยมีการเสริมกำลังอัดคอนกรีตด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว พอลิเมอร์เสริมเส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวของคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ คงความแข็งแรงได้ดี จึงเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมในการเสริมแรงคอนกรีต แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาใช้รูปทรงกระบอกขนาด 15x30 cm. ในการหล่อก้อนตัวอย่างใช้คอนกรีตกำลังต่ำที่ก้ำกึ่งอัด 100 ksc ส่วนคอนกรีตกำลังปกติที่ก้ำกึ่งอัด 200 ksc 300 ksc โดยโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วบริเวณผิวของก้อนตัวอย่างที่ 2 รอบ 4 รอบและ 6 รอบ จำนวนกลุ่มละ 12 ตัวอย่าง ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ก้อนตัวอย่างโอบรัด 2 รอบ มีค่า S.F. 1.02-1.23 ก้อนตัวอย่างโอบรัด 4 รอบ มีค่า S.F. เท่ากับ 1.06- 1.37 ก้อนตัวอย่างโอบรัด 6 รอบ มีค่า S.F. เท่ากับ 1.29-1.44 การออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 100 ksc มีการโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 6 รอบให้ผลที่ดีมาก เมื่อออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 200-300 ksc ต้องใช้ 4 ถึง 6 รอบขึ้นไปเพื่อให้เห็นผลชัดเจนการโอบรัด GFRP 2 รอบ อาจไม่เพียงพอสำหรับคอนกรีตที่ต้องการเสริมให้ได้กำลังอัดสูง

คำสำคัญ: คอนกรีต, GFRP, การโอบรัด, กำลังอัด, การเปลี่ยนรูป

Abstract

This article focuses on the study of the compressive behavior on the cylindrical concrete by enhancing compressive strength of the concrete within glasses fiber reinforced polymer. The fiber reinforced polymer helps increase the strength, toughness and maintain strength of concrete effectively. With this issue, it is suitable for concrete reinforcement. The concrete sample mold used is a cylindrical shape with the size of 15x30 cm. From casting the sample blocks, low strength concrete with a compressive strength of 100 ksc was used, while normal strength concrete with a compressive strength of 200 ksc and 300 ksc was wrapped with glass fiber reinforced polymer on the surface of the sample blocks in rounds 2 rounds, 4 rounds and 6 rounds with 12 samples per group. The test results show the specimens with two rounds of confinement have S.F. values of 1.02-1.23, the specimens with four rounds of confinement have S.F. values of 1.06-1.37 and the specimens with 6 rounds of confinement have S.F. values of 1.29-1.44. For a design compressive strength of 100 ksc, 6 rounds of confinement with GFRP fiber reinforced polymer

give very good results. As for a design compressive strength of 200-300 ksc, 4 rounds to 6 rounds or more are required. To see a clear result, 2 rounds of GFRP confinement may not be sufficient for the concrete which needed high compressive strength.

Keywords: Concrete, GFRP, Compression, Deformation

1. คำนำ

ในปัจจุบันแผ่นดินไหวกลายเป็นภัยที่ใกล้ตัวมากยิ่งขึ้น แม้ประเทศไทยจะไม่เคยประสบกับแผ่นดินไหวที่รุนแรงจนก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก แต่มันยังคงมีผลกระทบจากเหตุการณ์นี้อยู่ดี กรมโยธาธิการและผังเมืองได้ชี้แจงว่า สาเหตุของแผ่นดินไหวในประเทศไทยเกิดจากการเคลื่อนที่อย่างฉับพลันของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งทำให้พลังงานที่สะสมอยู่ในเปลือกโลกถูกปล่อยออกมาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานเสียง และคลื่นการสั่นสะเทือน (Seismic Wave) คลื่นเหล่านี้สามารถทำให้อาคารในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเกิดการสั่น และหากการสั่นมีความรุนแรงมากพอ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารหรือสิ่งก่อสร้างได้ นอกจากนี้ กรมทรัพยากรธรณีได้พบว่ายังมีรอยเลื่อนที่มีพลัง (Active Fault) ซึ่งเกิดแผ่นดินไหวบ่อยครั้งและคาดว่าจะขยับตัวอีกในอนาคต โดยมีรอยเลื่อนสำคัญจำนวน 16 กลุ่ม ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย [1]

จากเหตุการณ์รอยเลื่อนในเดือน มกราคม พ.ศ. 2568 มีการตรวจพบแผ่นดินไหวจำนวน 38 ครั้งในภาคเหนือพบเหตุการณ์แผ่นดินไหว 3 ครั้ง โดยมีค่าความรุนแรงอยู่ระหว่าง 3.0-3.9 ริกเตอร์ การเกิดแผ่นดินไหวอาจนำไปสู่ความเสียหายหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรง ระยะห่างจากศูนย์กลาง (epicenter) และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ [2] ความสูญเสียอาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างของอาคารและบ้านเรือน เมื่อมีการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว อาจทำให้โครงสร้างพังทลาย หรือเกิดรอยแตกทำให้อาคารไม่ปลอดภัย หากเสาใดเสาหนึ่งเกิดความเสียหายหรือวิบัติ จะส่งผลต่อโครงสร้างในบางจุดรอบๆ เสา นั้น หรืออาจนำไปสู่ความเสียหายของโครงสร้างโดยรวม เนื่องจากเสามิบบทบาทในการรับน้ำหนักจากส่วนที่อยู่ด้านบนและส่งน้ำหนักลงสู่ฐานราก การเสื่อมสภาพหรือการได้รับความเสียหายของเสาอาจเกิดจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การแตกร้าวจากการเกิดสนิม รวมถึงการบรรทุกน้ำหนักเกินทำให้การปรับเปลี่ยนการใช้งานของสิ่งปลูกสร้างเดิม เพิ่มภาระรับน้ำหนัก ส่งผลให้ค่ารับน้ำหนักที่ออกแบบไว้ไม่เพียงพอเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ต้องรับในปัจจุบัน

โครงสร้างของอาคารเหล่านี้อาจได้รับผลกระทบและเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง อาคารที่สร้างขึ้นก่อนปี พ.ศ. 2522

จึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินไหวได้มากกว่า ในประเทศไทยมีการก่อสร้างอาคารจำนวนมาก โดยทั่วไปจะออกแบบอาคารด้วยโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งสามารถรับน้ำหนักบรรทุกและต้านทานแรงต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามอาคารที่มีอายุมากหลายสิบปีอาจไม่สามารถรักษาความทนทานได้ เนื่องจากโครงสร้างแต่ละประเภทมีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน อาจเกิดจากการกำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานในการออกแบบไม่ได้คุณภาพและอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่นสภาพแวดล้อม ความชื้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปฏิกริยาทางเคมี สถานที่ตั้ง และภาระในการรองรับน้ำหนักบรรทุก [3] องค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการเสื่อมสภาพและอายุการใช้งานของโครงสร้างดังกล่าว



รูปที่ 1 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กปกติและที่เกิดความเสียหาย [4]

นอกจากนี้ จากข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า การก่อสร้างอาคารที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นปัญหาสำคัญในประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะเมื่อเกิดภัยพิบัติ เช่น ในเฮติที่มีการใช้หินลาบูลแทนหินปูนเพื่อลดต้นทุน แต่กลับทำให้คอนกรีตขาดความแข็งแรง กระทรวงโยธาธิการของเฮติจึงสั่งห้ามใช้หินลาบูลและแนะนำให้ใช้ทรายและหินจากกันแม่น้ำแทน อย่างไรก็ตาม ยังคงพบการใช้หินปูนผสมในงานก่อสร้าง ส่งผลให้คอนกรีตมีคุณภาพต่ำและกำลังอัดไม่เป็นไปตามมาตรฐาน [5] การพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมมากขึ้นเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจในวงการวิศวกรรมโยธา หนึ่งในแนวทางที่มีการศึกษา คือ การใช้วัสดุโอบรัดเสริมแรงเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุคอมโพสิตประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer: FRP) ที่สามารถช่วยเสริมความแข็งแรงและความเหนียวของคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าวัสดุ เส้นใยคาร์บอน (CFRP) และเส้นใยอะรามิด (AFRP) จะได้รับความนิยมเนื่องจากคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงสูงและความทนทานต่อการกัดกร่อน แต่ต้นทุนที่สูงทำให้ไม่สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางในโครงการที่มีงบประมาณจำกัด ทำให้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Polymer: GFRP) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีต้นทุนต่ำกว่าแต่ยังคงรักษาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่เหมาะสม การทำวิจัยในครั้งนี้ จึงมีความสำคัญมุ่งเน้นการพัฒนาวิธีการเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีตโดยใช้ GFRP ที่มี นำมาใช้ในการเสริมความแข็งแรงเสาคอนกรีตที่มีความแข็งแรงและสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานซ่อมแซมและเสริมกำลังโครงสร้างเดิม ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งาน ลดต้นทุนการบำรุงรักษา และส่งเสริมการใช้วัสดุที่คุ้มค่า

1.1 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วในคอนกรีตกำลังต่ำและคอนกรีตกำลังปกติ

1.1.2 เพื่อศึกษาการหาจำนวนรอบที่เหมาะสมในการโอบรัดเพื่อเสริมกำลังอัดคอนกรีต

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์พฤติกรรมของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว โดยพิจารณา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีระดับกำลังอัดแตกต่างกัน รวมถึงการหาจำนวนรอบที่เหมาะสมในการโอบรัดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีต

2. ทบทวนวรรณกรรม

หัวข้อนี้ได้นำเสนอข้อมูลของงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตด้วยการโอบรัด confinement จำนวน 4 งานวิจัย ได้แก่

ชิญาลุ บุญมี และคณะ (2561) [6] ได้เสริมกำลังของคอนกรีตที่มีความแข็งแรงต่ำกว่ามาตรฐานโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาที่มีคุณภาพการออกแบบและวัสดุก่อสร้างต่ำ การเสริมกำลังคอนกรีตด้วยผ้าโพลีเอสเตอร์ อาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ โดยทำสอบกำลังอัดคอนกรีต 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 กำลังอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกลุ่มที่ 2 กำลังอัด 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรโดยใช้ผ้าโพลีเอสเตอร์พันรอบแท่งคอนกรีตใน 3 กลุ่ม คือ 2 รอบ, 4 รอบ, และ 6 รอบ รวมถึงตัวอย่างที่ไม่มีการพัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กำลังอัดประลัยของคอนกรีตกลุ่มที่ 1 ไม่สามารถเพิ่มกำลังอัดประลัยได้ กลุ่มที่ 2 สามารถเพิ่มกำลังอัดประลัยได้ประมาณ 30.98 – 42.16% เมื่อพันด้วยผ้าโพลีเอสเตอร์ 4 รอบ

พินดา กลิ่นโพธิ์กลาง และคณะ (2016) [7] ศึกษาอิทธิพลของสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงต่อพฤติกรรมและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วย CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ภายใต้แรงอัดตามแนวแกน โดยมีการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อจำลองสภาวะแวดล้อมแบบน้ำทะเล พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่โอบรัดด้วย CFRP มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น แต่เริ่มลดลงเมื่อสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงเป็นเวลานาน

Kittipoom Rodsin และคณะ (2020) [8] ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังต่ำโอบรัดด้วยคอมโพสิต FRP ยาวๆ มีการเสริมความแข็งแรงขึ้นงานก่อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกทั้งหมด 24 ชิ้นโดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ เสริมใยแก้วมีในท้องถิ่น ได้เสริมความแข็งแรงของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัดที่กำลังอัด 5 MPa และ 15 MPa และและมีการโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมใยแก้ว ที่ 1 , 2 และ 3 รอบ ขึ้นงานได้รับการทดสอบแรงอัดภายใต้แนวแกน พบว่าแบบจำลองที่พิจารณาทั้งหมดสามารถประมาณค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วย LC-GFRP ได้ แต่แบบจำลองไม่สามารถทำนายความเครียดก่อนการวิบัติของคอนกรีตที่โอบรัดด้วย LC-GFRP ได้

Prachaya Yoddumrong และคณะ (2020) [9] ศึกษาผลกระทบของโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรอบเสาคอนกรีตวงกลมที่ทำด้วยอิฐดินเผาเป็นมวลรวมหยาบ ในการคำนวณความต้านทานด้านข้างร่วมกับสมการ ACI440 พบว่า การเพิ่มความแข็งแรงให้กับเสาคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะเมื่อเผชิญกับแรงแผ่นดินไหว เสาคอนกรีตเสริมด้วย GFRP แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับน้ำหนักด้านข้างที่สูงขึ้นและความเสียหายที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเสาที่ไม่มีการเสริม GFRP

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 เลือกแบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างและกำลังของคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ

แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาใช้รูปทรงกระบอกขนาด 15x30 เซนติเมตร โดยใช้คอนกรีตกำลังต่ำที่กำลังอัด 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตกำลังปกติที่กำลังอัด 200 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วบริเวณผิวของก้อนตัวอย่างที่ 2 รอบ 4 รอบ และ 6 รอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างที่ทดสอบในงานวิจัย

กำลังอัด	ไม่โอบรัด	โอบรัด 2 รอบ	โอบรัด 4 รอบ	โอบรัด 6 รอบ	รวม
100 ksc	3	3	3	3	12
200 ksc	3	3	3	3	12
300 ksc	3	3	3	3	12

3.2 คุณสมบัติของวัสดุ

3.2.1 วัสดุผสมคอนกรีต

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15 คุณสมบัติของทราย ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย 2.8 ค่าความถ่วงจำเพาะ 2.64 ค่าการดูดซึมน้ำ 0.7 % ความชื้น 6 % หนว้น้ำหนัก 1,570 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คุณสมบัติของหินขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม 20 มิลลิเมตร ค่าความถ่วงจำเพาะ 2.68 ค่าการดูดซึมน้ำ 0.5% ความชื้น 2 % หนว้น้ำหนัก 1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.2 คอนกรีต

สำหรับคอนกรีตที่ใช้หล่อตัวอย่างเป็นคอนกรีตผสมเอง มีกำลังอัดประลัย f_c ที่ใช้ในการออกแบบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเท่ากับ 100 , 200 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร วิธีการออกแบบ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากการศึกษาพบว่าไม่มีวิธีการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตกำลังต่ำ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทำนายค่าส่วนผสมแล้วทดสอบหลายครั้ง แต่ในส่วนกำลังอัด 200 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้วิธีการออกแบบ Concrete Mix Design ที่อายุ 28 วัน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของคอนกรีต

Mix Design	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
100 ksc	176	1460	609	106
200 ksc	264	950	1028	127
300 ksc	336	885	1035	131

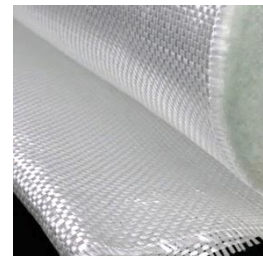
สำหรับแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ใช้ในการหล่อคอนกรีตตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15x30 เซนติเมตร การผสมคอนกรีตจะทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต Slump Test ทุกครั้ง ดังรูปที่ 2 และต้องเก็บตัวอย่างคอนกรีต 12 ตัวอย่าง ในทุกๆกำลังอัดที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การตรวจเช็ค Slump

3.2.3 เส้นใยแก้ว Glass Fiber

สำหรับเส้นใยแก้ว Glass Fiber นำมาใช้เสริมแรงของตัวอย่างในการทดสอบ โดยใช้เป็นเส้นใยแก้วชนิดตะแกรง Glass E 800 g/m² เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ความร้อน และไฟ มีน้ำหนักเบา และช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุที่ใช้ โดยมักใช้ในงานเสริมแรงคอนกรีต พลาสติก และวัสดุคอมโพสิตต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ โครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นใยแก้วชนิดตะแกรง Glass E 800 g/m²

3.2.4 สารพอลิเมอร์ โพลียูรีเทน Polymer Polyurethanes

สำหรับพอลิเมอร์ polymer ที่นำมาใช้การผสมเป็นชนิดสารพอลิเมอร์ โพลียูรีเทนเหลว A กับ B ในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.75 โดยการชั่งน้ำหนัก และไม่กวนเหมือนปูน มีความแข็งแรงสูง เมื่อนำทั้ง 2 มาผสมก็พบว่า พอลิเมอร์ มีการเซ็ตตัวในระยะเวลา 45-60 นาที

3.2.4 CAPSTONE

ในการปรับระดับผิวบนของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก เพื่อให้ผิวทั้ง 2 ด้านของตัวอย่างเรียบ และให้แนวแกนของแท่งตัวอย่างตั้งได้ฉากกับแนวราบ หลังจาก Cap เสร็จเรียบร้อยแล้วในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ผลิตภัณฑ์ CAPSTONE ซึ่งเป็น High Strength Gypsum สำหรับการเคลือบหัวแท่งคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมก้อนตัวอย่าง

สำหรับการเตรียมตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการผสมคอนกรีตและเตรียมก้อนตัวอย่างตามกำลังอัดที่ออกแบบไว้ให้ครบถ้วน และทดสอบกำลังอัดคอนกรีตประลัยที่ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ก้อนตัวอย่างที่ออกแบบกำลังอัดที่ 100, 200 และ 300 ksc



รูปที่ 6 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) 100 T

3.3.2 การหุ้มก้อนตัวอย่างด้วย GFRP

การเตรียมวัสดุ GFRP ประกอบด้วยสารพอลิเมอร์โพลิยูรีเทนเหลว A กับ B และเส้นใยแก้วที่ช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุ เส้นใยแก้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นหรือเส้นใย ซึ่งสามารถเลือกขนาดตามความต้องการได้ โดยมีการโอบรัดด้วยแผ่น GFRP ที่มีน้ำหนักประมาณ 800 g/m² ทาเคลือบก้อนตัวอย่างด้วยพอลิเมอร์ โพลิยูรีเทนเหลวบนก้อนตัวอย่างที่ต้องการหุ้ม โดยทาให้ทั่วทั้งพื้นผิวของก้อนตัวอย่าง จากนั้นนำแผ่นเส้นใยแก้วมาหุ้มบนก้อนตัวอย่าง โดยให้เส้นใยแก้วเกาะติดกับพอลิเมอร์ โพลิยูรีเทนที่ทาไว้ การหุ้มจะต้องทำให้แน่นหนาและไม่มีรอยร้าวหรือมุมที่ยกขึ้น เพื่อให้ GFRP ยึดติดกับก้อนตัวอย่างได้ดีถ้ามีการใช้แผ่น GFRP หลายชั้นควรทาสีด้วยพอลิเมอร์ โพลิยูรีเทนระหว่างชั้นต่างๆ เพื่อให้เกิดการยึดเกาะระหว่างกันดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว

3.3.3 การบ่ม GFRP

หลังจากการหุ้มเสร็จแล้วต้องให้ GFRP เช็ดตัวโดยการบ่มที่ 24 ชั่วโมง โดยบ่มที่อุณหภูมิห้อง การบ่มจะช่วยให้ GFRP มีความแข็งแรงสูงสุดและสามารถป้องกันก้อนตัวอย่างจากการรับแรงได้ดีขึ้น

3.3.4 Cab ก้อนตัวอย่าง

การปรับระดับผิวบนของก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเป็นกระบวนการสำคัญในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงอัด โดยการ Cab ผิวให้เรียบและสม่ำเสมอ เพื่อให้การทดสอบสามารถทำได้ อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้

3.4 เครื่องมือในการทดสอบก้อนตัวอย่าง

3.4.1 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) 100 T

ใช้ทดสอบในช่วงกำลังอัดตามแนวแกนไม่เกิน 80 T ดังแสดงในรูปที่ 6

3.4.2 เครื่องทดสอบ Compressive Strength machine 200 T

ใช้ทดสอบในช่วงกำลังอัดตามแนวแกนเกิน 80 T ดังแสดงในรูปที่ 7

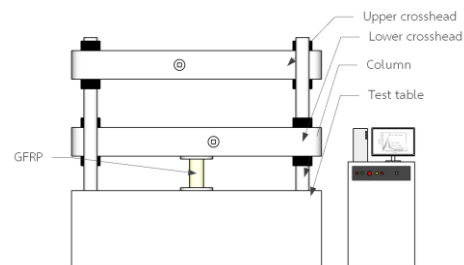


รูปที่ 7 เครื่องทดสอบ Compressive Strength machine 200 T

3.5 การทดสอบก้อนตัวอย่าง

3.5.1 การทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

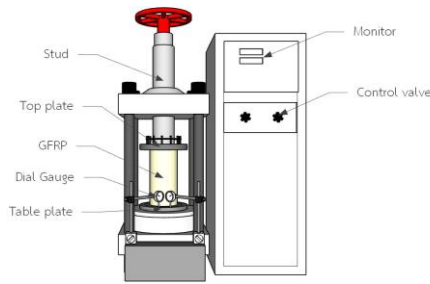
การติดตั้งตัวอย่างต้องวางตัวอย่างวัสดุในเครื่อง UTM และป้องกันการเคลื่อนที่ระหว่างการทดสอบกำหนดพารามิเตอร์การทดสอบ เช่น ความเร็ว speed หรือแรงที่ต้องการทดสอบ ดำเนินทดสอบเครื่องจะทำการอัดตัวอย่างวัสดุจนกว่าจะเกิดการแตกหักหรือเปลี่ยนรูป ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ภาพจำลองการทดสอบจากเครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

3.5.2 ทดสอบโดยใช้เครื่อง Compressive Strength machine 200 T

การติดตั้งตัวอย่างให้ตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งกลางของเครื่องให้เหมาะสม โดยการเพิ่มแรงอัดไปยัง ตัวอย่างวัสดุอย่างช้า ๆ ควรตั้งความเร็วของเครื่องให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจนกว่าจะถึงจุดที่วัสดุเกิดการแตกหักระหว่างการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพจำลองการทดสอบจากเครื่อง
Compressive Strength machine 200 T

3.5.3 จดบันทึกผลการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบให้บันทึกข้อมูลการทดสอบอย่างถูกต้องและแม่นยำ ตรวจสอบผลการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่บันทึกมีความถูกต้อง จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล แล้วนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานด้วยสมการ ACI 440.2R และสมการกำลังอัดคอนกรีตมาตรฐาน ASTM แล้วนำผลการคำนวณที่ได้มาหารกันเพื่อหาค่าสัดส่วนของความปลอดภัย

4. ผลการวิจัย

4.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

4.1.1 การคำนวณตามสมการมาตรฐาน ACI 440.2R ผลการคำนวณตามสมการมาตรฐาน ACI 440.2R [10] แสดงให้เห็นถึงแรงอัดสูงสุดเมื่อโอบรัดด้วย GFRP ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$f'_{cc} = f'_c + \psi_f 3.3 K_a f_l \quad (1)$$

เมื่อ ψ_f = ปัจจัยลดความแข็งแรงของพลาสติกเสริมใยแก้ว

f'_c = กำลังอัดคอนกรีตที่ออกแบบ

K_a = ปัจจัยประสิทธิภาพสำหรับการเสริมแรง FRP

f_l = แรงดันจำกัดสูงสุดเนื่องจากแอ็คเค็ค FRP

4.1.2 การคำนวณตามสมการหาลำดับอัดคอนกรีตเพื่อเปรียบเทียบกับสมการ ACI 440.2R ผลการคำนวณตามสมการหาลำดับอัดคอนกรีตมาตรฐาน ASTM แสดงให้เห็นถึงแรงอัดสูงสุดเมื่อเกิดแรงอัดประลัยของคอนกรีตดังแสดงในสมการที่ (2)

$$F_c = P_u / A \quad (2)$$

เมื่อ F_c = กำลังรับแรงอัด

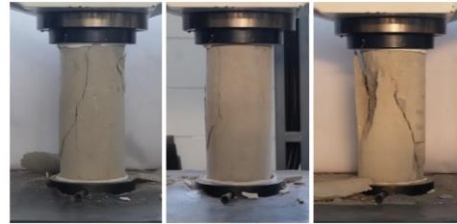
P_u = แรงอัดสูงสุดที่ขึ้นตัวอย่างทดสอบรับได้

A = พื้นที่หน้าตัด

4.2 รูปแบบการวิบัติของตัวอย่าง

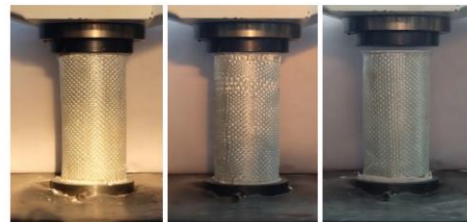
3.5.1 การทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal

เมื่อทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจนถึงจุดสูงสุด ตัวอย่างคอนกรีตจะเกิดรอยแตกกว้าง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นรูปแบบการวิบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (GFRP: Glass Fiber Reinforced Polymer) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของคอนกรีตที่รับแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 10-13



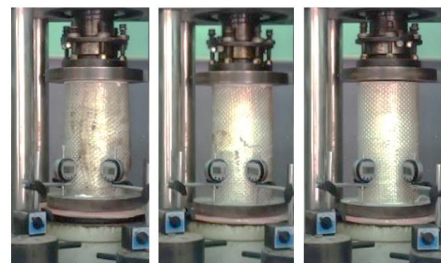
รูปที่ 10 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 ksc ที่ไม่เสริมเส้นใย

จากรูปที่ 10 แสดงภาพลักษณะการวิบัติหลังการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ไม่เสริมเส้นใย พบรอยแตกกว้างตามยาวที่ก้นตัวอย่าง



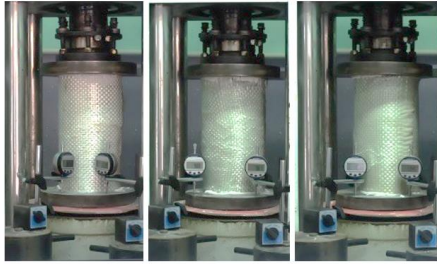
รูปที่ 11 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 ksc ที่เสริมเส้นใย 2 รอบ

จากรูปที่ 11 แสดงภาพลักษณะการวิบัติหลังการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เสริมเส้นใย 2 รอบ พบว่าก่อนตัวอย่างเกิดการวิบัติมีรอยฉีกขาดของ GFRP น้อยมากกว่าปกติ และมีการบวมตัวด้านข้าง



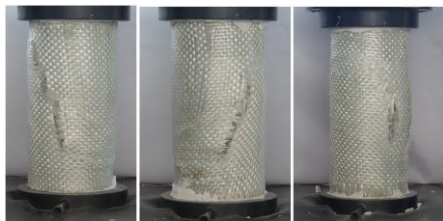
รูปที่ 12 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 ksc ที่เสริมเส้นใย 4 รอบ

จากรูปที่ 12 แสดงภาพลักษณะการวิบัติหลังการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เสริมเส้นใย 4 รอบ พบว่าก่อนตัวอย่างเกิดการวิบัติมีรอยฉีกขาดของ GFRP และรับแรงอัดเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 13 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 ksc ที่เสริมเส้นใย 6 รอบ

จากรูปที่ 13 แสดงภาพลักษณะการวิบัติหลังการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เสริมเส้นใย 6 รอบ พบว่าก่อนตัวอย่างเกิดการวิบัติมีรอยฉีกขาดของ GFRP ที่น้อยมาก และมีการบวมตัวของตัวอย่างที่น้อยกว่าปกติแต่สามารถรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 14 การวิบัติของก้อนตัวอย่างที่กำลังอัดประลัย

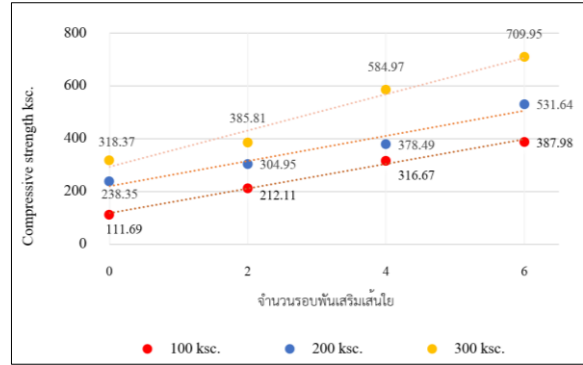
จากรูปที่ 14 แสดงภาพลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่างที่กำลังอัดประลัย มีโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว ในระหว่างการทดสอบพบว่า พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วจะเกิดการบวมตัวขึ้น โดยที่กำลังอัดคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังชะลอการขยายตัวของรอยร้าวเมื่อกำลังอัดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแรงโอบรัดด้านข้าง Confinement Pressure ทำให้การวิบัติของตัวอย่างช้าลง

4.3 ผลการคำนวณจากสมการที่ 2 เพื่อหา กำลังอัดคอนกรีต

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยคอนกรีตกำลังอัดประลัย 100 , 200 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อการโอบรัด

Code	Average Compressive Strength 100 ksc	Average Compressive Strength 200 ksc	Average Compressive Strength 300 ksc
ไม่โอบรัด	111.69	238.35	318.37
โอบรัด 2 รอบ	212.11	304.95	385.81
โอบรัด 4 รอบ	316.67	378.49	584.97
โอบรัด 6 รอบ	387.98	531.64	709.95

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยคอนกรีตกำลังอัดประลัย 100, 200 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต่อการโอบรัดด้วย GFRP ซึ่งกำลังอัดดังกล่าวจะแสดงในรูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับจำนวนรอบพันเสริมเส้นใย



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับจำนวนรอบพันเสริมเส้นใย

จากรูปที่ 15 โดยนำค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 3 มาแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตกับจำนวนรอบพันเสริมเส้นใย

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบตามสมการ ACI 440.2R กับค่าทดสอบจริงที่กำลังอัดประลัย 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อการโอบรัด

Code	f _{cc} (ksc) ACI 440.2R	F _c (ksc)	Safety Factor
0 รอบ 100 ksc	111.69	111.69	1.00
2 รอบ 100 ksc	172.99	212.11	1.23
4 รอบ 100 ksc	230.83	316.67	1.37
6 รอบ 100 ksc	286.42	387.98	1.35

จากตารางที่ 4 ค่ากำลังอัดจากการทดสอบจริงที่กำลังอัดประลัย 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากสูตรสมการ ACI 440.2R แสดงให้เห็นว่า การโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP มีประสิทธิภาพในการเพิ่มกำลังอัดมากกว่าที่สูตรทฤษฎีคาดการณ์ไว้ และได้ค่า Safety Factor ตาม Code 0 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.00 Code 2 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.23 Code 4 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.37 และสุดท้าย Code 6 Layer มีค่าเท่ากับ 1.35

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบตามสมการ ACI 440.2R กับค่าทดสอบจริงที่กำลังอัดประลัย 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อการโอบรัด

Code	f _{cc} (ksc) ACI 440.2R	F _c (ksc)	Safety Factor
0 รอบ 200 ksc	238.35	238.35	1.00
2 รอบ 200 ksc	299.29	304.95	1.02
4 รอบ 200 ksc	357.35	378.49	1.06
6 รอบ 200 ksc	412.49	531.64	1.29

จากตารางที่ 5 ค่ากำลังอัดจากการทดสอบจริงที่กำลังอัดประลัย 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากสูตรสมการ ACI 440.2R แสดงให้เห็นว่า การโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP มีประสิทธิภาพในการเพิ่มกำลังอัดมากกว่าที่สูตรทฤษฎีคาดการณ์ไว้ และได้ค่า Safety Factor ตาม Code 0 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.00 Code 2 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.02 Code 4 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.06 และสุดท้าย Code 6 Layer มีค่าเท่ากับ 1.29

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบตามสมการ ACI 440.2R กับค่าทดสอบจริงที่
กำลังอัดประลัย 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อการอบรัด

Code	f _{cc} (ksc) ACI 440.2R	F _c (ksc)	Safety Factor
0 รอบ 300 ksc	318.37	318.37	1.00
2 รอบ 300 ksc	379.64	385.81	1.02
4 รอบ 300 ksc	437.66	584.97	1.34
6 รอบ 300 ksc	491.96	709.95	1.44

จากตารางที่ 6 ค่ากำลังอัดจากการทดสอบจริงที่ กำลังอัดประลัย 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าค่าที่คำนวณได้จากสูตรสมการ ACI 440.2R แสดงให้เห็นว่า การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP มีประสิทธิภาพในการเพิ่มกำลังอัดมากกว่าที่สูตรทฤษฎีคาดการณ์ไว้ และได้ค่า Safety Factor ตาม Code 0 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.00 Code 2 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.02 Code 4 รอบ มีค่าเท่ากับ 1.34 และสุดท้าย Code 6 Layer มีค่าเท่ากับ 1.44

4.4 การเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่าง (Displacement)

4.4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง

ในการทดสอบนี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง โดยใช้ไดอัลเกจเพื่อวัดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง การติดตั้งไดอัลเกจ จะทำการติดตั้ง 3 จุดบริเวณของแผ่นเหล็กของเครื่องทดสอบ

4.4.2 ผลการเคลื่อนที่ของตัวอย่าง

การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 2 ชั้น มีการเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่างต่ำสุด แสดงว่าการรับแรงช่วยเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนักเนื่องจากคอนกรีตเกิดการวิบัติก่อนที่ GFRP จะวิบัติ และอาจไม่เพียงพอหากต้องการเสริมความแข็งแรงอย่างมีนัยสำคัญ การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 4 ชั้น มีการเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่างปานกลางเนื่องจากการวิบัติของคอนกรีต และ GFRP วิบัติไปพร้อมกันแสดงว่ามีสมดุลที่ีระหว่างความแข็งแรงและการอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 6 ชั้น มีการเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่างสูงสุด เนื่องจากจำนวนรอบในการอบรัดที่มากขึ้นทำให้ GFRP มีความแข็งแรงอย่างมากและเกิดการบวมตัวบริเวณด้านข้างในชั้นที่เกิดการวิบัติซึ่งแม้จะเพิ่มความแข็งแรงสูงสุดแต่ก็อาจทำให้โครงสร้างเสียรูปมากเกินไปจนอาจส่งผลเสียต่อการใช้งานในระยะยาว

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการทดสอบด้านการเปรียบเทียบลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง

5.1.1 คอนกรีตที่ไม่ได้รับการอบรัด เกิดรอยร้าวแนวตั้งขึ้นตามแนวการรับแรงอัดเมื่อถึงค่ากำลังอัดสูงสุด รอยร้าวจะขยายตัวอย่างรวดเร็วและตัวอย่างจะพังทลายในทันที

5.1.2 คอนกรีตที่ได้รับการอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว พบว่า การอบรัดช่วยชะลอการขยายตัวของรอยร้าว เมื่อกำลังอัดเพิ่มขึ้น รอยร้าวแนวตั้งยังคงเกิดขึ้น แต่เส้นใยแก้วช่วยทำให้เกิดแรงอบรัดด้านข้าง (Confinement Pressure) ทำให้โครงสร้างของคอนกรีตยังสามารถรับแรงอัดต่อไปได้ลักษณะการพังทลายของตัวอย่างจะค่อยเป็นค่อยไป แทนที่จะพังทลายในทันที และในการวิบัติพบว่า เส้นใยเกิดการขาดส่วนคอนกรีตเกิดการแตกแบบแยกออกจากกัน

5.1.3 การเพิ่มจำนวนรอบของการอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP รอบตัวอย่างช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้คอนกรีต จำนวนรอบที่มากขึ้นจะเพิ่มแรงอบรัดด้านข้าง

5.2 สรุปผลการทดสอบ เปรียบเทียบแรงกระทำตามแนวนอน

5.2.1 เปรียบเทียบแรงกระทำตามแนวนอน ออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP ช่วยให้คอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น และทำให้คอนกรีตเสียรูปมากขึ้นในช่วง 2-4 รอบ และที่ 6 รอบ มีเสียรูปลดลงอาจเป็นเพราะ GFRP แข็งขึ้น

5.2.2 เปรียบเทียบแรงกระทำตามแนวนอน ออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความต้านทานแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นการอบรัดที่มากขึ้น ในกรณีที่มีการอบรัดด้วย 6 ชั้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตในการต้านทานแรงอัดได้อย่างชัดเจน

5.2.3 เปรียบเทียบแรงกระทำตามแนวนอน ออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ถือว่าเป็นค่าความต้านทานที่สูงที่สุดในชุดการทดสอบนี้และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมของการใช้พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วในการเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีต

5.3 สรุปผลการทดสอบด้านการคำนวณด้วยสมการ

เปรียบเทียบการคำนวณด้วยสมการ ACI 440.2R และสมการกำลังอัดคอนกรีตมาตรฐาน ASTM C 192 และนำผลการคำนวณที่ได้มาหารกันเพื่อหาค่าสัดส่วนของความปลอดภัย พบว่า ตัวอย่างในการทดสอบ ออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 100 , 200 และ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เป็นคอนกรีตกำลังต่ำและกำลังปกติตามลำดับมีค่าสัดส่วนความปลอดภัยมากกว่า 1 สรุปได้ว่า สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยแต่ต้องระมัดระวังเรื่องการเสียรูปของ GFRP

5.4 สรุปจำนวนรอบที่เหมาะสมในการอบรัดเพื่อเสริมกำลังอัดคอนกรีต

5.4.1 พิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดคอนกรีตที่ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีการอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 2-4 รอบให้ผลดีที่สุด เมื่อออกแบบกำลังอัดคอนกรีตที่ 200-300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต้องใช้ 4-6 ชั้นขึ้นไป เพื่อให้เห็นผลชัดเจนการอบรัด GFRP 2 ชั้น อาจไม่เพียงพอ สำหรับคอนกรีตที่ต้องการเสริมให้ได้กำลังอัดสูง การเลือกจำนวนรอบของการอบรัดขึ้นอยู่กับกำลังอัดเดิมของคอนกรีตและเป้าหมายในการเสริมกำลัง ด้วยการอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 6 ชั้นให้ผลดีที่สุด สำหรับการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต

5.4.2 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่าง (Displacement) การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 2 ชั้น มีการเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่างต่ำสุด แสดงว่าการรับแรงช่วยเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก และอาจไม่เพียงพอหากต้องการเสริมความแข็งแรงอย่างมีนัยสำคัญ การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 4 ชั้นมีการเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของตัวอย่างปานกลาง แสดงว่ามีสมดุลที่ีระหว่างความแข็งแรงและความสามารถในการเสียรูป การอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP 6 ชั้น มีการเปลี่ยนแปลงจากการ

ระยะหัดตัวของตัวอย่างสูงสุด ซึ่งแม้จะเพิ่มความแข็งแรงสูงสุดแต่ก็อาจทำให้โครงสร้างเสียรูปมากเกินไปจนอาจส่งผลเสียต่อการใช้งานในระยะยาว

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรขยายการศึกษาไปยังวัสดุคอนกรีตที่มีลักษณะต่างกัน เช่น คอนกรีตที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือคอนกรีตที่มีปริมาณน้ำสูง เพื่อศึกษาว่าการใช้ GFRP มีผลต่อประสิทธิภาพและการทนทานอย่างไรในแต่ละประเภทของคอนกรีต

6.2 ควรศึกษาเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้การโอบรัดด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว GFRP เสริมกำลังคอนกรีต โดยพิจารณาถึงต้นทุนวัสดุและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรวมทั้งประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานในระยะยาว

6.3 ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพของการโอบรัดด้วยพอลิเมอร์ เสริมเส้นใยแก้ว GFRP ในโครงสร้างขนาดใหญ่หรือในงานก่อสร้างจริง เช่น อาคารสูง หรือสะพาน เพื่อประเมินผลการใช้งานในสถานการณ์จริง และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ในการออกแบบโครงสร้างที่เสริมด้วย GFRP

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ด้วยความกรุณา ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิษณุพงศ์ บุญมี และรองศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รอดสิน ที่ให้คำแนะนำและติดตามดูแลงานวิจัยตลอดมา รวมถึงคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงงาน ขอขอบคุณ นายสุวัฒน์ สุมาลี สำหรับคำแนะนำต่างๆ ตลอดการท้าววิจัย ขอขอบคุณ แผนกช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ ได้สนับสนุนด้านเครื่องมือในการทดสอบ ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุนด้านความรู้และอุปกรณ์วิจัยสุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนร่วมงานที่ให้การกำลังใจและการสนับสนุนจนงานวิจัยนี้สำเร็จลง

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2555). คู่มือปฏิบัติเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสำหรับเจ้าพนักงานท้องถิ่น. โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

[2] กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว. (2568). สถิติข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย. สามารถเข้าถึงได้ที่ <https://earthquake.tmd.go.th/earthquakereport.html?rc=m>

[3] ปริญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2553). ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สคท.).

[4] สรินทร์ แก้วฟัก. (2559). พฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังโดยการหุ้มด้วยเฟอร์ไรซีเมนต์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[5] Anna F. Lang. (2011). Devil in the Details: Success and Failure of Haiti's Nonengineered Structures. Earthquake Spectra 27(S1): S345-S372 DOI:10.1193/1.3638136

[6] ชิษณุพงศ์ บุญมี และกิตติภูมิ รอดสิน. (2561). การเพิ่มกำลังอัดปลายของคอนกรีตกำลังต่ำโดยผ้าโพลีเอสเตอร์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, เดือนมกราคม – มิถุนายน 2561. หน้า 76-85.

[7] พินดา กลิ่นโพธิ์กลาง และจักรพันธ์ เทือกตะเ2. (2016). ผลกระทบของสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงต่อพฤติกรรมภายใต้แรงอัดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน. วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทยเล่มที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2016. หน้า 14-27.

[8] Krisada Chaiyasarn, Qudeer Hussainb, Panuwat Joyklad, Kittipoom Rodsind. (2020). Compressive behavior of extremely low strength concrete confined with low-cost glass FRP composites. Case Studies in Construction Materials 13 (2020) e00452. Contents lists available at ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00452>

[9] Prachaya Yoddumrong, Kittipoom Rodsinb, Sakda Katawaethwaraga. (2020). Seismic strengthening of low-strength RC concrete columns using low-cost glass fiber reinforced polymers (GFRPs). Case Studies in Construction Materials 13 (2020) e00452. Contents lists available at ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00383>

[10] ACI 440.2R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. pp.34-37.