การศึกษาคุณสมบัติทางกลของโฟมคอนกรีตเสริมเส้นใยไม้ไผ่

A Study on Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Foam Concrete

สุวัฒนา นิคม[1], ดิษฐพร แก้วมุนีโชค[2], ฉัตรชัย แก้วดี[3], วีระยุทธ สุดสมบูรณ์[3] และวีรพล ปานศรีนวล[3]

Suwattana Nikhom[1], Dittaporn Kaewmuneechoke[2] and Chatchai Kaewdee[3], Weerayute Sudsomboon[3], and Weeraphol Pansrinual[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: suwattana_nik@nstru.ac.th

[2] หลักสูตรเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

[3] หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

วันที่รับบทความ: 11 สิงหาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 18 สิงหาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 28 สิงหาคม 2566
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโฟมคอนกรีตด้วยไม้ไผ่ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการสร้างสมการเชิงเส้นระหว่างปูนซีเมนต์กับค่าความหนาแน่นแห้ง กำหนดค่าความหนาแน่นโฟมคอนกรีต 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นค่าเหมาะสม ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง 0.702 กิโลกรัม อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 เม็ดโฟมโพรียูรีเทน 0.85 ลิตร ศึกษากำลังอัดและกำลังดัดโฟมคอนกรีตโดยบ่มที่ 28 วัน เปรียบเทียบโมเมนต์ดัดของโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ โดยแบ่งเป็นสองชนิดคือทาและไม่ทาน้ำยาประสานคอนกรีตที่ไม้ไผ่ ค่าโมเมนต์ดัดโฟมคอนกรีตมีค่า 1,215 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการเสริมไม้ไผ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร รับโมเมนต์ดัด 8,854 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าไม้ไผ่มีคุณสมบัติใช้เสริมในโฟมคอนกรีตเพื่อรับแรงดัดได้

คำสำคัญ: โฟมคอนกรีต, เส้นใยไม้ไผ่, กำลังดัด

Abstract: This study aims to enhance the performance of foam concrete through the incorporation of bamboo fibers and it also to investigate the suitable mix proportions for establishing linear correlations between cement paste and dry density. A foam concrete density of 700 kg/m^3 was selected as an appropriate value and the cement used in the experiment was 0.702 kg. A water-to-cement ratio was 0.702 kg, and the admixture of polyurethane form was 0.85 liters. The research includes an evaluation of compressive and flexural strengths, involving the curing of foam concrete specimens for a duration of 28 days. A comparative analysis is undertaken, contrasting the compressive strength of bamboo fiber-reinforced foam concrete in two distinct categories: 1) specimens treated with a concrete bonding agent and 2) those without such treatment. Notably, the flexural strength of unreinforced foam concrete was set at 1,215 kg/cm^3, while the incorporation of bamboo fibers passing through the center with a diameter of 0.95 cm results in a reinforced foam

concrete flexural strength of 8,854 kg/cm^3. The results reveal that bamboo can be utilized as a reinforcement material in foam concrete to enhance the tensile strength.

Key words: Foamed concrete, bamboo fibers, Flexural strength

1. บทนำ

โฟมคอนกรีตเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำเม็ดโฟมผสมซีเมนต์เพลส โดยใช้สารกักฟองอากาศช่วยลดการแยกตัวระหว่างเม็ดโฟมกับซีเมนต์เพลส ทำให้เกิดการไหลตัวสามารถเทลงในแบบได้ดี เมื่อซีเมนต์เพลสแข็งตัวเกิดเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบากันความร้อนได้เป็นอย่างดี นิยมนำมาใช้ทำผนังเพราะช่วยลดน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างคาน ทำให้โฟมคอนกรีตเริ่มเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีการพัฒนาโฟมคอนกรีตในหลายรูปแบบ เช่น ผนังคอนกรีตแซนวิช (Sandwich Concrete wall) ที่ใช้แผ่นซีเมนต์บอร์ดเป็นผิวนอก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สำหรับใช้เป็นผนังซึ่งสามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็ว แผ่นผนังสามารถเลื่อยหรือเจาะได้ ไม่ต้องฉาบผิวเหมือนผนังก่ออิฐทั่วไป แผ่นซีเมนต์บอร์ดยังทำหน้าที่เป็นวัสดุคอมโพสิต (Composite material) รับแรงดึงที่ผิวนอกแทนโฟมคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุที่เปราะ ส่งผลให้ผนังคอนกรีตแซนวิชสามารถรับแรงได้ดีขึ้น โดยเฉพาะแรงดัด แตกต่างกับคอนกรีตทั่วไปนิยมนำเหล็กเส้นมาเสริมเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัด เรียกกันโดยทั่วไปว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่เหล็กเส้นมีความแข็งมากหากนำมาเสริมในแผ่นโฟมคอนกรีตทำให้ไม่สามารถใช้เลื่อยมือตัดได้ ดังนั้นการใช้วัสดุมาเสริมในโฟมคอนกรีตควรเป็นวัสดุที่รับแรงดึงได้ดีและสามารถเลื่อยออกได้ง่าย วัสดุที่เหมาะสมตามคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ไม้ไผ่

ในประเทศไทยได้มีการนำไม้ไผ่มาใช้แทนเหล็กเสริมในคอนกรีตมานานแล้วส่วนใหญ่มักใช้กับโครงสร้างชั่วคราวหรือโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มาก จากการศึกษาได้มีการนำไม้ไผ่ซีกเสริมในโครงสร้างคอนกรีตแทนเหล็กเส้น[1] เพราะไม้ไผ่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น(E) ใกล้เคียงกับคอนกรีตและรับแรงดึงได้สูง จึงมีคุณสมบัติเหมาะสมนำมาใช้ทดแทนเหล็กเสริมโดยเฉพาะกับคอนกรีตมวลเบา[2] แต่ไม้ไผ่มีปัญหาอีกประการหนึ่งคือมีแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวระหว่างคอนกรีตต่ำเนื่องจากการหดตัวจากการสูญเสียน้ำในเส้นใยเซลลูโลสส่งผลให้รับกำลังได้ไม่ดี

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาการนำโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่โดยประยุกต์ใช้น้ำยาประสานคอนกรีตเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างไม้ไผ่และโฟมคอนกรีต โดยน้ำยาประสานคอนกรีตเป็นสารประเภทอิมัลชันของยางสังเคราะห์โดยทั่วไปนำมาผสมน้ำก่อนทาผิวที่ต้องการเพิ่มการยึดเกาะทิ้งไว้ให้แห้งก่อนเทคอนกรีต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตโฟมคอนกรีตโดยกำหนดค่าความหนาแน่นแห้งที่ 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการนำไม้ไผ่เสริมในโฟมคอนกรีต

2.3 ศึกษาแนวทางในการออกแบบการรับโมเมนต์ดัดของโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

3. ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ออกแบบและทดสอบส่วนผสมที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ น้ำ เม็ดโฟม EPS และสารกักกระจายฟองอากาศ ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ กำลังอัดโฟมคอนกรีตและกำลังดัดโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่

ทำการศึกษาสมบัติการรับแรงดึงของไม้ไผ่ 2 รูปแบบ ประกอบด้วย การรับแรงดึงของไม้ไผ่ส่วนที่มีเปลือกนอก

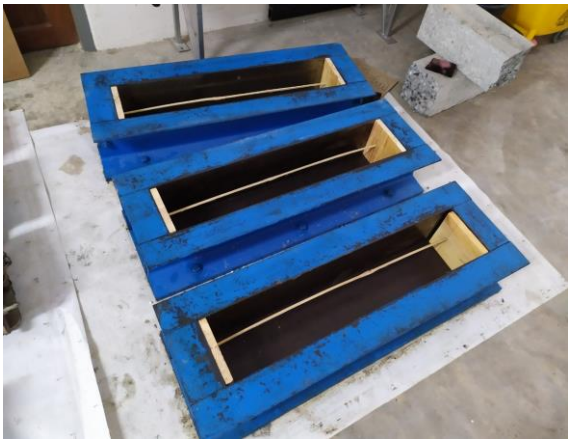
และไม่มีเปลือกนอก โดยเลือกไผ่ตงซึ่งเป็นไม้ไผ่ที่นิยมนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์และเครื่องจักรสาน การเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยเหลาไม้ไผ่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-10 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร จำนวน 20 ตัวอย่างทดสอบแรงดึงขนานกับเสี้ยนไม้โดยใช้เครื่อง UTM ขนาด 200 ตันเพื่อหาค่าเฉลี่ยการรับแรงดึงของไม้ไผ่

ตารางที่ 1 การออกแบบส่วนผสมของซีเมนต์เพลส

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ (กิโลกรัม)	น้ำ (ลิตร)	โฟม (ลิตร)	สารกักฟอง (cc)	สารลดน้ำ (cc)
C-0.60	0.60	0.24	0.85	3.00	3.00
C-0.65	0.65	0.26	0.85	3.25	3.25
C-0.70	0.70	0.28	0.85	3.50	3.50
C-0.75	0.75	0.30	0.85	3.75	3.75
C-0.80	0.80	0.32	0.85	4.00	4.00
C-0.85	0.85	0.34	0.85	4.25	4.25

4.2 ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ การออกแบบส่วนผสมของซีเมนต์เพลสโดยพิจารณาจากการเยิ้มหรือสภาวะการคายน้ำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ น้ำและสารผสมเพิ่ม ซึ่งน้ำส่วนที่เยิ้มออกมานั้นส่งผลให้เม็ดโฟมเกิดการแยกส่วนลอยขึ้นสู่ผิวบนโดยกำหนดค่าการเยิ้มไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองหาอัตราส่วนผสมเพื่อหาความหนาแน่นแห้งที่เหมาะสม ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.4 โดยปริมาณสารกักฟองอากาศและสารลดน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นปริมาณที่แนะนำจากผู้ผลิต โดยกำหนดให้สารกักฟองอากาศและสารลดน้ำที่ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัมดังตารางที่ 1 ในการทดลองจะนำมาหล่อเพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งโดยกำหนดค่าความหนาแน่นแห้งที่ 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพื่อให้เป็นมาตรฐานการทดลองดังตารางที่ 1

4.3 ศึกษาสมบัติเชิงกลของโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ การทดสอบกำลังอัดของโฟมคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109[3] โดยหล่อก้อนลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร ทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน ค่าที่ได้จากการทดสอบเฉลี่ยจากจำนวน 6 ตัวอย่าง การทดสอบกำลังดัดโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ โดยทำการหาค่าการรับน้ำหนักจากการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต (Flexural strength of concrete) ทำการหล่อในแบบหล่อคานขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638[4] โดยวิธี Third paint loading มีน้ำหนักกระทำต่อคานที่ระยะหนึ่งในสามของความยาวคานระหว่างจุดรองรับ ใช้แผ่นไม้เจาะรูให้พอดีกับขนาดไม้ไผ่เพื่อกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางไม้ไผ่เป็นระยะ 2 เซนติเมตร จากผิวนอก จัดวางให้ไม้ไผ่อยู่ในตำแหน่งด้านข้างแบบหล่อเพื่อให้แนวไม้ไผ่ขนานไปกับท้องคาน การจัดวางในลักษณะนี้ทำให้เมื่อถอดแบบหล่อหลังคานและท้องคานมีผิวสัมผัสที่เรียบลดความคลาดเคลื่อนที่หน้าผิวสัมผัสจากการทดสอบการดัด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจัดวางไม้ไผ่ในแบบหล่อคาน

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลทดสอบแรงดึงไม้ไผ่ พบว่าแรงดึงของไม้ไผ่ส่วนที่ไม่มีเปลือกนอกมีค่าเฉลี่ย 1360 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในส่วนของการรับแรงดึงของไม้ไผ่ส่วนที่มีเปลือกนอกมีค่าเฉลี่ย 1650 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่เป็นเช่นนี้เพราะเปลือกของไม้ไผ่จะมีลักษณะแข็งและเหนียวกว่าส่วนที่เป็นเนื้อไม้

5.2 ส่วนผสมที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ พบว่าโฟมคอนกรีตมีค่าความหนาแน่นแห้งน้อยสุด 618 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ 0.6 กิโลกรัม และมีค่าสูงสุด 821 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ 0.85 กิโลกรัมดังตารางที่ 2 พบว่าค่าความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น (เฉพาะช่วงปูนซีเมนต์ 0.6-0.85 กิโลกรัมต่อการผสม) ดังภาพที่ 2 เมื่อพิจารณาสมการเชิงเส้นระหว่างปูนซีเมนต์กับค่าความหนาแน่นแห้งจะได้สมการดังนี้

$$Y = 0.0013x - 0.2082 \quad (1)$$

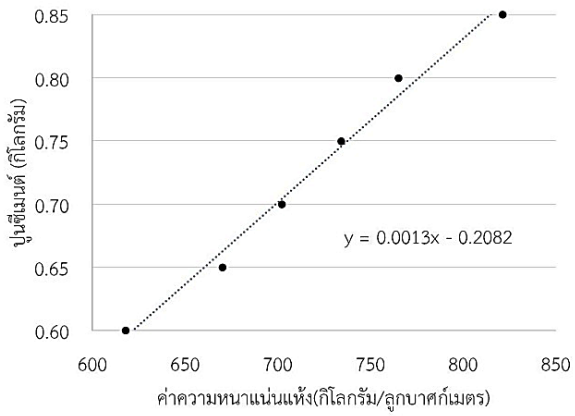
เมื่อ y = ปริมาณปูนซีเมนต์

x = ค่าความหนาแน่นแห้ง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

ผู้วิจัยกำหนดค่าความหนาแน่นแห้ง 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นตัวควบคุม ดังนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองจากการแทนค่าในสมการ(1) เท่ากับ 0.702 กิโลกรัม

ตารางที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปูนซีเมนต์กับค่าความหนาแน่นแห้ง

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์(กิโลกรัม)	ความหนาแน่นแห้ง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
C-0.60	0.600	618
C-0.65	0.650	670
C-0.70	0.700	702
C-0.75	0.750	734
C-0.80	0.800	765
C-0.85	0.850	821



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปูนซีเมนต์กับความหนาแน่นแห้ง

5.3 ค่ากำลังอัดโฟมคอนกรีต จากการทดสอบค่ากำลังอัดโฟมคอนกรีตโดยหล่อในแบบขนาด 15x15x15 เซนติเมตร จำนวน 6 ก้อน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.1, 25.8 และ 31.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของกำลังอัด พบว่าโฟมคอนกรีตมีพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดเหมือนกับคอนกรีตทั่วไปเพราะเม็ดโฟมเป็นวัสดุเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยา กำลังอัดจึงขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ กำลังอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 7 วันแรกประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์เทียบกับกำลังอัดที่ 28 วัน

5.4 การพิบัติโฟมคอนกรีตเนื่องจากแรงอัด จากการสังเกตลักษณะการพิบัติของก้อนตัวอย่างทุกตัวอย่าง รอยแตกร้าวมีลักษณะเป็นเส้นตรงกระจายตัวทั้ง 4 ด้านของผิวโฟมคอนกรีตดังภาพที่ 3 โดยทิศทางของรอยร้าวขนาดกับแรงกด ลักษณะเช่นนี้เป็นการแตกเนื่องจากหน่วยแรงดึง (Tensile crack) ซึ่งเกิดขึ้นกับคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำ

ภาพที่ 3 ลักษณะการพิบัติจากการทดสอบกำลังอัด

5.5 ค่ากำลังดัดโฟมคอนกรีต จากการทดสอบค่าโมเมนต์ดัดและกำลังดัดโฟมคอนกรีตจำนวน 6 แท่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่อายุบ่ม 28 วันมีค่าเท่ากับ 1215 กิโลกรัมเซนติเมตร และ 1.08 กิโลกรัมต่อตาราง

เซนติเมตร จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าโฟมคอนกรีตรับแรงดัดได้น้อยมากคิดเป็นร้อยละ 3.4 เมื่อเทียบกับค่ากำลังอัดโฟมคอนกรีต ที่เป็นเช่นนี้เพราะเม็ดโฟมที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบรับกำลังได้น้อย

5.6 การพิบัติโฟมคอนกรีตจากแรงดัด จากการสังเกตลักษณะการพิบัติของแท่งตัวอย่างพบว่าการแตกเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางแท่งตัวอย่างและทิศทางของรอยแตกขนานกับแรงกด ดังภาพที่ 4 โดยการแตกเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณผิวล่างของกึ่งกลางฐานรองรับ เพราะเป็นตำแหน่งที่คานมีหน่วยแรงดึงเกิดขึ้นสูงสุด

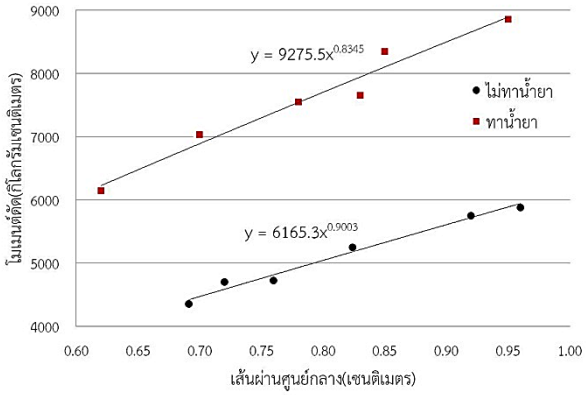
ภาพที่ 4 ลักษณะการพิบัติจากกำลังดัด

ตารางที่ 3 ค่ากำลังดัดโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

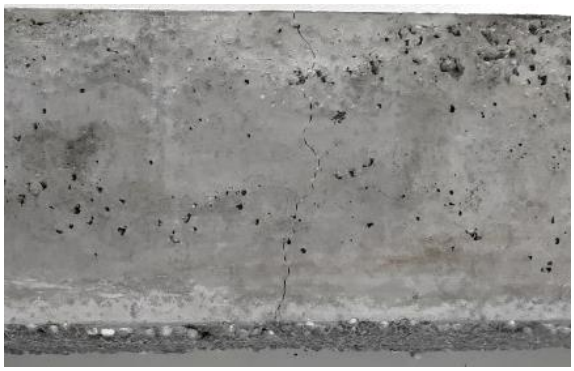
รายการ	โมเมนต์ดัด (กิโลกรัมเซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)
ไม่ทาน้ำยาประสานคอนกรีต	4354	0.69
	4703	0.72
	4725	0.76
	5250	0.82
	5753	0.92
	5884	0.96
ทาน้ำยาประสานคอนกรีต	6150	0.62
	7036	0.70
	7549	0.78
	7650	0.83
	8348	0.85
	8854	0.95

5.7 ค่ากำลังดัดโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ค่าโมเมนต์ดัดโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ในการทดลองใช้ไม้สองประเภทได้แก่ ไม้ไผ่ไม่ทาน้ำยาประสานคอนกรีตและชนิดทาน้ำยาประสานคอนกรีต ได้ผลดังตารางที่ 3 จากการทดลองพบว่าการทาน้ำยาประสานคอนกรีตที่ผิวนอกของไม้ไผ่ก่อนนำมาหล่อคานโฟมคอนกรีตทำให้ค่าโมเมนต์ดัดสูงขึ้น เนื่องจากน้ำยาประสานคอนกรีตทำหน้าที่เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของไม้ไผ่กับโฟมคอนกรีต และค่าโมเมนต์ดัดโฟมคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม้ไผ่ที่เพิ่มขึ้น โดยไม้ไผ่ทำหน้าที่ชดเชยหน่วยแรงดึงที่ผิวล่างของคานโฟมคอนกรีต

เมื่อพิจารณาค่ากำลังดัดโฟมคอนกรีตกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม้ไผ่ดังภาพที่ 5 พบว่า แนวโน้มของโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางไม้ไผ่เพิ่มขึ้น เพราะตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกับโมเมนต์ดัดให้เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นไม่ใช่พื้นที่หน้าตัดไม้ไผ่แต่เป็นความยาวเส้นรอบวงของไม้ไผ่ หรืออาจกล่าวได้ว่าคานโฟมคอนกรีตจะรับโมเมนต์ดัดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสไม้ไผ่กับโฟมคอนกรีต หากพื้นที่ผิวไม้ไผ่มีมากค่าโมเมนต์ดัดก็สูงขึ้นตามเช่นกัน



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดโฟมคอนกรีตกับความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางไม้ไผ่



ภาพที่ 6 ลักษณะการพิบัติบริเวณท้องคานจากการทดสอบกำลังดัด

5.8 การพิบัติของโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่จากแรงดัด จากการสังเกตลักษณะการพิบัติของคานตัวอย่าง พบว่าการแตกเริ่มเกิดขึ้นที่ผิวนอกบริเวณท้องคานที่เสริมไม้ไผ่ รอยแตกขนานกับแรงกดยาวประมาณกึ่งกลางคาน แต่ยังไม่ขาดออกจากกัน ในส่วนของไม้ไผ่ที่เสริมเข้าไปในคานโฟมคอนกรีตอยู่ในสภาพสมบูรณ์ การพิบัติเกิดจากไม้ไผ่สูญเสียความสามารถในการยึดเกาะกับโฟมคอนกรีตดังภาพที่ 6 ต่างกับคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ซึ่งความเค้นที่ไม้ไผ่ขาดออกจากกันคือจุดสุดท้ายที่คานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่เสียรูปอย่างสิ้นเชิง[5]

ลักษณะเช่นนี้เป็นการพิบัติแบบ Over reinforced beam เมื่อมีโมเมนต์ดัดมากระทำกับคาน หน่วยแรงในโฟมคอนกรีตเกิดขึ้นเกินกว่าจะรับได้ แต่ในขณะเดียวกันหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในไม้ไผ่ยังสามารถรับแรงได้อยู่

6. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

6.1 การหาอัตราส่วนผสมในการผลิตโฟมคอนกรีต งานวิจัยนี้มุ่งประเด็นศึกษาค่าความหนาแน่นแห้งเป็นสำคัญ ส่วนผสมในการผลิตโฟมคอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ เม็ดโฟม EPS และสารกักกระจายฟองอากาศ ตัวแปรที่เหมาะสมในการใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์ของความหนาแน่นแห้งได้ดีที่สุดคือปูนซีเมนต์เพราะเป็นส่วนผสมที่มีความหนาแน่นมากที่สุดและนิยมใช้เป็นตัวกำหนดสัดส่วนคงที่กับน้ำและสารกักกระจายฟองอากาศ จากการทดลองค่าความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นตามปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น สามารถแทนค่าเพื่อหาส่วนผสมในการผลิตโฟมคอนกรีตเพื่อให้ได้ความหนาแน่นแห้งระหว่าง 600-800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6.2 การเสริมไม้ไผ่ในโฟมคอนกรีตเพื่อรับแรงดัด พฤติกรรมการรับกำลังคานโฟมคอนกรีตคล้ายกับคานคอนกรีต เพราะรับหน่วยแรงดึงที่เกิดจากการดัดได้น้อยมากเมื่อเทียบกับค่าการรับกำลังอัด การเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดสามารถทำได้โดยการนำวัสดุที่มีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ดีไปเสริมบริเวณท้องคานเพื่อชดเชยแรงดึงที่คอนกรีตไม่สามารถรับได้

เมื่อพิจารณาผิวของไม้ไผ่ที่ใช้ในการเสริมโฟมคอนกรีตพบว่ามีลักษณะเรียบลื่นโดยเฉพาะที่เปลือกนอก ลักษณะเช่นนี้ทำให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะระหว่างโฟมคอนกรีตกับไม้ไผ่มีค่าน้อย การทาน้ำยาประสานคอนกรีตที่ไม้ไผ่ก่อนนำมาเสริมในโฟมคอนกรีตช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังดัด เพราะน้ำยาประสานคอนกรีตเป็นของเหลวประเภทอิมัลชันของยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber emulsion) ช่วยให้การยึดเกาะดีขึ้น

6.3 แนวทางในการออกแบบการรับโมเมนต์ดัดของโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ พฤติกรรมการพิบัติของคานโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่มีภาวะหน้าตัดเกินสมดุล Over reinforced beam กล่าวคือคานโฟมคอนกรีตจะพิบัติด้วยหน่วยแรงอัดเป็นหลัก ส่วนค่าหน่วยแรงในไม้ไผ่ไม่ถึงจุดคราก (Yield strength) จากการทดลองทำการเสริมไม้ไผ่เฉพาะส่วนล่างของคาน ดังนั้นเพื่อเพิ่มการรับหน่วยแรงอัดในคานโฟมคอนกรีตควรเสริมไม้ไผ่ส่วนบนของคานโฟมคอนกรีตด้วยเช่นกัน

(ก) (ข)

(ค)

ภาพที่ 7 เคาน์เตอร์ซิงค์ล้างจานจากโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่
(ก) ด้านบนผิวซีเมนต์บอร์ดและสแตนเลส
(ข) ด้านล่างผิวโฟมคอนกรีตเปลือย
(ค) ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

6.4 การประยุกต์ใช้งานโฟมคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ผนังโฟมคอนกรีตโดยทั่วไปจะหล่อโดยให้แบบหล่ออยู่ในแนวตั้ง เพื่อวางแผ่นซีเมนต์บอร์ดให้อยู่ด้านข้างแบบก่อนหล่อโฟมคอนกรีต ในกรณีที่หล่อโดยวางแบบแนวราบจะมีผิวด้านบนแบบหล่อเป็นเนื้อโฟมคอนกรีต ดังภาพตัวอย่างที่ 7 เป็นการหล่อพื้นหน้าเคาน์เตอร์ซิงค์ล้างจาน โดยด้านบนเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ดตัดเป็นช่องเพื่อติดตั้งซิงค์ล้างจานสแตนเลส ดังภาพที่ 7(ก) เมื่อหล่อโฟมคอนกรีตในแนวราบทำให้ผิวบนเป็นโฟมคอนกรีตเปลือยดังภาพที่ 7(ข) บริเวณนี้จะไม่สามารถรับโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกได้ ดังนั้นเมื่อทำการเสริมไม้ไผ่โดยสานเป็นตะแกรงก่อนเทโฟมคอนกรีตบริเวณด้านคอนกรีตเปลือย เมื่อโฟมคอนกรีตแข็งตัวก็สามารถรับแรงได้โดยไม่ต้องมีแผ่นซีเมนต์บอร์ดเป็นผิวนอกดังภาพที่ 7 (ค)

จากการทดลองการเสริมไม้ไผ่ในโฟมคอนกรีตเหมาะสำหรับการหล่อแผ่นโฟมคอนกรีตในแนวราบเพื่อชดเชยแรงดัดผิวเปลือยที่ไม่มีแผ่นซีเมนต์บอร์ด การรับน้ำหนักขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสของไม้ไผ่ที่สานเป็นตะแกรงเสริมเข้าไป ลดข้อจำกัดในการหล่อแผ่นโฟมคอนกรีตให้ง่ายขึ้นสามารถประยุกต์ชิ้นงานในรูปแบบต่าง ๆ ได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่กรุณาให้โอกาสแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา การวิจัยนี้สำเร็จออกมาได้ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการทำวิจัยในครั้งนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Piyaphol S, (2019). “The development of steels replacement by using bamboo in reinforced concrete ready-made columns.” *Research report.* Rajabhat Maha Sarakham University. (In Thai)

[2] Udomvit, C. and Nichapha, M. (2015). “Study of properties and performance of lightweight concrete reinforced with mussel shell bamboo to produce guide post.” *Journal of industrial technology,* 11(2), 69-77. (In Thai)

[3] ASTM C 109/C109M-98 (1998). “Standard Test Methods for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar.” *Annual Book of ASTM Standards.* New York: United States of America.

[4] ASTM D638 – 14(2014). “Standard Test Method for Tensile Properties.” *Annual Book of ASTM Standards.* New York: United States of America.

[5] Tri, K. and Somchai, Y . (2016). “Evaluation of effective compressive-force in pre-stress concrete beam reinforcing cold-rolled ruak bamboo cane heat treatment processed.” *SWU Engineering Journal*, 11(2), 114-124. (In Thai)