

อิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ป่าสำหรับก่อกำแพงไม่รับน้ำหนักบริเวณพื้นที่ใกล้ทะเล

Cement Bricks Reinforced with Wild Bamboo for Construction of Non-Load Bearing Walls in Areas near the Sea

พงศ์ศักดิ์ สุขมนิ¹ ทวีศักดิ์ ทองขวัญ^{2,*} นันทชัย ชูศิลป์³ เปรมณัช ชุมพร้อม⁴ นกมล คงเพชร⁵ และ จิระศักดิ์ บุญเนื่อง⁶

^{1,2,3,4,5,6} สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

*Corresponding author; E-mail address: thaweesak.t@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ป่าและพฤติกรรมในการรับกำลังอัดของอิฐซีเมนต์ที่เสริมด้วยไม้ไผ่ป่าเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ก่อกำแพงแบบไม่รับน้ำหนักในพื้นที่บริเวณใกล้ทะเลร่วมกับโครงสร้างหลักให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้นำไม้ไผ่ป่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เซนติเมตร เสริมในอิฐซีเมนต์ขนาด 7.00x19.00x39.00 เซนติเมตร มาทำการทดสอบการรับแรงอัดและวิเคราะห์ผลรวมถึงการพังทลายของอิฐซีเมนต์เสริมด้วยไม้ไผ่ป่า ผลการศึกษาพบว่า ไม้ไผ่ป่ามีค่าปริมาณความชื้น 85.03 % มีค่าความถ่วงจำเพาะชื้นและแห้ง 1.093 และ 0.772 ตามลำดับ มีความสามารถในการรับแรงดึง 1,745 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่ป่ากับคอนกรีตเท่ากับ 10.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และก้อนอิฐซีเมนต์เสริมด้วยไม้ไผ่ป่าสามารถรับแรงอัดเฉลี่ย 63.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีค่าการรับกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปประมาณ 88.20 % แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐซีเมนต์ที่ไม่เสริมไม้ไผ่ป่า ค่ายังน้อยเฉลี่ยประมาณ 53.67 % โดยการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือนเป็นหลัก แสดงให้เห็นว่าไม้ไผ่ป่าไม่ได้มีผลต่อการเพิ่มการรับกำลังอัดของอิฐซีเมนต์ ทั้งนี้การศึกษานี้จะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะศึกษาผนังคอนกรีตที่เสริมด้วยไม้ไผ่ป่าในลำดับต่อไป

คำสำคัญ: อิฐซีเมนต์, กำลังอัด, กำแพงไม่รับน้ำหนัก, ไม้ไผ่ป่า

Abstract

The aim of this study was to investigate both the physical and mechanical properties of wild bamboo, as well as the compressive strength characteristics of cement bricks reinforced with wild bamboo. The intended application is for the construction of non-load-bearing walls in the coastal region to enhance their longevity. Wild bamboo, with a 1.00-centimeter diameter, was incorporated into cement bricks measuring 7.00x19.00x39.00 centimeters. A comprehensive compressive strength test was conducted, and the results were analyzed to

assess the structural performance and failure mechanisms of the cement bricks reinforced with wild bamboo. The findings revealed that wild bamboo exhibited a moisture content of 85.03%, wet and dry specific gravities of 1.093 and 0.772, respectively, and a tensile strength of 1,745 kilograms per square centimeter. The bond strength between wild bamboo and concrete was measured at 10.16 kilograms per square centimeter. Cement bricks reinforced with wild bamboo demonstrated an average compressive strength of 63.50 kilograms per square centimeter. Although this represents an approximately 88.20% increase compared to regular concrete blocks, it falls short when compared to unreinforced cement bricks, showing an average of approximately 53.67%. Notably, the primary cause of collapse was attributed to shear forces, indicating that the presence of wild bamboo did not significantly contribute to an increase in the compressive strength of the cement bricks. This study serves as a foundation for future research on concrete walls reinforced with bamboo, providing insights into the potential limitations and areas for improvement in enhancing structural strength.

Keywords: Cement Bricks, Compressive Strength, Non-Load Bearing Walls, Wild Bamboo

1. คำนำ

การก่อสร้างอาคารทั่วไปจะเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างเหล็ก โครงสร้างไม้ หรือโครงสร้างผสมผสานระหว่างคอนกรีต เหล็กและไม้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยในการใช้งานและงบประมาณในการก่อสร้าง โดยปัจจัยในเรื่องของที่ตั้งของอาคารที่ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้ทะเลที่จะส่งผลให้อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างจากเหล็ก มีโอกาสที่จะเกิดสนิมและทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารหรือสิ่งปลูกสร้างได้มากขึ้น ส่งผลให้อายุในการใช้งานอาคารเหล่านั้นน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น และยังทำให้ต้องเสีย

งบประมาณที่มากขึ้นในการซ่อมแซมบำรุงรักษา โดยเฉพาะในพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทยที่มีแนวชายฝั่งทะเลที่ยาวทั้งฝั่งทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกที่มีอาคารและสิ่งปลูกสร้างที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้ทะเลเป็นจำนวนมาก แนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยลดความเสียหายดังกล่าวข้างต้นนั้นคือการใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนหรือไม่เป็นสนิมในการแทนที่เหล็ก เช่น วัสดุไฟเบอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยประเภทต่างๆ ซึ่งค่อนข้างจะมีราคาสูง เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่ไม่สามารถหาได้มียากในพื้นที่ทางภาคใต้หรือพื้นที่ในประเทศไทยและมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงที่ดี อีกทั้งยังเป็นไม้เศรษฐกิจท้องถิ่นที่มีราคาที่ถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก รวมถึงยังเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยตั้งแต่อดีตโดยอาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่นในการนำมาประยุกต์ใช้งานก่อสร้าง โดยเฉพาะอาคารหรือโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มากจนถึงโครงสร้างไม่รับน้ำหนัก

ผนังอิฐถือปูนเป็นโครงสร้างที่ไม่รับน้ำหนักแต่ในการใช้งานพบว่าเกิดความเสียหายต่อผนังอิฐในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่นการแตกร้าวในแนวต่างๆ [1] ดังนั้นการเสริมไม้ไผ่ในผนังหรืออิฐซีเมนต์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นและยังเป็นแนวทางที่จะพัฒนาการใช้ไม้ไผ่ในโครงสร้างที่ไม่รับน้ำหนัก โดยการศึกษาที่ผ่านมา มานัส อนุศิริ และคณะ [2-3] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ไม้ไผ่ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ตง ไม้ไผ่สุก และไม้ไผ่ป่า เสริมคอนกรีตสำหรับโครงสร้างชายทะเล และแนะนำการใช้ไม้ไผ่เสริมในคานและเสาคอนกรีต กับโครงสร้างชายทะเลที่รับน้ำหนักไม่มาก เช่น คานทับหลังเพื่อยึดเกาะกับผนังก่ออิฐ และเสา คอนกรีตที่มีความสูงไม่เกิน 2 เมตร และการศึกษาการใช้ไม้ไผ่แทนที่เหล็กอื่นๆ [4-7] รวมถึงการศึกษาคุณสมบัติของไม้ไผ่ชนิดพันธุ์ต่างๆ [8-10] ต่อมา ภาณุมาศ ตั้งดวงรัชต์ และคณะ [11] ได้ศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของลำไม้ไผ่ช่วงหม่นซึ่งขึ้นกับค่าความหนาแน่นและมวลเชิงเส้นของไม้ไผ่สำหรับเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบต่อไป และสุรพงษ์ ดาราม [12] ได้วิเคราะห์ค่าความปลอดภัยในการใช้ไม้ไผ่สำหรับงานก่อสร้าง และพบว่าคุณสมบัติของไม้ไผ่ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ และควรมีการถนอมไม้ไผ่หรือปรับปรุงคุณภาพก่อนการใช้งานก่อสร้างอาคาร เช่น การแช่น้ำ เป็นต้น จึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการนำไม้ไผ่มาใช้เสริมในคอนกรีตโดยในเบื้องต้นได้ดำเนินการศึกษาในการใช้กับอิฐซีเมนต์และปรับปรุงพัฒนาไปใช้กับกำแพงคอนกรีตที่ไม่รับน้ำหนักในลำดับต่อไป

โดยในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่ป่า ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณความชื้น และการดูดซึมน้ำของไม้ไผ่ป่า 2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของไม้ไผ่ป่า ได้แก่ หน่วยแรงดึง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ป่า 3) เพื่อประยุกต์การใช้งานไม้ไผ่ป่าเพื่อเสริมกำลังรับแรงอัดของอิฐซีเมนต์ และ 4) เพื่อศึกษาลักษณะการพังทลายของอิฐซีเมนต์ที่เสริมไม้ไผ่ป่าจากการรับแรงอัด โดยอาศัยมาตรฐานในการศึกษา ได้แก่ ISO 22157-1: 2004 [13] สำหรับการทดสอบกลสมบัติของไม้ไผ่ และ ASTM D143 [14] รวมถึงเอกสารในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตและไม้ ตลอดจนถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานไม้ [15-16] เป็นต้น

2. การดำเนินการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุหลักในการศึกษานี้คือไม้ไผ่ป่า ซึ่งเป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่ไม่สามารถหาได้ในจังหวัดสงขลาและพื้นที่จังหวัดใกล้เคียง โดยใช้ไม้ไผ่ส่วนโคนของลำต้น (หนึ่งในสามของความยาวไม้ไผ่) นำมาตัดตามขนาดที่ต้องการที่จะใช้ในการทดสอบแต่ละรูปแบบ ทั้งนี้ไม้ไผ่จะต้องผ่านกระบวนการแช่น้ำและตากแดดมาไม่น้อยกว่า 7 วัน แล้วจึงจะนำมาเตรียมใช้สำหรับการทดสอบ นอกจากไม้ไผ่แล้ว จะมีวัสดุในงานคอนกรีต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ เป็นต้น โดยการจัดเตรียมตัวอย่างทั้งหมดในการทดสอบรวมถึงการทดสอบทั้งหมดดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2.2 ตัวอย่างและการทดสอบ

2.2.1 ตัวอย่างและการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของไม้ไผ่ป่า

ทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ป่าด้วยการประยุกต์จากมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.1221-51 ถึง มยพ.1227-51 [17] โดยคุณสมบัติที่ทำการทดสอบได้แก่ 1) การหาปริมาณความชื้น 2) การหาค่าความถ่วงจำเพาะ 3) การดูดซึมน้ำของไม้ไผ่ป่า โดยขนาดของไม้ไผ่ป่าที่ใช้ในข้อ 1, 2 และ 3 ใช้ไม้ไผ่ขนาด 2.00x1.00x5.00 เซนติเมตร (โดยให้มีความยาวตามแนวขนานเส้นของไม้ไผ่) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) สำหรับ 4) การทดสอบแรงดึง ตัวอย่างไม้ไผ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80-1.00 เซนติเมตร ยาว 80.00 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) และ 5) การทดสอบหาค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่ป่ากับคอนกรีต โดยไม้ไผ่มีขนาด 1.50x1.00x80.00 เซนติเมตร ผึ่งในก้อนคอนกรีตขนาด 15.00x15.00x15.00 เซนติเมตร (คอนกรีตที่ใช้มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งได้ออกแบบส่วนผสมมวลไว้ก่อนหน้า) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ค) ภายหลังจากบ่มจนครบอายุ ก็นำมาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ด้วยอัตรา 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 1 (ง)



รูปที่ 1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่ป่า

2.2.2 ตัวอย่างและการทดสอบอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ปา

อิฐซีเมนต์สำหรับใช้ในการทดสอบมีขนาด 7.00x19.00x39.00 เซนติเมตร โดยส่วนผสมที่ใช้สำหรับอิฐซีเมนต์ได้มีการออกแบบ (1:3.5:0.43) ใช้ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ค้างเบอร์ 100 และทดสอบการรับกำลังเบื้องต้นผ่านการทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าขนาด 5.00x5.00x5.00 เซนติเมตร โดยอิฐซีเมนต์จะมี 2 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ 1) อิฐซีเมนต์ที่ไม่เสริมไม้ไผ่ปา และ 2) อิฐซีเมนต์ที่เสริมด้วยไม้ไผ่ปา ซึ่งไม้ไผ่ปาที่เสริมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.80-1.00 เซนติเมตร นำมาผูกมัดเป็นลักษณะตะแกรงขนาด 17.00x37.00 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้อิฐซีเมนต์ทั้งสองรูปแบบซึ่งมีขนาดภายนอกเท่ากัน ภายหลังหล่อ จะถูกบ่มในอากาศ แล้วจึงนำไปทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบขนาด 500 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากอิฐซีเมนต์ที่ศึกษาแล้ว ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำอิฐซีเมนต์บล็อกจากท้องตลาดที่ผ่านกระบวนการผลิตและได้ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 มาทำการทดสอบในลักษณะและรูปแบบเดียวกันกับอิฐซีเมนต์ดังกล่าวข้างต้นทั้งสองรูปแบบ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน



รูปที่ 2 ตะแกรงไม้ไผ่ปาสำหรับเสริมอิฐซีเมนต์พร้อมแบบหล่อ
(ระยะในรูปมีหน่วยเซนติเมตร)



รูปที่ 3 อิฐซีเมนต์ และเครื่องทดสอบขนาด 500 ตัน ในห้องปฏิบัติการ

2.3 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนี้ มีทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.3.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ไผ่ปา

$$\text{Specific Gravity} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (1)$$

โดยที่ W_s คือน้ำหนักไม้ไผ่ (กรัม), γ_w คือหน่วยน้ำหนักของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ V_s คือปริมาตรของไม้ไผ่ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.3.2 การหาค่าปริมาณความชื้นของไม้ไผ่

$$\text{Moisture Content} = \frac{(W_n - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ W_n คือน้ำหนักของไม้ไผ่ปาชิ้นในสภาพธรรมชาติ (กรัม) และ W_d คือน้ำหนักของไม้ไผ่ปาในสภาพแห้ง (กรัม)

2.3.3 การหาค่าการดูดซึมน้ำของไม้ไผ่

$$\text{Absorbition} = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ W_w คือน้ำหนักของไม้ไผ่ปาในสภาพเปียก (กรัม) และ W_d คือน้ำหนักของไม้ไผ่ปาในสภาพแห้ง (กรัม)

2.3.4 การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่

$$\text{Modulus of Elasticity} = \frac{f_b}{\epsilon_b} = \frac{(T/A)}{(\Delta L/L)} \quad (4)$$

โดยที่ f_b คือความเค้นหรือหน่วยแรงดึงของไม้ไผ่ปา (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร), ϵ_b คือ ความเครียดของไม้ไผ่ปา (กรัม), T คือแรงดึง (กิโลกรัม), A คือพื้นที่รับแรงดึงของไม้ไผ่ปา (ตารางเซนติเมตร), ΔL คือระยะยืดของไม้ไผ่ปา (เซนติเมตร) และ L คือ ความยาวเดิม (เซนติเมตร)

2.3.5 การหาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่

$$\text{Bonding Stress} = \frac{T_{\max}}{\sum_o L} \quad (5)$$

โดยที่ $T_{\max}$ คือแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ไม้ไผ่ปาหลุดออกจากคอนกรีต (กิโลกรัม), $\sum_o$ คือเส้นรอบรูปของไม้ไผ่ปา (เซนติเมตร) และ L คือความยาวของไม้ไผ่ส่วนที่ฝังในคอนกรีต (เซนติเมตร)

2.3.6 การหาค่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต

$$\text{Compressive Stress} = \frac{C_{\max}}{A_c} \quad (6)$$

โดยที่ $C_{\max}$ คือแรงอัดสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่างคอนกรีต (กิโลกรัม), A_c คือพื้นที่หน้าตัดรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต (ตารางเซนติเมตร)

3. ผลการทดสอบและอภิปราย

ผลการทดสอบดังกล่าวมาในหัวข้อ 2.2 จึงเสนอผลตามลำดับดังนี้

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่ป่า

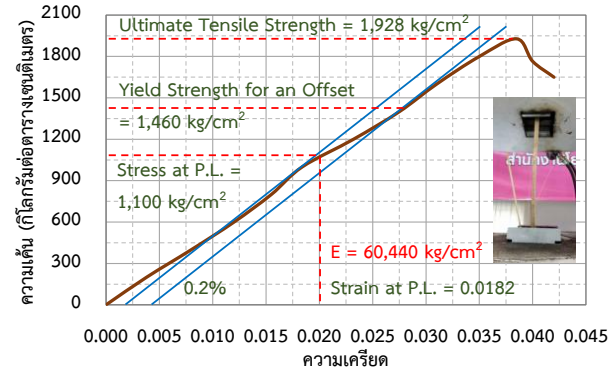
ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่ป่าพบว่า ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของไม้ไผ่ป่ามีค่าอยู่ที่ 85.03 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถ่วงจำเพาะชิ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.093 ค่าความถ่วงจำเพาะแห้งเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 0.772 และมีค่าการดูดซึมน้ำของไม้ไผ่ป่าเฉลี่ยอยู่ที่ 38.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากหลักเกณฑ์มาตรฐานตามวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) และ [16] โดยอาศัยค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่าไม้ไผ่ป่าที่นำมาทดสอบนี้จัดอยู่ในประเภทไม้เนื้ออ่อนถึงไม้เนื้อแข็งปานกลาง ดังนั้นในการนำไม้ไผ่มาใช้ในงานที่มีการรับน้ำหนักหรือแรงกระทำจึงควรมีกระบวนการในการเพิ่มประสิทธิภาพหรือการถนอมไม้ไผ่ป่า [9] โดยผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่ป่า ซึ่งวิเคราะห์มาจากการสมการ (1), (2) และ (3) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ไผ่ป่า

รายละเอียด	ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบไม้ไผ่ป่า				
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5
ความยาวเฉลี่ย (cm)	4.98	5.00	5.00	5.00	5.00
ความกว้างเฉลี่ย (cm)	2.08	2.00	2.01	2.00	2.00
ความหนาเฉลี่ย (cm)	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98
น้ำหนักเปียก (gm)	8.36	7.94	8.39	8.02	8.02
น้ำหนักแห้ง (gm)	6.14	5.73	5.97	5.92	5.58
มวลก่อนอบ (gm)	11.33	10.80	11.02	10.89	10.77
ปริมาตรก่อนอบ (cm ³)	10.31	10.00	10.03	9.96	9.84
ปริมาตรหลังอบ (cm ³)	8.04	7.53	7.84	7.54	7.40
ปริมาณความชื้น (%)	84.04	88.48	84.59	83.59	84.10
ความถ่วงจำเพาะชื้น	1.10	1.08	1.10	1.09	1.10
ความถ่วงจำเพาะแห้ง	0.76	0.76	0.76	0.79	0.79
การดูดซึมน้ำ (%)	36.16	38.57	40.54	35.47	43.72

ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ของไม้ไผ่ป่าโดยนำไม้ไผ่ป่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80-1.00 เซนติเมตร ยาว 80.00 เซนติเมตร มาทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง UTM ดังกล่าวข้างต้น จากตัวอย่างไม้ไผ่ป่าทั้ง 5 ชุด โดยทำการดึงจนกระทั่งไม้ไผ่ป่าเกิดการปับติหรือขาดออกจากกันและบันทึกผลระหว่างแรงดึงและการยืดตัวของไม้ไผ่ และนำเสนอความสัมพันธ์ของผลที่ได้ในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) เพื่อที่จะวิเคราะห์หาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elastic, E) โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ (4) พบว่าค่าหน่วยแรงดึงเฉลี่ยที่จุดคราก (Average Yield Strength) มีค่า 1,216 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย (Average Tensile Strength) ของไม้ไผ่ป่าที่ทดสอบมีค่า 1,745 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่ป่า

เฉลี่ย 62,023 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของไม้ไผ่ป่าบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4 และผลการทดสอบแรงดึงดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จากการทดสอบแรงดึง

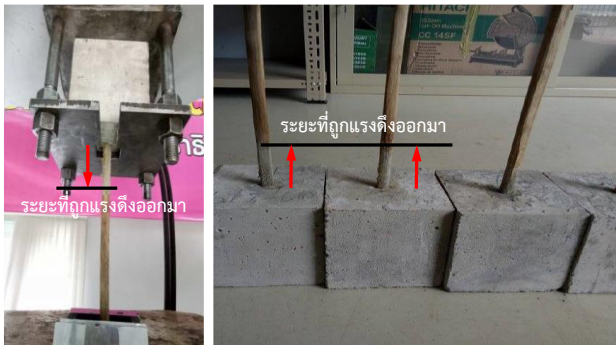
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ไผ่ป่า (ทดสอบแรงดึง)

ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่ป่า	รายละเอียด		
	หน่วยแรงที่จุดคราก (kg/cm²)	หน่วยแรงสูงสุด (kg/cm²)	มอดูลัสยืดหยุ่น (kg/cm²)
ชุดที่ 1	1,235	1,984	57,143
ชุดที่ 2	1,460	1,928	60,440
ชุดที่ 3	1,045	1,823	54,521
ชุดที่ 4	1,040	1,424	69,718
ชุดที่ 5	1,300	1,564	68,293

จากผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่ป่า (รูปที่ 4 และตารางที่ 2) มีค่าหน่วยแรงดึงเฉลี่ยที่จุดคราก (f_y) 1,216 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้นกลมตามมาตรฐาน มอก.20-2559 (SR24) ที่มีค่าเท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต่างกันอยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 49.33 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของไม้ไผ่ป่าที่ได้จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก (2.04x10⁶ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ค่อนข้างที่จะแตกต่างกันพอสมควรอยู่ที่ประมาณกว่า 30 เท่า ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ไม้ไผ่ป่าเพื่อแทนที่เหล็กในการก่อสร้าง จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มากหรือไม่รับน้ำหนัก เช่น ผนัง กำแพง คาน รั้ว ฝ้าหลัง เป็นต้น สำหรับโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักที่มากขึ้น จะต้องทำการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังของไม้ไผ่ให้มากขึ้นในลำดับถัดไป และควรจะต้องมีค่าอัตราส่วนของความปลอดภัยที่จะนำไม้ไผ่ไปใช้ในงานที่ต้องรับน้ำหนักอย่างเหมาะสมด้วย ซึ่งในเบื้องต้นแนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของไม้ไผ่น้อยกว่า 0.50 (เนื่องจากการออกแบบด้วยเหล็กเส้น ใช้ค่าหน่วยแรงดึงเท่ากับ 0.5 f_y)

ในลำดับถัดมา การทดสอบหาค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ ใช้คอนกรีตที่ออกแบบส่วนผสมสำหรับคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร โดย

ใช้ปูนซีเมนต์ 307.14 กิโลกรัม หาย 802.95 กิโลกรัม หิน 1,039.50 กิโลกรัม และน้ำ 215 ลิตร ภายหลังผสมคอนกรีตและเก็บตัวอย่างขนาด 15.00x15.00x15.00 เซนติเมตร บ่มในน้ำจนได้อายุแล้วนำมาทดสอบ ได้ค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยจากก้อนตัวอย่างทั้งหมด โดยวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (6) มีค่าเท่ากับ 242 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งคอนกรีตนี้ได้ใช้ในการศึกษาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ปา (ไม้ไผ่ปาฝังอยู่ในคอนกรีตเท่ากับความหนาของลูกบาศก์ที่ใช้หล่อคอนกรีต คือ 15.00 เซนติเมตร) ทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง UTM จนกระทั่งไม้ไผ่หลุดออกจากคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 5 และวิเคราะห์ผลด้วยสมการที่ (5) ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 4 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ปา

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ปา

ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบแรงดึง	รายละเอียด		
	ความยาวรอบรูปไม้ไผ่ปา (cm)	แรงดึง (kg)	หน่วยแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm ²)
ชุดที่ 1	5.17	787.00	10.14
ชุดที่ 2	5.37	824.00	10.22
ชุดที่ 3	5.37	751.00	9.32
ชุดที่ 4	5.15	817.00	10.58
ชุดที่ 5	4.99	787.00	10.52

จากตารางที่ 3 ได้ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ปาเฉลี่ยเท่ากับ 10.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (Allowable Bonding Stress) ของเหล็กเส้นกลมตามสมการ $\mu_{all} = 2.29\sqrt{f'_c}/2D$ หรือ $\mu_{all} = 3.23\sqrt{f'_c}/2D$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับ กิตติยะ และคณะ (2556) [18] ที่พบว่าค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับไม้ไผ่ปาไม้กระบุงชนิดของพันธุ์ไม้ไผ่จำนวน 50 ตัวอย่าง ได้ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของไม้ไผ่เฉลี่ยเท่ากับ 11.11 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต่างกับค่าแรงยึดเหนี่ยวของไม้ไผ่ปาที่ทดสอบได้เท่ากับ 8.55 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับประยุกต์ใช้ไม้ไผ่ปาเป็นวัสดุในงานก่อสร้างได้

3.2 ผลการทดสอบอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ปา

กระบวนการทดสอบอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ปาดังกล่าวมาในหัวข้อ 2.2.2 โดยก่อนกระบวนการผลิตอิฐซีเมนต์เสริมด้วยไม้ไผ่ปา ได้ดำเนินการทดสอบมอร์ตาร์ที่จะใช้ในการผลิต ขนาด 5.00x5.00x5.00 เซนติเมตร ที่อัตราส่วน 1:2.75:0.485 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไฮดรอลิก โดยทำการทดสอบการรับแรงอัด (Compressive Strength) พบว่าผลการทดสอบมอร์ตาร์ที่บ่มในน้ำและอากาศ 3 วัน และ 7 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 135.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 170.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 12 2558 ค่ากำลังรับแรงอัดหรือค่าหน่วยแรงอัดที่ทดสอบได้จากมอร์ตาร์ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดกำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์มาตรฐาน มอก.15 เล่ม 12 2558 กำหนดให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีอายุการบ่ม 1 วันในอากาศขึ้น 2 วันในน้ำ และ 1 วันในอากาศขึ้น 6 วันในน้ำสำหรับปูนซีเมนต์ มีค่าไม่น้อยกว่า 85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 130 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ) โดยรูปการบ่มมอร์ตาร์และการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงในรูปที่ 5

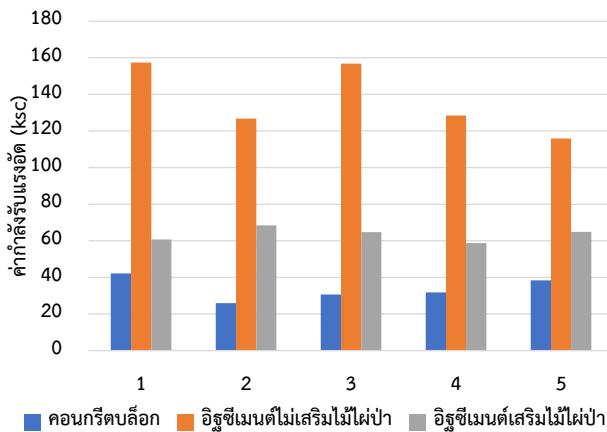


รูปที่ 5 การบ่มมอร์ตาร์และการทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบขนาด 500 ตัน

ภายหลังมอร์ตาร์ที่ใช้ผลิตอิฐซีเมนต์ผ่านการทดสอบ ก็ดำเนินการผลิตบ่ม และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดจนกระทั่งอิฐเกิดการพองหรือพังทลายด้วยเครื่องทดสอบขนาด 500 ตัน (ดังแสดงในรูปที่ 3) โดยอิฐที่ทำการทดสอบได้แก่ อิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ปา อิฐซีเมนต์ไม่เสริมไม้ไผ่ปา และคอนกรีตบล็อกที่จัดทำมาจากท้องตลาดที่ผ่านมาตรฐาน มอก.58-2533 พบว่าค่าการรับกำลังอัดสูงสุดของอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ปาไม่มีค่าเฉลี่ย 63.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิฐซีเมนต์ไม่เสริมไม้ไผ่ปารับกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 137.06 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตบล็อกรับกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยได้ 33.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 ที่กำหนดให้คอนกรีตบล็อกต้องรับกำลังอัดได้ไม่น้อยกว่า 25.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐซีเมนต์บล็อก

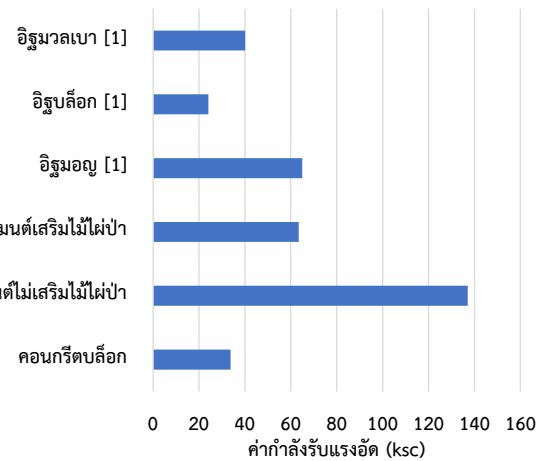
รายละเอียด	ค่ากำลังรับแรงอัด (ksc)		
	คอนกรีตบล็อก	อิฐซีเมนต์	
		ไม่เสริมไม้ไผ่	เสริมไม้ไผ่
ชุดที่ 1	42.14	157.37	60.70
ชุดที่ 2	25.91	126.68	68.44
ชุดที่ 3	30.57	156.85	64.72
ชุดที่ 4	31.77	128.45	58.79
ชุดที่ 5	38.31	115.93	64.84



รูปที่ 6 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐซีเมนต์และคอนกรีตบล็อก

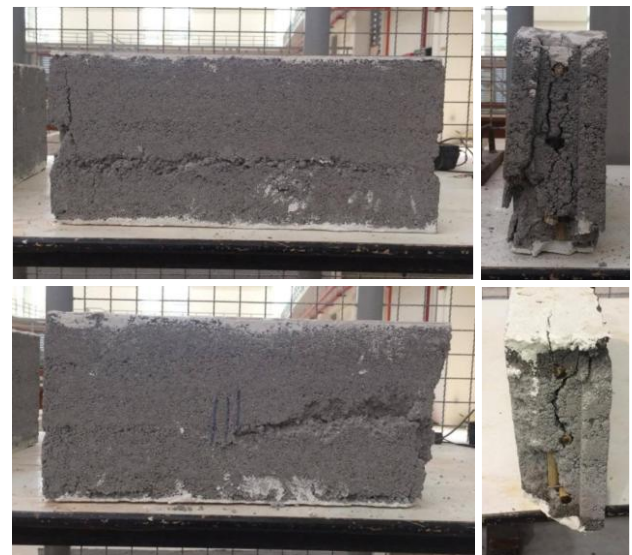
จากตารางที่ 4 และรูปที่ 6 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ (น้ำหนักเฉลี่ย 9.96 กิโลกรัมต่อก้อน) ซึ่งเท่ากับ 63.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าประมาณ 0.50 เท่าของค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐซีเมนต์ที่ไม่เสริมด้วยไม้ไผ่ แสดงให้เห็นว่าไม้ไผ่ที่เสริมในอิฐซีเมนต์ ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับกำลังอัดของอิฐซีเมนต์ อาจเนื่องมาจากพฤติกรรมการรับแรงของไม้ไผ่จะไม่เหมาะสมกว่าหากนำไปใช้กับส่วนของโครงสร้างที่รับแรงดึงหรือแรงดัด เช่น คาน พื้น เป็นต้น หรือเป็นโครงสร้างผนังหรือกำแพงที่มีขนาดหรือมิติ ที่ใหญ่กว่าขนาดของอิฐซีเมนต์ แต่เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อก (น้ำหนักเฉลี่ย 6.33 กิโลกรัมต่อก้อน) ที่รับกำลังอัดได้เฉลี่ย 33.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ก็มีค่าสูงกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่งอาจเป็นเพราะความหนาแน่นของอิฐที่แตกต่างกัน (คอนกรีตบล็อกมีความกลวงกว่าเมื่อเทียบกับอิฐซีเมนต์) และเมื่อเทียบกันระหว่างกำลังรับแรงที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักต่อก้อนของคอนกรีตบล็อก กับอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ พบว่าค่าที่ได้มีค่าเฉลี่ย 6.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อน้ำหนัก และ 5.33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อน้ำหนัก สำหรับอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ และคอนกรีตบล็อก ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่สามารถรับกำลังอัดเบื้องต้นได้ (อาศัยมาตรฐาน มอก.58-2533)

นอกจากนี้ จากการศึกษา [1] ได้ทำการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของอิฐที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ อิฐมอญ อิฐบล็อก และอิฐมวลเบา ซึ่งมีค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 65.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 24.14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 40.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จะพบว่าหากเปรียบเทียบกับค่าการรับกำลังอัดของอิฐซีเมนต์เสริมด้วยไม้ไผ่ซึ่งเท่ากับ 63.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7 นั้นแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ไม้ไผ่จะไม่ช่วยเสริมในการรับกำลังอัด แต่ความสามารถในการรับกำลังอัดของอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ ยังไม่น้อย และสามารถนำไปใช้งานได้ โดยแนะนำสำหรับโครงสร้างรับน้ำหนักน้อย และอยู่ริมทะเล ในเบื้องต้น

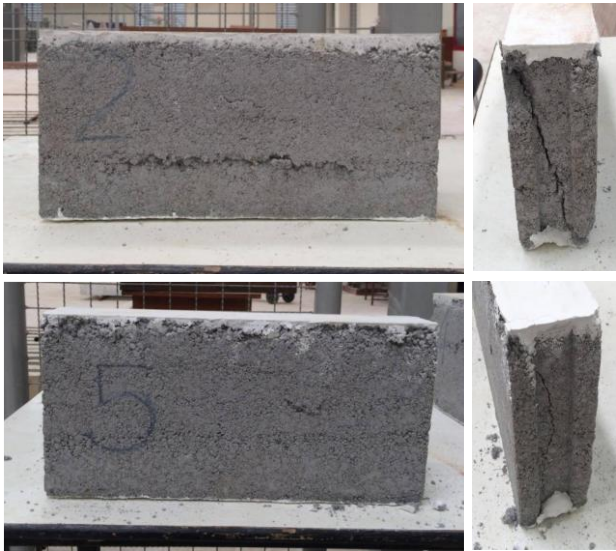


รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการทดสอบอิฐในการศึกษา กับ [1]

สำหรับการทดสอบอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ และไม้เสริมไม้ไผ่ จานกระทั้งอิฐดังกล่าวที่บดหรือพังทลาย โดยรูปของการพังทลายบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 การพังทลายของอิฐซีเมนต์เสริมไม้ไผ่ ภายใต้แรงอัด



รูปที่ 8 การพังทลายของอิฐซีเมนต์ไม่เสริมไม้อัดรับแรงอัด

จากรูปที่ 7 และรูปที่ 8 พบว่าการพังทลายหรือการบีบอัดของอิฐซีเมนต์ทั้งสองรูปแบบ มีลักษณะของการแตกแบบผ่าและแรงเฉือนร่วมกันโดยในอิฐซีเมนต์ที่เสริมไม้อัดเมื่อพิจารณาจากด้านหน้าจะเห็นชัดว่ารอยแตกในแนวผ่าจะเกิดในแนวของไม้อัดจากบนลงด้านล่าง แสดงให้เห็นว่าการใช้อิฐซีเมนต์เสริมไม้อัดรับแรงอัด แรงกระทำจะถูกกลดลงและส่งถ่ายผ่านไม้อัด ทำให้เกิดแรงดันภายในก้อนอิฐซีเมนต์และพังทลายในแนวของไม้อัดที่เสริม ในขณะที่อิฐซีเมนต์ที่ไม่เสริมไม้อัด แนวของรอยแตกที่ตำแหน่งเดียวกันจะเป็นแนวทแยง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของแรงอัดที่ทำให้เกิดการพังทลายทั้งแบบผ่าและเฉือนร่วมกันในอิฐ

4. บทสรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้อัดปา และพฤติกรรมในการรับกำลังอัดของอิฐซีเมนต์ที่เสริมด้วยไม้อัดปาเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ก่อกำแพงแบบไม่รับน้ำหนักในพื้นที่บริเวณใกล้ทะเลร่วมกับโครงสร้างหลักให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น สามารถสรุปผลการศึกษาเบื้องต้นได้ดังนี้

4.1) คุณสมบัติทางกายภาพของไม้อัดปา ได้แก่ ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของไม้อัดปามีค่าอยู่ที่ 85.03 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.093 ค่าความถ่วงจำเพาะแห้งเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 0.772 และมีค่าการดูดซึมน้ำของไม้อัดปาเฉลี่ยอยู่ที่ 38.89 เปอร์เซ็นต์ และจัดประเภทของไม้อัดปาที่นำมาทดสอบนี้จัดอยู่ในประเภทไม้เนื้ออ่อนถึงไม้เนื้อแข็งปานกลาง

4.2) คุณสมบัติทางกลของไม้อัดปา ได้แก่ค่าหน่วยแรงดึงเฉลี่ยที่จุดครากมีค่า 1,216 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และหน่วยแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยของไม้อัดปาที่ทดสอบมีค่า 1,745 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีคามอดูลัสยืดหยุ่นของไม้อัดปาเฉลี่ย 62,023 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าหน่วยแรงยืดหยุ่นระหว่างคอนกรีตกับไม้อัดปาเฉลี่ยเท่ากับ 10.16 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นไปประยุกต์ใช้กับงานคอนกรีตได้

4.3) ค่าการรับกำลังอัดสูงสุดของอิฐซีเมนต์เสริมไม้อัดปาเฉลี่ย 63.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิฐซีเมนต์ไม่เสริมไม้อัดปารับกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 137.06 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตบล็อกรับกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยได้ 33.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเมื่อพิจารณากำลังอัดสูงสุดของอิฐซีเมนต์เสริมไม้อัดปามีค่าการรับกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปประมาณ 88.20 % แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐซีเมนต์ที่ไม่เสริมไม้อัดปา ค่ายังน้อยเฉลี่ยประมาณ 53.67 % แสดงว่าไม้อัดปาที่เสริมไม่ได้ช่วยเพิ่มการรับแรงอัดของอิฐซีเมนต์

4.4) การบีบอัดของอิฐซีเมนต์ทั้งที่เสริมและไม่เสริมไม้อัดปามีลักษณะการบีบอัดแบบแรงเฉือนเป็นหลัก ร่วมกับการบีบอัดแบบผ่าแยก และจะเห็นชัดเจนแนวของไม้อัดปาที่เสริม ในแนวด้านบนลงล่าง

จากข้อสรุปข้างต้นที่ได้นั้น สามารถประยุกต์ใช้ไม้อัดปาในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาได้โดยเฉพาะกับอาคารหรือโครงสร้างที่รับน้ำหนักไม่มากหรือไม่รับน้ำหนัก และอาจเป็นโครงสร้างริมทะเล ซึ่งต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเบื้องต้นทั้งทางกายภาพและเชิงกลของไม้อัดปานั้นๆ ก่อนนำไปใช้งาน

5. ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นแค่เพียงส่วนหนึ่งของการศึกษาแนวทางเบื้องต้นที่จะประยุกต์ใช้ไม้อัดปากับโครงสร้างต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมโยธา อย่างเช่น อิฐผนัง กำแพง เสาคาน พื้น เป็นต้น (บางส่วนได้นำเสนอไปแล้ว [2-3]) และมุ่งเน้นกับโครงสร้างในบริเวณพื้นที่ใกล้ทะเลเนื่องจากคณะผู้วิจัยทำงานอยู่ในพื้นที่จังหวัดสงขลาซึ่งติดทะเล ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางแรกที่จะนำไปสู่การศึกษาในโครงสร้างที่มีมิติที่ใหญ่ขึ้น เช่น กำแพงเสริมด้วยไม้อัดสำหรับพื้นที่ใกล้ทะเล เป็นต้น ดังนั้นข้อเสนอแนะเบื้องต้นคือควรที่จะศึกษาในระดับขนาดโครงสร้างที่จะใช้งานได้จริง ในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่สำหรับการทดสอบ จนกระทั่งทำให้งานวิจัยในครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์และสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sookmanee, P. and Chusilp, N. (2023). Failure Behavior of Masonry Wall under Bidirectional Forces. *Journal of Engineering and Technology Horizons*, vol. 40, no. 4, pp. 1-17. Doi: 10.55003/ETH.400410
- [2] มนัส อนุศิริ, จำรูญ สมบูรณ์ และ จานงค์ เพชรประกอบ (2560). การประยุกต์ใช้ไม้อัดเสริมคอนกรีตสำหรับโครงสร้างชายทะเล. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน*, นครปฐม, 7-8 ธันวาคม 2560, หน้า 479-487.
- [3] มนัส อนุศิริ, ถาวร เกื้อสกุล, จานงค์ เพชรประกอบ และ จำรูญ สมบูรณ์ (2561). โครงสร้างคอนกรีตเสริมไม้อัดสำหรับอาคารขนาดเล็ก. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 15*

- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 6-7 ธันวาคม 2560, หน้า 446-455.
- [4] Ghavami, K. (2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and concrete composites*, 27(6), pp. 637-649. Doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002
- [5] Khare, L. (2005). *Performance evaluation of bamboo reinforced concrete beams*. Master Thesis, University of Texas at Arlington, Arlington, USA.
- [6] วินิต ช่อวิเชียร (2525). กำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมไม้ไผ่. *วารสารวิศวกรรมสาร*, vol. 5, 35, หน้า 41-45.
- [7] วันดี พูนพจน์มาศ, รุ่งโรจน์ จักกิระ และ สนธยา ทองอรุณศรี (2560). ผลของไม้ไผ่เสริมตามขวางต่อแรงอัดแตกของท่อนคอนกรีตเสริมไม้ไผ่. *วารสารวิจัย ราชชมงคลกรุงเทพ*, vol.11, no.1, หน้า 17-25.
- [8] สุทธิชา บรรจงรัตน์ (2557). *การศึกษาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไม้ไผ่ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย*. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [9] สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ (2557). *การวิจัยด้านวนวัฒนและการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ที่มีศักยภาพสูงทางเศรษฐกิจ*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [10] พรรณนิภา เขาวน และ กิตติศักดิ์ จินดาวงศ์ (2556). *ความผันแปรของสมบัติของลำไผ่สามชนิดซึ่งปลูกในมูลนิธิโครงการหลวง*. รายงานวิจัยประจำปี ประจำปี 2557 โครงการวิจัยเลขที่ 3035-3964. สำนักวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- [11] ภาณุมาศ ตั้งผดุงรัชต์, ชยานนท์ ทรัพย์บุญ, ชินพัฒน์ บัวชาติ, ปิยะพงษ์ วงศ์เมธา และ พรรณนิภา เขาวน (2565). การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของลำไม้ไผ่เพื่อจำแนกชั้นคุณภาพทางโครงสร้างของไม้ไผ่ขางหม่น. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2557, STR44-1 – STR44-9.
- [12] สุรพงษ์ ดาราม (2562). การวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยสำหรับไม้ไผ่ใช้ในงานก่อสร้าง. *วารสารสถาปัตยกรรม การออกแบบและการก่อสร้าง*, vol.1, no.3, หน้า 11-27.
- [13] International Organization for Standardization, "ISO 22157-1:2004; Bamboo — Determination of physical and mechanical properties — Part 1," 2004.
- [14] ASTM Standard (1994). American Society for Testing and Materials Standard: D143-1994 (2007): Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.
- [15] ISO (1999) (International Standard Organization), Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Designing and Building with Bamboo, TC 165 N315.
- [16] มนัส อนุสิริ. (2554). ทฤษฎีและการปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา. ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน) อาคารเนชั่นทาวเวอร์ ชั้นที่ 19 เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนาตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260.
- [17] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). มยผ.1221-51 ถึง มยผ. 1227-51 มาตรฐานการทดสอบไม้. สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 6 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
- [18] กิตติยะ พลเทพ และพุทธิพงศ์ หมายสุข. (2556). *คานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ซึ่งเคลือบผิวด้วย ไฟเบอร์กลาสรับการดัด*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา.