



การพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มและเถ้ากากน้ำตาลแทนซีเมนต์

THE DEVELOPMENT OF CEMENT-BONDED COMPOSITE BOARD FROM ASEPTIC CARTON WASTE WITH DISTILLERY SLOP

ปิยรัตน์ เปาเล้ง^{1*} และ อธิพล มีผล²

^{1,2} อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*Corresponding author, E-Mail: piyarat.p@fite.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มและเถ้าลอยจากระบบเตาเผาเถ้ากากน้ำตาลแทนซีเมนต์เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ของเสียจากระบบเตาเผาเถ้ากากน้ำตาลสำหรับพัฒนาเป็นวัสดุหจกชุมชน โดยทำการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดความหนาแน่น (Density) 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากแบบสำหรับทำแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด กว้าง 30 ซม. ยาว 30 ซม. หนา 2 ซม. อัตราส่วนระหว่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และปริมาณเส้นใยสำหรับการผสม 70:30 โดยน้ำหนัก โดยใช้ลักษณะของเส้นใยกล่องเครื่องดื่มพันแบบ 2 และ 3 เกลียว และใช้เถ้าลอยจากระบบเตาเผาเถ้ากากน้ำตาลแทนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10 15 และ 20 โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) คงที่เท่ากับ 0.6 และดำเนินการทดสอบตามข้อกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์บอร์ดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง มอก. 878-2532 และ DIN 1101:1989 ประกอบด้วย มอดูลัสแตกหัก (MOR) มอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) การดูดซึมน้ำ (WA) การพองตัว (TS) ความต้านทานต่อการเผาไหม้ของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (ROB) ตามมาตรฐาน ASTM D635-98 และการดูดซับเสียง (SOA) จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ดพัฒนาจากการผสมเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มที่มีสัดส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใย 70:30 และใช้เถ้ากากน้ำตาลแทนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางกล ทางกายภาพ และ ทางอุณหภูมิ มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานภายในอาคาร

คำสำคัญ: แผ่นซีเมนต์บอร์ด; กากเถ้า; มอดูลัสแตกหัก; มอดูลัสยืดหยุ่น

ABSTRACT

This article presents the development of Cement-Bonded composite board from aseptic carton waste and distillery slop from liquor production. The mechanical, and physical properties of aseptic carton waste cement boards with distillery slop (ACWCBDS) developed were investigated. The ACWCBDS were produced at a density of 1,000 kg/m³. The cement-to-fibers ratios by weight of 70:30. The cement replacement by distillery slop 10 15 20 percent were prepared at the same water-to-cement ratio of 0.6. The size of ACWCBDS is 30 cm in width x 30 cm in length and 2 cm in height. The results of mechanical and physical properties were compared with standards requirements for boards made with wood-based fiber and particle panel

materials according to TIS 878-2532 and DIN 1101:1989 consists of modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), water absorption (WA), thickness swelling (TS), Rate of Burning(ROB) by ASTM D635-98 and Sound Absorption(SOA). Based on the result obtained, it can be summarized that the highest efficiency cement-to-fiber ratio was found to be 70:30 with 10% cement replacement by distillery slop. Possibility to apply for used indoor the building.

KEYWORDS: Cement-Bonded Composite Board; Distillery Slop; modulus of rupture; modulus of elasticity

1. บทนำ

ในปัจจุบันวัสดุประกอบอาคารเช่น ผนังภายใน-ภายนอก ฝ้า เพดาน มีประเภทจากวัสดุประกอบหลากหลาย เช่น ยิปซัมบอร์ด แผ่นพีวีซีโฟม ชนิดแข็งหรือพลาสติก(Plastwood) และซีเมนต์บอร์ด หรือแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (Fiber Cement Board) [1] โดยแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Composite cement board) มีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้นและมีข้อดีหลากหลายและมีคุณลักษณะที่ดีกว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ด (ปาร์ติเคิลบอร์ดหรือ พาร์ติเคิลบอร์ด: Particle board) เช่น การป้องกันความชื้น ป้องกันน้ำ การป้องกันไฟ ความร้อน เชื้อรา และ ป้องกันการทำลายจากแมลงธรรมชาติ และ สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องระวังเรื่องปลวก (Termite attacks) [2-5] ขึ้นรูปโดยใช้ส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ เส้นใย และน้ำ [6] โดยสัดส่วนระหว่างเศษชิ้นส่วนจากวัสดุธรรมชาติและซีเมนต์ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดคือ 1.00:2.75 [7]

ในประเทศไทยเริ่มใช้งานประมาณปี พ.ศ.2499 โดยการผลิตเป็นแผ่นฝอยไม้อัดซีเมนต์ และเมื่อปี พ.ศ.2543 ได้เริ่มต้นการผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ขึ้น โดยใช้เชื้อกระดาษประมาณร้อยละ 10 ผสมเส้นใยหินด้วยเล็กน้อยกับปูนซีเมนต์ร้อยละ 90 โดยทั่วไปแผ่นไม้อัดซีเมนต์มี 3 ประเภทคือ 1) เชื้อไม้อัดซีเมนต์ (Wood Wool Cement Board: WWCb) ใช้ในงานของฝ้าเพดาน ผนังห้องประชุม 2) แผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ (Particle Board) ใช้งานได้หลากหลายสามารถ ตัด เจาะ เชาะร่อง ได้เช่นเดียวกับไม้จริงและ 3) แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ (Fiber Board) ใช้ในงานผนังและเฟอร์นิเจอร์จำพวกตู้หรือชั้นวางของ ซึ่งในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆในกระบวนการผลิตสูงขึ้น จนทำให้สามารถพัฒนาวัสดุแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยออกสู่ตลาดที่ได้รับ ความนิยมอย่างแพร่หลายอาทิเช่น SHERA flexy board, Etherphan และ Smartboard [8] แต่อย่างไรก็ดีจากปัญหาด้าน ทรัพยากร ป่าไม้ที่ลดจำนวนลงอย่างต่อเนื่อง อุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์ไม้อัดจึงประสบปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบ ทำให้ จะต้องมีการหาวัตถุดิบ มาทดแทนในอนาคต [9] วัตถุดิบที่นำมาทดแทนสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวัตถุดิบ ไม้ (Wood Material) ได้แก่ ไม้ยูคา ลิปตัส ไม้ยางพารา และ ไม้ไผ่เรื้ออื่นๆ และกลุ่มวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Non-wood Material) คือ พืชที่ไม่มีลักษณะต้นไม้ ได้แก่ พืช เส้นใยทาง เกษตรอื่นๆ เมื่อพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ ราคา ปริมาณที่มีอยู่ แหล่งของวัตถุดิบ ระยะเวลา และปริมาณ พบว่า วัตถุดิบไม้ยังคงมีแนวโน้มในการนำมาใช้ ทดแทนได้มากกว่าวัสดุที่ไม่ใช่ไม้อย่างไรก็ตามปัจจุบัน วัตถุดิบ ไม้ก็เริ่มหายากมากขึ้น โดยเฉพาะส่วนของเนื้อไม้ซึ่งมี การนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย [10] ดังแสดงในรูปที่ 1



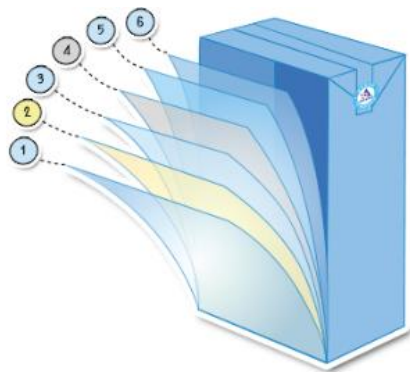
รูปที่ 1 ลักษณะของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยไม้ (Wood-wool cement board)

(ที่มา : <https://th.mq-acoustics.com/wooden-acoustic-panel/wood-wool-board/wood-fibre-cement-board.html>)

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดซึ่งดำเนินการอยู่จำนวนไม่มาก โดยใช้วัตถุดิบหลักในการผลิต คือ ไม้ยูคาลิปตัสและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2548-2552 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 37.88 ต่อปี ปัญหาการผลิตที่พบ ได้แก่ การเก็บไม้ท่อนเพื่อใช้ในการผลิต ขาดแคลนไม้ท่อน เครื่องจักรเก่า และขาดแคลนแรงงาน [11] ทั้งนี้ข้อมูลเศรษฐกิจระบุว่าในปี พ.ศ.2560 ผลิตภัณฑ์ประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์มีมูลค่าตลาดกว่า 1.45 หมื่นล้านบาท หรือ 20% ของมูลค่าตลาดปูนซีเมนต์ [12] ทั้งนี้ในปัจจุบันการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดจะใช้เส้นใยไม้อย่างพาราซึ่งจะพบปัญหาการบวมตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดเนื่องจากความชื้น และความเปราะของเส้นใยจากธรรมชาติ ทำให้อายุการใช้งานของแผ่นซีเมนต์บอร์ดสั้น อีกทั้งกระบวนการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดยังใช้พลังงานและวิธีการขึ้นรูปที่ซับซ้อน ยิ่งไปกว่านั้นการขาดแคลนวัตถุดิบสำคัญคือ เยื่อไม้ ทำให้ต้นทุนการผลิตมีค่าสูงขึ้นมากในปัจจุบัน ดังนั้นหากมีการนำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและขยะรีไซเคิลที่มีองค์ประกอบของกระดาษซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วมาใช้งานร่วมกันเพื่อผลิตแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์ย่อมช่วยลดปัญหาขยะได้อีกทางหนึ่ง และยังช่วยสร้างทางเลือกในการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีต้นทุนต่ำ [13]

ขยะจากกล่องเครื่องดื่มชนิด ยู เอช ที จัดเป็นขยะที่มีอัตราการรีไซเคิลวัสดุต่ำที่สุดในกลุ่มของวัสดุประเภทรีไซเคิล ประกอบไปด้วย อัตราการนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์หลักและอลูมิเนียมสูงเกินกว่าร้อยละ 99 ในขณะที่แก้วเท่ากับร้อยละ 75.06 กระดาษร้อยละ 75.22 พลาสติกร้อยละ 50.53 และกล่องเครื่องดื่มอยู่เพียงร้อยละ 50.0 [14] ซึ่งการนำกลับมารีไซเคิลก็มีทั้งการนำกล่องเครื่องดื่ม UHT มาแปรรูปเป็นตะกร้า การนำกระดาษมาแปรรูปเป็นกล่องทิชชูเป็นต้น[15] อย่างไรก็ตามกล่องเครื่องดื่มมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี มีความเหนียว และมีค่ากำลังรับแรงดึงของเส้นใยประมาณ 415 กก./ตร.ซม.[16] โดยมีองค์ประกอบด้วยชั้นวัสดุ 6 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยกระดาษร้อยละ 80, โพลีเอทิลีน ร้อยละ 15 และอลูมิเนียมฟอยล์ ร้อยละ 5 มีความแข็งแรงสามารถทนต่อแรงดัน [17] กล่องบรรจุเครื่องดื่ม น้ำผลไม้ หรือกล่องบรรจุนมที่ใช้แล้วเป็นถึขยะที่มีปริมาณมากและต้องกำจัดทิ้ง อีกทั้งยังย่อยสลายได้ยาก จากการสำรวจข้อมูลในปัจจุบันพบว่าจากข้อมูลเปิดเผยของบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม Tetra Pak เฉพาะในปี 2562 มีการผลิตและส่งออกทั่วโลกกว่า 160 ประเทศ เฉลี่ยสูงถึงประมาณ 190 พันล้านกล่อง แต่มีการนำกลับมารีไซเคิลได้เพียงประมาณร้อยละ 26 เท่านั้น [18] ทั้งนี้กระบวนการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยังต้องใช้

เทคโนโลยีขั้นสูงในการแยกกระดาษ พลาสติกและ อลูมิเนียมฟอยล์ ออกจากกันแล้วจึงนำไปรีไซเคิล หรือทำเป็นบอร์ดไม้อัดเทียมเป็นต้น

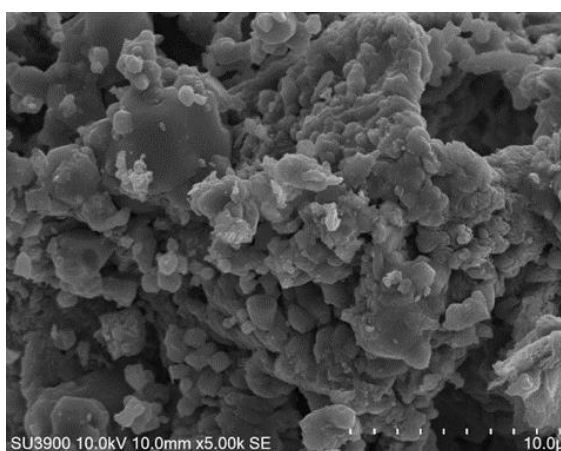


1. โพลีเอทิลีนป้องกันความชื้นจากภายนอก
2. กระดาษเพื่อความแข็งแรงของกล่อง
3. โพลีเอทิลีนช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท
4. อลูมิเนียมฟลอยด์ป้องกันภาวะภายนอก
5. โพลีเอทิลีนช่วยผนึกกล่องให้แน่นสนิท
6. โพลีเอทิลีนช่วยยึดติดชั้นของกล่องและป้องกันการรั่วซึมของของเหลว

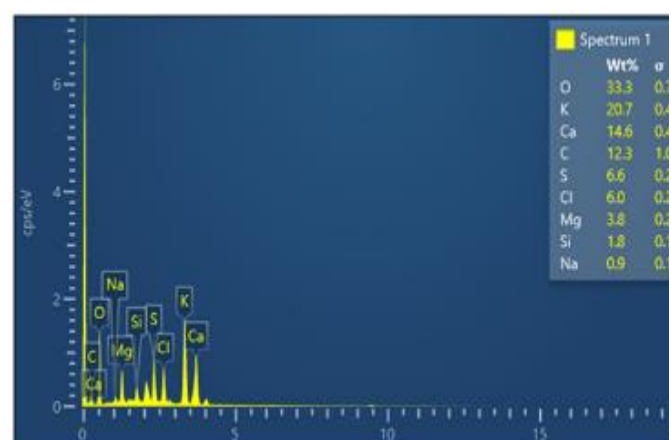
รูปที่ 2 องค์ประกอบของชั้นวัสดุที่ใช้ผลิตกล่องพาสเจอร์ไรส์

ถ้าหากค่า เป็นของเสียที่ได้จากกรรมวิธีการระเหยโดยเมื่อน้ำจากน้ำออกจากโรงกลั่นแล้วจะถูกทำให้เข้มข้น โดยส่งไปยัง Slop Evaporation Plant เพื่อระเหยน้ำออกและจึงส่งเข้าเตาเผาเพื่อผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป และนอกจากนี้ น้ำที่ระเหยได้จาก Slop Evaporation Plant สามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาแล้วสิ่งที่ได้หลังจากการเผาคือเถ้าลอยและเถ้าหนักที่ก้นเตาเผา หรือ “เถ้าลอยจากเตาเผาน้ำกากส่า” ซึ่งสามารถนำเถ้าทั้งสองประเภทไปขายได้เพื่อนำไปทำเป็นปุ๋ยในภาคการเกษตร

ทั้งนี้คุณสมบัติเถ้าลอยจากน้ำกากส่ามีความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยเท่ากับ 2.3 และ การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกลิ้ง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยาย 6 - 1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ถึงไมโครเมตรสามารถเห็นอนุภาคของเถ้าลอยน้ำกากส่า ดังแสดงในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 [19] ซึ่งจากรูปจะพบว่าเถ้าลอยมีความพรุนค่อนข้างสูง น้ำหนักเบาและน่าจะเหมาะสมกับซีเมนต์ได้ดี ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมี มีองค์ประกอบของออกซิเจน โพแทสเซียมและแคลเซียม ในอัตราร้อยละ 33.3 20.7 และ 14.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3 เถ้าลอยจากน้ำกากส่ากำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากน้ำกากส่า

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้ประโยชน์จากขยะกล่องเครื่องดื่ม และกระบวนการรีไซเคิลยังได้รับผลตอบแทนโดยรวมยังมีจำนวนน้อย และเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติของเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มเทียบกับเส้นใยจากไม้ธรรมชาติ น่าจะมีคุณสมบัติที่สามารถทดแทนกันได้ในการแปรรูปเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์ชนิดผสมเส้นใย [1] ประกอบกับการใช้ประโยชน์จากกากสำเพื่อใช้เป็นส่วนผสมสำหรับวัสดุประกอบอาคาร รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจะมีความเป็นไปได้ ในการนำขยะจากกล่องเครื่องดื่มมาพัฒนารูปแบบและแปรรูปเป็นเส้นใยผสมกับเถ้าจากสำ และใช้ลักษณะเส้นใยแบบ 2 และ 3 เกลียว เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงของเส้นใย อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ 0.6 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ทั่วไปในการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ตและอัตราส่วนผสมเส้นใยต่อซีเมนต์ 30:70 โดยน้ำหนัก โดยอัตราส่วนของซีเมนต์จะถูกแทนที่ด้วยเถ้าลอยที่ร้อยละ 10 15 และ 20 ขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ตที่ 28 วัน โดยทำการศึกษาคุณสมบัติหลักของคุณสมบัติทางกล กายภาพ ความต้านทานต่อการเผาไหม้ แรงดึงตึงฉาก และการดูดซับเสียง ตามมอก. 878-2537 [20] และ DIN 1101: 1989 [21] เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของปริมาณร้อยละของเถ้าลอยน้ำจากสำในการผสมขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ต ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล เจริญคุณภาพ และการดูดซับเสียง
- 2.2 เพื่อให้ได้สัดส่วนปริมาณร้อยละของเถ้าจากสำทดแทนซีเมนต์ที่เหมาะสม
- 2.3 เพื่อได้แนวทางการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ตผสมเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มและเถ้าจากสำทดแทนซีเมนต์

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การจัดเตรียมวัสดุและการเตรียมตัวอย่างแผ่นซีเมนต์บอร์ต

3.1 การจัดเตรียมวัสดุ

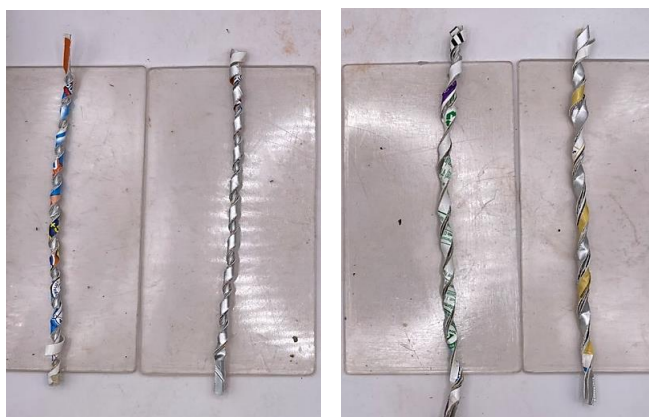
ขยะจากกล่องเครื่องดื่มที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กล่องเครื่องดื่มชนิด ยู เอช ที (Aseptic Carton UHT) นำไปย่อยลดขนาดเพื่อให้มี ขนาดที่ใกล้เคียงกับเส้นใยจากธรรมชาติที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ตมีขนาดความกว้าง 4 มิลลิเมตร มีความยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร แล้วนำมาพันเกลียวกันให้แน่นด้วยเครื่องช่วยพันเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้วัสดุเชื่อมประสานใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดา ตามมาตรฐาน ม.อ.ก. 15 (Ordinary Portland Cement)



รูปที่ 5 การเตรียมตัวอย่างเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่ม

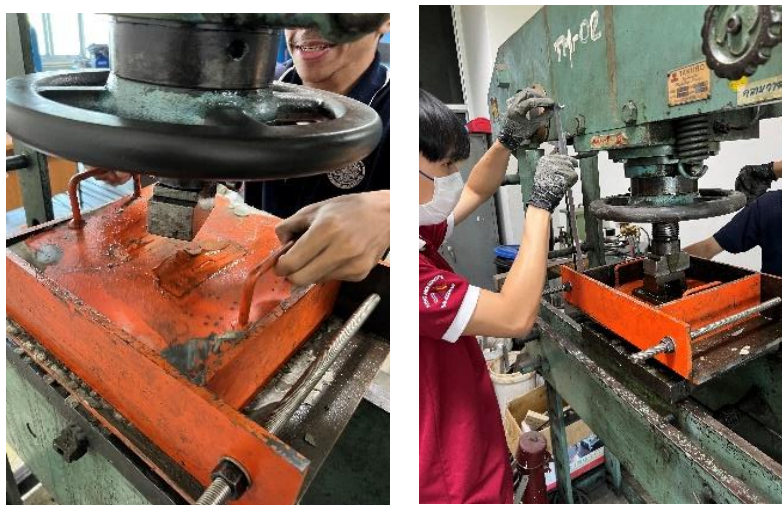
3.2 อัตราส่วนผสมและการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ด

งานวิจัยนี้จะศึกษาประสิทธิภาพจากเส้นใยชะกอล่องเครื่องดื่มน้ำแบบพันเกลียว ซึ่งใช้ชะกอล่องเครื่องดื่มน้ำแบบพันเกลียวแบบ 2 และ 3 เกลียว ในการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดสำหรับการใช้งานภายในอาคาร โดยทำการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนระหว่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และปริมาณเส้นใยสำหรับการผสมขึ้น 70:30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยเลือกบนพื้นฐานของอัตราส่วนโดยปกติของการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดโดยทั่วไปซึ่งมีช่วงระหว่าง 2.0:1 ถึง 3.0:1 โดยน้ำหนัก [7, 22] สำหรับงานวิจัยนี้ควบคุมอัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์คงที่เท่ากับ 0.60 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมทั่วไปในการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดอ้างอิงตาม[1,2,3,24,25] และเส้นใยจะถูกปรับให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งก่อนการผสมและขึ้นรูป



รูปที่ 6 ลักษณะเส้นใยแบบ 2 (ซ้าย) และ 3 เกลียว (ขวา)

การขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดใช้แบบเหล็กขนาด 300 มิลลิเมตร (กว้าง) x 300 มิลลิเมตร (ยาว) x 20 มิลลิเมตร (หนา) อ้างอิงขนาดแผ่นซีเมนต์บอร์ดตาม[1,24,25] ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบได้ครบทุกการทดสอบตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ และขึ้นรูปโดยเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน ขึ้นรูปให้ได้ความหนาตามที่ออกแบบ ตั้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 7 การติดตั้งชุดเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน



รูปที่ 7 การติดตั้งชุดเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน

ตัวอย่างที่อัดขึ้นรูปในแบบหล่อจะค้างแรงอัดและทำการถอดแบบที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงก่อนจะบ่มที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศา เป็นระยะเวลา 28 วัน โดยใช้แผ่นพลาสติกบางพันรอบตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 8 และนำแผ่นตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติทาง กล ทางกายภาพ การต้านทานการเผาไหม้ และการดูดซับเสียง



รูปที่ 8 การบ่มตัวอย่างแผ่นที่จะดำเนินการทดสอบ

3.3 การดำเนินการทดสอบแผ่นตัวอย่าง

3.3.1 การทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture : MOR)

การทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกหักของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ดำเนินการทดสอบตาม มอก. 878-2532 [20] และเปรียบเทียบผล ตาม DIN 1101:1989 โดยจะทำการเตรียมตัวอย่างขนาด 100 มม. X 300 มม. X 20 มม. และ ทำการติดตั้งบนชุดเครื่องมือทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 9 ทั้งนี้คุณสมบัติทางกลที่ได้จะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง โดยการทดสอบหาค่า มอดูลัสแตกหักคำนวณตามสมการที่ 1



รูปที่ 9 การติดตั้งแผ่นตัวอย่างสำหรับทดสอบมอดูลัสแตกหัก (MOR) แผ่นซีเมนต์บอร์ด

$$f_m = \frac{3F_{\max}l_1}{2bt^2} \quad (1)$$

โดยที่ f_m หมายถึง ความต้านแรงดัด (เมกะปาสกาล), F_{max} หมายถึง แรงกดสูงสุดที่แผ่นทดสอบรับได้ (นิวตัน), l_1 คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร), b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของแผ่นทดสอบ (มิลลิเมตร) และ t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางแผ่นทดสอบ (มิลลิเมตร)

3.3.2 การทดสอบหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE)

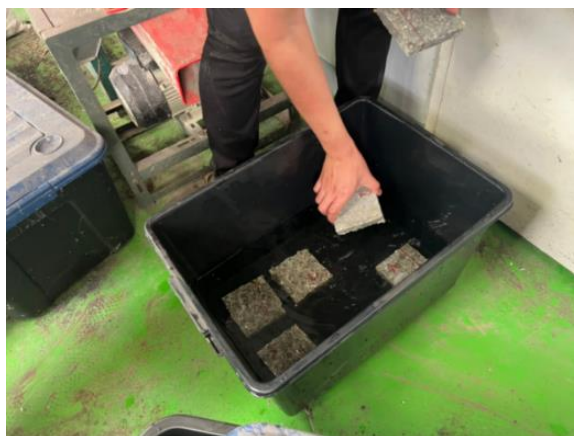
การทดสอบหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ดำเนินการทดสอบตาม มอก. 878-2532 โดยนำผลที่ได้จากการทดสอบมอดุลัสความแตกหักมาใช้ในการหาค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นตามสมการที่ 2

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \quad (2)$$

โดยที่ E_m หมายถึง มอดุลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะปาสกาล l_1 คือระยะของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร $F_2 - F_1$ คือแรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการแอ่นตัวเป็นเส้นตรง b คือความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร $a_2 - a_1$ คือระยะแอ่นตัว ที่เพิ่มขึ้นในช่วงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการแอ่นตัวเป็นเส้นตรง

3.3.3 การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ดำเนินการทดสอบด้วยระเบียบวิธีตามมาตรฐาน ASTM C127 โดยในการทดสอบการดูดซึมน้ำได้ตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นขนาด 100 มิลลิเมตร (กว้าง) x 100 มิลลิเมตร (ยาว) ดังแสดงในรูปที่ 10 แฉ่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้ว คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ตามสมการ 3 โดยค่าการดูดซึมน้ำได้จากการเฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำจากชิ้นตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง



รูปที่ 10 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Wa)

$$\%Wt = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ %Wt คือ ร้อยละการดูดซึมน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์, W1 คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ เป็นกรัมและ W2 คือ น้ำหนักแผ่น ทดสอบภายหลังการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง เป็นกรัม

3.3.4. การทดสอบหาค่าการพองตัว (Thickness Swelling :TS)

การทดสอบหาค่าการพองตัว หรือ การบวมตัว (Thickness Swelling :TS) ดำเนินการทดสอบการพองตัวทำการทดสอบตามการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ และวัดการพองตัวบริเวณขอบทั้ง 4 ตำแหน่งที่เกิดขึ้นภายหลังการแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 11 แล้วคำนวณหาค่าการพองตัว ตามสมการ 4



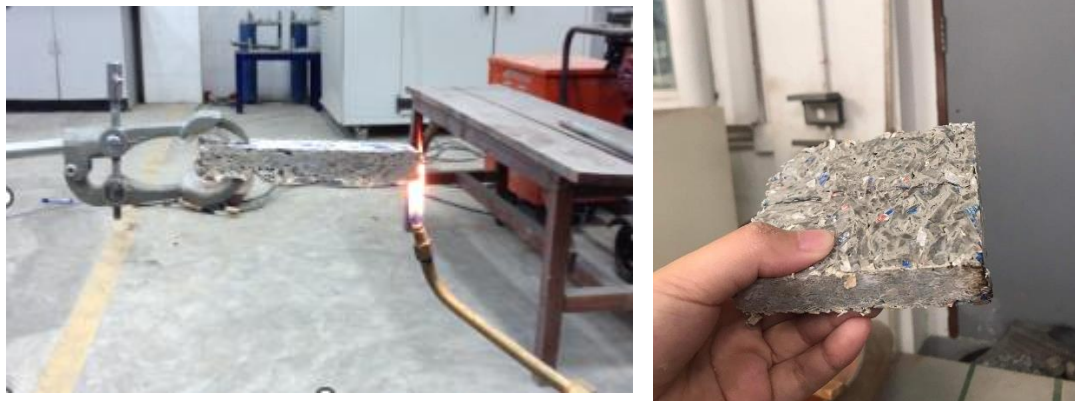
รูปที่ 11 การวัดแผ่นหาค่าการพองตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Ts)

$$\%Ts = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ %Ts คือ ร้อยละการพองตัว เป็นเปอร์เซ็นต์, T1 คือ ความหนาที่จุดบนแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ, มิลลิเมตร และ T2 คือ ความหนาที่จุดบนแผ่นทดสอบภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, มิลลิเมตร

3.3.5. การทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ (Rate of Burning)

การทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ (Rate of Burning) ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D635-98 โดยในการทดสอบจะเตรียมแผ่นตัวอย่างขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร ทำการจ่อเปลวไฟกับแผ่นทดสอบเป็นเวลา 30 วินาทีดังแสดงในรูปที่ 12 แล้วบันทึกผล



รูปที่ 12 การทดสอบหาความต้านทานความร้อน (ROB)

3.3.6 การทดสอบการดูดซับเสียง

นำแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด 30 x 30 x 2 ซม. มาประกอบเป็นกล่องขนาด 30 x 30 ซม. นำลำโพงไปไว้ในกล่อง แล้วเปิดเสียงลำโพงให้ดังสุด ตั้งเครื่องวัดระยะห่างจาก 50 ซม. จากแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่กั้น แล้วบันทึกเสียง จากนั้นนำกล่องที่ครอบไว้ ออกแล้วเปิดเสียงที่ความดังเท่าเดิมและวัดเสียงเปรียบเทียบอีกครั้ง โดยดำเนินการทดสอบตามวิธีของ [23, 24] ดังแสดงในรูปที่

13



รูปที่ 13 แสดงการทดสอบการดูดซับเสียง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Density)

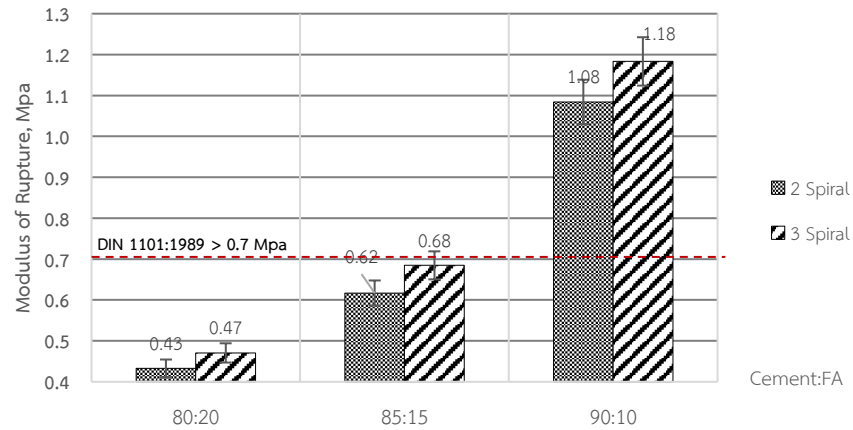
ภายหลังการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดและบ่มในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 28 วัน ดำเนินการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

อัตราส่วน ซีเมนต์:เส้นใย	จำนวนเกลียว	อัตราส่วน(แทนที่ ด้วยกากล่า)	น้ำหนัก (kg)	ความหนาแน่น (Density) Kg/m ³	$(x_i - \bar{x})^2$
70:30	2	ร้อยละ 10	2.07	1,153	3,158.12
		ร้อยละ 15	2.06	1,147	3,844.69
		ร้อยละ 20	2.15	1,197	144.63
	3	ร้อยละ 10	2.21	1,230	456.20
		ร้อยละ 15	2.25	1,248	1,550.53
		ร้อยละ 20	2.30	1,278	4,829.31
			N = 6	$\bar{x} = 1208.75$	SD = 48.27

จากตารางที่ 1 พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มแบบพันเกลียวมีค่าอยู่ระหว่าง 1,147 ถึง 1,278 กก./ม.³ ค่าเฉลี่ยประมาณ 1,208.75 กก./ม.³ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) ประมาณ 48 ทั้งนี้อัตราส่วนร้อยละของการแทนที่ด้วยกากสำมีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามโดยเฉลี่ยในตารางสูงกว่าค่าที่ออกแบบส่วนผสมไว้ประมาณ 1.2 เท่า

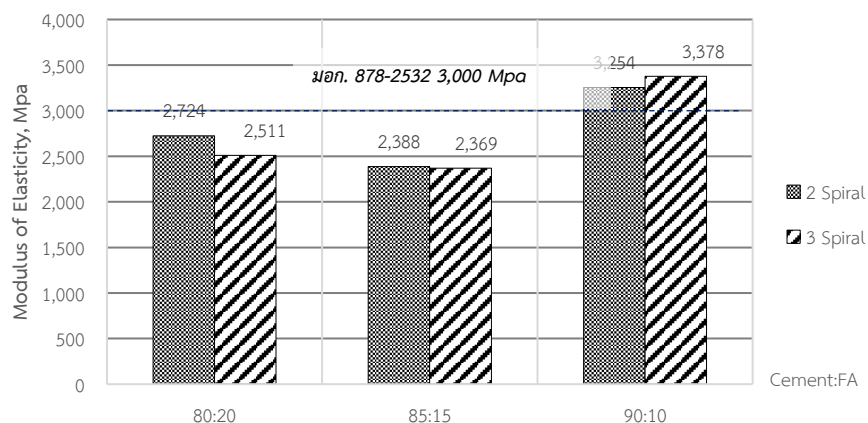
4.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกหักของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Modulus of Rupture: MOR)



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละเส้นใยกับค่ามอดุลัสแตกหักของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยชะกล่องเครื่องดื่มร่วมกับเถ้ากากสาคัดแทนซีเมนต์

จากรูปที่ 14 พบว่า ที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยจากเตาเผา น้ำกากส่า ทั้ง 2 เกลียวและ 3 เกลียวทุกอัตราส่วนผสมค่ามอดุลัสแตกหักแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเส้นใยชะกล่องเครื่องดื่มแบบ 3 เกลียวมีผลของค่ามอดุลัสแตกหักสูงกว่าแบบ 2 เกลียวประมาณ 1.1 เท่า ทั้งนี้หากเปรียบเทียบตามมาตรฐาน DIN 1101:1989 พบว่าที่อัตราส่วนผสมการแทนที่ซีเมนต์อัตราร้อยละ 10 ทั้ง 2 และ 3 เกลียวสูงกว่ามาตรฐานที่ประมาณร้อยละ 60

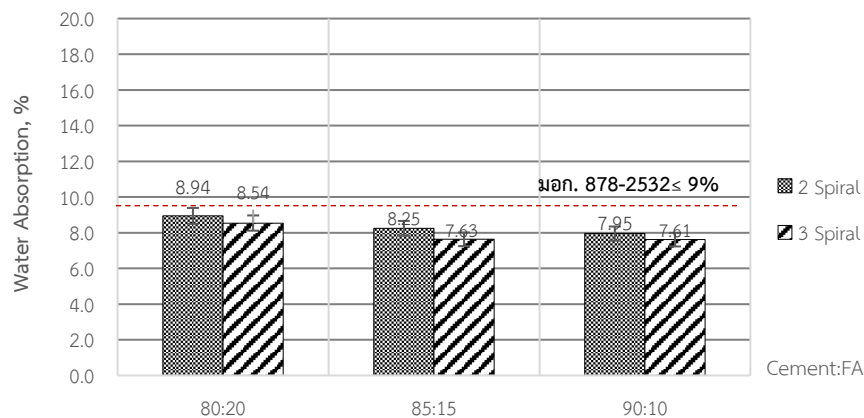
4.3 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Modulus of Elasticity: MOE)



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละเส้นใยกับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยชะกล่องเครื่องดื่มร่วมกับเถ้ากากสาคัดแทนซีเมนต์

จากรูปที่ 15 พบว่า ที่ซีเมนต์ต่อเถ้าลอยจากเตาเผาไฟฟ้ากากส่า ทั้ง 2 เกลียวและ 3 เกลียวทุกอัตราส่วนผสม มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก. 878-2532 แผ่นซีเมนต์ความหนาแน่นสูง [20] พบว่าที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์อัตราร้อยละ 10 แบบ 3 เกลียวมีผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงกว่าทุกแผ่นตัวอย่างในอัตราประมาณร้อยละ 1.04

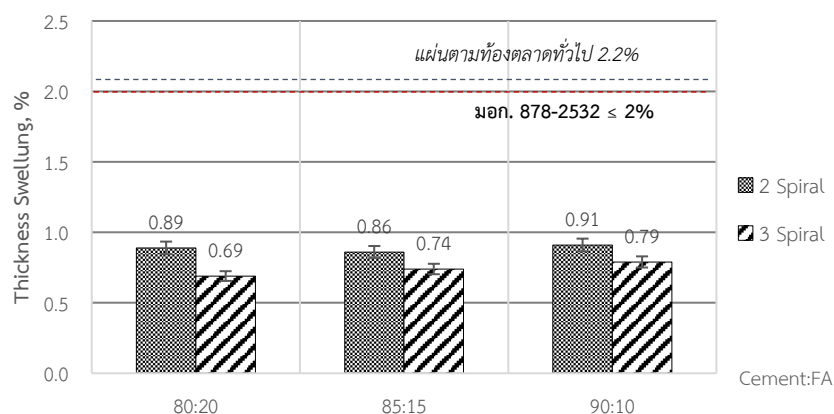
4.4 ผลการทดสอบทดสอบหาการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์คผสมเส้นใยทะเลกึ่งเครื่องดีมรุ่มกับเถ้ากากส่าทดแทนซีเมนต์

จากรูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์คพบว่า มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำอยู่ในระหว่างร้อยละ 6.2 - 16.1 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การแทนที่ด้วยกากส่าเพื่อทดแทนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นให้ผลของการดูดซึมน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้หากพิจารณาที่อัตราส่วนการแทนที่ด้วยกากส่าที่ร้อยละ 20 ให้ผลการดูดซึมน้ำสูงกว่าร้อยละ 15 และ 10 โดยเฉลี่ยประมาณ 2.2 เท่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตาม มอก.878-2532 พบว่าที่อัตราร้อยละผสมกากส่าไม่เกินร้อยละ 15 ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

4.5 ผลการทดสอบการพองตัว (Thickness Swelling: TS)



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการพองตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์คผสมเส้นใยทะเลกึ่งเครื่องดีมรุ่มกับเถ้ากากส่าทดแทนซีเมนต์

จากรูปที่ 17 พบว่า ที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยทุกส่วนผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.65 – 0.85 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของการแทนที่ด้วยกากส่าเพื่อทดแทนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นต่อค่าการพองตัวมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำ โดยผลของค่าร้อยละการพองตัวทุกอัตราส่วนผสมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับผลของ [1, 25] และอย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาตาม มอก.878-2532 พบว่าอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยทุกส่วนผสมอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

4.6 ผลการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ (Rate of Burning)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

อัตราส่วน ซีเมนต์:เส้นใย	จำนวนเกลียว	อัตราส่วน(แทนที่ด้วยกาก ส่า)	ตัวอย่างที่	การต้านทานความร้อน
70:30	2	ร้อยละ 10	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 15	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 20	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
	3	ร้อยละ 10	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 15	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 20	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดพบว่า อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยทุกส่วนผสมภายหลังการทดสอบด้วยการจ่อเปลวไฟเป็นเวลา 30 วินาที ไม่ติดไฟหรือสามารถต้านทานการเผาไหม้ได้ทุกส่วนอัตราส่วนผสมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D 635 – 03 [26]

4.7 ผลการทดสอบการดูดซับเสียง (Sound Absorption)

จากผลการทดสอบการดูดซับเสียง (Sound Absorption) ตามวิธีของ[23, 24] ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

อัตราส่วน ซีเมนต์:เส้นใย	จำนวนเกลียว	อัตราส่วน(แทนที่ด้วย กากส่า)	ความดังต้นเสียง (db)	ความดังเฉลี่ย หลังแผ่นกัน (db)	ร้อยละการดูดซับ เสียง (%)
70:30	2 เกลียว	ร้อยละ 10	96.6	80.1	20.6
		ร้อยละ 15	94.3	79.2	19.1
		ร้อยละ 20	95.2	80.2	18.7
	3 เกลียว	ร้อยละ 10	85.9	73.9	16.2
		ร้อยละ 15	87.7	73.6	19.2
		ร้อยละ 20	85.5	75.5	13.2

จากตารางที่ 3 พบว่าการดูดซับเสียงมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 13.2 ถึง 20.6 และมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 17.8 เดซิเบล(db) ทั้งนี้ค่าการดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์บอร์ดทุกอัตราส่วนผสมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ดีที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 แบบ 2 เกลียวมีค่าการดูดซับเสียงได้สูงสุด

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 ผลศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของปริมาณร้อยละของเถ้าลอยน้ำกากส่าในการผสมขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ด ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล เหนียว ความร้อน และการดูดซับเสียงทุกตัวอย่างการทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่า ความหนาแน่น (Density)ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากขยะกลองเครื่องดื่มน้ำความหนาแน่นสูงกว่าที่ออกแบบเฉลี่ย 1.2 เท่า ซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) เท่ากับ 48 และการทดสอบคุณสมบัติทางกลประกอบด้วยโมดูลัสแตกหัก (MOR) และโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมการแทนที่ซีเมนต์อัตราร้อยละ 10 มีค่าโมดูลัสแตกหักและ โมดูลัสยืดหยุ่นดีที่สุดเท่ากับ 1.18 และ 3.25×10^3 เมกะปาสกาล (MPa) ตามลำดับผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน DIN 1101:1989 และในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย การทดสอบการดูดซึมน้ำ (WA) และการพองตัว (TS) พบว่า แผ่นซีเมนต์บอร์ดที่พัฒนาขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวต่ำมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกส่วนผสมและไม่เกินข้อกำหนดตามเกณฑ์มอก.878-2532 อย่างไรก็ดีอัตราส่วนการแทนที่ด้วยกากส่าทดแทนซีเมนต์ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและการพองตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในส่วนการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้พบว่าไม่ติดไฟทุกส่วนผสม และการดูดซับเสียงมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 17.8 เดซิเบล

5.2 จากผลการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกลองเครื่องดื่มน้ำและเถ้ากากส่าทดแทนซีเมนต์พบว่า ที่ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10 ภายใต้รูปแบบเส้นใยพันกัน 3 เกลียว ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของ DIN 1101:1989 มอก.878-2532 และ ASTM D 635 – 03 มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้จริงภายในอาคารได้ต่อไป

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ รวมถึงนักศึกษาที่ดำเนินการภาคินพนธ์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการศึกษาที่ช่วยกันดำเนินงานจนประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Piyarat Paoleng, et al. The Study Of Mechanical And Physical Properties Of Aseptic Carton Waste Cement Bonded Composites Board. in *The 1st National Conference on Sustainable Research Development*. Bangkok, Thailand. 2011.
- [2] Suhasman, Perbandigan Karakteristik Papan Semen Dari Batang Dan Cabang Kayu Asal Hutan Rakyat. *Journal Perennail*, 2012, 8(1), pp. 30-35.
- [3] Suhasman, S., et al., Binderless particleboard resistance to termite attack. *Forest Products Journal*, 2012, 62 (5), pp. 412-415.
- [4] TM, M., *Modern Particleboard & Dry-Process Fibre Manufacturing*. San Francisco, California: Miller Freeman Publication, 1977.
- [5] Sukartana P, Rushelia R, and S. IM, Resistance of Wood-And Bamboo Cement Board to Subterranean Termite Coptotermes Gestroi Wasmann (Isoptera: Rhinotermitidae). *Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region. ACIAR Proceedings*, 2000 (107), pp. 62-65.
- [6] Morteza Khorami and Eshmaiel Ganjian. Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: Wheat and eucalyptus. *Construction and Building Materials*, 2011, 25, pp. 3661-3667.
- [7] Ninis Hadi, h. and w. Henry, PURUN TIKUS (ELEOCHARIS DULCIS) FIBER COMPOSITION AS CEMENT BOARD COMPOSITE MATERIAL. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 2023, 11 (3), pp. 137-142.
- [8] Siriporn Wassanaprasert, Development of plant fiber cement wall for non-air-conditioned buildings, in *Architectural. Silpakorn*, 2008.
- [9] Panutsadee Yenjai, Songklod Jarusombuti, and Teera Veenin, Particleboard Manufacturing from Waste of Cajuput (Melaleuca cajuputiPowell). *VRU Research and Development Journal Humanities and Social Science*, 2016, 11(2), pp. 131-140.
- [10] Kerprasit Pakawat, et al., Development of Particleboard from Northern Black Wattle Tree Bark for Usingas Decorative Materials. *Journal of Engineering, RMUTT*, 2021, 19 (1), pp. 125-135.
- [11] Phonphimon Amornchote, et al., Marketing of Wood Cement Particleboard in Thailand. *Thai Journal of Forestry*, 2010, 29 (3), pp.45-53.
- [12] SCB. Fiber cement exports: how to crack the market? 2017, Available from: <https://www.scbeic.com/th/detail/product/3302>.
- [13] Juthamas Lugsanagid and Nunthachai Chulertsin, Effect of Natural Fibers from Waste Materials on Properties of Cement Fibers Ceiling Boards. *Engineering Journal of Research and Development*, 2019, 30 (4).
- [14] Khumpon, R., *The Development of Sustainable Waste Management System for Thailand (Phase) 1*. 2012.
- [15] Tanakorn Hayim, et al., Environmental Pollution Management of the Local Government Organization. *Humanities and social sciences*, 2022, 16, (3).
- [16] Jaruporn kwaeklam, Utilization of beverage carton waste as reinforcing fibers in concrete., in *Civil Engineering*. Naresuan University, 2010.
- [17] Nadir Ayrimlisa, Z., Salim Hiziroglu., Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay. *Materials and Design*, 2008, 29, PP.1897-1903.
- [18] Georgiopoulou, I., et al., Recycling of post-consumer multilayer Tetra Pak® packaging with the Selective Dissolution-Precipitation process. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 165, pp. 105268.

-
- [19] Ratchada Lakool and W. Phoochinda, Guidelines for Utilization of Distillery Slop from Liquor Production for Factory. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 2020, 14 (1).
 - [20] Thai Industrial Standard: 878-2532, Cement Bonded Particleboards: High Density.
 - [21] Deutsches Institut für Normung: 1101: 1989, DIN 1101: 1989 – Wood wool slabs and sandwich composite panels for use as insulating materials – Requirements and testing.
 - [22] Joseph AdeolaFuwape, James Sunday Fabiyi and Edward Olusola Osuntuyi, Technical assessment of three-layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. *Waste Management*, 2007, 27, pp.1611-1616.
 - [23] Pusit Lertwattanakul and Kanokwan Masuwan, Investigation of Sound Insulation Properties of Fiber Cement Board Containing Natural Fibers. *KMUTT Research and Development Journal*, 2013, 38 (1), pp. 71-86.
 - [24] Pramote Weranugul and Kittiphong Suveero, Development of Cement Boards with Ground Coffee for Environment Conservation. Faculty of Industrial Education, 2013.
 - [25] Rattapoom Parichartprecha, Piyaat Paoleng, and Thanaphon Penrat. Mechanical Properties of Cement-Bonded Composite Board Produced from Aseptic Carton Waste. in International Conference on sustainable construction Materials & Technologies: SCMT3. 2013. Kyoto.
 - [26] ASTM D 635 – 03, 1998. Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position1.