

## แนวทางการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มร่วมกับเส้นใยจากผักตบชวา

### The Development of Cement-Bonded Composite Board from Aseptic Carton Waste with Hyacinth Fiber

ปิยรัตน์ เปาเล้ง<sup>1\*</sup>, อิทธิพล มีผล<sup>2</sup>, ไกรโรจน์ มหรรณพคุณ<sup>3</sup>, สยาม แกมขุนทด<sup>4</sup> และ ศักดา กตเวทวารักษ์<sup>5</sup>

1, 2, 3, 4, 5 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

\*Corresponding author; E-mail address: piyarat.p@fite.kmutnb.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มร่วมกับเส้นใยจากผักตบชวา เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดและประยุกต์ใช้วัสดุที่เหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ โดยทำการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดความหนาแน่น (Density) 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนระหว่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และปริมาณเส้นใย (C:B) สำหรับการผสม 70:30 โดยน้ำหนัก จากแบบสำหรับทำแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด กว้าง 30 ซม. ยาว 30 ซม. หนา 2 ซม. และ ใช้อัตราส่วนเส้นใยจากผักตบชวาในอัตราส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 ของเส้นใยกล่องเครื่องดื่ม โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) คงที่ เท่ากับ 0.6 และดำเนินการทดสอบตามข้อกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรม แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง มอก. 878-2532 และ DIN 1101:1989 ประกอบด้วย มอดูลัสแตกหัก (MOR) มอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) การดูดซึมน้ำ (WA) การพองตัว (TS) ความต้านทานต่อการเผาไหม้ของแผ่นซีเมนต์บอร์ด รวมถึงการดูดซับเสียง จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าปริมาณเส้นใยจากผักตบชวาที่มีอัตราส่วนสูงขึ้นในแผ่นซีเมนต์บอร์ดมีคุณสมบัติทางกลและกายภาพแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้อัตราส่วนเส้นใยจากผักตบชวาในอัตราส่วนร้อยละ 50 มีผลใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน เหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาต่อเพื่อสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับงานภายในอาคารได้ต่อไป

คำสำคัญ: แผ่นซีเมนต์บอร์ด, เส้นใยจากผักตบชวา, มอดูลัสยืดหยุ่น

#### Abstract

This article presents the development of cement-bonded composite board from aseptic carton waste with hyacinth fiber. The mechanical, and physical properties of aseptic carton waste cement boards with hyacinth fiber (ACWCHB) developed were investigated. The ACWCHB were produced at a density of 1,000 kg/m<sup>3</sup>. The cement-to-fibers ratios by weight are 70:30. The hyacinth fiber ratio of 0%, 50% and 100% of the aseptic carton waste fiber were prepared at the same water-to-cement ratio of

0.6. The size of ACWCHB is 30 cm in width x 30 cm in length and 2 cm in height. The mechanical and physical properties were evaluated, modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), water absorption (WA) and thickness swelling (TS). Based on the result obtained, it can be summarized that the highest efficiency cement-to-fiber ratio was found to be 70:30 with 50% hyacinth fiber.

Keywords: hyacinth fiber, Cement-Bonded Composite Board, modulus of rupture, modulus of elasticity

#### 1. คำนำ (Introduction)

แผ่นซีเมนต์บอร์ด (The cement board composite) หรือ แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (Fiber cement board) คือแผ่นที่มีส่วนประกอบจากการใช้ชิ้นส่วนขนาดเล็กหรือเศษชิ้นส่วนจากวัสดุธรรมชาติ (Particles) หรือ เส้นใยธรรมชาติผสมรวมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยสัดส่วนระหว่างเศษชิ้นส่วนจากวัสดุธรรมชาติและซีเมนต์ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดประมาณ 1.00:2.75 [1] ซึ่งโดยทั่วไปใช้กับงานฝ้าเพดาน ผนังภายในและภายนอก รวมไปถึงพื้น [2] แผ่นซีเมนต์บอร์ด (Composite cement board) จะมีคุณลักษณะที่ดีกว่าแผ่นซีเมนต์อัด (ปาร์ติเคิลบอร์ดหรือ พาร์ติเคิลบอร์ด: Particle board) ซึ่งข้อดีของแผ่นซีเมนต์บอร์ดมีหลากหลาย อย่างเช่น การป้องกันความชื้น การป้องกันไฟ เชื้อราดำ รวมถึงยังสามารถใช้งานได้ตามปกติโดยไม่ต้องระวังเรื่องปลวก (Termite attacks) รวมถึงป้องกันการทำลายจากแมลงธรรมชาติอื่น ๆ เป็นต้น [3-5]

ในประเทศไทยจะเริ่มใช้งานแผ่นซีเมนต์บอร์ดประมาณปี พ.ศ.2499 โดยการผลิตเป็นแผ่นฝอยไม้อัดซีเมนต์ และในปี พ.ศ.2543 เริ่มผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์โดยใช้เยื่อกระดาษประมาณ 10% ผสมเส้นใยหินเล็กน้อยกับปูนซีเมนต์ร้อยละ 90 โดยทั่วไปแผ่นไม้อัดซีเมนต์มี 3 ประเภท คือ 1) เยื่อไม้อัดซีเมนต์ (Wood Wool Cement Board: WWCB) ใช้ในงานของฝ้าเพดาน ผนังห้องประชุม 2) แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ (Particle Board) ใช้งานได้หลากหลายสามารถตัด เเจาะ เขาระองได้เช่นเดียวกับไม้จริง และ 3) แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ (Fiber Board) ใช้ในงานผนังและเฟอร์นิเจอร์จำพวกตู้

หรือชั้นวางของ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆในกระบวนการผลิตสูงขึ้น จึงสามารถพัฒนาวัสดุแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยให้ดีขึ้น และออกสู่ตลาดได้รับความนิยมน้อย่างแพร่หลาย เช่น SHERA flexy board, Etherphan และ Smartboard [6]

ในประเทศไทยมีผู้ผลิตแผ่นซีเมนต์ใยแก้วซึ่งดำเนินการอยู่จำนวนมาก โดยใช้วัตถุดิบหลักในการผลิต คือ ไม้ยูคาลิปตัสและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2548-2552 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 37.88 ต่อปี ปัญหาการผลิตที่พบ ได้แก่ การเก็บไม้ท่อนเพื่อใช้ในการผลิต ขาดแคลนไม้ท่อน เครื่องจักรเก่า และขาดแคลนแรงงาน [7] ทั้งนี้ ข้อมูลเศรษฐกิจระบุว่าในปี พ.ศ.2560 ผลิตภัณฑ์ประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์มีมูลค่าตลาดกว่า 1.45 หมื่นล้านบาท หรือ 20% ของมูลค่าตลาดปูนซีเมนต์ [8] ทั้งนี้ในปัจจุบันการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดจะใช้เส้นใยไม่ยาวพาราซึ่งจะพบปัญหาการบวมตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดเนื่องจากความชื้น และความเปราะของเส้นใยจากธรรมชาติ ทำให้อายุการใช้งานของแผ่นซีเมนต์บอร์ดสั้น อีกทั้งกระบวนการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดยังใช้พลังงานและวิธีการขึ้นรูปที่ซับซ้อน ยิ่งไปกว่านั้นการขาดแคลนวัตถุดิบสำคัญคือ ใยแก้ว ทำให้ต้นทุนการผลิตมีค่าสูงชันมากในปัจจุบัน [9, 10] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยไม้ (Wood-wool cement board)

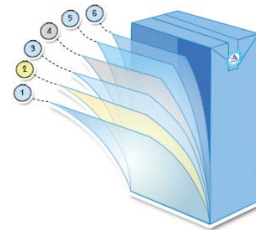
(ที่มา : <https://th.mq-acoustics.com/wooden-acoustic-panel/wood-wool-board/wood-fibre-cement-board.html>)

จากการขาดแคลนวัตถุดิบหลักสำคัญทำให้พยายามหาเส้นใยประเภทอื่นๆมาทดแทนโดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวัตถุดิบไม้ทางเลือก (Wood material) ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส และ ไม้โตเร็วอื่น ๆ และกลุ่มวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Non-wood material) คือ พืชที่ไม่ใช่ลักษณะที่เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ได้แก่ พืชเส้นใยทางเกษตรอื่น ๆ โดยพิจารณาความเหมาะสมทางด้านต่าง ๆ ประกอบ เช่น ราคา ปริมาณ แหล่งของวัสดุ และระยะเวลาในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามวัสดุประเภทไม้ยังคงมีแนวโน้มในการนำมาใช้ทดแทนได้มากกว่าวัสดุที่ไม่ใช่ไม้ ซึ่งปัจจุบันวัตถุดิบไม้ก็เริ่มหายากมากขึ้น โดยเฉพาะส่วนของเนื้อไม้ ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย

ดังนั้นหากมีการนำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและขยะรีไซเคิลที่มีองค์ประกอบของกระดาษซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วมาใช้งานร่วมกันเพื่อผลิตแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์

ซีเมนต์ใยแก้วช่วยลดปัญหาขยะได้อีกทางหนึ่ง และช่วยสร้างทางเลือกในการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีต้นทุนต่ำ [11]

ขยะจากกล่องเครื่องดื่มชนิด ยู เอช ที จัดเป็นขยะที่มีอัตราการรีไซเคิลวัสดุต่ำที่สุดในกลุ่มของวัสดุประเภทรีไซเคิล ประกอบด้วย อัตราการนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์เหล็กและอลูมิเนียมสูงเกินกว่าร้อยละ 99 ในขณะที่แก้วเท่ากับร้อยละ 75.06 กระดาษร้อยละ 75.22 พลาสติกร้อยละ 50.53 และกล่องเครื่องดื่มอยู่เพียงร้อยละ 50.0 [12] ซึ่งการนำกลับมารีไซเคิลก็มีทั้งการนำกล่องเครื่องดื่ม ยู เอช ที มาแปรรูปเป็นตะกร้า การนำกระดาษมาแปรรูปเป็นกล่องทิชชู เป็นต้น [13] อย่างไรก็ตามการนำกล่องเครื่องดื่มที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี มีความเหนียว และมีค่ากำลังรับแรงดึงของเส้นใยประมาณ 415 กก./ตร.ซม. [14] โดยมีองค์ประกอบด้วยชั้นวัสดุ 6 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยกระดาษร้อยละ 80, โพลีเอทิลีน ร้อยละ 15 และอลูมิเนียมฟอยล์ ร้อยละ 5 มีความแข็งแรงสามารถทนต่อแรงดัน [15] กล่องบรรจุเครื่องดื่ม น้ำผลไม้ หรือกล่องบรรจุนมที่ใช้แล้วเป็นขยะที่มีปริมาณมากและต้องกำจัดทิ้ง อีกทั้งยังย่อยสลายได้ยาก จากการสำรวจข้อมูลในปัจจุบันพบว่าจากข้อมูลเปิดเผยของบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม Tetra Pak เฉพาะในปี 2562 มีการผลิตและส่งออกทั่วโลกกว่า 160 ประเทศ เฉลี่ยสูงถึงประมาณ 190 พันล้านกล่อง แต่มีการนำกลับมารีไซเคิลได้เพียงประมาณร้อยละ 26 เท่านั้น [16] ทั้งนี้กระบวนการรีไซเคิลกล่องเครื่องดื่มยังต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการแยกกระดาษ พลาสติกและอลูมิเนียมฟอยล์ ออกจากกันแล้วจึงนำไปรีไซเคิล หรือทำเป็นบอร์ดไม้ อัดเทียม เป็นต้น



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

รูปที่ 2 องค์ประกอบของชั้นวัสดุที่ใช้ผลิตกล่องพาสเจอร์ไรส์

เส้นใยผักตบชวา (water hyacinth fiber) ซึ่งเป็นวัชพืช น้ำที่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว และสร้างปัญหาด้านน้ำเสียให้ แหล่งน้ำ โดยผักตบชวา 1 ตัน อาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ตัน ภายในระยะเวลา 1 เดือน [17] เส้นใยผักตบชวาเป็นเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ที่มีโมเลกุลสายยาว ซ้ำ ยึด เกาะด้วยพันธะ C-O-C ในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จับกับหมู่ ธาตุอื่นๆ เรียงตัวเป็นระเบียบ (crystalline) และระหว่างสาย โมเลกุลมีการยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นระยะๆ จึงมีความ เหนียว แข็งแรง และน้ำหนักเบา [18]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้ประโยชน์จากขยะกล่องเครื่องดื่มและกระบวนการรีไซเคิลยังได้รับผลตอบแทนโดยรวมยังมีจำนวนน้อย และเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติของเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มเทียบกับเส้นใยจากไม้ธรรมชาติ น่าจะมีคุณสมบัติที่สามารถทดแทนกันได้ในการแปรรูปเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์ชนิดผสมเส้นใย [9, 10, 19] และเมื่อนำมา

ร่วมกับเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการแปรรูปและถักให้มีความเหนียวผสมกับซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสมน่าจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลได้ดี ประกอบกับการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจะมีความเป็นไปได้ ในการนำขยะจากกล่องเครื่องดื่มมาพัฒนารูปแบบและแปรรูปเป็นเส้นใยผสมกับเส้นใยผักตบชวา โดยเลือกใช้ลักษณะเส้นใยแบบ 3 เกลียว อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คือที่ 0.6 และอัตราส่วนผสมเส้นใยต่อซีเมนต์ 30:70 โดยน้ำหนัก โดยที่อัตราส่วนของเส้นใยของกล่องเครื่องดื่มจะถูกแทนที่ด้วยเส้นใยจากผักตบชวาในอัตราร้อยละ 0 50 และ 100 และขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ 7 และ 28 วัน โดยจะทำการศึกษาคูสมบัติหลักของคุณสมบัติทางกล ภายภาพ ความต้านทานต่อการเผาไหม้ และ การดูดซับเสียง ตามมอก. 878-2532 และ DIN 1101: 1989 [20] เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

- 2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของปริมาณของเส้นใยผักตบชวาทดแทนเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มในการผสมขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางอุณหภูมิ และการดูดซับเสียง
- 2.2 เพื่อให้ได้สัดส่วนปริมาณร้อยละของเส้นใยผักตบชวาทดแทนเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มที่เหมาะสม
- 2.3 เพื่อได้แนวทางการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มร่วมกับเส้นใยจากผักตบชวาเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในอาคารต่อไป

## 3. การดำเนินงานวิจัย (Methodology)

### 3.1 การจัดเตรียมวัสดุและการเตรียมตัวอย่างแผ่นซีเมนต์บอร์ด

#### 3.1.1 การจัดเตรียมวัสดุ

ขยะจากกล่องเครื่องดื่มที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กล่องเครื่องดื่มชนิด ยู เอช ที (Aseptic Carton UHT) นำไปย่อยลดขนาดเพื่อให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกับเส้นใยจากธรรมชาติที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดมีความกว้าง 4 มิลลิเมตร มีความยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร แล้วนำมาพั่นเปลือกกันด้วยเครื่องอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้วัสดุเชื่อมประสานใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดา ตามมาตรฐาน มอก. 15 (Ordinary portland cement)



รูปที่ 3 การเตรียมตัวอย่างเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่ม [10]

ผักตบชวาที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ผักตบชวาในแหล่งน้ำธรรมชาติของจังหวัดนนทบุรี โดยนำไปตัดช่อดอกออก โดยมีความยาว

เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 65 ถึง 75 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 ถึง 2 ซม. จากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าดังแสดงในรูปที่ 4 นำไปทุบและบดเพื่อรีดน้ำภายในผักตบออกทั้งหมดแล้วตากแดดทิ้งไว้ 7 วัน และตัดให้ได้ความยาว 30 ซม. เพื่อใช้เสริมกำลังรับแรงตดของแผ่นซีเมนต์บอร์ด



รูปที่ 4 การเตรียมตัวอย่างผักตบชวา

หลังจากตากแดดทิ้งไว้ 7 วันนำมาฉีกเป็นเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.80 ถึง 1.2 มิลลิเมตรแล้วถักเป็นเส้นใยพันเกลียวให้เหนียวขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5 ก่อนนำไปผสมกับเส้นใยจากกล่องเครื่องดื่มและซีเมนต์สำหรับการขึ้นรูปเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ดในลำดับต่อไป

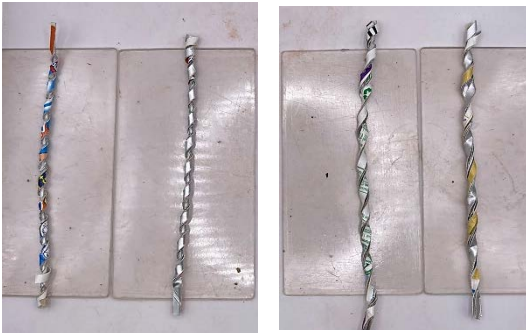


รูปที่ 5 การเตรียมตัวอย่างผักตบชวา

### 3.2 อัตราส่วนผสมและการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ด

งานวิจัยนี้จะศึกษาประสิทธิภาพจากเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มแบบพันเกลียว ซึ่งใช้ขยะจากกล่องเครื่องดื่มพันเกลียวแบบ 2 และ 3 เกลียว ดังแสดงในรูปที่ 6 ในการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดสำหรับการใช้งานภายในอาคาร โดยทำการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนระหว่างพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และปริมาณเส้นใยสำหรับการผสมขึ้น 70:30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยเลือกบนพื้นฐานของอัตราส่วนโดยปกติของการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดโดยทั่วไปซึ่งมีช่วงระหว่าง 2.0:1 ถึง 3.0:1 โดยน้ำหนัก [1, 21] สำหรับงานวิจัยนี้

ควบคุมอัตราส่วนผสม ของน้ำต่อ ปูนซีเมนต์คงที่เท่ากับ 0.60 และเส้นใย จะถูกปรับให้อยู่ในสภาพอ้อมตัวผิวแห่งก่อนการผสมและขึ้นรูป



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

การขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดใช้แบบเหล็กขนาด 300 มิลลิเมตร (กว้าง) x 300 มิลลิเมตร (ยาว) x 20 มิลลิเมตร (หนา) ขึ้นรูปโดยเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตันทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 7 การติดตั้งชุดเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน



รูปที่ 7 การติดตั้งชุดเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน

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



รูปที่ 8 การบ่มตัวอย่างแผ่นที่จะดำเนินการทดสอบ

### 3.3 การดำเนินการทดสอบแผ่นตัวอย่าง

#### 3.3.1 การทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture : MOR)

การทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกหักของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ดำเนินการทดสอบตาม มอก. 878-2532 [22] โดยจะทำการเตรียมตัวอย่างขนาด 100x300x20 มม. และทำการติดตั้งบนชุดเครื่องมือทดสอบดังแสดงในรูปที่ 9 ทั้งนี้คุณสมบัติทางกลที่ได้จะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้นตัวอย่าง โดยการทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกหักคำนวณตามสมการที่ 1



รูปที่ 9 การติดตั้งแผ่นตัวอย่างสำหรับทดสอบมอดูลัสแตกหัก 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 การทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE)

การทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกหักของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ดำเนินการทดสอบตาม มอก. 878-2532 โดยนำผลที่ได้จากการทดสอบมอดูลัสความแตกหักมาใช้สำหรับการหาค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นตามสมการที่ 2

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

โดยที่  $E_m$  หมายถึง มอดูลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะปาสคาล  $l_1$  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 แช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้ว คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ตามสมการ 3 โดยค่าการดูดซึมน้ำได้จากการเฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำจากชิ้นตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง



รูปที่ 10 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

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

โดยที่  $\%Wt$  คือ ร้อยละการดูดซึมน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์,  $W_1$  คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ เป็นกรัมและ  $W_2$  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

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

โดยที่  $\%Ts$  คือ ร้อยละการพองตัว เป็นเปอร์เซ็นต์,  $T_1$  คือ ความหนาที่จุดบนแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ, มิลลิเมตร และ  $T_2$  คือ ความหนาที่จุดบนแผ่นทดสอบภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, มิลลิเมตร

### 3.3.5 การทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ (Rate of Burning)

การทดสอบหาค่าการต้านทานการเผาไหม้ ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D635-98 โดยในการทดสอบจะเตรียมแผ่นตัวอย่างขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร ทำการจ่อเปลวไฟกับแผ่นทดสอบเป็นเวลา 30 วินาทีดังแสดงในรูปที่ 12 แล้วบันทึกผล



รูปที่ 12 การทดสอบหาความต้านทานการเผาไหม้

### 3.3.6 การทดสอบการดูดซับเสียง

นำแผ่นซีเมนต์บอร์ดขนาด 30 x 30 x 2 ซม. มาประกอบเป็นกล่องขนาด 30 x 30 ซม. นำลำโพงไปไว้ในกล่อง แล้วเปิดเสียงลำโพงให้ดังสุด ตั้งเครื่องวัดระยะห่างจาก 50 ซม. จากแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่กั้น แล้ว

บันทึกเสียง จากนั้นนำกล่องที่ครอบไว้ออกแล้วเปิดเสียงที่ความดังเท่าเดิม และวัดเสียงเปรียบเทียบกับอีกครั้ง [23, 24] ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงการทดสอบการดูดซับเสียง

## 4. ผลการวิจัย (Results)

### 4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Density)

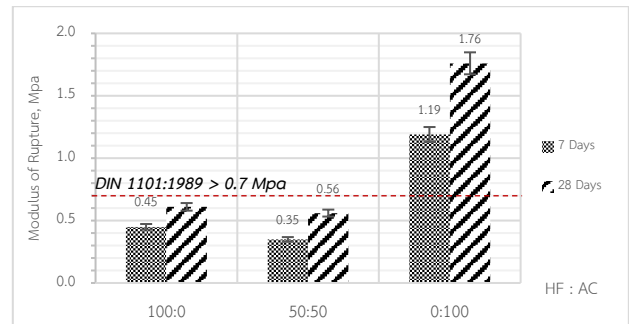
ภายหลังการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดอัตราส่วน ซีเมนต์:เส้นใย 70:30 และใช้เส้นใยแบบ 3 เกลียว บ่มในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 7 และ 28 วัน ดำเนินการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่แทนที่ขยะจากกล่องเครื่องดื่มในอัตราร้อยละ 0 50 และ 100 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

อัตราส่วนซีเมนต์:เส้นใย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	อัตราส่วน (แทนที่ด้วยผักตบชวา)	น้ำหนัก (kg)	ความหนาแน่น (Density) Kg/m <sup>3</sup>	$(x_i - \bar{x})^2$
70:30	7	ร้อยละ 0	2.17	1,205.56	4,321.84
		ร้อยละ 50	2.05	1,138.89	0.86
		ร้อยละ 100	1.98	1,100.00	1,585.22
	28	ร้อยละ 0	2.15	1,194.44	2,984.40
		ร้อยละ 50	2.02	1,122.22	309.50
		ร้อยละ 100	1.94	1,077.78	3,848.59
			N = 6	$\bar{X} = 1,139.81$	SD = 46.63

จากตารางที่ 1 พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มแบบพันเกลียวมีค่าอยู่ระหว่าง 1,077 ถึง 1,205 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าเฉลี่ยประมาณ 1,139.81 กก./ม.<sup>3</sup> ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ประมาณ 46 ทั้งนี้อัตราส่วนร้อยละของการแทนที่ด้วยเส้นใยผักตบชวามีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามค่าโดยเฉลี่ยในตารางสูงกว่าค่าที่ออกแบบไว้ประมาณ 1.1 เท่า

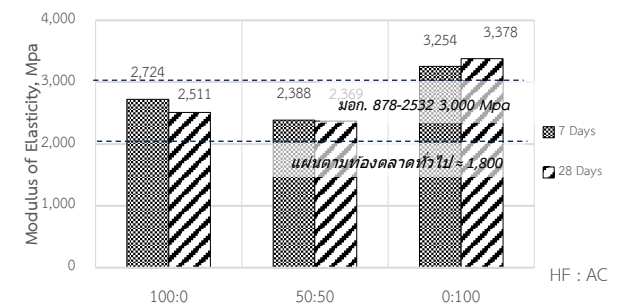
### 4.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสแตกหักของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Modulus of Rupture : MOR)



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละเส้นใยกับค่ามอดุลัสแตกหัก (MOR) ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มและเส้นใยจากผักตบชวา

จากรูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละเส้นใยกับค่ามอดุลัสแตกหัก (MOR) ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มและเส้นใยจากผักตบชวาตามระยะเวลาในการบ่ม 7 และ 28 วันพบว่า ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน สูงกว่าที่ 7 วันทุกอัตราส่วนผสม โดยที่อัตราส่วนผสมของเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มกับเส้นใยจากผักตบชวาในอัตราร้อยละ 100 และ 50 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ในขณะที่อัตราร้อยละ 0 ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน DIN 1101 ทั้ง 7 และ 28 วัน และให้ค่ามอดุลัสแตกหัก (MOR) สูงที่สุดประมาณ 1.76 เมกะปาสกาล (MPa)

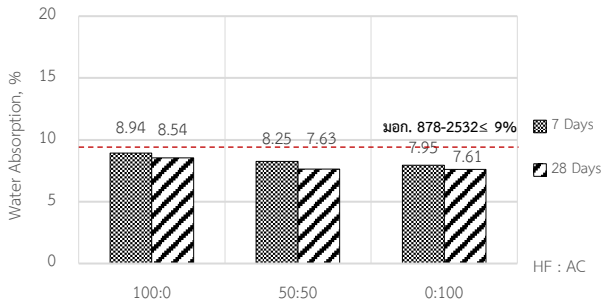
### 4.3 ผลการทดสอบค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Modulus of Elasticity : MOE)



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละเส้นใยกับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มและเส้นใยจากผักตบชวา

จากรูปที่ 15 พบว่า ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มและเส้นใยจากผักตบชวามีค่าอยู่ระหว่าง 2,369 ถึง 3,378 เมกะปาสกาล (Mpa) อย่างไรก็ตามแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเส้นใยจากผักตบชวาใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วนผสม ทั้งนี้แผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผสมเฉพาะเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มแบบ 3 เกลียวให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 7 และ 28 วัน

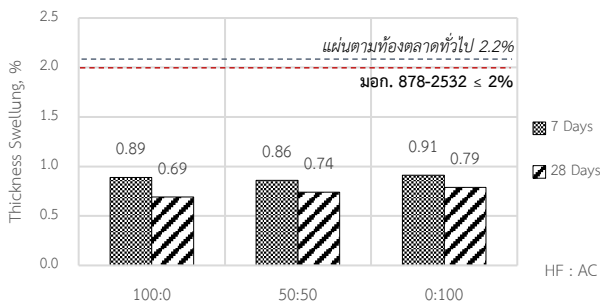
#### 4.4 ผลการทดสอบทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

จากรูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์ดพบว่า ที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำอยู่ในระหว่างร้อยละ 7.61-8.94 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าการดูดซึมน้ำแปรผันตรงกับปริมาณเส้นใยผักตบชวา และเมื่อพิจารณาตาม มอก.878-2532 พบว่าทุกอัตราส่วนผสมไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

#### 4.5 ผลการทดสอบการพองตัว (Thickness Swelling :TS)



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการพองตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

จากรูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการพองตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดพบว่า ที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยทุกส่วนผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.69-0.91 ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การดูดซึมน้ำที่ 7 วันสูงกว่าที่ 28 วันทุกส่วนผสม อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่ 28 วันพบว่าทุกอัตราส่วนผสมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

#### 4.6 ผลการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ (Rate of Burning)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

อัตราส่วนซีเมนต์:เส้นใย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	อัตราส่วน(แทนที่ด้วยผักตบชวา)	ตัวอย่างที่	การต้านทานความร้อน
70:30	7	ร้อยละ 0	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 50	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
			3	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 100	1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ

อัตราส่วนซีเมนต์:เส้นใย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	อัตราส่วน(แทนที่ด้วยผักตบชวา)	ตัวอย่างที่	การต้านทานความร้อน
70:30	28	ร้อยละ 0	3	ไม่ติดไฟ
			1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 50	3	ไม่ติดไฟ
			1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ
		ร้อยละ 100	3	ไม่ติดไฟ
			1	ไม่ติดไฟ
			2	ไม่ติดไฟ

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดพบว่า อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเส้นใยทุกส่วนผสมภายหลังการทดสอบด้วยการจ่อเปลวไฟเป็นเวลา 30 วินาที ไม่ติดไฟหรือสามารถต้านทานการเผาไหม้ได้ทุกส่วนอัตราผสมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D 635 – 03 [25]

#### 4.7 ผลการทดสอบการดูดซับเสียง (Sound Absorption)

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

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการดูดซับเสียง ของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

อัตราส่วนซีเมนต์:เส้นใย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	อัตราส่วน (แทนที่ด้วยผักตบชวา)	ความดังต้นเสียง (db)	ความดังเฉลี่ยหลังแผ่นกัน (db)	ร้อยละการดูดซับเสียง (%)
70:30	7	ร้อยละ 0	97	80.1	21.1
		ร้อยละ 50	95	85.2	11.5
		ร้อยละ 100	95	87.7	8.3
	28	ร้อยละ 0	96	79.7	20.5
		ร้อยละ 50	95	82.2	15.6
		ร้อยละ 100	90	85.3	5.5

จากตารางที่ 3 พบว่าการดูดซับเสียงมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.5 ถึง 21.1 และมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13.7 เดซิเบล(db) ทั้งนี้ค่าการดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์บอร์ดทุกอัตราส่วนผสมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 0 ที่ 28 วัน มีค่าการดูดซับเสียงได้สูงสุด

## 5. บทสรุป (Conclusions)

5.1 ผลศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของปริมาณร้อยละของเส้นใยจากผักตบชวาร่วมกับเส้นใยจากกล่องเครื่องตีในการผสมขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ด ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล เหนียว ความร้อน และการดูดซับเสียง ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่า ความหนาแน่น (Density) ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องตีมีความหนาแน่นสูงกว่าที่ออกแบบเฉลี่ย 1.1 เท่า มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1,139.81 กก./ม.<sup>3</sup> และการทดสอบคุณสมบัติทางกลประกอบด้วยมอดุลัสแตกหัก (MOR) และมอดุลัสยืดหยุ่น

(MOE) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมโดยใช้เส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่มทั้งหมด มีค่ามอดูลัสแตกหักและมอดูลัสยืดหยุ่นที่ดีที่สุด เท่ากับ 1.76 และ  $3.37 \times 10^3$  เมกกะปาสคาล (MPa) ตามลำดับผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน DIN 1101:1989 และในส่วนของ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย การทดสอบ การดูดซึมน้ำ (WA) และการพองตัว (TS) พบว่า แผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ พัฒนาขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวต่ำ มีค่าแตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกส่วนผสมและไม่เกินข้อกำหนดตามเกณฑ์มอก.878-2532 การทดสอบการต้านทานการเผาไหม้พบว่าไม่ติดไฟทุกส่วนผสม และ การดูดซับเสียงมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13.7 เดซิเบล

5.2 จากแนวทางการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกล่อง เครื่องดื่มร่วมกับเส้นใยจากผักตบชวาพบว่า ที่ปริมาณการแทนที่เส้นใยจาก ขยะกล่องเครื่องดื่มในอัตราร้อยละ 50 มีผลการทดสอบทางกลใกล้เคียงกับ เกณฑ์มาตรฐาน เหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาต่อเพื่อสามารถที่จะ ประยุกต์ใช้กับงานภายในอาคารได้ต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้การ สนับสนุนทุนวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ รวมถึง นักศึกษาที่ดำเนินการภาคินพนธ์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการศึกษา ที่ช่วยกันดำเนินงานจนประสบความสำเร็จ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] 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): p. 137-142.
- [2] Morteza Khorami and Eshmaiel Ganjian, *Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: Wheat and eucalyptus*. Construction and Building Materials, 2011. 25: p. pp.3661-3667.
- [3] Suhasman, *Perbandingan Karakteristik Papan Semen Dari Batang Dan Cabang Kayu Asal Hutan Rakyat*. Journal Perennial, 2012. 8(1): p. 30-35.
- [4] TM, M., *Modern Particleboard & Dry-Process Fibre Manufacturing*. 1977, San Francisco, California: Miller Freeman Publication.
- [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): p. 62-65.
- [6] สิริพร วาสนาประเสริฐ, การพัฒนาผนังซีเมนต์เส้นใยพืชสำหรับ อาคารไม่ปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาสถาปัตยกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากรนครปฐม, 2551.
- [7] Phonphimon Amornchote, et al., *Marketing of Wood Cement Particleboard in Thailand*. Thai Journal of Forestry, 2010. 29(3): p. pp.45-53.
- [8] SCB. *Fiber cement exports: how to crack the market?* 2017; Available from: <https://www.scbeic.com/th/detail/product/3302>.
- [9] ปิยรัตน์ เปาเล้ง, ฐาปณีย์ ศุภกิจวัฒนา พวงรัตน์ ขจิตวิยานุกุล และ รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา, การศึกษาคุณสมบัติทางกลและกายภาพของ แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่ม. การประชุม วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, เชียงใหม่, 2556.
- [10] ปิยรัตน์ เปาเล้ง, ปรัชญา ยอดดำรงค์ และ ศักดา กตเวทวารักษ์, การศึกษาประสิทธิภาพจากเส้นใยขยะกล่องเครื่องดื่มแบบพันเกลียว ในการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ด (STUDY ON EFFICIENCY OF SPIRAL FIBRE FROM ASEPTIC CARTON WASTE FOR CEMENT-BONDED COMPOSITE BOARD). การประชุมวิชาการวิศวกรรม โยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, เชียงราย, 2565.
- [11] 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).
- [12] Khumpon, R., *The Development of Sustainable Waste Management System for Thailand (Phase 1)*. 2012.
- [13] Hayim, T., การจัดการ มลพิษ ทาง สิ่งแวดล้อม ด้าน ขยะ มูลฝอย ใน ชุมชน ของ องค์กร ปกครอง ส่วนท้องถิ่น: *Environmental Pollution Management of the Local Government Organization*. วารสาร วิทยาลัย นครราชสีมา สาขา มนุษยศาสตร์ และ สังคมศาสตร์, 2022. 16(3): p. 431-431.
- [14] จารุพร แก้วกล้า, การใช้ประโยชน์จากขยะกล่องเครื่องดื่มเพื่อเป็น เส้นใยเสริมกำลังในคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิศวกรรม โยธา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 2010.
- [15] Nadir Ayrilmisa, Z., Salim Hiziroglu, *Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay*. Materials and Design, 2008. 29: p. PP.1897-1903.
- [16] Georgiopoulou, I., et al., *Recycling of post-consumer multilayer Tetra Pak® packaging with the Selective Dissolution-Precipitation process*. Resources, Conservation and Recycling, 2021. 165: p. 105268.



- [17] *The Secretariat of the Prime Minister. Water Hyacinth [Internet]. Bangkok: The Secretariat of the Prime Minister. 2020 May 20 [cited 2020 Oct 1]. Available from: [https://spm.thaigov.go.th/CRTPRS/spmsp-layout6.asp?i=31111%2E1361470211\\_2113121111311](https://spm.thaigov.go.th/CRTPRS/spmsp-layout6.asp?i=31111%2E1361470211_2113121111311). (in Thai).*
- [18] Ghosh SR, Saikia DC, Goswami T, Chaliha BP, Baruah JN. *Utilization of water hyacinth (Eichhornia crassipers) for paper and board making. Proceedings of the International Conference on Water Hyacinth; 1984 Feb. 7- 11; Nairobi: UNEP: UNEP; 1984. p.436-60.*
- [19] 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.* 2011. Bangkok, Thailand.
- [20] Deutsches Institut für Normung : 1101: 1989, *DIN 1101: 1989 – Wood wool slabs and sandwich composite panels for use as insulating materials – Requirements and testing.*
- [21] 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: p. pp.1611-1616.
- [22] THAI INDUSTRIAL STANDARD: 878-2532, *CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS : HIGH DENSITY.*
- [23] Pusit Lertwattananuruk and Kanokwan Masuwan, *Investigation of Sound Insulation Properties of Fiber Cement Board Containing Natural Fibers.* KMUTT Research and Development Journal, 2013. 38(1): p. 71-86.
- [24] Pramote Weranugul and Kittiphong Suveero, *Development of Cement Boards with Ground Coffee for Environment Conservation.* Faculty of Industrial Education, 2013.
- [25] *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".*