วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

Princess of Naradhiwas University Journal

บทความวิจัย

- ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพเพื่อป้องกันภาวะความดันโลหิตสูงของผู้ใหญ่ไทยที่มีภาวะก่อนเป็นโรคความดันโลหิตสูง
- การพัฒนารูปแบบการพยาบาลแบบองค์รวมในการเยียวยาจิตใจผู้ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์ความไม่สงบ อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี
- ความรอบรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพของผู้ต้องขังหญิงในเรือนจำ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้
- ผลของโปรแกรมการเรียนรู้จากประสบการณ์ของอาจารย์พยาบาลในกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการต่อการรับรู้พฤติกรรมตนเองในการสอนเพื่อส่งเสริมให้นักศึกษามีสมรรถนะทางวัฒนธรรม
- ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการรับประทานยาเม็ดเสริมธาตุเหล็กไม่ต่อเนื่องในหญิงตั้งครรภ์ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย: การศึกษาเชิงสำรวจติดตามในโรงพยาบาล
- ผลของโปรแกรมการยืดเหยียดกล้ามเนื้อมือต่อการลดภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่บ้าน จังหวัดตรัง
- อุปสรรคของการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังระยะสุดท้ายที่ได้รับการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม: การวิจัยเชิงคุณภาพ
- ประสบการณ์ของพยาบาลในการดูแลแบบประคับประคองในหออภิบาลผู้ป่วยหนัก
- ปัจจัยที่สัมพันธ์ระหว่างลักษณะการปฏิบัติงานและความพึงพอใจในการปฏิบัติงานของพยาบาลในหน่วยบริการสุขภาพระดับปฐมภูมิ พื้นที่เขตบริการที่ 12 ของไทย
- การพัฒนารูปแบบความร่วมมือเพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการป้องกันโรคไข้เลือดออกของแกนนำชุมชน
- ความสำเร็จในการดำเนินงานควบคุมโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในชุมชนของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ในประเทศไทย
- รูปแบบการป้องกันการกลับเป็นซ้ำของผู้ป่วยจิตเภทในชุมชนเจาะไอร้องจังหวัดนราธิวาสโดยการมีส่วนร่วมของชุมชนในวิถีพหุวัฒนธรรม
- การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ดินและน้ำในการประเมินปริมาณน้ำท่ากับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำบางนรา
- การพัฒนาการคัดเลือกแบบแข่งขันของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
- อัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวา สำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์
- วิธีวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงสำหรับแก้ปัญหาการหาที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับขั้น กรณีศึกษาโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส
- การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารพฤกษเคมีของสาหร่ายก้ามกุ้ง (*Chara corallina* Klein ex C.L.Willnenow)
- ผลของอาหารสังเคราะห์ต่อการเจริญและพัฒนาในหลอดทดลองของต้นหวายการ์เร็ต (*Dendrobium garrettii* Seidenf.) กล้วยไม้หายากของประเทศไทย
- โมเดลการส่งเสริมเพื่อพัฒนาธุรกิจการเลี้ยงแพะเนื้อในจังหวัดชายแดนภาคใต้

บทความวิชาการ

- แนวทางการให้ความรู้ก่อนการถือศีลอดแก่หญิงตั้งครรภ์ที่มีภาวะเบาหวาน

ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2563

ISSN (online) 2561-1274

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวา สำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์

Appropriate Ratio for Using Water Hyacinth Fibers for Making Cement Fiberboard

ตฤณ ดิษฐลำภู[1*], อารัญ วรรณะอานนท์[2]

Trin Desthalumpoo[1*], Arran Wannaharnon[2]

(Received: March 3, 2020; Revised: April 15, 2020; Accepted: May 29, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวาเป็นส่วนผสมแผ่นใยอัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทรายละเอียด : น้ำ : เส้นใยผักตบชวา : สารเร่งการก่อตัวของปูนซีเมนต์ (อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) 5 อัตราส่วน ดังนี้ 1: 0.2: 0.3: 0.000: 0.03, 1: 0.2: 0.3: 0.025: 0.03, 1: 0.2: 0.3: 0.05: 0.03, 1: 0.2: 0.3: 0.075: 0.03 และ 1: 0.2: 0.3: 0.1: 0.03 โดยน้ำหนัก รวม 20 สูตร ขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ดด้วยเครื่องอัด และทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง จากผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า สูตร B3 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด น้ำ เส้นใยผักตบชวา และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เท่ากับ 1 : 0.2 : 0.3 : 0.05 : 0.03 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.878-2537 กำหนด (มีเพียงความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ต่ำกว่าเกณฑ์) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวาสำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์มากที่สุด

คำสำคัญ: เส้นใยผักตบชวา แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ ฉนวนป้องกันความร้อน

Abstract

The objective of this research was to study a suitable ratio of using water hyacinth fiber as a mixture of high-density cement fiber board. The admixtures consisting of cement, fine sand, water hyacinth fibers, water, and cement forming accelerators (Aluminium Sulphate ($Al_2(SO_4)_3$),

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[1]Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

[2]Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: trin.d@rmutp.ac.th

Calcium Chloride ($CaCl_2$), Sodium Silicate (Na_2SiO_3)) were respectively mixed in 5 mixing ratios by weight: 1: 0.2: 0.3: 0.000: 0.03, 1: 0.2: 0.3: 0.025: 0.03, 1: 0.2: 0.3: 0.05: 0.03, 1: 0.2: 0.3: 0.075: 0.03 and 1: 0.2: 0.3: 0.1: 0.03. A total of 20 mixing formulas were used in forming cement board sheets with a compactor. The sheets were then tested for the properties in compliance with TISI 878-2537: Standard for High-Density Cementitious Veneer. From the results at 28 days of curing, Formula B3 ratio of 1: 0.2: 0.3: 0.05: 0.03 (cement: fine sand: water hyacinth fibers: Calcium Chloride ($CaCl_2$)) was the most suitable ratio as the properties met the standard, TISI 878-2537 (only the bending strength was slightly lower than the standard).

Keywords: Water Hyacinth fiber, Cement fiberboard, Thermal insulation

บทนำ

แผ่นใยอัดซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประเภททั้งภายในและภายนอกอาคาร ถือได้ว่าเป็นวัสดุที่ใช้งานได้อย่างเอนกประสงค์ส่วนประกอบของแผ่นใยอัดซีเมนต์ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุที่เหนียวและมีความยืดหยุ่นได้ หลังจากนั้นนำมาอัดด้วยแรงดันสูงให้เป็นแผ่น ทำให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรง เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาคาร เช่น ฝ้าเพดาน ผนัง แผ่นปูพื้น ประเภทของแผ่นซีเมนต์ โดย Department of Industrial Promotion (1996) ได้แบ่งเป็น อุตสาหกรรมแผ่นเส้นไม้อัดซีเมนต์ อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ และอุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์

ผักตบชวา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* ถือเป็นวัชพืชน้ำที่แพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว เส้นใยจากผักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทเส้นใยเซลลูโลส ลักษณะของเส้นใยจะค่อนข้างหยาบคล้ายลินิน ในตัวเส้นใยประกอบด้วยเส้นใยกลวงเล็ก ๆ เกาะติดกัน มีคุณสมบัติเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีรูพรุนจึงมีสมบัติดูดความชื้นได้ดี โดยส่วนที่พบว่ามีปริมาณเส้นใยค่อนข้างมากจะเป็นในส่วนของลำต้น มีลักษณะเหนียว แข็งแรง เหมาะกับการผลิตเครื่องจักสานต่าง ๆ ผลิตเป็นกระดาษขึ้นรูปเป็นแผ่นผนังบุภายในบ้าน หรือถูกบดให้เป็นผงละเอียดและผสมกับวัสดุต่าง ๆ เพื่อขึ้นรูปเป็นคอมพอสิทที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันตามความต้องการในการใช้งาน เช่น นำมาผสมกับแผ่นหลังคา (Chatveera & Nimityongskul, 1994) เพื่อเสริมความแข็งแรง หรือผสมกับน้ำยางธรรมชาติเพื่อขึ้นรูปเป็นฉนวนกันความร้อน (Jaktorn & Jiajitsawat, 2014) นอกจากนี้ การนำเส้นใยผักตบชวามาทอร่วมกับเส้นด้ายฝ้าย เพื่อขึ้นรูปเป็นผืนผ้าทอ (Vasasiri, 2015) และทำผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ

จากงานวิจัยเรื่องการใช้ประโยชน์ของเส้นใยผักตบชวามีหลายรูปแบบ เช่น Israngkoon, Chantawong, & Ungkoo (2010) ได้ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมเส้นใยของผักตบชวา พบว่า การผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้เกิดความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้น Sayrumyat, Suriwong, Inriral, & Sumrit (2016)ได้ศึกษาวิจัยออกแบบและสร้างแพปลูกพืชลอยน้ำด้วยผักตบชวา พบว่า แพที่มีความหนา 10 เซนติเมตร สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดเท่ากับ 7.19 กิโลกรัม Vasasiri (2015) ได้ศึกษาวิจัยผลิตผืนผ้าจากเส้นใยผักตบชวาผสมด้ายฝ้าย พบว่า ด้านความคงทนของผ้าเส้นใยผักตบชวาผสมเส้นด้ายฝ้ายแต่ละอัตราส่วนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก Boonyarit, Kongtud, Witayakran, Ngamroj, & Chollakup (2016) ได้ศึกษาสมบัติกายภาพของเส้นใยผักตบชวา สำหรับการปั่นเส้นด้าย O.E ผสมเส้นใยผักตบชวาและฝ้าย พบว่า เส้นด้ายปั่นผสมมีสมบัติเชิงกลลดลง 35% และมีความไม่สม่ำเสมอ หนา บาง สูงกว่าด้ายปั่น 100% เป็นต้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวาสำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์ โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ตามมาตรฐาน Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 1994)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวา สำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์ ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด น้ำ เส้นใยผักตบชวา และสารเร่งการก่อตัว โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 1994)

วิธีการวิจัย

1. วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.1 ต้นผักตบชวาจากคลองชลประทานในเขตพื้นที่ภาคกลางและกรุงเทพมหานคร

1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ตาม มอก.15 เล่ม 1

1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ เป็นสารปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา

1.4 สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$), แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เป็นสารเร่งการก่อตัวในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์

1.5 แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.6 เครื่องอัดแผ่นอัดซีเมนต์

2. ออกแบบอัตราส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมโดยใช้การปรับปรุงเส้นใยผักตบชวาด้วยสารเคมีเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยผักตบชวากับปูนซีเมนต์ รวมทั้งผสมสารเคมีเพิ่มเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการคงรูปของแผ่นอัดซีเมนต์และช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกล มีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย โดยการต้มผักตบชวาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 12 ในอัตราส่วนเส้นใยต่อสารละลาย เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก ต้มในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อย่อยสารจำพวกลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และสารแทรกอื่น ๆ

2.2 การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป เพิ่มการยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์และเส้นใยเซลลูโลสในขั้นตอนการผสม เพื่อเร่งการแข็งตัวของซีเมนต์ และปรับปรุงการยึดเกาะให้ดีขึ้นกว่าสภาวะที่ไม่ใช้สารเคมี (ใช้น้ำอย่างเดียว) สารละลายที่นิยมนำมาใช้ เช่น สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เป็นต้น

การดำเนินการออกแบบอัตราส่วนแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา 5 อัตราส่วน โดยผสมสารเคมีเร่งปฏิกิริยาการคงรูปหรือสารเร่งการก่อตัว 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และไม่ผสมสารเร่งการก่อตัว รวมทั้งสิ้นได้ 20 สูตร ดังตารางที่ 1

3. เตรียมเส้นใยผักตบชวา

3.1 แยกใบและรากออกจากต้นผักตบชวา และนำไปตากแดดให้แห้ง (ภาพที่ 1)

3.2 ตัดลำต้นผักตบชวาให้มีความยาว ไม่เกิน 5 เซนติเมตร ก่อนนำไปปรับปรุงให้เหลือแต่เส้นใยเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมี

3.3 ปรับปรุงเส้นใยผักตบชวาโดยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก ทำการต้มในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4 อบเส้นใยผักตบชวาที่ปรับปรุงเส้นใยแล้ว ในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้เส้นใยผักตบชวาสำหรับนำไปใช้ขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์ (ภาพที่ 2)

4. การขึ้นรูป

4.1 เตรียมส่วนผสม ชั่งน้ำหนักและละลายสารเคมีต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด

4.2 แยกเส้นใยให้ออกจากกัน เพื่อป้องกันการจับตัวกันขณะขึ้นรูปเป็นแผ่นใยอัดซีเมนต์ พร้อมเติมน้ำสะอาดเล็กน้อยระหว่างผสมสารเคมีลงในเส้นใย

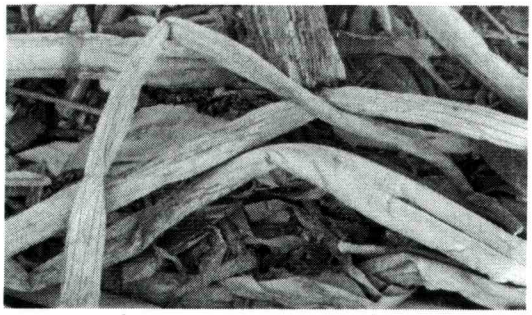
4.3 ผสมส่วนผสมทั้งหมดด้วยมือในอ่างผสมจนเข้ากันดี การใช้มือผสมทำให้สามารถหาส่วนผสมที่จับตัวเป็นก้อนได้ง่าย แต่หากผสมในปริมาณมาก ๆ ควรใช้เครื่องผสมคอนกรีต

4.4 ขึ้นรูปในแบบหล่อและอัดด้วยเครื่องอัดแผ่นอัดซีเมนต์ โดยควบคุมให้มีความหนาแน่น 75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 3 และ 4)

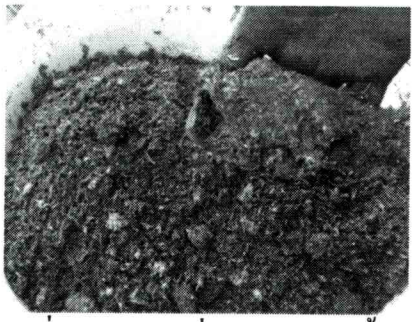
4.5 เมื่อแผ่นใยอัดซีเมนต์คงตัวแล้ว นำไปบ่มในที่ร่มตามอายุการบ่มที่ต้องการ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา

สูตร	อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก)						
	ปูนซีเมนต์	ทรายละเอียด	น้ำ	เส้นใยผักตบชวา	สาร $Al_2(SO_4)_3$	สาร $CaCl_2$	สาร Na_2SiO_3
A1	1	0.2	0.3	0.000	0.03	-	-
A2	1	0.2	0.3	0.025	0.03	-	-
A3	1	0.2	0.3	0.050	0.03	-	-
A4	1	0.2	0.3	0.075	0.03	-	-
A5	1	0.2	0.3	0.100	0.03	-	-
B1	1	0.2	0.3	0.000	-	0.03	-
B2	1	0.2	0.3	0.025	-	0.03	-
B3	1	0.2	0.3	0.050	-	0.03	-
B4	1	0.2	0.3	0.075	-	0.03	-
B5	1	0.2	0.3	0.100	-	0.03	-
C1	1	0.2	0.3	0.000	-	-	0.03
C2	1	0.2	0.3	0.025	-	-	0.03
C3	1	0.2	0.3	0.050	-	-	0.03
C4	1	0.2	0.3	0.075	-	-	0.03
C5	1	0.2	0.3	0.100	-	-	0.03
D1	1	0.2	0.3	0.000	-	-	-
D2	1	0.2	0.3	0.025	-	-	-
D3	1	0.2	0.3	0.050	-	-	-
D4	1	0.2	0.3	0.075	-	-	-
D5	1	0.2	0.3	0.100	-	-	-



ภาพที่ 1 ลักษณะผักตบชวาที่ตากแห้ง



ภาพที่ 2 ส่วนผสมที่พร้อมสำหรับขึ้นรูป

ภาพที่ 3 การเทส่วนผสมลงเครื่องอัด

ภาพที่ 4 แผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา

5. ทดสอบสมบัติ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา ตามมาตรฐาน Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 1994) ทั้งนี้ใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่างต่อสูตรต่อการทดสอบ ซึ่งประเภทของการทดสอบประกอบด้วย

5.1 ลักษณะทั่วไป ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.2 ความหนาแน่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.3 ความชื้น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.4 สภาพนำความร้อน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.6 ความต้านทานแรงดัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.7 มอดุลัสยืดหยุ่น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

5.8 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ผลการวิจัย

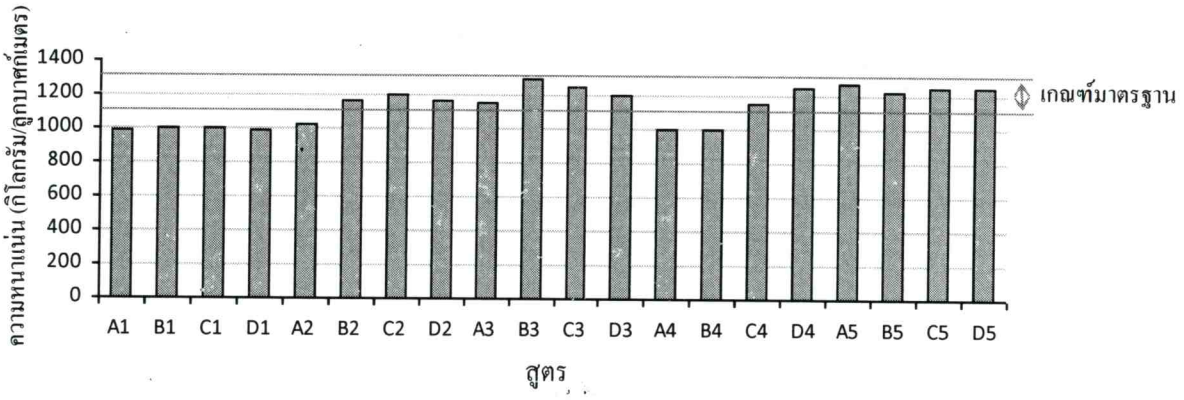
ผลการทดสอบสมบัติทางกายและทางกลของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา ตามมาตรฐาน Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 1994) สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ผลการทดสอบลักษณะทั่วไป

ผลการตรวจพินิจลักษณะทั่วไปของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา ที่อายุบ่ม 28 วัน ทุกสูตร พบว่า แผ่นใยอัดซีเมนต์ทั้งที่ผสมเส้นใยผักตบชวาและไม่ผสมเส้นใยผักตบชวา สามารถผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด คือ ความหนา ความเรียบที่สม่ำเสมอ และบริเวณขอบมีความฉาก

2. ผลการทดสอบความหนาแน่น

ความหนาแน่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาทั้ง 20 สูตร โดยมีผลการทดสอบ ดังภาพที่ 5

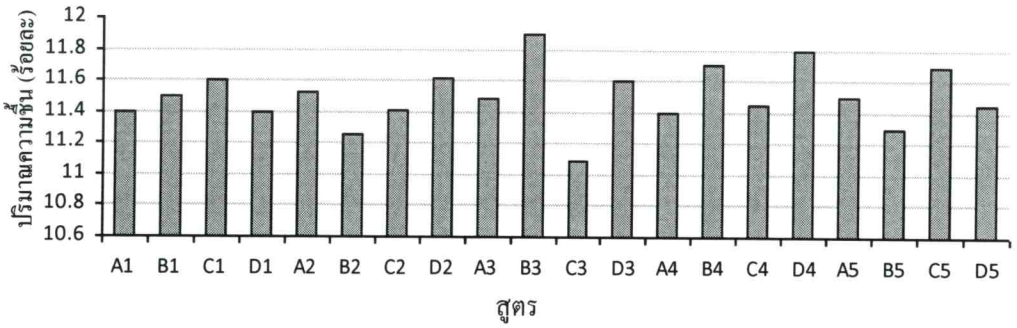


ภาพที่ 5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 5 พบว่า ทั้ง 20 สูตร มี 13 สูตร ได้แก่ B2, C2, D2, A3, B3, C3, D3, C4, D4, A5, B5, C5, และ D5 ที่มีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1,100-1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมี 6 สูตร ได้แก่ A1, B1, C1, D1, A4 และ B4 ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยสูตร B3 มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด และสูตร D1 มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด

3. ผลการทดสอบความชื้น

ปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาที่ขึ้นรูป สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 6

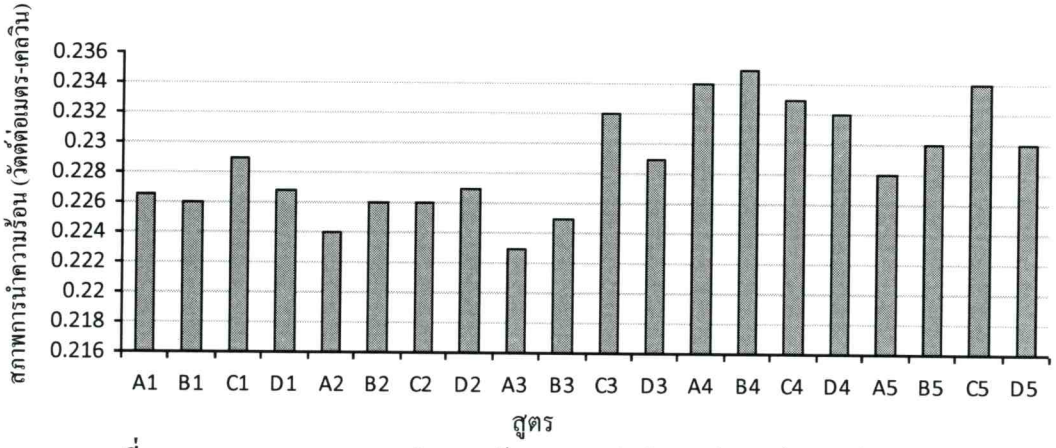


ภาพที่ 6 ผลการทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 6 พบว่า ทั้ง 20 สูตรมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15 เนื่องจากเส้นใยผักชวามีรูพรุนจึงมีสมบัติดูดความชื้นได้ดี ประกอบกับการขึ้นรูปมีการอัดด้วยความดันทำให้ความชื้นบางส่วนถูกนำออกจากส่วนผสม และความชื้นที่เหลือจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ (Jindaprasert & Jaturapitakkul, 2012) ความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาจึงมีค่าต่ำ โดยสูตร B3 มีค่าปริมาณความชื้นสูงที่สุด สูตร C3 มีค่าปริมาณความชื้นต่ำที่สุด

4. ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อน

สภาพนำความร้อน หรือเรียกอีกอย่างว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา โดยค่าสภาพการนำความร้อนที่น้อยแสดงว่ามีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 7

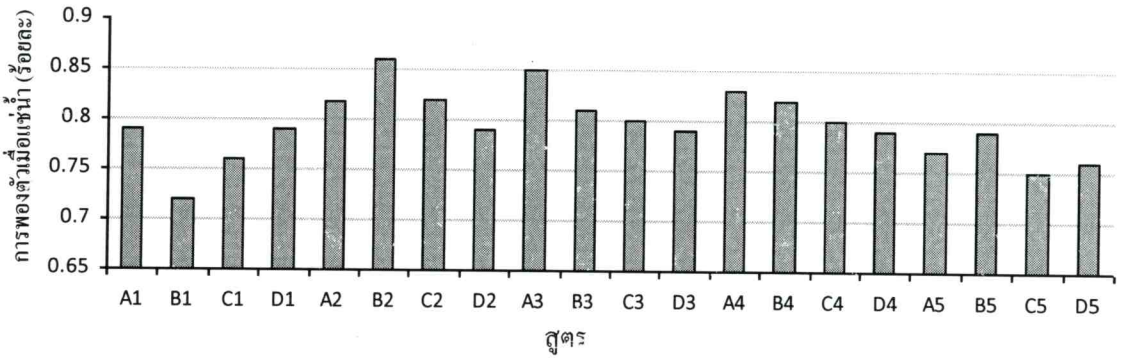


ภาพที่ 7 ผลการทดสอบสภาพนำความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 7 พบว่า ทั้ง 20 สูตรมีค่าสภาพการนำความร้อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณเส้นใยผักตบชวาเกินกว่า 0.05 จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นอัดซีเมนต์ต่ำลง เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีคุณสมบัติสะสมพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Sayrumyat, 2016)

5. ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

การพองตัวของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาเมื่อแช่น้ำนั้น เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการใช้งาน เนื่องจากแผ่นใยอัดซีเมนต์นิยมนำมาติดตั้งบริเวณภายนอกอาคาร ซึ่งต้องสัมผัสฝนและความชื้นค่อนข้างมาก ซึ่งผลการทดสอบการพองตัว สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 8

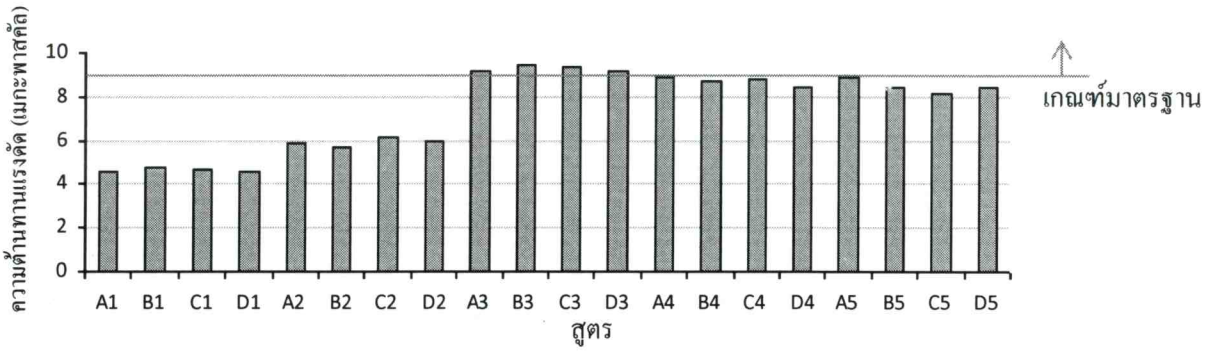


ภาพที่ 8 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 8 พบว่า ทั้ง 20 สูตรมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้การพองตัวเมื่อแช่น้ำไม่เกินร้อยละ 2 โดยสูตร B2 มีการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากที่สุด และสูตร B1 มีการพองตัวเมื่อแช่น้ำต่ำที่สุด

6. ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด

ความต้านทานแรงดัดเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญในการแสดงถึงความสามารถในการรับแรงดัดขณะใช้งาน โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังภาพที่ 9

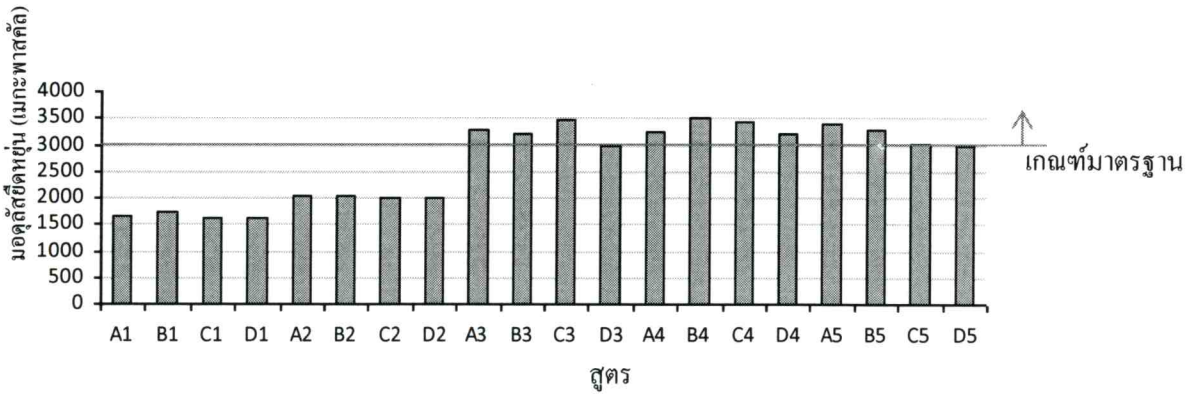


ภาพที่ 9 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 9 พบว่า ทั้ง 20 สูตรมี 4 สูตร ได้แก่ A3, B3, C3 และ D3 มีค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้ค่าความต้านทานแรงดัด ไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล และมี 16 สูตร ได้แก่ A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, A4, B4, C4, D4, A5, B5, C5 และ D5 ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากเส้นใยผักตบชวาประกอบด้วยเส้นใยกลวงเล็กๆ เกาะติดกัน ดังนั้นการผสมเส้นใยผักตบชวาจะช่วยให้แผ่นใยอัดซีเมนต์มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้สามารถรับแรงดัดได้มากขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณเส้นใยผักตบชวามากขึ้น ส่งผลให้แผ่นใยอัดซีเมนต์มีความแข็งแรงมากจนกระทั่งเปราะ ทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดลดลง

7. ผลการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่น

ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด เป็นสมบัติทางกลที่เกี่ยวข้องกับความต้านยืดหยุ่นของวัสดุ โดยค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่มากแสดงว่าแผ่นใยอัดซีเมนต์มีความความแข็งและทนการโก่งตัวมากกว่าแผ่นใยอัดซีเมนต์ที่มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่น้อยกว่า สามารถสรุปผลได้ดังภาพที่ 10

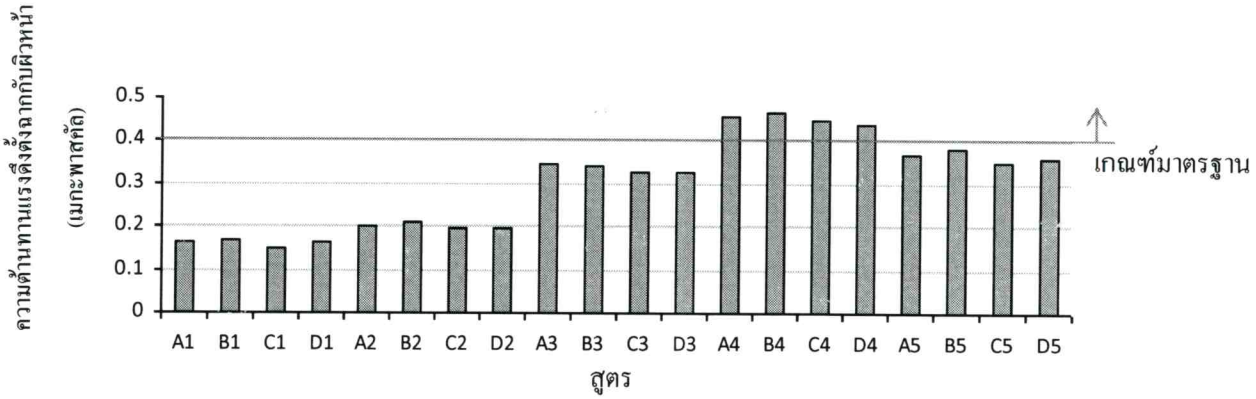


ภาพที่ 10 ผลการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 10 พบว่า แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาในอัตรา 0.05 ขึ้นไป (สูตร A3, B3, C3, D3, A4, B4, C4, D4, A5, B5, C5 และ D5) มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นไม่น้อยกว่า 3,000 เมกะพาสคัล ส่วนแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผสมเส้นใยผักตบชวาและผสมเส้นใยผักตบชวาในอัตราต่ำกว่า 0.05 (สูตร A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2 และ D2) มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

8. ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เป็นสมบัติทางกลที่บ่งบอกความทนทานและความแข็งแรงของผิวหน้า ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา

จากภาพที่ 11 พบว่า สูตรที่มีเส้นใยผักตบชวาผสมในอัตรา 0.075 จำนวน 4 สูตร ได้แก่ สูตร A4, B4, C4 และ D4 มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ที่กำหนดให้ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าไม่น้อยกว่า 0.4 เมกะพาสคัล และ 16 สูตรที่เหลือ ไม่มีสูตรใดผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เนื่องจาก สูตร A4, B4, C4 และ D4 มีผิวหน้าเรียบมากที่สุด อาจมาจากลักษณะเส้นใยผักตบชวาเป็นเส้นใยกลวงเล็กๆ ทำให้แผ่นใยอัดซีเมนต์มีรูพรุนในระดับที่เหมาะสม การขึ้นรูปจึงทำได้โดยง่าย ผิวหน้าของแผ่นใยอัดซีเมนต์ที่ได้จึงมีความเรียบมากกว่าสูตรอื่น ๆ

จากผลการทดสอบสามารถสรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตาม Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 1994) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

สูตร	ผลการทดสอบ							
	สภาพทั่วไป	ความหนาแน่น	ความชื้น	สภาพนำความร้อน	การพองตัว	แรงดัด	มอดุลัสยืดหยุ่น	แรงดึงตั้งฉากฯ
A1	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
B1	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
C1	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
D1	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
A2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
B2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
C2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
D2	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
A3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
B3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
C3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
D3	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
A4	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
B4	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
C4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
D4	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
A5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
B5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
C5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
D5	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

อภิปรายผล

จากการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวา สำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์ โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตาม Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density พบว่า ด้านสภาพทั่วไป ปริมาณความชื้น สภาพการนำความร้อน การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ของแผ่นใยอัดซีเมนต์ที่มีเส้นใยผักตบชวาหรือไม่มีเส้นใยผักตบชวาผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทั้งหมด ความหนาแน่น แผ่นใยอัดซีเมนต์ที่มีส่วนผสมเส้นใยผักตบชวามีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นใยอัดซีเมนต์ที่ไม่มีเส้นใยผักตบชวา ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของวัสดุ

เชื่อมประสานอย่างปูนซีเมนต์ที่มีค่าสูง เท่ากับ 3,100 ถึง 3,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทราย เท่ากับ 2,600 ถึง 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Young, 1992) เส้นใยผักตบชวาแห้ง เท่ากับ 111 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Sayrumyat et al., 2016) และเมื่อผสมเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วน 0.05 ขึ้นไปถึง 0.1 ส่งผลให้แผ่นใยอัดซีเมนต์มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงขึ้นหรือมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีลักษณะเหนียว แข็งแรง (Chatveera & Nimityongskul, 1994) แต่ทั้งนี้ขึ้นกับอายุของผักตบชวาซึ่งขนาดเส้นใยของผักตบชวาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุที่มากขึ้น และมีค่าความแข็งแรงและความสามารถในการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง (Boonyarit, 2016) และเมื่อแผ่นใยอัดซีเมนต์มีความแข็งแรงที่มากขึ้นย่อมส่งผลให้ความยืดหยุ่นต่ำลง และเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวายิ่งมากส่งผลให้แผ่นใยอัดซีเมนต์มีความแข็งแรงที่มากขึ้นแต่ความยืดหยุ่นลดต่ำลง ดังผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด (ภาพที่ 9) มีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วน 0.05 และความต้านทานแรงดัดเริ่มลดลงเมื่อมีปริมาณเส้นใยผักตบชวาในอัตรา 0.75 และ 0.1 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความสามารถรับแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่า ปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่มากขึ้นส่งผลให้ความสามารถรับแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาในอัตรา 0.1 ความสามารถในการรับแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าลดลง เนื่องจาก ปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่มากทำให้ผิวหน้าแผ่นใยอัดซีเมนต์มีรูพรุนที่มากตามไปด้วยส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าลดลง และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนเส้นใยผักตบชวาควบคู่กับสารเร่งการก่อตัวทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และไม่ผสมสารเร่งการก่อตัว ปรากฏว่า การใช้สารเร่งการก่อตัวหรือไม่ผสมสารเร่งการก่อตัวไม่ส่งผลต่อสมบัติทางด้านกายภาพและทางกลของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาแต่อย่างใด ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ที่อายุ 28 วัน แต่สารเร่งการก่อตัวเร่งกำลังในช่วงอายุต้น จึงไม่เห็นผลกระทบจากการใช้สารเร่งดังกล่าว

สรุป

จากการทดสอบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวาสำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์ คือ สูตร B3 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด น้ำ เส้นใยผักตบชวา และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($Cacl_2$) เท่ากับ 1 : 0.2 : 0.3 : 0.05 : 0.03 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density กำหนด (มีเพียงความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิหน้าที่ต่ำกว่าเกณฑ์)

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวา สำหรับทำแผ่นใยอัดซีเมนต์ ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด น้ำ เส้นใยผักตบชวา และสารเร่งการก่อตัว ตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางการวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ควรมีการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ที่อายุบ่มช่วงต้น เช่น 1, 3, 7 วัน เป็นต้น เพื่อดูผลกระทบของสารเร่งการก่อตัว

2. ควรพัฒนาให้แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาให้มีสมบัติทางกลที่สูงขึ้น โดยการเสริมเส้นใยหรือเส้นลวดที่มีความแข็งแรง เพื่อให้แผ่นใยอัดซีเมนต์ดังกล่าวสามารถใช้งานได้หลากหลาย และมีความทนทานสูง

รายการอ้างอิง (References)

Boonyarit, J., Kongtud, W., Witayakran, S., Ngamroj, C., & Chollakup, R. (2016). *Physical properties of water hyacinth for O.E. spinning water hyacinth/cotton fiber blended yam*. The 54th Kasetsart University Annual Conference. February 2-5, 2016.

Chatveera, B. & Nimityongskul, P. (1994). Use of Water Hyacinth Fiber as Randomly-OrientedReinforcement in Roofing Sheets, *KKU Engineering Journal*, 21(1), 77-92.

Chongjit, W. (2012). *Design of lounge chairs from palm fiber, woven sheet and rubber*. Independent research Master of Arts Program. Department of Product Design. Silpakorn University. (in Thai).

Department of Industrial Promotion. (1996). *Cement bonded particleboards*. Department of Industrial Promotion Ministry of industry. (in Thai).

Homaswin, K. (2016). *Absorbent insulating sheet.* 12th Year. No. 3503, p. 13, Ban Muang Thai newspaper. (in Thai).

Israngkoon, B., Chantawong, P. & Ungkoo, Y. (2010). Study of Mechanical Properties of Autoclaved Aerated Lightweight Concrete Element Containing Microfiber. *Journal of Science Ladkrabang*, 19(2): 59-68.

Jaktorn, C. & Jiajitsawat, S. (2014). Production of thermal insulator from water hyacinth fiber and natural rubber latex. NU. *International Journal of Science*. 11, 31-41.

Jindaprasert P., Jaturapitakkul C. (2012). *Cement, Pozzolan, and Concrete*. 7th ed. Bangkok: ACI Partners with Thailand Concrete Association. (in Thai).

Sayrumyat R., Suriwong V., Inriral, P. & Sumrit, T. (2016). The Design and building of a floating plantation raft by water hyacinth. *Prawarun Agricultural Journal*. 13(2), 227-233.

Thai Industrial Standards Institute (TISI). (1994). *Thai Industrial Standard no.878-1994: Cement Bonded Particle Board: High Density*. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute. (in Thai).

Vasasiri, B. (2015). Hyacinth fiber fabric to mix with cotton thread, *Journal Art Klong Hok*, 2, 210-227.

Young, H.D. (1992). *Hyper Physics*. Addison Wesley: University Physics.