การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Development of lightweight concretes using agricultural by-products

ภัทร์ สุขแสน*, พัชราภรณ์ สาธุการ, ณัฐ คุณชมภู, ดวงกมล แซ่ตั้ง

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
*E-mail: sooksaen_p@su.ac.th

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ศึกษาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอันได้แก่ฟางข้าวและขุยมะพร้าวซึ่งมีมากในประเทศไทยมาใช้เป็นวัสดุเสริมคอนกรีตและทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบากว่าปูนมอร์ต้า 25 - 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อมีเส้นใยในระบบ 30 - 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การปรับปรุงผิวฟางข้าวทั้งแบบหยาบ (1-5 มิลลิเมตร) และแบบละเอียด (<1 มิลลิเมตร) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และกรดไขมันออก ทำให้เซลลูโลสมีพื้นผิวที่ขรุขระและชอบน้ำมากขึ้น และเมื่อนำมาผสมกับเฟสปูนทำให้มีความเข้ากันได้ดี มีการกระจายตัวของเส้นใยในเมทริกซ์ที่ความสม่ำเสมอและการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยและเฟสปูนดี เกิดช่องว่างบริเวณผิวสัมผัสน้อยลง คอนกรีตมวลเบาที่มีเส้นใยฟางข้าวขนาดละเอียด 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับขุยมะพร้าวละเอียด 10 เปอร์เซ็นต์ให้ค่ากำลังอัดสูงถึง 140 กก/ซม^2 โดยมีความหนาแน่นมวลรวมที่ลดลงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์จากซีเมนต์มอร์ต้า การบ่มชิ้นงานคอนกรีตไว้เป็นเวลามากกว่า 28 วันจะมีการพัฒนาการรับแรงกดอัดที่สูง

คำสำคัญ: ซีเมนต์, ฟางข้าว, ขุยมะพร้าว, มวลเบา

Abstract

Agricultural wastes; rice straw and coconut coir fiber, which are found in large quantity in Thailand, were utilized as main materials for reinforcing concretes and making concretes lighter than cement mortar 25-40%. The total fiber content was varied in the range 30-50 vol%. Coarse rice straw fibers (1-5 mm) and fine fibers (<1 mm) were treated with 15% sodium hydroxide and found effective for removing hemicellulose, lignin and fatty acids. This improved the surface roughness and hydrophobicity of the cellulose fibers. The distribution of natural fibers in the matrix became more uniform and the adhesion between the fiber surface and cement phase was greatly improved. Lightweight concrete containing 20% fine rice straw fiber and 10% fine coconut coir in the composition showed high compressive strength value of 140 kg/cm^2 with bulk density reduced by 30% compared to cement mortar. Hydration of concrete specimens for more than 28 days resulted in the improvement of compressive strength.

Keywords: Cement, Rice straw, Coconut coir, Lightweight

1. ที่มาและความสำคัญ

คอนกรีตมวลเบา (lightweight concrete) คือผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตทั่วไป เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อผนัง ทำให้ลดน้ำหนักของโครงสร้างขนาดใหญ่ เป็นฉนวนป้องกันความร้อน อีกทั้งยังติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว คอนกรีตมวลเบา

ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น คอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (non-autoclaved system) มีการเติมสารเคมีเพื่อให้คอนกรีตเกิดการก่อฟอง คอนกรีตมวลเบาชนิดที่ผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง autoclaved system ได้แก่คอนกรีตมวลเบาที่ใช้ปูนขาวและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้ยังมีการผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเม็ดโฟม polystyrene ซึ่งไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและกระบวนการผลิตมีค่าใช้จ่ายที่สูง ซึ่งในปัจจุบันเกิดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายของวัสดุก่อสร้างที่มีราคาสูง อีกปัญหาหนึ่งที่ทั่วโลกให้ความสำคัญคือเรื่องสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการวิจัยและพัฒนานำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูกมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ฟางข้าวและขุยมะพร้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่มากในประเทศไทย ขุยมะพร้าวคือส่วนของเส้นใยที่อยู่บริเวณเปลือกนอกของมะพร้าว มีน้ำหนักเบาและนำความร้อนที่ต่ำ จึงนิยมนำมาผสมในซีเมนต์บอร์ด นอกจากจะมีสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำแล้วยังช่วยลดความร้อนที่มีการแพร่เข้าไปในอาคาร ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานอีกทางหนึ่ง สำหรับฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งในแต่ละปีจะมีมากถึง 25.45 ล้านตัน แม้จะมีการนำฟางข้าวไปประยุกต์ใช้ทำประโยชน์อื่นๆ เช่น การทำปุ๋ยหมัก นำไปทำเป็นอาหารสัตว์ หรือเชื้อเพลิงทางชีวภาพ แล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถกำจัดฟางข้าวให้หมดไปได้ ส่วนใหญ่จะทำการเผาทิ้งซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้มาเป็นวัสดุเสริมแรงและลดน้ำหนักในคอนกรีตสามารถแก้ไขปัญหาการกำจัดทิ้งโดยการเผา ใช้ต้นทุนต่ำในการผลิตและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นได้ในการนำเส้นใยธรรมชาติประเภทขุยมะพร้าวและฟางข้าวเพื่อนำมาพัฒนาเป็นคอนกรีตมวลเบา โดยศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นคอนกรีตมวลเบา นอกจากนี้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเส้นใยธรรมชาติดังกล่าวเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

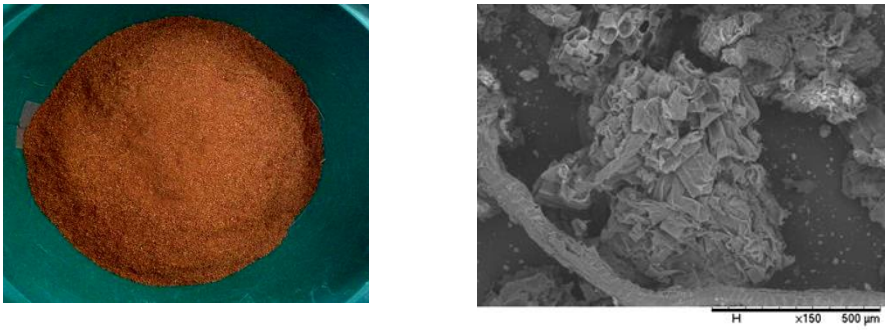
การผลิตซีเมนต์มวลเบาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมักจะเกิดปัญหาเรื่องการยึดเกาะของเส้นใยกับซีเมนต์ทำให้สมบัติของชิ้นงานแย่ลง ดังนั้นจึงได้มีการนำสารเคมีเข้ามาช่วยในการปรับปรุงเส้นใยให้สามารถเข้ากับซีเมนต์ได้ดียิ่งขึ้นซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นงาน จากงานวิจัยของ Viravaidya และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงเส้นใยของฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซค์และแอมโมเนีย จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของฟางข้าวก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยเทคนิค HPLC พบว่าฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถกำจัดลิกนินได้สูงถึง 77.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแอมโมเนีย สามารถกำจัดลิกนินได้ 38.6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์กำจัดลิกนินโดยทำลายพันธะเอสเตอร์ที่เชื่อมระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลสทำให้โครงสร้างของฟางข้าวมีความเป็นรูพรุนเพิ่มขึ้น งานวิจัยของ Abdullah และคณะ [2] ทดสอบสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าว พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงจะไม่เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นเพราะความแออัดหรือการจับกลุ่มของเส้นใยอาจทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับซีเมนต์ลดลงได้ การล้างเส้นใยมะพร้าวสามารถลดสิ่งสกปรกและสามารถปรับปรุงการอัดตัวของเส้นใยมะพร้าวในซีเมนต์ เมื่อมีการอัดตัวที่ดีขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นสูงขึ้น สำหรับงานวิจัยของ Lertwattanaruk และ Masuwan [3] ศึกษาประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนซีเมนต์และเส้นใยธรรมชาติที่แตกต่างกัน มีเส้นใยมะพร้าวในสัดส่วน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นสัดส่วนผสมที่มีการรับแรงอัดและแรงดัดที่ดี พบว่าการเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติส่งผลให้ค่าระดับการกันเสียงเพิ่มขึ้น ปริมาณเส้นใยส่งผลต่อสมบัติในการดูดกลืนเสียงของวัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์

4. วิธีดำเนินการวิจัย

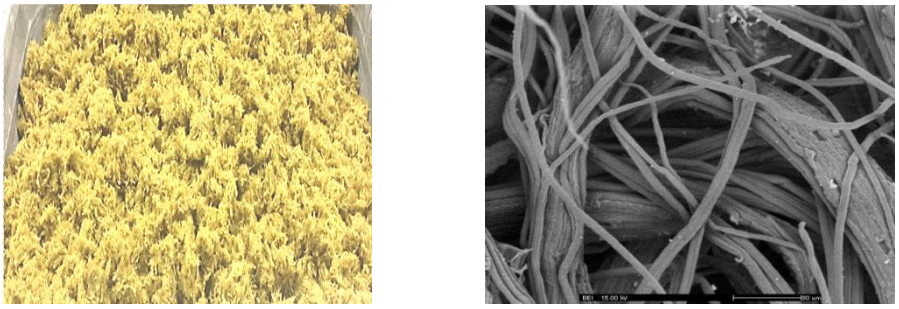
เตรียมขุยมะพร้าวแห้ง (ไม่ปั่น) คัดแยกด้วยตะแกรง 1 มิลลิเมตร เอาส่วนที่ลอดตะแกรงมาใช้ในงานวิจัย และฟางข้าวทำการปั่นด้วยเครื่องปั่นใบมีดความเร็วสูง คัดแยกผ่านตะแกรงเป็น 2 ช่วงขนาด 1-5 มิลลิเมตร และมากกว่า 5 มิลลิเมตร นำเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยฟางข้าวที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซค์และฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซค์ โดยการปรับปรุงเส้นใยฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ความเข้มข้นที่ 15 เปอร์เซ็นต์ แช่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดจนกว่าจะมีเป็นกลาง และนำไปอบอีกครั้งจนแห้งสนิท การขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบาจะนำปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ OPC ประเภทที่ 1 มาผสมกับน้ำ อัตราส่วนน้ำต่อปูนประมาณ 0.4-0.5 เทส่วนผสมลงแม่พิมพ์เหล็กขนาด 5 ซม x 5 ซม x 5ซม และขนาด 2 ซม x 2 ซม x 2 ซม อย่างละ 12 ชิ้นงาน/สูตรเพื่อใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลจากนั้นปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิห้อง 28 วัน การพิสูจน์เอกลักษณ์ของชิ้นงาน ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) ศึกษาความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) ศึกษาความต้านทานการกดอัดของชิ้นงาน (compressive strength) และทดสอบการนำความร้อน (thermal conductivity test)

5. ผลและวิจารณ์

รูปที่ 1 แสดงพื้นผิวของขุยมะพร้าวมีลักษณะเป็นเหลี่ยมและไม่กลมมนมีลักษณะเป็นแผ่นทับกันผิวเรียบพื้นที่ผิวสัมผัสมีมากพื้นผิวของขุยมะพร้าวจะเป็นเหลี่ยมและไม่กลมมนมีลักษณะเป็นแผ่นทับกันผิวเรียบพื้นที่ผิวสัมผัสมีมาก ในส่วนของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 15เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 2 พบว่าพื้นผิวของเส้นใยจะมีผิวหยาบและบางส่วนมีความขรุขระเนื่องจากโซเดียมไฮ- ดรอกไซด์ไปกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกมาทำให้ผิวของเส้นใยมีปริมาณของเซลลูโลสที่มากขึ้น ซึ่งเซลลูโลสมีหมู่ฟังชั่นไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีความชอบน้ำ (hydrophilic) จะช่วยในการยึดเกาะกันกับเฟสปูน

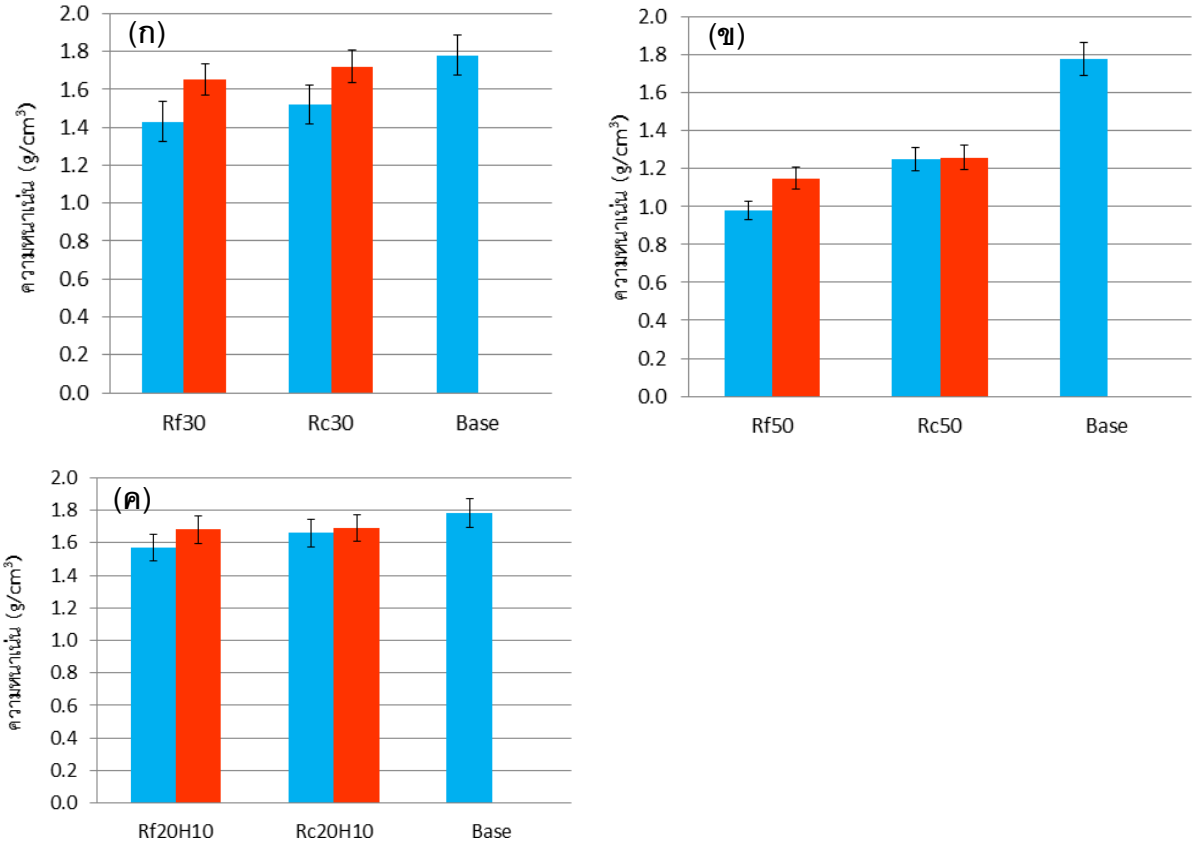


รูปที่ 1: ขุยมะพร้าวละเอียดและภาพ SEM ที่กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 2: ฟางข้าวละเอียดและภาพ SEM ที่กำลังขยาย 80 เท่า

กราฟแท่งในรูปที่ 3 แสดงค่าความหนาแน่นวลรวมของชิ้นงานคอนกรีตมวลเบาโดยที่สัญลักษณ์ R = ฟางข้าว, f = ละเอียด, c = หยาบ, H = ขุยมะพร้าว ชิ้นงานที่มีฟางข้าว 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรพบว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.43 g/cm^3 คือ ชิ้นงานที่มีเส้นใยฟางข้าวละเอียด 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชิ้นงานที่มีเส้นใยฟางข้าวละเอียด 50เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นชิ้นงานที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดของการใส่ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 0.98 g/cm^3 ส่วนชิ้นงานที่มีเส้นใยฟางข้าวปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ผสมขุยมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความหนาแน่นน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.57 g/cm^3 ชิ้นงานควบคุม (100 เปอร์เซ็นต์ ปูนซีเมนต์) มีความหนาแน่นเฉลี่ยมากกว่าชิ้นงานทุกสูตร (1.78 g/cm^3) ฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และกรดไขมัน ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทำให้ไปรบกวนปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของระบบปูน ปอร์ตแลนด์ทำให้การจับตัวกับเส้นใยธรรมชาติได้น้อยเกิดเป็นช่องว่าง (void) ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากส่งผลให้ความหนาแน่นน้อย นอกจากนี้คอนกรีตที่มีฟางข้าวหยาบจะมีแนวโน้มความหนาแน่นที่สูงกว่าชิ้นงานคอนกรีตที่มีฟางข้าวละเอียดเนื่องมาจากเส้นใยละเอียดจะกระจายแบบหลวมๆกับส่วนผสมปูนในระหว่างการขึ้นรูป ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยที่มีมากมาย ขณะเทคอนกรีตลงโมลเพื่อขึ้นรูปทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อวัสดุผสม



รูปที่ 3: ความหนาแน่นมวลรวมเฉลี่ยของชิ้นงานที่มีเส้นใยฟางข้าวผ่านการปรับปรุงเส้นใย (สีแดง) และไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย (สีฟ้า) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม (ปูนซีเมนต์ 100%) (ก) 30% ฟางข้าวโดยปริมาตร (ข) 50% ฟางข้าวโดยปริมาตร (ค) ฟางข้าว 20% ผสมขุยมะพร้าว 10% โดยปริมาตร

ข้อมูลตารางที่ 1 แสดงค่าการทดสอบรับแรงกดอัด ในชิ้นงานฟางข้าว 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าชิ้นงานที่มีค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงสุดคือ ชิ้นงานสูตรเส้นใยฟางข้าวละเอียดผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงสุดที่ 118.60 kg/cm^2 แต่มีค่าน้อยกว่าชิ้นงานควบคุมซึ่งไม่มีการเติมเส้นใยธรรมชาติ เมื่อนำชิ้นงานไปผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตมี

แนวโน้มที่สูงขึ้นอาจจะเนื่องมาจากมีการเร่งของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น สำหรับชิ้นงานฟางข้าว 50 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 28 วัน พบว่าชิ้นงานที่มีค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงสุดคือชิ้นงานสูตรที่มีฟางข้าวหยาบผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงสุดที่ 33.33 kg/cm^2 และชิ้นงานที่มีฟางข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับขุยมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 28 วัน พบว่าชิ้นงานที่มีค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงสุดคือชิ้นงานสูตรที่มีฟางข้าวละเอียดผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมขุยมะพร้าว มีค่ากำลังอัดคอนกรีตสูงสุดที่ 138.73 kg/cm^2 เนื่องจากขุยมะพร้าวจะทำหน้าที่เสริมแรงระหว่างเส้นใยฟางข้าวและเนื้อปูนซีเมนต์ โดยภาพรวมสรุปได้ว่าปริมาณฟางข้าวที่มากขึ้นส่งผลให้มีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ลดลง เนื่องจากมีปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งทำหน้าที่หลักในการรับแรงอัดและยึดเหนี่ยวเส้นใยไว้น้อยลงโดยซีเมนต์จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานวัสดุมวลรวมให้ยึดเกาะกัน [4]

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดและค่ากำลังอัดคอนกรีตจำเพาะของชิ้นงานคอนกรีตมวลเบา

ชนิดของชิ้นงาน	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีต (kg/cm^2)	ค่ากำลังอัดคอนกรีตจำเพาะ (kg/cm^2)/(g/cm^3)
URf30	10.00±0.00	6.99
URf40	0.40±0.00	0.30
URf50	0.40±0.00	0.41
URf20H10	24.88±6.33	15.85
URc30	0.40±0.00	0.26
URc40	0.40±0.00	0.28
URc50	6.67±2.31	5.34
URc20H10	42.28±14.52	25.47
TRf30	118.60±17.25	71.88
TRf40	27.47±2.20	19.62
TRf50	25.47±21.06	22.14
TRf20H10	138.73±19.13	82.58
TRc30	93.47±23.79	54.34
TRc40	32.27±4.69	21.66
TRc50	33.33±13.63	26.45
TRc20H10	97.33±19.86	57.59
Base	215.33±2.20	120.97

*หมายเหตุ U คือ เส้นใยธรรมชาติที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Untreated)
T คือ เส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Treated)
R คือ เส้นใยฟางข้าว (Rice straw)
H คือ ขุยมะพร้าว (Coconut husk)
f คือ เส้นใยละเอียด (Fine)
c คือ เส้นใยหยาบ (Coarse)
base คือ ชิ้นงานควบคุมที่ไม่มีการเติมเส้นใยธรรมชาติ

ตัวเลขต่อท้ายของชิ้นงานคือ % โดยปริมาตรของการเติมเส้นใยในระบบคอนกรีตในแต่ละสูตรทำการกดอัดชิ้นงานสูตรละ 5 ชิ้นงานเพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำไปคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)คอนกรีตมวลเบาในงานวิจัยนี้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาด 1 ฟุต x 1 ฟุต หนา 1 นิ้ว

ได้โดยปราศจากการแตกหักหลังแกะออกจากแม่พิมพ์เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงได้ โดยรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา 30 เปอร์เซ็นต์ฟางข้าว บ่มเป็นเวลา 28 วัน มีน้ำหนักที่เบากว่าชิ้นงานปูนซีเมนต์ 100 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4: ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา 30% ฟางข้าว บ่มเป็นเวลา 28 วัน

6. สรุปผล

ชิ้นงานคอนกรีตที่มีเส้นใยธรรมชาติผสมอยู่จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าชิ้นงานควบคุมที่มีเฉพาะปูนซึ่งเหมาะกับการนำพัฒนาเป็นคอนกรีตมวลเบา และชิ้นงานที่มีฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อปูนซีเมนต์มากกว่าชิ้นงานที่ฟางข้าวไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2559 (HERP 2559) ผ่านสถาบันวิจัยและพัฒนา ม.ศิลปากร เรื่อง การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากฟางข้าวและขุยมะพร้าวเหลือทิ้งทางการเกษตร และภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

8. บรรณานุกรม

[1] Abdullah, A., Jamaludin, S.B., Anwar, M.I., Noor M.M., Hussin K., “Assessment of Physical Mechanical Properties of Cement Panel Influenced by Treated and Untreated Coconut Fiber Addition,” Physics Procedia, (2011), 263-9.

[2] Asasutjarit C., Hirunlabh J., Khedari J., Charoenvai S., Zeghmati B., Shin U.C., “Development of coconut coir-based lightweight cement board,” Construction and Building Materials, (2007) 277-88.

[3] Lertwattanaruk P., and Masuwan K., “Investigation of Sound Insulation Properties of Fiber Cement Board Containing Natural Fibers,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม (2558) หน้า 82.

[4] Xie X., Zhou Z., Jiang M., Xu X.L., Wang Z., Hui D., “Influence of pretreatment of rice straw on hydration of straw fiber filled cement based composites,” Construction and Building Materials 113 (2016), 499-455