การประเมินคุณสมบัติคอนกรีตผสมวัสดุเหลือใช้และความคุ้มค่าสำหรับการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนาม

แดน อุตรพงษ์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
อีเมล์ : dan.a@chandra.ac.th

วันที่รับบทความ 17 ตุลาคม 2566
วันแก้ไขบทความ 25 ตุลาคม 2566
วันตอบรับบทความ 24 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางการออกแบบและการประเมินวัสดุคอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุหลักในการออกแบบผลิตเฟอร์นิเจอร์กลางแจ้ง โดยการผสมคอนกรีตกับเศษวัสดุเหลือใช้ประเภทขวดน้ำดื่มพลาสติกใสและโฟมแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกล ความคุ้มค่า และการลดต้นทุนก่อนการผลิตจริง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งออกได้ดังนี้ ด้านการออกแบบเพื่อความยั่งยืน ด้านวิศวกรรม และด้านวัสดุ เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติคอนกรีตที่ผสมเศษวัสดุที่ใช้แล้วโดยการนำมาทดแทนมวลรวมบางส่วน ด้วยวิธีการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) ผสมกับเศษวัสดุเหลือใช้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ ตัวอย่างมีค่าร้อยละ 5 และ 10 โดยสัดส่วนของมวลรวมทั้งหมด การวิเคราะห์คุณบัติทางกลในเบื้องต้นความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกและโฟมทดแทนมวลรวมบางส่วนในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 10 โดยสัดส่วนของมวลรวมทั้งหมด

ผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบและขึ้นรูปได้คือคอนกรีตที่ผสมพลาสติกกับโฟมร้อยละ 5 โดยสัดส่วนของมวลรวมทั้งหมดในระยะเวลาการบ่มที่ 14 และ 28 วัน เพราะมีกำลังที่มากที่สุดและค่ากำลังเสถียรที่สุด การพิจารณาค่าการรับกำลังอัดที่ทดสอบได้ให้เหมาะสมกับการรับกำลังอัดในงานออกแบบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์กลางแจ้งที่ไม่ต้องการแรงรับกำลังอัดสูงมาก ทำให้ต้นทุนของคอนกรีตผสมขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วลดลง คิดเป็นจำนวนเงินได้ 13.71 ถึง 27.40 บาทต่อการผลิตเฟอร์นิเจอร์สนาม 1 ชุด เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับแนวคิดด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนและการบริหารจัดการทรัพยากรตามหลัก 5Rs ภายในองค์กรการลดการใช้ (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) การแปรรูปมาใช้ใหม่ (recycle) การใช้ทรัพยากรแบบหมุนเวียน (renewable) และ การปฏิเสธการใช้ (refuse) ช่วยลดมลพิษลดการเกิดของเสียในวงจรผลิตภัณฑ์และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : เฟอร์นิเจอร์สนาม คอนกรีตผสม วัสดุเหลือใช้

Evaluating Concrete Mixed Waste Materials and Cost-Effectiveness in Primary stage of Outdoor Furniture Design

Dan Auttarapong
Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University
E – mail : dan.a@chandra.ac.th

Received 17 October 2023
Revised 25 October 2023
Accepted 24 November 2023

Abstract

This study focuses at the design and assessment criteria for sustainable concrete materials that can be used as the primary component in the production of outdoor furniture. In this study, recyclable materials plastic water bottle fragments and foam are mixed with concrete, and their mechanical properties, reliability, and cost-effectiveness before production.

The researchers reviewed the literature in the areas of sustainable engineering, design and materials. In order to analyse the properties of concrete mixed with recycled materials, used to partially replace some of the aggregate, two various proportions of Portland Cement (OPC) were blended with the recycled materials mixture with a value of 5 and 10 percent by total volume. The initial analysis examines the compressive strength between concrete mixed with plastic bottles and foam, not exceeding 10 percent of the total volume.

The results of the experiment revealed that concrete combined with plastic and foam at a volume percentage of 5 percent is an appropriate ratio to use in the production of prototypes and molds after curing for 14 and 28 days, concrete mixture exhibits promising attributes in terms of compressive strength and stability, suitable for outdoor furniture that doesn't necessitate exceptionally high levels of strength. This leads to a cost reduction in concrete production by utilizing recycled plastic bottles and foam, resulting in savings ranging from 13.71 to 27.4 baht per set for field furniture production, while simultaneously enhancing product value. Methodology that is consistent with the circular economy and the organization's resource management based on the 5Rs principle: reduce, reuse, recycle, renewable, and refuse. It helps reduce pollution, minimize waste generation in the product lifecycle, and promote sustainable environmental conservation, which is a significant goal in the country's long-term development.

Keywords : outdoor furniture, concrete mixture, waste materials

1. บทนำ

ปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจรวมถึงจำนวนประชากรที่มีอัตราการเติบโตสูงมากเพิ่มขึ้น และปัญหาที่ตามมาก็คือการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่มีอยู่จัดกัดอย่างสิ้นเปลืองและไม่คุ้มค่า จึงทำให้เกิดขยะส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงต้นทุนในการกำจัดขยะแนวโน้มจะมีมูลค่าสูงมากขึ้นจากอัตราค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Jones. 2020) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาภาครัฐบาลและภาคเอกชนได้คำนึงถึงความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อระบบเศษฐกิจและสิ่งแวดล้อม (Smith. 2019) จึงได้ส่งเสริมให้ใช้ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) เพื่อลดผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม โดยการให้ความสำคัญกับระบบอุตสาหกรรมที่มีการให้ความสำคัญกับระบบอุตสาหกรรมที่มีการวางแผนและกลยุทธ์ในการออกแบบเพื่อคืนชีวิตใหม่แก่วัสดุต่าง ๆ (Ellen MacArthur Foundation. 2012) ในวงจรผลิตภัณฑ์และเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน (sustainable development goals) ในกรอบความคิดที่มองการพัฒนาในมิติสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ให้มีความเชื่อมโยงกันได้ รวมถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่จะตอบสนองส ภาพสังคมหลังจากที่ทั่วโลกประสบปัญหาจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรน่า หรือ COVID-19 ตั้งแต่ปลายปี 2562 เป็นต้นมานักออกแบบควรเริ่มมาทบทวนและตระหนักถึงการออกแบบที่จะตอบสนองสภาพสังคม ตามที่กล่าวมาในข้างต้น จากสภาวการณ์ดังกล่าวมาในขั้นต้นนั้นทำให้บริบททางสังคมและการอยู่รวมกลุ่มกันของมนุษย์ก็มีการปรับตัวไปในรูปแบบต่างๆรวมถึงการเว้นระยะห่างทางสังคม การดำเนินชีวิตอย่างระมัดระวังตัวกันมากยิ่งขึ้น หลีกเลี่ยงที่จะอยู่ในพื้นที่ที่แออัด หรือจำกัดเช่นอาคารในร่ม ดังนั้นการใช้พื้นที่ลานกลางแจ้ง พื้นที่สาธารณะในการดำเนินกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันจึงมีความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ (World Health Organization. 2020) นักออกแบบจึงต้องคำนึงถึงกลยุทธ์ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์ที่หลากหลายตามวิถีของบริบททางสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับผลิตภัณฑ์ (user interaction) ด้วยการวางแผนและกระบวนการออกแบบที่ครอบคลุม เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของมนุษย์ (Clark et al. 2019) ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 การใช้พื้นที่กลางแจ้งและเฟอร์นิเจอร์สนาม

ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ใช้แนวคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อทำการทดสอบวัสดุหลักที่ใช้ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามด้วยคอนกรีตผสมกับเศษวัสดุเหลือใช้ในที่นี้ก็คือการนำเอาวัสดุขยะขวดน้ำดื่มพลาสติกใสและเศษโฟมเพื่อนำมาทดแทนมวลรวมบางส่วนด้วยอัตราส่วน 1:3:5 เพื่อปรับลดมวลรวมประเภทและทรายแทนที่โดยมวลรวมดังกล่าวในขั้นต้น หากคิดเป็นค่าร้อยละตามสูตรการผสมในอัตราส่วน 1:3:5

คือ มวลรวมหินและทรายร้อยละ 70 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ฟองอากาศร้อยละ 2 และน้ำร้อยละ 17 ในขั้นตอนของการทดสอบคือการนำเอาเศษวัสดุทั้ง 2 ชนิดไปทดแทนในส่วนมวลรวมหินและทรายแล้วนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นก่อนขึ้นรูปออกแบบเป็นเฟอร์นิเจอร์กลางแจ้ง การเพิ่มเส้นใย PET ในอัตราส่วนที่จำกัดจะไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของน้ำในส่วนผสมคอนกรีต เนื่องจาก PET ไม่ดูดซับน้ำเพราะมีพื้นผิวเรียบและธรรมชาติไม่ดูดซับน้ำ ทำให้มีการเสียดสีระหว่างอนุภาคน้อยลงในทางกลับกันรูปร่างเส้นพลาสติกที่ตรงและซิกแซกทำให้กำลังรับแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณเส้นพลาสติกมากขึ้นช่วยให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของโฟมเมื่อนำมาบดละเอียดแล้วนำมาผสมเพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนจะมีโครงสร้างจุลภาคของเซลล์ที่เป็นระบบกักเก็บอากาศได้ในระดับสูงพร้อมคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดี มีการสะสมพลังงานค่อนข้างต่ำระบายความร้อนได้ดี ความง่ายในการผลิตและการรื้อถอน และต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างต่ำอีกทั้งยังช่วยลดปัญหาขยะโฟมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (Smith et al. 2021) ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 วัสดุขยะขวดน้ำดื่มพลาสติกใสและเศษโฟม

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อประเมินคุณสมบัติคอนกรีตที่ผสมวัสดุเหลือใช้และความคุ้มค่าในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามเบื้องต้น

2.2 เพื่อวิเคราะห์ความเป็นได้ในการใช้งานคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วด้วยแนวคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน

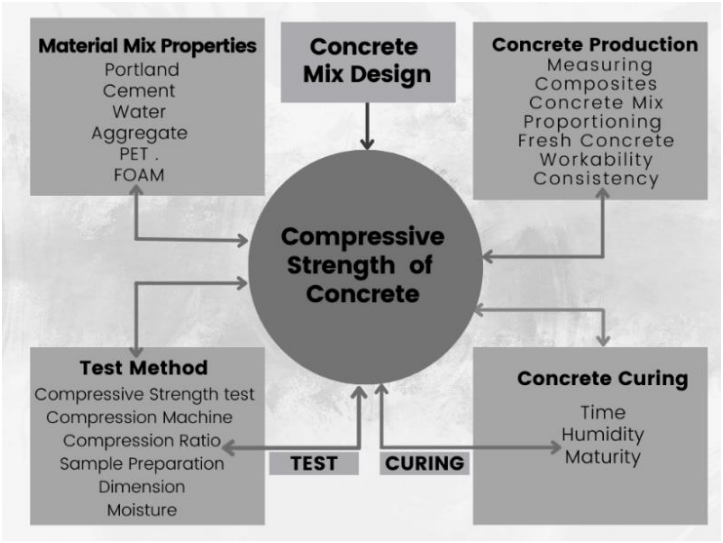
3. วิธีการวิจัย

3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การออกแบบกระบวนการเพื่อความยั่งยืนระหว่างผู้มีส่วนได้กับส่วนเสียรวมถึงการปรับเปลี่ยนกฎเกณฑ์ใหม่ในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจให้สอดคล้องกับมิติทางสังคม (Brown, H. S., & Weaver, P. M. 2018) รวมทั้งวิธีการสร้างแรงบันดาลใจให้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยแนวความคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนตลอดจนการดำเนินกิจกรรมการออกแบบเพื่อความยั่งยืน (eco design) ทั้งในแง่ของการปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและการทำลายผลิตภัณฑ์ (optimization of end-of-life) ลดการใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (reduction of low-impact materials) ลดปริมาณและชนิดของวัสดุที่ใช้ (reduction of materials used)

Johnson (2021) ในการทดสอบนี้ได้ใช้กระบวนการในการการออกแบบเชิงทดลองเกี่ยวกับส่วนผสมคอนกรีต (concrete mix design) เพื่อหาสัดส่วนมวลรวมและระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งตามปกติแล้วคอนกรีตผสมต้องพึ่งพามวลรวมตามธรรมชาติ เช่น หินและทรายเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม

แนวทางนี้มาพร้อมกับต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่สูญเสียไป (Smith et al. 2020) ดังนั้น แนวทางการผลิตต้นแบบเฟอร์นิเจอร์สนามได้ในการวิจัยนี้ได้แบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่สัดส่วนผสมของขวดน้ำพลาสติกกับโฟมที่ใช้แล้วทดแทนสัดส่วนมวลรวมระหว่างหินและทราย รวมถึงระยะเวลาการบ่มคอนกรีต (Gan et al. 2020) โดยใช้วิธีการออกแบบเชิงทดลองการคละส่วนผสมในปริมาณเท่าเท่ากัน 2 ชนิดและ 2 แบบให้เหมาะสมกับปริมาตรของมวลรวมในสูตการผสม 1:3:5 มวลรวมในปฏิภาคส่วนของคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตมีราคาถูก มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ คุณภาพดี และทำงานง่าย นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแยกตัวของคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมรวมถึงความสะอาดในการทำงาน เพื่อให้ได้คอนกรีตมีกำลังครอบคลุมกำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบเพื่อกำหนด (specified compressive strength) เป็นแนวทางการในการใช้ออกแบบคอนกรีตผสมกับเศษวัสดุเหลือใช้ในงานอกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามได้ นอกเหนือจากประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ส่วนผสมใหม่นี้อาจเพิ่มศักยภาพให้แก่ผู้ผลิตและสร้างความได้เปรียบทางเศรษฐกิจโดยการใช้วัสดุที่เหลือใช้โดยเฉพาะขวดพลาสติกและโฟมจะสามารถลดต้นทุนวัสดุได้อย่างมาก ส่งผลให้ส่วนผสมคอนกรีตนี้มีราคาไม่แพงกว่าคอนกรีตผสมทั่วไป (Chandra & Berntsson. 2019)



รูปที่ 3 แนวคิดการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตทดแทนมวลรวมบางส่วน

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การวิจัยนี้มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยโดยพื้นที่การทำวิจัยคือห้องปฏิบัติการและทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมสาขาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง อาคาร 12 ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร

3.2.2.1 กลุ่มตัวอย่างทดสอบแบ่งออกเป็นคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงของคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้ว การออกแบบก้อนคอนกรีตตัวอย่างในการทดสอบนี้คือขนาด 15x15x5 เซนติเมตร ซึ่งจะแตกต่างกับขนาดคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐานตามหลักการวิศวกรรมโยธาคือขนาด 15x15x15 เซนติเมตร เฉพาะในด้านความความสูงเมื่อเทียบกับสัดส่วนความหนาของเฟอร์นิเจอร์สนามที่นิยมใช้กันอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน อัตราส่วนการผสมมวลรวมทดแทนที่กำหนดไว้ 2 ประเภท คือคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมในปริมาณที่เท่าๆ กันทดแทนหินและทรายคิดเป็นร้อยละ 5 และร้อยละ 10 โดยคิดค่าร้อยละจากสูตรการผสมคอนกรีตในอัตราส่วน 1:3:5 คือ มวลรวมหินและทรายร้อยละ 70 ปูนซีเมนต์ร้อยละ

11 ฟองอากาศร้อยละ 2 และน้ำร้อยละ 17 ในขั้นตอนของการทดสอบคือการนำเอาเศษวัสดุทั้ง 2 ชนิดไปทดแทนในส่วนมวลรวมหินและทรายแล้วนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ขวดน้ำดื่มชนิดพลาสติกใส ขนาด 1.25 ลิตร 1.5 ลิตร และ 2 ลิตร โดยทำการย่อยหรือตัดให้มีขนาดประมาณ 1x1 เซนติเมตร และโฟมปั่นละเอียด หิน ทราย และ ปูน ผสมให้เข้ากันตามสัดส่วนที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) รวมจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำหนดไว้ ตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x5 เซนติเมตรจำนวน 32 ตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลและเก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักคอนกรีตที่มีผสมของเศษขวดน้ำพลาสติกและโฟมในระยะเวลาของการบ่มแบ่งเป็น 3 ระยะดังนี้ 7 14 และ 28 วัน

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 4 (ก) หินกรวด (ข) ทราย (ค) ปูน (ง) เศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมปั่นละเอียด

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 5 (ก) การประกอบแบบหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์
(ข) การถอดชิ้นงานคอนกรีตจากแบบหล่อ
(ค) ชิ้นงานทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x5 เซนติเมตร

3.2.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงของคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วทั้ง 2 ประเภทจากชิ้นงานคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x5 เซนติเมตร ทั้งหมด 32 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) โดยใช้เครื่องทดสอบวัสดุทางวิศวกรรม Universal Testing Machine – UTM ในการทดสอบดัง

แสดงในรูปที่ 6 (ข) เพื่อหาค่าการรับกำลังอัดที่เหมาะสมสำหรับการรับกำลังอัดในงานออกแบบขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์สนาม

(ก)

(ข)

รูปที่ 6 (ก) ชิ้นงานทรงลูกบาศก์ที่มีส่วนผสมมวลรวมทดแทนร้อยละ 5
(ข) เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine – UTM

(ก)

(ข)

รูปที่ 7 (ก) ชิ้นงานทรงลูกบาศก์ที่มีส่วนผสมมวลรวมทดแทนบางส่วนร้อยละ 10 ที่บ่ม 14 วัน
(ข) ชิ้นงานทรงลูกบาศก์ที่มีส่วนผสมมวลรวมทดแทนบางส่วนร้อยละ 5 ที่บ่ม 28 วัน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 หลังจากการทดสอบคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x5 เซนติเมตร ทั้งในแบบที่มีส่วนผสมทดแทนมวลรวมบางส่วนทั้ง 2 ค่าและระยะเวลาของการบ่มที่ 7 14 และ 28 วัน รวมทั้งหมด 32 รูปแบบ เพื่อประเมินผลการทดสอบเบื้องต้นด้วยการสังเกตด้วยตาเพื่อประเมินคุณลักษณะการเสียหายเนื่องจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะเกิดการเสียหายรูปทรงตามแสดงในภาพที่ 7 (ก) และ (ข) ระหว่างคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วร้อยละ 5 ที่บ่ม 14 วัน และร้อยละ 10 ที่บ่ม

28 วันตามลำดับซึ่งเป็นตัวอย่างของผลในการทดสอบ ซึ่งได้ผลการทดสอบชิ้นงานทั้งหมด 32 รูปแบบได้แสดงในตารางที่ 1 ถึง 2

ตารางที่ 1 ผลการสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบผสมพลาสติกและโฟมร้อยละ 5 เพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วน

อายุการบ่ม (วัน)	ปริมาณพลาสติก (กก.)	ปริมาณโฟม (กก.)	รหัส	น้ำหนักตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง	กำลังแรงอัด (กก./ซม2) / (กก.)	เฉลี่ย (กก./ซม2) / (กก.)
7วัน	5%	5%	1	3.46	15×15×5	72.68 / 16350	70.1825/ 15928.75
			2	3.57	15×15×5	65.70 / 15400	
			3	3.40	15×15×5	70.81 / 16125	
			4	3.38	15×15×5	71.54 / 15840	
14วัน	5%	5%	1	3.48	15×15×5	90.41 / 19345	95.35 / 19282.75
			2	3.45	15×15×5	98.21 / 18875	
			3	3.33	15×15×5	95.45 / 19154	
			4	3.02	15×15×5	97.33 / 19757	
28วัน	5%	5%	1	3.15	15×15×5	132.5 / 29820	119.5 / 26890
			2	3.24	15×15×5	108.9 / 24500	
			3	3.25	15×15×5	121.7 / 27390	
			4	3.39	15×15×5	114.9 / 25850	

ตารางที่ 2 ผลการสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบผสมพลาสติกและโฟมร้อยละ 10 เพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วน

อายุการบ่ม (วัน)	ปริมาณพลาสติก (กก.)	ปริมาณโฟม (กก.)	รหัส	น้ำหนักตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง	กำลังแรงอัด (กก./ซม2) / (กก.)	เฉลี่ย (กก./ซม2) / (กก.)
7วัน	10%	10%	1	3.65	15×15×5	69.35 / 15600	82.875 / 18645
			2	3.25	15×15×5	98.36 / 22130	
			3	3.36	15×15×5	82.53 / 18570	
			4	3.43	15×15×5	81.26 / 18280	
14วัน	10%	10%	1	3.25	15×15×5	75.13 / 16910	82.68 / 18607.5
			2	3.44	15×15×5	89.20 / 20070	
			3	3.46	15×15×5	100.8 / 22690	
			4	3.34	15×15×5	65.60 / 14760	
28วัน	10%	10%	1	3.51	15×15×5	114.7 / 25810	103.375 / 23255
			2	3.26	15×15×5	83.40 / 18760	
			3	3.65	15×15×5	114.3 / 25710	
			4	3.59	15×15×5	101.1 / 22740	

จากกตารางที่ 1 และ 2 พบว่าจากผลการทดสอบและประเมินคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตผสมเบื้องต้นได้ว่าคอนกรีตแบบผสมเศษพลาสติกและโฟมเพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 5 ในระยะเวลาของการบ่มที่ 28 วัน สามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตได้สูงที่สุดคือ 132.5 / 29820 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตได้ต่ำสุดที่ 69.35 / 15600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรในคอนกรีตแบบผสมพลาสติกและโฟมเพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 10 ในระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบกำลังกำลังแรงอัดเฉลี่ยคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วทั้ง 2 ชนิด

อายุการบ่ม	ปริมาณพลาสติกและปริมาณโฟมร้อยละ 5	ปริมาณพลาสติกและปริมาณโฟมร้อยละ 5	ค่าเบี่ยงเบน (ร้อยละ)
7 วัน	70.20	82.90	+17.1%
14 วัน	95.35	82.70	-17.3%
28 วัน	119.50	103.37	-3.37%

4.2. ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เมื่อได้ผลการวิเคราะห์และประเมินคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนทั้ง 2 ชนิด ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการนำเอาคอนกรีตผสมมาออกแบบเป็นชุดเฟอร์นิเจอร์สนาม พรปริญญา ปัญญาโกษา (2554) ได้นำเสนอข้อมูลสถิติเชิงสำรวจเรื่องต้นทุนการผลิตเฟอร์นิเจอร์สนามต่อ 1 ชุด โดยแยกเฉพาะวัตถุดิบหลักและปริมาณที่ใช้จะจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบกำลังกำลังแรงอัดเฉลี่ยคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วทั้ง 2 ชนิด

ผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	ต้นทุนวัตถุดิบ/ชุด
เฟอร์นิเจอร์สนาม	ปูน	50 กก.	50 กก.	145.00 บาท
	หิน	0.05 ลบ.ม.	550 ลบ.ม.	27.50 บาท
	ทราย	0.50 ลบ.ม.	493 ลบ.ม.	246.50 บาท
	รวม			**419.00 บาท**

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์สนามต่อ 1 ชุดนั้นหากเรานำผลการทดสอบนี้ไปใช้ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามก็จะสามารลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของวัตถุดิบประเภทมวลรวมหินและทรายต่อการผลิตเฟอร์เจอร์สนามได้ 13.71 ถึง 27.4 บาทต่อ 1 ชุด ในที่นี้ไม่ได้คำนวณรวมต้นทุนด้านอื่นๆ รวมถึงปัจจัยที่ใช้ในการผลิตเนื่องจากมีอัตราผันผวนและแปรไปตามสถานการณ์เศรษฐกิจที่ไม่แน่นอน อีกทั้งมูลค่าทางการตลาดของเฟอร์นิเจอร์สนามในท้องตลาดปัจจุบันมีราคาตั้งแต่ 2,500 ถึง 25,000 บาท ต่อ 1ชุด ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการออกแบบและวัสดุที่ใช้ในการตกแต่งเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

5. อภิปรายผลและสรุปผล

การสรุปข้อมูล การวิเคราะห์ และการประเมินผลในการทดลองนี้ได้ดำเนินการเพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเข้าใจและสามารถใช้ประโยชน์จากการวิจัยนี้ได้โดยการเปรียบเทียบในด้านประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของ

คอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้ว จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมในสัดส่วนของการผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมเพื่อทดแทนมวลรวมทั้ง 2 รูปแบบ สามารถนำมาใช้ในการใช้ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามได้ ความเหมาะสมกับการรับกำลังในแต่ละประเภทในอัตราที่มีการแปรผกผันกับระยะเวลาของการบ่มที่ 28 วัน ส่วนผสมทั้งแบบจะมีค่าเบี่ยงเบนในการรับแรงอัดน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการรับแรงอัด ในการนำเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมเพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนร้อยละ 5 สำหรับการออกแบบและขึ้นรูปต้นแบบเฟอร์นิเจอร์สนามให้ใช้งานได้จริง คอนกรีตผสมที่ได้จากการทดลองนี้ตามหลักการวิศวกรรมโยธาจะมีอัตราการรับแรงอัดคอนกรีตได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 119.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรทั้ง 3 ช่วงระยะเวลาของการบ่มที่ 7 14 และ 28 วัน การประเมินค่าการยุบตัวจากตัวอย่างในภาพที่ 7 (ก) และ (ข) จะสังเกตได้ว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดคือในอัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 5 เพราะในอัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 10 เกิดการยุบตัวและแตกร้าวส่งผลเสียหายต่อโครงสร้างโดยรวม ดังนั้นสัดส่วนของพลาสติกและโฟมที่ผสมเพิ่มมากขึ้นรวมถึงระยะเวลาของการบ่มที่น้อยจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงด้วย การนำเอาคอนกรีตที่ผสมเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วเพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนจะลดต้นทุนและปริมาณวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์สนามต่อ 1 ชุดได้ถึงร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 หรือคิดเป็นเงินได้ 13.71 ถึง 27.4 บาท ต่อการผลิตเฟอร์นิเจอร์สนาม 1 ชุด ดั้งนั้นการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามด้วยคอนกรีตที่ผสมขวดเศษน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้ว นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังเป็นแนวทางในการกำจัดขยะเหลือใช้ได้ด้วยแนวความคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ตลอดจนการดำเนินกิจกรรมการออกแบบอย่างสร้างสรรค์เพื่อความยั่งยืน และช่วยประหยัดงบประมาณของประเทศด้านการกำจัดขยะที่สูงถึงปีละ 20,000 ล้านบาท

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาขั้นต้นในการประเมินการออกแบบโดยนำส่วนประกอบหลักที่ใช้เป็นงานโครงสร้างเฟอร์นิเจอร์สนามโดยทั่วไป ในประเด็นที่จะนำผลการทดลองนี้ไปใช้กับการผลิตคอนกรีตผสมกับเศษวัสดุเหลือใช้เพื่อที่จะสามารถเป็นต้นแบบผลิตได้จริงและมีผลการรับแรงอัดที่ได้มาตรฐาน สามารถลดต้นทุนการผลิต ลดการใช้มวลรวมจากธรรมชาติแล้ว ยังควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่น่าจะมีผลกระทบต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต เช่น อัตราส่วนผสมน้ำที่เหมาะสมรวมถึงน้ำยาทางเคมีที่ใช้ในการผสมคอนกรีต การวิเคราะห์ปัจจัยมูลค่าทางการตลาดในด้านอื่นๆ เมื่อเทียบกับราคาและต้นทุนในการผลิตเฟอร์นิเจอร์สนามในปัจจุบัน เพื่อเป็นต้นแบบที่ตอบสนองภาพรวมต่อความคุ้มค่าทางเศรษกิจได้อย่างแท้จริง เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมรวมถึงการให้คำแนะนำปรึกษาในด้านต่างๆ จนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

พรปริญญา ปัญญาโกษา. 2554. **ต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตชุดโต๊ะม้าหินอ่อน อำเภอเมืองลำพูน.**(การค้นคว้าแบบอิสระบัญชีมหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Brown, H. S., & Weaver, P. M. (2018). “The social dimensions of sustainability and change in diversified farming systems”**. Sustainability Science**. 13(2) : 463-479.

Chandra, S., & Berntsson, L. (2019). **Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology, and Applications**. CRC Press.

Clark, J., Coleman, R., & Keates, S. (2019). **Inclusive Design: From Theories to Practices**. Routledge.

Ellen MacArthur Foundation. (2012). Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. [Online]. Available : **https://ellenmacarthurfoundation.org**. Retrieved May 9, 2023

Gan, S. W., Nazari, A., Leong, C. Y., Lim, S. Y., & Yap, S. P. (2020). "Strength properties of lightweight foamed concrete containing polyethylene terephthalate (PET) bottles aggregate". **Construction and Building Materials**. 246 : 118442.

Jones, D. (2020). **The Economics of Waste**. Routledge.

Johnson, R. (2021). Sustainable product design. In Handbook of Sustainable Engineering (pp. 175-196). Springer.[Online]. Available : **https://www.ellenmacarthurfoundation.org /assets/downloads/publications/TCE_Report-2012.pdf**. Retrieved May 9, 2023.

Smith, A. (2019). **Waste: A Philosophy of Things**. Bloomsbury Publishing.

Smith, B., Johnson, C., & Williams, D. (2021). **Sustainable Materials: With Both Eyes Open**. UIT Cambridge.

Smith, J., Gholampour, A., & Mahmud, M. A. P. (2020). "The Effects of Replacing Sand with Used Plastic in Concrete". **Environmental Processes**. 7(4) : 1117-1130.

World Health Organization. (2020). COVID-19 *:* Operational Guidance for Maintaining Essential Health Services during an Outbreak. [Online]. Available : **https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON229**. Retrieved May 9, 2023.

คุณค่าทางวิชาการ

การบูรณาการการออกแบบด้วยแนวความคิดระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ตลอดจนการดำเนินกิจกรรมการออกแบบเพื่อความยั่งยืน ด้วยการนำเศษขวดน้ำพลาสติกใสและโฟมที่ใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนนี้ไม่เพียงแต่จะจัดการกับข้อกังวลด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะเท่านั้น แต่ยังจะช่วยประหยัดต้นทุน ลดการใช้วัสดุจากธรรมชาติด้วยการวางแผนการออกแบบการทดลองเพื่อประเมินก่อนนำไปสู่การปฏิบัติตามหลักการทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้อง สำหรับงานด้านวิศวกรรมประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักในการรับแรงอัดตามที่ผลการทดลองนี้ได้ระบุ จะสามารถนำไปต่อยอดในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามได้อย่างคุ้มค่านอกเหนือจากประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ส่วนผสมใหม่นี้อาจมีศักยภาพในการสร้างความได้เปรียบทางเศรษฐกิจโดยการใช้วัสดุทดแทน กระตุ้นให้เกิดการสร้างสรรค์เพื่อผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ สามารถนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ได้อย่างเหมาะสมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรการผลิตและทำให้ทรัพยากรที่มีจำกัดได้นำมาใช้อย่างมีประโยชน์มากที่สุด การออกแบบเฟอร์นิเจอร์สนามที่ใช้วัสดุทดแทนนี้อาจมีผลต่อกลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความสนใจในการใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถสร้างความตระหนักในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างจำกัดและสร้างการรับรู้ในการใช้เศษวัสดุทดแทนนั้นย่อมเป็นทางเลือกที่ดีทั้งในแง่ของคุณภาพ มีคุณค่าทางเศรษฐกิจส่งเสริมและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน เป็นตัวอย่างในการส่งเสริมแนวทางการพัฒนาอาชีพเศร ษกิจสร้างสรรค์ให้แก่สังคม หรือกลุ่มธุรกิจที่ผลิตเฟอร์นิเจอร์สนามในประเทศไทย โดยใช้แนวคิดนี้ในการลดต้นทุนวัสดุในการผลิตและมีราคาไม่แพงกว่าคอนกรีตผสมทั่วไป