การศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของกระถางจากวัสดุทดแทน

The Study of the Appropriate Ratio between Substitute Materials and Adhesives for Molding with Pre-Made Molds, and Some Physical Properties of Pots Made from Substitute Materials

สถาพร เรืองรุ่ง[1*] นพรัตน์ เชื้อคำฮด[1] ชนากานต์ คูณแก้ว[1] ขวัญหทัย นาจารย์[1] และสุมาลิน ฝางคำ[1]

Sathaphorn Ruengrung[1*] Nopparat Chuakhamhod[1] Chanakarn Koonkaew[1]
Kwanhathai Nachan[1] and Sumalin Fangkham[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของกระถางจากวัสดุทดแทน และศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทน มีขั้นตอนการศึกษา 6 ขั้นตอน ตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา โดยศึกษาอัตราส่วนจำนวน 5 ชุดการทดลองระหว่างวัสดุทดแทน คือ กระดูกไก่ เปลือกไข่ไก่ และวัสดุประสาน คือ กาวซีเมนต์ ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ ได้แก่ ความแข็งแรง การดูดซับน้ำ การพองตัว และการดูดซับความร้อน และใช้แบบสอบถามในการศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทน ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูปสามารถขึ้นรูปได้ทั้ง 5 ชุดการทดลอง เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของกระถางจากวัสดุทดแทน โดยทดสอบความแข็งแรง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 3 4 และ 5 ปกติดี ส่วนชุดทดลองที่ 2 มีรอยร้าว 3 จุด การทดสอบการดูดซับน้ำ พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีค่าการดูดซับน้ำดีที่สุดเท่ากับ 27.14 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบการพองตัว พบว่าชุดการทดลองที่ 1 2 3 และ 5 มีค่าการพองตัวดีที่สุดเท่ากับ 6.25 เปอร์เซ็นต์ และการดูดซับความร้อน พบว่าชุดการทดลองที่ 3 มีการดูดซับความร้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 21.29 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นชุดการทดลองที่ 3 จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นกระถางต้นไม้จากวัสดุทดแทนมากที่สุด เนื่องจากมีความแข็งแรง มีการพองตัวดีที่สุด และมีการดูดซับความร้อนน้อยที่สุด

[1] กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนบ้านกุ่ม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3

[*] Corresponding author e-mail: win.physics.1996@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.65217/wichchajnstru.2023.v42i2.257824

Received: 4 February 2023, Revised: 21 March 2023, Accepted: 21 April 2023

เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นสินค้าของที่ระลึกดังผลการศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทนที่มีภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: กระถางจากวัสดุทดแทน กระดูกไก่ เปลือกไข่ไก่ สีธรรมชาติ สินค้าของที่ระลึก

Abstract

The purpose of this research is to study the appropriate proportion of substitute materials and adhesives for molding with pre-made molds, some physical properties of pots made from substitute materials, and user satisfaction with pots made from substitute materials. The study was conducted in 6 stages, following the steps of STEM education project approaches. The study examined 5 sets of experimental samples made from substitute materials, including chicken bones, chicken eggshells, and the adhesive which is cement glue. The physical properties studied included strength, water absorption, swelling, and heat absorption. The study also used a questionnaire to assess user satisfaction with pots made from substitute materials. The results showed that there is an appropriate ratio between substitute materials and cement glue for molding with pre-made molds, allowing the production of pots in all 5 experimental sets. The physical properties of pots made from substitute materials varied across experimental sets, with strength being normal in sets 1, 3, 4, and 5, but set 2 had 3 cracks; the best water absorption was found in set 2 at 27.14%, the best swelling was found in sets 1, 2, 3, and 5 at 6.25%, and the least heat absorption was found in set 3 at 21.29%. Therefore, experimental set 3 was found to be the most suitable for use as a plant pot due to its strength, low heat absorption, and good swelling properties. It is suitable for the growth of plants and could be marketed as a souvenir product due to the high user satisfaction rating towards pots made from substitute materials with excellent overall quality.

Keywords: Plant pot by substitute materials, Chicken bones, Chicken eggshells, Dye natural, Souvenirs supporting tourism

บทนำ

ผลกระทบของเศรษฐกิจไทยในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นการฟื้นตัวของอุปสงค์ภายในประเทศจากสถานการณ์ covid-19 ความยืดเยื้อของสถานการณ์ความขัดแย้งระหว่างรัสเซียและยูเครน ที่ส่งผลกระทบต่อราคาพลังงาน และสินค้าโภคภัณฑ์ ซึ่งส่งผ่านไปยังต้นทุนของภาคครัวเรือนและภาคธุรกิจ (สำนักนโยบายเศรษฐกิจมหภาค, 2565) ทำให้ราคาสินค้า พืชผัก มีราคาสูงขึ้น ดังนั้น

ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม BCG model ที่จะพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติ ไปพร้อมกัน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (bioeconomy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยเน้นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง เชื่อมโยงกับเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) คำนึงถึงการนำวัสดุต่าง ๆ กลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด และทั้ง 2 เศรษฐกิจนี้อยู่ภายใต้เศรษฐกิจสีเขียว (green economy) ซึ่งเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจที่ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการพัฒนาเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ต้องพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและการรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุลให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนไปพร้อมกัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2564) และปัญหาขยะในโรงเรียน คือ ปัญหาสำคัญในปัจจุบันจึงมีการส่งเสริม สนับสนุนการสร้างเครือข่ายสถานศึกษาที่ดำเนินกิจกรรม ลด คัดแยก และนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ การรวบรวมขยะเพื่อส่งไปกำจัดอย่างถูกต้อง ปลูกฝังจิตสำนึก การลด คัดแยกขยะ และนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในสถานศึกษา สร้างระบบการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมต่าง ๆ และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในการจัดการขยะภายในสถานศึกษา เพื่อมุ่งสู่สถานศึกษาปลอดขยะอย่างแท้จริงผ่านโครงการ zero waste school (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2562)

กระดูกสัตว์ประกอบด้วยสารประกอบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยสารอนินทรีย์จะพบร้อยละ 65 ของน้ำหนักรวมกระดูก ส่วนสารอินทรีย์พบร้อยละ 20 ของน้ำหนักรวมกระดูก และพบน้ำร้อยละ 10 ซึ่งส่วนของเนื้อพื้นกระดูกที่เป็นสารอินทรีย์ ประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน ทำให้กระดูกมีความแข็งแรงทนต่อแรงดึงได้ดี ขณะที่เนื้อพื้นของกระดูกที่เป็นสารอนินทรีย์ทำให้กระดูกทนต่อแรงกดอัด (รุ่งโรจน์, 2563) กระดูกสัตว์เผาเป็นเถ้าถ่านก็สามารถเป็นแหล่งฟอสฟอรัสให้กับพืชได้ โดยมีฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 15-23 (ทัศนีย์ และคณะ, 2556) และซากสัตว์ ผลพลอยได้จากโรงฆ่าสัตว์ ซากสัตว์เป็นปุ๋ยให้แก่พืชได้ ส่วนใหญ่จุลธาตุอาหารที่ได้จากซากสัตว์จะอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการที่พืชนำไปใช้ ในกระดูกสัตว์มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสอยู่สูงเป็นพิเศษจึงทำให้กระดูกป่นเป็นที่นิยมในการนำไปผสมกับเครื่องปลูกพืช (สำนักงานคณะกรรมพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.), 2564) และเปลือกไข่ไก่มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ผลึกแคลไซท์ (calcite) ของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และสารอินทรีย์ในปริมาณเล็กน้อย และมีการใช้ผงเปลือกไข่ไก่เป็นสารเติมแต่งอาหาร และใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุฉาบผนังอาคาร เปลือกไข่ไก่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก กระดาษ สี และวัสดุก่อสร้าง เช่น กระเบื้อง คอนกรีต เป็นต้น (วิมลลักษณ์ และคณะ, 2554) นอกจากเปลือกไข่ไก่จะมีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักแล้วยังมีสารอินทรีย์ เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และมีสารอนินทรีย์เปลือกไข่ไก่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น ปุ๋ย อาหารสัตว์ สารเคลือบ ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวดูดซับสารต่าง ๆ และวัสดุคอมโพสิต เป็นต้น (วรัญญา, 2563) ส่วนสีธรรมชาติที่ได้จากพืชเป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสีย้อมธรรมชาติ สกัดจากพืชโดยกรรมวิธีการหมัก การต้ม หรือกรรมวิธีทางเคมีในปริมาณเล็กน้อย สีย้อมเป็นสารเคมีที่มีสมบัติดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้ คือ อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-750 นาโนเมตร สีที่ปรากฏจะเป็นสีเติมเต็มของสีที่ถูกดูดกลืน สีย้อมธรรมชาติได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น สีจากเปลือกประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.) มีสีแดงส้ม มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 465.90 นาโนเมตร คือ ดูดกลืนแสงสีน้ำเงิน น้ำย้อมจึงมีสีแดงสมหรือสีแดงอิฐ (พรเพ็ญ และคณะ, 2551) สีจากเปลือกต้นตะคร้อ (*Schleichera oleosa* (Lour.)) สามารถนำมาใช้

ในการย้อมสี โดยสีที่ได้คือสีชมพูอมม่วง (ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม, 2555) และสีจากเปลือกมะม่วง (*Mangifera Indica* Linn.) น้ำย้อมสีจากเปลือกมะม่วงดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 469 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน น้ำย้อมจึงมีสีเหลือง (ระมัด, 2556) คุณสมบัติเฉพาะของสีย้อม เช่น ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมการตกสีหรือสีซีดจาง การเกาะติดบนเส้นใยชนิดต่าง ๆ และปฏิกิริยาต่อสารเคมีอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับกลุ่มของอะตอมที่มาเกาะอยู่กับโครงสร้างหลักของโมเลกุล (วิจิตร และพิมพ์ลภา, 2556)

ชุมชนบ้านกุ่มอยู่ในบริเวณที่ราบริมแม่น้ำโขงทางตอนใต้ของอุทยานแห่งชาติผาแต้ม ตำบลห้วยไผ่ อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี และบริเวณทางทิศเหนือของหมู่บ้าน มีลักษณะเป็นหน้าผาสูงชันที่มีความสวยงามตามธรรมชาติ และมีภาพเขียนสีก่อนประวัติศาสตร์เรียงรายอยู่ประมาณ 300 ภาพ เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดอุบลราชธานี มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากที่เดินทางมาเที่ยวชมตลอดทั้งปี ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงนำแนวคิดที่ได้จาก BCG model โครงการ zero waste school และบริบทที่อยู่ท่ามกลางธรรมชาติและแหล่งท่องเที่ยวมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ “กระถางจากวัสดุทดแทนกระดูกไก่ เปลือกไข่ไก่ ย้อมสีธรรมชาติ” โดยนำขยะที่เกิดจากการประกอบอาหารกลางวันในโรงเรียน คือ เปลือกไข่ไก่และกระดูกไก่ มาขึ้นรูปเป็นกระถางแล้วย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกไม้ตกแต่งด้วยลวดลายที่คล้ายคลึงกับภาพเขียนสีโบราณผาแต้ม และศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของกระถางจากวัสดุทดแทน ตลอดจนศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทนเพื่อพัฒนาเป็นสินค้าของที่ระลึกสนับสนุนการท่องเที่ยว และเป็นแนวทางในการสร้างรายได้เสริมให้คนในท้องถิ่น

วิธีดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา 6 ขั้นตอน (ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ, 2558; โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ (องค์การมหาชน), 2559; เครือศรี, 2562) ดังนี้

1. ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด

คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นศึกษาปัญหาในโรงเรียนบ้านกุ่ม ตำบลห้วยไผ่ อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี และได้พบว่าปัญหาขยะที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารกลางวันในโรงเรียนในแต่ละวันที่มีปริมาณมาก โดยเฉพาะกระดูกไก่ และเปลือกไข่ไก่ที่มีจำนวนมาก ส่วนในชุมชนก็มีความต้องการที่จะมีสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ และน่าสนใจมาวางจำหน่ายให้นักท่องเที่ยวนอกเหนือจากผลผลิตทางเกษตร คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์ “กระถางจากวัสดุทดแทนกระดูกไก่ และเปลือกไข่ไก่ ย้อมสีธรรมชาติ”

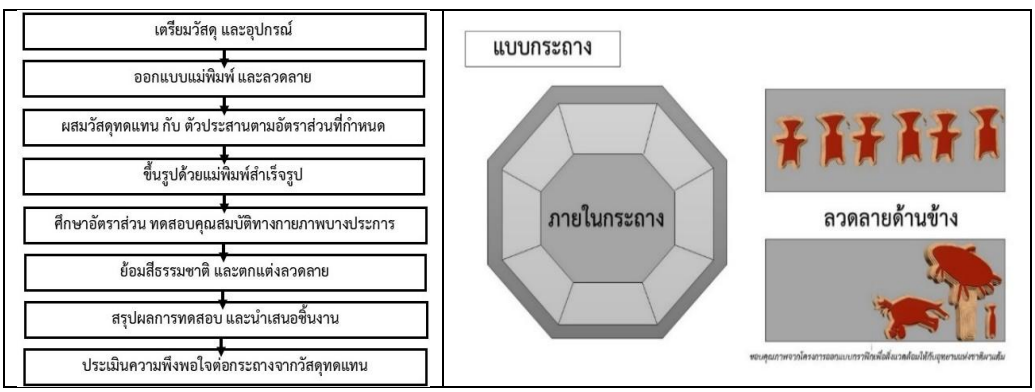
2. ขั้นรวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของกระดูไก่ เปลือกไข่ไก่ กาวซีเมนต์และสีย้อมธรรมชาติ และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเตรียมวัสดุทดแทน และการเตรียมสีธรรมชาติ โดยกำหนดและใช้วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ 1) วัสดุที่ใช้และตัวประสาน คือ เปลือกไข่ไก่ กระดูกไก่ และปูนกาวซีเมนต์ 2) วัสดุให้สีธรรมชาติ คือ เปลือกต้นประดู่ ต้นตะคร้อ และต้นมะม่วงป่า 3) อุปกรณ์ ได้แก่ ที่ตัก ถัง หม้อ ที่บดวัสดุทดแทน กะละมัง และถาด และ 4) เครื่องมือ

ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ไม้บรรทัด ตลับเมตร เวอร์เนียคาลิปเปอร์ เครื่องชั่งอย่างละเอียด และเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นแบบดิจิตอล

3. ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหาหรือพัฒนา

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอน และได้ออกแบบแม่พิมพ์และลวดลาย ดังภาพที่ 1 และกำหนดชุดการทดลองเป็น 5 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการแก้ไขหรือพัฒนา และแบบกระถางและลวดลาย

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของวัสดุทดแทนและตัวประสาน

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนของวัสดุทดแทนและตัวประสาน		
	กระดูกไก่	เปลือกไข่ไก่	ตัวประสาน
1	1.00	0.00	1.00
2	0.75	0.25	1.00
3	0.50	0.50	1.00
4	0.25	0.75	1.00
5	0.00	1.00	1.00
ชุดควบคุม	0.00	0.00	1.00

4. ดำเนินการแก้ไขปัญหาหรือพัฒนา

ได้ดำเนินการทำกระถางจากวัสดุทดแทน ดังนี้

4.1 ตวงวัสดุทดแทนและตัวประสานตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 แล้วนำมาผสมกันในถัง เติมน้ำ 1 ส่วน คนให้เข้ากัน และตักใส่แม่พิมพ์ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 1 วัน

4.2 ย้อมสีธรรมชาติและวาดภาพระบายสีตกแต่งลวดลายที่คล้ายคลึงกับภาพเขียนสีโบราณผาแต้ม

5. ทดสอบประเมินผลและปรับปรุง

5.1 ทดสอบความแข็งแรง

โดยนำกระถางจากวัสดุทดแทนไปทดสอบการกดทับด้วยอิฐบล็อก จำนวน 5 ก้อน (30 กิโลกรัม) บันทึกผลที่เกิดขึ้น (กัญจนาภรณ์ และอุบลวรรณ, 2564)

5.2 ทดสอบการดูดซับน้ำ

5.2.1 ชั่งมวลตัวอย่างกระถางจากวัสดุทดแทนก่อนแช่น้ำ บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

5.2.2 นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำมาชั่งมวลจนกระทั่งมวลคงที่ คำนวณมวลที่เพิ่มขึ้น แล้วคำนวณค่าการดูดซับน้ำของกระถางจากวัสดุทดแทน ดังสมการ (1) (วรรณวิภา และคณะ, 2561; จุฑามาศ, 2564)

$$\text{การดูดซับน้ำ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างกระถางก่อนแช่น้ำ - หลังแช่น้ำ}}{\text{มวลของตัวอย่างกระถางก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \qquad (1)$$

5.3 ทดสอบการพองตัว

5.3.1 วัดความหนาของตัวอย่างกระถางจากวัสดุทดแทนก่อนแช่น้ำ บันทึกค่าที่อ่านได้จากเวอร์เนียคาลิปเปอร์

5.3.2 นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำตัวอย่างกระถางขึ้นจากน้ำ และนำไปวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำ แล้วคำนวณค่าการพองตัว ดังสมการ (2) (วรรณวิภา และคณะ, 2561; จุฑามาศ, 2564)

$$\text{การพองตัว (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ความหนาของตัวอย่างกระถางก่อน - หลังแช่น้ำ}}{\text{ความหนาของตัวอย่างกระถางก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \qquad (2)$$

5.4 ทดสอบการดูดซับความร้อน

5.4.1 วัดอุณหภูมิของตัวอย่างกระถางจากวัสดุทดแทนก่อนนำไปตากแดด บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้นแบบดิจิตอล

5.4.2 นำไปตั้งไว้กลางแดดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิขณะหนึ่ง พร้อมบันทึกอุณหภูมิ แล้วจึงนำตัวอย่างกระถางเข้ามาที่อุณหภูมิห้องปกติ ตรวจวัดอุณหภูมิกระถางหลังตาก แล้วคำนวณการดูดซับความร้อนดังสมการ (3) (วรรณวิภา และคณะ, 2561)

$$\text{การดูดซับความร้อน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{อุณหภูมิของตัวอย่างกระถางก่อน - หลังตาก}}{\text{อุณหภูมิของตัวอย่างกระถางก่อนตาก}} \times 100 \qquad (3)$$

6. นำเสนอชิ้นงาน

6.1 คณะผู้วิจัยนำเสนอชิ้นงานในรูปแบบโครงงานวิทยาศาสตร์ รูปเล่มฉบับสมบูรณ์และแผ่นพับ ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 การนำเสนอชิ้นงาน

6.2 หลังจากคณะผู้วิจัยนำเสนอชิ้นงานเสร็จได้แจกแบบสอบถามความพึงพอใจให้กับกลุ่มลูกค้า ได้แก่ นักท่องเที่ยว คนในชุมชน ครู และนักเรียน ประเมินความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทน

6.3 ทำการวิเคราะห์หาชุดทดลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ ได้แก่ ความแข็งแรง การดูดซับน้ำ การพองตัว และการดูดซับความร้อน และผลจากการศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทน

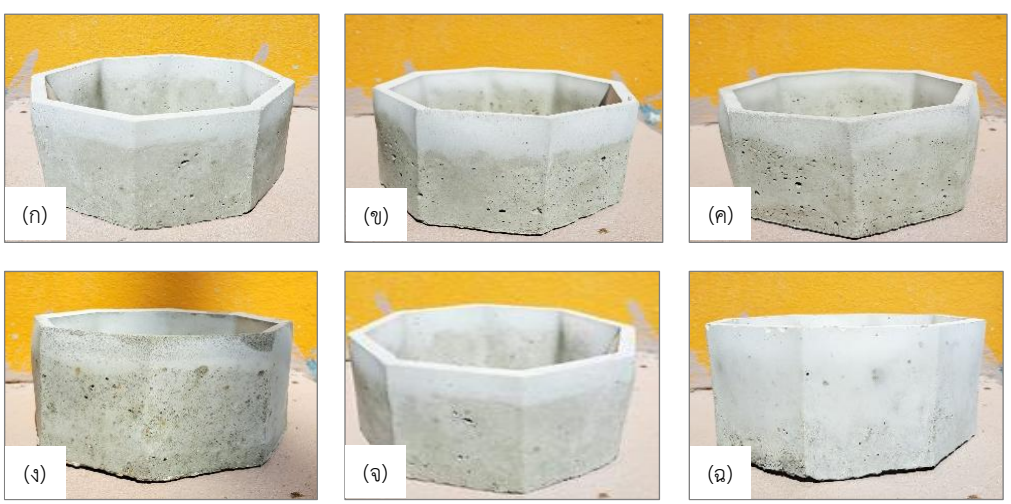
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป

ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูปจากอัตราส่วนจำนวน 5 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 1 ระหว่างวัสดุทดแทน คือ กระดูกไก่ ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตชนิดผลึก และเปลือกไข่ไก่ ที่มีองค์ประกอบของผลึกแคลไซท์ของแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถขึ้นรูปได้ทั้ง 5 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 2 และได้ลักษณะกระถางที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูปตามอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3 ก-จ) แปรผลตามวัสดุทดแทนที่ผสมลงไปซึ่งแตกต่างจากชุดควบคุม (ภาพที่ 3 ฉ) ที่มีลักษณะเป็นสีขาว ๆ

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสาน			ผลการขึ้นรูป	
	กระดูกไก่	เปลือกไข่ไก่	ตัวประสาน	มวลของกระถาง (กรัม)	ลักษณะที่เกิดขึ้น
1	1.00	0.00	1.00	750.00	ขึ้นรูปได้
2	0.75	0.25	1.00	700.00	ขึ้นรูปได้
3	0.50	0.50	1.00	750.50	ขึ้นรูปได้
4	0.25	0.75	1.00	900.00	ขึ้นรูปได้
5	0.00	1.00	1.00	855.00	ขึ้นรูปได้
ชุดควบคุม	0.00	0.00	1.00	800.00	ขึ้นรูปได้

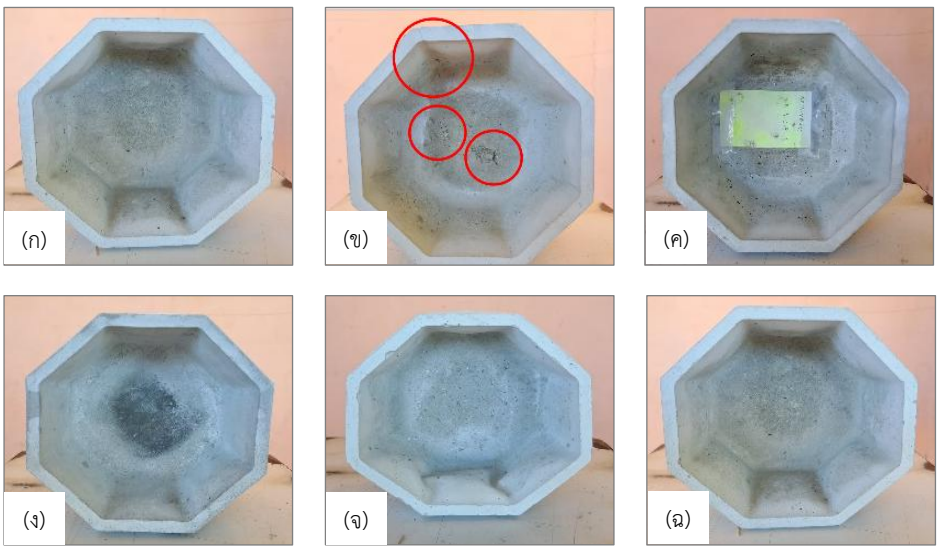


ภาพที่ 3 กระถางที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูปตามอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสาน ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1 (ก) ชุดการทดลองที่ 2 (ข) ชุดการทดลองที่ 3 (ค) ชุดการทดลองที่ 4 (ง) ชุดการทดลองที่ 5 (จ) และชุดควบคุม (ฉ)

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของกระถางจากวัสดุทดแทน

2.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงของกระถางจากวัสดุทดแทน

การทดสอบความแข็งแรงของกระถางจากวัสดุทดแทน โดยนำอิฐบล็อก จำนวน 5 ก้อน ก้อนละ 6 กิโลกรัม (มวลรวมทั้งหมด 30 กิโลกรัม) มาวางบนกระถางทีละก้อน พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีรอยร้าว 3 จุด (ภาพที่ 4 ข) ส่วนชุดทดลองอื่น ๆ ปกติดี (ภาพที่ 4 ก ค ง จ ฉ) ทั้งนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณของกระดูกไก่เยอะที่สุด ดังอัตราส่วนของกระดูกไก่ เปลือกไข่ไก่ และตัวประสาน เท่ากับ 0.75 : 0.25 : 1.00 (ตารางที่ 3) ทำให้มีช่องว่างของเนื้อกระถางมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ



ภาพที่ 4 กระถางที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรง จากชุดการทดลองที่ 1 (ก) ชุดการทดลองที่ 2 (ข) ชุดการทดลองที่ 3 (ค) ชุดการทดลองที่ 4 (ง) ชุดการทดลองที่ 5 (จ) และชุดควบคุม (ฉ)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแข็งแรงของกระถางจากวัสดุทดแทน

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสาน			ผลที่เกิดขึ้น
	กระดูกไก่	เปลือกไข่ไก่	ตัวประสาน	
1	1.00	0.00	1.00	ปกติดี
2	0.75	0.25	1.00	มีรอยร้าว 3 จุด
3	0.50	0.50	1.00	ปกติดี
4	0.25	0.75	1.00	ปกติดี
5	0.00	1.00	1.00	ปกติดี
ชุดควบคุม	0.00	0.00	1.00	ปกติดี

2.2 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของกระถางจากวัสดุทดแทน

ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของกระถางจากวัสดุทดแทน พบว่าค่าการดูดซับน้ำของกระถางจากวัสดุทดแทนอยู่ในช่วง 11.11-27.14 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4 โดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่าการดูดซับน้ำดีที่สุดเท่ากับ 27.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 1 3 5 และ 4 มีค่า 25.33 23.25 16.96 และ 11.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนของกระดูกไก่ : เปลือกไข่ไก่ : ตัวประสาน เท่ากับ 0.75 : 0.25 : 1.00 ซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำของกระถางจากวัสดุทดแทนที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ เนื่องจากมีช่องว่างของเนื้อกระถางมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ และสูงกว่าชุดควบคุม (ตัวประสานอย่างเดียว)

ตารางที่ 4 การดูดซับน้ำของกระถางจากวัสดุทดแทน

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสาน			มวลก่อนแช่น้ำ (กรัม)	มวลหลังแช่น้ำ (กรัม)	การดูดซับน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
	กระดูกไก่	เปลือกไข่ไก่	ตัวประสาน			
1	1.00	0.00	1.00	750.00	940.00	25.33
2	0.75	0.25	1.00	700.00	890.00	27.14
3	0.50	0.50	1.00	750.50	925.00	23.25
4	0.25	0.75	1.00	900.00	1000.00	11.11
5	0.00	1.00	1.00	855.00	1000.00	16.96
ชุดควบคุม	0.00	0.00	1.00	800.00	950.00	18.75

2.3 ผลการทดสอบการพองตัวของกระถางจากวัสดุทดแทน

ผลการทดสอบการพองตัวของกระถางจากวัสดุทดแทน พบว่าค่าการพองตัวของกระถางจากวัสดุทดแทนอยู่ในช่วง 5.88-6.25 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5 และพบว่าชุดการทดลองที่ 4 มีอัตราส่วนของกระดูกไก่ : เปลือกไข่ไก่ : ตัวประสาน เท่ากับ 0.25 : 0.75 : 1.00 มีค่าการพองตัวต่ำกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ แต่สูงกว่าชุดควบคุม (ตัวประสานอย่างเดียว) และการพองตัวของกระถางที่มีค่าอยู่ในช่วง 5.88-6.25 เปอร์เซ็นต์ อาจเกิดจากวัสดุทดแทน คือ กระดูกไก่และเปลือกไข่ไก่ที่มีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างหรืองานคอนกรีตได้ เมื่อบดเป็นผงทำให้มีการพองตัวไม่มากนัก

ตารางที่ 5 การพองตัวของกระถางจากวัสดุทดแทน

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสาน			ความหนาก่อนแช่น้ำ (เซนติเมตร)	ความหนาหลังแช่น้ำ (เซนติเมตร)	การพองตัว (เปอร์เซ็นต์)
	กระดูกไก่	เปลือกไข่ไก่	ตัวประสาน			
1	1.00	0.00	1.00	0.80	0.85	6.25
2	0.75	0.25	1.00	0.80	0.85	6.25
3	0.50	0.50	1.00	0.80	0.85	6.25
4	0.25	0.75	1.00	0.85	0.90	5.88
5	0.00	1.00	1.00	0.80	0.85	6.25
ชุดควบคุม	0.00	0.00	1.00	0.75	0.79	5.33

2.4 ผลการทดสอบการดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทน

ผลการทดสอบการดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทน พบว่าค่าการดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทนอยู่ในช่วง 21.29-25.60 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 6 โดยชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนของกระดูกไก่ : เปลือกไข่ไก่ : ตัวประสาน เท่ากับ 0.50 : 0.50 : 1.00 มีค่าการดูดซับความร้อนน้อยที่สุด และชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนของกระดูกไก่ : เปลือกไข่ไก่ : ตัวประสาน เท่ากับ 0.00 : 1.00 : 1.00 มีค่าการดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทนที่สูงกว่า

อัตราส่วนอื่น ๆ แต่ยังต่ำกว่าชุดควบคุม (ตัวประสานอย่างเดียว) ซึ่งการดูดซับความร้อนของกระถางมากหรือน้อยอาจเกิดจากสีของผิวกระถาง

ตารางที่ 6 การดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทน

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสาน			อุณหภูมิก่อนตากแดด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิหลังตากแดด (องศาเซลเซียส)	การดูดซับความร้อน (เปอร์เซ็นต์)
	กระดูกไก่	เปลือกไข่ไก่	ตัวประสาน			
1	1.00	0.00	1.00	25.00	30.90	23.60
2	0.75	0.25	1.00	25.50	31.20	22.35
3	0.50	0.50	1.00	26.30	31.90	21.29
4	0.25	0.75	1.00	25.50	31.70	24.31
5	0.00	1.00	1.00	25.00	31.40	25.60
ชุดควบคุม	0.00	0.00	1.00	25.70	32.60	26.85

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทน

ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มลูกค้า ได้แก่ นักท่องเที่ยว คนในชุมชน ครู และนักเรียน ต่อกระถางจากวัสดุทดแทนย้อมสีธรรมชาติ พบว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (mean±SD = 4.27±0.49) โดยรายการประเมินที่ 10 สามารถเป็นสินค้าที่ระลึกได้ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (mean±SD = 4.80±0.41) และรายการประเมินที่ 9 สามารถทำเองได้ง่าย มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (mean±SD = 3.65±0.49)

ตารางที่ 7 ความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทน

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
1. ใช้วัสดุอย่างคุ้มค่า	4.10	0.55	มาก
2. ใช้ต้นทุนน้อย	4.30	0.47	มากที่สุด
3. ใช้งานสะดวก	4.35	0.49	มากที่สุด
4. สวยงามและดูดี	4.55	0.51	มากที่สุด
5. แข็งแรงและทนทาน	4.30	0.47	มากที่สุด
6. สามารถสร้างรายได้เพิ่ม	4.40	0.50	มากที่สุด
7. ลดการใช้พลาสติก	4.20	0.41	มาก
8. มีขนาดที่เหมาะสม	4.05	0.60	มาก
9. สามารถทำเองได้ง่าย	3.65	0.49	มาก
10. สามารถเป็นสินค้าที่ระลึกได้	4.80	0.41	มากที่สุด
รวม	**4.27**	**0.49**	**มากที่สุด**

การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ทั้ง 5 ชุดการทดลอง เนื่องจากวัสดุทดแทนเปลือกไข่ไก่ที่มีองค์ประกอบของผลึกแคลไซท์ของแคลเซียมคาร์บอเนต (พิไลพร และคณะ, 2565) และกระดูกไก่ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตชนิดผลึก (รุ่งโรจน์, 2563) สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง หรืองานคอนกรีต เมื่อบดเป็นผง สามารถใช้ทดแทนหิน ทราย และลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ได้ จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ทั้งหมด ในส่วนผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ โดยการทดสอบความแข็งแรง การดูดซับน้ำ การพองตัว และการดูดซับความร้อน มีข้อสังเกตจากผลการศึกษา ดังนี้ ด้านความแข็งแรง พบว่าเมื่อนำกระถางจากวัสดุทดแทนไปทดสอบการกดทับด้วยอิฐบล็อก จำนวน 5 ก้อน (30 กิโลกรัม) พบว่าชุดการทดลองที่ 1 3 4 และ 5 ปกติดี ส่วนชุดทดลองที่ 2 มีรอยร้าว 3 จุด แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ 1 3 4 และ 5 มีความแข็งแรงสามารถนำมาใช้งานได้ ด้านการดูดซับน้ำ พบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีค่าการดูดซับน้ำดีที่สุดเท่ากับ 27.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 1 3 5 และ 4 ตามลำดับ มีค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 25.33 23.25 16.96 และ 11.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลข้างต้นคณะผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของกระดูกไก่เพิ่มขึ้น เห็นได้จากอัตราส่วนของวัสดุทดแทนของชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของจุฑามาศ (2564) ที่พบว่าหากผสมวัสดุทดแทนกากตะกอนยางพาราเพียงอย่างเดียว ทำให้ลักษณะโครงสร้างของกระถางมีผิวที่ขรุขระ เกิดรอยแตก ทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยลง ดังนั้นควรมีวัสดุทดแทนอย่างอื่นมาผสมเพื่อทำให้กระถางมีค่าการดูดซับน้ำดีขึ้น เพราะการกักเก็บน้ำของกระถางทำให้ประหยัดน้ำในการรดต้นไม้ ซึ่งคือข้อดีของการดูดซับน้ำ แต่จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของกระถางลดลง เนื่องจากการกักเก็บน้ำในปริมาณมาก จะทำให้ความแข็งแรงของกระถางน้อยลง (ปัญญา และพิทยา, 2553) ด้านการพองตัว พบว่าชุดการทดลองที่ 1 2 3 และ 5 มีค่าการพองตัวดีที่สุดเท่ากับ 6.25 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 4 มีค่าการพองตัวเท่ากับ 5.88 เปอร์เซ็นต์ จากผลข้างต้นคณะผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าการพองตัวของกระถางจากวัสดุทดแทนไม่แตกต่างกันมากและมีเปอร์เซ็นต์การพองตัวต่ำ เนื่องจากวัสดุทดแทนที่นำมาใช้มีความละเอียด เป็นผง และแนบชิดกัน เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อผสมกับตัวประสาน ซึ่งการพองตัวเกิดจากการที่มีช่องว่างของเนื้อกระถางทำให้น้ำสามารถเข้าไปแทรกอยู่ในตัวกระถางได้ จนเกิดการดันตัวของวัสดุทดแทนออกมาทำให้เกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวรรณวิภา และคณะ (2561) ที่ทดสอบการพองตัวของกระถาง แล้วทำให้ทราบว่าวัสดุทดแทนมีช่องว่างอยู่ที่สามารถทำให้น้ำแทรกเข้าไปอยู่ในชิ้นส่วนของกระถางได้จนเกิดการพองตัว ทำให้กระถางจากวัสดุทดแทนสามารถระบายอากาศได้ดี ไม่อับชื้น ส่งผลต่อสุขภาพที่ดีของพืชที่ปลูก (กันยารัตน์ และคณะ, 2564) และสอดคล้องกับการศึกษาของเลอพงศ์ และพรฤดี (2553) ที่สร้างบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสีย และแตกต่างกับการศึกษาของจุฑามาศ (2564) ที่ผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะลายปาล์มที่มีเปอร์เซ็นต์การพองตัวสูงเนื่องจากใช้วัสดุที่มีช่องว่างมาก และด้านการดูดซับความร้อน พบว่าชุดการทดลองที่ 5 มีการดูดซับความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 25.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 4 1 2 และ 3 มีค่าการดูดซับความร้อน

เท่ากับ 24.31 23.60 22.35 และ 21.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลข้างต้นคณะผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าการดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทนไม่แตกต่างกันมาก และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความร้อนต่ำ และอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ทั้งนี้อาจเกิดจากสีวัสดุทดแทนและตัวประสานที่มีสีออกขาว ๆ (อิสริยาภรณ์, 2563) ซึ่งความสำคัญของการดูดซับความร้อนของกระถางมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของกระถางจากวัสดุทดแทนมีอุณหภูมิสูงเกินระดับความเหมาะสมจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (เกษศินี และคณะ, 2564) จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 3 เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นกระถางต้นไม้ เนื่องจากมีความแข็งแรง มีการพองตัวดีที่สุด และมีการดูดซับความร้อนน้อยที่สุด เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการใช้เป็นผลิตภัณฑ์สินค้าของที่ระลึก สอดคล้องกับผลการศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทนที่มีภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัสดุทดแทนและวัสดุประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์สำเร็จรูป สามารถขึ้นรูปได้ทั้ง 5 ชุดการทดลอง ผลการศึกษาคุณสมบัติบางประการของกระถางจากวัสดุทดแทน พบว่าชุดทดลองที่ 2 มีรอยร้าว 3 จุด แต่มีข้อดีคือมีการดูดซับน้ำที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ส่วนชุดการทดลองที่ 4 มีค่าการพองตัวที่ต่ำกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ และชุดการทดลองที่ 5 มีค่าการดูดซับความร้อนของกระถางจากวัสดุทดแทนที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ แต่ยังต่ำกว่าชุดควบคุม (ตัวประสานอย่างเดียว) และอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าชุดการทดลองที่ 1 3 4 และ 5 เหมาะสมที่จะนำมาสร้างกระถางจากวัสดุทดแทนได้ แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 3 เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นกระถางต้นไม้มากที่สุด เนื่องจากมีความแข็งแรง มีการพองตัวดีที่สุด และมีการดูดซับความร้อนน้อยที่สุด เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการใช้เป็นผลิตภัณฑ์สินค้าของที่ระลึกสอดคล้องกับผลการศึกษาความพึงพอใจต่อกระถางจากวัสดุทดแทนที่มีภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นางพิศมัย แก้วเชื้อ ผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านกุ่ม นางจีรัสย์ พุทธิประไพพงษ์ รองผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านกุ่ม และคณะครูโรงเรียนบ้านกุ่มทุกท่านที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ และให้คำแนะนำด้านปัญหาวิจัยและการดำเนินงาน รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2562). *โรงเรียนปลอดขยะ (zero waste school)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กัญจนาภรณ์ เจริญผล และอุบลวรรณ สุวรรณภูสิทธิ์. (2564). การสร้างและหาประสิทธิภาพถาดปลูกพืชจากมูลช้าง. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์,* 6(2), 52-64.

กันยารัตน์ ขาพงศ์ ธนายุธ บังเมฆ และวรัญชลี คณารัตน์. (2564). ระบบกระถางต้นไม้ที่สามารถรับรู้สุขภาพของต้นไม้ที่มีส่วนต่อประสานผู้ใช้ที่เข้าใจง่าย. *การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม (มหาวิทยาลัยแม่โจ้) ครั้งที่ 2*. เชียงใหม่.

เกษศินี สิทธิวงศ์ ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน และ Haruo, S. (2564). อิทธิพลของมุมทิศและสีกระถางต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวกระถางและวัสดุปลูก. *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5.* กรุงเทพฯ.

เครือศรี วิเศษสุวรรณภูมิ. (2562). *เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน SATIT PSU STEM INNOVATION*. ปัตตานี: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จุฑามาศ แก้วมณี. (2564). การผลิตกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากกากตะกอนโรงงานยางพาราร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ดและทะลายปาล์ม. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1), 84-93.

ทัศนีย์ แก้วมรกฎ จำเป็น อ่อนทอง และอัจฉรา เพ็งหนู. (2556). องค์ประกอบและการปลดปล่อยธาตุอาหารของเศษหอมแดง มูลแพะ และกระดูกโคเผาป่น. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา,* 8(2), 130-145.

ปัญญา หลักงาม และพิทยา ทองย้อย. (2553). การศึกษาและพัฒนากระถางเพาะไม้ประดับจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พรเพ็ญ โชชัย ระมัด โชชัย และเมทินี ทวีผล. (2551). การพัฒนาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ : กรณีศึกษาการย้อมสี เส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมเปลือกมะพร้าวและเปลือกประดู่ของชุมชนในเขตตำบลนาบ่อคำ อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร. *สักทอง,* 14(2), 26-45.

พิไลพร หนูทองคำ ประภัสสร จุลบุตร์ และประสบพร จุลบุตร. (2565). ผลของคลื่นไมโครเวฟต่อโครงสร้างทางเคมีกายภาพของเปลือกไข่ไก่. *วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,* 41(2), 28-40.

ระมัด โชชัย. (2556). การย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากใบและเปลือกต้นมะม่วงสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัว. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่,* 5(4), 116-127.

รุ่งโรจน์ ปิยะภานุวัตน์. (2563). การศึกษาสมบัติของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยเพื่อใช้เป็นวัสดุทางชีวภาพ. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ (องค์การมหาชน). (2559). *การจัดสะเต็มศึกษาในโรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ (องค์การมหาชน)*. สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2565, จาก: https://stem.mwit.ac.th/stem-driving/.

เลอพงศ์ จารุพันธ์ และพรฤดี สงวนสุข. (2553). บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสีย. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณวิภา ไชยชาญ วีระศักดิ์ ไชยชาญ และเอนก สาวะอินทร์. (2561). กระถางเพาะชำจากกากกาแฟปูนขาวจากเปลือกหอย และขี้เลื่อยไม้ยางพารา. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

วรัญญา ธารเลิศ. (2563). *การพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์แตกสลายได้ทางชีวภาพที่มีองค์ประกอบของเปลือกไข่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิจิตร เชาว์วันกลาง และพิมพ์ลภา ปาสาจะ. (2556). การศึกษาสารสกัดจากธรรมชาติในการย้อมผ้าฝ้าย. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และนิธินาถ ศุภกาญจน์. (2554). การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิทจากเปลือกไข่ไก่. *รายงานวิจัย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม. (2555). *บักค้อ (ลูกตะค้อ)*. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2565, จาก: http://m-culture.in.th/album/168493.

ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ. (2558). *คู่มือเครือข่ายสะเต็มศึกษา*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สำนักงานคณะกรรมพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.). (2564). *การศึกษาชนิดของเศษวัสดุที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมัก*. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2565, จาก: https://www.rdpb.go.th/MediaUploader/File/11255/%81.pdf.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2564). *BCG economy model*. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2565, จาก: https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/what-is-bcg-economy-model/.

สำนักนโยบายเศรษฐกิจมหภาค. (2565). *ประมาณการเศรษฐกิจไทยปี 2565*. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2565, จาก: https://www.mof.go.th/th/view/attachment/file/.pdf.