การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุที่สามารถรีไซเคิล ด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

Development of community products from recycled wastes with a circular economy approach

วรินธร บุญยะโรจน์
ศิริชัย สาระมนัส
จิระศักดิ์ ธาระจักร์

งานวิจัยได้รับการจัดสรรงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุที่สามารถรีไซเคิลด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

ผู้วิจัย วรินธร บุญยะโรจน์
ศิริชัย สาระมนัส
จิระศักดิ์ ธาระจักร์

ปีที่ทำวิจัย พ.ศ. 2566

บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุที่สามารถรีไซเคิลด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุรีไซเคิลโดยการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน และเพื่อพัฒนาคุณสมบัติที่เหมาะสมของต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุรีไซเคิล โดยแต่เดิมหากเรานำกระดาษใช้แล้วสองหน้าไปขายยังร้านรับซื้อของเก่าจะมีมูลค่าไม่มาก แต่หากนำมาเพิ่มมูลค่าโดยการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจะสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับชิ้นงานและสร้างรายได้ให้กับชุมชนในอนาคตได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับสภาพเยื่อกระดาษด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้เยื่อกระดาษมีความอ่อนนุ่ม จากนั้นทำให้มีขนาดเล็กโดยการปั่นบดและย่อยเยื่อกระดาษ จากนั้นนำมาขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบและจัดทำเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนในรูปแบบต่างๆ เช่น กระดาษสาเทียม ที่ติดหลังโทรศัพท์มือถือ ที่วางโทรศัพท์มือถือแบบกลม ที่วางโทรศัพท์มือถือแบบเหลี่ยม และแจกันหกเหลี่ยม โดยชิ้นงานต้นแบบผลิตภัณฑ์จากเศษวัสดุรีไซเคิลทุกชิ้นนั้นมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย และมีส่วนผสมของ กระดาษใช้แล้วสองหน้า เศษวัสดุท้องถิ่น ซีเมนต์ และน้ำ จึงนับว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ขยะและเศษวัสดุรีไซเคิล

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์ชุมชน, วัสดุรีไซเคิล, เศรษฐกิจหมุนเวียน

Title Development of community products from recycled wastes with a circular economy approach

Researcher Varinthorn Boonyaroj
Sirichai Saramanus
Jirasak Tharajak

Year 2023

Abstract

Development of community products from scrap materials that can be recycled with the circular economy concept. The objectives of this research are to increase the value of recycled waste by prototyping community products and to develop appropriate properties of the community product prototypes from recycled scrap. Originally, if we took two sides of used paper and sold them to an antique shop, they would not have much value. However, adding value by improving the quality of a prototype of community products can help add value to the work and generate income for the community in the future. This requires thermal treatment of the pulp at a temperature of about 80–90 degrees Celsius. Duration: 15 minutes to soften the pulp, then make it small by spinning, grinding, and digesting the pulp. The specimen was molded for testing and made into prototypes of various forms of community products, such as artificial paper, a phone holder, and a hexagonal vase. Each prototype of recycled material is strong and unbreakable and contains double-sided used paper, local scrap, cement, and water, making it an attractive alternative for value added to waste and recycled materials.

Keywords: Community products, Recycled waste, Circular Economy

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ สถานที่ อุปกรณ์ ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการและวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงินและพัสดุทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องที่จะนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
บัญชีตาราง	(จ)
บัญชีภาพประกอบ	(ฉ)
1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวคิดโครงการวิจัย	3
1.5 แผนการดำเนินการวิจัย	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ขยะรีไซเคิล	4
2.2 รีไซเคิล (Recycle)	5
2.3 Upcycling	5
2.4 แนวทางการจัดการของเสียสู่นวัตกรรมสร้างสรรค์และการใช้ประโยชน์	6
3. วิธีดำเนินการวิจัย	**9**
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	9
3.2 การปรับสภาพเยื่อกระดาษด้วยความร้อน	9
3.3 การขึ้นรูปชิ้นงานและวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงาน	9
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	**10**
4.1 ผลการสำรวจปริมาณขยะรายเดือน	10
4.2 ผลของอัตราส่วนของกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่ปรับสภาพด้วยความร้อน	11
4.3 การขึ้นรูปชิ้นงานและวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงาน	11
5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	**20**
5.1 สรุปผลการวิจัย	20
5.2 ข้อเสนอแนะ	20
บรรณานุกรม	**21**
ประวัติผู้วิจัย	**22**

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนของกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่ปรับสภาพด้วยความร้อน	9
4.1	ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยอันตราส่วนต่างๆ (บ่มด้วยอากาศ 28 วัน)	12
4.2	ขนาดของตัวอย่างทดสอบ (บ่มด้วยอากาศ 28 วัน)	13

บัญชีภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
4.1	ปริมาณขยะรายเดือน ปี พ.ศ. 2566 (เก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือน ธันวาคม ถึงเดือน กันยายน 2566)	10
4.2	กระดาษที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนและบดย่อยให้มีขนาดเล็ก	11
4.3	ตัวอย่างชิ้นงานสำหรับการทดสอบ	14
4.4	การชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง	15
4.5	ความหนาของชิ้นงานที่ทดสอบ	15
4.6	ความยาวของชิ้นงานที่ทดสอบ	16
4.7	ตัวอย่างที่ทดสอบ	16
4.8	การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง SEM	16
4.9	ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าทดสอบด้วยเครื่อง SEM (300μm)	17
4.10	ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าทดสอบด้วยเครื่อง SEM (50μm)	17
4.11	ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าทดสอบด้วยเครื่อง SEM (50μm)	18
4.12	ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ติดหลังโทรศัพท์มือถือ	18
4.13	ต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุรีไซเคิล	19

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

งานวิจัยนี้ความสอดคล้องของข้อเสนอโครงการกับแผนด้าน ววน. ใน Platformที่ 1 โปรแกรมที่ 4 P4 (S1) พัฒนาระบบเศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy: BCG) ในด้านพลังงานสะอาด พลังงานหมุนเวียน วัสดุชีวภาพ และเคมีชีวภาพให้เป็นระบบเศรษฐกิจมูลค่าสูง มีความยั่งยืนและเพิ่มรายได้ของประเทศ O1 P4: ประเทศไทยสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศรษฐกิจหมุนเวียนและเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำที่เติบโตขึ้นจากการใช้นวัตกรรมการผลิตที่สะอาด ลดการใช้ทรัพยากร เพิ่มการหมุนเวียนวัสดุ และเพิ่มคุณค่าการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงมีจำนวนรูปแบบธุรกิจใหม่จากการเปลี่ยนของเสียให้มีมูลค่าสูง (Waste to Wealth) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้ผลงานวิจัย องค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมตามแนวทางระบบเศรษฐกิจ BCG และ KR1 P4: มูลค่าเพิ่มจากการนำขยะหรือของเสียจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ระโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบทดแทนหรือนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ (ตามแนวทางของระบบเศรษฐกิจ BCG และเศรษฐกิจหมุนเวียน) (เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 เทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี 2561-2565) ซึ่งจากยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ นโยบายและยุทธศาสตร์ ยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็น รวมถึงยุทธศาสตร์ของหน่วยงาน สอดคล้องกับยุทธศาสตร์กรอบนโยบายและยุทธศาสตร์กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตรกรรม พ.ศ. 2566 – 2570 สอดคล้องกับแผนพัฒนาความเป็นเลิศของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 – 2570 (ร่าง) แผนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม พ.ศ. 2566-2570 ได้กำหนดเป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ ยุทธศาสตร์ที่ 2 การยกระดับสังคมและสิ่งแวดล้อม ให้มีการพัฒนาที่ยั่งยืน สามารถแก้ไขปัญหาท้าทาย และปรับตัวได้ทันตามการเปลี่ยนแปลงของโลก โดยใช้วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เป็นแนวนโยบายส่งเสริมให้ บุคลากรในภาครัฐ สถาบันอุดมศึกษา สถาบันวิจัย เอกชน และประชาสังคม รวมทั้งนักวิจัยชุมชน ที่พัฒนาต่อยอด ประยุกต์ใช้ และถ่ายทอดองค์ความรู้ ผลงานวิจัย เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการพัฒนาอย่างยั่งยืน และแก้ไขปัญหาสังคมและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยดำเนินงานตามแผนงานสำคัญตามจุดมุ่งเน้นของนโยบาย P4 (S1) พัฒนาระบบเศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy: BCG) ในด้านพลังงานสะอาด พลังงานหมุนเวียน วัสดุชีวภาพ และเคมีชีวภาพให้เป็นระบบเศรษฐกิจมูลค่าสูง มีความยั่งยืนและเพิ่มรายได้ของประเทศ รวมทั้งดำเนินงานตามแผนงานย่อย N6 (S1P4) สร้างเศรษฐกิจฐานชีวภาพ (เชื้อเพลิงชีวภาพ วัสดุและเคมีชีวภาพ) จากการเปลี่ยนผลิตผลทางการเกษตรหรือของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตหรือการบริโภค

การจัดการขยะรีไซเคิลให้เกิดความยั่งยืนตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนจะต้องนำขยะรีไซเคิลกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนนั้นทำให้ขยะมีมูลค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการคัดแยกขยะที่ถูกต้องถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งหากต้องการให้ขยะมีมูลค่าสูงต้องเริ่มตั้งแต่การคัดแยกขยะที่ต้นทางอย่างถูกต้อง เพราะขยะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแรกจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการอื่นๆ อย่างต่อเนื่องไปไม่สิ้นสุด ซึ่งทำให้คนในชุมชนช่วยกันแยกประเภท เก็บขยะไปขายและมีรายได้กลับมาสู่ชุมชนอีกทางหนึ่ง เช่น ขวดน้ำดื่มถุงขนม กระป๋องน้ำอัดลม ซองอาหารแช่แข็ง กล่องนม และบรรจุภัณฑ์อื่นๆ

ความสำคัญของการนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์หรือใช้ซ้ำตามหลักการจัดการของเสียตามหลักสากล ให้ความสำคัญตามหลักการ 3Rs เป็นอย่างมาก ซึ่งได้แก่ การลดของเสีย (Reduce) การนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) และการแปรใช้ใหม่ทั้งในรูปวัสดุและในรูปพลังงาน (Recycle & Recovery) ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด ดังนั้น แนวทางการนำขยะประเภทต่างๆ กลับไปใช้ประโยชน์ เพื่อให้มีการนำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีจำนวนขยะที่ต้องกำจัดให้น้อยที่สุดนั้น มีความจำเป็นต้องพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle) ซึ่งดูตั้งแต่วัตถุดิบที่ใช้ การใช้พลังงาน การปล่อยสารต่างๆ ออกมา มุ่งเน้นการลดปริมาณของเสีย ยืดระยะเวลาการใช้งาน รวมถึงการเพิ่มปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยการจัดการขยะที่ต้นทางตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) นั้นเริ่มต้นตั้งแต่การคัดแยกประเภทของขยะอย่างถูกต้อง สะดวกต่อการนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดวงจรการจัดการขยะแบบองค์รวมอย่างสมบูรณ์

คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาการจัดการขยะที่ต้นทาง จึงต้องการประยุกต์ใช้แนวคิดการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษวัสดุรีไซเคิลสู่การสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ชุมชน (Upcycling) ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตลอดจนช่วยส่งเสริมแนวคิดการจัดการขยะ/ของเสียให้เหลือศูนย์ อันจะส่งผลให้เกิดผลกระทบทางบวกต่อสังคมและชุมชนในระยะยาว ส่งผลดีต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชุมชน โดยอาศัยการขับเคลื่อนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงส่งเสริมให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมและสามารถพัฒนาต่อยอดสร้างคุณค่าในเชิงพาณิชย์แบบพึ่งพาตนเองยั่งยืน (Sustainable Development) ได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุรีไซเคิลโดยการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน

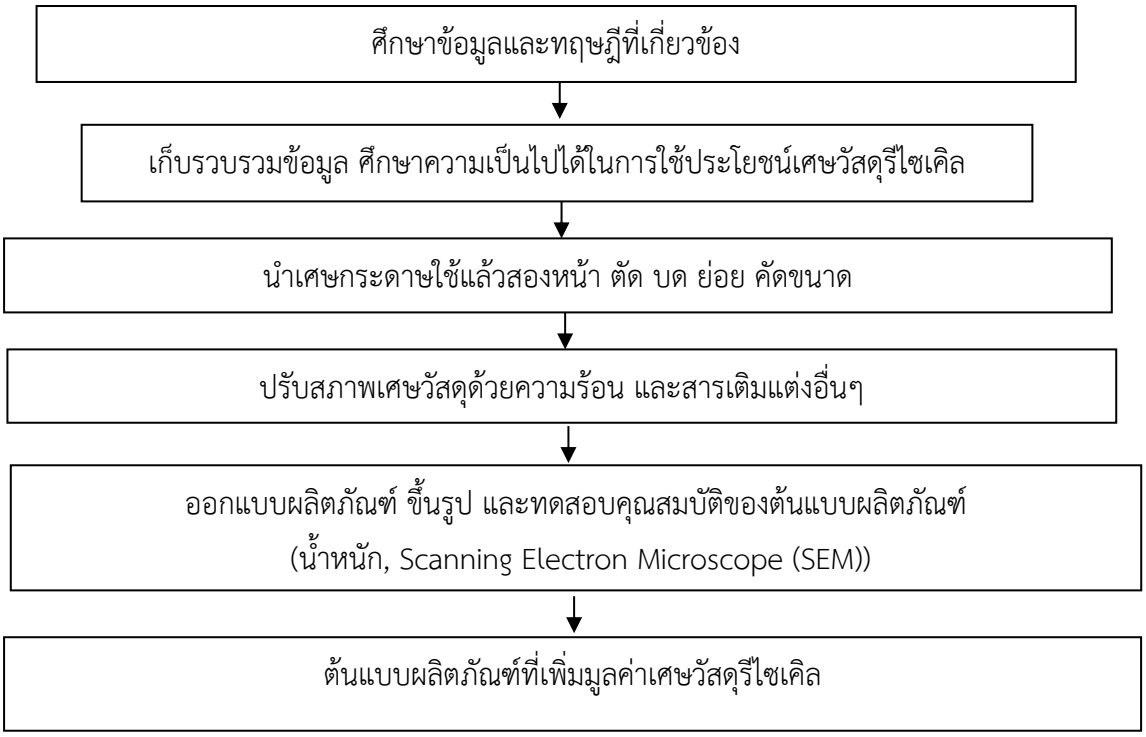
1.2.2 เพื่อพัฒนาคุณสมบัติที่เหมาะสมของต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุรีไซเคิล

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 พื้นที่วิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.3.2 เศษวัสดุรีไซเคิลที่นำมาใช้ประโยชน์จะต้องไม่การปนเปื้อนของสารอันตราย

1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินโครงการวิจัย ตั้งแต่ วันที่ 19 ธันวาคม 2565 ถึง 30 กันยายน 2566

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะรีไซเคิล

การรีไซเคิลขยะมูลฝอยช่วยในการลดการใช้วัสดุใหม่และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่ไม่ต้องทำการผลิตวัสดุใหม่จากแหล่งพลังงานและการทุบทำลายแหล่งธรรมชาติ เป็นส่วนสำคัญของยุคยั่งยืนและการดูแลสิ่งแวดล้อมที่มีความยั่งยืน

การให้ได้มาซึ่งเซลลูโลสจะต้องนำกระดาษไปผ่านขั้นตอนต่างๆ เช่น การเติมสารเคมี การให้ความร้อน เป็นต้น ซึ่งเซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบหลักที่อยู่ในเยื่อกระดาษ มีโครงสร้างที่คล้ายกับไซเลลูโลส (cellulose) ที่พบในพืช โดยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยส่วนเบตาเอน (glucose) ต่อกัน โดยเส้นใยจากพืชที่เปนตัวหลักของกระดาษ ทำมาจากไม้เนื้อออนจะมีเส้นใยที่ยาวสามารถชวยให้กระดาษมีความแข็งแรงและเหนียว และมีการนำไม้เนื้อแข็งขจะได้เส้นใยที่สั้นกวาแตชวยทำใหผิวกระดาษเรียบและทึบแสงมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำพืชลมลุก เชน ต้นกก ปอกระเจา อ้อย ฝาย มาใชทำเยื่อกระดาษด้วย เส้นใยจะประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เปนสารประเภทคารโบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาเรียงตอกันกับเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เปนสารประเภทคารโบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลของกลูโคสและน้ำตาลอื่นๆ เชน แมนโนส (Mannose) ฟูโคส (Fucose) ไซโลส (Xylose) มาตอกัน เส้นใยยังมีสวนที่เปนลิกนิน (Lignin) ทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยให้อยูด้วยกัน ปัจจุบันกระดาษที่ใชแล้วนำมารีไซเคิลเปนผลิตภัณฑตาง ๆ ซึ่งเสนใยกระดาษนั้นมีคุณสมบัติในด้านความเหนียว มีน้ำหนักเบา สามารถนำมาใชในสวนผสมของคอนกรีตหากเปนวัสดุมวลรวมจะชวยลดต้นทุน ลดน้ำหนักของชิ้นงานได้ (เลิศชาย สถิตย์พนาวงศ์ และคณะ, 2561) ซึ่งการนำเสนอเศรษฐกิจหมุนเวียนมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากช่วยสร้างความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดการสร้างสิ่งขยะ นอกจากนี้ การใช้ประโยชน์จากกระดาษที่ใช้แล้วสองหน้าจะช่วยลดการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติและลดการสร้างขยะตั้งแต่ต้นทาง และยังสร้างโอกาสในการนำเสนอวิธีการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนขึ้นในสังคมและเศรษฐกิจ

2.2 รีไซเคิล (Recycle)

รีไซเคิล (Recycle) คือ การปฏิบัติเพื่อนำวัสดุที่ใช้แล้วเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ เป็นการส่งคืนวัสดุกลับสู่กระบวนการผลิตผ่านวงจรของการมีส่วนร่วมในชีวิตประจำวันของสังคม แทนที่จะทิ้งวัสดุเหล่านั้นไปยังถังขยะ และมีจุดจบที่หลุมฝังกลบการรีไซเคิลเป็นการกู้คืนผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว และนำไปผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เป็นผลิตภัณฑ์รุ่นเดียวกัน ตัวอย่างที่ง่ายและเห็นภาพได้ชัดเจนที่สุดอการรีไซเคิลกระดาษ กระดาษสามารถรีไซเคิลกลับมาเป็นกระดาษเพื่อใช้ในการพิมพ์ หรือเปลี่ยนไปเป็นกระดาษแข็งสำหรับใช้เพื่องานบรรจุภัณฑ์ การรีไซเคิลสามารถเกิดขึ้นได้ซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยรูปแบบการนำกลับมารีไซเคิลนั้นขึ้นอยู่กับการสูญเสียของคุณภาพกระดาษ เพราะไม่ใช่ทั้ง 100% ที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้อีกครั้ง การ Recycle จึงเป็นการนำสิ่งที่เราไม่สามารถใช้ซ้ำได้แล้ว หรือวัสดุที่เสียหาย แตกหัก กลับเข้าสู่กระบวนการแปรรูป ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีหลอมให้เป็นวัตถุดิบชนิดเดิม เช่น ขวดแก้ว ผ่านกระบวนการรีไซเคิล จากขวดใบเก่าเป็นขวดใบใหม่ ที่อาจมีรูปทรงแตกต่างออกไปจากเดิมก็ได้

2.3 Upcycling

Upcycling เป็นอีกวิธีที่กำลังเป็นที่นิยมและหลายประเทศช่วยลดขยะที่หลายประเทศ รวมถึงประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ให้ความสำคัญกับเรื่องดังกล่าว นอกจากจะลดจำนวนขยะได้จำนวนมากแล้ว ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้ขยะที่นำมาผลิตและช่วยเพิ่มความน่าใช้มากขึ้นอีกด้วยเพื่อช่วยรักษาและทำให้มีการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่มีให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการนำขยะมาใช้ผลิตของชิ้นใหม่ และใช้ทรัพยากรเดิมให้คุ้มค่ามากที่สุด ซึ่ง Upcycling หมายถึง กระบวนการในการแปลงสภาพของวัสดุ หรือสิ่งที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อีกแล้วเพื่อเปลี่ยนให้เป็นวัสดุใหม่ หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณภาพดีกว่าเดิม หรือกลายเป็นสิ่งใหม่ที่มีคุณค่าด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่สูงมากขึ้นกว่าเดิมนั้นเอง ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน คือ ระบบเศรษฐกิจใหม่ที่ให้ความสำคัญกับการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการของเสียด้วยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการผลิตและบริโภคแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (Re-material) และสนับสนุนการใช้ซ้ำ (Reuse) ซึ่งถือเป็นหลักสำคัญในการบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งช่วยให้บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งในมิติเศรษฐกิจ สังคม ชุมชน ควบคู่กับประสิทธิภาพของธุรกิจ

2.4 แนวทางการจัดการของเสียสู่นวัตกรรมสร้างสรรค์และการใช้ประโยชน์

กระดาษเป็นผลผลิตจากต้นพืช ซึ่งนับวันทุกหน่วยงานและองค์กรให้ความสาคัญในการลดการใช้กระดาษและส่งเสริมให้มีการใช้กระดาษอย่างคุ้มค่า การประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นวัสดุเสริมแรงให้กับวัสดุก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย เช่น ฟางข้าว ทะลายปาล์ม ขุยมะพร้าว เส้นใยข้าวโพด ใบยางพารา เป็นต้น โดยเส้นใยพืชตามธรรมชาติประเภทต่าง ๆ นั้น เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นอีกทั้งยังเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจจึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติช่วยเป็นวัสดุเสริมแรงในงานวัสดุก่อสร้างซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิต มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้วัสดุก่อสร้างนั้นมีน้ำหนักเบา นอกจากนี้ยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ตลอดจนช่วยลดปริมาณกากของเสียที่เกิดขึ้น นอกจากการใช้เส้นใยธรรมชาติเพื่อทดแทนแร่ใยหินในผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างแล้ว การใช้เถ้าของเสีย เช่น เถ้าไม้ยางพารา (Para wood ashes) เถ้าลอย (Fly ash) เถ้าแกลบ (Rice husk ash) เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash) ซึ่งมีคุณสมบัติการเกิดปฏิกิริยาพอซโซลานิกมาทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนและยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คอนกรีตในด้านต่าง ๆ เช่น การพัฒนาความแข็งแรงและช่วยให้มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมและลดการแตกร้าวที่ผิวของผลิตภัณฑ์

นราธิป ทับทัน (2557) ศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาอิฐดินน้ำหนักเบาจากวัสดุเส้นใยธรรมชาติเพื่อสร้างวัสดุทางเลือกผนังอาคาร โดยการผลิตอิฐดินต้นแบบจากดินเหนียวผสมกับวัสดุเส้นใย 5 ชนิด ได้แก่ แกลบ ฟาง ใบไผ่ หญ้าขน และขี้เลื่อย โดยใช้ส่วนผสมที่ต่างกันจำนวน 24 สูตร เพื่อเปรียบเทียบสมบัติหรือลักษณะการคงรูป การหดตัว และคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยระหว่าง 2.20-3.82 กิโลกรัมต่อก้อน มีอัตราการหดตัวร้อยละ 0.20-2.60 ซึ่งสรุปได้ว่าสูตรการผลิตอิฐดินน้ำหนักเบาที่พัฒนานี้มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ก่อสร้างผนังดินกับอาคารโครงสร้างเสาและคานทั่วไป ช่วยเพิ่มศักยภาพในการใช้วัสดุผนังดินจากชนบทเข้าสู่อาคารเมือง และสร้างทางเลือกให้กับผู้มีรายได้น้อยหรือมีความสนใจแนวทางสถาปัตยกรรมที่ยั่งยืนได้

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ กนกวรรณ มะสุวรรณ (2558) ศึกษาสมบัติการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีสมบัติในการกันเสียงที่ดีขึ้น นอกจากนี้สำหรับสมบัติในการกันเสียงเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทดสอบและร้อยละในการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีขึ้นผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยจากการเกษตรให้มีสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานและมีสมบัติในการกันเสียงที่ดี

ภัทร์ สุขแสน และคณะ (2559) ศึกษาเรื่องการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว และขุยมะพร้าวซึ่งมีมากในประเทศไทยมาใช้เป็นวัสดุเสริมคอนกรีต และทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบามากกว่าปูนมอร์ต้าร้อยละ 25-40 เมื่อมีเส้นใยในระบบร้อยละ 30-50 โดยปริมาตร การปรับปรุงผิวฟางข้าวทั้งแบบหยาบ (1-5 มิลลิเมตร) และแบบละเอียด (มากกว่า 1 มิลลิเมตร) ด้วยสารละลาย NaOH ร้อยละ 15 สามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และกรดไขมันออก ทำให้เซลลูโลสมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระและมีความชอบน้ำมากขึ้น และเมื่อนำมาผสมกับปูนทำให้มีความเข้ากันได้ดี มีการกระจายตัวของเส้นใยอย่างความสม่ำเสมอและการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและปูนดีทำให้เกิดช่องว่างบริเวณผิวสัมผัสน้อยลง

ระวิวรรณ สหัสธรรมรังสี (2554) ศึกษาวิจัยโดยการนำเส้นใยกาบหมาก ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงให้กับซีเมนต์เพสต์ โดยเส้นใยที่ผสมในแผ่นลักษณะแบบสุ่มที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 และปริมาณเส้นใยร้อยละ 8 โดยปริมาตร เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้ค่าความต้านแรงดัดมากที่สุด และจากการทดลองนำเส้นใยมาผสมในซีเมนต์เพสต์จะทำให้มีปริมาณความชื้น ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนาแน่นและมอดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าลดลง นอกจากนี้แผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใยธรรมชาตินั้นสามารถนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้

วรินธร บุญยะโรจน์ (2559) ศึกษาความป็นไปได้ในการผลิตกระดาษทำมือจากหญ้าชันกาดโดยการแช่ล้างเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 20 และศึกษาคุณสมบัติของกระดาษทำมือที่ผลิตได้ จากผลการศึกษาทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือสารละลายด่างนั้นมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของเยื่อกระดาษที่ผลิตได้

วรินธร บุญยะโรจน์ (2560) ศึกษาการเพิ่มมูลค่าของขยะมูลฝอยจากภาคเกษตรกรรมโดยใช้ประโยชน์เส้นใยกาบมะพร้าวเพื่อผลิตวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติของวัสดุผสมปูนซีเมนต์กับสัดส่วนต่าง ๆ ของเส้นใยกาบมะพร้าวและกระดาษใช้แล้วสองหน้าเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาว นอกจากนี้โครงสร้างพื้นผิวและลักษณะทางเคมีของตัวอย่างจะวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) และสเปกโตรมิเตอร์เอ็กซ์เรย์แบบกระจายพลังงาน (EDS) ผลการศึกษาพบว่า ธาตุองค์ประกอบหลักในวัสดุผสมซีเมนต์ได้แก่ C, O, Ca, Al, Si และ K ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจากกาบมะพร้าวจะส่งผลให้วัสดุทดแทนไม้จากเส้นใยกาบมะพร้าวมีค่าความแข็งแรงแบบอัดและค่าความแข็งแรงแบบดัดลดลง

วรินธร บุญยะโรจน์ และศิริชัย สาระมนัส (2561) ศึกษาความหนาแน่นของต้นแบบแผ่นมวลเบาจากเศษใบยางพาราและเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งมีการขึ้นรูปต้นแบบการกระจายตัวของใบยางพาราซึ่งผลิตภัณฑ์และสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของปูนซีเมนต์ได้ซึ่งมีปริมาณเพียงพอในการยึดประสานกับมวลรวม ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงอัดกับเศษใบยางพาราจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน คือ การผสมเศษใบยางพาราในปริมาณน้อยจะทำให้ความความแข็งแรงแบบอัดมีค่าสูง ในทางกลับกับถ้าผสมเศษใบยางพาราในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงแบบอัดลดลง เนื่องจากส่วนผสมยึดเกาะกันไม่ดีและปูนซีเมนต์ไม่สามารถหุ้มเศษใบยางพาราได้ทั้งหมดทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงอากาศภายในชิ้นงานต้นแบบ

ชัชชติภัช เดชจิรมณี และคณะ (2562) ศึกษาความเป็นไปได้การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ชานอ้อย ฟาง ข้าว และธูปฤาษี ในส่วนที่เหลือใช้นำมาเก็บรวบรวมเพื่อเผาในเตาเผาโดยมีแนวความคิดที่จะนำฟางข้าวมาผสมกับกล่องเครื่องดื่มที่ใช้แล้ว เพื่อผลิตเป็นกระเบื้องหลังคาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยไม่เติมสารเคมีใดๆ ซึ่งกล่องเครื่องดื่มที่ใช้แล้วผสมของเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตกระเบื้องหลังคาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อัตราส่วนการผสมของกล่องดื่มที่ใช้แล้วผสมของเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ฟาง ข้าว และธูปฤาษี เท่ากับ 5, 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักของ ผลการวิจัยพบว่า การผลิตกระเบื้องหลังคาจากพลาสติกฟอยล์จากกล่องดื่มที่ใช้แล้วรวมกับของเหลือใช้ทางการเกษตรมีคุณภาพใกล้เคียงกับกระเบื้องหลังคาคอนกรีต ดังนั้นกระเบื้องหลังคาที่ผลิตขึ้นนี้จึงจัดเป็นวัสดุก่อสร้างทางเลือกที่ช่วยลดปริมาณขยะ

เลิศชาย สถิตย์พนาวงศ์ และคณะ (2561) ศึกษาการทำซีเมนตกระดาษสำหรับงานหลอกระถางตนไม้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดลอม โดยกำหนดชวงซีเมนตที่ 20-80%, ทราย 10-70% และ เศษกระดาษเหลือทิ้ง 10-70% และได้เลือกสูตรซีเมนตกระดาษจำนวน 10 สูตร แบงการทดลองเปนสองชุดการทดลองโดยแบงตามระยะเวลาการบมในอากาศ ที่ 7วัน และ 28 วัน

วชิระ แสงมณี (2562) นำเสนอเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากแผ่นกระดาษหนังสือพิมพ์เก่าโดยนำมาวางเรียงชั้น โดยใช้กาวซีเมนต์เป็นตัวประสานเพื่อใช้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ และศึกษาอัตราส่วนผสมของกาวซีเมนต์และจำนวนชั้นของแผ่นกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ส่งผลต่อสมบัติของวัสดุ รวมถึงทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทดลอง ออกแบบและผลิตเฟอร์นิเจอร์ต้นแบบ ซึ่งการยึดเกาะระหว่างแผ่นกระดาษหนังสือพิมพ์กับตัวประสานซึ่งไม่คงทนต่อน้ำและการรับแรงได้น้อย ส่วนใหญ่นั้นจะใช้กาวโพลิเมอร์ กาวน้ำ และกาวยาง เป็นต้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

คณะผู้วิจัยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์เศษวัสดุรีไซเคิล ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้กระดาษจากสำนักงานมาดำเนินการ และใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

3.1.1 กระดาษใช้แล้วสองหน้า

3.1.2 สารเติมแต่ง เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาว แป้ง และน้ำ เป็นต้น

3.1.3 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน ชนิดหกเหลี่ยม และชนิดสี่เหลี่ยม

3.2 การปรับสภาพเยื่อกระดาษด้วยความร้อน

งานวิจัยนี้นำกระดาษใช้แล้วสองหน้ามาตัด บด ย่อย และปรับสภาพเยื่อกระดาษใช้แล้วสองหน้าด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียสจนกระทั่งกระดาษมีลักษณะเปื่อยยุ่ยเป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นตากแห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานและวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงาน

นำเยื่อกระดาษที่ดำเนินการตามข้อ 3.2 มาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้อัตราส่วนการผสมชิ้นงานตามที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.1 ในแม่พิมพ์ชนิดหกเหลี่ยม และแม่พิมพ์ชนิดสี่เหลี่ยม จากนั้นบ่มให้แห้ง และตกแต่งต้นแบบผลิตภัณฑ์ตามรูปแบบที่ต้องการ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงานต้นแบบ โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานซีเมนต์ทดสอบ

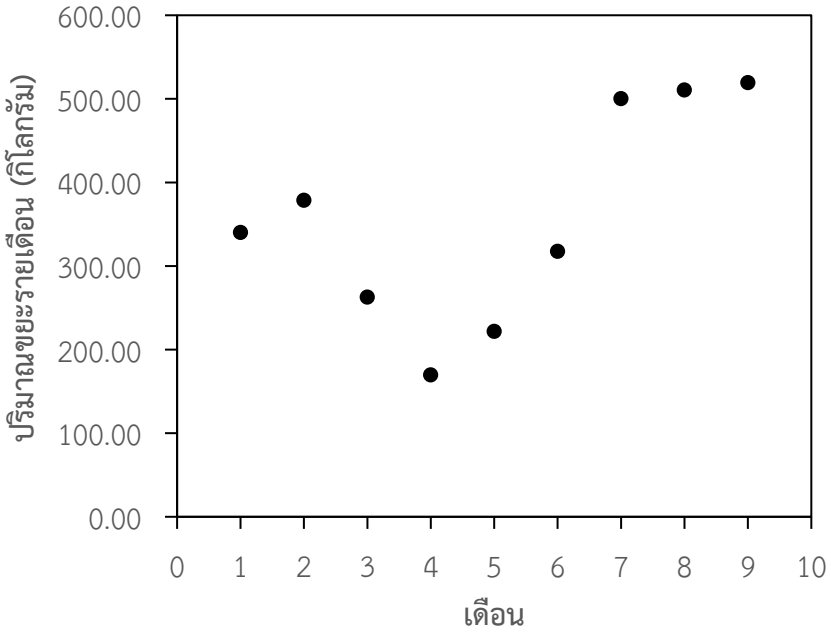
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่ปรับสภาพด้วยความร้อน

กระดาษใช้แล้วสองหน้า (%)	กระดาษใช้แล้วสองหน้า (g)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาว (%)	น้ำ (%)
75	7.5	10%	20%
50	5.0	10%	20%
25	2.5	10%	20%
0	0	10%	20%

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2 ผลการสำรวจปริมาณขยะรายเดือน

จากข้อมูลในภาพที่ 4.1 แสดงข้อมูลปริมาณขยะแยกตามรายเดือนในปี พ.ศ. 2566 โดยมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนกันยายน 2566 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นช่วงเปิดภาคการศึกษาและช่วงปิดภาคการศึกษา โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นภายในคณะมีค่าเท่ากับ 357.79 กิโลกรัมต่อเดือน (n = 9)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณขยะรายเดือน ปี พ.ศ. 2566
(เก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือน ธันวาคม ถึงเดือน กันยายน 2566)

4.1 ผลของอัตราส่วนของกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่ปรับสภาพด้วยความร้อน

เยื่อกระดาษที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที

ภาพที่ 4.2 กระดาษที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนและบดย่อยให้มีขนาดเล็ก

4.2 การขึ้นรูปชิ้นงานและวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงาน

การผสมตัวอย่างเพื่อทำชิ้นงานทดสอบ โดยใช้กระดาษใช้แล้วสองหน้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที จากนั้น ปั่น บด ย่อย เยื่อกระดาษให้มีขนาดเล็ก โดยการผสมจะใช้อัตราส่วนของกระดาษใช้แล้วสองหน้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0 – 75 ในแม่พิมพ์ พบว่า กระดาษใช้แล้วสองหน้าที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 75 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทดสอบมีความยาว 60.00 มิลลิเมตร ความหนาของชิ้นงาน 9.78 มิลลิเมตร กระดาษใช้แล้วสองหน้าที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 50 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทดสอบมีความยาว 59.50 มิลลิเมตร ความหนาของชิ้นงาน 9.78 มิลลิเมตร กระดาษใช้แล้วสองหน้าที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 25 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทดสอบมีความยาว 59.84 มิลลิเมตร ความหนาของชิ้นงาน 9.76 มิลลิเมตร และชิ้นงานซีเมนต์ที่ไม่มีส่วนผสมของกระดาษใช้แล้วสองหน้า ตัวอย่างชิ้นงานที่ทดสอบมีความยาว 60.00 มิลลิเมตร ความหนาของชิ้นงาน 10.00 มิลลิเมตร ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.1 โดยชิ้นงานที่มีการผสมเยื่อกระดาษจะส่งผลให้ชิ้นงานทดสอบไม่หักเปราะง่ายเหมือนชิ้นงานซีเมนต์ นอกจากนี้การผสมเยื่อกระดาษจะทำให้ชิ้นงานมีน้ำหนักเบา โดยการผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 75 จะส่งลให้

ตัวอย่างมีน้ำหนักเบาที่สุด เท่ากับ 5.00 กรัม รองลงมา คือ การผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 50 และ การผสมด้วยกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 25 จะส่งผลให้น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบแตกต่างจากชิ้นงานซีเมนต์ที่ทดสอบเพียงเล็กน้อย แต่จะมีข้อดีคือ ชิ้นงานไม่เปราะหักง่าย และมีความยืดหยุ่น

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยอันตราส่วนต่างๆ (บ่มด้วยอากาศ 28 วัน)

กระดาษใช้แล้ว สองหน้า (%)	**ภาพชิ้นงาน**	**ลักษณะชิ้นงาน**
75		ชิ้นงานผิวไม่สม่ำเสมอและมีน้ำหนักเบา แต่แตกหักง่าย
50		ชิ้นงานผิวไม่สม่ำเสมอและมีน้ำหนักเบา
25		ชิ้นงานเรียบ
0		ชิ้นงานเรียบ มีน้ำหนักมาก

ตารางที่ 4.2 ขนาดของตัวอย่างทดสอบ (บ่มด้วยอากาศ 28 วัน)

กระดาษใช้แล้วสองหน้า (%)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (g)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
75	60.00	9.78	5.00	70.25
50	59.50	9.78	7.00	54.75
25	59.84	9.76	9.00	25.25
0	60.00	10.00	10.00	16.00

น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า การใช้เยื่อกระดาษที่ปรับสภาพแล้วผสมในตัวอย่างส่งผลให้ชิ้นงานทดสอบมีน้ำหนักเบา แต่การเพิ่มปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในส่วนผสมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบ ส่วนเยื่อกระดาษจะช่วยทำให้ชิ้นงาน และมีสีขาวสะอาดตา ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ เลิศชาย และคณะ (2561) ที่ขึ้นรูปซีเมนตกระดาษสำหรับงานหลอกระถางต้นไม้ ซึ่งพบว่า ปริมาณกระดาษที่ใช้เป็นส่วนผสมของชิ้นงานเพียงร้อยละ 10 จะส่งผลให้ชิ้นงานมีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ทั้งนี้ชิ้นงานต้นแบบที่ผลิตขึ้นไม่ต้องรองรับน้ำหนักเนื่องจากใช้เพื่องานตกแต่งภายในบ้าน

การทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบและลักษณะการจับตัวระหว่างเส้นใยและซีเมนต์ในชิ้นงานทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้า ซึ่งกระดาษใช้แล้วสองหน้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อน สามารถนำมาใช้ในการขึ้นรูปและผสมเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ภายหลังจากการปรับสภาพแล้วกระดาษ จะมีเส้นใยเซลลูโลสซึ่งสามารถยึดเกาะและสร้างความแข็งแรงและทนต่อแรงดัดให้กับชิ้นงานทดสอบ นอกจากนี้ชิ้นงานที่มีปริมาณกระดาษมาก ร้อยละ 75 จะส่งผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานและทำให้ชิ้นงานมีความชื้นสูงกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณกระดาษน้อย ร้อยละ 25

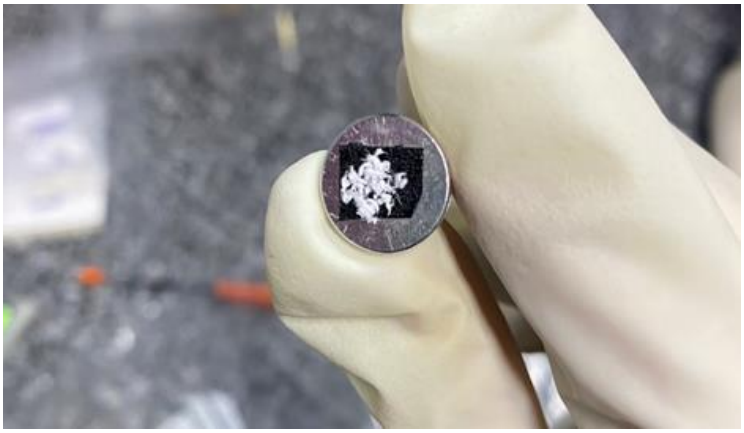
การขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยขึ้นรูปเพื่อให้ได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุรีไซเคิลที่มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งไม่ได้มีการผสมสี ในลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กระดาษสาเทียม ที่ติดหลังโทรศัพท์มือถือ ที่วางโทรศัพท์มือถือแบบกลม ที่วางโทรศัพท์มือถือแบบเหลี่ยม และแจกันหกเหลี่ยม ซึ่งจากการศึกษา พบว่า สามารถขึ้นรูปในลักษณะของต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งมีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย ซึ่งชิ้นงานต้นแบบผลิตภัณฑ์จากเศษวัสดุรีไซเคิลทุกชิ้นนั้นมีส่วนผสมของกระดาษใช้แล้วสองหน้า เศษวัสดุท้องถิ่น ซีเมนต์ และน้ำ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ขยะและเศษวัสดุรีไซเคิลต่างๆ ได้ ซึ่งในอนาคตชุมชนสามารถต่อยอดสร้างอาชีพและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนของตนเองได้ในอนาคต ทั้งนี้การขึ้นรูปที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งจะต้องหลีกเลี่ยงความชื้นและน้ำ รวมถึงควรใช้งานภายในอาคารเท่านั้น

ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานสำหรับการทดสอบ

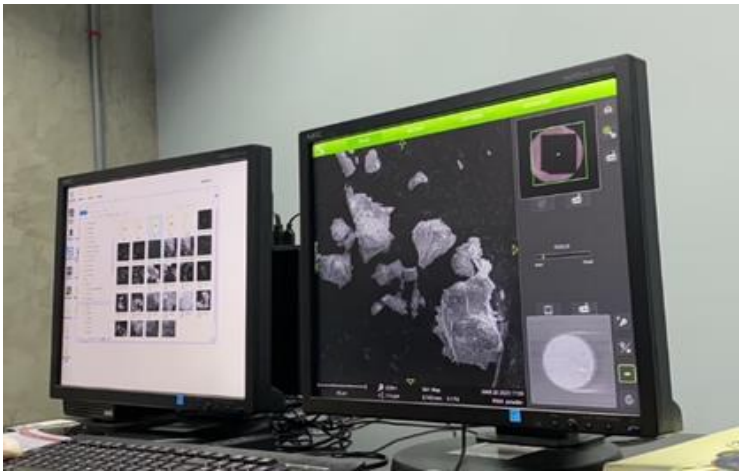
ภาพที่ 4.4 การชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง

ภาพที่ 4.5 ความหนาของชิ้นงานที่ทดสอบ

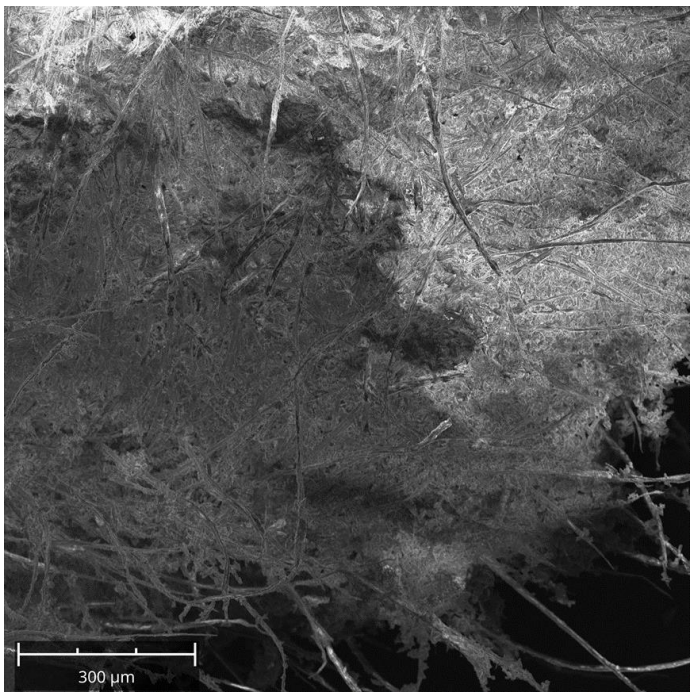
ภาพที่ 4.6 ความยาวของชิ้นงานที่ทดสอบ



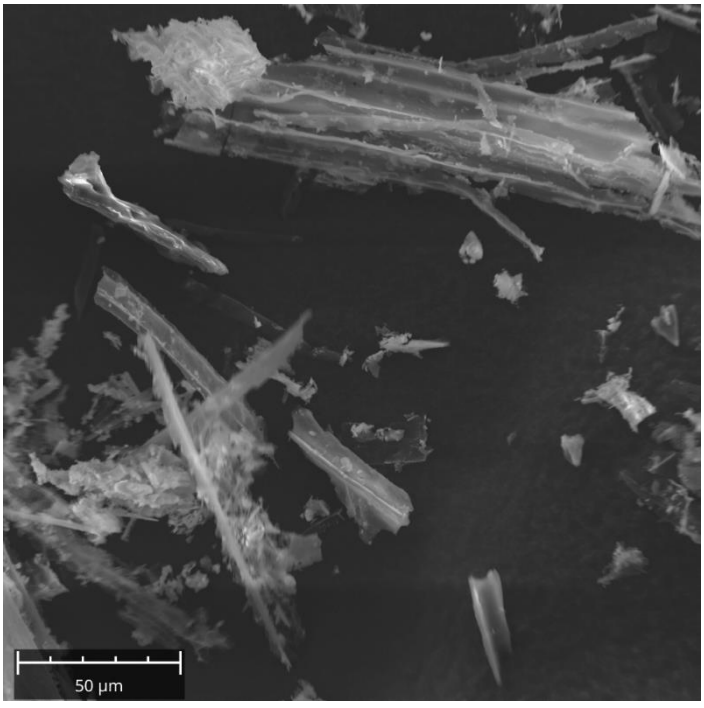
ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างที่ทดสอบ



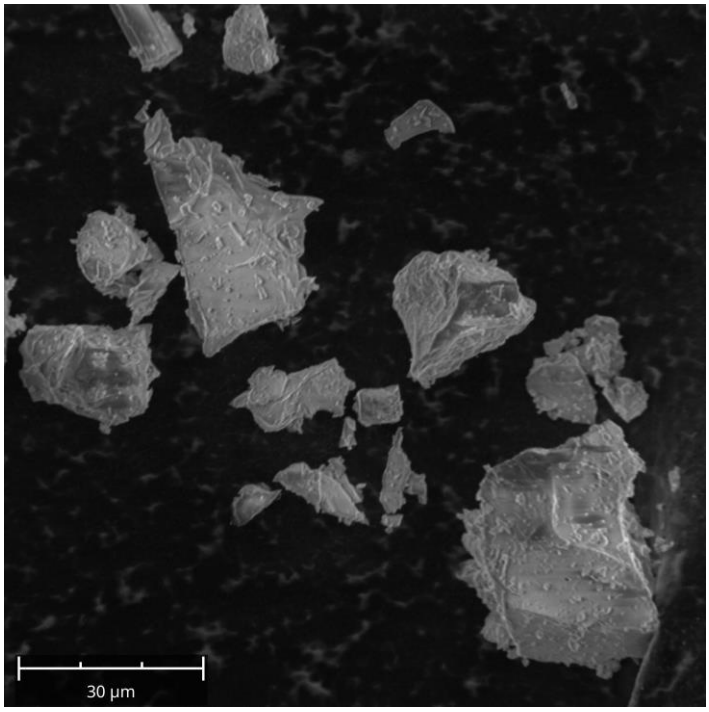
ภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง SEM



ภาพที่ 4.9 ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าทดสอบด้วยเครื่อง SEM (300µm)



ภาพที่ 4.10 ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าทดสอบด้วยเครื่อง SEM (50µm)



ภาพที่ 4.11 ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่างทดสอบที่ผสมกระดาษใช้แล้วสองหน้าทดสอบด้วยเครื่อง SEM (50µm)

ภาพที่ 4.12 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ติดหลังโทรศัพท์มือถือ

ภาพที่ 4.13 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากเศษวัสดุรีไซเคิล

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

กระดาษใช้แล้วสองหน้าหากส่งขายไปยังร้านรับซื้อของเก่าจะมีมูลค่าไม่มาก แต่หากนำมาใช้ประโยชน์เพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนและของที่ระลึกจะสามารถช่วยสร้างรายได้ให้กับชุมชนได้ ซึ่งก่อนที่จะนำกระดาษใช้แล้วสองหน้ามาขึ้นรูปนั้นจะต้องปรับสภาพเยื่อกระดาษด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้เยื่อกระดาษมีความอ่อนนุ่ม จากนั้น ปั่น บด ย่อย เยื่อกระดาษให้มีขนาดเล็กก่อนขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบและจัดทำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น กระดาษสาเทียม ที่ติดหลังโทรศัพท์มือถือ ที่วางโทรศัพท์มือถือแบบกลม ที่วางโทรศัพท์มือถือแบบเหลี่ยม และแจกันหกเหลี่ยม ซึ่งชิ้นงานต้นแบบผลิตภัณฑ์จากเศษวัสดุรีไซเคิลทุกชิ้นนั้นมีความแข็งแรงและมีส่วนผสมของกระดาษใช้แล้วสองหน้า เศษวัสดุท้องถิ่น ซีเมนต์ และน้ำ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ขยะและเศษวัสดุรีไซเคิลต่างๆ ได้ ซึ่งในอนาคตชุมชนสามารถต่อยอดสร้างอาชีพและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนของตนเองได้ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรต่อยอดพัฒนาชิ้นงานให้มีสีสันสวยงาม

5.2.2 ควรมีการเคลือบผิวชิ้นงานกันน้ำ

5.2.3 ควรเพิ่มช่องทางการประชาสัมพันธ์เพื่อส่งเสริมการจัดการขยะที่ต้นทาง

บรรณานุกรม

ชัชชติภัช เดชจิรมณี และคณะ. (2562). หลังคาเขียวจากกล่องนมที่ใช้แล้วผสมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 13, 3, 119–131.

ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว, สมศักดิ์ม มีเสถียร, และธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (2555). การพัฒนาอิฐมวล เบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้.*วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา. (สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์มหาวิทยาราชภัฏจันทรเกษม)*, *6*(1), 51-57. http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/article/view/2319

นราธิป ทับทัน. (2557). การพัฒนาอิฐดินน้ำหนักเบาจากวัสดุเส้นใยธรรมชาติเพื่อสร้างวัสดุทางเลือกผนังอาคาร.*วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 7*, 2, 41-50.

ภัทร์ สุขแสน และคณะ. (2559). การศึกษาเรื่องการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1* .(น 125-130).

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ กนกวรรณ มะสุวรรณ (2558). การศึกษาสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*. 38, 1, 71-86.

เมธิยา หมวดฉิม และคณะ. (2564). แผ่นคอนกรีตตกแต่งสวนจากกระดาษเหลือทิ้งและขี้เถ้าไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้า. รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, ประจำปี 2564.

ระวิวรรณ สหัสธรรมรังสี. (2554). *การศึกษาวิจัยโดยการนำเส้นใยกาบหมาก(*วิทยานิพนธ์) สาขาวิชาวิศกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2554).

เลิศชาย สถิตย์พนาวงศ์ และคณะ. (2561). ซีเมนตกระดาษสำหรับงานหลอกระถางตนไม. *วารสารวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20,1, 177 – 187.

วชิระ แสงรัศมี (2555). วัสดุตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์จากเยื่อกระดาษเหลือใช้ทางเลือกใหม่. *วารสารวิจัยและสาระ สถาปัตยกรรม/การผังเมือง*. 9, 2, 95-104.

วชิระ แสงมณี (2562). การพัฒนาแผ่นกระดาษหนังสือพิมพ์อัดกาวซีเมนต์ทางเลือกใหม่. *การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 6 (BTAC 2019)*. (น 122-131)

วรินธร บุญยะโรจน์. การผลิตกระดาษทำมือจากหญ้าชันกาด. (รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559)

วรินธร บุญยะโรจน์. (การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้จากเส้นใยจากกาบมะพร้าว. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2560)

วรินธร บุญยะโรจน์ และศิริชัย สาระมนัส. การพัฒนาคุณสมบัติของต้นแบบแผ่นมวลเบาจากเศษใบยางพาราและเถ้าไม้ยางพาราสำหรับประยุกต์ใช้ระดับภาคสนาม. (รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2561).

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2021). Recycling Basics. https://www.epa.gov/recycle/recycling-basics

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ

ประวัติผู้ทำวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) ผศ.ดร. วรินธร บุญยะโรจน์

(ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr. VARINTHORN BOONYAROJ

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000 ต่อ 4189

E-mail : varinthorn.b@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(อนามัยสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยบูรพา	พ.ศ. 2546
วศ.ม.(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ. 2549
วท.ด.(สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	พ.ศ. 2555

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Waste Utilization

Land application of solid waste landfill leachate

Landfill leachate treatment

Membrane bioreactor

Wastewater treatment system

Micro-pollutants removal

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่/ตีพิมพ์

<u>โครงการวิจัย</u>

1) โครงการ การประเมินปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

แหล่งทุน: งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

2) โครงการ การผลิตน้ำมันหอมระเหยไล่แมลงจากใบยาสูบ

แหล่งทุน: งบประมาณกลางมหาวิทยาลัยฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

3) โครงการ การผลิตกระดาษทำมือจากหญ้าชันกาด

แหล่งทุน: งบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

4) โครงการ การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เศษใบยางพาราเพื่อผลิตต้นแบบแผ่นมวลเบา

แหล่งทุน: งบประมาณรายจ่าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Boonyaroj V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan S., and Yamamoto, K. (2012) "Toxic organic micro-pollutants removal mechanisms in long-term operated membrane bioreactor treating municipal solid waste leachate", Bioresource technology 113, 174-180.
2. **Boonyaroj, V.**, Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., and Yamamoto, K. (2012) "Removal of organic micro-pollutants from solid waste landfill leachate in membrane bioreactor operated without excess sludge discharge", Water science and technology 66(8), 1774-80.
3. **Varinthorn Boonyaroj**, Pattanasorn Peansawang, Nonthavorn Sonchan, Atcharaporn Sukrasorn (2015) "Environmental survey on physicochemical parameters in surface water: a case of Klong Prem Prachakorn, Thailand", Applied Mechanics and Materials 804, 231-234.
4. **Varinthorn Boonyaroj**, Jiraporn Jinasam, Warangkana Nachailan (2015) "The removal mechanisms of organic compounds in household wastewater by soil sediment", Applied Mechanics and Materials 804, 263-266.
5. **Varinthorn Boonyaroj, Chart Chiemchaisri, Wilai Chiemchaisri, Kazuo Yamamoto** (2018) "Enhanced biodegradation of phenolic compounds in landfill leachate by enriched nitrifying membrane bioreactor sludge", Journal of Hazardous Material. (http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.064)

การนำเสนอผลงานวิชาการ

1. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan S., and Yamamoto, K. (2011) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 9th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 1-3 December, 2011, Bangkok, Thailand. **(Received Asian Young Professional on Water Research Award).**

2. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., Theepharaksapan and Yamamoto, K. (2012) Removal of organic micro-pollutants and bio-toxicity from municipal solid waste landfill leachate in two-stage membrane bioreactor. Proceedings of the 10th International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 8-10 November, 2012, Hanoi, Vietnam. **(Received Best Poster Award)**

3. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2012) Evaluation of bio-toxicity removal in two-stage membrane bioreactor for landfill leachate treatment. Proceedings of the 10th International Conference on Membrane Science and Technology 2012: Membrane for Sustainable Energy, August 22-24, 2012, Bangkok, Thailand.

4. **Boonyaroj, V.,** Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W. and Yamamoto, K. (2011) Removal of phenolic and phthalic acid esters in two-stage membrane bioreactor treating municipal solid waste landfill leachate. Proceedings of the 1st EnvironmentAsia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity”, 22-25 March, 2011, Bangkok, Thailand.

ผู้ร่วมวิจัย (1)

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) นาย ศิริชัย สาระมนัส

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Sirichai Saramanus

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000

E-mail : sirichai.s@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

คอ.บ.(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2540
วท.ม.(เทคโนโลยีสารสนเทศ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2549

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Cluster Analysis
- Computer System

- Computer Network

- Data Communication

- Computer Organization and Architecture

- Microcomputer System and Interfacing

- Internet and Intranet System

ผู้ร่วมวิจัย (2)

1. ชื่อ-นามสกุล

(ภาษาไทย) นาย จิระศักดิ์ ธาระจักร์

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Jirasak Tharajak

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและที่อยู่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2836 3000

E-mail : jirasak.t@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยนเรศวร	พ.ศ. 2544
วศ.ม.(เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	พ.ศ. 2546
ปร.ด.(เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	พ.ศ. 2555

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

วัสดุศาสตร์

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
งานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่/ตีพิมพ์

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “Recommendations for h-BN loading and service temperature to achieve low friction coefficient and wear rate for thermal-sprayed PEEK coatings”, Surface and Coatings Technology, 321 (2017), pp. 477-483

2. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “The effects of magnetic field-enhanced thermal spraying on the friction and wear characteristics of poly(ether-ether-ketone) coatings”, Wear, Vol. 372-373 (2017), pp. 68-75.

3. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “Morphological and physical properties and friction/wear behavior of h-BN filled PEEK composite coatings”, Surface and Coatings Technology, 273 (1) (2015), pp. 20-29.

4. N. Sanpo, **J. Tharajak**, Y. Li, C.C. Berndt, C. Wen, J. Wang, “Biocompatibility of transition metal-substituted cobalt ferrite nanoparticles”, Journal of Nanoparticle Research, 16 (7) (2014), no. 2510, pp. 1-13.

5. **J. Tharajak**, T. Palathai, N. Sombatsompop, “Hardness, adhesion index and microstructure of PEEK coating on Al or Fe substrate by LVOF flame spray”, Materials Science and Engineering A, 485 (1-2) (2008), pp. 66-73..