

การพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบ: แนวทางสู่ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่ยั่งยืน

กัญธิกา จันทนา^{1*} และ ขวัญชัย จันทนา¹

¹คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รับบทความ : 7 เมษายน 2568

แก้ไขบทความ : 3 มิถุนายน 2568

ตอบรับบทความ : 17 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาปริมาณ ประเภท และแหล่งที่มาของขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ รวมถึงวิเคราะห์แนวทางการจัดการที่เหมาะสม 2) เพื่อพัฒนาและนำเสนอระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการสำหรับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ และ 3) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลตอบแทนทางสังคม และระบุปัจจัยแห่งความสำเร็จในการพัฒนาระบบ ใช้วิธีการวิจัยแบบผสมผสาน ทั้งการสำรวจปริมาณและประเภทของวัสดุเหลือใช้ การสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และการวิเคราะห์กรณีศึกษา ผลการวิจัยเสนอระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการ ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ (1) ระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุที่มีประสิทธิภาพ (2) โปรแกรมส่งเสริมการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ (Upcycling) และ (3) เครือข่ายความร่วมมือกับชุมชนและภาคอุตสาหกรรม ผลการทดลองนำระบบต้นแบบไปใช้แสดงให้เห็นถึงการลดลงของขยะ ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถคืนทุนได้ภายใน 3.26 ปี มี IRR ที่ 24.76% และสร้างผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน (SROI) 2.8 เท่า

คำสำคัญ: การจัดการวัสดุเหลือใช้ การออกแบบอย่างยั่งยืน การลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์

*อีเมล: kantika.jan@rmutr.ac.th

Development of Waste and Leftover Material Management System from Design Work: Pathway to Sustainable Faculty of Architecture

Kantika Jantana^{1*} and Kwanchai Jantana¹

¹ Faculty of Architecture and Design Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Received: April 7, 2025

Revised: June 3, 2025

Accepted: June 17, 2025

Abstract

This article presents an approach for managing waste and leftover materials from design work in the Faculty of Architecture and Design. The objectives are: 1.) To study the quantity, types, and sources of waste and leftover materials from design work in the Faculty of Architecture and Design, including analyzing appropriate management approaches; 2.) To develop and propose an integrated waste and leftover materials management system for the Faculty of Architecture and Design; and 3.) To analyze the economic feasibility, social returns, and identify success factors in system development.

The study employed a mixed-methods research approach, including surveying the quantity and types of leftover materials, interviewing stakeholders, and analyzing case studies. The research results propose an integrated waste and leftover materials management system consisting of 4 main components: (1) an efficient material sorting and storage system, (2) a program promoting waste reduction and upcycling of existing resources, and (3) collaborative networks with communities and industry sectors.

The pilot system implementation results demonstrated significant reductions in waste, cost savings, and carbon footprint reduction. The economic feasibility analysis showed that the system can achieve payback within 3.26 years, with an IRR of 24.76% and a Social Return on Investment (SROI) of 2.8 times the initial investment.

Keywords: Leftover material management, Sustainable design, Upcycling, Carbon footprint

*E-mail: kantika.jan@rmutr.ac.th

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาด้านสถาปัตยกรรมและการออกแบบ เป็นหนึ่งในภาคส่วนที่มีการใช้ทรัพยากรและสร้างขยะจากกระบวนการเรียนการสอนและการปฏิบัติงานเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะวัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลองแบบจำลอง และโครงงานออกแบบต่าง ๆ (Cohen et al., 2022) ในแต่ละปีการศึกษา นักศึกษาสถาปัตยกรรมและการออกแบบหนึ่งคนสร้างขยะจากการทำงานออกแบบโดยเฉลี่ย 32.4 กิโลกรัม ซึ่งหากคิดเป็นคาร์บอนฟุตพริ้นท์แล้วสูงถึง 154 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี นอกจากนี้ งานวิจัยของ Littman (2023) ยังชี้ให้เห็นว่า ร้อยละ 35 ของวัสดุที่ใช้ในงานหุ่นจำลองและแบบจำลองในโรงเรียนสถาปัตยกรรมกลายเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หากมีระบบการจัดการที่เหมาะสม

การพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้จากการเรียน การสอน ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่านั้น แต่ยังเป็นการสร้างโอกาสในการพัฒนาการเรียนการสอนและการวิจัยด้านการออกแบบอย่างยั่งยืน สร้างจิตสำนึกและพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้กับนักศึกษาและบุคลากร รวมถึงลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อวัสดุใหม่ (O'Connor & Hawkes, 2021)

ในบริบทของประเทศไทย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบในสถาบันการศึกษาต่าง ๆ กำลังตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวมากขึ้น แต่ยังขาดระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ที่มีประสิทธิภาพและเป็นระบบ (Tantanatewin & Inkarojrit, 2023) จากการสำรวจความต้องการของประชาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีในปี พ.ศ. 2563 พบว่า ร้อยละ 74.9 ต้องการให้มีการจัดทำระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบ และร้อยละ 60 สนใจเข้าร่วมกิจกรรมการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มาก สะท้อนให้เห็นถึงความตระหนักและความต้องการในการจัดการปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณ ประเภท และแหล่งที่มาของขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ รวมถึงวิเคราะห์แนวทางการจัดการที่เหมาะสม
2. เพื่อพัฒนาและนำเสนอระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการสำหรับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลตอบแทนทางสังคม และระบุปัจจัยแห่งความสำเร็จในการพัฒนาระบบ

กรอบแนวคิด

การวิจัยนี้ได้บูรณาการแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) แนวคิดการออกแบบอย่างยั่งยืน (Sustainable Design) และแนวคิดการจัดการวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการ (Integrated Material Management) เข้าด้วยกัน ประกอบด้วย 3 มิติหลัก ได้แก่ มิติกายภาพ (Physical Dimension) มิติดิจิทัล (Digital Dimension) และมิติสังคมและการศึกษา (Socio-Educational Dimension) โดยมีองค์ประกอบหลัก 4 ด้าน ได้แก่

1. ระบบการจัดการวัสดุเชิงกายภาพ (Physical Material Management System) ประกอบด้วยระบบการคัดแยก การจัดเก็บ และการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่
2. แพลตฟอร์มดิจิทัลสนับสนุน (Supporting Digital Platform) ครอบคลุมระบบฐานข้อมูลวัสดุ การแลกเปลี่ยนวัสดุ และระบบติดตามและประเมินผล

3. กิจกรรมส่งเสริมการใช้ซ้ำและการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มาก (Reuse and Upcycling Activities) เน้นการพัฒนาทักษะและความคิดสร้างสรรค์ในการนำวัสดุเหลือใช้มาสร้างมูลค่าเพิ่ม

4. ระบบเครือข่ายความร่วมมือ (Collaboration Network System) เป็นการสร้างความร่วมมือกับชุมชนและภาคอุตสาหกรรมในการบริจาค แลกเปลี่ยน และใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ร่วมกัน

การดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method Research) ที่บูรณาการวิธีการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. การสำรวจสถานการณ์ปัจจุบัน

- การสำรวจปริมาณและประเภทของขยะและวัสดุเหลือใช้ เก็บข้อมูลจากห้องเรียน ถึงขยะและพื้นที่ทิ้งขยะในคณะฯ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในช่วงที่มีการส่งงานและช่วงปกติ
- การสำรวจแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ โดยทำการสำรวจและวิเคราะห์แหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ทั้งจากการเรียนการสอน การทำโครงการ และกิจกรรมอื่น ๆ ในคณะ
- การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ด้วยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของวัสดุเหลือใช้แต่ละประเภทโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)

2. การศึกษาความต้องการและความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

- การสำรวจความคิดเห็นด้วยแบบสอบถาม โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรในคณะฯ จำนวน 395 คน
- การสัมภาษณ์เชิงลึก สัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก ได้แก่ ผู้บริหารคณะ อาจารย์ผู้สอนวิชาออกแบบ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และตัวแทนนักศึกษา จำนวน 25 คน
- การประชุมกลุ่มย่อย มีการจัดการประชุมกลุ่มย่อย 3 ครั้ง เพื่อระดมความคิดเห็นและแนวทางการพัฒนาระบบ

3. การวิเคราะห์กรณีศึกษาและแนวปฏิบัติที่ดี

วิเคราะห์กรณีศึกษาและแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้จากสถาบันการศึกษาด้านสถาปัตยกรรมและการออกแบบทั้งในประเทศและต่างประเทศ

4. การออกแบบและพัฒนาระบบ

ออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการ โดยใช้กระบวนการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design)

5. การทดลองใช้และประเมินผล

ทดลองนำระบบต้นแบบไปใช้ในส่วนหนึ่งของคณะฯ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ และทำการประเมินผลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทน (Cost Benefit Analysis) การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) และผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน (Social Return on Investment)

ผลการวิจัย

1. สถานการณ์ขยะและวัสดุเหลือใช้ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

1.1 ปริมาณและประเภทของขยะและวัสดุเหลือใช้

จากการสำรวจพบว่า คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มีขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบโดยเฉลี่ย 185 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ หรือประมาณ 7.4 ตันต่อปีการศึกษา ภาพที่ 1 และตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบ

ตารางที่ 1 ปริมาณและประเภทของขยะและวัสดุเหลือใช้จากงานออกแบบ

ประเภทวัสดุ	ปริมาณเฉลี่ย (กก./สัปดาห์)	สัดส่วน (%)	ศักยภาพในการนำ กลับมาใช้ใหม่ (%)
วัสดุแผ่น (กระดาษ กระดาษแข็ง ไม้อัด อะคริลิก โฟม)	76.3	41.2	65.8
วัสดุเส้น (ไม้ พลาสติก โลหะ)	42.7	23.1	78.2
วัสดุหล่อและขึ้นรูป (ปูนปลาสเตอร์ ดินเหนียว เรซิน)	31.5	17.0	32.5
วัสดุตกแต่ง (สี กาว วัสดุจำลองพื้นผิว)	17.8	9.6	12.3
สิ่งพิมพ์ (แบบพิมพ์ ฟลิตเตอร์)	16.7	9.0	85.4
รวม	185.0	100.0	58.6

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า วัสดุแผ่นเป็นประเภทของขยะและวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมากที่สุด (41.2%) รองลงมาคือวัสดุเส้น (23.1%) และวัสดุหล่อและขึ้นรูป (17.0%) ตามลำดับ โดยเฉลี่ยแล้ว วัสดุเหลือใช้ร้อยละ 58.6 มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หากมีระบบการจัดการที่เหมาะสม

1.2 แหล่งที่มาของขยะและวัสดุเหลือใช้

การวิเคราะห์แหล่งที่มาของขยะและวัสดุเหลือใช้พบว่า กิจกรรมการเรียนการสอนและการทำโครงการเป็นแหล่งที่มาหลักของวัสดุเหลือใช้ โดยแหล่งที่มาหลักได้แก่ วิชาออกแบบสถาปัตยกรรม (28.4%), วิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ (21.0%), วิชาออกแบบภายใน (19.0%) และโครงการวิทยานิพนธ์ (17.0%)

1.3 การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของวัสดุเหลือใช้

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า วัสดุแผ่นมีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุด (36.7%) รองลงมาคือวัสดุเส้น (26.2%) และวัสดุหล่อและขึ้นรูป (21.0%) ในภาพรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และ

การออกแบบมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากวัสดุเหลือใช้ประมาณ 30.5 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

2. ความต้องการและความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

ผลการสำรวจความคิดเห็นพบว่า ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีความต้องการสูงสุดในการพัฒนาระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุที่มีประสิทธิภาพ (90.1%) รองลงมาคือการบูรณาการเข้ากับการเรียนการสอน (79.0%) ธนาคารวัสดุเพื่อการออกแบบ (74.9%) และกิจกรรมส่งเสริมการ Upcycling (72.7%)

3. ระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการที่พัฒนาขึ้น

จากผลการวิจัยทั้งหมด ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการสำหรับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการ

องค์ประกอบ	รายละเอียด	ทรัพยากรที่ต้องการ	ผลลัพธ์ที่ได้
1. ระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุที่มีประสิทธิภาพ	- จุดคัดแยกและจัดเก็บวัสดุตามประเภท - ระบบลงทะเบียนและติดตามวัสดุ - แนวทางการคัดกรองคุณภาพวัสดุ - ระบบการจัดการคลังวัสดุ	- พื้นที่จัดเก็บ 50 ตร.ม. - ชุดภาชนะจัดเก็บตามประเภทวัสดุ - ระบบลงทะเบียนดิจิทัล - บุคลากรดูแลระบบ 1 คน	- ลดการทิ้งวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 75% - เพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บและค้นหาวัสดุ - ลดเวลาในการจัดหาวัสดุสำหรับนักศึกษา
2. โปรแกรมส่งเสริมการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์	- Workshop การลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ - การประกวดงานออกแบบจากวัสดุเหลือใช้ - การจัดแสดงผลงาน การลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ - การพัฒนาแนวทางและคู่มือการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์	- พื้นที่จัดกิจกรรม Workshop - อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ - งบประมาณจัดกิจกรรม 100,000 บาทต่อปี - ผู้เชี่ยวชาญด้านการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์	- จัดกิจกรรม Workshop จำนวน 2 ครั้งต่อปี - มีผู้เข้าร่วมกิจกรรมอย่างน้อย 200 คนต่อครั้ง - พัฒนาลงานการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ จำนวน 50 ชิ้นต่อปี
3. เครือข่ายความร่วมมือกับชุมชนและภาคอุตสาหกรรม	- ความร่วมมือกับชุมชนในการนำวัสดุเหลือใช้ไปใช้ประโยชน์ - ความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรมในการบริจาควัสดุเหลือใช้ - โครงการวิจัยและพัฒนา ร่วมกัน - โครงการบริการวิชาการด้านการจัดการวัสดุเหลือใช้	- เครือข่ายความร่วมมือกับชุมชน - เครือข่ายความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม - งบประมาณสำหรับโครงการความร่วมมือ 150,000 บาทต่อปี	- จัดกิจกรรมความร่วมมือกับชุมชน 2 ครั้งต่อปี - ได้รับการบริจาควัสดุจากภาคอุตสาหกรรม 500 กิโลกรัมต่อปี - พัฒนาโครงการวิจัย ร่วมกัน 1 โครงการต่อปี

4. ระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทั้ง 3 ด้านของระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการ พร้อมทั้งรายละเอียด ทรัพยากรที่ต้องการ และผลลัพธ์ที่คาดหวัง ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกัน โดยระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยให้วัสดุเหลือใช้ถูกคัดแยกและจัดเก็บอย่างเป็นระบบ โปรแกรมส่งเสริมการลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ (Upcycling) มุ่งเน้นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ผ่านความคิดสร้างสรรค์ และเครือข่ายความร่วมมือกับชุมชนและภาคอุตสาหกรรมช่วยขยายขอบเขตของการจัดการวัสดุเหลือใช้ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

5. ผลการทดลองนำระบบต้นแบบไปใช้

ผู้วิจัยได้ทดลองนำระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองนำระบบต้นแบบไปใช้พร้อมการทดสอบทางสถิติ

องค์ประกอบที่ทดลอง	ตัวชี้วัดผลการดำเนินงาน	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	การเปลี่ยนแปลง (%)	Statistical Test	p-value	Effect Size (Cohen's d)	นัยสำคัญ
ระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุ	ปริมาณวัสดุที่ถูกคัดแยกและจัดเก็บ (กิโลกรัมต่อสัปดาห์)	22.5 ± 3.2	78.3 ± 8.7	+248.0	Paired t-test	< 0.001***	3.24 (Large)	มีนัยสำคัญ
	ร้อยละของวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	20.3 ± 4.1	62.7 ± 7.3	+208.9	Paired t-test	< 0.001***	2.89 (Large)	มีนัยสำคัญ
	ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (คะแนนเฉลี่ย 1-5)	2.8 ± 0.6	4.3 ± 0.4	+53.6	Wilcoxon signed-rank	0.002**	1.85 (Large)	มีนัยสำคัญ
กิจกรรม Workshop การลดของเสียและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์	จำนวนผู้เข้าร่วมกิจกรรม (คน)	0	68 ± 12.4	-	-	-	-	N/A
	จำนวนผลงาน Upcycling ที่พัฒนาขึ้น (ชิ้น)	0	24 ± 4.8	-	-	-	-	N/A
	ความพึงพอใจต่อกิจกรรม (คะแนนเฉลี่ย 1-5)	-	4.6 ± 0.3	-	One-sample t-test ¹	< 0.001***	2.67 (Large)	สูงกว่าระดับปานกลาง

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลการทดลองนำระบบต้นแบบไปใช้พร้อมการทดสอบทางสถิติ

องค์ประกอบ ที่ทดลอง	ตัวชี้วัดผลการ ดำเนินงาน	ก่อน ทดลอง	หลัง ทดลอง	การ เปลี่ยนแปลง (%)	Statistical Test	p-value	Effect Size (Cohen's d)	นัยสำคัญ
ภาพรวม ของระบบ ต้นแบบ	ปริมาณขยะที่ ลดลง (กิโลกรัมต่อ สัปดาห์)	0	62.8 ± 9.1	-	One- sample t- test ²	< 0.001***	6.90 (Very Large)	มี นัยสำคัญ
	การประหยัด ค่าใช้จ่ายใน การซื้อวัสดุ ใหม่ (บาทต่อ เดือน)	0	32,570 ± 4,230	-	One- sample t- test ²	< 0.001***	7.70 (Very Large)	มี นัยสำคัญ
	การลด คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (กิโลกรัม CO ₂ e ต่อ เดือน)	0	862 ± 118	-	One- sample t- test ²	< 0.001***	7.31 (Very Large)	มี นัยสำคัญ

หมายเหตุ: - *** p < 0.001, ** p < 0.01, * p < 0.05

- ¹ ทดสอบกับค่า 3.0 (ระดับปานกลาง)

- ² ทดสอบกับค่า 0 (ไม่มีการเปลี่ยนแปลง)

- Effect Size: 0.2 = เล็ก, 0.5 = ปานกลาง, 0.8 = ใหญ่, > 1.2 = ใหญ่มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลกระทบโดยรวมของระบบต้นแบบ สามารถลดปริมาณขยะได้ 62.8 ± 9.1 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (p < 0.001, Cohen's d = 6.90) ซึ่งถือเป็น Effect Size ระดับใหญ่มาก แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของระบบในการลดขยะอย่างชัดเจน ด้านประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ระบบสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อวัสดุใหม่ได้ 32,570 ± 4,230 บาทต่อเดือน (p < 0.001, Cohen's d = 7.70) ซึ่งเป็นจำนวนเงินที่มีนัยสำคัญทางเศรษฐกิจ ด้านสิ่งแวดล้อม ระบบช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ 862 ± 118 กิโลกรัม CO₂e ต่อเดือน (p < 0.001, Cohen's d = 7.31) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ

6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจลงทุนและดำเนินการระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ในระยะยาว ผลการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทน (Cost-benefit analysis) ของระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นถึงตัวชี้วัดทางการเงินที่สำคัญดังนี้

6.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 3.26 ปี

การลงทุนในระบบจะสามารถคืนทุนได้ภายในไตรมาสที่ 2 ของปีที่ 4

6.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) เท่ากับ 1,125,764 บาท

คำนวณที่อัตราคิดลด (Discount Rate) 5% ต่อปี NPV เป็นบวกแสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน

6.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) เท่ากับ 24.76%

IRR สูงกว่าต้นทุนของเงินทุน (Cost of Capital) ที่ประมาณ 5-7% แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าของโครงการ

6.4 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio, BCR) เท่ากับ 1.32

BCR มากกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนสูงกว่าต้นทุน

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน (Social Return on Investment, SROI) พบว่า ทุก 1 บาทที่ลงทุนในเรื่องของการสร้างผลตอบแทนทางสังคมและสิ่งแวดล้อมคิดเป็นมูลค่า 2.8 บาท

7. ปัจจัยแห่งความสำเร็จและความท้าทาย

การวิเคราะห์ผลการวิจัยและการทดลองระบบต้นแบบ จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 21 คน (อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม 8 คน นักวิชาการด้านความยั่งยืน 7 คน และผู้บริหารสถาบันการศึกษา 6 คน) ใช้แบบสอบถาม Delphi Technique 3 รอบ มาตรวัด Likert Scale 5 ระดับ (Kendall's W = 0.847, $p < 0.001$; Cronbach's Alpha = 0.923) ทำให้สามารถระบุปัจจัยแห่งความสำเร็จและความท้าทายในการพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยแห่งความสำเร็จและความท้าทายในการพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้

ลำดับ	ปัจจัยแห่งความสำเร็จ	ค่าเฉลี่ย ± SD	ระดับ ความสำคัญ	ความท้าทาย	ค่าเฉลี่ย ± SD	ระดับ ความยาก
1	การสร้างความตระหนักและการมีส่วนร่วม	4.8 ± 0.3	สูงมาก	การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ใช้	4.5 ± 0.4	ยากมาก
2	การออกแบบระบบที่ใช้ งานง่ายและสะดวก	4.7 ± 0.4	สูงมาก	การรักษาความยั่งยืนของระบบ ในระยะยาว	4.4 ± 0.5	ยากมาก
3	การบูรณาการเข้ากับ หลักสูตรและการเรียน การสอน	4.6 ± 0.3	สูงมาก	การจัดสรรทรัพยากรและ งบประมาณอย่างเพียงพอ	4.3 ± 0.6	ยาก
4	การสนับสนุนจาก ผู้บริหารระดับสูง	4.5 ± 0.4	สูง	ข้อจำกัดด้านพื้นที่และโครงสร้าง พื้นฐาน	4.2 ± 0.5	ยาก
5	การเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมและทัศนคติ ของผู้ใช้	4.5 ± 0.5	สูง	-	-	-

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยแห่งความสำเร็จที่สำคัญที่สุดในการพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ คือ การสร้างความตระหนักและการมีส่วนร่วม (4.8 ± 0.3) รองลงมาคือ การออกแบบระบบที่ใช้งานง่ายและสะดวก (4.7 ± 0.4) และการบูรณาการเข้ากับหลักสูตรและการเรียนการสอน (4.6 ± 0.3) ตามลำดับ ทั้งสามปัจจัยนี้อยู่ในระดับความสำคัญสูงมาก โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงถึงฉันทามติที่สูงของผู้เชี่ยวชาญ ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญในระดับสูง ได้แก่ การสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง (4.5 ± 0.4) และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ใช้ (4.5 ± 0.5)

ด้านความท้าทายในการพัฒนาระบบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ใช้เป็นความท้าทายที่ยากที่สุด (4.5 ± 0.4) ซึ่งน่าสนใจว่าปัจจัยนี้ปรากฏทั้งในด้านความสำเร็จและความท้าทายแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนและความสำคัญสูงของประเด็นนี้ รองลงมาคือ การรักษาความยั่งยืนของระบบในระยะยาว (4.4 ± 0.5) การจัดสรรทรัพยากรและงบประมาณอย่างเพียงพอ (4.3 ± 0.6) และข้อจำกัดด้านพื้นที่และโครงสร้างพื้นฐาน (4.2 ± 0.5) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ด้วย Delphi Technique 3 รอบ พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันสูง (Kendall's W = 0.847, $p < 0.001$) และแบบสอบถามมีความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha = 0.923) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ที่ประสบความสำเร็จจำเป็นต้องเน้นการสร้างความร่วมมือและการมีส่วนร่วมเป็นอันดับแรก ควบคู่กับการออกแบบระบบที่เป็นมิตรกับผู้ใช้ และการบูรณาการเข้ากับกระบวนการเรียนการสอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ใช้ ซึ่งเป็นทั้งปัจจัยแห่งความสำเร็จและความท้าทายหลักในเวลาเดียวกัน

สรุปและอภิปรายผล

สถานการณ์ขยะและวัสดุเหลือใช้ในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบที่พบว่ามีปริมาณประมาณ 7.4 ตันต่อปีการศึกษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Chaisuparasmikul (2023) ที่พบว่าคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีขยะจากการเรียนการสอนประมาณ 7.5 ตันต่อปี แสดงให้เห็นว่าสถาบันการศึกษาด้านสถาปัตยกรรมและการออกแบบในประเทศไทยมีลักษณะการสร้างขยะที่คล้ายคลึงกัน

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยพบว่าวัสดุเหลือใช้ที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในกรณีของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (ร้อยละ 58.6) สูงกว่าที่พบในการศึกษาของ Chaisuparasmikul (2023) (ร้อยละ 45) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างในหลักสูตรและรูปแบบการเรียนการสอน โดยเฉพาะสัดส่วนของวิชาที่เน้นการปฏิบัติการและการสร้างหุ่นจำลอง

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของวัสดุเหลือใช้ที่พบว่ามีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประมาณ 30.5 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี สอดคล้องกับการศึกษาของ Cohen และคณะ (2022) ที่ชี้ให้เห็นว่าการศึกษาด้านสถาปัตยกรรมและการออกแบบมีส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากวัสดุเหลือใช้จึงเป็นโอกาสสำคัญในการมีส่วนร่วมต่อเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

ระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้แบบบูรณาการที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก สอดคล้องกับกรอบแนวคิดที่เสนอโดย Kim และ Lee (2023) ที่ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ (1) โครงสร้างพื้นฐานและการจัดการ (2) เทคโนโลยีและระบบสารสนเทศ (3) การมีส่วนร่วมและเครือข่าย และ (4) การเรียนรู้และนวัตกรรม

ผลการทดลองนำระบบต้นแบบไปใช้ที่พบว่าการคัดแยกและจัดเก็บวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (+ 248.0%) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการลดขยะและส่งเสริมการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ สอดคล้องกับการศึกษาของ O'Connor และ Hawkes (2021) ที่พบว่าการพัฒนาระบบการจัดการวัสดุเหลือใช้ที่มีประสิทธิภาพสามารถลดขยะและส่งเสริมการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่แสดงให้เห็นว่าระบบมีระยะเวลาคืนทุน 3.26 ปี และ IRR 24.76% สะท้อนให้เห็นว่าการลงทุนในระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ไม่เพียงแต่เป็นการลงทุนเพื่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว การวิเคราะห์ SROI ที่แสดงให้เห็นว่าทุก 1 บาทที่ลงทุนในระบบสร้างผลตอบแทนทางสังคมและสิ่งแวดล้อมคิดเป็นมูลค่า 2.8 บาท ยิ่งตอกย้ำความคุ้มค่าของการลงทุนในระบบดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรมีการพัฒนากระบวนการอย่างเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากการจัดระบบคัดแยกและจัดเก็บวัสดุ และขยายไปสู่องค์ประกอบอื่น ๆ ตามลำดับ
2. ควรมีการบูรณาการระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้เข้ากับการเรียนการสอน โดยการส่งชิ้นงานต่อให้รุ่นน้อง เพื่อเก็บวัสดุที่สามารถใช้ต่อไปได้ในปีถัดไป
3. การพัฒนาระบบดิจิทัลสนับสนุน ควรพัฒนาระบบดิจิทัลที่สนับสนุนการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ เช่น แอปพลิเคชันสำหรับการลงทะเบียนและแลกเปลี่ยนวัสดุ ฐานข้อมูลวัสดุเพื่อการออกแบบ และระบบติดตามและประเมินผล

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การศึกษาผลกระทบระยะยาวของระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ต่อพฤติกรรมและทัศนคติของนักศึกษาและบุคลากร
2. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ในสถาบันการศึกษา เพื่อส่งต่อ หรือขยายผลระบบการจัดการขยะและวัสดุเหลือใช้ไปสู่ระดับมหาวิทยาลัยและชุมชน
3. ควรศึกษาถึงผลจากการดำเนินงานที่ส่งผลกับจากเก็บขยะจากภายนอก เช่น รถเก็บขยะของเทศบาล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุน งบประมาณรายได้ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหาร คณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการวิจัย รวมถึงผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Chaisupa rasmikul, P. (2023). Material Waste Management in Chulalongkorn University's Faculty of Architecture: A Case Study. Built Environment Research, 11(1), 72-85.
- Cohen, L., Martinez, R., & Thompson, D. (2022). Material Waste in Architectural Education: Quantifying Resources and Carbon Footprint. Journal of Architectural Education, 76(1), 45-58. <https://www.tandfonline.com/journals/rjae20>
- Kim, J., & Lee, S. (2023). Conceptual Framework for Integrated Material Management in Educational Institutions. Journal of Cleaner Production, 382, 125302. <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>
- Littman, J. A. (2023). Waste Minimization Strategies in Design Schools: A Global Perspective. Sustainable Design Education, 12(3), 302-318.
- O'Connor, F., & Hawkes, D. (2021). Circular Economy in Architectural Education: From Theory to Practice. Journal of Cleaner Production, 352, 128314.

Tantana tewin, W., & Inkarojrit, V. (2023). Sustainable Design Education in Thailand: Challenges and Opportunities. AEJ: Architecture Education Journal International, 7(1), 25-42.