

การศึกษาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิตขึ้นรูปจากกล่องบรรจุภัณฑ์ที่มี ส่วนประกอบจากอะลูมิเนียมเติมด้วยพลาสติก

The Study of Volatile Organic Compounds of the Composites Fabricated from Used-Beverage Cartons Containing Aluminum and Additional Plastics

วรัญชกร พุ่มชลิต¹ ชานา ลีบำรุ่ง¹ พลภัทร ทิพย์บุญศรี² ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์² และ ขจร สีทาแก^{1*}

¹คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Walanrak Poomckalit¹ Chana Leebamroong¹ Ponlapath Tipboonsri² Thammasak Rojviroon²
and Khajorn Seetakae^{1*}

¹Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

*Corresponding author Email: khajorn_s@rmutt.ac.th

(Received: December 12, 2024; Revise: December 30, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาศาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิต โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสารระเหยที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพจากวัสดุรีไซเคิลสำหรับการพัฒนาเป็นวัสดุผนัง โดยมีสมมติฐานว่าวัสดุจะมีการปลดปล่อยสารระเหยที่เป็นอันตรายหลังจากการขึ้นรูปซ้ำ กระบวนการผลิตขึ้นทดสอบได้จากการนำกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วและพลาสติกเหลือใช้มาบด และผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 16000 ผลการตรวจสอบปรากฏว่าไม่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยภายหลังจากกระบวนการรีไซเคิล สามารถนำวัสดุต้นแบบไปพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้งานในอาคารได้

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศภายในอาคาร สารประกอบอินทรีย์ระเหย รีไซเคิล แผ่นผนัง

Abstract

This article presents study results of Volatile Organic Compounds (VOCs) of composites fabricated by hot compression molding process. The research aimed to analyze volatile substances from recycled materials that were hazardous to health when developed as panel materials. The hypothesis assumed these composite materials emit harmful gases when recycling. Sampling sheets were derived from ground-used beverage cartons and recycled plastics mixed at 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50 wt% and then analyzed for VOCs regarding ISO 16000. The results showed that no VOCs were detected after recycling. The samples can be processed for indoor-used products further.

Keywords: IAQ, VOCs, Recycle, Wall panel

1. บทนำ

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นที่องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ให้ความสำคัญ นำไปสู่การกำหนดเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development) การลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้รับความสนใจจากประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) ที่ให้ความสำคัญกับการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ประเทศไทยในฐานะประเทศสมาชิก ได้ร่วมประกาศเจตนารมณ์ในประเด็นดังกล่าว ในการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติ ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The UN Climate Change Conference in Glasgow: COP26) ที่จัดขึ้นเมื่อปี 2564 (2021) ณ เมืองกลาสโกว์ ประเทศอังกฤษ มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี 2593 (2050) และตั้งเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ภายในปี 2608 (2065) [1] ซึ่งได้รับการตอบรับจากทุกภาคส่วนเพื่อนำไปปฏิบัติให้เกิดผลเป็นรูปธรรม รวมถึงอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ที่มีการตื่นตัวตอบรับประเด็นความเป็นกลางทางคาร์บอนและการพัฒนาที่ยั่งยืนมากยิ่งขึ้น อาคารที่สร้างขึ้นในปัจจุบันได้รับการเอาใจใส่ให้มีการคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการใช้งานของมนุษย์ มีกระบวนการก่อสร้าง การใช้ทรัพยากร และการใช้งานอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีการพัฒนาวัสดุอาคารหลากหลายเพื่อให้ได้รับการรับรองอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามเกณฑ์ Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability (TREES) ที่สำคัญคือ TREES – NC หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากร (Materials and Resources) การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล และวัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ [2] ซึ่งสถาบันอาคารเขียวได้ประยุกต์หลักเกณฑ์การพิจารณาจากเกณฑ์ Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ประกาศใช้โดย U.S. Green Building Council (USGBC) [3] ซึ่งได้รับการยอมรับในระดับสากล

ปัจจุบันมีการรับรองฉลากเขียวสำหรับสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาจากรายชื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองฉลากเขียวประเภทวัสดุก่อสร้าง พบว่า วัสดุผนังฉลากเขียวที่มีการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาด มีเพียงซีเมนต์บอร์ด 3 ผลิตภัณฑ์ และวัสดุก่อผนัง 5 ผลิตภัณฑ์เท่านั้น [4] ซึ่งถือว่ายังมีการพัฒนาและมีการผลิตจำหน่ายอยู่ในวงจำกัด นอกจากนี้การพัฒนาวัสดุผนังคอมโพสิต ก็ยังมีขอบเขตจำกัดอยู่เพียงวัสดุไม่กี่ประเภท ได้แก่ ผนังอะลูมิเนียมคอมโพสิตประเภทแซนด์วิชคอมโพสิต (Sandwich Composite) ที่มีแกนกลาง (Core) เป็นโพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) ปิดทับด้วยแผ่นอะลูมิเนียมทั้ง 2 ด้าน [5,6,7] และ แผ่นผนังไม้เทียม Wood-plastic composite (WPC) พิจารณาเพิ่มเติมในส่วน of วัสดุผนังพลาสติก การผลิตและจำหน่ายมีเพียงผนังโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride: PVC) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้เป็นผนังกันห้องน้ำ และ ผนัง PS พิมพ์ลายวัสดุธรรมชาติ ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อใช้ในงานตกแต่งอาคาร [8,9] ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าผนังชนิดอื่นๆ ในด้านคุณสมบัติการป้องกันน้ำและความชื้น ส่วนวัสดุรีไซเคิลที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างและตกแต่งอาคาร ยังไม่มีความชัดเจนสำหรับการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาดสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณขยะที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ โดยในปี 2565 มีขยะที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่เพียง 9.31 ล้านตัน (ร้อยละ 17.06) จากปริมาณขยะมูลฝอยรวมมากกว่า 54 ล้านตันในปีเดียวกัน ซึ่งสามารถกำจัดได้เพียง 17.64 ล้านตัน (ร้อยละ 32.33) จึงทำให้คงเหลือปริมาณขยะตกค้างสะสมมากถึง 27.62 ล้านตัน (ร้อยละ 50.61) ทั้งที่ไม่ได้จัดเก็บและที่ตกค้างในหลุมฝังกลบขยะ (Landfill) [10]

วัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปต้นแบบวัสดุผนังคอมโพสิตรีไซเคิลในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย กล่องบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้ว (Used beverage cartons: UBC) เต็มด้วยพลาสติกกรีไซเคิล ซึ่งกล่องบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มใช้แล้วนั้น ถูกผลิตขึ้น

เพื่อใช้ในการรักษาคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะของเหลว เพื่อป้องกันอุณหภูมิ ความชื้น และสิ่งปนเปื้อน เมื่อกลายเป็นขยะจะถูกจำแนกเป็นขยะกำพวด เนื่องจากมีองค์ประกอบของกระดาษประมาณ 75% พลาสติก 20% และอะลูมิเนียม 5%อัดแน่นเป็นเนื้อเดียวไม่สามารถแยกออกจากกันได้ [11] ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่แสดงถึงการปั่นแยกเยื่อกระดาษออกจากวัสดุผสมพลาสติกและอะลูมิเนียม (PolyAL) แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์คอมโพสิต [12] แต่ก็ต้องมีการใช้ทรัพยากรและพลังงานในกระบวนการและขั้นตอนการปั่นเพื่อแยกกระดาษ ซึ่งหากสามารถลดขั้นตอนและกระบวนการนี้ได้ จะสามารถลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในการผลิต ส่วนขยะพลาสติก ซึ่งเป็นขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่และรีไซเคิลได้ นำมาใช้เป็นสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อลดข้อด้อยของกระดาษในด้านการป้องกันน้ำและความชื้น การผลิตผนังคอมโพสิตจาก ก่อ่งบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วผสมพลาสติกนี้ ใช้วิธีการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยผสมก่อก่อ่งบรรจุภัณฑ์กับพลาสติก และวิเคราะห์สมบัติการผสมกับขยะพลาสติก 4 ชนิด ได้แก่ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) [13] โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polypropylene: HDPE) โพลิสไตรีน ทั้ง Polystyrene: PS และ Oriented Polystyrene: OPS เพื่อใช้เป็นตัวเพิ่มประสานในกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Hot compression molding) อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลายฉบับที่ยืนยันว่า ในกระบวนการกำจัดพลาสติกด้วยความร้อน พลาสติกจะมีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยในปริมาณที่สูงมาก [14,15] ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) และโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate) มีการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยสูงกว่าพลาสติกย่อยสลายได้ เช่น โพลีแลกติก (Polylactic Acid: PLA) ถึง 100 เท่า [16,17]

งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับ การวิเคราะห์การปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยความร้อนที่แตกต่างกันตามประเภทของวัสดุ ซึ่งอาจเป็นอันตรายและส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งานอาคาร โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) เปรียบเทียบผลตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 [18] และ มาตรฐาน ISO: 16000-6:2021 [19] เพื่อการออกแบบและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปผนังคอมโพสิตวัสดุรีไซเคิลเพื่อผลิตเป็นผนังอาคารที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ใช้งานภายในอาคาร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีการลงทุนต่ำโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปและเครื่องจักรราคาถูก ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการผลิต โดยผลผลิตจากงานวิจัยในส่วนนี้ จะนำไปสู่การสร้างวิธีการที่เหมาะสมในเพิ่มมูลค่าให้แก่ขยะกำพวดด้วยผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถใช้งานภายในอาคารได้อย่างปลอดภัย มีคุณสมบัติเหมาะสมในการขยายผลไปสู่การพัฒนาเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มสัดส่วนการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะขยะกำพวดที่กำจัดไม่ได้ และลดปริมาณขยะตกค้างสะสมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single Use Products) ในระบบการจัดเก็บโดยรวม สอดคล้องกับการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนและเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศ จากการใช้ทรัพยากรและกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

คุณภาพอากาศภายในอาคาร สามารถนำไปสู่อาการของผู้ใช้อาคารหรืออยู่อาศัยในอาคารที่เรียกว่า โรคตึกพิษ (Sick building Syndrome) โดยองค์การอนามัยโลกได้ระบุถึง สารประกอบอินทรีย์ระเหยไว้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Semi-volatile organic compounds (SVOCs) ซึ่งจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 50–100 °C และ Very-volatile organic compounds (VOCs) [20] ซึ่งจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 240–260 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิเดียวกับที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ใช้กับต้นแบบวัสดุคอมโพสิตรีไซเคิล ในบทความนี้ ดังนั้นการตรวจสอบสารประกอบอินทรีย์ระเหย จึงมีการตั้งสมมติฐานงานวิจัยไว้ว่า ความร้อนที่ใช้การขึ้นรูปใหม่ (รีไซเคิล) อาจทำให้มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเกิดขึ้นในวัสดุคอมโพสิตรีไซเคิลต้นแบบ เมื่อพลาสติกตัวเดิมที่นำมาผสมในการขึ้นรูปแผ่นผนังจากก่อก่อ่งบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วมีอุณหภูมิระหว่าง 160±10 °C ถึง 220±10 °C

เพื่อเป็นการยืนยันสมมติฐาน จึงดำเนินการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหย ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าฝุ่นละอองคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 และ มาตรฐาน ISO: 16000-6:2021 โดยกำหนดองค์ประกอบและเงื่อนไขการทดสอบ ดังนี้

2.1 วัสดุแผ่นคอมโพสิตได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน โดยมีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ต่อพลาสติกตัวเติม 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 อุณหภูมิขึ้นรูปแตกต่างกันตามชนิดของพลาสติก ได้แก่ กล่องบรรจุภัณฑ์ผสม PP ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180 ± 10 °C [13] กล่องบรรจุภัณฑ์ผสม HDPE ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 220 ± 10 °C เนื่องจากการทำงานวิจัยที่ผ่านมา การเติม HDPE ไม่สามารถหลอมละลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 180 °C และ 200 °C กล่องบรรจุภัณฑ์ผสม PS ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 ± 10 °C และ กล่องบรรจุภัณฑ์ผสม OPS ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 ± 10 °C เนื่องจากอุณหภูมิการไหลแบบหนืดของ PS อยู่ระหว่าง 150 – 240 °C

2.2 การเตรียมวัสดุ แผ่นคอมโพสิตจากกล่องบรรจุภัณฑ์ผสมพลาสติกที่ขึ้นรูปตามข้อ 2.1 จะถูกนำมาบดให้มีขนาดเล็กที่สุด โดยในขั้นนี้ ใช้การบดผ่านตะแกรงขนาด 5 มม. โดยคำนึงถึงขนาดหลังการบดที่ยังคงทำให้แผ่นฟิล์มคอมโพสิตอะลูมิเนียมและพลาสติก ยังคงติดอยู่กับกระดาดกล่องนมเป็นสำคัญ

2.3 วิธีการวิเคราะห์ การวิจัยนี้วิเคราะห์การปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) จากผลิตภัณฑ์โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ คือ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) รุ่น Agilent 6890N Network Gas Chromatograph (GC-MS 6890N) โดยมีการเตรียมตัวอย่างในสถานะไอระเหยด้วยอุปกรณ์ Agilent G1888 Network Headspace Sampler โดยดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง ทั้งนี้เงื่อนไขการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ระเหยของตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการวิเคราะห์การปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากผลิตภัณฑ์

GC Conditions	Values
Gas Flow	1.5 mL/min
Split flow	30.0 mL/min
Pressure: Inlet	3.3 psi
Oven Temperature	85 °C
Headspace Conditions	
Front Inlet	250 °C
Vial Pressurization Time	120 °C
Transfer Line Temperature	120 °C
Vial Equilibration Time	15 min

2.4 มาตรฐานการทดสอบ ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าฝุ่นละอองคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 และ มาตรฐาน ISO: 16000-6:2021

3. การอภิปรายผลการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากวัสดุก่อสร้างอาคาร [21] เป็นสิ่งที่ต้องการอนามัยโลกให้ความสำคัญ เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นสารอันตรายและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังสามารถก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ และโรคอื่นๆ สารประกอบอินทรีย์ระเหยส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic to Humans) ดังนั้นในการตรวจสอบสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุคอมโพสิตต้นแบบที่รีไซเคิลจากกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้ว ผสมกับพลาสติก PP HDPE PS และ OPS ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดด้วยความร้อน จึงได้กำหนดการตรวจสอบสารระเหย 17 ชนิด ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 และ มาตรฐาน ISO: 16000-6: 2021

ในงานวิจัยนี้ เป็นที่น่าสนใจว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นแบบแผ่นผนังคอมโพสิตรีไซเคิลจากกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วเดิม ด้วยพลาสติก PP, HDPE, PS และ OPS ทั้ง 16 สูตร ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS) โดยทำซ้ำสุตรละ 3 ตัวอย่าง “ไม่พบ” สารระเหยอินทรีย์ระเหยที่เป็นอันตรายจากวัสดุคอมโพสิตต้นแบบ ที่อัดขึ้นรูปด้วยความร้อนด้วยอุณหภูมิระหว่าง 160 ± 10 °C ถึง 220 ± 10 °C ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุต้นแบบ UBC+PP และ UBC+HDPE

สารประกอบอินทรีย์ระเหย	หน่วย	PP20	PP30	PP40	PP50	HDPE20	HDPE30	HDPE40	HDPE50
Vinyl Chloride	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1-Dichloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Acetone	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Styrene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dichloromethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinyl Acetate	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Butanal	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
cis-1,2-Dichloroethene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,1-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ: ND = Not Detect (ตรวจสอบไม่พบ)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยของวัสดุต้นแบบ UBC+PS และ UBC+OPS

สารประกอบอินทรีย์ระเหย	หน่วย	PS20	PS30	PS40	PS50	OPS20	OPS30	OPS40	OPS50
Vinyl Chloride	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1-Dichloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

สารประกอบอินทรีย์ระเหย	หน่วย	PS20	PS30	PS40	PS50	OPS20	OPS30	OPS40	OPS50
Acetone	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Toluene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chlorobenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ethylbenzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Xylene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Styrene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dichloromethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinyl Acetate	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Butanal	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
cis-1,2-Dichloroethene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,1,1-Trichloroethane	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzene	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ: ND = Not Detect (ตรวจสอบไม่พบ)

พิจารณาจากอุณหภูมิการขึ้นรูประหว่าง 160 ± 10 °C ถึง 220 ± 10 °C ซึ่ง Semi-volatile organic compounds (SVOCs) จะกลายเป็นไอไปหมดแล้ว ส่วน Very-volatile organic compounds (VOCs) ซึ่งจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 240–260 °C ซึ่งอาจยังคงเหลือในวัสดุก็ไม่ได้มีการตรวจพบแต่อย่างใด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร (Food grade packaging) ในการรีไซเคิลเพื่อผลิตเป็นวัสดุผนังคอมโพสิต ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยปกติต้องมีความปลอดภัยสูง ไม่มีสารเคมีที่เป็นพิษ หรือเป็นอันตรายต่อร่างกาย

ดังนั้นวัสดุที่พัฒนาขึ้นจึงมีความได้เปรียบกว่าวัสดุผนังประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะวัสดุผนังที่ประกอบขึ้นจากไม้ (Wood based panel) ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหย พบว่า วัสดุผนังอาคารส่วนใหญ่ โดยเฉพาะวัสดุผนังที่ประกอบขึ้นจากไม้ มักตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยประเภทเทอร์พีน แผ่นไม้อัด OSB (Oriented Strand Board) มักตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่มอัลดีไฮด์ (aldehydes) ประเภท เพนทานอล (pentanal) and เฮกซานอล (hexanal) ส่วนแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiber Board: MDF) ตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยแตกต่างกันตามประเภทของกาวที่ใช้อัดแผ่น หรือสารเคมีเคลือบผิว (Coating) เช่น เรซิน (Resin) และสารเคมีอื่นที่เป็นองค์ประกอบ [22] วัสดุประเภทฮาร์ดบอร์ด (Hardboard) ไม้อัด (Plywood) และยิปซัมบอร์ด (Gypsum board) มีการตรวจพบสารประกอบอินทรีย์ระเหยประเภท เพนทานอล เฮกซานอล โทลูอิน (toluene) ไซลีน (xylene) เบนซาลดีไฮด์ (benzaldehyde) และ สารประกอบอินทรีย์ระเหยอื่นๆ อีกหลายชนิด รวมถึงสารประกอบอะโรมาติกอื่นๆ (Aromatic) [23] ซึ่งกลุ่มสาร Aromatic Hydrocarbons มักก่อให้เกิดโรคและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ สารพิษกลุ่ม Chlorinated VOCs มักเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน [23]

4. สรุป

วัสดุคอมโพสิตต้นแบบจากกล่องบรรจุภัณฑ์ใช้แล้ว ผสมพลาสติกรีไซเคิล PP, HDPE, PS และ OPS ที่มีอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักกล่องบรรจุภัณฑ์ต่อพลาสติก 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 ที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 ± 10 °C ถึง 220 ± 10 °C ตรวจไม่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากวัสดุ ไม่เป็นไปตามสมมติฐานงานวิจัย อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ซึ่งไม่พบสารประกอบอินทรีย์ระเหยนี้ ทำให้วัสดุมีค่าการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหย ต่ำกว่าเกณฑ์ตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 ทำให้วัสดุนี้เป็นวัสดุที่มีความปลอดภัยในการพัฒนาเป็นวัสดุแผ่นผนังเพื่อใช้ในงานก่อสร้างและตกแต่งภายในอาคาร เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุรีไซเคิลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ตามเกณฑ์ TREES หมวดที่ 5

อย่างไรก็ดี การนำวัสดุนี้ไปพัฒนาและออกแบบเป็นวัสดุผนังภายในอาคารในขั้นตอนถัดไป คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่สามารถเทียบเคียงได้กับวัสดุที่มีการใช้งานอยู่ในท้องตลาดเป็นสิ่งที่ต้องมีการพิจารณาและให้ความสำคัญ โดยเฉพาะคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ การป้องกันความร้อน ความแข็งแรง ความต้านทานแรงดัด และคุณสมบัติในการต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทูสนันสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 (รหัสโครงการวิจัย FRB67E1003)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Innovation Roadmap for Industrial Decarbonization., <https://www.nxpo.or.th/th/wp-content/uploads/2023/02/รายงาน-Innovation-Roadmap-for-Industrial-Decarbonization.pdf> (accessed 1/11, 2024).
- [2] Subcommittee on the Development of Green Building Assessment Criteria, Green Building Institute. (nd). Thai Energy and Environmental Sustainability Assessment Criteria for New Construction and Renovation Projects (TREES – NC / CS Version 2.0). Green Building Institute., <https://tgbi.or.th/wp-content/uploads/2024/12/TREES-NC-v2-2023-NCCS-Check5A.pdf>, (accessed 4/12, 2024). (in Thai)
- [3] LEED v4.1 | U.S. Green Building Council. (n.d.), <https://www.usgbc.org/leed/v41>, (accessed 6/12, 2024).
- [4] List of Green Label certified products—Construction equipment. (nd). greenlabel., <https://greenlabel.tei.or.th/list-of-products-certified-with-construction-materials/>, (accessed 6/12, 2024). (in Thai)
- [5] Aluminium Composite (nd). Aluminium Composite. | Siaminter Composite., https://siam-alucom.com/aluminium_composite.html (accessed 24/12, 2024). (in Thai)
- [6] Aluminium Composite – Bitec Enterprise. <https://bitecenterprise.com/th/อลูมิเนียมคอมโพสิต-คือ-L/> (accessed 24/12, 2024). (in Thai)

- [7] ALUMINIUM COMPOSITE PANEL – FAMELINE: Architectural Building Materials. (n.d.). <https://fameline.com/composite/aluminium-composite-panel/>, (accessed 24/12, 2024). (in Thai)
- [8] PVC wall panels – Thai Watsadu. (nd.), <https://www.thaiwatsadu.com/th/category/แผ่นผนัง-PVC-550402>, (accessed 25/12, 2024). (in Thai)
- [9] Semi Circular Wood Plastic Composite Wall Board FULL-WBI6 0 7 . (n.d.). PROMA. <https://www.proma.co.th/product/ไม้ผนังสังเคราะห์-wall-board-full-wbi607/>, (accessed 25/12, 2024). (in Thai)
- [10] Solid Waste Management of Local Administrative Organizations in Thailand., <https://ej.eric.chula.ac.th/article/view/331>, (accessed 13/12, 2024). (in Thai)
- [11] M. Ebadi, M. Farsi, P. Narchin, and M. Madhoushi, “The effect of beverage storage packets (Tetra Pak) waste on mechanical properties of wood–plastic composites,” *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 29, 2015.
- [12] A. Memon, B. Chongkolnee, A. Watanapa, K. Thongsri, W. Cheewawuttipong, K. Santowongsakorn, P. Thipboonsri, K. Wongwattanachai, and N. Somsuk, “Towards Sustainable Production: Rotational Molding for Small–Part Manufacturing Using Recycled Materials from Used Beverage Cartons,” *2023 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, pp. 155–160, 2023.
- [13] K. Sritakae, C. Leebamrung, A. Memon, and W. Poomchalit, “Forming Optimization of Recycling Used Multilayer Film Cartons without the Separation Process for a Sustainable Architectural Material,” in *Proceeding of 16th Eco–Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 2025), Kyoto University, Japan, 2025*, (in Press)
- [14] M. Barabad L. M. Jung, W. Versoza, M. E., Y. Lee, K. Choi, and D. Park. “Characteristics of Particulate Matter and Volatile Organic Compound Emissions from the Combustion of Waste Vinyl,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 7, p. 1390, 2018.
- [15] Jang, M., Yang, H., Park, S.–A., Sung, H. K., Koo, J. M., Hwang, S. Y., Jeon, H., Oh, D. X., and Park, J, “Analysis of volatile organic compounds produced during incineration of non–degradable and biodegradable plastics,” *Chemosphere*, vol. 303, p. 134946, 2022.
- [16] Harčárová, K., Vilcekova, S., & Balintova, M. “Building Materials as Potential Emission Sources of VOC in the Indoor Environment of Buildings,” *Key Engineering Materials*, vol. 838, pp. 74–80, 2020. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.838.74>
- [17] Que, Z.–L., Wang, F.–B., Li, J.–Z., & Furuno, T. “Assessment on emission of volatile organic compounds and formaldehyde from building materials,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 49, pp. 36–42, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.01.008>

- [18] Announcement of the Department of Health on the monitoring value of indoor air quality in public buildings, B.E. 2565. (n.d.), <https://laws.anamai.moph.go.th/th/practices/211864>, (accessed 6/12, 2024). (in Thai)
- [19] ISO 16000-6:2021. (n.d.). ISO., <https://www.iso.org/standard/73522.html> (accessed 6/12, 2024).
- [20] World Health Organization . *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. WHO Regional Office for Europe; Copenhagen, Denmark: 1989.
- [21] E. David, and V. Niculescu, “Volatile Organic Compounds (VOCs) as Environmental Pollutants: Occurrence and Mitigation Using Nanomaterials,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, p. 13147, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413147>
- [22] Adamová, T., Hradecký, J., & Pánek, M., “Volatile Organic Compounds (VOCs) from Wood and Wood-Based Panels: Methods for Evaluation, Potential Health Risks, and Mitigation,” *Polymers*, vol. 12, no. 10, p. 2289, 2020.