บทความวิจัย

- Research Article -

การพัฒนาแผ่นลามิเนตที่มีผิวสัมผัสคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มาสำหรับงานปิดผิวผนัง

The Development of Leather-like Laminate Sheet from Ganoderma Sp. Mycelium for Wall Finishing

สุภาวรรณ ปันดี[1] นฤมล สีพลไกร[2]* และ จิดาภา ทรงสิริอาชา[3]
[1]อาจารย์ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ 50300
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
[3]เจ้าของกิจการ จิดาภาฟาร์ม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ 50180

Supawan Pundi[1] Narumon Seeponkai[2]* and Jidapa Songsiri-archa[3]
[1]Lactural, Faculty of Arts and Architecture, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiangmai, Thailand, 50300
[2]Assistant Professor, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand, 65000
[3]Business Owner, Jadapa Mushroom Farm, Mae Rim, Chiangmai, Thailand, 50180

*Email: narumonse@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มาเพื่อการพัฒนาเป็นแผ่นลามิเนต สำหรับงานปิดผิวผนังที่มีผิวสัมผัสคล้ายหนัง และการประยุกต์ใช้แผ่นวัสดุในการสร้างรูปร่างและลักษณะของผนังที่เป็นกรอบอาคาร โดยศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวัสดุจากการปลูกเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา ขนาด 15X 15 ซม. หนา 1.2 มม. กดทับด้วยเครื่องรีดร้อน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที นำไปแช่สารเสริมสภาพพลาติกกลีเซอรอล 30% เคลือบผิวด้วยฟิล์มชีวภาพจากแป้งถั่วเขียว และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ตลอดจนการออกแบบการติดตั้งแผ่นวัสดุเพื่อสร้างรูปร่างและลักษณะของผนังที่เป็นกรอบอาคาร รวมทั้งประเมินการตอบสนองของวัสดุต่อสภาพแวดล้อมจริง ผลการวิจัยพบว่า แผ่นวัสดุให้ค่าความความสามารถในการต้านทานแรงดึง 4.14 MPa ค่าความยืดหยุ่นผิว 11.33 องศา และมีร้อยละการยืดตัว 183.01 เป็นค่าสมบัติของวัสดุที่นำมาสร้างรูปร่างและลักษณะของเปลือกอาคารด้วยเทคนิคการซ้อนเกล็ดบนโครงคร่าวไม้ โดยนำไม้ฝาจากการรื้อถอนอาคารไม้เดิมกลับมาประกอบเป็นผนังอีกครั้ง หลังจากการใช้งานเสร็จสิ้น ผนังประกอบสามารถนำมาแยกแผ่นลามิเนตออกและทำการย่อยสลายด้วยวิธีการฝังกลบที่ยังคงรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของดินหลังจากกระบวนการย่อยสลาย

คำสำคัญ: เห็ดสกุลกาโนเดอร์มา; แผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ด; วัสดุคล้ายหนังจากเห็ด; ผนังแป้นเกล็ด

Abstract

This study investigates the use of Ganoderma mushroom mycelium as a sustainable material for the development of laminated sheets designed for wall surface applications with a leather-like texture. The research aims to explore both the production process and the application of these sheets in forming the structure and appearance of frame walls in architecture. The laminated sheets were fabricated by cultivating Ganoderma mycelium into panels measuring 15 x 15 cm. with a thickness of 1.2 mm. The sheets were hot-pressed at 100°C for 10 minutes, and then soaked in a 30% glycerol plasticizer solution, and coated with a biodegradable film made from mung bean starch. The physical and mechanical properties of the sheets were tested, including tensile strength, surface flexibility, and elongation at break. The results showed a tensile strength of 4.14 MPa, a surface flexibility angle of 11.33 degrees, and an elongation at break of 183.01%. The material was applied to architectural practice through a shingle-layering technique over a wooden framework. Reclaimed wood panels from a dismantled wooden building were reused to assemble the walls. After use, the laminated sheets could be removed and biodegraded through soil burial without negatively affecting the soil's pH value. This demonstrates the material’s potential for circular design and sustainable architectural applications.

Keywords: Ganoderma Sp.; mycelium laminate sheet; mushroom leather-like material; Paen Gled wall
Received: March 3, 2025; **Revised:** April 28, 2025; **Accepted:** May 23, 2025

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบัน วิกฤตสิ่งแวดล้อมและปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ทรัพยากรอย่างไม่ยั่งยืนควบคู่กับการพึ่งพาวัสดุสังเคราะห์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายต่ำ ได้กลายเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจจากหลายภาคส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างและสถาปัตยกรรม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดของเสียจำนวนมากที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

วัสดุทางเลือกจากเส้นใยเห็ดจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุจากธรรมชาติที่เกิดจากการแปรรูปเส้นใยเห็ดหรือ ไมซีเลียม (Mycelium) โดยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา (Ganoderma Sp.) เป็นสกุลที่สามารถนำมาพัฒนาสู่การเป็นวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ แฟชั่น และวัสดุก่อสร้าง โดยวัสดุจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา ได้รับการกล่าวถึงในงานวิจัยด้านวัสดุชีวภาพว่าเป็นแหล่งวัสดุที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากมีโครงสร้างไมซีเลียม ที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีความแข็งแรงระดับหนึ่ง และสามารถควบคุมพื้นผิวสัมผัสได้ โดยเฉพาะการพัฒนาพื้นผิวให้มีลักษณะคล้ายหนัง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มักเป็นที่ต้องการในงานออกแบบตกแต่งภายในและการปิดผิวผนัง (Jones et al., 2021; Haneef et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ความท้าทายของการใช้งานวัสดุชีวภาพคือ การพัฒนาให้สามารถตอบสนองต่อสมรรถนะเชิงกล ความทนทาน และความเข้ากันได้กับกระบวนการก่อสร้างในสภาพแวดล้อมจริง

ในงานสถาปัตยกรรม วัสดุลามิเนตถือเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างประสบการณ์ทางสัมผัสและการรับรู้ของผู้ใช้งาน อีกทั้งยังมีส่วนในการสร้างอัตลักษณ์เฉพาะตัวให้กับพื้นที่ภายในอาคาร วัสดุปิดผิวประเภทนี้จึงได้รับการออกแบบและนำมาใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เพื่อตอบสนองต่อความเหมาะสมของแต่ละบริบทพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นลามิเนตลายหนัง (Leather Laminate Texture) เป็นแผ่นวัสดุที่ให้อารมณ์คล้ายการหุ้มหนัง สะดวกในการติดตั้ง ป้องกันรอยขูด หรือฉีกขาดได้ ซึ่งวัสดุที่มีลักษณะคล้ายหนังสามารถพัฒนาได้จากเส้นใยเห็ด (Meyer et al., 2021) ให้คุณสมบัติทนต่อแรงกระแทก ผิวมีความยืดหยุ่น และย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างสมบูรณ์เมื่อสิ้นสุดการใช้งาน ทั้งนี้การย่อยสลายขึ้นอยู่กับการผสมกับพอลิเมอร์หรือวัสดุอื่น (Jones et al., 2021)

การออกแบบวัสดุปิดผิวผนังมีแนวโน้มที่จะเน้นการถ่ายทอดอัตลักษณ์ของโครงการควบคู่กับการสะท้อนแนวคิดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังมีแนวโน้มที่ผู้ประกอบการจะพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่สนับสนุนแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดการเกิดของเสีย และส่งเสริมการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ หรือย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยแนวทางดังกล่าว สะท้อนถึงความเปลี่ยนแปลงของความต้องการในตลาดวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมควบคู่กับคุณค่าทางสุนทรียะและการใช้งานจริง

การวิจัยนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา ที่มีพื้นผิวคล้ายหนังเพื่อใช้เป็นวัสดุปิดผิวผนังที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยศึกษากระบวนการผลิต ตั้งแต่การเพาะเลี้ยง การขึ้นรูป ไปจนถึงการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพื้นผิว เพื่อให้วัสดุดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ยังพิจารณาศักยภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพหลังจากการใช้งาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของดิน ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในฐานะที่เป็นส่วนหนึ่งของการผลักดันแนวทางการออกแบบเชิงหมุนเวียน และการสร้างทางเลือกวัสดุในงานสถาปัตยกรรมที่ตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งยังเป็นการเปิดพื้นที่ใหม่ให้กับการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพในงานออกแบบสมัยใหม่ได้อย่างเป็นรูปธรรม

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษากระบวนการในการผลิตแผ่นวัสดุ คุณสมบัติทางกายภาพ รวมถึงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา

2) เพื่อออกแบบวิธีการติดตั้งผนังที่ใช้แผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา

3. วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยการรวบรวมและศึกษาข้อมูล แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

3.1 การศึกษาเกี่ยวกับเห็ดสกุลกาโนเดอร์มาในการพัฒนาเป็นวัสดุ

เห็ดสกุลกาโนเดอร์มา (Ganoderma Sp.) เป็นเชื้อรากลุ่ม Basidiomycota ในวงศ์ Ganodermataceae ซึ่งพบได้ทั่วไปบนต้นไม้ที่ตายแล้ว โดยทำหน้าที่ทั้งเป็นเห็ดสมุนไพรและปรสิตพืชไม้ยืนต้น แม้ว่าการจำแนกลักษณะเฉพาะของเห็ดสกุลนี้ในประเทศไทยยังมีข้อจำกัด (อนงค์ จันทรศรีกุล, 2528) แต่จากการศึกษา พบว่า เส้นใยของเห็ดกาโนเดอร์มามีศักยภาพสูงในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เช่น วัสดุคอมโพสิตจากไมซีเลียมที่สามารถย่อยสลายได้ (Digafe et al., 2022) โดยการผลิตวัสดุจากไมซีเลียมประกอบด้วยการเพาะเลี้ยงบนวัสดุธรรมชาติ เช่น ฟางข้าวหรือขี้เลื่อย จากนั้นทำการหยุดการเจริญเติบโตด้วยความร้อนสูงกว่า 100°C (Leal et al., 2020) สำหรับการพัฒนาเป็นลามิเนตจะใช้การบีบอัดด้วยความร้อน หรือการอบลมร้อน พร้อมทั้งเสริมคุณสมบัติด้วยสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อเพิ่มความอ่อนนุ่ม ความยืดหยุ่น และความทนทานต่อสภาวะต่าง ๆ

3.2 แนวคิดการพัฒนาวัสดุชีวภาพเพื่อการก่อสร้างอย่างยั่งยืน

การพัฒนาวัสดุชีวภาพเพื่อการก่อสร้างอย่างยั่งยืน (Sustainable Construction Materials) เป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในยุคที่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยวัสดุชีวภาพ (Biomaterials) หมายถึง วัสดุที่มีแหล่งกำเนิดจากทรัพยากรชีวภาพ ไม่ว่าจะเป็นพืช จุลินทรีย์ หรือของเสียจากกระบวนการเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่สามารถหมุนเวียนได้ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของวัสดุ

แนวคิดหลักในการพัฒนาวัสดุชีวภาพเพื่อการก่อสร้างอย่างยั่งยืน มุ่งเน้นไปที่การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความหมุนเวียนได้ (Renewable Resources) การออกแบบกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานต่ำ และลดการใช้สารเคมีอันตราย รวมถึงการวางแผนเพื่อการนำวัสดุไปใช้ใหม่ (Reuse) หรือย่อยสลายได้ทางชีวภาพหลังหมดอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตาม การพัฒนาวัสดุชีวภาพยังต้องคำนึงถึงการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้งาน จนถึงการกำจัดหรือการหมุนเวียนวัสดุในอนาคต แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการออกแบบเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Design) ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมก่อสร้างสู่ความยั่งยืนในอนาคต

3.3 การศึกษาวิธีการติดตั้งวัสดุลามิเนตจากเส้นใยเห็ดรา

การติดตั้งวัสดุลามิเนตในงานก่อสร้างมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุและพื้นผิวการติดตั้ง โดยวิธีที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ (1) การติดตั้งด้วยกาว (Glue-Down Method) (2) การติดตั้งแบบคลิกล็อค (Click-Lock Method) และ (3) การติดตั้งด้วยตะปูหรือตัวยึด (Nail-Down หรือ Staple-Down Method) สำหรับวัสดุลามิเนตจากเส้นใยเห็ดรา การติดตั้งจำเป็นต้องออกแบบชิ้นงานให้มีรูปทรงและลักษณะที่เหมาะสม พร้อมกับการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งที่รองรับการใช้งาน เพื่อให้วัสดุสามารถคงความแข็งแรงและตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า เห็ดสกุลกาโนเดอร์มาเป็นกลุ่มเชื้อราที่สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทย ซึ่งเส้นใยของเห็ดชนิดนี้มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวัสดุลามิเนตที่มีผิวสัมผัสคล้ายหนัง โดยสามารถนำมาใช้งานเป็นวัสดุปิดผิวผนังที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเพื่อให้มีความทนทานและเหมาะสมกับการใช้งานจริงเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาวัสดุนี้ รวมถึงการประเมินผลกระทบจากการใช้วัสดุชีวภาพในงานก่อสร้าง ซึ่งการศึกษาในด้านนี้จะช่วยเสริมสร้างการพัฒนาวัสดุชีวภาพให้มีความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น ทั้งในแง่ของการใช้งานที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

4. กรอบแนวคิด

4.1 สมมติฐานการวิจัย

แผ่นลามิเนตที่พัฒนาโดยใช้เส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา สามารถทำให้มีผิวสัมผัสคล้ายหนังและเหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุปิดผิวผนังที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

4.2 ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่ เส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา และสารเติมแต่ง

ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณสมบัติของแผ่นลามิเนตที่พัฒนาได้

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ กระบวนการผลิตและความหนาของแผ่น

4.3 วิธีการทดสอบสมมติฐาน

1) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ สี และผิวสัมผัส

2) การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

3) การประเมินศักยภาพการใช้งานและการย่อยสลายของวัสดุ

5. วิธีการศึกษา

5.1 การดำเนินงานก่อนลงมือปฏิบัติการ

ศึกษาเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับวัสดุจากเส้นใยเห็ด สมบัติเชิงกลของแผ่นวัสดุชีวภาพ กระบวนการผลิตแผ่นลามิเนต และแนวคิดด้านการออกแบบเพื่อความยั่งยืน ตลอดจนการคัดเลือกสายพันธุ์เห็ด โดยคัดเลือกดอกเห็ดจากจิดาภาฟาร์มเห็ด อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ และเตรียมวัสดุเพาะเลี้ยง

5.2 การทดลองและพัฒนาเส้นใยเห็ดสู่การเป็นแผ่นลามิเนต

1) การเพาะเลี้ยงเส้นใยเห็ด

ขั้นตอนนี้เป็นการเลี้ยงเชื้อบนวัสดุเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมและบ่มเชื้อเห็ดโดยระยะเวลาประมาณ 35-45 วัน แล้วทำการแกะวัสดุเพาะออกจากแผ่นเส้นใยเห็ด และเตรียมตัวอย่างแผ่นเส้นใยเห็ดเพื่อทำการทดลอง ขนาด 15X 15 ซม. หนา 1.2 มม. จำนวน 80 แผ่น เพื่อให้เพียงพอต่อการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

2) การขึ้นรูปและปรับสมบัติเชิงกล

การขึ้นรูปเป็นกระบวนการแปรเปลี่ยนเส้นใยเห็ดสู่การเป็นแผ่นลามิเนต โดยการนำไปกดทับด้วยเครื่องรีดร้อน (Heat Press) ด้วยแรงดัน 10 psi ใช้ความร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วินาที ทำซ้ำ 2 ครั้ง และนำไปปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุ โดยการทำ 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการใส่สารเติมแต่ง (Additive) และขั้นตอนการเคลือบผิว โดยใน 2 ขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองหาอัตราส่วนผสมและชนิดของสารเสริมพลาสติกที่สามารถนำมาเคลือบผิวด้วยแป้งถั่วเขียวดัดแปรได้ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การใส่สารเติมแต่ง (Additive) โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาว่าการปรับปรุงแผ่นเส้นใย Mycelium ให้มีความยืดยุ่น โดยทำการปรับปรุงสมบัติของแผ่นเส้นใย Mycelium ด้วยการแช่ในสารเสริมภาพพลาติก 3 ชนิด คือ Propylene Glycol (PG), Polyethylene Glycol (PEG) และ Glycerol (GLY) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ,30 และ 50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปอบในอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) เพื่อกำจัดความชื้น

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเคลือบผิวของแผ่นเส้นใยไมซีเลียม ด้วยฟิล์มที่ย่อยลายได้ทางชีวภาพจากแป้งถั่วเขียวดัดแปร ประกอบด้วย กรดซิตริก แป้งถั่วเขียว กลีเซอรอล ในอัตราส่วน 1:3:3 ผสมในน้ำและให้ความร้อน 85 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที กวนสารตลอดเวลา และทำการจุ่มเคลือบแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และบ่ม (Curing) โดยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

5.3 การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1) กลุ่มประชากรและหน่วยทดลอง

กลุ่มตัวอย่างคือแผ่นลามิเนตที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งจะนำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

2) เครื่องมือวิจัยและการเก็บข้อมูล

การทดสอบความชื้น (Moisture) โดยใช้เครื่องวัดความชื้นแบบมีเข็ม (Pin Moisture Meter) การทดสอบความยืดหยุ่นผิว (Surface Elasticity) และการทดสอบค่าความแข็ง (Shore Hardness) โดยใช้เครื่อง Shore Durometer การทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) โดยใช้เครื่อง Universal Testing สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานปิดผิวผนัง ทดสอบการติดตั้งบนโครงไม้จริง โดยใช้เทคนิคการปูแผ่นแบบซ้อน (Shingle Layering) และทำการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยการฝังแผ่นลามิเนตในดินธรรมชาติและเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการย่อยสลายเพื่อตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

5.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลเชิงปริมาณจากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ใช้สูตรค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) ในการคำนวณค่ากลางของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n} \quad (1)$$

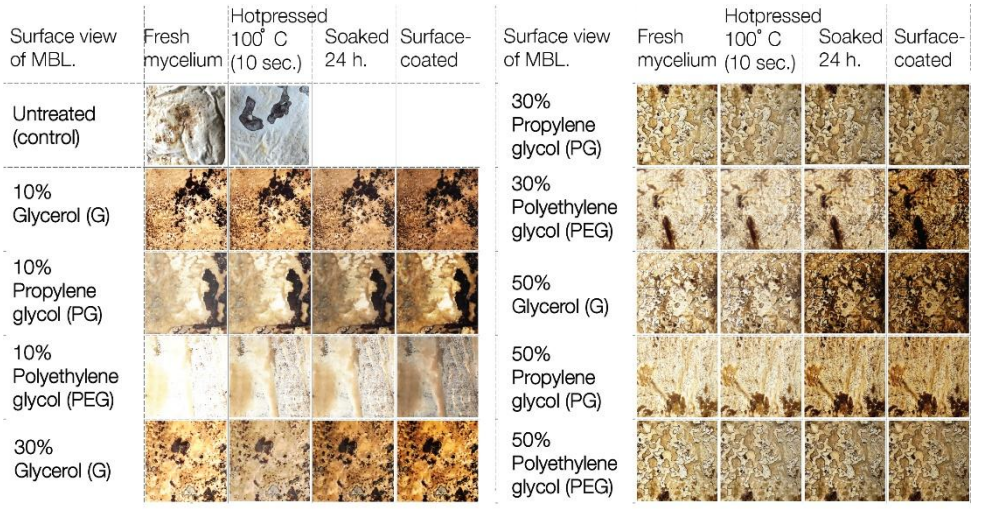
6. ผลการศึกษา

6.1 กระบวนการผลิตวัสดุ

ในกระบวนการผลิตแผ่นเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา สามารถผลิตโดยการเพาะปลูกเห็ดให้มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่สามารถแกะออกจากวัสดุปลูกได้โดยไม่ฉีกขาด ขั้นตอนต่อไปนำแผ่นเส้นใยเข้าสู่กระบวนการผลิตวัสดุแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ด โดยการนำแผ่นเส้นใยไปกดทับด้วยเครื่องรีดร้อน (Heat Press) เพื่อให้เกิดกระบวนการเทอร์โมเซตติงโดยการบีบอัดบนแท่นเครื่องรีดร้อนด้วยแรงดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) พร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วินาที โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง ความร้อนที่ส่งเข้าไปจะเป็นตัวทำให้เส้นใยไมซีเลียมอ่อนตัว ยืดขยายและยึดติดกันระหว่างเส้นใย ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยแยกโมเลกุลของน้ำออกไป ทำให้เส้นใยเกิดการผสานรวมกันและจับตัว กระบวนการเทอร์โมเซตติงนี้จะเปลี่ยนให้เส้นใยไมซีเลี่ยมกลายเป็นแผ่นลามิเนตแผ่นเดียว โดยแผ่นลามิเนตที่ได้ออกมาจะมีความแห้ง คงตัว พร้อมสำหรับการนำไปปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุโดยการวิจัยนี้ได้ทดลองพัฒนาเส้นใยไมซีเลียม โดยการเพิ่มสารเติมแต่งให้เส้นใยเห็ดมีสภาพพลาสติกด้วยการแช่ในสาร 3 ชนิด ได้แก่ โพรพิลีนไกลคอล (PG) โพลีเอธิลีนไกคอล (PEG) และ กลีเซอรอล (G) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 30 และ 50 ตามลำดับ และเคลือบผิวด้วยแป้งถั่วเขียวดัดแปร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่สารรวมตัวกับน้ำในเคมีอินทรีย์ จากนั้นศึกษาลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล โดยแสดงผลการศึกษา ดังนี้

1) การแปรเปลี่ยนเส้นใยเห็ดสู่การเป็นแผ่นลามิเนต โดยการใส่สารเติมแต่ง (Additive) และเคลือบผิวด้วยแป้ถั่วเขียวดัดแปร พบว่า ลักษณะทางกายภาพของผิวสัมผัสของเส้นใยไมซีเลี่ยม ก่อนแช่ด้วยสารทั้ง 3 ชนิด มีความร่วน แห้ง และมีความยืดหยุ่นน้อย หลังทำการแช่ด้วยสารเสริมสภาพพลาสติกทำให้ลักษณะทางกายภาพของแผ่นเส้นใยเปลี่ยนไป มีความนิ่มชุ่มชื้น และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ผิวแผ่นเส้นใยด้านหน้าแสดงลวดลายของกลุ่มเส้นใยชัดเจนเรียบเป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนด้านหลังแผ่นมีความขรุขระของวัสดุปลูก ดังภาพที่ 1 นอกจากนั้น ลักษณะของผิวแผ่นเส้นใยเกิดการเปลี่ยนสี โดยเมื่อแช่ในกลีเซอรอลในทุกความเข้มข้นของสารสีของแผ่นเส้นใยมีสีเข้มกว่าการแช่ใน โพรพิลีนไกลคอล (PG) และโพลีเอธิลีนไกคอล (PEG) ตามลำดับ ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นเส้นใยไมซีเลี่ยม หลังแช่ในสารเสริมสภาพพลาติก 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 สีและพื้นผิวของแผ่นเส้นใยไมซีเลี่ยม หลังการแช่สารเสริมสภาพพลาติกและเคลือบผิว

2) การศึกษาและทดลองหาอัตราส่วนผสม และชนิดของสารเสริมพลาสติกที่สามารถนำมาเคลือบผิวด้วยแป้งถั่วเขียวดัดแปรได้ โดยเป็นกระบวนการที่ทำให้แผ่นวัสดุมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล สามารถนำไปใช้งานได้ ทั้งยังช่วยคงความชุ่มชื้นและปกป้องผิวของแผ่นเส้นใยไมซีเลียม จากความชื้นในอากาศเป็นการป้องกันการเกิดราเขียวและราดำ นอกจากนั้นยังปกป้องวัสดุจากสภาพแวดล้อมภายนอก โดยการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นวัสดุในแต่ละอัตราส่วนผสม ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา ในแต่ละอัตราส่วน

MBLs.	Shore Hardness (°)	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Moisture (%)
Fresh mycelium				
Untreated (control)	20.89	330.79	3.54	9.36
Hot pressed 100 °C (10 sec)				
Untreated (control)	18.33	40.56	5.26	8.98
Soaked 24 h.				
10% G	22.00	117.20	0.55	15.84
10% PG	36.83	42.00	8.66	0.00
10% PEG	36.33	60.92	1.65	11.05
30% G	34.67	216.14	2.26	15.19
30% PG	37.17	114.31	0.72	16.59
30% PEG	54.00	59.96	1.58	12.05
50% G	38.33	167.11	1.66	17.97
50% PG	40.33	124.47	1.41	16.56
50% PEG	35.67	73.36	1.25	12.49
Surface-coated				
10% G	21.67	130.21	2.79	23.97
10% PG	16.33	103.60	5.69	22.91
10% PEG	20.00	80.93	5.50	14.14
30% G	11.33	183.01	4.14	33.22

MBLs.	Shore Hardness (°)	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Moisture (%)
30% PG	17.33	138.83	2.95	23.44
30% PEG	18.67	84.20	4.65	13.32
50% G	18.67	147.07	2.11	18.08
50% PG	21.33	184.81	2.35	20.31
50% PEG	21.33	93.86	3.09	15.53

จากผลการทดสอบ พบว่า กระบวนการบีบอัดแผ่นวัสดุที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยแท่นเครื่องรีดร้อนทำให้ผิววัสดุมีความความแข็งน้อยลง โดยได้ค่า Shore Hardness 18.33 องศา ความยืดหยุ่นผิวมากขึ้น โดยให้ค่า Elongation 40.56 % การทนต่อแรงดึง ได้ค่า Tensile Strength 5.26 MPa โดยที่แผ่นวัสดุมีความชื้นลดลง จาก 9.36% เหลือ 8.98 %

เมื่อแช่สารเสริมพลาสติก โดยการใช้สาร 3 ชนิด ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 30 และ 50 พร้อมเปรียบเทียบคุณสมบัติ พบว่า เมื่อแช่แผ่นเส้นใยในสารเสริมพลาสติก ทั้ง 3 ชนิดในปริมาณที่มากขึ้นทำให้คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเส้นใยลดลง แต่เมื่อแช่แผ่นเส้นใยในกลีเซอรอล ร้อยละ 10 พบว่า คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นวัสดุให้ค่า Shore Hardness ดีที่สุด คือ 22.00 องศา ขณะที่แผ่นเส้นใยแช่ในกลีเซอรอล ร้อยละ 30 ให้ค่า Elongation ดีที่สุด คือ 216.14 % สำหรับการแช่ในสารโพรพิลีนไกลคอล (PG) ให้ค่า Tensile Strength ดีที่สุด คือ 8.66 MPa

เมื่อนำแผ่นวัสดุที่แช่สารเสริมพลาสติกมาทำการเคลือบผิวโดยใช้แป้งถั่วเขียวดัดแปร โดยการจุ่มเคลือบแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และบ่ม (Curing) โดยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดกระบวนการเชื่อมขวางโซ่พอลิเมอร์ ระหว่างกลีเซอรอล แป้ง และกรดซิตริก ทำให้แผ่นวัสดุเหนียวขึ้นหรือแข็งตัวขึ้น แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ พบว่า แผ่นเส้นใยที่แช่ในกลีเซอรอล ร้อยละ 30 ให้ค่า Shore Hardness ดีที่สุด คือ 11.33 องศา ขณะที่แผ่นเส้นใยแช่ในสารโพรพิลีนไกลคอล ร้อยละ 50 ให้ค่า Elongation ดีที่สุด คือ 184.81 % และการแช่แผ่นเส้นใยในสารโพรพิลีนไกลคอล ร้อยละ 10 ให้ค่า Tensile Strength ดีที่สุด คือ 5.69 MPa สำหรับค่าความชื้นของแผ่นเส้นใยหลังจากทำการบ่มวัสดุ พบว่า แผ่นวัสดุที่ทำการแช่ในกลีเซอรอล ร้อยละ 30 ให้ค่าความชื้นสูงกว่าสูตรอื่นๆ คือ 33.22 %

หากพิจารณาถึงผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของแผ่นวัสดุ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบผนังทางสถาปัตยกรรม โดยการพิจารณาจากสี ผิวสัมผัส ค่า Shore Hardness ค่า Elongation ค่า Tensile Strength และร้อยละของความชื้นของวัสดุ สรุปได้ว่า การแช่เส้นใยในกลีเซอรอล ร้อยละ 30 ที่เคลือบผิวด้วยแป้งถั่วเขียวดัดแปร ให้ค่าสีของผิววัสดุที่เข้ม มีความเงา (Gloss) คงลวดลายเดิมของเส้นใย และมีผิวสัมผัสที่นิ่มคล้ายหนัง โดยค่า Shore A Hardness เท่ากับ 11.33 องศา ลักษณะการยืดของหนังที่เกิดจากแรงดึงที่ดี โดยวิเคราะห์จากค่า Elongation เท่ากับ ร้อยละ 183.01 มีค่าความชื้น ร้อยละ 33.22 และมีความแข็งแรงของวัสดุเมื่อถูกแรงดึงมากระทำอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ ในการวิจัยนี้ โดยวิเคราะห์จากค่า Tensile Strength เท่ากับ 4.14 MPa ทั้งนี้ ในการนำไปใช้งานปิดผิวผนังจึงต้องมีการออกแบบการประกอบและติดตั้งแผ่นวัสดุ

จากการพัฒนาคุณสมบัติของแผ่นเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา ที่มีความหนา 1.2 มม. พบว่า การแช่เส้นใยในกลีเซอรอล ร้อยละ 30 และเคลือบผิวด้วยแป้งถั่วเขียวดัดแปร ให้ค่าความเป็นวัสดุคล้ายหนังทั้งด้านลักษณะทางกายภาพ สี ความเงา ความเหนียวและนิ่มของวัสดุ สำหรับคุณสมบัติเชิงกล หากเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีความเหนียวและนิ่มอื่น ๆ ให้ค่าใกล้เคียงกับลูกอมที่มีเหนียว และมีความเหนียวและนุ่มน้อยกว่าวัสดุประเภทหนังยาง ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบประเภทวัสดุคล้ายหนังจากเส้นใยไมซีเลี่ยมของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่า มีคุณสมบัติค่าความแข็งแรงของวัสดุเมื่อถูกแรงดึงมากระทำใกล้เคียงกัน แต่มีค่าความยืดหยุ่นของวัสดุน้อยกว่าการศึกษาอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาวัสดุจากเส้นใยไมซีเลี่ยมให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงหนังสัตว์ เพื่อเป็นวัสดุทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต ดังตารางที่ 2

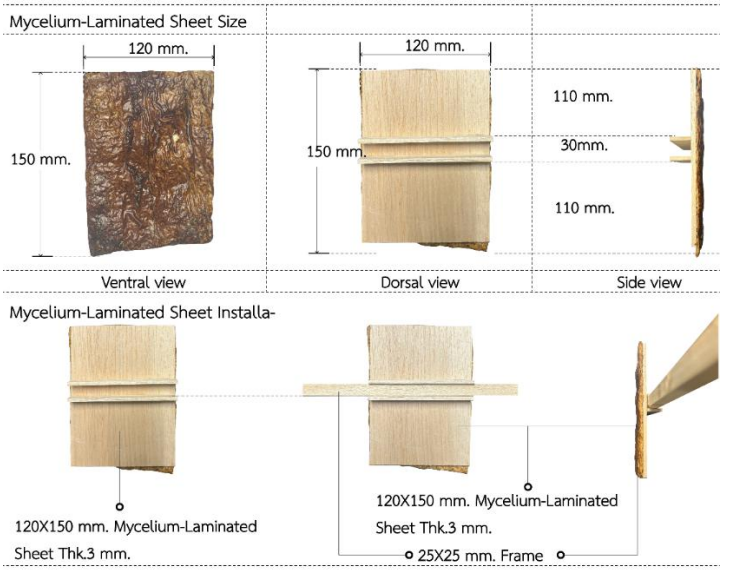
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นวัสดุคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดในงานศึกษาอื่น

ประเภทของวัสดุ	Elongation	Shore A Hardness	Tensile Strength	การอ้างอิง
Leather-like Sheet from Ganoderma Sp.	183.01 %	11.33 A	8.66 MPa	การวิจัยฉบับนี้
Ganoderma lucidum	14-33 %	-	0.8-1.1 MPa	Haneef, et al, 2017
Mycelium leather	22-35 %	-	8-11 MPa	Mycotech Lab, 2021
Mycelium based leather	4.59–58.86 %	-	1.40–8.49 MPa	Raman, et al, 2022

6.2 การออกแบบและติดตั้งผนังจากแผ่นลามิเนตที่มีผิวสัมผัสคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา

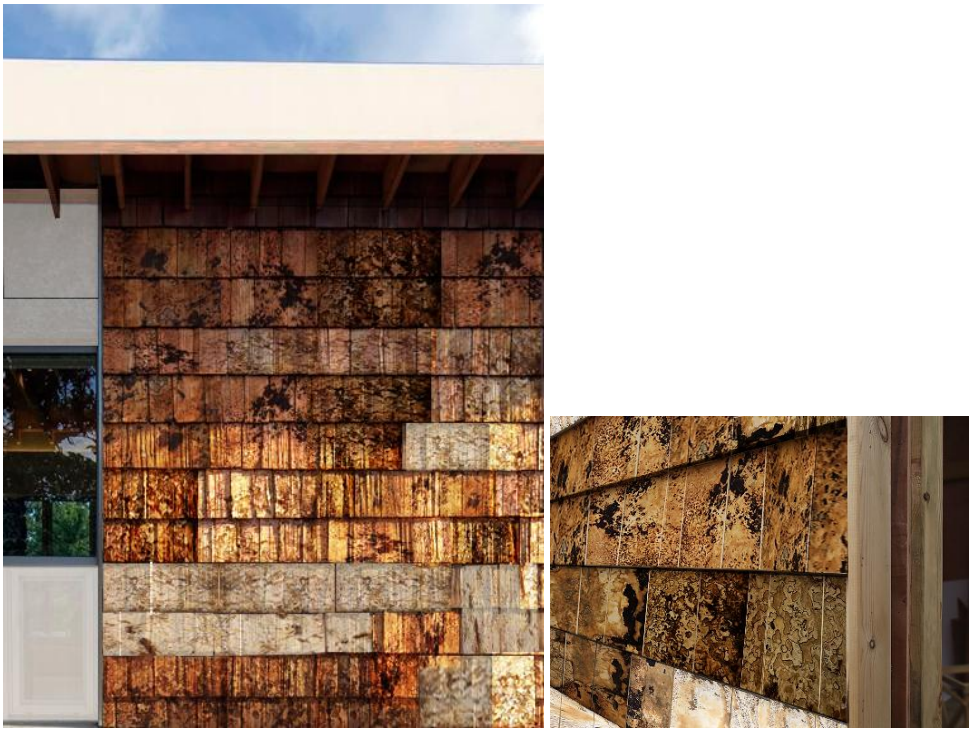
การวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบและติดตั้งแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มาให้สามารใช้ในงานผนังอาคารได้ โดยกระบวนการนี้เป็นแนวทางหนึ่งในการก่อรูปแผ่นระนาบผนังให้แผ่นวัสดุสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้ โดยในงานสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นภาคเหนือนิยมใช้ไม้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง โดยมีลักษณะสำคัญคือ การซ้อนเกล็ดในองค์ประกอบของอาคารภายนอกที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มพื้นที่ภายในอาคาร ได้แก่ ฝาผนังและหลังคา ทั้งนี้ ในกระบวนการรื้อถอนอาคารไม้เก่าจะมีไม้ส่วนที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ เช่น ไม้เสา ไม้ตง-คาน ไม้โครงหลังคา และไม้พื้น สำหรับไม้ฝาจะเป็นส่วนที่ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ เนื่องจากมีความบางและผุกร่อนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมจึงกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้ง และนำไปเป็นไม้ต่อไฟในการจุดไฟก่อเพลิงในการประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน

ดังนั้น การวิจัยนี้ได้นำแผ่นลามิเนตที่มีผิวสัมผัสคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดติดตั้งเป็นผิวผนังชั่วคราวเพื่อกันแสงแดดสำหรับบ้านพักอาศัย โดยนำไม้ฝาที่รื้อถอนจากอาคารเดิมมาใช้ในการประกอบโครงผนัง ด้วยกระบวนการปรับผิวให้เรียบด้วยกบไสไม้ จะทำให้แผ่นไม้บางลงสามารถปิดทับด้วยแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ด และการติดตั้งแบบการซ้อนเกล็ด ซึ่งเป็นเทคนิคการติดตั้งผนังระบบแห้ง ที่ติดตั้งบนระบบโครงคร่าวไม้ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การประกอบและติดตั้งแผ่นลามิเนตจากเส้นใยไมซีเลี่ยมบนโครงไม้

การออกแบบและติดตั้งผนังโดยการใช้แผ่นลามิเนตมีผิวสัมผัสคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มาในสภาพแวดล้อมจริง เป็นเวลา 6 เดือน (ภาพที่ 4) พบว่า สารเคลือบผิวมีการเสื่อมสลายอันเนื่องมาจากแสงแดดและความชื้น ทำให้ผิววัสดุวัสดุเกิดการเสื่อมสภาพ ทั้งลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกล จึงมีการรื้อถอนและกำจัดเศษวัสดุโดยการฝังกลบในดิน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 70% ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 4.5 พบว่า เศษวัสดุจากแผ่นเส้นใยเห็ดเกิดการย่อยสลายร้อยละ 40 ของแผ่นวัสดุ ในเวลา 6 เดือน โดยเป็นการย่อยสลายที่เกิดขึ้นนอกเซลล์ของจุลินทรีย์หรือการปลดปล่อยเอนไซม์ออกมา เพื่อสลายพันธะของสายโซ่พอลิเมอร์ของวัสดุ นำไปสู่การย่อยสลายทางภาพภายในเซลล์ของจุลินทรีย์และได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน เมื่อวิเคราะห์คุณภาพดินหลังกระบวนการย่อยสลาย 6 เดือน พบว่า ยังคงรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในระดับเดิม เนื่องจาก ในกระบวนการพัฒนาคุณสมบัติของแผ่นวัสดุใช้พอลิเมอร์ที่ไม่มีส่วนผสมของสารพิษที่ตกค้างยาวนานและไม่สะสมในสิ่งมีชีวิต จึงส่งผลต่อการรักษาคุณภาพของดินเดิมหลังจากกระบวนการย่อยสลาย



ภาพที่ 4 ผนังจากแผ่นลามิเนตมีผิวสัมผัสคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา

7. สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาแผ่นลามิเนตที่มีผิวสัมผัสคล้ายหนังจากเส้นใยเห็ดสกุล กาโนเดอร์มา เพื่อประยุกต์ใช้ในการก่อรูปผนัง สามารถดำเนินการได้โดยใช้กระบวนการปลูกวัสดุ (Material Cultivation) ซึ่งเริ่มต้นจากการปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นเส้นใยให้มีความเหนียวและยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น โดยนำแผ่นเส้นใยเห็ดแช่ในสารละลายกลีเซอรอล เพื่อปรับสภาพเส้นใยให้อยู่ในสภาวะพลาสติก จากนั้น จึงนำแผ่นเส้นใยผ่านกระบวนการเทอร์โมเซตติง โดยการบีบอัดภายใต้แรงดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) พร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้ ส่งผลให้เส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและทำหน้าที่ยึดเกาะประสานกันจนกลายเป็นแผ่นลามิเนตอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ การเคลือบผิวแผ่นวัสดุด้วยแป้งถั่วเขียวดัดแปรยังช่วยเสริมสมบัติเชิงกลของแผ่นลามิเนต ทำให้สามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายนอกได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ กระบวนการพัฒนาดังกล่าวยังส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป โดยทำให้วัสดุมีความนิ่ม ชุ่มชื้น และมีความยืดหยุ่นคล้ายกับวัสดุประเภทหนังธรรมชาติ

การก่อรูปผนังในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการติดตั้งผนังแบบซ้อนเกล็ดบนโครงคร่าวไม้มาใช้ ซึ่งเป็นกระบวนการประกอบและติดตั้งผนังระบบแห้งที่สอดคล้องกับขนาดของแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดในสกุลกาโนเดอร์มา ที่ได้จากกระบวนการผลิต ทั้งนี้ ได้มีการประยุกต์ใช้ไม้ฝาที่ได้จากการรื้อถอนอาคารไม้มาเป็นวัสดุสำหรับโครงสร้างรองรับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งาน ผนังที่ประกอบขึ้นสามารถแยกโครงคร่าวไม้ออกและสามารถนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบเพื่อการย่อยสลายตามธรรมชาติ ทั้งนี้ กระบวนการย่อยสลายของวัสดุยังช่วยคงรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมอีกด้วย

ดังนั้น การใช้วัสดุชีวภาพเป็นทางเลือกใหม่ในการพัฒนาองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาวัสดุจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา ซึ่งมีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการดังกล่าวไม่เพียงแต่เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าเท่านั้น แต่ยังตอบสนองแนวคิดการออกแบบเชิงหมุนเวียนที่กำลังได้รับความสำคัญในอุตสาหกรรมก่อสร้างสมัยใหม่

8. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาแผ่นลามิเนตจากเส้นใยเห็ดสกุลกาโนเดอร์มา เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรมก่อสร้าง จำเป็นต้องดำเนินการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุในหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม คุณสมบัติการกันน้ำและการต้านทานความชื้น อย่างไรก็ตาม เพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านความยั่งยืนอย่างเป็นรูปธรรม จำเป็นต้องมีการศึกษาแนวทางการออกแบบเชิงหมุนเวียนในหลากหลายมิติ ตลอดวัฏจักรชีวิตของสิ่งแวดล้อมสร้างสรรค์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง การศึกษาดังกล่าวจะเป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อให้เกิดความยั่งยืนในสถาปัตยกรรม ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญจากกระบวนการออกแบบและการก่อสร้างที่คำนึงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน ประจำปีงบประมาณ 2567 สถานที่วิจัย ห้องปฏิบัติการออกแบบสถาปัตยกรรมยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และจิดาภาฟาร์มเห็ด จังหวัดเชียงใหม่

10. เอกสารอ้างอิง

อนงค์ จันทรศรีกุล. (2528). *เห็ดบางชนิดในสกุล Ganoderma และสกุลใกล้เคียง Species of Ganoderma and Allied Genera in Thailand.* กรมวิชาการเกษตร.

Digafe, A., Mesfin, T., & Ajoy, K. M. (2022). Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial. *International Journal of Biomaterials, 2022*(1), 1–12. https://doi.org/10.1155/2022/8401528

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports, 7*, Article 41292. https://doi.org/10.1038/srep41292

Jones, M., Gandia, A., John, S., & others. (2021). Leather-like material biofabrication using fungi. *Nature Sustainability, 4*(1), 9–16. https://doi.org/10.1038/s41893-020-00606-1

Leal, L. L., Aguiar, J. L. R., Boehm, G. C., & Faria, J. F. (2020). Mycelium-based composites for sustainable construction applications. *Materials Today Communications, 24*, 101224. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm. 2020 .101224

Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H., & Mondschein, A. (2021). Comparison of the technical performance of leather, artificial leather, and trendy alternatives. *Coatings, 11*(2), Article 226. https://doi.org/10.3390/coatings 11020226

Mycotech Lab. (2021). *Mylea technical data sheet*. https://mycl.bio/storage/app/media/mylea/Mylea%20 Technical% 20Data% 20Sheet.pdf

Raman, J., Kim, D. S., Kim, H. S., Oh, D. S., & Shin, H. J. (2022). Mycofabrication of mycelium-based leather from brown-rot fungi. *Journal of Fungi, 8*(3), Article 317. https://doi.org/10.3390/jof8030317