DOI: 10.14456/bei.2025.1

การพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขามสำหรับสวนหลังคา
Development of Drainage Soil Alternative Planting Material from Tamarind Fibers for Roof Garden

ศิริสวัสดิ์ จองบุดดี [a] ณัฏรี ศรีดารานนท์[a] และ โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ [a*]

Sirisawat Jongbuddee [a], Nattaree Sridaranon [a] and Sopa Visitsak [a]**

[a]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเทศไทย

[a]Faculty of Architecture, Kasetsart University, Thailand

*Corresponding Author. Email: sopa.v@ku.th

Received: November 8, 2023 Revised: November 18, 2024 Accepted: November 28, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขาม ที่ผนวกประโยชน์ใช้สอยด้านการส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตเสมือนการปลูกพืชในดิน และความสามารถในการระบายน้ำบริเวณสวนหลังคาอย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้แนวคิดการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาพัฒนาต่อยอด โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ ความเหมาะสม และข้อจำกัดของเส้นใยจากพืชชนิดต่าง ๆ กับเส้นใยรกมะขาม จากนั้นทำการทดลองขึ้นรูปแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขามสำหรับสวนหลังคาประเภทไม่ใช้สอยโดยปราศจากวัสดุประสานอื่นเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และประเมินระยะเวลาการคงรูปของวัสดุตัวอย่าง รวมถึงการประเมินช่วงเวลาการย่อยสลายตัวทางชีวภาพของเส้นใยด้วยเครื่อง UV Weathering Tester จากนั้นนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับเส้นใยรกมะขามทั่วไปในการรับแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความหยืดหยุ่นด้วยเครื่อง Tensile Testing

ผลการทดสอบพบว่า เส้นใยรกมะขามที่ผ่านเครื่อง UV Weathering Tester จำนวน 30, 90 และ 180 Cycle (1 Cycle เท่ากับ 1 วัน ในสภาวะอากาศปกติภายนอกอาคาร) สามารถรับแรงดึงได้ถึง 186.402 N/mm2, 151.286 N/mm2 และ 133.230 N/mm2 โดยคิดเป็น 68.2%, 55.4% และ 48.8% ของเส้นใยรกมะขามทั่วไป (273.242 N/mm2) ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความทนทานและอายุการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริงได้มากกว่า 6 เดือน ด้วยลักษณะทางกายภาพของเส้นใยรกมะขามที่มีความเหนียวแน่นและยึดเกาะกันเป็นก้อนได้ดี เมื่อนำแผ่นปลูกพืชดังกล่าวมาใช้งานร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ในระบบสวนหลังคา นอกจากจะเป็นการช่วยระบายน้ำแล้ว ยังทำหน้าที่กรองอนุภาคอื่น ๆ ที่ปะปนมากับน้ำ ทำให้การระบายน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ท่วมขัง ทั้งยังส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีตลอดอายุการใช้งาน เมื่อเส้นใยรกมะขามชุ่มน้ำจะพองและขยายตัวเกิดเป็นรูพรุน เพื่อให้น้ำ อากาศ และธาตุอาหารแทรกซึมผ่านได้ ผลการทดสอบยืนยันว่าต้นแบบแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขามนับเป็นวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์เพื่อความยั่งยืนได้ในอนาคต

ABSTRACT

This article presents the development of a prototype soilless-culture plate with water drainage made from tamarind fibers. The development is combined with utility for promoting plant growth as if plant-growing in soil, and ability to effectively drain water on the roof garden area, under the concept of using waste agricultural materials to develop further. In the study, mechanical properties, suitability, and limitations of fibers from various plants were compared with tamarind fibers. Then, an experiment was conducted to form a soilless-culture plate with water drainage made from tamarind fibers for being used in a extensive roof garden without any other binder materials in order to test physical properties and evaluate the retention time of the sample material as well as evaluating the biodegradation time of the fibers with a UV weathering tester machine. Then, the samples were tested in comparison with general tamarind fibers in terms of tensile strength and elasticity with a tensile testing machine.

The test results showed that tamarind fibers passing through the UV weathering tester machine for 30, 90, and 180 cycles (1 cycle equals 1 day in normal outdoor weather conditions) could receive tensile strength up to 186.402 N/mm2, 151.286 N/mm2, and 133.230 N/mm2, accounted for 68.2 %, 55.4% and 48.8% of general tamarind placenta fibers (273.242 N/mm2), respectively. These results demonstrate the tamarind fibers' durability and lifespan of more than 6 months in real natural condition due to physical characteristics of tamarind fibers which are strong and clinging together well. When using this soilless-culture plate with other components in the roof garden system, apart from being useful for good drainage, it also serves well to filter out other particles mixing in water. This makes drainage efficient without flooding, and also results in good plant growth throughout their lifespan. When the tamarind fibers are soaked in water, it will swell and expand, making pores that allow water, air, and nutrients to penetrate through. The test results confirm that the prototype soilless-culture plate with water drainage made from tamarind fibers is an alternative material that is environmentally friendly with potential to be developed commercially for sustainability in the future.

คำสำคัญ: เส้นใยรกมะขาม วัสดุปลูกแทนดิน สวนหลังคา หลังคาเขียว
Keywords: Tamarin Fibers, Substrate Culture, Roof Garden, Green Roof

บทนำ

ในอดีตสวนหลังคาเป็นเพียงการนำพืชพรรณมาประดับตกแต่งอาคารเฉพาะพื้นที่เล็ก ๆ เพื่อความสวยงามเท่านั้น แตกต่างจากปัจจุบันที่นวัตกรรมเกี่ยวกับสวนหลังคาได้มีการพัฒนาทั้งด้านวัสดุและอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก และมีการศึกษาวิจัยถึงประโยชน์ที่เกิดแก่อาคารอย่างเป็นรูปธรรมในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านสุนทรียศาสตร์ที่ช่วยสร้างภูมิทัศน์อันร่มรื่นให้แก่ตัวอาคารและเมือง ด้านสังคมสวนหลังคาสามารถออกแบบเพื่อเป็นพื้นที่ส่วนกลางสำหรับผู้ใช้งานในอาคาร หรือเพื่อเป็นพื้นที่สาธารณะสำหรับชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียงได้ ด้านเศรษฐกิจด้วยลักษณะของสวนหลังคาที่ประกอบไปด้วยวัสดุและอุปกรณ์หลายชั้นจึงกลายเป็นฉนวนอย่างดีในการ

ป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (ศุภกิจ ยิ้มสรวล, 2558) ส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานในอาคารลดลง และยังสามารถป้องกันรังสียูวี ตลอดจนช่วยยืดอายุการใช้งานของวัสดุมุงหลังคา (Caterina Gargari, Carlo Bibbiani, Fabio Fantozzi, & Carlo Alberto Campiotti, 2016) ด้านสิ่งแวดล้อมสวนหลังคานอกจากจะสร้างความหลากหลายทางชีวภาพบนอาคารแล้ว พืชพรรณที่นำมาปลูกบางชนิดยังสามารถฟอกอากาศและกรองฝุ่นพิษ ช่วยให้คุณภาพอากาศโดยรอบอาคารดีขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นสวนหลังคายังมีประสิทธิภาพในการชะลอการไหลของน้ำจากพายุฝน มิให้ไหลลงสู่พื้นที่ดาดแข็งด้านล่างอันจะส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน การจราจรติดขัด และปัญหาการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่เมือง ทั้งนี้สวนหลังคายังเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายด้านการช่วยลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง (Urban Heat Island) นอกจากนี้การสร้างสวนหลังคายังเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการคำนึงถึงการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในการสร้างอาคารและแนวทางการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนในอนาคต (พชร เลิศปิติวัฒนา, 2558) อย่างไรก็ตามความนิยมสวนหลังคาของประเทศไทยในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดและมีการลงทุนค่อนข้างน้อย อาจเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการก่อสร้างและงบประมาณในการบำรุงรักษาเพื่อให้สวนหลังคามีสภาพพร้อมใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งานนั้นค่อนข้างสูง หรือในกรณีจัดทำสวนหลังคาบนอาคารเก่า ต้องมีการสำรวจเพื่อวิเคราะห์สภาพอาคาร ถึงความสามารถในการรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากสวนหลังคา

การออกแบบและก่อสร้างสวนหลังคารวมถึงการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานตามที่ Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftbau's /or Landscape Research, Development and Construction Society (FLL) ได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้เป็นแนวทางเพื่อช่วยให้กระบวนการก่อสร้างสวนหลังคาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดอุปสรรคและข้อจำกัดที่อาจจะเกิดขึ้นกับสวนหลังคาในระยะยาวได้ (Peter M. Philippi, 2005) โดยเฉพาะเมื่อสวนหลังคาผ่านการใช้งานระยะหนึ่ง ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำของสวนหลังคาจะลดลง นำมาซึ่งปัญหาการอุดตันของระบบระบายน้ำ เกิดการท่วมขังของน้ำฝนและการรั่วซึมเข้าสู่อาคาร การประยุกต์ใช้วัสดุจากเส้นใยธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เส้นใยรกมะขามที่มีน้ำหนักเบา มีความเหนียว และทนต่อสภาพภูมิอากาศได้ดี มาพัฒนาเป็นแผ่นปลูกพืชแทนดินสำเร็จรูปที่สะดวกต่อการใช้งาน จึงเป็นการช่วยลดน้ำหนักของสวนหลังคา ลดภาระที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารโดยรวม และยังช่วยลดปัญหาการอุดตันของระบบระบายน้ำบริเวณดาดฟ้า อันเป็นสาเหตุของปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญต่อกระบวนการก่อสร้างสวนหลังคาได้นั้น จึงเป็นการสร้างแรงจูงใจและสนับสนุนให้ผู้ประกอบการหันมาตระหนักถึงการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการนำประโยชน์ที่ได้จากสวนหลังคาสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานอาคารได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบวัสดุปลูกแทนดินจากเส้นใยรกมะขาม
2. เพื่อทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงและการย่อยสลายตัวทางชีวภาพเบื้องต้นของเส้นใยรกมะขาม

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัญหาของสวนหลังคาในปัจจุบัน

การศึกษาสภาพปัญหาของสวนหลังคาทั้งสวนหลังคาแบบใช้สอยและสวนหลังคาแบบไม่ใช้สอย ได้แก่ ข้อมูลขั้นทุติยภูมิอันเป็นข้อมูลที่ได้จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การสำรวจภาคสนามบริเวณอาคารที่มีการติดตั้งสวนหลังคา รวมถึงการทบทวนบทสัมภาษณ์ภูมิสถาปนิกและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบสวน นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ปัญหาของสวนหลังคา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจำแนกสภาพปัญหาและข้อจำกัดในการจัดทำสวนหลังคาทั้งในพื้นที่อาคารเก่า และอาคารก่อสร้างใหม่

ปัญหา	สภาพปัญหา	สาเหตุและแนวทางการแก้ไข
การอุดตัน	  ที่มา : CENTRAL VA ROOFING, 2022	สาเหตุหลักของการอุดตันของระบบระบายน้ำสวนหลังคา ได้แก่ (1) เศษใบไม้ (2) การย่อยสลายของวัสดุปลูก (3) ตะไคร่น้ำ (4) เศษอนุภาคอื่น ๆ
การแตกร้าว	  ที่มา : บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), 2566a	รอยแตกร้าวบนหลังคาคอนกรีต มาจากหลายสาเหตุ ทั้งเกิดจากอายุการใช้งาน และสภาวะอากาศที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดการยืดหดตัวของคอนกรีต เป็นเหตุให้เกิดการรั่วซึมของน้ำเข้าสู่ตัวอาคาร ก่อนมีการจัดทำสวนหลังคาในบริเวณดังกล่าว ควรปรับปรุงและซ่อมแซมพื้นที่ให้พร้อมใช้งานเสียก่อน
น้ำท่วมขัง	  ที่มา : อุดมสุข เล็กสงวนศักดิ์, 2558	เมื่อมีฝนตกหนักเป็นเวลานาน ระบบระบายน้ำอาจไม่สามารถระบายน้ำปริมาณมากได้ทัน ทำให้น้ำขังอยู่บนดาดฟ้าอาคาร เพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วมขัง ควรออกแบบระยะลาดเอียงหลังคาให้เหมาะสมต่อการใช้งาน และหมั่นตรวจสอบระบบระบายน้ำของสวนหลังคาอย่างสม่ำเสมอ
โครงสร้างของอาคาร	  ที่มา : บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), 2566b	หากการกระจายน้ำหนักของอาคารเสียสมดุล อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อองค์รวมของอาคารได้ ตั้งแต่รอยแตกร้าวขนาดเล็ก ไปจนถึงสาเหตุแห่งการวิบัติของอาคารได้ ดังนั้นควรตรวจสอบค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของอาคารก่อนการดัดแปลงทุกครั้ง

2. ศึกษาเส้นใยธรรมชาติจากพืช

โดยนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้พลังงานในการแปรรูปเชิงกล ความแข็งแรง หรือความเหนียวแน่นของเส้นใย เพื่อหาเส้นใยที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามความต้องการ ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกตัวอย่างเพื่อใช้ในการ

ทดสอบคุณสมบัติด้านการย่อยสลาย อายุการใช้งาน รวมไปถึงประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคของดินและอนุภาคอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ ด้วยการวัดค่าการนำกระแสไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาอนุภาคที่ปนเปื้อนในน้ำ เมื่อน้ำนั้นผ่านการใช้งานในชั้นต่าง ๆ ของระบบสวนหลังคาแล้ว โดยมีเส้นใยธรรมชาติจากพืชชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 พืชที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นเส้นใยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในไทย จำนวน 12 ชนิด

ลำดับ	ลักษณะทางกายภาพของพืช/เส้นใย	ชนิด
1	  ที่มา : Troy Buechel, 2019	เส้นใยมะพร้าว (Coir Fibers) เป็นส่วนที่ได้จากเปลือกส่วนในมะพร้าวเมื่อแยกกากและขุยมะพร้าวออกแล้ว มีลักษณะเป็นเส้นยาว เหนียวแน่น และมีความยืดหยุ่นสูง
2	  ที่มา : ALDEG TECHNOLOGIES CO. LTD., 2022	เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal Fibers) เป็นส่วนที่แปรรูปมาจากใบ โดยการบดหรือทุบ ปัจจุบันมีเครื่องจักรที่สามารถใช้รีดใบป่านศรนารายณ์ให้เป็นเส้นใยสำเร็จรูปด้วยความแข็งแรงและขนาดความยาวของเส้นใย จึงสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตเครื่องแต่งกายและอุตสาหกรรมอื่น ๆ อย่างหลากหลาย
3	  ที่มา : Siddhivinayak Trading Company, 2010	เส้นใยชานอ้อย (Bagasse Fibers) เป็นเส้นใยที่ได้มาจากลำต้น น้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำได้ดี มีความทนทานต่อสารเคมี ทำให้เหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตเครื่องสำอาง หรือวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด
4	  ที่มา : Mary D Chellis, 2022	เส้นใยไผ่ (Bamboo Fibers) เป็นเส้นใยที่ได้มาจากลำต้น มีลักษณะที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุกรรมไผ่แต่ละชนิด หากมีการแปรรูปหรือวิธีถนอมเนื้อไผ่ที่เหมาะสมจะทำให้เส้นใยไผ่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
5	  ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่, 2019	เส้นใยปาล์ม (Palm Fibers) สามารถแปรรูปมาจากส่วนต่าง ๆ ของต้นปาล์มได้ค่อนข้างหลากหลาย เช่น ลำต้น ใบ ก้านใบ หรือทะลายปาล์ม ซึ่งเส้นใยปาล์มที่ได้มานั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พื้นรองหนังสือ พื้นรองเท้า เป็นต้น

ลำดับ	ลักษณะทางกายภาพของพืช/เส้นใย	ชนิด
6	  ที่มา : Md Ezaz Ahmed, 2020	เส้นใยปอ (Jute Fibers) เป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนของเปลือกตลอดลำต้นของปอ ปอที่มีอายุและขนาดที่เหมาะสมจะให้ความยาวและเส้นใยที่แข็งแรง โดยการแช่น้ำให้เปื่อยยุ่ย แล้วนำมาลอกออกจากแก่น เส้นใยปอนิยมใช้งานในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตเส้นด้ายสำหรับทอผ้า การผลิตถุงเครื่องใช้ เชือก และผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้าง
7	  ที่มา : ทรู ปลูกปัญญา, 2024	เส้นใยป่านรามี (Ramie Fibers) ส่วนใหญ่มาจากก้านใบของต้น ก้านใบของต้นป่านรามีมีเส้นใยที่ยืดหยุ่นและแข็งแรง ทนทานต่อการเกิดเชื้อรา ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เช่น การผลิตเสื้อผ้า ผ้าปูที่นอน ผ้าคลุมเตียง และเฟอร์นิเจอร์อื่น ๆ
8	  ที่มา : FASHIONATING WORLD, 2018	เส้นใยฝ้าย (Flax Fibers) มากจากส่วนของดอก เมื่อแก่จัดและแห้งสนิท สามารถนำมาปั่นเป็นเส้นใยให้มีขนาดที่ยาวขึ้น เพื่อตอบสนองการใช้งานที่หลากหลาย น้ำหนักเบา ทนความชื้น ไม่อุ้มน้ำ
9	  ที่มา : Micron Group Co., 2023	เส้นใยฟางข้าว (Rice Straw Fibers) เป็นส่วนที่ได้จากลำต้นของข้าวแต่ละสายพันธุ์ แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ลำต้นส่วนล่าง และลำต้นส่วนบน ลำต้นส่วนล่างนิยมนำไปทำเป็นปุ๋ยหมัก ลำต้นส่วนบนนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานหลากหลาย และการแปรรูปเป็นอาหารสัตว์
10	 ที่มา : VALENCIA ORANGE, 2020	เส้นใยรกมะขาม (Tamarind Fibers) หรือผนังผลชั้นกลาง หากรูดเนื้อและเมล็ดออกหมด จะเห็นว่าส่วนที่เป็นเส้นใยมะขามจะติดอยู่ที่ขั้วของฝัก เส้นใยรกมะขามคือส่วนของเนื้อเยื่อท่อลำเลียง (vascular tissue)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติจากพืช

ลำดับ	รายการ	ชนิดของเส้นใยธรรมชาติจากพืช									
		มะพร้าว	ป่านศรนารายณ์	ชานอ้อย	ใยไผ่	ปาล์ม	ปอ	ป่านรามี	ฝ้าย	ฟางข้าว	รกมะขาม
1	ความวงจำเพาะ (Specific Gravity)	1.37	1.327	1.25	1.52	1.55	1.04	-	-	-	-
2	ความยาว* (Fiber Length, mm.)	50 -350	1200-1500	25	-		1.8-3.0	15-40	0.5	700	40-120
3	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง* (Fiber Diameter, mm.)	0.24	0.15-0.20	0.24	-	0.2-0.6	0.11	0.1	-	-	0.5-1.5
4	แรงดึงสูงสุด* (Ultimate Tensile Strength, N/mm^2)	56	245	200	442	251.4	182	666	1000	-	273
5	โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, kN/mm^2)	2	13	17	38	2.0	-	-	100	-	-
6	ค่าการดูดซึมน้ำ* (Water Absorption, Percentage)	67	170	78.5	-	113	-	-	-	263	115
7	ปริมาณความชื้น (Water Content, Percentage)	-	8.7	12	-	5	-	-	-	12.5	-
8	ความหนาแน่น* (Density, kg/mm^3)	1440	1450	-	-		1500	1450	1540	-	180

หมายเหตุ * การเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติจากพืช และเส้นใยรกมะขาม

ที่มาของข้อมูล : บุรฉัตร ฉัตรวีระ, พิชัย นิมิตยงสกุล, & Stephen O. Ogunlana, 2538

จากข้อมูลในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติทางกลศาสตร์พื้นฐานและศักยภาพของพืชแต่ละชนิดที่นิยมนำมาแปรรูปเป็นเส้นใยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย และประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นเมืองแห่งเกษตรกรรม ดังนั้นหลังจากสิ้นสุดฤดูกาลเก็บเกี่ยวแล้วจะยังคงเหลือเศษวัสดุที่ไม่ได้นำไปใช้งานอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้การนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาต่อยอด และประยุกต์สู่การพัฒนาเป็นนวัตกรรมเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการก่อสร้างได้นั้น ไม่เพียงแต่ช่วยลดการใช้วัสดุใหม่และลดปัญหาขยะ แต่ยังเป็นการแสวงหาแนวทางการสร้างมูลค่าต่อภาคการเกษตรและส่งเสริมให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืนในสังคมและชุมชนต่อไป จากคุณสมบัติทางกลศาสตร์พื้นฐานและลักษณะทางกายภาพของเส้นใยรกมะขามนั้นนับว่าเป็นเส้นใยที่มีความเหมาะสมต่องานวิจัยในการประยุกต์และพัฒนาเป็นแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำสำหรับสวนหลังคาต้นแบบ ดังนี้

- ด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่น เส้นใยรกมะขามมีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นสูง เมื่ออัดขึ้นรูปเป็นแผ่นจึงสามารถรองรับน้ำหนักของพืชและเป็นฐานรองรับการเจริญเติบโตของรากพืชได้ดี

- ด้านการระบายน้ำและอากาศ เส้นใยรกมะขามมีโครงสร้างที่แข็งแรงช่วยในการคงรูปของแผ่นวัสดุเพื่อการระบายน้ำและอากาศที่ดี ส่งผลให้รากพืชสามารถเข้าถึงอากาศและน้ำในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

- ด้านความร้อนและความชื้น เส้นใยรกมะขามมีความสามารถในการรักษาอุณหภูมิและความชื้นได้ดีพอสมควร เมื่อพัฒนาเป็นแผ่นปลูกพืช จึงช่วยให้พืชได้รับน้ำและสารอาหารในปริมาณที่เหมาะสมตลอดเวลา

- ด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เส้นใยรกมะขามมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ความทนทานต่อแสงแดด ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ดังนั้นเส้นใยรกมะขามจึงเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นแผ่นปลูกพืชแทนดินได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีประสิทธิภาพในการช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและการเกษตรอย่างยั่งยืนในภูมิภาคที่มีการใช้ที่ดินและน้ำที่จำกัด

3. การศึกษาวิธีการขึ้นรูปวัสดุจากเส้นใยรกมะขาม

การขึ้นรูปวัสดุจากเส้นใยรกมะขาม โดยการนำเส้นใยที่ได้จากฝักมะขามสุก นำมาแช่น้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อทำความสะอาดและเพื่อให้เนื้อของมะขามหลุดออกจากขั้วฝักให้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดสาเหตุของการเกิดเชื้อราและลดความเป็นกรดของเส้นใยลง นำเส้นใยที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปผึ่งแดดให้แห้งสนิท นำไปเก็บรักษาไว้ในอุณภูมิห้องปกติ รอการนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งการขึ้นรูปวัสดุปลูกแทนดินจากเส้นใยรกมะขามต้นแบบครั้งนี้ ได้กำหนดขนาดในการทดสอบไว้ ดังนี้

- ความกว้าง 15 ซม. X ความยาว 15 ซม. X ความหนา 2.5 ซม.
- น้ำหนักเส้นใยรกมะขามแห้ง 100 กรัม / 1 แผ่น
- ตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องขึ้นรูปแบบอัดร้อนไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส ทั้งด้านบนและด้านล่าง
- เวลาในการอัดขึ้นรูปวัสดุด้วยเครื่องอัดร้อน ด้านละ 3 นาที (2 รอบ)



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 ฝักมะขามสุกและเส้นใยรกมะขาม : (ก) ฝักมะขามสุก, (ข) เส้นใยรกมะขามที่แกะออกจากฝัก และ (ค) เส้นใยรกมะขามแช่น้ำเพื่อทำความสะอาด



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2 วิธีการทำความสะอาดเส้นใยมะขามโดยการแช่น้ำและผึ่งแดดให้แห้ง : (ก) เส้นใยรกมะขามแช่น้ำเพื่อทำความสะอาด, (ข) และ (ค) เส้นใยรกมะขามที่ผ่านการผึ่งแดดให้แห้งแล้ว 24 ชั่วโมง



(ก) (ข) (ค) (ง)



(จ) (ฉ) (ช) (ซ)

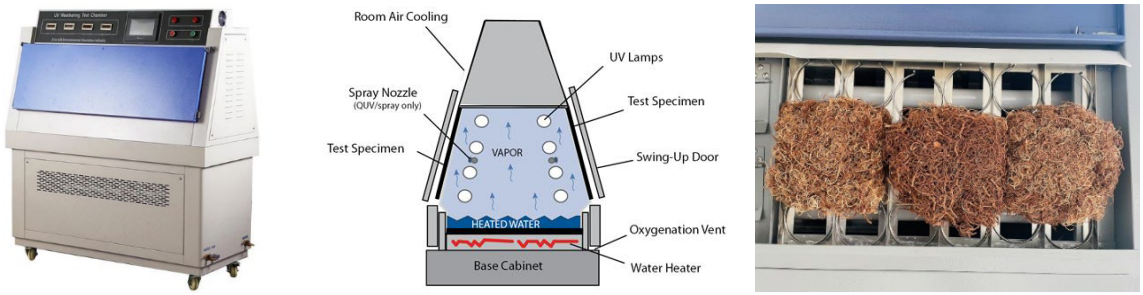
ภาพที่ 3 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขาม : (ก) แม่พิมพ์เหล็ก, (ข) เครื่องชั่งดิจิทัล, (ค) เส้นใยรกมะขาม, (ง) เส้นใยรกมะขามในแม่พิมพ์เหล็ก, (จ) (ฉ) และ (ช) เครื่องอัดร้อน และ (ซ) แผ่นปลูกพืชจากเส้นใยรกมะขาม

ทดสอบการย่อยสลายตัวทางชีวภาพเบื้องต้นของแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำ

เงื่อนไขและขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการย่อยสลายตัวทางชีวภาพเบื้องต้นของแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำสำหรับสวนหลังคาจากเส้นใยรกมะขามโดยการทดสอบแรงดึง ก่อนเข้าสู่กระบวนการทดสอบแรงดึงนั้นจำเป็นจะต้องนำแผ่นปลูกพืชดังกล่าวมาจำลองการใช้งานโดยเครื่อง UV Weathering Tester โดยกำหนดขนาดแผ่นปลูกพืชดังกล่าวอยู่ที่ ความกว้าง 15 ซม. ความยาว 15 ซม. และความหนา 2.5 ซม. จำนวน 5 แผ่น แต่ละการทดสอบดังนี้

1. ตัวอย่างก่อนการทดสอบด้วยเครื่อง UV Weathering Tester
2. ตัวอย่างการทดสอบด้วยเครื่อง UV Weathering Tester 30 Cycle
3. ตัวอย่างการทดสอบด้วยเครื่อง UV Weathering Tester 90 Cycle
4. ตัวอย่างการทดสอบด้วยเครื่อง UV Weathering Tester 180 Cycle

ผลการเปรียบเทียบสภาพอากาศภายนอก 1 วัน เท่ากับ ผลทดสอบในเครื่อง UV Weathering Testing 1 Cycle โดยกำหนดเงื่อนไขการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 37 – 58 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) 50-70 % (ISO14855-1) การวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ค่าสูงสุดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ (Worst Case Scenario) คือ อุณหภูมิสภาพอากาศที่ 58 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70% เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่จะสามารถประเมินคุณภาพและอายุการใช้งานของวัสดุปลูกแทนดินจากเส้นใยรกมะขามได้ยาวนานที่สุด (Standardization, 2012)



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4 เครื่อง UV Weathering Tester : (ก) เครื่อง UV Weathering Tester, (ข) องค์ประกอบภายในเครื่อง UV Weathering Tester และ (ค) แผ่นปลูกพืชแทนดินฯ บรรจุภายในเครื่อง UV Weathering Tester



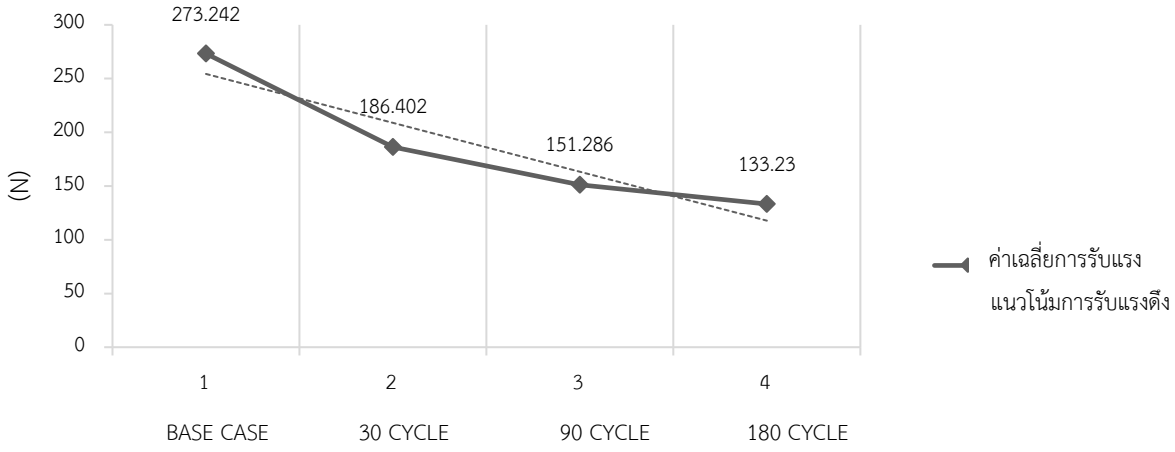
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5 การทดสอบแรงดึงของเส้นใยฯ ด้วยเครื่อง Starrett 5 Ton : (ก) พื้นที่หน้าตัดเส้นใยรกมะขาม, (ข) การชั่งน้ำหนักเส้นใยรกมะขามก่อนทดสอบแรงดึง และ (ค) การทดสอบแรงดึงของเส้นใยรกมะขาม

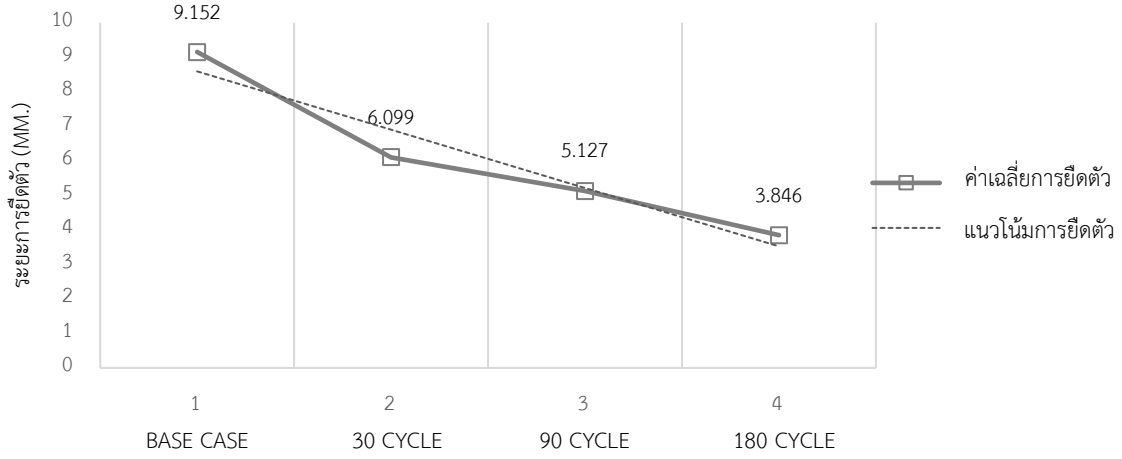
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ผลทดสอบการรับแรงดึงของเส้นใยรกมะขามก่อนและหลังจากการจำลองการใช้งานโดยเครื่อง UV Weathering Tester พบว่าเส้นใยรกมะขามแห้งปกติก่อนจำลองการใช้งานสามารถรับแรงดึงโดยมีค่าการรับแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 273.242 N/mm^2 และค่าความยืดตัวของเส้นใย 9.152 mm. เมื่อเส้นใยผ่านการจำลองการใช้งานจำนวน 30 Cycle (1 เดือน) ค่าการรับแรงดึงลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 186.402 N/mm^2 ค่าความยืดตัวของเส้นใยลดลงอยู่ที่ 6.099 mm. เส้นใยผ่านการจำลองการใช้งานจำนวน 90 Cycle (3 เดือน) ค่าการรับแรงดึงลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 151.286 N/mm^2 ค่าความยืดหยุ่นของเส้นใยอยู่ที่ 5.127 mm. และเส้นใยผ่านการจำลองการใช้งานจำนวน 180 Cycle (6 เดือน) ค่าการรับแรงดึงลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 133.23 N/mm^2 และค่าความยืดตัวของเส้นใยอยู่ที่ 3.846 mm. ดังภาพที่ 6 และ

ภาพที่ 7 ซึ่งค่าการรับแรงดึงและการยืดตัว รวมถึงลักษณะทางกายภาพโดยรวมของเส้นใยรกมะขามหลังจากจำลองการใช้งานประมาณ 6 เดือน เส้นใยยังคงมีลักษณะที่สมบูรณ์ใกล้เคียงกับเส้นใยรกมะขามแห้งปกติ ดังนั้นการใช้งานสวนหลังคาในระยะเวลา 6 เดือน ก่อนถึงระยะเวลาซ่อมบำรุง แผ่นใยปลูกพืชจึงยังคงมีประสิทธิภาพและคงรูปทรงในการใช้งานอยู่



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยและแนวโน้มความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใยรกมะขาม



ภาพที่ 7 ค่าความยืดตัวของเส้นใยที่ยอมให้ขณะดึง

ตัวอย่างการพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขามสำหรับสวนหลังคา

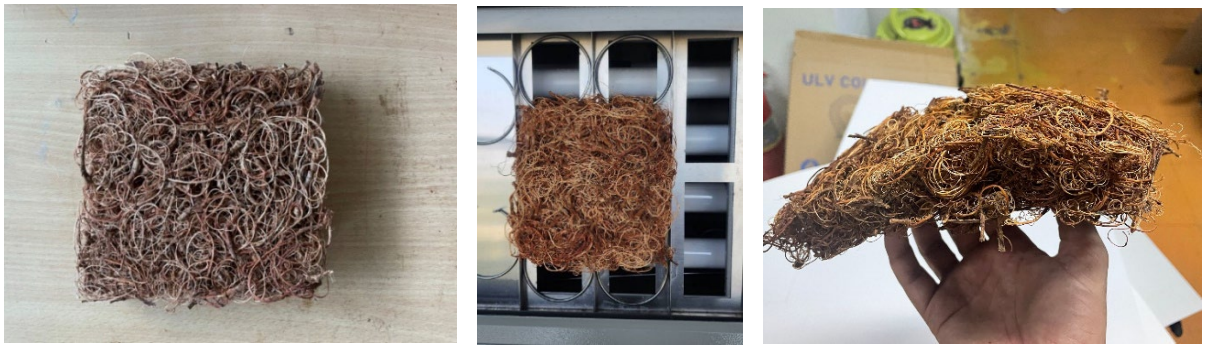
นำเสนอตัวอย่างกระบวนการออกแบบและพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขามสำหรับสวนหลังคา ที่ได้จากการศึกษา วิเคราะห์ปัญหา อุปสรรค และข้อจำกัดของการก่อสร้างสวนหลังคาในปัจจุบัน โดยคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ของสวนหลังคาที่มีจำหน่ายอยู่แล้วในท้องตลาด เพื่อให้ได้แผ่นปลูกพืชต้นแบบที่สามารถใช้งานร่วมกับวัสดุหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ได้โดยง่ายและมีประสิทธิภาพ คุณสมบัติพื้นฐานที่แผ่นปลูกพืชแทนดิน

ระบายน้ำพึงมีเพื่อช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นแก่อาคารเมื่อมีการติดตั้งสวนหลังคา คือ ควรเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความสามารถในการเกาะเกี่ยวกันเป็นก้อน มีความพรุนสูง สามารถระบายน้ำได้ดี ดูดซึมน้ำได้พอสมควร ตรึงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชได้ ไม่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของรากพืช มีขนาดที่เหมาะสม ติดตั้งง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (นันทชัย ไตรรัตน์วงศ์, 2560) จึงออกแบบแผ่นปลูกพืชเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่มีความเรียบง่าย สะดวกต่อการใช้งาน จากการขึ้นรูปวัสดุด้วยเครื่องอัดร้อนปรากฏว่า แผ่นปลูกพืชดังกล่าวสามารคงรูปได้ดี โดยปราศจากวัสดุประสานเส้นใยอื่น และยังคงมีรูพรุนอันเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการระบายน้ำของสวนหลังคา ดังภาพที่ 8 และ 9 เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบค่าการย่อนสลายตัวทางชีวภาพเบื้องต้นในลำดับถัดไป



(ก) (ข)

ภาพที่ 8 เส้นใยรกมะขามขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อน : (ก) และ (ข) เส้นใยรกมะขามแห้งอัดก้อนขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อน ที่อุณหภูมิเครื่อง 100 oC นาน 3 นาที



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 9 แผ่นปลูกพืชกรองดินจากเส้นใยมะขาม : (ก) แผ่นปลูกพืชกรองดินจากเส้นใยมะขามก่อนการจำลองการใช้งาน, (ข) จำลองการใช้งานแผ่นปลูกจากเส้นใยมะขาม 180 Cycle (6 เดือน) โดยเครื่อง UV Weathering Tester และ (ค) ลักษณะแผ่นปลูกพืชจากเส้นใยมะขามหลังจำลองการใช้งาน 180 Cycle (6 เดือน)



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการใช้งานแผ่นปลูกพืชกรองดินจากเส้นใยมะขาม

สรุปผลทดสอบและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำสำหรับสวนหลังคาจากเส้นใยรกมะขามนี้ หลังจากนำข้อมูลผลทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยรกมะขามเพื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติจากพืชชนิดต่าง ๆ ได้ข้อสรุป ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของของเส้นใยรกมะขามเมื่อสัมผัสกับความชื้นจะมีลักษณะโค้งงอสอดประสานกัน จึงสามารถขึ้นรูปวัสดุเป็นก้อนโดยเครื่องอัดร้อนได้ง่าย และคงรูปอยู่ได้โดยปราศจากวัสดุประสานอื่น ในกรณีการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องอัดร้อนที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติจากพืชชนิดอื่นที่ต้องมีวัสดุประสานเพื่อให้วัสดุสามารถคงรูปอยู่ได้ ก่อนนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีอยู่แล้วในระบบสวนหลังคา

2. เส้นใยรกมะขามเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นภายใต้การจำลองการใช้งานโดยเครื่อง UV Weathering Tester เส้นใยจะเกิดการขยายตัว เพิ่มพื้นที่โพรงอากาศระหว่างเส้นใย ช่วยให้การระบายน้ำบริเวณสวนหลังคาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืชอีกประการหนึ่งด้วย

3. จากผลการทดสอบการรับแรงดึงของเส้นใยรกมะขามโดยเครื่อง UV Weathering Tester แต่ละผลการทดสอบนั้น สามารถคาดการณ์ถึงแนวโน้มการเสื่อมสภาพของเส้นใยรกมะขามได้ และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงหรือพัฒนาวัสดุต้นแบบในอนาคต เพื่อให้มีความคงทนต่อการเสื่อมสภาพจากความชื้น และแสงยูวีมากยิ่งขึ้น

4. ประมาณการอายุการใช้งานของวัสดุปลูกต้นแบบได้อย่างน้อย 6 เดือน โดยที่ค่าการรับแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้งานต่อเนื่อง ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพและความคงทนของระบบสวนหลังคา ซึ่งสอดคล้องกับระยะรอบการบำรุงรักษาระบบสวนหลังคา และตอบสนองต่อช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืชคลุมดิน เมื่อถึงระยะรอบของการบำรุงรักษาระบบสวนหลังคา แผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขามที่ยังคงรูปอยู่ได้นั้น ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และส่วนที่ย่อยสลายตามธรรมชาติบางส่วนก็นำไปเป็นปุ๋ย หรือเป็นส่วนผสมเพื่อปรุงดินให้มีคุณภาพในการปลูกพืชรอบต่อไป

5. ออกแบบให้แผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำมีน้ำหนักเบา ขนาดเล็กกะทัดรัด สอดคล้องและสามารถประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้สะดวก ง่ายต่อการเก็บรักษา ทั้งยังสามารถประกอบกันเป็นแผ่นปลูกขนาดใหญ่ได้ตามพื้นที่ใช้งาน

จากผลลัพธ์ทั้ง 5 ประเด็นในข้างต้น แสดงให้เห็นว่าแนวคิดในการพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำสำหรับสวนหลังคาจากเส้นใยรกมะขามนี้สามารถตอบโจทย์ในการพัฒนาเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร

ให้มีมูลค่า ยืดวงจรการเกิดขยะ และสามารถพัฒนาเป็นนวัตกรรมที่แก้ไขปัญหาการอุดตันในระบบระบายน้ำของสวนหลังคา ทั้งยังช่วยส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตเสมือนการปลูกพืชบนดินได้

บทสรุป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของเส้นใยจากพืชชนิดต่าง ๆ ในบทความนี้ ซึ่งได้วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานด้านความแข็งแรง ขนาด ความยาว น้ำหนัก การเก็บรักษา ประกอบกับการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการแปรรูปเชิงกลของเส้นใยจากพืชแต่ละชนิด และวิธีการขึ้นรูปวัสดุเพื่อนำไปสู่การเสนอแนวคิดในการพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำให้มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และการลดปัญหาการอุดตันของระบบระบายน้ำในสวนหลังคาอันเป็นสาเหตุให้น้ำท่วมขัง และซึมเข้าสู่พื้นที่ภายในสร้างความเสียหายแก่อาคาร ประกอบกับการนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบของแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำมาจำลองการปลูกพืชร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของระบบสวนหลังคา เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทั้งประสิทธิภาพการใช้งาน ความยืดหยุ่นและความเหมาะสมของรูปทรงในการก่อสร้างพื้นที่สวนหลังคาแต่ละประเภท

การพัฒนาแผ่นปลูกพืชแทนดินระบายน้ำจากเส้นใยรกมะขาม นอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้ว ยังช่วยสนับสนุนให้เกิดการขยายตัวของพื้นที่สีเขียว และการใช้ประโยชน์จากสวนหลังคาที่หลากหลายและครอบคลุม ทั้งทางด้านสุนทรียศาสตร์ ลดการใช้พลังงานในอาคาร และการสร้างสภาวะแวดล้อมที่ส่งเสริมให้ผู้ใช้อาคารมีคุณภาพชีวิตที่ดีในระหว่างวันอย่างยั่งยืน ทั้งนี้ในการเลือกใช้แผ่นปลูกพืชที่มาจากธรรมชาตินั้นควรคำนึงถึงชนิด อายุ และแนวโน้มการเจริญเติบโตของพืชร่วมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนด้านอุปกรณ์เครื่องมือ รวมถึงคำแนะนำในการใช้เครื่องมือที่มีความจำเป็นต่องานวิจัย จากศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร (CBIT) ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์สลายตัวทางชีวภาพตามมาตรฐานสากล (Biodegradation Testing Laboratory : BioD) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เอกสารอ้างอิง

ทรู ปลูกปัญญา. (2024). *พืชที่ใช้ทำเชือกรวมทั้งทอกระสอบ.* Retrieved from https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/60425

นันทชัย ไตรรัตน์วงศ์. (2560). *การปลูกพืชในวัสดุทดแทนดิน.* รายวิชาพืชพรรณประกอบอาคาร ภาควิชานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน). (2566a). *กันซึมดาดฟ้า ต้องเลือกและทำยังไงไม่ให้กลับมารั่วซ้ำซาก.* Retrieved from https://www.toagroup.com/th/blogs/toa-tips-how-to/105/toa-waterproof-and-roofseal-1

บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน). (2566b). *เช็กรอยร้าวผนังแบบไหนที่ควรกังวล ส่งผลเสียอย่างไรพร้อมทางแก้ไข.* Retrieved from https://www.toagroup.com/th/blogs/toa-tips-how-to/61/types-wall-cracks-you-should-concerned-and-how-to-fix

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, พิชัย นิมิตยงสกุล, & Stephen O. Ogunlana. (2538). สภาพลักษณะและคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติในประเทศกำลังพัฒนา. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 25,* 123-162.

พชร เลิศปิติวัฒนา. (2558). การออกแบบสวนหลังคา. *Art and Architecture Journal Naresuan University, 6*(2), 19-34.

ศุภกิจ ยิ้มสรวล. (2558). แนวทางการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาดาดฟ้าอาคาร. *วารสารวิชาการสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 21*(2015), 86-98.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่. (2019). *พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสม สุราษฎร์ธานี 1 DELI X CALABAR.* Retrieved from https://www.doa.go.th/fc/palmkrabi/?cat=7

อุดมสุข เล็กสงวนศักดิ์. (2558). *น้ำขังบนดาดฟ้าเนื่องจากพื้นไม่ได้ระดับ.* Retrieved from https://www.oknation.net/post/detail/634f798cde042ea83e031efc

ALDEG TECHNOLOGIES CO. LTD. (2022). *Innovations and investments.* Retrieved from http://agrotz.com/en/index.php/sisal/

Caterina Gargari, Carlo Bibbiani, Fabio Fantozzi, & Carlo Alberto Campiotti. (2016). Simulation of the thermal behaviour of a building retrofitted with a green roof: Optimization of energy efficiency with reference to Italian climatic zones. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, 8,* 628–636.

CENTRAL VA ROOFING. (2022). *Flat roof maintenance.* Retrieved from https://www.centralvaroofing.com/

FASHIONATING WORLD. (2018). *High fertilizer use: A negative impact on Bt cotton production.* Retrieved from https://www.fashionatingworld.com/new1-2/high-fertilizer-use-a-negative-impact-on-bt-cotton-production

Mary D Chellis. (2022). *Bamboo.* Retrieved from https://godssecondbook.com/bamboo.php

Md Ezaz Ahmed. (2020). *Most beautiful jute field in Bangladesh.* Retrieved from https://www.alamy.com/most-beautiful-jute-field-in-bangladesh-image363983882.html

Micron Group Co., L. (2023). *How to keep rice for a long time, no weevil.* Retrieved from https://www.micronware.co.th/en/บล็อกน่ารู้/วิธีเก็บข้าวสาร-ให้อยู่

Peter M. Philippi. (2005). Introduction to the German FLL - Guideline for the planning, execution, and upkeep of green roof sites.

Siddhivinayak Trading Company. (2010). *Sugarcane.* Retrieved from https://www.tradeindia.com/products/sugarcane-6102141.html

Standardization, I. O. f. (2012). *International standard: Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions.* Switzerland: ISO.

Troy Buechel. (2019). *Component of growing media.* Retrieved from https://www.pthorticulture.com/en-us/training-center/coir-a-component-of-growing-media

VALENCIA ORANGE. (2020). *Tamarind benefits.* Retrieved from https://o-valencia.com/products/tamarind/