การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Adding the Value to Peel, Leaves, Shell and Corncob into Environmentally Friendly Bio-pot Products

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี[1*] ทิพารัตน์ สหตรงจิตร[2] และ ลักขณา พันธุ์แสนศรี[3]

Tammasak Punsaensri[1*] Tiparad Sahatrongjit[2] and Lukkhana Punsaensri[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[2] กลุ่มศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[3]สาขาวิชาการตลาด มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

[1] Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

[2] Education, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

[3] Maketing, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

*Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammasak@mju.ac.th

Received: 12 July 2021, Revised: 24 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 December 2022

Abstract

The objective of this study is to add the value to peel, leaves, shell, and corncob into environmentally friendly bio-pot products. Studying the mixing ratio, natural adhesives, and suitable conditions to produce bio-pots from peel, leaves, shell, and corncob. Analyze the cost and economic worth of bio-pots from peel, leaves, shell, and corncob.

The results show that the pot compression mold is suitable for compression at 1,000 psi, which is the pressure that makes it possible to extrusion the bio pot into a complete shape. There are 10 experiments in the experiment of extrusion of bio-pots and the perfect shape of bio-pots. The mixture ratio of peel to leaves to shell to corncob at 1:2:1:1 and 2:1:1:1 was found to be the ratio capable of extruding the fully shaped bio-pot in all experiments. The ratio of material 2:1:1:1 and at 30 seconds was the experiment with the highest porosity and strength of bio-pots, 89.45% and 1.32 kN respectively. The ratio of the material to the porosity and the strength difference are statistically significant. But the ratio of biomass ash and time gave similar porosity values and had no effect on porosity and intensity. Bio-pots have the characteristics of physical deterioration at the bottom of the pot and will gradually decay gradually until about 3 months, which requires the seedlings grown in the bio-pots to grow before 3 months. The production of 4, 6 and 8 in. bio-pots will be able to produce 30, 20 and 10 piece/day, respectively. The cost per unit is 13.00, 19.65 and 39.10 baht/piece, respectively and the breakeven point is at 0.20, 0.13 and 0.22 years respectively.

Keywords: Bio-pot Products, Corn, Environmental

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาอัตราส่วนผสม ตัวเชื่อมประสาน และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพจากต้น เปลือก และซังข้าวโพด

ผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า แรงอัดขึ้นรูปกระถางที่เหมาะสมคือแรงอัดที่ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นแรงดันที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้และกระถางชีวภาพที่มีรูปทรงสมบูรณ์มีทั้งหมด 10 การทดลอง ซึ่งอัตราส่วนผสมของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าโพดต่อซังข้าวโพดที่ 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 พบว่าเป็นอัตราส่วนที่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่มีรูปร่างสมบูรณ์ครบทุกการทดลอง อัตราส่วนของวัสดุ 2:1:1:1 และที่เวลา 30 วินาที เป็นการทดลองที่มีค่าความพรุนและค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพสูงที่สุด คือ 89.45% และ1.32 kN ตามลำดับ อัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความพรุนและค่าความเข็งแรงที่แตกต่างมาก แต่อัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาให้ผลค่าความพรุนที่ใกล้เคียงกันและไม่มีผลต่อความพรุนและค่าความเข็งแรง กระถางชีวภาพมีลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพบริเวณก้นกระถาง และจะค่อย ๆ ผุพังไปทีละนิดจนถึงระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ซึ่งจะต้องนำกล้าไม้ที่เพาะในกระถางชีวภาพลงดินปลูกก่อนครบ 3 เดือน การผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4, 6 และ 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30, 20 และ10 ใบต่อวัน ตามลำดับ มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00, 19.65 และ 39.10 บาทต่อใบ ตามลำดับ และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20, 0.13 และ 0.22 ปี ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระถางชีวภาพ ข้าวโพด สิ่งแวดล้อม

บทนำ

ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นและปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในช่วงต้นปีถือว่าเป็นประเด็นที่เกิดขึ้นติดต่อกันมาหลายปีแล้ว แต่ปัญหานี้ก็ยังไม่ได้มีการแก้ไขกันอย่างจริงจัง จนกลายเป็นวัฏจักรของมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นทุกปี โดยมีสาเหตุหลักมาจากการเผาป่าและการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ในภาคการเกษตร เพื่อกำจัดและเตรียมพื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้สภาวะอากาศที่นิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานโดยไม่ตกลงสู่พื้นดิน อีกทั้งในช่วงต้นปีประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศสูงที่พาดผ่านพื้นที่ตอนบนของประเทศ ส่งผลให้หลายพื้นที่มีอากาศหนาวเย็นอย่างต่อเนื่อง สภาพความกดอากาศสูงและอุณหภูมิต่ำก่อให้เกิดหมอกในตอนเช้า และเมื่อหยดน้ำในอากาศรวมตัวกับฝุ่นละอองและสารมลพิษในอากาศ จึงเกิดเป็นลักษณะของหมอกควันขึ้น ทำให้เกิดสภาพฟ้าหลัว ซึ่งส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยและสุขภาพ โดยจังหวัด ที่ได้รับผลกระทบจากหมอกควัน ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน แพร่ น่าน และ พะเยา

และการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อกำจัดและเตรียมพื้นที่เพาะปลูกนั้น ส่วนหนึ่งมาจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และขบวนการเพาะปลูกส่วนใหญ่จะเผาทำลายข้าวโพดเพื่อเตรียมการเพาะปลูกรอบใหม่ จากการรวบรวมข้อมูล [1] พบว่า การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วง 3 ปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และจากข้อมูลจากสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันว่า มีความต้องการอาหารสัตว์เพิ่มมากขึ้นทุกปี จาก 9.6 ล้านตันในปี 2543 เป็น 14.32 ล้านตันในปี 2554 เช่นเดียวกับข้อมูลความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตอาหารสัตว์ พบว่ามีความต้องการข้าวโพดจาก 4.5 ล้านตันในปี 2543 เป็น 5.6 ล้านตันในปี 2555 ซึ่งทั้งในอนาคตยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มประมาณการผลิตให้สูงขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการและผู้บริโภค สาเหตุดังกล่าวนี้เองที่ทำให้เกษตรกรหลายรายหันมาปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้น สิ่งที่ตามมาหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แล้วก็คือ ลำต้น ใบ เปลือกและ

ซังข้าวโพด ซึ่งปัจจุบันในแต่ละพื้นที่ถูกกองเป็นภูเขาไว้เป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 1 และบางพื้นที่กำจัดด้วยวิธีการเผา ดังภาพที่ 2 การเผาทำลายต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศ โดยกรมควบคุมมลพิษได้ระบุว่าค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือ PM 10 จากการเผาวัสดุดังกล่าว มีค่า 7 กิโลกรัมทุก 1,000 กิโลกรัมของเศษวัสดุดังกล่าวที่ถูกเผาไหม้ ถึงแม้ว่าเศษวัสดุเหล่านี้จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ การผลิตถ่านอัดแท่ง การทำเป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น แต่ก็ยังไม่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรมากนัก ทั้งนี้อาจจะมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ เช่น การลงทุน ขั้นตอนการผลิต มูลค่าที่เพิ่มขึ้น การตลาด ฯลฯ

ภาพที่ 1 ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยว

ภาพที่ 2 การจัดการต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการเผา

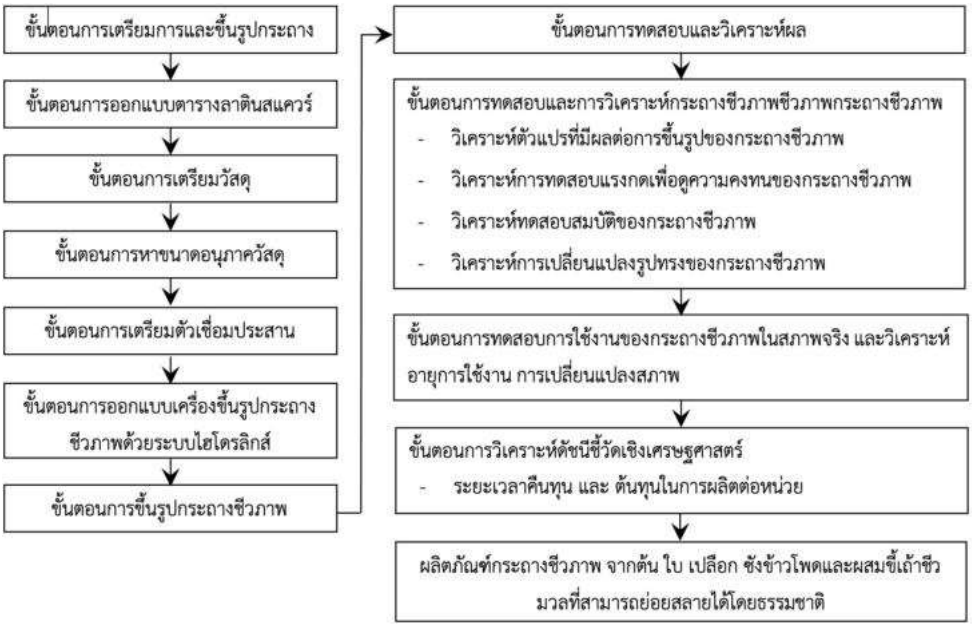
จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า พบว่า มีการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเทคโนโลยี เพื่อหาแนวทางในการนำมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ทรงชัย ชุ่มภิรมย์ [2] ได้การศึกษาการการจัดการใบไม้เพื่อลดมลพิษทางอากาศช่วงวิจัยพัฒนาต้นแบบฤดูแล้งในเขตพื้นที่ลุ่ม พบว่าการเก็บใบไม้แบบใส่ในถุงดำมีต้นทุนที่ถูกที่สุดคือ1097.54 บาท รองลงมาคือการเก็บแบบอัดก้อนคือ1338.54 บาทและการเก็บในคอกไม้ไผ่คือ1477.08 บาท ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายใบไม้ในการทำปุ๋ยหมักจากใบไม้ 100 กิโลกรัม ในทุกกรรมวิธี น้ำหนักปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย26.50 กิโลกรัม พบว่าวิธีอัดก้อน และวิธีหมักในคอกไม้ไผ่ น้ำหนักปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย 29.75 กิโลกรัม ส่วนวิธีหมักในถุงดำ น้ำหนักปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย 20 กิโลกรัม ซึ่งทั้ง 3 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ต่อมา เตือนใจ ปิยัง และคณะ [3] ได้ศึกษาการผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจาก กากตะกอนน้ำมันปาล์ม และวัสดุ เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด พบว่า ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการพองตัว ค่าความพรุน และการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของวัสดุผสมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติกระถางต้นไม้ที่อัตราส่วนผสมที่ 1:4 เหมาะต่อการขึ้นรูปได้ดี และคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดโดยมีค่าการดูดซับน้ำ 91.18 ± 1.33เปอร์เซ็นต์ ค่าการพองตัว 91.67 ± 1.11 เปอร์เซ็นต์ค่าความพรุน 79.00 ± 3.25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้ช้าที่สุด ต่อมา ปิ่นประภา โสมากุล และ สิรินารี เงินเจริญ [4] ได้ศึกษากระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยฉลาก

และขุยมะพร้าว พบว่า อัตราส่วนระหว่างขุยฉลากและขุยมะพร้าวเท่ากับ 10:90 เหมาะสมต่อการใช้งานเป็นกระถางเพาะชำที่ย่อ ย สลายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปแบบแผ่น โดยมีระยะเวลาแห้งของตัวอย่างชิ้นงาน เท่ากับ 5 วัน น้ำหนัก เฉลี่ย 9.25±0.67 กรัม และให้ผลทดสอบคุณสมบัติทางเคมีสอดคล้องกับผลทดสอบชิ้นงานแบบแผ่น นอกจากนี้ พบว่าต้นทุน การผลิตต่อหน่วย 2.77 บาท ซึ่งต่ำกว่ากระถางเพาะชำขนาดเดียวกันด้วย เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า โดยการทำเป็นกระถางจากวัสดุธรรมชาติหรือวัสดุที่ย่อยสลายได้ทดแทนการใช้พลาสติกในการเพาะชำต้นไม้เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและลดปริมาณการใช้กระถางพลาสติกหรือถุงเพาพลาสติกได้ จากการสำรวจข้อมูลวัสดุที่สามารถนำมาใช้ผลิตเป็นกระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่มีเส้นใยที่ช่วยในการยึดเกาะ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับกระถางที่และยืดอายุการใช้งาน ของกระถาง เหมาะกับช่วงเวลาในการเพาะกล้าต้นไม้ก่อน นำไปปลูกลงดิน ตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาผลิตกระถางชีวภาพได้ เช่น ขุยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวา

ด้วยเหตุผลสำคัญข้างต้น จึงกำหนดงานวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มมูลค่าให้กับต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติที่เหนียวและมีเส้นใยในปริมาณมาก ในขณะเดียวกัน ยังมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี [5] จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงเป็นที่มาของแนวทางการวิจัยเพื่อนำต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด มาทดสอบและทดลองผลิตเป็นกระถางปลูกพืช ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ลดปริมาณการใช้พลาสติก และลดการกำจัดด้วยวิธีการเผา ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาของคนในท้องถิ่นและยังเป็นการพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่ให้มั่นคงและยั่งยืนต่อไปซึ่งการศึกษานี้จะสามารถตอบโจทย์ของชุมชนได้ทั้งเรื่อง การจัดการ การนำไปใช้ประโยชน์ การเพิ่มรายได้และสิ่งแวดล้อมในชุมชน

วิธีการวิจัย

กรอบดำเนินการวิจัย (Concept Idea) การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กรอบดำเนินการวิจัย

ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีวิธีการวิจัยดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมการและขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูปกระถาง เครื่องอัดขึ้นรูป ออกแบบแม่พิมพ์กระถาง และวางแผนการทดลอง

2. ขั้นตอนการออกแบบตารางลาตินสแควร์ เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างต้น ใบ เปลือก ซังข้าวโพด ที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นกระถางชีวภาพ โดยในการขึ้นรูปของกระถางต้นไม้โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองแบบลาตินสแควร์ [6-7] ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างวัสดุจากต้น ใบ เปลือก ซังข้าวโพด 5 อัตราส่วน ได้แก่ ต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด เท่ากับ 1:1:1:1, 1:1:1:2, 1:1:2:1, 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 และอัตราส่วนวัสดุทำกระถางต่อขี้เถ้าชีวมวล คือ 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75 และ 1:1 โดยใช้ตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลัง ใช้แรงดันในการขึ้นรูปกระถาง ได้แก่ 500, 1,000, 1,500, 2,000และ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พร้อมทั้งศึกษาผลของแรงดันและระยะเวลาที่ใช้ต่อการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ ใช้แม่พิมพ์กระถางชีวภาพ 3 ขนาดได้แก่ ขนาด 4, 6 และ 8 นิ้ว

ตารางที่ 1 ภาวะการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด	ระยะเวลาในการขึ้นรูปกระถาง (วินาที)				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อขี้เถ้าชีวมวล				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	A1	A2	A3	A4	A5
1:1:1:2	A6	A7	A8	A9	A10
1:1:2:1	A11	A12	A13	A14	A15
1:2:1:1	A16	A17	A18	A19	A20
2:1:1:1	A21	A22	A23	A24	A25

โดยที่ A1, A7, A13, A19 และ A25 = เวลา 15 วินาที
A5, A6, A12, A18 และ A24 = เวลา 20 วินาที
A4, A10, A1, A17 และ A23 = เวลา 25 วินาที
A3, A9, A15, A16 และ A22= เวลา 30 วินาที
A2, A8, A14, A20 และ A21 = เวลา 10 วินาที

3. ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและหาขนาดวัสดุ โดยเตรียมต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด และกาวแป้งเปียก โดยนำวัสดุ ได้แก่ ต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด มาสับย่อยให้ละเอียด (ขนาด 1-3 มม. ดังภาพที่ 4) จากนั้นต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด มาคัดแยกเศษที่มีขนาดใหญ่ออก

4. ขั้นตอนการเตรียมตัวเชื่อมประสาน โดยนำแป้งมันสำปะหลังและน้ำมาผสม เพื่อทำกาวแป้งเปียกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 500 กรัม ต่อ น้ำ 1.5 ลิตร นำไปตั้งไฟและเคี่ยวจนเป็นกาวแป้งเปียกแบบข้นหนืด (ภาพที่ 4)

ก. ลำต้นและใบข้าวโพด ข. เปลือกข้าวโพด ค. ซังข้าวโพด. ง. กาวแป้งเปียก

ภาพที่ 4 ต้น ใบ เปลือกและซังจากข้าวโพดที่ถูกสับละเอียด และลักษณะกาวแป้งเปียก

5. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพให้มีขนาด 20x70x120 ซม. มีเกจสำหรับวัดแรงดัน เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นระบบไฮดรอลิคแบบมือโยก

6. ขั้นตอนการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยการนำวัสดุผสมตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ คลุกเคล้าให้เนื้อเข้ากันเป็นหนึ่งเดียว จำนวน 2 กก. มาผสมกับกาวแป้งเปียกที่เตรียมไว้คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน นำพลาสติกวางในแม่พิมพ์ตัวนอก นำวัสดุที่ผสมกาวแป้งเปียกแล้วใส่ลงในแม่พิมพ์ ให้เติมแม่พิมพ์ นำพลาสติกหุ้มแม่พิมพ์ตัวในแล้วนำไปวางบนวัสดุที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัวนอก กดลงเล็กน้อย จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิคแรงอัด 500, 1000, 1,500, 2,000 และ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที เมื่ออัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพตามแรงอัดและระยะเวลที่กำหนดไว้แล้ว นำแม่พิมพ์ตัวในออกจากแม่พิมพ์ตัวนอก แล้วค่อย ๆ ดึงพลาสติกออก จะได้กระถางชีวภาพที่มีผิวเรียบและไม่ติดกับแม่พิมพ์ สุดท้ายนำกระถางชีวภาพที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วมาผึ่งแดดให้แห้ง ภาพรูปที่ 5 และ 6

ก. เทกาวแป้งเปียกลงถังผสม ข. ผสมกาวแป้งเปียกกับวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน ค. นำวัสดุที่ผสมใส่ในแม่พิมพ์และอัดขึ้นรูป

ภาพที่ 5 การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ

ก. เกาะกระถางออกจากแม่พิมพ์ ข. นำกระถางไปตากแดด ค. กระถางสามารถนำไปเพาะต้นไม้ได้

ภาพที่ 6 นำกระถางไปตากแดดและใช้ในการเพาะกล้าต้นไม้

7. ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล โดยวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปของกระถางชีวภาพ เช่น อัตราส่วนระหว่างวัสดุจากต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพดชนิดของตัวประสาน ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปกระถาง เป็นต้น ทดสอบสมบัติของกระถาง

การหาคความหนาแน่น เพื่อเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชิ้นงาน โดยตัดชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว ให้มี ขนาดกว้าง 4 cm ยาว 6 cm หนา 2 mm แล้วหา ปริมาตร หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักของชิ้นงานและบันทึก ทำซ้ำจำนวน 3 ชิ้น นำไปหาค่าเฉลี่ย โดยค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (g/cm^3), m=มวล(g) และV =ปริมาตร (cm^3)

การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ใช้ตามมาตรฐาน ABNT NM ISO535 โดยตัด ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว ให้มีขนาดกว้าง 4 cm ยาว 6 cm ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน ก่อนทดสอบ จากนั้นนำชิ้นงานแช่ในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำขึ้นมาชั่งน้ำหนัก หลังการทดสอบ บันทึกน้ำหนักทั้งก่อนและหลังแช่น้ำ ทำซ้ำจำนวน 3 ชิ้น นำไปหาค่าเฉลี่ย โดยค่าร้อยละการซึมน้ำคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\%\ \text{water absorption} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \tag{2}$$

เมื่อ % water absorption = เปอร์เซ็นต์การซึมน้ำ, m_1 = มวลก่อนแช่น้ำ (g) และm_2 = มวลหลังแช่น้ำ (g)

การพองตัวของกระถางตามความหนา (มอก. 876-2547) ได้กำหนดจำนวนทำซ้ำไว้ที่ 3 ใบ เพื่อสุ่มตัวอย่างนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านการพองตัว ตัดชิ้นทดสอบขนาด 5.0 x5.0 เซนติเมตร จากนั้นทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา และ วัดความหนาของชิ้นทดสอบเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ และแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ ดูดซึมน้ำ ปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 60 วินาที นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็น ความหนาหลังแช่น้ำ สูตรดังต่อไปนี้

$$\%\ \text{Thickness swelling} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \tag{3}$$

เมื่อ % Thickness swelling = เปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนา, t_1 = ความหนาของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ (g) และ t_2 = ความหนาของตัวอย่างหลังแช่น้ำ (g)

การวัดความพรุนของกระถางชีวภาพ ซึ่งต้องมาทำการทดลองเพื่อหาความพรุนของกระถางต้นไม้ ดังนี้

การหาความหนาแน่นรวม นำกระถางต้นไม้ที่ตากแห้ง หรืออบเรียบร้อย แล้วมาตัดเป็นชิ้นขนาด 5.00 x 5.00 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนที่ได้วัดขนาดชิ้นส่วนเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรของชิ้นส่วนกระถาง และคำนวณหาความหนาแน่นรวมของชิ้นส่วนกระถาง ในสมการที่ 4

ความหนาแน่นรวม = ปริมาตรชิ้นส่วนกระถาง (4)

การหาความหนาแน่นของวัสดุ ชั่งขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แห้งและสะอาด บันทึกผล นำชิ้นตัวอย่างของกระถางชีวภาพข้างต้นมาบดให้ละเอียดแล้วบรรจุ ลงในขวดปรับปริมาตร ชั่งน้ำหนักปริมาตรอีกครั้ง บันทึกผล เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ลงในขวด ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน นำขวดปรับปริมาตรไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิพร้อมกับที่ใช้ที่จับ หลอดทดลองจับที่คอขวดปรับปริมาตร เพื่อเขย่าในขณะที่ขวดอุ่น เมื่อไอปรากฏให้อุ่นต่อไปอีก 2-3 วินาที หลังจากนั้นนำขวดปรับปริมาตรไปตั้งไว้ที่อ่างน้ำคว่ำบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ลงที่ปากขวด ปรับปริมาตรแล้วปล่อยน้ำเย็นให้ไหลเบา ๆ ลงที่ก้นบีกเกอร์จนกระทั่งขวดปรับปริมาตรเย็นลง เติม น้ำลงในขวดปรับปริมาตรจนถึงขีดชอกความจุใช้ผ้าเช็ดขวดปรับปริมาตรให้แห้งแล้วนำไปชั่งอีกครั้ง บันทึกผล [8] เทวัสดุในขวดทิ้งทั้งหมด ล้างขวดให้สะอาด นำไปคว่ำให้แห้ง เติมน้ำกลั่นจากบิวเรตลงในขวดปรับปริมาตร ปริมาตรนี้คือความจุของขวดปรับปริมาตร (V_F) หาน้ำหนักของวัสดุ (m_s) จากสมการที่ 5

$$m_s = m_2 - m_3 \quad (5)$$

หาปริมาตรของวัสดุ (V_s) จากสมการที่ 6 และ 7

$$V_w = m_3 - m_2 / \rho_{\text{อุณหภูมิน้ำที่ทำการทดลอง}} \quad (6)$$

$$V_s = V_F - V_w \quad (7)$$

โดยที่ V_s = ปริมาตรของวัสดุ (m^3) และ V_w = ปริมาตรนำที่ถูกแทนที่ด้วยวัสดุ (m^3)

จากนั้นสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของวัสดุได้ จากสมการที่ 8

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (8)$$

เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3), m_s =มวลของวัสดุ (g) และ V_s =ปริมาตรของวัสดุ (cm^3)

การคำนวณหาความพรุน จากสมการที่ 9

$$\varepsilon = 1 - \left((\rho_b/\rho_s) \times 100\right) \quad (9)$$

เมื่อ ε=ความพรุน, ρ_s=ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3). และ ρ_b=ความหนาแน่นรวมของกระถางชีวภาพ (g/cm^3)

8. ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และต้นทุนในการผลิตต่อหน่วย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยกำหนดเงื่อนไขของการทดลองเป็นแบบตารางลาตินสแควร์

จากการทดลองอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ พบว่า แรงอัดขึ้นรูปกระถางที่เหมาะสมคือแรงอัดที่ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นแรงดันที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ ไม่หนาจนเกินไปและไม่บางจนเกินไป ส่วนแรงอัดที่ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กระถางชีวภาพจะมีความหนาเกินไปและวัสดุผสมไม่ค่อยจับตัวกัน ส่วนแรงอัดที่1,500, 2,000 และ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่งให้กระถางชีวภาพมีความบางจนไม่สามารถทำให้วัสดุผสมจับตัวกันและกระถางไม่เป็นรูปทรงสมบูรณ์

การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ ซึ่งใช้เงื่อนไขการทดลองแบบลาตินสแควร์โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยระบบไฮดรอลิค พบว่า การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่มีรูปทรงสมบูรณ์มีทั้งหมด 10 การทดลอง คือ อัตราส่วนผสมที่ 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้รูปทรงที่สมบูรณ์ครบทุกการทดลอง ส่วนการทดลองที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปทรงกระถางชีวภาพได้มี 15 การทดลอง โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ 1) สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้แต่รูปทรงกระถางไม่สมบูรณ์ คือ อัตราส่วนผสมที่ 1:1:1:1, และ1:1:2:1 และ 2) ไม่สามารถอัดขึ้นรูปทรงกระถางชีวภาพได้ คือ อัตราส่วนที่ 1:1:1:2 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่สภาวะต่าง ๆ แรงดันในการอัดขึ้นรูป 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด	ผลของการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อขี้เถ้าชีวมวล				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	M	B	M	M	M
1:1:1:2	B	B	B	B	B
1:1:2:1	M	M	M	B	M
1:2:1:1	G	G	G	G	G
2:1:1:1	G	G	G	G	G

หมายเหตุ G คือ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้รูปทรงสมบูรณ์, M คือ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้รูปทรงไม่สมบูรณ์ และ B คือ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพไม่ได้รูปทรง

ความพรุนของกระถางชีวภาพ พบว่า การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่อัตราส่วนผสมของวัสดุ 2:1:1:1 และที่เวลา 30 วินาที เป็นการทดลองที่มีค่าความพรุนของกระถางชีวภาพสูงที่สุด คือ 89.45% ซึ่งจากการสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนผสมนี้ยังเป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการทดลองขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้ถึง 5 การทดลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพรุนของกระถางชีวภาพที่การทดลองต่าง ๆ แรงดันในการอัดขึ้นรูป 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด	ความพรุนของกระถางชีวภาพ				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อขี้เถ้าชีวมวล				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:1:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:2:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:2:1:1	87.34	85.96	86.36	85.68	84.11
2:1:1:1	86.86	89.45	87.07	85.81	87.98

หมายเหตุ ค่า 0.00 คือ การทดลองที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้

ความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ พบว่า การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่อัตราส่วนผสมของวัสดุ 2:1:1:1 โดยใช้กาวแป้งเปียก (แป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเท่ากับ 500 g : 1.5 l) เป็นการทดลองที่มีค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพสูงสุด คือ 1.32 kN ซึ่งจากการสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนผสมนี้ ยังเป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการทดลองอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้ครบทุกการทดลองอีกด้วย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความแข็งแรงของกระถางชีวภาพที่การทดลองต่าง ๆ

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด	ความแข็งแรงของกระถางต้นไม้ (kN)				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อขี้เถ้าชีวมวล				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:1:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:2:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:2:1:1	1.01	1.28	1.16	1.08	1.10
2:1:1:1	1.20	1.32	1.14	1.25	1.19

หมายเหตุ ค่า 0.00 คือ การทดลองที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากค่าความพรุนและความแข็งแรงที่ได้ นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมทางสถิต SPSS และทำการเปรียบเทียบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ พบว่า ค่า sig. ของอัตราส่วนของวัสดุเท่ากับ 0.015 น้อยกว่า 0.05 ($p<0.05$) แสดงว่าความแตกต่างของค่าความพรุนเนื่องจากอัตราส่วนของวัสดุมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าอัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความพรุนที่แตกต่างมาก แต่อัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาให้ผลค่าความพรุนที่ใกล้เคียงกันหรือไม่มีผลต่อความพรุน และ ค่า sig. ของอัตราส่วนของวัสดุเท่ากับ 0.001 น้อยกว่า 0.05 ($p<0.05$) จึงแสดงว่าความแตกต่างของค่าความเข็งแรงเนื่องจากอัตราส่วนของวัสดุมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าอัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความเข็งแรงที่แตกต่างมาก แต่อัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาให้ผลค่าความเข็งแรงที่ใกล้เคียงกันหรือไม่มีผลต่อความเข็งแรง รายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความพรุนและความเข็งแรง

ตัวแปร	ความพรุน				ความเข็งแรง			
	Levene Statistic	**df1**	**df2**	**Sig.**	**Levene Statistic**	**df1**	**df2**	**Sig.**
อัตราส่วนของวัสดุ	4.006	4	20	0.015	7.145	4	20	0.001
อัตราส่วนของเถ้าชีวมวล	0.18	4	20	0.999	0.346	4	20	0.844
เวลา	0.005	4	20	1.00	0.063	4	20	0.992

การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของกระถางชีวภาพ

การตรวจสอบโครงสร้างของกระถางชีวภาพที่ทำการอัดขึ้นรูปได้ทั้งหมด 10 การทดลอง ทำการศึกษาทั้งด้านข้างและด้านล่างโดยใช้เครื่อง Stereomicroscope พบว่า วัสดุยึดเกาะกันได้ดี มีความละเอียดหยาบต่างกัน ทำให้กระถางชีวภาพที่ได้มีความพรุนที่ต่างกัน และไม่มีรอยแตกร้าวของกระถางชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของวัสดุต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่างกระถางที่มีความพรุนมากจะมีลักษณะเส้นใยหยาบ มีรูระว่างเส้นใยขนาดใหญ่ ส่วนกระถางที่มีความพรุนน้อยจะมีลักษณะเส้นใยละเอียดมีรูระหว่างเส้นใยขนาดเล็ก เช่น กระถางชีวภาพจากอัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด ที่ 2:1:1:1 และ 1:2:1:1 ซึ่งมีรูพรุนมากที่สุดและมีรูพรุนน้อยที่สุดคือ A22 และ A19 ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 และ 7

ผลการทดลองปลูกต้นไม้ในกระถางชีวภาพ

จากการทดลองปลูกต้นไม้เพื่อเปรียบเทียบการแทงราก อายุการใช้งาน และการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของกระถางชีวภาพ เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงและถ่ายรูปทุก ๆ สัปดาห์ พบว่า กระถางชีวภาพมีลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพบริเวณก้นกระถางเป็นอันดับแรก เนื่องจากเป็นบริเวณที่รับน้ำจากการรดน้ำต้นไม้ ไว้นานที่สุด ซึ่งก้นกระถางชีวภาพจะค่อย ๆ ผุพังไปทีละนิดจนถึงระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ก้นกระถางชีวภาพก็ผุพังลง ดังนั้นกระถางชีวภาพนี้สามารถใช้เพาะกล้าไม้ได้และจะต้องนำกล้าไม้ที่เพาะในกระถางชีวภาพลงดินปลูกก่อนครบ 3 เดือน เพื่อให้สามารถจับกระถางชีวภาพลงดินปลูกได้ ดังภาพที่ 8 9 และ 10

วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20 ปี ส่วนการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 6 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 20 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 19.65 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี และการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 10 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39.10 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี

ภาพที่ 6 โครงสร้างกระถางชีวภาพของการทดลองที่ A22 ที่อัตราส่วนของวัสดุ 2:1:1:1

ภาพที่ 7 โครงสร้างกระถางชีวภาพของการทดลองที่ A19 ที่อัตราส่วนของวัสดุ 1:2:1:1

ภาพที่ 8 เพาะทุเรียนด้วยเมล็ด ผักชีฝรั่ง ฟ้าทะลายโจร และมะม่วงหาวมะนาวโห่ในกระถางชีวภาพ

ภาพที่ 9 การเปลี่ยนสภาพทางกายภาพบริเวณก้นของกระถางชีวภาพ

ภาพที่ 10 ลักษณะของรากกล้าไม้ที่แทงผ่านกระถางชีวภาพบริเวณก้นกระถาง

วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้ว่าการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00 บาทต่อวัน (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20 ปี หรือ ประมาณ 2 เดือน 12 วัน ส่วนการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 6 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 20 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 19.65 บาทต่อวัน (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี หรือ ประมาณ 1 เดือน 17 วัน และการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 10 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39.10 บาทต่อวัน (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี หรือ ประมาณ 2 เดือน 20 วัน ซึ่งการผลิตกระถางชีวภาพทั้ง 3 ขนาด จะมีจุดคุ้มทุนไม่ถึง 1 ปี

อภิปรายผลการวิจัย

การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ในอัตราส่วน 2:1:1:1 เมื่อได้กระถางชีวภาพจะต้องนำไปตากให้แห้ง เนื่องจากเป็นการอัดขึ้นรูปแบบเย็นและใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน ทำให้กระถางชีวภาพมีความชื้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำกระถางชีวภาพไปตากให้แห้งเพื่อลดความชื้น [3] วิธีการที่สะดวก คือ การตากแดดโดยตรงซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัด [6] งานวิจัยนี้ พบว่า กระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ในอัตราส่วน 2:1:1:1 ใช้ระยะเวลาในการตากแห้งน้อยที่สุด คือ 3 วัน ระยะเวลาในการตากแห้งของกระถางชีวภาพในทุกอัตราส่วนไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก เมื่อกระถางชีวภาพตัวอย่างแห้ง ไม่มีการแตกร่วน ซึ่งแสดงให้ว่ากระถางชีวภาพมีความแข็งแรง มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการเป็นกระถางได้ดี เนื่องจากอัตราส่วนที่เปลี่ยนไป ทำให้เห็นว่าอัตราส่วน 2:1:1:1 นี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการนำมาผลิตกระถางชีวภาพได้ดีที่สุด เนื่องจากกระถางชีวภาพเมื่อมีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถขนย้ายได้สะดวกเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ที่สับย่อยจนมีขนาดเล็ก สามารถผสมเข้ากันได้ดีโดยกาวแป้งเปียก ทำให้การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ได้เวลาเฉลี่ยในการขึ้นรูป และจำนวนกระถางที่มีคุณภาพเฉลี่ยที่ดี การลดขนาดของวัตถุดิบและปริมาณความชื้น ซึ่งสอดคล้องกับ Raghavendra and et al. [9] ที่กล่าวว่า ต้องทำการลดขนาดของวัสดุเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และการลดขนาดของวัสดุสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย

ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด มีความพรุนช่วยให้อากาศและของเหลวซึมผ่านได้ง่าย เมื่อน้ำซึมเข้าสู่กระถางชีวภาพสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า กระถางชีวภาพที่มีลำต้นข้าวโพดมากสามารถดูดซับน้ำได้มาก จะมีการพองตัวมากด้วย เป็นผลจากน้ำแทรกเข้าไปในเนื้อวัสดุได้มาก ทำให้เกิดการดันตัวของชิ้นส่วนวัสดุออกมามาก ทำให้เกิดการพองตัวได้มาก [3] เมื่อน้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ จะทำให้เกิดการเสียสภาพ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตกระถางชีวภาพทั้ง 4 ส่วนได้แก่ ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด คือ เซลลูโลส มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา เส้นใยเหล่านี้มีสมบัติ คือ เมื่อเปียกน้ำ ความเหนียวและความแข็งแรงจะลดลง ถ้าสัมผัสแสงแดดเป็นระยะเวลานาน เส้นใยจะสลายตัว [10] นอกจากนี้กาวแป้งเปียกที่ใช้เป็นวัสดุประสานนั้น แม้จะมีสภาพแข็งเมื่อแห้ง แต่ก็ละลายได้เมื่อสัมผัสน้ำ ดังนั้นกระถางชีวภาพจึงเสื่อมสภาพ โดยมีระยะเวลาความคงตัวและการย่อยสลายที่แตกต่างกันไป

เมื่อทดสอบการพองตัวของกระถางชีวภาพ มีการพองตัวเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุและส่งผลต่อการพองตัวของกระถางชีวภาพ จนทำให้เกิดช่องว่างให้น้ำแทรก เข้าไปอยู่ในชิ้นส่วนของกระถางได้มาก จนเกิดการดันตัวของวัตถุดิบออกมามาก ทำให้เกิดการพองตัวมาก ซึ่งสอดคลอ้งกบัการศึกษาของ อำนาจ อมฤก [11], Sanguansuk [12] และKaewchuea&Kiatnukul [13] ที่พบว่าเมื่อนำกระถางต้นไม้จากขี้เลื่อยมาทดสอบจะมีปริมาณของช่องว่างวัสดุมากจนทำ ให้น้ำแทรกเข้าไปในวัสดุและทำให้น้ำเกิดการดันตัวของชิ้นส่วนออกมาจนเกิดการพองตัวได้มากขึ้น

เมื่อทดสอบการย่อยสลายหรือการเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพ จากผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ โดยรดน้ำแต่ละวัน จากการเก็บข้อมูลระยะเวลา 90 วัน (3 เดือน) การเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการเสื่อมสภาพอย่างช้า ๆ ตามระยะเวลา พิจารณาลักษณะการเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพ มีการแตกเป็นชิ้นและมีความชื้นบริเวณก้นของกระถาง เนื่องจากบริเวณก้นกระถางเป็นบริเวณที่จะรับน้ำนานที่สุด ซึ่งส่งผลให้การเสียรูปอย่างถาวรของกระถางชีวภาพมากขึ้นด้วย [14]

สรุปผลการวิจัย

1. แรงอัดขึ้นรูปกระถางที่เหมาะสมคือแรงอัดที่ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นแรงดันที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ไม่หนาจนเกินไปและไม่บางจนเกินไป

2. การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้และกระถางชีวภาพที่มีรูปทรงสมบูรณ์มีทั้งหมด 10 การทดลอง ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 เป็นอัตราส่วนที่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่มีรูปร่างสมบูรณ์ครบทุกการทดลอง

3. อัตราส่วนของวัสดุ 2:1:1:1 และที่เวลา 30 วินาที เป็นการทดลองที่มีค่าความพรุนของกระถางชีวภาพสูงที่สุด คือ 89.45% ซึ่งอัตราส่วนผสมนี้ยังเป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการทดลองขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้ถึง 5 การทดลอง

4. อัตราส่วนของวัสดุผสม 2:1:1:1 โดยใช้กาวแป้งเปียก (แป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเท่ากับ 500 g: 1.5 l) เป็นการทดลองที่มีค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพสูงสุด คือ 1.32 kN

5. อัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความพรุนและค่าความเข็งแรงที่แตกต่างมาก แต่อัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาให้ผลค่าความพรุนและค่าความเข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีผลต่อความพรุนและค่าความเข็งแรง

6. กระถางที่มีความพรุนมากจะมีลักษณะเส้นใยหยาบ มีรูระว่างเส้นใยขนาดใหญ่ ส่วนกระถางที่มีความพรุนน้อยจะมีลักษณะเส้นใยละเอียดมีรูระหว่างเส้นใยขนาดเล็ก

7. กระถางชีวภาพมีลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพบริเวณก้นกระถาง และจะค่อย ๆ ผุพังไปทีละนิด จนถึงระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ซึ่งจะต้องนำกล้าไม้ที่เพาะในกระถางชีวภาพลงดินปลูกก่อนครบ 3 เดือน

8. การผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00 บาทต่อวัน และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20 ปี กระถางชีวภาพขนาด 6 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 20 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 19.65 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี และกระถางชีวภาพขนาด 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 10 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39.10 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เขมรัฐ เถลิงศรี และสิทธิเดช พงศ์กิจวรสิน. (2555). **ศึกษาประเด็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กลไกสู่ความเหลื่อมล้ำในระดับท้องถิ่น กรณีศึกษา: ห่วงโซ่การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.** งานวิจัย คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] ทรงชัย ชุ่มภิรมย์ และคณะ. (2555). **การการจัดการใบไม้เพื่อลดมลพิษทางอากาศช่วงวิจัยพัฒนาต้นแบบฤดูแล้งในเขตพื้นที่ลุ่ม.** งานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

[3] เตือนใจ ปิยัง และคณะ. (2561). การผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**, 10(3), 497-511.

[4] ปิ่นประภา โสมากุล และ สิรินารี เงินเจริญ. (2563). กระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยฉลากและขุยมะพร้าว. ใน **การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา**. วันที่ 28 สิงหาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี.

[5] กิตติชัย โสพันนา และ คณะ. (2558). การประดิษฐ์และสมบัติของ กระถางชีวภาพ. **SNRU Journal of Science and Technology**. 7 (2), 1-7.

[6] สจุน สนุ่ยและธีรเวท ฐิตกิลุ. (2552). **เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากขุยและใยมะพร้าว.** โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.

[7] สจุน สนุ่ยและธีรเวท ฐิตกิลุ. (2553). **เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากขุยและใยมะพร้าว.** โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.

[8] สุชาดา จิตรภิรมย์ศรี. (2539). **การใช้ประโยชน์ขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดสำหรับเป็นวัสดุปลูกไม้กระถาง.** บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล; DOI : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=

[9] Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S. and Tharanathan, R. (2005). **Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber**. 281-286.

[10] โรสลีนา จาราแว, อามีเนาะ มะสาเมาะ และนูรฟาดูรา ยูโซ๊ะ. (2559). คุณสมบัติฉนวนกันความร้อนของหญ้า. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ ยะลา**. 1(1), 25-35.

[11] อำนาจ อมฤก. (2554). “การศึกษาการพองตัวของกระถางขึ้นรูปจากเส้นใยกกช้าง”. ใน **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอตุสาหการ.** วันที่ 20-21 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี.

[12] Sanguansuk, P. (2009). **Development of molded-pulp pot packaging from palm oil sludge and activated sludge cake for plant seedlings.** Master's Thesis. Kasetsart University.

[13] Kaewchuea, P., & Kiatnukul, W. (2011). "Project for the development of plant pots from Sawdust", In **The 8th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference**, December 8-9, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Prathom: Kasetsart University.

[14] สมพงษ์ พิริยายนต์ และกิตติศักดิ์ บัวศรี. (2562). "การผลิตและทดสอบสมบัติทางความร้อนและทางกลของวัสดุผสมจากน้ำยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าว", ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4**, วันที่ 30-31 พฤษภาคม 2562 ณ โรงแรมทินิดี อำเภอเมือง จังหวัดระนอง.