ศึกษาการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนสำหรับบรรจุผลไม้ กรณีศึกษา: บริษัทขนส่งพัสดุ

Recirculating Packaging Design Study for Fruits a Case Study: Transport Company

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี* นริศรา น้อยพิทักษ์ และ สิริภัทร รามณี
Supaporn Suwannarongsri*, Narissara Noipitak and Siriphat Rammanee

สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Logistics Engineering, Department of Materials Handling and Logistics Engineering,
Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
*E-mail: supaporn.s@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ และทดสอบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนสำหรับขนส่งผลไม้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายผลความแข็งแรง จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน ก.ค. พ.ศ. 2564 ถึง มิ.ย. พ.ศ. 2565 พบกล่องพัสดุเกิดการชำรุดเสียหายระหว่างการขนส่ง จากการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภูมิก้างปลาพบว่า ควรมีอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยในการขนส่ง ผู้วิจัยได้ออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน 2 รูปแบบโดยใช้วัสดุ PP-Copolymer สำหรับรูปแบบที่ 1 และวัสดุ SAE 304 Stainless steel สำหรับรูปแบบที่ 2 ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนพบว่าค่าความเค้นครากสูงสุดของแรงที่มากระทำมีค่าน้อยกว่าความเค้นครากของวัสดุทั้ง 2 ชนิด และระยะโก่งตัวของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนน้อยกว่าระยะโก่งตัวที่ยอมรับได้ ในส่วนของการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนใช้วิธีกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับขั้นพบว่า เกณฑ์ความสะดวกในการพับเก็บร้อยละ 34 ความยากง่ายในการยกร้อยละ 33 ความแข็งแรงร้อยละ 26 และความสวยงามร้อยละ 6 ค่าน้ำหนักความสำคัญของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 ให้ค่าร้อยละ 53 แบบที่ 1 ร้อยละ 51 ทำให้บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 ถูกเลือกเป็นบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับขั้น บรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

Abstract

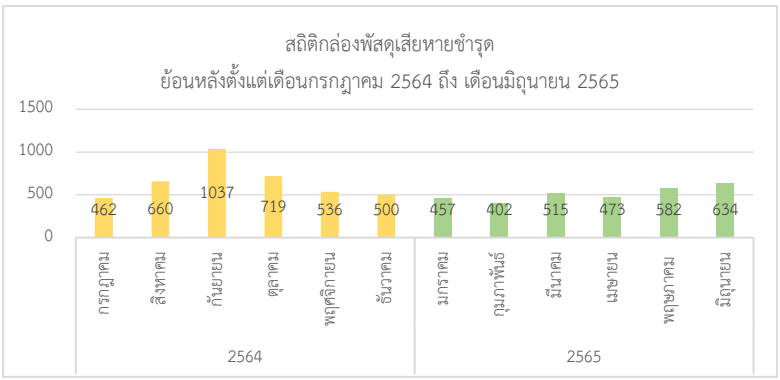
This article presents and testing of Recirculating packaging for fruit transportation by using a computer program to predict strength results. From the data collection from July 2021 to June 2022, parcel boxes were found to be damaged during transportation. Based on the analysis of the cause with a fishbone chart, it should be equipped with accessories to help with transportation. Based on two designs of recirculating packaging using PP-Copolymer for style 1 and SAE 304 Stainless steel for style 2, the finite element method was applied to analyze the strength of the recirculating packaging. It was found that the maximum yield stress of the applied force was less than the yield stress of both materials and the deflection of the recirculating packaging was less than the allowable deflection. The selection of recirculating packaging is based on analytic Hierarchy Process. It was found that the criterion for ease of folding was 34%, difficulty in lifting was 33%, strength was 26%, and beauty was 6%. The weight of the importance of recirculating

packaging type II gave the value of 53% type I 51% made a second choice of recirculating packaging as the alternative of packaging that meets user needs.

Keywords: The Finite Element Method, Analytic Hierarchy Process, Recirculating Packaging

บทนำ

ปัจจุบันตลาด E-Commerce เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากพฤติกรรมผู้บริโภคที่หันมาซื้อสินค้าผ่านทางออนไลน์มากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้ตลาดขนส่งพัสดุมีแนวโน้มเติบโตตามการเติบโตของตลาด E-Commerce ทำให้เกิดการแข่งขันในตลาดขนส่งพัสดุที่สูงขึ้น (อลิษาและคณะ, 2554) บริษัทขนส่งพัสดุกรณีศึกษาปัจจุบันพบปัญหาในการขนส่งพัสดุจากต้นทางไปยังปลายทาง (จีราดา, 2565) ในเรื่องของความเสียหายจากการยุบตัวของกล่องพัสดุที่ใช้บรรจุผลไม้ สาเหตุเกิดการกดทับ, การกระแทก และการสั่นสะเทือนในระหว่างการขนส่งถึงร้อยละ 5-10 นอกจากนี้ความชื้นของผลไม้ยังส่งผลให้กล่องพัสดุเกิดการยุบตัวลงได้ง่าย โดยพบว่า กล่องพัสดุที่อยู่ด้านล่างเมื่อเกิดความชื้นจะทำให้เกิดการยุบตัว เนื่องจากมีแรงกดทับจากกล่องพัสดุด้านบนที่ซ้อนทับ ส่งผลให้กล่องพัสดุที่อยู่ด้านล่างเกิดความเสียหายมากที่สุด แสดงสถิติความเสียหายของกล่องพัสดุดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สถิติกล่องพัสดุชำรุดเสียหายย้อนหลังตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2564 ถึง เดือนมิถุนายน 2565

จากภาพที่ 1 พบว่า จำนวนกล่องพัสดุที่เกิดการชำรุดเสียหายอยู่ระหว่าง 400-1,000 กล่องต่อเดือน บริษัทกรณีศึกษามีพัสดุเข้ามารับบริการประมาณวันละ 20,000 ชิ้น เพื่อทำการคัดแยกและส่งต่อไปยังสาขาปลายทาง บริษัทกำหนดนโยบายยอมรับให้เกิดการชำรุดเสียหายของกล่องพัสดุจากพัสดุจำนวน 3,000,000 ชิ้น ต้องเสียหายไม่เกิน 600 กล่อง จากข้อมูลปริมาณพัสดุที่เข้ามารับบริการที่ 20,000 ชิ้นต่อวันพบว่าภายในระยะเวลา 5 เดือน จะมีพัสดุเข้ามารับบริการครบจำนวน 3,000,000 ชิ้น เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณกล่องพัสดุที่ยอมให้เกิดการชำรุดเสียหายได้จะอยู่ที่ 120 กล่องต่อเดือน จากสถิติกล่องพัสดุชำรุดเสียหายข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณกล่องที่เกิดการชำรุดเสียหายมากกว่าปริมาณที่ยอมให้เกิดการชำรุดเสียหายได้ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า การแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นส่วนใหญ่จะเป็นการออกแบบและสร้างกล่องพัสดุจากวัสดุต่างชนิดกันและนำมาทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขในส่วนของความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นได้ แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวส่งผลในเรื่องของต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่บริษัทจะต้องทำการเปลี่ยนวัสดุสำหรับทำกล่องพัสดุใหม่ อีกทั้งผู้บริโภคไม่ต้องการเสียค่ากล่องบรรจุพัสดุในราคาที่เพิ่มขึ้น (เบญจทิพย์และอมรกานต์, 2562) ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์หาทางแก้ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา ผลการวิเคราะห์พบว่า

ควรมีอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยลดความเสียหายที่เกิดระหว่างการขนส่ง จึงได้ออกแบบและทดสอบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนสำหรับขนส่งผลไม้ 2 รูปแบบจากวัสดุที่แตกต่างกัน จากนั้นใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายผลความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน หลังจากได้บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามข้อกำหนดของบริษัทแล้ว ได้ประยุกต์ใช้วิธีกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เพื่อเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าน้ำหนักความสำคัญสูงที่สุดของผลการประเมินจากผู้ใช้งานจริง (วรางคณาและจุฑาทิพย์, 2564) ผลการวิจัยที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนของบริษัทกรณีศึกษา

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากข้อมูลปริมาณกล่องพัสดุชำรุดเสียหายของบริษัท นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) ทำให้ทราบว่า บริษัทควรมีอุปกรณ์เสริมในการขนส่งเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้น จึงออกแบบและทดสอบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis; FEA) เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน (ศุภัชฎาและคณะ, 2556) และเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนโดยการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process; AHP)

1. การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของบริษัทกรณีศึกษา พบปัญหากล่องพัสดุชำรุดเสียหายมีปริมาณสูง จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภูมิก้างปลาพบว่า แนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ การออกแบบอุปกรณ์เสริมในการขนส่ง โดยการนำบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนไปใช้เป็นอุปกรณ์เสริมบนรถขนส่ง ส่วนสาเหตุอื่น ๆ เช่น ปริมาณงานที่มากเกินไปในแต่ละวัน สภาพภูมิอากาศ ไม่สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่อยู่นอกเหนือการควบคุม รวมทั้งการแก้ไขปัญหาโดยการปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำกล่องพัสดุก็ไม่เหมาะสม เนื่องจากเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับทางบริษัทและผู้มาใช้บริการ

2. การออกแบบองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน ซึ่งบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่ทำการออกแบบมีจำนวน 2 รูปแบบ โดยในแต่ละรูปแบบมีองค์ประกอบ แสดงดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1

ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 จะมีองค์ประกอบทั้งสิ้น 3 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบส่วนฐาน องค์ประกอบด้านยาว และองค์ประกอบด้านกว้าง

2.2 การออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2

ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 จะมีองค์ประกอบทั้งสิ้น 3 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบโครงแนวนอน องค์ประกอบโครงแนวตั้ง และองค์ประกอบด้านผนังที่พับเก็บได้

3. การสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ต้นแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนจะเริ่มจากการนำองค์ประกอบที่ได้ทำการออกแบบไว้ข้างต้น มาทำการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks การกำหนดขนาดความยาว ความกว้าง และความสูงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 อ้างอิงจากกล่องผลไม้ไซส์ L ซึ่งเป็นกล่องผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่ทางบริษัทกรณีศึกษาได้มีการจัดจำหน่าย รวมถึงพิจารณาถึงรูปแบบการขนส่งของบริษัทที่มีการขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ

4. การวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยการใช้แบบจำลองในโปรแกรม SolidWorks (เดชาและคณะ, 2555) ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน จะทำการทดสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่ทำการออกแบบโดยการใส่แรงกระทำที่บริเวณภายนอกของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน ภายใต้สมมติฐานของแรงที่กระทำ 2 กรณี คือ แรงกระทำกรณีรถยนต์ขนส่งเคลื่อนที่อยู่บนถนน และแรงกระทำกรณีรถยนต์ขนส่งเกิดการเบรกกะทันหัน โดยบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทั้ง 2 รูปแบบมีการทดสอบความแข็งแรง ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 จะทำการวิเคราะห์ 3 สมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานที่ 1 การวิเคราะห์แรงที่ท่อเหล็กรับแรงกระทำที่ 400 กิโลกรัม

สมมติฐานที่ 2 การวิเคราะห์แรงที่โครงแนวนอนต่อกับท่อเหล็กซึ่งรับแรงกระแทกที่ 400 กิโลกรัม

สมมติฐานที่ 3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้านแนวตั้งของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

4.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 จะทำการวิเคราะห์ 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 วิเคราะห์ความแข็งแรงภายใต้แรงสถิต (Static) ของแผ่นด้านยาว

ส่วนที่ 2 วิเคราะห์ความแข็งแรงด้านกว้างของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

ส่วนที่ 3 วิเคราะห์ความแข็งแรงส่วนฐานของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

5. แนวทางในการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

5.1 การกำหนดเกณฑ์ในการเลือกบรรจุภัณฑ์

เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลจากการสอบถามผู้ใช้บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนของบริษัทกรณีศึกษา

5.2 การพิจารณาเลือกปัจจัยที่ใช้เป็นเกณฑ์เลือกบรรจุภัณฑ์

จากที่มาของการกำหนดเกณฑ์ข้างต้น เมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน คือ ความสวยงาม, ความสะดวกต่อการพับเก็บ, ความยากง่ายในการยก และความแข็งแรง โดยผู้วิจัยได้นำปัจจัยดังกล่าวมาใช้เป็นมิติปัจจัยหลักในลำดับขั้นที่ 2 ของโครงสร้างลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์

5.3 การพัฒนาแบบสอบถามจากกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

หลังจากได้เกณฑ์การเปรียบเทียบจากกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาเป็นแบบสอบถามเพื่อใช้ในการสอบผู้เกี่ยวข้องกับการใช้บรรจุภัณฑ์หมุนเวียน โดยแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ตามกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

5.4 การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้บรรจุภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษามีจำนวน 5 คน ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

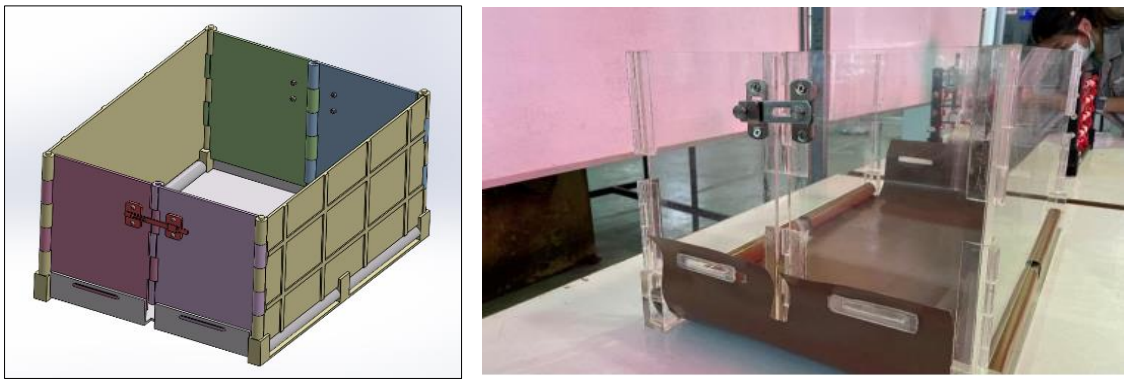
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้น ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ (จุฬาลักษณ์, 2559) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยหลัก และวิเคราะห์ผลจากลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยด้วยการคำนวณจากการใช้เมทริกซ์แล้วทำการวิเคราะห์ผล (วรางคณาและจุฑาทิพย์, 2564)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

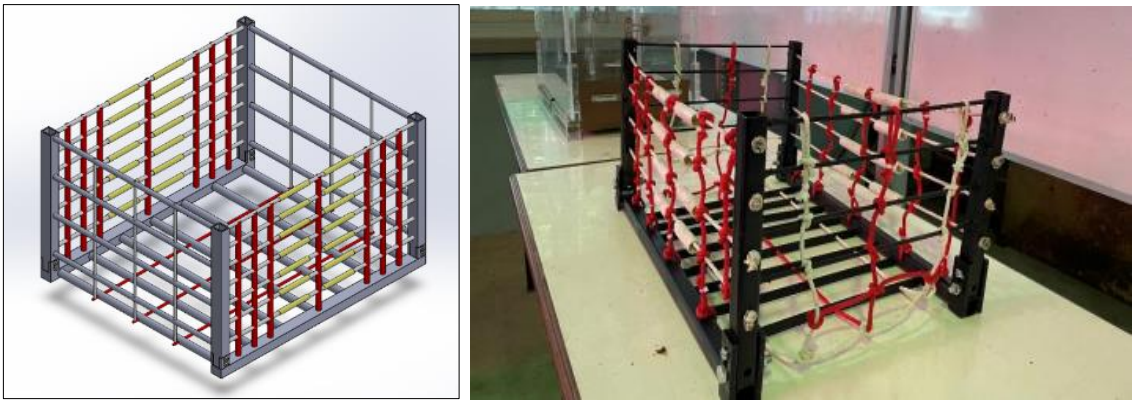
จากการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน 2 รูปแบบโดยการใช้โปรแกรม SolidWorks และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนแต่ละรูปแบบโดยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และทำการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนด้วยการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับขั้น ผลการวิจัย แสดงดังนี้

1. ผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

ขนาดภายในของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 มีขนาดความยาว 101.00 เซนติเมตร ความกว้าง 81.00 เซนติเมตร และความสูง 61.00 เซนติเมตร แต่เนื่องจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 รูปแบบใช้วัสดุที่แตกต่างกัน โดยรูปแบบที่ 1 เลือกใช้วัสดุ PP-Copolymer และรูปแบบที่ 2 เลือกใช้วัสดุ SAE 304 Stainless steel จึงทำให้ขนาดภายนอกของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทั้ง 2 รูปแบบมีขนาดแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงดังภาพที่ 2 และ 3

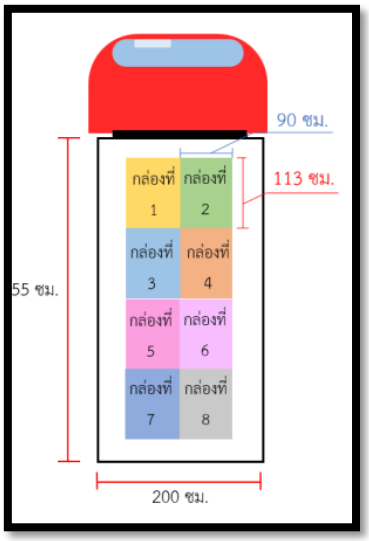


ภาพที่ 2 แบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 ใช้วัสดุ PP-Copolymer

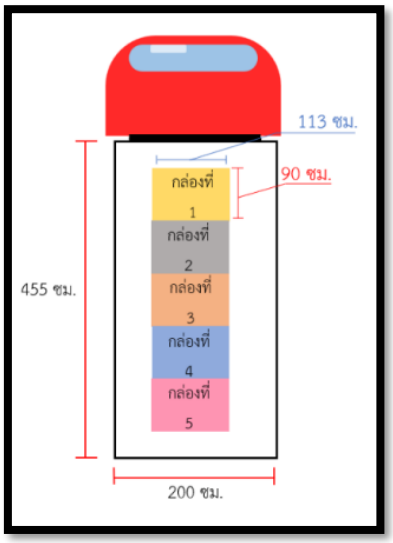


ภาพที่ 3 แบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 ใช้วัสดุ SAE 304 Stainless steel

เมื่อนำมาพิจารณาในส่วนของกล่องพัสดุที่จะนำมาจัดวางในบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนซึ่งเป็นกล่องพัสดุไซส์ L มีความกว้าง 40.30 เซนติเมตร ความยาว 50.30 เซนติเมตร และความสูง 30.50 เซนติเมตร เมื่อนำมาจัดระวางบนรถบรรทุกขนาด 6 ล้อสามารถจัดระวางได้ 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 จัดระวางได้จำนวน 5 กล่อง ในขณะที่รูปแบบที่ 2 จัดระวางได้จำนวน 8 กล่อง แสดงดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 การจัดระวางรูปแบบที่ 1



ภาพที่ 5 การจัดระวางรูปแบบที่ 2

2. ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

2.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 จากการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม Simulation SolidWorks วิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนพบว่า บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทำจากวัสดุสแตนเลส 304 มีค่าความเค้นคราก 206.807 MPa จากการทดสอบแรงที่มากระทำภายใต้สมมติฐานที่กำหนด พบว่า ค่าความเค้นครากสูงสุดที่เกิดจากแรงที่กระทำต่อบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนมีค่าน้อยกว่าความเค้นครากของวัสดุสแตนเลส 304 สามารถสรุปได้ว่าวัสดุที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนมีความแข็งแรง แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2

สมมติฐาน	ค่าการคำนวณด้วยสูตร	ค่าการคำนวณด้วยโปรแกรม	ร้อยละคลาดเคลื่อน
สมมติฐานที่ กิโลกรัม 400 แรงกระทำที่ท่อเหล็กด้วยแรง 1			
ความเค้นสูงสุด (MPa)	23.14	25.14	14.0
ระยะการโก่งสูงสุด (mm)	0.102	103.0	97.0
สมมติฐานที่ กิโลกรัม 400 แรงกระทำที่โครงแนวนอนด้วยแรง 2			
ความเค้นสูงสุด (MPa)	07.19	19.17	49.0
ระยะการโก่งสูงสุด (mm)	0.170	0.175	85.2
สมมติฐานที่ 400 แรงกระทำที่โครงแนวตั้งด้วยแรง 3 กิโลกรัม			
ความเค้นสูงสุด (MPa)	40.21	40.92	73.1
ระยะการโก่งสูงสุด (mm)	0.799	789.0	26.1

2.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทำจากวัสดุเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนบล็อกโคพอลิเมอร์ (Scgchemicals) มีค่าความเค้นครากของวัสดุ คือ 29 MPa จากการทดสอบ

ความแข็งแรงของแผ่นด้านยาวและแผ่นด้านกว้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม Simulation SolidWorks พบว่า มีค่าความเค้นวอนมิสเซลน้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ สามารถสรุปผลได้ว่าบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 ไม่เกิดความเสียหาย หรือมีความแข็งแรง ในส่วนฐานบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนใช้วัสดุเป็นผ้าใบ PVC จากการทดสอบโดยการนำผ้าใบทดสอบรับน้ำหนักที่มากกว่า 400 กิโลกรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักสูงสุดที่บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนต้องรับภาระโหลดจากการบรรจุกล่องพัสดุที่สามารถรับน้ำหนักได้ 400 กิโลกรัม จากการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ครั้ง พบว่า ผ้าใบไม่เกิดการฉีกขาด และสามารถรองรับน้ำหนักเฉลี่ยที่ 978.80 กิโลกรัม แสดงผลทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1

การวิเคราะห์องค์ประกอบ	ค่าความเค้นวอนมิสเซล (MPa)	ระยะการโก่ง (mm)	ความสามารถในการรองรับน้ำหนัก (kg)
แผ่นด้านยาว	17.11	33.08	-
แผ่นด้านกว้าง	12.02	8.49	-
ฐานผ้าใบ	-	-	978.80

ทางผู้วิจัยได้มีการทดสอบเพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงขององค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 ที่ทำจากวัสดุสแตนเลส 304 แสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2

องค์ประกอบ	ค่าความเค้น (MPa)		ระยะการโก่ง (mm)	
	ค่าความเค้นวอนมิสเซลจากโปรแกรม	ค่าความเค้นครากของสแตนเลส 304	ระยะการโก่งจากโปรแกรม	ระยะการโก่งที่ยอมรับได้
ท่อเหล็ก	14.25		0.10	2.25
โครงแนวนอน	19.17	206.81	0.18	2.86
โครงแนวตั้ง	40.92		0.79	1.71

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในส่วนของการออกแบบ และทดสอบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทั้ง 2 รูปแบบที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันพบว่า วัสดุทั้ง 2 ชนิดมีความแข็งแรงสามารถนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนได้

3. ผลการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน

หลังจากออกแบบและทดสอบความแข็งแรงแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเลือกรูปแบบของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ประยุกต์วิธีการคิดวิเคราะห์ตามลำดับขั้น โดยการเปรียบเทียบเชิงคู่จากการตอบแบบสอบถามตามลำดับขั้นของวัตถุประสงค์ จากผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้บรรจุภัณฑ์จำนวน 5 คน แล้วนำค่าคำตอบมาพิจารณาเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนจากจากผลของค่าเฉลี่ยน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ และน้ำหนักเฉลี่ยทางเลือกดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์และน้ำหนักเฉลี่ยทางเลือกภายใต้แต่ละเกณฑ์

เกณฑ์ทางเลือก	ความสวยงาม	ความแข็งแรง	ความสะดวกในการพับเก็บ	ความยากง่ายในการยก
น้ำหนักเกณฑ์	0.07	0.14	0.37	0.42
บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1	0.68	0.33	0.42	0.62
บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2	0.32	0.67	0.69	0.38

จากตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักและน้ำหนักเฉลี่ยแต่ละเกณฑ์สามารถนำมาคำนวณหาค่าลำดับทางเลือก ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 มีค่าน้ำหนัก 0.53 บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 มีค่าน้ำหนัก 0.51 สรุปได้ว่าบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานมากกว่าบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 1 แสดงตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

บรรจุภัณฑ์หมนุเวียนรูปแบบที่ 1 = (0.07)(0.68) + (0.14)(0.33) + (0.37)(0.42) + (0.42)(0.60) = 0.51

บรรจุภัณฑ์หมนุเวียนรูปแบบที่ 2 = (0.07)(0.32) + (0.14)(0.67) + (0.37)(0.69) + (0.42)(0.38) = 0.53

สรุปผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้แผนภูมิก้างปลา (Fish bone diagram) พบปัญหาที่สำคัญในการขนส่งพัสดุที่เป็นผลไม้ คือความชำรุดเสียหายระหว่างการส่ง ทำให้บริษัทกรณีศึกษาเกิดต้นทุนในเรื่องของค่าปรับที่ต้องชำระให้กับผู้มารับบริการในกรณีที่พัสดุเกิดความเสียหาย จึงควรมีอุปกรณ์เสริมช่วยระหว่างการขนส่ง สาเหตุหลักของความเสียหายเกิดการกดทับจากกล่องพัสดุด้านบน ทำให้กล่องพัสดุที่อยู่ด้านล่างเกิดการยุบตัว จากสาเหตุหลักของปัญหานี้จึงทำการออกแบบบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน 2 รูปแบบจากวัสดุที่มีความแตกต่างกัน และขนาดภายในของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทั้ง 2 รูปแบบ คำนวณมาจากกล่องพัสดุที่เป็นกล่องผลไม้ไซส์ L ซึ่งเป็นขนาดที่มีการขนส่งมากที่สุดและขนาดใหญ่สุดที่บริษัทกรณีศึกษามีจัดจำหน่าย รวมถึงการอ้างอิงจากขนาดของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง จากการออกแบบขนาดภายในของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนทั้ง 2 รูปแบบมีขนาดความยาว 101.00 เซนติเมตร ความกว้าง 81.00 เซนติเมตร และความสูง 61.00 เซนติเมตร สามารถบรรจุกล่องพัสดุไซส์ L ลงในบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนได้จำนวน 8 กล่อง จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในโปรแกรม Simulation SolidWorks พบว่า วัสดุทั้ง 2 ชนิดคือ PP-Copolymer และ SAE 304 Stainless steel มีค่าความเค้นคราก จากการรับแรงที่มากระทำน้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ การบิดงอไปจากตำแหน่งเดิมหรือระยะการโก่งมีค่าน้อยกว่าระยะการโก่งที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนมีความแข็งแรง หลังการออกแบบและทดสอบจะเป็นการเลือกบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่ตอบวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน โดยการประยุกต์ระเบียบวิธีกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับ ที่ได้จากการตอบแบบสอบถามของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนจำนวน 5 คน จากการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์พบว่า เกณฑ์ที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ ความสะดวกในการพับเก็บร้อยละ 34, ความยากง่ายในการยกร้อยละ 33, ความแข็งแรงร้อยละ 26 และความสวยงามร้อยละ 6 เมื่อนำมาพิจารณาจัดลำดับภายใต้เกณฑ์แต่ละเกณฑ์ บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 มีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 53 ในขณะที่รูปแบบที่ 1 ซึ่งมีค่าน้ำหนักความสำคัญร้อยละ 51 บรรจุภัณฑ์หมุนเวียนรูปแบบที่ 2 จึงเป็นบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานของบริษัทกรณีศึกษา

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำไปพัฒนาต่อยอดในเรื่องของการย่อและขยายบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่การจัดเก็บหรือลดพื้นที่การจัดเก็บตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2. ควรพิจารณาเรื่องต้นทุนการสร้างบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการคืนทุน

เอกสารอ้างอิง

จีราดา อนุชิตนานนท์. (2565). การจัดการบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนของโลจิสติกส์ชิ้นส่วนยานยนต์. *วารสารปัญญาภิวัฒน์, 14*(1), 254-267.

จุฬาลักษณ์ กองเพชร. (2559). *การประยุกต์ใช้กระบวนการคิดวิเคราะห์ชั้นเชิงวิเคราะห์ในการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ของ บริษัทผลิตเลนส์และกล้องถ่ายรูป* [วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. TDC.thailis. https://tdc.thailis.or.th/tdc/

เดชา สุขมา, สมบัติ มุกดา, เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ และศิวะพงษ์ ลัมพาภิวัฒน์. (2555). การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องทดสอบแรงดึงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555* (น. 1,453-1,459).

เบญจทิพย์ ศรีหัตถผดุงกิจ และอมรกานต์ ทองสุข. (2562). *การออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงชิ้นส่วนประกอบรถยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถยนต์* [วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ].

วรางคณา ประชาเกษม และจุฑาทิพย์ ลีลาธนาพิพัฒน์. (2564). การประยุต์ใช้ทฤษฎี AHP ในการเลือกใช้รูปแบบเฟอร์นิเจอร์ กรณีศึกษา: ร้านสะดวกซื้อ. *วารสารบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม, 3*(1), 8-34.

ศุภัชฎา หาญชนนะ, ศุภกิตติ์ สายสุรทน และนพรัตน์ คัคคุริวาระ. (2556). การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงชุดโครงสร้างกระบะของเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* (น. 532-539).

อลิษา ทองพิมพ์, อิสราภา นาคโสมกุล และดำรงพล คำแหงวงศ์. (2554). ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *42*(3พิเศษ), 645-648.