



รายงานการวิจัย เรื่อง

การพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง
The Systematic Structural Packaging Design and Engineering Test Development for
Practical Skill in Virtual Reality

โดย

อาจารย์ ดร. กรรณิการ์ ยี่มนาค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีรานุช บุคดีจิ้น

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2564
(ประเภทโครงการวิจัยสถาบันเชิงนโยบาย)
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

บทสรุปผู้บริหาร

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากการเรียนการสอนออนไลน์ของทางมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ช่วงวิกฤตการณ์ไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ได้ปรับรูปแบบการจัดการเรียนสอนจากระบบเผชิญหน้าเป็นรูปแบบออนไลน์ทั้งหมดในภาคการศึกษา 2/2562 โดยคณาจารย์ในวิชาเอกเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรณารักษ์ ได้ทำการทดลองการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะรูปแบบออนไลน์ จำนวน 3 ชุดวิชา ประกอบด้วย ชุดวิชา 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรณารักษ์ ชุดวิชา 97406 เทคนิคหลังพิมพ์ และชุดวิชา 97434 เทคโนโลยีหลังพิมพ์ พบว่า นักศึกษาสามารถปรับตัวเข้ากับระบบออนไลน์ได้เป็นอย่างดี สามารถแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกลุ่ม และแสดงผลงานกิจกรรมฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเพื่อเผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์ให้กับผู้เชี่ยวชาญในภาคอุตสาหกรรมบรรณารักษ์ คณาจารย์ทั้งภายในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณาจารย์จากภายนอกสาขาวิชาฯ ศิษย์เก่า ศิษย์ปัจจุบัน และผู้ที่สนใจทั่วไปได้เป็นอย่างดี แต่ทั้งนี้จากรายงานการประเมินผลการเตรียมความพร้อมในการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะรูปแบบออนไลน์ พบว่า นักศึกษาจำนวนร้อยละ 45 ไม่ได้ทำงานในอุตสาหกรรมบรรณารักษ์ ทำให้มีความยากในการเข้าใจเนื้อหาด้านเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรณารักษ์ อีกทั้งเมื่อต้องเปลี่ยนจากการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะรูปแบบเผชิญหน้ามาเป็นการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะรูปแบบออนไลน์ ทำให้ไม่สามารถทำการฝึกปฏิบัติในบางขั้นตอนได้จริง เช่น ขั้นตอนการขึ้นรูปบรรณารักษ์ ขั้นตอนการทดสอบบรรณารักษ์ เป็นต้น จึงเป็นข้อจำกัดในการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะรูปแบบออนไลน์ (คณะกรรมการบริหารชุดวิชา 97318 97406 และ 97434, 2563)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบการเรียนการสอนรูปแบบออนไลน์ในการฝึกทักษะเสมือนจริงของชุดวิชาที่มีการฝึกปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรณารักษ์ ได้แก่ ชุดวิชา 97406 เทคนิคหลังพิมพ์ ชุดวิชา 97434 เทคโนโลยีหลังพิมพ์ ชุดวิชา 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรณารักษ์ และชุดวิชา 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรณารักษ์ โดยในงานวิจัยจะเน้นไปที่บรรณารักษ์กล่องลูกฟูกเนื่องจากมีการนำมาประกอบการเรียนการสอนทั้ง 4 ชุดวิชาและบรรณารักษ์กล่องลูกฟูกยังมีการใช้งานกันอย่างมากในปัจจุบัน และมีการทดสอบเชิงวิศวกรรมควบคู่ไปด้วยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการออกแบบโครงสร้างบรรณารักษ์กล่องลูกฟูกและคุณสมบัติที่ได้มาใช้ในการสร้างฐานข้อมูลสำหรับจำลองห้องปฏิบัติการเสมือนจริง ที่สามารถให้ผู้เรียนทำการออกแบบทดลองและวิเคราะห์ผลการออกแบบโครงสร้างบรรณารักษ์กล่องลูกฟูก เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในเนื้อหาของการเรียนการสอนในภาคปฏิบัติมากขึ้น และเป็นการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างบรรณารักษ์ให้มีประสิทธิภาพตรงกับความต้องการของการใช้งานได้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรณารักษ์กล่องลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

2.2 เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรณารักษ์กล่องลูกฟูก และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด ด้วยการศึกษาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกล่องลูกฟูก ได้แก่

3.1.1 ชนิดของวัสดุ ได้แก่ กระดาษลูกฟูกลอน C และกระดาษลูกฟูกลอน BC

3.1.2 เส้นรอบรูปกล่อง โดยเน้นขนาดกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่ง ได้แก่ 120 และ 180 เซนติเมตร

3.1.3 ความสูงกล่อง ตามขนาดนิยมของกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่ง ได้แก่ 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร

3.1.4 อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง ตามขนาดนิยมของกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่ง ได้แก่ 1.0, 1.5 และ 2.5

3.1.5 รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง สำหรับงานบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งเพื่อให้สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม จึงพิจารณาการเจาะหน้าต่างกล่องด้านข้างเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และกล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง

โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล มีปัจจัยประกอบด้วย 5 ปัจจัยแบบหลายระดับ จำนวนการทดลอง 144 การทดลอง และทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ จากนั้นทำการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องด้วยโปรแกรม PackDesign ตัดกระดาษลูกฟูกด้วยเครื่องตัดเพื่อนำมาขึ้นรูปเป็นกล่องลูกฟูก และนำมาทดสอบค่าความสามารถในการรับแรงกด (Box Compression Test, BCT) ด้วยเครื่องกดกล่อง

3.2 นำข้อมูลค่า BCT ที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแบบจำลอง (Model) ที่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาระบบในการฝึกทักษะเสมือนจริงฐานข้อมูลที่มีความถูกต้องและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ใกล้เคียงกับการผลิตจริง พบว่า สามารถสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โดยนำแบบจำลองที่ได้มาพัฒนาระบบใช้วิธีการสร้างเพจเว็บไซต์แบบไดนามิกสำหรับประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) ซึ่งสามารถนำเข้าปัจจัยที่ศึกษาต่างๆ และแสดงผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ตโฟน

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง สามารถสรุปผลการวิจัย ดังนี้

4.1 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ 1 ศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

4.1.1 ชนิดวัสดุ การเลือกใช้วัสดุกระดาษลูกฟูกโดยเพิ่มความหนาของกระดาษลูกฟูกให้มากขึ้น โดยเฉพาะกระดาษลูกฟูกลอน BC จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ได้เพิ่มมากขึ้น

4.1.2 ความยาวเส้นรอบรูปกล่อง การกำหนดขนาดความยาวเส้นรอบรูปกล่องให้มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

4.1.3 ความสูงกล่อง การเพิ่มความสูงกล่องด้านนอกจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อถึงระดับความสูงที่เกินกว่า 35 เซนติเมตรขึ้นไปค่าความสามารถในการรับแรงกดจะต่ำลง

4.1.4 อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง หากกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง มีความแตกต่างกันมาก จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

4.1.5 รูปแบบการเจาะหน้าต่าง โครงสร้างกล่องลูกฟูกที่มีพื้นที่การเจาะหน้าต่างมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

4.1.6 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและเส้นรอบรูป กล่องลูกฟูกผลิตจากวัสดุกระดาษลอน BC ที่มีขนาดกล่องใหญ่ (เส้นรอบรูปกล่องมีค่าสูง) ให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่ากล่องลูกฟูกจากวัสดุลอน C ที่มีขนาดกล่องเล็ก (เส้นรอบรูปกล่องมีค่าน้อย)

4.1.7 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง การเลือกใช้ชนิดวัสดุกระดาษลอน BC ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 ให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน C ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และการเลือกใช้วัสดุลอน BC และลอน C ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแตกต่างกันมากขึ้นจะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

4.1.8 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง ในการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน BC โดยไม่เจาะช่องหน้าต่างจะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน C ที่ไม่เจาะช่องหน้าต่าง และการเลือกใช้วัสดุทั้งลอน BC และลอน C ที่มีพื้นที่การเจาะช่องหน้าต่างที่ด้านกว้างและด้านยาวมีพื้นที่มากขึ้นจะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

4.1.9 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบรูปและรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง การกำหนดขนาดกล่องให้มีเส้นรอบรูปกล่องค่าสูง (กล่องมีขนาดใหญ่) ส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องมีค่าสูงมากกว่ากล่องที่มีเส้นรอบรูปค่าต่ำ (กล่องที่มีขนาดเล็ก) และการออกแบบกล่องโดยไม่เจาะช่องหน้าต่าง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงมากกว่าการออกแบบให้มีพื้นที่เจาะช่องหน้าต่าง

4.1.10 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง การกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 แบบไม่เจาะช่องหน้าต่างให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องสูงกว่ากล่องที่มีการเจาะช่องหน้าต่าง และกล่องที่มีการกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่แตกต่างกันมาก

4.1.11 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และความสูงกล่อง ในการเลือกใช้ชนิดวัสดุกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และมีความสูงกล่องสูง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงสุด

4.1.12 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง ในการเลือกใช้ชนิดวัสดุกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และไม่มีการเจาะช่องหน้าต่าง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงสุด

4.1.13 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบรูป อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง หากกำหนดเส้นรอบรูปกล่องให้น้อยลง (กล่องมี

ขนาดเล็ก) และมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 และมีการเจาะช่องหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรด้านหน้าและด้านหลัง และเจาะมือจับ จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำที่สุด

4.2 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ 2 เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

4.2.1 ได้แบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ที่สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และมีความแม่นยำภายใต้สภาวะและขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งแบบจำลองจากงานวิจัยสามารถลดข้อจำกัดของแบบจำลองพยากรณ์เดิม ได้แก่ ปัจจัยในเรื่องของรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องทั้งแบบเจาะมือจับและการเจาะรูเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษา จึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับการฝึกทักษะเสมือนจริงให้กับนักศึกษาในการเรียนการสอนออนไลน์เพื่อการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกสำหรับผลิตภัณฑ์ในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเพื่อประเมินและเลือกต้นแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง อีกทั้งแบบจำลองจากงานวิจัยสามารถใช้ในการคำนวณได้สะดวกโดยไม่ต้องอาศัยค่าจากสมบัตินี้ๆ ของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่อาจต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่ามาใส่ในตัวแบบ ดังนั้นแบบจำลองจากงานวิจัยจึงเหมาะสมกับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ผู้ใช้ในการเรียนการสอน และผู้ใช้งานทั่วไป

4.2.2 การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง โดยใช้ภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) เป็นการพัฒนาการออกแบบจำลองสภาวะเสมือนจริงของการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก โดยผู้ใช้งานทำการออกแบบ 5 ปัจจัย ประกอบด้วย

- 1) ชนิดของวัสดุ ได้แก่ กระดาษลูกฟูกลอน C และกระดาษลูกฟูกลอน BC
- 2) เส้นรอบรูปกล่อง ระบุค่าในช่วง 120 - 180 เซนติเมตร
- 3) ความสูงกล่อง ระบุค่าในช่วง 25 - 40 เซนติเมตร
- 4) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง ระบุค่าในช่วง 1.0 - 2.5
- 5) รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบกล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง รูปแบบกล่องลูกฟูกแบบเจาะหน้าต่างกล่องด้านข้างเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และรูปแบบกล่องลูกฟูกแบบเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ

โดยทั้ง 5 ปัจจัยจะถูกนำมาประเมินเพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงกดว่ามีค่าเหมาะสมกับการนำไปใช้งานหรือไม่ และทำการปรับค่าปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

4.2.3 ระบบโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง พัฒนาให้มีรูปแบบการใช้งานง่าย (User Friendly) สามารถเข้าโปรแกรมผ่านทางเว็บไซต์ <https://scitech.serv00.net/BCT2calculator3.html> ซึ่งการใช้งานโปรแกรมจะมีรายละเอียดและคำสั่งเป็นภาษาไทย รวมทั้งมีภาพประกอบที่ง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ประกอบการ SME ในการพิจารณาการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกให้เหมาะสมกับการใช้งานก่อนสั่งผลิตจริง

5. ข้อเสนอแนะสู่การปฏิบัติ (เชิงนโยบาย/เชิงปฏิบัติ)

ข้อเสนอแนะเพื่อนำโปรแกรมการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด หรือค่า BCT จากงานวิจัยการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง มีดังนี้

5.1 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

5.1.1 การนำโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ในการฝึกทักษะเสมือนจริง หรือการเรียนการสอนในรูปแบบเผชิญหน้าในชุดวิชาที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก เช่น ชุดวิชา 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรจุภัณฑ์ โดยจะเริ่มใช้ในการเรียนการสอนในภาคการศึกษา 1/2566 เป็นต้นไป เพื่อประเมินผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่งก่อนที่จะทำการผลิตจริง จะช่วยลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายในการออกแบบกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่งได้

5.1.2 ปัจจัยในเรื่องของรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องทั้งแบบเจาะมือจับ และการเจาะรูเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ ยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษา แบบจำลองจากงานวิจัยนี้จึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกทักษะเสมือนจริงให้กับนักศึกษาในการเรียนการสอนออนไลน์ สำหรับผลิตภัณฑ์ในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเพื่อประเมินและเลือกต้นแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง

5.1.3 แบบจำลองจากงานวิจัยสามารถใช้ในการคำนวณได้สะดวกโดยไม่ต้องอาศัยค่าจากสมบัติอื่นๆ ของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่อาจต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่ามาใส่ในตัวแบบ ดังนั้นแบบจำลองจากงานวิจัยจึงเหมาะกับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ผู้ใช้ในการเรียนการสอน และผู้ใช้งานทั่วไป

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง โดยใช้ภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) เป็นการพัฒนากระบวนการจำลองสถานะเสมือนจริงของการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกเพื่อประเมินค่าความสามารถในการรับแรงกดนี้ยังมีข้อจำกัดของตัวแปร หากมีการใช้งานนอกช่วงที่กำหนดจะทำให้มีค่าความคาดเคลื่อนที่สูงขึ้น ควรมีการเก็บข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม เพื่อทำให้มีฐานข้อมูลในการคำนวณที่แม่นยำขึ้นและช่วงการใช้งานที่กว้างขึ้น

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง: การพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง

ชื่อผู้วิจัย: อาจารย์ ดร.กรรณิการ์ ยี่ม่นาค และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราณัฐ บุตดีจิ้น

ปีที่แล้วเสร็จ: 2566

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกและการทดสอบสมรรถนะเชิงวิศวกรรมในการรับแรงกดของกล่อง (Box Compression Test, BCT) สำหรับประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์แบบมีปฏิสัมพันธ์ โดยเป็นงานวิจัยเชิงทดลองซึ่งมีปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกจำนวน 5 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดวัสดุของแผ่นกระดาษลูกฟูก ความยาวเส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1) ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีผลต่อค่า BCT 2) สร้างแบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่า BCT และ 3) พัฒนาโปรแกรมออนไลน์ในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกสำหรับการเรียนการสอนแบบการสอนออนไลน์แบบมีปฏิสัมพันธ์ ผลงานวิจัยพบว่าทั้ง 5 ปัจจัยมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก โดยเฉพาะชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูกโดยพบว่าลอนชนิดบีซีที่มีความหนาแน่นมากกว่าลอนซีให้ค่า BCT สูงกว่า และการออกแบบโดยเพิ่มความสูงของกล่องและความยาวเส้นรอบรูปกล่องมากขึ้นส่งผลให้ค่า BCT สูงขึ้นด้วยในกรณีที่อัตราส่วนด้านยาวต่อความกว้างไม่เกิน 2.5 นอกจากนี้พบว่า การเจาะหน้าต่างกล่องส่งผลให้ค่า BCT ลดลง สำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ พบว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับค่า BCT ที่ได้จากห้องปฏิบัติการโดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เท่ากับ 6.71 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ซึ่งสามารถใช้เป็นอีกทางเลือกในการนำมาคำนวณหาค่า BCT ได้

จากการพัฒนาระบบในการฝึกทักษะเสมือนจริงโดยใช้โปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) เพื่อเป็นโปรแกรมแนวทางในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและหาค่า BCT ที่เหมาะสมซึ่งสามารถใช้งานในระบบออนไลน์ได้ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัยและบริการวิชาการแก่สังคมให้กับกลุ่ม SME ในการเลือกรูปแบบกล่องลูกฟูกให้เหมาะสมกับกอนตัดสินใจเลือกซื้อและก่อนทำการผลิต

คำสำคัญ การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์, กล่องลูกฟูก, ความสามารถในการรับแรงกดกล่อง, แนวทางในการออกแบบ, การเรียนการสอนแบบออนไลน์

Abstract

Title: The Systematic Structural Packaging Design and Engineering Test Development for Practical Skill in Virtual Reality
Research: Dr. Kannika Yimnak and Dr Jeeranuch Buddeejeen, Asst. Prof.
Year: 2023

This research aims to develop a structural design system for corrugated carton and the Box Compression Test (BCT) for application in active online learning. The five factors are studied, including the type of corrugated board, square perimeter, corrugated carton height, length/weight ratio, and hole punching pattern of corrugated carton. The experiment was divided into three steps: 1) study the factors involved in the design of the corrugated carton affecting the engineering performance testing; 2) develop the regression model for BCT calculation; and 3) design the BCT calculation program for the active online learning of corrugated carton packaging design guidelines. The results show that all 5 factors affect BCT, especially the type of corrugated board, which BC flute offers greater compression strength than C flute. Increasing the height and perimeter of corrugated carton also increases BCT, however one must consider that the length/weight ratio is not over 2.5. In addition, increasing the hole punching pattern decrease the BCT of corrugated cartons. The regression model for BCT calculation was accurate when compared to the BCT obtained from the laboratory, with a mean absolute percentage error (MAPE) of 6.71. Therefore, the results of the calculation would be a good alternative for calculating the BCT prediction tool for the corrugated carton.

The BCT calculation program created by the Hypertext Preprocessor (PHP) as a guideline for corrugated carton packaging design and can be applied to active online learning at a distance university. There can be extended academic services to society for SMEs that can help design corrugated carton packaging before purchase decisions and in the manufacturing process.

Keywords: Structural Packaging, Corrugated Carton, Box Compression Test, Design Guideline, Active Online Learning

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	7
1.5 นิยามเฉพาะศัพท์	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 กล้องลูกฟูก	9
2.2 ความสามารถในการรับแรงกด	13
2.3 การฝึกเสมือนจริง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 ตัวอย่างกระดาดลูกฟูก	21
3.2 เครื่องมือ	21
3.3 การทดลองเบื้องต้น	22
3.4 การออกแบบการทดลอง	23
3.5 การตัดกล่องกระดาดลูกฟูกด้วยเครื่องตัดกล่อง	26
3.6 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในห้องปฏิบัติการ	27
3.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ กระดาดลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด	28
3.8 การสร้างแบบจำลอง	28
3.9 การวิเคราะห์ตัวแบบในการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด	29
3.10 การพัฒนาระบบในการฝึกทักษะเสมือนจริง	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	32
4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในห้องปฏิบัติการ	32
4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษ ลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด	36
4.3 การสร้างแบบจำลอง	54
4.4 ผลที่ได้จากการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากตัวแบบ 3 ตัวแบบ	55
4.5 การพัฒนาระบบในการฝึกทักษะเสมือนจริง	57
4.6 การเปรียบเทียบกระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก แบบเดิมและแบบใหม่	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของลอนลูกฟูก	12
ตารางที่ 3.1 สมบัติกระดาดลูกฟูก	21
ตารางที่ 3.2 จำนวนปัจจัยในการทดลอง	23
ตารางที่ 3.3 จำนวนการทดลองจาก 5 ปัจจัยแบบหลายระดับ	24
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการป้อนปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด	31
ตารางที่ 4.1 ค่า BCT ของกล่องลูกฟูกจากเครื่องกดกล่อง	34
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย	37
ตารางที่ 4.3 Model Summary ของกลุ่มตัวอย่าง	54
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลองจากงานวิจัย และตัวแบบ 3 ตัวแบบ	55
ตารางที่ 4.5 การคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากแบบจำลอง และตัวแบบ 3 ตัวแบบ	56

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย	3
ภาพที่ 1.2 ระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง	5
ภาพที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความแข็งแรงในการกดกลองในระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง	6
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแผ่นกระดาดาลูกฟูก	10
ภาพที่ 2.2 ประเภทของแผ่นกระดาดาลูกฟูก	11
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างภาพกลองลูกฟูกแบบ RSC และแผ่นคลี	13
ภาพที่ 2.4 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดกลองลูกฟูกในแนวตั้ง	14
ภาพที่ 2.5 แบบจำลองและซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบกลองลูกฟูก	17
ภาพที่ 3.1 เครื่องตัดกลองและตัวอย่างการตัดกลองลูกฟูก	26
ภาพที่ 3.2 เครื่องทดสอบสามารถในการรับแรงกด	28
ภาพที่ 3.3 โครงสร้างสำหรับการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง	30
ภาพที่ 4.1 ลักษณะความเสียหายของกลองลูกฟูกเมื่อผ่านเครื่องกดกลอง	33
ภาพที่ 4.2 ปัจจัยชนิดวัสดุที่ใช้ทำกระดาดาลูกฟูกที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	38
ภาพที่ 4.3 ปัจจัยเส้นรอบรูปกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	39
ภาพที่ 4.4 ปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	40
ภาพที่ 4.5 ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	41
ภาพที่ 4.6 ปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	42
ภาพที่ 4.7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุและปัจจัยเส้นรอบรูปกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	43
ภาพที่ 4.8 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุและปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	44
ภาพที่ 4.9 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	45
ภาพที่ 4.10 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกลองและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	46
ภาพที่ 4.11 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกลองและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	47
ภาพที่ 4.12 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกลอง และปัจจัยความสูงกลองที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	49
ภาพที่ 4.13 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกลอง และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4.14 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูป ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง กล่องและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถใน การรับแรงกด	52
ภาพที่ 4.15 ยูสเคสไดอะแกรมแสดงภาพรวมการทำงานของระบบ BCT Calculator ที่พัฒนา	57
ภาพที่ 4.16 หน้าจอโปรแกรมคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด	58
ภาพที่ 4.17 หน้าจอโปรแกรมในการแสดงผลลัพธ์เมื่อทำการใส่ปัจจัยต่าง ๆ	61
ภาพที่ 4.18 หน้าจอโปรแกรมการแสดงผลลัพธ์หลังการกดปุ่ม Calculate!	61
ภาพที่ 4.19 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบเดิม	64
ภาพที่ 4.20 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบใหม่ที่นักวิจัยได้ พัฒนาขึ้น	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤตการณ์ไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ที่องค์การอนามัยโลก (WHO) ยกระดับให้เป็น “ภาวะการระบาดใหญ่ทั่วโลก (Pandemic)” อีกทั้งการผลิตวัคซีนป้องกันยังไม่ใช้คำตอบในเวลาอันใกล้ การปิดเมืองในระยะเวลานานก็อาจไม่ส่งผลดีมากนัก ดังนั้นการเลือกใช้นโยบายการผ่อนคลายและรักษาความสมดุลระหว่างการป้องกันโรคและการเดินทางไปข้างหน้าทั้งด้านมิติด้านเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตจึงกลายเป็นหัวข้อให้นักสร้างสรรค์จากทั่วโลกมุ่งมั่นในการพัฒนาสิ่งต่างๆ เพื่อตอบรับบริบทใหม่ที่กำลังเกิดขึ้น (มณฑิณี ยงวิกุล, 2563) ซึ่งจากวิกฤตการณ์นี้ส่งผลกระทบให้กับทุกวงการทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงในภาคการศึกษาต่างได้รับผลกระทบจากโควิด-19 เป็นอย่างมาก ซึ่งจะเห็นจากการปิดสถานศึกษาเพื่อป้องกันการแพร่ของโรคและจำนวนนักศึกษาต่อห้องก็มีปริมาณมาก ทำให้ยากต่อการจัดระยะห่างทางสังคม (Social Distancing) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาระบบการศึกษาของประเทศไทยตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงระดับแรงงาน โดยการยกระดับแรงงาน (Upskill) ที่ทำงานอยู่ให้ยังทำงานในอุตสาหกรรมนั้นต่อไปได้ด้วยการติดตั้งความรู้ด้านความคิดสร้างสรรค์และความรู้ด้านดิจิทัลในระดับที่เหมาะสม (พิเชฐ ดุรงคเวโรจน์, 2563) เมื่อมองในมุมของธุรกิจมหาวิทยาลัยเป็นองค์กรผู้ให้บริการด้านการศึกษาขนาดใหญ่ ที่มีความต้องการให้ลูกค้าหรือผู้เรียนได้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ปัจจุบันการเรียนการสอนได้ถูกส่งขึ้นไปอยู่ในรูปแบบออนไลน์มากขึ้น อาทิเช่น การสอนในห้องเรียนออนไลน์โดยใช้ Google Classroom, Zoom หรือ Microsoft Teams เป็นเครื่องมือหลักเป็นต้น การเรียนออนไลน์มีบทบาทสำคัญกับวิกฤตการณ์โควิด-19 อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และมีความท้าทายให้ผู้สอนต้องพัฒนาขึ้นเพื่อปรับรูปแบบการเรียนการสอน และคิดค้นสิ่งใหม่ที่จะก่อให้เกิดการทำงานร่วมกันบนพื้นที่เสมือนจริง (Birgit Mager, 2020) ถึงแม้การเรียนออนไลน์จะสามารถตอบโจทย์กับสถานการณ์วิกฤตการณ์โควิด-19 ที่ไม่สามารถมีชั้นเรียนได้ อีกทั้งยังเป็นสื่อทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงในการเรียนรู้ของคนทุกคนในทุกที่ทุกเวลา แต่ก็ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ไม่สามารถสอนในเนื้อหาที่เป็นด้านฝึกปฏิบัติเชิงทักษะได้ เช่น การแปรรูปผลิตภัณฑ์ผ่านเครื่องจักร การใช้เครื่องมือทดสอบ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชได้ประกาศให้ปรับรูปแบบการจัดการเรียนสอนจากรูปแบบเผชิญหน้าเป็นรูปแบบออนไลน์ในภาคการศึกษา 2/2562 คณาจารย์ในวิชาเอกเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ ได้ทำการทดลองการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะออนไลน์ จำนวน 3 ชุดวิชา ประกอบด้วยชุดวิชา 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ ชุดวิชา 97406 เทคนิคหลังพิมพ์ และชุดวิชา 97434 เทคโนโลยีหลังพิมพ์ พบว่า นักศึกษาสามารถปรับตัวเข้ากับระบบออนไลน์ได้เป็นอย่างดี และสามารถแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกลุ่ม และแสดงผลงานกิจกรรมฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเพื่อเผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์ให้กับผู้เชี่ยวชาญในภาคอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ คณาจารย์ทั้งภายในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณาจารย์จากภายนอกสาขาวิชา ศิษย์เก่า ศิษย์ปัจจุบัน และผู้ที่สนใจทั่วไปได้เป็นอย่างดี

แต่ทั้งนี้จากรายงานการประเมินผลการเตรียมความพร้อมในการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะออนไลน์พบว่า นักศึกษาร้อยละ 45 ไม่ได้ทำงานในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ทำให้มีความยากในการเข้าใจในเนื้อหาด้านเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อีกทั้งเมื่อต้องเปลี่ยนจากการฝึกปฏิบัติแบบเผชิญหน้ามาเป็นออนไลน์ ทำให้ไม่สามารถทำการฝึกปฏิบัติในบางขั้นตอนได้จริง เช่น ขั้นตอนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนการทดสอบบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น จึงเป็นข้อจำกัดในการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะในรูปแบบออนไลน์ (คณะกรรมการบริหารชุดวิชา 97318 และ 97434, 2563)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบการเรียนการสอนออนไลน์ในการฝึกทักษะเสมือนจริงของชุดวิชาที่มีการฝึกปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ชุดวิชา 97406 เทคนิคหลังพิมพ์ ชุดวิชา 97434 เทคโนโลยีหลังพิมพ์ ชุดวิชา 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ และชุดวิชา 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรจุภัณฑ์ โดยเน้นไปที่บรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกเนื่องจากการมีนํามาประกอบการเรียนการสอนทั้ง 4 ชุดวิชาและบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกยังมีการใช้งานกันอย่างมากในปัจจุบัน และมีการทดสอบเชิงวิศวกรรมควบคู่ไปด้วย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และคุณสมบัติที่ได้มาใช้ในการสร้างฐานข้อมูลสำหรับจำลองห้องปฏิบัติการเสมือนจริง ที่สามารถให้ผู้เรียนทำการออกแบบทดลอง และวิเคราะห์ผลการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในเนื้อหาของการเรียนการสอนในภาคปฏิบัติมากขึ้น และเป็นการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพตรงกับความต้องการของการใช้งานได้

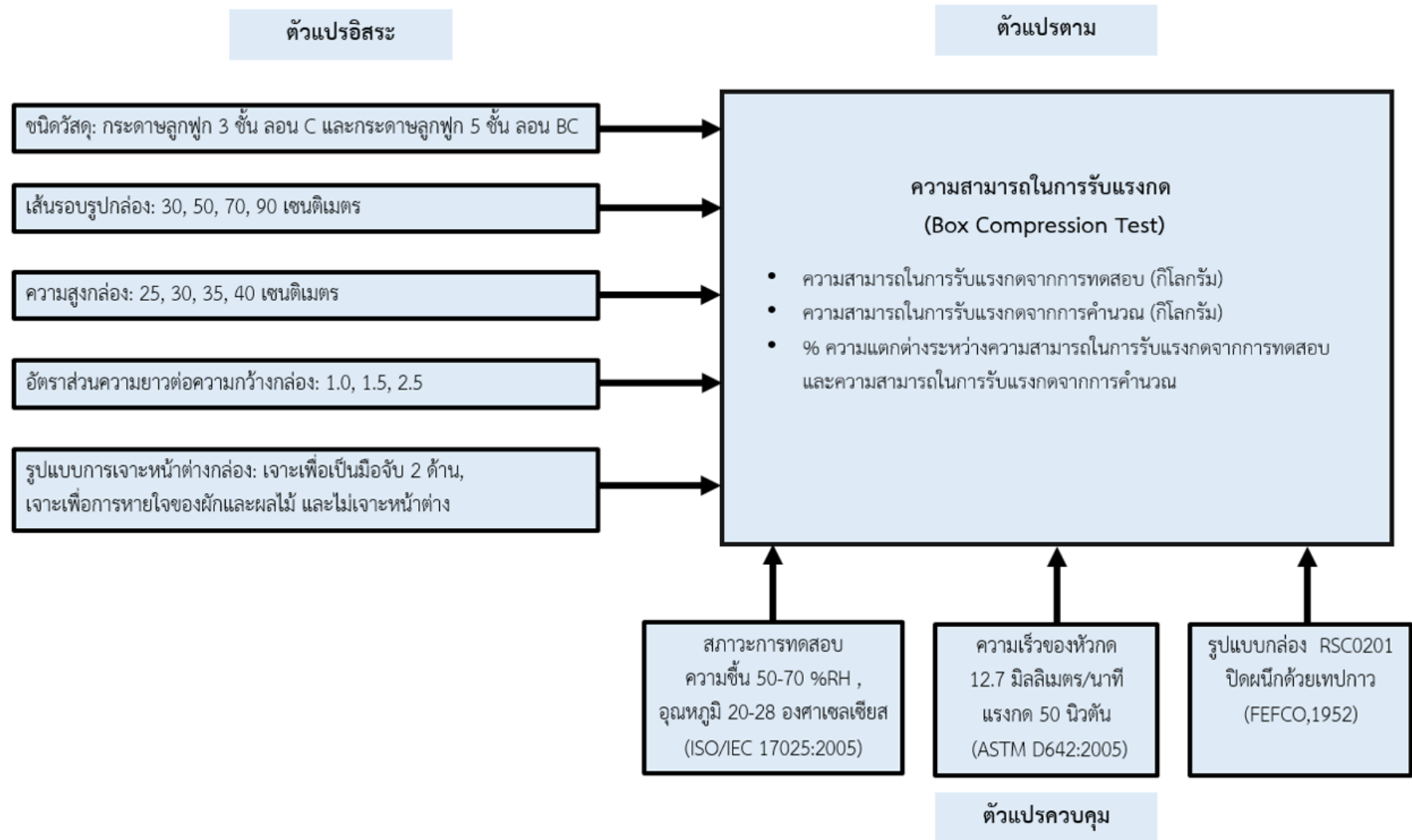
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

2.2 เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบกิจกรรมปฏิบัติเสริมทักษะการเรียนรู้เสมือนจริง ในด้านการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ การขึ้นรูปทรง และการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีกรอบแนวคิดงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

จากภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย ประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม อธิบายในรายละเอียด ดังนี้

ตัวแปรอิสระ ประกอบด้วย 5 ตัวแปร ดังนี้

1. ชนิดวัสดุ คือ วัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูก แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125

2. เส้นรอบรูปกล่อง คือ ด้านกว้างกล่องด้านนอก 2 ด้าน รวมกับด้านยาวกล่องด้านนอก 2 ด้าน

แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตร

3. ความสูงกล่อง คือ ด้านความสูงกล่องด้านนอก แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร

4. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง คือ อัตราส่วนด้านยาวกล่องด้านนอกต่อด้านกว้างกล่องด้านนอก แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5

5. รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง คือ การเจาะหน้าต่างที่ผิวกล่องเพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน ขนาด 3x9 เซนติเมตร, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรด้านหน้าและด้านหลังของผนังกล่อง และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง

ตัวแปรควบคุม ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ดังนี้

1. สภาพในห้องทดสอบ ปรับตั้งความชื้นเท่ากับ 50-70 %RH และอุณหภูมิเท่ากับ 20-28 องศาเซลเซียส ตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025:2005 มาตรฐานระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ ด้านสภาพการทดสอบ

2. ความเร็วของหัวกด เป็นความเร็วของระยะเวลาในการเคลื่อนที่ต่อช่วงเวลาของหัวกด (Compression Head) โดยปรับตั้งค่าความเร็วของหัวกดเท่ากับ 12.7 มิลลิเมตร/นาที ที่แรงกด 50 นิวตัน ตามข้อกำหนด ASTM D642:2005 มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงกด (Compression Strength)

3. รูปแบบกล่องลูกฟูก คือ รูปแบบกล่องลูกฟูกแบบฝาชน (Regular Slotted Container: RSC) รหัส 0201 ตามมาตรฐานทดสอบของสหพันธ์แปรรูปกล่องลูกฟูกของยุโรป The European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO, 1952)

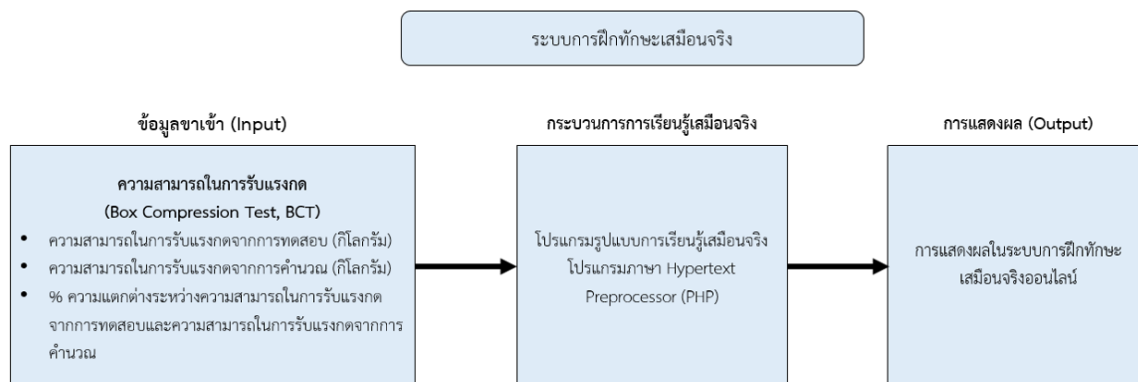
4. กระบวนการปิดกล่องลูกฟูกด้วยกาวร้อน (Hot Melt) ที่รอยเชื่อมต่อของกล่อง และปิดผนึกฝากล่องด้านบนและด้านล่างด้วยเทปขาว

ตัวแปรตาม คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกด (Box Compression Test, BCT) โดยแบ่งเป็น 3 ค่า ดังนี้

1. ค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (กิโลกรัม)
2. ค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณ (กิโลกรัม) จากแบบจำลองงานวิจัย
3. ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ และค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณ

เมื่อทำการทดสอบค่าความสามารถในการรับแรงกด ตามตัวแปรอิสระของกล่องลูกฟูกที่ได้ออกแบบไว้ครบทุกรูปแบบแล้ว จากนั้นนำค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการทดสอบจาก

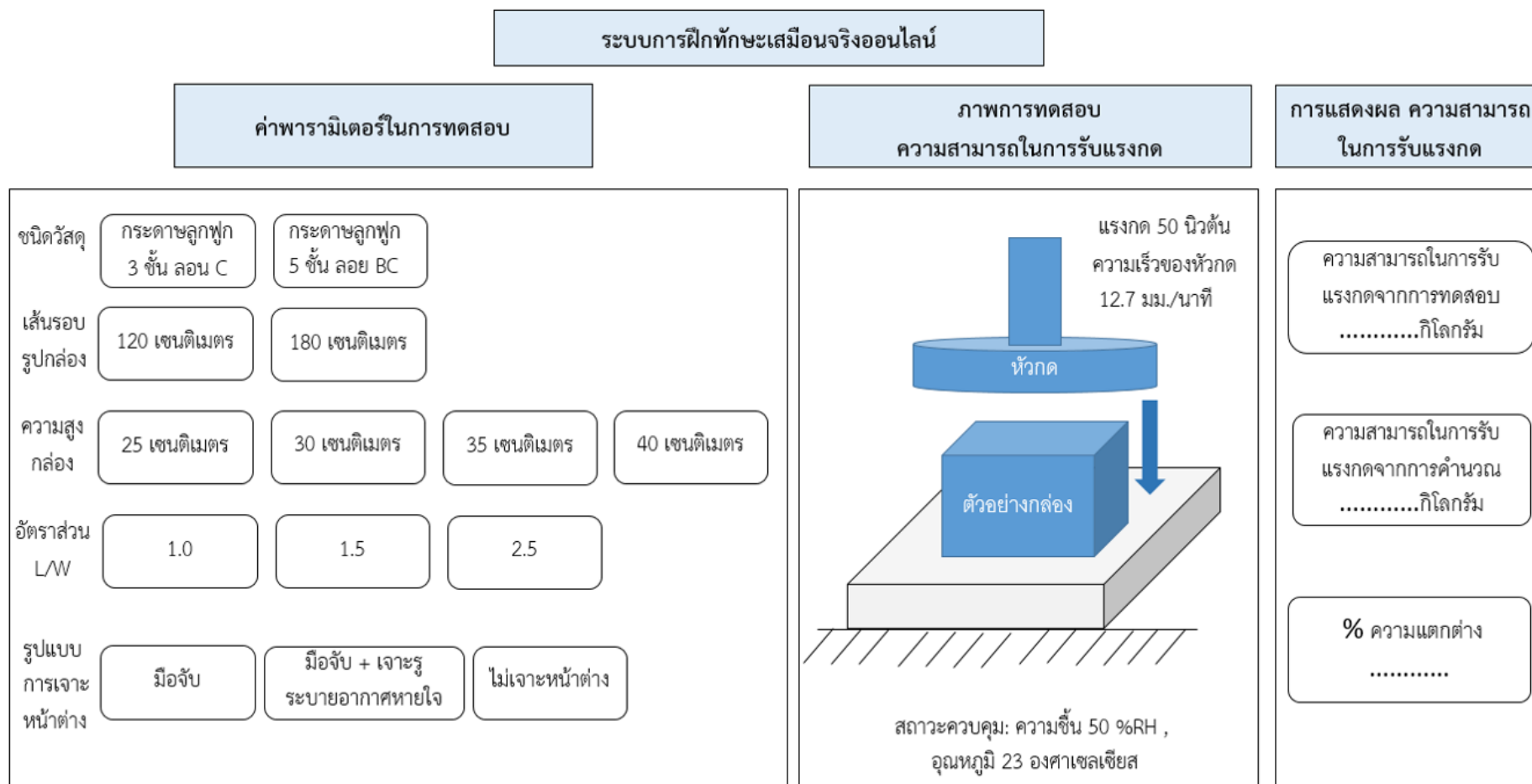
ห้องปฏิบัติการมาหาแบบจำลอง และนำค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณมาหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกดและค่าแรงกดจากการคำนวณ เพื่อความแม่นยำของแบบจำลอง แสดงกระบวนการดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 ระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง

จากภาพที่ 1.2 ระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง เมื่อทำการศึกษาตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัวแปร ประกอบด้วย ชนิดวัสดุ เส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง ที่ผลต่อความสามารถในการรับแรงกด โดยแบ่งเป็นความสามารถรับแรงกดจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ ความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณ และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณ เมื่อได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำแล้ว แบบจำลองดังกล่าวจะนำเข้าไปในแบบการเรียนรู้เสมือนจริงโดยเพิ่มข้อมูลการทดสอบเข้าไปในฟังก์ชันของโปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) สำหรับใช้เป็นโปรแกรมในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก

การแสดงผลที่หน้าจออุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนสำหรับให้นักศึกษาใช้ฝึกปฏิบัติเสริมทักษะในด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ออนไลน์ได้ที่บ้าน โดยนักศึกษาสามารถเลือกที่จะปรับค่าพารามิเตอร์ ในการออกแบบกล่องลูกฟูก ประกอบด้วย ชนิดวัสดุ ความยาวเส้นรอบกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง โดยสามารถใส่ค่าความสามารถในการรับแรงกดแรงกดกล่องจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการร่วมด้วยหากมีการทดสอบ จากนั้นโปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) จะแสดงผลหน้าจอแสดงแบบจำลองเครื่องทดสอบแรงกดกล่อง (Compression Box Tester) ที่ให้ผลค่าความสามารถในการรับแรงกดแรงกดกล่อง (กิโลกรัม) และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณ ในระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริงดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความแข็งแรงในการกดกล่องในระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ทำการศึกษา รวบรวมข้อมูลบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกในเรื่องความสามารถในการรับแรงกด เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

4.2 ทำการศึกษาปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกด ซึ่งประกอบด้วย ชนิดวัสดุ เส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง

4.3 พัฒนารูปแบบระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก โดยมีการเก็บเป็นฐานข้อมูล และแสดงรูปแบบจำลองออนไลน์ให้คณาจารย์และนักศึกษาใช้งานผ่านระบบออนไลน์เพื่อใช้ในการฝึกทักษะเสมือนจริง

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 **บรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก** หมายถึง บรรจุภัณฑ์กล่องที่ทำมาจากแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดวัสดุ: แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C และ แผ่นกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC รูปแบบ RSC0201 ปิดกล่องลูกฟูกด้วยการร้อยที่รอยเชื่อมต่อของกล่อง และปิดผนึกฝากล่องด้านบนและด้านล่างด้วยเทปกาว

5.2 **การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์** หมายถึง การกำหนดชนิดวัสดุกระดาษลูกฟูก ขนาดของกล่องลูกฟูก ประกอบด้วยเส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องกระดาษลูกฟูกตามการใช้งาน

5.3 **การทดสอบเชิงวิศวกรรม** หมายถึง การทดสอบเชิงโครงสร้างการรับน้ำหนักของกล่องลูกฟูกโดยการทดสอบความสามารถในการรับแรงกด (Box Compression Test, BCT) และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าแรงกดที่ได้จากการคำนวณตามแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นและค่าแรงกดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

5.4 **การฝึกทักษะเสมือนจริง** หมายถึง การฝึกทักษะเชิงปฏิบัติโดยการใช้รูปแบบการจำลองสภาพแวดล้อมจริงเข้าไปให้เสมือนจริงผ่านระบบเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบโครงสร้างและการทดสอบบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก เพื่อช่วยในการจัดเรียนการสอน ช่วยสร้างประสบการณ์ผู้เรียนให้สามารถเข้าถึงเนื้อหาได้แบบเสมือนจริง

5.5 **ความสามารถในการรับแรงกด** หมายถึง การทดสอบความต้านทานต่อแรงกดด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนเสียรูป (Deformation) โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดของกล่อง Box Compression Tester (BCT) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D642:2005 หน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N) ค่าที่ได้จากความสามารถในการรับแรงกดจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเรียงซ้อนในการรับน้ำหนักการซ้อนทับของกล่องลูกฟูก จึงเหมาะสมกับการทดสอบกล่องบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งที่มีน้ำหนักในการเรียงซ้อนสูง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

6.1.1. ได้ระบบการออกแบบจำลองเสมือนจริงที่สามารถแสดงผลของปัจจัยการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกต่อความสามารถในการรับแรงกด เพื่อช่วยเป็นสื่อในการพัฒนาการเรียนการสอนฝึกปฏิบัติเสริมทักษะสำหรับคณาจารย์และนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้เรียนรู้ได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

6.1.2 ได้ระบบการออกแบบจำลองเสมือนจริงที่สามารถจำลองการออกแบบโครงสร้างเสมือนจริงในการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการต่อยอดการออกแบบ พัฒนา หรือปรับปรุงโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ให้สามารถออกแบบได้อย่างคุ้มค่าทั้งในเชิงมูลค่าเศรษฐกิจและคุณภาพสิ่งแวดล้อม

6.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

6.2.1 ระบบการออกแบบจำลองเสมือนจริงในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่ได้ จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินความสามารถในการรับแรงกดตามการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่สำคัญของการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำรูปแบบของระบบการออกแบบจำลองเสมือนจริงมาเป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองเพื่อขยายผลไปยังชุดวิชาอื่นในสาขาวิชา และแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับสาขาวิชาอื่นที่มีชุดวิชาฝึกปฏิบัติเสริมทักษะ หรือการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการในรูปแบบออนไลน์ได้

6.2.2 สามารถลดต้นทุนในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับผู้ประกอบการ จากการประเมินการทดสอบบรรจุภัณฑ์เบื้องต้นผ่านระบบเสมือนจริงก่อนทำการผลิตจริง โดยสามารถนำองค์ความรู้จากโครงการวิจัยนี้ไปให้บริการวิชาการแก่สังคมได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

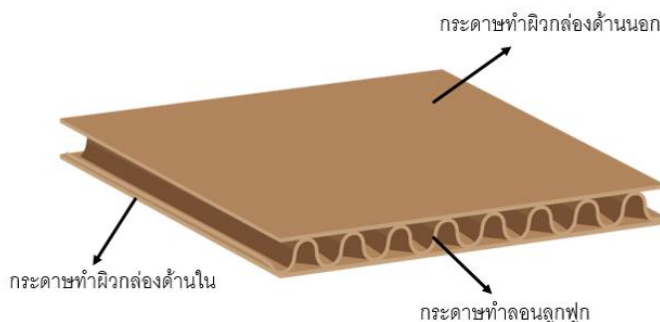
การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ เป็นการกำหนดรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ทั้งด้านรูปทรง ขนาด วัสดุ และคุณสมบัติ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้บรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถทำหน้าที่ บรรจุ ปกป้องคุ้มครองสินค้าขนส่ง และอำนวยความสะดวกตลอดการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างที่ดี จะช่วยให้สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมต่อการลำเลียงขนส่งและการใช้งาน ตลอดจนมีราคาต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม สามารถแข่งขันทางการตลาดได้ (มยุรี ภาคลำเจียก, 2558)

2.1 กล่องลูกฟูก

กล่องลูกฟูก เป็นบรรจุภัณฑ์ขนส่งที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในบรรดาบรรจุภัณฑ์ขนส่ง เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ง่าย การแปรรูปทำได้รวดเร็ว และต้นทุนในการผลิตต่ำ มีความหลากหลายของขนาด ประหยัดเนื้อที่ในการขนส่งหรือจัดจำหน่ายเมื่อต้องการใช้งานสามารถนำมาพับขึ้นรูปกล่องเองได้ นอกจากนี้กล่องลูกฟูกยังสามารถนำมาใช้ใหม่หรือนำกลับมารีไซเคิลได้ (Reuse and Recycle) ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการเลือกใช้งานกล่องลูกฟูกสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความชื้น ความแข็งแรง ความต้านทานแรงดันทะลุ ความสามารถในการรับน้ำหนัก โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุในการผลิตกล่องลูกฟูก การออกแบบรูปทรง การกำหนดขนาดและสัดส่วนของตัวกล่อง ซึ่งในปัจจุบันการออกแบบหรือการเลือกใช้กล่องลูกฟูกสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การนำกล่องลูกฟูกขนาดมาตรฐานมาใช้ ซึ่งวิธีนี้จะมีความสะดวก และรวดเร็ว เนื่องจากมีกล่องลูกฟูกขนาดมาตรฐานจำหน่ายโดยทั่วไปอยู่แล้ว แต่บางครั้งผลิตภัณฑ์อาจไม่พอดีหรือไม่เหมาะสมกับปริมาณและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุ จึงอาจมีการออกแบบเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งจะมีการออกแบบขนาด และสัดส่วนของกล่องลูกฟูกใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และเป็นการสร้างเอกลักษณ์หรือลักษณะการใช้งานที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นในงานบรรจุภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยสำคัญในการออกแบบคือ กล่องลูกฟูกที่ได้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ ทนทานต่อแรงกดทับได้ และไม่เกิดการเสียหายได้ง่ายระหว่างรอจำหน่าย และระหว่างขนส่ง ดังนั้นในการเลือกใช้หรือการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์โดยมีการเลือกชนิดวัสดุ ปรับขนาด สัดส่วนของกล่อง ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงโดยรวมทั้งหมดของกล่องลูกฟูก

2.1.1 โครงสร้างและประเภทของแผ่นกระดาษลูกฟูก

โครงสร้างของแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยทั่วไป ประกอบด้วย กระดาษทำผิวกล่องด้านนอก (Outer Liner) กระดาษทำลอนลูกฟูก (Corrugating Medium) และกระดาษทำผิวกล่องด้านใน (Inner Liner) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแผ่นกระดาษลูกฟูก

ที่มา: <https://www.montcc.com/corrugated-sheets/> สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2565.

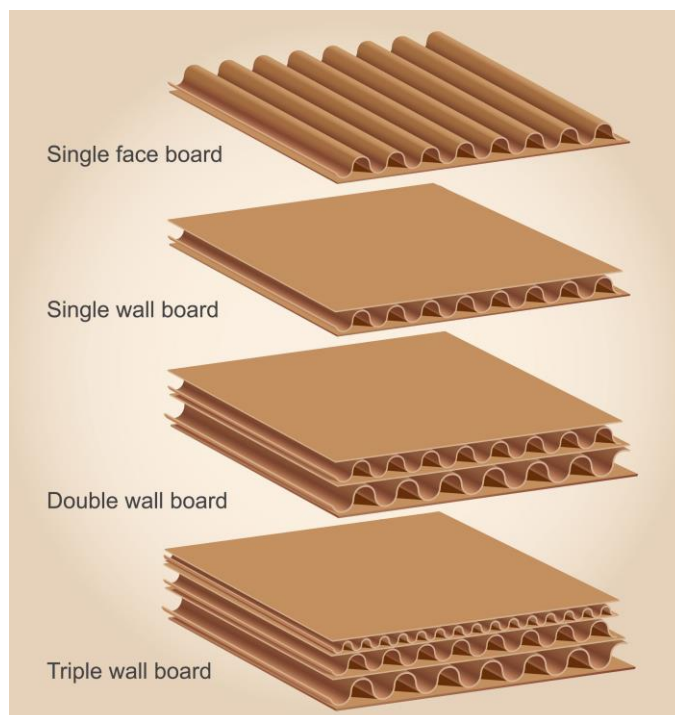
ประเภทของแผ่นกระดาษลูกฟูก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะโครงสร้าง ได้แก่ แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single-faced Board) แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น (Single Wall หรือ Double-faced Board) แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Double Wall Board) และแผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Triple Wall Board) โดยมีลักษณะดังนี้

แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ประกอบด้วยกระดาษทำผิวกล่องด้านนอก 1 แผ่น ประกบกับกระดาษทำลอนลูกฟูก 1 แผ่น นิยมนำไปห่อสินค้าหรือทำแผ่นรองภายในกล่องเพื่อเป็นวัสดุกันกระแทก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น ประกอบด้วยกระดาษทำลอนลูกฟูก 1 แผ่น ทากาวปิดทับด้วยกระดาษทำผิวกล่องด้านนอก 2 แผ่น รวมเป็นกระดาษ 3 ชั้น ซึ่งทางการค้าจะเรียกว่ากระดาษลูกฟูก 3 ชั้น นิยมนำไปทำเป็นกล่องมากที่สุด

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น ประกอบด้วยกระดาษทำลอนลูกฟูก 2 แผ่น และกระดาษทำผิวกล่องด้านนอก 3 แผ่น รวมเป็นกระดาษ 5 ชั้น ซึ่งทางการค้าจะเรียกว่ากระดาษลูกฟูก 5 ชั้น นิยมนำไปทำเป็นกล่องขนาดใหญ่ที่บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากและมีการขนส่งในระยะไกล

แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ประกอบด้วยกระดาษทำลอนลูกฟูก 3 แผ่น และกระดาษทำผิวกล่องด้านนอก 4 แผ่น รวมเป็นกระดาษ 7 ชั้น ซึ่งทางการค้าจะเรียกว่ากระดาษลูกฟูก 7 ชั้น นิยมนำไปทำเป็นกล่องขนาดใหญ่ที่บรรจุสินค้าที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และมีการขนส่งในระยะไกล



ภาพที่ 2.2 ประเภทของแผ่นกระดาษลูกฟูก

ที่มา: <https://www.glbc.com/products-services/corrugated-boxes/box-structure/> สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2565.

สำหรับลอนที่นิยมใช้กันมากในการทำกระดาษลอนลูกฟูกมี 4 ชนิดหลัก ได้แก่ ลอนเอ (A) ลอนบี (B) ลอนซี (C) และลอนอี (E) ซึ่งมีความสูงของลอน จำนวนลอน/ฟุต และสมบัติที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1 นอกจากลอนลูกฟูกดังกล่าวแล้วยังมีการผลิตลอนลูกฟูกชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานบางประเภท เช่น การเพิ่มความแข็งแรงด้วยการลดการใช้วัสดุลง เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างลอนลูกฟูกเหล่านี้ ได้แก่ ลอนเอฟ (F) และลอนจี (G) ซึ่งเป็นลอนขนาดบางนิยมใช้กับงานไดคัทหรือการทดแทนการใช้กระดาษแข็งในการทำกล่อง และลอนไมโครฟลูต (Micro Flute) ซึ่งเป็นลอนลูกฟูกขนาดเล็กที่สุดที่มีความสูงของลอนเพียง 0.5 – 0.6 มิลลิเมตร นิยมใช้กับงานกล่องที่ต้องการความแข็งแรงของลอนลูกฟูก และต้องการกระบวนการขึ้นรูปที่ทำได้ง่ายและสามารถพิมพ์สีได้สวยงาม

ตารางที่ 2.1 ชนิดของลอนลูกฟูก

ชนิด	ลักษณะ	ความสูง ของลอน (มิลลิเมตร)	จำนวน ลอน/ ฟุต	สมบัติ
ลอน A		4.0-4.8	36	เหมาะกับสินค้าที่ต้องการรับน้ำหนัก การเรียงซ้อนมากและไม่เน้นพิมพ์
ลอน B		2.1-3.0	49	เหมาะกับสินค้าที่รับน้ำหนักได้ด้วย ตัวเอง เช่น กระจ่างเหล็ก
ลอน C		3.2-3.9	41	เหมาะกับสินค้าทั่วไปที่ไม่สามารถ รับน้ำหนักได้เลยจนถึงสินค้าที่รับ น้ำหนักได้ปานกลาง
ลอน E		1.0-1.8	95	เหมาะกับกล่องขนาดเล็ก และ สามารถรองรับการพิมพ์ได้ดี

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก http://www.knpnpacking.com/html_th/product_compre.html ค้นคืนเมื่อ 1 มีนาคม 2565.

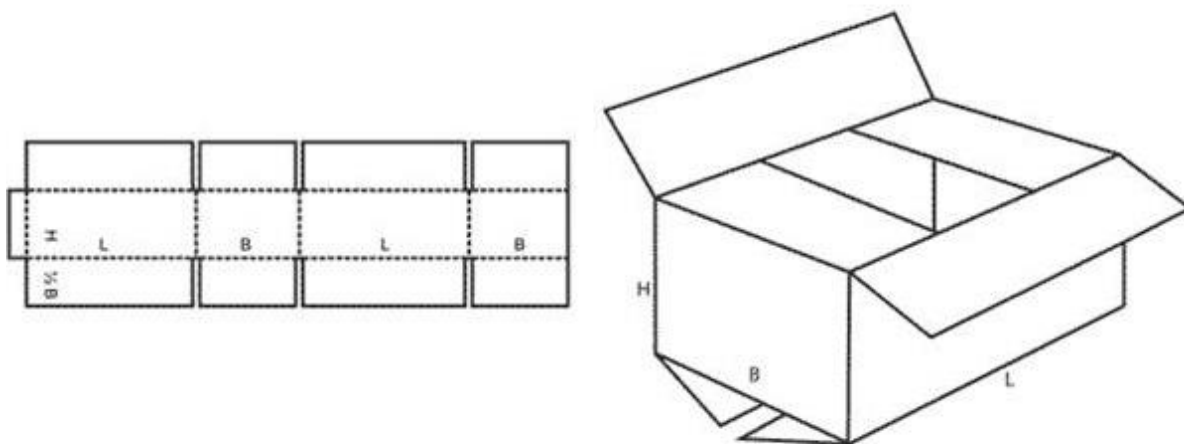
สำหรับกล่องลูกฟูกทั่วไปที่เป็นกล่องลูกฟูก 3 ชั้น นิยมใช้ลอน C มากที่สุดเนื่องจากการผลิตลอน C ใช้กระดาษน้อยกว่าการผลิตลอนอื่น ๆ ที่ความแข็งแรงใกล้เคียงกัน สำหรับกล่องลูกฟูก 5 ชั้น นิยมใช้ลอน B และลอน C โดยให้ลอน C อยู่ด้านในและให้ลอน B อยู่ด้านนอก

2.1.2 กล่องลูกฟูกสล็อตแบบทั่วไป หรือ กล่อง RSC

กล่องลูกฟูก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กล่องลูกฟูกแบบสล็อต (Slotted Corrugated Box) และกล่องลูกฟูกแบบไดคัท (Die Cut Corrugated Box) ซึ่งกล่องลูกฟูกแบบสล็อต จะนิยมนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง เนื่องจากเป็นกล่องแบบมาตรฐานทั่วไปและมีให้เลือกใช้หลากหลายขนาด โดยเฉพาะกล่องลูกฟูกสล็อตแบบทั่วไปหรือเรียกว่ากล่อง RSC (Regular Slotted Container)

กล่อง RSC หรือเรียกอีกชื่อว่า กล่องฝาชน มีรหัสสากล (International Fibreboard Case Code) 0201 เป็นกล่องลูกฟูกที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากผลิตจากกระดาษแผ่นเดียว ทำให้ง่ายต่อการกระบวนการผลิตและมีการสิ้นเปลืองของกระดาษน้อย การขึ้นรูปกล่องไม่ยุ่งยาก และเป็นรูปแบบที่ราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับกล่องชนิดอื่น ๆ ในขนาดเดียวกัน นอกจากนี้กล่อง RSC สามารถดัดแปลงขนาดเพื่อขนส่งผลิตภัณฑ์ได้เกือบทุกชนิด และสามารถใส่แผ่นรองเสริมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยลักษณะของกล่อง RSC เมื่อขึ้นรูปกล่องแล้วฝาปิดกล่องด้านนอกจะชนกันที่กึ่งกลางของด้านกว้างของกล่องพอดี เนื่องจากการออกแบบให้ขนาดความสูงของฝากล่องเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของขนาดกล่อง ซึ่งการออกแบบนี้ช่วยให้สามารถพับกล่องเป็นแผ่นราบเสมอกันได้เมื่อมีการขนส่ง และสามารถคลี่ออกพับเป็นกล่องได้ทันที ทำให้ง่ายต่อการบรรจุและปิดกล่อง โดยการปิดกล่องต้องเชื่อมรอยต่อของกล่องด้วยกาว เทปกาว ลวดเย็บ หรือการใช้สายรัด สำหรับการออกแบบกล่อง RSC

ต้องออกแบบให้แนวลอนของกระดาษลูกฟูกขนานกับแนวรอยพับข้างของกล่อง เพื่อให้สามารถรองรับแรงกดทับได้ดี และกล่องไม่ยุบตัวได้ง่าย



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างภาพกล่องลูกฟูกแบบ RSC และแผ่นคลี่

ที่มา: <https://www.nelsoncontainer.com/CaseCodes> สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2565.

2.2 ความสามารถในการรับแรงกด

การผลิตกล่องลูกฟูกเพื่อรองรับการใช้งานของลูกค้าสำหรับสินค้าแต่ละประเภทนั้น ต้องมีการทดสอบหรือวัดค่าความแข็งแรงกล่อง โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกมักจะใช้ในการป้องกันอันตรายทางกายภาพระหว่างการเก็บในคลังสินค้าหรือการขนส่ง ดังนั้นการทดสอบเพื่อการใช้งานในการเก็บสินค้าคงคลังจะเป็นการทดสอบความสามารถรับแรงกดในแนวตั้ง (Compression Strength หรือ Box Compression Test) เนื่องจากลักษณะการเก็บของสินค้าหรือการขนส่งจะมีการเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นจะกดทับลงมายังกล่องที่อยู่ด้านล่าง ดังนั้นการทดสอบความสามารถรับแรงกดในแนวตั้งจึงเป็นการจำลอง (Simulation) การกดทับในคลังสินค้าของการเรียงซ้อนนั่นเอง

ค่าความสามารถในการรับแรงกด (Box Compression Test, BCT) จึงเป็นการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของกล่องลูกฟูกในการรับแรงในแนวตั้ง โดยจะทดสอบความสามารถสูงสุดของกล่องลูกฟูกในการรับแรงกดด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนเสียรูป หรือไม่สามารถรับแรงได้อีก หน่วยที่วัดเป็น กิโลกรัม (kg) หรือ นิวตัน (N)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดย วางกล่องลูกฟูกบนแท่งกด ปรับอัตราเร็วของแท่นกดตามที่มาตรฐานกำหนด (ASTM D642, TAPPI T804 หรือ ISO 2872) กดจนกระทั่งบริเวณกล่องลูกฟูกเสียรูปหรือไม่สามารถรับแรงได้อีก ซึ่งในการทดสอบสามารถทำได้ทั้งกรณีที่เป็นกล่องลูกฟูกเปล่า หรือกล่องลูกฟูกบรรจุสินค้า อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการรับแรงกดอาจลดลงได้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิหรือความชื้นในอากาศ ระยะเวลาในการเรียงซ้อน จำนวนครั้งในการเคลื่อนย้าย ลักษณะการขนถ่าย เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบกล่องลูกฟูก การกำหนดเกรดกระดาษลูกฟูก หรือแนวลอนของกระดาษลูกฟูก ควรมีการออกแบบเพื่อค่าชดเชยความแข็งแรงของกล่องลูกฟูก

หรือเพื่อค่าความแข็งแรงกลองลูกฟูกให้สูงขึ้น (Safety Factor) เพื่อให้กลองลูกฟูกสามารถใช้งานได้ในสภาวะการใช้งานจริง



ภาพที่ 2.4 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดกลองลูกฟูกในแนวตั้ง
ที่มา: https://www.youtube.com/watch?v=GRTJEM_oWbQ สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2565.

นอกจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว ค่าความแข็งแรงของกลองลูกฟูกยังสามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ เช่น สูตรของ Kellicut (Kellicut and Landt, 1951) สูตรของ Maltenfort (Maltenfort, 1956) และสูตรของ McKee (McKee *et al.*, 1963) เป็นต้น โดยเฉพาะสูตรของ McKee จะได้รับความนิยมในการนำมาคิดค่า BCT ดังสมการที่ 2.1

$$BCT = 5.87ECT\sqrt{ZH} \quad (2.1)$$

- โดย BCT คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกด หน่วย กิโลกรัม
 ECT คือ ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้ง (Edge Crush Test) หน่วย กิโลกรัม/เซนติเมตร
 Z คือ ความยาวเส้นรอบรูปกลองลูกฟูก หน่วย เซนติเมตร
 H คือ ความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก หน่วย เซนติเมตร

อย่างไรก็ตามการใช้สูตรของ McKee เมื่อนำมาคำนวณความสามารถในการรับแรงกด (BCT) พบว่าจะมีความแม่นยำระดับหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จากเครื่องทดสอบ อย่างไรก็ตามสูตรของ McKee ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความเหมาะสมในการนำมาใช้ คือจะนิยมนำมาใช้ในการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดเฉพาะกลองลูกฟูกรูปแบบ RSC ที่มีอัตราส่วนระหว่างความสูงของกลองต่อความยาวเส้นรอบรูปกลองมีค่าน้อยกว่า 1:7 ซึ่งในการใช้งานจริงกลองลูกฟูกยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้ระบุรวมด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัย ที่มีการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

จากสูตรการคำนวณที่มีการใช้รากฐานการคำนวณมาจาก McKee เพื่อต่อยอดให้เกิดความแม่นยำมากขึ้นนั้น สำหรับงานวิจัยนี้ในการวิเคราะห์ตัวแบบในการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากการคำนวณจึงเลือกเฉพาะตัวแบบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและอ้างอิงตัวแบบจากบทความทางวิชาการทางด้านวิศวกรรมบรรจุภัณฑ์ โดยคัดเลือกตัวแบบการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดที่มีตัวแปรที่ใกล้เคียงกับปัจจัยที่ทำการศึกษา ดังนี้

Wolf Formula (1974) เป็นการพัฒนาสูตรการหาค่า BCT ใหม่จากข้อจำกัดของสูตร McKee โดยมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมทำให้ตัวแปรในสูตรการคำนวณมีเพิ่มขึ้น ได้แก่ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และความสูงกล่อง ดังสมการที่ 2.2

$$P = \frac{1.1772P_m\sqrt{TZ}(0.3228A - 0.1217A^2 + 1)}{H^{0.041}} \quad (2.2)$$

โดย	P	คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกด หน่วย นิวตัน
	P_m	คือ ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้ง (Edge Crush Test) หน่วย นิวตัน/50 มิลลิเมตร
	T	คือ ความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก หน่วย เซนติเมตร
	Z	คือ ความยาวเส้นรอบรูปกล่องลูกฟูก หน่วย เซนติเมตร
	A	คือ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง
	H	คือ ความสูงกล่องลูกฟูก หน่วย เซนติเมตร

ชัยภัทร (2554) จากบริษัท เอสซีจี เปเปอร์จำกัด (มหาชน) ได้ทำการปรับปรุงการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากตัวแบบ McKee โดยเพิ่มค่าสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างและความสูงกล่อง โดยคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (% Difference) ดังสมการที่ 2.3

$$BCT_{New} = BCT_{McKee} + (BCT_{McKee} + \%Diff) \quad (2.3)$$

โดย	BCT_{New}	คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกด หน่วย กิโลกรัม
	BCT_{McKee}	คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกดจากสูตร McKee หน่วย กิโลกรัม
	$\%Diff$	คือ ค่าร้อยละความแตกต่างของค่าแรงกดที่ได้จากการคำนวณและค่าแรงกดที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการศึกษาการออกแบบโครงสร้างของกล่องลูกฟูก ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด และงานวิจัยที่มีการพัฒนาสูตรของ McKee มีดังนี้

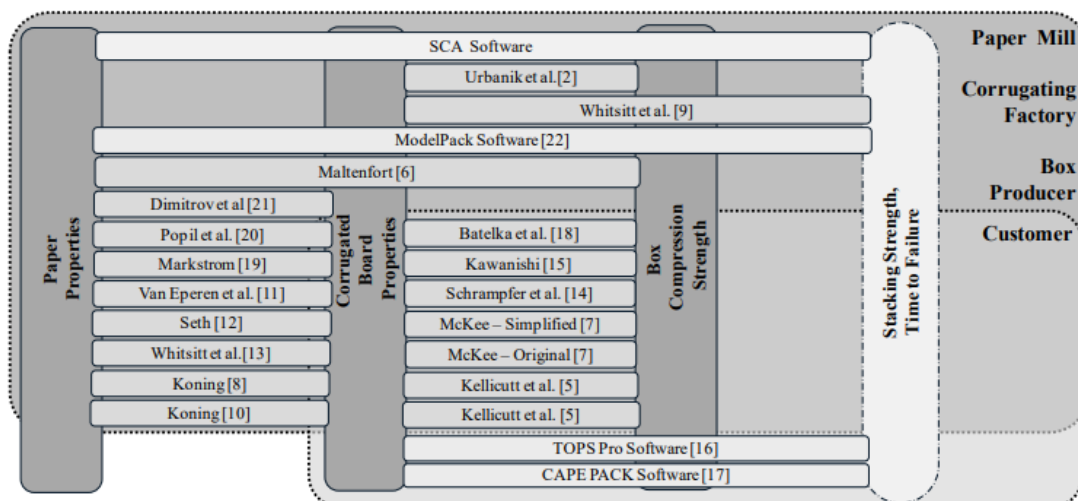
Jinkarn et al. (2006) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเจาะช่องรับน้ำหนัก (Carry Slot) ต่อความแข็งแรงในการรับแรงกด (Compressive Strength) ของกระดาษลูกฟูก 3 ชั้นลอน C ที่เป็นกล่องสำหรับบรรจุผักและผลไม้ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ รูปทรงของรูเจาะ (วงรี วงกลม)

ตำแหน่ง (ความใกล้-ไกลจากศูนย์กลางแผ่นกระดาษ) และ ขนาดของช่องรับน้ำหนักร (1%,2%,3%,4% ของพื้นที่แผ่นกระดาษลูกฟูก) จากการศึกษาพบว่ากล่องลูกฟูกที่มีการเจาะรูเป็นรูวงกลมลดค่าความสามารถในการรับแรงกดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการเจาะรูเป็นรูปทรงอื่น อย่างไรก็ตามการมีจำนวนช่องเจาะมากขึ้นก็ส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องน้อยลง นอกจากนี้ความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกจะลดลงตามตำแหน่งของการเจาะช่องรับน้ำหนักรที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางของกล่องลูกฟูก ยิ่งขนาดช่องเล็กเท่าไรก็ยิ่งทำให้ความสามารถในการรับแรงกดหรือความแข็งแรงในการรับแรงกดมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างของกล่องลูกฟูกตามสภาพแวดล้อมการบริการที่เหมาะสม

Singh *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษา ขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของการเจาะช่องในกล่องลูกฟูก RSC ประเภทกล่องลูกฟูก 3 ชั้นจากกล่องมาตรฐานทั่วไป พบว่าการมีช่องระบายอากาศ และมีช่องสำหรับมือจับ ทำให้ความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกลดลงถึง 20 - 50% นอกจากนี้รูปร่างและตำแหน่งของการเจาะยังส่งผลรวมด้วย โดยพบว่าถ้าเจาะช่องเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านขนานจะช่วยรักษาความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกได้ดีกว่าการเจาะช่องเป็นรูปทรงกลม

ชัยภัทร (2554) บริษัท เอสซีจี เปเปอร์จำกัด (มหาชน) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องลูกฟูก โดยมีการเปลี่ยนแปลงความสูง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่องลูกฟูกลอน C ที่มีการควบคุมขนาดของเส้นรอบรูปกล่อง 100 เซนติเมตร และน้ำหนักกระดาษให้คงที่ พบว่าค่าที่คำนวณได้จากสูตรของ McKee เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของกล่องลูกฟูกลอน C มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ประมาณ 32.82% แต่เมื่อได้นำปัจจัยในเรื่องของความสูงและ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่องลูกฟูกเข้ามาเป็นตัวแปรในการคิดคำนวณด้วย พบว่าช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการคำนวณเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการได้มากกว่า 20% ซึ่งจากลดค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จริงเหลือเพียง 12.76%

Sohrabpour and Hellström (2011) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาพัฒนาโปรแกรม สำหรับเป็นแนวทาง ในการการออกแบบแผ่นกระดาษลูกฟูกและกล่องลูกฟูก เพื่อทำนายคุณสมบัติของแผ่นกระดาษลูกฟูกและกล่องลูกฟูกให้เหมาะสมกับประเภทของการใช้งาน โดยทำการศึกษาจากสูตรการคำนวณที่นิยมใช้ในการอ้างอิงทั้ง 18 โมเดล โดยแบ่งเป็น 8 โมเดล สำหรับการวิเคราะห์สมบัติของกระดาษเพื่อนำมาทำนายสมบัติของแผ่นกระดาษลูกฟูก และอีก 10 โมเดลเป็นการใช้สูตรเพื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความแข็งแรงกล่องลูกฟูก ซึ่งมีการนำสูตรของ McKee เข้ามาวิเคราะห์ด้วย โดยในงานวิจัยจะนำโมเดลทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์เพื่อพัฒนาให้ได้โปรแกรมที่ลดช่องว่างระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดสอบจริง เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการออกแบบกล่องลูกฟูกให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป



ภาพที่ 2.5 แบบจำลองและซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบกล่องลูกฟูก

ที่มา: Sohrabpour and Hellström. (2011).

รชยา และเลอพงศ์ (2561) ได้ทำการศึกษาผลของช่องระบายอากาศต่อความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกขนาดมิติฐานมาตรฐาน โดยออกแบบช่องระบายอากาศให้มีสัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ 3-ร้อยละ 7) และตำแหน่งที่แตกต่างกัน (ด้านบน ตรงกลาง และด้านล่าง) บนผนังกล่องกระดาษลูกฟูกแบบ Half Size ลอน BC จากการทดลองด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดของกล่องพบว่ากล่องที่มีช่องระบายอากาศอยู่ตำแหน่งตรงกลางกล่องจะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูกมากกว่ากล่องที่มีช่องระบายอากาศอยู่ในตำแหน่งบนและตำแหน่งล่างของกล่อง และช่องระบายอากาศที่มีสัดส่วนรวมของพื้นที่ร้อยละ 3 และอยู่ตรงตำแหน่งกลางของผนังกล่องมีค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องสูงสุด และช่องระบายอากาศที่มีสัดส่วนรวมของพื้นที่ร้อยละ 7 ที่อยู่ตำแหน่ง ด้านล่างของผนังกล่องมีค่าความสามารถในการรับแรงกดน้อยที่สุด ดังนั้นกล่องลูกฟูกที่มีสัดส่วนพื้นที่ของช่องระบายอากาศเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลดลง

Archaviboonyobul และคณะ (2020) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองในการทำนายค่าความสามารถในการรับแรงกด (BCT) ด้วยการศึกษปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดกล่อง รูปร่าง ขนาดและตำแหน่งของช่องระบายอากาศ และมือจับของกล่อง RSC ผ่านแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) พบว่าปัจจัยของตำแหน่งการเจาะมือจับส่งผลมากที่สุดต่อค่า BCT ซึ่งมีผลทำให้ค่า BCT ลดลง

2.3 การฝึกเสมือนจริง

การเรียนการสอนออนไลน์ได้เข้ามามีบทบาทในยุควิกฤตการณ์โควิด-19 เป็นอย่างมาก แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในชุดวิชาที่มีการเรียนการสอนในภาคปฏิบัติ ซึ่งจากข้อเสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาจากมหาวิทยาลัยอิลลินอยส์ สปริงฟิลด์ (University of Illinois Springfield, 2020) ได้เสนอแนะให้จัดการเรียนการสอนแบบเป็นแบบผสมผสาน (Hybrid Course) ที่รวมการเรียนแบบเผชิญหน้าและแบบออนไลน์เข้าด้วยกัน จะทำให้ได้ผลลัพธ์ตรงตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ โดยต้อง

ออกแบบให้มีการผสมผสานระหว่างองค์ความรู้ภาคทฤษฎีและภาคการปฏิบัติเข้าด้วยกัน จากการสืบค้นข้อมูลทางวิชาการด้านการออกแบบการเรียนการสอนในระบบการศึกษาทางไกลผ่านระบบออนไลน์ของ Lotz, N., Jones, D., and Holden, G. (2019) ซึ่งเป็นคณะผู้เชี่ยวชาญจาก The Open University ในสหราชอาณาจักรซึ่งเป็นผู้นำด้านการศึกษาทางการไกลและพัฒนาระบบการฝึกปฏิบัติออนไลน์เป็นแห่งแรกของโลก และเป็นเครือข่ายทางวิชาการกับมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมิกราช คณะผู้วิจัยได้นำเสนอบทความทางวิชาการในการพัฒนา OpenDesignStudio โดยจัดทำระบบสตูดิโอการออกแบบเสมือนจริง (Virtual Design Studio) เพื่อเป็นพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนผลงานการออกแบบการนำเสนอผลงาน และสร้างเครือข่ายทางสังคม และได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลวัสดุเพื่องานออกแบบ (CES EduPack materials database) สำหรับใช้เป็นแหล่งในการค้นคว้าหาวัสดุในการออกแบบ จากการค้นคว้างานวิจัยของ The Open University ซึ่งเครือข่ายทางวิชาการและคู่ความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมิกราช คณะผู้วิจัยจึงเห็นว่า การนำเทคโนโลยีด้านระบบสตูดิโอการออกแบบเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในงานด้านสื่อการเรียนการสอนออนไลน์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการฝึกทักษะเสมือนจริงในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ การเลือกวัสดุและการเลือกรูปแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสมและเป็นการเสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์เข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพตรงกับความต้องการได้

คณะผู้วิจัยทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกปฏิบัติเสมือนจริง พบว่ามีการนำไปใช้ในหลายศาสตร์ที่เน้นการฝึกปฏิบัติเป็นสำคัญ เช่น ศาสตร์ด้านการพยาบาล ศาสตร์ด้านการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ศาสตร์ด้านการซ่อมบำรุงเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น เพื่อให้ผู้เรียนหรือผู้ใช้งานมีความรู้ความเข้าใจและเกิดทักษะจากการฝึกปฏิบัติเสมือนจริง และสามารถประเมินสมรรถนะของผู้เรียนหรือผู้ใช้งานได้ มีรายละเอียดงานวิจัยดังนี้

ประจักษ์ จิตเงินมะดัน (2564) ได้ออกแบบและพัฒนาชุดฝึกทักษะปฏิบัติหมวดหัวใจผายปอดกู้ชีพ (CPR) ในระบบเสมือนจริง โดยพัฒนาโปรแกรมฝึกปฏิบัติการปฐมพยาบาลเบื้องต้นด้วยระบบ Virtual Reality (VR) มาช่วยในการฝึกอบรมและปฏิบัติ เพื่อเพิ่มโอกาสให้ผู้ประสบอุบัติเหตุมีชีวิตรอดได้ โปรแกรมการฝึกปฏิบัติใช้การสร้างวัตถุสามมิติ (3D Models) และการสร้างสิ่งแวดล้อมเสมือนโดยใช้งานเครื่องมือ Unity เพื่อกำหนดขั้นตอนและการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน โปรแกรมประกอบด้วย การเข้าสู่ระบบ การแสดงขั้นตอนการทำ CPR การทำตามขั้นตอน CPR การจัดทำทางของหุ่นฝึก การปั๊มหัวใจและนับจำนวนครั้ง การตอบสนองการปั๊มหัวใจ/กดหน้าอก และการสร้างโมเดล 3 มิติ ผลงานสอบพบว่า ผู้ใช้งานมีทักษะและความมั่นใจในการปฐมพยาบาลเบื้องต้นด้วยวิธี CPR มากขึ้น

สมเดช เฉยไสย และสุธาสินี บุรีคำพันธุ์ (2554) ได้พัฒนาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สินค้าหัตถกรรมชุมชนจังหวัดชัยนาทเพื่อเพิ่มมูลค่าและโปรแกรมระบบฐานข้อมูลการจัดเก็บในการสืบค้นที่ยั่งยืนผ่านเว็บเพจระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและจัดทำคู่มือโปรแกรมฐานข้อมูล วิธีการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากศึกษาแหล่งข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามกลุ่มผู้ซื้อและแบบสัมภาษณ์กลุ่มผู้ผลิต ทำการออกแบบและพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์ในด้านวัสดุที่ใช้ โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ความสวยงาม ความเป็นเอกลักษณ์ การถอดประกอบ ความง่ายในการผลิต ความง่ายในการขนส่ง และความพึงพอใจของผู้บริโภค และทำการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) โดยใช้โปรแกรมระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์โดยโปรแกรมดาต้าเบสเซิร์ฟเวอร์ของมายเอสคิวแอล (MySQL) เว็บแอปพลิเคชัน

สารัลย์ กระจง (2551) ได้การพัฒนาคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการฝึกปฏิบัติงานตรวจเช็คซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ โดยผู้วิจัยพัฒนาชุดการจัดการเรียนการสอนการตรวจเช็คซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์ 7 บทเรียน ประกอบด้วย 1) ส่วนประกอบของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 2) ระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์ 3) สัญญาณนาฬิกาและระบบการอินเตอร์เฟส 4) หน่วยความจำ หน่วยป้อนข้อมูล การแสดงผล 5) อุปกรณ์ที่ใช้ซ่อม และการตรวจเช็ค 6) การซ่อมเบื้องต้นและการฝึกปฏิบัติซ่อมจริง และ 7) เทคนิคการอัพเกรดและปรับปรุงประสิทธิภาพไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อผู้วิจัยพัฒนาคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการฝึกปฏิบัติแล้วเสร็จ จึงนำไปหาคุณภาพของชุดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการฝึกปฏิบัติและผลสัมฤทธิ์ และสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียน

ศุภรัตน์ แจ่มแจ้ง และคณะ (2558) ได้พัฒนาศาสนาการณ์จำลองเสมือนจริง (Simulation-based Learning) สำหรับนักศึกษาพยาบาลศาสตร์ชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี โดยใช้ทักษะและประสบการณ์ของอาจารย์ผู้สอนมาออกแบบกิจกรรมการฝึกปฏิบัติทักษะทางการพยาบาล ได้แก่ การตรวจวัดสัญญาณชีพ การฉีดยา การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ การให้ออกซิเจน การทำแผล เทคนิคการป้องกันการติดเชื้อ การบริการด้วยหัวใจความเป็นมนุษย์ และการเรียนรู้สภาพแวดล้อมบนหอผู้ป่วย ในการออกแบบสถานการณ์คำนึงถึงการประเมินสภาพและการตัดสินใจในการแก้ปัญหาทางการพยาบาล และการปฏิบัติทักษะทางการพยาบาลและการรายงานอาการผิดปกติ งานวิจัยได้ใช้แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้นของผู้เรียน และวัดระบบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียนและหลังเข้าเรียนการฝึกปฏิบัติการพยาบาลโดยใช้สถานการณ์จำลองเสมือนจริง พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนความรู้ความสามารถหลังการฝึกปฏิบัติการพยาบาลโดยใช้สถานการณ์จำลองเสมือนจริงมีค่าสูงกว่าก่อนเข้ารับการฝึกปฏิบัติเสมือนจริง

กิตติพงษ์ จันทรถาวร (2552) ได้พัฒนาคอมพิวเตอร์ช่วยสอนบนระบบเครือข่าย เรื่องการโปรแกรมเว็บ 2 ด้วยภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) สำหรับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ การสอนบนระบบเครือข่าย และการทำแบบทดสอบหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การทำแบบประเมินคุณภาพด้านมัลติมีเดีย และการทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ผลการวิจัยสรุปได้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนบนระบบเครือข่าย เรื่อง การโปรแกรมเว็บ 2 ด้วยภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) นำไปใช้ในการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น การฝึกปฏิบัติเสมือนจริงสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้ในศาสตร์ที่เน้นการฝึกปฏิบัติเป็นสำคัญมีข้อควรพิจารณา ดังนี้

1. ผู้สอนต้องออกแบบการฝึกปฏิบัติเสมือนจริง ให้มีเนื้อหาครอบคลุมกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของผู้เรียน (สารัลย์ กระจง, 2551)

2. การพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนฝึกปฏิบัติเสมือนจริง ผู้สอนต้องมีทักษะและประสบการณ์ เพื่อการออกแบบสถานการณ์ให้สอดคล้องกับการนำไปใช้ในสถานการณ์จริง (ศุภรัตน์ แจ่มแจ้งและคณะ, 2558)

3. การพัฒนาโปรแกรมระบบฐานข้อมูลและกิจกรรมการฝึกทักษะเสมือนจริง ต้องทำการประเมินการใช้งานทั้งเชิงคุณภาพ เช่น การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาของโปรแกรม เป็นต้น และการประเมินเชิงปริมาณ เช่น แบบสอบถามการใช้งานโปรแกรมของผู้ใช้งาน เป็นต้น เพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนา

อย่างต่อเนื่องดังงานวิจัยของ สมเดช เฉยไสยและสุธาสินี บุรีคำพันธุ์ (2554) และศุภรัตน์ แจ่มแจ้ง และคณะ (2558)

4. การพัฒนาโปรแกรมการฝึกปฏิบัติ หากมีการพัฒนาระบบการจำลองสภาวะเสมือนจริง เช่น การใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จำลองสภาพแวดล้อมเสมือน (Virtual Reality: VR) เป็นต้น จะช่วยให้ผู้ใช้งานมีประสบการณ์เหมือนอยู่ในสถานการณ์จริงมากขึ้น (ประจักษ์ จิตเงินมะดัน, 2564) และการมีภาพนิ่ง ข้อความ ภาพเคลื่อนไหว จะช่วยทำให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ทำให้บทเรียนมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล (กิตติพงษ์ จันทรถาวร, 2552)

5. ในการพัฒนาระบบการฝึกปฏิบัติเสมือนจริง ควรใช้งานได้ง่าย โดยมีคำอธิบายการป้อนค่าปัจจัยขาเข้า (input) พร้อมยกตัวอย่างประกอบเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจได้ง่าย และการใช้งานผ่านระบบคลาวด์อินเทอร์เน็ต การทำงานระบบออนไลน์จะทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงโปรแกรมได้มากขึ้นและอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานใช้ได้กับทุกอุปกรณ์ทั้งคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ทโฟน (Calculator Academy Team, 2022, Lotz, N., Jones, D., and Holden, G., 2019)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด และพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีดำเนินการวิจัยมี ดังนี้

3.1 แผ่นกระดาษลูกฟูก

งานวิจัยเลือกตัวอย่างแผ่นกระดาษลูกฟูกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนส่ง 2 ชนิด ได้แก่ 1) กระดาษลูกฟูก 3 ชั้นลอน C เกรดกระดาษคือ KA150/CM115/KA125 และ 2) กระดาษลูกฟูก 5 ชั้นลอน BC เกรดกระดาษคือ KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 จากบริษัท ศานติบรรจุภัณฑ์ จำกัด โดยมีสมบัติของกระดาษดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติกระดาษลูกฟูก

รายละเอียด/สมบัติกระดาษ	กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น	กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น
ชนิดลอน	C	BC
ความสูงลอน (mm)	3.70 ± 0.25	6.50 ± 0.25
น้ำหนักมาตรฐาน (Basic Weight, kgf)	0.83	1.32
ความต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength, kgf/cm ²)	6.8	9.89
ความต้านแรงกดวงแหวน (Edge Crush Test, kgf/cm)	3.85	5.48

หมายเหตุ ตามมาตรฐาน TAPPI T411

3.2 เครื่องมือ

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ใช้เครื่องมือในงานวิจัยในขั้นตอนการออกแบบกล่องลูกฟูก ขั้นตอนการตัดต้นแบบและขึ้นรูปกล่องลูกฟูก และขั้นตอนการทดสอบกล่องลูกฟูก อธิบายในรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ติดตั้งโปรแกรม PackDesign (PackDesign V.2014, BCSI System BV, Netherland) สำหรับการออกแบบกล่องลูกฟูก โดยสามารถกำหนดขนาดกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่ได้วางแผนในการทดลองดังตารางที่ 3.3 โดยกำหนดเส้นไค้ท เส้นตัด และเส้นพับ (Dielines) ตามรูปแบบกล่อง RSC และคำนวณค่าระยะเพื่อการพับกล่องตามชนิดวัสดุ

2. เครื่องตัดกล่อง (ARISTOMAT TL 1310, Aristo, Germany) สำหรับใช้ในขั้นตอนการตัดต้นแบบกล่องลูกฟูก โดยเครื่องตัดกล่องเป็นโต๊ะแท่นราบที่มีหัวตัดแบบกรีดตัดและหัวตัดแบบสั่น (Oscillating Cut) เพื่อทำเส้นตัดและหัวกดทำเส้นรอยพับ (Creasing)

3. เครื่องกดกล่อง (i-Boxtek 1700, Labthink, China) สำหรับใช้ในการทดสอบความสามารถใน

การรับแรงกดของกล่องลูกฟูก โดยจะมีการให้แรงกด 50 นิวตัน ด้วยอัตราเร็วในการทดสอบ 12.7 มม./นาทิตามมาตรฐาน ASTM D642:2005 จนกล่องลูกฟูกเสียรูปทรง หรือรับแรงกดต่อไปไม่ได้ ค่าที่ได้จากเครื่องกดกล่องจะเป็นค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูก

3.3 การทดลองเบื้องต้น

คณะวิจัยได้ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก โดยมีจุดประสงค์การออกแบบโครงสร้างเพื่อบรรจุภัณฑ์ขนส่ง ดังนี้

1. ชนิดของวัสดุ คือ วัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งนิยมใช้กระดาษลูกฟูกลอน C และลอน BC เนื่องจากมีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทก การรับแรงกดทับ เหมาะกับการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง

2. เส้นรอบรูปกล่อง คือ ด้านกว้างกล่องด้านนอก 2 ด้าน รวมกับด้านยาวกล่องด้านนอก 2 ด้าน

จากข้อเสนองานวิจัยคือ 30, 50, 70 และ 90 เซนติเมตร เมื่อนำมาออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก และทำการตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกและนำมาขึ้นรูปเป็นกล่องลูกฟูก พบว่ามีขนาดเล็กเกินไปสำหรับกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่ง จึงได้กำหนดขนาดใหม่โดยเลือกจากขนาดกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่งเป็นสำคัญ ได้แก่ 120 และ 180 เซนติเมตร

3. ความสูงกล่อง คือ ความสูงกล่องลูกฟูกด้านนอกแบ่งเป็น 4 ระดับ ตามขนาดนิยมของกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่งเป็นสำคัญ ได้แก่ 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร

4. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง คือ อัตราส่วนด้านยาวกล่องด้านนอกต่อด้านกว้างกล่องด้านนอก จากข้อเสนองานวิจัยได้กำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง คือ 1.0, 1.5 และ 3.5 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากงานวิจัยของชัยภัทร (2554) พบว่าเมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มากกว่า 2.5 เป็นต้นไป ค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง คณะวิจัยจึงปรับอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องลงมาเพื่อให้เกิดการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่ง ได้แก่ 1.0, 1.5 และ 2.5

5. รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง สำหรับงานบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งเพื่อให้สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม จึงพิจารณาการเจาะหน้าต่างกล่องด้านข้างเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่อง รวมทั้งศึกษากล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง

6. โปรแกรม IC3D ซึ่งเป็นโปรแกรมในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีลิขสิทธิ์จากต่างประเทศ จึงมีข้อจำกัดในการเพิ่มฐานข้อมูล เนื่องจากต้องได้รับการตรวจสอบและการขออนุญาตในการนำเข้าข้อมูลที่ส่งผลต่อการแปลผล คณะวิจัยจึงปรับการนำเสนอผ่านโปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) แทน ซึ่งสามารถนำเข้าปัจจัยที่ศึกษา และแสดงผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ทโฟน

3.4 การออกแบบการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) มีปัจจัย (Factor) ประกอบด้วย 5 ปัจจัยแบบหลายระดับ (Multifactorial Design) จำนวนการทดลอง (Run) 144 การทดลอง จำนวนการทำซ้ำ (Replicate) 3 ซ้ำ ดังนี้

1. ชนิดวัสดุ (Flute) ประกอบด้วยวัสดุที่ใช้ทำกระดาดลูกฟูกแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แผ่นกระดาดลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C และแผ่นกระดาดลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC
2. เส้นรอบรูปกล่อง (Perimeter) แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตร
3. ความสูงกล่อง (Height) แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร
4. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง (L/W Ratio) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5
5. รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง (Pattern) แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้านขนาด 3x9 เซนติเมตร, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง

จำนวนปัจจัยในการทดลอง และจำนวนการทดลองดังตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 จำนวนปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ	หน่วยวัด	ค่าระดับ			
ชนิดวัสดุ (Flute)	2	-	C	BC		
เส้นรอบรูปกล่อง (Perimeter)	2	cm.	120	180		
ความสูงกล่อง (Height)	4	cm.	25	30	35	40
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง (L/W Ratio)	3	-	1.0	1.5	2.5	
รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง (Pattern)	3	-	Handle	Handle + Breath	No Hole	

ตารางที่ 3.3 จำนวนการทดลองจาก 5 ปัจจัยแบบหลายระดับ

ตัวอย่างที่	ชนิดลอน	เส้นรอบรูป (cm.)	ความสูง (cm.)	L/W ratio	รูปแบบ เจาะรู
1	C	120	25	1	Handle
2	C	120	25	1	Breath + Handle
3	C	120	25	1	No hole
4	C	120	25	1.5	Handle
5	C	120	25	1.5	Breath + Handle
6	C	120	25	1.5	No hole
7	C	120	25	2.5	Handle
8	C	120	25	2.5	Breath + Handle
9	C	120	25	2.5	No hole
10	C	120	30	1	Handle
11	C	120	30	1	Breath + Handle
12	C	120	30	1	No hole
13	C	120	30	1.5	Handle
14	C	120	30	1.5	Breath + Handle
15	C	120	30	1.5	No hole
16	C	120	30	2.5	Handle
17	C	120	30	2.5	Breath + Handle
18	C	120	30	2.5	No hole
19	C	120	35	1	Handle
20	C	120	35	1	Breath + Handle
21	C	120	35	1	No hole
22	C	120	35	1.5	Handle
23	C	120	35	1.5	Breath + Handle
24	C	120	35	1.5	No hole
25	C	120	35	2.5	Handle
26	C	120	35	2.5	Breath + Handle
27	C	120	35	2.5	No hole
28	C	120	40	1	Handle
29	C	120	40	1	Breath + Handle
30	C	120	40	1	No hole
31	C	120	40	1.5	Handle
32	C	120	40	1.5	Breath + Handle
33	C	120	40	1.5	No hole
34	C	120	40	2.5	Handle
35	C	120	40	2.5	Breath + Handle
36	C	120	40	2.5	No hole
37	C	180	25	1	Handle
38	C	180	25	1	Breath + Handle
39	C	180	25	1	No hole
40	C	180	25	1.5	Handle
41	C	180	25	1.5	Breath + Handle
42	C	180	25	1.5	No hole
43	C	180	25	2.5	Handle
44	C	180	25	2.5	Breath + Handle
45	C	180	25	2.5	No hole
46	C	180	30	1	Handle
47	C	180	30	1	Breath + Handle
48	C	180	30	1	No hole
49	C	180	30	1.5	Handle
50	C	180	30	1.5	Breath + Handle
51	C	180	30	1.5	No hole
52	C	180	30	2.5	Handle
53	C	180	30	2.5	Breath + Handle
54	C	180	30	2.5	No hole
55	C	180	35	1	Handle
56	C	180	35	1	Breath + Handle
57	C	180	35	1	No hole
58	C	180	35	1.5	Handle
59	C	180	35	1.5	Breath + Handle
60	C	180	35	1.5	No hole
61	C	180	35	2.5	Handle
62	C	180	35	2.5	Breath + Handle
63	C	180	35	2.5	No hole
64	C	180	40	1	Handle
65	C	180	40	1	Breath + Handle
66	C	180	40	1	No hole
67	C	180	40	1.5	Handle
68	C	180	40	1.5	Breath + Handle
69	C	180	40	1.5	No hole
70	C	180	40	2.5	Handle
71	C	180	40	2.5	Breath + Handle
72	C	180	40	2.5	No hole

ตารางที่ 3.3 จำนวนการทดลองจาก 5 ปัจจัยแบบหลายระดับ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ชนิดลอน	เส้นรอบรูป (cm.)	ความสูง (cm.)	L/W ratio	รูปแบบ เจาะรู
73	BC	120	25	1	Handle
74	BC	120	25	1	Breath + Handle
75	BC	120	25	1	No hole
76	BC	120	25	1.5	Handle
77	BC	120	25	1.5	Breath + Handle
78	BC	120	25	1.5	No hole
79	BC	120	25	2.5	Handle
80	BC	120	25	2.5	Breath + Handle
81	BC	120	25	2.5	No hole
82	BC	120	30	1	Handle
83	BC	120	30	1	Breath + Handle
84	BC	120	30	1	No hole
85	BC	120	30	1.5	Handle
86	BC	120	30	1.5	Breath + Handle
87	BC	120	30	1.5	No hole
88	BC	120	30	2.5	Handle
89	BC	120	30	2.5	Breath + Handle
90	BC	120	30	2.5	No hole
91	BC	120	35	1	Handle
92	BC	120	35	1	Breath + Handle
93	BC	120	35	1	No hole
94	BC	120	35	1.5	Handle
95	BC	120	35	1.5	Breath + Handle
96	BC	120	35	1.5	No hole
97	BC	120	35	2.5	Handle
98	BC	120	35	2.5	Breath + Handle
99	BC	120	35	2.5	No hole
100	BC	120	40	1	Handle
101	BC	120	40	1	Breath + Handle
102	BC	120	40	1	No hole
103	BC	120	40	1.5	Handle
104	BC	120	40	1.5	Breath + Handle
105	BC	120	40	1.5	No hole
106	BC	120	40	2.5	Handle
107	BC	120	40	2.5	Breath + Handle
108	BC	120	40	2.5	No hole
109	BC	180	25	1	Handle
110	BC	180	25	1	Breath + Handle
111	BC	180	25	1	No hole
112	BC	180	25	1.5	Handle
113	BC	180	25	1.5	Breath + Handle
114	BC	180	25	1.5	No hole
115	BC	180	25	2.5	Handle
116	BC	180	25	2.5	Breath + Handle
117	BC	180	25	2.5	No hole
118	BC	180	30	1	Handle
119	BC	180	30	1	Breath + Handle
120	BC	180	30	1	No hole
121	BC	180	30	1.5	Handle
122	BC	180	30	1.5	Breath + Handle
123	BC	180	30	1.5	No hole
124	BC	180	30	2.5	Handle
125	BC	180	30	2.5	Breath + Handle
126	BC	180	30	2.5	No hole
127	BC	180	35	1	Handle
128	BC	180	35	1	Breath + Handle
129	BC	180	35	1	No hole
130	BC	180	35	1.5	Handle
131	BC	180	35	1.5	Breath + Handle
132	BC	180	35	1.5	No hole
133	BC	180	35	2.5	Handle
134	BC	180	35	2.5	Breath + Handle
135	BC	180	35	2.5	No hole
136	BC	180	40	1	Handle
137	BC	180	40	1	Breath + Handle
138	BC	180	40	1	No hole
139	BC	180	40	1.5	Handle
140	BC	180	40	1.5	Breath + Handle
141	BC	180	40	1.5	No hole
142	BC	180	40	2.5	Handle
143	BC	180	40	2.5	Breath + Handle
144	BC	180	40	2.5	No hole

3.5 การตัดกล่องลูกฟูกด้วยเครื่องตัดกล่อง

การตัดกล่องลูกฟูกด้วยเครื่องตัดกล่อง มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างโครงสร้างกล่องลูกฟูกตามทีออกแบบไว้จำนวน 144 แบบ ด้วยโปรแกรม PackDesign ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถออกแบบโครงสร้างของกล่องลูกฟูกตามรูปแบบกล่อง RSC ที่ต้องการได้ด้วยการกำหนดปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดวัสดุ เส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง (ศึกษาการสร้างโครงสร้างกล่องลูกฟูกด้วยโปรแกรม PackDesign เพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก)

2. ทำการตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกตามทีออกแบบจากโปรแกรม PackDesign ด้วยเครื่องตัดกล่อง โดยเครื่องตัดกล่องเป็นโต๊ะแท่นราบที่มีหัวตัดแบบกรีดตัดและหัวตัดแบบสั้น เพื่อทำเส้นตัดและหัวกดทำเส้นรอยพับ กระดาษที่ได้จากเครื่องตัดกล่องจะมีรูปทรงตามทีออกแบบ โดยมีรอยพับเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูปเป็นกล่อง

3. นำแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ตัดได้จากเครื่องตัดกล่องมาทำการติดกาวร้อน ที่รอยเชื่อมต่อของกล่อง และปิดฝากล่องด้านบนด้านล่างด้วยเทปกาว

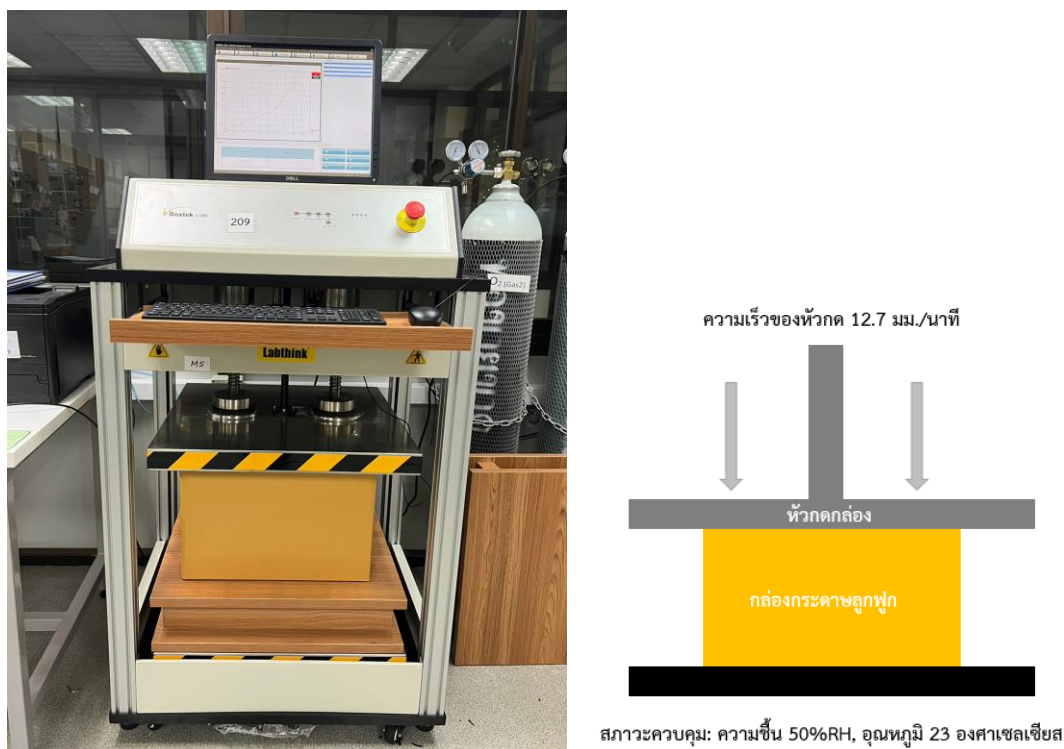




ภาพที่ 3.1 เครื่องตัดกล่องและตัวอย่างการตัดกล่องลูกฟูก

3.6 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกด (Box Compression Test, BCT) ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องกดกล่องตามมาตรฐาน ASTM D642:2005 ใช้ความเร็วของหัวกดซึ่งเป็นความเร็วของระยะเวลาในการเคลื่อนที่ต่อช่วงเวลาของหัวกด (Compression Head) โดยปรับตั้งค่าความเร็วของหัวกดเท่ากับ 12.7 มิลลิเมตร/นาที่ ที่แรงกด 50 นิวตัน โดยมีสภาวะในห้องปฏิบัติการปรับตั้งความชื้นเท่ากับ 50-70 %RH และอุณหภูมิเท่ากับ 20-28 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำต่อ 1 โครงสร้างกล่องลูกฟูก



ภาพที่ 3.2 เครื่องทดสอบสามารถในการรับแรงกด

3.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

การวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) มีปัจจัย (Factor) ประกอบด้วย 5 ปัจจัยแบบหลายระดับ (Multifactorial Design) จำนวนการทดลอง (Run) 144 การทดลอง จำนวนการทำซ้ำ (Replicate) 3 ซ้ำ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด โดยใช้โปรแกรม SPSS version 24 เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดลองทั้ง 5 ตัวที่มีผลค่าสามารถในการรับแรงกด

3.8 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 24 ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) หรือค่าสามารถในการรับแรงกด (BCT) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (X) หรือปัจจัยในการทดลองทั้ง 5 ตัว เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

การหาค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ระหว่างค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการและค่าที่คำนวณได้ โดยมีสมการคือ

$$MAPE = \frac{\sum |(A_t - F_t)/A_t|}{n} \times 100\%$$

โดยที่ MAPE คือ ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

A_t คือ ค่าจริง ณ เวลานั้น (ค่า BCT ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ)

F_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลานั้น (ค่า BCT ที่ได้จากแบบจำลองพยากรณ์)

n คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาพิจารณา

3.9 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรับแรงกดจากตัวแบบ 3 ตัวแบบ

การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรับแรงกดด้วยการคำนวณจากตัวแบบ 3 ตัวแบบ งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวแบบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและอ้างอิงตัวแบบจากบทความทางวิชาการทางด้านวิศวกรรมบรรจุภัณฑ์ โดยคัดเลือกตัวแบบการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด จากตัวแบบที่มีตัวแปรใกล้เคียงกับปัจจัยที่ทำการศึกษา จำนวน 3 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบที่ 1 Mckee Model ตัวแบบที่ 2 Wolf Model และตัวแบบที่ 3 SCG Model ดังสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

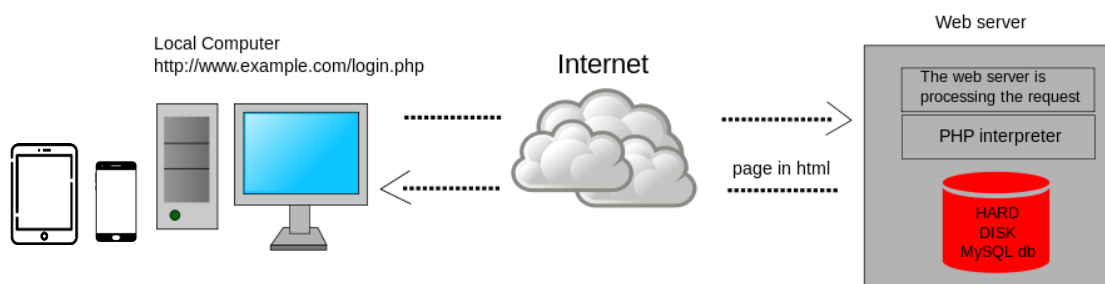
จากนั้นนำค่าที่ได้จากตัวแบบทั้ง 3 ตัวแบบมาเปรียบเทียบกับค่าความสามารถในการรับแรงกดจากแบบจำลองที่ได้ และหาค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าความสามารถในการรับแรงกดจากห้องปฏิบัติการ เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้ตัวแบบทั้ง 3 ตัวแบบและแบบจำลองที่ได้

3.10 การพัฒนาระบบในการฝึกทักษะเสมือนจริง

การพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบสำหรับพัฒนาระบบใช้วิธีการสร้างเพจเว็บไซต์แบบไดนามิกสำหรับประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) จากการป้อนปัจจัยต่าง ๆ ของการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด มีการสร้างการฝึกทักษะเสมือนจริง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างของระบบและส่วนของขั้นตอน อธิบายในรายละเอียดดังนี้

3.10.1 โครงสร้างของระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง

โครงสร้างในการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) เครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Local Computer) แท็บเล็ต (Tablet) หรือสมาร์ทโฟน (Smart Phone) โดยทุกส่วนประกอบจะพัฒนาเป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนาเว็บเพจสำหรับการระบุค่าปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก ดังภาพที่ 3.3



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-SA](#)

ภาพที่ 3.3 โครงสร้างสำหรับการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง

3.10.2 เครื่องมือของระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง

เครื่องมือสำหรับการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง มีดังนี้

- 1) เครื่องมือสำหรับส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้
 - โปรแกรม Visual Studio Code (VS Code) สำหรับพัฒนาหน้าเพจให้ผู้ใช้งาน (Client) หรืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Local Computer) สำหรับการป้อนค่าปัจจัยผ่านโปรแกรม Browser
 - โปรแกรม Apache Tomcat สำหรับให้บริการเว็บเซิร์ฟเวอร์
- 2) เครื่องมือสำหรับส่วนอินเทอร์เน็ต คือ เทคโนโลยีในการสื่อสารต่าง ๆ สามารถเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เพื่อการเข้าถึงเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์ เช่น เทคโนโลยี 3G/4G/5G เทคโนโลยีเครือข่าย LAN/Wi-Fi เป็นต้น
- 3) เครื่องมือสำหรับส่วนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ คือ อุปกรณ์สื่อสารที่สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ต และเปิดแอปพลิเคชัน Browser ได้ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น

โดยมีขั้นตอนในการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ดังนี้

1) การพัฒนาระบบเป็นการสร้างแบบฟอร์มสำหรับการกรอกข้อมูลโดยวิธีการป้อนค่าและการเลือกค่า โดยค่าปัจจัยต่าง ๆ ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

2) กำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการป้อนปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด

ตัวแปร	Factor	ค่าในระบบ
X_1	ชนิดวัสดุ (Flute)	C, BC
X_2	เส้นรอบรูปกล่อง (Perimeter)	120 - 180
X_3	ความสูงกล่อง (Height)	25 - 40
X_4	อัตราส่วนความยาวต่อ ความกว้างกล่อง (L/W Ratio)	1.0 - 2.5
X_5	รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง (Pattern)	Box
		Box+Handle
		Box+Handle+Hole

บทที่ 4

ผลการวิจัย

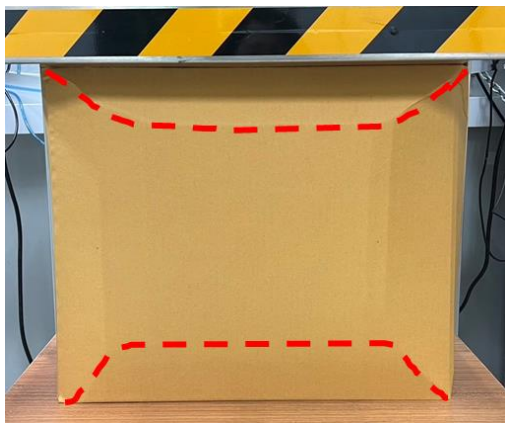
การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกดและพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คณะผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัย ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกด้วยเครื่องกดกล่อง (Box Compression Tester) ในห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ซ้ำต่อ 1 โครงสร้างการออกแบบกล่องลูกฟูก ได้ผลค่าความสามารถในการรับแรงกด หรือค่า BCT ดังตารางที่ 4.1 และพบว่าลักษณะของกล่องหลังจากการ กดกล่องมีความเสียหายของกล่องลูกฟูก 2 ลักษณะตามรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องลูกฟูก ดังนี้

กล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง และกล่องลูกฟูกที่มีการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน มีลักษณะของความเสียหายเกิดขึ้นเมื่อแรงกดกล่องมากขึ้นจนทำให้ส่วนด้านข้างของกล่องมีการโก่งออก แล้วเกิดหักงอเป็นเส้นโค้งตามแนวระนาบของกล่อง โดยจุดเสียหายจะเริ่มจากมุมกล่อง ซึ่งกล่องลูกฟูกที่มีการเจาะมือจับด้านข้างมีลักษณะของความเสียหายของกล่องเช่นเดียวกัน

กล่องลูกฟูกแบบที่มีการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ มีลักษณะของความเสียหายเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับกล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง และกล่องลูกฟูกที่มีการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน คือ เมื่อแรงกดกล่องมากขึ้นจนทำให้ส่วนด้านข้างของกล่องมีการโก่งออก โดยจุดเสียหายเริ่มจากมุมกล่อง แต่ลักษณะการเสียหายจะเกิดการหักงอเป็นเส้นโค้งวิ่งเข้าหารูวงกลม ทำให้เกิดรอยความเสียหายชัดเจน และส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกดลดลงอย่างมาก



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะความเสียหายของกล่องลูกฟูกเมื่อผ่านเครื่องกดกล่อง

- (ก) กล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง
- (ข) กล่องลูกฟูกที่มีการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และเจาะมือจับ
- (ค) กล่องลูกฟูกแบบที่มีการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลม ด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ

ตารางที่ 4.1 ค่า BCT ของกล่องลูกฟูกจากเครื่องกดกล่อง

ตัวอย่างที่	ชนิดลอน	เส้นรอบรูป	ความสูง (cm)	L/W ratio	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	รูปแบบเจาะรู	BCT-1 (kg)	BCT-2 (kg)	BCT-3 (kg)	ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ (kg)	S.D.*
1	C	120	25	1	30	30	Handle	168.25	197.32	177.74	181.10	12.10
2	C	120	25	1	30	30	Breath + Handle	201.09	173.25	178.96	184.43	12.01
3	C	120	25	1	30	30	No hole	192.42	202.62	188.55	194.53	5.94
4	C	120	25	1.5	36	24	Handle	194.87	196.60	179.27	190.25	7.80
5	C	120	25	1.5	36	24	Breath + Handle	186.20	176.21	175.80	179.40	4.81
6	C	120	25	1.5	36	24	No hole	166.42	198.44	181.61	182.16	13.08
7	C	120	25	2.5	43	17	Handle	166.62	168.05	139.60	158.09	13.09
8	C	120	25	2.5	43	17	Breath + Handle	161.12	160.40	167.95	163.16	3.40
9	C	120	25	2.5	43	17	No hole	182.33	189.06	181.10	184.16	3.50
10	C	120	30	1	30	30	Handle	209.55	202.01	238.00	216.52	15.50
11	C	120	30	1	30	30	Breath + Handle	184.16	194.36	230.46	202.99	19.86
12	C	120	30	1	30	30	No hole	200.17	223.01	187.93	203.71	14.54
13	C	120	30	1.5	36	24	Handle	196.40	191.61	194.66	194.22	1.98
14	C	120	30	1.5	36	24	Breath + Handle	179.16	175.80	188.75	181.24	5.49
15	C	120	30	1.5	36	24	No hole	190.28	189.77	212.41	197.49	10.55
16	C	120	30	2.5	43	17	Handle	167.13	157.55	176.41	167.03	7.70
17	C	120	30	2.5	43	17	Breath + Handle	169.17	162.03	172.13	167.78	4.24
18	C	120	30	2.5	43	17	No hole	172.03	189.57	187.93	183.18	7.91
19	C	120	35	1	30	30	Handle	201.39	213.22	230.97	215.19	12.15
20	C	120	35	1	30	30	Breath + Handle	218.93	217.91	204.76	213.87	6.45
21	C	120	35	1	30	30	No hole	198.13	206.39	194.26	199.59	5.06
22	C	120	35	1.5	36	24	Handle	198.44	203.33	190.69	197.49	5.21
23	C	120	35	1.5	36	24	Breath + Handle	186.81	187.32	190.08	188.07	1.43
24	C	120	35	1.5	36	24	No hole	214.65	194.87	200.27	203.26	8.35
25	C	120	35	2.5	43	17	Handle	163.05	165.81	177.13	168.66	6.09
26	C	120	35	2.5	43	17	Breath + Handle	176.00	162.75	165.19	167.98	5.76
27	C	120	35	2.5	43	17	No hole	184.47	180.69	178.55	181.24	2.44
28	C	120	40	1	30	30	Handle	211.90	212.00	200.48	208.12	5.41
29	C	120	40	1	30	30	Breath + Handle	189.67	205.47	212.31	202.48	9.48
30	C	120	40	1	30	30	No hole	197.21	210.06	208.94	205.41	5.81
31	C	120	40	1.5	36	24	Handle	207.41	189.16	220.67	205.75	12.92
32	C	120	40	1.5	36	24	Breath + Handle	192.93	167.34	201.19	187.15	14.41
33	C	120	40	1.5	36	24	No hole	213.43	208.02	196.91	206.12	6.88
34	C	120	40	2.5	43	17	Handle	178.76	182.22	176.41	179.13	2.39
35	C	120	40	2.5	43	17	Breath + Handle	163.46	173.86	174.27	170.53	5.00
36	C	120	40	2.5	43	17	No hole	210.67	189.57	186.20	195.48	10.83
37	C	180	25	1	45	45	Handle	183.65	193.64	198.64	191.98	6.23
38	C	180	25	1	45	45	Breath + Handle	189.77	183.86	210.67	194.77	11.50
39	C	180	25	1	45	45	No hole	251.06	253.81	244.53	249.80	3.89
40	C	180	25	1.5	54	36	Handle	226.17	190.08	197.01	204.42	15.64
41	C	180	25	1.5	54	36	Breath + Handle	202.62	206.09	208.43	205.71	2.39
42	C	180	25	1.5	54	36	No hole	239.23	274.92	282.36	265.50	18.83
43	C	180	25	2.5	64	26	Handle	159.28	159.08	149.08	155.81	4.76
44	C	180	25	2.5	64	26	Breath + Handle	143.68	159.28	143.68	148.88	7.35
45	C	180	25	2.5	64	26	No hole	164.07	153.57	156.73	158.12	4.40
46	C	180	30	1	45	45	Handle	214.35	240.65	210.78	221.93	13.32
47	C	180	30	1	45	45	Breath + Handle	201.29	210.06	189.87	200.41	8.27
48	C	180	30	1	45	45	No hole	184.57	245.24	247.79	225.87	29.22
49	C	180	30	1.5	54	36	Handle	227.70	204.05	219.44	217.06	9.80
50	C	180	30	1.5	54	36	Breath + Handle	196.40	205.27	226.07	209.25	12.44
51	C	180	30	1.5	54	36	No hole	217.91	256.77	229.44	234.71	16.29
52	C	180	30	2.5	64	26	Handle	204.05	200.37	222.50	208.97	9.68
53	C	180	30	2.5	64	26	Breath + Handle	152.55	185.59	195.89	178.01	18.49
54	C	180	30	2.5	64	26	No hole	234.13	213.22	193.64	213.67	16.53
55	C	180	35	1	45	45	Handle	204.45	246.06	206.70	219.07	19.11
56	C	180	35	1	45	45	Breath + Handle	213.53	209.25	214.55	212.44	2.30
57	C	180	35	1	45	45	No hole	253.91	263.50	237.39	251.60	10.78
58	C	180	35	1.5	54	36	Handle	231.99	213.94	228.72	224.88	7.85
59	C	180	35	1.5	54	36	Breath + Handle	218.53	217.81	210.67	215.67	3.55
60	C	180	35	1.5	54	36	No hole	238.00	283.48	219.04	246.84	27.04
61	C	180	35	2.5	64	26	Handle	216.38	199.05	211.69	209.04	7.32
62	C	180	35	2.5	64	26	Breath + Handle	151.02	161.42	169.27	160.57	7.48
63	C	180	35	2.5	64	26	No hole	222.40	200.07	200.58	207.68	10.41
64	C	180	40	1	45	45	Handle	210.37	218.73	225.46	218.19	6.17
65	C	180	40	1	45	45	Breath + Handle	220.26	211.08	235.15	222.16	9.92
66	C	180	40	1	45	45	No hole	219.75	241.98	199.15	220.29	17.49
67	C	180	40	1.5	54	36	Handle	203.13	213.84	208.12	208.36	4.37
68	C	180	40	1.5	54	36	Breath + Handle	238.72	228.42	221.28	229.47	7.16
69	C	180	40	1.5	54	36	No hole	244.02	244.43	260.13	249.53	7.50
70	C	180	40	2.5	64	26	Handle	202.41	234.64	209.04	215.36	13.89
71	C	180	40	2.5	64	26	Breath + Handle	202.41	183.65	178.45	188.17	10.29
72	C	180	40	2.5	64	26	No hole	222.81	234.64	229.44	228.96	4.84

หมายเหตุ: *S.D. = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.1 ค่า BCT ของกล่องลูกฟูกจากเครื่องกดกล่อง (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ชนิดลอน	เส้นรอบรูป	ความสูง (cm)	L/W ratio	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	รูปแบบเจาะรู	BCT-1 (Kg)	BCT-2 (Kg)	BCT-3 (Kg)	ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ (kg)	S.D.*
73	BC	120	25	1	30	30	Handle	351.70	372.50	377.50	367.24	11.17
74	BC	120	25	1	30	30	Breath + Handle	420.94	390.14	382.40	397.83	16.65
75	BC	120	25	1	30	30	No hole	361.29	369.85	354.25	361.80	6.38
76	BC	120	25	1.5	36	24	Handle	463.77	403.50	451.02	439.43	25.93
77	BC	120	25	1.5	36	24	Breath + Handle	327.43	346.40	338.95	337.60	7.80
78	BC	120	25	1.5	36	24	No hole	342.73	400.85	383.21	375.60	24.33
79	BC	120	25	2.5	43	17	Handle	295.82	333.35	353.13	327.43	23.77
80	BC	120	25	2.5	43	17	Breath + Handle	291.23	274.10	326.41	297.25	21.78
81	BC	120	25	2.5	43	17	No hole	350.68	407.07	303.47	353.74	42.35
82	BC	120	30	1	30	30	Handle	450.21	398.20	435.93	428.11	21.94
83	BC	120	30	1	30	30	Breath + Handle	402.28	442.15	416.86	420.43	16.47
84	BC	120	30	1	30	30	No hole	452.35	374.24	350.99	392.52	43.35
85	BC	120	30	1.5	36	24	Handle	514.35	386.07	430.32	443.58	53.20
86	BC	120	30	1.5	36	24	Breath + Handle	328.76	382.40	333.35	348.17	24.28
87	BC	120	30	1.5	36	24	No hole	469.89	426.04	341.50	412.48	53.28
88	BC	120	30	2.5	43	17	Handle	309.28	313.56	348.74	323.86	17.68
89	BC	120	30	2.5	43	17	Breath + Handle	325.80	283.58	305.20	304.86	17.24
90	BC	120	30	2.5	43	17	No hole	404.73	340.79	350.99	365.50	28.05
91	BC	120	35	1	30	30	Handle	397.38	353.94	456.53	402.62	42.04
92	BC	120	35	1	30	30	Breath + Handle	355.17	414.92	443.48	404.52	36.79
93	BC	120	35	1	30	30	No hole	459.49	355.78	423.08	412.78	42.96
94	BC	120	35	1.5	36	24	Handle	475.90	457.85	438.07	457.28	15.45
95	BC	120	35	1.5	36	24	Breath + Handle	366.28	338.75	361.29	355.44	11.98
96	BC	120	35	1.5	36	24	No hole	479.68	368.93	295.31	381.31	75.77
97	BC	120	35	2.5	43	17	Handle	322.95	371.59	332.12	342.22	21.10
98	BC	120	35	2.5	43	17	Breath + Handle	282.36	296.33	317.85	298.85	14.60
99	BC	120	35	2.5	43	17	No hole	393.61	323.97	341.50	353.03	29.58
100	BC	120	40	1	30	30	Handle	424.51	407.68	409.32	413.84	7.58
101	BC	120	40	1	30	30	Breath + Handle	381.68	503.13	398.20	427.67	53.78
102	BC	120	40	1	30	30	No hole	524.44	380.25	396.06	433.58	64.57
103	BC	120	40	1.5	36	24	Handle	450.00	458.87	337.94	415.60	55.04
104	BC	120	40	1.5	36	24	Breath + Handle	407.07	389.23	362.41	386.24	18.36
105	BC	120	40	1.5	36	24	No hole	421.65	426.65	342.63	396.98	38.49
106	BC	120	40	2.5	43	17	Handle	302.14	308.26	311.93	307.45	4.04
107	BC	120	40	2.5	43	17	Breath + Handle	296.74	300.41	277.77	291.64	9.92
108	BC	120	40	2.5	43	17	No hole	450.92	357.41	405.24	404.52	38.18
109	BC	180	25	1	45	45	Handle	352.42	437.15	350.58	380.05	40.39
110	BC	180	25	1	45	45	Breath + Handle	369.95	368.63	354.25	364.28	7.11
111	BC	180	25	1	45	45	No hole	491.61	488.55	534.54	504.90	21.00
112	BC	180	25	1.5	54	36	Handle	437.36	382.50	396.57	405.47	23.27
113	BC	180	25	1.5	54	36	Breath + Handle	393.61	341.20	385.56	373.46	23.05
114	BC	180	25	1.5	54	36	No hole	392.39	477.13	388.92	419.48	40.79
115	BC	180	25	2.5	64	26	Handle	413.80	400.14	396.16	403.37	7.56
116	BC	180	25	2.5	64	26	Breath + Handle	314.18	301.63	306.94	307.58	5.14
117	BC	180	25	2.5	64	26	No hole	400.14	389.53	411.46	400.38	8.95
118	BC	180	30	1	45	45	Handle	401.87	429.91	443.88	425.22	17.47
119	BC	180	30	1	45	45	Breath + Handle	350.38	380.87	423.18	384.81	29.85
120	BC	180	30	1	45	45	No hole	469.99	405.64	390.96	422.20	34.32
121	BC	180	30	1.5	54	36	Handle	404.73	461.63	448.47	438.28	24.32
122	BC	180	30	1.5	54	36	Breath + Handle	411.05	417.58	415.74	414.79	2.75
123	BC	180	30	1.5	54	36	No hole	432.87	494.87	410.74	446.16	35.61
124	BC	180	30	2.5	64	26	Handle	417.27	395.04	404.83	405.71	9.10
125	BC	180	30	2.5	64	26	Breath + Handle	356.09	364.45	374.24	364.92	7.42
126	BC	180	30	2.5	64	26	No hole	419.92	395.14	422.06	412.37	12.22
127	BC	180	35	1	45	45	Handle	564.42	521.08	452.45	512.65	46.10
128	BC	180	35	1	45	45	Breath + Handle	401.97	432.67	443.68	426.11	17.65
129	BC	180	35	1	45	45	No hole	536.07	394.02	395.75	441.95	66.56
130	BC	180	35	1.5	54	36	Handle	502.52	486.61	447.35	478.83	23.18
131	BC	180	35	1.5	54	36	Breath + Handle	399.42	379.13	407.68	395.41	12.00
132	BC	180	35	1.5	54	36	No hole	579.30	418.29	414.01	470.53	76.93
133	BC	180	35	2.5	64	26	Handle	390.55	371.59	398.51	386.88	11.29
134	BC	180	35	2.5	64	26	Breath + Handle	329.37	361.39	337.32	342.69	13.61
135	BC	180	35	2.5	64	26	No hole	398.61	427.87	409.83	412.10	12.06
136	BC	180	40	1	45	45	Handle	473.56	507.11	380.76	453.81	53.44
137	BC	180	40	1	45	45	Breath + Handle	373.32	451.12	420.02	414.82	31.98
138	BC	180	40	1	45	45	No hole	414.11	407.38	496.40	439.30	40.47
139	BC	180	40	1.5	54	36	Handle	465.20	450.51	481.51	465.74	12.66
140	BC	180	40	1.5	54	36	Breath + Handle	395.14	407.07	419.61	407.28	9.99
141	BC	180	40	1.5	54	36	No hole	510.78	388.82	367.41	422.33	63.15
142	BC	180	40	2.5	64	26	Handle	394.12	334.26	377.19	368.53	25.19
143	BC	180	40	2.5	64	26	Breath + Handle	297.45	314.89	317.23	309.86	8.82
144	BC	180	40	2.5	64	26	No hole	360.78	383.21	406.77	383.58	18.78

หมายเหตุ: *S.D. = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

งานวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก 5 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกด (Compression Test หรือ Box Compression Test, BCT) ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BCT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	451235983.220 ^a	143	3155496.386	37.440	.000
Intercept	3673885917.780	1	3673885917.780	43590.498	.000
Flute	390220174.169	1	390220174.169	4629.946	.000
Perimeter	8144690.947	1	8144690.947	96.636	.000
Height	2754134.211	3	918044.737	10.893	.000
Ratio	18952156.282	2	9476078.141	112.433	.000
Pattern	8007248.421	2	4003624.211	47.503	.000
Flute * Perimeter	369544.502	1	369544.502	4.385	.037
Flute * Height	204554.229	3	68184.743	.809	.490
Flute * Ratio	2694960.032	2	1347480.016	15.988	.000
Flute * Pattern	2060356.616	2	1030178.308	12.223	.000
Perimeter * Height	343730.044	3	114576.681	1.359	.255
Perimeter * Ratio	262675.838	2	131337.919	1.558	.212
Perimeter * Pattern	952378.921	2	476189.461	5.650	.004
Height * Ratio	405672.199	6	67612.033	.802	.569
Height * Pattern	766259.060	6	127709.843	1.515	.173
Ratio * Pattern	1681450.787	4	420362.697	4.988	.001
Flute * Perimeter * Height	313626.303	3	104542.101	1.240	.295
Flute * Perimeter * Ratio	398739.532	2	199369.766	2.366	.096
Flute * Perimeter * Pattern	91229.894	2	45614.947	.541	.583
Flute * Height * Ratio	1133173.931	6	188862.322	2.241	.040
Flute * Height * Pattern	232752.681	6	38792.113	.460	.837
Flute * Ratio * Pattern	1471170.204	4	367792.551	4.364	.002
Perimeter * Height * Ratio	873137.532	6	145522.922	1.727	.115

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย (ต่อ)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Perimeter * Height * Pattern	1052954.005	6	175492.334	2.082	.055
Perimeter * Ratio * Pattern	1844388.398	4	461097.100	5.471	.000
Height * Ratio * Pattern	1289904.676	12	107492.056	1.275	.232
Flute * Perimeter * Height * Ratio	687575.912	6	114595.985	1.360	.231
Flute * Perimeter * Height * Pattern	668203.662	6	111367.277	1.321	.247
Flute * Perimeter * Ratio * Pattern	469540.426	4	117385.106	1.393	.236
Flute * Height * Ratio * Pattern	675012.889	12	56251.074	.667	.782
Perimeter * Height * Ratio * Pattern	898390.065	12	74865.839	.888	.559
Flute * Perimeter * Height * Ratio * Pattern	1316196.852	12	109683.071	1.301	.217
Error	24273160.000	288	84281.806		
Total	4149395061.000	432			
Corrected Total	475509143.220	431			

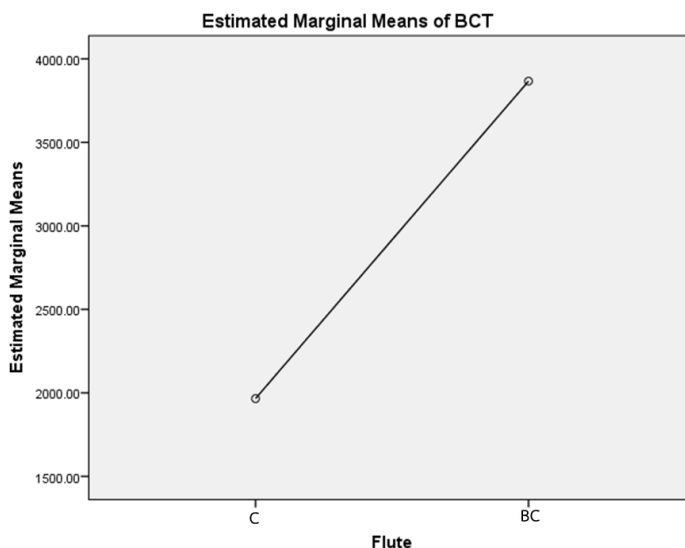
จากตารางที่ 4.2 ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ปัจจัยด้านชนิดวัสดุ เส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องส่งผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2.1 การวิเคราะห์ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

การวิเคราะห์ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด แบ่งออกเป็น 5 ปัจจัย ประกอบด้วย ชนิดวัสดุ (Flute) เส้นรอบรูปกล่อง (Perimeter) ความสูงกล่อง (Height) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง (Ratio) และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง (Pattern) แสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) การวิเคราะห์ปัจจัยชนิดวัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปัจจัยชนิดวัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.2



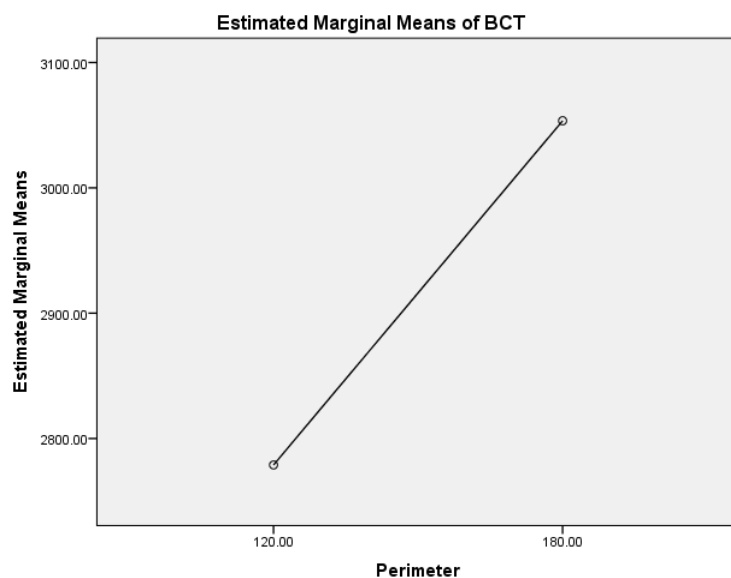
ภาพที่ 4.2 ปัจจัยชนิดวัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.2 พบว่า กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงกว่ากระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ หากเลือกใช้วัสดุกระดาษลูกฟูกโดยเพิ่มความหนาของกระดาษลูกฟูกให้มากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

2) การวิเคราะห์ปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปัจจัยปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตร ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.3



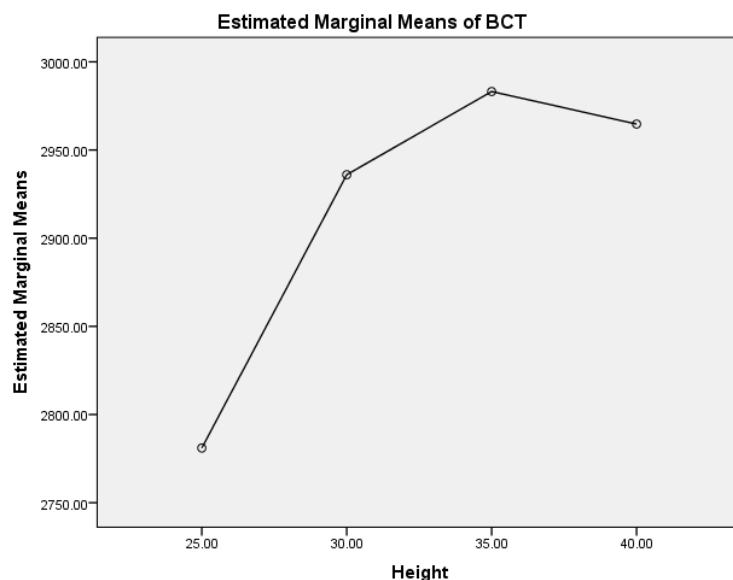
ภาพที่ 4.3 ปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.3 พบว่า เส้นรอบรูปกล่อง 180 เซนติเมตร จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงกว่าเส้นรอบรูปกล่อง 120 เซนติเมตร ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การประยุกต์ผลงานวิจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ หากกำหนดขนาดความยาวเส้นรอบรูปกล่องให้มีค่าสูงขึ้น (ขนาดกล่องใหญ่) จะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

3) การวิเคราะห์ปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด โดยความสูงกล่อง ด้านนอก แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 25, 30, 35, 40 เซนติเมตร ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.4



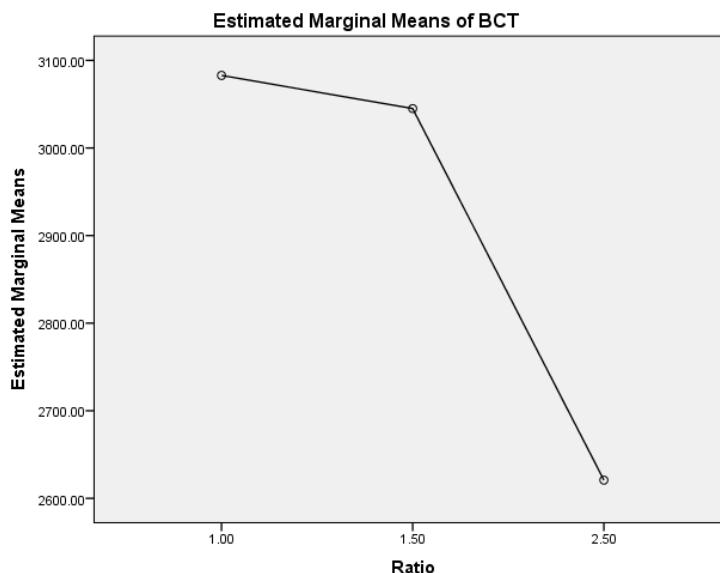
ภาพที่ 4.4 ปัจจัยความสูงที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.4 พบว่า ความสูงกล่องด้านนอกในระดับ 25, 30 และ 35 เซนติเมตร จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความสูงกล่องด้านนอกในระดับ 40 เซนติเมตร จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ต่ำลง

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ หากเพิ่มความสูงกล่องด้านนอกจะมีส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อถึงระดับความสูงที่เกินกว่า 35 เซนติเมตรขึ้นไปค่าความสามารถในการรับแรงกดจะต่ำลง

4) การวิเคราะห์ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด โดยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.5



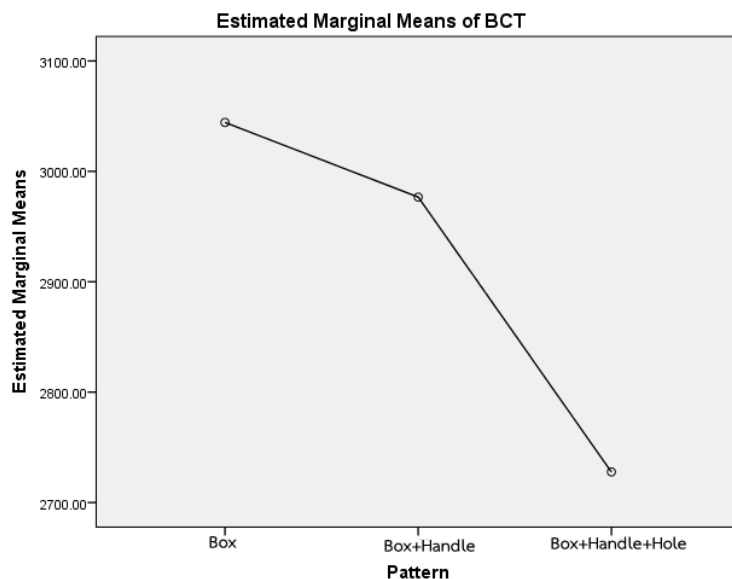
ภาพที่ 4.5 ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.5 พบว่า อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องเท่ากับ 1.0 มีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องเท่ากับ 1.5 และ 2.5 และเมื่อเปรียบเทียบรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ารูปทรงเดียวกันที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแตกต่างกัน พบว่ากล่องที่ออกแบบด้วยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องเท่ากับ 2.5 มีค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำกว่ากล่องที่ออกแบบอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องเท่ากับ 1.5

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากต้องการกล่องลูกฟูกที่มีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงควรออกแบบให้มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องเท่ากับ 1.0 หรือพื้นที่รับแรงกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สำหรับการออกแบบกล่องลูกฟูกพื้นที่รับแรงกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า นั้น ไม่ควรกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแตกต่างกันมากนัก เพราะจะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ลดลง

5) การวิเคราะห์ปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษารูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด โดยการเจาะหน้าต่างที่ผิวกล่อง เพื่อการใช้งานเฉพาะด้าน แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.6 พบว่ารูปแบบการไม่เจาะช่องหน้าต่าง จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงกว่ารูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้และเจาะมือจับจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำที่สุด

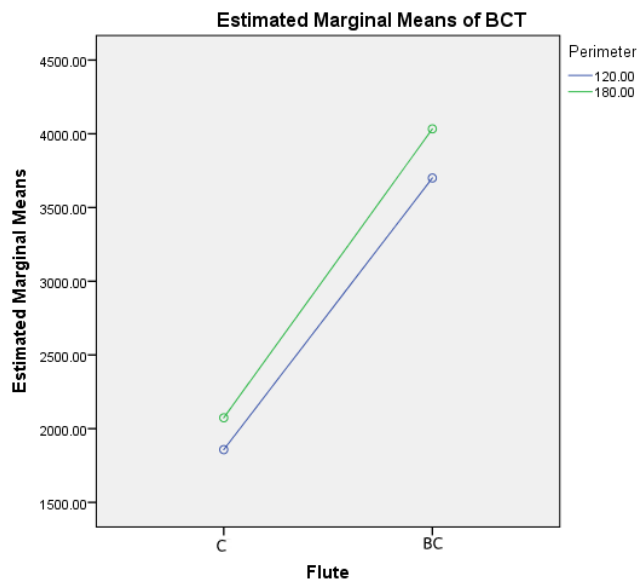
การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากออกแบบโครงสร้างกล่องที่มีพื้นที่การเจาะหน้าต่างที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ต่ำลง

4.2.2 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกด

การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกด ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปัจจัยปฏิสัมพันธ์ 5 รูปแบบ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและเส้นรอบรูปกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปกล่องและรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด และการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องและรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด รายละเอียดดังนี้

1) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ และปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 และเส้นรอบรูปกล่อง แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตร ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุและปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

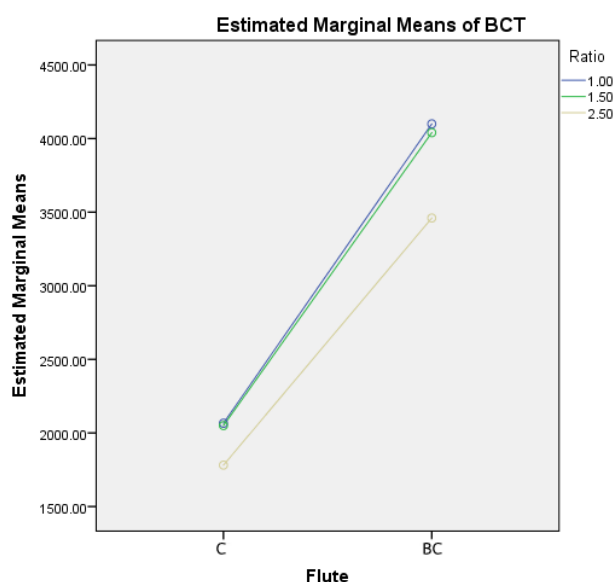
จากภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 และปัจจัยเส้นรอบรูปกล่อง แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ

180 เซนติเมตรที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่าทั้ง 2 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยกระดากลูกฟูก 5 ชั้นที่มีเส้นรอบรูป 180 เซนติเมตรจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่ากระดากลูกฟูก 3 ชั้นที่มีเส้นรอบรูป 120 เซนติเมตร

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน BC ที่มีขนาดกล่องใหญ่ (เส้นรอบรูปกล่องให้มีค่าสูง) จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน C ที่มีขนาดกล่องเล็ก (เส้นรอบรูปกล่องมีค่าน้อย)

2) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ และปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดากลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดากลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 และปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุและปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

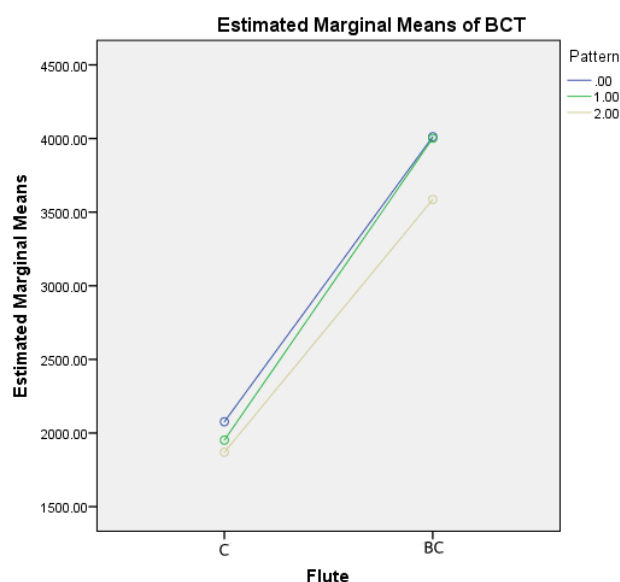
จากภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดากลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดากลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 และปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก โดยการเลือกใช้ชนิดวัสดุและการกำหนดค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องจะมีผลต่อค่าความสามารถ

ในการรับแรงกด โดยการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน BC ของทุกอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงกว่าชนิดวัสดุลอน C ของทุกอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง

3) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน ขนาด 3x9 เซนติเมตร, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่อง และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

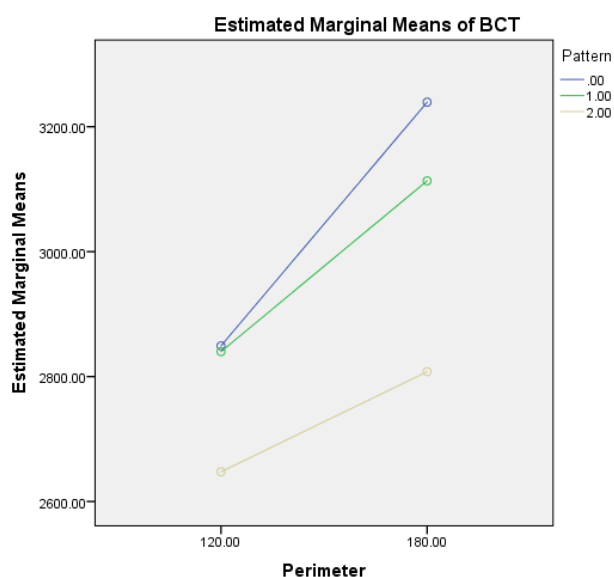
จากภาพที่ 4.9 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยกระดาษลูกฟูก 5 ชั้นแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่า

กระดาดลูกฟูก 3 ชั้นที่เจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และกระดาดลูกฟูก 3 ชั้นที่เจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่อง ตามลำดับ

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน BC โดยไม่เจาะช่องหน้าต่างจะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน C ที่ไม่เจาะช่องหน้าต่าง และการเลือกใช้วัสดุทั้งลอน BC และลอน C ที่มีพื้นที่การเจาะช่องหน้าต่างที่ด้านกว้างและด้านยาวมีพื้นที่มากขึ้นจะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ลดลง

4) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกล่อง และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตรและรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

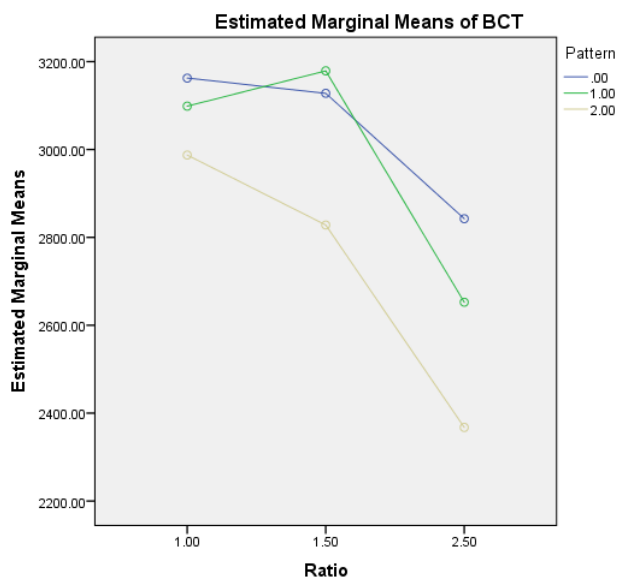
จากภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกล่องแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตรและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ที่ความยาวเส้นรอบรูปกล่อง 180 เซนติเมตรแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าแบบที่เจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และแบบที่เจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับตามลำดับ และความยาวเส้นรอบรูปกล่อง 120 เซนติเมตรก็ให้ผลการวิจัยสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากกำหนดขนาดกล่องให้มีความยาวเส้นรอบรูปที่มีค่าสูง (กล่องที่มีขนาดใหญ่) จะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องที่มีค่าสูงมากกว่ากล่องให้มีความยาวเส้นรอบรูปที่มีค่าต่ำ (กล่องที่มีขนาดเล็ก) และการออกแบบกล่องโดยไม่เจาะช่องหน้าต่าง ทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องที่มีค่าสูง และหากมีการออกแบบให้มีพื้นที่เจาะช่องหน้าต่างที่เพิ่มขึ้นทั้งด้านกว้างและด้านยาวกล่อง จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องลดลง

5) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.11 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและ

ผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 แบบไม่เจาะช่องหน้าต่างจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าแบบที่เจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 ให้ผลการวิจัยสอดคล้องกันไปทิศทางเดียวกัน แต่ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.5 ให้ผลการวิจัยที่แตกต่างกัน คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่ารูปแบบเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ

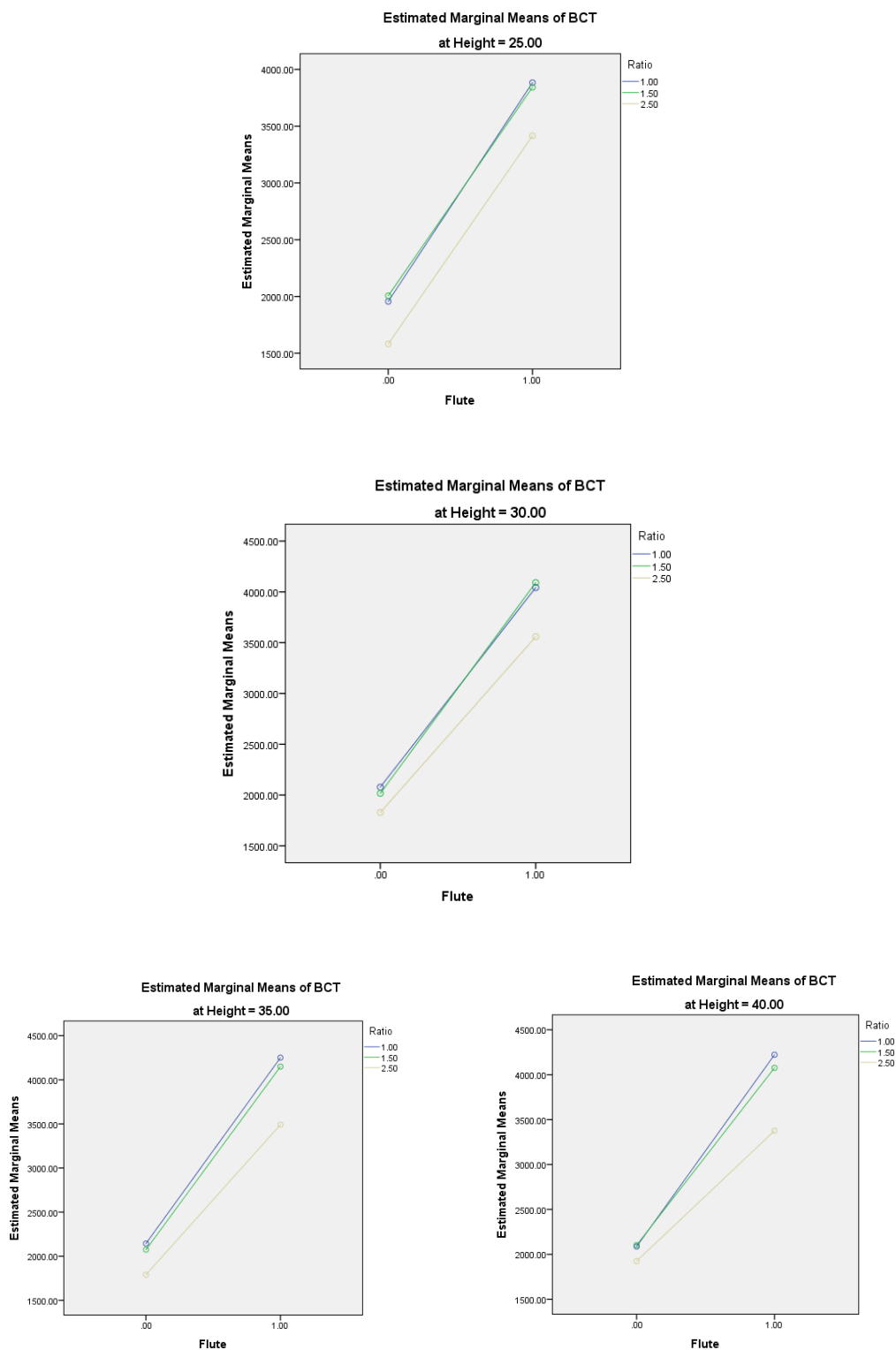
การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 (พื้นที่รับแรงกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส) และเป็นแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างจะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องมีค่าสูงมากกว่ากล่องที่มีการเจาะช่องหน้าต่างหรือกล่องที่มีการกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแตกต่างกันมาก

4.2.3 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 3 ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกด

การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 3 ปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกด ประกอบด้วยปฏิสัมพันธ์ 3 รูปแบบ ดังนี้ การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยรูปทรงกล่อง และปัจจัยความสูงกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด และการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูป ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องและปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

1) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และปัจจัยความสูงกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และปัจจัยระดับความสูงกล่อง แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.12



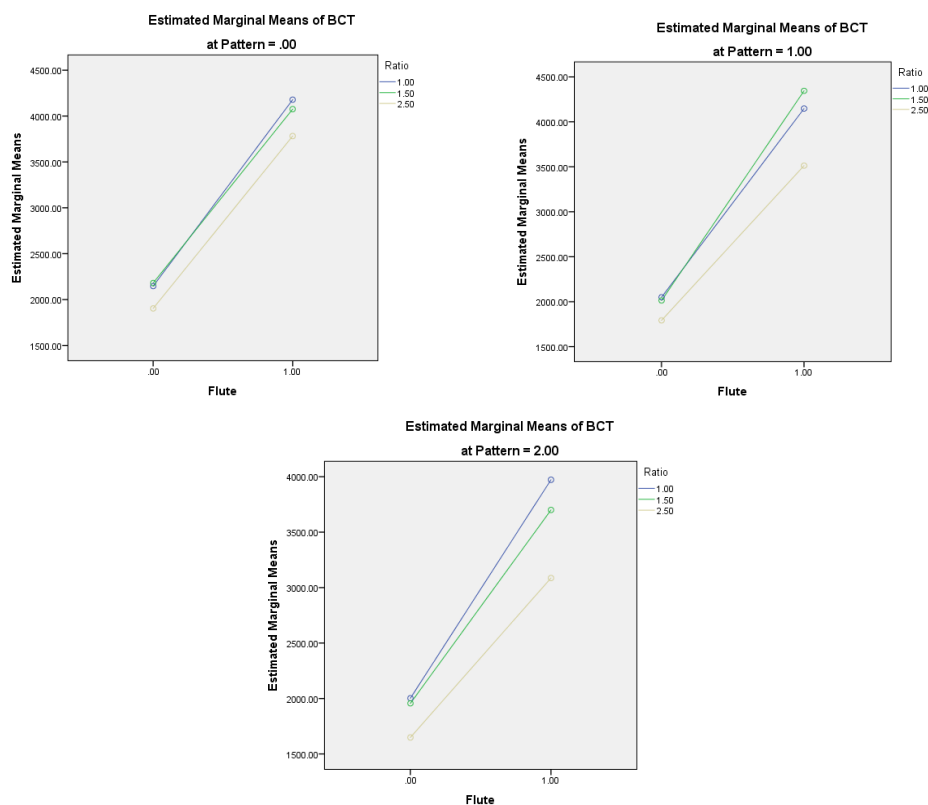
ภาพที่ 4.12 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และ ปัจจัยความสูงกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.12 การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และปัจจัยระดับความสูงกล่อง แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยในทุก ระดับความสูงกล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงกว่ากระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และชนิดวัสดุทั้ง 2 ชนิดในทุก ระดับความสูงของกล่องที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดใกล้เคียงกับอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.5 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากเลือกใช้ชนิด วัสดุกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความยาวของกล่อง 1.0 รูปทรงสี่เหลี่ยม จตุรัส และมีความสูงกล่องที่สูงจะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงสุด

2) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อ ความกว้างกล่อง และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรง กด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษ ลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการ เจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและ ผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่อง หน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.13



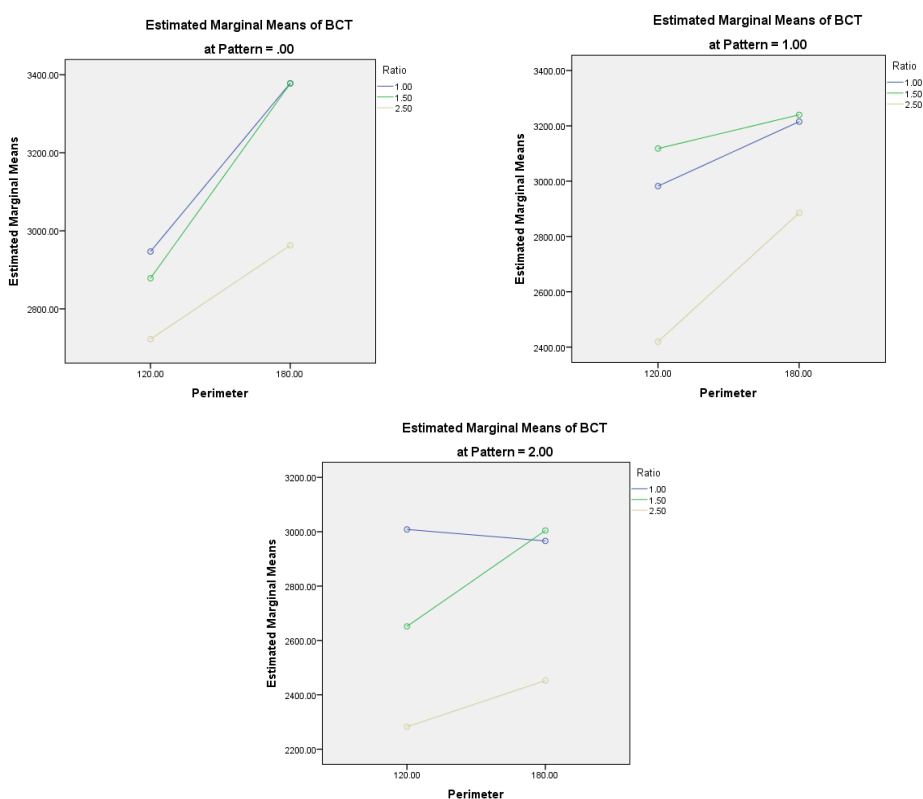
ภาพที่ 4.13 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และ ปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.13 ปฏิสัมพันธ์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดวัสดุ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C เกรด KA150/CM115/KA125 และ กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC เกรด KI150/CM115/CM105/CM115/KI125 ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยในทุก รูปแบบของการเจาะช่องหน้าต่าง กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และ 1.5 จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่สูงกว่ากระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ลอน C มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากเลือกใช้ชนิดวัสดุกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ในทุกรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และ 1.5 (กล่องที่มีพื้นที่รับแรงกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส) จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดได้ดีกว่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 (กล่องที่มีพื้นที่รับแรงกดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า)

3) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูป ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกล่อง แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตร ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด แสดงผลการวิจัยดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูป ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และปัจจัยรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากภาพที่ 4.14 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเส้นรอบรูปกล่อง แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 120 และ 180 เซนติเมตร ปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 1.0, 1.5 และ 2.5 และรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน, รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ และแบบไม่เจาะช่องหน้าต่างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงกด พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยเส้นรอบรูปทั้ง 120 และ 180

เซนติเมตร ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 และในทุกรูปแบบการเจาะรูหน้าต่างกล่อง จะมีค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ต่ำกว่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ

การไม่เจาะช่องหน้าต่าง และการเจาะช่องหน้าต่างกล่องเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ใกล้เคียงกัน แต่การเจาะช่องหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังแบบรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเจาะมือจับ ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่ลดลงเมื่อเพิ่มความยาวเส้นรอบรูปกล่องให้สูงขึ้น

การประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก หากกำหนดเส้นรอบรูปกล่องให้น้อยลง (กล่องมีขนาดเล็ก) และมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 และมีการเจาะช่องหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังและเจาะมือจับ จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำที่สุด

4.3 การสร้างแบบจำลอง

สร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 24 เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม โดยตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระประกอบด้วย 5 ตัวแปร ได้แก่ ชนิดของวัสดุ เส้นรอบรูปกล่อง ความสูงกล่อง อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง และตัวแปรตาม คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกหรือค่า BCT ได้แบบจำลองดังนี้

$$Y = 162.24 + 193.72X_1 + 0.47X_2 + 1.22X_3 - 31.12X_4 - 16.22X_5$$

โดยที่ Y คือ ค่าพยากรณ์ความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูก (kg)

X₁ คือ ชนิดของวัสดุ (เป็นตัวแปรดัมมี่โดยกำหนดค่าลอน C = 0 และลอน BC = 1)

X₂ คือ เส้นรอบรูปกล่องลูกฟูก (cm) โดยมีค่า 120 - 180 cm

X₃ คือ ความสูงกล่องลูกฟูก (cm) โดยมีค่า 25 - 40 cm

X₄ คือ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง โดยมีค่า 1.0 - 2.5

X₅ คือ รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องลูกฟูก (โดยแปลงตัวแปรเป็นมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) โดยกำหนดค่า รูปแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง = 0, รูปแบบเจาะหน้าต่างมือจับ 2 ด้าน = 1 และรูปแบบเจาะหน้าต่างเจาะรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังกล่องและเจาะมือจับ = 2)

แบบจำลองดังกล่าวมีค่า R square เท่ากับ 0.942 และค่า Adjusted R Square เท่ากับ 0.940 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งแสดงถึงแบบจำลองที่ได้มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นตรง นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Durbin-Watson เท่ากับ 1.991 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 - 2.5 แสดงว่าตัวแปรอิสระในแบบจำลองเป็นอิสระต่อกัน ดังตารางที่ 4.3 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามข้อสมมติฐานทางสถิติ

ตารางที่ 4.3 Model Summary ของกลุ่มตัวอย่าง

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.971 ^a	.942	.940	25.54014	1.991

a. Predictors: (Constant), Pattern, Ratio, Height, Perimeter, Flute

b. Dependent Variable: BCT

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้ พิจารณาจากการหาค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ดังสมการที่ 3.1 เพื่อดูความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า BCT ที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง พบว่าค่า MAPE ที่ได้เท่ากับ 6.71 ซึ่งมีค่าน้อยมาก แสดงว่าค่าพยากรณ์ BCT ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่า BCT ที่วัดได้จริงจากเครื่องทดสอบ

4.4 ผลที่ได้จากการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากตัวแบบ 3 ตัวแบบ

การคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากแบบจำลองจากงานวิจัย (Model) และตัวแบบ 3 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบที่ 1 McKee ตัวแบบที่ 2 Wolf และตัวแบบที่ 3 SCG เมื่อนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) เพื่อเปรียบเทียบค่า BCT ที่ได้จากห้องปฏิบัติการกับค่าที่คำนวณได้แต่ละตัวแบบ โดยคิดเฉพาะตัวอย่างที่มีตัวแปรเดียวกันนั้นคือกล่องลูกฟูกที่ไม่มีการเจาะหน้าต่าง จำนวน 48 ตัวอย่าง พบว่าค่า MAPE ของแบบจำลองจากงานวิจัยและตัวแบบ 3 ตัวแบบ ดังตารางที่ 4.4 และเมื่อเรียงค่า MAPE จากค่าน้อยไปหามาก คือ แบบจำลองจากงานวิจัย (Model), ตัวแบบ SCG, ตัวแบบ Wolf และตัวแบบ McKee ซึ่งแสดงถึงแบบจำลองจากงานวิจัยให้ค่า MAPE ต่ำสุดเมื่อเทียบกับตัวแบบอื่น ๆ ดังนั้นการใช้แบบจำลองจากงานวิจัยนี้มาใช้ในการคำนวณหาค่า BCT จึงเหมาะสมที่สุด

ค่า MAPE ของแบบจำลองจากงานวิจัยและตัวแบบ 3 ตัวแบบ และค่าคำนวณความสามารถในการรับแรงกดจากแบบจำลอง (Model) และตัวแบบ 3 ตัว ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลองจากงานวิจัย และตัวแบบ 3 ตัวแบบ

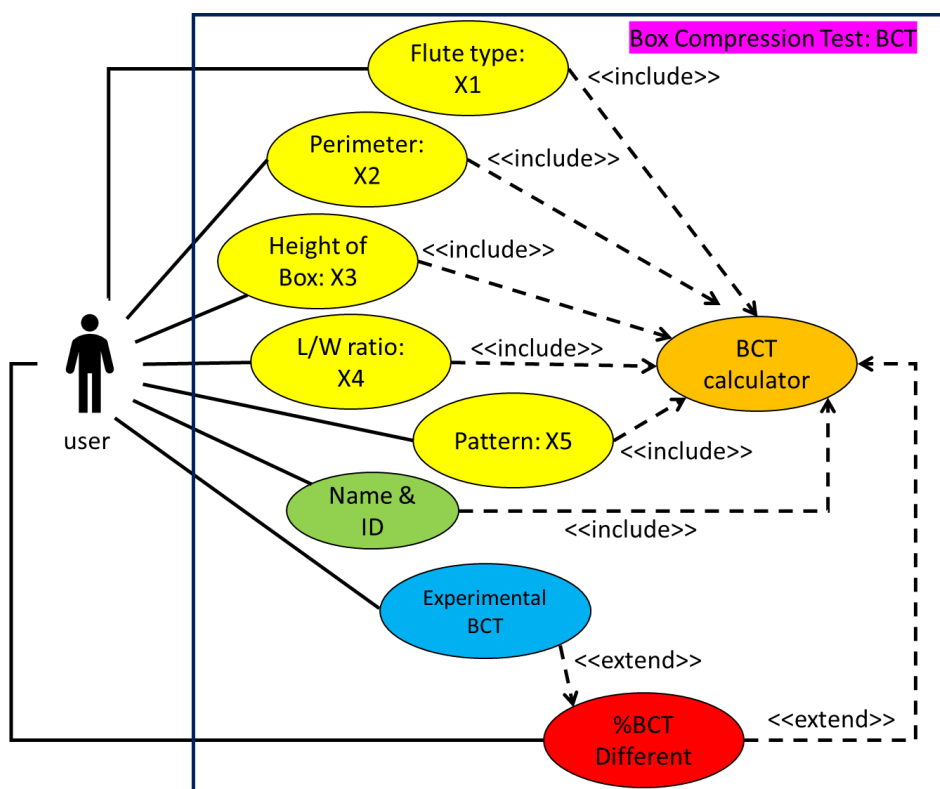
ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์	ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์			
	Model	McKee	Wolf	SCG
MAPE	6.16	22.17	21.83	8.30

ตารางที่ 4.5 การคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดจากแบบจำลอง และตัวแบบ 3 ตัวแบบ

ตัวอย่างที่	ชนิดลอน	เส้นรอบรูป (cm)	ความสูง (cm)	L/W ratio	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	รูปแบบ เจาะรู	BCT Real	BCT Model	BCT McKee	BCT Wolf	BCT SCG
3	C	120	25	1	30	30	No hole	194.53	216.20	150.59	158.94	175.03
6	C	120	25	1.5	36	24	No hole	182.16	199.64	150.59	160.17	175.16
9	C	120	25	2.5	43	17	No hole	184.16	166.52	150.59	138.47	175.60
12	C	120	30	1	30	30	No hole	203.71	222.30	150.59	157.76	185.27
15	C	120	30	1.5	36	24	No hole	197.49	205.74	150.59	158.98	184.58
18	C	120	30	2.5	43	17	No hole	183.18	172.62	150.59	137.44	182.50
21	C	120	35	1	30	30	No hole	199.59	228.40	150.59	156.76	203.44
24	C	120	35	1.5	36	24	No hole	203.26	211.84	150.59	157.97	201.91
27	C	120	35	2.5	43	17	No hole	181.24	178.72	150.59	136.57	197.32
30	C	120	40	1	30	30	No hole	205.41	234.50	150.59	155.91	221.36
33	C	120	40	1.5	36	24	No hole	206.12	217.94	150.59	157.11	218.35
36	C	120	40	2.5	43	17	No hole	195.48	184.82	150.59	135.82	210.82
39	C	180	25	1	45	45	No hole	249.80	244.40	184.43	194.66	214.37
42	C	180	25	1.5	54	36	No hole	265.50	227.84	184.43	196.17	214.53
45	C	180	25	2.5	64	26	No hole	158.12	194.72	184.43	169.59	215.07
48	C	180	30	1	45	45	No hole	225.87	250.50	184.43	193.21	226.91
51	C	180	30	1.5	54	36	No hole	234.71	233.94	184.43	194.70	226.06
54	C	180	30	2.5	64	26	No hole	213.67	200.82	184.43	168.32	223.51
57	C	180	35	1	45	45	No hole	251.60	256.60	184.43	192.00	249.17
60	C	180	35	1.5	54	36	No hole	246.84	240.04	184.43	193.48	247.29
63	C	180	35	2.5	64	26	No hole	207.68	206.92	184.43	167.26	241.66
66	C	180	40	1	45	45	No hole	220.29	262.70	184.43	190.95	271.11
69	C	180	40	1.5	54	36	No hole	249.53	246.14	184.43	192.42	267.43
72	C	180	40	2.5	64	26	No hole	228.96	213.02	184.43	166.35	260.05
75	BC	120	25	1	30	30	No hole	361.80	409.92	284.10	299.86	330.21
78	BC	120	25	1.5	36	24	No hole	375.60	393.36	284.10	302.17	330.46
81	BC	120	25	2.5	43	17	No hole	353.74	360.24	284.10	261.23	331.28
84	BC	120	30	1	30	30	No hole	392.52	416.02	284.10	297.62	349.52
87	BC	120	30	1.5	36	24	No hole	412.48	399.46	284.10	299.92	348.22
90	BC	120	30	2.5	43	17	No hole	365.50	366.34	284.10	259.28	372.25
93	BC	120	35	1	30	30	No hole	412.78	422.12	284.10	295.75	383.81
96	BC	120	35	1.5	36	24	No hole	381.31	405.56	284.10	298.03	380.92
99	BC	120	35	2.5	43	17	No hole	353.03	372.44	284.10	257.65	372.25
102	BC	120	40	1	30	30	No hole	433.58	428.22	284.10	294.13	417.62
105	BC	120	40	1.5	36	24	No hole	396.98	411.66	284.10	296.40	411.94
108	BC	120	40	2.5	43	17	No hole	404.52	378.54	284.10	256.24	397.74
111	BC	180	25	1	45	45	No hole	504.90	438.12	347.95	367.25	404.42
114	BC	180	25	1.5	54	36	No hole	419.48	421.56	347.95	370.08	404.73
117	BC	180	25	2.5	64	26	No hole	400.38	388.44	347.95	319.94	405.74
120	BC	180	30	1	45	45	No hole	422.20	444.22	347.95	364.51	428.08
123	BC	180	30	1.5	54	36	No hole	446.16	427.66	347.95	367.33	426.48
126	BC	180	30	2.5	64	26	No hole	412.37	394.54	347.95	317.56	421.68
129	BC	180	35	1	45	45	No hole	441.95	450.32	347.95	362.21	470.07
132	BC	180	35	1.5	54	36	No hole	470.53	433.76	347.95	365.01	466.53
135	BC	180	35	2.5	64	26	No hole	412.10	400.64	347.95	315.55	455.91
138	BC	180	40	1	45	45	No hole	439.30	456.42	347.95	360.24	511.48
141	BC	180	40	1.5	54	36	No hole	422.33	439.86	347.95	363.02	504.52
144	BC	180	40	2.5	64	26	No hole	383.58	406.74	347.95	313.83	490.60

4.5 การพัฒนาระบบในการฝึกทักษะเสมือนจริง

การพัฒนาระบบประกอบด้วย 1) การกรอกข้อมูลชื่อและรหัสนักศึกษาผู้ใช้งานระบบ 2) การป้อนค่าพารามิเตอร์หรือปัจจัยต่าง ๆ จำนวน 5 ค่า 3) การป้อนค่า BCT ที่ได้จากการทดลองกับเครื่องกดกล่อง (ถ้ามี) 4) ค่า BCT ที่ได้จากการคำนวณจากงานวิจัย 5) การคำนวณร้อยละความแตกต่างของค่า BCT ที่ได้จากการคำนวณและ BCT ที่ได้จากการทดลอง 6) การแสดงผลลัพธ์จากการป้อนค่าและการคำนวณทั้งหมด ความสัมพันธ์ทั้งหมดของแต่ละขั้นตอนแสดงเป็นยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ยูสเคสไดอะแกรมแสดงภาพรวมการทำงานของระบบ BCT Calculator ที่พัฒนา

จากภาพที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในการกรอกข้อมูลรวมถึงการแสดงผลลัพธ์ แต่ละยูสเคสอธิบายได้ดังนี้

Name & ID: กำหนดชื่อผู้ใช้ และรหัสนักศึกษาหรือชื่อบริษัท เป็นข้อมูลสำหรับการใช้งานระบบ

BCT calculator: กำหนดการคำนวณค่า BCT ตามสูตรสมการที่ประกอบด้วยตัวแปร

ชนิดของลอน: X_1

เส้นรอบรูปกล่อง: X_2

ความสูงกล่อง: X_3

อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: X_4

รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง: X_5

แบบจำลองจากงานวิจัย คือ

$$BCT = 162.24 + 193.72X_1 + 0.47X_2 + 1.22X_3 - 31.12X_4 - 16.22X_5$$

โดยแต่ละค่าของตัวแปรได้จากการป้อนค่าจากผู้ใช้งาน และผลลัพธ์ที่ได้ยังเชื่อมโยงหรือต่อยอด (extend) กับการคำนวณค่า BCT และค่าร้อยละความแตกต่างระหว่าง BCT ที่ได้จากแบบจำลองจากงานวิจัยและค่า BCT ที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องกดกล่อง

X_1 คือ การป้อนค่าของตัวแปรชนิดกระดาษของกล่องแบบ C หรือแบบ BC

X_2 คือ การป้อนค่าของตัวแปรความยาวเส้นรอบกล่อง

X_3 คือ การป้อนค่าของตัวแปรความสูงของกล่อง

X_4 คือ การป้อนค่าของตัวแปรอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง

X_5 คือ การป้อนค่าของตัวแปรชนิดกล่องทั้ง 3 แบบ ได้แก่

Box กล่องแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง

Box+Handle กล่องมีการเจาะช่องหน้าต่างเพื่อเป็นมือจับ

Box+Handle+Hole กล่องมีการเจาะช่องหน้าต่างเพื่อเป็นมือจับและเจาะรู

วงกลม

ค่า BCT ที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองจากงานวิจัย

ค่า BCT ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องกดกล่อง

ค่าร้อยละความแตกต่างระหว่าง BCT ที่ได้จากแบบจำลองจากงานวิจัยและค่า BCT ที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องกดกล่อง

4.5.1 การใส่ปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด

การป้อนค่าปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด โดยกำหนดตัวแปร X_1 - X_5 ในโค้ดโปรแกรมให้สอดคล้องกับค่าปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด เพื่อให้สามารถเข้าใจตรงกันสำหรับการพัฒนาโค้ด โดยขอยกตัวอย่างดังนี้

Box Compression Test (BCT) Calculator

BCT Parameters	Corrugated Box Design
ชื่อ:	
รหัสนักศึกษา/บริษัท:	
ชนิดของลอน:	
เส้นรอบรูปกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 120 - 180)	
ความสูงกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 25 - 40)	
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: (ระบุค่า 1.0 - 2.5)	
รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง:	
ค่า BCT จากการทดสอบ: kg. (หากไม่มี กำหนดค่า 0)	
คำนวณ	
ล้างค่า	

L (ความยาวกล่อง): (cm.), W (ความกว้างกล่อง): (cm.)
H (ความสูงกล่อง): (cm.)

ภาพที่ 4.16 หน้าจอโปรแกรมคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด

1) ใส่ชื่อผู้ใช้ และรหัสนักศึกษาหรือบริษัท โดยการกำหนดการป้อนค่าแบบการใส่ค่าตัวอักษรและตัวเลข เพื่อเก็บเป็นข้อมูลของการใช้งานระบบ

ชื่อ:

รหัสนักศึกษา/บริษัท:

2) ใส่ค่าปัจจัยชนิดวัสดุ Flute type (X_1) โดยการเลือกค่า C หรือ BC และกำหนดตัวแปร X_1 สำหรับการรับค่าเพื่อไปประมวลต่อไป

ชนิดของลอน:

เส้นรอบรูปกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 120 - 180)

3) ใส่ค่าปัจจัยเส้นรอบรูปกล่อง Perimeter (X_2) โดยการป้อนค่าระหว่าง 120 – 180 เซนติเมตร และกำหนดตัวแปร X_2 สำหรับการรับค่าเพื่อไปประมวลต่อไป

เส้นรอบรูปกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 120 - 180)

ความสูงกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 25 - 40)

4) ใส่ค่าปัจจัยความสูงกล่อง Height of box (X_3) โดยการป้อนค่าระหว่าง 25 – 40 เซนติเมตร และกำหนดตัวแปร X_3 สำหรับการรับค่าเพื่อไปประมวลต่อไป

ความสูงกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 25 - 40)

อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: (ระบุค่า 1.0 - 2.5)

5) ใส่ค่าปัจจัยรูปทรงกล่อง L/W ratio (X_4) โดยการป้อนค่าระหว่าง 1.0 – 2.5 เซนติเมตร และกำหนดตัวแปร X_4 สำหรับการรับค่าเพื่อไปประมวลต่อไป

อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: (ระบุค่า 1.0 - 2.5)

รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง:

6) ใส่ค่าปัจจัยรูปแบบกล่อง Pattern (X_5) โดยการเลือกค่า Box, Box+Handle และ Box+Handle+Hole และกำหนดตัวแปร X_5 สำหรับการรับค่าเพื่อไปประมวลต่อไป

รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง:

ค่า BCT จากการทดสอบ: (หน่วยค่า 0)

7) ใส่ค่า BCT ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องกดกล่องในกรณีที่มีการทดสอบ หากไม่ได้ทดสอบให้กำหนดค่า 0 ลงไป

ค่า BCT จากการทดสอบ: kg. (หากไม่มี กำหนดค่า 0)

8) จากนั้นทำการกดปุ่ม คำนวณ!!! เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่า BCT จากปัจจัย X_1 - X_5 และคำนวณร้อยละความแตกต่างของค่าระหว่าง BCT ที่ได้จากแบบจำลองจากงานวิจัยและค่า BCT ที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องกดกล่อง (ถ้ามี)

ภาพที่ 4.17 หน้าจอโปรแกรมในการแสดงผลเมื่อทำการใส่ปัจจัยต่าง ๆ

4.5.2 การแสดงผลการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด

จากการป้อนค่าปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด โดยกำหนดตัวแปรปัจจัยในโค้ดโปรแกรมให้สอดคล้องกับค่าปัจจัยในการคำนวณสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกด จากนั้นโปรแกรมจะทำการกำหนดโค้ด เพื่อให้สามารถแสดงผลได้ดังภาพที่ 4.18

ภาพที่ 4.18 หน้าจอโปรแกรมการแสดงผลหลังการกดปุ่ม คำนวณ!!!

4.6 การเปรียบเทียบกระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบเดิมและแบบใหม่

คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริงเพื่อในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการเปรียบเทียบกระบวนการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกแบบเดิมและแบบใหม่ อธิบายในรายละเอียดได้ดังนี้

4.6.1 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบเดิม

กระบวนการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกในแบบเดิมจะสามารถคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การใช้เครื่องทดสอบและการใช้วิธีการคำนวณ ในการใช้เครื่องทดสอบสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องจะมีข้อจำกัด คือ ต้องลงทุนด้านเครื่องกดกล่องซึ่งมีราคาสูง หรือใช้วิธีการส่งไปทดสอบ ณ สถาบันที่รับรองมาตรฐานการทดสอบบรรจุภัณฑ์ เช่น ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย เป็นต้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบและค่าใช้จ่ายในการส่งตัวอย่างต่อครั้งที่สูง นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบที่กำหนดมิติของกล่องเอง จำเป็นต้องมีการลงทุนในเรื่องของการตัดกล่องด้วยเครื่องตัดกล่องเพื่อผลิตเป็นกล่องต้นแบบขึ้นมาก่อนเพื่อใช้ในการทดสอบ จากกระบวนการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกในแบบเดิมนี้นี้เป็นข้อจำกัดที่สำคัญต่อการฝึกทักษะเสริมทักษะออนไลน์ให้กับนักศึกษาที่ไม่สามารถมาใช้เครื่องทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้และเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SME) ที่กำลังเริ่มต้นทำธุรกิจ

สำหรับการใช้วิธีการคำนวณในการหาค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่อง โดยทั่วไปในสถาบันการศึกษาด้านบรรจุภัณฑ์และในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์จะใช้แบบจำลองของ McKee เป็นฐานในการคำนวณ แต่ทั้งนี้จะมีข้อจำกัด คือ ค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องจากแบบจำลองจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าการใช้เครื่องทดสอบ และแบบจำลองของ McKee จะใช้เฉพาะรูปแบบของกล่อง RSC แบบทั่วไปเท่านั้น ซึ่งยังไม่ครอบคลุมการใช้งานกล่องลูกฟูกสำหรับบรรจุสินค้าที่มีการเจาะรูหายใจ (Hole) ในระหว่างการขนส่ง เช่น ผักสด ผลไม้สด เป็นต้น และยังไม่ครอบคลุมการใช้งานกล่องลูกฟูกสำหรับการบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากและมีขนาดใหญ่ต้องใช้มีมือจับ (Handle) ช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้าย เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

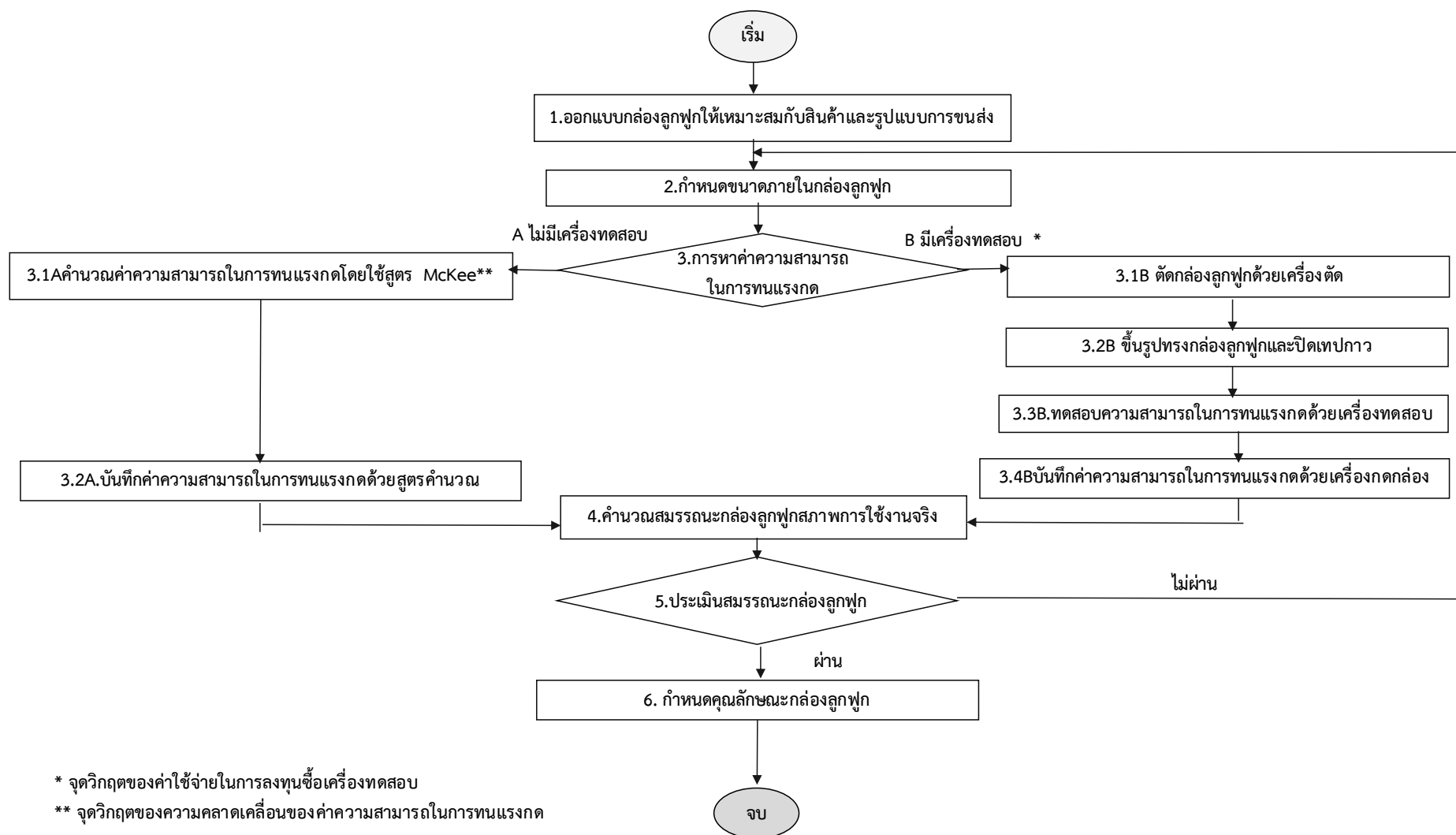
จากผลวิจัยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลองพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลองจากงานวิจัย เท่ากับ 6.16 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าทั้งตัวแบบ 3 ตัวแบบ ได้แก่ แบบจำลอง McKee มีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ เท่ากับ 22.17 แบบจำลอง Wolf มีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ เท่ากับ 21.83 และแบบจำลอง SCG มีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ เท่ากับ 8.30 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชัยภัทร (2554) จากบริษัท เอสซีซี เปเปอร์จำกัด (มหาชน) ที่พัฒนาแบบจำลอง SCG โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ McKee พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องจากเครื่องทดสอบ 32.82 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องจะส่งผลกระทบต่อการประเมินสมรรถนะกล่องลูกฟูกในการนำไปใช้งานจริงในลำดับถัดไป และอาจก่อให้เกิดความเสียหายของสินค้าที่บรรจุอยู่ข้างในได้

4.6.2 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบใหม่

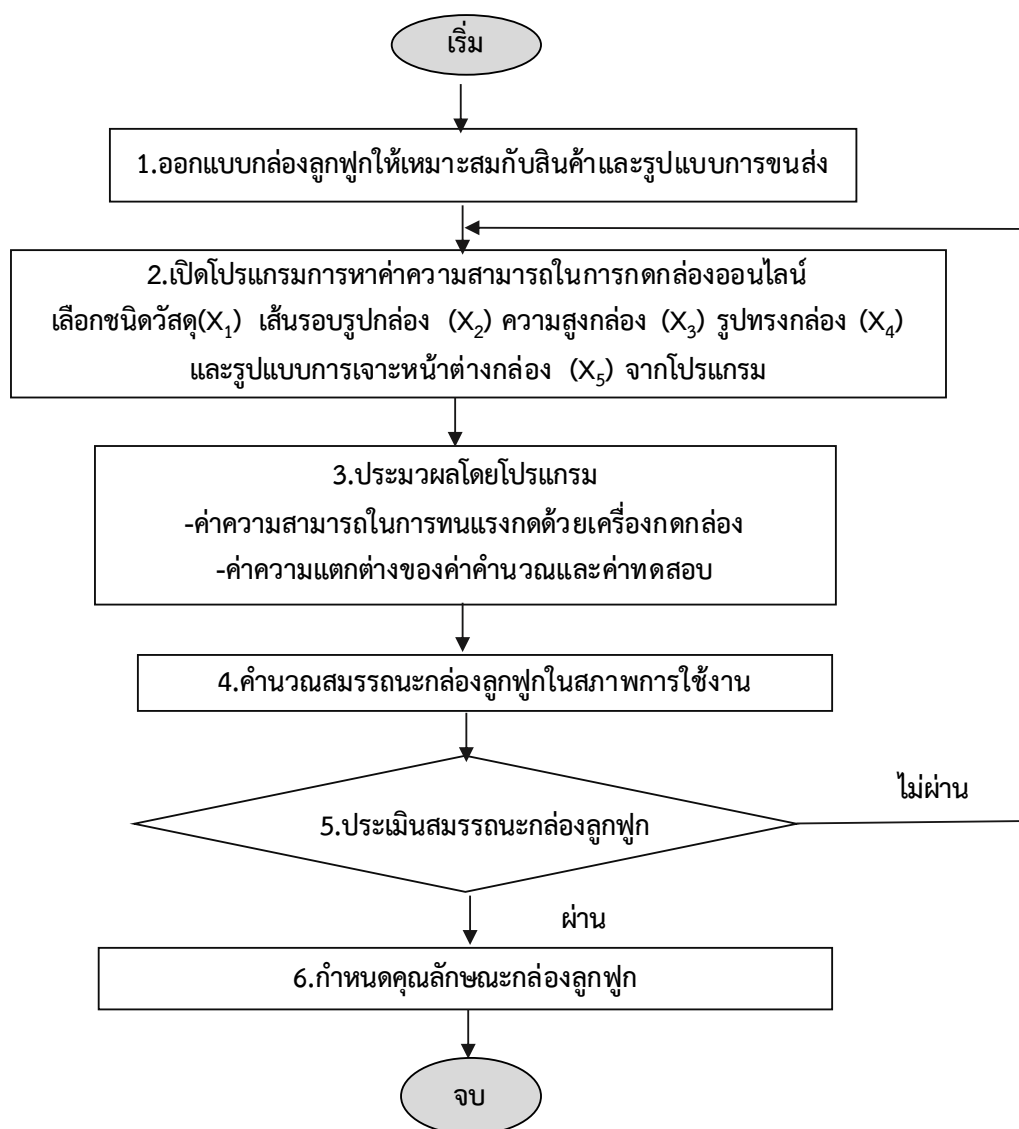
คณะผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกสำหรับการฝึกปฏิบัติเสมือนจริง สำหรับนักศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์และการจัดการผลิตภัณฑ์ และสามารถขยายผลการวิจัยสู่การบริการแก่สังคมให้กับกลุ่มธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SME) เพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่อง และประเมินสมรรถนะในการใช้งานกล่องลูกฟูกก่อนนำไปใช้งานจริง โดยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นจะรองรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องทั้ง 2 วิธี คือ การใช้เครื่องทดสอบและการใช้วิธีการคำนวณ ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกข้อมูลในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกในหน้าต่างของโปรแกรม โดยการเลือกชนิดวัสดุ (X_1) การระบุค่าเส้นรอบรูปกล่อง (X_2) การระบุค่าความสูงกล่อง (X_3) การเลือกอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง (X_4) และการเลือกรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง (X_5) จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่องลูกฟูกหรือค่า BCT ที่ได้จากแบบจำลอง (Y) ดังสมการนี้

$$Y = 162.24 + 193.72X_1 + 0.47X_2 + 1.22X_3 - 31.12X_4 - 16.22X_5$$

การแสดงผลค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัย จะมีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลอง เท่ากับ 6.16 เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของแบบจำลอง McKee เท่ากับ 22.17 ดังนั้น โปรแกรมการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกสำหรับการฝึกปฏิบัติเสมือนจริงที่ได้พัฒนาขึ้นจึงมีความแม่นยำมากขึ้นภายใต้สภาวะและขอบเขตของงานวิจัย และนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยเพิ่มทักษะให้กับนักศึกษาในการทดสอบแรงกดกล่องผ่านโปรแกรมเสมือนจริงในระบบออนไลน์ และขยายผลการนำไปใช้ประโยชน์สู่ภาคธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SME) ในการประเมินสมรรถนะการใช้งานกล่องลูกฟูกก่อนนำไปใช้งานจริงได้อย่างแม่นยำมากขึ้น และลดโอกาสในการเกิดความเสียหายจากของสินค้าที่บรรจุอยู่ข้างในได้



ภาพที่ 4.19 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบเดิม



ภาพที่ 4.20 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกแบบใหม่
ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง มีการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ 1 ศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด

1) ชนิดวัสดุ การเลือกใช้วัสดุกระดาษลูกฟูกโดยเพิ่มความหนาของกระดาษลูกฟูกให้มากขึ้น โดยเฉพาะลอน BC จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่เพิ่มมากขึ้น

2) ความยาวเส้นรอบรูปกล่อง การกำหนดขนาดความยาวเส้นรอบรูปกล่องให้มีค่าสูงขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

3) ความสูงกล่อง การเพิ่มความสูงกล่องด้านนอกจะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อถึงระดับความสูงที่เกินกว่า 35 เซนติเมตรขึ้นไปค่าความสามารถในการรับแรงกดจะต่ำลง

4) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง หากกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง มีความแตกต่างกันมาก จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

5) รูปแบบการเจาะหน้าต่าง โครงสร้างกล่องลูกฟูกที่มีพื้นที่การเจาะหน้าต่างมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

6) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและเส้นรอบรูป กล่องลูกฟูกผลิตจากวัสดุลอน BC ที่มีขนาดกล่องใหญ่ (เส้นรอบรูปกล่องมีค่าสูง) ให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่ากล่องลูกฟูกจากวัสดุลอน C ที่มีขนาดกล่องเล็ก (เส้นรอบรูปกล่องมีค่าน้อย)

7) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง การเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน BC ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 ให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน C ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และการเลือกใช้วัสดุลอน BC และลอน C ที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องแตกต่างกันมากขึ้นจะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

8) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง ในการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน BC โดยไม่เจาะช่องหน้าต่างจะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าการเลือกใช้ชนิดวัสดุลอน C ที่ไม่เจาะช่องหน้าต่าง และการเลือกใช้วัสดุทั้งลอน BC และลอน C ที่มีพื้นที่การเจาะช่องหน้าต่างที่ด้านกว้างและด้านยาวมีพื้นที่มากขึ้นจะทำให้มีค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลง

9) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบรูปและรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง การกำหนดขนาดกล่องให้มีเส้นรอบรูปกล่องค่าสูง (กล่องมีขนาดใหญ่) ส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องมีค่าสูงมากกว่ากล่องที่มีเส้นรอบรูปค่าต่ำ (กล่องที่มีขนาดเล็ก) และการออกแบบกล่องโดยไม่เจาะช่องหน้าต่าง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงมากกว่าการออกแบบให้มีพื้นที่เจาะช่องหน้าต่าง

10) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง การกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 แบบไม่เจาะช่องหน้าต่างให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดกล่องสูงกว่ากล่องที่มีการเจาะช่องหน้าต่าง และกล่องที่มีการกำหนดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่องที่แตกต่างกันมาก

11) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และความสูงกล่อง ในการเลือกใช้ชนิดวัสดุกระดาดลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และมีความสูงกล่องสูง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงสุด

12) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง ในการเลือกใช้ชนิดวัสดุกระดาดลูกฟูก 5 ชั้น ลอน BC ที่อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 1.0 และไม่มีการเจาะช่องหน้าต่าง จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดสูงสุด

13) การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นรอบรูป อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง และรูปแบบการเจาะช่องหน้าต่างกล่อง หากกำหนดเส้นรอบรูปกล่องให้น้อยลง (กล่องมีขนาดเล็ก) และมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง 2.5 และมีการเจาะช่องหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ โดยเจาะเป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตรด้านหน้าและด้านหลัง และเจาะมือจับ จะให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำที่สุด

5.1.2 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ 2 เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

1) ได้แบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ที่สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และมีความแม่นยำภายใต้สภาวะและขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งแบบจำลองจากงานวิจัยสามารถลดข้อจำกัดของแบบจำลองพยากรณ์เดิม ได้แก่ ปัจจัยในเรื่องของรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องทั้งแบบเจาะมือจับและการเจาะรูเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษา จึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริงให้กับนักศึกษาในการเรียนการสอนออนไลน์สำหรับผลิตภัณฑ์ในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเพื่อประเมินและเลือกต้นแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง อีกทั้งแบบจำลองจากงานวิจัย สามารถใช้ในการคำนวณได้สะดวกโดยไม่ต้องอาศัยค่าจากสมบัติอื่น ๆ ของแผ่นกระดาดลูกฟูกที่อาจต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่ามาใส่ในตัวแบบ ดังนั้นแบบจำลองจากงานวิจัยจึงเหมาะสมกับวิชาทฤษฎีขนาดกลางและขนาดย่อม ผู้ใช้ในการเรียนการสอน และผู้ใช้งานทั่วไป

2) การพัฒนาโปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง โดยใช้ภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) เป็นการพัฒนาแบบจำลองสภาวะเสมือนจริงของการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก โดยผู้ใช้งานทำการออกแบบ 5 ปัจจัย ประกอบด้วย

- ชนิดของวัสดุ ได้แก่ กระดาษลูกฟูกลอน C และกระดาษลูกฟูกลอน BC
- เส้นรอบรูปกล่อง ระบุค่าในช่วง 120 - 180 เซนติเมตร
- ความสูงกล่อง ระบุค่าในช่วง 25 - 40 เซนติเมตร
- อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง ระบุค่าในช่วง 1.0 - 2.5
- รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบกล่องลูกฟูกแบบไม่เจาะช่องหน้าต่าง รูปแบบกล่องลูกฟูกแบบเจาะหน้าต่างกล่องด้านข้างเพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน และรูปแบบกล่องลูกฟูกแบบเจาะหน้าต่างกล่องเพื่อการหายใจของผักและผลไม้โดยเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังผนังกล่องและเจาะมือจับ

โดยทั้ง 5 ปัจจัยจะถูกนำมาประเมินเพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงกดว่ามีค่าเหมาะสมกับการนำไปใช้งานหรือไม่ และทำการปรับค่าปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าความสามารถในการรับแรงกดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

3) ระบบโปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง พัฒนาให้มีรูปแบบการใช้งานง่าย (User Friendly) มีรายละเอียดและคำสั่งเป็นภาษาไทย รวมทั้งมีภาพประกอบที่ง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ประกอบการ SME ในการพิจารณาการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกให้เหมาะสมกับการใช้งานก่อนสั่งผลิตจริง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 การอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ 1 เพื่อศึกษาผลของปัจจัยในการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกที่มีต่อความสามารถในการรับแรงกด ลักษณะการเสียหายของทุกโครงสร้างกล่องที่ออกแบบจากงานวิจัย จะเกิดความเสียหายเริ่มต้นจากมุมกล่อง โดยเกิดการโก่งงอและเกิดหักงอเป็นเส้นโค้งตามแนวระนาบกล่อง สำหรับกล่องกระดาษที่มีรูปแบบการเจาะหน้าต่าง โดยเฉพาะการเจาะรูด้านหน้าและด้านหลังกล่องจะเกิดการหักงอเป็นเส้นโค้งวิ่งเข้าหารูวงกลม ทำให้เกิดรอยความเสียหายชัดเจน และส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดลดลงอย่างมาก และพื้นที่เจาะช่องหน้าต่างที่มากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับแรงกดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jinkarn et al. (2006) รชยา ธชเสถียร และเลอพงศ์ จารุพันธ์ (2561) และ Archaviboonyobul et al. (2020) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างของกล่องลูกฟูกในการบรรจุผลิตผลด้านการเกษตรที่ต้องการเจาะรูช่องระบายอากาศขณะขนส่งได้อย่างเหมาะสม

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกดจากแบบจำลองจากงานวิจัยกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ค่าความสามารถในการรับแรงกด มีค่าใกล้เคียงกับค่าความสามารถในการรับแรงกดจากห้องทดสอบห้องปฏิบัติการ และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรใกล้เคียงกันกับตัวแบบที่นิยมใช้ในการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด ได้แก่ McKee (McKee et al., 1963) Wolf Formula (1974) และ SCG (ชัยภัทร สิริพลวัฒน์, 2554) ค่าคำนวณความสามารถในการรับแรงกดที่ได้ของแบบจำลองจากงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการมากที่สุด

5.2.2 การอภิปรายผลตามตามวัตถุประสงค์งานวิจัยที่ 2 เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง ในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการพัฒนาโปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง จะช่วยทำให้ผู้ใช้งานมีประสบการณ์เหมือนอยู่ในสถานการณ์จริงในกระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และการทดสอบทางวิศวกรรมมากยิ่งขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของประจักษ์ (2564) ที่ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จำลองสภาพแวดล้อมเสมือน (virtual reality: VR) มาใช้ในการฝึกทักษะปฏิบัติหมวดหัวใจผายปอดกู้ชีพ (CPR) ในระบบเสมือนจริง เพื่อให้ผู้ใช้งานมีทักษะและความมั่นใจในการปฐมพยาบาลเบื้องต้นด้วยวิธี CPR มากขึ้น

การพัฒนาโปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริงมีการใช้งานที่ง่าย ลดค่าใช้จ่าย ลดเวลาในการเตรียมต้นแบบกล่องลูกฟูก โดยมีตัวเลือกในการป้อนค่าปัจจัยขาเข้า (input) พร้อมกับมีข้อความ และภาพประกอบเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจได้ง่าย ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานมีปฏิสัมพันธ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติพงษ์ จันทรถาวร (2552) และการใช้งานผ่านระบบคลาวด์อินเทอร์เน็ต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Calculator Academy Team (2022) และ Lotz et al. (2019) ในการทำงานการฝึกปฏิบัติเสมือนจริงผ่านระบบออนไลน์ จะช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าถึงโปรแกรมได้มากขึ้นและอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานใช้ได้ทุกอุปกรณ์ทั้งคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ทโฟน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

1) การนำโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ในการฝึกทักษะเสมือนจริง หรือการเรียนการสอนในรูปแบบเผชิญหน้าในสาขาที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูก เช่น สาขาวิชา 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรจุภัณฑ์ โดยจะเริ่มใช้ในการเรียนการสอนในภาคการศึกษา 1/2566 เป็นต้นไป เพื่อประเมินผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่งก่อนที่จะทำการผลิตจริง จะช่วยลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายในการออกแบบกล่องลูกฟูกเพื่อการขนส่งลงได้

2) ปัจจัยในเรื่องของรูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่องทั้งแบบเจาะมือจับ และการเจาะรูเพื่อการหายใจของผักและผลไม้ ยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษา แบบจำลองจากงานวิจัยนี้จึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกทักษะเสมือนจริงให้กับนักศึกษาในการเรียนการสอนออนไลน์ สำหรับผลิตภัณฑ์ในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเพื่อประเมินและเลือกต้นแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง

3) แบบจำลองจากงานวิจัยสามารถใช้ในการคำนวณได้สะดวกโดยไม่ต้องอาศัยค่าจากสมบัติอื่นๆ ของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่อาจต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่ามาใส่ในตัวแบบ ดังนั้นแบบจำลองจากงานวิจัยจึงเหมาะกับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ผู้ใช้ในการเรียนการสอน และผู้ใช้งานทั่วไป

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง โดยใช้ภาษา Hypertext Preprocessor (PHP) เป็นการพัฒนาระบบการจำลองสถานะเสมือนจริงของการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกเพื่อประเมินค่าความสามารถในการรับแรงกดนี้ยังมีข้อจำกัดของตัวแปร หากมีการใช้งานนอกช่วงที่กำหนดจะทำให้มีค่าความคาดเคลื่อนที่สูงขึ้น ควรมีการเก็บข้อมูลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม เพื่อทำให้มีฐานข้อมูลในการคำนวณที่แม่นยำขึ้นและช่วงการใช้งานที่กว้างขึ้น

บรรณานุกรม

- กิตติพงษ์ จันทรถาวร. (2552). การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์การสอนบนระบบเครือข่ายเรื่อง การโปรแกรมเว็บ 2 - ด้วยภาษา PHP. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. สืบค้นจาก <https://tdc.thailis.or.th/tdc/>.
- คณะกรรมการบริหารชุดวิชา 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ ชุดวิชา 97406 เทคนิคหลังพิมพ์และชุดวิชา 97434 เทคโนโลยีหลังพิมพ์. (2563). รายงานสำรวจความพร้อมของนักศึกษาในการฝึกปฏิบัติออนไลน์ ภาคการศึกษา 2/2562.
- ชัยภัทร สิริพลวัฒน์. (2554). การพัฒนาสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงกลองลูกฟูก (BCT). The 12nd Symposium on TQM-Best Practices in Thailand. 12-14 ตุลาคม 2554. กรุงเทพฯ.
- ประจักษ์ จิตเงินมะดัน (2564). โครงการการออกแบบและพัฒนาชุดฝึกทักษะการปฏิบัติตนวัดหัวใจผายปอดกู้ชีพ (CPR) ในระบบเสมือนจริง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พิเชฐ ดุรงคเวโรจน์. (2563). ขับเคลื่อนโลกใหม่ด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล. คิด Creative Thailand, 11(9), 16-17.
- มณฑิณี ยงวิกุล. (2563). Life after COVID แนวคิดเพื่อการปรับตัวสู่อนาคต. คิด Creative Thailand, 11(9), 5.
- มยุรี ภาคลำเียง. (2558). กว่าจะเป็นบรรจุภัณฑ์ (ตอนที่ 1). วารสารการบรรจุภัณฑ์, 24(1), 6-13.
- รชยา ธชเสถียร และเลอพงศ์ จารุพันธ์ (2561). ผลของช่องระบายอากาศต่อความต้านทานแรงกดของกลองลูกฟูกขนาดมิติฐานมาตรฐาน. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56: สาขาวิทยาศาสตร์และพันธุ์วิศวกรรม, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทฤษฎีการธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56. (หน้า 589-598). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สมเดช ฉะยไสย และสุธาสินี บุรีคำพันธุ์. (2554). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สินค้าหัตถกรรมชุมชน เพื่อเพิ่มมูลค่าและโปรแกรมระบบฐานข้อมูลการจัดเก็บ ในการสืบค้นที่ยั่งยืนผ่านเว็บเพจระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. รายงานการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- สร้อย กระจง. (2551). การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการฝึกปฏิบัติงานตรวจเช็คซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์. รายงานการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- สุภาวดี ธีรธรรมากร. (2558). หน่วยที่ 9 การออกแบบกล่อง. ใน เอกสารการสอนชุดวิชา 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

- ศุภรัตน์ แจ่มแจ้งและคณะ (2558). รายงานการวิจัย ผลการเตรียมความพร้อมในการฝึกปฏิบัติการพยาบาลโดยใช้สถานการณ์จำลองเสมือนจริงต่อการรับรู้ความสามารถในการปฏิบัติการพยาบาลของนักศึกษาพยาบาลศาสตรบัณฑิตชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ราชบุรี. รายงานการวิจัย วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ราชบุรี
- ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2545). คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ: กล่องลูกฟูก. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.
- ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2553). คู่มือการทดสอบบรรจุภัณฑ์: การทดสอบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด บางกอกบล๊อค.
- Archaviboonyobul, T., Chaveesuk, R., Singh, J., & Jinkarn, T. (2020). An analysis of the influence of hand hole and ventilation hole design on compressive strength of corrugated fiberboard boxes by an artificial neural network model. *Packaging Technology and Science*, 33(4-5), 171-181.
- ASTM D642. (2005). Standard Test Method for Determining Compressive Resistance of Shipping Containers, Components, and Unit Loads. Retrieved 25 April 2021. From <https://www.astm.org/Standards/D642.htm>
- Birgit Mager. (2020). Embracing Change. Virtual Service Design Global Conference 2020. Retrieved 15 July 2020. From <https://www.service-design-network.org>.
- Calculator Academy Team (2022). BCT Calculator. Retrieved October 13, 2022. From <https://calculator.academy/bct-calculator/>.
- FEFCO. (1952). The European Federation of Corrugated Board Manufacturers. Retrieved 25 April 2021. From <https://www.fefco.org/about-fefco>.
- Garbowski, T., Gajewski, T., & Grabski, J. K. (2020). Estimation of the compressive strength of corrugated cardboard boxes with various openings. *Energies*, 14(1), 155.
- ISO/IEC 17025. (2005). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Retrieved 25 April 2021. From <https://www.iso.org/standard/39883.html>.
- Jinkarn, T., Boonchu, P., & Bao-Ban, S. (2006). Effect of carrying slots on the compressive strength of corrugated board panels. *Agriculture and Natural Resources*, 40.6 (Suppl.), 154-161.
- Kawabata, Y. (1997). New Calculating Method for the Compression Strength of Corrugated Fiberboard Box-Concentrated on New Kellicutt Equation, 29(4), 73-85.
- Kellicutt, K. Q., & Landt, E. F. (1958). Basic design data for the use of fiberboard in shipping containers. *Fibre Containers*, 36(12): 62-80.

- Lotz, N., Jones, D., and Holden, G. (2019). OpenDesignStudio: virtual studio development over a decade. In DRS Learn design 2019(pp 1-14).Turkey: Middle East Technical University.
- Maltenfort, G. (1956). Compression strength of corrugated containers. *Fibre Containers*, 41(7): 3-7.
- McKee, R. C., Gander, J. W., & Wachuta, J. R. (1963). Compression strength formula for corrugated boxes. *Paperboard packaging*, 48(8), 149-159.
- Singh, J., Olsen, E., Singh, S. P., Manley, J., & Wallace, F. (2008). The effect of ventilation and hand holes on loss of compression strength in corrugated boxes. *Journal of Applied Packaging Research*, 2(4), 227.
- Sohrabpour, V., & Hellström, D. (2011). Models and software for corrugated board and box design. In DS 68-10: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 10: Design Methods and Tools pt. 2, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08. 2011 (pp. 392-401).
- University of Illinois Springfield. (2020). Strengths and Weaknesses of Online Learning. Retrieved 15 July 2020. From <https://www.uis.edu/ion>.
- Lotz, N., Jones, D., and Holden, G. (2019). OpenDesignStudio: virtual studio development over a decade. In DRS Learn design 2019 (pp 1-14).Turkey: Middle East Technical University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกด้วยโปรแกรม PackDesign

การออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกด้วยโปรแกรม PackDesign

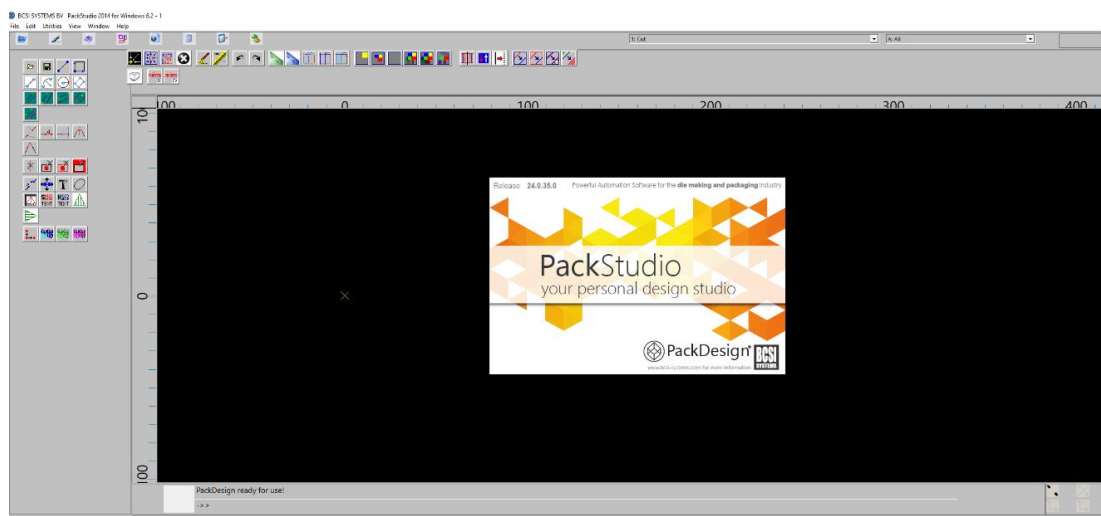
โปรแกรม PackDesign เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถออกแบบโครงสร้างของกล่องลูกฟูกตามรูปแบบกล่องที่ต้องการได้ โดยจะมีรูปแบบกล่องสำเร็จรูปให้เลือก โดยสามารถทำการกรอกขนาดหรือรูปทรงที่ต้องการออกแบบ ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างกล่องด้วยโปรแกรม PackDesign โดยอ้างอิงตัวอย่างงานจากการวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างของกล่องลูกฟูก

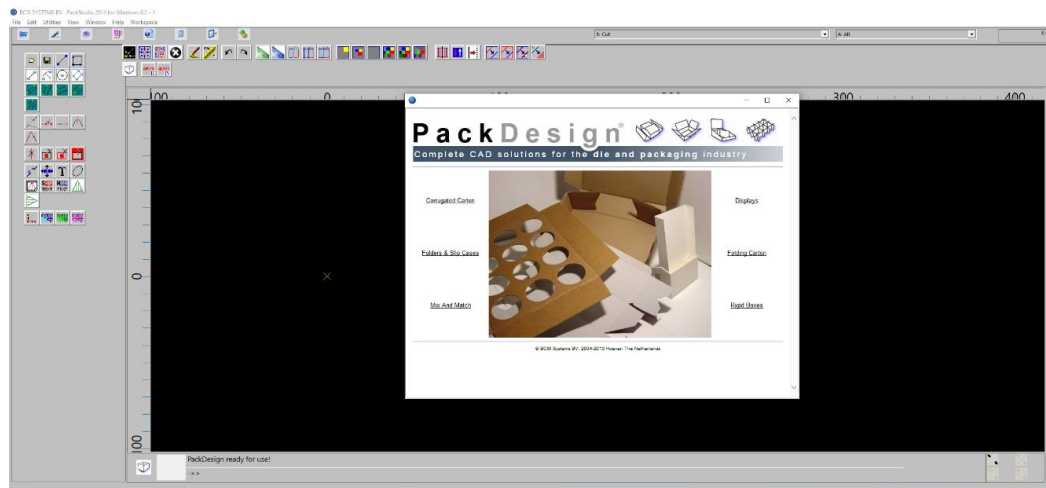
ตัวอย่าง	ชนิดลอน ลูกฟูก	เส้นรอบ รูป (cm.)	ความสูง (cm.)	ความกว้าง (cm.)	ความยาว (cm.)	L/W ratio	รูปแบบการเจาะ หน้าต่าง
1	C	120	25	30	30	1	เจาะมือจับ
2	C	120	25	30	30	1	เจาะมือจับ+เจาะรู
3	C	120	25	30	30	1	ไม่เจาะ

ขั้นตอนการออกแบบโดยโปรแกรม PackDesign

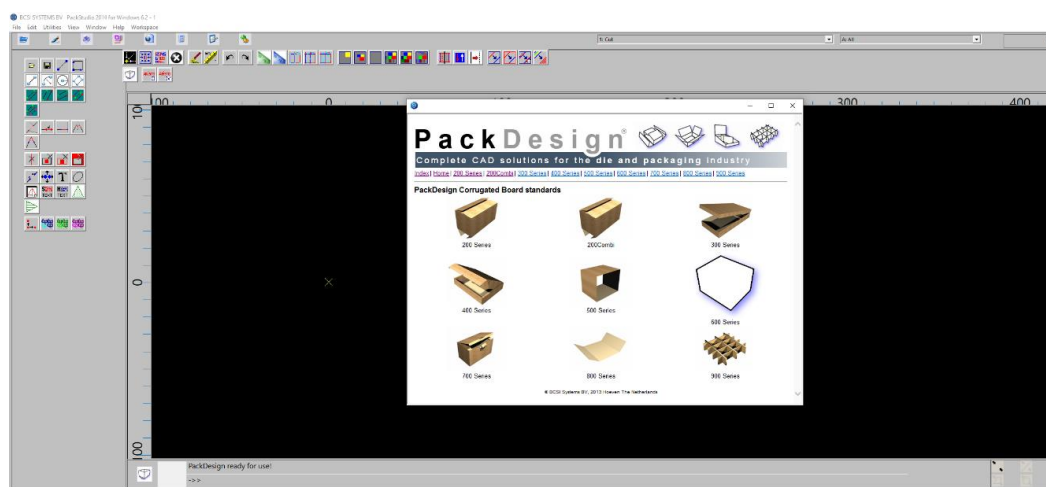
1) เปิดโปรแกรม PackDesign



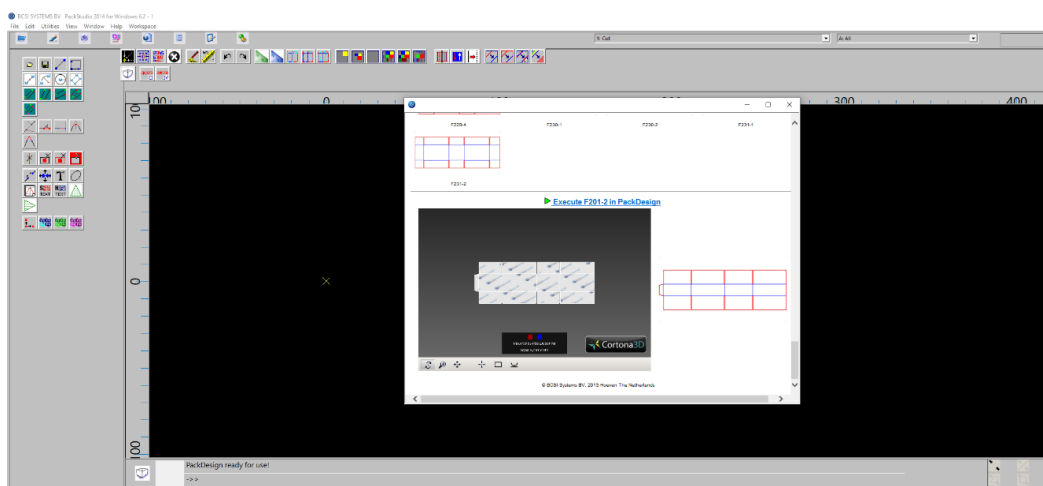
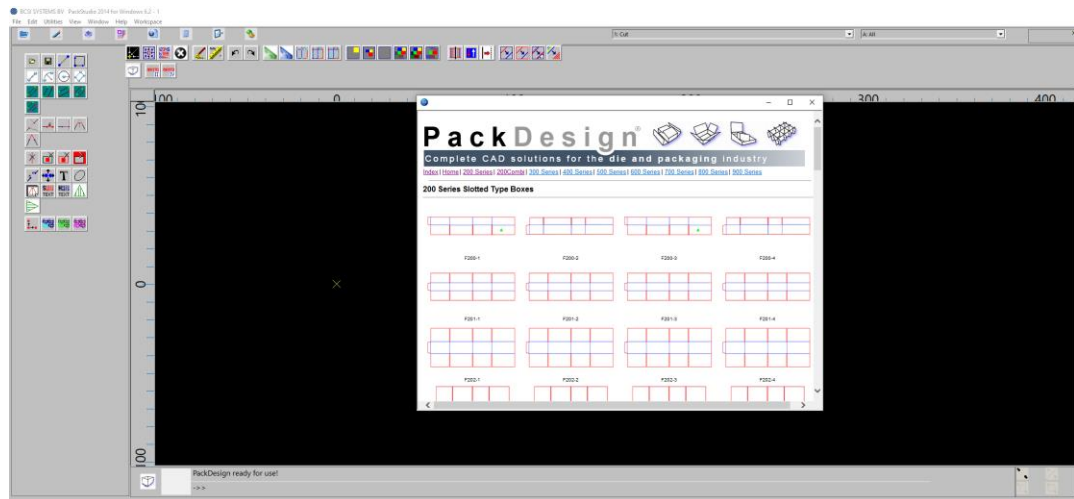
2) เลือกโปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างโครงสร้างกล่องลูกฟูก



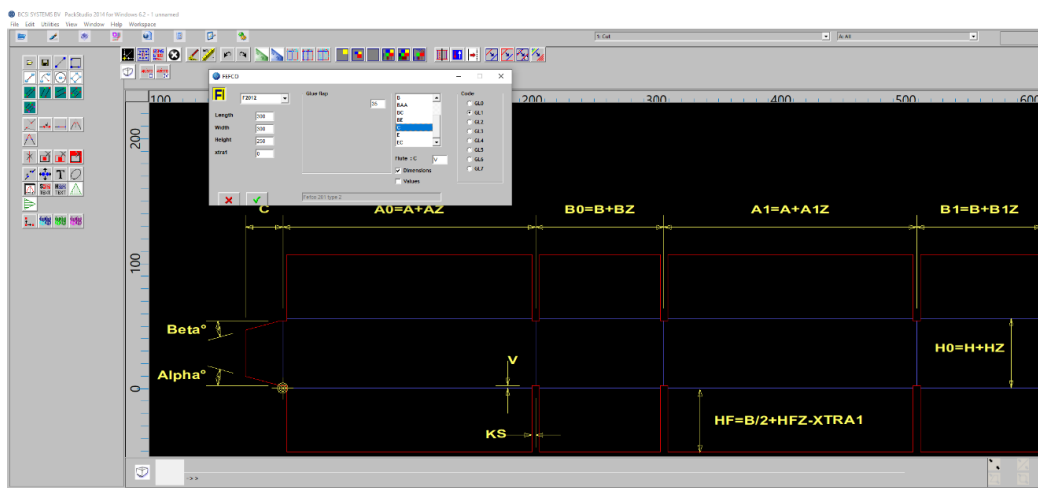
3) เลือกการสร้างโครงสร้างกล่องลูกฟูก คำว่า Corrugated Carton



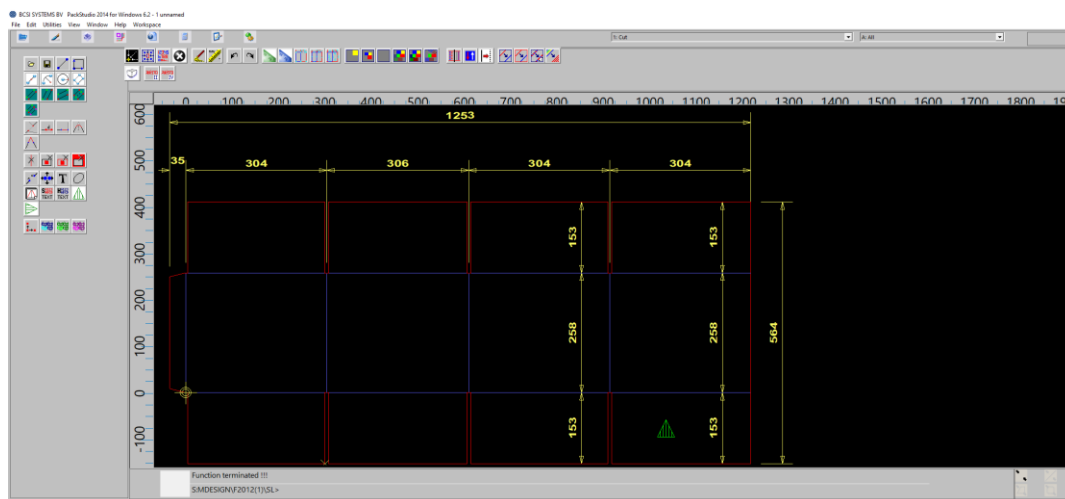
- 4) เลือกเป็นรูปแบบ RSC serie 200 เพื่อกำหนดมิติกล่อง ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความสูง ของกล่อง พร้อมระบุชนิดลอนของกล่องลูกฟูก



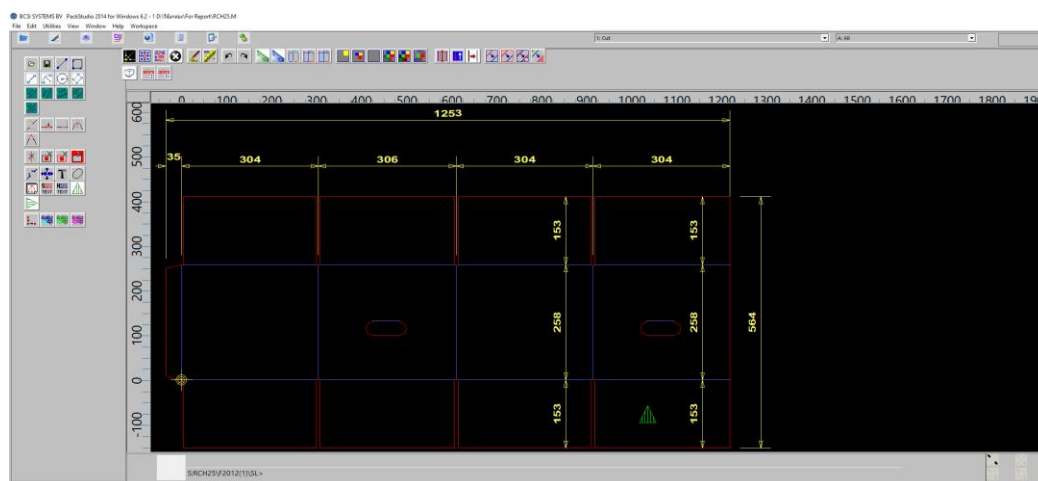
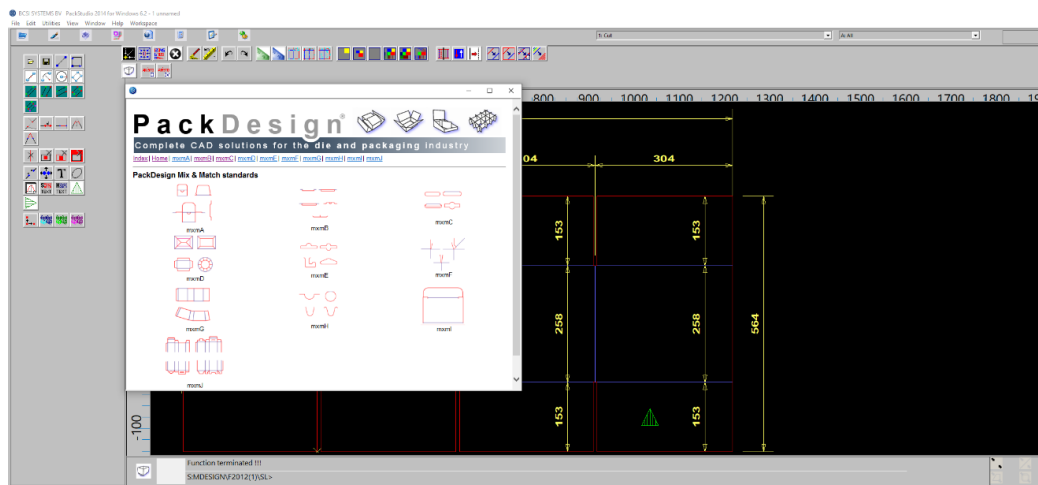
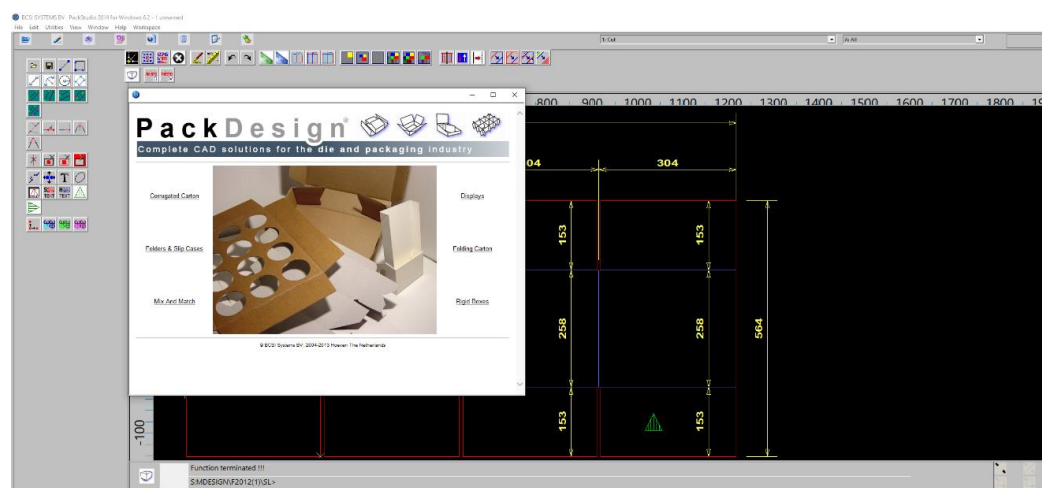
- 5) สำหรับตัวอย่างที่ 3 (กล่องลูกฟูกที่ไม่มีการเจาะหน้าต่าง) กำหนดความกว้างและความยาวของกล่องในหน่วยมิลลิเมตร ดังนี้ ความกว้างกล่องคือ 300 มิลลิเมตร ความยาวกล่องคือ 300 มิลลิเมตร และความสูงกล่องคือ 250 มิลลิเมตร และระบุชนิดลอนเป็นลอน C



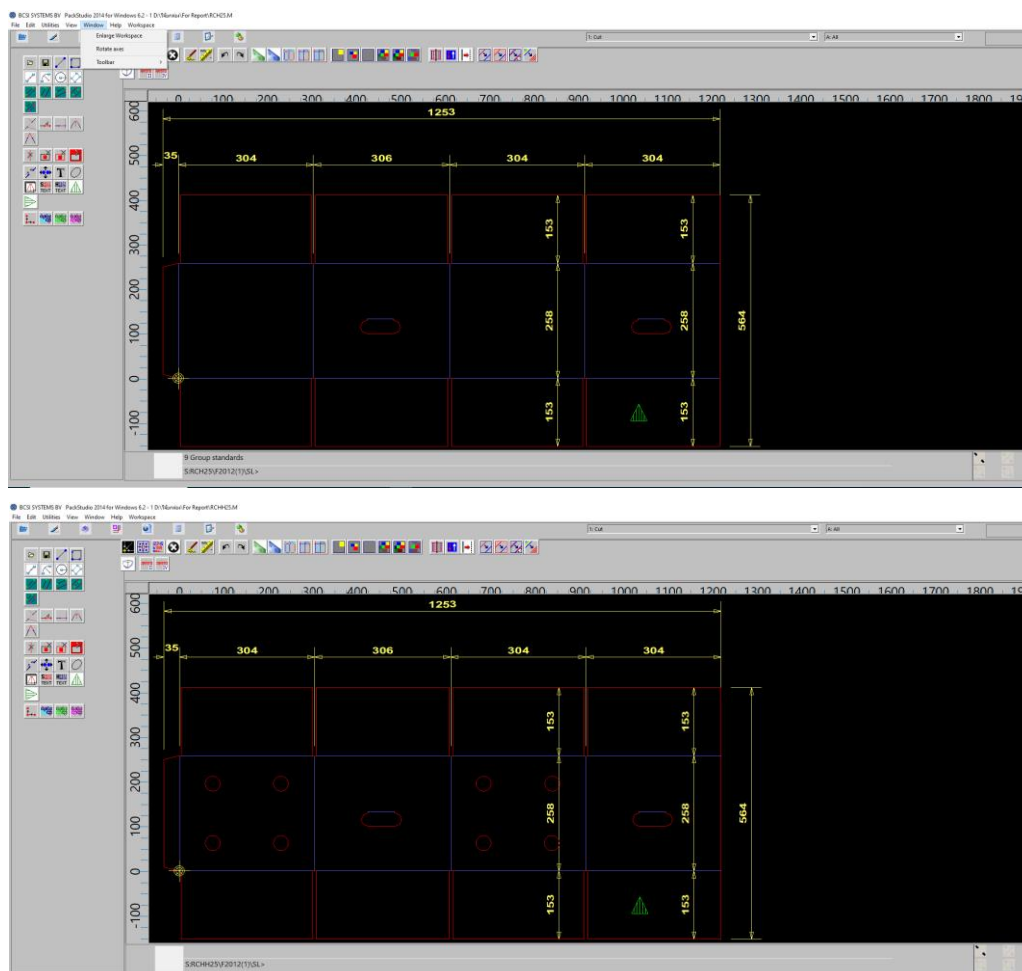
- 6) ร่างโครงสร้างการออกแบบบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกตัวอย่างที่ 3 ดังภาพที่แสดงด้านล่าง



- 7) สำหรับตัวอย่างที่ 1 (กล่องลูกฟูกที่มีการเจาะหน้าต่างด้านข้างกล่องเพื่อเป็นมือจับ) การออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกจะมีมิติเดียวกับตัวอย่างที่ 3 แต่เพิ่มการเจาะหน้าต่างด้านข้างกล่องที่ตำแหน่งตรงกลาง (รชยา และเลอพงศ์, 2561) เพื่อเป็นมือจับ 2 ด้าน ด้วยการเปิดโปรแกรมสำเร็จรูปและเลือกรูปแบบมือจับที่ต้องการพร้อมระบุความกว้างและความยาวของมือจับ ซึ่งงานวิจัยนี้ระบุความกว้างมือจับคือ 30 มิลลิเมตร และความยาวมือจับคือ 90 มิลลิเมตร



- 8) สำหรับตัวอย่างที่ 2 (กล่องลูกฟูกที่มีการเจาะหน้าต่างด้านข้างกล่องเพื่อเป็นมือจับ และการเจาะเป็นรูวงกลมด้านหน้าและด้านหลังกล่อง) การออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกมีมิติเดียวกับตัวอย่างที่ 3 และมีการเจาะมือจับด้านข้างกล่องเหมือนตัวอย่างที่ 1 แต่เพิ่มการเจาะรูวงกลมด้านละ 4 รูทั้งด้านหน้าและด้านหลังกล่อง ด้วยเครื่องมือการสร้างวงกลมโดยมีการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูวงกลมคือ 35 มิลลิเมตร



ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้โปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์
และทดสอบเชิงวิศวกรรม

คู่มือ

การใช้โปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรม

การคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกด (Box Compression Test, BCT) จากงานวิจัยการพัฒนาระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง มีปัจจัยที่เป็นข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมฯ และขั้นตอนการใช้โปรแกรม ดังนี้

ข้อมูลการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก

1. ชนิดของลอนลูกฟูก
2. เส้นรอบรูปกล่องลูกฟูก
3. ความสูงกล่องลูกฟูก
4. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง
5. รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

1. เข้าโปรแกรมผ่านเว็บไซต์ <https://scitech.serv00.net/BCT2calculator3.html> หน้าจอแสดงผลดังนี้

2. ทำการกรอกปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูก ดังนี้

- 2.1) ชื่อผู้ใช้ และรหัสนักศึกษาหรือบริษัท

2.2) ใส่ค่าปัจจัยชนิดวัสดุ โดยการเลือกชนิด C หรือ BC

ชนิดของลอน: --เลือก--
 เส้นรอบรูปกล่อง:
 (cm.) (ระบุค่า 120 - 180)

2.3) ใส่ค่าปัจจัยเส้นรอบรูปกล่อง โดยการป้อนค่าระหว่าง 120 – 180 เซนติเมตร

เส้นรอบรูปกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 120 - 180)
 ความสูงกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 25 - 40)

2.4) ใส่ค่าปัจจัยความสูงกล่อง โดยการป้อนค่าระหว่าง 25 – 40 เซนติเมตร

ความสูงกล่อง: (cm.) (ระบุค่า 25 - 40)
 อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: (ระบุค่า 1.0 - 2.5)

2.5) ใส่ค่าปัจจัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง (L/W ratio) โดยการป้อนค่าระหว่าง 1.0 – 2.5 เซนติเมตร

อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: (ระบุค่า 1.0 - 2.5)
 รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง: -- เลือก --

2.6) ใส่ค่าปัจจัยรูปแบบกล่อง โดยการเลือกค่าดังนี้

Box กล่องไม่มีการเจาะหน้าต่าง

Box+Handle กล่องที่มีการเจาะหน้าต่างเป็นมือจับ

Box+Handle+Hole กล่องที่มีการเจาะหน้าต่างเป็นรู และเป็นมือจับ

รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง: -- เลือก --

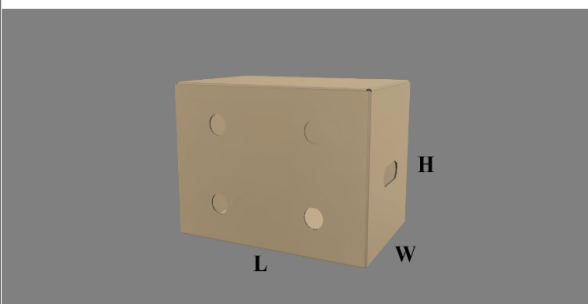
 (หาค่า 0)
 ค่า BCT จากการทดสอบ:

2.7) ใส่ค่า BCT จากการทดสอบด้วยเครื่องกดกล่อง หากไม่มีค่า BCT ให้กำหนดค่า 0 ลงไป

ค่า BCT จากการทดสอบ: kg. (หากไม่มี กำหนดค่า 0)

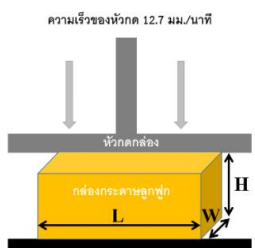
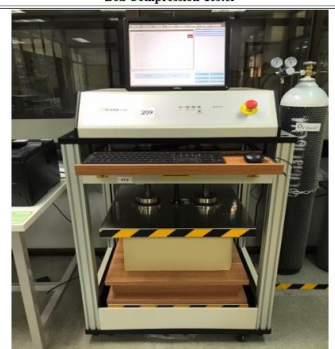
3. เมื่อกรอกค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบโครงสร้างกล่องลูกฟูกทั้ง 5 ปัจจัยแล้ว หน้าจอจะแสดงผลขนาดความยาว ความกว้าง และความสูง รวมทั้งตัวอย่างรูปทรงของกล่องลูกฟูกที่การออกแบบ

Box Compression Test (BCT) Calculator

BCT Parameters	Corrugated Box Design
ชื่อ: รหัสนักศึกษาบริษัท: ชนิดของลอน: C type เส้นรอบรูปกล่อง: 120 (cm.) (ระบุค่า 120 - 180) ความสูงกล่อง: 25 (cm.) (ระบุค่า 25 - 40) อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: 1.5 (ระบุค่า 1.0 - 2.5) รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง: Box + Handle + Hole ค่า BCT จากการทดสอบ: 179.4 kg. (หากไม่มี กำหนดค่า 0) คำนวณ BCT ล้างค่า	L (ความยาวกล่อง): 36.0 (cm.), W (ความกว้างกล่อง): 24.0 (cm.) H (ความสูงกล่อง): 25 (cm.) 

4. จากนั้นทำการกดปุ่ม คำนวณ!!! เพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่า BCT และคำนวณร้อยละความแตกต่างของค่าระหว่าง BCT ที่ได้จากแบบโปรแกรมและค่า BCT ที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องกดกล่อง (ถ้ามี)

Box Compression Test (BCT) Calculator

Results of BCT Calculator	Condition Test	Box Compression Tester
ชื่อ: อ.ไร. รหัสนักศึกษาบริษัท: 6596000001. ชนิดของลอน: C เส้นรอบรูปกล่อง: 120 cm. ความสูงกล่อง: 25 cm. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างกล่อง: 1.5 รูปแบบการเจาะหน้าต่างกล่อง: Box + Handle + Hole BCT จากการคำนวณ: 167.2 kg. BCT จากการทดสอบ: 179.4 kg. % ความแตกต่าง: 6.80%.		
ย้อนกลับ		...

ภาคผนวก ค

แผนการนำโปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์
และทดสอบเชิงวิศวกรรม มาใช้ในการเรียนการสอนของ
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มสธ.

แผนการนำโปรแกรมการฝึกปฏิบัติการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ และทดสอบเชิงวิศวกรรม มาใช้ในการเรียนการสอน

1. แผนการดำเนินงานในการนำโปรแกรมการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง “การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรม” มาใช้ในการเรียนการสอนของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และการเผยแพร่โปรแกรมผ่านเว็บไซต์สาขาวิชาฯ มีดังนี้

กิจกรรม	แผนการดำเนินงาน
1. แผนการสอนชุดวิชาฝึกปฏิบัติเสริมทักษะ 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรจุภัณฑ์ 97315 เครื่องมือและเครื่องจักรกลการผลิต 97434 เทคโนโลยีหลังพิมพ์ 97318 การออกแบบทางการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์	เริ่มภาคการศึกษา 1/2566 เริ่มภาคการศึกษา 1/2566 เริ่มภาคการศึกษา 2/2566 เริ่มภาคการศึกษา 2/2566
2. การเผยแพร่ระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง “การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรม” พร้อมคู่มือการใช้งาน โดยเผยแพร่บนเว็บไซต์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	ธันวาคม 2566 เป็นต้นไป

2. รูปแบบการเรียนการสอน

ตัวอย่างการนำระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง “การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรม” เพื่อมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนชุดวิชาฝึกปฏิบัติเสริมทักษะ

ตารางการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะชุดวิชา 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรจุภัณฑ์ ภาค1/2566 ระหว่างวันที่ 16-19 พฤศจิกายน 2566

วันที่	9.00 - 12.00 น.		พัก 1 ชั่วโมง	13.00-16.30 น.		พัก 1.5 ชั่วโมง	18.00 – 22.00 น.	
วันที่ 1	8.30 – 9.00 น. ลงทะเบียน 9.00 - 9.15 น. ปฐมนิเทศ	กิจกรรม (1) อภิปรายกระบวนการแปรรูป บรรจุภัณฑ์ (งานเดี่ยว)		กิจกรรม (2) ฝึกปฏิบัติการทดสอบบรรจุภัณฑ์พลาสติก (งานกลุ่ม)	กิจกรรม (2) (ต่อ) ฝึกปฏิบัติการทดสอบบรรจุภัณฑ์พลาสติก (ต่อ) (งานกลุ่ม)			
วันที่ 2	กิจกรรม (3) ฝึกปฏิบัติการแปรรูปกระดาษแข็ง และกระดาษ ลูกฟูก ด้วยโปรแกรมเครื่องตัด (งานกลุ่ม)			กิจกรรม (3) (ต่อ) ฝึกปฏิบัติการแปรรูปกระดาษแข็ง และกระดาษ ลูกฟูก ด้วยโปรแกรมเครื่องตัด (ต่อ) (งานกลุ่ม)	กิจกรรมที่ (4) วิเคราะห์กระบวนการแปรรูปจากตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ (งานเดี่ยว)			
วันที่ 3	กิจกรรม (5) ฝึกปฏิบัติการบรรจุภัณฑ์รวมหน่วย (งานกลุ่ม)			กิจกรรม (6) ฝึกปฏิบัติการประเมินสมรรถนะในการขนส่ง ด้วยโปรแกรมคำนวณค่า BCT จากงานวิจัยการพัฒนา ระบบการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิง วิศวกรรมในการฝึกทักษะเสมือนจริง (งานกลุ่ม)	กิจกรรม (7) Mini Project: เทคโนโลยีแปรรูปบรรจุภัณฑ์ การ บรรจุ และการรวมหน่วย (งานกลุ่ม)			
วันที่ 4	กิจกรรม (7) (ต่อ) การนำเสนอ Mini Project: เทคโนโลยีแปรรูป บรรจุภัณฑ์ การบรรจุ และการรวมหน่วย (งานกลุ่ม)			เดินทางกลับโดยสวัสดิภาพ				

หมายเหตุ พักเบรกเช้า เวลา 10.30 – 10.45 น. และพักเบรกบ่าย เวลาประมาณ 14.30 - 14.45 น.

หัวหน้าวิทยากร: อาจารย์ ดร.กรณิการ์ อิมมาน

วิทยากรบรรยายพิเศษ (ภายใน): ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราณัฐ บุคติจิน

3. ภาพประกอบการเรียนการสอน

ตัวอย่างภาพการนำระบบการฝึกปฏิบัติเสริมทักษะเสมือนจริง “การออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์และทดสอบเชิงวิศวกรรม” เพื่อมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนชุดวิชาฝึกปฏิบัติเสริมทักษะชุดวิชา 97431 เทคโนโลยีการแปรรูปบรรจุภัณฑ์ ภาคการศึกษา 1/2566

