



การออกแบบเทคนิคสำหรับประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติก ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

DESIGN TECHNIQUES FOR RIBS TO ENHANCE THE EFFICIENCY OF BIODEGRABLE PLASTIC PRODUCTS

ธีรวัฒน์ แสงภาศ, ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง*

Teerawat Sangkas, Supasit Manokruang*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Mueang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*Corresponding author e-mail: supasit.m@rmutl.ac.th

วันที่เข้ารับ 15 มีนาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์พลาสติกซ้อนและส้อม โดยการออกแบบเสริมครีบริบ (Rib) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) เพื่อประเมินความแข็งแรงก่อนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ผลิตภัณฑ์พลาสติกซ้อนและส้อมออกแบบมีความหนา (T) 3 mm ความสูงครีบริบ (h) 1.5 mm มุมเอียงของครีบริบ (α) 0.5° รัศมีฐานของครีบริบ (r) 1.5 mm ความหนา (t) 1.5 mm ผลการวิเคราะห์ FEA เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาที่ 1 ไม่มีเสริมกรณีศึกษาที่ 2 มีครีบริบเสริม พบว่าผลิตภัณฑ์ซ้อนที่มีครีบริบเสริมมีค่าความเค้นสูงสุด (Max. Stress) ลดลง 50% ความเครียดสูงสุด (Max. Strain) ลดลง 68% และการกระจัดสูงสุด (Displacement) ลดลง 31% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ส้อมที่มีครีบริบเสริมมีค่าความเค้นและความเครียดสูงสุดเพิ่มขึ้น 34% และ 80% ตามลำดับ แต่การกระจัดสูงสุดลดลง 13% การวิเคราะห์ FEA แสดงให้เห็นว่าการเสริมครีบริบช่วยกระจายแรงและลดความเสี่ยงต่อการเสียหายในบางบริเวณของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจทำให้เกิดการรวมตัวของความเค้นในบริเวณอื่น ดังนั้น การออกแบบครีบริบเสริมจึงต้องคำนึงถึงการกระจายแรงอย่างสมดุล การนำเทคนิคการเสริมครีบริบและการวิเคราะห์ FEA มาใช้ร่วมกันช่วยให้สามารถปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ ลดเวลาและต้นทุนในการผลิตแม่พิมพ์ และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้

คำสำคัญ: ครีบริบเสริม, ผลิตภัณฑ์พลาสติก, แม่พิมพ์พลาสติก, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, พลาสติกชีวภาพ

Abstract

This research focuses on enhancing the strength of plastic spoon and fork products through rib design in conjunction with Finite Element Analysis (FEA) to evaluate structural strength prior to injection mold production. The designed spoon and fork have a thickness (T) of 3 mm, rib height (h) of 1.5 mm, rib angle (α) of 0.5° , rib base radius (r) of 1.5 mm, and rib thickness (t) of 1.5 mm. FEA results compare two cases: Case 1 without reinforcement and Case 2 with reinforced ribs. The analysis revealed that the spoon with rib reinforcement exhibited a 50% reduction in maximum stress, a 68% reduction in maximum strain, and a 31% reduction in maximum displacement. In contrast, the fork with rib reinforcement showed increases in maximum stress and strain by 34% and 80%, respectively, while maximum displacement decreased by 13%. The FEA results indicate that rib reinforcement can help distribute forces more evenly and reduce the risk of failure in certain areas. However, it may also lead to stress concentration in other regions. Therefore, rib design must ensure balanced force distribution. Integrating rib reinforcement techniques with FEA can improve product design, shorten mold production time, reduce costs, and enhance manufacturing efficiency.

Keywords: Rib design, Plastic product, Plastic injection molding, Finite element analysis, Biodegradable plastic

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมหลักของการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกหลากหลายประเภท อาทิเช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมนี้ต้องเผชิญกับความท้าทายกับการแข่งขันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การรักษาคุณภาพของงานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก

การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกมีหลากหลายเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบ อาทิเช่น การทำมุมเอียง (Draft angle) ของผนัง การทำโค้ง (Radius) บริเวณขอบหรือสัน ของผลิตภัณฑ์ และการเสริมครีป (Rib) เป็นต้น (Jaiswal *et al.*, 2023) การออกแบบด้วยวิธีการครีป (Rib) เป็นเทคนิคสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยไม่ต้องเพิ่มความหนาของผนังโดยรวม ซึ่งช่วยลดการใช้วัสดุและลดต้นทุนการผลิต ครีปทำหน้าที่กระจายแรงและลดการโก่งตัวของชิ้นงาน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น (Zhang, 2017 และ Kazmer, 2024)

ประเภทของครีบบีหลากหลาย เช่น ครีบตรง ครีบโค้ง และครีบไขว้ (Yoon *et al.*, 2018) ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การออกแบบครีบที่ดีต้องคำนึงถึงขนาด ตำแหน่ง และรูปทรงที่เหมาะสม เพื่อป้องกันปัญหาการรอยยุบตัว (Sink mark) และการไหลของพลาสติก (Flow mark) ที่ไม่สมบูรณ์ (Ma *et al.*, 2021 และ Mourya *et al.*, 2023) การนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite Element Analysis) เข้ามามีส่วนร่วมพยากรณ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทดสอบการรับน้ำหนัก การรับแรง และการเสียหาย เป็นต้น เป็นการช่วยสนับสนุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถใช้งานตามวัตถุประสงค์ อีกทั้งยังลดเวลาในการทดสอบ เวลาการผลิตได้อีกทางด้วยเช่นกัน (Liu *et al.*, 2012 & Aksen *et al.*, 2020)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการนำเทคนิคการเสริมครีบ (Rib) เข้ามาเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อมจากวัสดุพลาสติกชีวภาพ (Biodegradable plastic) (Gorrepotu *et al.*, 2022) ที่สามารถย่อยสลายได้ ยังคำนึงถึงการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) เข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม เพื่อช่วยการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ลดเวลาในการปรับแก้ไขของแม่พิมพ์ได้ด้วยเช่นกัน

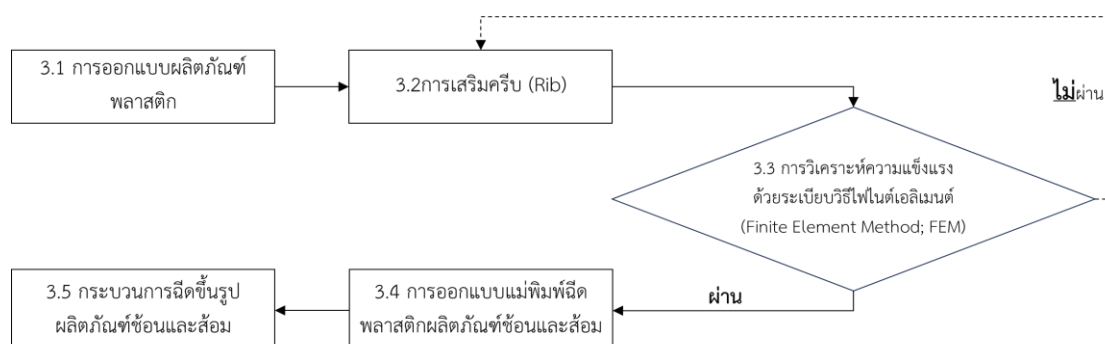
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกชิ้นและส้อมโดยการออกแบบเสริมครีบ (Rib) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2 เพื่อเสริมความแข็งแรงผลิตภัณฑ์พลาสติกชิ้นและส้อม

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

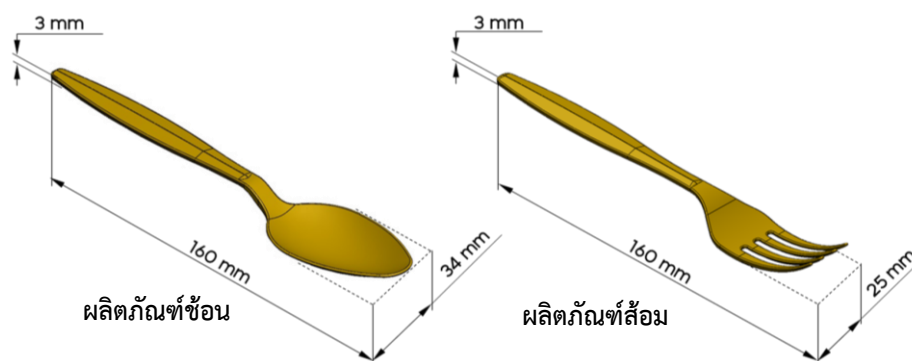
การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

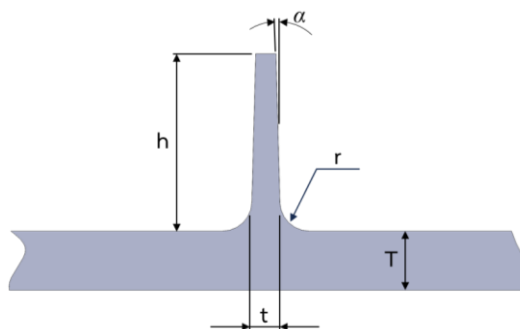
การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการออกแบบคือ ช้อนและส้อม ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer-aided design: CAD) ด้วยโปรแกรม Autodesk fusion 360 (Coward, 2019) ดังภาพที่ 2 แสดงขนาดของผลิตภัณฑ์ช้อน (กว้างxยาวxหนา) 34x160x3 mm และขนาดของผลิตภัณฑ์ส้อม (กว้างxยาวxหนา) 25x160x3 mm หน้าที่การทำงานต้องสามารถรับน้ำหนักของอาหาร และไม่เกิดการเสียหายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการออกแบบต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของการรับน้ำหนักอาหาร จึงนำหลักการออกแบบครีป (Rib) (Zhang *et al.*, 2017) เข้ามามีส่วนช่วยในการออกแบบในครั้งนี้



ภาพที่ 2 ขนาดผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

3.2 การเสริมครีป (Rib)

การออกแบบเสริมครีป (Rib) เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมความแข็งแรง การกระจายน้ำหนัก และลดการโก่งงอ (Warpage) (Yoon *et al.*, 2018) ให้กับผลิตภัณฑ์ โดยมีหลักการออกแบบดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หลักการออกแบบขนาดของการเสริมครีป (Rib) (ที่มา: Rosato *et al.*, 2012)

เมื่อ ความหนาสูงสุดของผนังผลิตภัณฑ์ (T) มุมเอียง (α) คือ 0.5° รัศมีฐานของครีบริบ (r) คือ $0.5T$ ความหนา (t) คือ $\leq 0.5T$ และความสูง (h) ของครีบริบ คือ $\leq 3T$ เพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์

3.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEA)

การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) (Lai *et al.*, 2018) ใช้เพื่อจำลองและประเมินความแข็งแรงของชิ้นและส้อมพลาสติกภายใต้เงื่อนไขการใช้งานต่างๆ โดยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ กำหนดคุณสมบัติวัสดุ สร้างตาข่ายไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม กำหนดเงื่อนไขขอบเขต และวิเคราะห์การกระจายความเค้นและความเครียด เพื่อตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ ตามสมการที่ 1 (วีระยุทธ, 2559) การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 (Land K., 2023) ในการทดสอบ ดังสมการที่ 1

$$[k]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

เมื่อ k คือ เมตริกซ์ความแข็งแรงของ Element

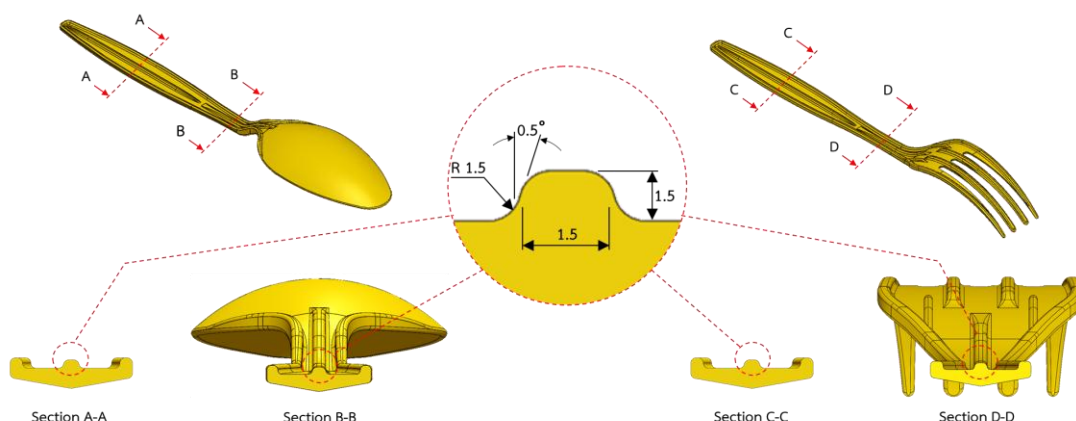
u คือ การเคลื่อนที่ของ Node

F คือ ค่าแรงที่กระทำต่อเอลิเมนต์ (Element)

สมการที่ได้อยู่ในรูปของตัวแปรของสมการเมทริกซ์ (Matrix) จากนั้นนำไปคำนวณจนได้ค่าการเคลื่อนที่ของ Node displacement ทำให้ได้ค่าของ ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้น

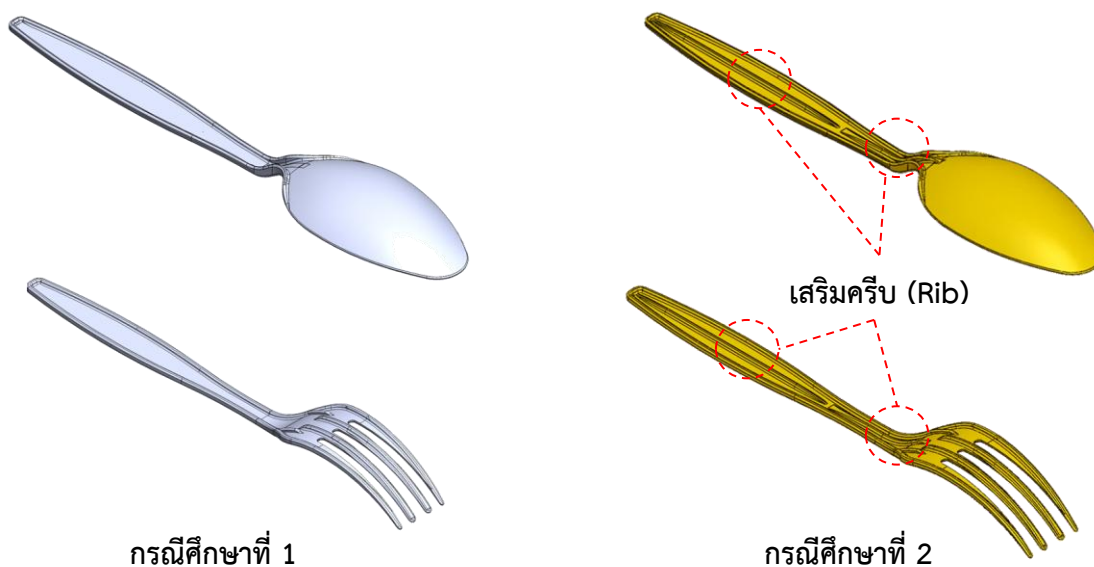
3.4 การเสริมครีบริบ (Rib) ร่วมกับผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม

การนำหลักการเสริมครีบริบร่วมกับผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม ตำแหน่งที่ทำการเสริมครีบริบอยู่บริเวณด้าม (Section A-A, C-C) เนื่องจากเป็นส่วนที่สัมผัสรับแรงจากผู้ใช้งาน และบริเวณดักอาหารรับน้ำหนักของอาหาร (Section B-B, D-D) ความหนาสูงสุดของผนังผลิตภัณฑ์ (T) คือ 3 mm ดังนั้นขนาดความสูงครีบริบ (h) คือ 1.5 mm มุมเอียง (α) คือ 0.5° รัศมีฐานของครีบริบ (r) คือ 1.5 mm ความหนา (t) คือ 1.5 mm แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเสริมครีป (Rib) ในผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมไม่มีการเสริมครีป (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมเสริมครีป (Rib) แสดงดังภาพที่ 5

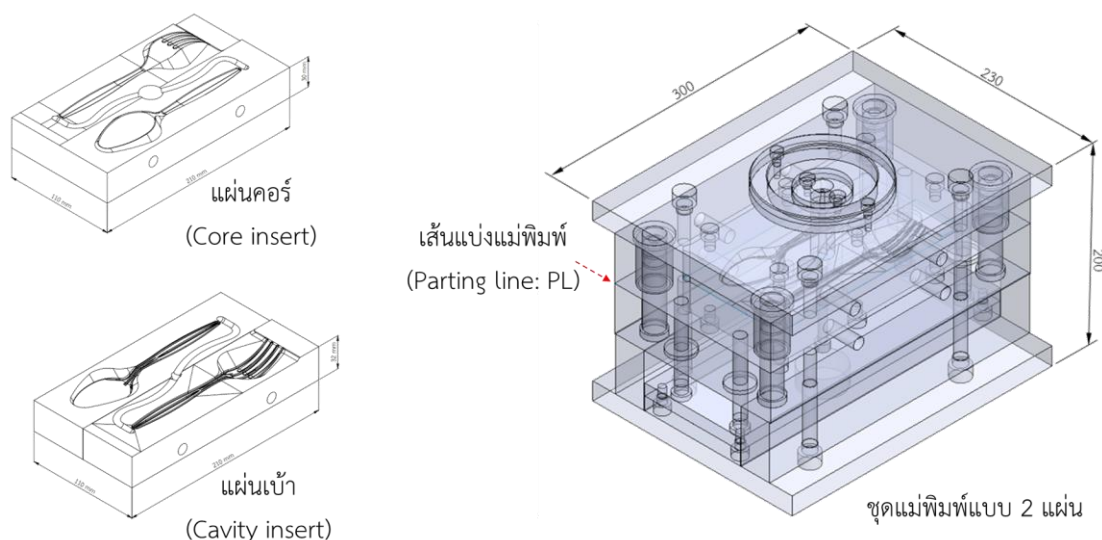


ภาพที่ 5 กรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม ไม่มีการเสริมครีป (Rib)
และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม เสริมครีป (Rib)

3.5 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

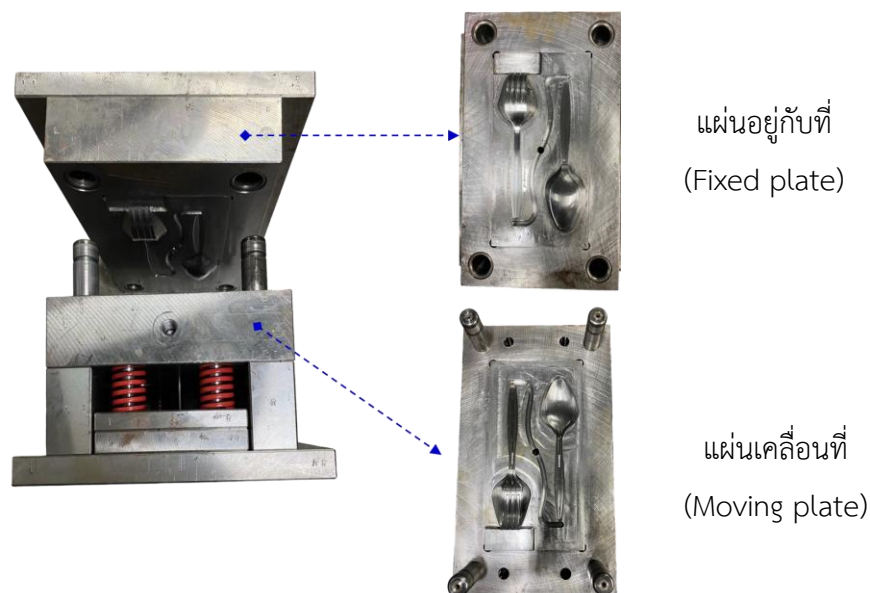
การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกประเภทแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น (2-Plate mould) (Moayyedean *et al.*, 2015 และ Yusof *et al.*, 2018) มีเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line: PL) 1

แนวเปิดแม่พิมพ์ (Hou *et al.*, 2018) บริเวณขอบผลิตภัณฑ์ซ้อนและซ้อน การวางตำแหน่ง (Cavity layout) แบบ 2 เบ้า (Cavity) (Mahshid *et al.*, 2021) และตำแหน่งการวางผลิตภัณฑ์แบบสลับ เพื่อรักษาแรงดันปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) ให้มีความสมดุลในระหว่างกระบวนการฉีด (Xu *et al.*, 2021) และขนาดแม่พิมพ์ฉีด (กว้าง×ยาว×สูง) คือ 230×300×200 mm แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผ่นคอร์ (Core insert) แผ่นเบ้า (Cavity insert) และขนาดชุดแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น พร้อมแนวเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line: PL)

แม่พิมพ์แบบ 2 แผ่นของผลิตภัณฑ์ซ้อนและซ้อน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) แผ่นอยู่กับที่ (Fixed plate) ทำหน้าที่รับน้ำพลาสติกจากหัวฉีด (Nozzle) ของเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000 ไม่มีการเคลื่อนที่ 2) แผ่นเคลื่อนที่ (Moving plate) ทำหน้าที่เคลื่อนที่ เปิด-ปิดแม่พิมพ์ เพื่อปลดผลิตภัณฑ์ซ้อนและซ้อนออกจากแม่พิมพ์ของแต่ละรอบการผลิต แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผ่นอยู่กับที่ (Fixed plate) และ แผ่นเคลื่อนที่ (Moving plate)
ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ 2 แผ่น ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

3.6 กระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

3.6.1 เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYF-1000

เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYF-1000 แบบแนวนอน (Horizontal injection molding machine) ดังภาพที่ 8 มาใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทต่างๆ หลักการทำงานของเครื่องฉีดคือ นำเม็ดพลาสติกใส่ในกรวยวัสดุ (Hopper) จากนั้นเกลียวลำเลียงวัสดุผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) และเมื่อถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของแต่ละวัสดุ ฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ (Kazmer, 2022) รายละเอียดของเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000 ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 8 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น รุ่น HYF-1000 (ที่มา: คู่มือเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000, 2557)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYF-1000

ระบบ	รายการ	ค่า	หน่วย
ระบบฉีด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู	35	mm
	ปริมาตรฉีดสูงสุด	160	cm ³
	แรงดันฉีดสูงสุด	1,835	kg/cm ²
	อัตราความเร็วฉีด	90	cm ³ /s
ระบบยัดแม่พิมพ์	ความเร็วรอบของสกรู	0-200	rpm
	ขนาดสูงสุดของแม่พิมพ์	360 x 315	mm
	แรงยัดแม่พิมพ์สูงสุด	100	Ton
	ระยะเปิดแม่พิมพ์สูงสุด	305	mm

ที่มา: คู่มือเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000, 2557

3.6.2 คุณสมบัติวัสดุสำหรับการทดลอง

วัสดุเป็นปัจจัยหลักของการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม โดยการทดลองนี้เลือกใช้วัสดุพลาสติกชีวภาพ (Biodegradable material) มีส่วนประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) (Taib *et al.*, 2023) และฟางข้าว (Singh *et al.*, 2024) โดยมีพารามิเตอร์ของการปรับฉีด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุพลาสติกชีวภาพ (Biodegradable material)

รายการ	ตัวย่อ	ค่า	หน่วย
1. ความหนาแน่น	ρ	1.25	g/cm ³
2. อุณหภูมิหลอมเหลว	T_m	185-180	°C
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์	T_w	50-80	°C
4. อัตราการไหล		5.9-8.46	g/10min
5. อัตราการหดตัว		0.3	%

ที่มา: Farah *et al.*, 2016

3.6.3 ความดันฉีด (Injection pressure)

งานฉีดพลาสติกความดันฉีดเกิดจากต้นกำลังความดันกระบอกไฮดรอลิกส์และส่งผ่านความดันที่ปลายเกลียวหนอนของหัวฉีด (Nozzle) โดยความดันที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณ ดังสมการที่ 2 (ดำรง, 2536)

$$P_2 = \frac{P_1 \times A_1}{A_2} \quad (2)$$

เมื่อ	P_2	คือ	ความดันที่ปลายเกลียวหนอน (bar)
	P_1	คือ	ความดันของไฮดรอลิกส์ (bar)
	A_1	คือ	พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (cm ²)
	A_2	คือ	พื้นที่หน้าตัดของเกลียวหนอน (cm ²)

โดยที่ ความดันของกระบอกไฮดรอลิกส์ (P_1) คือ 120 bar ลูกสูบไฮดรอลิกส์เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm พื้นที่หน้าตัดไฮดรอลิกส์ (A_1) คือ 113.10 cm² และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวหนอน 3.5 cm พื้นที่หน้าตัดเกลียวหนอน (A_2) คือ 9.6 cm² ดังนั้น ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (P_2) คือ 1,413.75 $\approx$ 1,414 bar

3.5.4 แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force)

แรงปิดแม่พิมพ์มีส่วนสำคัญอย่างมากของกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อต้านแรงดันของพลาสติกที่เข้าสู่แม่พิมพ์ ถ้าแรงปิดแม่พิมพ์น้อยกว่าแรงดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น การยุบตัว (Sink mark) และการเกิดครีป (Flashing defect) เป็นต้น (Mourya *et al.*, 2023) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ สมการแรงปิดแม่พิมพ์แสดงในสมการที่ 3

$$F = P \times A \quad (3)$$

เมื่อ	F	คือ	แรงปิดแม่พิมพ์ (Ton)
	P	คือ	แรงดันฉีด (kgf/cm ²)
	A	คือ	พื้นที่ภาพฉายของผลิตภัณฑ์ (cm ²)

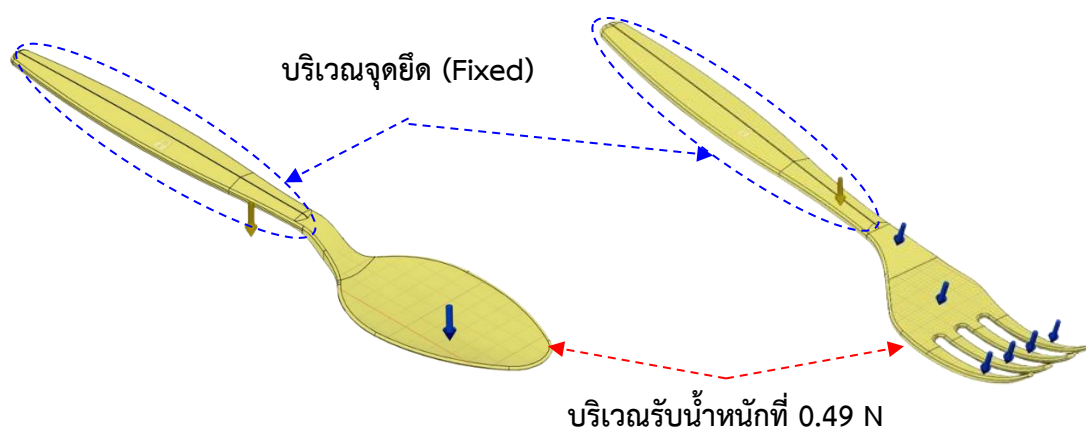
โดยค่าของแรงดันฉีด (P) ได้จากการเปิดตารางคุณสมบัติของวัสดุพอลิแล็กติกแอซิด (PLA) มีค่า 703 kgf/cm² (Poszwa *et al.*, 2019) พื้นที่ภาพฉายของผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม อีกทั้งรวมถึงพื้นที่ของทางวิ่ง (Runner) คือ 148.44 cm² ดังนั้นแรงปิดแม่พิมพ์ (F) คือ 847.44 $\approx$ 848 Ton

และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYP-1000 โดย กำลังแรงดันฉีดของเครื่องอยู่ที่ $1,835 \text{ kg/cm}^2 \approx 1,799 \text{ bar}$ (เนื่องจาก $1.02 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ bar}$)

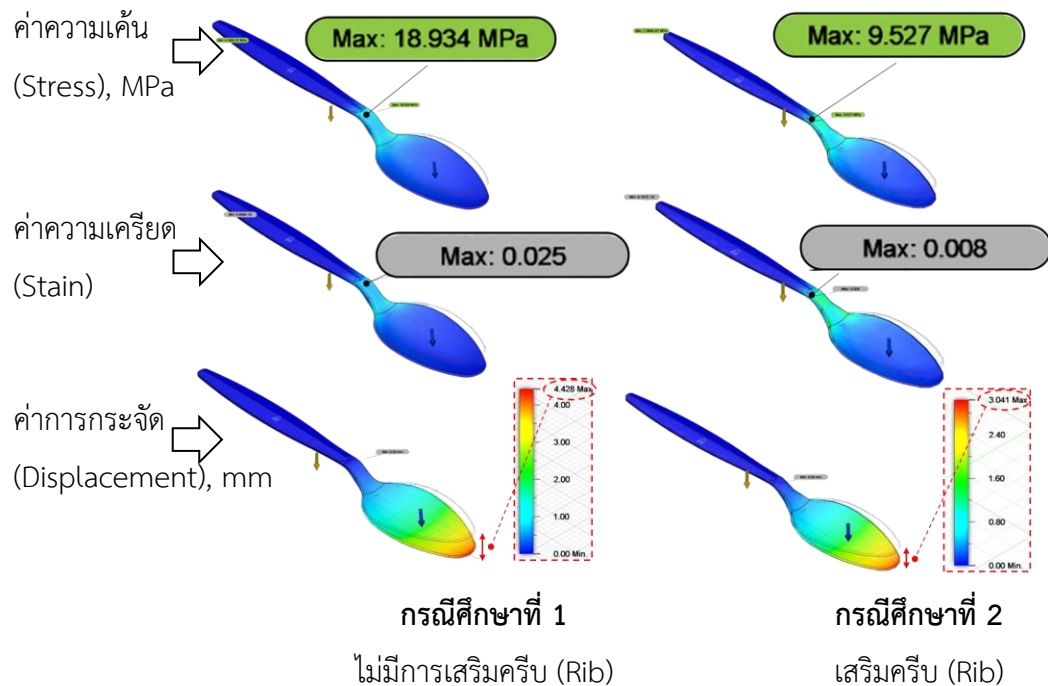
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

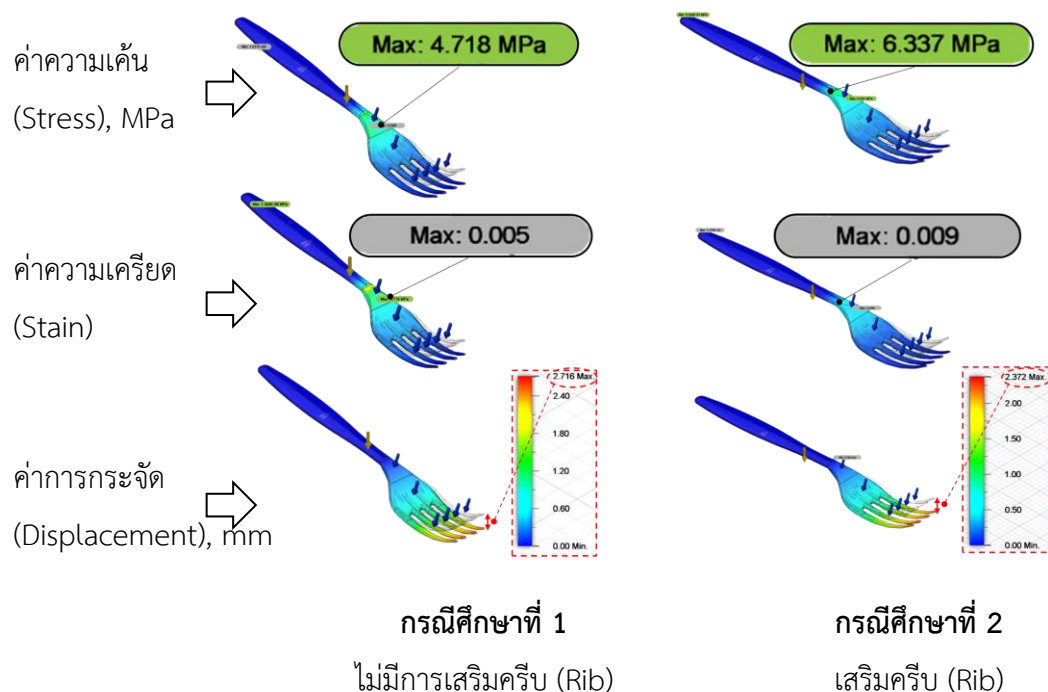
การหาน้ำหนักที่ทำการทดสอบอ้างอิงการทดสอบจริง โดยตัวอย่างการทดลองในการดักข้าวหุงสุก อยู่ที่ 10 g/ครั้ง ดังนั้นในการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) น้ำหนักของอาหารอยู่ที่ 50 g/ครั้ง หรือ 0.49 N เนื่องจากมีการเผื่อค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ที่ 5 เท่าของน้ำหนักข้าวหุงสุก และกำหนดจุดยึด (Fixed) บริเวณด้านของผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม แสดงดังภาพที่ 9 ในภาพที่ 10-11 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) และผลการเปรียบเทียบ ค่าความเค้น (Stress) ค่าความเครียด (Strain) และค่าการกระจัด (Displacement) ของกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ตามตารางที่ 3



ภาพที่ 9 ตำแหน่งบริเวณจุดยึด (Fixed) และการรับน้ำหนักของอาหาร



ภาพที่ 10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ของผลิตภัณฑ์ช้อน



ภาพที่ 11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ของผลิตภัณฑ์ส้อม

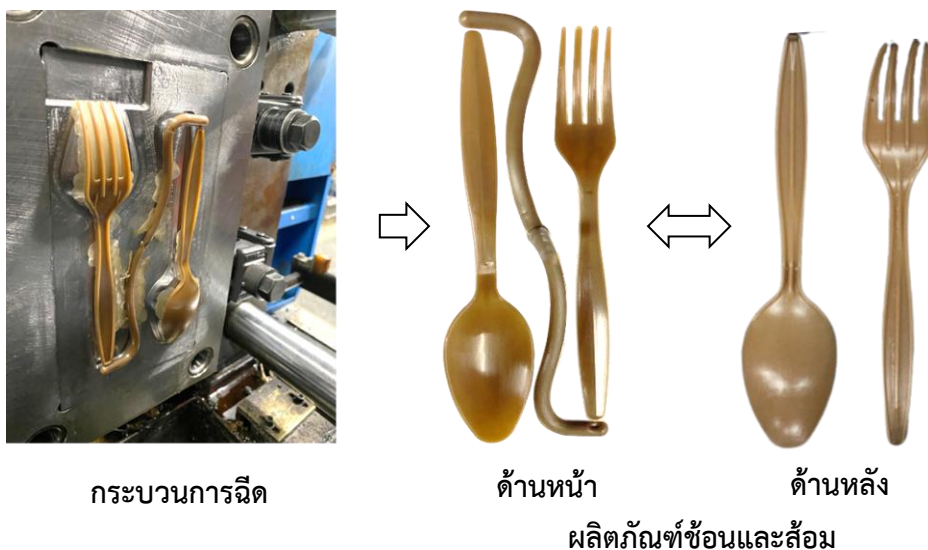
ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ข้อและส้อมไม่มีการเสริมครีป (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ข้อและส้อมเสริมครีป (Rib) ของผลิตภัณฑ์ข้อและส้อม

รายการ	กรณีศึกษา		กรณีศึกษาที่ 1		กรณีศึกษาที่ 2		ผลต่าง (กรณีศึกษาที่ 1- กรณีศึกษาที่ 2)			
			ข้อ	ส้อม	ข้อ	ส้อม	ข้อ	%	ส้อม	%
ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress), MPa			18.934	4.718	9.527	6.337	9.407	50%	1.619	-34%
ค่าความเครียด (Max. strain)			0.025	0.005	0.008	0.009	0.017	68%	0.004	-80%
ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement), mm			4.428	2.716	3.041	2.372	1.387	31%	0.344	13%

พบว่าค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) ของผลิตภัณฑ์ข้อ ที่เกิดขึ้นของกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 18.934 MPa เปรียบเทียบกับ กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 9.527 MPa มีผลต่าง คือ 9.407 MPa (50 %) ค่าความเครียดสูงสุด (Max. Strain) ของกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.025 กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.008 มีผลต่าง 0.017 (68 %) และ ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) ของกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.428 mm กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 3.041 mm มีผลต่าง 1.387 mm (31%) ในส่วนผลของการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ส้อม ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) ของกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.718 MPa เปรียบเทียบกับ กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 6.337 MPa มีผลต่าง คือ 1.619 MPa (-34 %) ค่าความเครียดสูงสุด (Max. strain) ของกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.005 กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.009 มีผลต่าง 0.004 (-80 %) และ ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) ของกรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 2.716 mm กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 2.372 mm มีผลต่าง 0.344 mm (13%)

4.3 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ 2 แผ่น และพารามิเตอร์ปรับฉีดผลิตภัณฑ์ข้อและส้อม

กระบวนการปรับฉีดของผลิตภัณฑ์ข้อและส้อม แสดงดังภาพที่ 12 และพารามิเตอร์ของการปรับฉีดแสดงดังตารางที่ 4



ภาพที่ 12 กระบวนการฉีดของผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ของการปรับฉีดผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

รายการ	หน่วย	ค่าที่จากคำนวณ	ค่าใช้จริง	ผลต่าง (%)
1. ความดันฉีด	bar	1,414	1,500	6%
2. แรงปิดแม่พิมพ์	bar	848	850	0.2%
3. ปริมาณในการฉีด	g	18.5	20	8%
4. เวลาในการฉีด	sec	25	32	12%

ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ใช้ในการปรับฉีดงานของ ความดันฉีด (Injection pressure) เพิ่มขึ้น 6% แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) เพิ่มขึ้น 2% ปริมาณในการฉีด เพิ่มขึ้น 8% และเวลาในการฉีดเพิ่มขึ้น 12% โดยสาเหตุที่การปรับฉีดเพิ่มขึ้นเกิดขึ้นหลายปัจจัย อาทิเช่น ประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ลดลง ความชื้นภายในโรงงาน และวัสดุในการทดลอง เป็นต้น ดังนั้นค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นการเริ่มต้นของพารามิเตอร์ปรับฉีดเพื่อลดเวลาในส่วนงานนี้

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การออกแบบผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมนำเทคนิคการออกแบบเสริมครีป (Rib) เข้าช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ บริเวณด้ามและคอของส่วนช้อนและส้อมที่มีการรับน้ำหนักของอาหาร ความหนาสูงสุดของผนังผลิตภัณฑ์ (T) คือ 3 mm ดังนั้นขนาดความสูงครีป (h) คือ 1.5 mm มุมเอียง (α) คือ 0.5° รัศมีฐานของครีป (r) คือ 1.5 mm ความหนา (t) คือ 1.5 mm และได้มีการนำ

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) เข้ามามีส่วนร่วมในการทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบความสามารถของชิ้นและส้อมไม่เกิดความเสียหายก่อนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยเปรียบเทียบการออกแบบผลิตภัณฑ์เป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อมไม่มีการเสริมครีป (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อมเสริมครีป (Rib) ผลที่ได้ คือ ผลิตภัณฑ์ชิ้น ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 18.934 MPa กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 9.527 MPa พบว่าค่าความเค้นสูงสุด ลดลง 50% ค่าความเครียดสูงสุด (Max. Strain) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.025 กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.008 พบว่าค่าความเครียดสูงสุด ลดลง 68% และค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.428 mm กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 3.041 พบว่าค่าความเครียดสูงสุด ลดลง 31% ผลิตภัณฑ์ส้อม ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.718 MPa กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 6.337 MPa พบว่า ค่าความเค้นสูงสุด เพิ่มขึ้น 34% ค่าความเครียดสูงสุด (Max. strain) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.005 กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.009 พบว่าค่าความเครียดสูงสุด เพิ่มขึ้น 80% และ ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 2.716 mm กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 2.372 mm พบว่าค่าความเครียดสูงสุด ลดลง 13% สามารถสรุปได้ว่า เมื่อทำการเสริมครีป (Rib) ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) ความเครียดสูงสุด (Max. strain) และระยะการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) ลดลง เนื่องจากการกระจายแรง และความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เป็นผลของการเสริมครีปให้กับผลิตภัณฑ์

ดังนั้นการนำเทคนิคการเสริมครีป (Rib) เป็นเทคนิคช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีข้อจำกัดด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ในขณะที้นำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ช่วยให้เราสามารถจำลองพฤติกรรมการรับแรงของผลิตภัณฑ์และตรวจสอบจุดอ่อนก่อนการผลิตแม่พิมพ์จริง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหาย การแก้ไขปัญหของแม่พิมพ์ และปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ สำหรับเครื่องมือในการทดลอง และทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ดำรง ไชยธีรานุวัฒน์ศิริ. (2536). การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. (2559). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยเทคนิคการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์. *Naresuan University Engineering Journal*, 11(1), 101-109.

- ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง, อติเรก ชัยนวกุล และธีรวัฒน์ แสงภาศ. (2566). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบแยกข้างด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 5(2), 192-206.
- Aksen, T., Sener, B., & Firat M. (2020). Failure Prediction Capability of Generalized Plastic Work Criterion. **23rd International Conference on Material Forming**, 47, 1235-1240.
- Coward, C. (2019). A Beginner's Guide to 3D Modeling: **A Guide to Autodesk Fusion 360**.
- Farah, S., Anderson, D.G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. **Advanced drug delivery reviews**, 107, 367-392.
- Hou, B., Huang, Z., Zhou, H., & Li, D. (2018). A hybrid approach for automatic parting curve generation in injection mold design. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 95, 3985-4001.
- Jaiswal, A.K., & Afzal, A. (2023). Design optimization of prismatic rib turbulators in a rectangular channel based on multi-objective criterion. **International Journal of Thermal Sciences**, 185, 108091.
- Kazmer, D.O. (2022). Injection mold design engineering. **Carl Hanser Verlag GmbH Co KG**.
- Kazmer, D.O. (2024). **Design of plastic parts**. In **Applied plastics engineering handbook**. William Andrew Publishing.
- Lai, J.Y., Wang, M.H., Song, P.P., Hsu, C.H., & Tsai, Y.C. (2018). Recognition and decomposition of rib features in thin-shell plastic parts for finite element analysis. **Computer-Aided Design and Applications**, 15(2), 264-279.
- Land, K.M. (2023). **Improving CAD Designs with Autodesk Fusion 360: A project-based guide to modelling effective parametric designs**. Packt Publishing Ltd.
- Liu, P.F., Zhang, B.J., & Zheng, J.Y. (2012). Finite element analysis of plastic collapse and crack behavior of steel pressure vessels and piping using XFEM. **Journal of failure analysis and prevention**, 12, 707-718.
- Ma, Z., Wei, W., Zu, Y., Huang, M., Zhou, P., Shi, X., & Liu, C. (2021). A novel and simple method to improve thermal imbalance and sink mark of gate region in injection

- molding. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 127, 105498.
- Mahshid, R., Zhang, Y., Hansen, H. N., & Slocum, A. H. (2021). Effect of mold compliance on dimensional variations of precision molded components in multi-cavity injection molding. **Journal of Manufacturing Processes**, 67, 12-22.
- Md Yusof, M., & Abu Mansor, M. S. (2018). Alternative method to determine parting direction automatically for generating core and cavity of two-plate mold using B-rep of visibility map. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 96, 3109-3126.
- Moayyedean, M., Abhary, K., & Marian, R. (2015). New design feature of mold in injection molding for scrap reduction. **Procedia manufacturing**, 2, 241-245.
- Mourya, A., Nanda, A., Parashar, K., & Kumar, R. (2023). An explanatory study on defects in plastic molding parts caused by machine parameters in injection molding process. **Materials Today: Proceedings**, 78, 656-661.
- Rosato, D.V., & Rosato, M. G. (2012). **Injection molding handbook**. Springer Science & Business Media.
- Taib, N.A.A.B., Rahman, M.R., Huda, D., Kuok, K.K., Hamdan, S., Bakri, M.K.B., & Khan, A. (2023). A review on poly lactic acid (PLA) as a biodegradable polymer. **Polymer Bulletin**, 80(2), 1179-1213.
- Xu, Y., Liu, G., Dang, K., Fu, N., Jiao, X., Wang, J., & Yang, W. (2021). A novel strategy to determine the optimal clamping force based on the clamping force change during injection molding. **Polymer Engineering & Science**, 61(12), 3170-3178.
- Yoon, T.H., Park, H., Kim, J., Jung, B., Park, S., & Byun, J. (2018). Injection molding simulation of rib arrangement consideration for reducing side part warpage of baffle plate in fuel tank. **Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A**, 42(11), 1021-1028.
- Zhang, S., & Norato, J.A. (2017). Optimal design of panel reinforcements with ribs made of plates. **Journal of Mechanical Design**, 139(8), 081403.