



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค

A Packing Machine Cubic of Pickled Fishes in Blister Packs

นายอนินท์	มีมนต์	หัวหน้าโครงการ
นายศักดิ์ชัย	จันทศรี	ผู้ร่วมวิจัย
ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิสเตอร์แพ็คด้วย

คณะผู้วิจัย

นายอนินท์	มีมนต์	หัวหน้าโครงการ
นายศักดิ์ชัย	จันทศรี	ผู้ร่วมวิจัย
ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี 2554

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค สำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมทั้งระบบสาธารณูปโภคต่างๆ อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและเครื่องทดสอบสำหรับการทดลองในครั้งนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พร้อมด้วยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่พิจารณาอนุมัติสนับสนุนงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2554

ขอขอบคุณกลุ่มนักศึกษา นายมงคล จำปาลี้ม, นายประชา ยินดียม, นายทวิชัย บัวปรี และ นายกิตติศักดิ์ ปัญญาใส ที่ทำหน้าที่ผู้ช่วยในการวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยเรื่องนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนารูปแบบการสร้างบรรจุภัณฑ์แบบบลิสเตอร์แพ็คสำหรับบรรจุภัณฑ์อื่นนอกเหนือจากปลาร้าก่อน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับงานวิจัยฉบับนี้

คณะผู้วิจัย

2554



บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิเตอร์แพ็คมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการสร้างบรรจุภัณฑ์แบบบลิเตอร์แพ็คให้กับปลาร้าก่อน โดยเครื่องอัดปลาร้าก่อนด้วยระบบนิวแมติกเป็นโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2551 โดยผลการวิจัยที่ได้สามารถอัดก้อนปลาร้าให้มีขนาด 25 x 30 x 12 มิลลิเมตร การสร้างบรรจุภัณฑ์บลิเตอร์แพ็คสำหรับปลาร้าก่อนเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยปิดผนึกกับถาดหลุมพอลิพรอพิลีน เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบและสร้างมีขนาดประมาณ 50 x 70 x 115 เซ็นติเมตร ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ได้แก่ โครงสร้างของเครื่องทำหน้าที่รองรับการทำงานของทุกชิ้นส่วน ชุดม้วนฟอยล์อะลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ที่ใช้ในการเก็บม้วนฟอยล์อะลูมิเนียม ชุดปิดผนึกและตัดฟอยล์อะลูมิเนียม ทำหน้าที่ปิดผนึกและตัดแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม ชุดเลื่อนทำหน้าที่เคลื่อนที่ออกมารับถาดหลุมสำหรับบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนและเคลื่อนที่เข้าไปปิดผนึก ถาดหลุมพอลิพรอพิลีนมีขนาด 110 x 110 มิลลิเมตร และความหนาเฉลี่ย 0.5 มิลลิเมตร อลูมิเนียมฟอล์ยที่ใช้มีความหนา 0.06 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร จากการทดลองสร้างบรรจุภัณฑ์สำหรับปลาร้าก่อนแบบสี่หลุม พบว่าช่วงอุณหภูมิที่ปิดผนึกแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียมติดกับบรรจุภัณฑ์อยู่ในช่วง 200°C - 220 °C เวลาที่เหมาะสมในการปิดผนึก 8 วินาที ใช้เวลารวมทั้งหมดในการสร้างบรรจุภัณฑ์ 15 วินาที รวมเวลาในการป้อนก้อนปลาร้าจำนวน 4 ก้อนลงในถาดหลุม เคลื่อนที่เข้าทำการปิดผนึก เคลื่อนที่ออกและดันปลดถาดหลุม ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนที่ได้มีรอยปิดผนึกที่สมบูรณ์ไม่เกิดการรั่วซึม

คำสำคัญ : ปลาร้าก่อน, ปลาร้าอบแห้ง, เครื่องอัดก้อน, เครื่องบรรจุภัณฑ์, บรรจุภัณฑ์แบบบลิเตอร์แพ็ค

Abstract

The purpose of this research was designed and constructed a packing machine cubic of pickled fish in blister packs. Researcher got fund from Nation Research Council of Thailand (NRCT) to construct the machine for compress cubic of pickled fish size 25 x 30 x 12 millimeter. Aluminum foil was used as sealing materials has thickness 0.06 millimeter and width 150 millimeter. The polypropylene tray has size 110 x 110 millimeter, thickness 0.3 millimeter and consists of 4 sockets. A packing machine was constructed and it had size 50 x 70 x 115 centimeter. The importance components of this machine consisted of main structure, aluminum foil feeder, sealing part and tray transporter. The main results obtained as follows. Total time for produced packaging was 15 second. The temperature 230-240 °C shown good seal aluminum foil and polypropylene tray. In one hour, this machine could produce 240 packages of cubic pickled fish.

Keyword : Pickled fish cubic, Dry pickled fish, A machine for compression A Machine for packing, Blister Packaging



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
สารบัญ	(4)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.2 แม่พิมพ์ฉีด (Injection mold)	8
2.3 งานกัด (Milling)	10
2.4 มีดกัด (Cutters)	14
2.5 เส้นใยการตัดเฉือน	18
2.6 การวัดความเรียบผิว (Measurement of surface roughness)	21
2.7 เครื่องมือวัดความเรียบผิว	32
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์	37
3.2 วิธีการทดลอง	44
3.3 วิธีการวัดผล	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	
4.1 การตัดเชื่อมก้อนไม้เทียม	56
4.2 ผลการทดลองการสร้างมาสเตอร์โมเดล	61
4.3 ผลการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดด้วยมาสเตอร์โมเดลไม้เทียม	62
4.4 ผลการฉีดขึ้นงานจากรองแก้ว	64
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการตัดเชื่อมก้อนไม้เทียมเพื่อสร้างมาสเตอร์โมเดล	68
5.2 สรุปผลการตัดเชื่อมก้อนไม้เทียมเพื่อสร้างมาสเตอร์โมเดล	68
5.3 สรุปผลการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดด้วยมาสเตอร์โมเดลไม้เทียม	69
5.4 สรุปผลการฉีดขึ้นงานจากรองแก้ว	69
5.5 ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก คุณลักษณะของผงอะลูมิเนียม	75
ภาคผนวก ข คุณลักษณะของอีพ็อกซีเรซิน	77
ภาคผนวก ค เครื่องวัดความเรียบผิว	81
ภาคผนวก ง การนำเสนอผลงาน Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium 7 th	88
ภาคผนวก จ การนำเสนอผลงาน IE NETWORK CONFERENCE 2010	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปลาร้า เป็นอาหารกลุ่มปรุงรส ที่อยู่คู่กับวัฒนธรรมการบริโภคที่อยู่กับสังคมไทยมาเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประชากรในภาคอีสานและภาคเหนือ ปลาร้าเป็นรูปแบบการถนอมอาหารอย่างหนึ่งของชาวบ้านแต่ดั้งเดิม สามารถเก็บไว้รับประทานได้ระยะนาน โดยปลาร้าสามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง และสามารถใช้เป็นเครื่องปรุงในอาหารพื้นบ้านของภาคอีสานและภาคเหนือ เพื่อทำการปรุงแต่งรสชาติของอาหารให้มีรสชาติกลมกล่อม เช่น ส้มตำปลาร้า แกงอ่อม น้ำพริก ปลาร้าสับ และแกงชนิดต่างๆ ตามความนิยมบริโภคในพื้นที่นั้นๆ ปลาร้า มีรูปแบบการบริโภคหลากหลายชนิด เช่น ปลาร้าทั้งตัว ปลาร้าชิ้น ปลาร้าบด หรือดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบผง

ปัจจุบันการบริโภคปลาร้ายังคงเป็นที่นิยมไม่เสื่อมคลายไปจากสังคมพื้นบ้านของไทย ตลอดจนสังคมเมือง และเป็นที่รู้จักถึงรสชาติของปลาร้าที่ผ่านการปรุงแต่งเป็นอาหารชนิดต่างๆ ให้ได้รับประทาน แต่ด้วยความที่ปลาร้าเป็นอาหารจำพวกหมักดองที่มีกลิ่นค่อนข้างรุนแรง เมื่ออยู่ในรูปแบบของปลาร้าที่มีน้ำเป็นส่วนผสม ทำให้ประสบปัญหาเกี่ยวกับขั้นตอนการปรุงแต่งรสชาติอาหารสำหรับกลุ่มคนที่อยู่ในสังคมเมือง หรือเกิดปัญหาขึ้นระหว่างการขนส่ง เมื่อเกิดการหกเลี้ยวราด หรือรั่วซึม เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดนำปลาร้ามาอัดก้อน เพื่ออำนวยความสะดวกในการบริโภค เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปลาร้า โดยผ่านการอบแห้ง และบดให้อยู่ในรูปแบบผง แล้วอัดให้อยู่ในรูปแบบก้อนพร้อมสำหรับการบริโภค หรือปรุงรสชาติให้กับอาหารชนิดต่างๆ ด้วยเครื่องอัดปลาร้าก้อนด้วยระบบนิวแมติกที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ทุนอุดหนุนงานวิจัยประจำปี 2552 บัดนี้โครงการได้ประสบความสำเร็จในการอัดปลาร้าก้อนเพื่อการบริโภค รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของเครื่องที่สร้างและก้อนปลาร้าที่อัดได้



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของเครื่องอัดปลาร้าก้อนด้วยระบบนิวแมติก และก้อนปลาร้าที่อัดได้

กลุ่มผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตลอดจนจนถึงกลุ่มธุรกิจขนาดเล็กหลายรายที่ได้จำหน่ายสินค้าจำพวกปลาร้า ได้รับการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ไปอีกระดับหนึ่งด้วยเครื่องที่นักวิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้น ทำให้ลักษณะของปลาร้าได้ถูกเปลี่ยนรูปแบบการจัดจำหน่ายไป สามารถวางจำหน่ายในร้านสะดวกซื้อ ซูเปอร์มาร์เก็ต หรือคิสเค้าส์โตว์ขนาดใหญ่เหมาะกับกลุ่มผู้บริโภคที่มีลักษณะการจับจ่ายตามสมัยนิยม การออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับปลาร้าก้อนควรได้รับการพัฒนาเป็นพิเศษ เนื่องจากปลาร้ามีความโดดเด่นในเรื่องของกลิ่นไม่ต้องประสงค์ในบรรยากาศห้องปรับอากาศ ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ต้องมิดชิดป้องกันการรั่วของกลิ่นและสามารถป้องกันการเข้าไปปนเปื้อนของออกซิเจนได้เป็นอย่างดี ซึ่งออกซิเจนจะตัวแปรหลักในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมสภาพ ด้วยเหตุนี้กลุ่มนักวิจัยจึงได้มีแนวคิดต่อยอดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาร้าก้อนให้มีความสมบูรณ์พร้อมจำหน่ายในกลุ่มผู้บริโภครุ่นใหม่ที่มีลักษณะการบริโภคตามสมัยนิยม โดยการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์สำหรับปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค โดยมีหลักการใช้พอลิเอทิลีนปิคนิกด้านบนด้านบนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกแบบหลุมที่เหมาะสมสำหรับขนาดของปลาร้าก้อนอย่างแน่นอนหาด้วยหลักการปิคนิกด้วยความร้อน เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่จะเกิดขึ้นกับปลาร้าก้อน ที่สำคัญป้องกันกลิ่นอันไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก๊อแนแบบบลิสเตอร์แพ็ค
- 2) เพื่อพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ปลาร้าก๊อแนให้มีความเหมาะสม ความสะดวกในการปรุงอาหาร และ ดึงดูดใจในการเลือกซื้อ
- 3) เพื่อเพิ่มมูลค่าของปลาร้าในรูปแบบต่างๆ และได้ปลาร้าที่ถูกสุขลักษณะอนามัยส่งเสริมองค์ความรู้ด้านการผลิตอาหารให้ถูกต้องตามมาตรฐานการผลิตอาหาร (GMP)
- 4) เพื่อสร้างอาชีพให้กับชุมชน เพิ่มศักยภาพการนำผลิตภัณฑ์ปลาร้าก๊อแนเข้าแข่งขันเพื่อจำหน่ายในท้องตลาด สร้างสังคมชุมชนให้มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก๊อแนแบบบลิสเตอร์แพ็ค 50 x 70 x 115 เซ็นติเมตร
- 2) โดยออกแบบบรรจุภัณฑ์บลิสเตอร์แพ็คมีปลาร้าจำนวน 4 ก๊อแน ปิดผนึกด้านบนด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ความหนา 0.06 มิลลิเมตร ปลาร้าแต่ละก๊อแนมีขนาด 25 x 30 x 12 มิลลิเมตร โดยใช้บรรจุภัณฑ์แบบหุ้มพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 110 x 110 มิลลิเมตร
- 3) ทดสอบประสิทธิภาพของการสร้างบรรจุภัณฑ์เพื่อให้บรรจุภัณฑ์สามารถยืดอายุของผลิตภัณฑ์ได้นานพอ สร้างคุณภาพและดึงดูดความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

- 1) เครื่องต้นแบบบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก๊อแนแบบบลิสเตอร์ขนาด 50 x 70 x 115 เซ็นติเมตร
- 2) ได้บรรจุภัณฑ์บลิสเตอร์แพ็คมีปลาร้าจำนวน 4 ก๊อแน ปิดผนึกด้านบนด้วย อลูมิเนียมฟอยล์ความหนา 0.06 มิลลิเมตร ปลาร้าแต่ละก๊อแนมีขนาด 25 x 30 x 12 มิลลิเมตร โดยใช้บรรจุภัณฑ์แบบหุ้มพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 110 x 110 มิลลิเมตร

- 3) พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ปลาร้าก๊อมนให้มีความเหมาะสม ยืดอายุของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น เพิ่มความสะดวกในการปรุงอาหาร และเพิ่มแรงดึงดูดใจในการเลือกซื้อ และเป็นการเพิ่มองค์ความรู้ด้านผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐาน เพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น
- 4) นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ ทั้งผลิตภัณฑ์ และตัวเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก๊อมนแบบบลิสเตอร์ที่สร้างขึ้น เนื่องด้วยเป็นเทคโนโลยีการผลิตด้วยไทย เลือกใช้เทคโนโลยีที่ง่าย สะดวกต่อการปฏิบัติงานสำหรับผู้ใช้ในกลุ่มรากหญ้า ลดปัญหาเรื่องการซ่อมบำรุง ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ที่สำคัญเครื่องที่ผลิตได้จะมีราคาถูกเหมาะสมสำหรับการลงทุนในรูปแบบกลุ่ม OTOP, วิสาหกิจชุมชน หรือกลุ่มธุรกิจขนาดเล็กลงในแต่ละชุมชน



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี

การวิจัยเรื่องเครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ได้มีการทบทวนวรรณกรรม และรายการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัย ออกแบบสร้างเครื่อง การทดลอง ทดสอบ เพื่อให้ได้เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ที่มีประสิทธิภาพสามารถ ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 ปวเรศวร อินทุเศรษฐ, บดินทร์ อธิพิพจน์, สิริรัตน์ จงฤทธิพร และอชญา กังสุวรรณ [1]

ทดลองหมักปลาร้าจากปลาเป็ดทั้งหมด 5 สูตร ใช้วิธีการหมักแบบดั้งเดิม 3 สูตร คือ สูตร ที่ 1 หมักปลากับเกลือ (3:1 โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำมาคลุกกับรำ (1 ส่วน) สูตรที่ 2 ใช้ ปลา:เกลือ:รำ ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยน้ำหนัก สูตรที่ 3 ใช้ปลา:เกลือ:รำ:ข้าวฟ่าง ในอัตราส่วน 9:3:2:1 โดยน้ำหนัก สำหรับอีก 2 สูตรเป็นการหมักแบบหมักหัวเชื้อก่อน โดยสูตรที่ 4 ใช้ปลา:เกลือ: รำหมัก ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยน้ำหนัก และสูตรที่ 5 ใช้ปลา:เกลือ:รำหมัก:ข้าวฟ่างหมัก ในอัตราส่วน 9:3:2:1 โดยน้ำหนัก ใช้ระยะเวลาในการหมัก 10 เดือน ทำการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางด้านเคมีและ จุลินทรีย์ทุกเดือน และทดสอบคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ซึ่งผลการ วิเคราะห์เป็นดังนี้ ค่า pH เฉลี่ยของปลาร้าแต่ละสูตรเป็นดังนี้ 5.87, 5.79, 5.75, 5.08 และ 5.05 ตามลำดับ ปริมาณแบคทีเรียแลคติกแอซิดที่พบในระหว่างการหมักของปลาร้าแต่ละสูตรเป็นดังนี้ 1.1×10^6 , 2.9×10^6 , 2.0×10^6 , 5.4×10^6 และ 1.6×10^7 CFU/g ตามลำดับ ผลการทดสอบด้านประสาท สัมผัสของปลาร้าทั้ง 5 สูตรพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในคุณลักษณะด้าน ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ใน คุณลักษณะด้านกลิ่น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ในคุณลักษณะด้านลักษณะ ปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัส ซึ่งพบว่าปลาร้าสูตรที่ 4 ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัส มากที่สุด ปลาร้าสูตรที่ 5 ได้คะแนนด้านรสชาติและการยอมรับรวมมากที่สุด การใช้ เทคโนโลยีชีวภาพโดยหมักหัวเชื้อรำข้าวและข้าวฟ่างในปลาร้าสูตรที่ 4 และ 5 จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นที่ยอมรับดีกว่าวิธีการหมักแบบดั้งเดิม (สูตร 1, 2 และ 3) ผลการจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่แยก ได้จากปลาร้าปลาเป็ดโดยวิธี Photobiotin labeling DNA-DNA hybridization และ Ribotyping of 16S rRNA gene พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลตรงกันคือ *Tetragenococcus halophilus*

2.1.2 ขอบ มีอาษา [2]

ออกแบบเครื่องทำปลาไร้ไซเทค ตัวเครื่องประกอบด้วย ตัวถังเหล็กขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ความยาวหรือความสูง 1.20 เมตร เหล็กแกนกลางสำหรับตีเกล็ดปลาโดยเชื่อมเหล็กให้เป็นซี่เล็กๆ พลุเดี่ยว ไดมอเตอร์ และตะแกรงรองเกล็ดปลา ซึ่งขนาดของเครื่องสามารถบรรจุปลาได้ครั้งละ 50 กิโลกรัม ขั้นตอนการใช้เครื่องทำปลาไร้ไซเทค เริ่มจากการนำปลามาป็นตีเกล็ดออก ใช้เวลาประมาณ 3 นาที เกล็ดจะหลุดออกหมด ทำให้ได้เนื้อปลาที่นุ่มขึ้น เอาใส่ปลาและจับปลาออก ส่วนใหญ่ปลาที่ใช้ ได้แก่ ปลากระดี่ ปลาช่อน จากนั้นนำปลาที่ขูดเกล็ดเรียบร้อยแล้วมาหมักเกลือ ใช้อัตราส่วนในการทำปลาไร้ คือ ปลา 5 กิโลกรัม : เกลือ 1.5 กิโลกรัม : รำ 3 กิโลกรัมเล็ก คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำลงโอง หาพลาสติกคลุมมัดปากโองให้แน่น หมักทิ้งไว้ 5-6 เดือน จึงสามารถนำไปบริโภคหรือจำหน่ายได้

2.1.3 อนินท์ มีมนต์ และสมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล [3]

ออกแบบและสร้างเครื่องปิดผนึกถุงด้วยระบบสุญญากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เครื่องปิดผนึกถุงที่สามารถปิดผนึกถุงพลาสติกโดยออกแบบเครื่องให้มีขนาด 40 x 50 x 43 เซนติเมตร ถึงสุญญากาศสำหรับดูดอากาศและปิดผนึกมีปริมาตร 24 ลิตร ที่มีผลิตภัณฑ์อยู่ข้างในได้ โครงสร้างเครื่องทั้งหมดผลิตด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม โดยออกแบบให้มีรูปแบบการใช้งานอย่างง่าย ลดต้นทุนราคาเครื่อง รองรับการผลิตในรูปแบบ กลุ่มสินค้า OTOP หรือ SME สามารถปรับอุณหภูมิขจัดลดความร้อนได้ สามารถปรับระดับสุญญากาศได้ สามารถปรับเวลาในการปิดผนึกได้ สามารถปรับช่วงเวลาของการปิดผนึก กลไกการปิดผนึกออกแบบใช้ระบบขับเคลื่อนจากมอเตอร์และปรับตั้งอุณหภูมิสำหรับการปิดผนึกได้สูงสุด 200 °C ผลสรุปที่ได้จากการทดสอบในการทำงานของเครื่องปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศ โดยการทดสอบการทำสุญญากาศที่ -0.95 บาร์ ใช้เวลา 120 วินาที ได้ค่าความเป็นสุญญากาศสูงสุด และการทดสอบรอยปิดผนึกโดยใช้ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนขนาด 152.4 x 228.6 มิลลิเมตร (6 x 9 นิ้ว) หนา 0.14 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5 วินาที ได้รอยปิดผนึกที่สมบูรณ์ที่สุด

2.1.4 อนินท์ มีมนต์ [4]

ออกแบบและสร้างเครื่องปิดผนึกด้วยพลาสติกแบบอัด โนมัตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ด้วยฟิล์มโพลีพรอพิลีนความหนา 0.04 มิลลิเมตร เครื่องปิดผนึกที่ออกแบบมีขนาด 230 x 300 x 526 มิลลิเมตร โครงสร้างเครื่องทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมและอลูมิเนียม ถูกต้องตามมาตรฐานการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ระบบการทำงานเป็นแบบอัด โนมัต กระบวนการเริ่มต้นจากการเติมผลิตภัณฑ์อาหารหรือเครื่องดื่มในถ้วยพลาสติก แล้ววางลงบนถาดรองรับของเครื่อง จากนั้น

2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ปลาร้า

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือที่เรียกย่อๆ ว่า สมอ. ได้มีโครงการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เพื่อรองรับการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนหรือระดับพื้นที่บ้านที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร ซึ่งวัตถุประสงค์ของโครงการที่สำคัญคือส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุมชนให้ได้รับการรับรองและแสดงเครื่องหมายการรับรอง เพื่อส่งเสริมด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์ ให้เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายและสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชุมชนทั้งในประเทศและต่างประเทศ เน้นให้มีการพัฒนาแบบยั่งยืน อีกทั้งสนับสนุนนโยบายสำคัญของรัฐบาล โครงการ หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ ในการแก้ไขปัญหาความยากจนของชุมชน โดยมุ่งให้ความสำคัญของการนำภูมิปัญญาชาวบ้าน และทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่น มาพัฒนาและสร้างมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น มีคุณภาพ มีจุดเด่น มีเอกลักษณ์ มีการพัฒนาท้องถิ่น สร้างชุมชนให้เข้มแข็งพึ่งตนเองได้ สร้างงาน สร้างรายได้

1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้า (มผช.37/2546)

ปลาร้า หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักปลากับเกลือ แล้วเติมน้ำคั่ว หรือข้าวเปลือกเจ้าคั่วที่บดละเอียด หรือเติมรำข้าว หรือรำข้าวคั่ว ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ลงไปพร้อมกันในการหมัก หรืออาจเติมภายหลังการหมักปลากับเกลือก็ได้ เพื่อให้ได้กลิ่นรสตามธรรมชาติของปลาร้า มีทั้งที่เป็นปลาร้าทั้งตัว ปลาร้าชิ้น และปลาร้าบด มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะปลาร้าที่ผ่านการหมักดองจนได้ที่แล้ว อาจคงรูปเป็นปลาร้าทั้งตัว หรือปลาร้าชิ้น หรือนำมาบด

ปลาร้า แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ปลาร้าข้าวคั่ว เป็นปลาร้าที่ใช้ข้าวคั่ว หรือข้าวเปลือกเจ้าคั่วบดละเอียดเป็นส่วนผสม
- ปลาร้ารำข้าว เป็นปลาร้าที่ใช้รำข้าว หรือรำข้าวคั่ว และอาจมีข้าวคั่วเป็นส่วนผสม

ลักษณะของปลาร้า

- ปลาร้าตัว เนื้อปลาต้องนุ่ม สภาพผิวคงรูป หนังปลาไม่ฉีกขาด เนื้อปลาและน้ำปลา ร้า ต้องเคล้ากันไม่แห้งหรือละ
- ปลาร้าชิ้น เนื้อปลาต้องนุ่ม คงสภาพเป็นชิ้น เนื้อปลาและน้ำปลาร้าต้องเคล้าเข้ากัน ไม่แห้งหรือละ
- ปลาร้าบด ต้องละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่แห้งไม่เปียกจนเกินไป
- สี ต้องมีสีน้ำตาลอมเหลือง และเนื้อปลาต้องมีสีตามธรรมชาติของชนิดปลาที่ผ่านการหมัก
- กลิ่น ต้องมีกลิ่นหอมของปลาและข้าวคั่วหรือรำข้าว ไม่มีกลิ่นคาว กลิ่นหืน หรือกลิ่นเหม็นเปรี้ยว
- รส มีรสเค็มกลมกล่อมเป็นไปตามธรรมชาติของปลาร้า
- สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอม เช่น เส้นผม ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลของแมลง หนอน หนู และนก ดิน ทราย และกรวด
- วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด และสี
- ความเป็นกรด-ด่าง ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 5.0-6.0
- ปริมาณเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) ต้องมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 12-20
- จุลินทรีย์ สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม และต้องไม่มีราปรากฏให้เห็น
- พยาธิ ต้องไม่พบ

2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้าผง (มพช.134/2546)

ปลาร้าผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาร้าที่หมักได้ที่แล้วไปผ่านการให้ความร้อน เช่น เคี้ยว หรืออบจนแห้ง แล้วนำไปทำเป็นผง อาจปรุงรสหรือไม่ก็ได้ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ ครอบคลุมเฉพาะปลาร้าแปรรูปที่พร้อมบริโภค และพร้อมปรุงที่ทำจากปลาร้าที่หมักจนได้ที่แล้ว ทำให้ อยู่ในลักษณะเป็นผงปลาร้าที่นำมาใช้ ต้องไม่ใช่โซเดียมไนเตรท หรือ โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไน ไตรต์หรือ โพแทสเซียมไน ไตรต์ในการทำ

ลักษณะของปลาร้าผง

- ลักษณะทั่วไปต้องเป็นผง แห้ง เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่จับตัวเป็นก้อน
- สี ต้องมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลแก่ ไม่มีสีน้ำตาลดำคล้ำ
- กลิ่น ต้องมีกลิ่นหอมของปลาร้า ไม่มีกลิ่นคาว กลิ่นไหม้ กลิ่นหืนหรือกลิ่นอับ

- รส ต้องมีรสเค็มกลมกล่อมเป็นไปตามธรรมชาติของปลาร้า
- สิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ เช่น แมลง หนู นก
- วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้สีทุกชนิด ห้ามใช้โซเดียมไนเตรด หรือโพแทสเซียมไนเตรดโซเดียมไนไทรด์ หรือโพแทสเซียมไนไทรด์ หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ ในปริมาณที่กำหนด
 - กรดเบนโซอิก หรือเกลือของกรดเบนโซอิก (คำนวณเป็นกรดเบนโซอิก) ต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 - กรดซอร์บิก หรือเกลือของกรดซอร์บิก (คำนวณเป็นกรดซอร์บิก) ต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 - กรณีที่ใช้ กรดเบนโซอิก หรือเกลือของกรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิก หรือเกลือของกรดซอร์บิก รวมกันต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- เกลือ ต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
- โปรตีน ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
- ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก
- วอเตอร์แอกทิวิตี ต้องไม่เกิน 0.5

วอเตอร์แอกทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ ถึงความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสปอร์ของจุลินทรีย์
- จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ ราต้องไม่เกิน 200 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

4) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้าก๊อ (มผช.135/2546)

ปลาร้าก๊อ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาร้าที่หมักได้ที่แล้วไปผ่านการให้ความร้อน เช่น เคี้ยว หรืออบจนหมด อาจปรุงรสหรือไม่ก็ได้ แล้วทำให้เป็นก๊อ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะปลาร้าแปรรูปที่พร้อมบริโภค และพร้อมปรุงที่ทำจากปลาร้าที่หมักจนได้ที่แล้ว ทำให้อยู่ในลักษณะที่เป็นก๊อ ปลาร้าที่นำมาใช้ ต้องไม่ใช่โซเดียมไนเตรด หรือโพแทสเซียมไนเตรด โซเดียมไนไทรด์หรือโพแทสเซียมไนไทรด์ ในการทำ

ลักษณะของปลาร้าก๊อ

- ต้องมีลักษณะเป็นก้อน มีเนื้อละเอียดสม่ำเสมอ และคงลักษณะเดิมก่อนการใส่
- สี ต้องมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลแก่ ไม่มีสีน้ำตาลดำคล้ำ
- กลิ่น ต้องมีกลิ่นหอมของปลาร้า ไม่มีกลิ่นคาว กลิ่นไหม้ กลิ่นหืนหรือกลิ่นอับ
- รส ต้องมีรสเค็มกลมกล่อมเป็นไปตามธรรมชาติของปลาร้า
- สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขน สัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ เช่น แมลง หนู นก
- วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้สีทุกชนิด ห้ามใช้โซเดียมไนเตรต หรือโพแทสเซียมไนเตรต โซเดียมไนไตรต์ หรือโพแทสเซียมไนไตรต์ หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ ในปริมาณที่กำหนด
 - กรดเบนโซอิก หรือเกลือของกรดเบนโซอิก (คำนวณเป็นกรดเบนโซอิก) ต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 - กรดซอร์บิก หรือเกลือของกรดซอร์บิก (คำนวณเป็นกรดซอร์บิก) ต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
 - กรดที่ใช้ กรดเบนโซอิก หรือเกลือของกรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิก หรือเกลือของกรดซอร์บิก รวมกันต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- เกลือ ต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ถึงร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
- โปรตีน ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
- ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- วอเตอร์แอกทิวิตี ต้องไม่เกิน 0.7
วอเตอร์แอกทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ถึง ความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสารพิษของ จุลินทรีย์
- จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ รา ต้องไม่เกิน 200 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- การบรรจุปลาร้าก๊อต้องบรรจุในภาชนะที่สะอาดแห้ง ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้
- น้ำหนักสุทธิของปลาร้าก๊อในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

2.3 กลไกการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

อาหารมีโอกาสเสื่อมคุณภาพด้วยปฏิกิริยาทางกายภาพและเคมีที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างของอาหารคุณภาพที่เสื่อมที่สามารถมองเห็นเป็นรูปธรรมได้แก่ สีที่เปลี่ยนไป รสชาติเปลี่ยน กลิ่นเปลี่ยน และที่สำคัญ คือ คุณค่าทางอาหารหายไป กลไกที่มีส่วนทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพมีดังนี้คือ

1) อากาศ

ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวการสำคัญในการเสื่อมคุณภาพของอาหาร เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับไขมันและโปรตีนในอาหาร ทำให้อาหารเสียรสชาติและเกิดกลิ่นหืน แหล่งที่ปล่อยออกซิเจนมาทำปฏิกิริยาอาจมีอยู่ในตัวอาหารเองหรือมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้น ในการบรรจุอาหารจึงต้องพยายามลดปริมาณของอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้น้อยลงเพื่อลดโอกาสที่ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอาหาร บรรจุภัณฑ์สุญญากาศ (Vacuum Packaging) ใช้หลักการเดียวกันนี้โดยการดูดเอาอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ออกเกือบหมด เพื่อลดโอกาสในการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับอาหาร นับเป็นวิธีการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคทางด้านบรรจุภัณฑ์

2) ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร ความชื้นที่มีจำนวนเหมาะสมจะเป็นองค์ประกอบในการช่วยถนอมอาหารรักษาคุณภาพอาหารด้วยการลดปฏิกิริยาชีวเคมีของอาหาร ถ้าความชื้นมีน้อยเกินไปจะทำให้อาหารเปราะแตกง่าย ในการแปรรูปอาหารจึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในระดับที่ยอมรับ ดังเช่น การอบแห้งซึ่งเป็นการสกัดน้ำออกจากอาหาร ปริมาณของน้ำที่จะช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร อันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ การอบแห้งจึงต้องดึงน้ำออกจากอาหารให้เหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ขึ้นกับชนิดของอาหาร และหากต้องการที่จะป้องกันการเสื่อมเสีย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีควรให้มีปริมาณน้ำในอาหารต่ำลงอีกจนถึงประมาณร้อยละ 5

3) กลิ่น

กลิ่นหอมที่ชวนรับประทานของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิด และกลิ่นหอมนี้เป็นคุณสมบัติเด่นประจำอาหารแต่ละชนิด ส่วนผสมของเคมีอาจมีมากถึง 20 ชนิด ตัวอย่างเช่น ในน้ำส้มที่ให้กลิ่นส้ม โดยปกติกลิ่นเหล่านี้จะระเหยไปเมื่อถูกความร้อน ดังนั้น จึงเป็นหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ที่จะถนอมรักษากลิ่นเหล่านี้ไว้ในบรรจุภัณฑ์ไม่ให้หลุดหายมากเกินไปนัก ระหว่างการผ่านกระบวนการผลิต เช่น การฆ่าเชื้อ การเก็บรักษาคลัง

4) การแยกตัว

การแยกตัวของสารจากบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารมักเกิดกับพลาสติก เนื่องจากพลาสติกโดยปกติประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ แต่มีส่วนผสมของสารโมเลกุลขนาดเล็กที่มีโอกาสแยกตัวออกมาแล้วเข้าไปผสมกับอาหารที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งถ้ามีการแยกตัวมากอาจจะไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคเข้าสู่ร่างกาย โดยปกติการแยกตัวดังกล่าวเกิดขึ้นที่ปริมาณน้อยจนอยู่ในระดับที่จะยอมรับได้และไม่เป็นอันตราย เพราะวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของวัสดุศาสตร์และการแปรรูป นอกจากว่าการแยกตัวนี้จะมีผลทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติขึ้นมาก็จะไม่เป็นที่ยอมรับ

5) แสง

แสงที่ส่องผ่านบรรจุภัณฑ์มักจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารปรากฏการณ์ที่พบได้บ่อยมี 2 กรณี คือ

- แสงจะทำให้คุณค่าอาหารลดลงแม้ว่าจะไม่มีผลต่อรสชาติ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดที่สุดคือนม สารที่มีคุณค่าต่อสุขภาพในนมจะเสื่อมคุณภาพ เพราะแสงโดยเฉพาะแสงเหนือม่วง (Ultraviolet)
- มีการเปลี่ยนแปลงต่อรสชาติทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารไม่เป็นที่ยอมรับ เบียร์ที่เห็นอยู่ทั่วไปมักบรรจุในขวดสีชาหรือสีเขียวเนื่องจากแสงสามารถทำให้รสชาติเปลี่ยนได้ หรือซอสมะเขือเทศจะเปลี่ยนเป็นสีเข้มเมื่อได้รับแสงและมีออกซิเจนอยู่มากพอ

6) ความร้อนและความเย็น

แม้ว่าในการถนอมอาหารบางชนิดจะใช้ความร้อนช่วยในการรักษาคุณภาพอาหาร แต่การใช้ความร้อนหรือความเย็นเกินขนาดจะเป็นผลร้ายต่อคุณภาพอาหาร การได้รับความร้อนเกินขนาดจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารที่เรียกว่า สุกมากเกินไป (Overcook) ในทางกลับกันการให้ความเย็นมากเกินไปจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า ไหม้ด้วยความหนาว (Freeze Burn) เหตุการณ์ทั้ง 2 นี้ สามารถผ่อนหนักเป็นเบาได้ด้วยการใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม ความร้อนที่มากเกินไปแก้ไขได้โดยการเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนได้ดีขึ้น ส่วนการถูกไหม้ด้วยความหนาวนั้นใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ห่อผลิตภัณฑ์อาหารให้แน่นด้วยวัสดุป้องกันความชื้น

7) อันตรายทางกายภาพ

ในระหว่างการขนส่งผลิตภัณฑ์อาหารมีโอกาสเสียดสี กระทบหรือกดทับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีผิวบาง เช่น ผัก ผลไม้สด ของทอด ย่อมมีโอกาสชำและแตกหัก ทำให้จุลินทรีย์และสัตว์ตัวเล็กๆ เช่น มดเข้าไปทำลายอาหาร ความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ย่อมลดโอกาสการจำหน่ายของสินค้า มิฉะนั้นต้องขายลดราคา

2.4 บรรจุภัณฑ์การ์ด (Carded Packing)

การใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จะทำให้สามารถมองเห็นตัวสินค้าได้ง่าย เนื่องจากมักจะแขวน ณ จุดขายต่างๆ สินค้าจะดึงดูดผู้ซื้อด้วยตัวสินค้าเอง ในขณะที่เดียวกันก็สามารถทำหน้าที่ปกป้องสินค้าจากความเสียหายที่เกิดจากการขนส่งและการปนเปื้อน แผ่นกระดาษด้านหลังตัวสินค้าจะทำหน้าที่ปกป้องสินค้าชิ้นเล็กๆ จากการถูกขโมยหรือหลุดหาย และด้านหลังของแผ่นกระดาษนี้สามารถแสดงรายละเอียด ชื่อนำเข้า ฯลฯ ของตัวสินค้าได้ด้วย บรรจุภัณฑ์แบบนี้มี 2 ประเภทคือแบบ บลิสเตอร์แพ็ค (Blister Pack) และแบบแนบผิว (Skin Pack)

2.4.1 บรรจุภัณฑ์การ์ดแบบบลิสเตอร์ (Carded Blister Pack)

บรรจุภัณฑ์แบบบลิสเตอร์ประกอบด้วยแผ่นกระดาษและแผ่นพลาสติกแข็งที่ขึ้นรูป โดยการให้ความร้อนจนอ่อนตัวแล้วขึ้นรูปตามแม่พิมพ์รูปทรงที่ต้องการ และขอบของพลาสติกขึ้นรูปนี้จะเชื่อมติดกับแผ่นกระดาษแข็งด้วยกาว (Adhesive) ที่ไวต่อความร้อน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การขึ้นรูปของบรรจุภัณฑ์การ์ดแบบบลิสเตอร์ [5]

พลาสติกที่นำมาทำบรรจุภัณฑ์บลิสเตอร์ได้แก่

- โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) มีลักษณะพิเศษ คือ นำไปใช้งานได้หลากหลาย โดยเฉพาะการใช้บรรจุสินค้าที่เก็บในอุณหภูมิต่ำ
- โพลีเอสเตอร์ (PET) นิยมนำไปใช้มากขึ้น เนื่องจากมีต้นทุนที่สามารถแข่งขันกับบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นได้ พร้อมทั้งสามารถไปประยุกต์ใช้งานได้มากมายและให้ความสวยงามกว่าเนื่องจากมีลักษณะใสเหมือนแก้วและมีความแวววาวเป็นประกาย
- โพลิสไตรีน (PS) มีความใสมาก แต่มีข้อเสีย คือ แตกร้าวได้ง่าย ไม่ทนต่อแรงกระแทก

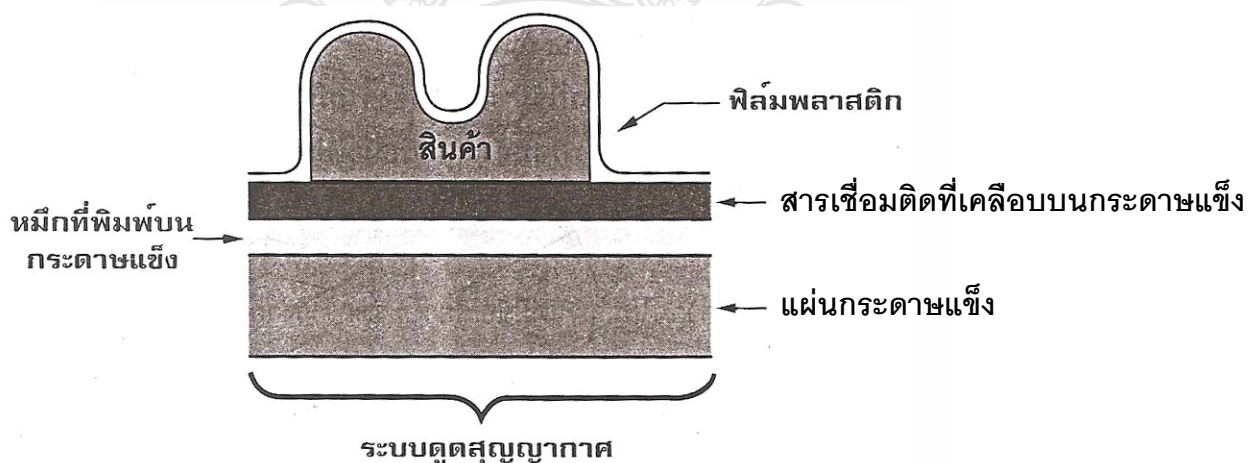
- เซลลูโลส อะซิเตท (Cellulose Acetates, และ Butyrates) ให้คุณสมบัติที่ดีในการขึ้นรูปและความใสที่ดีเยี่ยม แต่ไม่นิยมใช้กันเนื่องจากต้นทุนสูงและสามารถใช้วัสดุอื่นแทนได้

แผ่นกระดาษที่ใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบบลิสเตอร์จะเลือกจากกระดาษที่จะต้องมีความหนาประมาณ 500 ไมครอน (0.500 มิลลิเมตร) จนถึง 800 ไมครอน (0.800 มิลลิเมตร) สำหรับสินค้าที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก

บรรจุภัณฑ์การ์ดแบบบลิสเตอร์นี้นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาชนิดผง เช่น ยาคุมกำเนิด เนื่องจากเวลานำยาออกจากแผง ต้องกดแผ่นพลาสติกข้างบนให้เม็ดยาทะลุแผ่นกระดาษหรืออะลูมิเนียม บรรจุภัณฑ์แบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บรรจุภัณฑ์แบบกดทะลุ (Press-Through Packing หรือ PTP) บรรจุภัณฑ์อาหารที่พบมากคือ ใส้กรอก แสม และยังมีกรนำมาใช้บรรจุลูกกวาด เป็นต้น

2.4.2 บรรจุภัณฑ์แบบแนบผิว (Skin Pack)

บรรจุภัณฑ์แบบนี้สามารถทำได้โดยวางสินค้าลงบนแผ่นกระดาษและแผ่นพลาสติก เมื่อพลาสติกถูกทำให้อ่อนนุ่มด้วยความร้อน ระบบสุญญากาศจะดูดแผ่นพลาสติกแนบติดกับสินค้าและสารเชื่อมที่เคลือบบนกระดาษ ด้วยเหตุนี้บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จึงได้ชื่อว่า บรรจุภัณฑ์แบบแนบผิว พลาสติกจะแนบติดกับตัวสินค้าและแผ่นกระดาษที่มีสารเชื่อมติดเคลือบอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บรรจุภัณฑ์การ์ดแบบบลิสเตอร์ [1]

บรรจุภัณฑ์แบบเนบพิวนี้จะประหยัดกว่าแบบบลิสเตอร์เนื่องจากไม่ต้องการแม่พิมพ์ สำหรับขึ้นรูปโดยสินค้าจะถูกเนบพิวติดกับกระดาษ ขั้นตอนการทำงานจึงสั้นกว่าหรือกล่าวในอีกแง่หนึ่งคือผลผลิตได้มากกว่า หีบห่อแบบเนบพิวยังสามารถออกแบบให้สินค้าแยกชิ้นออกจากกันบนกระดาษ ซึ่งในลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถบริโภคสินค้าแต่ละชิ้นได้โดยสินค้าที่เหลือไม่ถูกปนเปื้อน

ฟิล์มที่ใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบเนบพิว จะนิยมใช้พลาสติกโพลิเอทิลีนหรือไอโอโนเมอร์ ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ไอโอโนเมอร์ มีความใสสูง เหนียว และการคืนตัวสูง
- โพลิเอทิลีน มีราคาถูก แต่ไม่ค่อยใส เกิดรอยถลอกได้ง่าย หรือไม่ทนต่อการเสียดสี อีกทั้งต้องใช้ความร้อนสูงในการผลิต และมีอันตรายการหดตัวสูงกว่าฟิล์มชนิดอื่น

กระดาษที่ใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบเนบพิวต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เกิดการบิดหรือโค้งงอและชั้นกระดาษจะต้องไม่แยกตัวหลังจากทำการเนบพิวไปแล้ว ความหนาของกระดาษที่ใช้ควรอยู่ประมาณ 450-635 ไมครอน การเลือกระหว่างการเคลือบแบบบลิสเตอร์แพคและแบบสกินแพคนี้ในหลายต่อหลายครั้งเป็นสิ่งที่ยากที่จะตัดสินใจว่าจะเลือกบรรจุภัณฑ์ประเภทไหน โดยปกติแล้วถ้าสินค้ามีขนาดเล็ก เมื่อติดอยู่บนแผ่นกระดาษใหญ่ก็สมควรจะใช้แบบบลิสเตอร์ มิฉะนั้นจะเปลืองฟิล์มมากถ้าเลือกใช้แบบสกิน ยกเว้นสินค้านั้นมีขนาดใหญ่เกือบเท่ากับกระดาษ แบบสกินจะคุ้มทุนมากกว่า นอกจากนี้ตัวสินค้าที่เคลื่อนที่ได้ง่าย เช่น ลูกทรงกลมจะเหมาะใช้แบบบลิสเตอร์มากกว่า เพราะขณะที่ทำการบรรจุห่อด้วยสกิน ลูกทรงกลมอาจเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งใดๆก็ได้

2.5 บรรจุภัณฑ์อาหารด้วยพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการใช้งานสูงมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบาป้องกันการซึมผ่านของอากาศและก๊าซได้ระดับหนึ่ง สามารถต่อต้านการทำลายของแบคทีเรียและเชื้อรา มีคุณสมบัติหลายอย่างที่สามารถเลือกใช้ในงานที่เหมาะสม การศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกแต่ละประเภทมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เลือกใช้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการใช้งานที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงได้รวบรวมชื่อย่อที่ใช้เรียกในทางพาณิชย์ของพลาสติกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารไว้ดังนี้

2.5.1 โพลิเอทิลีน (Polyethylene; PE)

โพลิเอทิลีนนับเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานมากที่สุดและราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (Polymerisation) ของก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ภายใต้อุณหภูมิและความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ใน

1) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene; LDPE) ความหนาแน่น $0.910 - 0.925 \text{ g/cm}^3$ เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น มักจะใช้ทำถุงฟิล์มห่อและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยึดตัวได้ดี ทนต่อการซึมทะลุ และการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของ PE จะสามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถปล่อยให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนต่อกรดและด่างต่างๆ ไป นอกจากนี้ LDPE ยังปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยว และของทอด เมื่อใส่ถุงเย็นธรรมดาคุณภาพอาหารจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามตัว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเปราะด้วยฝุ่น

2) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE) ความหนาแน่น $0.941 - 0.965 \text{ g/cm}^3$ เป็นพลาสติกที่ส่วนใหญ่จะเป่าเป็นขวด เนื่องจากความหนาแน่นที่สูง ทำให้ HDPE มีความเหนียว และทนต่อการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่า PE ที่มีความหนาแน่นต่ำ แต่ยังไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีนัก จากการใช้ HDPE มาแทนที่ LDPE น้ำหนักของขวดสามารถลดลงได้มากกว่า 40 % เนื่องจากสามารถเป่าขวดที่มีผิวบางกว่า

ตัวอย่างการใช้งานของ PE มีดังต่อไปนี้

- ใช้ผลิตเป็นถุงร้อน (HDPE) และถุงเย็น (LDPE) สำหรับการใช้งานทั่วไป สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป
- ใช้ห่อหรือบรรจุอาหารได้ทุกชนิดโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค
- ฟิล์ม PE ชนิดยึดตัวได้ นิยมใช้ห่ออาหารสดพร้อมปรุงเนื้อสด และอาหารทั่วไป
- PE ไม่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนย น้ำมัน

2.5.2 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP)

มักรู้จักกันในนามถุงร้อน มีความใส และป้องกันความชื้นได้ดี มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารสำหรับบรรจุอาหารในขณะร้อน ข้อเสียคือ การป้องกันอากาศซึมผ่านยังไม่ดีเท่าพลาสติกบางชนิด เชื่อมติดได้ยาก PP มักใช้บรรจุอาหารร้อน ทำถุงบรรจุผัก และผลไม้ ทำซองบรรจุอาหารแห้ง ทำกล่องอาหาร ลัง ถาด และตะกร้า เป็นต้น

ตัวอย่างการใช้งานของ PP มีดังต่อไปนี้

- ใช้บรรจุอาหารร้อน เช่น ถูร้อน (ชนิดใส)
- ใช้ทำของบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป คุกกี้ เป็นต้น
- ใช้ทำกล่องอาหาร ถาด ลัง

2.5.3 โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate; PET)

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อการบรรจุน้ำอัดลม น้ำมันพืช และเครื่องดื่มชนิดต่างๆ มีลักษณะใสแวววาว เป็นประกาย มีคุณสมบัติทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี จุดหลอมเหลวสูง ในแง่ของสิ่งแวดล้อมนับว่า PET เป็นพลาสติกที่สามารถกลับมาเป็นโมโนเมอร์ (Monomer) เพื่อนำกลับมาใช้ผลิตเป็นสินค้าอย่างอื่นได้ ข้อเสียคือ ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนและเปิดยาก

ตัวอย่างการใช้งานของ PET มีดังต่อไปนี้

- ใช้ทำถาดบรรจุภัณฑ์อาหารใช้ได้ทั้งเตาอบ และเตาไมโครเวฟ
- ใช้ทำการ์ดหรือบัตร
- ใช้บรรจุน้ำอัดลม น้ำมันพืช เป็นต้น

2.5.4 โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride; PVC)

เป็นพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติได้โดยการเติมสารเคมีปรุงแต่ง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอื่นมากกว่าอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ จุดเด่นของ PVC คือ สามารถทนต่อน้ำมันและกันกลิ่นได้ดี ใส แข็งแรงทนต่อการเสียดสี ใช้แทนที่ขวดแก้วได้เนื่องจากน้ำหนักเบากว่า และตกไม่แตก ข้อเสียคือ มีสารตกค้างของไวนิลคลอไรด์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดมะเร็งในตับ

ตัวอย่างการใช้งานของ PVC มีดังต่อไปนี้

- นิยมใช้ทำฟิล์มยืดสำหรับห่อเนื้อสด ผัก และผลไม้ เนื่องจากมีความใส และมันวาว ทำให้มองเห็นผลิตภัณฑ์ได้ดี
- นิยมใช้ทำถาดบรรจุอาหารแห้งที่แบ่งเป็นสัดส่วน เพื่อป้องกันการแตกหัก
- ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันพืชปรุงอาหาร
- ใช้ทำกล่องบรรจุอาหารสด

2.5.5 โพลิสไตรีน (Polystyrene; PS)

ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์โดยการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน สามารถผลิตออกมาเป็นโฟมซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุป้องกันการสั่นกระแทก มีลักษณะใส แวววาวเป็นประกาย ข้อเสียคือ ฉีกขาดได้ง่าย

ตัวอย่างการใช้งานของ PS มีดังต่อไปนี้

- ใช้ห่อผัก ผลไม้สด เนื่องจากความใส และยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ง่าย
- ใช้ทำแผ่นฉนวนกันความร้อน
- นิยมใช้ทำถ้วย ถาด หรือแก้วน้ำ
- ใช้ทำถาดหลุม
- ใช้ทำโฟมบรรจุอาหาร

บรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ต้องใช้ความระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยและการเลือกใช้มากที่สุด โดยเฉพาะใช้ในการบรรจุอาหารร้อนหรือต้องไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนซึ่งอาจเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อ การปรุงสุกหรือการอุ่นอาหารพร้อมกับบรรจุภัณฑ์อันตรายที่อาจเกิดการใช้ภาชนะพลาสติกอย่างไม่ถูกต้อง มีสาเหตุสำคัญมาจากการแพร่กระจายของสารจากภาชนะไปสู่อาหาร การแพร่กระจายนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและพลาสติกที่ใช้พร้อมทั้งสภาวะบรรยากาศที่อยู่รอบบรรจุภัณฑ์ การเลือกใช้พลาสติกต้องเลือกชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร และเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ต้องผ่านการอุ่นด้วยการนึ่งหรือต้ม การแพร่กระจายของสารจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วเมื่อถูกความร้อน ดังนั้น หากผู้ประกอบการไม่แน่ใจในคุณภาพของภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้ หรือทำการทดลองโดยการนำอาหารไปอุ่นหรือปรุงสุกในบรรจุภัณฑ์พลาสติก ถ้าเกิดการอ่อนตัวหรือภาชนะเสียรูปทรงหรือพลาสติกหลอมก็ไม่ควรจะนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นมาบรรจุอาหาร เพราะอาจเกิดอันตรายจากสารปนเปื้อนที่แพร่กระจายมาจากบรรจุภัณฑ์ได้ ลักษณะของการเปรียบเทียบความเหมาะสมของพลาสติกชนิดต่างๆ ในการบรรจุภัณฑ์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความเหมาะสมของพลาสติกชนิดต่างๆ ในการบรรจุภัณฑ์ [5]

ชนิดของพลาสติก	ตัวอย่างการใช้งาน	ประโยชน์	ปัญหา
Polyethylene ; PE	1. ใช้ผลิตเป็นถุงร้อน และถุงเย็น 2. ใช้บรรจุอาหารได้ทุกชนิด โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย 3. ใช้ห่ออาหารสดพร้อมปรุง เนื้อสด	1. ทนความร้อน 2. มีการหดตัวน้อยที่อุณหภูมิต่ำ 3. ต้นทุนต่ำ	1. ไม่แข็งแรง 2. ไม่ป้องกันการซึมผ่านของไขมัน 3. มีสีขุ่น
Polypropylene ; PP	1. ใช้บรรจุอาหารร้อน 2. ใช้ทำของบรรจุอาหารแข็ง เช่น บะหมี่ กุกกี 3. ใช้ทำกล่องอาหาร	1. โปร่งใส 2. แข็งแรงทนทาน 3. ทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน	1. เชื่อมติดได้ยาก 2. ใช้อุณหภูมิสูงในการปิดผนึก 3. รอยปิดผนึกจะเปราะ
Polyethylene Terephthalate ; PET	1. ใช้ทำการ์ดหรือบัตร 2. ใช้บรรจุน้ำอัดลม 3. ใช้ทำถาดบรรจุอาหารเข้าเตาอบ หรือเตาไมโครเวฟ	1. ทนความร้อน 2. ทนแรงกระแทกได้ดี 3. ใส แวววาว เป็นประกาย	1. ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อน 2. เปิดฉีกง่าย
Polyvinylchloride ; PVC	1. ใช้ทำฟิล์มยืดสำหรับห่ออาหารสด ผัก 2. ใช้ทำขวดน้ำมันพืช 3. ใช้ทำกล่องบรรจุอาหารสด	1. ทนต่อน้ำมัน 2. ทนต่อแรงกระแทก 3. ใช้แทนแก้ว เนื่องจากเบากว่า	1. มีสารตกค้างของไวนิลครอไรด์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดมะเร็ง
Polystyrene ; PS	1. ใช้ห่อผัก ผลไม้ 2. ใช้ทำแผ่นฉนวนกันความร้อน 3. ใช้ทำถาดหลุม	1. ใส แวววาว เป็นประกาย 2. ขึ้นรูปได้ง่าย	1. ฉีกขาดง่าย 2. ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและความชื้นต่ำ

2.6 อะลูมิเนียมฟอยล์หรืออะลูมิเนียมเปลว (Aluminum Foil)

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุธรรมชาติที่ได้จากการสกัดแร่อลูมินา เป็นวัสดุที่ทนความร้อนสูง แต่ความร้อนต่ำ เป็นโลหะที่ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะ ทั้งนี้เพราะ อะลูมิเนียมมีคุณสมบัติ ที่ดีเด่นหลายประการ

- มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา
- มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย
- จุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่าย

- ค่าการนำไฟฟ้า คิดเป็น 64.94 % ซึ่งไม่สูงนัก
- เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย
- ผิวหน้าของ อลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อน ในแฟลชถ่ายรูป , งานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์
- ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน
- ซื้อมาได้ง่าย ในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก

ในปัจจุบันได้มีการนำอะลูมิเนียมมาประยุกต์ใช้ในหลายวงการตั้งแต่การทำเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ทั่วไป เครื่องมือแพทย์ อวัยวะเทียม ไปจนถึงอากาศยาน เนื่องจากคุณสมบัติโดดเด่นต่างๆ ของอะลูมิเนียม ไม่ว่าจะเป็น น้ำหนักเบา สะท้อนความร้อนได้สูง ทนความร้อนสูง สามารถขึ้นรูปได้ ราคาเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมทำให้อลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบของวัสดุที่เราใช้ในชีวิตประจำวัน

เนื่องจากอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำหนักเบา จึงนำไปใช้ทำเครื่องใช้ต่างๆ เครื่องบิน ยานอวกาศ จรวด จีปนาอูท เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น ท่อ แผ่นหลังคา กรอบโครงหน้าต่าง ประตูบันได ทำถังภาชนะและถังรถบรรทุกอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ใช้ทำแผ่นสะท้อนในแฟลชถ่ายรูป งานสะท้อนแสงในโคมไฟสำหรับไฟหน้ารถยนต์ นอกจากนี้แผ่นอะลูมิเนียมที่รีดบางๆ เรียกว่า อะลูมิเนียมฟอยล์นิยมใช้กับบรรจุภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เพื่อความสวยงาม รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของอะลูมิเนียมฟอยล์



ที่มา : <http://www.unioninta.com/product/>

รูปที่ 2.3 อลูมิเนียมฟอยล์

อะลูมิเนียมฟอยล์หรืออะลูมิเนียมเปลว หมายถึงม้วนของอะลูมิเนียมที่มีความหนาไม่เกินกว่า 150 ไมครอน หรือ 0.15 มม. หรือ 0.006 นิ้ว สามารถใช้งานในการห่ออาหารได้อย่างดี (Compatibility) เพราะทนทานต่อปฏิกิริยาเคมี น้ำมัน และสารละลายอินทรีย์ อะลูมิเนียมเปลวสามารถทนต่อกรดอ่อน (Mild Acid) ได้ดีกว่าด่างอ่อน (Mildly Alkaline)

อะลูมิเนียมเปลวเริ่มใช้ในเชิงพาณิชย์ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1913 และได้ประยุกต์มาเคลือบกล่องกระดาษแข็งในปี ค.ศ. 1921 สำหรับอะลูมิเนียมเปลวที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้เป็นอะลูมิเนียมเปลวเปล่าๆ โดยเริ่มใช้ห่ออาหารในครัวเรือนตามบ้านในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 ตามที่ American National Standard Institute / Aluminium Association (ANSI/AA) ได้กำหนดรหัสเรียกอะลูมิเนียมผสม ประกอบด้วยอักษร AA แล้วตามด้วยตัวเลข 4 หลักนั้น ตัวเลขหลักแรกหมายถึงประเภทของโลหะผสม ดังต่อไปนี้

เลข	1	หมายถึง	อะลูมิเนียม มีมากกว่า 99 %
เลข	2	หมายถึง	ทองแดง
เลข	3	หมายถึง	แมงกานีส
เลข	4	หมายถึง	ซิลิกอน
เลข	5	หมายถึง	แมกนีเซียม
เลข	6	หมายถึง	แมกนีเซียมกับซิลิกอน
เลข	7	หมายถึง	สังกะสี
เลข	8	หมายถึง	ลิเทียมหรือสารอื่นๆ

ตัวเลขหลักที่สอง ถ้าเป็นเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม เลข 1 ถึง 9 แสดงว่าเป็นโลหะผสมที่ตัดแปรจากโลหะผสมดั้งเดิม ยกตัวอย่างเช่น 5182 เป็นโลหะผสมที่ตัดแปรจาก 5082 ตัวเลขสองหลักสุดท้าย แสดงปริมาณหลังจุดทศนิยมของเปอร์เซ็นต์อะลูมิเนียม ตัวอย่างเช่น 1180 แสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์อะลูมิเนียมผสมอยู่มากกว่า 99.80 % ตารางที่ 2.2 แสดงโลหะผสมของอะลูมิเนียมเปลวที่นิยมใช้

ความแข็งหรือความนิ่มของอะลูมิเนียมเปลวนอกจากแปรผันโดยตรงตามส่วนผสมของโลหะอื่นๆแล้วยังแปรตามวิธีการบำบัด (Treatment) อะลูมิเนียมเปลวที่ออกจากเครื่องรีด (Rolling mill) มีความแข็งสูงที่สุดคือ H19 หลังจากผ่านการรีดเย็นจะมีความแข็งและความต้านทานแรงดึงลดลงแต่จะเพิ่มความยืดหยุ่น (Flexibility) การยึดตัวและความสามารถขึ้นรูป (Formability) โดยปกติอะลูมิเนียมเปลวที่มีความหนามาก (หนามากกว่า 0.05 มม.) มักจะผ่านการอบอ่อนบางส่วน (Partially annealed) ได้ความแข็งแรงระดับกลางประมาณ H25 หรือ H27 ทำให้แปรรูปได้ง่าย คุณสมบัติทางกลของโลหะผสมอะลูมิเนียมแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 โลหะผสมของอะลูมิเนียมเปลวที่นิยมใช้ [6]

ซีรีส์โลหะผสมและความแข็ง	% อะลูมิเนียม	ส่วนผสมหลักโลหะอื่น (%)
1100	> 99.00	
1050	≥ 99.50	เหล็ก ≤ 0.04 ซิลิกอน ≤ 0.25
1060	≥ 99.60	เหล็ก ≤ 0.35 ซิลิกอน ≤ 0.25
1100 – H19	99.00	ทองแดง 0.12
2024 – T4	91.80	ทองแดง 4.4 แมงกานีส 0.6 แมกนีเซียม 1.5
3003 – H19	97.00	ทองแดง 0.12 แมงกานีส 1.2
5052 – H19	96.00	แมกนีเซียม 2.5 โครเมียม 0.25
5056 – H19	93.60	แมงกานีส 0.12 แมกนีเซียม 5.0 โครเมียม 0.12

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของโลหะผสมอะลูมิเนียม [6]

แบบของโลหะผสม	ความแข็ง (Temper)	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (MPa)	ความต้านทานแรงดึงถึง ณ จุดครากที่ 0.2% ออฟเซต (กก./มม. ²)	การยืดตัว (%)
1060	O.H ^a	2.4	7.7-10.4	15-30
	O ^a	2.4	7.7-10.4	15-30
1100	H14-18	11.9	13.2-16.8	1-4
	H14-18	17.6	18.2	5
3003	H19	27.30	28-31	1-2
	H14-18	23.2	26.7	5
3004	H16-18	24.6	28.1	8
	H18-19	38.0	40.1	4
5182	H19	39.2	42.7	4

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทยได้จัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอะลูมิเนียม (มอก. 325 – 2528) และกำหนดส่วนประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมเปลวธรรมดาโดยน้ำหนักโลหะผสมที่นิยมใช้ในวงการบรรจุภัณฑ์แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 สำหรับอะลูมิเนียมเปลวที่ใช้ในส่วนเกี่ยวข้องกับสินค้าบริโภค กำหนดให้ปริมาณของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว และแคดเมียม มีได้ไม่เกินร้อยละ 0.01

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของโลหะผสมอะลูมิเนียมเปลว [6]

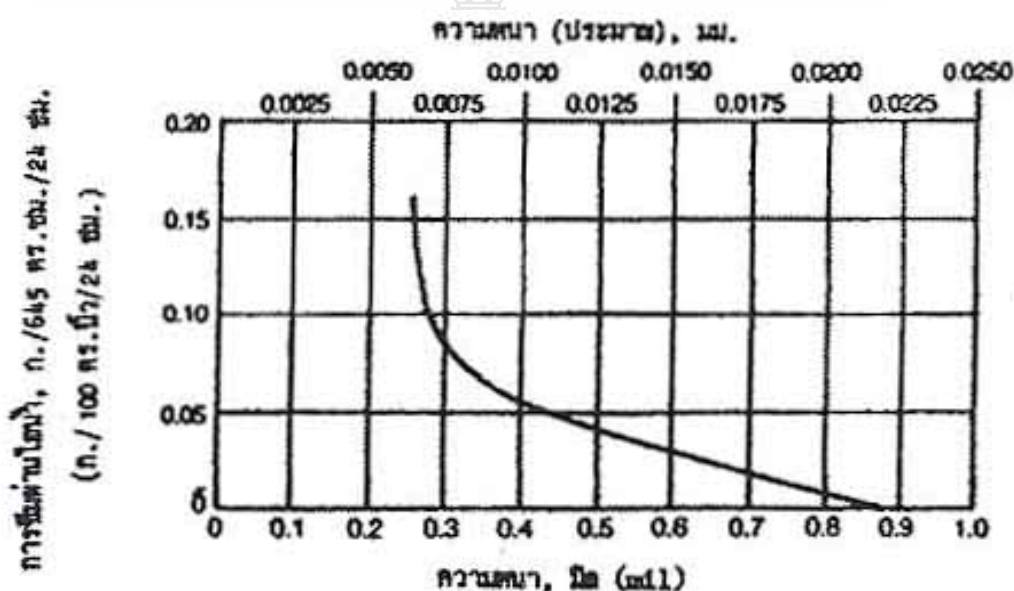
ชั้น คุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก						
	ซิลิกอนและ เหล็กสูงสุด	ทองแดง	แมงกานีส สูงสุด	แมกนีเซียม สูงสุด	สังกะสี สูงสุด	ไทเทเนียม สูงสุด	อะลูมิเนียม สูงสุด
1100	1.00	0.05 - 0.20	0.05	-	0.10	-	99.00
1145	0.55	สูงสุด 0.05	0.05	0.05	0.05	0.33	99.45
1235	0.65	สูงสุด 0.05	0.05	0.05	0.10	0.33	99.35

2.6.1 สมบัติใช้งาน (Functional Property)

อะลูมิเนียมฟอยล์มีสมบัติการใช้งาน ดังนี้

- 1) รูปแบบความหนา 4.3 ถึง 150 ไมครอน
- 2) อัตราการซึมผ่าน อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ของอะลูมิเนียมเปลวหนา 9 ไมครอน น้อยกว่า 0.05 กรัม / 100 ตารางนิ้ว ในเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 ฟ ถ้าเป็น อะลูมิเนียมเปลวหนากว่า 25 μm ไอน้ำจะไม่สามารถซึมผ่านได้เลย (Impermeable) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนตารางที่ 2.5 นอกจากแสดงความสามารถซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซแล้วยังมีแสดงจำนวนรูเข็มที่อาจจะพบในอะลูมิเนียมเปลวที่มีความหนาน้อยกว่า 25 ไมครอน
- 3) ความทนทานต่อการกัดกร่อน มีชั้นของออกไซด์บนผิวตามธรรมชาติทำให้ทนต่อการกัดกร่อน
- 4) ความเข้ากันได้กับอาหาร ยา และเครื่องสำอาง ไม่มีพิษภัย ทนต่อสารเคมีต่างๆ
- 5) การขึ้นรูป (Formability) ความสามารถแน่นสนิท (Dead Fold) โดยไม่สปริงกลับ (Spring back) ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย ในทางกลับกันอาจเป็นผลเสียเพราะมีโอกาสเกิดรอยยับ (Wrinkle)
- 6) การดูดซึม (Absorptivity) ไม่ดูดซึมน้ำและของเหลวต่างๆ
- 7) ความทนทานต่อไขมัน (Greaseproof) มีสมบัติไม่ดูดซึม (Nonabsorbent) ไขมัน
- 8) ความถูกสุขลักษณะ (Hygienic) สามารถใช้แปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนได้ เนื่องจากสามารถทนต่ออุณหภูมิใช้งานได้สูงถึง 290 องศาเซลเซียส ผิวโลหะที่แวววาวช่วยทำให้สังเกตเห็นการปนเปื้อน (Contaminants) ได้ง่าย
- 9) กลิ่นและรส มีสมบัติไม่ปล่อยกลิ่นและรสชาติใดๆ ของสินค้าและยังมีสมบัติสกัดกั้น (Barrier) การซึมผ่าน

- 10) การผ่านของแสง เนื่องจากเป็น โลหะจึง ไม่ยอมให้แสงผ่านแต่กลับมีสมบัติสะท้อน และแผ่ความร้อน (Radiant Heat) ได้มากถึง 95 %
- 11) การปิดผนึก มีสมบัติสามารถทำให้แน่นสนิทได้ และสามารถเคลือบอัดซ้อนหรือลามิเนตด้วยชั้นยึดติด (Adhesion) กับวัสดุบรรจุภัณฑ์อื่น ได้ดี
- 12) ปฏิกริยาต่อสนามแม่เหล็ก/ไฟฟ้า มีสมบัติกำบัง (Shielding) ต่อสนามแม่เหล็ก/ไฟฟ้า ได้
- 13) การเป็นประกาย (Sparking) มีสมบัติไม่มีประกาย ใช้งานได้ดีกับสารระเหย (Volatile) และสารประกอบที่ติดไฟได้ง่าย (Flammable Compound)



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านไอน้ำของอะลูมิเนียมเปลวที่มีความหนาต่างกัน [6]

ตารางที่ 2.5 อัตราการซึมผ่านและรูเข็มบนอะลูมิเนียมเปลว [6]

ความหนา (ไมครอน)	จำนวนรูเข็ม / ตร.ม.	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ก./ตร.ม.24ชม.)	อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (ก./ตร.ม.24ชม.)
6.35	4305.6	<7	-
7.62	2152.8	<7	-
8.89	215.2	<5	0~200
12.70	107.6	<2.5	0~180
25.40	ไม่มีรูเข็ม	0	0

นอกจากสมบัติต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว สมบัติเด่นของอะลูมิเนียมเปลวพอสรูปได้ดังต่อไปนี้

- **ดูมีค่า (Good Appearance)** อะลูมิเนียมเปลวมีความแวววาวเป็นสีเงินอมฟ้า (Bluish Silver) ทำให้ดูมีค่าและเพิ่มคุณภาพให้แก่สินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน
- **สกัดกั้นการซึมผ่าน (Barrier)** อะลูมิเนียมเปลวนอกจากมีความสามารถสกัดกั้นไอน้ำและก๊าซได้อย่างสมบูรณ์ยังช่วยป้องกันการส่องผ่านของแสงอีกด้วย
- **เปราะสามารถกดหรือทิ่มทะลุได้ง่าย (Friability)** ฟอยล์เปล่าๆ จะสามารถกดหรือทิ่มให้ขาดได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับแปรรูปเป็นแผงยาหรือผนังปิดฝาขวด (Membrane) ทำให้สามารถรู้ว่าบรรจุภัณฑ์ถูกเปิดมาก่อนหรือไม่ (Tamper Evidence)
- **สามารถนำความร้อน (Conductivity)** ภาชนะที่ต้องการเกิดรอยไหม้บนอาหารเมื่ออุ่นด้วยไมโครเวฟ (Microwave Susceptor) จะใช้อะลูมิเนียมเปลวฝังไว้ในภาชนะเป็นตัวนำความร้อน นอกจากนี้แผ่นเยื่อปิด (Membrane) ที่ปิดบนฝาขวดเพื่อป้องกันความชื้นนิยมใช้อะลูมิเนียมเปลวด้วย เพราะว่ามีสมบัติเหนียวนำความร้อนให้ปิดผนึกได้ เมื่อมีการเคลือบอัดซ้อนประกบผิวด้านในของอะลูมิเนียมเปลวด้วยสารเคลือบโดยปราศจากการสัมผัสกับความร้อนโดยตรง
- **การนำมารีไซเคิล (Recyclability)** การนำโลหะผสมอะลูมิเนียมมาหลอมเหลวใหม่จะช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่า 90 % เมื่อเทียบกับการถลุงหลอมเหลวแร่บอกไซต์

2.6.2 การปิดผนึกของแผ่นอะลูมิเนียมเปลว

การใช้พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแทนที่กระป๋องได้รับความนิยมมากขึ้นสืบเนื่องจากพลาสติกมีต้นทุนการผลิตต่ำ ออกแบบขึ้นรูปได้หลากหลายและมีชนิดพลาสติกให้เลือกตามความต้องการในการใช้งาน เช่น โพลีโพรลีน หรือ PP สามารถทนการฆ่าเชื้อและบรรจุร้อน (Hot Fill) ได้ ในขณะที่พลาสติกจำพวกโพลีเอสเตอร์ หรือ PET แบบธรรมดาไม่ทนความร้อนแต่ใช้บรรจุเย็น (Cold Fill) นอกจากนี้ยังมีบรรจุภัณฑ์แบบกึ่งคงรูป (Semi Rigid) ที่แปรรูปจากพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบด้วยต้นทุนของแม่พิมพ์ที่ไม่แพงมากนัก โดยนิยมขึ้นรูป 2 วิธี คือ

- **วิธีอัดแบบชนิดเป่า (Blow Molding)** ใช้แรงอัดให้พลาสติกที่หลอมละลายกระจายเต็มแม่แบบที่ต้องการขึ้นรูป (Mold)
- **วิธีขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoform)** แผ่นฟิล์มที่ป้อนจากม้วนและทำให้ร้อนแล้วอัด (Press) ด้วยแม่แบบตัวผู้ลงไปยังแม่แบบตัวเมีย

สำหรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ไม่ต้องการอายุการใช้งานยาวนานจะปิดผนึกบรรจุภัณฑ์แบบพลาสติกแต่ถ้าต้องการสกัดกั้นการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำฝาทิ้งไว้จะใช้อะลูมิเนียม

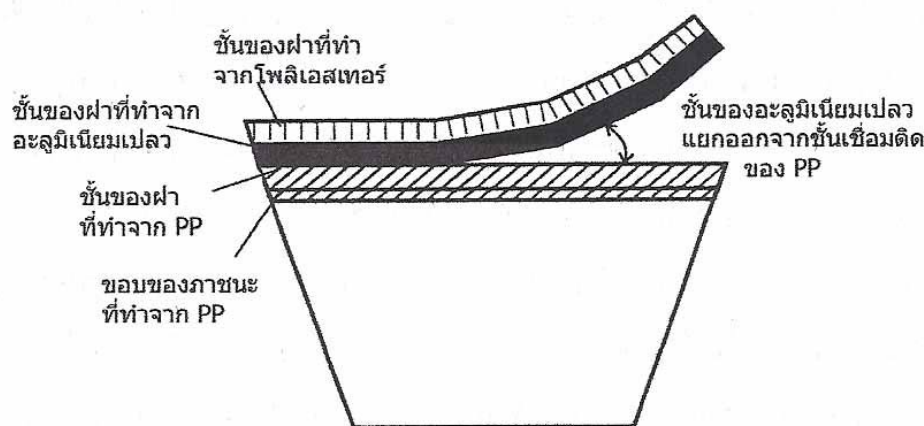
การปิดผนึกของแผ่นฝาที่เคลือบอัดซ้อนกับอะลูมิเนียมมีหลายวิธีแปรตามประเภทวัสดุ และรูปทรงของภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่จะปิด การปิดผนึกให้สนิทแน่นเพื่อให้ชั้นของอะลูมิเนียมเปลวสามารถทากรสกัดกั้นการซึมผ่านทั่วพื้นที่ของฝาจะแปรผันตามปัจจัยอื่น อันได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ เวลา และการปล่อยให้ยู่ตัวของรอยปิดผนึก กรรมวิธีการปิดผนึกของแผ่นฝาเคลือบประกอบที่นิยมใช้มี 4 วิธีคือ

- 1) การเหนี่ยวนำ (Introduction) ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าของชั้นเชื่อมติดทำให้เกิดการหลอมหรือฟิวส์ (Fuse) สารเชื่อมติดบนฝาเชื่อมติดกับปากของภาชนะบรรจุภัณฑ์ โดยที่อุปกรณ์ปิดฝาไม่จำเป็นต้องสัมผัสโดยตรงกับแผ่นฝา วิธีการปิดผนึกวิธีนี้พบได้จาฝาชั้นในที่เป็นเยื่อปิด (Membrane) ของขวดแก้วและขวดพลาสติก เช่นขวดบรรจุกาแฟ หรือบรรจุผง เครื่องดื่ม และขวดพลาสติกน้ำมันเครื่อง เป็นต้น
- 2) กระตุ้นด้วยไฟฟ้า (Impulse) ใช้ทั้งแรงกดและการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าทำให้ชั้นของแผ่นฝาหลอมละลายเชื่อมติดกับตัวภาชนะบรรจุภัณฑ์
- 3) แท่งความร้อน (Hot Bar) ใช้ความร้อนสูงถึงอุณหภูมิหลอมละลายของสารเชื่อมติดสัมผัสโดยตรงทำการหลอมละลายชั้นในของแผ่นปิดผนึกภาชนะบรรจุภัณฑ์
- 4) ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Sealing) ใช้การสั่นสะเทือนที่เกิดจากคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Wave Vibration) ทำให้เกิดการเสียดทาน (Friction) จนเกิดความร้อนสูงจนหลอมละลายชั้นเชื่อมติดของแผ่นฝาปิดผนึกกับปากบรรจุภัณฑ์ ระบบนี้มักจะใช้กับภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพีวีซีหรือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride-PVC)

2.6.3 ความบกพร่องที่เกิดจากการปิดผนึก

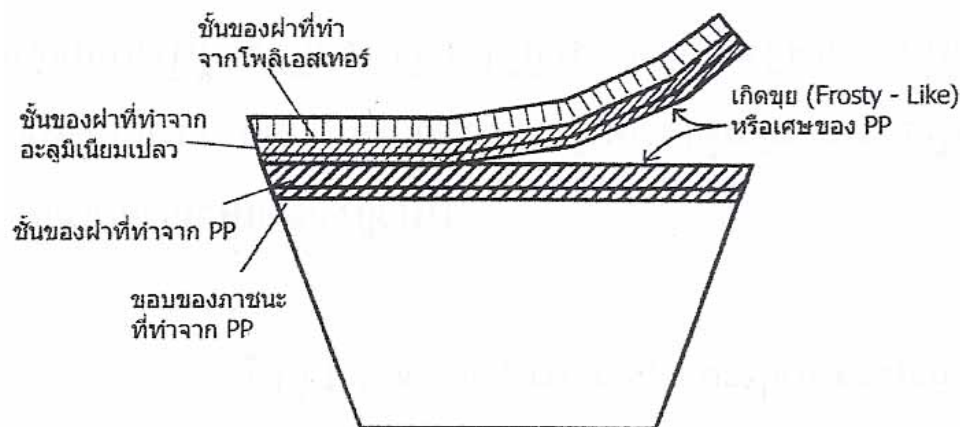
การปิดผนึกด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งในสี่วิธีดังกล่าวต่างต้องการรอยปิดผนึกที่ปิดได้สนิทมิดชิด เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ถ้าเป็นการปิดผนึกนี้แน่นเกินกว่าความสามารถที่ผู้บริโภคจะเปิดนำเอาผลิตภัณฑ์ภายในออกมาบริโภคได้ย่อมทำให้เกิดการไม่ยอมรับตัวสินค้าจากผู้บริโภค แผ่นฝาที่เคลือบอัดซ้อนกับอะลูมิเนียมเปลวมีความบกพร่องจนเปิดฝาไม่ออกนั้นอาจเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

- 1) ความบกพร่องที่เกิดจากการยึดติด (Adhesive Failure) ความบกพร่องนี้เกิดเมื่อเวลาเปิดแผ่นฝามีการแยกชั้นระหว่างแผ่นฝาที่เคลือบประกอบหลายชั้นแทนที่จะแยกกันตรงชั้นของสารเชื่อมติด (Heat Seal Layer) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.5 ชั้นเชื่อมติดที่เป็น PP ของฝายังคงติดแน่นกับฝา (Flange) ของภาชนะบรรจุภัณฑ์ วิธีแก้ไขคือการเคลือบประกอบชั้นของอะลูมิเนียมเปลวกับชั้นอื่นๆ ให้แน่นหนามากกว่าแรงปิดผนึกที่ยึดติดระหว่างฝาและตัวภาชนะ ปรากฏการณ์แยกชั้นภายในโครงสร้างของฝาดังกล่าวมีศัพท์เฉพาะเรียกว่าการแยกชั้น (Delamination)



รูปที่ 2.5 ความบกพร่องที่เกิดจากการยึดติด [6]

- 2) ความบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมแน่น (Cohesive Failure) ในกรณีชั้นเชื่อมติดสามารถเปิดแยกออกมาได้ตามต้องการ แต่มีขุย (Frosty - like) หรือเศษ (Residues) ของชั้นเชื่อมติดหลงเหลืออยู่บนฝาหรือขอบของภาชนะบรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในบางกรณีที่เลวร้ายกว่านี้อาจพบว่าตัวแผ่นชั้นเชื่อมติดขาดจากกันโดยมีบางส่วนติดไปกับแผ่นฝาและยังเหลือบางส่วนติดอยู่กับขอบภาชนะ วิธีการแก้ไขคือ ต้องปรับปรุงคุณภาพของชั้นเชื่อมติดและวิธีการเคลือบประกอบ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาชั้นเชื่อมติดเป็นแบบเปิดได้ง่าย (Easy peel) แต่ยังคงรักษาการเชื่อมติดระหว่างชั้นของการเคลือบประกอบไว้ได้ ชั้นเชื่อมติดแบบเปิดได้ง่ายเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาข้อบกพร่องทั้งสองดังกล่าว



รูปที่ 2.6 ความบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมแน่น [6]

นอกเหนือจากความบกพร่องหลัก 2 ปรากฏที่พบบ่อยจากการปิดผนึกแผ่นฝาอะลูมิเนียมเคลือบประกบ ข้อบกพร่องอื่นๆ แยกตามประเภทและระดับความรุนแรง 3 ระดับ อันได้แก่ ระดับวิกฤต (Critical) ระดับใหญ่ (Major) และระดับ (Minor) สรุปรวมอยู่ในตารางที่ 2.6 โดยมีคำอธิบายของความบกพร่องต่างๆ เรียงตามอักษรภาษาอังกฤษดังต่อไปนี้

Abrasion	การขูด รอยขีดข่วน (Scratch) ที่เกิดบริเวณผิวของฝาที่เกิดจากการเสียดสี การถู (Rubbing) และอันตรายทางกลต่างๆ
Burnt Seal	รอยปิดผนึกไหม้ มีการเปลี่ยนสีบริเวณรอยปิดผนึก เกิดจากองค์ประกอบในการปิดผนึกมีมากเกินไป เช่น ความร้อนหรือเวลามากเกินไปเกินกว่ากำหนด เป็นต้น
Channel Leaker	บริเวณรอยปิดผนึกไม่สนิททำให้เกิดช่อง (Channel) ตลอดความกว้างของรอยปิดผนึกเกิดเป็นรอยรั่ว
Contaminate Seal	รอยปิดผนึกที่ถูกปนเปื้อน มีสิ่งแปลกปลอมอยู่ในบริเวณรอยปิดผนึก สิ่งแปลกปลอมนี้รวมทั้งของเหลว ไขมัน และเศษอาหาร
Crushed	การบีบของแรงกระทำจนบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงรูปทรงไป
Cut	รอยแตก อันตรายทางกลทำให้เกิดรอยแตกบนผิวบรรจุภัณฑ์จนเกิดรอยรั่วหรือเสียสภาพความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์ (Integrity)
Delamination	การแยกชั้นของวัสดุที่มีการเคลือบอัดซ้อนประกบหลายชั้น
Flex Cracks	รอยปริ ความเค้น (Stress) ทำให้เกิดรอยปริบนชั้นใดชั้นหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชั้น ของวัสดุเคลือบอัดซ้อนประกบหลายชั้น
Foreign Matter	สิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงประสงค์เจือปนในวัสดุบรรจุภัณฑ์

Fracture	รอยแตกร้าว
Gels	เจล เศษพลาสติกหลงเหลือบนวัสดุบรรจุภัณฑ์
Imcomplete Seal	รอยปิดผนึกที่ไม่สมบูรณ์ มีบางส่วนของรอยปิดผนึกที่ไม่ผนึกติดกันระหว่างแผ่นฝาและภาชนะบรรจุภัณฑ์
Label Foldover	ฉลากปิดไม่เรียบร้อย มีรอยพับบริเวณฉลาก
Malformed	ขึ้นรูปภาชนะบรรจุภัณฑ์ผิดรูปไม่ได้ตามกำหนด อาจเกิดจากการกระจายของพลาสติกไม่สม่ำเสมอทั่วแม่แบบ โดยมีบางส่วนมีความหนาบาง ผิดปกติหรือมีรอยคลื่นบนผิวด้านบนหรือแผ่นฝาเคลือบประกอบปิดผนึกไม่สนิทหรือไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผิว
Puncture	การทิ่มทะลุ เกิดขึ้นบริเวณผิวบรรจุภัณฑ์อาจเป็นบริเวณฝาปิดหรือตัวภาชนะทำให้เกิดรอยร้าวหรือเสียหายความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์ (Integrity)
Seal With Variation	การแปรผันบนรอยปิดผนึก เช่น มิติของรอยปิดผนึกไม่ได้ตามกำหนด หรือมีความแปรปรวนของการยึดติด เป็นต้น
Swollen Package	บรรจุภัณฑ์บวม เกิดก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ดันให้ผิวผนังของภาชนะหรือฝาปิดโป่งบวมขึ้นมา โดยที่บริเวณปิดผนึกยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์ (Seal Integrity)
Uneven Impression	การกดทับบนรอยปิดผนึกไม่สม่ำเสมอมีโอกาสทำให้การปิดผนึกไม่สนิทแน่นพอ
Wrinkle	รอยย่น เกิดรอยพับบริเวณปิดผนึก

ระดับความบกพร่องที่แยกไว้ในตารางที่ 2.6 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาระดับความบกพร่องที่ยอมรับได้ของบรรจุภัณฑ์และสินค้าแต่ละประเภท สถานะการยอมรับแยกตามระดับของข้อบกพร่องจะแปรผันเป็นกรณีๆไป ไม่สมควรยึดถือเป็นกฎเกณฑ์ตายตัว ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าข้อบกพร่องบางประเภท เช่น การผิดรูป หรือการเกิดรอยย่นสามารถจำแนกเป็นความบกพร่องได้ทุกระดับแปรตามความรุนแรงของข้อบกพร่องนั้น

ตารางที่ 2.6 ประเภทความบกพร่องที่พบบนภาชนะบรรจุกึ่งคงรูป (Semi Rigid) ที่ปิดผนึกด้วยความร้อนบนฝาปิดเคลือบประกบหลายชั้นที่มีชั้นสีกักกันของอะลูมิเนียมเปลว [6]

ความบกพร่อง	ระดับความบกพร่อง		
	วิกฤต	ใหญ่	เล็ก
การชำรุด	-	✓	✓
รอยปิดผนึกใหม่	-	-	✓
รอยร้าว	✓	-	-
รอยปิดผนึกปนเปื้อน	-	✓	-
รอยการบีบ	-	✓	✓
รอยแตก	✓	-	-
การแยกชั้น	-	-	✓
รอยปริแตก	-	-	✓
สิ่งแปลกปลอมในวัสดุ	-	-	✓
รอยแตกร้าว	✓	-	-
เศษพลาสติกหรือเจล	-	-	✓
รอยปิดผนึกไม่สมบูรณ์	✓	-	-
รอยพับบนฉลาก	-	-	✓
ภาชนะบรรจุภัณฑ์ผิดรูป	✓	✓	✓
การทิ่มทะลุ	✓	-	-
ความแปรผันบนรอยปิดผนึก	-	✓	-
การบวม	✓	-	-
รอยปิดผนึกไม่สม่ำเสมอ	-	✓	-
รอยย่น	✓	✓	✓

2.6.4 การทดสอบ

วิธีการทดสอบรอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์แบบกึ่งคงรูปที่ปิดผนึกความร้อนบนแผ่นฝาเคลือบประกบหลายชั้น โดยมีชั้นของอะลูมิเนียมเปลวอยู่ด้วย มีเกณฑ์ (Criteria) ในการทดสอบ คือ ความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกและของบรรจุภัณฑ์โดยรวม (Seal and Package Integrity) ซึ่งสามารถแยกวิธีการทดสอบเป็น 2 วิธี คือ

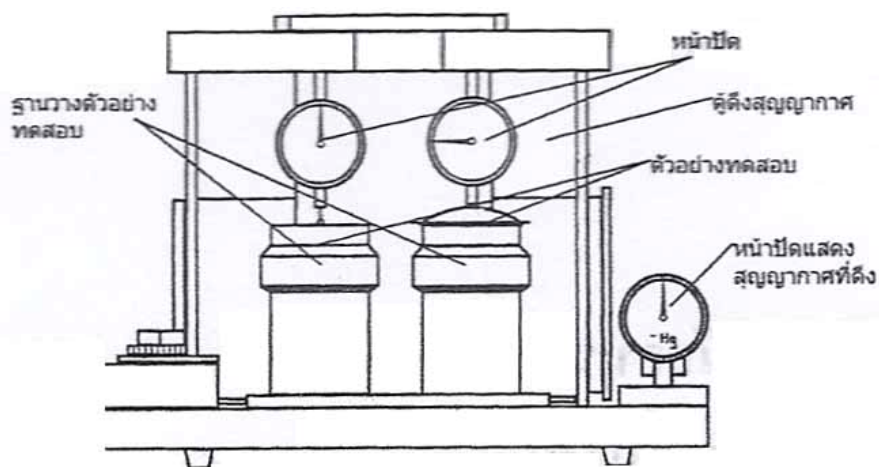
1) การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยบรรจุภัณฑ์ (Non – Destructive)

1.1) การทดสอบวิธีนี้เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Examination) พิจารณาสภาพโดยทั่วไปของผิวภายนอกบรรจุภัณฑ์ เช่น ฝาปิดได้ทาบตลอดตามแนวรอบขอบของภาชนะ สภาพของรอยปิดผนึก การบิดเบี้ยวตามผนังภาชนะ สภาพของรอยปิดผนึก การบิดเบี้ยวตามผนังภาชนะบรรจุภัณฑ์และสำรวจจุดสินค้าที่อาจหกเลอะเทอะบนผิวของบรรจุภัณฑ์จากรอยรั่วซึม เป็นต้น อันดับต่อมาใช้ประโยชน์จากความนิ่มของบรรจุภัณฑ์แบบกึ่งคงรูปด้วยการบีบ (Squeezing) ตามผนังด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ตามที่แสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อบีบด้วยแรงมากพอฝานจะโป่งออกและถ้าบรรจุภัณฑ์ปิดผนึกอย่างมิดชิดจะไม่มี การรั่วเกิดขึ้นจากการบีบ

1.2) การทดสอบแบบไม่ทำลายบรรจุภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการที่มีบรรทัดฐานการทดสอบที่แน่นอน ตัวอย่างเช่น การทดสอบบรรจุภัณฑ์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีหลักการทำงานดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยตู้ที่ดึงสุญญากาศได้ (Vacuum Chamber) เมื่อวางบรรจุภัณฑ์ภายในตู้แล้วดึงสุญญากาศประมาณ 20 นิ้วปรอทจะทำให้อากาศที่อยู่ภายในปริมาตรช่องว่างของบรรจุภัณฑ์ขยายตัวดันให้ฝาโป่งเป็นรูปโดมตามที่แสดงในตู้ด้านซ้ายมือให้ตรวจสอบรอยแตกหรือรอยปริรั่วของบรรจุภัณฑ์นั้น ในกรณีที่มีรอยรั่วเล็ก (Microleakage) จะสามารถอ่านค่าได้จากหน้าปัดที่อยู่ข้างบนได้ทันที



รูปที่ 2.7 การทดสอบรอยปิดผนึกด้วยการบีบผนังด้านข้าง [6]

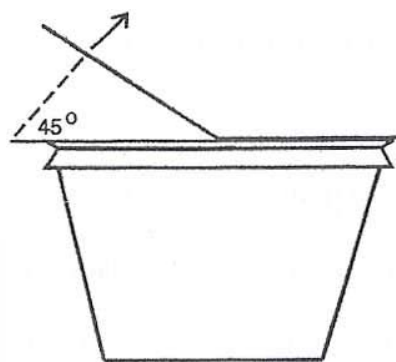


รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของ การทดสอบความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกด้วยการดึงสุญญากาศ [6]

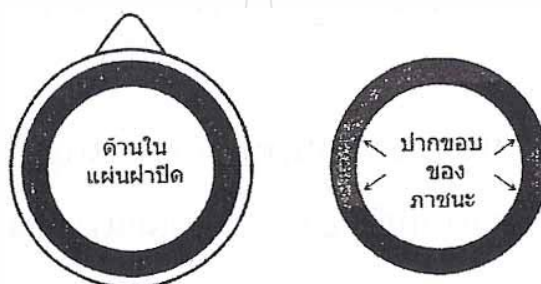
2) การทดสอบแบบทำลายตัวบรรจุภัณฑ์ (Destructive)

2.1) การทดสอบแรงดันทะลุ (Burst Test) เป็นการทดสอบที่ประยุกต์มาจากการทดสอบกระดาษลูกฟูกเพื่อทดสอบดูความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึก นอกจากนี้ยังใช้เป็นวิธีทดสอบประเมินความสามารถในการเปิดฝา (Peelability) ของผู้บริโภครวมถึงวิธีการทดสอบใช้ความดันอัดเข้าไปภายในบรรจุภัณฑ์เพื่อทดสอบว่ารอยปิดผนึกสามารถทนต่อความดันที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ รอยปิดผนึกที่สามารถทนต่อความดันได้สูงย่อมมีโอกาสทำให้เปิดฝาได้ยาก ข้อบกพร่องอาจเกิดจากการยึดติดหรือการเชื่อมแน่นตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.6.3

2.2) การทดสอบความยากง่ายในการเปิดฝา (Peel Test) ดึงฝาให้เปิดอย่างช้าๆ ด้วยมุมที่ดึงประมาณ 45 องศาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 การดึงควรใช้แรงดึงอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเปิดฝ้ออกแล้วให้ตรวจสอบบริเวณรอยปิดผนึกทั้งบนฝาและบริเวณปากขอบ (Flange) ของภาชนะบรรจุตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 (บริเวณที่มีรอยสีดำตามรูปเป็นรอยปิดผนึก) การตรวจสอบจะพิจารณาความเรียบสม่ำเสมอ (Evenness) ของรอยปิดผนึก ความเที่ยงตรงของแนวรอยผนึก (Alignment) รอยพับ รอยซึมและรอยร้าวของสินค้าที่มีโอกาสทำให้สภาพความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์เสื่อมลงมา

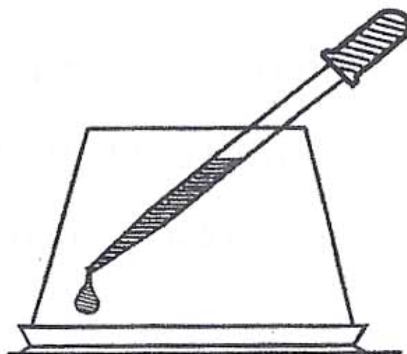


รูปที่ 2.9 ทิศการดึงฝาเพื่อตรวจสอบ [6]

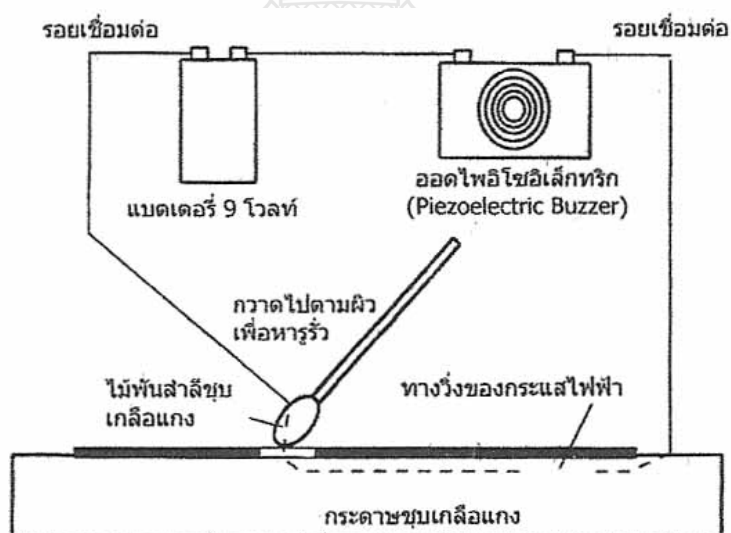


รูปที่ 2.10 การตรวจสอบแผ่นฝาปิดและปากขอบของบรรจุภัณฑ์ [6]

- 3) การทดสอบการแทรกซึมของสีช้อม (Dry Penetration Test) ตัดเอาฐานหรือก้นของบรรจุภัณฑ์ นำเอาสินค้าออกจากภาชนะบรรจุแล้วล้างให้สะอาดพร้อมทั้งทำให้แห้ง คั่วปากภาชนะบรรจุที่มีรอยปิดผนึกแล้วหยดสีช้อมฐานน้ำซึ่งมักใช้สีน้ำเงินเมทิลีน (Methylene Blue) ลงไปบนขอบด้านในของปากขอบที่เชื่อมกับแผ่นฝา ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สีช้อมจะกระจายไปตามขอบ ปล่อยให้แห้งแล้วสำรวจการแทรกซึมของสีช้อมผ่านรอยปิดผนึกโดยฉีกเอาฝาออก สีช้อมที่ใช้จำเป็นต้องใช้สีช้อมฐานน้ำเพราะว่าสีช้อมที่เป็นฐานตัวทำละลายเนื้อพลาสติกทำให้ประเมินผลที่ได้ผิดพลาด
- 4) การทดสอบด้วยสภาพนำไฟฟ้า (Electroconductivity Test) โดยปกติพลาสติกจะไม่มีสมบัตินำไฟฟ้าที่ความดันไฟฟ้าต่ำๆ ยกเว้นว่าจะมีรูบนผิวของพลาสติกที่มีตัวกลางของตัวนำไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำสมบัติข้อนี้ของพลาสติกมาใช้เป็นวิธีทดสอบหารั่วของบรรจุภัณฑ์พลาสติก วิธีการทดสอบด้วยสภาพนำไฟฟ้านี้คิดค้นโดยสมาคมผู้ผลิตอาหารแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Food Processor Association – NFPA) มีอุปกรณ์ทดสอบต่อเป็นวงจรไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 2.12 ใช้ไม้พันสำลี (Swap) ที่ชุบด้วยเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์ NaCl) ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 %



รูปที่ 2.11 การทดสอบรอยปิดผนึกด้วยการแทรกซึมของสีข้อม [6]



รูปที่ 2.12 การทดสอบหารูรั่วด้วยสภาพนำไฟฟ้า [6]

การทดสอบทั้งแบบไม่ทำลายและแบบทำลายตามที่กล่าวมาแล้วควรทำอย่างต่อเนื่อง โดยมีความถี่ในการทดสอบดังนี้

- การตรวจสอบงานบรรจุด้วยการบีบผนังด้านข้างของบรรจุภัณฑ์แบบสุ่มควรทำทุก 15 นาทีและจดบันทึกผลการทดสอบ
- การตรวจสอบสภาพของรอยปิดผนึกภายใต้สุญญากาศควรตรวจสอบอย่างน้อยที่สุดทุก 30 นาที
- การทดสอบความยากง่ายในการเปิด (Peel Test) ควรตรวจสอบทุก 4 ชั่วโมง

การทดสอบทุกประเภทควรมีการตรวจสอบอย่างเข้มข้นพร้อมๆกันตอนเริ่มการผลิตแต่ละวัน เมื่อใดก็ตามที่มีการหยุดเครื่องหรือมีการเปลี่ยนม้วนของแผ่นฝาหรือเปลี่ยนชุด (Lot) ของภาชนะบรรจุจำเป็นต้องมีการดึงตัวอย่างมาตรวจสอบรอยปิดผนึก เมื่อใดที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นจำเป็นต้องเอาตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการทดสอบสภาพนำไฟฟ้าและการแทรกซึมของสีเชื่อม

นอกเหนือจากการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกและของบรรจุภัณฑ์โดยรวมแล้ว ยังมีรายละเอียดการทดสอบที่เกี่ยวข้องในเรื่องอื่นๆ กำหนดโดยองค์กรต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น คู่มือการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ (Bacteriology Analytical Manual) ของ NFPA หมายเลข 41-L เป็นต้น

2.7 เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สเตนเลส นั้น ในทางโลหะกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% ชื่อในภาษาไทย แปลจากภาษาอังกฤษว่า Stainless steel เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสเตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบางๆเคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสเตนเลส ได้เป็นอย่างดี ปกป้องการเกิด Corrosion และไม่ชำรุดหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกาและในหลายประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า Corrosion resistant steel เมื่อไม่ได้ระบุชัดว่าเป็นโลหะผสมชนิดใด และคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น สเตนเลสเกรด 18-8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึง ธาตุที่เจือลงในเนื้อเหล็กคือโครเมียมและนิกเกิล ตามลำดับ สเตนเลสประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade คือมีใช้ทั่วไปหาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนกประเภทของสเตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304L 316 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสเตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สเตนเลสกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless steel จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์ บางๆเคลือบผิวอยู่อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless steel กับ ออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless steel เป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่เคลือบผิวออกไปในสถานะที่ Stainless steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้งเช่น ถ้าสเตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วนแล้วบริเวณรอยนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้

2.7.1 ประเภทของสแตนเลส

โดยทั่วไปจะไม่ทราบว่าสแตนเลสมีกี่ประเภท และมักจะมีการเข้าใจผิดว่าสแตนเลสแท้ต้องแม่เหล็กดูดไม่ติด แต่จริงๆแล้วการที่แม่เหล็กจะดูดติดหรือไม่ติดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสแตนเลส สแตนเลสแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐาน ได้ 5 กลุ่มคือ

- 1) กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือสแตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (non - magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ (Fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 10%
- 2) กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด (magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% และมีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย
- 3) กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด (Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 12-14% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีนิกเกิล สแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด, อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป
- 4) กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้ คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และนิกเกิล 4% สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึก (Precipitation hardening mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 เมก้าปาสกาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat treatment)
- 5) กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่าง โครงสร้างเฟอร์ริติก และออสเทนนิติก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28% และโมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติก พบว่ามีการใช้งานมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์

2.7.2 ประโยชน์ของการใช้งานสแตนเลส

- ใช้ในสิ่งแวดล้อมที่กัดกร่อน (Corrosive Environment)
- งานอุณหภูมิเย็นจัด ป้องกันการแตกเปราะ
- ใช้งานอุณหภูมิสูง (High temperature) ป้องกันการเกิดคราบออกไซด์ (scale) และยังคงความแข็งแรง
- มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับมวล (High strength vs. mass)
- งานที่ต้องการสุขอนามัย (Hygienic condition) ต้องการความสะอาดสูง
- งานด้านสถาปัตยกรรม (Aesthetic appearance) ไม่เป็นสนิม ไม่ต้องทาสี
- ไม่ปนเปื้อน (No contamination) ป้องกันการทำ ปฏิกิริยากับสารเร่งปฏิกิริยา
- ด้านทานการขัดถูแบบเปียก (Wet abrasion resistance)

2.7.3 ความต้านทานการกัดกร่อน

เหตุใดสแตนเลสจึงทนต่อการกัดกร่อนได้ โลหะทุกชนิดทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์บนผิวโลหะ หรือออกไซด์ ที่เกิดบนผิวเหล็กทั่วไป จะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ และทำให้เกิดสภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อน ที่เราเรียกว่า เป็นสนิม แต่สแตนเลสมีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป กลายเป็นฟิล์มปกป้องหรือพาสซีฟเลเยอร์ (Passive Layer) ที่เหมือนเกราะป้องกัน การกัดกร่อน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พาสซีวิตี (Passivity) ฟิล์มปกป้องนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นสแตนเลสบางขนาด 1 มม. ฟิล์มหรือพาสซีฟ เลเยอร์นี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวาทะกระดาษ 1 แผ่น บนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่ปกป้องสแตนเลส จากการกัดกร่อนทั้งหมด หากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพเหมาะสม เมื่อเกิดมีการขีดข่วน ฟิล์มปกป้องนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา ความคงทนของพาสซีฟเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของสแตนเลส นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอันได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรด์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณ โครเมียมจะช่วยเพิ่มความต้านทาน การกัดกร่อนของสแตนเลส การเติมนิเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนโดยทั่วไป ให้ทนสภาวะกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดีนัมจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนเฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) ในทางปฏิบัติ สแตนเลสชนิดเฟอร์ริติก มีการใช้งานจำกัดในสภาพการกัดกร่อนปานกลางและในสภาพชนบท ทั้งชนิดเฟอร์ริติกและออสเทนนิติกสามารถใช้ทำ อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนได้แต่เนื่องจากชนิดออสเทนนิติกสามารถทนการกัดกร่อนได้ดี และทำความสะอาดง่าย จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องคั่ว นอกจากนี้ชนิดออสเทนนิติก



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม [7]



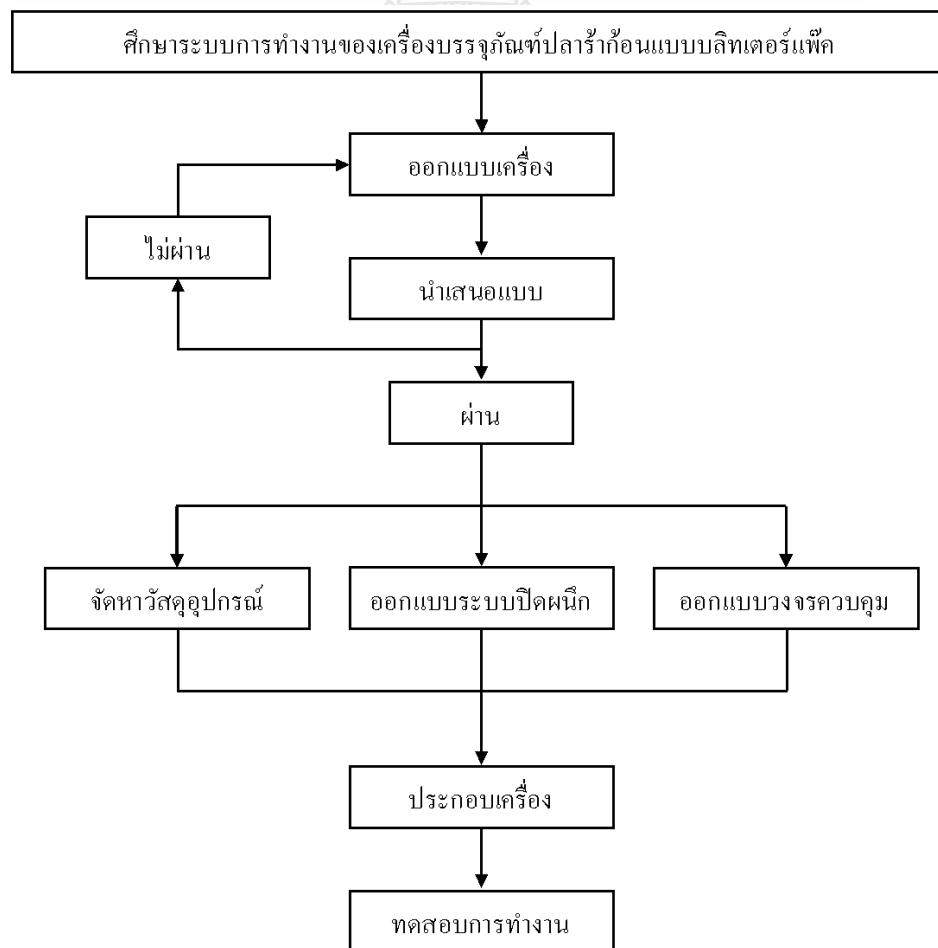
บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย เรื่อง เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ได้ทำการศึกษา ออกแบบ สร้างเครื่อง และทดลองการใช้งานที่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรม วัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีขั้นตอนการดำเนินงาน อุปกรณ์ และเครื่องมือ รวมถึงวิธีการทดลอง ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็คมีแผน การดำเนินงานตามแผนผังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค

วัตถุประสงค์การออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค นั้นเป็นโครงการที่สามารถนำเครื่องไปใช้งานได้จริง และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของโครงการอย่างรอบคอบ เพื่อที่จะทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางเอาไว้เป็นอย่างดี การดำเนินการสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค มีการวางแผนและขั้นตอนการดำเนินการในการปฏิบัติตามระยะเวลาที่กำหนด โดยมีแผนการดำเนินโครงการ ดังนี้

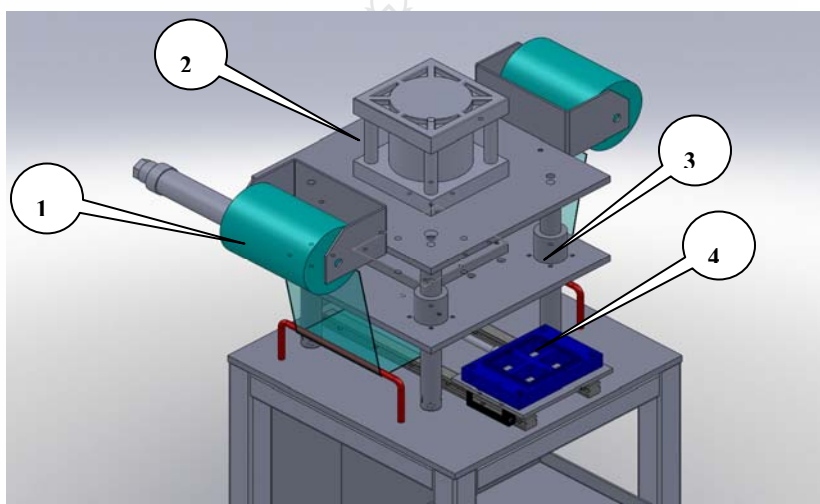
- 1) ศึกษาค้นคว้ารูปแบบปลาร้าก้อนเก็บข้อมูล
- 2) รวบรวมและจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ สำหรับสร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค
- 3) สร้างเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค
- 4) ทดลองการใช้เครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค
- 5) ปรับปรุงและแก้ไข ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่อง
- 6) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 7) จัดพิมพ์รายงานการทำโครงการ

3.2 การออกแบบเครื่อง

การออกแบบการทำงานของเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ออกแบบในเบื้องต้นให้เครื่องมีการทำงาน แบ่งเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3.2 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค แบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนที่สำคัญ คือ

- 1) ชุดม้วนฟอยด์อะลูมิเนียมเป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บฟอยด์อะลูมิเนียมมีลักษณะเป็นม้วน และมีลูกกลิ้ง (Roller) 2 ตัว เพื่อช่วยรีดแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมให้เป็นแผ่นตรงเพื่อป้อนแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมให้เข้าไปในส่วนของเครื่อง คือ ชุดให้ความร้อน (Heater), ชุดแผ่นจิกรองรับ (Jig Tray plate) และชุดมิดตัดแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียม โดยใช้มอเตอร์หมุนปรับความเร็ว (Motor + Speed Control) เป็นตัวเลื่อนแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมให้พร้อมปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อีกครั้ง
- 2) ชุดกระบอกสูบ (Cylinder) ทำหน้าที่กดและยกชุดให้ความร้อน (Heater) ในการปิดผนึกแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมและชุดมิดตัดสำหรับตัดแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมเมื่อปิดผนึกบรรจุภัณฑ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว

- 3) ชุดแผ่นเพลทเลื่อนขึ้นลง (Slide plate) จะยึดติดกับชุดให้ความร้อน (Heater) เป็นส่วนให้ความร้อนแก่แผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมในการปิดผนึกกับบรรจุภัณฑ์ หลังจากนั้นเมื่อตัดจะตัดแผ่นฟอยด์อะลูมิเนียมเมื่อปิดผนึกบรรจุภัณฑ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ต้องการ
- 4) ชุดแผ่นจี้กรองรับ (Jig Tray plate) จะเป็นหลุมเพื่อรองรับบรรจุภัณฑ์ ใช้ตัวนำร่องเลื่อน (Slide Guide) ยึดติดกับชุดแผ่นจี้กรองรับ (Jig Tray plate) โดยกระบอกสูบเป็นตัวเลื่อนเข้าออก ตามตัวนำร่องเลื่อน (Slide Guide)



รูปที่ 3.2 การออกแบบเครื่องเครื่องบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิทเตอร์แพคในเบื้องต้น

การสร้างความร้อนสำหรับกระบวนการปิดผนึกฟอยด์อะลูมิเนียมกับบรรจุภัณฑ์ นั้น ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากแท่งความร้อน ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนที่ทำให้ส่วนให้ความร้อนมีอุณหภูมิที่ต้องการสามารถคำนวณได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{m \times cp \times (t_2 - t_1)}{860 \times T \times \eta} \quad (3.1)$$

- โดย
- Q = พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็น (Watt)
 - m = มวลของอะลูมิเนียมมีหน่วยเป็น (Kg)
 - Cp = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียม (kcal /kg. °C)
 - t₁ = อุณหภูมิเริ่มต้นมีหน่วยเป็น (°C)

- t_2 = อุณหภูมิที่ต้องการมีหน่วยเป็น (°C)
 T = เวลาในการให้ความร้อนมีหน่วยเป็น (ชั่วโมง)
 η = ประสิทธิภาพโดยทั่วไปใช้ 0.2 ถึง 0.5

เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ต้องการ สำหรับการปิดผนึกฟอยด์อะลูมิเนียมกับบรรจุภัณฑ์นั้น จะให้ผลดีที่สุด ต้องเกิดจากการทดลอง ดังนั้นการคำนวณจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25°C อุณหภูมิที่ต้องการใช้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 200 °C, 210°C และ 230 °C คำนวณพลังงานความร้อนสำหรับวัสดุอะลูมิเนียม

- คำนวณช่วงอุณหภูมิแรกเริ่มต้นที่ 25°C ถึง 200 °C

$$Q = \frac{0.65 \times 0.230 \times (200 - 25)}{860 \times 0.5 \times 0.3}$$

$$Q = 0.20281 \text{ Kw} = 202.81 \text{ watt}$$

$$Q = 202.81 \text{ watt}$$

- คำนวณช่วงอุณหภูมิแรกเริ่มต้นที่ 25°C ถึง 210 °C

$$Q = \frac{0.65 \times 0.230 \times (210 - 25)}{860 \times 0.5 \times 0.3}$$

$$Q = 0.21439 \text{ Kw} = 214.39 \text{ watt}$$

$$Q = 214.39 \text{ watt}$$

- คำนวณช่วงอุณหภูมิแรกเริ่มต้นที่ 25°C ถึง 230 °C

$$Q = \frac{0.65 \times 0.230 \times (230 - 25)}{860 \times 0.5 \times 0.3}$$

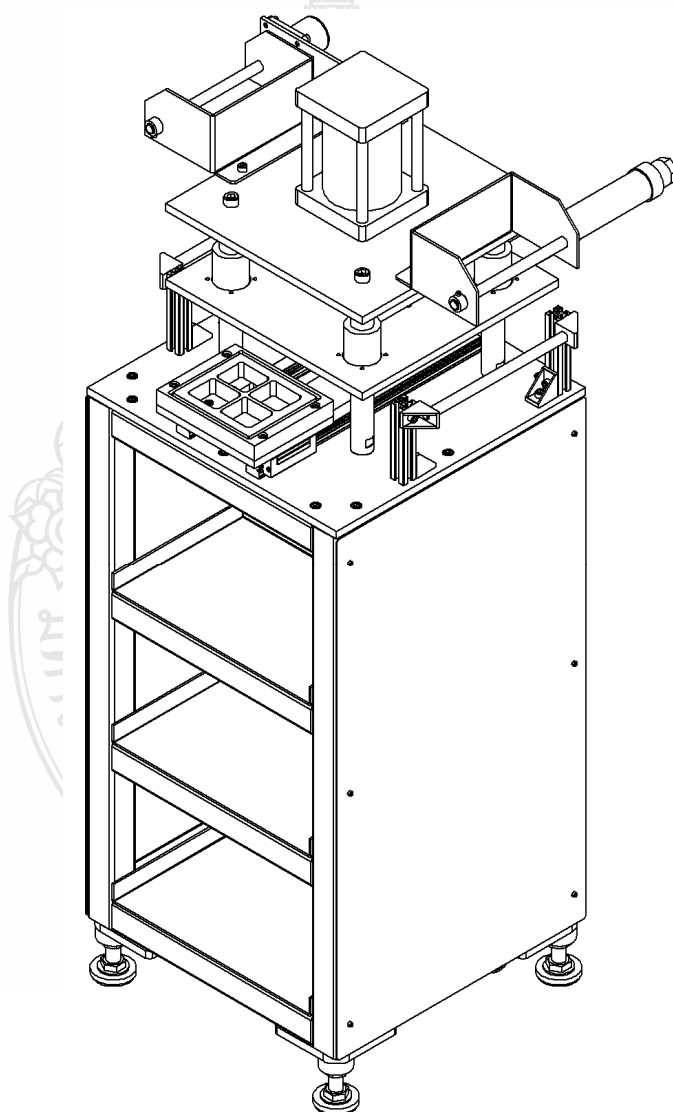
$$Q = 0.23757 \text{ Kw} = 237.57 \text{ watt}$$

$$Q = 237.57 \text{ watt}$$

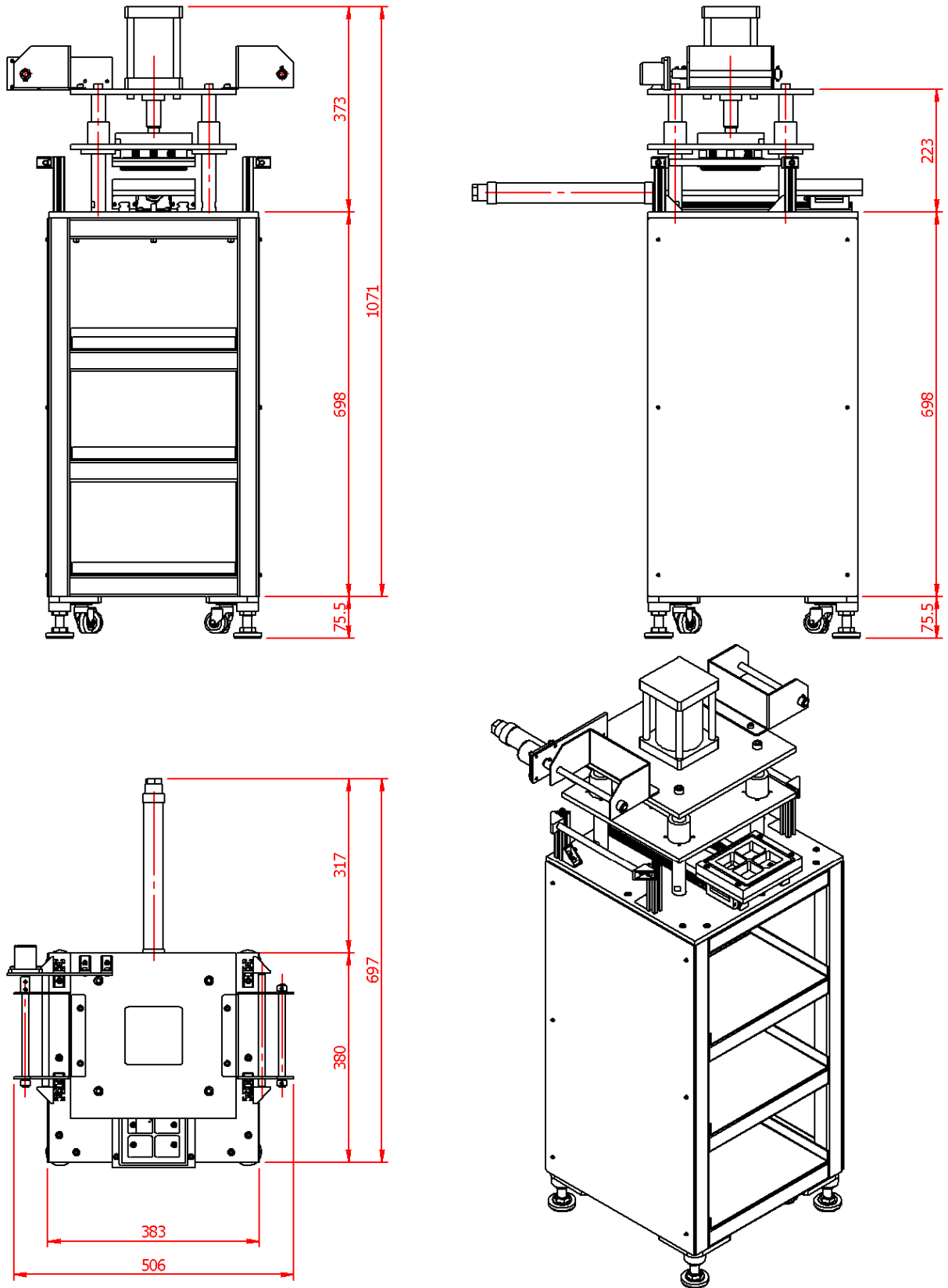
ผลการคำนวณพลังงานความร้อนที่ต้องการที่คำนวณ โดยคำนวณจากน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำ Heater คืออะลูมิเนียม ใช้อุณหภูมิที่ 200 °C, 210 °C, 230 °C คือ 202.81, 214.39 และ 237.57 watt ตามลำดับ

จากการคำนวณการให้ความร้อนกับอะลูมิเนียมที่ใช้ทำ Heater ทางผู้วิจัยทำได้ใช้แท่งความร้อน ขนาด 400 วัตต์ ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานความร้อนที่ต้องการรวดเร็วยิ่งขึ้น

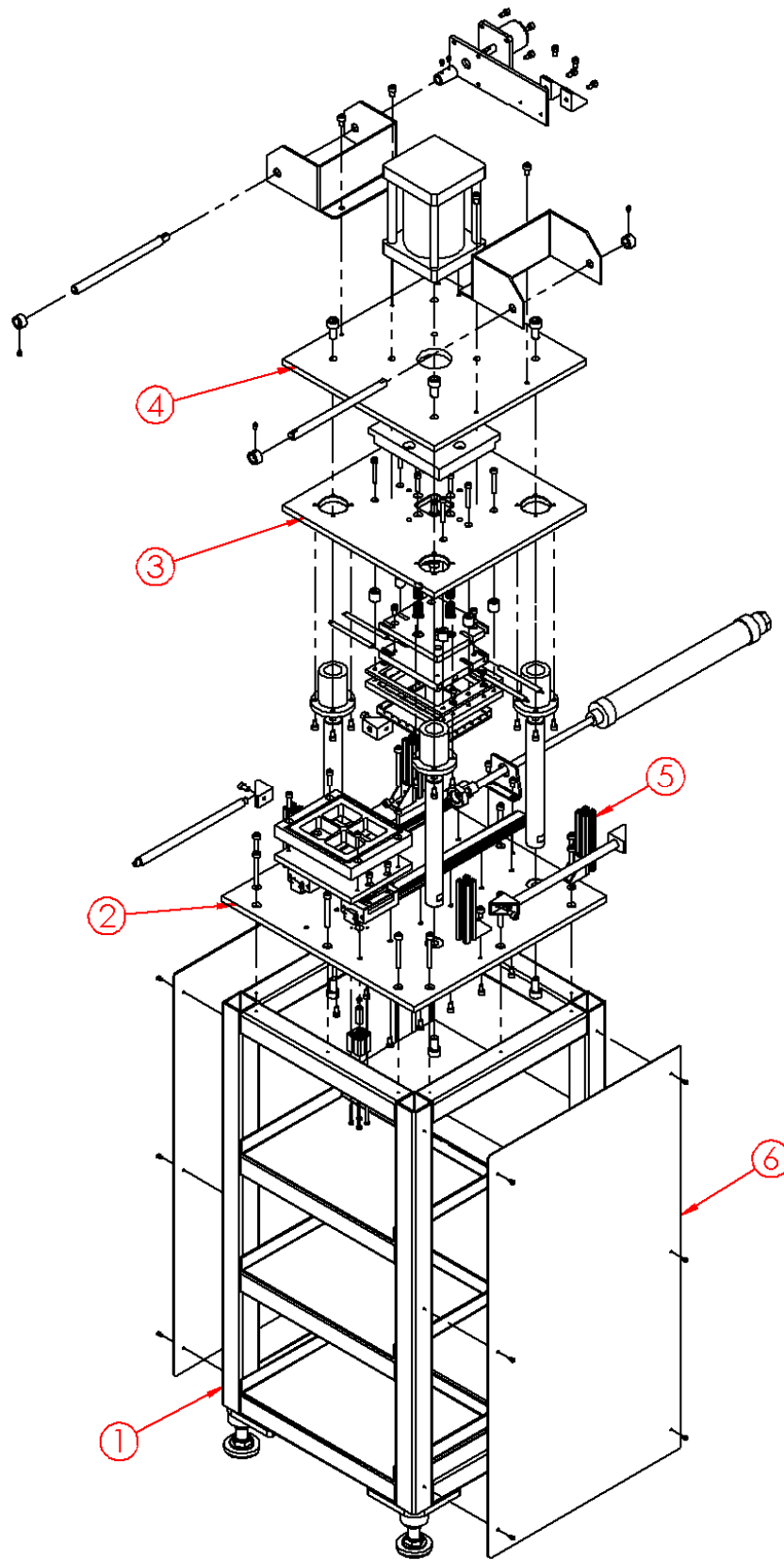
หลังจากได้ทำการออกแบบการทำงานในเบื้องต้น คำนวณพลังงานความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตนี้จึงได้ทำการเขียนแบบโครงสร้างของเครื่องและชิ้นส่วนที่สำคัญต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3.5 โดยรายละเอียดของแต่ละชิ้นส่วนแสดงดังภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.3 ลักษณะของเครื่องที่ได้ทำการเขียนแบบและกำหนดรายละเอียดองค์ประกอบของเครื่อง



รูปที่ 3.4 มิติของเครื่องที่ออกแบบ



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่อง

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการสร้าง

ขั้นตอนการดำเนินการสร้างหลังการที่ได้ทำการออกแบบ คำนวณ และจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์แล้วได้ดำเนินการสร้างดังต่อไปนี้

1) ตัดเหล็กกล่องขนาด 38 มิลลิเมตร ตามแบบด้วยเครื่องตัดไฟเบอร์ แล้วทำการเชื่อมประกอบเข้าด้วยกันเชื่อมเหล็กแผ่นขนาด $50 \times 50 \times 6$ mm. 4 แผ่นที่มุม 4 มุมล่างสุดเพื่อเป็นฐานล้อ ฟันสีโครงทั้งหมดเพื่อป้องกันสนิม จากนั้นติดล้อและขาตั้งทั้ง 4 มุม ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงโครงเครื่องหลังจากทำการเชื่อมและฟันสี

2) ติดตั้งชั้นสำหรับวางผลิตภัณฑ์ ขนาด $200 \times 304 \times 3$ มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่นติดที่ชั้นล่าง ชั้นกลางและชั้นบน ดังรูปที่ 3.7



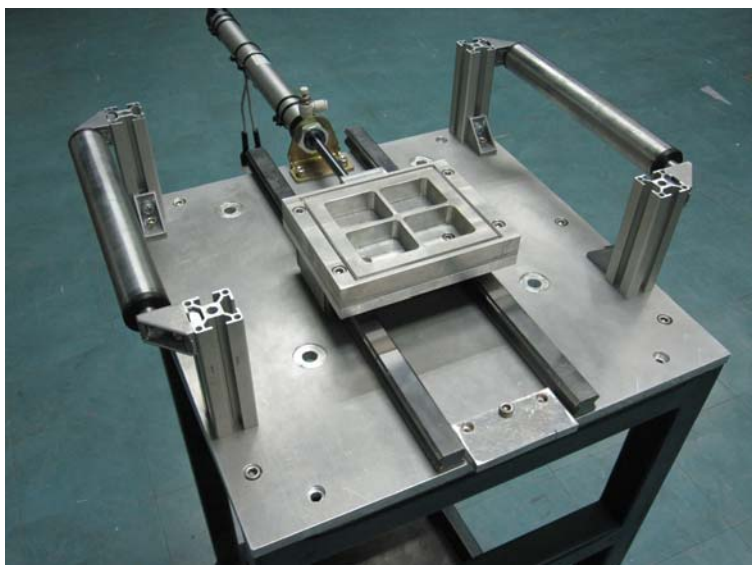
รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งชั้นสำหรับวางผลิตภัณฑ์

3) นำแผ่นอะลูมิเนียมขนาด $380 \times 380 \times 10$ มิลลิเมตร เจาะรูแล้วยึดน็อตที่ชั้นบนสุดของโครงเครื่องติดตั้งชุดตัวนำร่องเลื่อน (Slide Guide) เข้ากับแผ่นจิกรองรับ (Jig Tray plate) พร้อมกระบอบอกสูบ บนฐานของเครื่องเป็นส่วนใหญ่ที่ใช้ในการรองรับบรรจุภัณฑ์ก่อนทำการปิดผนึก ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งชุดตัวนำร่องเลื่อนเข้ากับจิกรองรับพร้อมกระบอบอกสูบ

4) ติดตั้งลูกกลิ้ง (Roller) เพื่อช่วยรีดแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม ให้เป็นแผ่นตรงที่พร้อมปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อีกครั้ง ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้งลูกกลิ้ง (Roller)

5) ติดตั้งกระบอกลูกสูบ (Cylinder) เพื่อใช้กดและยกแผ่นเพลทเลื่อนขึ้นลง (Slide plate) ในการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์และตัดแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งกระบอกลูกสูบ (Cylinder)

6) ติดตั้งชุดแผ่นเพลทเลื่อนขึ้นลง (Slide plate) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เลื่อนชุดให้ความร้อน (Heater) กับชุดมิดดัด ขึ้นและลง ไปยังตำแหน่งของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ชุดแผ่นเพลทเลื่อนขึ้นลง (Slide plate) จะติดตั้งอยู่กับบุชเคลื่อนที่แนวตรง (Linear bushing) ทั้ง 4 ด้าน ซึ่งเป็นส่วนที่เลื่อนขึ้นและเลื่อนลง ดังรูปที่ 3.11



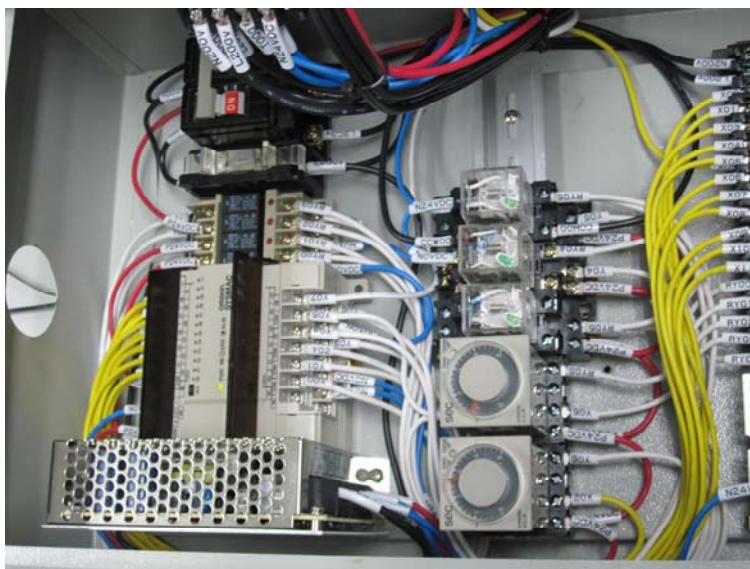
รูปที่ 3.11 แสดงการติดตั้งชุดแผ่นเพลทเลื่อนขึ้นลงได้ (Slide plate)

7) การติดตั้งชุดม้วนฟอยด์อะลูมิเนียม จะติดตั้งชุดม้วนฟอยด์อะลูมิเนียมไว้ทั้ง 2 ข้าง เพื่อใช้ในการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์และม้วนเก็บฟอยด์อะลูมิเนียมหลังจากตัดเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งติดตั้งชุดม้วนฟอยด์อะลูมิเนียม

8) ติดตั้งชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรการทำงานต่างๆของเครื่อง เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิตเตอร์แพ็ค ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.4 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

3.4.1 วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) ปลาร้าก้อน

ปลาร้าก้อนใช้ปลาร้าปลากระดี่ที่เพิ่มส่วนผสมด้วยเกลือป่น 15 กรัม และข้าวคั่ว 100 กรัม ต่อปลาร้า 1 กิโลกรัม ผ่านการอบในเตาอบไฟฟ้าอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อัดด้วยแรงดันลม 0.6 MPa น้ำหนัก 7 กรัมต่อก้อน ซึ่งทำการอัดด้วยเครื่องต้นแบบอัดก้อนปลาร้าด้วยระบบนิวเมติกที่สร้างขึ้นมีขนาด 40 x 40 x 80 เซนติเมตร โดยได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2552 ลักษณะของปลาร้าก้อนที่ได้จะมีกลิ่นหอมกว่าปลาร้าที่ไม่ได้ผ่านการอบ รวมทั้งไม่มีกลิ่นคาว ปลาร้าที่จะนำมาใช้สำหรับการอัดก้อนต้องไม่เปียกหรือไม่แห้งเกินไปจึงต้องอบด้วยความร้อน ปลาร้าอบที่อัดก้อนได้ขนาดที่เหมาะสมและมีรูปทรงที่สวยงาม ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ก้อนปลาร้าอัดที่ได้จะมีขนาด 29 x 35 x 12 มิลลิเมตร ลักษณะของปลาร้าก้อนที่อัดก้อนแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ลักษณะของปลาร้าอัดก้อนขนาด 29 x 35 x 12 มิลลิเมตร

2) ถาดหลุมพลาสติกโพลีพรอพิลีน

ปลาร้าก้อนขนาด 29 x 35 x 12 มิลลิเมตร จะถูกบรรจุลงในถาดหลุมที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) จากโพลีพรอพิลีนหนา 0.5 มิลลิเมตร โดยถาดหลุมประกอบไปด้วยสี่หลุมสำหรับบรรจุปลาร้าก้อน ถาดหลุมโพลีพรอพิลีนมีขนาด 110 x 110 มิลลิเมตร ลักษณะของถาดหลุมแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ถาดหลุมโพลีพรอพิลีนสำหรับบรรจุปลาร้าก้อน

3) อะลูมิเนียมฟอยล์

แผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม ขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร และหนา 0.06 มิลลิเมตร ลักษณะของฟอยล์อะลูมิเนียมสำหรับปิดผนึกแสดงดังรูปที่ 3.16

ถ่ายรูปแล้วใส่กระดาษ
รูปที่ 3.16 ลักษณะของฟอยล์อะลูมิเนียมสำหรับปิดผนึกถาดหลุมโพลีพรอพิลีน

3.4.2 วิธีการทดสอบ

1) การทดสอบหาช่วงเวลาและระดับความร้อนในการปิดผนึก

ในการปิดผนึกฟอยล์อะลูมิเนียมกับถาดหลุมโพลีพรอพิลีน จะทำการทดสอบหาระดับอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการกดปิดผนึก เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนที่สมบูรณ์ไม่เกิดการรั่วซึม ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ปลาร้าก่อนถูกเก็บรักษาได้เป็นอย่างดีในบรรจุภัณฑ์ที่ได้ออกแบบ

- ระดับอุณหภูมิปรับตั้งที่ชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับฮีตเตอร์ และทำการกดปิดผนึกด้วยเวลาที่ 10 วินาที และปรับตั้งอุณหภูมิในการทดลอง 5 ระดับ ได้แก่ การปรับตั้งระดับอุณหภูมิสามารถปรับได้ที่ชุดควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.17
- เวลาที่ใช้ในการปิดผนึก จะทำการปรับ 5 ช่วงเวลาได้แก่ 6, 8, 10, 12 และ 14 วินาที เวลาในการปิดผนึกปรับตั้งที่ชุดควบคุมเวลา (Timer) ดังแสดงในรูปที่ 3.18

ถ่ายรูปมาใส่กระดาษ
รูปที่ 3.17 แสดงปุ่มปรับตั้งระดับอุณหภูมิในการปิดผนึกฟอยล์อะลูมิเนียมกับถาดหลุมโพลีพรอพิลีน

ถ่ายรูปมาใส่กระดาษ
รูปที่ 3.18 แสดงปุ่มสำหรับตั้งเวลาในการปิดผนึกฟอยล์และถาดหลุมโพลีพรอพิลีน

2) การทดสอบสมบัติของบรรจุภัณฑ์

ทำการทดสอบการรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์ ทดสอบโดยการจุ่มน้ำ เมื่อปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิทดสอบเรียบร้อยแล้ว นำบรรจุภัณฑ์หลังการปิดผนึกมาทดสอบโดยการจุ่มน้ำ เพื่อหาการรั่วซึมของน้ำหลังการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงการทดสอบการรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์



บทที่ 4

ผลการวิจัย

หลักทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยได้กล่าวถึงในบทที่ 2 การออกแบบเครื่อง รวมถึงการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ขั้นตอนการสร้างเครื่อง และวิธีการทดสอบ ประสิทธิภาพของเครื่องได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้และการวิเคราะห์ ผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสร้างเครื่อง

เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ถูกออกแบบให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน เลือกใช้วัสดุที่ถูกต้องสำหรับการผลิตอาหารและสร้างบรรจุภัณฑ์ เป็นโครงการต่อยอดกับงานวิจัยเรื่อง เครื่องอัดปลาร้าก่อนด้วยระบบนิวแมติกเป็นโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2551 โดยผลการวิจัยที่ได้สามารถอัดก้อนปลาร้าให้มีขนาด 25 x 30 x 12 มิลลิเมตร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการสร้างบรรจุภัณฑ์แบบบลิสเตอร์แพ็คให้กับปลาร้าก่อน การสร้างบรรจุภัณฑ์บลิสเตอร์แพ็คสำหรับปลาร้าก่อนเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกกับภาชนะพอลิพรอพิลีน เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบและสร้างมีขนาดประมาณ 50 x 70 x 115 เซนติเมตร ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ได้แก่

- 1) โครงสร้างของเครื่อง ทำหน้าที่รองรับการทำงานของแต่ละชิ้นส่วน
- 2) ชุดม้วนฟอยล์อะลูมิเนียม ทำหน้าที่จ่ายม้วนฟอยล์อะลูมิเนียมและเก็บฟอยล์ที่ผ่านการตัดเรียบร้อยแล้ว ควบคุมการทำงานหมุนเก็บฟอยล์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ และยังประกอบด้วยชุดดึงแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียมให้มีความตึง เตรียมพร้อมสำหรับการปิดผนึกด้วยความร้อนให้ติดกับภาชนะพอลิพรอพิลีน
- 3) ชุดปิดผนึกและตัดฟอยล์อะลูมิเนียม ทำหน้าที่ปิดผนึกและตัดแผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม ควบคุมการทำงานในการกดอัดและตัดแผ่นฟอยล์ด้วยกระบอคนิวแมติก ชุดปิดผนึกติดตั้งฮีตเตอร์ที่สามารถปรับระดับอุณหภูมิได้ และสามารถตั้งเวลาในการกดปิดผนึกได้
- 4) ชุดเลื่อนทำหน้าที่เคลื่อนที่ออกมารับภาชนะสำหรับบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก่อนและเคลื่อนที่เข้าไปปิดผนึก ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยกระบอคนิวแมติก และบังคับตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยชุดสไลด์ไกด์ที่มีความเที่ยงตรงสูง

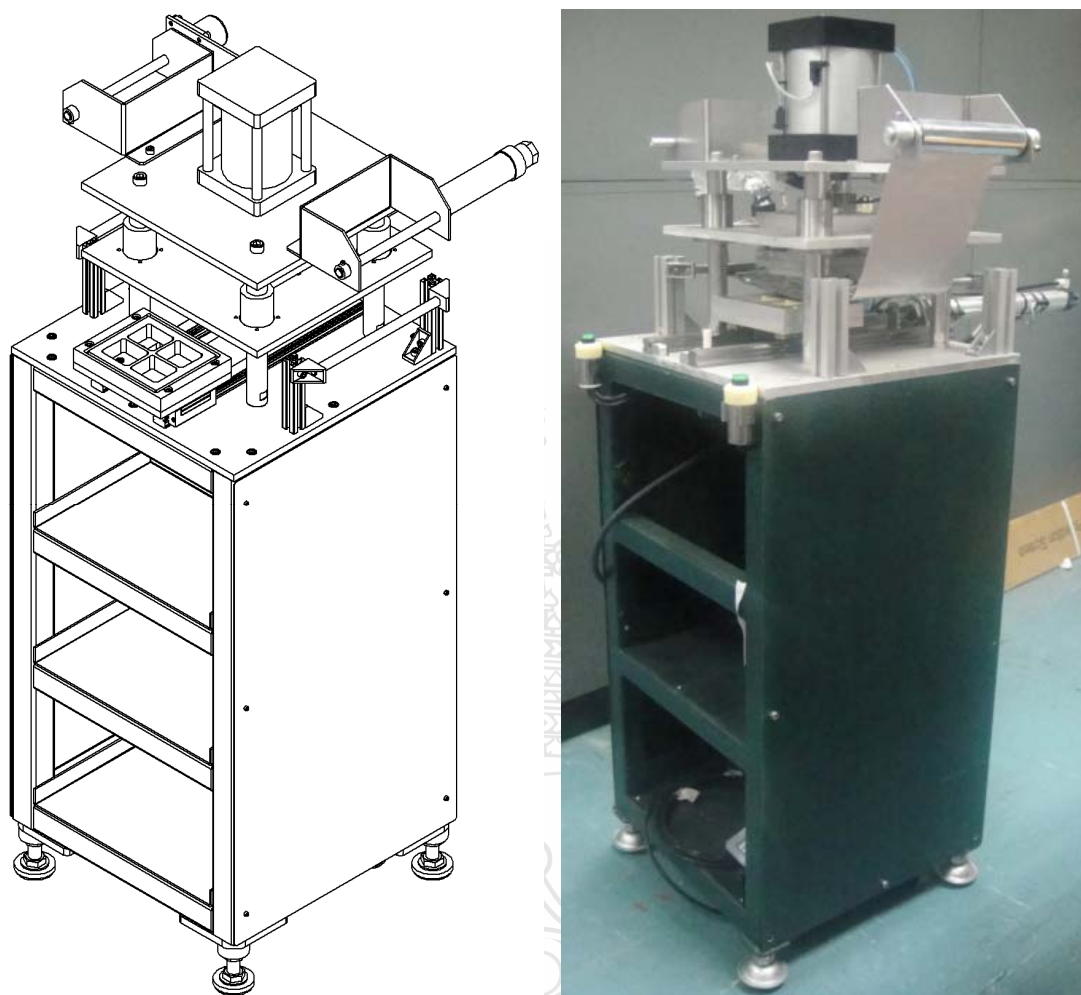
ลักษณะของเครื่องและส่วนประกอบต่างๆ ในรูปที่ 4.1 แสดงภาพด้านหน้า และรูปที่ 4.2 แสดงภาพด้านหลัง ในรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมช่วยในการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค (ด้านหน้า)



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค
(ด้านหลัง)



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม

4.2 ผลการทดลองการสร้างมาสเตอร์โมเดล

4.3 ผลการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดด้วยมาสเตอร์โมเดลไม้เทียม

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาสภาวะการตัดเนื้อไม้เทียมจากเศษโพลีเอทิลีนผสมผงไม้ยางพาราด้วยกระบวนการกัด สำหรับสร้างแม่พิมพ์มาสเตอร์โมเดล ซึ่งไม้เทียมจากเศษโพลีเอทิลีนผสมผงไม้ยางพาราได้รับทุนสนับสนุนจาก IRPUS โครงการ เลขที่ I4806009 ทำการทดลองตัดเนื้อไม้เทียมด้วยเครื่องกัด 3 แกนที่สร้างจากงบประมาณสนับสนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และได้ผ่านการทดสอบตรวจวัดความแม่นยำของเครื่องตามมาตรฐาน ISO 1984 DIN 8615 วัสดุตัดเนื้อไม้ใช้มีดกัด High speed steel ชนิด Standard End Mills Four Flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และ Ball End Mills ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร การทดลองและวิเคราะห์ได้ผลสรุป และข้อเสนอแนะดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลองการตัดเนื้อไม้เทียม

การตัดเนื้อไม้เทียมขนาด 45 x 60 x 20 มิลลิเมตร จากการทดลองไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอัตราการป้อนกัดและความเร็วรอบ สำหรับการกัดด้วย Standard End Mills Four Flutes แต่สามารถสรุปได้ว่าค่าความเรียบผิวต่ำสุดเท่ากับ 1.22 μm ที่ความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัด 630 มิลลิเมตรต่อนาที และผลจากการกัดด้วย Ball End Mills พบว่าความเรียบผิวของงานกัดมีค่าความเรียบผิวสูงที่ความเร็วรอบต่ำ และอัตราการป้อนกัดสูง เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นค่าความเรียบผิวจะลดต่ำลงขึ้นสอดคล้องกับอัตราป้อนกัดต่ำ เมื่อค่าความเร็วรอบและอัตราป้อนกัดเพิ่มสูงขึ้นจะพบว่าความเรียบผิวจะต่ำลงอีกครั้ง สามารถสรุปได้ ค่าความเรียบผิว R_a ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.63 μm ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัด 490 มิลลิเมตรต่อนาที

เมื่อนำผลการทดลองที่ดีที่สุดจากการใช้มีดกัด Ball End Mills ไปทดลองกัดเนื้อไม้เทียมเพื่อสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดล พบว่าความเรียบผิวที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.61-0.66 μm มีค่าความเรียบผิวอยู่ในระดับที่เพียงพอสำหรับนำไปหล่อเรซินผสมผงอลูมิเนียมเพื่อสร้างอินเสิร์ตสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

5.2 สรุปผลการตัดเนื้อไม้เทียมเพื่อสร้างมาสเตอร์โมเดล

จากการตัดเนื้อไม้เทียมมาสเตอร์โมเดลขนาด 150 x 120 x 17 มิลลิเมตร เพื่อทำการกัดขึ้นรูปมาสเตอร์โมเดลรูปทรงจานรองแก้ว เพื่อใช้ในการทดลองหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ ด้วยมีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง ชนิด Standard end mills four flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วรอบ

การทดสอบวัดค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดความแข็งโดยใช้หัวกดแบบ HRB ขนาดหัวกด 1/4" น้ำหนักขณะกด 60 kg. พบว่าอินเสิร์ตชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาวัดค่าความแข็งได้ผลดังนี้

- อินเสิร์ตส่วนผสม 70 : 30 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 73.5 HRB
- อินเสิร์ตส่วนผสม 60 : 40 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 67.7 HRB
- อินเสิร์ตส่วนผสม 50 : 50 มีค่าความแข็งเฉลี่ย 67.7 HRB

5.3 สรุปผลการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดด้วยวัสดุโพลีเอทิลีน

การหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานถาดรองแก้วโดยใช้ฮีทพ็อกซีเรซิน 820 และตัวเร่งแข็ง Bontamine 513 ผสมผงอลูมิเนียม 99.7% ขนาด 0-70 ไมครอน ด้วยอัตราส่วนผสมได้แก่ 70:30, 60:40 และ 50:50 เมื่อแกะแม่พิมพ์หล่อและทำการแยกวัสดุโพลีเอทิลีนออก สามารถแยกออกจากกันได้ โดยสะดวก ลักษณะของผิวหล่ออินเสิร์ตจากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าอินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดที่ได้จากการหล่อกมีความเรียบผิวไม่แตกต่างกัน มีความเรียบเหมือนกับผิวของวัสดุโพลีเอทิลีนที่เป็นต้นแบบในการหล่อ เมื่อทำการทดสอบวัดค่าความเรียบพบว่าค่าความเรียบผิวที่ได้จะไม่แตกต่างกัน โดยความเรียบผิวที่ดีที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.75 \mu\text{m}$ ที่อัตราส่วนผสม 50:50

5.4 สรุปผลการฉีดชิ้นงานจานรองแก้ว

การทดลองฉีดแม่พิมพ์ฉีด ด้วยเครื่องฉีดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกยี่ห้อ TOYO รุ่น TI-50E ขนาด 50 ตัน และใช้เม็ดพลาสติกชนิด Poly propylene ;PP 2300 k ที่มีอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 220-230°C มาใช้เป็นวัสดุในการฉีด ได้ผลสรุปการทดลองดังนี้

- 1) อินเสิร์ตแม่พิมพ์ที่อัตราส่วนผสม 70:30 การฉีดชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานสมบูรณ์ชิ้นแรกเกิดขึ้นในการฉีดครั้งที่ 4 และหลังจากนั้นเมื่อฉีดชิ้นงานครั้งที่ 5 เสร็จพบว่า อินเสิร์ตแม่พิมพ์เริ่มมีการแตกร้าว เนื่องจากสาเหตุเกิดรอยแตกหรือรอย (Crack) ที่ตัวอินเสิร์ตของแม่พิมพ์
- 2) อินเสิร์ตแม่พิมพ์ที่อัตราส่วนผสม 60:40 การฉีดชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานสมบูรณ์ชิ้นแรกเกิดขึ้นในการฉีดครั้งที่ 5 หลังจากนั้นก็ฉีดชิ้นงานในครั้งที่ 6 และเมื่อฉีดชิ้นงานในครั้งที่ 7 เสร็จพบว่า อินเสิร์ตแม่พิมพ์เริ่มแตกร้าว

- 3) อินเสิร์ตแม่พิมพ์ที่อัตราส่วนผสม 50:50 การฉีดชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานสมบูรณ์ชิ้นแรกเกิดขึ้นในการฉีดครั้งที่ 8 และหลังจากนั้นเมื่อฉีดชิ้นงานในครั้งที่ 22 เสร็จพบว่า อินเสิร์ตแม่พิมพ์เริ่มแตกร้าวและเกิดการเสียหาย

ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่เกิดจากการฉีดสามารถปรับตั้งสภาวะการฉีดได้ที่เครื่องฉีด แต่ลักษณะการเสียหายของชุดอินเสิร์ตแม่พิมพ์อาจจะเกิดจากการยุบตัวของฟองอากาศที่อยู่ในก้อนหล่อเรซิน เมื่อได้รับแรงดันจากการฉีด

5.5 ข้อเสนอแนะ

- 1) การอัดขึ้นรูปก้อนไม้เทียมต้องระมัดระวังเรื่องโพรงอากาศที่จะเกิดขึ้นในก้อนวัสดุ
- 2) กระบวนการตัดเนื้อไม้ไม่สามารถใช้สารหล่อเย็นได้
- 3) ในระหว่างการตัดเนื้อไม้ต้องหล่อเย็นด้วยลม และป้องกันการเกาะติดของเศษพลาสติกที่อาจจะเกิดการหลอมเหลวติดตำแหน่งปลายของมีดกัด
- 4) การวัดค่าความเรียบผิวควรทำการวัดบนโต๊ะที่ได้ระดับ
- 5) ในการขึ้นรูปก้อนไม้เทียม โดยใช้เครื่อง Compression mole ควรตั้งเวลา Cooling timer ให้มาก เพราะจะทำให้ก้อนไม้เทียมแข็งตัวดีและไม่ยืดตัว
- 6) ในการขึ้นรูปไม้เทียม หลังจากการรีดเม็ดพลาสติกที่ผสมกับเศษไม้ยางพาราที่อัดเม็ดแล้ว ด้วยเครื่อง Two roll mill แล้วขึ้นเครื่อง Compression mole ควรใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายและบรรจุพลาสติกที่รีดแล้วลงในเบ้าอัดให้น้อยที่สุด เนื่องจากถ้าใช้เวลานานจะทำให้พลาสติกที่รีดมาแล้วนั้นเย็นตัวและจะไม่จับยึดกัน
- 7) ในการออกแบบเบ้าที่ใช้สำหรับหล่อเรซินต้องออกแบบให้มอเตอร์โมเดลอยู่ตรงตำแหน่งศูนย์กลางของเบ้าหล่อเรซิน เพื่อให้ตัวอินเสิร์ตที่ได้จากการหล่อ มีความได้ศูนย์และร่วมศูนย์กับแม่พิมพ์
- 8) ในการผสมของส่วนผสมขึ้นต้นด้วยอีพ็อกซีเรซิน (Part A 820) ,อีพ็อกซีเรซิน (Part B 513) และ ผงอะลูมิเนียม ต้องคนส่วนผสมให้เข้ากันเป็นอย่างดี เนื่องจากถ้าคนส่วนผสมเข้ากันไม่ดี วัสดุจะแข็งตัวไม่ดีและทำให้เกิดโพรงอากาศได้
- 9) ในการคนส่วนผสมขึ้นต้นควรใช้ความเร็วในการคนที่เหมาะสม เนื่องจากถ้าคนเร็วเกินไปจะทำให้เกิดฟองอากาศมาก และในเมื่อวัสดุแข็งตัว วัสดุหรือตัวอินเสิร์ตที่ได้จะมีฟองอากาศอยู่ในภายใน

- 10) การตัดเนื้องามาสเตอร์โมเดลควรใช้แรงในการจับยึดก่อนมาสเตอร์โมเดลที่ไม่มากเนื่องจากหลังการตัดเนื้องามาสเตอร์โมเดลจะบางลง ทำให้แรงในการจับยึดจะบีบมาสเตอร์โมเดลให้โก่งตัวได้
- 11) ในขั้นตอนการฉีดควรออกแบบแม่พิมพ์ฉีดและออกแบบวางลายหล่อเย็นให้ดี เนื่องจากเวลาทำการฉีดชิ้นงานจะได้ไม่เกิดปัญหา



บรรณานุกรม

- [1] ปวเรศวร์ อินทุเศรษฐ, บดินทร์ อิทธิพงษ์, สิริรัตน์ จงฤทธิพร และอชญา กังสุวรรณ, 2548, “การใช้เทคโนโลยีชีวภาพในผลิตภัณฑ์ปลาหมัก (ปลาร้า)”, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.fisheries.go.th/industry/> (18 มีนาคม 2551)
- [2] ชอบ มีอาษา, “เครื่องทำปลาร้าไฮเทค”, คอลัมน์ภูมิปัญญาชาวบ้าน วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน ปีที่ 14 ฉบับที่ 272 วันที่ 1 ตุลาคม 2544.
- [3] อนินท์ มีมนต์ และสมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล, “เครื่องบรรจุภัณฑ์อาหารแบบถุงพอลิเอทิลีนด้วยระบบสุญญากาศ”, การประชุมทางวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 5, 28-29 กรกฎาคม 2552.
- [4] อนินท์ มีมนต์ “การปิดผนึกด้วยพลาสติกแบบอัดโน้มัตต์ด้วยฟิล์มโพลีพรอพิลีน” การประชุมทางวิชาการเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ปี 2551 หัวข้อเทคโนโลยีสู่ชุมชน เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน 17-19 มกราคม 2551 มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น หน้า 129-132.
- [5] ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, “บรรจุภัณฑ์อาหาร”, ห้างหุ้นส่วนสามัญจำกัด ร่วมค้า, กรุงเทพฯ, 2541
- [6] ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, “บรรจุภัณฑ์โลหะ”, บริษัท อมรโปรดักส์ จำกัด กรุงเทพฯ, 2551
- [7] อนินท์ มีมนต์, “เอกสารประกอบการสอบวิชาวัสดุวิศวกรรม : วัสดุโลหะ”, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2549.
- [8] กิตติพงษ์ กิมะพงษ์, สิริชัย ต่อสกุล, นรพร กลั่นประชา และอนินท์ มีมนต์, “วัสดุวิศวกรรม”, บริษัท พงษ์วารินการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2553.
- [9] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาร้า (มผช. 37/2546). 2547. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/industry/knowledge/product/37_Pla%20Ra.pdf (3 มีนาคม 2551)
- [10] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาร้าผง (มผช. 134/2546). 2547. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/industry/knowledge/product/134_PlaRaPowder.pdf (3 มีนาคม 2551)
- [11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาร้าก้อน (มผช. 135/2546). 2547. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/industry/knowledge/product/135_PlaRaKon.pdf (3 มีนาคม 2551)
- [12] Ruben J. Hernandez, Susan E.M. Selke and John D. Culter, “Plastics Packaging”, Druckhaus

Thomas Muntzer, Germany, 2000.

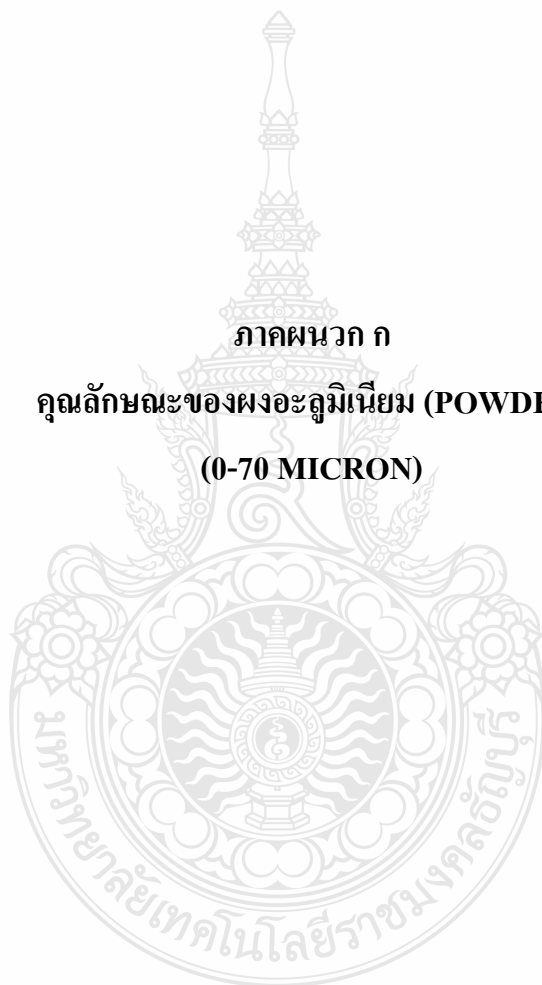
- [13] J.H. Briston and L.L. Katan, "Plastics Films", Longman Singapore publishers (Pte) Ltd., Singapore, 1990.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
คุณลักษณะของผงอะลูมิเนียม (POWDER)
(0-70 MICRON)



ALUMINIUM POWDER**(0-70 MICRON)**

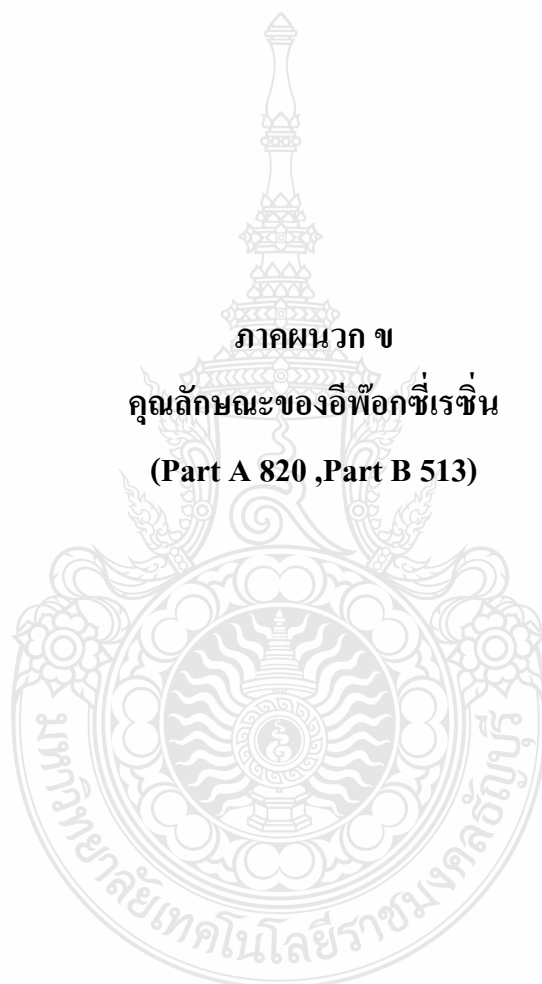
ตารางที่ภาคผนวก ก.1 ค่าเฉพาะของผงอะลูมิเนียม POWDER (0-70 MICRON)

SIEVE SPECIFICATION		+ 75 MICRON	0 - 2 %
	- 75 MICRON	+ 45 MICRON	BALANCE
	- 45 MICRON		60 - 80%
CHEMICAL ANALYSIS	ALUMINIUM	99.70 % MIN	
	SILICON	0.10 % MAX	
	IRON	0.20 % MAX	

* หมายเหตุ $\rho(\text{Al-Powder}) = 2.7 \text{ g/cm}^3$



ภาคผนวก ข
คุณลักษณะของอีพ็อกซีเรซิน
(Part A 820 ,Part B 513)



Epoxy : part A
(Epoxy Resin 820)

ITEM	STANDARD DATA
Appearance	Transparent Liquid without Mechanical
Volatile content	≤ 0.3
Epoxy Equivalent g/eg	185 - 195
Saponifiable chlorine	≤ 0.3
Color (Gardner)	≤ 1
Viscosity MPa.s/25°C	10000 - 14000
Inorganic Chlorine ppm.	≤ 300



Epoxy : part B

(Epoxy Resin 513)

BONTAMINE 513

Bontamine 513 is a low viscosity and almost clear hardener synthesized from special modified amine with good resistance to chemical and atmosphere. It's suitable for the solvent free paint, injection molding and adhesive application. Heated cure will get better physical property.

APPERANCE

Viscosity : (BH tape CPS / 25°C)	300 - 500
Amine Value	280 ± 30
Density	1.03 ± 0.02 / 20°C
Colority : (G/H)	≤ 3
AHEW	100
Mixed Raito : (to the epoxy of EEW =190)	50%
Highest Exothermal Temperature	132°C
Pot Life (100 g ,25°C)	37 min
Hardness (SHORE D)	80

Physical Strength (Epoxy Resin EEW 190/5110-3 = 100/50)

Ultimate compression strength (kg./cm ²)	1024 (ASTM D695)
Bending resistance (kg./cm ²)	940 (ASTM D790)
Ultimate tension (kg./cm ²)	342 (ASTM D638)

The film property (Epoxy Resin EEW 190/5110-3 = 2/1 ,25°C x 7 days)

Pencil hardness	2H
Tape test	25 / 25
Bending resistance	≥ 10 mm
Resistance to shock	¹ / ₂ x 500 g. x 50 cm

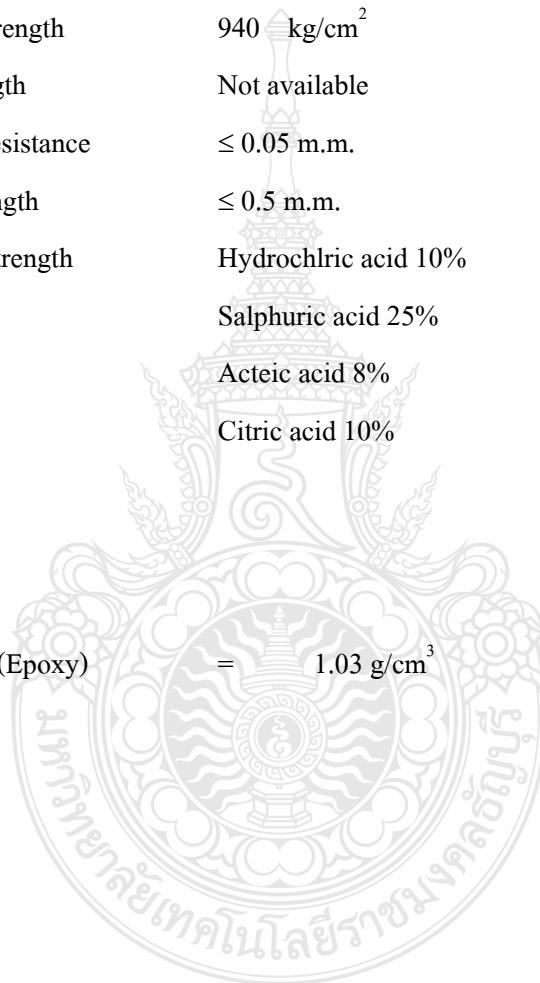
APPLICATION

Solvent-free top coat and harmless paint; injection molding for the clear decorations; casting for the electrically insulating components.

Physical Properties of Epoxy Resin (แข็งใส)

Test → A : B = 2 : 1

A : Compress Strength	1.020 kg/cm ²	= 104 N/mm ²
B : Tensile Strength	342 kg/cm ²	= 34.9 N/mm ²
C : Flexural Strength	940 kg/cm ²	= 95 N/mm ²
D : Bond Strength	Not available	
E : Abrasion Resistance	≤ 0.05 m.m.	
F : Impact Strength	≤ 0.5 m.m.	
G : Chemical Strength	Hydrochlric acid 10%	Pass
	Salphuric acid 25%	Pass
	Acteic acid 8%	Pass
	Citric acid 10%	Pass
H. Hardness		2H
Shore D		80
* หมายถึง ρ (Epoxy)	=	1.03 g/cm ³



ภาคผนวก ค
เครื่องวัดความเรียบผิว
Mitutoya SURFTEST-301



เครื่องวัดความเรียบผิว Mitutoyo SURFTEST-301

1. Portable surface roughness tester (301)



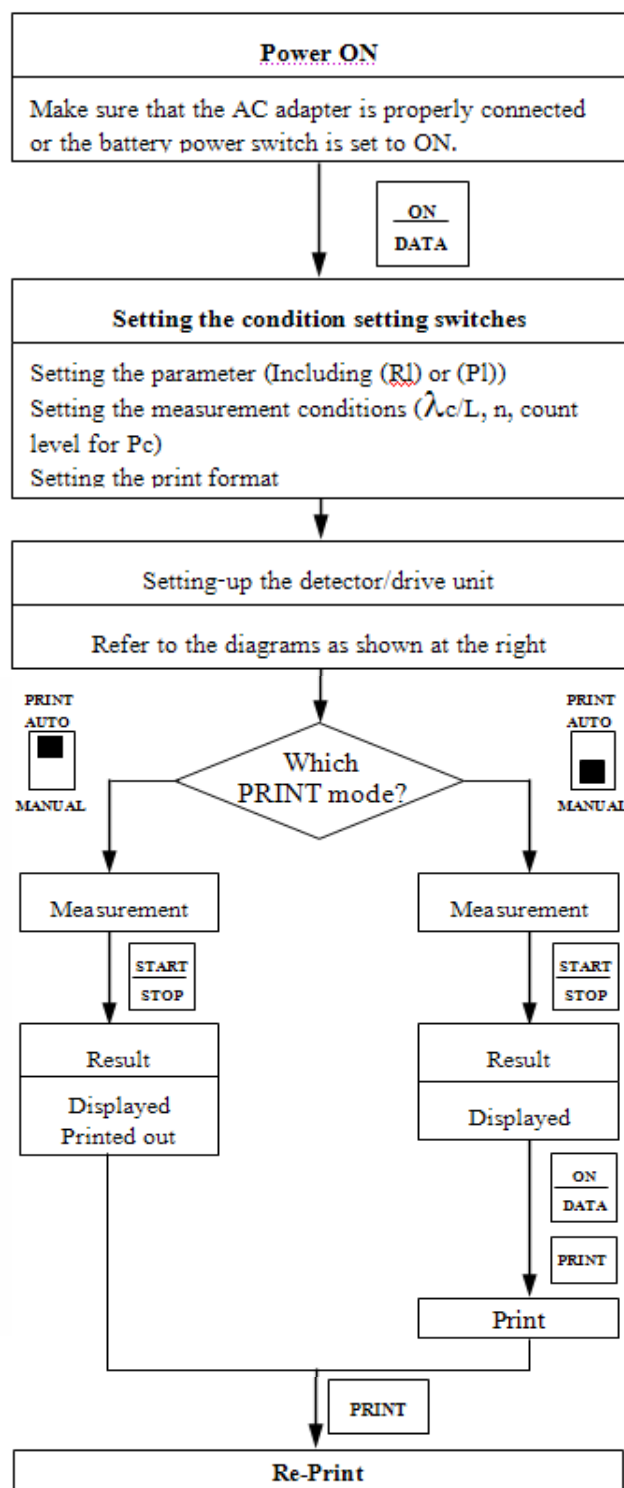
รูปที่ภาคผนวก ค.1 เครื่องวัดความเรียบผิว

2. ซินททดสอบวัดเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวมาตรฐาน



รูปที่ภาคผนวก ค.2 ซินททดสอบวัดเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวมาตรฐาน

3. วิธีการใช้งานเครื่องวัดความเรียบผิว



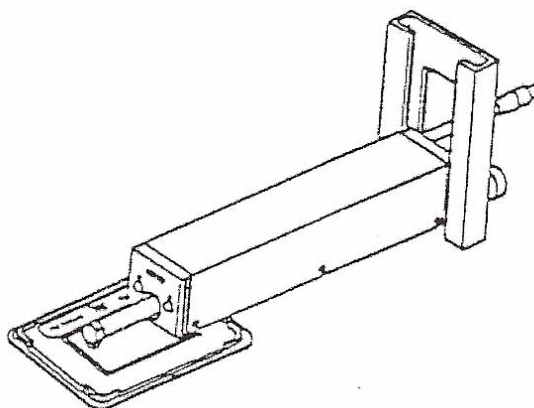
Automatically turns off in 30 seconds

Only the last measured result can be stored in memory

Only last result can be re-displayed and re-print

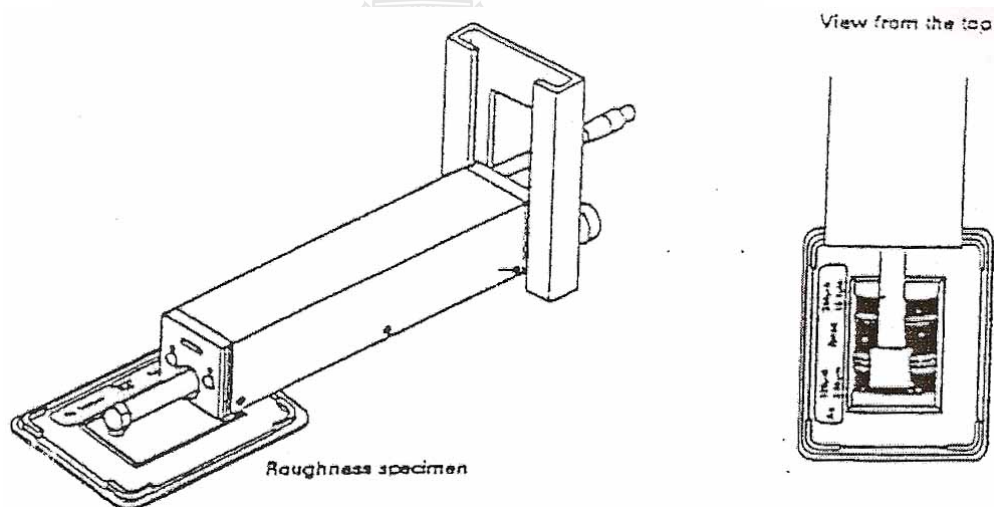
รูปที่ภาคผนวก ค.3 แสดงไดอะแกรมขั้นตอนการใช้งานของเครื่อง

3) ใส่ขาตั้ง (Support foot)



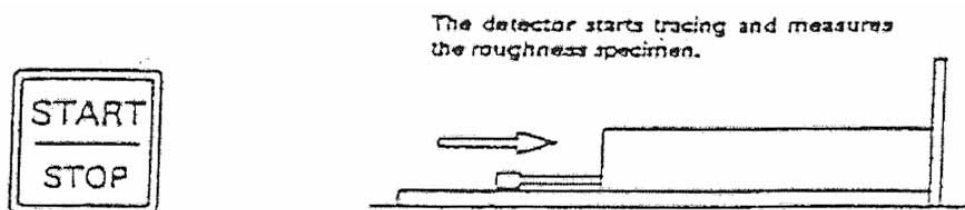
รูปที่ภาคผนวก ค.6 การใส่ขาตั้ง

4) การนำตัว Drive unit และ Detector มาตั้งผิวเรียบมาตรฐาน



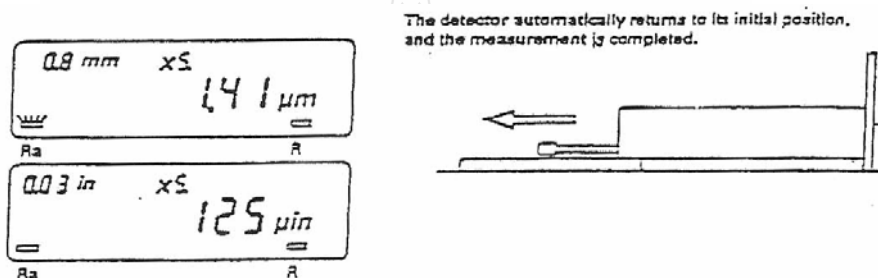
รูปที่ภาคผนวก ค.7 การนำตัว Drive unit และ Detector มาตั้งผิวเรียบมาตรฐาน

5) ทำการวัดค่าความหยาบของชิ้นทดสอบผิวเรียบมาตรฐาน



รูปที่ภาคผนวก ค.8 การวัดค่าความหยาบของชิ้นทดสอบผิวเรียบมาตรฐาน

6) ค่า Ra ที่วัดได้แตกต่างจากค่า Ra ที่เขียนไว้บนผิวเรียบมาตรฐานเท่าไร แล้วทำการปรับในขั้นตอนที่ 7, 8 และ 9



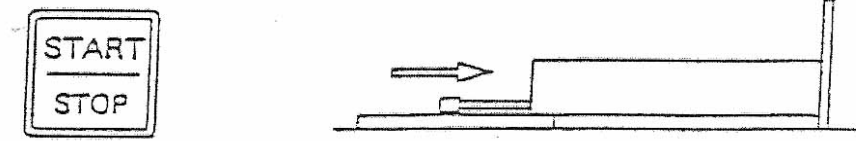
รูปที่ภาคผนวก ค.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวที่ได้จากการวัดและความเรียบผิวสอบเทียบ

7) ปรับค่าโดยใช้ไขควง เพื่อให้ได้ค่าความหยาบที่ถูกต้องตามมาตรฐานของชิ้นสอบเทียบ



รูปที่ภาคผนวก ค.10 การปรับค่าการวัดของหัววัด โดยใช้ไขควง

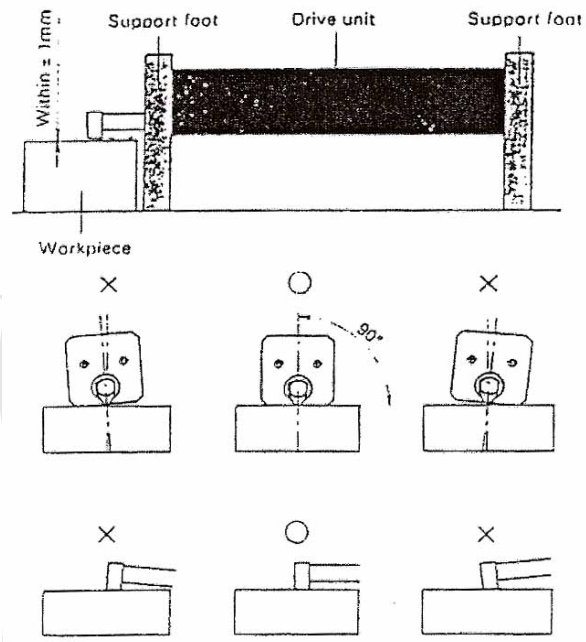
8) ตรวจสอบใหม่อีกครั้ง



รูปที่ภาคผนวก ค.11 ตรวจสอบการวัดสอบเทียบใหม่อีกครั้ง

9) ทำตามขั้นตอนที่ 7 และ 8 จนได้ข้อมูล Ra ที่วัดได้เท่ากับข้อมูล Ra ที่ปรากฏบนผิวที่ใช้สอบเทียบ

5. การตั้งหัววัดที่ถูกต้อง แสดงดังรูปที่ภาคผนวก ค.12



รูปที่ภาคผนวก ค.12 การตั้งหัววัดที่ถูกต้องในการวัดความเรียบผิว



ภาคผนวก ง

การนำเสนอผลงาน

Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium 7th

November 19-22, 2009 Changmai Thailand

(Proceeding)



Dear A. Memon and S. Ithisophonakul

We are pleased to inform you that your paper with paper ID 123 entitled:

**“A Study on Milling of Wood Plastic Composite from
PVC Foam Scrap and Wood Dust”**

has been accepted for presentation at the 7th Eco-Energy and Materials Science and Engineering, and will appear in the conference proceedings which will be available to delegates at the conference.

Note that:

1. Oral or Poster presentation will be announced on the website after October 23, 2009.
2. The registration is a prerequisite as soon as possible for final scheduling. Since there are many programs at the same time as EMSES 2009, Chiangmai will be hosting a big number of visitors. Therefore, early booking of hotel accommodation is strongly recommended.
3. Please check our website for more information.

The conference website is <http://www.emses2009.en.rmutt.ac.th/>

Once again, the conference committee would like to thank you for your interest in EMSES 2009 and look forward to seeing you in Chiangmai, Thailand in November 19-22, 2009.

If there is any question, please do not hesitate to contact us.

Yours sincerely,

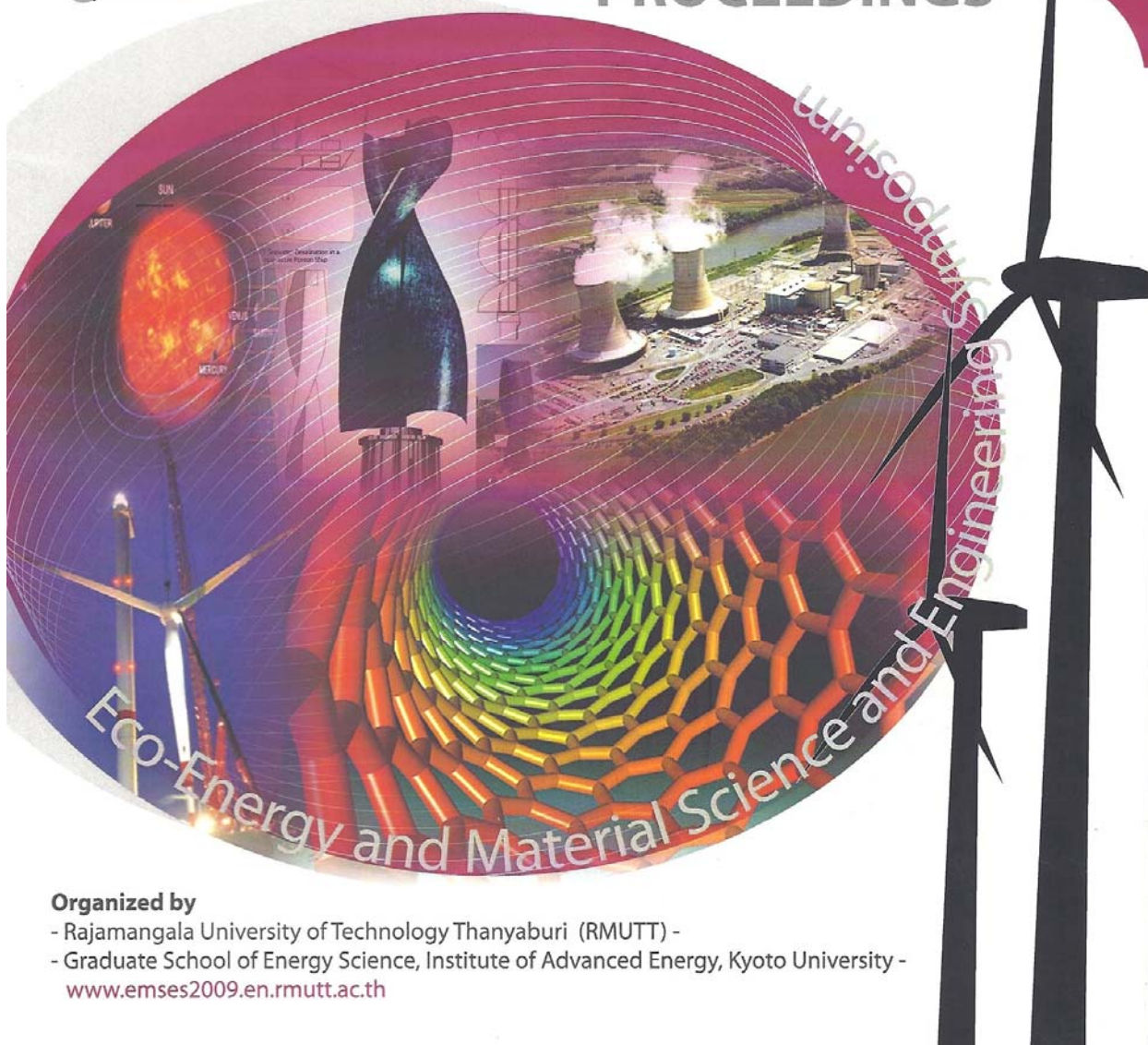
Somma Pivsa-art

Asst.Prof.Dr.Somma Pivsa-art
General Co-Chair of EMSES2009
Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
39 Moo 1, Rangsit-Nakornayok Rd., Klong 6,
Thanyaburi, Pathumthani, 12110, Thailand.
Tel: +66(0)-2549-3571
Fax: +66(0)-2549-3568

7TH Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium

November 19-22, 2009 Chiangmai, Thailand

PROCEEDINGS



Organized by

- Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) -
 - Graduate School of Energy Science, Institute of Advanced Energy, Kyoto University -
- www.emses2009.en.rmutt.ac.th

A Study on Milling of Wood Plastic Composite from PVC Foam Scrap and Wood Dust

A. Memon and S. Ithisophonakul

Abstract— The purpose of this research was to study the cutting condition of Wood Plastic Composite (WPC), The high speed steel (HSS) cutting tools were used in this experiment. They are Standard End mills four flutes and Ball End mills two flutes diameter 5 millimeter. WPC in this study produced from PVC foam scrap and rubber tree saw dust. Their properties are obtained as follow. The tensile strength was 15.9 MPa. and elongation was 42.8%. The resistance of impact strength was 63.75 J/m and hardness was 72 Shore D. It had density 1.02 g/cm³. The main results obtained as the follows. The surface roughness (Ra) after machine by standard end mills was 1.22 μm, the spindle speed was 4,500 rpm and feed rate was 630 mm/min. Ball end mills had a good finish surface; it had surface roughness 0.63 μm while spindle speed was 3,500 rpm and feed rate was 490 mm/min. The WPC was milling by Ball end mills used the best condition above. It had surface roughness 0.61-0.66 μm. The surface roughness in this study appropriated to be making the master model for the Aluminum filled Epoxy Resin Mould.

Keyword— Milling of wood plastic composite, Surface roughness, Master model

1. INTRODUCTION

Currently, production plastics parts of consumer products were shaping by injection process. The design and production of mould due to the high cost, long lead time, and the constantly fluctuating cost of material, also many processes afterward. Consequently, the price of the mould tends to be high, especially for the job which required a small amount, and competition in the market. Therefore, the shorter time and lower cost for molding which meets the customer requirement are a major concern. The injection molding applications of small amount products could construct core and cavity insert from aluminum filled epoxy resin [7]. Master model was used as prototype products for casting core and cavity insert. It could produce from rapid prototype process such as Stereo lithography, Stereo Lithography Apparatus (SLA), Laminated Object Manufacturing (LOM), Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM), Solid Ground Curing and Three Dimensional Printing (3DP). The master model from those processes had rough surface and they can't use for casting aluminum filled epoxy resin, also had high cost.

Wood plastic composite (WPC) from PVC foam scrap and rubber tree saw dust had tensile strength 15.9 MPa and elongation was 42.8%. The resistance of impact strength was 63.75 J/m and hardness was 72 Shore D. It had density 1.02 g/cm³ [1]. Thermoplastic could machine by traditional metal cutting techniques and tools are being used in machining of them. Milling is successful technique when applied to particular thermoplastic. Normal cutter can be used and climb (Down) milling is recommended to avoid burning. The work often has to be carefully clamped and supported to prevent flexing away from cutter [5]. Thus, WPC can machine by milling.

Surface roughness is a characteristic that could influence the dimensional precision, the performance of mechanical pieces and production costs. For these reasons, there has been research and development with the objective of optimizing cutting conditions. Milling composite materials, have shown that the surface quality (surface roughness), and delaminating factor is strongly dependent on cutting parameters, tool geometry and cutting forces (feed force, depth force and cutting force) [4].

S. Rodkwan et al [2] investigated the machinability of natural rubber through milling processes. The key studied parameters are work piece temperature, spindle speed, feed, and chip morphology. With an approximate work piece temperature of -76 degree C, the results from milling show that the high spindle speed generates a good work piece surface finish.

A. Wechsler and S. Hizirrolu [3] used two surface roughness parameters average roughness (Ra) and maximum roughness (Rmax) to evaluated surface characteristics of WPC. Specimens were fiber of radiata pine (*Pinus radiata*) mixed with polypropylene (plastic). The samples showed that particle based samples had rougher surface characteristics than those of fiber based ones. No significant influence of chemicals added in the samples was found on surface roughness values of the samples manufactured from particle and fiber of radiata pine.

Therefore, the objective of this study was to investigate cutting parameter on WPC from PVC foam scrap and rubber tree saw dust. HSS cutting tools and CNC high speed milling machine were used in this research. Surface roughness parameters average roughness (Ra) was used to evaluate surface characteristics.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

WPC from PVC foam scrap and rubber tree saw dust was the specimens in this experiment. Table 1 show the list of chemical composition and their percentage used for WPC production. Their properties were mention above. It was pressed in a hot press with size 45 x 60 x 20 millimeter, The compression mold had 4 cavities. The specimens were pressed using temperature 180 °C and pressure was 200 psi for 20 minute. Figs. 1 showed the specimens and compression mold.

A. Memon and S. Ithisophonakul are with the Center of Develop Innovation and Packaging for Village Products (CDiPV), Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Klong6, Thanyaburi, Phatumtani 12110, Thailand, E-mail: cdipv.rmutt@gmail.com

Table 1 List of chemical composition of WPC [1]

Materials	phr
Scrap PVC free foam	100.00
TLS(Plasticizer)	3.00
PA-20(Processing aids)	10.00
CS(Lubricants)	1.00
ac-508(Blowing agent)	1.00
PE-WAX(Lubricants)	0.40
CPE(Impact modifiers)	8.00
CaCO ₃ (Filler)	10.00
DOP(Plasticizer)	4.00
Rubber tree saw dusts	30.00
Color pigment	0.40
Total	167.80



Figs. 1 shown the specimens and compression mold

A CNC high speed milling machine with spindle motor power 5.6 kW and maximum spindle speed 10,000 rpm was used to perform the experiments. Fig. 2 showed the milling of WPC by standard endmill 4 flutes.

Cutting tool standard endmill 4 flutes with diameter 5 millimeter was used for rough millings as the sample. It was shown in fig. 3a. The depth of cut and step of cut were 2.5 millimeter. Spindle speeds were 2500, 3500, 4500 and 5,500 rpm. Feed rate were 350, 420, 490, 560, 630, and 700 millimeter/minute. Ball endmill 2 flutes with diameter 5 millimeter was used for fine milling. It was shown in fig. 3b. The depth of cut and step of cut were 0.1 millimeter. Used same spindle speed and feed rate.

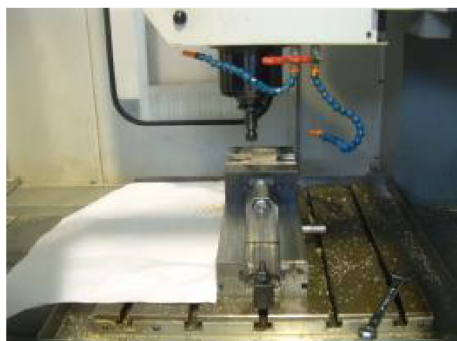


Fig. 2 The milling of WPC by standard endmill



a) standard endmill 4 flutes



b) Ball endmill 2 flutes

Fig. 3 High speed steel (HSS) end mill

The surface roughness was evaluated with a Mitutoyo SURFTTEST-301 as shown in fig. 4. For each test 5 measurement were made over milling surface. The roughness evaluator parameter (Ra) carried out with cut-off 0.8 millimeter. The vertical displacement of stylus is converted into electric signal and digital information. The profile of surface roughness can be printed as shown in fig. 5.



Fig. 4 Mitutoyo SURFTTEST-301

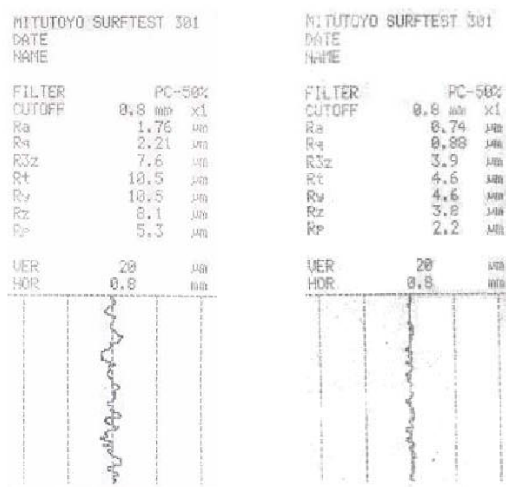


Fig. 5 The surface roughness profiles of specimens

3. RESULT AND DISCUSSION

The results of milling test allowed the evaluation of WPC manufactured by compression molding, used HSS cutting tools. The machinability was evaluated by measured the surface roughness (Ra) over milling surface. The key studies parameter are spindle speed and feed rate.

The surface roughness of milling with Standard endmill 4 flutes was 1.22-2.99 μm . Fig. 6 showed the sample was milling by these cutting tools. It can not be seen clearly the relation between spindle speed and feed rate. A comparison between spindle speed and surface roughness was shown in fig. 7 and fig. 8 shown the comparison between feed rate and surface roughness. However, the best surface roughness can be obtained with spindle speed 4,500 rpm and feed rate 630 millimeter/minute.



Fig. 6 The sample was milling by standard endmill 4 flutes

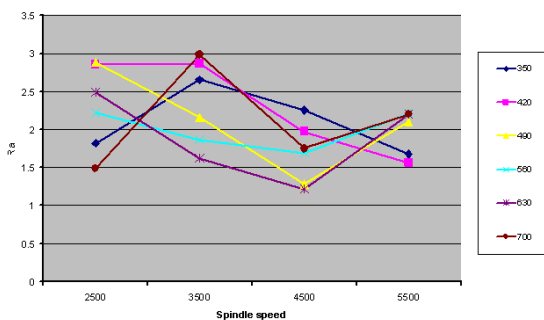


Fig. 7 A comparison between spindle speed and surface roughness (Ra) used Standard endmill 4 flutes

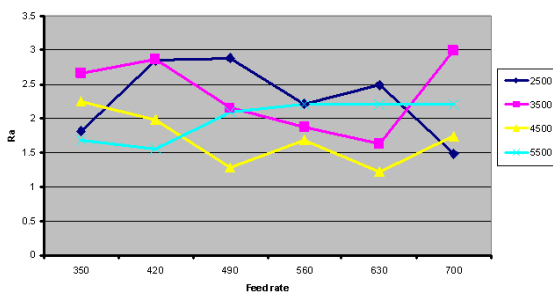


Fig. 8 A comparison between feed rate and surface roughness (Ra) used Standard endmill 4 flutes

Milling specimens with ball endmill 2 flutes diameter 5 millimeter had good surface 0.63 μm . Fig. 9 showed the sample was milling by these cutting tools. While, a good finished surface were obtain at spindle speed 3,500 rpm and feed rate 490 millimeter/minute. A comparison between

spindle speed and surface roughness was shown in fig. 10 and fig. 11 shown the comparison between feed rate and surface roughness. This condition had smooth surface because the lower step and depth of cut.

Based on the surface roughness obtained from surface of specimens resulted in significantly different Ra due to the different particle of saw dust in WPC, correspond with set up step and depth of cut in high value. Also, high spindle speed the thermoplastic was burn.



Fig. 9 The sample was milling by standard endmill 4 flutes

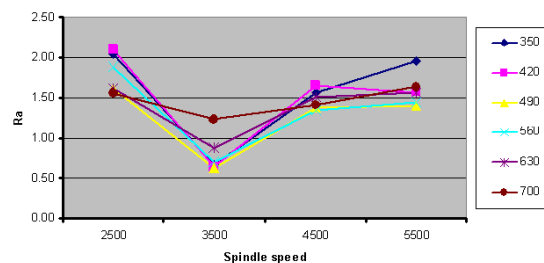


Fig. 10 A comparison between spindle speed and surface roughness (Ra) used ball endmill 2 flutes

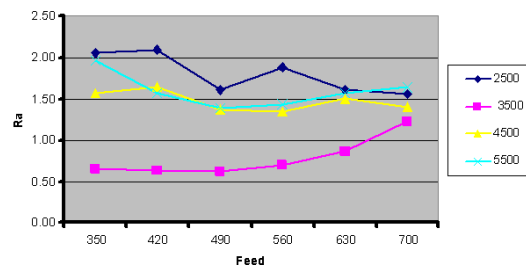


Fig. 11 A comparison between feed rate and surface roughness (Ra) used ball endmill 2 flutes

The best cutting condition with smooth surface were used milling WPC for making a master model as shown in fig. 12. Ball endmill was used as cutting tool with spindle speed 3,500 rpm and feed rate 490 millimeter/minute. The average surface roughness was 0.63 μm . Mostly, the surface roughness of grinding process was in range 0.02-0.8 μm [9]. Thus, WPC had smooth surface with these cutting condition and appropriated to be used as a master model for casting aluminum filled epoxy resin.



Fig. 12 WPC for making a master model

4. CONCLUSION

In this experimental, WPC was milling by standard endmill 4 flutes and ball endmill 2 flutes with CNC high speed milling machine. This research aimed to find the cutting condition of WPC for making a master model. The results were obtained as follow.

1) The best surface roughness of milling with standard endmill 4 flutes was $1.22 \mu\text{m}$, used spindle speed 4,500 rpm and feed rate 630 millimeter/minute. It can not be seen clearly the relation between spindle speed and feed rate.

2) Smooth surface was found in milling by ball endmill 2 flutes. The best surface roughness was $0.63 \mu\text{m}$. Spindle speed was 3,500 rpm and feed rate was 490 millimeter/minute.

3) WPC master model was milling by ball endmill. The good finished surface was $0.63 \mu\text{m}$, it appropriated to make a master model in casting aluminum filled epoxy resin. The casting aluminum filled epoxy resin was used as a core and cavity insert in injection mold.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to acknowledge and thanks the Industrial and Research Projects for Under-graduate Students (IRPUS), Thailand Research Fund (TRF) for the budget of research in year 2008. Special thank Assist. Dr. Chatchapol Chungchoo, Master Degree in Industrial Production Technology Program, Faculty of Engineering, Kasetsart University and Siam plastwood Co.,Ltd.

REFERENCE

- [1] P. Poenpol, K. Thaitea, C. Sumritwanitcha, C. Sangsawat and A. Memon. **Production of wood plastic composite from PVC foam scrap and wood dust**. Journal of Engineering, Rajmangala University Technology Thunyaburi. 2006; 4 (7): p30-34.
- [2] S. Rodkwanl, P. Sangunasin, C. Raksiri, K. Eiamsa-ard and S. Jienbutr. 2549. **A Study of the Machinability of Rubber through Milling and Turning Processes**, The 20th conference of Mechanical Engineering Network of Thailand: MENETT. 18-20 october 2006. Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.
- [3] Andrea Wechsler and Salim Hiziroglu. 2007. Some of the properties of wood-plastic Composites. **Building and Environmental**. 42; 2637-2644.
- [4] J. Paulo Davim, Pedro Reis and C. Conciecao Antonio. 2004. A study on milling of glass fiber reinforced plastic manufactured by hand-lay up using statistical analysis (ANOVA). **Composite Structure**. 64, 493-500.
- [5] M. Alauddin, I.A. Choudhury, M.A. El Baradie and M.S.J. Hashmi. 1995. Plastic and their machining: a review. **Materials Processing Technology**. 54, 40-46.
- [6] Tosin Tomori, Shreyes Melkote and Mahesh Kotnis. 2004. Injection mold performance of machined ceramic filled epoxy tooling boards. **Materials Processing Technology**. 145, 126-133.
- [7] C. Chungchoo and P. Warinrumpai. **Aluminium Filled Epoxy Resin Moulding for Plastic Injection**. The 20th conference of Mechanical Engineering Network of Thailand: MENETT. 18-20 october 2006. Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, Thailand.
- [8] Mikell P. Groover. 2007. **Fundamental of Modern Manufacturing**. 3rd. John Wiley & Son, Inc., USA.
- [9] R. G. W. Pye. 1989. **Injection mould design**. 4th. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd., Singapore.

ภาคผนวก จ

การนำเสนอผลงาน

IE NETWORK CONFERENCE 2010

October 13-15, 2010 Ubonrahjatani Thailand

(Proceeding)



Proceedings

IE NETWORK CONFERENCE 2010

การประชุมวิชาการสายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2553

13-15 ตุลาคม 2553

โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชันเซ็นเตอร์
จังหวัดอุบลราชธานี



PRECISE

TStech



สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

การศึกษาการใช้งานของไม้เทียมสร้างมาสเตอร์โมเดลสำหรับ
หล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

Investigation the Usability of Artificial Wood making Master Model for
Casting insert Injection Mold

อนินท์ มีมนต์* จงกล สุภรณ์ ศิริชัย ต่อสกุล และ สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110
E-mail: anin_rmutt@hotmail.com*

MAM 32

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในหล่ออินเสิร์ตของแม่พิมพ์ฉีดโดยใช้ไม้เทียมสร้างมาสเตอร์โมเดลกระบวนการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดใช้อีพ็อกซีเรซิน 820 และตัวเร่งแข็ง Bontamine 513 ผสมผงอลูมิเนียม 99.7% ขนาด 0-70 ไมครอน ไม้เทียมสำหรับสร้างมาสเตอร์โมเดลในการทดลองนี้ผลิตจากเศษโฟมพีวีซี ผสมผงไม้ยางพาราทำการอัดขึ้นรูปก่อนไม้เทียมขนาด 150x150x17 มม. ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนตัดเฉือนก่อนไม้เทียมเพื่อสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดลขึ้นงานจานรองแก้วด้วยมีดกัดเหล็กกล้ารอบสูงชนิด Standard end mills four flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ด้วยความเร็วรอบ 4,500 รอบ/นาที และอัตราป้อนกัด 630 มม./นาที และ Ball end mills two flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ความเร็วรอบ 3,500 รอบ/นาที และอัตราป้อนกัด 490 มม./นาที ค่าความเรียบผิวสำเร็จของมาสเตอร์โมเดลฝั่งคอร์เท่ากับ 0.81 μm และมาสเตอร์โมเดลฝั่งควิต์เท่ากับ 0.79 μm ทำการหล่ออินเสิร์ตของแม่พิมพ์ฉีดถาดรองแก้วทั้งฝั่งคอร์และควิต์ด้วยอีพ็อกซีเรซินเติมผงอลูมิเนียมด้วยอัตราส่วนผสม 70:30, 60:40 และ 50:50 พบว่าทั้งสามส่วนผสมสามารถแกะดึงเอามาสเตอร์โมเดลออกได้โดยง่ายและค่าความเรียบผิวของอินเสิร์ตดีที่สุทธเท่ากับ 0.75 μm ที่อัตราส่วนผสม 50:50 จากการทดลองฉีดขึ้นงานด้วยเครื่องฉีดยี่ห้อ TOYO ขนาด 50 ตัน ใช้วัสดุโพลีพรอพิลีน PP 2300k พบว่าอินเสิร์ตแม่พิมพ์ที่อัตราส่วนผสม 50:50 สามารถฉีดขึ้นงานได้จำนวนสูงสุด 22 ชิ้น การผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยการใช้อินเสิร์ตจากอีพ็อกซีเรซินผสมอลูมิเนียมโดยมีไม้เทียมเป็นมาสเตอร์โมเดล เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนารูปแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับผลิตขึ้นงานจำนวนไม่มากนัก และลดเวลาค่าใช้จ่ายซึ่งการผลิตแม่พิมพ์โดยทั่วไปมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน อีกทั้งผลิตด้วยเหล็กเกรดคุณภาพสูง ซึ่งต้องใช้เวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง

คำสำคัญ : ไม้เทียม, การตัดเฉือนไม้เทียม, อินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีด, มาสเตอร์โมเดล

**การศึกษาการใช้งานของไม้เทียมสร้างมาสเตอร์โมเดลสำหรับ
หล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก**

**INVESTIGATION INTO THE USABILITY OF ARTIFICIAL WOOD MAKING
A MASTER MODEL FOR CASTING INSERT INJECTION MOLD**

อนินท์ มิมนต์*, จงกล สุภารัตน์, ศิริชัย ต่อสกุล และ สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110
E-mail: anin_mutt@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในหล่ออินเสิร์ตของแม่พิมพ์ฉีดโดยใช้ไม้เทียมสร้างมาสเตอร์โมเดล กระบวนการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดใช้อีพ็อกซีเรซิน 820 และตัวเร่งแข็ง Bontamine 513 ผสมผงอลูมิเนียม 99.7% ขนาด 0-70 ไมครอน ไม้เทียมสำหรับสร้างมาสเตอร์โมเดลในการทดลองนี้ผลิตจากเศษโฟมพีวีซีผสมผงไม้ยางพารา ทำการอัดขึ้นรูปก้อนไม้เทียมขนาด 150 × 150 × 17 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ตัดเฉือนก้อนไม้เทียมเพื่อสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดลขึ้นงานงานรองแก้ว ด้วยมีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง ชนิด Standard end mills four flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วรอบ ความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัต 630 มิลลิเมตรต่อนาที และ Ball end mills two flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัต 490 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความเรียบผิวสำเร็จของมาสเตอร์โมเดลฝั่งคอร์เท่ากับ 0.81 μm และมาสเตอร์โมเดลฝั่งควิตี้เท่ากับ 0.79 μm ทำการหล่ออินเสิร์ตของแม่พิมพ์ฉีดถาดรองแก้วทั้งฝั่งคอร์และควิตี้ด้วยอีพ็อกซีเรซินเติมผงอลูมิเนียมด้วยอัตราส่วนผสม 70:30, 60:40 และ 50:50 พบว่าทั้งสามส่วนผสมสามารถแกะดึงเอามาสเตอร์โมเดลออกได้โดยง่าย และค่าความเรียบผิวของอินเสิร์ตที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.75 μm ที่อัตราส่วนผสม 50:50 จากการทดลองฉีดขึ้นงานด้วยเครื่องฉีดยี่ห้อ TOYO ขนาด 50 ตัน ใช้วัสดุโพลีพรอพิลีน PP 2300 k พบว่าอินเสิร์ตแม่พิมพ์ที่อัตราส่วนผสม 50:50 สามารถฉีดขึ้นงานได้จำนวนสูงสุด 22 ชิ้น การผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยการใช้อินเสิร์ตจากอีพ็อกซี เรซินผสมอลูมิเนียมโดยมีไม้เทียมเป็นมาสเตอร์โมเดล เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาารูปแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับผลิตขึ้นงานจำนวนไม่มากนัก และลดเวลาค่าใช้จ่าย ซึ่งการผลิตแม่พิมพ์โดยทั่วไปมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน อีกทั้งผลิตด้วยเหล็กเกรดคุณภาพสูง ซึ่งต้องใช้เวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง

คำสำคัญ : ไม้เทียม, การตัดเฉือนไม้เทียม, อินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีด, มาสเตอร์โมเดล

Abstract

The objective of this research is to investigation usability of artificial wood making a master model for casting insert injection mold. Casting process used aluminum powder 99.7% size 0-70 μm filled epoxy resin 820 and hardener Bontamine 513. Artificial wood for making a master model was wood plastic composite (WPC) from PVC foam scrap and rubber tree saw dust. It was compressed size 150 x 150 x 17 millimeter. The master model in this research was coaster. The experiment used milling machine for cutting master model. Cutting tools were standard end mills four flutes and ball end mills two flutes diameter 5 millimeter. Standard end mills four flutes used spindle speed 4,500 rpm and feed rate 630 mm/min. Ball end mills two flutes used spindle speed 3,500 rpm and feed rate 490 mm/min. Casting insert cores and cavities by aluminum powder filled epoxy resin 70:30, 60:40 and 50:50. The main results obtained as the follows. Finished surface roughness of master model core plate was 0.81 μm and cavity plate was 0.79 μm . Inserts easy separated from master model. It had surface roughness 0.75 μm at mixture ratio 50:50. Injection coaster polypropylene PP 2300 k by injection machine 50 tons. The mixture ratio 50:50 shown best injection results with 22 pieces of coasters. The production insert cores and cavities from aluminum powder filled epoxy resin was improvement the usability of injection mold for inject small amount products, also reduce cost and time.

Keywords : Wood Plastic Composite (WPC), Artificial wood, Cutting condition of WPC, Insert injection mold, Master model

1. บทนำ

ปัจจุบันงานผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานเครื่องอุปโภคบริโภค เครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ฯลฯ ส่วนใหญ่นิยมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการทางแม่พิมพ์ ซึ่งการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์มักใช้เวลานาน เนื่องจากแม่พิมพ์ต่าง ๆ เหล่านั้นผลิตด้วยเหล็กเกรดคุณภาพสูง และมีความแข็งแรงสูง อีกทั้งต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน หรือการขัดแต่งผิวที่ต้องการความละเอียดสูง ส่งผลให้การผลิตใช้เวลานานและราคาค่าใช้จ่ายในการผลิตแม่พิมพ์สูงตามไปด้วย บางกรณีลักษณะของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนพลาสติกมีค่าการเปลี่ยนแปลงทางตลาดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบความต้องการของผู้บริโภค เช่น หน้ากากโทรศัพท์มือถือ ฟันรองเท้ายางบรรจุภัณฑ์อาหาร ฯลฯ มีความจำเป็นต้องมีการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์เพื่อการใช้งานได้อย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมดังกล่าว ประกอบด้วยจำนวนของการผลิตในแต่ละรุ่นของสินค้ามีปริมาณไม่สูงมากนัก จึงมีความจำเป็นต้องลดระยะเวลาในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ให้เร็วขึ้น เพื่อให้ทันต่อความต้องการของลูกค้าและปรับปรุงได้ทันช่วงเวลา ก่อนที่สินค้ารูปแบบนั้นๆ จะไม่ได้รับความนิยมในท้องตลาด

การผลิตแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับงานขึ้นรูปจำนวนไม่มาก และราคาถูก ผลิตง่าย สามารถทำได้ด้วยการสร้างมาสเตอร์โมเดล แล้วนำมาสเตอร์โมเดลนั้นไปหล่อขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์โดยใช้สารประกอบอีพอกซีเรซินเติมอลูมิเนียมเป็นวัสดุเติมในการหล่อ ซึ่งสารประกอบนี้มีคุณสมบัติคล้ายอลูมิเนียมคือสามารถนำมาผ่านกระบวนการกัดกลึงและตกแต่งผิวชิ้นงานได้ ซึ่งทำให้สามารถลดระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งมาสเตอร์โมเดลสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วมีหลายลักษณะ เช่น สเตอริโอไลโทกราฟี (Stereo lithography) หรือ สเตอริโอไลโทกราฟีแอฟพาราฟัส (Stereo Lithography Apparatus, SLA), การสร้างต้นแบบด้วยกระดาษเคลือบ (Laminated Object Manufacturing, LOM), การหลอมด้วยแสงเลเซอร์ (Selective Laser Sintering, SLS), การสร้างต้นแบบด้วยการหลอมเส้นใยพลาสติก (Fused Deposition Modeling, FDM), การบ่มให้แข็ง (Solid Ground Curing) และ การพิมพ์สามมิติ (Three Dimensional Printing, 3DP) เป็นต้น กระบวนการผลิตมาสเตอร์โมเดลด้วยเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็ว ยังพบว่ามีความค่าใช้จ่ายที่สูง และมีความซับซ้อน อีกทั้งคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้ยังมีความเรียบไม่เพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับระดับคุณภาพผิวที่ต้องการของแม่พิมพ์พลาสติก วัสดุที่สามารถตัดเฉือนขึ้นรูปได้ง่ายด้วยกระบวนการตัดเฉือนพื้นฐาน เช่น การกลึง การกัด และเป็นชนิดของวัสดุที่มีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง สามารถตัดเฉือนด้วยเครื่องมือพื้นฐาน เช่น ดอกกัด มิดกิ้ง ที่ทำจากเหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel) น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นมาสเตอร์โมเดลเพื่อผลิตเป็นแม่พิมพ์พลาสติก

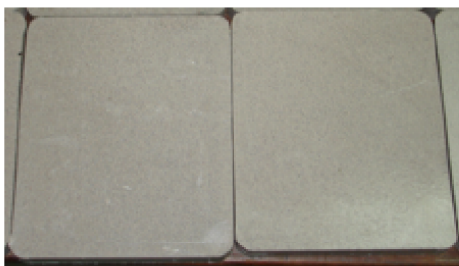
เพ็ญศรี และคณะ ได้ศึกษาการผลิตไม้เทียมจากเศษโฟมพีวีซีผสมผงไม้ยางพารา ประกอบด้วยส่วนผสมของสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารหล่อลื่น (Lubricants) สารเพิ่มแรงกระแทก (Impact modifiers) สารฟองฟู (Blowing agent) สารช่วยขึ้นรูป (Processing aid) สารเติมแต่งป้องกันการเสื่อมสภาพ (Stabilizer) โดยนำมาผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปเป็นไม้ระแนง ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีสมบัติดังนี้ คือ ค่าความต้านทานแรงดึง 15.9 Mpa, ค่าการยืดตัว 42.8%, ค่าความต้านทานแรงกระแทก 63.75 J/m, ค่าความหนาแน่น 1.02 g/cm³ และค่าความแข็ง 72 Shore D ตามลำดับ (เพ็ญศรี และคณะ, 2549)

อนันท์ มีมนต์ และ สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล ได้ศึกษากระบวนการกระบวนการตัดเฉือนก้อนไม้เทียมด้วยกระบวนการกัดในการทดลองนี้ใช้มีดกัดเหล็กกล้ารอบสูงชนิด Standard End mills four flutes และ Ball End mills two flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จากการทดลองกัดขึ้นทดสอบไม้เทียมด้วย Standard End Mills Four Flutes ได้วัดค่าความเรียบผิวต่ำสุดเท่ากับ 1.22 μm ที่ความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัด 630 มิลลิเมตรต่อนาที และผลจากการกัดด้วย Ball End Mills พบว่าความเรียบผิว Ra ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.63 μm ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัด 490 มิลลิเมตรต่อนาที (A. Memon and S. Ithiophonakul, 2009)

Tosin et al ได้ทดลองสร้างแผ่นวัสดุคอมโพสิตโดยใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ขนาดผงประมาณ 41 μm ลงไปใน อีพอกซีเรซิน (RP4037TM Resin) และเติมสารเร่งให้เกิดการแข็งตัว (RP4037TM Hardener) ผสมให้เข้ากันดีแล้วเทลงในเบ้าแม่พิมพ์เพื่อให้เป็นแท่ง จากนั้นตัดเฉือนขึ้นรูปให้เป็นแม่พิมพ์ต้นแบบสำหรับฉีดขึ้นงานตัวอย่าง โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีแนวตั้ง และใช้มีดกัดที่เคลือบผิวด้วย Polycrystalline diamond (PCD) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว (12.7 มิลลิเมตร) โดยกำหนดความเร็วตัด (Cutting speed) 1.00 และ 1.66 m/s อัตราการป้อน 0.102 mm/rev ความลึกในการกัด 1 มิลลิเมตร และ 0.2 มิลลิเมตร สำหรับปรับผิวสำเร็จ แม่พิมพ์ต้นแบบฉีดขึ้นงานตัวอย่างถูกสร้างขึ้นมา 6 ชิ้น แม่พิมพ์ต้นแบบที่ได้ทั้ง 6 ชิ้นถูกนำไปฉีดด้วย High impact polystyrenes แต่ละแม่พิมพ์จะทำการฉีดขึ้นงานทดสอบจำนวน 150 ชิ้น พบว่าแม่พิมพ์ทั้ง 6 ชิ้นหลังจากฉีดขึ้นงานครบ 150 ชิ้น ไม่เกิดร่องรอยของการเสียหาย การสลายตัวของผิวหน้าที่ราบเรียบ และเกิดรอยแตกร้าว (Tosin et al, 2004)

การสืบค้นข้อมูลของการสร้างมาสเตอร์โมเดล และสร้างแม่พิมพ์อีพอกซีเรซินเติมอลูมิเนียม พบว่าวัสดุที่จะสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดลต้องมีความเรียบผิวที่เหมาะสมต่อการถอดแบบ รวมถึงต้องทนต่อความร้อนที่เกิดจากทำปฏิกิริยาของอีพอกซีเรซินพบว่าสมบัติของไม้เทียมที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีความแข็งแรงเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นแม่พิมพ์มาสเตอร์โมเดลได้ อีกทั้งไม่เหมาะง่ายต่อการตัดเฉือนขึ้นรูปด้วยเครื่องมือตัดเหล็กกล้ารอบสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการตัดเฉือนที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปไม้เทียมให้มีขนาดก้อนขนาด 150 x 150 x 17 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการตัดเฉือนด้วยเครื่องมือตัดจากเหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel; HSS) เพื่อนำชิ้นงานนั้นไปผลิตเป็นมาสเตอร์โมเดล สำหรับหล่อเรซินให้เป็นแม่พิมพ์พลาสติกที่มีต้นทุนต่ำ สามารถลดระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์ ที่มีความต้องการผลิตชิ้นงานในปริมาณไม่มากนัก สามารถปรับปรุงได้รวดเร็วให้ทันกับความผันแปรของตลาด รวมทั้งผันแปรตามความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งเป็นการขยายขีดความสามารถในการผลิตแม่พิมพ์ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ให้สูงขึ้นกว่าในปัจจุบัน



รูปที่ 1 ก้อนไม้เทียมสำหรับตัดเฉือนสร้างมาสเตอร์โมเดล

2. วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาหาสภาวะการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดก้อนไม้เทียม เพื่อศึกษาการกัดวัสดุผสมไม้เทียมจากเศษโฟมพีวีซีและผงไม้
- 2) เพื่อหาสภาวะการตัดเฉือนไม้เทียมด้วยมีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel; HSS) และวัดระดับความเรียบผิวที่ได้จากการตัดเฉือนไม้เทียมที่สภาวะการตัดเฉือนต่างๆ เพื่อสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดล
- 3) เพื่อสร้างอินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจากการหล่ออีพอกซีเรซินผสมผงอลูมิเนียม โดยใช้มาสเตอร์โมเดลจากไม้เทียม

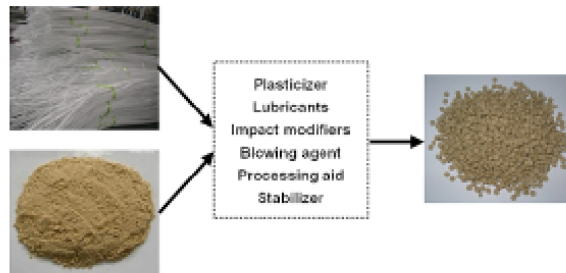
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การอัดและตัดเฉือนก้อนไม้เทียมสำหรับสร้างมาสเตอร์โมเดล

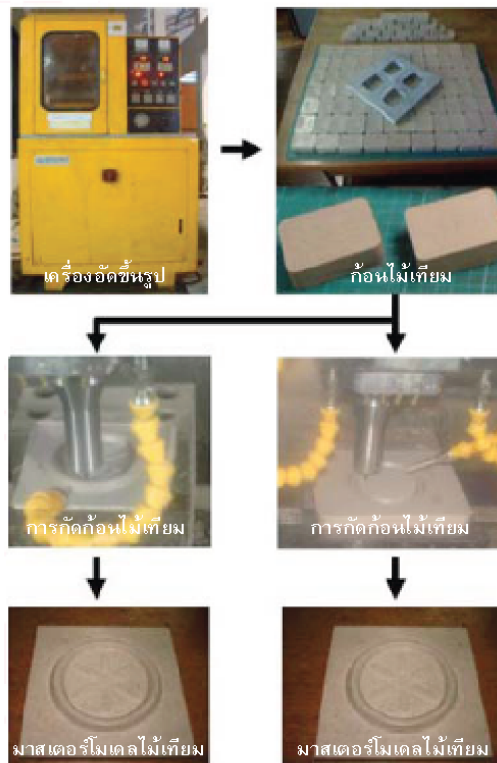
ไม้เทียมสำหรับการนำมาอัดก้อนเพื่อทำการตัดเฉือน 150 x 150 x 17 มิลลิเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 1) เป็นผลงานต่อเนื่องจากโครงการ IRPUS ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมสำหรับผลิตไม้เทียม ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการอัดขึ้นรูปก้อนไม้เทียม

การตัดเฉือนก้อนไม้เทียมสำหรับการทดลองนี้ใช้มีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง ใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีแนวตั้ง 3 แกน เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นโดยทีมนักวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งผ่านการตรวจสอบตามมาตรฐาน ISO 1984, DIN 8615 ซึ่งเป็นมาตรฐานตรวจสอบค่าความแม่นยำของระนาบแกนต่างๆ จากการทดสอบพบว่า ผลผลิตที่ได้มีความเที่ยงตรงแม่นยำและได้มาตรฐานเช่นเดียวกับเครื่องที่ผลิตในต่างประเทศ (สมศักดิ์ และคณะ, 2551) โดยใช้เวลาเร็วรอบและความเร็วตัดตามที่ (A. Memon and S. Ithisophonakul, 2009) ได้มีรายงานไว้

ตัดเฉือนก้อนไม้เทียมเพื่อสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดลชิ้นงานงานรองแก้ว ด้วยมีดกัดเหล็กกล้ารอบสูง ชนิด Standard end mills four flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วรอบ ความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัต 630 มิลลิเมตรต่อนาที และ Ball end mills two flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัต 490 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความเรียบผิวสำเร็จของมาสเตอร์โมเดลเท่ากับ 0.92 ไมครอน



รูปที่ 2 แสดงส่วนผสมสำหรับผลิตไม้เทียม



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการอัดขึ้นรูปก้อนไม้เทียมสำหรับสร้างมาสเตอร์โมเดล

3.3 การหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีด

การหล่ออินเสิร์ตใช้อีพอกซีเรซิน 820 และตัวเร่งแข็ง Bontamine 513 ผสมผงอลูมิเนียม 99.7% ขนาด 0-70 ไมครอน ค่าความหนาแน่นรวมของอินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดจากอีพอกซีเรซินผสมผงอลูมิเนียม ด้วยสมการที่ 1 ใช้ความหนาแน่นรวมของอินเสิร์ตคำนวณหาปริมาณของผงอลูมิเนียม, อีพอกซีเรซิน 820 และ

ตัวเร่งแข็ง Bontamine 513 ในอัตราส่วน 70:30, 60:40 และ 50:50 (อัตราส่วนของอีพอกซีเรซินต่อผงอลูมิเนียม) ตามลำดับ

$$\rho_c = \sum(f_i \rho_i) = f_1 \rho_1 + f_2 \rho_2 + \dots + f_n \rho_n \quad (1)$$

เมื่อ ρ_c คือ ความหนาแน่นของวัสดุผสม
 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ คือ ความหนาแน่นของแต่ละส่วนผสม
 f_1, f_2, \dots, f_n คือ สัดส่วนปริมาตรของแต่ละส่วนผสม

จัดเตรียมส่วนผสมทั้งหมดสามอัตราส่วนผสม ได้แก่ 70:30, 60:40 และ 50:50 ทำการผสมให้เข้ากันและเทลงในแบบแม่พิมพ์ที่ได้จัดเตรียมไว้ ก่อนเทส่วนผสมลงไปต้องทาแม่พิมพ์มาสเตอร์โมเดล ด้วยเว็กซ์สำหรับถอดแม่พิมพ์ก่อน ใต้อินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดฝั่งคอร์และควิตี้ดั่งแสดงในรูปที่ 4

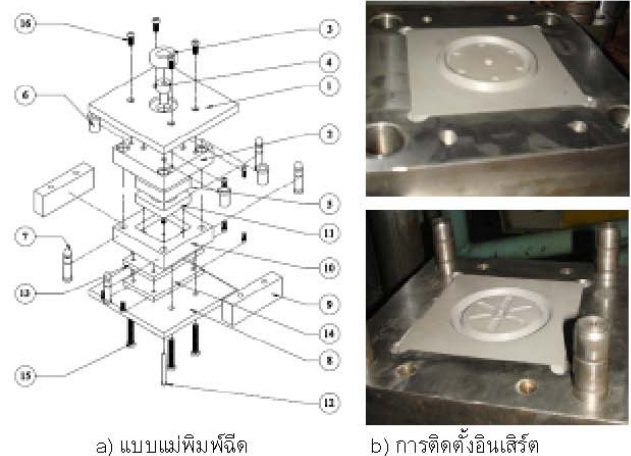


รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดถาดรองแก้ว

อินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานจานรองแก้ว จะถูกนำไปปรับแต่งขนาดด้วยกระบวนการกัดด้วยเครื่องมือกัดพื้นฐาน ทำการเจาะรูเข้าของพลาสติกเหลว (Sprue) และปรับแต่งขนาดรวมถึงผิวหน้าอินเสิร์ตด้านที่จะยึดติดกับแผ่นแม่พิมพ์ที่เป็นโลหะ เพื่อให้สามารถติดตั้งในชุดแม่พิมพ์ฉีดได้ รวมถึงการจัดทำเกลียวเพื่อใช้สำหรับยึดอินเสิร์ตด้วย รูปที่ 5 แสดงการตัดเจียนอินเสิร์ตที่ได้จากการหล่ออีพอกซีเรซินผสมผงอลูมิเนียม และการติดตั้งอินเสิร์ตในชุดแม่พิมพ์ฉีดแสดงดังรูปที่ 6 โดยอินเสิร์ตจะติดตั้งที่ชิ้นส่วนแม่พิมพ์หมายเลข 2 และหมายเลข 10



รูปที่ 5 การปรับแต่งผิวของอินเสิร์ตที่ได้จากการหล่อเพื่อติดตั้งในชุดแม่พิมพ์ฉีด



รูปที่ 6 การติดตั้งอินเสิร์ตชิ้นงานถาดรองแก้วในชุดแม่พิมพ์ฉีด

3.4 การทดลองฉีดชิ้นงานด้วยอินเสิร์ต

ชุดแม่พิมพ์ฉีดที่ติดตั้งอินเสิร์ตเรียบร้อยแล้ว จะถูกนำไปติดตั้งกับเครื่องฉีดยี่ห้อ TOYO รุ่น TI-50E ขนาด 50 ตัน พลาสติกที่ใช้ฉีดเป็นชนิดโพลีพรอพิลีน (Poly Propylene; PP 2300 k) การติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดบนเครื่องฉีดแสดงดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงเม็ดพลาสติก PP 2300 k ที่ใช้ในการทดลองฉีดชิ้นงาน



รูปที่ 7 การติดตั้งแม่พิมพ์ฉีดบนเครื่องฉีด TOYO รุ่น TI-50E



รูปที่ 8 เม็ดพลาสติก PP 2300 k

4. ผลและวิจารณ์

4.1 ผลการอัดขึ้นรูปก้อนไม้เทียม และตัดเฉือนเพื่อสร้าง มาสเตอร์โมเดล

ตัดเฉือนผิวสำเร็จของก้อนไม้เทียมขนาด 150 x 150 x 17 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดลชิ้นงาน จานรองแก้ว ทำการกัดด้วยมิตกัดเหล็กกล้ารอบสูง ชนิด Ball end mills two flutes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที และอัตราป้อนกัด 490 มิลลิเมตรต่อนาที ดัง แสดงในรูปที่ 9 ทดสอบค่าความเรียบผิวด้วยเครื่องวัด Mitutoyo SURFTEST-301 ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวสำเร็จของมาสเตอร์โมเดล ผังคอร์เท่ากับ 0.81 μm และผังกวิดเท่ากับ 0.79 μm รายละเอียด การวัดค่าความเรียบผิวแสดงดังตารางที่ 1

ผลการวัดค่าความเรียบผิวเฉลี่ยของมาสเตอร์โมเดลที่ตัดเฉือน ด้วย Ball end mills two flutes มีค่าแตกต่างเล็กน้อยกับรายงานการ วิจัยก่อนหน้า (A. Memon and S. Ithiphonakul, 2009) ซึ่งได้ ศึกษาค่าความเรียบผิวของการตัดเฉือนก้อนไม้เทียมขนาด 45 x 60 x 20 มิลลิเมตร ค่าพบว่าความเรียบผิว Ra ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.63 μm ที่สภาวะการตัดเฉือนเดียวกันนี้ เนื่องด้วยการอัดขึ้นรูปก้อนไม้ เทียมมีขนาดที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้ความแน่นของก้อนไม้เทียม การกระจายตัวของส่วนผสมแตกต่างกัน รวมถึงการกัดชิ้นงาน มาสเตอร์โมเดลไม้เทียมมีความแตกต่างออกไปจากการตัดเฉือนใน แนวราบปกติ อีกทั้งพื้นที่ที่ตัดเฉือนมากขึ้นหลายเท่าตัว จึงทำให้ค่า ความเรียบผิวมีความแตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 9 ผลการตัดเฉือนผิวสำเร็จของมาสเตอร์โมเดลจานรองแก้ว

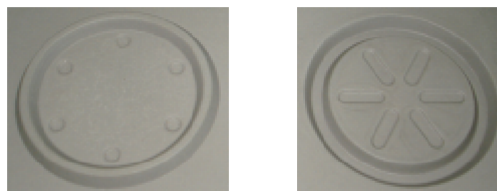
ตารางที่ 1 ค่าความเรียบผิวของมาสเตอร์โมเดล (μm)

ชิ้น ทดสอบ	ครั้ง ที่	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย แต่ละครั้ง	ค่าเฉลี่ย
Core insert	1	0.92	0.84	0.72	0.83	0.81
	2	0.81	0.66	0.84	0.77	
	3	0.67	0.76	1.07	0.83	
Cavity insert	1	0.85	1.12	0.57	0.88	0.79
	2	0.75	0.74	0.84	0.78	
	3	0.63	0.68	0.92	0.74	

4.2 ผลการหล่ออินเสิร์ต

การหล่ออินเสิร์ตแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานจานรองแก้วด้วยอัตรา ส่วนผสมได้แก่ 70:30, 60:40 และ 50:50 เมื่อแกะแม่พิมพ์หล่อและ ทำการแยกมาสเตอร์โมเดลออก สามารถแยกออกจากกันได้ โดยสะดวก ผลแสดงดังรูปที่ 10 ลักษณะของผิวหล่ออินเสิร์ตจะมี ความเรียบเหมือนกับผิวของมาสเตอร์โมเดลที่เป็นต้นแบบในการหล่อ เมื่อทำการทดลองวัดค่าความเรียบได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 ค่า ความเรียบผิวที่ได้จะไม่แตกต่างกัน โดยพบว่าค่าความเรียบผิวที่ดี ที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.75 μm ที่อัตราส่วนผสม 50:50 เนื่องด้วย ชนิดของผงอลูมิเนียมที่เลือกใช้จะมีขนาด 0-70 μm ซึ่งเป็นค่าความ เรียบผิวที่ใกล้เคียงกับผลการวัดค่าความเรียบผิวที่วัดได้ในข้อ 4.1

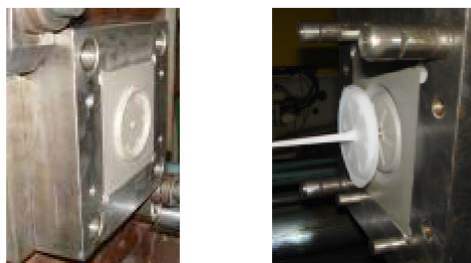
แม่พิมพ์ฉีดที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่ออินเสิร์ตนี้จะง่ายต่อ การกัดด้วยมิตกัดเหล็กกล้ารอบสูงชนิดพื้นฐาน สามารถช่วย ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ อีกทั้งสะดวกใน การสร้างแม่พิมพ์เพื่อทดลองผลิตชิ้นงานหรือสินค้าต้นแบบ รวมถึง การผลิตสินค้าที่มีจำนวนการผลิตไม่สูงมากนัก



รูปที่ 10 ลักษณะของผิวหล่ออินเสิร์ตจานรองแก้ว

4.3 ผลการฉีดชิ้นงานจานรองแก้ว

ผลการฉีดชิ้นงานจานรองแก้ว ด้วยพอลิพรอพิลีน (Poly Propylene; PP 2300 k) ดังรายละเอียดในข้อ 3.4 พบว่าชิ้นงาน สามารถฉีดขึ้นรูปได้ทั้งสามส่วนผสม ลักษณะของชิ้นงานที่ได้ เกิด ข้อบกพร่องเล็กน้อยที่ชิ้นงาน รูปที่ 11 แสดงการฉีดขึ้นรูปและ ลักษณะของชิ้นงานที่ได้



a) แสดงการฉีดชิ้นงานจานรองแก้ว



b) ลักษณะชิ้นงานจานรองแก้วที่ฉีดได้

รูปที่ 11 ผลการทดลองฉีดชิ้นงานจานรองแก้ว

ผลการทดลองฉีดขึ้นงาน 10 ครั้ง พบว่าชุดอินเล็ตที่ใช้ อัตราส่วนผสม 70:30 เกิดการแตกร้าวของแม่พิมพ์อย่างเห็นได้ชัด โดยแม่พิมพ์เกิดการแตกร้าวในการฉีดครั้งที่ 5 ชุดอินเล็ตที่ใช้อัตราส่วนผสม 60:40 เกิดการเสียหายแตกร้าวของแม่พิมพ์ในการฉีดครั้งที่ 8 และชุดอินเล็ตที่อัตราส่วนผสม 50:50 สามารถฉีดขึ้นงานได้ครบ 10 ขึ้น และเมื่อทำการทดลองฉีดต่อไปเรื่อยๆ สามารถฉีดขึ้นงานได้มากที่สุด 22 ขึ้น ชุดแม่พิมพ์จึงเกิดการเสียหาย



a) ลักษณะการเสียหายของชุดอินเล็ต 70:30



b) ลักษณะการเสียหายของชุดอินเล็ต 60:40



c) ลักษณะการเสียหายของชุดอินเล็ต 50:50

รูปที่ 12 แสดงลักษณะการเสียหายของชุดอินเล็ต

ข้อบกพร่องของขึ้นงานที่เกิดจากการฉีดสามารถปรับตั้งสภาวะการฉีดได้ที่เครื่องฉีด แต่ลักษณะการเสียหายของชุดอินเล็ตแม่พิมพ์อาจจะเกิดจากการยุบตัวของฟองอากาศที่อยู่ในก้อนหล่อเรซิน เมื่อได้รับแรงดันจากการฉีด ซึ่งจะได้ศึกษาในขั้นตอนต่อไปเกี่ยวกับการลดปัญหาข้อบกพร่องจากการหล่อเรซิน และวัสดุเสริมแรงตัวอื่นที่สามารถเติมเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชุดอินเล็ตแม่พิมพ์

5. สรุป

การศึกษาการใช้งานของไม้เทียมสร้างมาสเตอร์โมเดลสำหรับหล่ออินเล็ตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก พบว่าไม้เทียมสามารถสร้างเป็นมาสเตอร์โมเดล จากการกัดผิวสำเร็จวัดค่าเฉลี่ยความเรียบของมาสเตอร์โมเดลฝั่งคอร์เท่ากับ 0.81 ไมครอน และมาสเตอร์โมเดลฝั่งควาร์ตเท่ากับ 0.79 ไมครอน ในการหล่อชุดอินเล็ตแม่พิมพ์ฉีดด้วยอีพ็อกซีเรซินผสมผงอลูมิเนียมด้วยอัตราส่วนผสม 30:70, 40:60 และ 50:50 พบว่าทั้งสามส่วนผสมสามารถแกะตั้งเอามาเตอร์โมเดลออกได้ง่าย และค่าความเรียบผิวของอินเล็ตดีที่สุดในเท่ากับ 0.75 ไมครอน ที่อัตราส่วนผสม 50:50 จากการทดลองฉีดขึ้นงานด้วยเครื่องฉีดขนาด 50 ตัน ใช้วัสดุโพลีพรอพิลีน PP 2300 K

พบว่าอินเล็ตแม่พิมพ์ที่อัตราส่วนผสม 50:50 สามารถฉีดขึ้นงานได้จำนวนสูงสุด 22 ขึ้น การผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยการใช้อินเล็ตจาก อีพ็อกซีเรซินผสมอลูมิเนียมโดยมีไม้เทียมเป็นมาสเตอร์โมเดล เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับผลิตขึ้นงานจำนวนไม่มากนัก และลดเวลาค่าใช้จ่าย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีงบประมาณ 2553 ขอขอบคุณ คุณชัยวัฒน์ สัมฤทธิ์วิชิตชา บริษัทสยามพลาสติก จำกัด ในการอนุเคราะห์ผสมและขึ้นรูปเม็ดไม้เทียม, บริษัทสถาพรพลาสติก จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องฉีดสำหรับทดลองฉีดขึ้นงาน และกลุ่มนักศึกษา นายสุบิน ภูระหงษ์, นายธีรพงษ์ จันทร์โชค นายคุณากร หอมศิริ และนายเสริ ยังมณี ที่ทำหน้าที่ผู้ช่วยในการวิจัยครั้งนี้

บรรณานุกรม

- เพ็ญศรี พูลผล, ไกรสร ไทยแท้, ชัยวัฒน์ สัมฤทธิ์วิชิตชา, ชาลิต แสงสวัสดิ์, และอนันท์ มิมมอนด์, 2549, การผลิตไม้เทียมจากเศษโฟมพีวีซีกับผงไม้, วารสารวิศวกรรม-ศาสตร์ราช มงคลธัญบุรี, 4 (7), 30-34.
- ภรภัทร วรินรำไพ, 2548, มาสเตอร์โมเดลสำหรับแม่พิมพ์ประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอลูมิเนียม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ, ภัคชร สงวนสิน, ชนะ รัชศิริ, คุณยุต เยี่ยมสะอาด, และศรีสิทธิ์ เจียรบุตร, 2549, การศึกษาความสามารถในการถูกตัดเฉือนของยางโดยกระบวนการกัดและการกลึง, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม พ.ศ. 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- สมศักดิ์ เก้นทอง, ศิวกร อ่างทอง และวราญา วัฒนจิตศิริ, 2551, การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2551, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา
- A. Memon and S. Ithisophonakul, 2009, A Study on Milling of Wood Plastic Composite from PVC Foam Scrap and Wood Dust, **The 7th Eco-Energy and Materials Science and Engineering**, 9-22 November 2009, Changmai, Thailand.
- Andrea Wechsler and Salim Hiziroglu, 2007, Some of the properties of wood-plastic composites, **Building and Environmental**, 42, 2637-2644.
- M. Alauddin, I.A. Choudhury, M.A. El Baradie and M.S.J. Hashmi, 1995, Plastic and their machining: a review, **Materials Processing Technology**, 54, 40-46.

- J. Paulo Davim, Pedro Reis and C. Conciecao Antonio, 2004,
A study on milling of glass fiber reinforced plastic
manufactured by hand-lay up using statistical analysis
(ANOVA), **Composite Structure**, 64, 493-500.
- Tosin Tomori, Shreyes Melkote and Mahesh Kotnis, 2004,
Injection mold performance of machined ceramic filled
epoxy tooling boards, **Materials Processing Techno-
logy**, 145, 126-133.
- Ostwald, P.F. and Jairo, M., **Manufacturing Process and
System**. 9th Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA,
1997.
- Mikell P. Groover, Fundamental of Modern Manufacturing, 3rd,
John Wiley & Son, Inc., USA. 2007.