บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี

การวิจัยเรื่องเครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ได้มีการทบทวนวรรณกรรมและรายการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัย ออกแบบสร้างเครื่อง การทดลองทดสอบ เพื่อให้ได้เครื่องสร้างบรรจุภัณฑ์ปลาร้าก้อนแบบบลิสเตอร์แพ็ค ที่มีประสิทธิภาพสามารถปฏิบัตงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2. 1 ทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 ปวเรศวร์ อินทุเศรษฐ, บดินทร์ อิทธิพงษ์, สิริรัตน์ จงฤทธิพร และอัธยา กังสุวรรณ [1]

ทดลองหมักปลาร้าจากปลาเป็ดทั้งหมด 5 สูตร ใช้วิธีการหมักแบบดั้งเดิม 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 หมักปลากับเกลือ (3:1 โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำมาคลุกกับรำ (1 ส่วน) สูตรที่ 2 ใช้ปลา: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 ทำการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ทุกเดือน และทดสอบคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้ ค่า pH เฉลี่ยของปลาร้าแต่ละสูตรเป็นดังนี้ 5.87, 5.79, 5.75,5.08 และ 5.05 ตามลำดับ ปริมาณแบคทีเรียแลคติคเฉลี่ยที่พบในระหว่างการหมักของปลาร้าแต่ละสูตรเป็นดังนี้ 1.1x106, 2.9x106, 2.0x106, 5.4x106 และ 1.6x107 CFU/g ตามลำดับ ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของปลาร้าทั้ง 5 สูตรพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในคุณลักษณะด้าน ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในคุณลักษณะด้านกลิ่น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัส ซึ่งพบว่าปลาร้าสูตรที่ 4 ได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสมากที่สุด ปลาร้าสูตรที่ 5 ได้คะแนนด้านรสชาติและการยอมรับรวมมากที่สุด การใช้เทคโนโลยีชีวภาพโดยหมักหัวเชื้อรำข้าวและข้าวฟ่างในปลาร้าสูตรที่ 4 และ 5 จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับดีกว่าวิธีการหมักแบบดั้งเดิม (สูตร 1, 2 และ 3) ผลการจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่แยกได้จากปลาร้าปลาเป็ดโดยวิธี Photobiotin labeling DNA-DNA hybridization และ Ribotyping of 16S rRNA gene พบว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลตรงกันคือ *Tetragenococcus halophilus*

2.1.2 ชอบ มีอาษา [2]

ออกแบบเครื่องทำปลาร้าไฮเทค ตัวเครื่องประกอบด้วย ตัวถังเหล็กขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ความยาวหรือความสูง 1.20 เมตร เหล็กแกนกลางสำหรับตีเกล็ดปลาโดยเชื่อมเหล็กให้เป็นซี่เล็กๆ พลูเล่ ไดมอเตอร์ และตะแกรงรองเกล็ดปลา ซึ่งขนาดของเครื่องสามารถบรรจุปลาได้ครั้งละ 50 กิโลกรัม ขั้นตอนการใช้เครื่องทำปลาร้าไฮเทค เริ่มจากการนำปลามาปั่นตีเกล็ดออก ใช้เวลาประมาณ 3 นาที เกล็ดจะหลุดออกหมด ทำให้ได้เนื้อปลาที่นุ่มขึ้น เอาไส้ปลาและขี้ปลาออก ส่วนใหญ่ปลาที่ใช้ ได้แก่ ปลากระดี่ ปลาช่อน จากนั้นนำปลาที่ขอดเกล็ดเรียบร้อยแล้วมาหมักเกลือ ใช้อัตราส่วนในการทำปลาร้า คือ ปลา 5 กิโลกรัม : เกลือ 1.5 กะละมัง: รำ 3 กะละมังเล็ก คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำลงโอ่ง หาพลาสติกคลุมมัดปากโอ่งให้แน่น หมักทิ้งไว้ 5-6 เดือน จึงสามารถนำเอาไปบริโภคหรือจำหน่ายได้

2.1.3 อนินท์ มีมนต์ และสมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล [3]

ออกแบบและสร้างเครื่องปิดผนึกถุงด้วยระบบสุญญากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เครื่องปิดผนึกถุงที่สามารถปิดผนึกถุงพลาสติกโดยออกแบบเครื่องให้มีขนาด 40 x 50 x 43 เซนติเมตร ถังสุญญากาศสำหรับดูดอากาศและปิดผนึกมีปริมาตร 24 ลิตร ที่มีผลิตภัณฑ์อยู่ข้างในได้ โครงสร้างเครื่องทั้งหมดผลิตด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม โดยออกแบบให้มีรูปแบบการใช้งานอย่างง่าย ลดต้นทุนราคาเครื่อง รองรับการผลิตในรูปแบบ กลุ่มสินค้า OTOP หรือ SME สามารถปรับอุณหภูมิขดลวดความร้อนได้ สามารถปรับระดับสุญญากาศได้ สามารถปรับเวลาในการปิดผนึกได้ สามารถปรับหน่วงเวลาของการปิดผนึก กลไกการปิดผนึกออกแบบใช้ระบบขับเคลื่อนจากมอเตอร์และปรับตั้งอุณหภูมิสำหรับการปิดผนึกได้สูงสุด 200 °C ผลสรุปที่ได้จากการทดสอบในการทำงานของเครื่องปิดผนึกถุงด้วยระบบสุญญากาศ โดยการทดสอบการทำสุญญากาศที่ – 0.95 บาร์ ใช้เวลา 120 วินาที ได้ค่าความเป็นสุญญากาศสูงสุด และการทดสอบรอยปิดผนึกโดยใช้ถุงพลาสติกโพลีเอทีนลีนขนาด 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]

ออกแบบและสร้างเครื่องปิดผนึกถ้วยพลาสติกแบบอัตโนมัติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ด้วยฟิล์มโพลีพรอพิลีนความหนา 0.04 มิลลิเมตร เครื่องปิดผนึกที่ออกแบบมีขนาด 230 x 300 x 526 มิลลิเมตร โครงสร้างเครื่องทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมและอลูมิเนียม ถูกต้องตามมาตรฐานการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ระบบการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ กระบวนการเริ่มต้นจากการเติมผลิตภัณฑ์อาหารหรือเครื่องดื่มในถ้วยพลาสติก แล้ววางลงบนถาดรองรับของเครื่อง จากนั้น

เครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติ เริ่มจากเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่ง และแท่งความร้อนที่มีอุณหภูมิเหมาะสม กดผ่านฟิล์มพลาสติกและปากถ้วยพลาสติกประมาณ 3 วินาที และคมตัดจะกดตัดฟิล์มพลาสติกให้เข้ากับรูปทรงกลมของปากถ้วยพลาสติก จากนั้นเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิม และฟิล์มถูกดึงม้วนเก็บและรอสำหรับการทำงานในรอบต่อไป ถ้วยพลาสติกที่ปิดผนึกแล้วจะเลื่อนออก ได้บรรจุภัณฑ์ที่พร้อมสำหรับจำหน่าย จากการทดลองพบว่ารอบการทำงานสำหรับปิดผนึก 1 ถ้วยพลาสติกใช้เวลา 12 วินาที และระดับความร้อนของแท่งความร้อนที่ใช้ในการปิดผนึกอยู่ในช่วง 170-180 องศาเซลเซียส

2. 2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ปลาร้า

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือที่เรียกย่อๆ ว่า สมอ. ได้มีโครงการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เพื่อรองรับการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชนหรือระดับพื้นบ้านที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร ซึ่งวัตถุประสงค์ของโครงการที่สำคัญคือส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชุมชนให้ได้รับการรับรองและแสดงเครื่องหมายการรับรอง เพื่อส่งเสริมด้านการตลาดของผลิตภัณฑ์ ให้เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายและสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชุมชนทั้งในประเทศและต่างประเทศ เน้นให้มีการพัฒนาแบบยั่งยืน อีกทั้งสนับสนุนนโยบายสำคัญของรัฐบาลโครงการ หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ ในการแก้ไขปัญหาความยากจนของชุมชน โดยมุ่งให้ความสำคัญของการนำภูมิปัญญาชาวบ้าน และทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่น มาพัฒนาและสร้างมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น มีคุณภาพ มีจุดเด่น มีเอกลักษณ์ มีการพัฒนาท้องถิ่น สร้างชุมชนให้เข้มแข็ง พึ่งตนเองได้ สร้างงาน สร้างรายได้

1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้า (มผช.37/2546)

ปลาร้า หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักปลากับเกลือ แล้วเติมข้าวคั่ว 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 ร้าต้องเคล้ากันไม่แห้งหรือเละ
- ปลาร้าชิ้น เนื้อปลาต้องนุ่ม คงสภาพเป็นชิ้น เนื้อปลาและน้ำปลาร้าต้องเคล้าเข้ากัน ไม่แห้งหรือเละ
- 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 (โซเดียวคลอไรด์) ต้องมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 12-20
- จุลินทรีย์ สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม และต้องไม่มีราปรากฏให้เห็น
- พยาธิ ต้องไม่พบ

2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้าผง (มผช.134/2546)

ปลาร้าผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาร้าที่หมักได้ที่แล้วไปผ่านการให้ความร้อน เช่น เคี่ยว หรืออบจนแห้ง แล้วนำไปทำเป็นผง อาจปรุงรสหรือไม่ก็ได้ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะปลาร้าแปรรูปที่พร้อมบริโภค และพร้อมปรุงที่ทำจากปลาร้าที่หมักจนได้ที่แล้ว ทำให้อยู่ในลักษณะเป็นผงปลาร้าที่นำมาใช้ ต้องไม่ใช้โซเดียมไนเตรท หรือโพแทสเซียมไนเทรต โซเดียมไนไทรต์หรือโพแทสเซียมไนไทรต์ในการทำ

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 ห้ามใช้โซเดียมไนเทรต หรือโพแทสเซียมไนเทรตโซเดียมไนไทรต์ หรือโพแทสเซียมไนไทรต์ หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ในปริมาณที่กำหนด
  - 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 และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์
- จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ ราต้องไม่เกิน 200 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

4) มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้าก้อน (มผช.135/2546)

ปลาร้าก้อน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาร้าที่หมักได้ที่แล้วไปผ่านการให้ความร้อน เช่น เคี่ยว หรืออบจนหมาด อาจปรุงรสหรือไม่ก็ได้ แล้วทำให้เป็นก้อน มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะปลาร้าแปรรูปที่พร้อมบริโภค และพร้อมปรุงที่ทำจากปลาร้าที่หมักจนได้ที่แล้ว ทำให้อยู่ในลักษณะที่เป็นก้อน ปลาร้าที่นำมาใช้ ต้องไม่ใช้โซเดียมไนเทรต หรือโพแทสเซียมไนเทรต โซเดียมไนไทรต์หรือโพแทสเซียมไนไทรต์ ในการทำ

ลักษณะของปลาร้าก้อน

- ต้องมีลักษณะเป็นก้อน มีเนื้อละเอียดสม่ำเสมอ และคงลักษณะเดิมก่อนการใช้
- สี ต้องมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลแก่ ไม่มีสีน้ำตาลดำคล้ำ
- กลิ่น ต้องมีกลิ่นหอมของปลาร้า ไม่มีกลิ่นคาว กลิ่นไหม้ กลิ่นหืนหรือกลิ่นอับ
- รส ต้องมีรสเค็มกลมกล่อมเป็นไปตามธรรมชาติของปลาร้า
- สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ เช่น แมลง หนู นก
- วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้สีทุกชนิด ห้ามใช้โซเดียมไนเทรต หรือโพแทสเซียมไนเทรต โซเดียมไนไทรต์ หรือโพแทสเซียมไนไทรต์ หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ในปริมาณที่กำหนด
  - 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 20 โดยน้ำหนัก
- ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- วอเตอร์แอกทิวิตี ต้องไม่เกิน 0.7

  วอเตอร์แอกทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ถึง ความปลอดภัยของอาหาร โดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสารพิษของ จุลินทรีย์
- จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ รา ต้องไม่เกิน 200 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- การบรรจุปลาร้าก้อนต้องบรรจุในภาชนะที่สะอาด แห้ง ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้
- น้ำหนักสุทธิของปลาร้าก้อนในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

2.3 กลไกการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

อาหารมีโอกาสเสื่อมคุณภาพด้วยปฏิกิริยาทางกายภาพและเคมีที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างของอาหารคุณภาพที่เสื่อมที่สามารถมองเห็นเป็นรูปธรรมได้แก่ สีที่เปลี่ยนไป รสชาติเปลี่ยน กลิ่นเปลี่ยน และที่สำคัญ คือ คุณค่าทางอาหารหายไป กลไกที่มีส่วนทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพมีดังนี้คือ

1) อากาศ

ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวการสำคัญในการเสื่อมคุณภาพของอาหาร เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดกับไขมันและโปรตีนในอาหาร 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 การเก็บรักษาคงคลัง

4) การแยกตัว

การแยกตัวของสารจากบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารมักเกิดกับพลาสติก เนื่องจากพลาสติกโดยปกติประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ แต่มีส่วนผสมของสารโมเลกุลขนาดเล็กที่มีโอกาสแยกตัวออกมาแล้วเข้าไปผสมกับอาหารที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งถ้ามีการแยกตัวมากอาจจะไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคเข้าสู่ร่างกาย โดยปกติการแยกตัวดังกล่าวเกิดขึ้นที่ปริมาณน้อยจนอยู่ในระดับที่จะยอมรับได้และไม่เป็นอันตราย เพราะวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของวัสดุศาสตร์และการแปรรูป นอกจากว่าการแยกตัวนี้จะมีผลทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติขึ้นมาก็จะไม่เป็นที่ยอมรับ

5) แสง

แสงที่ส่องผ่านบรรจุภัณฑ์มักจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารปรากฏการณ์ที่พบได้บ่อยมี 2 กรณี คือ

- แสงจะทำให้คุณค่าอาหารลดลงแม้ว่าจะไม่มีผลต่อรสชาติ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดที่สุด คือ นม สารที่มีคุณค่าต่อสุขภาพในนมจะเสื่อมคุณภาพ เพราะแสงโดยเฉพาะแสงเหนือม่วง (Ultraviolet)
- มีการเปลี่ยนแปลงต่อรสชาติทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารไม่เป็นที่ยอมรับ เบียร์ที่เห็นอยู่ทั่วไปมักบรรจุในขวดสีชาหรือสีเขียวเนื่องจากแสงสามารถทำให้รสชาติเปลี่ยนได้ หรือซอสมะเขือเทศจะเปลี่ยนเป็นสีเข้มเมื่อได้รับแสงและมีออกซิเจนอยู่มากพอ

6) ความร้อนและความเย็น

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

7) อันตรายทางกายภาพ

ในระหว่างการขนส่งผลิตภัณฑ์อาหารมีโอกาสเสียดสี กระแทกหรือกดทับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีผิวบาง เช่น ผัก ผลไม้สด ของทอด ย่อมมีโอกาสช้ำและแตกหัก ทำให้จุลินทรีย์และสัตว์ตัวเล็กๆ เช่น มดเข้าไปทำลายอาหาร ความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ย่อมลดโอกาสการจำหน่ายของสินค้า มิฉะนั้นต้องขายลดราคา

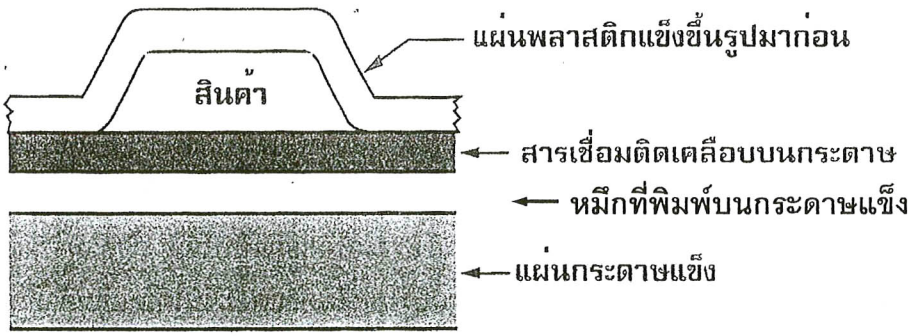
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.4 บรรจุภัณฑ์การ์ด (Carded Packing)

การใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จะทำให้สามารถมองเห็นตัวสินค้าได้ง่าย เนื่องจากมักจะแขวน ณ จุดขายต่างๆ สินค้าจะดึงดูดผู้ซื้อด้วยตัวสินค้าเอง ในขณะเดียวกันก็สามารถทำหน้าที่ปกป้องสินค้าจากความเสียหายที่เกิดจากการขนส่งและการปนเปื้อน แผ่นกระดาษด้านหลังตัวสินค้าจะทำหน้าที่ปกป้องสินค้าชิ้นเล็กๆ จากการถูกขโมยหรือหลุดหาย และด้านหลังของแผ่นกระดาษนี้สามารถแสดงรายละเอียด ข้อแนะนำ 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

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

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 22 ก.ย. 2554
242623
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

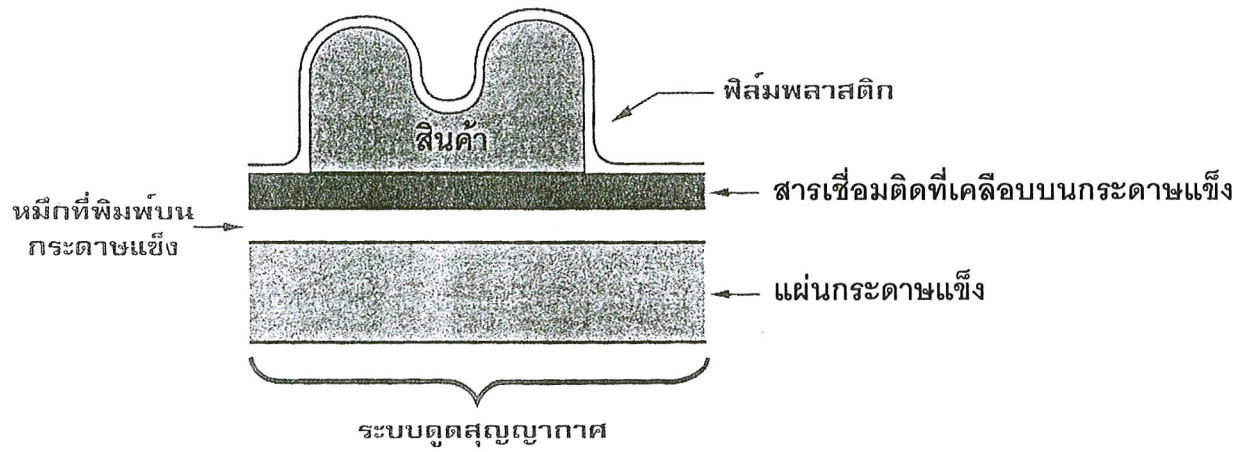
- เซลลูโรส อะซีเตท (Cellulose Acetates, และ Butyrates) ให้คุณสมบัติที่ดีในการขึ้นรูปและความใสที่ดีเยี่ยม แต่ไม่นิยมใช้กันเนื่องจากต้นทุนสูงและสามารถใช้วัสดุอื่นแทนได้

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

บรรจุภัณฑ์การ์ดแบบบลิสเตอร์นี้นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาชนิดแผง เช่น ยาคุมกำเนิด เนื่องจากเวลานำยาออกจากแผง ต้องกดแผ่นพลาสติกข้างบนให้เม็ดยาทะลุแผ่นกระดาษหรืออะลูมิเนียม บรรจุภัณฑ์แบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บรรจุภัณฑ์แบบกดทะลุ (Press-Through Packing หรือ PTP) บรรจุภัณฑ์อาหารที่พบมากคือ ไส้กรอก แฮม และยังมีการนำมาใช้บรรจุลูกกวาด เป็นต้น

2.4.2 บรรจุภัณฑ์แบบแนบผิว (Skin Pack)

บรรจุภัณฑ์แบบนี้สามรถทำได้โดยวางสินค้าลงบนแผ่นกระดาษและแผ่นพลาสติก เมื่อพลาสติกถูกทำให้อ่อนนุ่มด้วยความร้อน ระบบบสุญญากาศจะดูดแผ่นพลาสติกแนบติดกับสินค้าและสารเชื่อมที่เคลือบบนกระดาษ ด้วยเหตุนี้บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จึงได้ชื่อว่า บรรจุภัณฑ์แบบแนบผิว พลาสติกจะแนบติดกับตัวสินค้าและแผ่นกระดาษที่มีสารเชื่อมติดเคลือบอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บรรจุภัณฑ์การ์ดแบบบลิสเตอร์ [1]

บรรจุภัณฑ์แบบแนบผิวนี้จะประหยัดกว่าแบบบลิสเตอร์เนื่องจากไม่ต้องการแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปโดยสินค้าจะถูกแนบติดกับกระดาษ ขั้นตอนการทำงานจึงสั้นกว่าหรือกล่าวในอีกแง่หนึ่งคือผล ผลิตได้มากกว่า หีบห่อแบบแนบผิวยังสามารถออกแบบให้สินค้าแยกชิ้นออกจากกันบนกระดาษซึ่งในลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถบริโภคสินค้าแต่ละชิ้นได้โดยสินค้าที่เหลือไม่ถูกปนเปื้อน

ฟิล์มที่ใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบแนบผิว จะนิยมใช้พลาสติกโพลิเอทธิลีนหรือไอโอโนเมอร์ ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ไอโอโนเมอร์ มีความใสสูง เหนียว และการคืนตัวสูง
- โพลิเอทธิลีน มีราคาถูก แต่ไม่ค่อยใส เกิดรอยถลอกได้ง่าย หรือไม่ทนต่อการเสียดสี อีกทั้งต้องใช้ความร้อนสูงในการผลิต และมีอันตราการหดตัวสูงกว่าฟิล์มชนิดอื่น

กระดาษที่ใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบแนบผิวต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เกิดการบิดหรือโค้งงอและชั้นกระดาษจะต้องไม่แยกตัวหลังจากทำการแนบผิวไปแล้ว ความหนาของกระดาษ ที่ใช้ควรอยู่ประมาณ 450-635 ไมครอน การเลือกระหว่างการเคลือบแบบบลิสเตอร์แพคและแบบสกินแพคนี้ในหลายต่อหลายครั้งเป็นสิ่งที่ยากที่จะตัดสินใจว่าจะเลือกบรรจุภัณฑ์ประเภทไหน โดยปกติแล้วถ้าสินค้ามีขนาดเล็ก เมื่อติดอยู่บนแผ่นกระดาษใหญ่ก็สมควรจะใช้แบบบลิสเตอร์ มิฉะนั้นจะเปลืองฟิล์มมากถ้าเลือกใช้แบบสกิน ยกเว้นสินค้านั้นมีขนาดใหญ่เกือบเท่ากับกระดาษ แบบสกินจะคุ้มทุนมากกว่า นอกจากนี้ตัวสินค้าที่เคลื่อนที่ได้ง่าย เช่น ลูกทรงกลมจะเหมาะใช้แบบบลิสเตอร์มากกว่าเพราะขณะที่ทำการบรรจุห่อด้วยสกิน ลูกทรงกลมอาจเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งใดๆก็ได้

2.5 บรรจุภัณฑ์อาหารด้วยพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการใช้งานสูงมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบาป้องกันการซึมผ่านของอากาศและก๊าซได้ระดับหนึ่ง สามารถต่อต้านการทำลายของแบคทีเรียและเชื้อรา มีคุณสมบัติหลายอย่างที่สามารถเลือกใช้ในงานที่เหมาะสม การศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกแต่ละประเภทมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เลือกใช้สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการใช้งานที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงได้รวบรวมชื่อย่อที่ใช้เรียกในทางพาณิชย์ของพลาสติกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารไว้ดังนี้

2.5.1 โพลิเอทิลีน (Polyethylene; PE)

โพลิเอทิลีนนับเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานมากที่สุดและราคาถูก เนื่องจาก PE มีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ PE ผลิตจากกระบวนการโพลิเมอไรเซชั่น (Polymerisation) ของก๊าซเอธิลิน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ใน

สภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal Catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้ PE ที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน PE แบ่งเป็น 2 ประเภท ตามค่าความหนาแน่น คือ

1) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene; LDPE) ความหนาแน่น 0.910 – 0.925 g/cm^3 เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงเย็น มักจะใช้ทำถุงฟิล์มหดและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยืดตัวได้ดี ทนต่อการทิ่มทะลุ และการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของ PE จะสามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถปล่อยให้ไขมันซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนต่อกรดและด่างทั่วๆ ไป นอกจากนี้ LDPE ยังปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยว และของทอด เมื่อใส่ถุงเย็นธรรมดาคุณภาพอาหารจะแปรเปลี่ยนไปเพียงเวลาไม่กี่วัน LDPE ยังมีคุณสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามตัว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE นี้เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเปรอะด้วยฝุ่น

2) โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE) ความหนาแน่น 0.941 – 0.965 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 ชนิดยืดตัวได้ นิยมใช้ห่ออาหารสดพร้อมปรุงเนื้อสด และอาหารทั่วไป
- PE ไม่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนย น้ำมัน

2.5.2 โพลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP)

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

ตัวอย่างการใช้งานของ PP มีดังต่อไปนี้

- ใช้บรรจุอาหารร้อน เช่น ถุงร้อน (ชนิดใส)
- ใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป คุกกี้ เป็นต้น
- ใช้ทำกล่องอาหาร ถาด ลัง

2.5.3 โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate; PET)

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อการบรรจุน้ำอัดลม น้ำมันพืช และเครื่องดื่มชนิดต่างๆ มีลักษณะใสแวววาว เป็นประกาย มีคุณสมบัติทนแรงยืดและแรงกระแทกได้ดี จุดหลอมเหลวสูง ในแง่ของสิ่งแวดล้อมนับว่า PET เป็นพลาสติกที่สามารถกลับมาเป็นโมโนเมอร์ (Monomer) เพื่อนำกลับมาใช้ผลิตเป็นสินค้าอย่างอื่นได้ ข้อเสียคือ ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนและเปิดฉีกยาก

ตัวอย่างการใช้งานของ PET มีดังต่อไปนี้

- ใช้ทำถาดบรรจุภัณฑ์อาหารใช้ได้ทั้งเตาอบ และเตาไมโครเวฟ
- ใช้ทำการ์ดหรือบัตร
- ใช้บรรจุน้ำอัดลม น้ำมันพืช เป็นต้น

2.5.4 โพลิไวนิลครอไรด์ (Polyvinylchloride; PVC)

เป็นพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติได้โดยการเติมสารเคมีปรุงแต่ง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอื่นมากกว่าอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ จุดเด่นของ PVC คือ สามารถทนต่อน้ำมันและกันกลิ่นได้ดี ใส แข็งแรงทนต่อการเสียดสี ใช้แทนที่ขวดแก้วได้เนื่องจากน้ำหนักเบากว่า และตกไม่แตก ข้อเสียคือ มีสารตกค้างของไวนิลครอไรด์ 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

การป้องกันการซึมผ่านความชื้นและก๊าซต่ำ การใช้งานจึงจำกัดอยู่เพียงการใช้ห่อสินค้า เช่น ผลไม้ ดอกไม้ เป็นต้น

ตัวอย่างการใช้งานของ PS มีดังต่อไปนี้

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

บรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ต้องใช้ความระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยและการเลือกใช้มากที่สุด โดยเฉพาะใช้ในการบรรจุอาหารร้อนหรือต้องไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งอาจเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อ 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. ใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่ คุกกี้ 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)

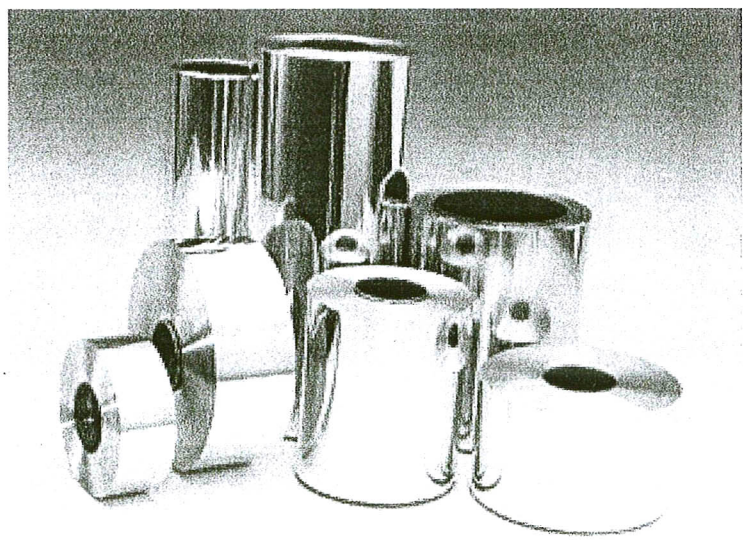
อะลูมิเนียมเป็นวัสดุธรรมชาติที่ได้จากการสกัดแร่อลูมินา เป็นวัสดุที่ทนความร้อนสูง แผ่ความร้อนต่ำ เป็นโลหะที่ได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะ ทั้งนี้เพราะ อลูมิเนียมมีคุณสมบัติ ที่ดีเด่นหลายประการ

- มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา
- มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย
- จุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่าย

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

ในปัจจุบันได้มีการนำอะลูมิเนียมมาประยุกต์ใช้ในหลายวงการตั้งแต่การทำเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ทั่วไป เครื่องมือแพทย์ อวัยวะเทียมไปจนถึงอากาศยาน เนื่องจากคุณสมบัติโดดเด่นต่างๆ ของอลูมิเนียม ไม่ว่าจะเป็น น้ำหนักเบา สะท้อนความร้อนได้สูง ทนความร้อนสูง สามารถขึ้นรูปได้ ราคาเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมทำให้อลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบของวัสดุที่เราใช้ในชีวิตประจำวัน

เนื่องจากอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อยน้ำหนักเบา จึงนำไปใช้ทำเครื่องใช้ต่างๆ เครื่องบิน ยานอวกาศ จรวด ขีปนาวุธ เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น ท่อ แผ่นหลังคา กรอบโครงหน้าต่าง ประตูบันได ทำถังภาชนะและถังรถบันทุกอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ใช้ทำแผ่นสะท้อนในแฟลชถ่ายรูป จานสะท้อนแสงในโคมไฟสำหรับไฟหน้ารถยนต์ 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 สำหรับอะลูมีเนียมเปลวที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้เป็นอะลูมิเนียมเปลวเปล่าๆ 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	ซิลิคอน
เลข	5	หมายถึง	แมกนีเซียม
เลข	6	หมายถึง	แมกนีเซียมกับซิลิคอน
เลข	7	หมายถึง	สังกะสี
เลข	8	หมายถึง	ลิเทียมหรือสารอื่นๆ

ตัวเลขหลักที่สอง ถ้าเป็นเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม เลข 1 ถึง 9 แสดงว่าเป็นโลหะผสมที่ดัดแปรจากโลหะผสมดั้งเดิม ยกตัวอย่างเช่น 5182 เป็นโลหะผสมที่ดัดแปรจาก 5082 ตัวเลขสองหลักสุดท้าย แสดงปริมาณหลังจุดทศนิยมของเปอเซ็นต์อะลูมิเนียม ตัวอย่างเช่น 1180 แสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์อะลูมิเนียมผสมอยู่มากกว่า 99.80 % ตารางที่ 2.2 แสดงโลหะผสมของอะลูมิเนียมเปลวที่นิยมใช้

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

ตารางที่ 2.2 โลหะผสมของอะลูมิเนียมเปลวที่นิยมใช้ [6]

ซีรี่ส์โลหะผสมและความแข็ง	% 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)	ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ที่ 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]

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก						
	ซิลิกอนและเหล็กสูงสุด	ทองแดง	แมงกานีสสูงสุด	แมกนีเซียมสูงสุด	สังกะสีสูงสุด	ไทเทเนียมสูงสุด	อะลูมิเนียมสูงสุด
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

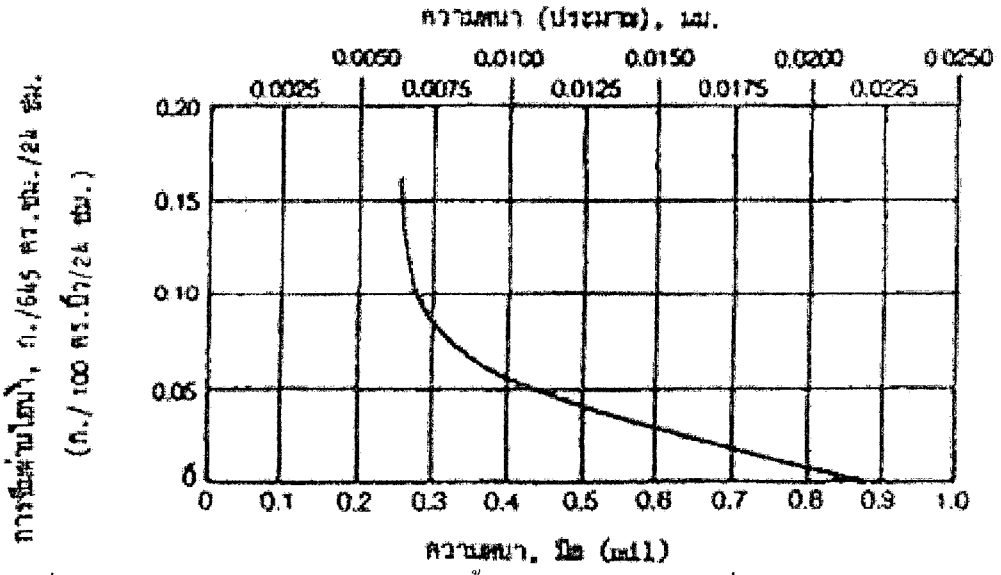
1) รูปแบบความหนา 4.3 ถึง 150 ไมครอน
2) อัตราการซึมผ่าน อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ของอะลูมิเนียมเปลวหนา 9 ไมครอน น้อยกว่า 0.05 กรัม / 100 ตารางนิ้ว ในเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 ฟ ถ้าเป็นอะลูมิเนียมเปลวหนากว่า 25 μm ไอน้ำจะไม่สามารถซึมผ่านได้เลย (Impermeable) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนตารางที่ 2.5 นอกจากแสดงความสามารถซึมผ่านของได้น้ำและก๊าซแล้วยังมีแสดงจำนวนรูเข็ม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

10) การผ่านของแสง เนื่องจากเป็นโลหะจึงไม่ยอมให้แสงผ่านแต่กลับมีสมบัติสะท้อนและแผ่ความร้อน (Radiant Heat) ได้มากถึง 95 %

11) การปิดผนึก มีสมบัติสามารถพับให้แน่นสนิทได้และสามารถเคลือบอัดซ้อนหรือลามิเนตด้วยชั้นยึดติด (Adhesion) กับวัสดุบรรจุภัณฑ์อื่นได้ดี

12) ปฏิกิริยาต่อสนามแม่เหล็ก/ไฟฟ้า มีสมบัติกำบัง (Shielding) ต่อสนามแม่เหล็ก/ไฟฟ้าได้

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 สมบัติเด่นของอะลูมิเนียมเปลวพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 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 เพราะว่ามีสมบัติเหนี่ยวนำความร้อนให้ปิดผนึกได้ เมื่อมีการเคลือบอัดซ้อนประกบผิวด้านในของอะลูมิเนียมเปลวด้วยสารเคลือบโดยปราศจากการสัมผัสกับความร้อนโดยตรง
- การนำมารีไซเคิล (Recyclability) การนำโลหะผสมอะลูมิเนียมมาหลอมเหลวใหม่จะช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่า 90 % เมื่อเทียบกับการถลุงหลอมเหลวแร่บอกไซท์

2.6.2 การปิดผนึกของแผ่นอะลูมิเนียมเปลว

การใช้พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแทนที่กระป๋องได้รับความนิยมมากขึ้นสืบเนื่องจากพลาสติกมีต้นทุนการผลิตต่ำ ออกแบบขึ้นรูปได้หลากหลายและมีชนิดพลาสติกให้เลือกตามความต้องการในการใช้งาน เช่น โพลิโพรลีน หรือ PP สามารถทนการฆ่าเชื้อและบรรจุร้อน (Hot Fill) ได้ในขณะที่พลาสติกจำพวกโพลิเอสเทอร์ หรือ PET แบบธรรมดามีสมบัติใสเหมอนแก้วใช้บรรจุเย็น (Cold Fill) นอกจากนี้ยังมีบรรจุภัณฑ์แบบกึ่งคงรูป (Semi Rigid) ที่แปรรูปจากพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบด้วยต้นทุนของแม่พิมพ์ที่ไม่แพงมากนัก โดยนิยมขึ้นรูป 2 วิธี คือ

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

สำหรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ไม่ต้องการอายุการใช้งานยาวนานจะปิดผนึกบรรจุภัณฑ์แบบพลาสติกแต่ถ้าต้องการสกัดกั้นการซึมผ่านของออกซิเจนและไอน้ำฝาที่ใช้มักจะใช้อะลูมิเนียม

เปลวเป็นชั้นสกัดกั้น (Barrier Layer) แล้วเคลือบประกบชั้นนอกด้วย โพลิเอทิลีนหรือโพลิเอสเทอร์ ส่วนชั้นในของฝาจะลามิเนตด้วยชั้นที่เชื่อมติดได้ด้วยความร้อน (Heat Seal Layer)

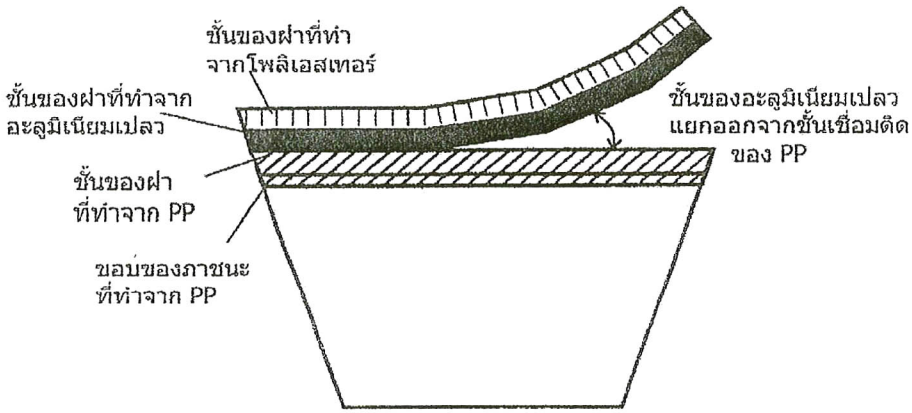
การปิดผนึกของแผ่นฝาที่เคลือบอัดซ้อนกับอะลูมิเนียมมีหลายวิธีแปรตามประเภทวัสดุและรูปทรงของภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่จะปิด การปิดผนึกให้สนิทแน่นเพื่อให้ชั้นของอะลูมิเนียมเปลวสามารถทากรสกัดกั้นการซึมผ่านทั่วพื้นที่ของฝาจะแปรผันตามปัจจัยอื่น อันได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ เวลา และการปล่อยให้อยู่ตัวของรอยปิดผนึก กรรมวิธีการปิดผนึกของแผ่นฝาเคลือบประกบที่นิยมใช้มี 4 วิธีคือ

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

2.6.3 ความบกพร่องที่เกิดจากการปิดผนึก

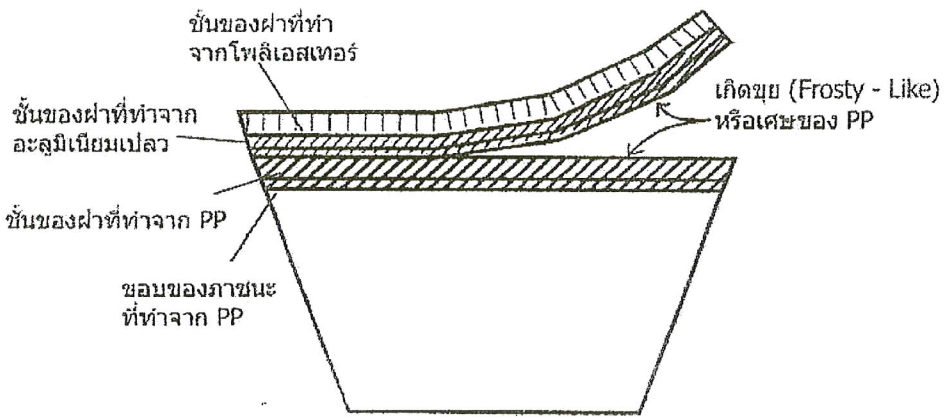
การปิดผนึกด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งในสี่วิธีดังกล่าวต่างต้องการรอยปิดผนึกที่ปิดได้สนิทมิดชิดเพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ถ้าเป็นการปิดผนึกนี้แน่นเกินกว่าความสามารถที่ผู้บริโภคจะเปิดนำเอาผลิตภัณฑ์ภายในออกมาบริโภคได้ย่อมทำให้เกิดการไม่ยอมรับตัวสินค้าจากผู้บริโภค แผ่นฝาที่เคลือบอัดซ้อนกับอะลูมิเนียมเปลวมีความบกพร่องจนเปิดฝาไม่ออกนั้นอาจเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1) ความบกพร่องที่เกิดจากการยึดติด (Adhesive Failure) ความบกพร่องนี้เกิดเมื่อเวลาเปิดแผ่นฝามีการแยกชั้นระหว่างแผ่นฝาที่เคลือบประกบหลายชั้นแทนที่จะแยกกันตรงชั้นของสารเชื่อมติด (Heat Seal Layer) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.5 ชั้นเชื่อมติดที่เป็น PP ของฝายังคงติดแน่นกับฝา (Flange) ของภาชนะบรรจุภัณฑ์ วิธีแก้ไขคือการเคลือบประกบชั้นของอะลูมิเนียมเปลวกับชั้นอื่นๆ ให้แน่นหนามากกว่าแรงปิดผนึกที่ยึดติดระหว่างฝาและตัวภาชนะ ปรากฏการณ์แยกชั้นภายในโครงสร้างของฝาดังกล่าวมีศัพท์เฉพาะเรียกว่าการแยกชั้น (Delamination)



รูปที่ 2.5 ความบกพร่องที่เกิดจากการยึดติด [6]

2) ความบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมแน่น (Cohesive Failure) ในกรณีชั้นเชื่อมติดสามารถเปิดแยกออกมาได้ตามต้องการ แต่มีขุย (Frosty – like) หรือเศษ (Residues) ของชั้นเชื่อมติดหลงเหลืออยู่บนฝาหรือขอบของภาชนะบรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในบางกรณีที่เลวร้ายกว่านี้อาจพบว่าตัวแผ่นชั้นเชื่อมติดขาดจากกันโดยมีบางส่วนติดไปกับแผ่นฝาและยังเหลือบางส่วนติดอยู่กับขอบภาชนะ วิธีการแก้ไขคือ ต้องปรับปรุงคุณภาพของชั้นเชื่อมติดและวิธีการเคลือบประกบ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาชั้นเชื่อมติดเป็นแบบเปิดได้ง่าย (Easy peel) แต่ยังคงรักษาการเชื่อมติดระหว่างชั้นของการเคลือบประกบไว้ได้ ชั้นเชื่อมติดแบบเปิดได้ง่ายเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาข้อบกพร่องทั้งสองดังกล่าว



รูปที่ 2.6 ความบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมแน่น [6]

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

Abrasion	การขัดถู รอยขีดข่วน (Scratch) ที่เกิดบริเวณผิวของฝาที่เกิดจากการเสียดสี การถู (Rubbing) และอันตรายทางกลต่างๆ
Burnt Seal	รอยปิดผนึกไหม้ มีการเปลี่ยนสีบริเวณรอยปิดผนึก เกิดจากองค์ประกอบในการปิดผนึกมีมากเกินไป เช่น ความร้อนหรือเวลามากเกินกว่ากำหนด 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 อาจเกิดจากการกระจายของพลาสติกไม่สม่ำเสมอทั่วแม่แบบโดยมีบางส่วนมีความหนาบางผิดปกติหรือมีรอยคลื่นบนผิดภาชนะหรือแผ่นฝาเคลือบประกบปิดผนึกไม่สนิทหรือไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผิว
Puncture	การทิ่มทะลุ เกิดขึ้นบริเวณผิวบรรจุภัณฑ์อาจเป็นบริเวณฝาปิดหรือตัวภาชนะทำให้เกิดรอยรั่วหรือเสียสภาพความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์ (Integrity)
Seal With Variation	การแปรผันบนรอยปิดผนึก เช่น มิติของรอยปิดผนึกไม่ได้ตามกำหนดหรือมีความแปรปรวนของการยึดติด เป็นต้น
Swollen Package	บรรจุภัณฑ์บวม เกิดก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ดันให้ผิวผนังของภาชนะหรือฝาปิดโป่งบวมขึ้นมา โดยที่บริเวณปิดผนึกยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์ (Seal Integrity)
Uneven Impression	การกดทับบนรอยปิดผนึกไม่สม่ำเสมอมีโอกาสทำให้การปิดผนึกไม่สนิทแน่นพอ
Wrinkle	ร่อยย่น เกิดรอยพับบริเวณปิดผนึก

ระดับความบกพร่องที่แยกไว้ในตารางที่ 2.6 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาระดับความบกพร่องที่ยอมรับได้ของบรรจุภัณฑ์และสินค้าแต่ละประเภท สภาวะการยอมรับแยกตามระดับของข้อบกพร่องจะแปรผันเป็นกรณีๆไป ไม่สมควรยึดถือเป็นกฎเกณฑ์ตายตัว ด้วยเหตุนี้จะพบว่าข้อบกพร่องบางประเภท เช่น การผิดรูป หรือการเกิดรอยย่นสามารถจำแนกเป็นความบกพร่องได้ทุกระดับแปรตามความรุนแรงของข้อบกพร่องนั้น

ตารางที่ 2.6 ประเภทความบกพร่องที่พบบนภาชนะบรรจุกึ่งคงรูป (Semi Rigid) ที่ปิดผนึกด้วยความร้อนบนฝาปิดเคลือบประกบหลายชั้นที่มีชั้นสกัดกั้นของอะลูมิเนียมเปลว [6]

ความบกพร่อง	ระดับความบกพร่อง		
	วิกฤต	ใหญ่	เล็ก
การขัดถู	-	✓	✓
รอยปิดผนึกไหม้	-	-	✓
รอยรั่ว	✓	-	-
รอยปิดผนึกปนเปื้อน	-	✓	-
รอยการบีบ	-	✓	✓
รอยแตก	✓	-	-
การแยกชั้น	-	-	✓
รอยปริแตก	-	-	✓
สิ่งแปลกปลอมในวัสดุ	-	-	✓
รอยแตกร้าว	✓	-	-
เศษพลาสติกหรือเจล	-	-	✓
รอยปิดผนึกไม่สมบูรณ์	✓	-	-
รอยพับบนฉลาก	-	-	✓
ภาชนะบรรจุภัณฑ์ผิดรูป	✓	✓	✓
การทิ่มทะลุ	✓	-	-
ความแปรผันบนรอยปิดผนึก	-	✓	-
การบวม	✓	-	-
รอยปิดผนึกไม่สม่ำเสมอ	-	✓	-
รอยย่น	✓	✓	✓

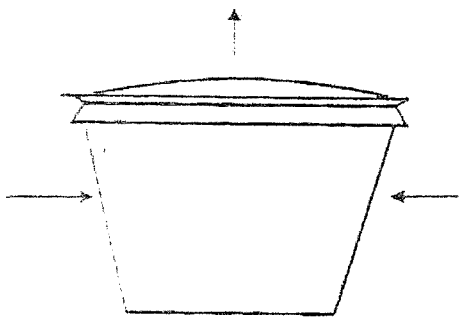
2.6.4 การทดสอบ

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

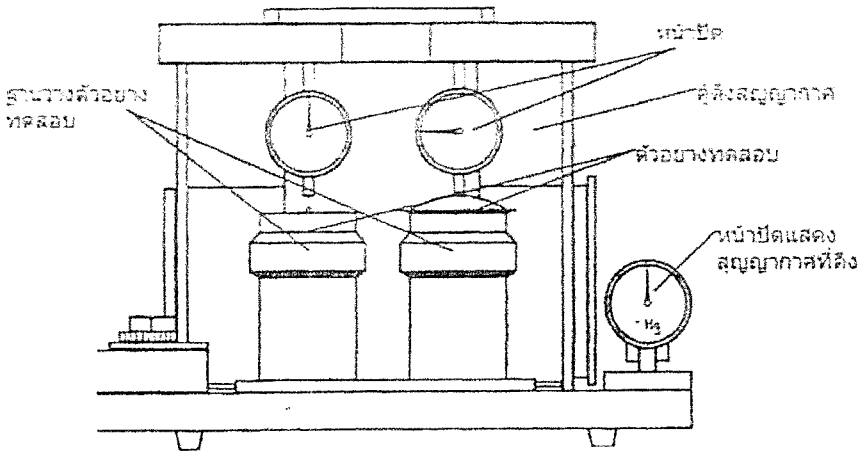
1) การทดสอบแบบไม่ทำลายตัวบรรจุภัณฑ์ (Non – Destructive)

1.1) การทดสอบวิธีนี้เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Examination) พิจารณาสภาพโดยทั่วๆไปของผิวภายนอกบรรจุภัณฑ์ เช่น ฝาปิดได้ทาบตลอดตามแนวรอบขอบของภาชนะ สภาพของรอยปิดผนึก การบิดเบี้ยวตามผนังภาชนะ สภาพของรอยปิดผนึก การบิดเบี้ยวตามผนังภาชนะบรรจุภัณฑ์และสำรวจดูสินค้าที่อาจหกเลอะเทอะบนผิวของบรรจุภัณฑ์จากรอยรั่วซึม เป็นต้น อันดับต่อมาใช้ประโยชน์จากความนิ่มของบรรจุภัณฑ์แบบกึ่งคงรูปด้วยการบีบ (Squeezing) ตามผนังด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ตามที่แสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อบีบด้วยแรงมากพอฝาบนจะโป่งออกและถ้าบรรจุภัณฑ์ปิดผนึกอย่างมิดชิดจะไม่มีการรั่วเกิดขึ้นจากการบีบ

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



รูปที่ 2.7 การทดสอบรอยปิดผนึกด้วยการบีบผนังด้านข้าง [6]

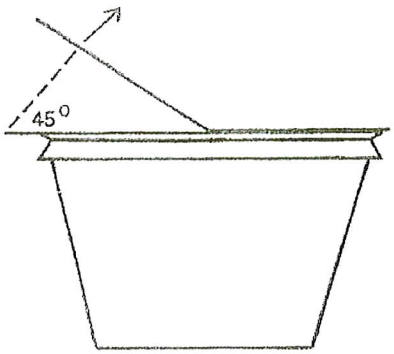


รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกด้วยการดึงสุญญากาศ [6]

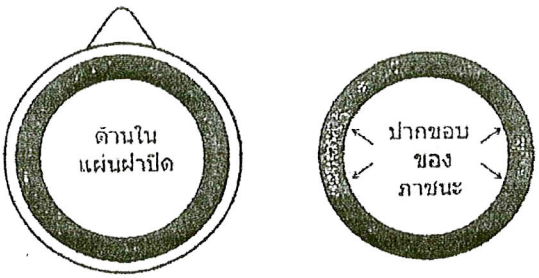
2) การทดสอบแบบทำลายตัวบรรจุภัณฑ์ (Destructive)

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

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



รูปที่ 2.9 ทิศการดึงฝาเพื่อตรวจสอบ [6]

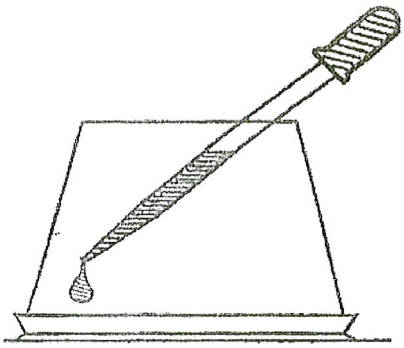


รูปที่ 2.10 การตรวจสอบแผ่นฝาเปิดและปากขอบของบรรจุภัณฑ์ [6]

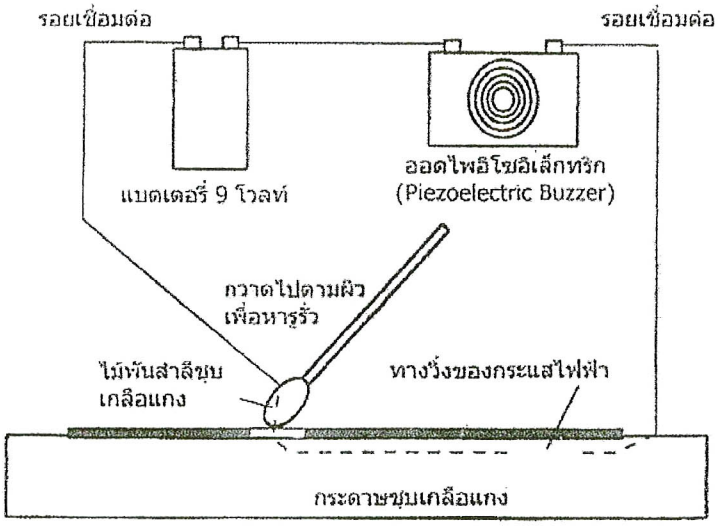
3) การทดสอบการแทรกซึมของสีย้อม (Dry Penetration Test) ตัดเอาฐานหรือก้นของบรรจุภัณฑ์ นำเอาสินค้าออกจากภาชนะบรรจุแล้วล้างให้สะอาดพร้อมทั้งทำให้แห้ง คว่ำปากาชนะบรรจุที่มีรอยปิดผนึกแล้วหยดสีย้อมฐานน้ำซึ่งมักใช้สีน้ำเงินเมทิลลีน (Methylene Blue) ลงไปบนขอบด้านในของปากขอบที่เชื่อมกับแผนฝา ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สีย้อมจะกระจายไปตามขอบ ปล่อยให้แห้งแล้วสำรวจการแทรกซึมของสีย้อมผ่านรอยปิดผนึกโดยฉีกเอาฝากออก สีย้อมที่ใช้จำเป็นต้องใช้สีย้อมฐานน้ำเพราะว่าสีย้อมที่เป็นฐานตัวทำละลายเนื้อพลาสติกทำให้ประเมินผลที่ได้ผิดพลาด

4) การทดสอบด้วยสภาพนำไฟฟ้า (Electroconductivity Test) โดยปกติพลาสติกจะไม่มีสมบัตินำไฟฟ้าที่ความดันไฟฟ้าต่ำๆ ยกเว้นว่าจะมีรูบนผิวของพลาสติกที่มีตัวกลางของตัวนำไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำสมบัติข้อนี้ของพลาสติกมาใช้เป็นวิธีทดสอบหารูรั่วของบรรจุภัณฑ์พลาสติก วิธีการทดสอบด้วยสภาพนำไฟฟ้านี้คิดค้นโดยสมาคมผู้ผลิตอาหารแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Food Processor Association – NFPA) มีอุปกรณ์ทดสอบต่อเป็นวงจรไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 2.12 ใช้ไม้พันสำลี (Swap) ที่ชุบด้วยเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์ Nacl) ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 %

กวาดไปตามผิวของบรรจุภัณฑ์เมื่อใดก็ตามที่รูรั่วกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านทำให้สามารถอ่านค่าความดันกระแสไฟฟ้าได้พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งของรูรั่วได้ด้วย



รูปที่ 2.11 การทดสอบรอยปิดผนึกด้วยการแทรกซึมของสีย้อม [6]



รูปที่ 2.12 การทดสอบหารูรั่วด้วยสภาพนำไฟฟ้า [6]

การทดสอบทั้งแบบไม่ทำลายและแบบทำลายตามที่กล่าวมาแล้วควรทำอย่างต่อเนื่อง โดยมีความถี่ในการทดสอบดังนี้

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

การทดสอบทุกประเภทควรมีการตรวจสอบอย่างเข้มข้นพร้อมๆกันตอนเริ่มการผลิตแต่ละวัน เมื่อใดก็ตามที่มีการหยุดเครื่องหรือมีการเปลี่ยนม้วนของแผ่นฝาหรือเปลี่ยนชุด (Lot) ของภาชนะบรรจุจำต้องมีการดึงตัวอย่างมาตรวจสอบรอยปิดผนึก เมื่อใดที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นจำต้องเอาตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการทดสอบสภาพนำไฟฟ้าและการแทรกซึมของสีย้อม

นอกเหนือจากการทดสอบความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกและของบรรจุภัณฑ์โดยรวมแล้ว ยังมีรายละเอียดการทดสอบที่เกี่ยวข้องในเรื่องอื่นๆ กำหนดโดยองค์การต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น คู่มือการวิเคราะห์ทางวิยาแบคทีเรีย (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 ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสเตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการเกิด Corrosion และไม่ชำรุดหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกาและในหลายประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า Corrosion resistant steel เมื่อไม่ได้ระบุชัดว่าเป็นโลหะผสมชนิดใด และคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น สเตนเลสเกรด 18-8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึง ธาตุที่เจือลงในในเนื้อเหล็กคือ โครเมียมและนิเกิล ตามลำดับ สแตนเลสประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade คือมีใช้ทั่วไปหาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนกประเภทของสเตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304L 316 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสเตนเลสซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สเตนเลสกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless steel จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์ บางๆเครือบผิวอยู่อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless steel กับ ออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless steel เป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่เคลือบผิวออกไปในสภาวะที่ Stainless steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้งเช่น ถ้าสเตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วนแล้วบริเวณรอยนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้

2.7.1 ประเภทของสเตนเลส

โดยทั่วไปจะไม่ทราบว่าสเตนเลสมีกี่ประเภท และมักจะมีการเข้าใจผิดว่าสเตนเลสแท้ต้องแม่เหล็กดูดไม่ติด แต่จริงๆแล้วการที่แม่เหล็กจะดูดติดหรือไม่ติดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสเตนเลส สเตนเลสแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐาน ได้ 5 กลุ่มคือ

1) กลุ่มออสเทนนิติค (Austenitic) หรือสเตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (non – magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8%เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ(Fabrication)และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 10%
2) กลุ่มเฟอริติค (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด(magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% และมีนิกเกิ้ลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย
3) กลุ่มมาร์เทนซิติค (Martensitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด (Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 12-14% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีนิกเกิล สเตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (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 เมกาปาสคาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat treatment)
5) กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่าง โครงสร้างเฟอริติค และออสเทนนิติค มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28% และโมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติค พบว่ามีการใช้งานมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์

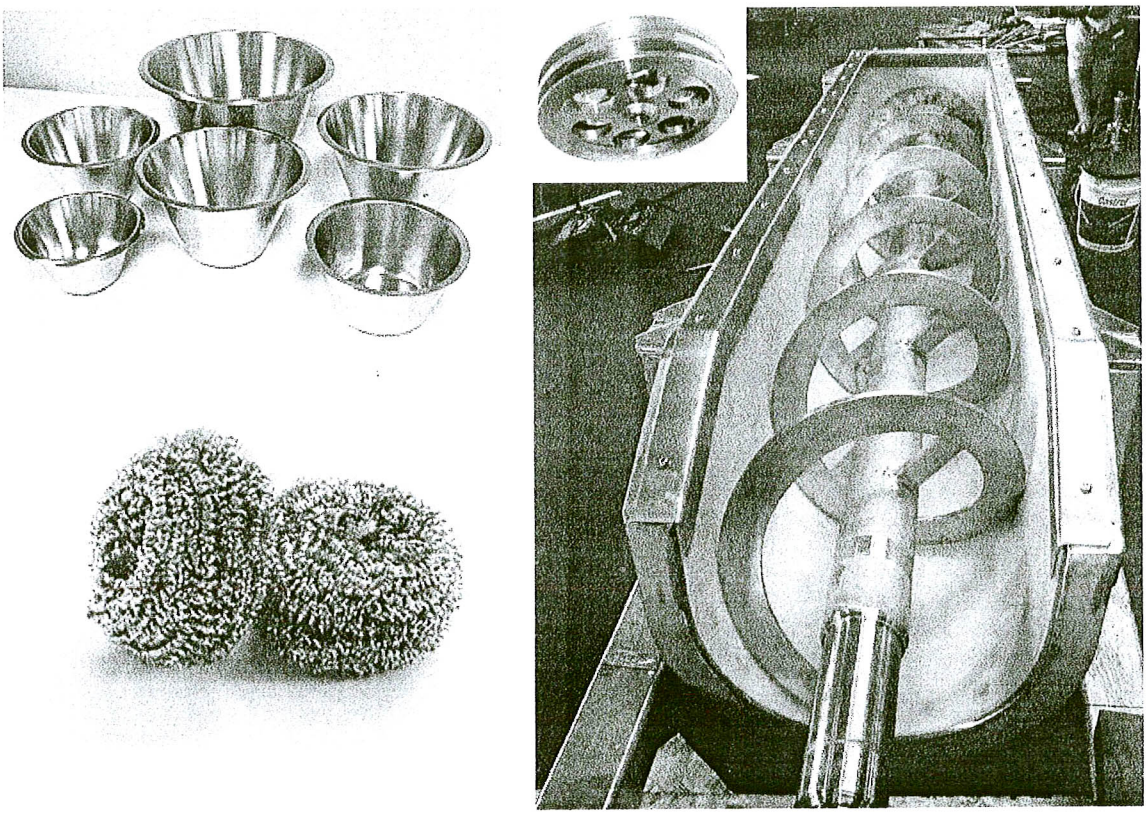
2.7.2 ประโยชน์ของการใช้งานสเตนเลส

- 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 contamiation) ป้องกันการทำ ปฏิกิริยากับสารเร่งปฏิกิริยา
- ต้านทานการขัดถูแบบเปียก (Wet abrasion resistance)

2.7.3 ความต้านทานการกัดกร่อน

เหตุใดสเตนเลสจึงทนต่อการกัดกร่อนได้ โลหะทุกชนิดทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซต์บนผิวโลหะ หรือออกไซต์ ที่เกิดบนผิวเหล็กทั่วไป จะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ และทำให้เกิดสภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อน ที่เราเรียกว่า เป็นสนิม แต่สเตนเลสมีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซต์บนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป กลายเป็นฟิล์มปกป้องหรือพลาสซิฟเลเยอร์ (Passive Layer) ที่เหมือนเกราะป้องกัน การกัดกร่อน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าพาสซิวิตี้ (Passivity) ฟิล์มปกป้องนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นสเตนเลสบางขนาด 1 มม. ฟิล์มหรือพาสซีฟ เลเยอร์นี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวางกระดาษ 1 แผ่น บนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่ปกป้องสเตนเลส จากการกัดกร่อนทั้งมวล หากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพเหมาะสม เมื่อเกิดมีการขีดข่วน ฟิล์มปกป้องนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา ความคงทนของพาสซีสเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของสเตนเลส นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอันได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรด์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณ โครเมียมจะช่วยเพิ่มความ ต้านทาน การกัดกร่อนของสเตนเลส การเติมนิเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนโดยทั่วไป ให้ทนสภาวะกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดินัมจะช่วยเพิ่ม ความต้านทานการกัดกร่อนเฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) ในทางปฏิบัติ สเตนเลสชนิดเฟอร์ริติก มีการใช้งานจำกัดในสภาพการกัดกร่อนปานกลางและในสภาพชนบท ทั้งชนิดเฟอร์ริติกและออสเตนิติกสามารถใช้ทำ อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนได้แต่เนื่องจากชนิดออสเตนิติกสามารถทนการกัดกร่อนได้ดี และทำความสะอาดง่าย จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม นอกจากนี้ชนิดออสเตนิติก

ยังทนการกัดกร่อนจากสารเคมีหลายประเภทได้แก่ กรด, อัลคาลายด์ เป็นต้น ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคมี ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั่วไปและกระบวนการผลิตต่างๆ ตัวอย่างลักษณะการใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิม แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม [7]