

ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและสร้างเครื่องเครื่องบรรจุและปิดผนึกพริกป่นแบบของพลาสติก มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1) อนินท์ มีมนต์ [1,2,3] ได้สร้างเครื่องปิดผนึกด้วยน้ำพลาสติกแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยปิดผนึกด้วยพลาสติกชนิดโพลีพรอพิลีนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 มิลลิเมตร ใช้ฟิล์มพลาสติกโพลีพรอพิลีนสำหรับการปิดผนึกปากด้วยพลาสติก ด้วยความร้อนจากฮีตเตอร์ และตัดฟิล์มออกจากปากด้วยพลาสติกโดยมีระยะขอบเหลือห่างจากปากด้วยพลาสติก 3 มิลลิเมตร โครงสร้างของเครื่องทำจากสแตนเลสสตีล 304 ถูกต้องตามมาตรฐานสำหรับผลิตอาหาร โครงที่ออกแบบและสร้างสามารถปิดผนึกด้วยพลาสติกได้ ครั้งละ 1 ถ้วย โดยสามารถผลิตได้ 250 ถ้วยต่อชั่วโมง

2) บริษัทศูนย์วิจัยกสิกรไทย [4] ได้นำเสนอบทความ เครื่องปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ : เจาะตลาดหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ โดยอ้างถึงการที่รัฐบาลประกาศนโยบายชัดเจนที่จะให้การสนับสนุนการผลิตในระดับ ชุมชนภายใต้โครงการ “หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์” อันจะมีผลต่อการพัฒนาการผลิต และการตลาดสินค้าในท้องถิ่นภาคต่างๆของประเทศอย่างกว้างไกล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธุรกิจอาหารแปรรูปประเภทต่างๆ อันเกิดจากภูมิปัญญาไทย อย่างไรก็ตาม สินค้าที่ผลิตมาจากกลุ่มชุมชนท้องถิ่นจำนวนมากไม่น้อย ยังขาดมาตรฐานด้านการบรรจุภัณฑ์ (Packaging) ชาวบ้านยังใช้วิธีการบรรจุสินค้าแบบดั้งเดิมไม่ถูกต้องตามหลัก สุขอนามัย ทำให้เก็บถนอมอาหารไว้ได้นาน สินค้าจึงมักจะเน่าเสียง่ายและยังไม่เป็นการสร้างแรงดึงดูดใจให้ผู้บริโภคซื้อสินค้าในทันทีที่พบเห็น จากรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ที่ไม่สร้างความประทับใจในเบื้องต้น ดังนั้น การเร่งผลักดันให้ผู้ผลิตสินค้าในท้องถิ่น มีการใช้เครื่องปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ (Sealing Machine) ที่มีคุณภาพอย่างแพร่หลาย จะมีผลอย่างมากต่อการยกระดับมาตรฐานสินค้าให้สามารถเพิ่มยอดขายได้มากขึ้นและยังจะเป็นการขยายตลาดสินค้าของท้องถิ่นให้เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางอีกด้วย

3) ธนรัตน์ แต้วัฒนา [5] ออกแบบและสร้างเครื่องปิดผนึกซองและบรรจุก๊าซไนโตรเจนเพื่อถนอมอาหารซึ่งถือเป็นเรื่องสำคัญซึ่งการถนอมอาหารนั้นมีหลายวิธี โดยเฉพาะอาหารขนมอบกรอบ ฉะนั้นการใช้ก๊าซไนโตรเจนบรรจุลงในหีบห่อจึงเป็นอีกวิธีในการป้องกันการเน่าเสียและลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้ผลิตต้องจัดหาเครื่องจักรที่ทำหน้าที่ปิดผนึกและบรรจุก๊าซไนโตรเจนในเวลาเดียวกัน แต่เครื่องประเภทนี้จะทำงานในระบบอัตโนมัติที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และสร้างเครื่องปิดผนึกซองพร้อม

บรรจุก๊าซไนโตรเจน โดยสร้างเครื่องมีขนาด 30 x 35 x 45 เซนติเมตร ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยระบบนิวแมติกส์ประณมไฟฟ้าการปิดผนึกด้วยแท่งความร้อนโดยมีชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยการตั้งเวลา และมีชุดควบคุมความดันของก๊าซไนโตรเจนที่บรรจุ โดยบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับเครื่องจะเป็นซองอลูมิเนียมฟอยล์สำเร็จรูปปิดผนึกมาแล้ว 3 ด้าน จากผลการทดลองพบว่าเครื่องที่สร้างนี้มีความสามารถในการปิดผนึกของประมาณ 550 ซองต่อชั่วโมง (เดินต่อเนื่อง) ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมการใช้งานที่ 120 องศาเซลเซียส และต้นทุนวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างประมาณ 32,000 บาท

4) มาโนช ริทินโย และสุทัศน์ ยอดเพชร [6] ออกแบบและสร้างเครื่องปิดผนึกถุงพลาสติกโดยใช้ความร้อนและใช้ลูกรีดเป็นอุปกรณ์ปิดผนึก ซึ่งมีความกว้างของรอยปิดผนึกไม่เกิน 15 มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์ AC ขนาด 220 V แรงขับ 1 แรงม้า ขับเคลื่อนสายพานส่งกำลัง สามารถประยุกต์การทำงานได้ 2 แบบ คือ แบบแนวนอนและแบบแนวตั้ง ซึ่งปิดผนึกถุงพลาสติกชนิด PP และ PE มีขนาดความกว้าง 1-12 นิ้ว ความยาว 2-12 นิ้ว และมีความหนาไม่เกิน 0.20 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่า เครื่องปิดผนึกถุงพลาสติกแบบลูกรีดสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์และปิดผนึกถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 5x8 นิ้ว ได้ 233 ห่อต่อชั่วโมง โดยมีขนาดความกว้าง รอยปิดผนึก 14.91 มิลลิเมตร มีการรั่วซึมของรอยปิดผนึกถุงพลาสติก 9 เปอร์เซ็นต์ สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์และปิดผนึกถุงพลาสติกชนิด PE ขนาด 5x8 นิ้ว ได้ 232 ห่อต่อชั่วโมง โดยมีขนาดความกว้างรอยปิดผนึก 14.88 มิลลิเมตร มีการรั่วซึมของรอยปิดผนึกถุงพลาสติก 8 เปอร์เซ็นต์

5) นายสุพจน์ ไกรนรา และนางสาวสุพิศษา เพ็ชรรอด [7] พัฒนาเครื่องปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อนแบบเข้าหมุน อาศัยหลักการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อนจากแท่นโลหะทรงกระบอกซึ่งมีผิวหน้ากลม โดยใช้แรงดันลมกดทับลงมาจนสัมผัสกับฟิล์มพลาสติก แผ่นฟิล์มก็จะเกิดการอ่อนตัว และหลอมติดกับถ้วยพลาสติก ซึ่งถ้วยพลาสติกจะวางอยู่บนเข้าหมุน (Rotary Mold) และเข้าหมุนจะมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับการกดทับของแท่นโลหะร้อน ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) และควบคุมเวลาในการปิดผนึกและเวลาในการหมุนของเข้าหมุนด้วยรีเลย์ควบคุมเวลา (Time Relay) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปิดผนึกคืออุณหภูมิ เวลา ความดัน ชนิดของฟิล์มพลาสติกและถ้วยพลาสติกโดยใช้ถ้วยพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน และฟิล์มลามิเนตชนิด (Oriented Polypropylene/Cast Polypropylene (OPP20/ CPP30) และ Oriented Polypropylene/Metallize Cast Polypropylene (OPP28/MCPP25) ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อขาด (ASTM D882) เป็น 39.72, 48.69 MPa อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ASTM E96) เป็น 1.49, 0.84 กรัม/ตารางเมตร/24 ชั่วโมง และค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นฟิล์ม (Bond Strength) เป็น 1.44 และ 0.36 นิวตัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการปิดผนึกด้วยความร้อนสำหรับถ้วยพลาสติกโพลิโพรพิลีนกับฟิล์มลามิเนตชนิด OPP20 / CPP30 ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 3 วินาที และความดัน

3 บาร์ สำหรับการปิดผนึกด้วยความร้อนด้วยพลาสติกโพลีโพรพิลีนกับฟิล์มลามิเนตชนิด OPP28/MCPP25 ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 3 วินาที และความดัน 3 บาร์ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนมีค่าร้อยละ 76

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

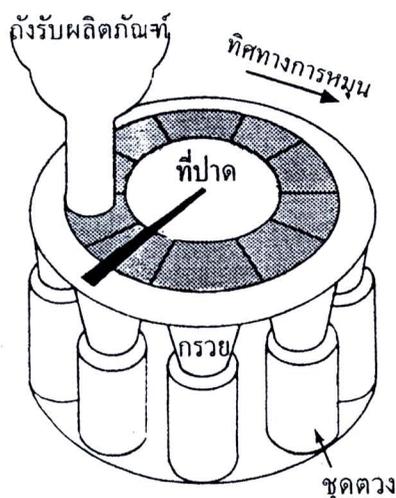
2.2.1 ระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ของแห้ง

ประเภทของอาหารแปรรูปที่แบ่งตามลักษณะทางด้านกายภาพ แบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ผลิตภัณฑ์แห้งและเหลว ส่วนของผลิตภัณฑ์แห้งครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ที่เป็นชิ้น เม็ด ก้อน แผ่นหรือเกล็ด ซึ่งสามารถทำการนับและไหลตกด้วยตัวเองได้ มีความหนาแน่นคงที่ซึ่งสะดวกในการบรรจุและตวงวัด ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่สามารถไหลตกด้วยตัวเองอย่างอิสระ และมีลักษณะจับกันเป็นกลุ่ม หรือเป็นก้อน หรือเป็นผงละเอียด ทำให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีความหนาแน่นไม่คงที่ ไม่สามารถบรรจุโดยใช้แรงโน้มถ่วงได้ ต้องอาศัยระบบเกลียวช่วยในการส่งผ่านท่อบรรจุ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นชิ้น เช่น มันฝรั่งทอด ซึ่งแตกหักง่าย การใช้ระบบบรรจุป้อนแบบสั้นสะเทือนและบรรจุแบบน้ำหนักสุทธิต่อจะเป็นการบรรจุที่เหมาะสมกว่า

ระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ของแห้งโดยทั่วไป มี 4 วิธีหลักๆ คือ

1) การบรรจุโดยปริมาตรระบบด้วยดวง

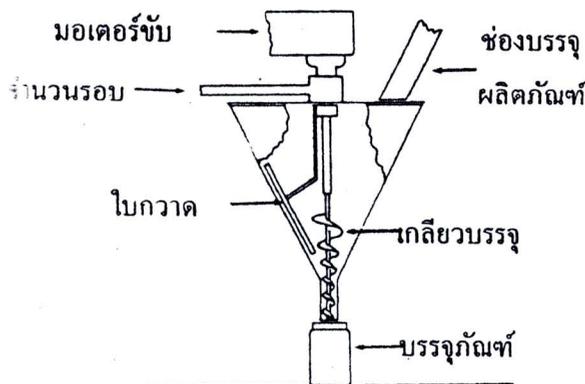
การบรรจุแบบนี้เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดของเครื่องจักรในการบรรจุแบบปริมาตรจะประกอบไปด้วยจานเรียบที่มีด้วยดวงวางตั้ง ซึ่งหมุนไปจนเมื่อบรรจุแต่ละถ้วยเสร็จเรียบร้อยแล้ว เมื่อหมุนมาถึงอีกด้านหนึ่งจะปล่อยผลิตภัณฑ์ออกจากด้วยดวง วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ลงทุนไม่สูงและมีค่าใช้จ่ายในการดูแลต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การบรรจุแบบใช้ด้วยดวงวัด [8]

2) การบรรจุโดยปริมาตรระบบใช้เกลียว

ระบบนี้เป็นรูปแบบหนึ่งของการบรรจุแบบปริมาตรซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ไหลด้วยตนเองลำบาก ตัวอย่างเช่น น้ำตาลทรายแดง จึงจำเป็นต้องมีเกลียวในถังเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยในการจ่ายผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จ่ายจะแปรตามความเร็วในการหมุนของเกลียว และช่องว่างระหว่างแต่ละเกลียวที่นำส่งผลิตภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2.2 การบรรจุแบบใช้เกลียว [8]

3) การบรรจุระบบน้ำหนักสุทธิ

ระบบนี้มีหน่วยชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์โดยทั่วไปแต่ละสถานีของเครื่องบรรจุระบบชั่งน้ำหนักสุทธิจะมีความเร็วไม่เกิน 20 – 22 ครั้งต่อนาที

4) การบรรจุระบบนับจำนวน

การบรรจุระบบนับจำนวนมีหลายวิธีการ เช่น

- การนับแบบใช้ตาไฟฟ้าจะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ประเภทขนมปัง ขนมปังขบเคี้ยว หรือสินค้าชิ้นใหญ่
- การนับโดยใช้แผ่นดิสก์ที่เจาะรู (Rotating Perforated Disc) เป็นวิธีการที่ง่ายและไม่แพง จึงเหมาะสมที่จะใช้กับการนับผลิตภัณฑ์จำพวกลูกกวาด
- การนับโดยใช้ราง (Chute) และท่อ (Channel) ซึ่งเป็นวิธีการนับที่นิยมมากที่สุดสำหรับลูกอมแบบแข็งซึ่งมีขนาดคงที่ ผลิตภัณฑ์จะเดินทางผ่านช่องรางซึ่งมีการตรวจ วัด จำนวนที่ถูกต้องจากระยะทางที่ลูกอมเรียงกันตามช่องรางก่อนบรรจุในบรรจุภัณฑ์

การบรรจุทั้งระบบของเหลวและระบบแบบแห้งดังที่กล่าวมาแล้วนี้ สามารถนำมาใช้กับบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆกันได้ เช่น กระจป่อง ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และซอง เป็นต้น ความ

สลับซับซ้อนของเครื่องบรรจุแปรผันตามความเร็วที่ต้องการใช้ในการบรรจุและรูปทรงของภาชนะบรรจุเช่น รูปทรงกลม ทรงเหลี่ยมหรือเป็นแบบของ

2.2.2 พลาสติกในงานบรรจุภัณฑ์

ปัจจุบันมีพลาสติกที่ใช้กันอยู่หลายกลุ่ม และต่อกลุ่มยังจำแนกตามน้ำหนักโมเลกุลและความหนาแน่น เช่น โพลีเอททีลีน (Polyethylene, PE) สามารถแยกได้ตั้งแต่ LLDPE (Linear Low Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), MDPE (Low Density Polyethylene) และ HDPE (High Density Polyethylene) พลาสติกแต่ละประเภทยังสามารถเปลี่ยนสมบัติโดยการทำปฏิกิริยากับพลาสติกอีกตัวให้เกิดพลาสติกใหม่เกิดขึ้น นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจะได้พลาสติกที่มีสมบัติแตกต่างกัน เช่น Polypropylene (PP) กับ Oriented Polypropylene (OPP) เป็นต้น

การเรียกชื่อพลาสติกยังสร้างความสับสนพอสมควร เพราะนอกจากเรียกชื่อตามสูตรทางเคมีแล้ว ยังมีชื่อทางพาณิชย์อีกด้วย อย่างไรก็ตามในวงการพลาสติกมักจะเรียกชื่อตามคำย่อ ดังแสดงดังตารางที่ 2.1 ได้รวบรวมชื่อย่อที่ใช้เรียกพลาสติกชนิดต่างๆ ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ พร้อมทั้งชื่อทางพาณิชย์ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก ส่วนตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิดที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร

ตารางที่ 2.1 ชื่อย่อ, ชื่อเคมี และชื่อทางพาณิชย์ของพลาสติกที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหาร [8]

ชื่อย่อ	ชื่อเคมี	ชื่อทางพาณิชย์
ABS	Acrylonitrile-butadiene-styrene	
CA	Cellulose acetate	
CPET	Crystallized Polyethylene terephthalate	Aclar
CTFE	Chlorotrifluoroethylene	
EEA	Ethylene-ethyl acrylate	
EPS	Expanded polystyrene	
EVA	Ethylene-vinyl acetate	Elvax
EVAl/EVOH	Ethylene-vinyl alcohol	
HIPS	High impact polystyrene	
LDPE	Low Density Polyethylene	
LLDPE	Linear Low Density Polyethylene	
OPP	Oriented Polypropylene	
PA	Polyamide	Nylon
PC	Polycarbonate	
PE	Polyethylene	
PET	Polyethylene terephthalate	Polyester, Melinex, Mylar
PETG	Polyethylene terephthalate glycol	
PP	Polypropylene	
PS	Polystyrene	
PTFE	Polytetrafluoroethylene	Teflon
PUR	Polyurethane	
PVA	Polyvinyl acetate	
PVAL	Polyvinyl alcohol	
PVC	Polyvinyl chloride	
PVDC	Polyvinylidene chloride	Saran
SAN	Styrene acrylonitrile	

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพลาสติกที่ย่อยใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร [8]

วัสดุ	อัตราการซึมผ่าน				ความทนทานต่อสารเคมี			อุณหภูมิการใช้ (C°)	ความใส	การพิมพ์	การดูดฝุ่น	ความเหนียว (มิลลิกรัม x เมตร)	ทนต่อการกระแทก g's	ทนต่อการฉีกขาด (นิวตัน x เมตร)	ความเปราะ g's
	ไอน้ำ (กรัม.ซม./ตรม./วัน)	O ₂ (ลบ.ซม./ตรม./วัน)	N ₂ (ลบ.ซม./ตรม./วัน)	CO ₂ (ลบ.ซม./ตรม./วัน)	กรด	ด่าง	สารละลาย								
Polyethylene, (LDPE)	1.3	550	180	2,900	ดี	ดี	ดี	-70 ถึง 180	ใส	พอใช้	สูง	10	20	100	400
Polyethylene, (HDPE)	0.3	600	70	450	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	-20 ถึง 250	ใส	พอใช้	สูง	150	10	30	100
Polypropylene	0.7	240	60	800	ดี	ดีมาก	ดีมาก	-20 ถึง 200	ใส	ดี	สูง	200	1	25	300
Polyester (PET)	0.7	14	0.7	16	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	-70 ถึง 230	ใส	พอใช้	ปานกลาง	550	4.8	40	100
Polyvinyl chloride	4	150	NA	970	ดีมาก	ดีมาก	พอใช้	-50 ถึง 200	ใส	ดี	สูง	378	8	90	20
Polystyrene	8	310	50	1,050	ดี	ดีมาก	เหลว	-80 ถึง 175	ใส	ดี	สูง	750	0.3	-	-

ชนิดของพลาสติกในงานบรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วย

1) โพลีเอททีลีน (Polyethylene, PE)

โพลีเอททีลีน เป็นพลาสติกที่มีการใช้งานมากที่สุด และราคาถูก เนื่องจากโพลีเอททีลีนมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ โพลีเอททีลีนผลิตจากกระบวนการโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) ของก๊าซเอททีลีน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง โดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal catalyze) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้โพลีเอททีลีนที่ได้มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โพลีเอททีลีน แบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่น คือ

1.1) โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene; LDPE) ความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1.2) โพลีเอททีลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene; MDPE) ความหนาแน่น 0.926-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1.3) โพลีเอททีลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE) ความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

LDPE เป็นพลาสติกที่ใช้มากและชื่อสามัญเรียกว่าถุงยาง มักจะใช้ทำถุงฟิล์มพลาสติกหุ้มและฟิล์มยืด ขวดน้ำ และฝาขวด เป็นต้น เนื่องจากยึดตัวได้ดี ทนต่อการซึมละลายและการฉีกขาด พร้อมทั้งสามารถใช้ความร้อนเชื่อมติดปิดผนึกได้ดี โครงสร้างของโพลีเอททีลีนจะสามารถป้องกันความชื้นได้ดีพอสมควร แต่จุดอ่อนของ LDPE คือ สามารถปล่อยไขมันซึมผ่านได้ง่าย แต่ทนต่อกรดและด่างต่างๆ ไป นอกนี้ LDPE ยังปล่อยให้ก๊าซซึมผ่านได้ง่าย ด้วยเหตุนี้อาหารที่ไวต่ออากาศ เช่น ของขบเคี้ยวและของทอด เมื่อใส่ถุงยางธรรมดา คุณภาพอาหารจะเปลี่ยนไปเพียงไม่กี่วัน LDPE ยังมีสมบัติดูดฝุ่นในอากาศมาเกาะติดตามผิว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE เมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเปราะไปด้วยฝุ่น

LLDPE เป็นการผลิตภายใต้สภาวะความดันต่ำ และเริ่มจำหน่ายในตลาดเมื่อปลายปี ค.ศ. 1970 และในปี ค.ศ. 1995 ตลาดโลกของ LLDPE มีมากถึง 10,000 ล้านกิโลกรัม โดยนิยมใช้เป็นชั้นป้องกันความชื้นโดยการเคลือบกับ PE เบื้องหลังแห่งความสำเร็จ คือ มีคุณสมบัติที่เหนือกว่า LDPE ธรรมดา ส่งผลให้ LLDPE แย่งตลาดของ LDPE แต่จุดอ่อนของ LLDPE คือ ขุ่นกว่า LDPE จากสมบัติดังกล่าวจึงนิยมผสมเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน โดยผสมในอัตราส่วน 50/50

HDPE ประมาณ 1/5 ของโพลีเอททีลีนที่จะใช้ผลิตเป็น HDPE และส่วนใหญ่จะเป่าเป็นขวดเนื่องจากมีความหนาแน่นสูง ทำให้ HDPE มีความเหนียวและทนต่อการซึมผ่านได้ดีกว่าโพลีเอททีลีนที่มีความหนาแน่นต่างๆ กัน แต่ยังไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีนัก ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จากการใช้ HDPE มาแทน LDPE น้ำหนักของขวดสามารถลดลงได้มากกว่า 40%

เนื่องจากสามารถเป่าขวดที่มีผิวบางกว่า นอกจากขวดแล้ว HDPE ยังสามารถเป่าเป็นฟิล์ม หรือทำเป็นถาดที่ไม่ต้องการความใสมากนัก

การใช้งานของโพลีเอททีลีนกับผลิตภัณฑ์อาหาร

- ใช้ผลิตเป็นถุงร้อน (HDPE) และถุงเย็น (LDPE) สำหรับการใช้งานทั่วไป สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป ข้อสังเกตถุงร้อนที่ผลิตจาก HDPE จะมีสีขาวขุ่น
- ใช้ห่อหรือบรรจุอาหารได้เกือบทุกชนิดโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ไม่ควรใช้ LDPE กับอาหารร้อน
- นิยมใช้ทำถุงบรรจุนมปิ้ง เนื่องจากโพลีเอททีลีนป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี จึงช่วยป้องกันมิให้ขนมปิ้งแห้ง เนื่องจากสูญเสียความชื้นออกไป นอกจากนี้ราคาของโพลีเอททีลีนไม่สูงเกินไปเมื่อเทียบกับราคาของนมปิ้ง
- นิยมใช้ทำถุงบรรจุผักและผลไม้สด เนื่องจากโพลีเอททีลีนยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี ทำให้มีก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาเพียงพอให้พืชหายใจ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชคายออกมาก็สามารถซึ่งผ่านออกไปได้ง่าย ในบางกรณีจำเป็นต้องเจาะรูที่ถุงเพื่อช่วยระบายไอน้ำที่พืชคายออกมา
- นิยมใช้ LDPE เป็นชั้นสำหรับการปิดผนึกด้วยความร้อน เนื่องจากกระดาษและแผ่นพลาสติกนิยมนำมาใช้เป็นถุงหรือซองบรรจุอาหาร ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้จึงนิยมนำ LDPE มาประกบติดกับวัสดุต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ LDPE อยู่ชั้นในสุด และทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับปิดผนึกด้วยความร้อน ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ซองบะหมี่สำเร็จรูป แผ่นปิดถ้วยโยเกิร์ต กล่องนมยูเอชที เป็นต้น
- ฟิล์มโพลีเอททีลีน ชนิดยืดตัวได้ (Stretch films) นิยมใช้ห่ออาหารสดพร้อมปรุง เนื้อสด และอาหารทั่วไป รูปแบบที่นิยมใช้ คือ ใช้ถ้ามรองอาหารแล้วห่อด้วยฟิล์มยืดตัวได้
- โพลีเอททีลีนไม่นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนย ถั่วทอด ขนมขบเคี้ยว

2) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

โพลีโพรพิลีน มักจะรู้จักกันในนามของถุงร้อน ด้วยสมบัติเด่นของโพลีโพรพิลีน ซึ่งมีความใสและป้องกันความชื้นได้ดี มากกว่าครึ่งหนึ่งของโพลีโพรพิลีนนิยมใช้ในรูปแบบฟิล์ม อย่างไรก็ตามการป้องกันอากาศซึมผ่านของโพลีโพรพิลีนยังไม่ดีเท่าพลาสติกบางชนิด เนื่องจากช่วงอุณหภูมิในการหลอมละลายมีช่วงสั้นทำให้โพลีโพรพิลีนเชื่อมติดได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ฟิล์มประเภท Oriented Polypropylene (OPP) ที่มีการจัดเรียงโมเลกุลในทิศทางเดียวกันจะไม่สามารถเชื่อมติดได้เลย สมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของโพลีโพรพิลีน คือ มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารสำหรับบรรจุอาหารในขณะร้อน (Hot-fill)

การใช้งานของโพลีโพรพิลีน กับผลิตภัณฑ์อาหาร

- ใช้บรรจุอาหารร้อน เช่น ถูร้อนชนิดใส
- ใช้บรรจุอาหารที่ต้องผ่านความร้อนในการฆ่าเชื้อ โดยที่โพลีโพรพิลีนจะเป็นองค์ประกอบหนึ่งของวัสดุที่ใช้ผลิตสินค้าประเภทนี้ ซึ่งนิยมเรียกว่า Retort Pouch ซองนี้สามารถใช้แทนกระป๋องโลหะได้บางครั้งเรียกว่า Flexible Can
- ใช้ทำถุงบรรจุผักและผลไม้
- ใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่สำเร็จรูป และอาหารที่มีไขมันอายุการเก็บรักษาไม่สูง เช่น คุกกี้ ถั่วทอด เป็นต้น
- ใช้ทำกล่องอาหาร ลัง ถาด และตะกร้า



บรรจุภัณฑ์ขนส่งอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้งานโพลีโพรพิลีนอย่างมาก คือ ถุงพลาสติกชนิดสาน (Woven Sacks) ที่มีขนาดบรรจุมาตรฐาน 50 กิโลกรัมซึ่งทนทานต่อการใช้งาน วิวัฒนาการทางด้านนี้ได้ก้าวไปสู่การผลิตถุงขนาดใหญ่ที่บรรจุสินค้าได้ ที่เรียกว่า FIBC (Flexible Intermediate Bulk Containers) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งอาจจะมี 1-4 หูหิ้ว



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างถุง FIBC [8]

3) โพลีเอททิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET)

โพลีเอททิลีนเทเรฟทาเลต เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อการบรรจุน้ำอัดลม โดยเฉพาะสมบัติด้านความใสแวววับเป็นประกาย ทำให้ได้รับความนิยมในการบรรจุน้ำมันพีช น้ำดื่ม นอกจากนี้โพลีเอททิลีนเทเรฟทาเลตเมื่ออยู่ในรูปแบบฟิล์มจะมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... 28 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน..... 246409
เลขเรียกหนังสือ.....

ก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงมีการนำไปใช้เคลือบหลายๆ ชั้นสำหรับผลิตของบรรจุอาหารที่มีความไวต่อก๊าซ เช่น อาหารขบเคี้ยว เป็นต้น นอกจากนี้ฟิล์มโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลต ยังมีสมบัติเด่นอีกหลายประการ เช่น ทนแรงยึดและแรงกระแทกเสียดสีได้ดี จุดหลอมเหลวสูง แต่ข้อด้อยคือ ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อน และฉีกยาก ทำให้โอกาสใช้ฟิล์มโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลตอย่างเดียวยังเป็นไปได้น้อยมาก แต่มักใช้เคลือบชั้นกับฟิล์มพลาสติกชนิดอื่น

นอกจากขวดและฟิล์มแล้วโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลต ยังสามารถขึ้นรูปเป็นถาด ด้วยการพัฒนาโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลต ให้โมเลกุลตกผลึกกลายเป็น CPET (Crystallized Polyethylene Tereohthalate) ซึ่งทนอุณหภูมิได้สูงเหมาะสำหรับผลิตเป็นถาดบรรจุภัณฑ์อาหาร ใช้ได้ทั้งเตาอบและไมโครเวฟ

พิจารณาจากในแง่ของสิ่งแวดล้อมโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลต นับได้ว่าเป็นพลาสติกเพียงไม่กี่ประเภทที่สามารถเปลี่ยนกลับมาใช้งานใหม่กลับมาเป็นเม็ดพลาสติกที่เป็น โมโนเมอร์ และทำการผลิตใหม่ได้ด้วยกระบวนการ Depolymerising วัสดุโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลตที่มีคุณภาพดีมูลค่าค่อนข้างสูง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อผลิตสินค้าอย่างอื่นได้ เช่น ในเมืองไทยมีการนำเอาขวดโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลตมาผลิตใหม่เป็นพรม ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ขวดโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลตได้รับความนิยมใช้มากขึ้น และแย่งตลาดของขวดพีวีซี

4) โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC)

โพลีไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) เป็นพลาสติกที่สามารถแปรเปลี่ยนสมบัติได้ โดยการเติมสารเคมีปรุงแต่ง (Additives) ต่างๆ เช่น Plasticizer, Modifier และ Fillers ทำให้พีวีซีนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ มากกว่าบรรจุภัณฑ์ โดยพีวีซีมักใช้ในรูปแบบของขวด ฟิล์ม และแผ่น แม้ว่าครั้งหนึ่งเคยมีข่าวจะให้เลิกใช้พีวีซีในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีสารตกค้างของไวนิลคลอไรด์ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดมะเร็งในตับได้ แต่วิวัฒนาการทางการผลิตในปัจจุบัน ทำให้สามารถผลิตพีวีซีที่มีไวนิลคลอไรด์ตกค้างน้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพีวีซีนี้ปลอดภัยสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร

ในแง่ของการผลิตฟิล์มพีวีซีจะผลิตยากกว่าฟิล์มโพลีเอททีลีนหรือโพลีพรอพิลีน จุดเด่นของฟิล์มพีวีซี คือ ทนต่อน้ำมันและกันกลิ่นได้ดี ใส แข็งแรง ทนทานต่อการเสียดสี ในขณะที่ความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซขึ้นอยู่กับความชื้นอยู่ในชั้นปานกลาง อุณหภูมิการใช้งานพีวีซีไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส และถ้าอุณหภูมิการใช้งานเกินกว่า 137 องศาเซลเซียส จะเริ่มเปลี่ยนคุณภาพ ขวดพีวีซีสามารถใช้แทนขวดแก้วได้เนื่องจากเบาและแตกไม่แตก แต่ในระยะหลังถูกแย่งตลาดโดยโพลีเอททีลีนเทรฟทาเลต เนื่องจากเหตุผลทางด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวมาแล้ว ส่วนแผ่นพีวีซีมักใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบการ์ด ประเภทบลิสเตอร์แพ็ค เนื่องจากมีความใสและเหนียว

การใช้งานของพีวีซีกับผลิตภัณฑ์อาหาร

- นิยมใช้ทำฟิล์มยืดสำหรับห่อเนื้อสด ผักและผลไม้สด เนื่องจากความใสและมันวาว ทำให้เห็นผลิตภัณฑ์ได้ดี และอัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสม
- นิยมใช้ทำถาดบรรจุอาหารแห้ง เช่น ขนมปังกรอบ คุกกี้ ช็อกโกแลตและอื่นๆ เพื่อแบ่งเป็นสัดส่วนและป้องกันการแตกหัก
- นิยมใช้ทำถาดหรือกล่องบรรจุอาหารสด
- นิยมใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันพืชปรุงอาหาร

5) โพลีสไตรีน (Polystyrene, PS)

โพลีสไตรีน เป็นพลาสติกที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) ให้เป็นรูปถ้วยหรือถาด ในกรณีที่ใช้ลมเป่า (Blowing agent) โพลีสไตรีนจะสามารถผลิตออกมาเป็นโฟมที่เรียกว่า EPS ซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุป้องกันการสั่นกระแทก (Cushioning) เมื่อทำเป็นฟิล์มโพลีสไตรีนจะมีความใสแวววับเป็นประกาย แต่เนื่องจากฉีกขาดง่ายและป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ ฟิล์มโพลีสไตรีนจึงจำกัดการใช้งานอยู่เพียงการใช้ห่อสินค้า เช่น ผลไม้ ดอกไม้ เป็นต้น หรือทำเป็นลิสเตอร์แพ็ค ถาดที่ขึ้นรูปจากแผ่นโพลีสไตรีนจะมีความใสและแข็งแรงพอสมควร ในสภาวะปกติโพลีสไตรีนจะเปราะจึงมีการพัฒนาโดยการเติมสารบิวตะไดอีน (Butadiene) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงซึ่งรู้จักกันในนามของ HIPS (High Impact Polystyrene)

การใช้งานของโพลีสไตรีนกับผลิตภัณฑ์อาหาร

- นิยมใช้ทำช่องหน้าต่างของกล่องกระดาษ
- ใช้ห่อผัก ผลไม้สด และดอกไม้สด เนื่องจากความใส และยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ง่าย
- ใช้ทำโฟมทั้งเป็นภาชนะบรรจุและแผ่นฉนวนกันความร้อน
- นิยมใช้ทำถ้วย ถาด หรือแก้วน้ำสำหรับใช้ครั้งเดียว
- นิยมใช้ทำถาดหลุมสำหรับขนมปังกรอบ คุกกี้ ช็อกโกแลต และอื่นๆ ก่อนบรรจุใส่กล่อง

บรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ต้องให้ความระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยและการเลือกใช้มากที่สุด โดยเฉพาะใช้ในการบรรจุอาหารร้อน หรือต้องไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนซึ่งอาจเป็นกระบวนการฆ่าเชื้อ การปรุงสุก หรือการอุ่นอาหารพร้อมกับบรรจุภัณฑ์อันตรายที่อาจเกิดจากการใช้ภาชนะพลาสติกอย่างไม่ถูกต้อง มีสาเหตุสำคัญมากจากการแพร่กระจายของสารจากภาชนะไปสู่อาหาร การแพร่กระจายนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและพลาสติกที่ใช้ พร้อมทั้งสภาวะบรรยากาศที่อยู่รอบบรรจุภัณฑ์ การเลือกใช้พลาสติกต้องเลือกชนิดที่

ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารและเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ต้องผ่านการนึ่ง หรือต้ม หรืออุ่นในเตาไมโครเวฟจะต้องทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดี เป็นต้น การแพร่กระจายของสารจะได้ เกิดได้เร็วขึ้นเมื่อถูกความร้อน ดังนั้นหากผู้ประกอบการไม่แน่ใจในคุณภาพของภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้หรือทำการทดสอบโดยการนำอาหารไปอุ่นหรือปรุงสุกในบรรจุภัณฑ์พลาสติก ถ้าเกิดการอ่อนตัวหรือภาชนะเสียรูปร่าง หรือพลาสติกหลอม ก็ไม่ควรจะนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นมาทำการบรรจุอาหาร เพราะอาจจะเกิดอันตรายจากสารปนเปื้อนที่แพร่กระจายมาจากบรรจุภัณฑ์ได้

2.2.3 ความร้อนที่ใช้สำหรับการซีลถุงพลาสติก

การซีลถุงพลาสติกนี้พลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ทำมาจากพลาสติกประเภท PE และ PP รอยซีล (Hot track) มีความสำคัญมากคือ รอยซีลต้องสามารถป้องกันอากาศภายนอก ที่จะเข้าไปภายในถุงได้ ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้ผนึกด้วยความร้อน แสดงดังตารางที่ 2.3

ความสะอาดของปากถุงเวลาซีลก็มีความสำคัญต่อความสนิทแน่นของรอยปิดผนึก ปัญหาที่พบส่วนใหญ่เกิดจากไฟฟ้าสถิตในฟิล์ม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในเกาะติดกับผิวฟิล์ม ทำให้เกิดรูรั่วที่รอยปิดผนึกไว้ ลวดลายบนผิวของแผ่นให้ความร้อน ก็มีผลต่อความสนิทแน่นของรอยปิดผนึกเช่นกัน คือรอยปิดผนึกแนวตั้งที่มีลายตามขวาง จะมีการรั่วมากที่สุด ส่วนลายตามยาว จะให้รอยปิดผนึกที่สนิทแน่นมากที่สุด

อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งทำหน้าที่ให้ความร้อน โดยจะประกอบอยู่กับวัสดุหรืออุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เตารีด หม้อหุงข้าว

หลักการทำงานของอุปกรณ์ทำความร้อน คือ เมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทำความร้อนจะมีลวดนิโครม ซึ่งมีคุณสมบัติต้านทานสูงกว่าขดลวดทองแดง 50 เท่า ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่รับมาให้เป็นความร้อน ความร้อนที่ได้มาจะนำไปใช้กับอุปกรณ์ใช้งานอื่น ๆ ค่าของความร้อนขึ้นอยู่กับค่าของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กำลังไฟฟ้ามี่หน่วยเป็น วัตต์

ตารางที่ 2.3 ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้ผนึกด้วยความร้อน [5]

Film	Melting Point (°C)	Softening Point (°C)	Sealing Temperature Range (°C)
LDPE	107	98	110-150
MDPE	117	107	120-150
LLDPE	121	100	125-150
EVA	92	74	95-150
PP(Homo)	160	152	145-155
PP(Block)	159	150	140-150
PVDC	190	-	110-160
Lonomer	120	82	90-200

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสารโดยไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$Q = kA \frac{(T_1 - T_2)}{X} \quad (2.1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที, w

k = คำนีการนำความร้อน, W/m·K (ดังแสดงในตารางที่ 2.1)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน, m²

T_1, T_2 = อุณหภูมิที่สูงและต่ำที่ผิวแต่ละด้าน, °K

X = ความหนาของแผ่นراب, m

ตารางที่ 2.4 คำนีการนำความร้อนของวัสดุบางชนิด [5]

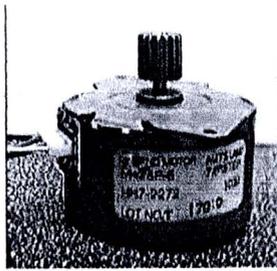
ชนิดของวัสดุ	สภาพการนำความร้อน (k)
ทองแดง	386
ทองเหลือง	111
อลูมิเนียม	204
เหล็กกล้าคาร์บอน	54
หินอ่อน	2.1-0.8
พลาสติกใส	0.2-0.3
อากาศ	0.02

2.2.4 สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor)

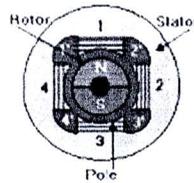
สเต็ปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ลักษณะที่นำมามอเตอร์ไปใช้ จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ

หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ มีลักษณะคือ เมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลา เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีสเต็ปมอเตอร์ คือสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนได้ด้วยตัวเลข

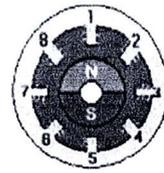
(เป็นองศาหรือระยะทาง) อย่างละเอียดโดยใช้สัญญาณที่สร้างจากคอมพิวเตอรฺ์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะของสเต็ปมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.4 สเต็ปมอเตอร์ [9]



(a) ชนิด 4 ขั้ว



(b) ชนิด 8 ขั้ว

รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของสเต็ปมอเตอร์ [9]

สเตเตอร์ (Stator) โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์เป็นโครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กลงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีขดลวดพันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

ในที่นี้ ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของ Step ต่อวงจรรอบมากขึ้นตามด้วย โดยลักษณะการนำไปใช้สเต็ปมอเตอร์ ใช้งานลักษณะระบบเปิด (Open Loop System) คือ สเต็ปมอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา (Feed back) แต่หากต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอน จะต้องมีตัวบอกตำแหน่งคอยทำการป้อนค่ากลับไปยังระบบ เพื่อตรวจสอบว่า ตำแหน่งปัจจุบันถูกต้องหรือผิดพลาดไป วิธีที่นิยมใช้กับ สเต็ปมอเตอร์ ก็คือการนำ Limit Switch ไปติดตามตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ สเต็ปมอเตอร์ เริ่มหมุนจนไปถึงตำแหน่งของสวิทช์ ก็จะเกิดการป้อนกลับไปยังระบบ ทำให้รู้การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ตลอดเวลา

สเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เชิงกลทางไฟฟ้า อาศัยข้อมูลแบบไบนารีเป็นอินพุท (Input) และได้การเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นเอาท์พุท (Out put) โดยจะหมุนทีละสเต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1 - 30 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ สเต็ปมอเตอร์โดยสัญญาณ Binary Pulse ที่จ่ายให้กับขดลวดที่สเตเตอร์จะทำให้เกิดแรงผลักแก่แกนหมุน (Rotor) ให้หมุนไป สเต็ปมอเตอร์มีขดลวดหลายชุดเรียกว่าเฟส (Phase) ดังนั้นเมื่อป้อนสัญญาณที่ต่อเนื่องกันเป็นลำดับของไบนารี (Binary Sequence) ผ่านวงจรไดเรกเตอร์ก็จะทำให้แกนหมุนเกิดการหมุนไปอย่างต่อเนื่อง โดยทิศทางของการหมุนก็จะขึ้นอยู่กับลำดับการป้อนสัญญาณไปที่เฟสใดก่อน

ข้อดีของสเตรปิ้งมอเตอร์เมื่อเปรียบกับมอเตอร์กระแสตรง

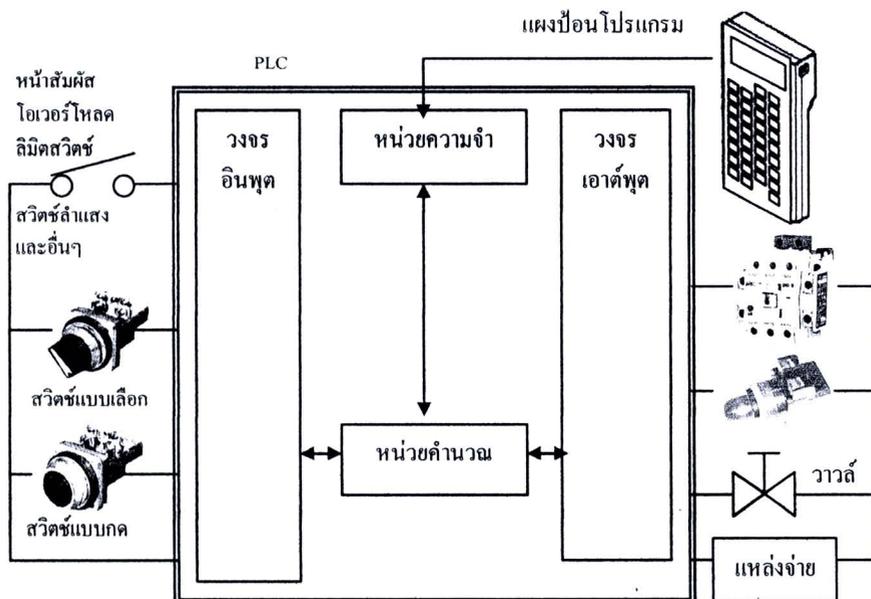
- ก) การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน
- ข) ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอและปัญหาของการสปาร์ก (ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำในโรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน
- ค) การควบคุมโดยทางวงจรถิจรดิทอลหรือไมโครโพรเซสเซอร์ทำได้ง่ายและสะดวก

2.2.5 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller : PLC)

อุปกรณ์ควบคุมที่มีหน่วยความจำในการเก็บโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่อเข้ากับขั้วเข้าและออก PLC ถือเป็นอุปกรณ์ควบคุมตัวสำคัญตัวหนึ่งในการควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมให้ทำงานอย่างอัตโนมัติและใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ PLC ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีตั้งแต่ขนาดใหญที่ใช้ควบคุมทั้งระบบและ PLC ขนาดเล็กซึ่งใช้ควบคุมเฉพาะจุด

PLC จะรับสัญญาณที่เป็นคำสั่งจากสวิตช์ ปุ่มกด สวิตช์เลือก และสวิตช์ตัวเลข ซึ่งอยู่ที่แผงควบคุมเครื่องจักร นอกจากนั้นยังรับสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพการทำงานของเครื่องจักรเช่น ลิมิทสวิตช์ ฟลลอคซิมิตีส์วิตช์ สวิตช์แสง และสวิตช์ตรวจจับชนิดต่าง ๆ จากนั้น PLC จะส่งสัญญาณออกไปที่ขั้วออกเพื่อขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ โซลินอยด์ และคลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้าหรือขับพวกหลอดแสง หลอดตัวเลข

PLC จะรับสัญญาณเข้าทางขั้วเข้าและให้สัญญาณออกทางขั้วออก การใช้สัญญาณนี้จะไปไปตามโปรแกรมที่เก็บไว้ในเครื่อง PLC การขับอุปกรณ์ที่เป็นโหลดขนาดเล็กเช่น โซลินอยด์ตัวเล็กหรือหลอดแสงนั้น PLC สามารถขับโดยตรงจากขั้วออกได้ แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์ที่เป็นโหลดขนาดใหญ่ใช้ไฟมาก เช่น มอเตอร์สามเฟส หรือ โซลินอยด์ตัวใหญ่ จำเป็นต้องต่อผ่านคอนแทกเตอร์และรีเลย์เพื่อช่วยขยายกำลังขับ พวงรีเลย์ขับคอนแทกเตอร์เหล่านี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายในตู้ควบคุมเดียวกับตัว PLC รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของ PLC และการต่ออุปกรณ์ภายนอก



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของ PLC และการต่ออุปกรณ์ภายนอก [10]

2.2.6 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นเหล็กผสมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสนิมและการผุกร่อน ธาตุผสมที่สำคัญในเหล็กกล้าไร้สนิมคือ โครเมียม ซึ่งจะพบในเหล็กกล้าไร้สนิมทุกเกรด ปริมาณของโครเมียมที่ละลายอยู่ในเหล็กจะต้องมีอยู่ไม่น้อยกว่า 11% จึงจะมีผลช่วยด้านการผุกร่อนได้ กลไกของการต้านทานการผุกร่อนเกิดจากการที่โครเมียมซึ่งละลายอยู่ในเนื้อเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นโครเมียมออกไซด์เคลือบอยู่บนผิว โครเมียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นชั้นของฟิล์มบางๆ ที่ไม่มีสีและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวหน้าของเหล็ก ช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กสัมผัสกับออกซิเจนโดยตรง ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งการเกิดสนิมได้ นอกจากสมบัติต้านทานการผุกร่อนในบรรยากาศปกติแล้ว เหล็กกล้าไร้สนิมบางเกรดสามารถใช้งานในสภาวะการกัดกร่อนจากสารเคมีหรือการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิสูงได้ด้วย

ในทางการค้ามักจะเข้าใจกันเสมอว่า เหล็กกล้าไร้สนิม คือ เหล็กกล้าไร้สนิม 18/8 เป็นชื่อที่มักจะเรียกกันจนคุ้นเคย ซึ่งสเตนเลส 18/8 หมายถึงเหล็กกล้าผสมสูงที่ประกอบด้วย โครเมียม 18% และนิกเกิล 8% และจัดเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ประโยชน์ได้กว้างที่สุด ความจริงแล้วเหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับการแบ่งชนิด เช่นอาจจะแบ่งตามปริมาณโครเมียม หรือแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง ในที่นี้จะแยกประเภทของ เหล็กกล้าไร้สนิม โดยอาศัยลักษณะแตกต่างของโครงสร้างออกเป็น 5 ประเภทคือ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steels), เหล็กเฟอร์ริติกสเตนเลส (Ferritic Stainless Steels), เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก

(Martensitic Stainless Steel) , เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Structure Stainless Steels), เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (Precipitation-hardening grade)

1) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีส่วนประกอบของ โครเมียมกับนิกเกิลไม่ต่ำกว่า 23% แม้เหล็กจะไม่ติดและต้านทานการกัดกร่อนได้ดีที่สุด ประเภทที่แพร่หลายและรู้จักกันมากที่สุดก็คือ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก 18/8 โดยทั่ว ๆ ไป เหล็กกล้าไร้สนิมประเภทนี้จะมีส่วนผสมโดยประมาณดังนี้ Cr 17 - 20% Ni 7 - 14% C 0.03 - 0.2%

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก 18/18 เป็นเกรดที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศทั่ว ๆ ไป หรือแม้แต่บรรยากาศที่อยู่ใกล้ทะเล ยกเว้นในบรรยากาศที่มีแก๊ส SO₂ หรือ แก๊สบางชนิดที่เป็นพวกกัดกร่อนสูง (corrosive) ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม, มีความอ่อนตัว (ดีกว่าโลหะทั่วไปและโลหะผสม), สามารถเชื่อมได้ดี (ทุกกระบวนการ), สามารถทำความสะอาดได้ง่าย และช่วยรักษาสภาพของผลิตภัณฑ์ ระหว่างการขนส่งหรือที่ใช้บรรจุ, สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และสามารถขัดพื้นผิวได้ง่าย

การใช้งานโดยทั่วไป มีรูปแบบการใช้งานดังต่อไปนี้

- ในครัวเรือน เช่น อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อ่างล้างจาน เครื่องใช้ในบ้าน เครื่องใช้ไฟฟ้า โครงสร้างและการตกแต่งอาคาร และเฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์ตกแต่งตามถนนหนทาง
- อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เช่น อาหารนม เบียร์ ไวน์ อุปกรณ์จัดเลี้ยง
- เครื่องมือในโรงพยาบาล และเวชภัณฑ์
- อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น แท็งก์น้ำ ท่อลำเลียง เครื่องถ่ายความร้อน ระบบบำบัดน้ำเสีย ภาชนะต่างๆ
- ตู้รถไฟ ตู้คอนเทนเนอร์

2) เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกสแตนเลส (Ferritic Stainless Steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกสแตนเลส เป็นชนิดที่มีโครเมียมอยู่ ระหว่าง 12 - 30% มีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำมาก เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับการใช้งานโดยทั่วไป ชนิดที่นิยมใช้จะมีโครเมียมผสมอยู่ 17% เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิปกติ, มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ในสภาวะกัดกร่อนปานกลาง, สามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีปานกลาง, มีผิวหน้าที่สวยงามหลังการประกอบขึ้นงานทำให้ลดขั้นตอนการตกแต่งผิวในขั้นตอนสุดท้าย และมีความต้านทานการเกิดออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูงถึง 850°C

การใช้งานโดยทั่วไป จะเน้นในเรื่องของเหล็กสแตนเลสที่มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กสแตนเลสชนิดอื่น ๆ เพราะมีแต่โครเมียมในส่วนผสม ตัวอย่างการใช้งาน เช่น

- เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ซ้อนส้อม มีดและเครื่องใช้ในครัว

- อุปกรณ์หุงต้มอาหาร และเครื่องประกอบอาหาร
- เฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายในอาคารและตามถนนในเมือง
- เครื่องความร้อนในกระบวนการผลิตและอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตอาหารนม
- แกนและถังป่นในเครื่องซักผ้าและเครื่องล้างจาน

3) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค (Martensitic Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ไม่เกิน 18% และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง ทำให้สามารถนำเหล็กกล้าสเตนเลสกลุ่มนี้ไปทำการชุบแข็งได้ (Hardening) ทำให้ได้เหล็กที่มีคุณสมบัติทั้งความแข็งและคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อน

การใช้งานจะใช้เมื่อต้องการชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ทนแรงสูง ๆ และมีสมบัติทนต่อการกัดกร่อน นอกจากนั้นเหล็กชนิดนี้เหมาะสำหรับทำเป็นอุปกรณ์สำหรับตัด โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ต้องการคุณสมบัติเด่นในด้านการต้านทานการสึกกร่อน และความแข็งแรงทนทาน เช่น ใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัดมีดผ่าตัดในโรงพยาบาล และมีดตัดในโรงงานอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป บางครั้งจะเรียกว่า Cutlery stainless

4) เหล็กกล้าไร้สนิมคูเพล็กซ์ (Duplex Structure Stainless Steels)

เหล็กกลุ่มนี้แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ และออสเตไนต์ มีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18-28% และนิกเกิล 4.5-8% ด้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าสเตนเลสชนิดอื่นๆ และมีความแข็งแรงสูง

การใช้งานของเหล็กกล้าสเตนเลสกลุ่มนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูง เพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดคั้น (Stress corrosion cracking resistance) หรืออุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสีย

5) เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (Precipitation-hardening grade)

เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก มีโครเมียมผสมประมาณ 15-18% และนิกเกิลอยู่ประมาณ 3-8% เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็งได้ จึงเหมาะสำหรับทำแกนปั๊ม หัววาล์ว ตัวอย่างเกรดของเหล็กกลุ่มนี้ เช่น PH13-9Mo, AM-350

การทำความสะอาดเหล็กกล้าไร้สนิม (Cleaning of Stainless Steel) เนื่องด้วยปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิมได้ถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง เมื่อเราเข้ามาในเมืองแล้วลองเหลียวมองรอบๆ จะพบผลิตภัณฑ์จากเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใกล้ตัวมากมาย เช่น ที่พักผู้โดยสารตามป้ายรถประจำทาง เสาตามห้างสรรพสินค้า ราวบันไดตามตึกและลิฟท์ เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมเหล่านี้จะสกปรกได้เมื่อเวลาผ่านไป โดยความสกปรกมีตั้งแต่ผงฝุ่น รอยนิ้วมือ คราบมัน สี ฯลฯ ซึ่งทำให้ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมหมอง สูญเสียความเงางาม และลดความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ สำหรับ

การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมประเภทที่ต้องการความสะอาดสูงก็มีหลายด้าน เช่น ด้านที่เกี่ยวข้องกับการหุงต้มอาหาร ด้านยา ด้านอากาศยานและนิวเคลียร์ เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมจะสามารถใช้งานได้ดีที่สุดในสภาพที่สะอาด ดังนั้น การทำความสะอาดจึงเป็นสิ่งจำเป็น

โดยทั่วไป เหล็กกล้าไร้สนิมจะต้านทานต่อการกัดกร่อนโดยการสร้างชั้นฟิล์มบางๆ ของโครเมียมออกไซด์ที่แน่นและเสถียรที่ผิว ทำให้ออกซิเจนจากบรรยากาศที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเนื้อเหล็กใต้ผิวชั้นฟิล์ม จึงต้านทานต่อการกัดกร่อน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีสิ่งสกปรกมาเกาะที่ผิว เช่น ฝุ่น หรือวัสดุอื่นๆ จะขัดขวางขบวนการสร้างฟิล์มที่เสถียรและเกิดบริเวณที่ออกซิไดส์และคาโรด (เช่น เศษเหล็กจากเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปเกาะติดผิวเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นควรจะทำ ความสะอาดให้ออกไป) ทำให้เกิดการกัดกร่อน เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถทำความสะอาดได้ง่ายๆ หลายวิธีโดยไม่ต้องกลัวว่าผิวเนื้อโลหะจะหลุดออกเหมือนโลหะเคลือบอื่นๆ นอกจากนี้เรายังสามารถเลือกความหยาบหรือลวดลายบนพื้นผิว (ชนิดของผิวสำเร็จ) ตลอดจนการออกแบบให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย เช่น การทำความสะอาดโดยน้ำฝนตามธรรมชาติ (สำหรับการใช้งานภายนอก) ได้ด้วย วิธีการทำความสะอาดเหล็กกล้าไร้สนิม แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 วิธีการทำความสะอาดเหล็กกล้าไร้สนิม [11]

คราบสกปรก	วิธีทำความสะอาด
การทำความสะอาดประจำ	ใช้ฟองน้ำหรือผ้านุ่มชุบน้ำอุ่น หรือสารละลายของสบู่ แอมโมเนีย ผงซักฟอก เช็ด แล้วล้าง (rinse) ออกด้วยน้ำสะอาด และเช็ดให้แห้ง สามารถใช้ได้กับทุกผิวสำเร็จ
รอยนิ้วมือและรอยเลอะ	เช็ดถูด้วยแอลกอฮอล์ trichlorethylene หรือ acetone แล้วล้างด้วยน้ำที่สะอาด แล้วเช็ดให้แห้ง
คราบชา-กาแฟ	ล้างด้วยโซดาไปคาร์บอนผสมน้ำ แล้วล้างออกด้วยสบู่และน้ำ จากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น แล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้านุ่ม
น้ำมันและคราบมัน	ล้างด้วยสารละลายผงซักฟอกหรือ trichloroethylene อะเซโตน (acetone) หรือแอลกอฮอล์ เช่น methyl alcohol, ethyl alcohol, methyl ethyl ketone, benzene, isopropyl alcohol หรือน้ำมันสน โดยอาจใช้ฟองน้ำหรือผ้านุ่มช่วยเช็ดในทิศทางของผิวสำเร็จ (polish lines) แล้วล้างออกด้วยสบู่หรือผงซักฟอกและน้ำ จากนั้นล้างด้วยน้ำที่สะอาดและเช็ดให้แห้ง
คราบสนิม	แช่หรือทำให้ผิวเปียกด้วยสารละลายกรด oxalic ทิ้งไว้ 15-20 นาที ล้างออกด้วยน้ำที่สะอาด และเช็ดให้แห้ง
สี	ล้างออกด้วยสารละลายสี (ใช้แปรงไนลอนนุ่มๆ ขัด) แล้วล้างออกด้วยน้ำที่สะอาด และเช็ดให้แห้ง