

## การบรรจุอาหารแห้งและขนมขบเคี้ยว

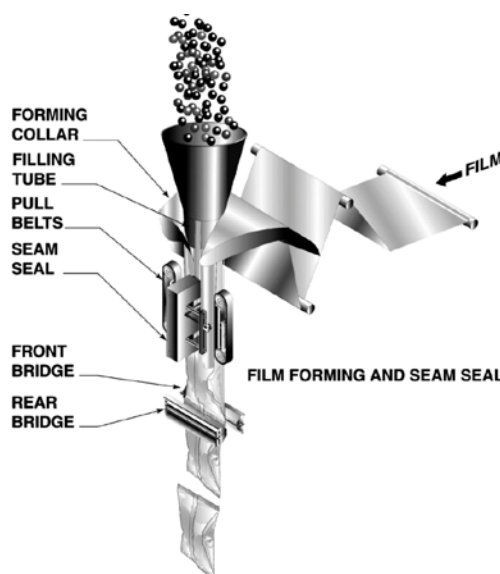
ขนมขบเคี้ยว (snack) เช่น มันฝรั่งทอด ข้าวโพดอบกรอบ เพรทเซล (pretzel) กรอบ เป็นอาหารที่มีความหลากหลายทั้งด้านวัตถุดิบและกระบวนการแปรรูป มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต การคิดค้นส่วนผสม (ingredient) ใหม่ ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพ เช่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคและแนวโน้มของตลาดโดยเลือก ขนมขบเคี้ยวมักผลิตในปริมาณมาก จึงต้องการความรวดเร็วในกระบวนการแปรรูป และนิยมบรรจุภายใต้ปิดผนึกภายหลังผ่านการแปรรูปแล้ว นอกจากนี้ ขนมขบเคี้ยวมักเป็นอาหารประเภทที่มีอายุการเก็บรักษายาวนาน การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพของอาหารในระหว่างการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญ

### คุณลักษณะอาหารแห้งและขนมขบเคี้ยว

- มีค่า  $a_w$  ต่ำ เนื่องจากผ่านกระบวนการทำแห้ง การทอดหรือการอัดรีด
- มีความกรอบ (crispy) เนื่องจากปริมาณความชื้นต่ำ
- ชอบดูดซับน้ำ (Hygroscopic) เนื่องจากรูพรุนและองค์ประกอบที่ชอบน้ำอื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบผิวด้วยน้ำตาล ผลไม้แห้ง
- ไวต่อการเปลี่ยนแปลงจากความชื้น
- อายุการเก็บรักษายาวนาน เนื่องจากค่า  $a_w$  ต่ำจึงยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

### การบรรจุ (filling) ขนมขบเคี้ยว

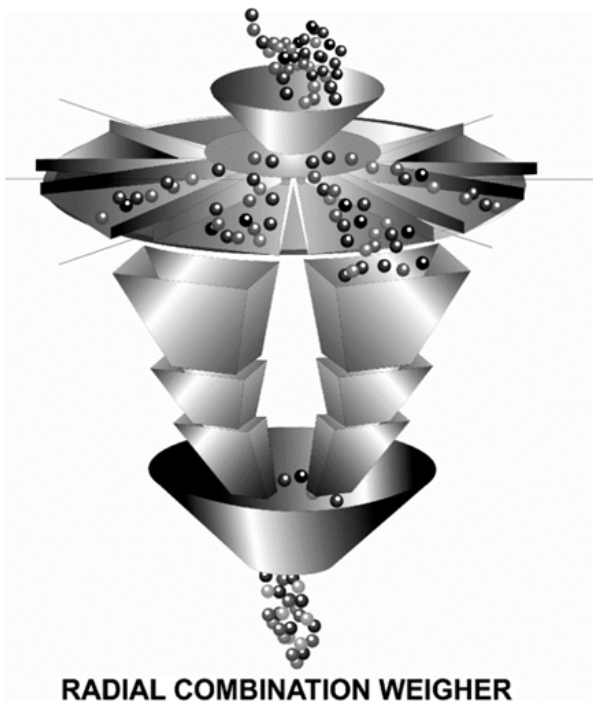
การผลิตขนมขบเคี้ยวในอุตสาหกรรมต้องใช้ความเร็วและมีประสิทธิภาพ จึงนิยมใช้การบรรจุแบบต่อเนื่อง ระบบการบรรจุขนมขบเคี้ยวแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากม้วนฟิล์ม แล้วบรรจุผลิตภัณฑ์และปิดผนึกด้วยความร้อนหรือ เรียกว่า ระบบ “form-fill-seal” ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การขึ้นรูปถุง การบรรจุสินค้าที่กำหนดปริมาณแล้วและการปิดผนึก



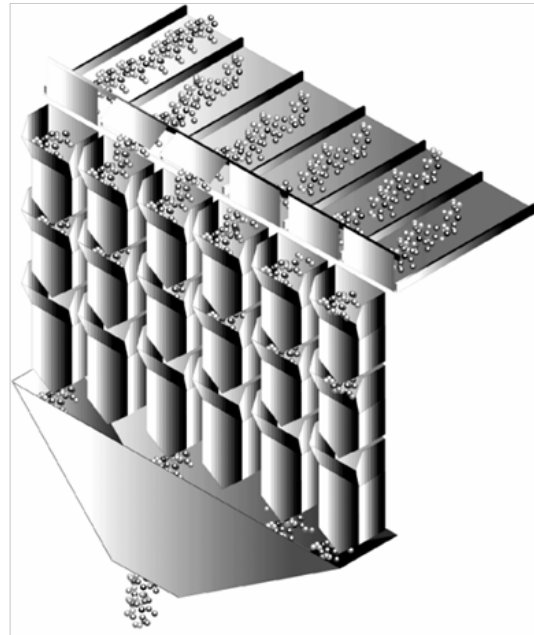
ภาพที่ 1 การบรรจุต่อเนื่องระบบ form-fill-seal  
ที่มา: Kuhr (2001)

## ระบบการตวงหรือกำหนดปริมาณผลิตภัณฑ์สำหรับการบรรจุ

- การบรรจุรวม (Gross filling)
  - บรรจุผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์โดยตรงจนถึงระดับที่กำหนด (prescribed level)
  - เป็นวิธีที่ใช้งานน้อยในการบรรจุขนมขบเคี้ยว เนื่องจากข้อจำกัดด้านความเร็วและไม่แม่นยำ (inaccuracy)
- การบรรจุแบบปริมาตร (Volumetric filling)
  - ใช้ถ้วยตวง (volumetric cup) กำหนดปริมาตรสินค้า เพื่อบรรจุ
  - ความเร็วในการผลิตสูง
  - ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าไม่สูงนัก เนื่องจากอาจมีการบรรจุผลิตภัณฑ์เกินกำหนด (overweight) ได้มาก แต่ต้องการความรวดเร็วในการผลิต
  - ระบบการบรรจุใช้ถ้วยตวงซึ่งสามารถหาซื้อ ใช้งาน (operate) และบำรุงรักษา (maintenance) ได้ง่าย
- การบรรจุแบบสว่าน (Auger filling)
  - มีการใช้สว่านหรือสกรูเพื่อช่วยนำผลิตภัณฑ์ในถังเก็บผ่านท่อสู่ภาชนะบรรจุ
  - นิยมใช้กับพวกผลิตภัณฑ์ผงหรือมีอนุภาคเล็ก
  - ความแม่นยำ (accuracy) ในการบรรจุขึ้นอยู่กับความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) ของผลิตภัณฑ์ในถังเก็บที่มีสกรู กล่าวคือ หากผลิตภัณฑ์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในถังเก็บ จะทำให้ความแม่นยำในการบรรจุสูงขึ้น รวมถึงรอบการทำงานของหัวสกรูซึ่งทำหน้าที่พาตัวอย่างลงสู่บรรจุภัณฑ์
- การบรรจุโดยใช้น้ำหนักสุทธิ (Net weight filling)
  - การบรรจุที่มีความแม่นยำสูงสุด
  - ใช้เครื่องชั่งหลายเครื่องร่วมกันในการบรรจุ มีทั้งชนิดเป็นวงกลมรัศมี (radial) และเส้นตรง (linear) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่สู่รางซึ่งมีการชั่งน้ำหนัก แล้วคอมพิวเตอร์จะคำนวณโดยน้ำหนักรวมจากรางต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำหนักที่ต้องการ จากนั้นจะกำกับให้มีการปล่อยผลิตภัณฑ์รวมจากรางดังกล่าว เช่น รางที่สอง สีและแปด เพื่อเข้าสู่บรรจุภัณฑ์เดียวกัน
  - ความเร็วในการผลิตขึ้นอยู่กับจำนวนรางเครื่องชั่ง เพื่อให้คอมพิวเตอร์ใช้คำนวณผลิตภัณฑ์ในรอบการบรรจุหนึ่งๆ และในการเปลี่ยนรอบการบรรจุถัดไป
  - ใช้มากในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากมีความรวดเร็วและแม่นยำ เช่น มันฝรั่งทอด



**RADIAL COMBINATION WEIGHER**



**LINEAR COMBINATION WEIGHER**

ภาพที่ 2 การบรรจุโดยใช้น้ำหนักสุทธิ (Net weight filling) จากการรวมน้ำหนักโดยเครื่องชั่งรัศมีและเส้นตรง  
ที่มา: Kuhr (2001)

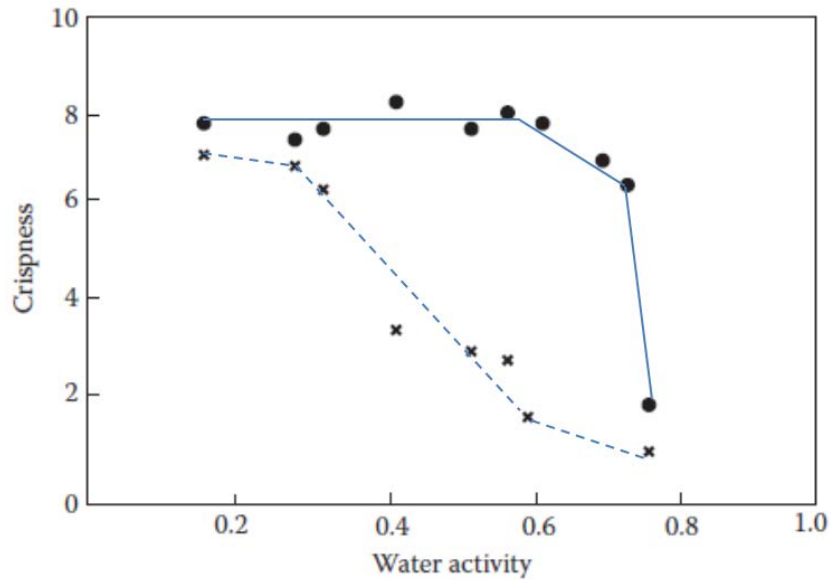
### การเสื่อมเสียของขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวมักมีค่า  $a_w$  ประมาณ 0.3-0.4 จึงยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับรูปแบบการผลิตและองค์ประกอบ เช่น แป้ง น้ำตาล น้ำมัน และโครงสร้าง การเสื่อมเสียของขนมขบเคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านการเปิดจึงมักพบมีสาเหตุทางกายภาพและเคมีมากกว่าจุลินทรีย์ ดังนี้

- การดูดซับความชื้น (Moisture gain) ทำให้เกิดการสูญเสียความกรอบหรือการเกาะตัวกันของอาหารผง เช่น นมผง เครื่องดื่มผงสำหรับชงน้ำพร้อมดื่ม และซุ้บผง เป็นต้น ทั้งนี้ความกรอบและนิ่มของผลิตภัณฑ์อาหารมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิกลาสทราซิชัน (glass transition,  $T_g$ ) ของอาหาร กล่าวคือ
  - อุณหภูมิในการเก็บรักษาต่ำกว่า  $T_g$  ( $T < T_g$ ) อาหารจะอยู่ในสภาวะกลาส ซึ่งมีคุณลักษณะแข็ง กรอบ เปราะ แตกหักง่าย
  - อุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่า  $T_g$  ( $T > T_g$ ) อาหารจะอยู่ในสภาวะรีบเบอร์ ซึ่งมีคุณลักษณะนิ่มเหนียวคล้ายยาง

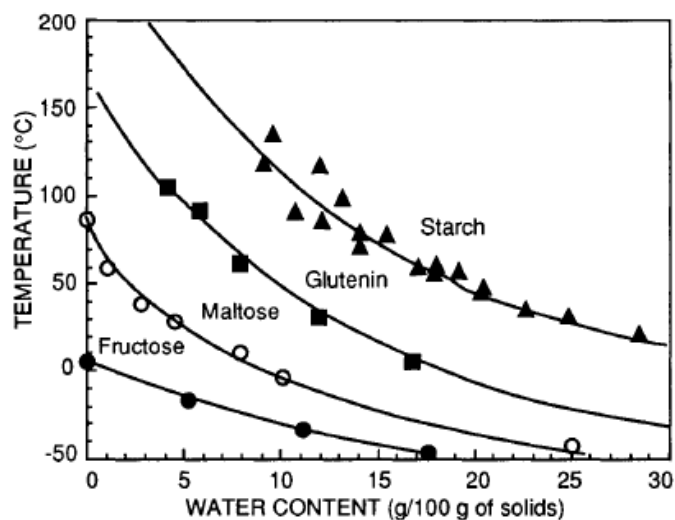
ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษา กับ  $T_g$  จึงเป็นดัชนีบ่งชี้ความกรอบของอาหาร ทั้งนี้ ความชื้นในบรรยากาศทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในอาหารที่องค์ประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ทำให้ค่า  $T_g$  ของอาหารลดลง ดังนั้น ที่สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิคงที่ หากอาหารดูดความชื้นจากบรรยากาศ จะทำให้ค่า  $T_g$  ของอาหารลดลง จนเมื่อต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง จะทำให้คุณลักษณะอาหารเปลี่ยนจากกรอบเปราะเป็นนิ่มเหนียว ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกรอบจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวจากสตาร์ชที่ค่า  $a_w$  ต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นจะทำให้ความกรอบลดลง โดยองค์ประกอบของอาหารที่มีน้ำตาล จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  มากกว่า

องค์ประกอบที่ไม่มีน้ำตาล เนื่องจากน้ำตาลเป็นพลาสติกไซเซอร์ทำให้อาหารมีค่า  $T_g$  ต่ำ นอกจากนี้ น้ำตาลในอาหารยังชอบดูดซับความชื้นจากบรรยากาศทำให้เพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ในอาหาร



ภาพที่ 3 ผลของค่า  $a_w$  ต่อความกรอบของขนมขบเคี้ยวจากสตาร์ช (วงกลม) และสตาร์ชที่มีน้ำตาลซูโครส 20% (กากบาท)  
ที่มา: Pamies et al. (2000)

โดยทั่วไปองค์ประกอบอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีนและสตาร์ช จะมีค่า  $T_g$  สูงกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลมอนอแซ็กคาไรด์และไดแซ็กคาไรด์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ผลของน้ำและองค์ประกอบอาหารต่อค่า  $T_g$   
ที่มา: Roos (1995)

- การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งเกิดได้มากที่สุดที่  $a_w$  ต่ำๆ (ต่ำกว่า monolayer water content) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติและกลิ่นหืน โดยเฉพาะอาหารที่มีไขมันสูง เช่น ถั่ว ของทอด
- การสลายตัวของเม็ดสีและวิตามิน ซึ่งมักเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่างๆ เช่น วิตามินซี สารบีต้าแคโรทีนและสารแอนโทไซยานินในผลไม้
- การแตกหักเนื่องจากแรงกระแทกต่างๆ ซึ่งนิยมอาศัยการบรรจุที่ช่วยลดแรงกระแทกจากภายนอก เช่น การใช้กล่องกระดาษเพื่อเป็นโครงสร้าง การบรรจุแบบถุงโป่ง (pillow pouch)
- การสูญเสียกลิ่นรสและสารระเหยต่างๆ เนื่องจากโครงสร้างขนมขบเคี้ยวมักมีรูพรุนสูง ทำให้การเคลื่อนที่ของสารระเหยสามารถแพร่ผ่านโครงสร้างได้ดี ทำให้เกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสต่างๆ
- การเกิดสีน้ำตาลในสถานะที่มีความชื้นสูงพอ ซึ่งโดยทั่วไปมักพบการเกิดสีน้ำตาลในอาหารแห้งทั้งแบบเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ในอาหารแห้งที่มีความชื้นสูงพอจนทำให้ค่า  $T_g$  ของอาหารลดต่ำกว่าอุณหภูมิห้องหรืออาหารอยู่ในสถานะรับเบอร์

### บรรจุภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

ขนมขบเคี้ยวมักมีความชื้นและค่า  $a_w$  ต่ำ จึงไม่พบการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ จึงเป็นอาหารที่มีอายุการเก็บรักษายาวนาน การเสื่อมเสียมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ดังที่กล่าวข้างต้น บรรจุภัณฑ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยภายนอกต่างๆที่เร่งให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร นอกจากนี้ การออกแบบบรรจุภัณฑ์และฉลากขนมขบเคี้ยวมักมีการใช้รูปแบบ สี สันหรือรูปทรงที่ดึงดูดผู้บริโภคนอกเหนือจากหน้าที่ในการปกป้องอาหาร

### ความต้องการบรรจุภัณฑ์สำหรับขนมขบเคี้ยว

- ป้องกันแสง (Light barrier) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน
  - กระดาษสีน้ำตาล
  - การใช้เม็ดสีน้ำตาล (brown pigment) ผสมลงในวัสดุพลาสติกในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์
  - การใช้ฟิล์มฉาบไอโลหะ (metallized film) ซึ่งโดยทั่วไปช่วยป้องกันแสงส่องผ่านได้มากกว่า 99%
- ทนทานต่อไขมันและป้องกันการซึมผ่านของไขมันและน้ำมัน (Grease proofness) โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง
- ป้องกันการผ่านเข้า-ออกของสารให้กลิ่นรสและสารระเหยต่างๆ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอกและการสูญเสียกลิ่นรสของอาหาร
- ต้านทานความชื้นได้ดี (moisture barrier)
- ต้านทานแก๊สได้ดี (oxygen barrier)
- ทนทานต่อแรงเจาะทะลุ (puncture resistance) เนื่องจากขนมขบเคี้ยวมีความกรอบแข็ง จึงอาจมีตะลุมบรรจุภัณฑ์และทำให้เกิดการรั่วได้

## ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับนมขบเคี้ยว

- OPP/CPP
- OPP ผิวด้าน (Matte-finished OPP) หรือเคลือบแบบต่างๆ
- फिल्मเคลือบไอโโลหะ เช่น metCPP/OPP, metOPET/PE
- PVdC เคลือบ OPP; ON เช่น K-OPP/PE, K-ON/PE, K-ON/CPP
- วัสดุจากเซลลูโลส เช่น เซลโลเฟน (cellophane) และกระดาษกราซีน (glassine paper)
- วัสดุอะลูมิเนียมลามิเนต สำหรับสินค้าราคาสูง

## ถุง (pouch)

บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวประเภทถุงที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์นมขบเคี้ยวมีหลากหลายรูปแบบ เช่น ถุงที่ขึ้นรูปไว้ก่อน (premade bag) ถุงพอง (pillow pouch) ถุงตั้งได้ (Flat-Bottom/Standup pouch) และถุงประเภทอื่นๆ เช่น ถุงเจาะรูสำหรับหิ้ว ถุงที่มีพื้นที่ส่วนหัว (header) เหนือรอยปิดผนึกมากกว่าปกติเพื่อเพิ่มพื้นที่พิมพ์ ถุงเปิด-ปิดได้หรือถุงซิปล็อเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานซ้ำ เป็นต้น บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวมักใช้การปิดผนึกด้วยความร้อน ซึ่งต้องการอุณหภูมิที่สูงพอจะหลอมหลายชั้นปิดผนึกเข้าด้วยกัน รอยปิดผนึกด้วยความร้อนของบรรจุภัณฑ์มีรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งการปิดผนึกด้วยความร้อนมีรูปแบบหลัก 2 รูปแบบ ได้แก่

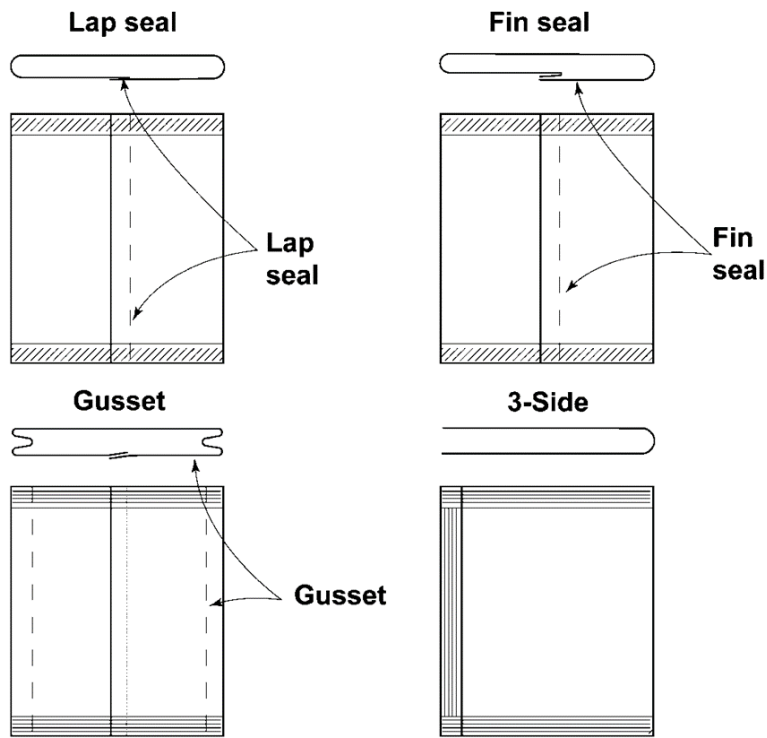
### 1) การปิดผนึกแบบซ้อนทับ (lap seal)

- รอยปิดผนึกเกิดจากการเชื่อมผิวหน้า (surface) ด้านในกับผิวด้านนอกของชั้นปิดผนึก
- นิยมใช้กับการปิดผนึกตามแนวยาว (longitudinal or back seal) ของเครื่องขึ้นรูป-บรรจุ-ปิดผนึก (form-fill-seal) แบบแนวตั้ง
- ใช้พื้นที่วัสดุบรรจุในการปิดผนึกต่ำกว่าและทำให้บรรจุภัณฑ์ดูกว้างกว่าแบบครีบบลา
- ชั้น (layer) ของวัสดุทั้งสองต้องสามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ หากเป็นวัสดุที่ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ในกรณีวัสดุหลายชั้นอาจต้องใช้วิธีอัดรีดร่วม (co-extrusion) กับ PE ซึ่งเป็นวัสดุที่ปิดผนึกได้

### 2) การปิดผนึกแบบครีบบลา (fin seal)

- รอยปิดผนึกเกิดจากการเชื่อมผิวด้านเดียวกันเองของชั้นปิดผนึก
- นิยมใช้กับเครื่องขึ้นรูป-บรรจุ-ปิดผนึกทั้งแนวตั้งและแนวนอน

การปิดผนึกแบบมีรอยพับด้านข้าง (gusset seal) จะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการบรรจุสินค้าซึ่งสามารถปิดผนึกได้ทั้งแบบซ้อนทับและครีบบลา ภาพที่ 5 แสดงรูปแบบการปิดผนึก 3 ด้าน (3-side seal) ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปฟิล์มแผ่นเดียวกัน ภาพที่ 6 แสดงรูปแบบรอยปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ



ภาพที่ 5 รอยปิดผนึกด้วยความร้อนประเภทต่างๆ ของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว  
ที่มา: Kuhr (2001)

การเลือกใช้วัสดุบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ควรพิจารณาตามอายุการเก็บรักษาที่เป็นเป้าหมาย เนื่องจากขนมขบเคี้ยวแต่ละชนิดจะมีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันตามองค์ประกอบอาหารหรือตามความพึงพอใจของผู้บริโภค ผู้ผลิตจึงควรชั่งน้ำหนักระหว่างราคาบรรจุภัณฑ์กับสภาพการซึมผ่านหรือคุณสมบัติด้านการต้านทานปัจจัยต่างๆ เช่น แสง แก๊สและไอน้ำ ภาพที่ 7 แสดงอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและไอน้ำของวัสดุที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าวัสดุประเภทแก้วและโลหะมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและไอน้ำต่ำมาก จึงทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ยาวนาน นอกจากนี้ วัสดุโลหะยังช่วยป้องกันแสงส่องผ่านบรรจุภัณฑ์เข้ามากระทบอาหาร จึงช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารได้เป็นอย่างดี ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษ มีสภาพการซึมผ่านสูงมาก จึงไม่นิยมใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ต้องการอายุการเก็บรักษายาวนาน ทั้งนี้ การนำกระดาษมาเคลือบพลาสติกหรือการลามิเนตด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของกระดาษได้อย่างดี

สำหรับวัสดุประเภทพลาสติกนั้นมีคุณสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและไอน้ำที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิด องค์ประกอบ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลและโครงสร้าง มีกรรมวิธีการปรับปรุงสภาพการซึมผ่านของวัสดุได้อย่างหลากหลาย เช่น การเคลือบผิว การลามิเนต การปรับปรุงโครงสร้างโดยการตั้งยัด (orientation) ฯลฯ



Vertical form/fill/seal



Vertical form/fill/seal



Horizontal form/fill/seal



Wrapping



Flat and gusset tobacco wallet



Four-sided sealing



Deep draw top web



Deep draw top and bottom webs



Deep draw bottom web



Sheet cut-off (Hardvac)



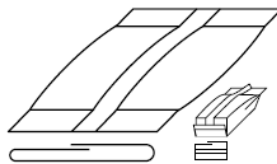
Doypack



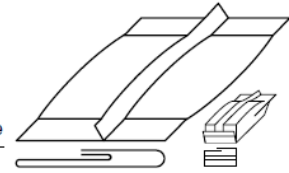
Lap seal

Vertical form/fill and seal machines

Lap seal inside/outside, sealable

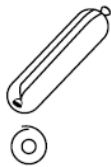


Fin seal inside sealable



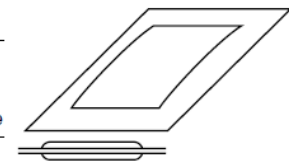
Vertical form/fill and seal machines

Lap seal inside/outside, sealable



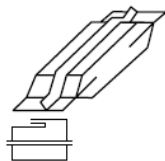
Four-side sealing

Fin seal inside sealable



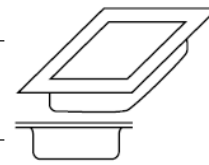
Horizontal form/fill and seal machines

Fin seal inside sealable



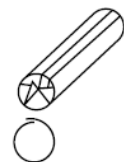
Deep drawing

Inside sealable

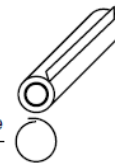


Wrapping machines

Lap seal inside/outside, sealable



Fin seal inside sealable



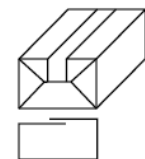
Tobacco wallets

Traditional + folded (gusseted)



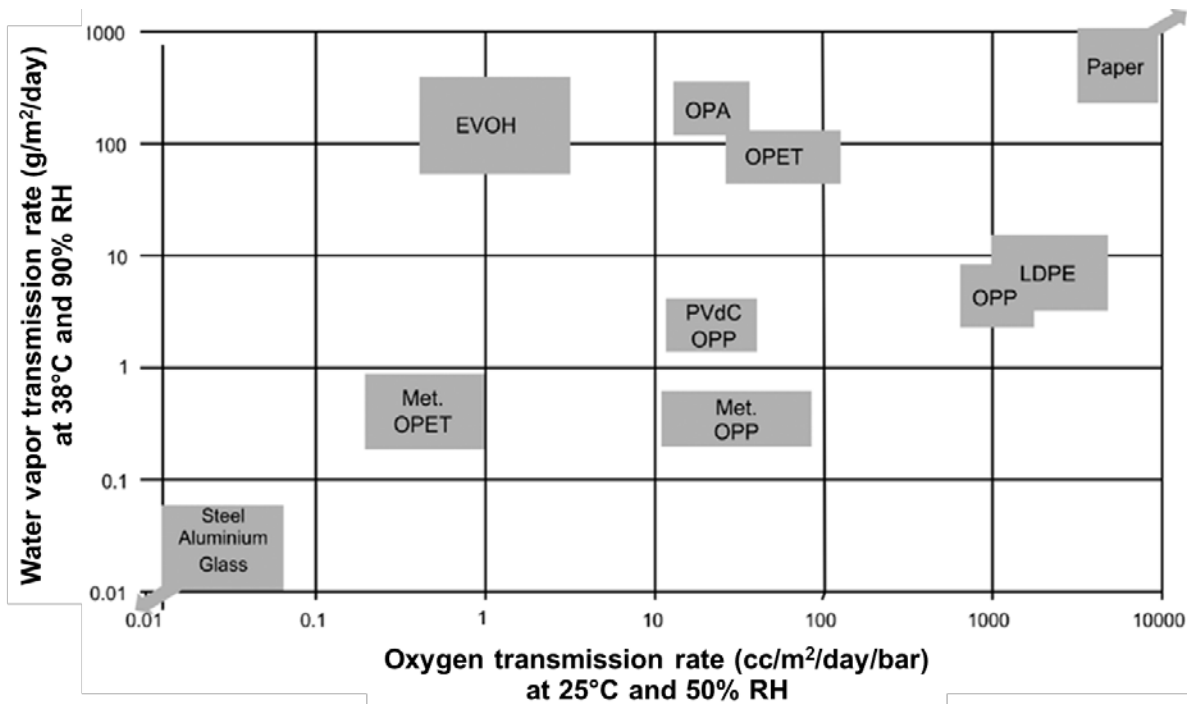
Wrapping machines

inside/outside, sealable envelope closing



ภาพที่ 6 รอยปิดผนึกด้วยความร้อนของบรรจุภัณฑ์รูปแบบต่างๆ  
ที่มา: Durston (2009)



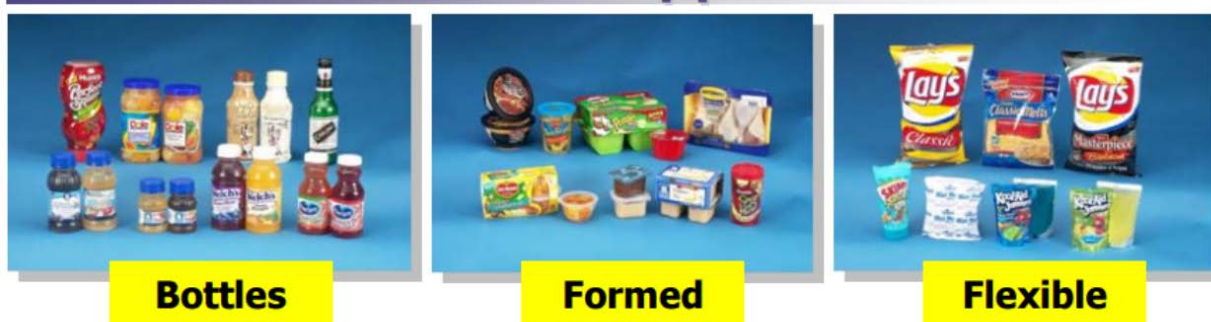


ภาพที่ 7 อัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำของวัสดุบรรจุประเภทต่างๆ  
ที่มา: Dixon (2011)

วัสดุบรรจุแต่ละประเภทมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำแตกต่างกัน กระดาษซึ่งมีรูพรุนสูงจะมีสภาพการซึมผ่านสูงมาก ในขณะที่แก้วและโลหะจะมีสภาพการซึมผ่านต่ำ วัสดุพลาสติกมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ความเป็นผลึกและความหนา การปรับปรุงวัสดุด้วยการเคลือบไอโลหะ หรือเคลือบ PVdC จะช่วยปรับปรุงความสามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำให้สูงขึ้น

ชั้นต้านทาน (barrier) ของ EVOH และ PVdC จะช่วยเพิ่มความต้านทานแก๊สออกซิเจนให้แก่บรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม EVOH มีความไวต่อความชื้นมาก ซึ่งจะทำให้ความต้านทานแก๊สต่ำลงและไม่ช่วยป้องกันความชื้น ในขณะที่ PVdC จะช่วยลดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำได้ และไม่ไวต่อความชื้น นอกจากนี้ การป้องกันแก๊สของ PVdC จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง กล่าวคือการเก็บรักษาสินค้าแช่เย็นจะทำให้คุณสมบัติความต้านทานของ PVdC สูงขึ้น นอกจากนี้ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ EVOH จะสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ( $T_g$  ประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส) ทำให้มีความเสี่ยงต่อการแตกหักจากรอยพับ (flex cracking) ทั้งนี้ ในอุตสาหกรรมนมขบเคี้ยวมีการใช้งานวัสดุทั้งสองชนิด ภาพที่ 8 แสดงการใช้งาน EVOH ในบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทต่างๆ

# EVOH Resin Applications

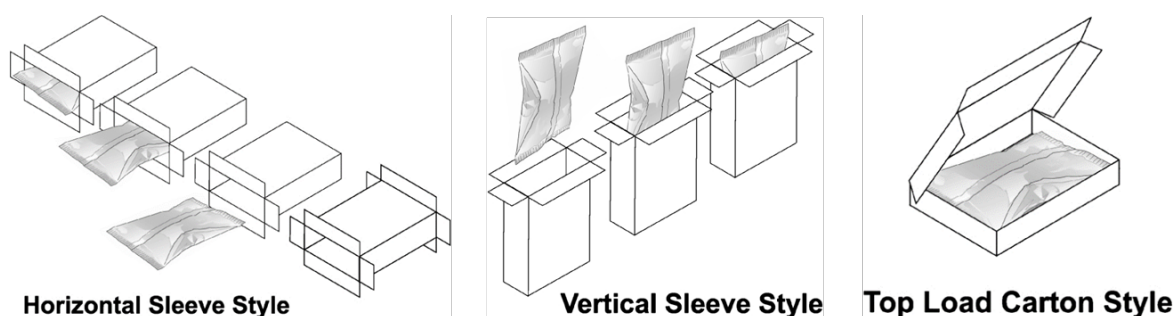


ภาพที่ 8 การใช้งานบรรจุภัณฑ์ที่มีชั้นของ EVOH  
ที่มา: <http://www.tappi.org>

การเคลือบฟิล์มด้วย PVdC ช่วยปรับปรุงสภาพการซึมผ่าน และยืดอายุการเก็บรักษาอาหารหลายประเภท การใช้ PVdC มักประสบปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและข้อจำกัดทางกฎหมาย จึงมีการปรับปรุงวัสดุบรรจุประเภทอื่นให้มีคุณสมบัติด้านทานการซึมผ่านสูงขึ้น ในระดับต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้ นั่นคือ BOPP ซึ่งมีการใช้งานมากในอุตสาหกรรมขนมขบเคี้ยวและผลิตภัณฑ์คอนเฟคชันนารี (confectionary product)

## กล่อง (carton)

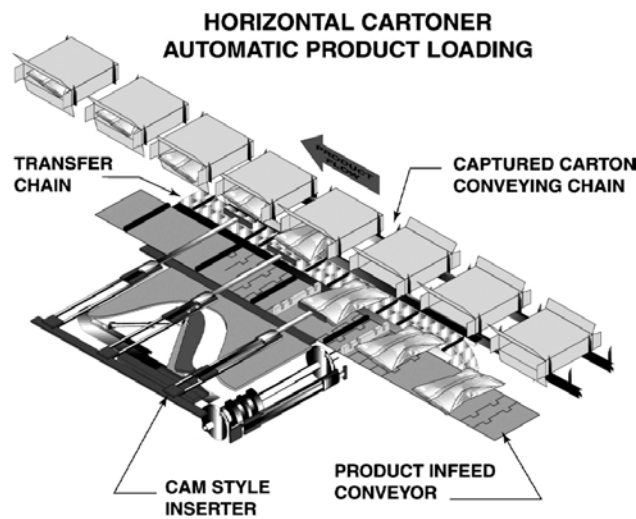
กล่องกระดาษ (carton) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับบรรจุภัณฑ์ ช่วยป้องกันความเสียหายจากแรงกระแทกต่างๆ และช่วยเรื่องความสวยงามด้านการพิมพ์ อย่างไรก็ตาม สภาวะการซึมผ่านของกระดาษมีค่าสูง จึงนิยมใช้กล่องกระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ทุติยภูมิ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ปฐมภูมิซึ่งสัมผัสกับอาหารโดยตรงจะเป็นวัสดุประเภทพลาสติก การบรรจุดังกล่าว เรียกว่า “bag-in-box” หรือ การบรรจุลงในกล่อง (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 การบรรจุแบบ bag-in-box ประเภทตามแนวนอน (horizontal sleeve) แนวตั้ง (vertical sleeve) และจากด้านบน (top load)

ที่มา: Kuhr (2001)

การบรรจุจะมีสายพานสองสายพานคู่ขนานกัน ได้แก่ สายพานผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงและสายพานกล่อง โดยจะมีแขนกลทำหน้าที่ดันถุงเข้าสู่กล่องดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การทำงานของระบบบรรจุแบบ bag-in-box ตามแนวนอน

ที่มา: Kuhr (2001)

#### 5.6 เทคโนโลยีการบรรจุเพื่อยืดอายุขนมขบเคี้ยว

- การบรรจุแก๊สไนโตรเจน ( $N_2$  flushing) เพื่อกำจัดออกซิเจนและทำให้ถุงโป่งพองเพื่อลดแรงกระแทกต่ออาหารที่อาจทำให้สินค้าแตกหักเสียหาย
- การใช้วัตถุดูดซับแก๊สออกซิเจนและความชื้น (oxygen and moisture scavengers) ซึ่งนิยมบรรจุเป็นช่องลงในบรรจุภัณฑ์อาหาร

#### เอกสารอ้างอิง

- ณัฐดนัย หาญการสุจริต. (2559). เอกสารประกอบการสอนวิชาการบรรจุในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ และวัสดุ, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Durston J. (2009). Flexible packaging closures and sealing systems in Theobald, N., & Winder, B. (Eds.). Packaging Closures and Sealing Systems. John Wiley & Sons.
- Kuhr, C. 2001. Snack foods filling and packaging. In Lusas, E. W., & Rooney, L. W. (Eds.). Snack foods processing. CRC Press.
- Pamies, B. V., Roudaut, G., Dacremont, C., Le Meste, M., & Mitchell, J. R. (2000). Understanding the texture of low moisture cereal products: mechanical and sensory measurements of crispness. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(11), 1679-1685.
- Robertson, G. L. (2013). Food packaging: principles and practice. CRC press.