

รายงานผลการสัมมนา

เรื่อง

Plastic Packaging and the Shelf Life of Food

จัดโดย

ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วันที่ 26-27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557

ณ ห้องละอองฟ้า อาคารอมรภูมิรัตน์ สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

ผู้จัดทำ

รองศาสตราจารย์ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ

อาจารย์ กรรณิการ์ ยี่มนาค

ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนพัฒนาบุคลากร

ประจำปีงบประมาณ 2558

รายงานผลการสัมมนา

Plastic Packaging and the Shelf Life of Food

1. ผู้รายงาน

ชื่อ ศุภณีย์	นามสกุล เรียบเลิศศิริณ	ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
ชื่อ กรรณิการ์	นามสกุล ยี่มนาค	ตำแหน่ง อาจารย์

เข้าร่วม การสัมมนา

เรื่อง Plastic Packaging and the Shelf Life of Food

สถานที่ ห้องละอองฟ้า อาคารอมรภูมิรัตน สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

ตั้งแต่ วันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ถึง วันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 รวมระยะเวลา 2 วัน

จำนวนผู้เข้าร่วมทั้งหมด ประมาณ 100 คน

2. รายละเอียดเกี่ยวกับการไปฝึกอบรม ดูงาน ประชุม และสัมมนา

รายงานการสัมมนา เรื่อง Plastic Packaging and the Shelf Life of Food

2.1 วัตถุประสงค์:

- 1) เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติหลักของพอลิเมอร์ที่สำคัญต่อบรรจุภัณฑ์อาหาร
- 2) เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก
- 3) เพื่อให้เห็นความสำคัญของปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ (deteriorative reaction) ที่มีผลต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาอาหาร
- 4) เพื่อให้ทราบปัญหาและแนวทางแก้ไขเกี่ยวกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับอาหารกับการเลือกใช้ชนิดพลาสติก
- 5) เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการปรับปรุง พัฒนา และประเมินการออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับอาหารกับการเลือกใช้ชนิดพลาสติกให้เหมาะสมกับอายุการเก็บรักษาอาหาร
- 6) เพื่อนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์กับการเรียนการสอน การผลิตสื่อ การวิจัย และ/หรือการบริการวิชาการแก่สังคม

วิธีการสัมมนา : การบรรยายและอบรมเชิงปฏิบัติการ

เข้าร่วมสัมมนา : ในฐานะผู้เข้าร่วมสัมมนา

คำชี้แจง: ขอขอบคุณที่ท่านให้ความสนใจศึกษาเอกสารเผยแพร่ความรู้ (KM) ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มสธ. ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์เชิงวิชาการในวงกว้าง ทั้งนี้หากท่านนำข้อมูลจากเอกสารนี้ไปใช้ ขอให้อ้างอิงแหล่งที่มาจากรายการด้วย พร้อมทั้งแจ้งให้เราทราบแหล่งที่ท่านนำไปอ้างอิง โดยแจ้งทางอีเมลมาที่ stoffice@stou.ac.th เพื่อประโยชน์ในการบูรณาการข้อมูลร่วมกัน

2.2 สรุปสาระสำคัญจากการสัมมนาได้ดังนี้

รายงานการสัมมนา เรื่อง Plastic Packaging and the Shelf Life of Food บรรยายและอบรมเชิงปฏิบัติการ โดย Professor Gordon L. Robertson ที่ปรึกษาด้านบรรจุภัณฑ์อาหารและ ศาสตราจารย์วุฒิคุณ (adjunct professor) ของมหาวิทยาลัยควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย และเป็นผู้เขียนหนังสือที่ติดอันดับขายดี ชื่อ Food Packaging: Principles & Practices (3rd edition) จัดพิมพ์เป็นครั้งที่ 3 ในปี 2013 เนื้อหาจากการบรรยายและอบรมเชิงปฏิบัติการนี้สรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

เรื่องที่ 1 Functions and Environments of Packaging

บรรจุภัณฑ์มีหน้าที่หลัก 4 ประการ ได้แก่

1) การบรรจุ (containment) บรรจุภัณฑ์ที่ดี เมื่อบรรจุสินค้าแล้ว ช่วยไม่ให้สินค้าหก สูญหาย เสียหาย ปนเปื้อนที่เป็นผลจากสภาพแวดล้อม

2) การป้องกัน (protection) ได้แก่ การปกป้องหรือป้องกันสินค้าจากน้ำ ไอน้ำ ก๊าซ ฝุ่น จุลินทรีย์ และแรงกระทำต่าง ๆ จากภายนอก อาทิ แรงกด แรงกระแทก แรงสั่นสะเทือน

3) การอำนวยความสะดวก (convenience) ได้แก่ ความสะดวกในการเตรียม การปรุงอาหาร การอุ่นอาหาร ขนาดในการรับประทานและขนาดการใช้งาน การจับถือ การเปิดปิด และการรวมกลุ่มเพื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชั้นที่ 2 และ 3

ตัวอย่างกระป๋องเครื่องดื่ม ที่เปิด-ปิดได้ (re-sealable can closure)



can2close



Xolution xo



ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ผลไม้สดที่มีฉลากบอกระดับความสุกของผลไม้

4) การสื่อสาร (communication) บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่เป็นนักขายเงียบ (silent salesman) โดยการสื่อสารนี้ต้องคำนึงถึงแบรนด์ โลโก้ ฉลาก รูปทรงของบรรจุภัณฑ์ ป้าย RFID และ รหัสสากลของสินค้า (Universal Product Code, UPC) ด้วย ข้อมูลของสินค้าที่บรรจุและต้องการสื่อสาร อาทิ แบรนด์ โลโก้ ข้อมูลทางโภชนาการ คำแนะนำการใช้สินค้า ข้อความโฆษณา QR code และข้อมูลทางสิ่งแวดล้อม



โลโก้ แบรินด์



แบรนด์ ข้อความโฆษณา



ข้อความโฆษณา คือ 64 แคลอรี



QR code



แก้วเบียร์ แบบ pint glass QR code ซึ่งจะมองเห็น QR code
เมื่อใส่เบียร์ดำเต็มแก้ว แต่ถ้าเป็นแก้วเปล่า
หรือเมื่อใส่เบียร์ทั่วไป จะมองไม่เห็น QR code

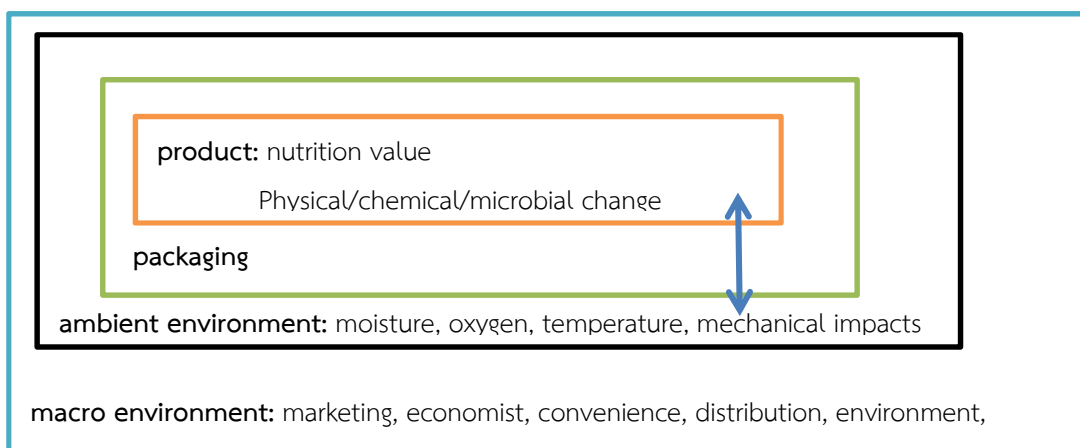


ขวดเบียร์แบบ heineken ignite
ที่เปล่งแสงได้ เมื่อกระทบกับขวดอื่น

สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อบรรจุภัณฑ์มี 3 แบบ ได้แก่

- 1) สภาพแวดล้อมทางกายภาพ (physical environment) เช่น shock, vibration, crush
- 2) สภาพแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ บรรจุภัณฑ์ (ambient environment) เช่น ก๊าซ น้ำ ไอน้ำ แสง อุณหภูมิ จุลชีพ ฝุ่น สิ่งสกปรก ไรระเหย
- 3) สภาพแวดล้อมที่เกิดจากมนุษย์ (human environment) พฤติกรรมผู้บริโภค กฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับ การออกแบบบรรจุภัณฑ์

การสร้างบรรจุภัณฑ์อาหารต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมดังกล่าวเพราะมีผลต่อคุณภาพ ความเสื่อมสภาพ และอายุการเก็บรักษาอาหารที่บรรจุ เพราะบรรจุภัณฑ์กับอาหารมีความสัมพันธ์กัน ดังแผนภาพ packaging food interaction ต่อไปนี้



บรรจุภัณฑ์สำหรับบริโภคและอุปโภคควรออกแบบให้จับถือได้ง่าย เปิด-ปิดง่ายและทำได้หลายครั้ง และใช้ function/environment grid ช่วยในการกรอกข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ก่อนออกแบบ

function/environment grid		environment		
		physical	ambien	human
function	containment			
	protection			
	convenience			
	communication			

นวัตกรรม (innovation) เกิดจากการประดิษฐ์ (invention) ที่อาศัยความคิดวิธีการ กระบวนการใหม่ ๆ แล้วนำมาปรับเปลี่ยนให้เป็นนวัตกรรมที่ประสบความสำเร็จในการนำไปใช้งานหรือในเชิงพาณิชย์ ผลงานที่จดสิทธิบัตรทั้งหลาย ล้วนเป็นสิ่งประดิษฐ์ แต่มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่กลายเป็นนวัตกรรม อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์จึงต้องสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ที่นำไปสู่การสร้างนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์ที่สอดคล้องและตอบสนองต่อตัวแปรหลายประการ อาทิ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของสังคมและความตระหนักในผลกระทบที่เกิดขึ้น ผลกำไรจากนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์ การสร้างความแตกต่างจากบรรจุภัณฑ์อื่น การคำนึงถึงบรรจุภัณฑ์กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน การทำ carbon footprint กับบรรจุภัณฑ์ ตัวอย่างนวัตกรรมที่สร้างสรรค์ด้านบรรจุภัณฑ์ อาทิ Kortec Klear Can, Gamma ketchup bottle, Polymer-clay nanocomposites, LiquiGlide coatings, Serac's Roll Blow และ Amcor's LiquiForm™ Bottle



Kortec Klear Can

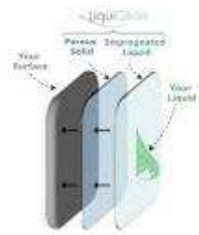
Retortable plastic can อาศัยแนวคิดการใช้วัสดุใหม่ ๆ ที่สร้างสรรค์ขึ้นมาใช้แทนกระป๋องโลหะและขวดแก้ว และเกิดจากการฉีดยา PP เป็นผนังกระป๋อง 5-7 ชั้น ใช้ maleic anhydride เป็น adhesion promotor เพื่อป้องกันการเกิด de-lamination และมี EVOH เป็นชั้นกีดกันอยู่ระหว่างชั้น PP โดยไม่มีชั้นสารยึดติด ฝากระป๋องยังคงเป็นโลหะ



พัฒนาการของ Retortable plastic can

American Can Co.'s "Gamma" bottle: 1st barrier plastic food bottle ปี 1983 เป็นขวดซอสมะเขือเทศแบบบีบ 7 ชั้น PP/EVOH ต่อมาในปี 1990 เปลี่ยนเป็น PET/EVOH เพื่อเพิ่มความใสและทำให้รีไซเคิลได้

Gamma ketchup bottle



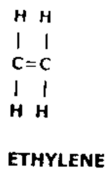
LiquiGlide coatings

ปี 2012 LiquiGlide coatings มี 2 ชั้น คือ ชั้นของแข็งที่มีรูพรุนและชั้นของเหลว ผิวผนังมีคุณสมบัติลื่นมาก ทำให้สินค้าของเหลวไหลผ่านบนผนังได้ง่าย ใช้ทำบรรจุภัณฑ์มายองเนส ซอสมะเขือเทศ ยาสีฟัน

ข้อดีอื่น ๆ : ลดของเสีย เพิ่มคุณค่าผลิตภัณฑ์ ไม่ต้องใช้ระบบปั๊มและระบบฝาปิดที่ซับซ้อน

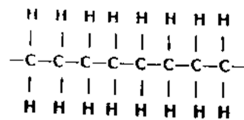
เรื่องที่ 2 Plastic Polymers

plastic มาจากคำว่า plastikos ในภาษากรีก แปลว่า ทำให้มีรูปทรงต่าง ๆ และเปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ง่าย พลาสติกเป็นพอลิเมอร์เพราะประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ที่เรียกว่า มอนอเมอร์



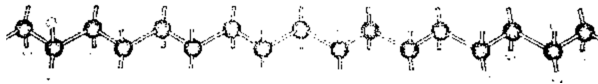
ETHYLENE

มอนอเมอร์



POLYETHYLENE

พอลิเมอร์



โครงสร้างของพอลิเมอร์ โมเลกุลของพอลิเมอร์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์เรียงตัวต่อกันเป็นโซ่ยาว (poly = many, mer = repeat unit) ถ้ามอนอเมอร์เป็นชนิดเดียวกัน เรียกว่า homopolymer ถ้ามอนอเมอร์มากกว่าหนึ่งชนิด เรียกว่า heteropolymer อาทิ copolymer มีมอนอเมอร์ 2 ชนิด (โครงสร้างโมเลกุลของ copolymer มี 4 แบบ ได้แก่ random, alternate, block, graft) และ terpolymer มีมอนอเมอร์ 3 ชนิด

กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) มีหลายแบบ เช่น แบบ addition polymerization มี 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1. การเริ่มต้น (initiation) 2. การขยาย (propagation) 3. การสิ้นสุด (termination) และแบบ condensation polymerization ซึ่งมอนอเมอร์ที่มาต่อกันด้วยพันธะเคมี แล้วปล่อยผลพลอยได้ออกมาเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ (molecular weight, MW) และระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ขึ้นกับระดับการเกิดพอลิเมอร์ DP เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนซ้ำของมอนอเมอร์ชนิดหนึ่ง เป็นค่าที่มีความสำคัญต่อลักษณะและสมบัติของพอลิเมอร์ เช่น DP = 10-20 พอลิเมอร์จะเป็นของเหลว พอลิเมอร์ทั่วไปมีค่า DP > 1000 ตัวอย่างเช่น polyethylene, PE ที่มี DP = 5-10 คือ gasoline, DP = 16-50 คือ paraffin wax, DP = 1000-5000 คือ พลาสติกที่ใช้ทำฟิล์มและขวด ในการผลิตพอลิเมอร์แต่ละครั้งหรือแต่ละแบตช์ (batch) พอลิเมอร์ที่ได้จะมีสายโซ่ที่ยาวไม่เท่ากัน ค่าเฉลี่ยของความยาวสายโซ่พอลิเมอร์ หรือ n คือ ค่า DP ของพอลิเมอร์แบตช์นั้น ๆ พอลิเมอร์ที่มีค่า DP สูง แสดงว่ามี

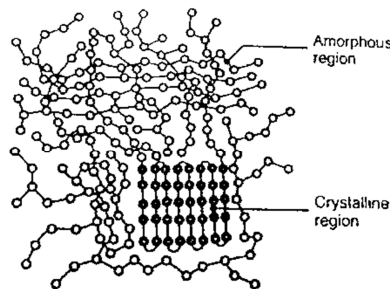
สมบัติเชิงกลสูง และในสภาพหลอมเหลวจะหนืดมาก ส่งผลต่อให้กระบวนการผลิตพลาสติก อาทิ การทำให้หลอมเหลว การฉีด และการขึ้นรูป ทำได้ยาก ใช้ต้นทุนสูง และใช้พลังงานมากขึ้น

ตัวอย่างค่า DP และ MW ของพอลิเมอร์

ชนิดของพอลิเมอร์	DP (n)	MW
polyethylene (PE)	10,000	300,000
polyvinylchloride (PVC)	1,500	100,000
nylon	120	15,000
polycarbonate (PC)	200	40,000

โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์มีผลต่อความหนาแน่น (density) เช่น ถ้ามีอะตอมของออกซิเจน คลอรีน MW ของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วย และมีผลความทนทานต่ออุณหภูมิ แสง น้ำ และตัวทำละลาย โครงสร้างด้านการจัดเรียงตัวมีผลต่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงไฟฟ้าของพอลิเมอร์

โครงสร้างของพอลิเมอร์ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) ซึ่งเป็นบริเวณที่โมเลกุลเรียงตัวเป็นระเบียบ มองดูเป็นจุด และส่วนที่ไม่ใช่ผลึก (amorphous) ซึ่งเป็นบริเวณที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ มองดูเป็นระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity) มีผลมากต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ยิ่งมีความเป็นผลึกมาก ความหนาแน่นยิ่งเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์จะยิ่งแข็ง ทนทาน และไม่เปราะ (harder, stiffer, less ductile)



ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นผลึก เช่น พอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านมาก การเติมพลาสติกไซเซอร์ ทำให้ระดับความเป็นผลึกจะลดลง แต่การทำให้พอลิเมอร์ค่อย ๆ เย็นลง หรือใช้แรงเชิงกลไปทำให้พอลิเมอร์เปลี่ยนรูป อาทิ การยืดพอลิเมอร์ขณะที่ร้อน ทำให้ระดับความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น

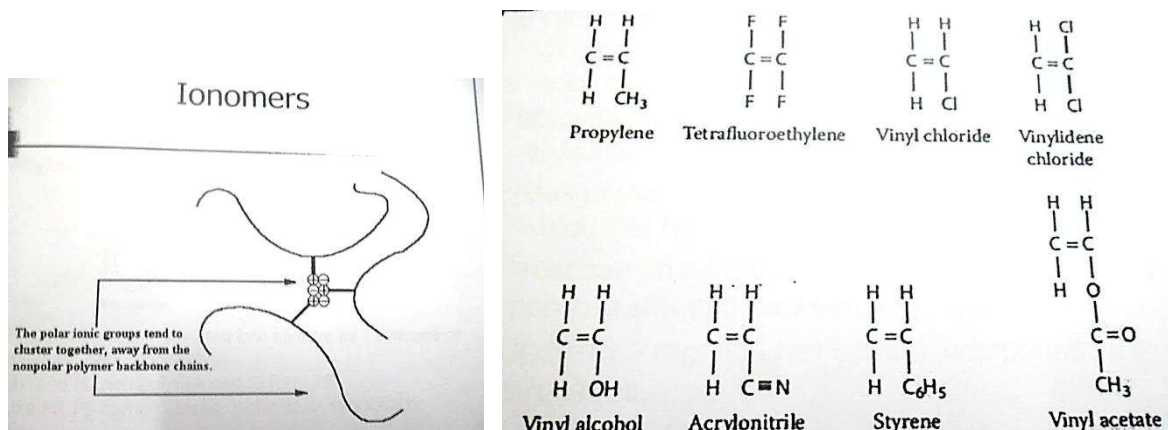
การเปลี่ยนสถานะของพอลิเมอร์ เกิดได้ที่ช่วงอุณหภูมิแคบ ๆ เมื่อพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนสถานะ สมบัติของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนไปอย่างมาก อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะที่สำคัญของพอลิเมอร์ คือ อุณหภูมิสถานะแก้ว (glass transition, T_g) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้พอลิเมอร์ที่ไม่ใช่ผลึกเปลี่ยนจากสภาพเปราะคล้ายแก้วเป็นสภาพยืดหยุ่นคล้ายยาง และอุณหภูมิหลอมเหลว (melting transition, T_m) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้พอลิเมอร์ที่เป็นผลึกเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว โดยส่วนผลึกของพอลิเมอร์จะหายไป อุณหภูมิช่วงใช้งานของพอลิเมอร์กึ่งผลึก อยู่ระหว่าง T_g และ T_m โดยทั่วไป ค่า T_g ของพอลิเมอร์ชนิดผลึกต่ำกว่า 25°C ค่า T_g ของพอลิเมอร์ที่โครงสร้างแบบเส้น (linear) และยืดหยุ่นได้จะมีค่าต่ำ อาทิ HDPE ค่า T_g คือ -90°C แต่ค่า T_g ของพอลิเมอร์ที่แข็งจะมีค่าสูง อาทิ PET ค่า T_g คือ 69°C

ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่เป็นพลาสติก เช่น polyolefin, polypropylene (PP), metallocenes, polyethylene (PE), ethylene-vinyl alcohol (EVOH), ethylene acrylic acid (EAA), polystyrene (PS), poly vinyl chloride (PVC), polyester (PET), poly ethylene teraphthalate (PET), polyamide (PA), acrylonitrile (AN)

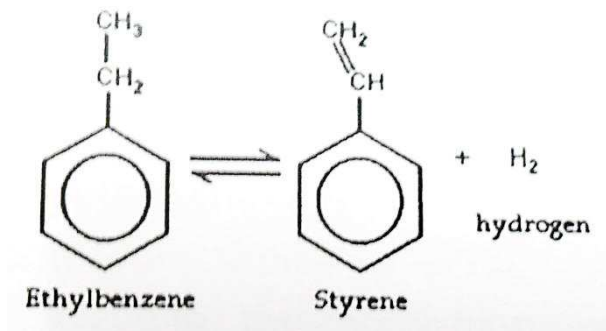
- Polyolefins เป็นพลาสติกชนิด thermoplastic เป็นกลุ่มที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหารมากที่สุด มีโครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์ประกอบด้วย ethylene และ propylene เช่น LDPE, LLDPE, HDPE ซึ่งมีความหนาแน่นต่างกันจากต่ำไปสูง LLDPE มีโครงสร้างโมเลกุลเช่นเดียวกับ HDPE เพียงแต่ไม่มีกิ่งก้านที่เป็นสายโซ่ยาว HDPE เป็น linear thermoplastic

- polypropylene (PP) มีโครงสร้าง 3 แบบ ได้แก่ atactic (amorphous + rubbery, methyl gr. สลับกันแบบสุ่ม) , syndiotactic (methyl gr. สลับกันอย่างเป็นระเบียบ) , isotactic (stiff+highly crystalline + high T_g , methyl gr. อยู่ข้างเดียวกันของสายโซ่) แบบที่ใช้มากที่สุด คือ isotactic สำหรับ copolymer PP ที่มี ethylene 2-7% ทำให้ใสและยืดหยุ่นขึ้น ตัวอย่าง PP ที่ผลิตใช้เชิงพาณิชย์ เช่น cast PP, oriented PP (OPP) , biaxially oriented PP (BOPP)

- polyethylene (PE) มี comonomer 2 กลุ่ม คือ alkene เช่น propene, butane, hexene, octane และกลุ่มสารประกอบที่มีกลุ่มฟังก์ชันที่มีสภาพขั้ว เช่น vinyl acetate, acrylic acid, ethyl acetate, methyl acrylate, vinyl alcohol ถ้า comonomer มีน้อยกว่า 10% ไม่จัดเป็น copolymer แต่จัดเป็น homopolymer กลุ่มฟังก์ชันที่มีสภาพขั้วนี้จะเกาะกลุ่มกันเรียกว่า ionomer และแยกอยู่ห่างจากส่วนพอลิเมอร์ที่เป็นสายโซ่หลักซึ่งไม่มีสภาพขั้ว ตัวอย่าง ethylene ที่ประกอบด้วย comonomer ดังกล่าวแสดงดังภาพ และตัวอย่าง polyethylene ที่เป็น copolymer เช่น ethylene-vinyl alcohol (EVOH), ethylene acrylic acid (EAA)

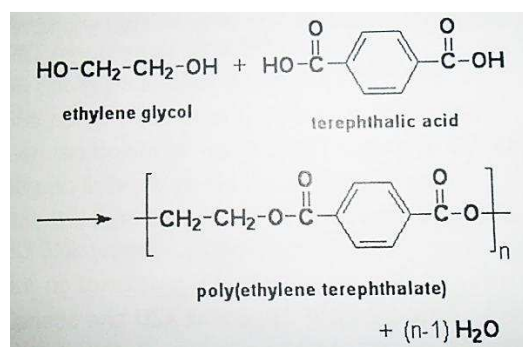


- polystyrene (PS) มี monomer คือ styrene ที่เปลี่ยนมาจาก ethylbenzene ที่เป็นผลจากปฏิกิริยา catalytic dehydrogenation ระหว่าง ethylene กับ benzene PS มีโครงสร้าง 3 แบบ เช่นเดียวกับ PP คือ atactic, syndiotactic, isotactic ประเภทของ PS ที่ใช้มาก คือ GPPS (general purpose PS) และ HIPS (high impact PS) ซึ่งผสมยางสังเคราะห์ คือ butadiene ราว 25% ทำให้ HIPS ไม่เปราะ และทนแรงกระแทกดีขึ้น จึงเหมาะกับการผลิตพลาสติกแบบขึ้นรูปร้อน (thermoforming) และฉีดเข้าแม่แบบเพื่อทำเป็นถ้วยหรือถาด

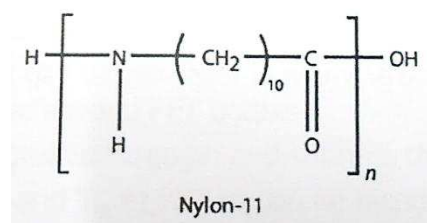
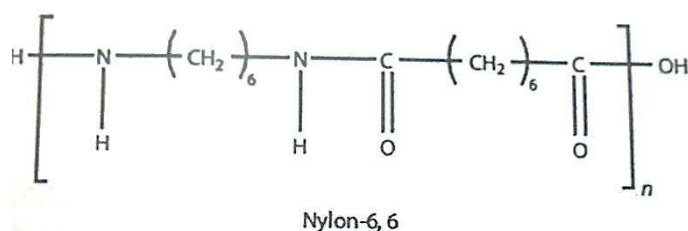


- poly vinyl chloride (PVC) สมบัติขึ้นกับปริมาณ plasticizer มีข้อควรระวังเกี่ยวกับ vinyl chloride monomer เพราะมีความเป็นพิษ หากนำมาใช้บรรจุหรือสัมผัสกับอาหาร ต่อมาจึงถูกแทนที่ ด้วย EVOH สำหรับ plasticized PVC ทำเป็นชิ้นส่วนกันกระแทก ฟิล์มหัด และเป่าทำเป็นขวด แต่ระยะหลังขวด PVC ถูกแทนที่ด้วยขวด PET

- polyester ชนิดที่นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์มากที่สุด คือ poly ethylene terephthalate (PET) ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่าง ethylene glycol (EG) กับ terephthalic acid (TPA) ฟิล์ม PET และขวด PET ส่วนใหญ่มักเป็น amorphous (APET) กระบวนการผลิตนิยมเติมสารเติมแต่งและสารเร่งปฏิกิริยา ปริมาณที่เติม ขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการผลิต เช่น 38 ppb สำหรับถาด PET บรรจุอาหารพร้อมรับประทาน (ready-to-eat meals)



- polyamide (PA) หรือ nylon ทำจาก monomer ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น amine และ carboxylic acid ที่นิยมใช้มี 2 ชนิดตามจำนวนอะตอม C ใน diamine คือ nylon-6,6 และ nylon-11 ทนร้อนได้ดีมาก ถึง 140 °C มีการผลิต PA ชนิด nylon-MXD6 ซึ่งทำจาก meta-xylylene diamine (MXD) กับ adipic acid ใช้เป็นชั้นสกักกั้นการซึมผ่านของก๊าซได้ดีในถุงรีโอร์ตและขวด PET



- acrylonitrile (AN) นิยมเรียกว่า PAN ไม่เหมาะใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหาร

ตัวอย่างสมบัติของพลาสติกบางชนิด

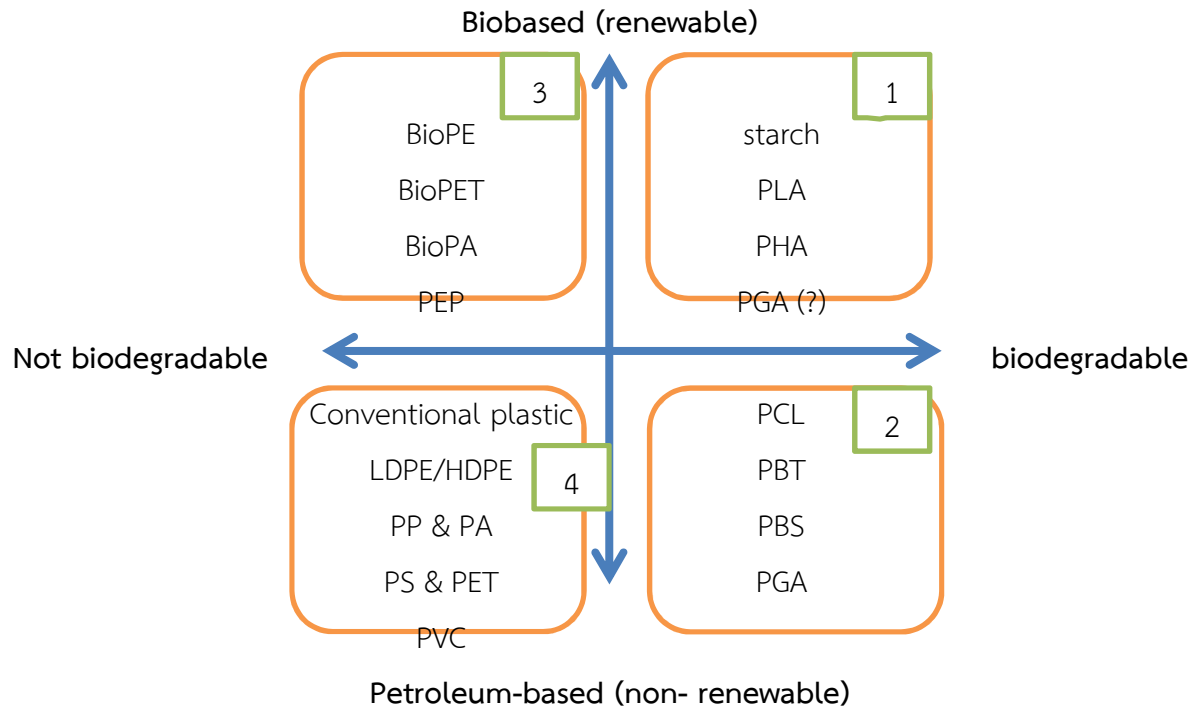
พอลิเมอร์	density (kg m ⁻³)	crystallinity (%)	T _m °C	T _g °C	hard, stiff tough	trans parent	trans lucent	opaque	elongation	gloss	heat sealing
LDPE	910-940	55-70			✓		✓				✓ to itself
LLDPE	880-935				> LDPE	< LDPE			> LDPE	> LDPE	> LDPE
HDPE	940-975	90			> LDPE						
PP	890-900		160-178 >PE	+10 ถึง -20	brittle	✓				✓	
PS				90-100	✓ brittle						
PVC						✓ yellowish					
PET			267	67-80							

พอลิเมอร์	resistance				strength					barrier to		
	tear	chemical	water	abrasion	tensile	burst	tear	impact	puncture	water	water vapour	gas
LDPE		excellent			good	good	good	good		excellent	excellent	x
LLDPE	> LDPE				> LDPE		> LDPE		> LDPE			
HDPE		excellent			> LDPE	> LDPE		< LDPE	< LDPE		> LDPE	> LDPE
PP		excellent		excellent	> LDPE	> LDPE					>PE	>PE
GPPS											poor	good
PVC											poor	
PET		excellent			great						poor	poor (as plasticizer) good (when dry)
AN											moderate	excellent

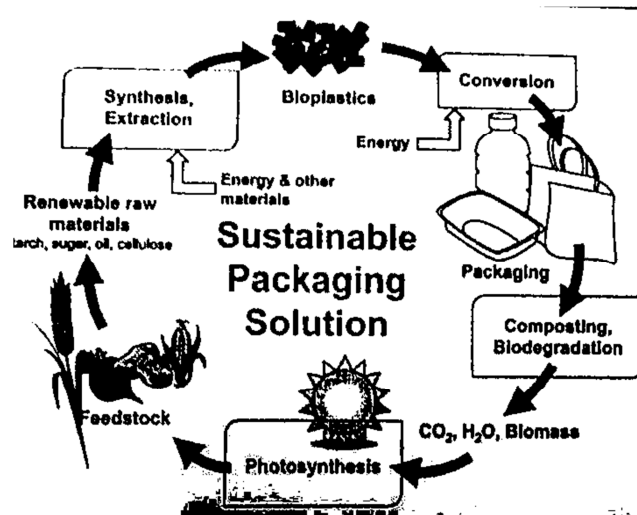
ในการผลิตพลาสติก มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับแต่งพลาสติกแต่ละชนิดให้สมบัติตามต้องการ สารเติมแต่งที่ใช้มีหลายประเภทได้แก่ processing additives, plasticisers, antiaging additives, surface property additives, optical property additives และ foaming agents

เรื่องที่ 3 Biobased & Biodegradable Food Packaging Materials

biobased materials หมายถึง วัสดุที่ทำมาจากวัตถุดิบที่สร้างใหม่ได้ทุกปี (annually renewable resource) เช่น กระดาษที่ผลิตจากเยื่อของต้นไม้ จากกระแสความสนใจเรื่องความยั่งยืน (sustainability) ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในการพัฒนา biobased materials ที่สำคัญ คือ biobased plastic ปริมาณชีวมวลจากการสังเคราะห์แสงมีมากถึง 170 ล้านล้านเมตริกตันต่อปี แต่มนุษย์นำไปใช้ทำอาหารและอื่น ๆ เพียง 3-4% เท่านั้น จึงทำให้เกิดแนวความคิดการพัฒนาด้านเคมีให้เป็น green chemistry ซึ่งรวมถึงการผลิต biobased plastic ด้วย biobased plastic หมายถึง พลาสติกที่ทำจาก biobased materials ซึ่งอาจเป็น biodegradable materials หรือไม่ก็ได้ ส่วน biodegradable materials นั้นไม่ได้ขึ้นกับแหล่งที่มาของวัตถุดิบ แต่ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีเป็นหลัก ดังนั้น biodegradable plastic จึงอาจทำมาจาก renewable resource หรือ petrochemical resource ก็ได้ ดังความแตกต่างที่แสดงในแผนภาพ



สำหรับคำว่า bioplastic หมายถึง biobased plastic หรือ biodegradable plastic หรือทั้ง biobased & biodegradable plastic และจัดเป็นวัสดุสำหรับ sustainable packaging และจะช่วยลดปัญหาปริมาณของเสียและขยะ อันตรายหรือความเสี่ยงเรื่องการติดไฟที่เกิดจากก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกจากหลุมฝังกลบขยะ ดังวงจรการแก้ปัญหาเกี่ยวกับ sustainable packaging

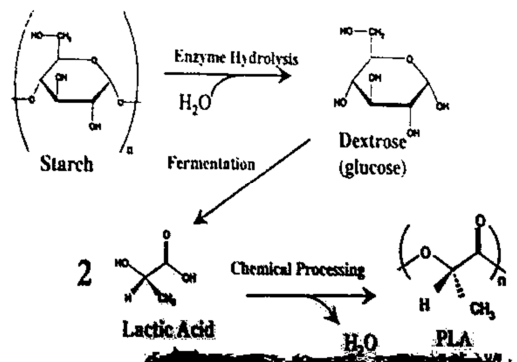


ตัวอย่าง bioplastic ที่สำคัญ ได้แก่

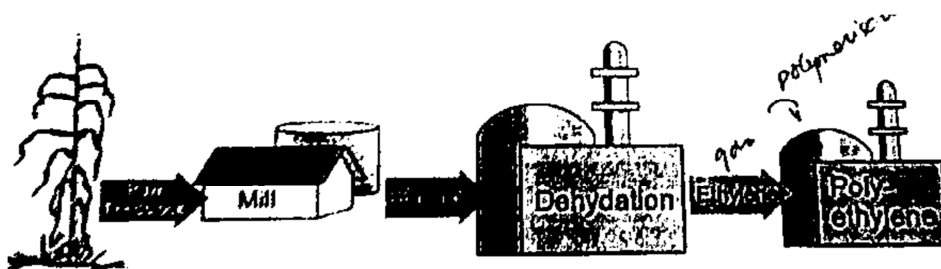
1) TPS (thermoplastic starch) มีองค์ประกอบสำคัญเป็น 89% renewable LDPE และ PP แต่ไม่ compostable มีสมบัติสกัดกันก๊าซได้ดีและผนึกกับฟิล์มที่เป็นส่วนของฟลาได้ดี เหมาะกับบรรจุภัณฑ์อาหารสดจำพวกเนื้อสัตว์ เส้นพาสต้า ซีส ตัวอย่าง bioplastic ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ เช่น Plantic ecoPlastic

2) PLA (polylactic acid) เหมาะกับบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทขวด ถ้วย ถัง และฟิล์ม แต่ยังมีข้อด้อยด้านสกัดกันการซึมผ่านของน้ำได้ไม่ดี

3) Poly hydroxyalkanoates (PHAs) เป็นพอลิเอสเทอร์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในการหมักน้ำตาล ให้เปลี่ยนเป็น copolymer มีความแข็งแรง เหนียว และทนทานต่อความร้อนได้ดีมาก จึงนิยมใช้ทำถ้วย เครื่องดื่มร้อน ฟลาถ้วย ถาด



4) Biopolyethylene สร้างจากปฏิกิริยา catalytic dehydration โดยมี bioethanol เป็นวัตถุดิบ ซึ่งอาจหมักมาจากอ้อย ซึ่งมีสมบัติเหมือนกับ polyethylene ที่ได้มาจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน ตัวอย่าง Biopolyethylene ที่ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดเครื่องดื่ม ถ้วยโยเกิร์ต และกล่อง Tetra Pak จาก bioHDPE ฝาจาก bioPE และ bioHDPE ขวดเครื่องดื่มและขวดซอสมะเขือเทศจาก bioPET ขวดเครื่องดื่มจาก polyethylene furanoate (PEF) bioPEF มีสมบัติสกัดกันก๊าซ O₂ CO₂ และไอน้ำ ได้ดีกว่า bioPET ราว 6, 3 และ 2 เท่าตามลำดับ คาดว่าในปี 2020 bioPEF จะมาทดแทน bioPET ในการทำบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มอัดก๊าซ



5) bioplastic ที่ทำจากวัตถุดิบปิโตรเคมีแต่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) เช่น polycaprolactone (PCL), polybutylene succinate-co-adipate (PBSA), polybutylene adipate - co-terephthalate (PBAT) แต่ยังผลิตในปริมาณน้อยและไม่ใช้กับการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหาร

6) polyglycolic acid (PGA) เป็น bioplastic ที่เตรียมจาก glycolic acid และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

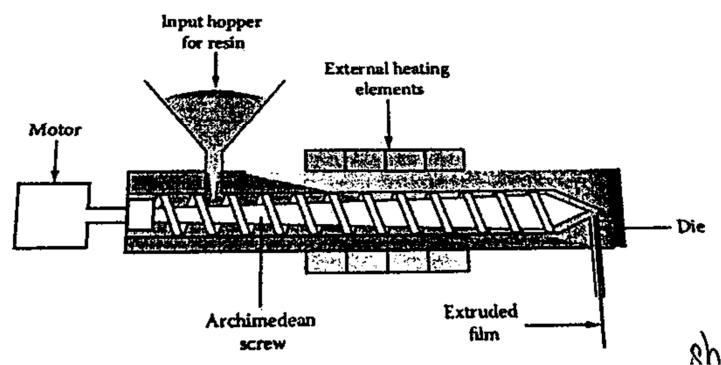
สมบัติของ bioplastic ที่เป็น biobased biodegradable plastic ในด้านสักระกัณ ส่วนใหญ่ยังไม่ได้ (ยกเว้น PHAs และ PGA) และใช้บรรจุสินค้าที่มีอายุการเก็บไม่นาน สมบัติเชิงกลของ bioplastic หลายชนิดใกล้เคียงกัน เช่น PLA, HDPE, PP, PET การปรับปรุงสมบัติของ bioplastic ทำได้หลายวิธี อาทิ การอบโออะลูมิเนียม การเคลือบด้วย SiO_x , Al_2O_3 และ DLC (diamond-like carbon) และการเติม nanoclays (bionanocomposites) ใกล้เคียงกัน

เรื่องที่ 4 กระบวนการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก

พลาสติกที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีกระบวนการขึ้นรูปหลายวิธีการด้วยกัน ดังนี้

1. กระบวนการอัดรีด (extrusion)

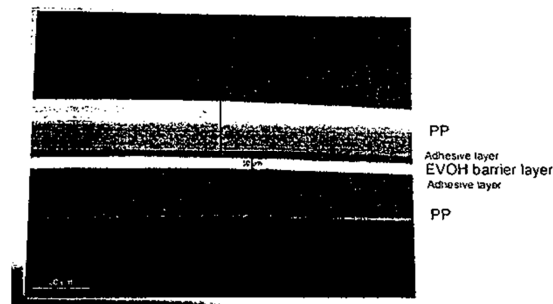
กระบวนการอัดรีดเป็นกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกโดยให้ความร้อนผ่านเครื่องอัดรีดซึ่งภายในมีสกรูช่วยในการผสม และพลาพลาสติกให้ไหลออกมาทางปากตาย โดยรูปร่างของพลาสติกที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของปากตายที่ใช้



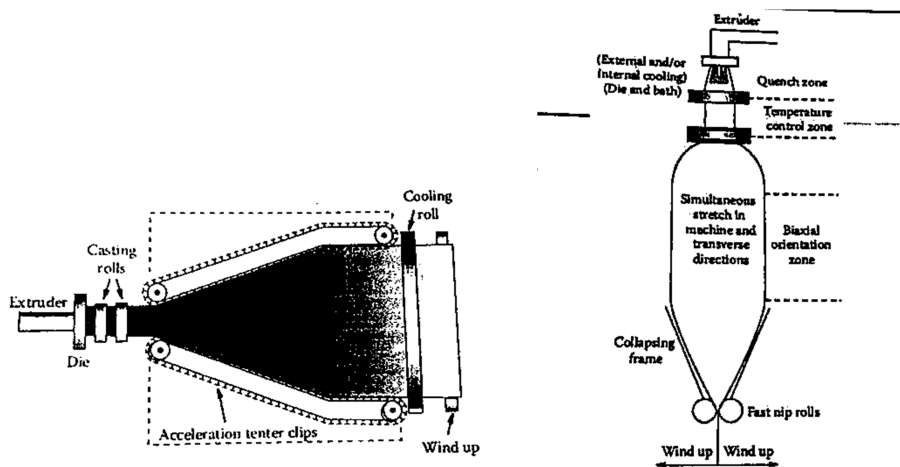
1.1 การผลิตบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

การผลิตบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ได้แก่ การผลิตบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ในรูป ถุง ของ หรือฟิล์มห่อ โดยส่วนมากจะเริ่มจากการผลิตฟิล์มพลาสติกผ่านกระบวนการอัดรีด 2 กระบวนการ คือ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อ (cast film extrusion) และ การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า (blown tubular film extrusion) โดยการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อสามารถผลิตฟิล์มที่มีความบาง ความใส ได้ดีกว่าการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า แต่การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่าจะได้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า ราคาถูก และสามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการในการ

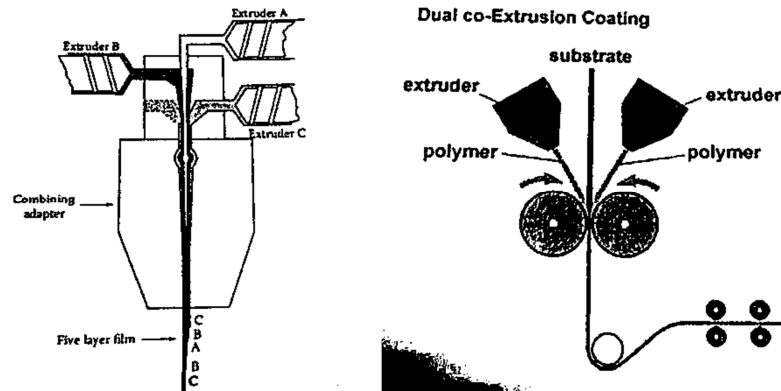
ผลิตได้ง่าย นอกจากการผลิตฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวแล้ว กระบวนการอัดรีดยังสามารถผลิตฟิล์มหลายชั้น ซึ่งทำให้ได้ฟิล์มพลาสติกที่มาจากพลาสติกหลายชนิด ทำให้เพิ่มสมบัติบางประการของพลาสติกให้ดีขึ้น เช่น PP/Adhesive/EVOH/Adhesive/PP เป็นพลาสติกที่มีสมบัติสกัดกั้นการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำที่ดีกว่า PP ชั้นเดียว



การขึ้นรูปฟิล์มด้วยการหล่อ (cast film extrusion) เป็นการผลิตฟิล์มโดยใช้หัวดายแบบสลิตดาย มีลักษณะเป็นท่อยาว ส่วนการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการเป่า (blown tubular film extrusion) จะผ่านดายรูปวงแหวนและมีการดึงฟิล์มในสองทิศทาง ดังแสดงในภาพ

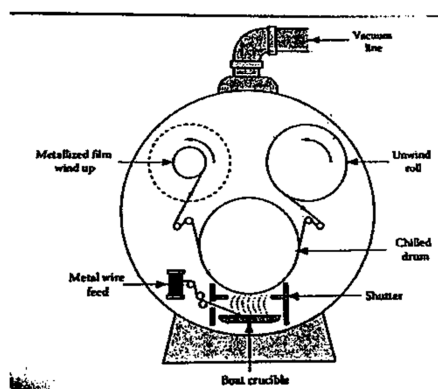


การผลิตฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การรีดร่วม (co-extrusion) และการลามิเนต (laminare) โดยการรีดร่วมจะเป็นการใช้เครื่องอัดรีดตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปผ่านหัวดายร่วมกันทำให้ได้ฟิล์มพลาสติกหลายชั้นออกมา ส่วนการลามิเนตจะเป็นการประกบฟิล์มพลาสติกเข้ากับพลาสติกหรือวัสดุอื่น ซึ่งการลามิเนตจะมีทั้งแบบใช้กาวในการประกบหรือการใช้เครื่องอัดรีดหลอมเหลวพอลิเมอร์ประเภท PE หรือ PP ออกมาเพื่อเป็นตัวยึดระหว่างวัสดุ



วัสดุที่สำคัญตัวหนึ่งที่ยินยอมใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกหลายชั้นในบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับอาหาร คือ เมทัลไลซ์ฟิล์ม (metallized film) ซึ่งเป็นฟิล์มพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยชั้นบางๆ ของโลหะ โดยทั่วไปมักใช้เป็นโลหะอะลูมิเนียม โดยกระบวนการผลิตเมทัลไลซ์ฟิล์มจะใช้ไอโลหะโดยทั่วไปนิยมใช้อะลูมิเนียมระเหยออกมาภายใต้สภาวะสุญญากาศ และไปควบแน่นเกาะบนผิวของแผ่นฟิล์มซึ่งเย็นกว่าทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่มีชั้นของโลหะบางๆ เคลือบอยู่ โดยฟิล์มที่นิยมนำมาเคลือบ เช่น OPP PET เป็นต้น

Vacuum Metalliser

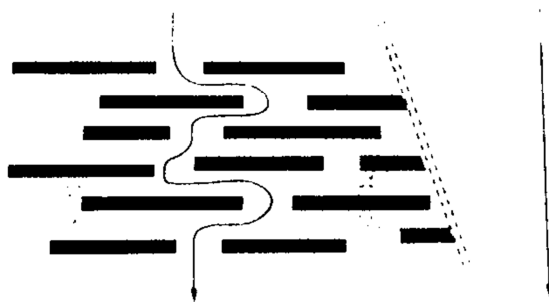


ตารางแสดงตัวอย่างร้อยละการลดลงของการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของเมทัลไลซ์ฟิล์ม

วัสดุ	การซึมผ่านของ ไอน้ำ (%)	การซึมผ่านของ ก๊าซออกซิเจน (%)
พอลิเอสเตอร์	98.5	99.0
PVDC เคลือบบน PET	95.5	91.1
CPP	93.4	98.7
OPP	75	99.2
LDPE	95.3	99.2

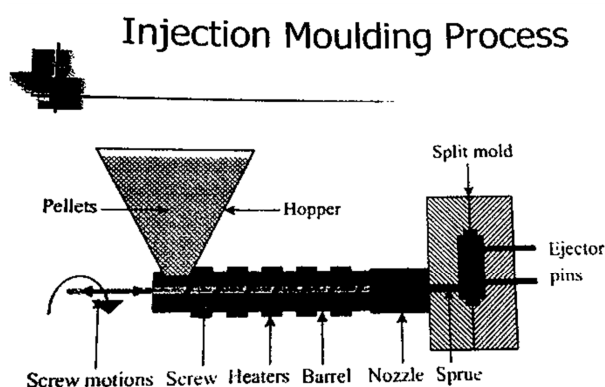
* ความหนาของชั้นอะลูมิเนียม 5×10^{-6} cm

นอกจากนี้ยังมีการนำวัสดุนาโนมาใช้ในการบรรจุภัณฑ์ โดยการนำมาทำเป็นวัสดุนาโนคอมโพสิต โดยวัสดุที่นิยมใช้ในการบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ พอลิเมอร์/เคลย์นาโนคอมโพสิต โดยการนำดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนท์ (montmorillonite) มาเป็นวัสดุช่วยเสริมเรื่องการสกัดกั้นการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะดีมาน้อยเพียงใดขึ้นกับการกระจายตัวของชั้นแร่มอนต์มอริลโลไนท์ในวัสดุ ดังภาพจะเห็นได้ว่าการมีแร่มอนต์มอริลโลไนท์สอดแทรกอยู่ระหว่างเนื้อพอลิเมอร์จะทำให้เกิดเส้นทางเรียกว่า ซิกแซก ทำให้การซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำลดลงจากเดิม สำหรับการทำนาโนคอมโพสิต สามารถทำได้ทั้งพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น PE PP PET และพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น PLA PHA และ แป้ง เป็นต้น

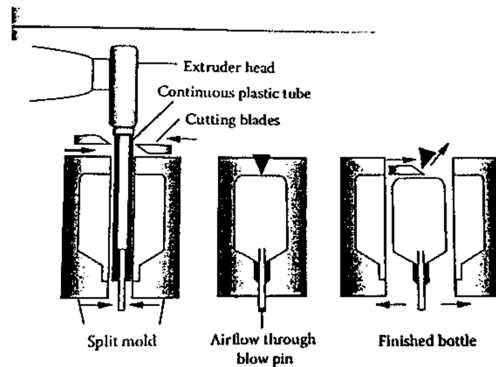


1.2 การผลิตบรรจุภัณฑ์คงรูป

การผลิตบรรจุภัณฑ์คงรูป ได้แก่ ขวด กระปุก กล่อง เป็นต้น จะนิยมผ่านกระบวนการที่เรียกว่า **injection molding process** ซึ่งเป็นกระบวนการฉีดพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีดโดยเครื่องอัดรีดจะต่ออยู่กับแม่แบบ (mold) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจะได้บรรจุภัณฑ์ออกมา และกระบวนการ **extrusion blow molding** เป็นกระบวนการอัดรีดผ่านเครื่องอัดรีด พลาสติกหลอมเหลวจะไหลออกมาและถูกเป่าให้มีขนาดพอดีกับแม่พิมพ์

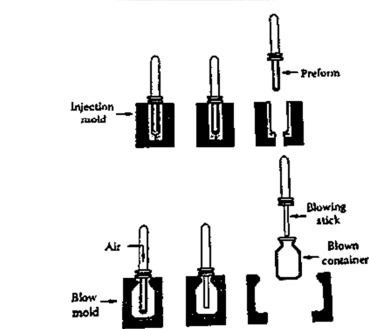


Extrusion Blow Moulding (EBM)

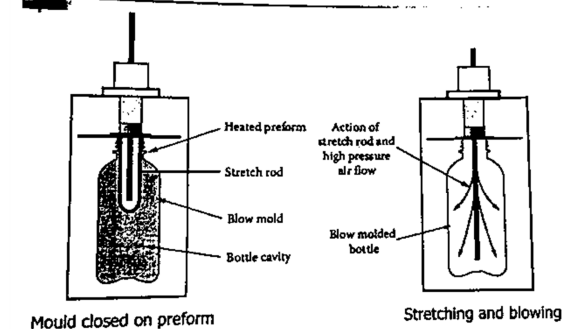


กระบวนการที่สำคัญอีกกระบวนการหนึ่งคือ injection blow molding จะเป็นการฉีดพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีดในรูปของ preform ก่อน เมื่อต้องการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์จะนำม้วนให้ร้อนถึงจุดอ่อนตัวและทำการเป่าให้พองดีกับแม่แบบ ก็จะได้บรรจุภัณฑ์นั้นๆ ออกมา สำหรับบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดพลาสติกที่ต้องการความแข็งแรงมากขึ้นจะผ่านกระบวนการที่เรียกว่า stretch blow molding ซึ่งมีการเป่าและการยืดพลาสติกเพื่อให้เกิดการเกิดจัดเรียงทิศทางของพลาสติก ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

Injection Blow Moulding

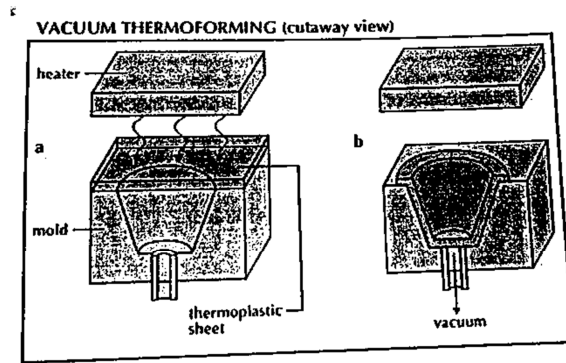


Stretch Blow Moulding Process



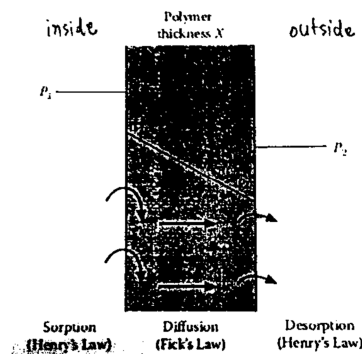
2. เทอร์โมฟอร์มมิ่ง

เทอร์โมฟอร์มมิ่ง (thermoforming) เป็นการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์โดยอาศัยความร้อนเพื่ออ่อนแผ่นพลาสติกให้อ่อนตัวลง จากนั้นนำเข้าไปยังชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ความดันสูญญากาศดูด ทำให้แผ่นพลาสติกร้อนมีรูปทรงตามรูปร่างแม่พิมพ์หรือผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ กระบวนการนี้ทำได้ง่าย และมีราคาถูก ซึ่งพลาสติกที่นิยมผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีนี้ ได้แก่ HIPS PVC PP และ PA เป็นต้น ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ได้แก่ ถาด ถ้วย ขาม เป็นต้น



เรื่องที่ 5 ความสามารถในการซึมผ่านของเทอร์โมพลาสติก

ความสามารถในการซึมผ่านของเทอร์โมพลาสติก เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหาร เนื่องจากสาเหตุหลักในการเสื่อมเสียของอาหารส่วนใหญ่มาจากอากาศ และความชื้น ดังนั้นการลดปัจจัยส่วนนี้ลง จะเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารด้วย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุของบรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ ลักษณะของการซึมผ่านสามารถพิจารณาได้จากโมเดลด้านล่าง

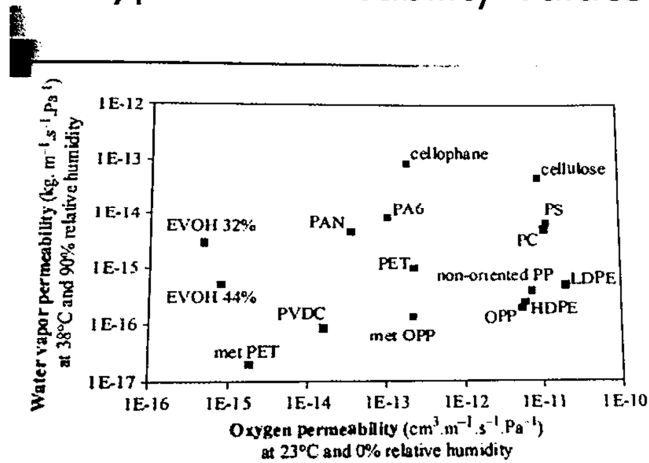


โดยค่าสภาพการซึมผ่านได้ (Permeability; P) จะขึ้นกับชนิดวัสดุดังแสดงในตาราง

TABLE 4.3
Broadly Representative Permeability Coefficients of Various Polymers
and Permeants at 25°C and 0% RH Unless Indicated Otherwise

Polymer	P (Barrier)				
	O ₂	CO ₂	N ₂	SO ₂	H ₂ O (90% RH)
Linear low density polyethylene	1.3-3.0	13	1.5		
Low density polyethylene	3.0-6.7	13-28	0.6-1.9	20	80
High density polyethylene	0.6-1.1	1.7-4.5	0.14-0.33	5.7	13
Poly(ethylene-co-vinyl acetate)	3.0-4.2	13.1-17.3			29
Polypropylene	0.9-2.3	9.2	0.44	0.7	57
Poly(vinyl chloride) film	0.005-0.12	0.03-1.0	0.04	0.12	156-275
Polystyrene film (oriented)	1.1-2.7	8.8-10.5	0.29-0.78	22	11-1,800
Polysacrylonitrile	0.00024	0.006			2.2
Nylo-6 (0% RH)	0.012-0.038	0.04-0.16	0.01	2.2*	700
Nylo-6-MXD6	0.001-0.003	0.0093			
Poly(ethylene terephthalate) (amorphous)	0.055-0.075	0.21-0.30	0.005		
(40% crystalline)	0.018-0.030	0.12-0.16	0.006		130-183
Poly(ethylene naphthalate)	0.0075	0.022			
Polycarbonate film	1.5	6.4			
PVdC copolymer	0.0006	0.0022-0.0036	0.0009		1.4-4.5
EVOH copolymer					
30% ethylene	0.00012	0.00036	0.00012		
44% ethylene	0.00048	0.0014	0.00005		
PCTF	0.03-0.50	0.05-1.25	0.01-0.13		0.3-36
Cellulose acetate	0.4-0.8	2.4-18	0.2-0.3		1,500-10,600
Regenerated cellulose (cellophane)	0.0021	0.0047	0.0032		1,900
Poly(lactic acid)(98% L)	0.11-0.56	1.88	4.99		3,000

Typical Permeability Values



สำหรับค่าอัตราการซึมผ่าน (Transmission Rate) สามารถคำนวณได้จากปริมาณของก๊าซหรือไอน้ำที่ซึมผ่านต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุคูณกับความหนาของวัสดุ

$$TR = \frac{Q}{AT}$$

ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะใช้ตัวย่อว่า OTR (Oxygen Transmission Rate) แต่ถ้าเป็นค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจะใช้ตัวย่อว่า WVTR (Water Vapour Transmission Rate) ซึ่งค่า TR ที่ได้นี้จะสามารถแปลงมาเป็นค่าสภาพการซึมผ่านได้ โดยการนำค่าอัตราการซึมผ่านมาหารด้วยค่าความต่างของความดัน

$$P = \frac{TR}{\Delta p}$$

สำหรับการคำนวณค่าสภาพการซึมผ่านได้ ของฟิล์มพลาสติกหลายชั้น สามารถคำนวณได้จากสูตร

The diagram illustrates a multi-layer film with three layers of thickness X_1, X_2, X_3 and partial pressures p_1, p_2, p_3 on either side. The total area is A_T . The direction of flux is indicated by an arrow. The fluxes through each layer are Q_1, Q_2, Q_3 , and the total flux is Q_0 .

$$P_T = \frac{A_T Q_0}{(X_1/p_1) + (X_2/p_2) + (X_3/p_3)}$$

ตัวอย่าง เช่น จงคำนวณหาค่าสภาพการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจนที่ 30°C สำหรับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นต่อไปนี้

ชั้นนอก – LDPE ความหนา 0.005 cm, $P = 5.5$ barrer

ชั้นกลาง – Nylon 6 ความหนา 0.002 cm, $P = 0.018$ barrer

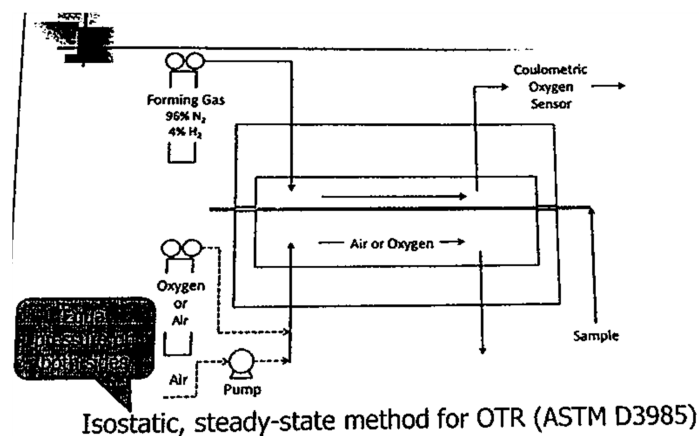
ชั้นใน – LDPE ความหนา 0.005 cm, $P = 5.5$ barrer

จากโจทย์ จะได้ความหนารวม = 0.012 cm

หาค่าสภาพการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจนจาก

$$\begin{aligned} \frac{X_T}{P_T} &= \frac{(X_1/P_1) + (X_2/P_2) + (X_3/P_3)}{P_T} \\ \frac{0.012}{P_T} &= \frac{0.005}{5.5} + \frac{0.002}{0.018} + \frac{0.005}{5.5} \\ P_T &= 0.094 \text{ barrer} \end{aligned}$$

สำหรับเครื่องวัดสภาพการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจนมีลักษณะดังภาพ โดยเครื่องที่ใช้วัดสภาพการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ มีอยู่หลายบริษัทที่ผลิต ได้แก่ MOCON ILLINOIS LABTHINK เป็นต้น



เรื่องที่ 6 ปฏิบัติการเสื่อมเสียของอาหาร

การเสื่อมเสียของอาหารที่สำคัญ ประกอบไปด้วย

1. ปฏิบัติการเอนไซม์ (enzyme reactions) การทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ ค่า a_w และ การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้นของเอนไซม์ เช่น เอนไซม์บางชนิดเร่งการย่อยสลายไขมัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์จะทำให้อาหารที่มีไขมันสูงเกิดกลิ่นหืน เป็นต้น

2. ปฏิกิริยาเคมี (chemical reaction) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นส่วนมากจะมาจาก 2 สาเหตุหลัก คือ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน (lipid oxidation) ทำให้ไขมันมีกลิ่นหืน และการเกิดปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (nonenzyme browning; NEB) ทำให้ผักผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

3. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical changes) เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากแรงทางกายภาพหรือแรงทางกล เช่น การแตกหัก การชำรุด เป็นต้น

4. การเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา (biological changes) เป็นการเปลี่ยนแปลงของอาหารเมื่อมีจุลินทรีย์เข้ามาปนเปื้อนและเพิ่มจำนวนได้ในอาหาร โดยจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งถ้ามีจำนวนมากจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

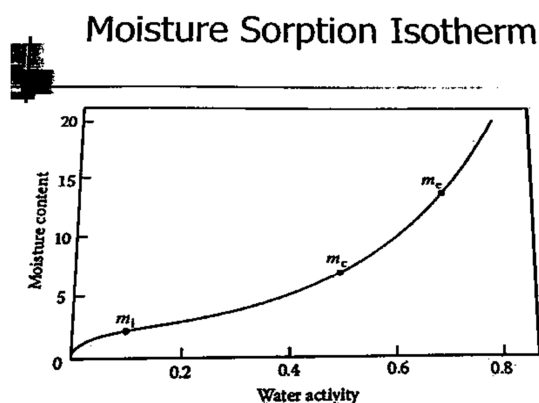
ในการเสื่อมเสียของอาหารนั้น ค่า a_w (water activity) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากค่า a_w เป็นตัวบอกปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ จึงถือได้ว่าค่า a_w เป็นตัวควบคุมในการเสื่อมเสียของอาหาร โดยอาหารแต่ละชนิดจะมีค่า a_w ที่แตกต่างกัน โดยค่า a_w สามารถหาได้จาก

$$a_w = \frac{\text{ความดันไอของน้ำในอาหาร (p)}}{\text{ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ (p_0)}}$$

$$\text{ERH} = 100 \times a_w$$

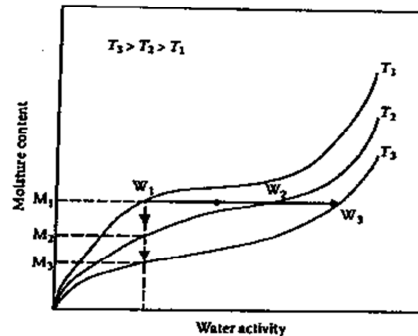
เมื่อ ERH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอาหารในสภาวะสมดุล

ซึ่งค่า a_w จะมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น โดยจะเป็นค่าเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิที่คงที่ค่าหนึ่ง เมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง a_w ปริมาณความชื้น จะเรียกรูปนี้ว่า Moisture Sorption Isotherms (MSI) โดยกราฟ MSI จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่า a_w จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งกราฟ MSI จะช่วยประเมินอายุการเก็บของอาหารนั้นๆ ได้



สิ่งหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w อย่างมาก นั่นคือ อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อระดับพลังงานจลน์ของน้ำในอาหาร ทำให้น้ำในอาหารมีระดับสูงขึ้นกว่าอาหารที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น การเก็บอาหารที่อุณหภูมิสูงจึงมีการเสื่อมเสียได้ง่ายกว่า เนื่องจากเป็นแหล่งในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จำพวก รา ยีสต์ แบคทีเรีย ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร

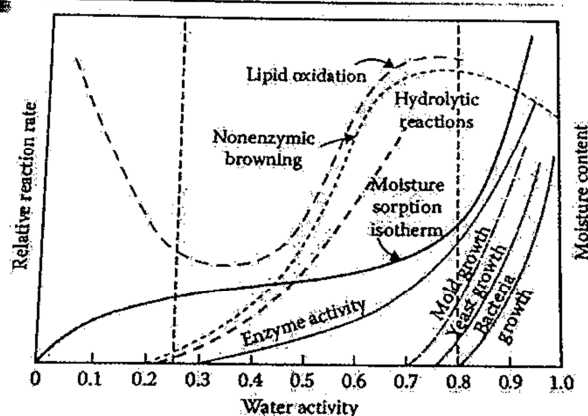
Effect of Temperature on MSIs



As temperature increases in a sealed package, a_w increases

ดังนั้นค่า a_w ต่ำๆ จะช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารได้ ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าพบว่าค่า a_w ต่ำสุดที่ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาเคมี และปฏิกิริยาเอนไซม์ ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย มีค่า a_w ดังกราฟ ตัวอย่างการอ่านกราฟ เช่น ถ้าต้องการไม่ให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ต้องควบคุมอาหารให้มีค่า ต่ำกว่า 0.6 เป็นต้น

Water Activity & Food Stability



เรื่องที่ 7 Shelf Life of Foods

คุณภาพอาหารมีความหมาย แต่ความหมายที่สำคัญขึ้นกับผู้บริโภค นั่นคือเป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคยอมรับไม่ว่าจะเป็น ความปลอดภัย ความสะดวกในการรับประทาน ราคา คุณค่า คุณภาพอาหารเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพไปตามเวลาระหว่างการเก็บอาหาร เรียกว่า อายุการเก็บรักษาอาหาร (shelf life of food) ซึ่งการนับช่วงเวลาทำได้หลายแบบ เช่น นับตั้งแต่การผลิตถึงเวลาที่อาหารเสีย นับช่วงเวลาที่ยังปลอดภัยต่อผู้บริโภค นับตั้งแต่การบรรจุถึงเวลาที่ผู้บริโภคซื้อไป เป็นต้น ซึ่งจะเลือกใช้อย่างไรขึ้นกับผู้ผลิตที่ต้องการสื่อสารไปยังผู้บริโภค ดังตัวอย่างคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาอาหารหลายคำที่ปรากฏอยู่บนบรรจุภัณฑ์ มีความหมายและมีการนำไปใช้แตกต่างกัน เช่น

- best before....., best used by....., best by....., วันที่ที่ปรากฏต่อจากคำเหล่านี้หมายถึง วันสุดท้ายที่อาหารยังคงคุณภาพดี

- use by, expiration, วันที่ที่ปรากฏต่อจากคำเหล่านี้หมายถึง วันสุดท้ายหลังจากที่อาหารไม่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้นานทำได้โดยการกำหนด IoFs (indices of failure หรือ Critical descriptors) ของอาหาร และนำไปใช้ในการทดสอบอายุการเก็บรักษาอาหาร ตัวอย่าง IoFs เช่น การมีกลิ่นเหม็นหืนในธัญพืชอันเป็นผลมาจากออกซิเดชัน การเปลี่ยนสีเนื้อสัตว์จากสีแดงเป็นสีอื่น การลดก๊าซ CO_2 ในขวดโซดาเพราะก๊าซ CO_2 ซึมผ่านออกจากขวด การจับตัวเป็นก้อนของกาแฟสำเร็จรูปเนื่องจากผงกาแฟดูดความชื้น การเกิดเชื้อราในอาหาร การเหี่ยวและการเน่าของผักผลไม้สด การเปลี่ยนจากสภาพกรอบกรอบของขนมเป็นอ่อนนุ่ม ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจหรือประเมินว่าอาหารเสื่อมสภาพหรือไม่ตามลำดับ คือ ผู้บริโภค ฝ่ายการตลาด และฝ่ายเทคนิค เมื่อกำหนด IoFs แล้วจึงกำหนดสภาพการณ์ ณ จุดสุดท้าย (endpoint) ของที่เกิดขึ้นแล้วทำให้อาหารเริ่มเสื่อมสภาพไม่ว่าจะเป็นการเสื่อมสภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ หรือลักษณะอื่น ๆ ที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ เป็นจุดที่ใช้ตัดสิน เรียกว่า cutoff point (COP) เช่น กำหนดเป็นปริมาณความชื้นหรือก๊าซที่ทำปฏิกิริยากับอาหาร ระยะเวลาที่ทำให้อาหารเกิดเสื่อมสภาพ คือ อายุการเก็บรักษาอาหาร

อายุการเก็บรักษาอาหารมี 2 แบบ คือ primary shelf life of food ซึ่งนับตั้งแต่ยังไม่มีเปิดถึงเวลาที่คุณภาพอาหารยังดี และ secondary shelf life of food ซึ่งนับตั้งแต่มีการเปิดถึงเวลาที่คุณภาพอาหารยังดี อายุการเก็บรักษาอาหาร ดังนั้น secondary shelf life จะสั้นกว่า primary shelf life เพราะอาหารจะเสื่อมสภาพหรือสูญเสียคุณภาพเร็วขึ้นเมื่อบรรจุภัณฑ์ถูกเปิดแล้ว

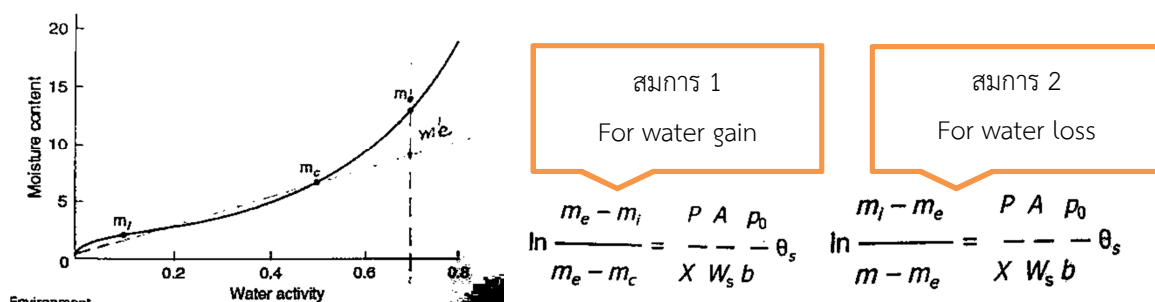
ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร เช่น คุณลักษณะของอาหาร (เช่น องค์ประกอบ สูตรอาหาร pH, a_w) กระบวนการบรรจุ (เช่น ตัวแปรต่าง ๆ ในระหว่างบรรจุ) บรรจุภัณฑ์ (เช่น วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ สมบัติของบรรจุภัณฑ์) และสภาพแวดล้อมในระหว่างเก็บและขนส่ง (เช่น RH, อุณหภูมิ แสง ความดัน น้ำ ไอ น้ำ ก๊าซ แรงเชิงกล) หากปรับปัจจัยดังกล่าวให้เหมาะสม จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ ตัวอย่างเช่น การเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม ทำให้ขนมที่กรอบกรอบเปลี่ยนเป็นอ่อนนุ่มได้เนื่องจากไอน้ำซึมผ่าน

วัสดุนั้นได้ ทำให้ขนมดูดไอน้ำ แต่ถ้าใช้เลือกใช้พลาสติกชนิดที่สกัดการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาทำบรรจุภัณฑ์ ก็จะรักษาความกรอบของขนมได้นานขึ้น การบรรจุผงกาแฟในกระป๋องด้วยระบบสุญญากาศจะขจัด O_2 ได้มากกว่า 95% แต่ถ้าบรรจุด้วยระบบการใช้ก๊าซเฉื่อย จะขจัด O_2 ได้เพียง 80-90%

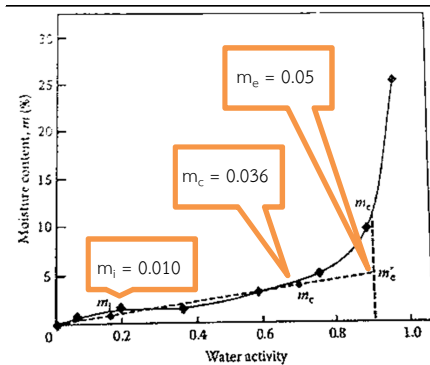
ปัจจัยสำคัญด้านบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยควบคุมอายุการเก็บรักษาอาหารมี 5 ประการ ดังนี้

1) water vapour transfer (WVTR) ใช้สมการในการคำนวณอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เกี่ยวข้องกับ Δp ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่าง p_1 (แรงดันไอน้ำภายนอกบรรจุภัณฑ์) และ p_2 (แรงดันไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์) ค่า Δp นี้ไม่คงที่เพราะ p_1 ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในระหว่างการเก็บ การกระจาย และการขายสินค้า และขึ้นกับที่ตั้งของประเทศต่าง ๆ ด้วย ทั้งนี้มีการกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับประเทศเขตร้อนชื้น เป็น $38^\circ C$, 90% และสำหรับประเทศเขตอื่น ๆ เป็น $25^\circ C$, 75% หรือ เป็น $23^\circ C$, 50% ส่วน p_2 ขึ้นกับปริมาณความชื้นในอาหาร

ในอาหารที่มีความชื้นน้อยถึงปานกลาง สามารถประมาณค่าความชื้นในอาหารได้จากกราฟการดูดความชื้นของอาหารที่เรียกว่า isotherm ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งและปรับให้เป็นเส้นตรงก่อนประเมินค่าด้วยสมการ $m = ba_w + C$ เมื่อ แกน X เป็น moisture content, แกน Y เป็น water activity, m คือ moisture content, b คือ slope, a_w คือ water activity, C คือ Y intercept และบนเส้นกราฟ m_i คือ internal moisture, m_c คือ critical moisture, m_e คือ equilibrium moisture, m'_e คือ pseudo-equilibrium moisture สามารถหาค่าได้จาก isotherm แล้วคำนวณอายุการเก็บอาหาร (θ_s) จากสมการ



ตัวอย่างการคำนวณอายุการเก็บอาหาร (time, $t = \theta_s$) ของขนมบิสกิตที่อุณหภูมิ $40^\circ C$ จาก isotherm และสมการ เมื่อกำหนดให้



Package dimension (A) = $8 \times 16 \times 4 \text{ cm} = 448 \text{ cm}^2 = 0.0448 \text{ m}^2$

Dry solid weight in package (W_s) = $250 \times 99\% = 247.5 \text{ g}$

Vapour pressure of pure water (p_0) at $38^\circ\text{C} = 4.969 \text{ cm Hg}$

Driving force for WVTR (90%RH) = $4.969 \times 90 = 4.472 \text{ cm Hg}$

WVTR of 2 films ($38^\circ\text{C}/90\%\text{RH}$): $26 \mu\text{m OPP} = 5.0 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$

$50 \mu\text{m OPP} = 3.4 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$

คำนวณ P/X (water vapour permeances) = WVTR/ Driving force for WVTR

For $26 \mu\text{m OPP} = (5.0 \text{ g/m}^2\text{day}^{-1}) \times (1/4.472 \text{ cm Hg}) = 1.118 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1} (\text{cm Hg})$

For $50 \mu\text{m OPP} = (3.4 \text{ g/m}^2\text{day}^{-1}) \times (1/4.472 \text{ cm Hg}) = 0.760 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1} (\text{cm Hg})$

จาก isotherm: $m_i = 0.010$, $m_c = 0.036$, $m_e = 0.05$, b (slope) = 0.055

คำนวณ อายุการเก็บขนมบิสกิต (θ_s) จากสมการ 1 For water gain ได้ดังนี้

θ_s for $26 \mu\text{m OPP} = 57 \text{ days}$ คำนวณจาก $\ln(0.05-0.010/0.05-0.036) = 1.118 \bullet (0.0448/247.5) \bullet (4.969/0.055) \bullet \theta_s$

θ_s for $50 \mu\text{m OPP} = 84 \text{ days}$ คำนวณจาก $\ln(0.05-0.010/0.05-0.036) = 0.760 \bullet (0.0448/247.5) \bullet (4.969/0.055) \bullet \theta_s$

หมายเหตุ

- θ_s ที่ได้จะนานกว่าอายุการเก็บจริงเพราะ m'_e น้อยกว่า m_e
- ถ้าต้องการอายุการเก็บขนมบิสกิตที่นานขึ้น ให้คำนวณ θ_s จากการใช้ฟิล์มชนิดอื่นที่มีค่า P/X ต่ำลง

2) gas transfer ก๊าซที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในบรรจุภัณฑ์อาหาร คือ O_2 เพราะมีผลต่อปฏิกิริยาปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ (deteriorative reaction) อาทิ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงต้องควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ

- ปริมาณ O_2 ทั้งหมดในบรรจุภัณฑ์ ณ ขณะปิดผนึก และปริมาณการซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ (total amount of O_2 present)

- ความเข้มข้นของ O_2 ในอาหาร (concentration of O_2 in food)

ตัวอย่างการคำนวณอายุการเก็บขนมบิสกิต (25% fat) ที่ เมื่อกำหนดให้

- เหมันหีนที่ 50% fat เมื่อ ค่า peroxide value (PV) เป็น 15.6 meq (milliequivalent) of oxygen/kg และ $1 \text{ meq } \text{O}_2 = 0.5 \text{ millimoles}$

- พื้นผิว บรรจุภัณฑ์ 440 cm^2 (0.044 m^2)

- ปริมาณบรรจุ 250 g

- บรรจุภัณฑ์ทำจากฟิล์ม 2 ชนิด คือ ฟิล์ม A: $26 \mu\text{m}$ coextruded OPP ที่มีค่าการซึมผ่านของ O_2 (oxygen transmission rate, OTR) = $650 \text{ mL m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ และ ฟิล์ม B: laminate film ($15 \mu\text{m}$ biaxial

oriented nylon-6, BON6 ประกอบกับ 80 μm LDPE) มีค่าการซึมผ่านของ O_2 (oxygen transmission rate, OTR) = $2 \text{ mL m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) วัด OTR ที่ $23^\circ\text{C}/0\%\text{RH}$

- หลังจากปิดผนึก กำหนดว่าภายในบรรจุภัณฑ์ไม่มี O_2 ดังนั้น O_2 ที่พบในเวลาต่อมาจึงเกิดจากการซึมผ่านบรรจุภัณฑ์เท่านั้น

วิธีการคำนวณ

- น้ำหนักของไขมัน (weight of fat) = $25\% \times 250 \text{ g} = 62.5 \text{ g}$

- ปริมาณสูงสุดของ O_2 ที่สามารถเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ = $(15.6 \times 62.5)/1000 = 0.975 \text{ meq } \text{O}_2$
 $= 0.975 \times 0.5 = 0.4875 \text{ millimoles}$
 $= 4.875 \times 10^{-4} \text{ millimoles}$

- คำนวณปริมาณ oxidation O_2 เป็น mL จากสมการ $V = nRT/P$
 $= (4.875 \times 10^{-4}) \times 82.06 \times 296/1$
 $= 11.8 \text{ mL}$

เมื่อค่าคงที่ คือ $R = 82.06 \text{ mL atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ และ $P = 1 \text{ atm}$

- คำนวณ OTR ต่อบรรจุภัณฑ์/วัน ของ ฟิล์ม A : = $\text{OTR (mL m}^{-2} \text{ day}^{-1}) \times \text{surface area (m}^2)$
 $= 650 \times 0.044 = 28.6 \text{ mL}$

- คำนวณ OTR ต่อบรรจุภัณฑ์/วัน ของ ฟิล์ม B : = $\text{OTR (mL m}^{-2} \text{ day}^{-1}) \times \text{surface area (m}^2)$
 $= 2 \times 0.044 = 0.088 \text{ mL}$

- คำนวณอายุการเก็บของบิสกิต ของ ฟิล์ม A : = $V/\text{OTR ต่อบรรจุภัณฑ์/วัน}$
 $= 11.8/28.6 = 0.412 \text{ วัน} = 9.9 \text{ ชั่วโมง ที่ } 23^\circ\text{C}$

- คำนวณอายุการเก็บของบิสกิต ของ ฟิล์ม B : = $V/\text{OTR ต่อบรรจุภัณฑ์/วัน}$
 $= 11.8/0.088 = 134 \text{ วัน ที่ } 23^\circ\text{C}$

3) light transmission อาหารที่เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อโดนแสง ต้องบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่กันการส่องของแสงได้ ตัวแปรของแสงที่สำคัญ คือ ปริมาณแสง ความเข้มของแสง และความยาวคลื่นของแสงที่สัมผัสกับอาหาร ตัวอย่างเช่น ขวดสีที่ทึบแสงป้องกันวิตามินต่าง ๆ ในอาหารไม่ให้ถูกทำลายได้ดีกว่าขวดใส อายุการเก็บรักษาอาหาร

4) package dimensions ขนาดหรือมิติของบรรจุภัณฑ์สัมพันธ์กับรูปทรง (shape) และพื้นที่ผิว (surface area) ของบรรจุภัณฑ์ และต้องเหมาะสมกับน้ำหนักของอาหารที่บรรจุ บรรจุภัณฑ์รูปทรงกลมมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด ส่งผลให้ความชื้น O_2 แสง เข้าไปในบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุดด้วย แต่บรรจุภัณฑ์รูปทรงกลมนี้ไม่เหมาะกับการใช้งาน ดังนั้นรูปทรงส่วนใหญ่ของบรรจุภัณฑ์จึงเป็นสี่เหลี่ยมและทรงกระบอก ตัวอย่างเช่น บรรจุภัณฑ์รูปทรงต่าง ๆ ที่มีปริมาตรเท่ากัน คือ 450 mL มีค่าพื้นที่ผิวดังนี้



sphere

285 cm²

cylinder

331 cm²

cube

353 cm²

tetrahedron

424 cm²

rectangular pack

450 cm²

thin rectangular pack

985 cm²

จากค่าพื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์รูปทรงดังกล่าว หากนำมาบรรจุอาหารที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1 น้ำหนัก 450 g ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกที่มีค่า WVTR 2.1 g m⁻² day⁻¹ ที่ 23°C/75%RH ค่า m_i = 3%, m_c = 7% กำหนดให้ driving force for WVT คงที่ และในอาหารมีความชื้นไม่แตกต่างกัน (no moisture gradient)

วิธีการคำนวณ

- น้ำหนักของ dry solids = 97% x 450 g = 436.5 g
- น้ำหนักตั้งต้นของน้ำในอาหาร = 3% x 450 g = 13.5 g
- น้ำหนักสุดท้ายของน้ำในอาหาร = 436.5/0.93 - 436.5 = 32.85 g (0.93 มาจาก 7%)
- ดังนั้น น้ำหนักของน้ำที่เข้าไปในอาหาร = 32.85 - 13.5 = 19.35 g

ค่า 19.35 g นี้ นำไปใช้คำนวณอายุการเก็บอาหาร (θ_s) ในบรรจุภัณฑ์รูปทรงต่าง ๆ ข้างต้น ดังนี้

For spherical-shaped package: ปริมาณน้ำที่เข้าไปในบรรจุภัณฑ์ต่อวัน = พื้นที่ผิว (m²) X WVTR

$$= 0.0285 \text{ (m}^2\text{)} \times 2.1 = 0.05985 \text{ g day}^{-1}$$

θ_s = ปริมาณน้ำที่เข้าไปในบรรจุภัณฑ์ต่อวัน/ปริมาณน้ำที่เข้าไปในบรรจุภัณฑ์ต่อวัน = 19.35/0.05985 = 323 วัน

ด้วยวิธีการคำนวณแบบเดียวกัน ได้ค่า θ_s สำหรับบรรจุภัณฑ์รูปทรงต่าง ๆ ข้างต้น ดังนี้

sphere	cylinder	cube	tetrahedron	rectangular pack	thin rectangular pack
285 cm ²	331 cm ²	353 cm ²	424 cm ²	450 cm ²	985 cm ²
323 วัน	278 วัน	261 วัน	219 วัน	204 วัน	93.5 วัน

5) package & product interaction หมายถึง การที่สารในอาหารและในบรรจุภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาหรือทำปฏิกิริยากัน แล้วไปมีผลต่อคุณภาพของอาหาร ตัวอย่างเช่น การที่ LDPE ที่ลามิเนตในกล่องกระดาษบรรจุน้ำส้ม แล้วดูดซึมกลิ่นหอมของส้ม การเคลื่อนย้ายสารจากบรรจุภัณฑ์ เช่น plasticisers เข้าไปปนเปื้อนในอาหาร

นอกจากปัจจัยด้านบรรจุภัณฑ์ซึ่งจัดเป็นปัจจัยภายในที่มีผลต่ออายุการเก็บอาหารแล้ว ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกก็มีผลด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น สภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศทั่วโลกและแต่ละฤดูกาล มีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลสารต่าง ๆ (mass transfer) เข้าไปในบรรจุภัณฑ์และออกจากบรรจุภัณฑ์ อาทิ ก๊าซ ไอน้ำ น้ำ และสารอื่น อุณหภูมิมีผลต่อการถ่ายโอนความร้อน (heat transfer) ของอาหารและบรรจุภัณฑ์ และแรงกระทำจากภายนอกที่มีผลต่อบรรจุภัณฑ์และอาหารในบรรจุภัณฑ์ เช่น แรงกระแทกในระหว่างการขนส่งและกระจายสินค้า ทำให้บรรจุภัณฑ์ยุบ แตก ฉีกขาด สิ้นค้ารั่วไหลออกจากบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น การคำนวณอายุการเก็บรักษาอาหารนิยมใช้ Arrhenius model และ linear model ในการสร้างกราฟอายุการเก็บรักษาอาหาร (shelf life plot) และสมการที่ใช้ในการทำนายระดับการเสื่อมสภาพของอาหารที่เกิดจากอุณหภูมิมี 2 สมการ คือ zero-order reaction prediction ใช้กับสินค้าที่ผลิต บรรจุ เก็บในสภาพเฉพาะ อาทิ อาหารแช่แข็ง และ first-order reaction prediction ใช้กับสินค้าที่ควบคุมปัจจัยภายนอกให้คงที่ สมการนี้เกี่ยวข้องกับ time-temperature tolerance (TTT) และ ความผันแปรที่เกิดจากสินค้า กระบวนการผลิต และกระบวนการบรรจุ (product, processing methods & packaging, the PPP factors)

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร คือ จุลินทรีย์ซึ่งมี 2 กลุ่ม คือ

- จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (spoilage microorganisms) วิธีการที่นิยมใช้ในการกำหนด microbial shelf life คือ การเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่างกัน แล้วตรวจสอบหรือประเมินสภาพเน่าเสียโดยใช้ประสาทสัมผัส (sensory evaluation) หรือการนับจำนวนจุลินทรีย์ (microbial count)
- จุลินทรีย์ที่ก่อโรค (pathogenic microorganisms) วิธีการที่นิยมใช้ในการกำหนด microbial shelf life คือ การตรวจสอบหรือประเมินการเติบโตของจุลินทรีย์ ตามด้วยการเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่างกัน และวิเคราะห์จุลินทรีย์เป็นช่วง ๆ

อายุการเก็บรักษาอาหารที่เป็นผลมาจากจุลินทรีย์ หรือ microbial shelf life จะถึงจุดสิ้นสุดเมื่ออาหารเสื่อมสภาพถึงระดับหนึ่ง อันเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบจำเพาะ เรียกว่า SSOs (Specific Spoilage Organisms) และ/หรือผลผลิตจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ (microbial metabolic product)

การศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับ microbial shelf life โดยการใช้ Combase Modelling Toolbox ซึ่งเป็น free on-line applications สำหรับทำนายการเติบโตของจุลินทรีย์และการทำให้จุลินทรีย์หยุดทำงาน จากเว็บไซต์ www.combase.cc ตัวอย่างโปรแกรมที่เป็นประโยชน์ใน Combase เช่น Pathogen Modelling Program, Risk Ranger, Seafood Spoilage & Safety Predictor

ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาอาหารนิยมใช้วิธีการทดสอบที่มีการเร่งรัดเวลาเพื่อหาอายุการเก็บรักษาอาหาร เรียกว่า Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) ทำเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตที่ไม่สามารถรอคอยคำตอบที่ว่าอายุการเก็บรักษาอาหารในบรรจุภัณฑ์จะนานเท่าใด ทั้งนี้เพราะอาหารส่วนใหญ่มีอายุการเก็บราว 1 ปี เมื่อมีการการผลิตอาหารชนิดใหม่ ๆ จึงต้องทดสอบด้วย ASLT ก่อนเพื่อให้

ทราบผลอายุการเก็บอย่างรวดเร็ว และนำผลการทดสอบไปใช้ปรับปรุงสูตรอาหารก่อนผลิตออกจำหน่ายต่อไป
ค่าสำคัญที่นำมาใช้ในการประเมิน คือ Q_{10} ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอายุการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิ 2 ค่าที่ต่างกัน 10°C

$$Q_{10} = Q_{sT} / Q_{sT+10}$$

เมื่อ Q_{sT} คือ อายุการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิ $T^{\circ}\text{C}$

Q_{sT+10} คือ อายุการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิ $T+10^{\circ}\text{C}$

ผลของ Q_{10} ที่มีต่ออายุการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีดังตาราง

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	อายุการเก็บรักษาอาหาร (สัปดาห์)			
	$Q_{10} = 2$	$Q_{10} = 2.5$	$Q_{10} = 3$	$Q_{10} = 5$
50	2	2	2	2
40	4	5	6	10
30	8	12.5	18	50
20	16	31.3	54	4.8 ปี

จากตาราง ถ้าอาหารมีอายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ ที่ 50°C และ $Q_{10} = 2$ แสดงว่าอาหารนั้นมีอายุการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ ที่ 20°C แต่ถ้า $Q_{10} = 2.5$ จะมีอายุการเก็บรักษา 31 สัปดาห์ ที่ 20°C
ค่าทั่วไปของ Q_{10} สำหรับอาหารกระป๋อง คือ 1.1-4, Q_{10} สำหรับอาหารแห้ง คือ 1.5-10
 Q_{10} สำหรับอาหารน้ำมัน คือ 2.0, Q_{10} สำหรับอาหารแช่แข็ง คือ 3-40

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้รับความรู้ แนวคิด และมุมมองเกี่ยวกับบรรพบุรุษพลาสติกและอายุการเก็บรักษาอาหาร
- 7) นำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน การทำสื่อต่าง ๆ การผลิตสื่อ การวิจัย และ/หรือการบริการวิชาการแก่สังคม

ข้อเสนอแนะ

นำความรู้เกี่ยวกับ Plastic Packaging and the Shelf Life of Food ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน การทำสื่อต่าง ๆ รวมทั้งกิจกรรมประกอบการเรียนการสอนเพื่อสื่อสารความรู้ด้านนี้สู่นักศึกษาและประชาชนทั่วไป

คำชี้แจงการใช้เอกสาร:

ขอขอบคุณที่ท่านให้ความสนใจศึกษาเอกสารเผยแพร่ความรู้ (KM) ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มสธ. ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์เชิงวิชาการในวงกว้าง ทั้งนี้หากท่านนำข้อมูลจากเอกสารนี้ไปใช้ ขอให้อ้างอิงแหล่งที่มาจากเราด้วย พร้อมทั้งแจ้งให้เราทราบแหล่งที่ท่านนำไปอ้างอิง โดยแจ้งทางอีเมลมาที่ stoffice@stou.ac.th เพื่อประโยชน์ในการบูรณาการข้อมูลร่วมกัน