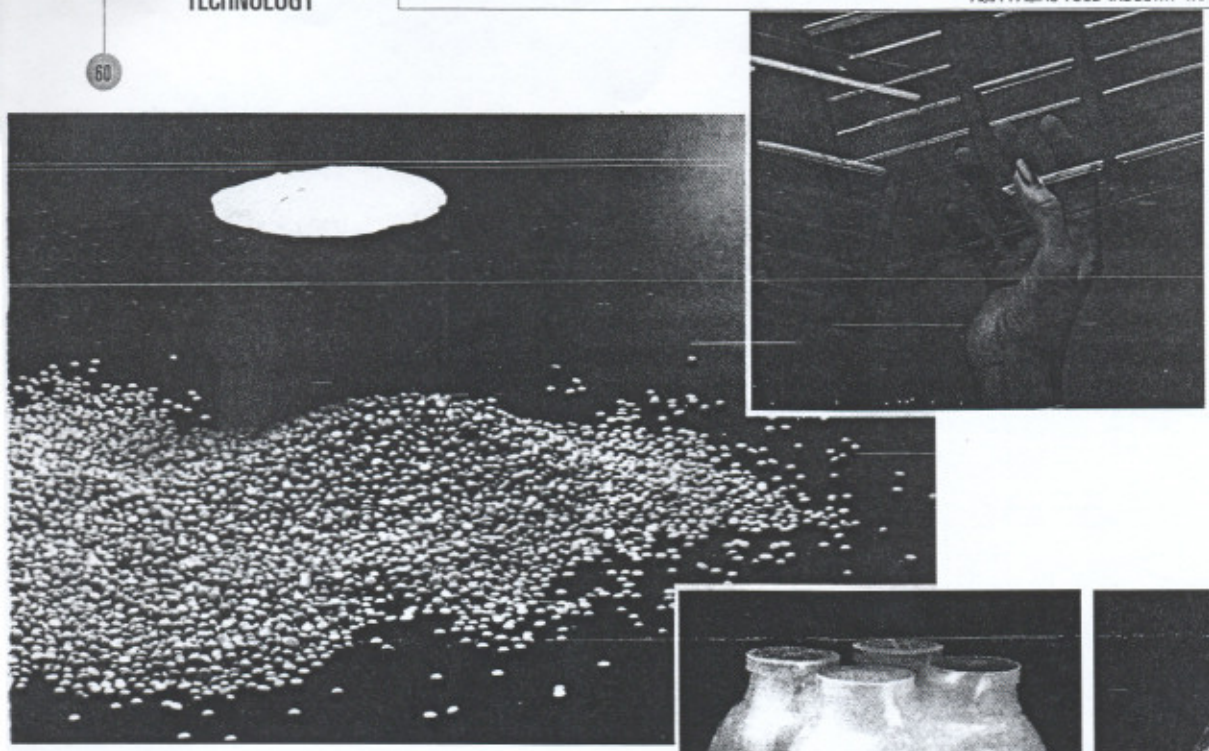

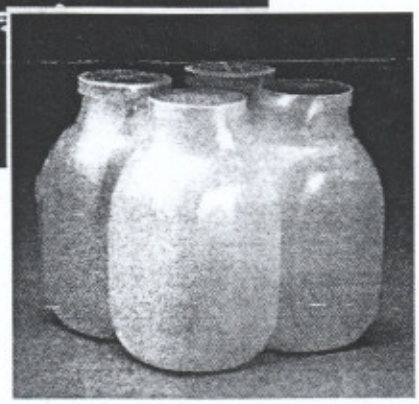

จากบทความเรื่อง "Nano-Food Packaging Technology : Turning Fantasies Into Reality" ในนิตยสาร Asia Pacific Food Industry ฉบับเดือนมีนาคม 2004
เขียนโดย Dr. Aaron L Brody
แปลและเรียบเรียงโดย ดร. ศิริวรรณ ตั้งแสงประทีป
ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เทคโนโลยีนาโนกับบรรจุภัณฑ์อาหาร :

ฝันที่กลายเป็นจริง

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีที่มีภาพลักษณ์อยู่ระหว่างนิยายวิทยาศาสตร์กับความเป็นจริงมาโดยตลอด นับเนื่องตั้งแต่การสัมมนาเรื่อง "Engines of Creation" โดย Eric Drexler ในปี พ.ศ. 2529 ที่โลกวิทยาศาสตร์ต้องดื่นตะลึงและทึ่งกับการก้าวกระโดดครั้งยิ่งใหญ่กับการเปิดโลกย่อส่วนอันลึกลับซับซ้อนเป็นครั้งแรก Drexler และคณะได้นำเสนอการผลิต ตรวจสอบ และควบคุมระดับโมเลกุล (molecular manipulation) ซึ่งท้ายที่สุดย่อมมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมวลมนุษย์ กล่าวคือ กระบวนการควบคุมโครงสร้างของวัสดุต่างๆ ที่สามารถลงลึกถึงระดับอะตอมหรือโมเลกุล ย่อมมีศักยภาพอย่างสูงที่จะเปลี่ยนทุกอย่างได้ในโลกใบนี้ ไม่ว่าจะเป็นความเชื่อ วัฒนธรรม หรือแม้กระทั่งนิยามของความเป็นมนุษย์ อย่างไรก็ตามการจัดการกับอะตอม เช่น การมองเห็นหรือหยิบจับเคลื่อนย้ายอะตอมทีละอะตอมเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ในอดีต แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความสามารถสูงขึ้น โดยเฉพาะหัววัด (sensor) ที่มีความไวพอสำหรับการแสดงภาพอะตอม พร้อมกับสามารถหยิบจับเคลื่อนย้ายอะตอมหรือโมเลกุลได้แม้เพียงหนึ่งหน่วย ดังนั้นการควบคุมระดับโมเลกุลจึงไม่ใช่เรื่องที่เป็นไปไม่ได้ ส่งผลให้นาโนเทคโนโลยีไม่ใช่ฝันที่ไกลเกินเอื้อมอีกต่อไป

อาณาจักรใหม่

อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลที่มีขนาดข้อมูลขนาดจิ๋วเพียง 50 นาโนเมตร ซึ่งประกอบด้วยหน่วยทรานซิสเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยปราศจากโมเลกุลของคาร์บอน นับเป็นตัวอย่างนวัตกรรมใหม่จากนาโนเทคโนโลยี และแน่นอนอุปกรณ์เหล่านี้ยังคงเป็นนวัตกรรมในห้องทดลอง แต่อย่าลืมว่าตราบใดที่นักวิทยาศาสตร์สามารถคิดค้นนวัตกรรมใหม่ๆ ก็ย่อมเป็นจุดเริ่มต้นที่จะมีการพัฒนาจนสามารถผลิตเพื่อเป็นการค้าได้ อย่างไรก็ตามรอยต่อระหว่างประดิษฐกรรมในห้องทดลองและการผลิตเพื่อการค้ายังคงมีอยู่ นั่นเป็นเพราะโลกของนาโนเป็นไปตามกฎเกณฑ์

เฉพาะ ที่ความรู้หรือทฤษฎีที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจครอบคลุมไม่ถึง นักวิทยาศาสตร์ต้องคิดคำนึงถึงสิ่งที่เล็กลงอย่างมากซึ่งต่างจากสิ่งที่คุ้นเคยโดยสิ้นเชิงก่อนที่จะก้าวเข้าสู่โลกขนาดจิ๋วนี้ เช่น อาจต้องมีการนิยามค่าแรงโน้มถ่วงใหม่สำหรับอาณาจักรที่ต้องคิดถึงสิ่งที่มีขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตรนี้ ซึ่งอาจแตกต่างโดยสิ้นเชิงกับนิยามที่ใช้อยู่เดิม

การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับบรรจุภัณฑ์

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับบรรจุภัณฑ์อาหารมีการพัฒนาแตกต่างกันไปตามประเภทของบรรจุภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การใช้นาโนเทคโนโลยีกับบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทบรรจุภัณฑ์ฉลาด (intelligent packaging) เช่น บรรจุภัณฑ์ที่สามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือจุลินทรีย์ของอาหารภายในบรรจุภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ประสบความสำเร็จในการใช้งานในเชิงพาณิชย์และคาดว่าจะสามารถพัฒนาไปได้ไกลในอนาคต หากแต่การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อควบคุมคุณสมบัติการซึมผ่าน (permeability) ของบรรจุภัณฑ์กลับอยู่ในขั้นเริ่มต้นในห้องทดลอง การใช้นาโนเทคโนโลยีเพื่อควบคุมคุณสมบัติการซึมผ่านของบรรจุภัณฑ์นั้นมีการมุ่งเน้นไปที่การใช้สารประกอบนาโน (nanocomposite) โดยเฉพาะการใช้สารเติมอนินทรีย์ (inorganic filler) เพื่อเพิ่มหรือลดอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

มีรายงานว่าฟิล์มที่เกิดจากการผสม (blending) โพลิโอเลฟินกับสารเติมอนินทรีย์และสารเพิ่มความคงสภาพ (stabilizer) ในระหว่างการหลอม จะสามารถรักษาความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์ได้ตลอดช่วงการใช้งาน นอกจากนี้ฟิล์มที่ผลิตจากส่วนผสมดังกล่าวยังสามารถเข้าสู่กระบวนการจัดเรียงโมเลกุลในแนวเดียว (uni-axial orientation) เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านของก๊าซให้กับฟิล์ม โดยผลจากการจัดเรียงโมเลกุลใหม่จะทำให้เกิดรูเล็กๆ (micropore) ที่มีรูปร่างยาวยืดขึ้นจำนวนมากพอที่จะส่งผลให้ฟิล์มมีอัตราการซึมผ่านของอากาศสูงสุดถึง 10,000 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร/100 ตารางนิ้ว/บรรยากาศ/วัน ซึ่งก็คือฟิล์ม

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านก้าวเข้าสู่โลกแห่งการประยุกต์รูปแบบใหม่ของบรรจุภัณฑ์อาหาร

หายใจได้ที่เหมาะสำหรับการบรรจุผักผลไม้แบบปรับบรรยากาศนั่นเอง

การลดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซ ทำได้โดยการเติม (incorporate) สารขนาดนาโนเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์เกิดเป็น polymer matrix ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวสกัดกั้น (barrier) ซึ่ง polymer matrix ที่มีส่วนประกอบของสารอนินทรีย์แบบเกล็ด (inorganic flakes) อย่างเช่น ไมก้า (mica) หรือเกล็ดพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซผ่านได้บ้าง (semipermeable polymer flakes) จะมีคุณสมบัติเป็นตัวสกัดกั้นได้ดีแค่ไหนนั้น ขึ้นอยู่กับค่า aspect ratio ของอนุภาคในส่วนกระจาย (disperse phase) เป็นสำคัญ โดยทั่วไปค่า aspect ratio ของสารเติมที่มีหน้าตัดอนุภาคเป็นสี่เหลี่ยม คำนวณได้จากความกว้างหารด้วยความสูง เมื่อค่า aspect ratio ของส่วนประกอบที่ไม่ยอมให้ก๊าซผ่านได้เพิ่มขึ้น ก๊าซ เช่น ออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียของอาหาร จะต้องเดินทางด้วยระยะทางเพิ่มขึ้น และระยะทางส่วนเพิ่มนี้เองที่ส่งผลโดยตรงอย่างมากในการลดอัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านตัวสกัดกั้น ตัวอย่างหนึ่งที่ไม่ใช่การประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การเติมเกล็ดไนลอนที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำ ลงในชั้นของพอลิเอทธิลีนเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการสกัดกั้น พบว่าการใช้วิธีดังกล่าวกับเกล็ดพอลิเมอร์ที่มีค่า aspect ratio สูงมากๆ จะสามารถเพิ่มคุณสมบัติในการสกัดกั้นได้ถึงร้อยละ 40-50 โดยทั่วไปสารเติมที่มีรูปร่างอนุภาคเป็นสี่เหลี่ยมแบน และมีค่า aspect ratio สูงๆ มีประสิทธิภาพในการช่วยลดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่าสารเติมที่มีอนุภาคเป็นทรงกลม เนื่องจากระยะทางที่ก๊าซต้องเดินทางเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎี tortuous path theory นอกจากนี้คุณสมบัติในการต้านการซึมผ่านของก๊าซยังเกิดขึ้นสม่ำเสมอทั้งในส่วน disperse phase และส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) จากการใช้สารเติมที่มีค่า aspect ratio สูงๆ อีกด้วย นอกเหนือจากนี้ยังมีการพัฒนาที่ซับซ้อนขึ้น กล่าวคือ การพัฒนาตัวสกัดกั้นที่ต้านการซึมผ่านของก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่ยอมให้ไอน้ำผ่านได้ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะเกิดขึ้นเฉพาะกรณีที่ใช้สารเติมที่ไม่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านที่มีรูปร่างอนุภาคเป็นทรงกลม และมีค่า aspect ratio อยู่ในระดับกลางเท่านั้น โดยคุณสมบัติการเป็นตัวสกัดกั้นที่บ่งบอกด้วยค่า effective permeability ของพอลิเมอร์ที่พัฒนาขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ ได้แก่ อัตราส่วนโดยปริมาตร (volume fraction) ของสารเติม และค่า aspect ratio ซึ่งพบว่าค่าของ effective permeability จะลดลงอย่างมากเมื่อสัดส่วนของสารเติมลดลง โดยสามารถเห็นได้ชัดจากฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงของค่า effective permeability ตาม volume fraction ที่ aspect ratio คงที่ค่าต่างๆ จากเอกสารวิชาการ

การใช้สารประกอบนาโน (nanocomposite) สามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของพลาสติกให้เป็นตัวสกัดกั้นที่ดีขึ้น จึงคงความสดของอาหารไว้ได้

กล่าวโดยสรุป การปรับปรุงคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซให้เหมาะสำหรับการใช้งานต่างๆ กัน ทำได้โดยใช้หลักการปรับระยะทางในการเดินทางของก๊าซ ซึ่งโลกใบจิ๋วของ nanocom-posite มีบทบาทสำคัญยิ่งที่จะก่อให้เกิดผลสำเร็จดังกล่าว

สารประกอบพลาสติกชนิดพิเศษ

สารประกอบนาโนพอลิเมอร์-ซิลิเกต (polymer-silicate) จัดเป็นสารประกอบพลาสติกชนิดพิเศษ (specialty plastic compounds) เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคสารเติมขนาดนาโน ซึ่งมีค่า aspect ratio และพื้นที่ผิวสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดคุณสมบัติที่ดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับการใช้สารเติมแบบแร่ทั่วๆ ไป ได้แก่ ทนความร้อนได้สูงขึ้น ยืดหยุ่นได้มากขึ้น มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำลง และมีพื้นผิวที่ดูดีขึ้น ซิลิเกตที่ใช้ก็คือ montmorillonite เป็นดินประเภทหนึ่งที่มีโครงสร้างแบน แต่ละอนุภาคมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร และยาวประมาณ 100-1,000 นาโนเมตร และเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ยากต่อการกระจายตัวในพอลิเมอร์ จึงมักมีการปรับปรุงคุณสมบัติของ montmorillonite ก่อนการใช้งาน โดยการแทนที่ด้วยไอออนของโซเดียม ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า organo-clay complex ที่เข้ากันได้กับพอลิเมอร์และกระจายตัวได้ง่ายขึ้น การผลิตสารประกอบนาโนพอลิเมอร์ซิลิเกต อาจทำได้โดยสังเคราะห์ขึ้นในขั้นตอนของพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน (polymerization) หรือเตรียมผ่านกระบวนการหลอมละลาย (melt processing) ซึ่งวิธีหลังเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตเพราะเครื่องมือและอุปกรณ์รวมทั้งเทคโนโลยีที่ใช้อยู่มีศักยภาพที่จะสามารถพัฒนาต่อจนถึงขั้นใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้

พลาสติกที่ได้จากสารประกอบนาโนของไนลอน -6 (nylon-6 nanocomposites) จะมีคุณสมบัติเป็นตัวสกัดกั้นที่ดีขึ้น โดยมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ลดลงเกือบ 4 เท่า เมื่อเทียบกับไนลอน -6 ทั่วไปที่ไม่มีการเติมสารเติม ค่า OTR ที่ลดลงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ก๊าซต้องเดินทางผ่านดังที่กล่าวมาแล้วนั่นเอง ยิ่งไปกว่านั้นด้วยสารเติมขนาดนาโนทำให้ฟิล์ม (ความหนาไม่เกิน 75 ไมครอน) หรือชีท (ความหนาระหว่าง 75 ไมครอน ถึง 6.35 มิลลิเมตร) ที่ผลิตจาก nylon-6 nanocomposites ยังคงความใสไว้ได้ดีอีกด้วย

ฟิล์มเคลือบอนุภาคขนาดนาโน

บริษัท Avery Dennison Corporation ได้ทำการพัฒนาและอยู่ระหว่างการจดสิทธิบัตร กรรมวิธีการเคลือบ เพื่อผลิตฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการต้านการซึมผ่านของก๊าซได้อย่างดีเยี่ยม (ultra-high gas barrier) ซึ่งเป็นการเคลือบด้วยอนุภาคขนาดนาโนที่แตกต่างจากเทคนิคทั่วไปที่มักใช้การกระจายอนุภาคขนาดนาโนลงในเรซิน จึงทำให้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของอนุภาคขนาดนาโนได้ดีกว่า โดยเชื่อว่าจะส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติต่างๆ ดีขึ้นแตกต่างจากกระบวนการผลิตแบบธรรมดาทั่วๆไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- **การต้านการซึมผ่านของก๊าซ**

ผลิตภัณฑ์หลังการเคลือบให้ค่า OTR ต่ำกว่า 0.005 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน ที่

23 °C ในสภาพแห้ง โดยมีการทดสอบกับสารเคลือบหลายชนิด ซึ่งส่วนมากให้ค่า OTR ต่ำในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แม้ว่าจะต้องมีการศึกษาการเคลือบที่เหมาะสมต่อไป

● ความทนทานต่อการเกิดรอยพับเมื่อหักงอ

ผลจากการทดสอบ Gelbo test พบว่าฟิล์มที่ผ่านการเคลือบมีความสามารถในการต้านการเกิดรอยพับเมื่อหักงอ (flex crack resistance) ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการเคลือบฟิล์มด้วยออกไซด์ของโลหะ และคาดว่าหากผ่านกระบวนการประกบ (lamination) กับชั้นของฟิล์มอื่น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านการเกิดรอยพับเมื่อหักงอได้

● ความใส

ค่าการส่องผ่านของแสง (light transmission) สูงถึงร้อยละ 93 และมีค่าความขุ่นน้อยกว่าร้อยละ 2

● ความหนาของชั้นเคลือบ

แม้ว่าเทคนิคการเคลือบนี้จะสามารถเคลือบได้บางมากเพียง 1 ไมครอนเท่านั้น แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความไวต่อความชื้น กล่าวคือฟิล์มที่ได้ไม่สามารถต้านการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีนัก และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านการซึมผ่านของก๊าซจะลดลง และเป็นแบบย้อนกลับ ซึ่งจะกลับเพิ่มขึ้นได้เช่นเดิมเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ดังนั้นโดยส่วนใหญ่โครงสร้างโดยรวมของฟิล์มจึงควรมีชั้นที่มีคุณสมบัติเป็นตัวสกัดกั้นไอน้ำร่วมอยู่ด้วย

แม้ว่าจะมีข้อจำกัดอยู่บ้าง แต่ก็นับว่าฟิล์มที่ผลิตจากเทคนิคดังกล่าว ซึ่งสามารถต้านการซึมผ่านของก๊าซได้สูง ทนทานต่อการเกิดรอยพับเมื่อหักงอ และมีความใส เป็นทางเลือกที่สมบูรณ์แบบในการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนที่ต้องการคุณสมบัติเหล่านี้

แนวโน้มในอนาคต

อาจกล่าวได้ว่านาโนเทคโนโลยีกับการประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์ยังคงอยู่ในระยะเริ่มต้น แต่ก็นับว่ามีความคืบหน้าพอสมควร โดยสามารถลดอัตราการซึมผ่านของก๊าซได้ด้วยการเพิ่มระยะทางในการเดินทางของก๊าซด้วยสารเติม สำหรับก้าวต่อไปนั้นคงเป็นเรื่องของการหาวิธีการรักษาระดับความสม่ำเสมอของการกระจายตัว และค่า aspect ratio ให้คงอยู่ในระดับที่ต้องการตลอดเวลาในระหว่างการผลิต เช่น การเป๋าและการขึ้นรูปด้วยความร้อน และการขยายปริมาณการผลิตไปสู่การใช้งานในเชิงพาณิชย์ ซึ่งต้องติดตามกันต่อไป นอกจากนี้ยังอาจได้พบกับนวัตกรรมจากโลกของนาโนเทคโนโลยีอันแสนมหัศจรรย์ เช่น ท่อนาโน (nanotubes) หุ่นยนต์นาโน (nanorobots) บะหมี่นาโน (nanonoodles) และบรรจุภัณฑ์นาโนสำหรับอาหาร (nano-food packaging)

APFI THAILAND

รหัสข้อมูล 13 114 หน้า 84

Enquiry No. 13 514