



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์
อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

โดย ดร.จามร เศวตกิจวณิช และคณะ

มีนาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์
อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. นางจามร เชวงกิจวณิช
2. นางสาวชลลดา โพธิ์ขำ
3. นางสาวดวงกมล วิบูลย์รัตนศรี

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) และด้วยความกรุณาของศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และ ดร.ชาดาโอะ มัสซีชาวะ ที่ได้สละเวลาในการเป็นนักวิจัยที่ปรึกษาของโครงการวิจัยนี้ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายอย่างจนกระทั่งงานวิจัยชิ้นนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ผู้ช่วยวิจัย และผู้บริหารของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่มีส่วนสนับสนุนให้การดำเนินโครงการวิจัยนี้ภายในศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติเป็นไปด้วยดีตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพลาสติก หน่วยปฏิบัติการวิจัยโพลีเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวิเคราะห์การซึมผ่านของไอน้ำ

ขอขอบคุณดร.ศิริชัย กัลยาณรัตน์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์ อาจารย์ประจำ สายวิชา เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และนักศึกษาปริญญาเอก นายกฤษณ์ สงวนพวง คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวิเคราะห์การซึมผ่านของก๊าซ การเตรียม spore suspension และการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อราของฟิล์มพลาสติกให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้เอื้อนามไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณดร.พรพิมล อธิปัญญาคม นักวิชาการโรคพืชชำนาญการพิเศษ กลุ่มวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์กล้องจุลทรรศน์เชิงแสงแบบ phase contrast microscope

จามร เชาวกิจฉา

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ประกอบด้วยบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เนื้อหา
งานวิจัย output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว. และคู่มือสำหรับวิธีการทดสอบและเครื่องมือที่
ใช้ในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบ
ผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งได้บรรจุไว้ในภาคผนวก

จามร เศวงกิจวณิช

Abstract

Project Code : TRG5080010

Project Title : Physico-chemical characterization of TiO₂-coated packaging films

Investigator : Mrs. Chamorn Chawengkijwanich

National Nanotechnology Center

E-mail Address : chamorn@nanotec.or.th

Project Period : 2 July 2007 – 1 April 2010 (extended project period)

This is a final report of characterization of titanium dioxide (TiO₂) coated packaging film. TiO₂-coated oriented polypropylene (OPP) films prepared by different coated components were carefully characterized to evaluate the effect of TiO₂ coating on physico-chemical property of OPP film. The TiO₂-coated OPP films were also exposed to ultraviolet A (peak wavelength at 365 nm) for 1 week to evaluate the effect of photocatalytic reaction on film characteristics. Four (4) formulations of TiO₂-coated films were studied on UV-VIS block property, mechanical property, gas barrier property, surface structure and coating adhesion. The results show that TiO₂ coating enhanced the UV-VIS block property of OPP film, depending on the content of TiO₂. Mechanical property of OPP film was slightly changed by TiO₂ coating. Gas barrier property of OPP film was influenced by the component of TiO₂ coating. Only a commercial sample of TiO₂ coating solution led to a increase in OTR and COTR values of OPP film. WVTR values were slightly decreased after coating by all TiO₂ coating formulations. The coating adhesion was also fair for all coating formulation. The formula of TiO₂ coating consisted of 10% TiO₂ nanoparticles powder, binder and organic solvent was selected to coat OPP film for photocatalytic performance test. It was found that TiO₂-coated film with this formulation exhibited photocatalytic antifungal activity against *Aspergillus niger*. The experiment with exposure to UVA at 1 mW/cm² showed that this coated film can be use under UVA irradiation without reducing in gas and water vapour barrier properties of film.

Keywords : TiO₂, packaging film, characterization, coating, photocatalytic

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: TRG5080010

**ชื่อโครงการ: การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหาร
ที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์**

ชื่อนักวิจัย: นางจามร เชวงกิจวณิช ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

E-mail Address : chamorn@nanotec.or.th

ระยะเวลาโครงการ: 2 กรกฎาคม 2550 – 1 เมษายน 2553 (ขอขยายระยะเวลาโครงการ)

รายงานวิจัยนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ในการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ โดยฟิล์มพลาสติกชนิดโพลิโพรพีลีน (OPP) จะถูกนำมาเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ และถูกนำไปทดสอบเอกลักษณ์ภายหลังการเคลือบผิวและภายหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อศึกษาถึงผลข้างเคียงของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะการศึกษาถึงฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์จำนวน 4 สูตรด้วยกัน โดยศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันการส่องผ่านของแสง คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ โครงสร้างทางพื้นผิว และ การยึดติดของสารเคลือบผิว ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า การเคลือบฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันการส่องผ่านของแสงยูวีและแสงขาวของฟิล์มพลาสติกได้ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคลือบผิว เช่น ฟิล์มพลาสติกภายหลังจากการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า จะมีคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซลดลง แต่คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นภายหลังการเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งที่มีจำหน่ายในทางการค้าและเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบทุกชนิดบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกพบว่าอยู่ในระดับใช้ได้ สำหรับการศึกษาความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกนั้นจะเลือกทดสอบกับฟิล์มพลาสติกที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าฟิล์มดังกล่าวมีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกบนพื้นผิวได้ดี สามารถทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้เมื่อนำไปวางในสภาพที่มีแสงยูวีเอ นอกจากนี้การทดสอบการนำฟิล์มนี้ไปวางภายใต้แสงยูวีเอเป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ก็พบว่าไม่มีผลทำให้การต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซของฟิล์มพลาสติกนี้ลดลง

คำหลัก : ไททาเนียมไดออกไซด์, ฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหาร, การตรวจสอบเอกลักษณ์, การเคลือบผิว, ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นวัสดุที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร และมีการแข่งขันในตลาดค่อนข้างสูง จากการศึกษาของหน่วยบ่มเพาะวิสาหกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ พบว่า ตลาดฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารในประเทศไทยมีแนวโน้มที่ดี เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารไทยที่เติบโตขึ้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังมีผู้ผลิตภายในประเทศอยู่ไม่มากนัก ส่วนมากแล้วจะเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน เป็นต้น โดยประเทศไทยมีการนำเข้าสินค้าฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารจากต่างประเทศเป็นมูลค่าสูง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถ้ามีการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีในการผลิตฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร รวมทั้งวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกใหม่ๆ ให้มีคุณภาพและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศได้มากขึ้น ก็น่าจะสามารถช่วยทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศลงได้

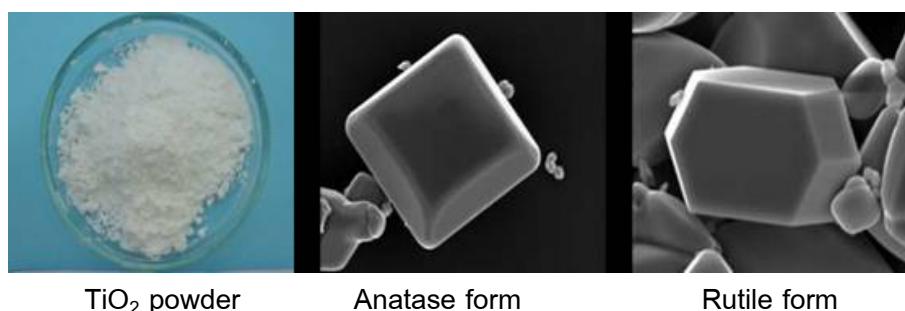
ฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค (รูปที่ 1) เนื่องจากมีความสวยงาม ใช้งานง่าย น้ำหนักเบา และช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุของอาหารได้ดี นอกจากนี้ฟิล์มพลาสติกยังสามารถนำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (active packaging) เพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพอาหาร ซึ่งอาจทำได้โดยการผสมสารที่มีคุณสมบัติตามที่เราต้องการลงไปในฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์โดยตรง หรือนำสารดังกล่าวมาเคลือบบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น สารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค สารที่มีคุณสมบัติในการดูดก๊าซออกซิเจน เอทิลีน หรือดูดกลิ่น เป็นต้น



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

ในปัจจุบันนี้ พบว่าแนวโน้มการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟในอาคารบ้านเรือน ร้านค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต ร่วมกับการใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไวแสง หรือที่เรียกว่าโฟโตแคตะลิสต์ (photocatalyst) เพื่อให้ฟิล์มพลาสติกที่บรรจุอาหารและวางขายอยู่ในร้านค้า สามารถทำหน้าที่เป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ และยืดอายุการวางขายของสินค้า (shelf-life) เริ่มได้รับความสนใจจากหลายประเทศในโลกมากขึ้น ทั้งนี้เพราะไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นสารที่มีความปลอดภัย (nontoxic) มีความคงตัวสูง (inert) ราคาไม่แพง และมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก (photocatalytic reaction) ซึ่งที่ผ่านมาสสารไททาเนียมไดออกไซด์ก็ได้รับความนิยมจากหลายประเทศในโลก สำหรับนำมาใช้เป็นสารเคลือบบนพื้นผิวของวัสดุ เช่น การเคลือบผิวเครื่องมือทางการแพทย์ การเคลือบผิวกระจกและอาคารบ้านเรือน เพื่อให้วัสดุเกิดคุณสมบัติพิเศษในการทำมาความสะอาดด้วยตนเอง (self-cleaning) หรือฆ่าเชื้อบนพื้นผิวด้วยตนเอง (self-disinfecting) หรือย่อยสลายมลพิษต่างๆ เมื่อของเหลวหรืออากาศที่มีมลพิษและจุลินทรีย์ไหลผ่านหรือสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

ลักษณะทั่วไปของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นผงสีขาว ทึบแสง มีผลึก 2 รูปแบบใหญ่ คือแบบรูไทล์ (rutile) และอานาเทส (anatase) (รูปที่ 2) โดยไททาเนียมไดออกไซด์นั้นจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่มีความปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็ง หรือสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือสารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษ ด้วยเหตุนี้ไททาเนียมไดออกไซด์จึงไม่ใช่สารมีพิษ และมีความปลอดภัยในการใช้กับอาหาร ยา สีและเครื่องสำอาง ตามการรับรองขององค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (USFDA) และในประเทศไทยไททาเนียมไดออกไซด์ก็ได้รับอนุญาตให้ใช้เป็นสีผสมอาหารตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 21 (พ.ศ. 2522)



รูปที่ 2 ลักษณะผงและอนุภาคผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์

ที่มา: ภาพถ่ายผลึกมาจาก Department of Applied Chemistry, Kyushu Institute of Technology, Japan

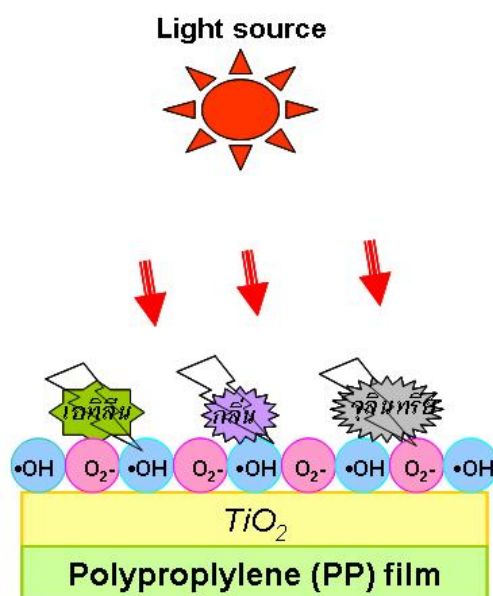
ในปัจจุบันนี้ พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์กับบรรจุภัณฑ์แอคทีฟยังมีอยู่ไม่มากนัก ซึ่งจากการตรวจสอบเอกสารทางการวิจัยมีดังนี้

Zhou และคณะ (2009) ศึกษาการเติมสารทาเนียมไดออกไซด์ลงในแผ่นฟิล์มโปรตีนเวย์ (Whey Protein Isolate, WPI) เพื่อให้แผ่นฟิล์มโปรตีนมีคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย และป้องกันการส่องผ่านของรังสียูวี

Li และคณะ (2009) ได้ศึกษาถึงการเติมสารทาเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลเวอร์ลงในฟิล์มพลาสติกโพลีเอทิลีน (พีอี) เพื่อช่วยในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการวางขายของผลพุทราจีน

Kubacka และคณะ (2007) อธิบายว่าการเติมสารไททาเนียมไดออกไซด์ลงในพลาสติก จะช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายเอง (biodegradability) ได้มากขึ้น

สำหรับในส่วนของผู้วิจัย ได้ทำการพัฒนาฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 -coated film) (รูปที่ 3) ซึ่งเป็นโครงการวิจัยหลังปริญญาเอก (postdoctoral fellowship) ที่ได้รับการ สนับสนุนจาก Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) ให้ทำการศึกษาวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยในประเทศญี่ปุ่น ระหว่างปี 2547-2549 จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ (uncoated film) พื้นผิวฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีคุณสมบัติในการสลายเอทิลีน (Chawengkijwanich and Hayata, 2008) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญต่อการเร่งการเสื่อมสภาพของผลิตผลทางการเกษตร เช่น ผัก ผลไม้ และดอกไม้ มีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในอาหาร (Chawengkijwanich and Hayata, 2008) และสามารถลดการสะสมของกลิ่นทุเรียนในบรรจุภัณฑ์ลงได้ (Chawengkijwanich et al., 2008) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง



รูปที่ 3 การทำงานของแผ่นฟิล์มพลาสติกเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์
เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง

อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา นั้น ยังไม่มีข้อมูลหรือผลการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมี (physico-chemical characteristics) ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งก่อนและหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสง รวมถึงปัจจัยที่มีอาจจะมีผลต่อเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมี ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ เช่น วิธีการเคลือบผิว ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง ระยะเวลาที่ถูกแสง เป็นต้น

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมี ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งก่อนและหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสง เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่สำหรับสาขาวิจัยด้านการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาไวแสงสำหรับการประยุกต์ใช้ในการเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

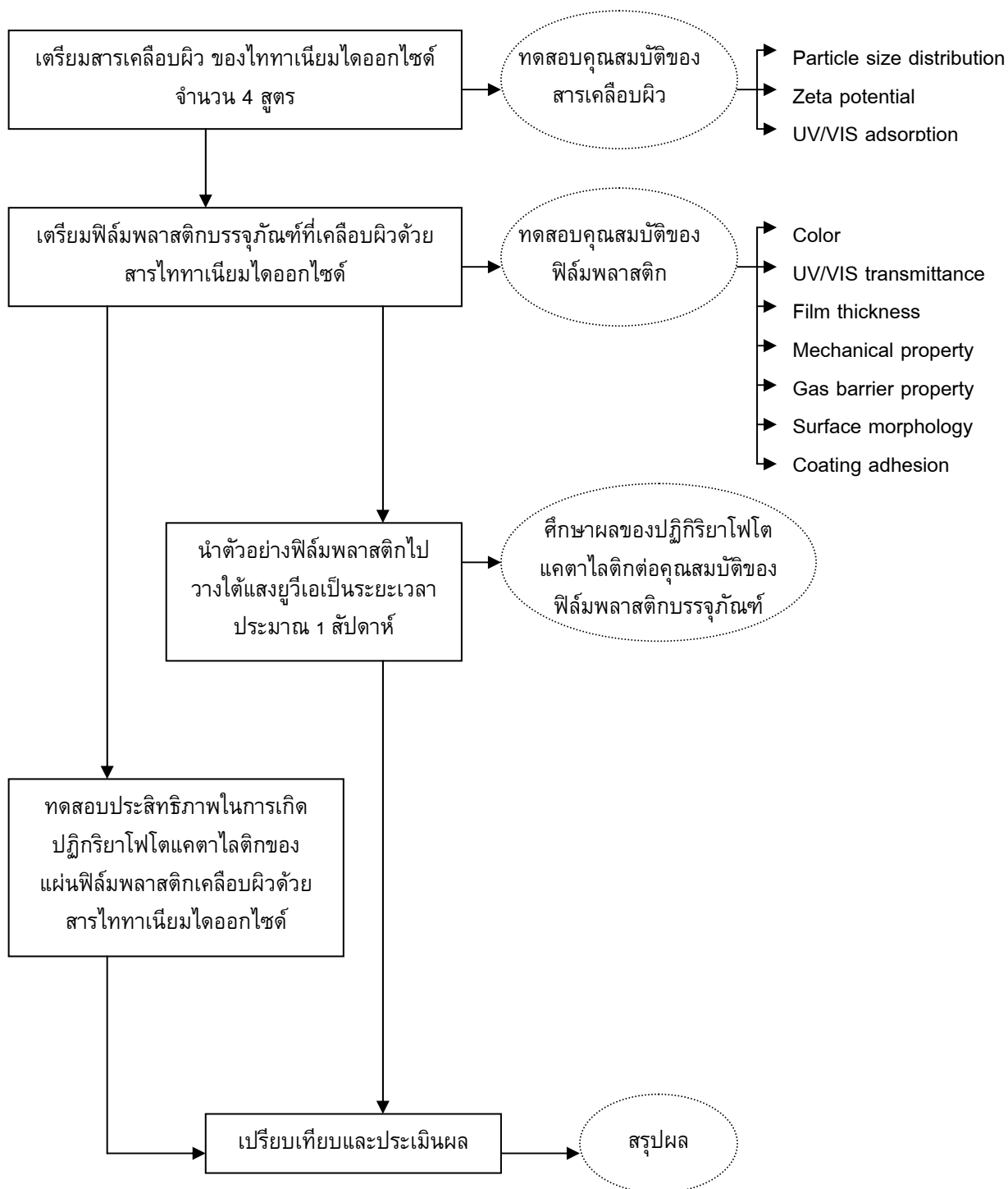
เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมี ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ กับฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

1. ศึกษาและตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมี (Physico-chemical characterization) ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์
2. ศึกษาผลของปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลซิสต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

การดำเนินงานวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินวิจัยสามารถสรุปได้ดังแผนผังรูปที่ 4 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

จากรูปมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารเคลือบผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ จำนวน 4 สูตร โดยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ 3 สูตรจะเตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ และอีก 1 สูตร จะเป็นสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการจำหน่ายในทางการค้า (commercial sample) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัย

สูตร	ชื่อสารเคลือบผิว	องค์ประกอบของสารเคลือบผิว	ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์
1	commercial sample	น้ำ, peroxotitanium ($\text{TiO}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$), TiO_2 nanoparticles (anatase form) (personal communication)	ไม่ระบุ
2	1% TiO_2 powder coating agent	ผงไททาเนียมไดออกไซด์ (100% anatase), สารช่วยในการยึดติด และตัวทำละลายอินทรีย์	ความเข้มข้น 1% น้ำหนักต่อปริมาตร
3	5% TiO_2 powder coating agent	เหมือนสูตร 2	ความเข้มข้น 5% น้ำหนักต่อปริมาตร
4	10% TiO_2 powder coating agent	เหมือนสูตร 2	ความเข้มข้น 10% น้ำหนักต่อปริมาตร

จากนั้นนำสารเคลือบผิวในสูตรต่างๆ มาทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสารเคลือบผิว (particle size distribution) ความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาค (zeta potential) และความสามารถในการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 800 นาโนเมตร

2. นำสารเคลือบผิวในสูตรต่างๆ มาทำการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกโพลีโพรพิลีน (โอพีพี) สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยใช้วิธีการเคลือบผิวคือ วิธีการพ่นฝอย (spray coating) สำหรับสารเคลือบผิวในสูตร 1 และวิธีการใช้บาร์แท่งเคลือบผิว (bar coater) สำหรับสารเคลือบผิวในสูตร 2 ถึง 4

3. ทำการทดสอบเอกลักษณ์ของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ สี (color) คุณสมบัติในการยอมให้แสงยูวีและแสงขาวส่องผ่าน (UV/VIS transmittance) ความหนา (thickness) คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property) เช่น ความทนแรงดึง (tensile strength) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาด (elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (young modulus) คุณสมบัติในการต้านทานการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ (gas barrier property) โครงสร้างทางพื้นผิว (surface morphology) และการยึดเกาะการเคลือบผิว (coating adhesion) เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว

4. พลาสติกเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากข้อ 2 ถูกนำมาวางไว้ภายใต้แสงยูวีเอ ซึ่งได้จากหลอดไฟ black light (ความยาวคลื่นประมาณ 300 ถึง 400 นาโนเมตร) ที่ความเข้มแสงยูวีเอเท่ากับ 1 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร เป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ซึ่งเป็นระยะเวลาโดยเฉลี่ยของอายุการวางขายผักและผลไม้ในซูเปอร์มาร์เกต เพื่อศึกษาถึงผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ โดยศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวกับฟิล์มพลาสติกก่อนการถูกกระตุ้นด้วยแสง

5. ทำการทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก เช่น คุณสมบัติในการต้านทานเชื้อรา

6. สรุปผลการทดลอง

วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

1. ผงไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 powder) ที่ใช้คือ ST-01 (รูปที่ 5) จากบริษัท Ishihara Sangyou จำกัด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีขนาดอนุภาค (particle size) เฉลี่ยประมาณ 7 นาโนเมตร พื้นที่ผิวประมาณ 320 ตารางเมตรต่อกรัม และมีผลึกรูปแบบอะนาเทส (anatase form) 100 เปอร์เซ็นต์
2. สารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีวางจำหน่ายในทางการค้า (commercial sample) ที่นำใช้คือ miracle TiO_2 ชนิด M2 solution (รูปที่ 6) ของบริษัท Ohno group จำกัด ประเทศญี่ปุ่น



ST-01



M2 solution

รูปที่ 5 ผงไททาเนียมไดออกไซด์และสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการวิจัย

3. ฟิล์มพลาสติกโพลีโพรพีลีน (OPP) ความหนาประมาณ 30 ไมโครเมตร จากบริษัท Utsunomiya Pack จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

4. ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) ที่ใช้คือ โทลูอีน (toluene) เมทิลเอทิลคีโตน (methyl ethyl ketone, MEK), ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) และ เอทิลอะซิเตท (ethyl acetate)

5. สารช่วยในการยึดติดที่ใช้คือเรซิน (resin) จากบริษัท Utsunomiya Pack จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

6. น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำปราศจากไอออน (Deionized (DI) water)

7. เชื้อบริสุทธิ์ (cell culture) ของเชื้อรา *Aspergillus niger* ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

8. อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) ของบริษัท Himedia Laboratories ประเทศอินเดีย

9. อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient broth (NB) ของบริษัท Himedia Laboratories ประเทศอินเดีย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. แท่งบาร์โคด (bar coater) ที่ใช้คือ RDS 07 ของบริษัท R. D. Specialties, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับการเคลือบผิวโดยการไ้แท่งบาร์ (bar coater)

2. ขวดสเปรย์ฉีดน้ำสำหรับการเคลือบแบบพ่นฝอย

3. เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่งของบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ รุ่น AB 204-S

4. เทปใส (transparent tape) ของบริษัท 3M scotch จำกัด รุ่น 600

5. หลอดไฟ black light ของบริษัท Toshiba จำกัด ประเทศญี่ปุ่น รุ่น FL20SBLB ขนาด 20 วัตต์

6. หลอดไฟ black light ของบริษัท Sylvania จำกัด ประเทศญี่ปุ่น รุ่น F18WBLBT8 ขนาด 18 วัตต์ ของสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

7. เครื่องวัดความเข้มแสงยูวีเอ (ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร) ของบริษัท Digicon จำกัด รุ่น UV-340

8. เครื่องวัดขนาดอนุภาคและความต่างศักย์ของผิวอนุภาคที่อยู่ในของเหลว (Zetasizer) ของบริษัท Malvern instrument จำกัด ประเทศอังกฤษ รุ่น Nano-ZS

9. เครื่องวัดค่าสี (colorimeter) ของบริษัท Hunter Lab จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Ultrascan-Pro สำหรับวัดค่าสี และค่าการส่องผ่าน/การดูดซับแสงของตัวอย่าง
10. เครื่อง UV/VIS spectrophotometer ของบริษัท Perkin Elmer ประเทศอังกฤษ รุ่น Lambda 650 สำหรับวัดค่าการส่องผ่าน/การดูดซับแสงของตัวอย่าง
11. เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์มพลาสติก (micrometer thickness gauge) ของบริษัท E.J. Cady & Co. จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Extract automatic micrometer ของสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
12. Universal testing machine ของบริษัท Instron จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น 55R4502 ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำหรับวัดคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
13. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen permeation analyzer) ของบริษัท Illinois Instruments, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น 8000 ของสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
14. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide permeation analyzer) ของบริษัท Mocon จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Permeation-C model 4/41 ของสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
15. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeation analyzer) ของบริษัท Illinois Instruments, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น 7002 ของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)
16. เครื่องวัดมุมสัมผัสกับน้ำ (later contact angle) ของบริษัท Rame-Hart Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น 100-100
17. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron Microscope, SEM) ของบริษัท Hitachi จำกัด ประเทศญี่ปุ่น รุ่น S-3400N
18. กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope, AFM) ของบริษัท Seiko จำกัด ประเทศญี่ปุ่น รุ่น SPA-400/SPI 4000
19. ตู้บ่มเพาะเชื้อพร้อมเขย่า (Incubator shaker) ของบริษัท New Brunswick Scientific รุ่น Innova 43/43R ของสายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

20. หม้อฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave) ของบริษัท Hirayama manufacturing corporation ประเทศญี่ปุ่น รุ่น HVE-50 ของสาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
21. จานเพาะเชื้อ (petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร
22. สไลด์สำหรับนับเซลล์จุลินทรีย์ (haemocytometer) ของบริษัท BOECO ประเทศเยอรมนี
23. กระຈกสไลด์สำหรับส่องกล้องจุลทรรศน์
24. กล้องจุลทรรศน์แบบ Light microscope ของบริษัท Nikon ประเทศญี่ปุ่น รุ่น TE-2000 U
25. กล้องจุลทรรศน์แบบ Phase contrast microscope ของบริษัท Olympus ประเทศญี่ปุ่น BX 50F ของกลุ่มวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร

การทดสอบคุณลักษณะของสารเคลือบผิว

1. การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสารเคลือบผิว (particle size distribution)

การวัดการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารเคลือบผิวในงานวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Zetasizer รุ่น Nano-ZS ของบริษัท Malvern instrument จำกัด ประเทศอังกฤษ การทดสอบทำโดยบรรจุตัวอย่างปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงใน cuvet จากนั้นนำ cuvet ใส่ลงในช่องบรรจุตัวอย่างที่เครื่อง zetasizer และทำการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคผ่าน โปรแกรม zetasizer โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องในโหมดการวัดขนาดอนุภาค

2. ความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาค (zeta potential)

การวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาคในงานวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Zetasizer รุ่น Nano-ZS ของบริษัท Malvern instrument จำกัด ประเทศอังกฤษ การทดสอบทำโดยการบรรจุตัวอย่างลงใน zeta cuvet (รูปที่ 6) จากนั้นนำ zeta cuvet ใส่ลงในช่องบรรจุตัวอย่างที่เครื่อง zetasizer และทำการวิเคราะห์หาค่าความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาคผ่านโปรแกรม zetasizer nanosizer โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องในโหมดการวัดค่าความต่างศักย์



รูปที่ 6 Zeta cuvet

3. ความสามารถในการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 800 นาโนเมตร

ความสามารถในการดูดซับแสง (UV/VIS adsorption) ของสารเคลือบผิวในงานวิจัยนี้ได้ใช้การทดสอบด้วยเครื่อง colorimeter รุ่น Ultrascan-Pro ผ่านโปรแกรม Easymatch QC โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องในโหมด TTRAN เลือกช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 800 นาโนเมตร ทำการปรับมาตรฐานเครื่องก่อนทำการวิเคราะห์ด้วย black card และ white tile จากนั้นจึงบรรจุตัวอย่างของสารเคลือบผิวลงใน optical cell แล้วนำตัวอย่างวางลงในช่องใส่ตัวอย่างที่ transmission port จากนั้นทำการวิเคราะห์และเลือกแสดงผลเป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) หรือการทะลุผ่านของแสง (transmittance) โดยใช้อากาศเป็น blank

การทดสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติก

คู่มือการทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้ที่คู่มือวิธีการทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ (Handbook of Characterization Methods for TiO₂-Coated Packaging Film) ที่อยู่ท้ายรายงาน

การทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกของแผ่นฟิล์มพลาสติกตัวอย่าง (Photocatalytic performance test)

1. คุณสมบัติในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial property)

เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial activity) ของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในขณะที่เป็นโครงการวิจัยหลังปริญญาเอก (postdoctoral research) และได้ตีพิมพ์ผลการวิจัยไปแล้ว (International Journal of Food Microbiology, 2008, volume 123, pages 288-292) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติการต้านทานเชื้อรา (antifungal activity) เพิ่มเติม ซึ่งยังไม่เคยมีการทดสอบและรายงานผลการวิจัย นอกจากนี้การทดสอบทางด้านเชื้อรายังได้รับความสนใจจากนักวิชาการ ของกรมวิชาการเกษตร เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเกษตรต่อไป

การทดสอบคุณสมบัติในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อรานั้น จะทำการประยุกต์จากวิธีการทดสอบคุณสมบัติในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial test) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น (JIS) หมายเลข JIS Z 2801-2000 การทดลองจะทำได้โดยเตรียมแผ่นฟิล์มพลาสติกตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร หรือ 2 x 2 เซนติเมตร จากนั้นทำการหยดสารละลายเชื้อราที่ได้เตรียมไว้ลงบนแผ่นฟิล์มตัวอย่าง ซึ่งในที่นี้คือเชื้อรา *Aspergillus niger* ที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นประมาณ 10⁴ เซลล์หรือสปอร์ต่อมิลลิลิตร แล้วนำแผ่นฟิล์มตัวอย่างไปวางไว้ในจานเพาะเชื้อ (Petri dish) ปิดฝาจานเพาะเชื้อ หลังจากนั้นนำจานเพาะเชื้อไปวาง

ไว้ในที่มีด หรือวางไว้ในภายใต้แสงยูวีเอ เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการบันทึกผลการทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นฟิล์มตัวอย่างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เชิงแสง (optical microscopy) แบบ light microscope และแบบ phase contrast microscope ที่กำลังขยาย 50 ถึง 100 เท่า

การเคลือบพื้นผิวฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

การเคลือบพื้นผิวฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร จะใช้วิธีการเคลือบ 2 แบบด้วยกันคือ การพ่นฝอย (spray coating) และการใช้บาร์แท่ง (bar coater) ตามลักษณะของสารเคลือบผิวที่นำมาใช้

1. การพ่นฝอย จะใช้กับสารเคลือบผิวสูตร 1 (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีวางจำหน่ายในทางการค้า โดยสารเคลือบผิวจะถูกบรรจุในขวดสเปรย์ จากนั้นจึงทำการสเปรย์สารเคลือบผิวให้ทั่วบริเวณพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง และนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2. การใช้บาร์แท่ง (bar coater) จะใช้กับสารเคลือบผิวสูตร 2 ถึง 4 (ตารางที่ 1) โดยการนำสารเคลือบผิวที่เตรียมไว้มาหยดลงบนผิวหน้าของฟิล์มพลาสติก จากนั้นจึงใช้บาร์แท่งที่เตรียมไว้ทำการลากสารเคลือบผิวให้ทั่วผิวหน้าของฟิล์มพลาสติก ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยออกไป

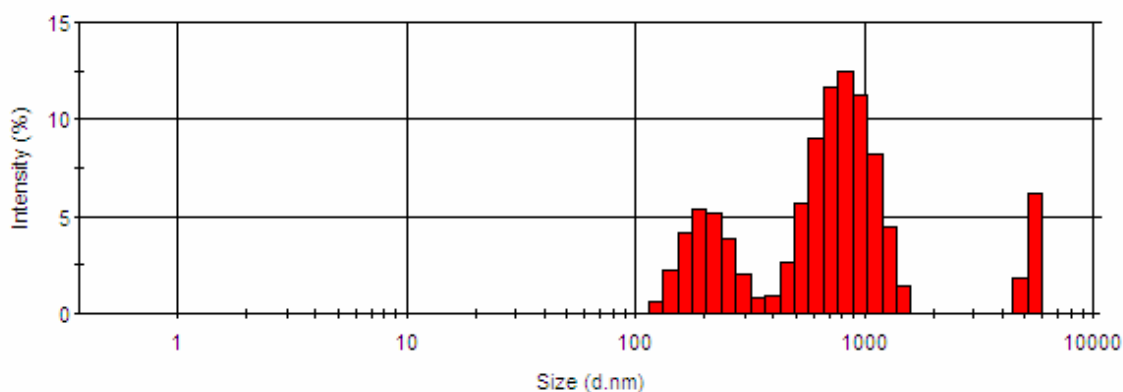
ผลการทดลอง

ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของสารเคลือบผิวที่ใช้

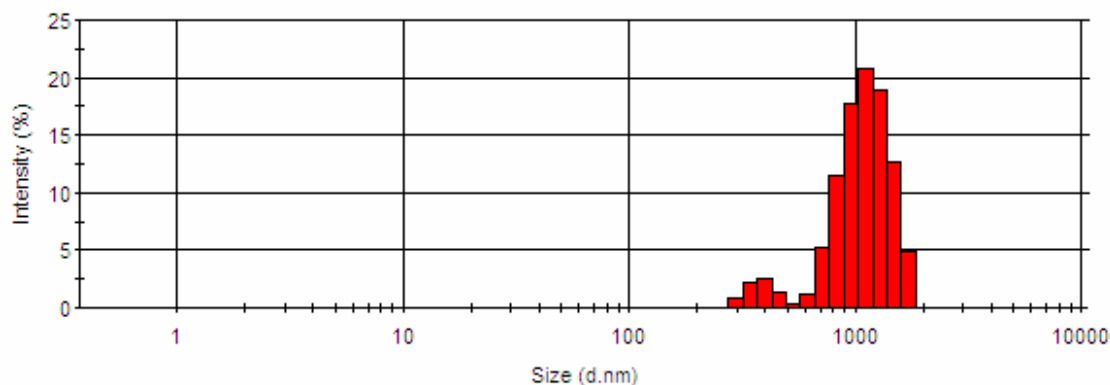
1. การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสารเคลือบผิว (particle size distribution)

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ที่กระจายตัวอยู่ในสารเคลือบผิว โดยใช้เทคนิค dynamic light scattering (DLS) ดังรูปที่ 7

(ก) ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า (commercial sample)



(ข) สารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 7 ขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่กระจายตัวอยู่ในสารเคลือบผิว (ก) ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1 ตารางที่ 1) และ (ข) สารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (สูตร 2 ตารางที่ 1)

ขนาดของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่กระจายตัวอยู่ในตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า (รูปที่ 7ก) จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 120 ถึง 5500 นาโนเมตร โดยขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 700 นาโนเมตร คิดเป็น 42.7 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทั้งหมดหรือเกือบครึ่งหนึ่งของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในสารเคลือบผิว ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 700 ถึง 1000 นาโนเมตร

คิดเป็น 35.5 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทั้งหมด และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1000 นาโนเมตร คิดเป็น 22.1 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทั้งหมด

สำหรับสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 7ข) พบว่ามีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงตั้งแต่ 300 ถึง 1700 นาโนเมตร โดยขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 700 นาโนเมตร คิดเป็น 8.4 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทั้งหมด อนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 700 ถึง 1000 นาโนเมตร คิดเป็น 34.4 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทั้งหมด และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1000 นาโนเมตร คิดเป็น 57.2 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทั้งหมดหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้น

จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่า สารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า ซึ่งใช้วิธี sol-gel ในการเตรียมสารเคลือบผิว (อ้างอิงจากข้อมูลผลิตภัณฑ์) จะได้ขนาดอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวดีกว่าสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการนำผงไททาเนียมไดออกไซด์มากระจายตัวในสารผสมระหว่างตัวทำละลายอินทรีย์และสารช่วยในการยึดติด จากผลการทดสอบพบว่าสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ มีการกระจายตัวของอนุภาคยังไม่ดีนัก อนุภาคมีการเกาะกันเป็นก้อน (agglomeration) ดังนั้นการปรับปรุงเทคนิคการเตรียมสารเคลือบผิวเพื่อให้มีการกระจายตัวของผงไททาเนียมไดออกไซด์ได้มากขึ้น จึงเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาอยู่

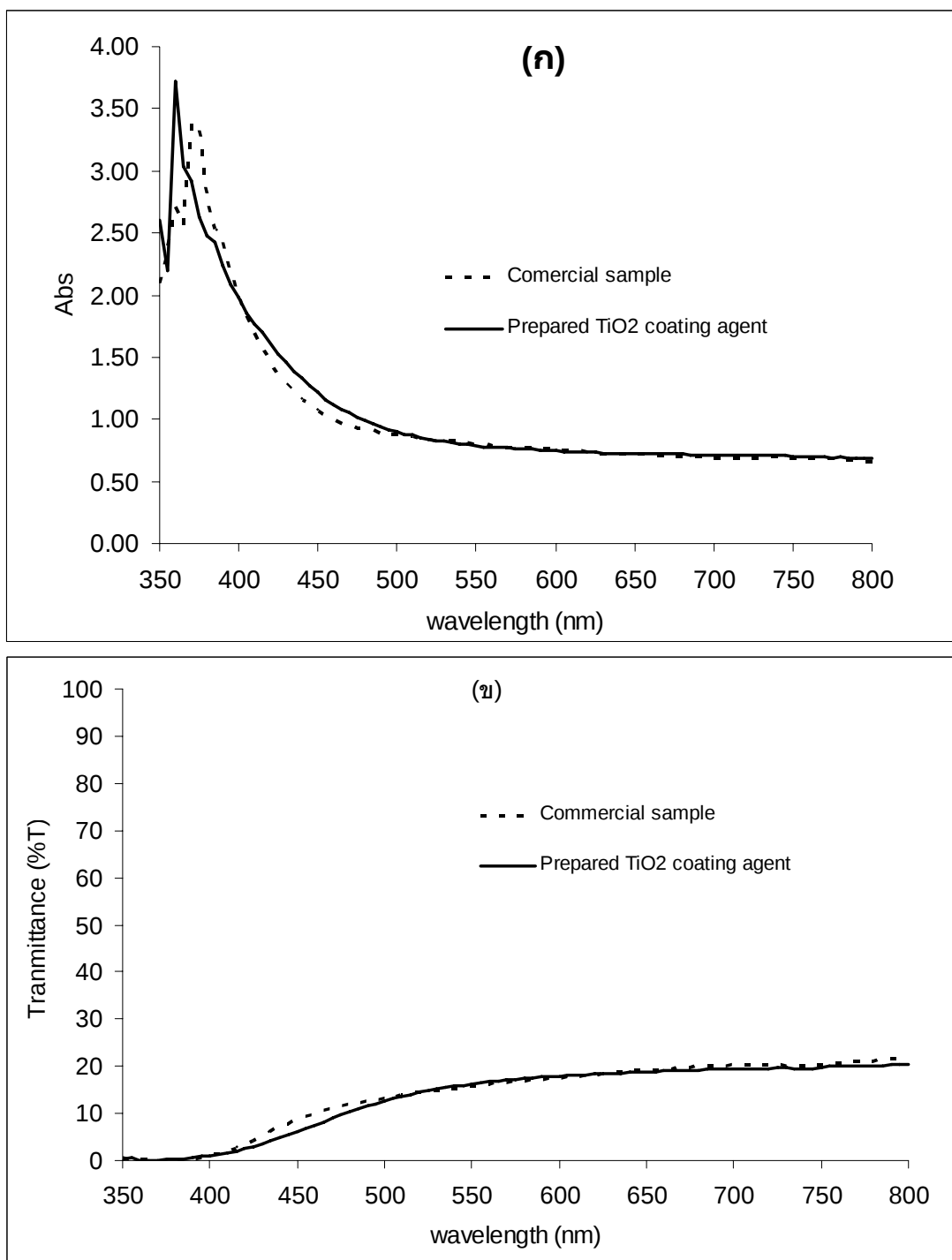
2. ความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาค (zeta potential) ในสารเคลือบผิว

เมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาค (zeta potential) ในสารเคลือบผิว ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวทำนายความคงตัวในการกระจายตัวของอนุภาคในสารเคลือบผิว หรือที่เรียกว่า dispersion stability พบว่า zeta potential ของตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า ที่วัดได้จากเครื่อง zetasizer มีค่าประมาณ -31 mV ซึ่งจากคู่มือการใช้เครื่องมือ (manual user) พบว่าถ้าอนุภาคมีค่า zeta potential มากกว่า +30 mV หรือมีค่าน้อยกว่า -30 mV แสดงว่าอนุภาคมีเสถียรภาพในการกระจายตัว

ในขณะที่ zeta potential ของสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่ามีค่าประมาณ +7 mV สำหรับไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และ zeta potential ก็จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์มีมากขึ้น คือมีค่าเท่ากับ +3 mV และ -3 mV สำหรับไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่กระจายตัวในสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้น มีค่าความต่างศักย์ระหว่างผิวอนุภาคน้อย ทำให้ไม่มีแรงป้องกันอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ข้างเคียง ทำให้เกิดการเกาะรวมกันของอนุภาค ไม่เกิดเสถียรภาพในการกระจายตัว

ดังนั้นการปรับปรุงเพื่อหาเทคนิคในการเพิ่มค่าความต่างศักย์ระหว่างผิวของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ในสารเคลือบผิวที่ได้เตรียมขึ้น จึงเป็นสิ่งต้องดำเนินการวิจัยเช่นกัน เพื่อให้ได้สารเคลือบผิวที่มีความคงตัวมากขึ้น

3. ความสามารถในการดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 800 นาโนเมตร (UV/VIS adsorption) ของสารเคลือบผิว



รูปที่ 8 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) (ก) และการส่องผ่านหรือสะท้อนของแสง (transmittance/reflectance) (ข) ในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 800 นาโนเมตร ของตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า (เส้นประ) และสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (เส้นทึบ)

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงและการส่องผ่านของแสง ได้เช่นเดียวกับตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า โดยสารเคลือบผิวทั้ง 2 ตัวอย่างค่อนข้างเป็นสารที่มีความทึบแสง คือยอมให้แสงขาว (ความยาวคลื่น 400 ถึง 800 นาโนเมตร) ส่องผ่านไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ยอมให้แสงยูวี (ความยาวคลื่น 350 ถึง 400 นาโนเมตร) ส่องผ่านเลย โดยสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้าสามารถดูดกลืนแสงยูวีสูงสุดได้ที่มีความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร ในขณะที่สารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการสามารถดูดกลืนแสงยูวีสูงสุดได้ที่มีความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร

ผลการทดสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

1. ลักษณะของฟิล์มพลาสติกเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

ลักษณะปรากฏ (สี และความขุ่นใส) ของฟิล์มพลาสติกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งพบว่าภายหลังการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ฟิล์มพลาสติกจะมีความขุ่นเกิดขึ้น และมีสีฟิล์มพลาสติกค่อนข้างสีเทา (รูปที่ 9) ซึ่งเกิดจากสีของไททาเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นเมื่อปริมาณสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่นำมาเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกมีมากขึ้น ฟิล์มจะมีสีเทาและความขุ่นเพิ่มมากขึ้น



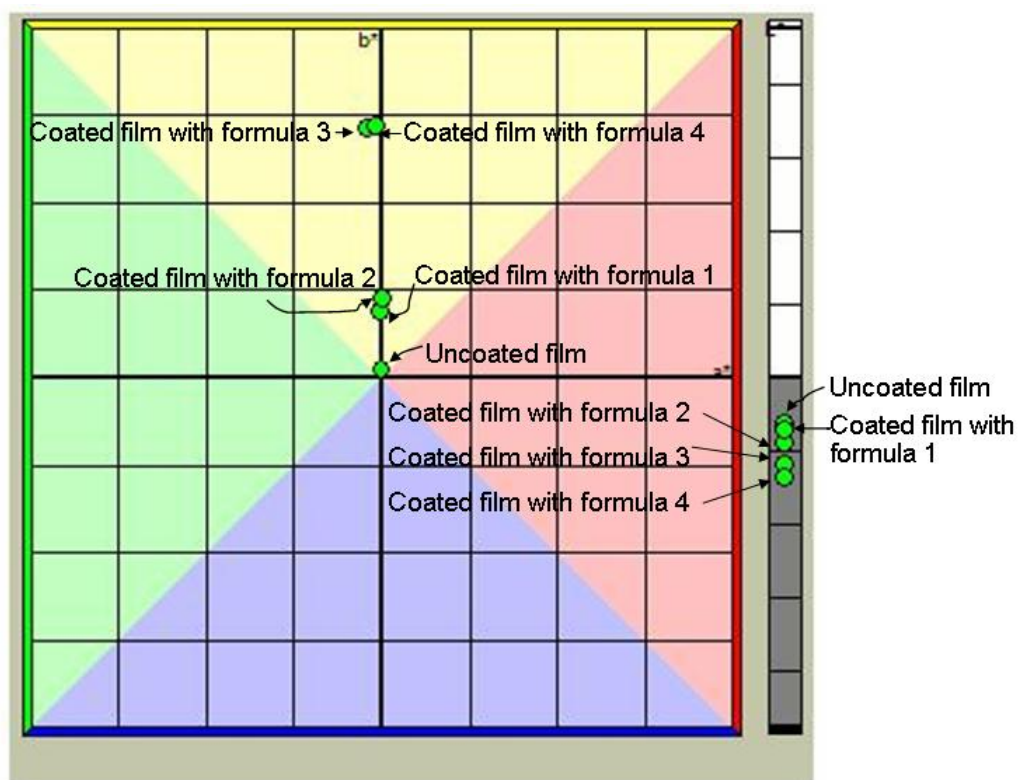
Uncoated film



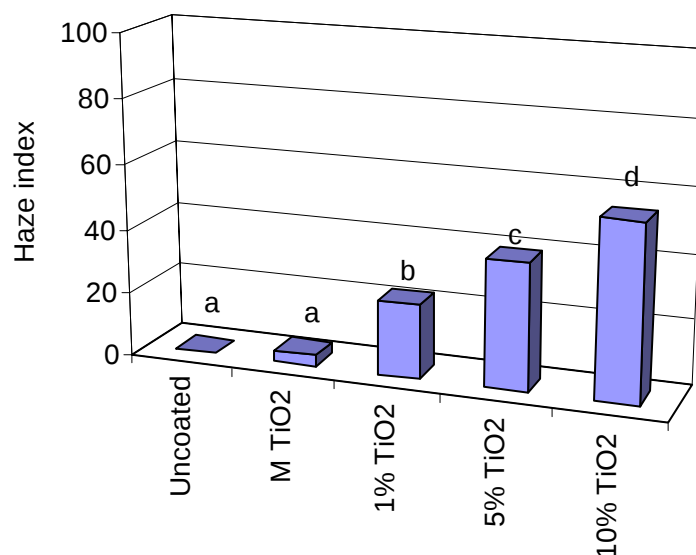
TiO₂-coated film

รูปที่ 9 แผ่นฟิล์มพลาสติกโอพีพี (OPP) เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ (ขาว) เปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว (ซ้าย)

ค่าสีของฟิล์มพลาสติก จะแสดงด้วยค่า L, a, b ซึ่งจากรูปที่ 10 จะเห็นว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์จะแตกต่างจากฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว โดยสีของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวสูตร 1 และ 2 ตามตารางที่ 1 จะมีค่าสีใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวมากที่สุด ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าสีต่างจากฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวมากที่สุด สำหรับรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าความขุ่นของฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 ค่าสี (L, a, b) ของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่วัดได้จากเครื่องวัดสี โดยใช้สารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์สูตร 1 ถึง 4 ตามตารางที่ 1



Uncoated = ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว; M TiO₂ = ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1); 1%TiO₂, 5%TiO₂ & 10% TiO₂ = ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้น 1, 5

รูปที่ 11 ค่าความขุ่น (haze index) ของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่วัดได้จากเครื่องวัดสี

ตารางที่ 2 ลักษณะปรากฏของฟิล์มพลาสติกเคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ก่อนและหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีติดต่อกันเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

ตัวอย่างฟิล์ม	การกระตุ้นด้วยแสงยูวี	ค่าสี			ค่าความขุ่น
		L	a	b	
ไม่เคลือบ	ก่อน	96.6	-0.02	0.18	2.1
	หลัง	96.6	-0.04	0.17	2.7
เคลือบด้วยสารสูตร 1*	ก่อน	96.2	-0.01	0.56	4.9
	หลัง	95.8	0.02	0.57	14.5
เคลือบด้วยสารสูตร 2*	ก่อน	95.4	-0.01	0.50	24.3
	หลัง	95.4	-0.05	0.54	25.1
เคลือบด้วยสารสูตร 3*	ก่อน	94.4	-0.05	1.05	39.3
	หลัง	93.6	-0.01	1.40	52.9
เคลือบด้วยสารสูตร 4*	ก่อน	93.0	-0.04	1.48	54.6
	หลัง	89.8	-0.42	6.06	77.9

*สูตรของสารเคลือบผิวที่ใช้ตามตารางที่ 1

นอกจากนี้ค่าสีและความขุ่นของฟิล์มพลาสติกเคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ภายหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีโดยใช้หลอดไฟ black light (ความยาวคลื่นแสง 300 ถึง 400 นาโนเมตร) ติดต่อกันเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ก็พบว่าการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการถูกกระตุ้นด้วยแสง (ตารางที่ 2) โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) จะมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้นภายหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสีของฟิล์มพลาสติกแทบจะมองไม่เห็น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (สูตร 2) แทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและความขุ่นหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี ส่วนฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (สูตร 3) จะมีสีออกสีเหลืองขึ้นและความขุ่นเพิ่มมากขึ้นหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตร 4) จะมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างเห็นได้ชัดหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีและความขุ่นของฟิล์มพลาสติกยังไม่ทราบแน่ชัด

นอกจากตัวอย่างฟิล์มพลาสติกเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวในตารางที่ 1 แล้ว ผู้วิจัยยังมีตัวอย่างของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์สูตรอื่นๆซึ่งได้จากห้องปฏิบัติการ Photoenergy Application group, AIST Tsukuba ประเทศญี่ปุ่น ดังตารางที่ 3 ที่ยืนยันให้เห็นได้ชัดว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์จะมีผลต่อลักษณะปรากฏของฟิล์มพลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ยังไม่ได้ทำการเคลือบผิว โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ formulation ของสารเคลือบผิว และปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มพลาสติกตัวอย่าง

Film	Total color difference (ΔE)	Haze index*
Polypropylene film		
Pure film	0.0	0.2
Coated film with commercial TiO ₂ coating solution (formula 1)	0.7	1.4
Coated film with 1% TiO ₂ powder suspension (formula 2)	0.4	22.9
Coated film with 5% TiO ₂ powder suspension (formula 3)	0.8	45.1
Coated film with 10% TiO ₂ powder suspension (formula 4)	4.6	57.3
Coated film with alkoxysilane and TiO ₂ suspension (aqueous phase) at 0.5% TiO ₂ w/v.	0.2	10.2
Polyethylene film		
Pure film	0.0	17.6
Coated PE film with VIS-TiO ₂ commercial coating solution	0.2	17.4
Coated PE film with with copolymer and TiO ₂ suspension (aqueous phase) at 0.5% TiO ₂ w/v	0.9	28.8
Coated PE film with alkoxysilane and TiO ₂ suspension (aqueous phase) at 0.5% TiO ₂ w/v	1.1	18.3

Total color difference (ΔE) คำนวณจาก $\Delta E = \sqrt{[\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]}$

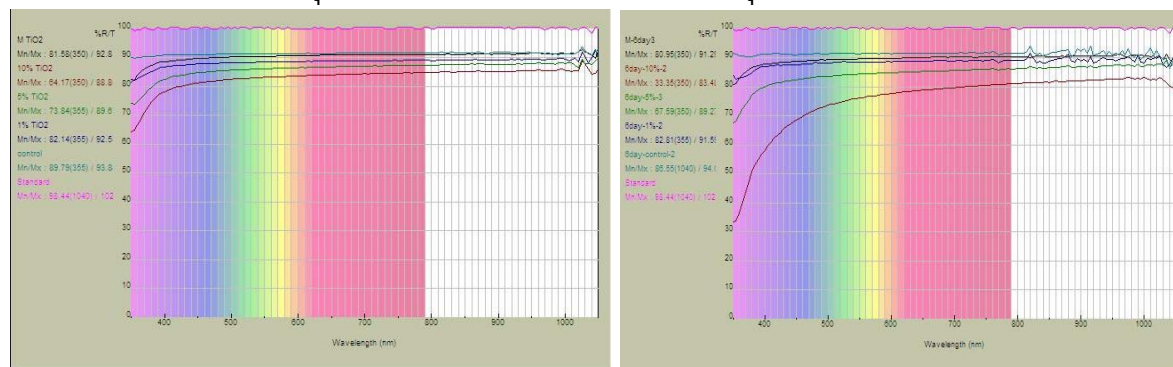
* Haze index ที่ได้มีความแตกต่างจากผลการทดลองในตารางที่ 2 อยู่บ้างเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดเป็นคนละรุ่นกัน

2. สมบัติในการยอมให้แสงทะลุผ่าน (UV/VIS transmission)

คุณสมบัติในการยอมให้แสงทะลุผ่านของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งในการช่วยป้องกันและถนอมรักษาอาหารจากการเสื่อมสภาพเนื่องจากแสง สำหรับฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์นั้นพบว่า จะช่วยป้องกันการทะลุผ่านของแสงยูวีและแสงขาวได้ดีกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว (รูปที่ 12ซ้าย) ซึ่งสารไททาเนียมไดออกไซด์นั้นเป็นที่ทราบกันว่ามีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงยูวี และสะท้อนแสงขาวออกไป

โดยผลการทดลองพบว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (เส้นสีแดง) จะมีสมบัติในการป้องกันการส่องผ่านของแสงยูวีและแสงขาวดีที่สุด รองลงมาคือฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (เส้นสีเขียว และสีน้ำเงิน) สำหรับฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายทางการค้านั้น (เส้นสีดำ) จะมีสมบัติในการป้องกันการส่องผ่านของแสงยูวีและแสงขาวดีกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว (เส้นสีฟ้า) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่บนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสามารถในการป้องกันการส่องผ่านของแสงยูวีและแสงขาวของฟิล์มพลาสติก

นอกจากนี้ยังพบว่าการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ก็สามารถทำให้สมบัติในการยอมให้แสงยูวีและแสงขาวส่องผ่านของฟิล์มพลาสติกเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 12ขวา โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ จะยอมให้แสงส่องผ่านได้น้อยลงเมื่อเทียบกับก่อนการถูกกระตุ้นด้วยแสง ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว หรือเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายทางการค้า หรือเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์นั้น มีสมบัติในการยอมให้แสงส่องผ่านไม่แตกต่างไปจากก่อนนำฟิล์มพลาสติกมาถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี ซึ่งการที่แสงส่องผ่านฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ได้น้อยลงภายหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีนั้น ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากฟิล์มพลาสติกมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 2) ฟิล์มจึงมีคุณสมบัติทึบแสงเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง



Before UVA irradiation

After UVA irradiation

รูปที่ 12 ค่าการส่องผ่านของแสงที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 350 ถึง 1050 นาโนเมตร ของตัวอย่างฟิล์มพลาสติก ก่อน(ซ้าย)และหลัง(ขวา)การถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

3. ความหนาของฟิล์มพลาสติก (film thickness, μm)

ความหนาของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบและไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ วัดโดยเครื่องไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาแผ่นฟิล์มพลาสติก ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความหนาของฟิล์มพลาสติกภายหลังการเคลือบผิว

ตัวอย่างฟิล์ม	ความหนา (ไมโครเมตร)	
	ก่อน UVA	หลัง UVA
ไม่เคลือบ	28.8 ± 0.4	28.8 ± 0.4
เคลือบด้วยสารสูตร 1*	29.8 ± 0.8	30.2 ± 0.8
เคลือบด้วยสารสูตร 2*	29.4 ± 0.5	29.4 ± 0.5
เคลือบด้วยสารสูตร 3*	30.2 ± 0.4	29.6 ± 0.5
เคลือบด้วยสารสูตร 4*	31.4 ± 0.5	31.4 ± 0.5

*สูตรของสารเคลือบผิวที่ใช้ตามตารางที่ 1

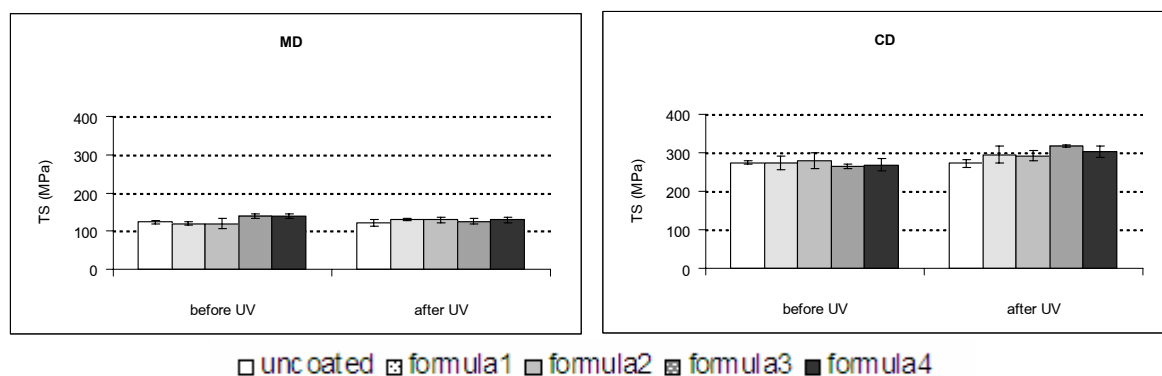
จากผลการทดลองพบว่าความหนาของฟิล์มพลาสติกหลังการเคลือบผิวจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.6 ถึง 2.6 ไมโครเมตร โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้มีมากขึ้น ความหนาของฟิล์มพลาสติกหลังการเคลือบผิวก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามพบว่าการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอติดต่อกันเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ไม่ได้มีผลทำให้ความหนาของฟิล์มพลาสติกเปลี่ยนไป

4. สมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (mechanical property)

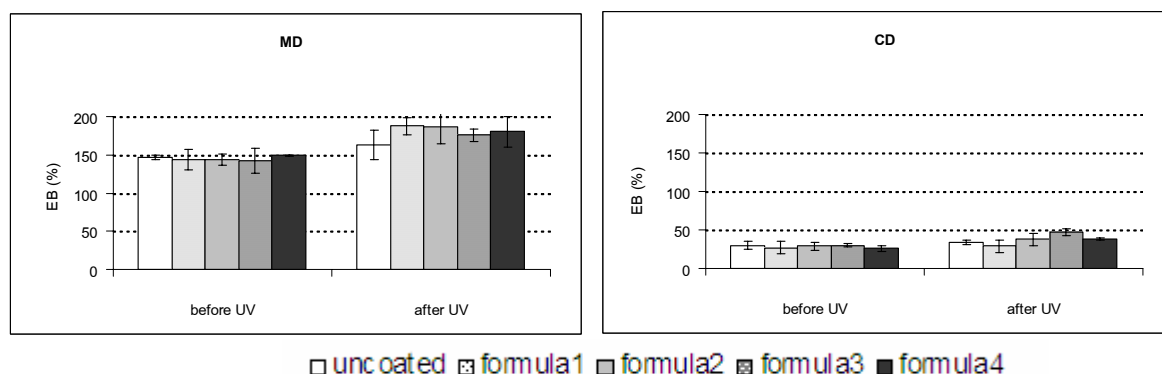
ความแข็งแรงของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารมีความสำคัญในการช่วยคุ้มครองผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารที่สำคัญเช่น การต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength, TS) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาด (elongation at break, %EB) และมอดุลัสของยัง (Young's modulus, Y) หรือ มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นต้น

สมบัติในการต้านทานแรงดึงของวัสดุ เป็นสมบัติที่แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ วัสดุที่มีความแข็งแรงมาก ค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดก็จะมาก จากการวิเคราะห์สมบัติการต้านทานแรงดึงของฟิล์มพลาสติก โดยการใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (รูปที่ 13) พบว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์มีผลทำให้ค่า TS ของฟิล์มพลาสติกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ของสารเคลือบผิว โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตร 3 และ 4) จะมีค่า TS สูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่เคลือบผิวประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การนำฟิล์มพลาสติกไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอติดต่อกันประมาณ 1 สัปดาห์ ก็มีผลต่อค่า TS ของฟิล์มพลาสติกไม่มากนัก โดยฟิล์ม

พลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวจะมีค่า TS ลดลงประมาณ 3 เปอร์เซนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสงยูวีมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มพลาสติก ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) จะมีค่า TS เพิ่มขึ้นประมาณ 3 เปอร์เซนต์ภายหลังการถูกแสงยูวีเอ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจาก UV cure ทำให้ชั้นเคลือบของไททาเนียมไดออกไซด์มีการยึดติดกับผิวของฟิล์มพลาสติกได้ดีกว่าก่อนการถูกนำไปกระตุ้นด้วยแสง ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1 ถึง 10 เปอร์เซนต์จะมีค่า TS เพิ่มขึ้นหลังจากถูกแสง ประมาณ 5 ถึง 20 เปอร์เซนต์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแสงยูวีเอทำให้ชั้นของสารเคลือบมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามในฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซนต์ จะมีค่า TS ลดลงประมาณ 7 ถึง 11 เปอร์เซนต์ เมื่อวัดในแนว MD direction ดังนั้นอาจอธิบายได้ว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซนต์ จะมีความแข็งแรงในแนวขวางของฟิล์ม (CD) มากขึ้นหลังจากถูกแสง แต่ความแข็งแรงในแนวที่เครื่องจักรฉีดออกมา (MD) กลับลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกที่เกิดขึ้นก่อนข้างสูงบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกมีผลทำให้ค่า TS ในแนว MD ของฟิล์มพลาสติก

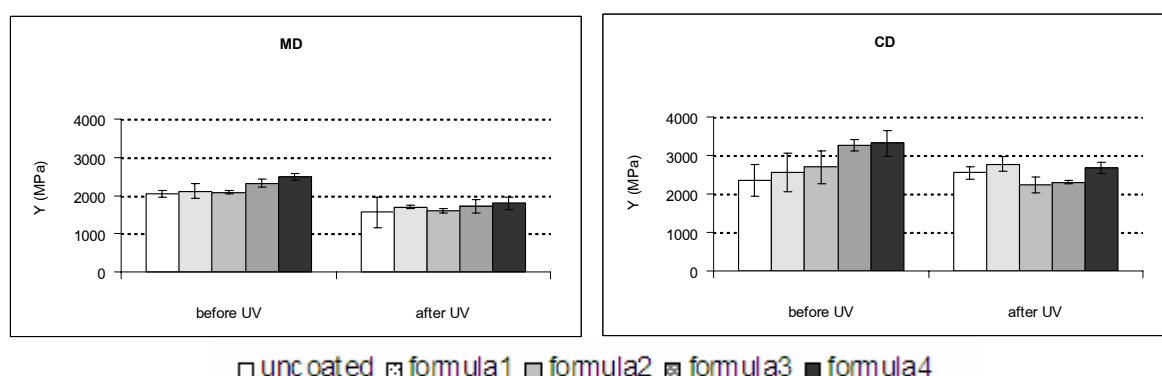


รูปที่ 13 การต้านทานแรงดึงของฟิล์มพลาสติกก่อนและหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ (uncoated = ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบ; formula 1, 2, 3, 4 = ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวสูตร 1, 2, 3 และ 4 ตามตารางที่ 1) (MD = machine direction; CD = cross direction)



รูปที่ 14 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาดของฟิล์มพลาสติกก่อนและหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ (uncoated = ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบ; formula 1, 2, 3, 4 = ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวสูตร 1, 2, 3 และ 4 ตามตารางที่ 1) (MD = machine direction; CD = cross direction)

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาด เป็นสมบัติที่แสดงถึงความอ่อน (ductile) ของวัสดุ วัสดุที่มีความอ่อนมาก ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาดก็จะมีมาก จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (รูปที่ 14) พบว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ไม่ค่อยมีผลต่อค่า EB ของฟิล์มพลาสติก ในขณะที่การนำฟิล์มพลาสติกไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอติดต่อกันประมาณ 1 สัปดาห์ จะมีผลทำให้ค่า EB ของฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อวัดในแนว MD ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีความอ่อนมากขึ้น สามารถเปลี่ยนรูปได้ง่ายมากขึ้น โดยฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวจะมีค่า EB เพิ่มขึ้นประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสงยูวีเอมีผลต่อโครงสร้างของฟิล์มพลาสติก ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีค่า EB เพิ่มขึ้นประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกมีผลทำให้ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบมีความอ่อนมากขึ้น



รูปที่ 15 มอดูลัสของยังของฟิล์มพลาสติกก่อนและหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ (uncoated = ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบ; formula 1, 2, 3, 4 = ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวสูตร 1, 2, 3 และ 4 ตามตารางที่ 1) (MD = machine direction; CD = cross direction)

มอดูลัสของยัง เป็นสมบัติที่แสดงถึงความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) ระหว่างอะตอมของวัสดุ กล่าวคือวัสดุที่มีค่ามอดูลัสของยังสูงจะมีความแกร่ง ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างง่าย จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (รูปที่ 15) พบว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์มีผลทำให้ค่า Y ของฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่า Y ที่วัดในแนว CD ของฟิล์มพลาสติก โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง ก็จะมีค่า Y สูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ จะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นน้อยลง ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างง่าย ในขณะที่การนำฟิล์มพลาสติกไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอติดต่อกันประมาณ 1 สัปดาห์ ก็มีผลทำให้ค่า Y ของฟิล์มพลาสติกลดลง แสดงว่าฟิล์มพลาสติกเมื่อนำไปถูกแสง จะเกิดการยืดหยุ่น เปลี่ยนแปลงรูปร่างง่ายขึ้น โดยพบว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบและไม่เคลือบผิวจะมีค่า Y ลดลงใกล้เคียงกันคือประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์หลังจากถูกแสงยูวีเอ ซึ่งแสดงว่าแสงยูวีเอมีผลต่อค่าสมบัติในการยืดหยุ่นของฟิล์มพลาสติกค่อนข้างมากกว่าผลจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกบนฟิล์มพลาสติก

5. คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ (gas barrier property)

คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาอาหารที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของก๊าซ โดยการใช้เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซซึมผ่านฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์แตกต่างกันตามสูตรของสารเคลือบผิว (ตารางที่ 5 และ 6) โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการ (สูตร 2 ถึง 4) จะมีคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซซึมผ่านไม่แตกต่างจากฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) จะมีคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซลดลงเล็กน้อย ซึ่งสังเกตได้จากค่า OTR (oxygen transmission rate) และ COTR (carbon dioxide transmission rate) มีค่าเพิ่มขึ้นจากฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มพลาสติก

Films	OTR (mL/m ² /day)	
	before UV	after UV
Uncoated film	2321 $\pm$ 61	2388 $\pm$ 186
Coated PP film with formula 1*	2418 $\pm$ 21	2605 $\pm$ 104
Coated PP film with formula 2*	2316 $\pm$ 78	2370 $\pm$ 155
Coated PP film with formula 3*	2334 $\pm$ 106	2374 $\pm$ 73
Coated PP film with formula 4*	2313 $\pm$ 42	2369 $\pm$ 134

* see details in table 1

ตารางที่ 6 คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของฟิล์มพลาสติก

Films	COTR (mL/m ² /day)	
	before UV	after UV
Uncoated film	3546 $\pm$ 97	3535 $\pm$ 203
Coated PP film with formula 1*	3698 $\pm$ 65	4147 $\pm$ 162
Coated PP film with formula 2*	3523 $\pm$ 104	3444 $\pm$ 63
Coated PP film with formula 3*	3563 $\pm$ 55	3585 $\pm$ 70
Coated PP film with formula 4*	3589 $\pm$ 58	3578 $\pm$ 192

* see details in table 1

สำหรับการนำฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวและไม่ได้เคลือบผิวไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ ติดต่อกันประมาณ 1 สัปดาห์พบว่าไม่มีผลทำให้คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ เปลี่ยนไป ยกเว้นฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) ที่พบว่าค่า OTR และ COTR มีค่าเพิ่มขึ้นจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงประมาณ 8 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า OTR และ COTR ของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วย สารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) มีค่าเพิ่มขึ้นจากฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ เคลือบที่นำมากระตุ้นด้วยแสงยูวีเหมือนกัน ประมาณ 9 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การที่การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทาง การค้า มีผลต่อคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ โดยเฉพาะเมื่อนำไปกระตุ้นด้วยแสงยูวี นั้นน่าจะเป็นผลจากการสารเคลือบผิวสูตร 1 นี้ อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์จะสัมผัสโดยตรงกับ พื้นผิวของพลาสติก ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมได ออกไซด์และพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก ซึ่งอาจมีผลทำให้การซึมผ่านของก๊าซเกิดได้มากขึ้น แต่การใช้ สารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (สูตร 2 ถึง 4) พบว่ามีการใช้สารช่วยในการยึดติด ร่วมด้วย ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกัน (barrier layer) ระหว่างอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์กับพื้นผิว ของพลาสติก ซึ่งน่าจะช่วยป้องกันการทำปฏิกิริยากันระหว่างปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททา นเนียมไดออกไซด์กับพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก ดังจะเห็นได้จากคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่าน ของก๊าซของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบด้วยสูตรดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการ ถูกกระตุ้นด้วยแสง

6. คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor barrier property)

ตารางที่ 7 คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติก

Films	WVTR (g/m ² /day)	
	before UV	after UV
Uncoated film	4.1±0.1	4.1±0.1
Coated PP film with formula 1*	3.8±0.1	4.2±0.1
Coated PP film with formula 2*	3.9±0.1	4.0±0.1
Coated PP film with formula 3*	3.9±0.1	3.9±0.1
Coated PP film with formula 4*	3.8±0.1	3.8±0.1

* see details in table 1

คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญโดยตรงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาอาหารที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์เช่นเดียวกับคุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ ซึ่งผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของไอน้ำ โดยการใช้เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ตารางที่ 7) พบว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกจะส่งผลให้การซึมผ่านของไอน้ำลดลงเล็กน้อยประมาณ 5 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบ

และเมื่อนำฟิล์มพลาสติกที่เคลือบและไม่ได้เคลือบผิวไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ ติดต่อกันประมาณ 1 สัปดาห์ พบว่าค่า WVTR ของฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการถูกกระตุ้นด้วยแสง ยกเว้นค่า WVTR ของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) ที่มีค่ามากกว่าก่อนการถูกกระตุ้นด้วยแสงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ การที่คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้ามีการลดลงค่อนข้างสูงเมื่อนำไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์มีการสัมผัสโดยตรงกับพื้นผิวของพลาสติก ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์และพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก ซึ่งอาจส่งผลให้ไอน้ำซึมผ่านฟิล์มพลาสติกได้มากขึ้นนั่นเอง รวมทั้งอาจเกิดจากสมบัติในการชอบน้ำ (hydrophilic) ของพื้นผิวฟิล์มพลาสติกมีมากขึ้น (รูปที่ 16ข) ทำให้ไอน้ำสามารถละลายและซึมผ่านฟิล์มพลาสติกได้มากขึ้นเช่นกัน ส่วนการที่คุณสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำค่า WVTR ของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (สูตร 2 ถึง 4) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากวางภายใต้แสงยูวีเอ น่าจะเป็นผลมาจากสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นนี้มีการใช้สารช่วยในการยึดติด ที่สามารถทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกัน (barrier layer) ระหว่างอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์กับพื้นผิวของพลาสติก ทำให้ป้องกันการทำปฏิกิริยากันระหว่างปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์กับพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกได้

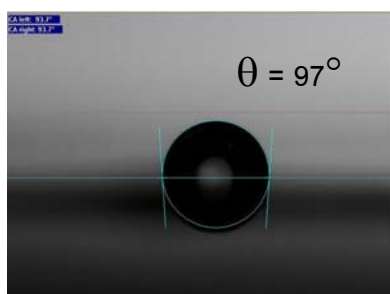
7. คุณสมบัติการชอบและไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มพลาสติก (hydrophilic/hydrophobic character)

สมบัติการชอบและไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุ โดยเฉพาะฟิล์มพลาสติก เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญกับคุณสมบัติในการยอมให้ไอน้ำซึมผ่าน พื้นผิวของวัสดุที่มีความชอบน้ำมาก จะพบว่ามีแนวโน้มยอมให้ไอน้ำซึมผ่านมากขึ้น สำหรับการวิเคราะห์สมบัติในการชอบและไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุ จะวัดโดยการใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำกับพื้นผิววัสดุ (surface contact angle)

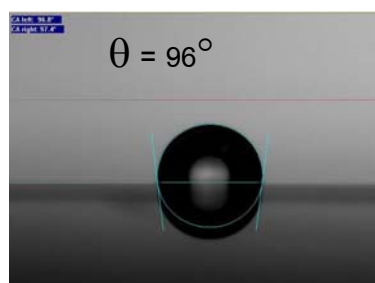
รูปที่ 16 แสดงมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกตัวอย่าง โดยพบว่าฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวจะมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และมีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวและหยดน้ำวัดได้เท่ากับ 97° (รูปที่ 16ก) ในขณะที่คุณสมบัติในการชอบและไม่ชอบน้ำของพื้นผิวฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ formulation ของสารเคลือบผิว โดยพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมได

ออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) จะมีสมบัติในการชอบน้ำ (hydrophilic) มากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกและหยดน้ำที่วัดได้มีค่าลดลงไป 21° (รูปที่ 16ข) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการที่พื้นผิวฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติในการชอบน้ำมากขึ้นนั้น น่าจะเป็นผลมาจาก -OH group ของ peroxotitanium acid ที่มีอยู่ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่ใช้ สำหรับรูปที่ 18ค ถึง 18จ แสดงมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 1 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตร 2 ถึง 4) ซึ่งพบว่าค่ามุมสัมผัสมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว ประมาณ 2° ถึง 7° ซึ่งแสดงว่าฟิล์มพลาสติกภายหลังการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวในสูตรดังกล่าวจะมีสมบัติการไม่ชอบน้ำมากขึ้น

(ก) ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว

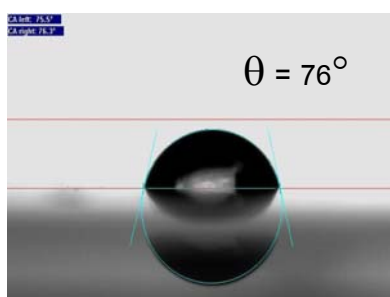


ก่อนถูกแสงยูวี

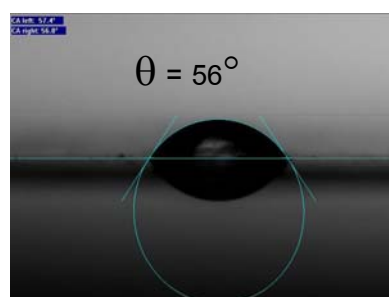


หลังถูกแสงยูวี

(ข) ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า

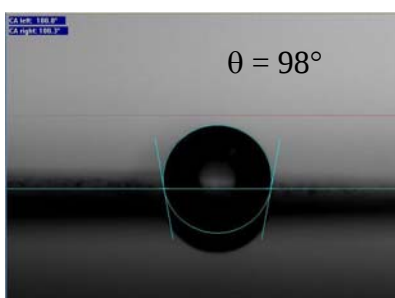


ก่อนถูกแสงยูวี

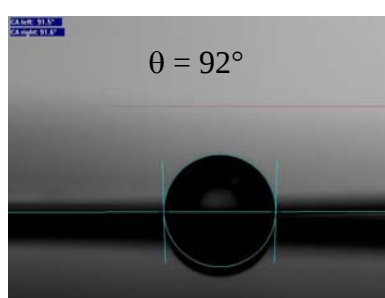


หลังถูกแสงยูวี

(ค) ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

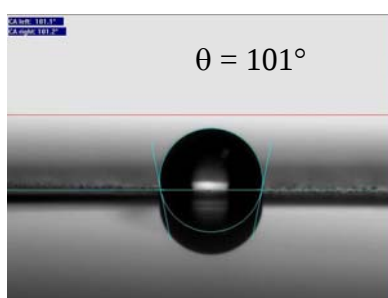


ก่อนถูกแสงยูวี

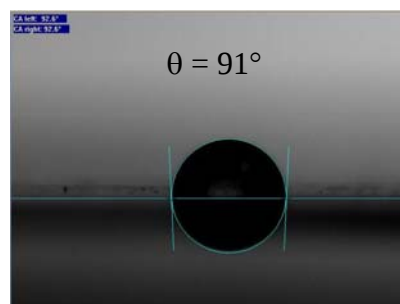


หลังถูกแสงยูวี

(ง) फिल्मพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

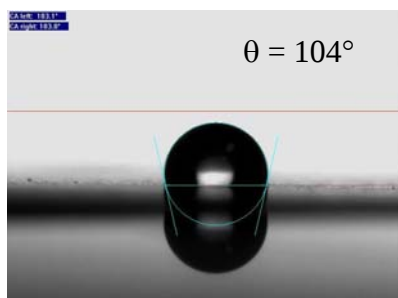


ก่อนถูกแสงยูวี

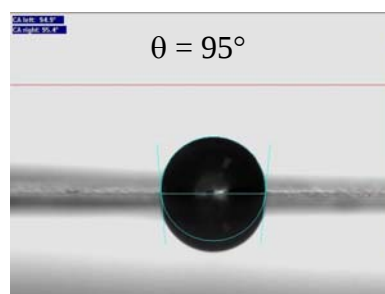


หลังถูกแสงยูวี

(จ) फिल्मพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์



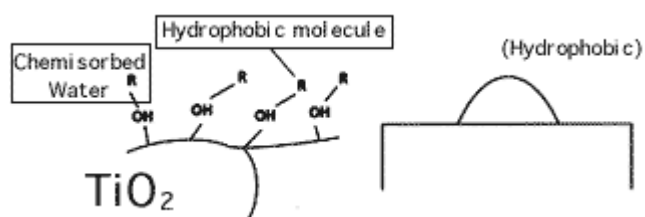
ก่อนถูกแสงยูวี



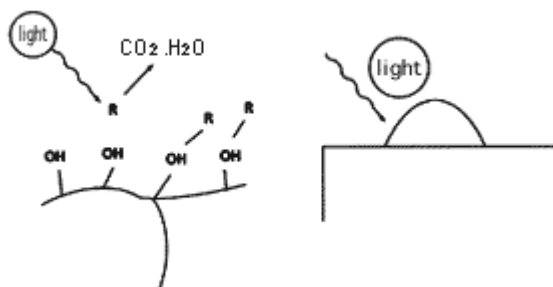
หลังถูกแสงยูวี

รูปที่ 16 มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกก่อนและหลังจากการนำไปวางใต้แสงยูวีเอเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

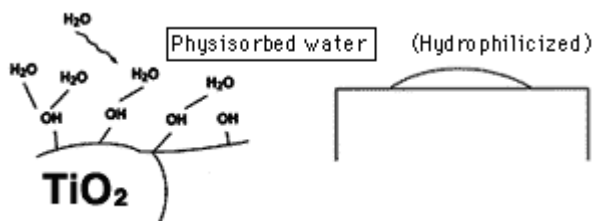
นอกจากนี้เมื่อนำฟิล์มพลาสติกที่เคลือบและไม่ได้เคลือบไปฉายแสงยูวีเอเป็นระยะเวลาติดต่อกันประมาณ 1 สัปดาห์พบว่าค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำและพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกตัวอย่างมีค่าลดลง โดยเฉพาะฟิล์มพลาสติกที่เคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการจำหน่ายในทางการค้า มีค่ามุมสัมผัสลดลงประมาณ 20° ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวมีมุมสัมผัสลดลงไปเพียง 1° เมื่อนำไปฉายแสงยูวีเอ รวมทั้งฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 16ค ถึง 16จ) ก็มีมุมสัมผัสลดลงประมาณ 6° ถึง 10° ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายหลังการถูกแสงยูวีเอ พื้นผิวของฟิล์มพลาสติกจะมีสมบัติชอบน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการจำหน่ายในทางการค้า ที่มีหมู่-OH group ของ peroxotitanium acid อยู่ในส่วนประกอบของสารเคลือบผิวค่อนข้างมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวของวัสดุ ที่สามารถทำให้พื้นผิวของวัสดุเกิดซูเปอร์ไฮโดรฟิลิก (super-hydrophilic) ได้ (ดังแสดงในรูปที่ 17)

STEP 1

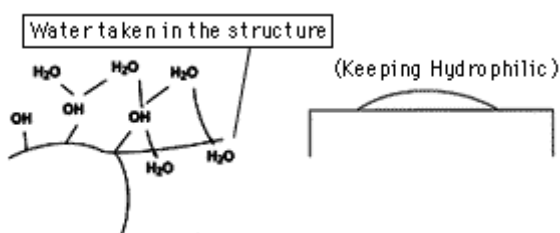
Chemisorbed water on the surface of TiO_2 is so unstable that it is stabilized with an adsorption of hydrophobic molecule.

STEP 2

With irradiation of light, photocatalyst decomposes hydrophobic molecule and chemisorbed water is exposed to the surface.

STEP 3

Exposed chemisorbed water physisorbs and bonds with another water.

STEP 4

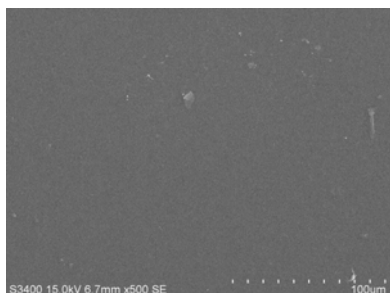
Physisorbed water is taken in the structure by the surface diffusion and stabilized.

รูปที่ 17 กลไกการเกิดซูเปอร์ไฮโดรฟิลิกบนผิววัสดุที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์
(แหล่งอ้างอิง: บริษัท TOTO Ltd. ประเทศญี่ปุ่น, Photocatalyst Business Division, Super-hydrophilic photocatalyst and its application)

8. ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิว (surface morphology)

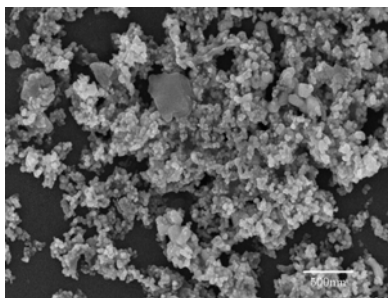
รูปที่ 18 แสดงลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 -coated film) ที่เตรียมขึ้นโดยมี formulation ที่ต่างกัน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่า เมื่อองค์ประกอบในสารเคลือบผิวที่นำมาใช้และวิธีที่ใช้ในการเคลือบผิวแตกต่างกัน จะมีผลทำให้ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้แตกต่างกัน

(ก) ฟิล์มพลาสติกพีพีที่ไม่ได้เคลือบผิว



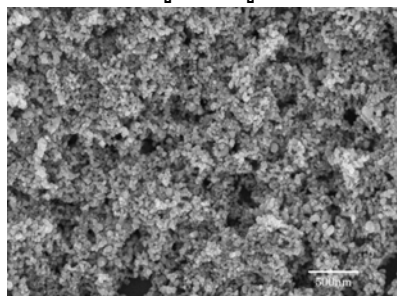
ก่อนถูกแสงยูวี

(ข) การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกโดยใช้วิธีการจุ่ม (dip coating) ลงในสารแขวนลอยไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีการกวนสารอยู่ตลอดเวลา



ก่อนถูกแสงยูวี

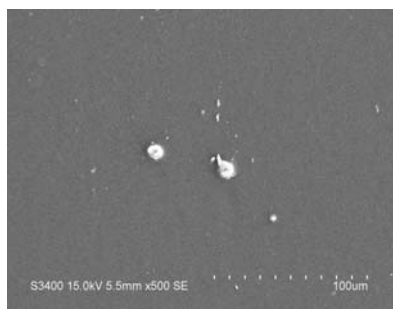
Coated PP film by alkoxysilane and aqueous suspension of TiO_2 at 0.5% TiO_2 w/v.



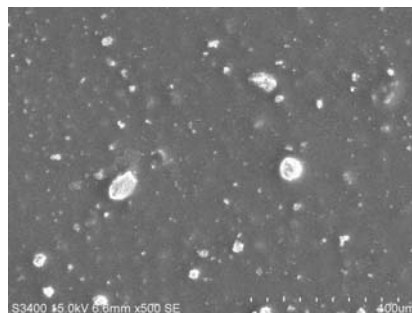
ก่อนถูกแสงยูวี

Coated PE film by copolymer and aqueous suspension of TiO_2 at 0.5% TiO_2 w/v.

(ค) การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกพีพีด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้วิธี bar coating

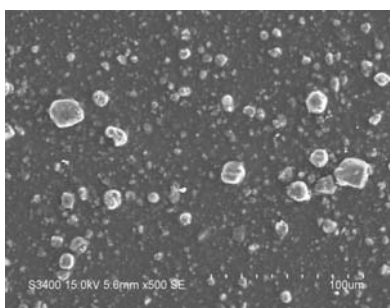


ก่อนถูกแสงยูวี

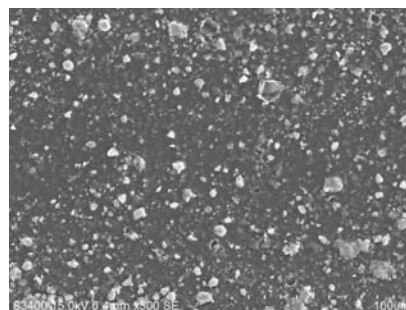


หลังถูกแสงยูวี

(ง) การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกพีพีด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้วิธี bar coating

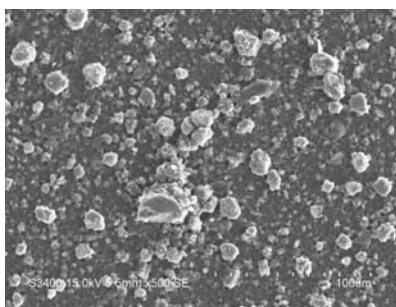


ก่อนถูกแสงยูวี

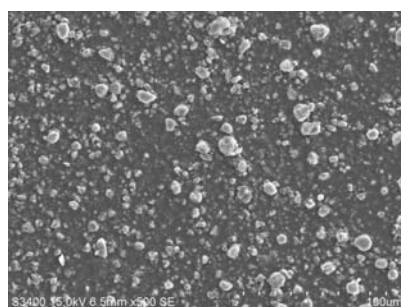


หลังถูกแสงยูวี

(จ) การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกพีพีด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้วิธี bar coating

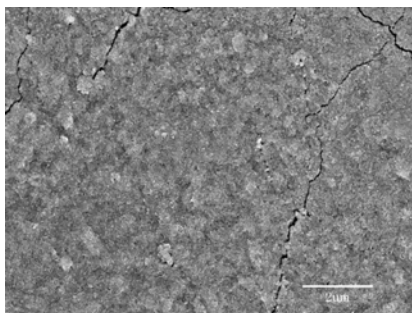


ก่อนถูกแสงยูวี

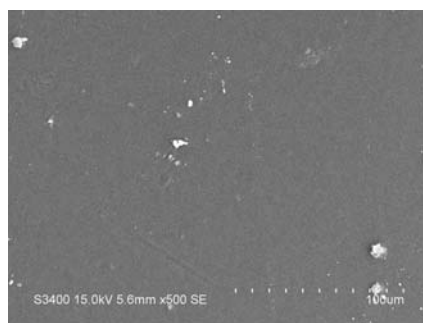


หลังถูกแสงยูวี

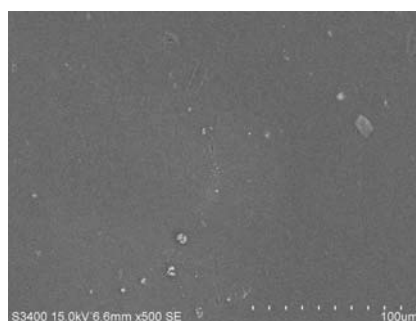
(ฉ) การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกพีพีด้วยสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า โดยวิธีการพ่นฝอย (spraying)



ก่อนถูกแสงยูวี (ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า)

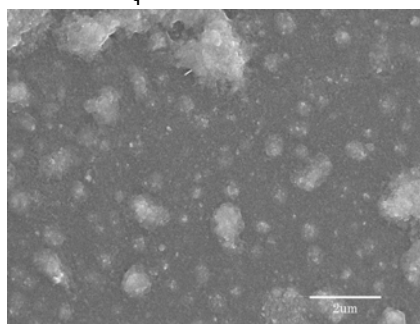


ก่อนถูกแสงยูวี (ที่กำลังขยาย 500 เท่า)



หลังถูกแสงยูวี (ที่กำลังขยาย 500 เท่า)

(ช) การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกพีพีด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการใช้ซิลิโคนร่วมด้วย โดยวิธีการจุ่ม (dip coating)



ก่อนถูกแสงยูวี

รูปที่ 18 ลักษณะโครงสร้างทางพื้นผิวของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอติดต่อกันเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งวิเคราะห์โดยการใช้อัลตร้าสตรัคเจอร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากรูปจะเห็นว่า การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกโดยใช้วิธีการจุ่ม (dip coating) ลงในสารแขวนลอยไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีการกวนสารอยู่ตลอดเวลา จะทำให้สารไททาเนียมไดออกไซด์กระจายตัวบนพื้นผิวฟิล์มพลาสติกได้ดี (รูปที่ 18ข) อย่างไรก็ตามวิธีการเคลือบผิวแบบจุ่มนี้ (dip coating) ค่อนข้างเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติหรือทางการค้ากับการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหาร ในขณะที่การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกโดยวิธีการพิมพ์ (สารเคลือบผิวสูตร 2 ถึง 4 ในตารางที่ 1) (รูปที่ 18ค ถึง 18จ) มีความเป็นไปได้มากในทางปฏิบัติและทางการค้า และสามารถให้ฟิล์มพลาสติกที่มีคุณสมบัติทางด้านโฟโตแคตตาไลซิสที่สูงได้ (จากงานวิจัยหลังปริญญาเอกที่เคยทำมา) อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางพื้นผิวพบว่าอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์มีการเกาะรวมกัน (agglomeration) เป็นก้อนขนาดต่าง ๆ กัน และบางส่วนของก้อนอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ก็จมอยู่ในชั้นของสารยึดติด (binder) ที่ใช้ ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้า (สารเคลือบผิวสูตร 1 ในตารางที่ 1) (รูปที่ 18ฉ) ก็จะมีโครงสร้างทางพื้นผิวแตกต่างไปจากฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ โดยจะพบรอยแตก (crack) บนพื้นผิว ซึ่งเป็นผลมาจากการระเหยของน้ำในระหว่างการทำให้ฟิล์มพลาสติกแห้ง (drying) ภายหลังจากการเคลือบผิว ในขณะที่รูปที่ 18ช แสดงโครงสร้างทางพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการใช้ซิลิโคนร่วมด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์จะถูกห่อหุ้มด้วยซิลิโคน ซึ่งทำให้ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดนี้มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกค่อนข้างต่ำ (อ้างอิงจากผลการทดลองในงานวิจัยหลังปริญญาเอกที่เคยทำมา)

และเมื่อนำฟิล์มพลาสติกไปกระตุ้นด้วยแสงยูวี พบว่าโครงสร้างทางพื้นผิวของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์จะมีทั้งที่เกิดและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสง โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ formulation ของสารเคลือบผิว ดังรูปที่ 18 โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพื้นผิวภายหลังการถูกกระตุ้นด้วยแสง (รูปที่ 18ฉ) ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 18ค ถึง 18จ) ที่มีการใช้สารช่วยในการยึดติด พบว่าโครงสร้างทางพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากการฉายแสงยูวีเอ กล่าวคือ อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคยถูกห่อหุ้มด้วยสารช่วยในการยึดติด หรืออยู่ภายในชั้นของสารช่วยในการยึดติด จะมาปรากฏอยู่บนพื้นผิวของชั้นเคลือบมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกสูงขึ้น (อ้างอิงจากคำขอสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 1001000184 และคำขอสิทธิบัตรญี่ปุ่น เลขที่คำขอ 2009-032020)

9. การยึดติดของสารเคลือบบนผิวฟิล์มพลาสติก (coating adhesion)

การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก จะทำการทดสอบโดยวิธีการ tape test ตามมาตรฐาน ASTM D 3359-02 และรายงานผลการทดสอบตามปริมาณของสารเคลือบที่หลุดออกมาจากผิววัสดุ ดังนี้ คือ ผลการทดสอบ “ดี” หมายถึง ไม่มีการหลุดลอกของสารเคลือบผิว, “ใช้ได้” หมายถึง มีการหลุดลอกของสารเคลือบจากผิววัสดุอยู่บ้าง และ “ไม่ดี” หมายถึง สารเคลือบหลุดออกจากผิววัสดุทั้งหมด

ซึ่งผลการทดสอบทั้งก่อนนำไปฉายแสงยูวีเอ และหลังจากการฉายแสงยูวีเอเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ พบว่าผลการทดสอบอยู่ในระดับที่ “ใช้ได้” ไม่ว่าจะเป็นการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้า (สูตร 1) หรือสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นเองในระดับห้องปฏิบัติการ (สูตร 2 ถึง 4)

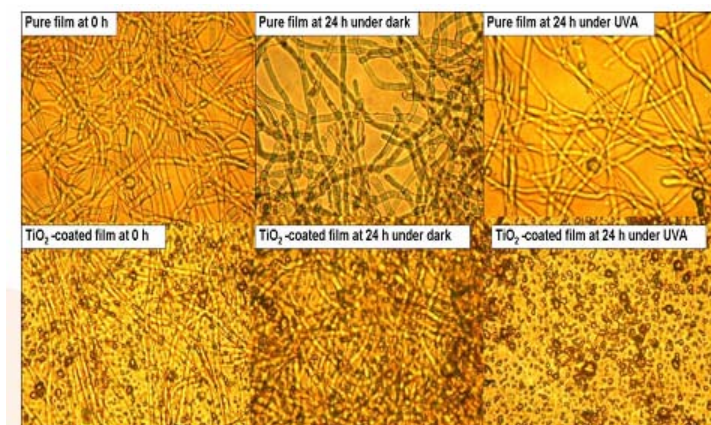
ผลการทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกของแผ่นฟิล์มพลาสติกตัวอย่าง (Photocatalytic performance test)

ในโครงการวิจัยนี้ จะทำการทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง โดยการทดสอบคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อรา หรือ antifungal activity เป็นสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ในการกำจัดเอทิลีน และคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial activity) ได้มีการดำเนินการทดสอบไปแล้ว ในโครงการวิจัยหลังปริญญาเอก และมีบทความตีพิมพ์ทางวิชาการในวารสารวิชาการระดับนานาชาติเรียบร้อยแล้ว โดยพบว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ (สูตร 2 ถึง 4) จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกสูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีการจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) และฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ (สูตร 4) จะมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกสูงกว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (สูตร 3 และ 2)

ดังนั้นในการทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ได้ทำการเลือกการทดสอบเฉพาะฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ สามารถทำลายและยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้ (รูปที่ 19 และ 20)

ในรูปที่ 19 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้ทำการเพาะเชื้อราลงบนผิวแผ่นฟิล์มพลาสติกไปฉายแสงยูวีเอ ประมาณ 24 ชั่วโมง และนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ จะไม่พบการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อราบนผิวแผ่นฟิล์มพลาสติก ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบยังคงพบการเจริญเติบโตของเชื้อราแม้ว่าจะนำมาฉายแสงยูวีเอเช่นกัน ซึ่ง

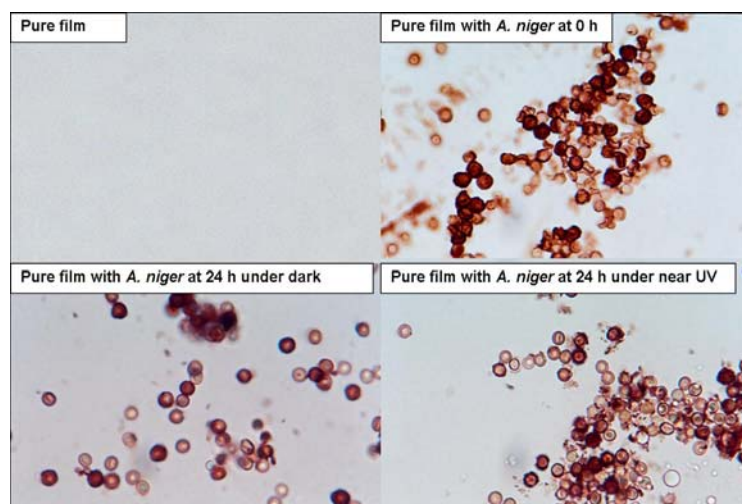
แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวนั้น มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำลายและยับยั้งเชื้อราได้ด้วย ซึ่งมีรายงานว่าการทำลายเชื้อราจะทำได้ยากกว่าเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่ซับซ้อนและแข็งแรงกว่าเชื้อแบคทีเรียนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่นในงานของ Erkan และคณะ (2006) พบว่าประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จะลดลงเรียงตามลำดับจุลินทรีย์ดังนี้ *E. coli* > *Staphylococcus aureus* > *Saccharomyces cerevisiae* > *A. niger*



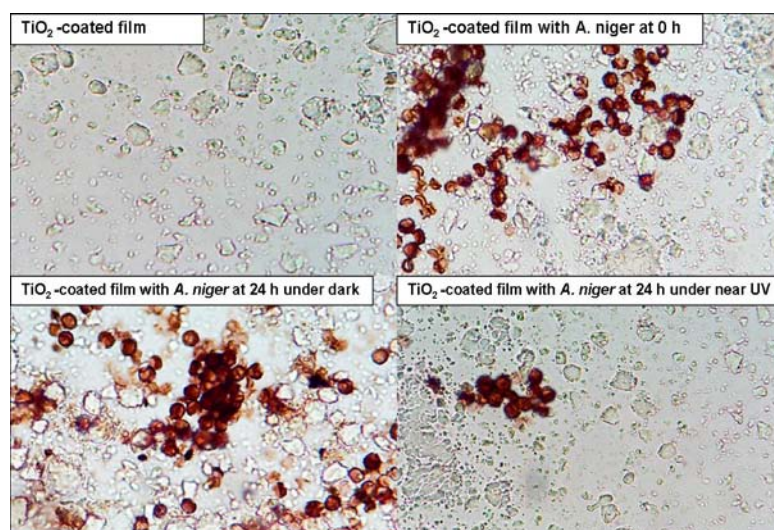
รูปที่ 19 คุณสมบัติในการต้านทานเชื้อ *Aspergillus niger* ของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบและไม่ได้เคลือบผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

นอกจากนี้ในรูปที่ 20 ข ก็ยังแสดงให้เห็นถึงการลดลงของจำนวนสปอร์ของเชื้อราที่ได้ทำการเพาะลงบนผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ และนำไปฉายแสงยูวีเอ ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว พบว่าไม่มีการลดลงของสปอร์บนแผ่นฟิล์มถึงแม้จะนำไปฉายแสงยูวีเอเช่นเดียวกัน

(ก) ฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว



(ข) फिल्मพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 20 การลดลงของจำนวนสปอร์ของเชื้อรา *Aspergillus niger* ของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบและไม่ได้เคลือบผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยเพื่อศึกษาเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ สำหรับการนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟในอนาคต ได้มีการศึกษาฟิล์มพลาสติกที่ได้เคลือบผิวด้วยกรรมวิธีและองค์ประกอบของสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นของไททาเนียมไดออกไซด์แตกต่างกัน กับตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า

จากผลการศึกษาพบว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสง เช่น สี ความขุ่นใส รวมถึงสมบัติในการยอมให้แสงทะลุผ่าน ทั้งนี้จะเป็นเพราะสารไททาเนียมไดออกไซด์มีสมบัติในการเป็นสารสี (pigment) สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นยูวีและสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงขาวได้ ทำให้เมื่อนำสารไททาเนียมไดออกไซด์มาเคลือบบนผิวฟิล์มพลาสติก ฟิล์มพลาสติกจึงปรากฏความขาว และขุ่นขึ้นได้ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว ในขณะที่ข้อได้เปรียบจากการเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์คือสมบัติในการยอมให้แสงทะลุผ่านของฟิล์มพลาสติกมีน้อยลง ซึ่งถือว่าเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญอย่างหนึ่งของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิว เพราะสามารถช่วยป้องกันหรือชะลอการเสื่อมสภาพของอาหารที่เกิดจากแสงได้

อย่างไรก็ตามในบางการศึกษาพบว่า การเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 thin film coating) บนผิววัสดุก็สามารถได้ชั้นฟิล์มบางที่มีความโปร่งใส (transparent thin film) ได้ ยกตัวอย่างเช่น การใช้กรรมวิธีโซล-เจล (Blount et al., 2001) ซึ่งฟิล์มที่ได้มักจะมีแสงโปร่งใส อย่างไรก็ตามวิธีการเตรียมโซล-เจลมักมีราคาแพง ซึ่งในงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ได้มีการใช้ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวที่ได้จากกรรมวิธีโซล-เจลเช่นกัน และพบว่าค่าสี ค่าความขุ่น รวมทั้งสมบัติในการยอมให้แสงทะลุผ่านของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวนี้นี้ มีค่าใกล้เคียงมากกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกค่อนข้างต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ (Maneerat, 2006) ดังนั้นทีมผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาฟิล์มพลาสติกเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยทำให้มีความใสเพิ่มมากขึ้น และยังคงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกสูงเช่นเดิมในการศึกษาวิจัยต่อไป

นอกจากนี้ผลการทดลองที่สำคัญประการหนึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้คือ หลังจากนำฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวไปกระตุ้นด้วยแสงยูวีเป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มพลาสติกจะมีความขุ่นเพิ่มขึ้น และสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างนี้ได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเรื่องความขุ่นของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์นี้ จากการสอบถามผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารในญี่ปุ่น พบว่าไม่ได้เป็นข้อเสียเปรียบมากแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะสามารถใช้การออกแบบ (design) บรรจุภัณฑ์ ให้

นำความชุ่มชื้นมาใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน โดยวิธีการเคลือบผิว bar coating ที่ผู้วิจัยเลือกนี้ นอกจากจะสามารถเลือกพื้นที่หรือบริเวณที่ต้องการเคลือบผิวได้ในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว ยังสามารถทำได้ในระดับอุตสาหกรรมด้วย

สำหรับความหนาของฟิล์มพลาสติกหลังการเคลือบผิวพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยขึ้นกับองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่ใช้

ในขณะที่สมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก ก็ได้รับผลกระทบจากการเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์เช่นกัน โดยในการศึกษานี้ได้ศึกษาการต้านทานแรงดึงขาด (TS) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดก่อนขาด (%EB) และมอดุลัสของยัง (Y) ซึ่งพบว่า การเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ไม่ค่อยมีผลต่อค่า TS และ EB ของฟิล์มพลาสติกมากนัก แต่กลับพบการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ก่อนข้างชัด โดยฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีค่า Y สูงกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบผิว และฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูง ก็จะมีค่า Y สูงกว่า ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ จะมีความยืดหยุ่นน้อยลง

โดยการวางฟิล์มพลาสติกภายใต้แสงยูวีเป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ พบว่ามีผลต่อทั้งค่า TS, EB และ Y ของฟิล์มพลาสติก โดยค่า TS และ EB ของฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Y ลดลง โดยฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบผิวก็จะมีเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน แต่ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิว จะมีการเปลี่ยนแปลงเห็นได้ชัดเจนกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงแม้แสงยูวีจะมีผลต่อฟิล์มพลาสติก แต่ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์ (UVA with TiO_2) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก จะมีผลค่อนข้างเด่นชัดกว่าผลของแสงเพียงลำพัง (UAV alone)

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติกหลังจากเคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์และในระหว่างหรือหลังจากการถูกแสงยูวีเป็นระยะเวลาหนึ่งนั้น ทำให้กล่าวได้ว่าฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ อาจไม่เหมาะที่จะใช้เป็นฟิล์มพลาสติกในห้องเก็บรักษา (storage room) หรือเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง (transport packaging) แต่เหมาะที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ชั้นในหรือปฐมภูมิสำหรับการวางขายในร้านค้า (individual package) โดยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกจะช่วยในการกำจัดเอทิลีน กลิ่น หรือจุลินทรีย์ ทำให้ช่วยเพิ่มระยะเวลาการวางขายสินค้าบนชั้นได้ (shelf-life)

สำหรับผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกต่อวัสดุอินทรีย์ผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) เป็นทราบกันเป็นอย่างดี ทำให้โดยทั่วไปการเคลือบผิววัสดุอินทรีย์ เช่น พลาสติก กระดาษ ผ้า มักจะนิยมเคลือบชั้นป้องกัน (barrier layer) เช่น SiO_2 บนผิววัสดุก่อน จากนั้นจึงเคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกต่อการสลายวัสดุอินทรีย์ ได้มีผู้วิจัยศึกษาข้อดีของปฏิกิริยานี้ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายของพลาสติกเมื่อถูกรังสียูวี ยกตัวอย่างเช่นงานของ Zan และคณะ ในปี 2006 พบว่าได้พัฒนา novel photodegradable LDPE โดยการผสมสารไททาเนียมไดออกไซด์กับพลาสติก LDPE เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายของพลาสติกภายใต้แสงอาทิตย์หรือรังสียูวี ผ่านปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ใน

พลาสติกด้วย อย่างไรก็ตามการเคลือบผิว (coating) พลาสติกอาจจะไม่ให้ผลในเรื่องการย่อยสลายของพลาสติกเด่นชัดนักเมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมสาร (blending) ลงในเนื้อพลาสติก

สำหรับคุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงจากฟิล์มที่ไม่ได้เคลือบ ทั้งก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสง ยกเว้นฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า ที่พบว่าคุณสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของฟิล์มพลาสติกจะลดลง เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ พอจะแนะนำได้ว่าสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า (สูตร 1) ไม่เหมาะที่จะนำมาเคลือบผิวฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร เพราะจะทำให้ไอน้ำและก๊าซซึมผ่านเข้าออกจากบรรจุภัณฑ์ได้มาก ซึ่งจะไปลดอายุการวางขายของอาหารที่อยู่ภายในได้ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้เคลือบ หรือเคลือบด้วยสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

เมื่อศึกษาถึงโครงสร้างทางพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ก็พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับวิธีการเคลือบผิวที่ใช้และองค์ประกอบของสารเคลือบผิวเป็นสำคัญ

อย่างไรก็ตามผลการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนผิวฟิล์มพลาสติก โดยการใช้ tape test พบว่าให้ผลที่ไม่ต่างกันมากนัก โดยมีสารไททาเนียมไดออกไซด์หลุดติดออกมากับเทปที่ใช้ทดสอบอยู่เล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันของผลการทดสอบระหว่างก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ จากผลการทดสอบทำให้เป็นข้อมูลได้ว่ายังคงต้องมีการปรับปรุงส่วนประกอบของสารเคลือบผิวและกรรมวิธีในการเคลือบผิวอยู่บ้าง เพื่อไม่ให้เกิดการหลุดลอกของสารเคลือบผิวออกมาในระหว่างการใช้งาน

และเมื่อนำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ มาทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อรา (antifungal packaging) เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสงยูวีเอ ก็พบว่ามีประสิทธิภาพในการต้านทานยับยั้งการเจริญเติบโตของทั้งเส้นใยและสปอร์

สรุป

ฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีองค์ประกอบของสารเคลือบผิวต่างกัน จะมีเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีที่ต่างกัน โดยองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เคลือบบนฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร มากกว่าตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีการวางจำหน่ายในทางการค้า

เอกสารอ้างอิง

ชาดาโอะ มัสชีชวาระ, เนบูเอกิ เนงิชิ, จามร เซวงกิจวณิซ และ ดวงกมล วิบูลย์รัตนศรี. คำขอสิทธิบัตรประเทศไทยเรื่อง “องค์ประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในการผลิตวัสดุโฟโตแคตาไลติกประสิทธิภาพสูง” เลขที่คำขอ 1001000184

Blount, M.C., D. H. Kim, and J.L. Falconer, Transparent thin-film TiO_2 photocatalysts with high activity. Environ. Sci. Technol., 2001, 35 (14), pp 2988–2994.

Chawengkijwanich, C., and Y. Hayata, Development of TiO_2 powder-coated food packaging film and its ability to inactivate *Eschericia coli* in vitro and in actual tests. Int. J. Food Microbiol., 2008, 123, pp. 288-292.

Chawengkijwanich, C., and Y. Hayata, Gas phase photocatalytic oxidation of ethylene with TiO_2 -coated packaging film for horticultural products, T ASABE, 2008, 51(1), pp.163-168.

Chawengkijwanich, C. D. Viboonratanasri, C. Pokhum, K. Sa-nguanpuag, and K. Tanprasert, Perfomance of TiO_2 -coated film in decomposition of durian flavor volatiles, Acta Horticulturae, 2008, 804, pp. 243-247.

Erkan, A., U. Bakira, and G. Karakas, 2006, Photocatalytic microbial inactivation over Pd doped SnO_2 and TiO_2 thin films, J. Photochem. Photobiol. A. Chem., 2006, 184(3), pp. 313-321

Fujishima, A., K. Hashimoto, and T. Watanabe. TiO_2 photocatalysis fundamentals and applications. 1999, Best Knowledge Center (BKC), Tokyo, Japan.

Li, H., F. Li, L. Wang, J. Sheng, Z. Xin, L. Zhao, H. Xiao, Y. Zheng, and Q. Hu, Effect of nano-packaging on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujube* Mill. Var. inermis (bunge) Rehd). Food Chem., 2009, 114(2), pp. 547-552.

Maneerat, C., Development and mechanism of TiO_2 -coated film, a new active packaging, for horticultural products. JSPS Postdoctoral Fellowship Research Report, 2006, JSPS, Japan.

Matsuzawa, S., N. Negishi, C. Chawengkijwanich, and D. Viboonratanasri, Japan Patent “A composed material for manufacturing high-performance photocatalytic materials” Japanese patent application No. 2009-032020.

Zan, L, W. Fa, and S. Wang, Novel photodegradable low-density polyethylene- TiO_2 nanocomposite film. Environ. Sci. Technol., 2006, 40 (5), pp 1681–1685.

Zhou, J., L. Shi, L., and S. Gunasekaran, Development of antimicrobial and UV-block edible film incorporated with TiO_2 nanoparticle. In NSTI Nanotech: The Nanotechnology Conference and Trade Show, 2008, Boston, USA.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า)

ยังไม่มีผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ แต่มีบทความทางวิชาการที่อยู่ระหว่างการแก้ไขเพื่อ re-submit กลับไปที่วารสารวิชาการนานาชาติ 2 เรื่อง ตามที่ระบุไว้ในข้อเสนอโครงการ

สำหรับบทความทางวิชาการอันแรก ได้เริ่ม submit ตั้งแต่ปี 2552 แต่ก็โดน reject กลับมาประมาณ 3 ครั้ง ดังนั้นล่าสุดผู้วิจัยจึงได้เพิ่มผลการทดสอบประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาของแผ่นฟิล์มพลาสติกควบคู่ไปกับผลการ characterization ด้วย ซึ่งจาก comment ที่ได้รับกลับมาจากทาง editor ขอให้เพิ่มผลการทดลองเพิ่มเติมอีกเล็กน้อย เช่น viable plate count ของจำนวนเชื้อรา นอกเหนือไปจากผลที่แสดงจากกล้องจุลทรรศน์ และก็ให้ re-submit กลับมาใหม่ สำหรับบทความเรื่องที่สองอยู่ระหว่างการเตรียมต้นฉบับครั้งแรก

ผู้วิจัยมีบทความที่มีการนำเสนอในงานประชุมวิชาการจำนวน 2 เรื่อง ดังนี้

- C. Chawengkijwanich, C. Pokhum, K. Sa-nguanpuag, W. Thanthapanichkoon and Y. Hayata, "Antifungal property of TiO₂-coated PP film against *Aspergillus niger* by microscopic observation" Proceedings of the 3rd Thailand Nanotechnology Conference 2009 – Health, Energy, Environment, pp. 101-102, 21-22 December 2009, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- C. Chawengkijwanich, C. Pokhum, S. Matsuzawa and W. Thanthapanichkoon, "Effect of photocatalytic reaction on tensile strength and gas permeability of TiO₂-coated packaging film", Book of Abstract, The 2nd Thailand Nanotechnology Conference: Nanomaterials for Health, Energy and Environment, 13-15 August 2008, Phuket, Thailand.

และได้ร่วมนำเสนอผลงานวิจัยที่ได้รับทุนกับการประชุมนักวิจัยรุ่นใหม่ของ สกว. ครั้งที่ 9

- C. Chawengkijwanich, C. Pokhum, D. Viboonratanasri, S. Matsuzawa and W. Thanthapanichkoon, "TiO₂-coated packaging film: Physico-chemical properties and influence of the preparation methods", บทความย่อการเสนอผลงานแบบโปสเตอร์, การประชุมนักวิจัยรุ่นใหม่ พบ เมธีวิจัยอาวุโส สกว. ครั้งที่ 9, หน้า 369, วันที่ 15-17 ตุลาคม 2552 โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท ธีรเจนท์ บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

2.1 เชิงพาณิชย์ (มีการนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้ หรือมีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจ/บุคคลทั่วไป)

ไม่มี

2.2 เชิงนโยบาย (มีการกำหนดนโยบายอิงงานวิจัย/เกิดมาตรการใหม่/เปลี่ยนแปลงระเบียบข้อบังคับหรือวิธีทำงาน)

ไม่มี

2.3 เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสความสนใจในวงกว้าง)

มี โดยปัจจุบันนักวิจัยได้มีเครือข่ายความร่วมมือกับกรมวิชาการเกษตรในการพัฒนาวัสดุห่อผลไม้ที่เคลือบผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อควบคุมโรคจากเชื้อราในระหว่างแปลงปลูกและบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผลงานวิจัยจากโครงการที่ได้รับทุนของสกว.นี้ในส่วนการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพเคมีของฟิล์มพลาสติกเคลือบผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยแสง และผลการทดสอบคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อราของฟิล์มพลาสติกเคลือบผิวด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ นักวิจัยได้มีการนำเสนอกับผู้เชี่ยวชาญของทางกรมวิชาการ และได้มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการนำไปใช้งานในโครงการความร่วมมือกับกรมวิชาการเกษตร (ปัจจุบันข้อเสนอโครงการร่วมวิจัยนี้อยู่ระหว่างการพิจารณาจากสกว. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

2.4 เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)

ไม่มี

3. อื่นๆ (เช่น หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

3.1 การจดสิทธิบัตร

ไม่มีการนำผลงานจากโครงการวิจัยนี้ไปจดสิทธิบัตร

3.2 หนังสือ

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ ส่วนหนึ่งนักวิจัยคานจะนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการเขียนบทความ (chapter) ลงในหนังสือที่นักวิจัยได้รับการติดต่อจากสำนักพิมพ์ในต่างประเทศ ให้เขียนทางด้าน antimicrobial film/ TiO_2 coating for food preservation จำนวน 2 สำนักพิมพ์

ภาคผนวก

คู่มือ

วิธีการทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของ
ฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

(HANDBOOK of Characterization Methods for TiO_2 -Coated Packaging Film)

โดย

ดร. จามร เชวงกิจวณิช

นางสาวชลลดา โพธิ์ขำ

นางสาวดวงกมล วิบูลย์รัตนศรี

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

โดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ประจำปี 2550

คำนำ

คู่มือสรุปวิธีการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่จัดทำขึ้นนี้ เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัยเรื่องการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ผู้เขียนได้รับทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2550 โดยวัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือฉบับนี้เพื่อใช้เป็นคู่มือเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ในระหว่างดำเนินโครงการวิจัย และใช้เป็นคู่มือประกอบการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางกายภาพ-เคมีของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับผู้สนใจทั่วไปในอนาคต

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ผู้อำนวยการศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ และ Dr. Sadao Matsuzawa นักวิจัยอาวุโส สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมขั้นสูง (AIST) ประเทศญี่ปุ่น ที่ท่านทั้งสองสละเวลาในการเป็นนักวิจัยที่ปรึกษาในโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้โอกาสในการจัดทำคู่มือฉบับนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนชี้แนะให้การจัดทำคู่มือวิเคราะห์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ดร. จามร เสงวกิจฉนิช

นางสาวชลลดา โพธิ์ขำ

นางสาวดวงพร วิบูลย์รัตนศรี

มีนาคม 2553

(ฉบับแก้ไขครั้งที่ 2)

สารบัญ

การตรวจสอบคุณลักษณะโครงสร้างพื้นผิว (Surface morphology)

1. กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope, AFM)
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron Microscope, SEM)
3. เครื่องวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุ (Energy Dispersive-X-ray Analysis, EDX)
4. เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)
5. การวิเคราะห์หาน้ำหนักของสารไททาเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก
6. เครื่องวัดมุมสัมผัสของพื้นผิว (Contact angle tester)
7. เครื่องวัดความหนาฟิล์มพลาสติก (Film thickness tester)

การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสง (Optical property)

เครื่องยูวี/วิส สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer)
 เครื่องวัดสีและความขุ่นใสของฟิล์มพลาสติก (Colorimeter)

การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property)

เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile strength tester)

การตรวจสอบคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ (Gas barrier property)

เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer)
 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide permeation analyzer)
 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeation analyzer)

การตรวจสอบความสามารถในการยึดติดของสารเคลือบผิว (Adhesion test)

การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบผิวตามมาตรฐาน ASTM D 3359-02
 การทดสอบการหลุดลอกของสารเคลือบผิวตามมาตรฐาน ASTM D 4754-98

กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม
Atomic Force Microscope (AFM)



เครื่องมือ : Atomic Force Microscope (AFM)

รุ่น : SPI 4000 และ SPA 400

ยี่ห้อ : Seiko Instruments Inc.

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

ใช้สำหรับวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างพื้นผิว (surface morphology) ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบอยู่ให้ได้ขนาดประมาณ 1×1 เซนติเมตร ในกรณีที่ต้องการวัดความหนาของชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก ให้ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมีบริเวณที่ถูกเคลือบและไม่ได้ถูกเคลือบรวมอยู่ด้วยกัน ดังรูป



การตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกเฉพาะบริเวณที่ถูกเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

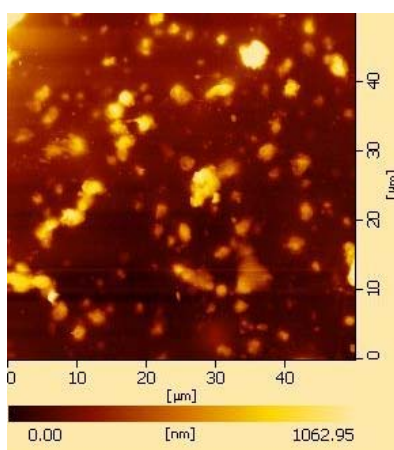


การตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่มีทั้งบริเวณที่ถูกเคลือบและไม่ได้ถูกเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

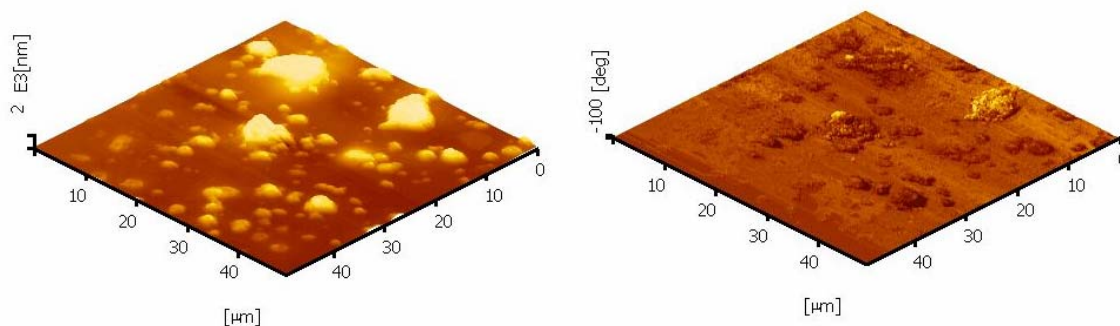
วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมาวางบนแผ่นวางตัวอย่าง (sample plate) โดยใช้แผ่นสกอตเทปช่วยในการยึดติดแผ่นฟิล์มพลาสติกตัวอย่างให้ติดแน่นอยู่บนแผ่นวางตัวอย่าง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์
2. นำแผ่นวางตัวอย่างใส่เข้าในเครื่องทดสอบ AFM โดยตั้งค่าการทำงานของหัวเข็ม AFM ให้มีการสแกนแบบพลศาสตร์ (dynamic force mode) ซึ่งเป็นการสแกนแบบไม่สัมผัสตัวอย่าง
3. เลือกบริเวณและขนาดพื้นที่ที่ต้องการสแกนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ต่อกับเครื่อง AFM
4. นำภาพถ่ายโครงสร้างพื้นผิวที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาความหนาของชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวของฟิล์มพลาสติก ขนาดและการกระจายตัวของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก และ roughness ของพื้นผิวฟิล์มพลาสติก เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ โดยผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

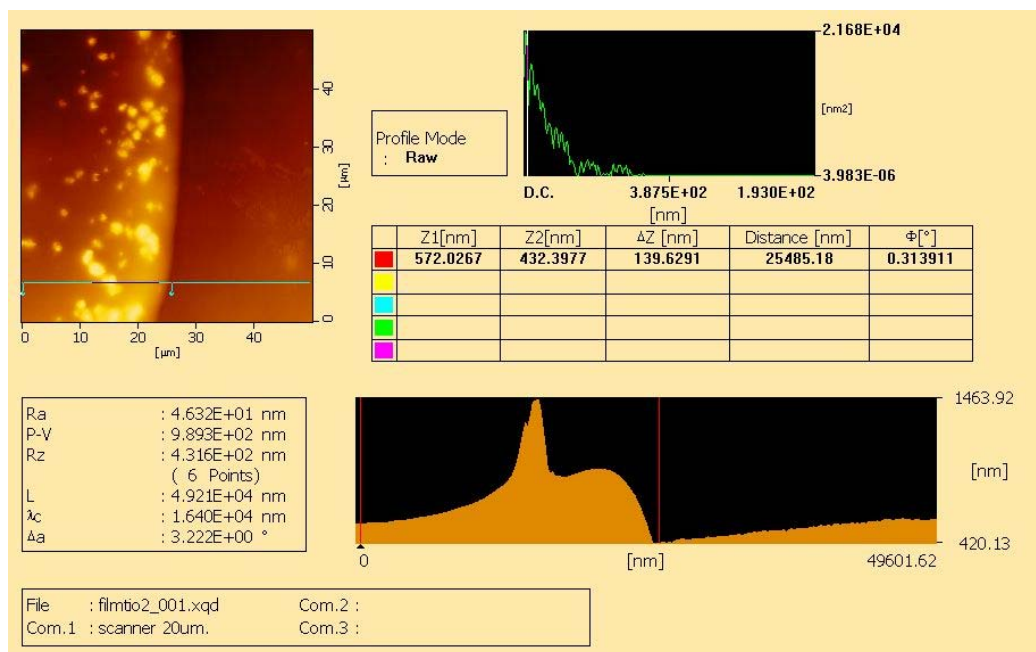
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง AFM



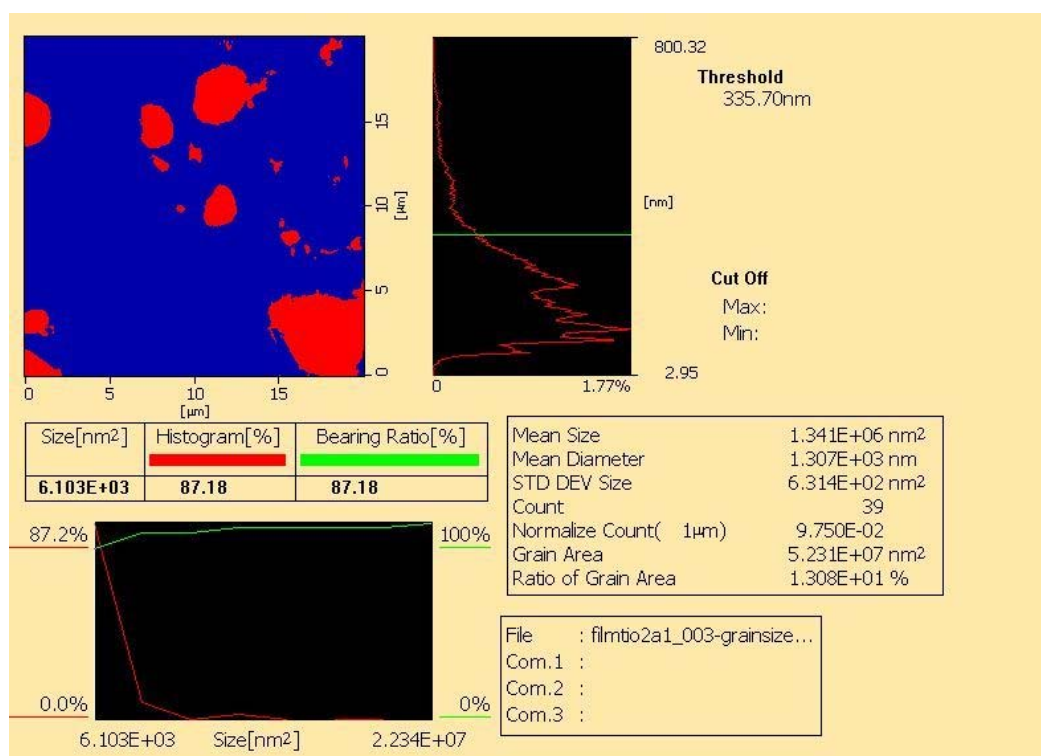
ภาพถ่าย top view ของพื้นผิว TiO_2 -coated film แบบสองมิติ ที่แสดงให้เห็นถึงความสูงต่ำของพื้นผิว โดยใช้สีอ่อนแสดงระดับสูง และสีเข้มแสดงระดับต่ำ



ภาพถ่าย top view ของพื้นผิว TiO_2 -coated film แบบสามมิติ ที่แสดงให้เห็นถึงความสูงต่ำของพื้นผิว (ซ้าย) และเฟสของพื้นผิว (ขวา)



ภาพแสดงการวิเคราะห์โครงสร้างทางพื้นผิว (surface analysis) เช่น ความหนาของชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ ขนาดของไททาเนียมไดออกไซด์ โดยเครื่อง AFM และโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาพแสดงการวิเคราะห์การกระจายตัว (size distribution analysis) ของผงไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก โดยเครื่อง AFM และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

**กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscope, SEM)**



เครื่องมือ : Scanning Electron Microscope, SEM

รุ่น : S-3400N

ยี่ห้อ : Hitachi

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

ใช้สำหรับการวิเคราะห์ภาพถ่ายพื้นผิว (surface image) และภาพถ่ายตัดขวาง (cross section image) ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

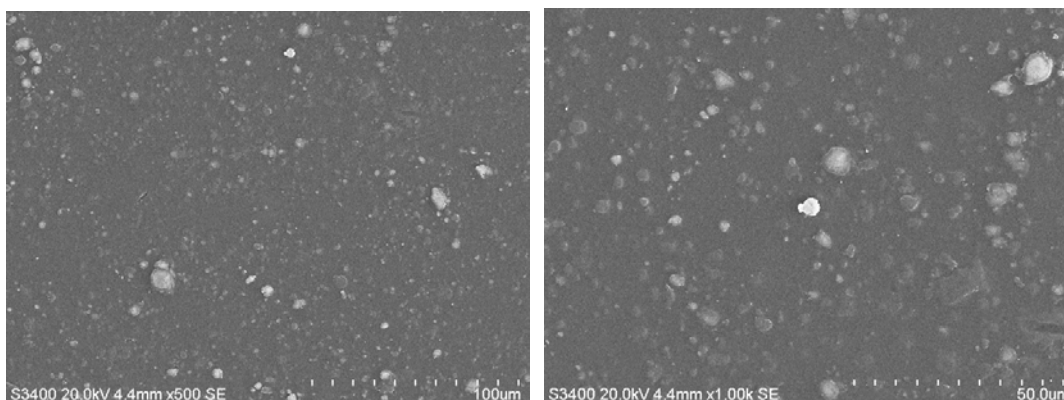
การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบอยู่ให้ได้ขนาดประมาณ 1 X 1 เซนติเมตร นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมาวางตัวอย่าง (sample) โดยใช้แผ่นคาร์บอนเทปช่วยในการยึดติดกับแผ่นฟิล์มตัวอย่างให้ติดแน่นบนแผ่นวางตัวอย่าง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์ หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปเคลือบทอง เพื่อให้ตัวอย่างนำกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้นในขณะทำการวิเคราะห์

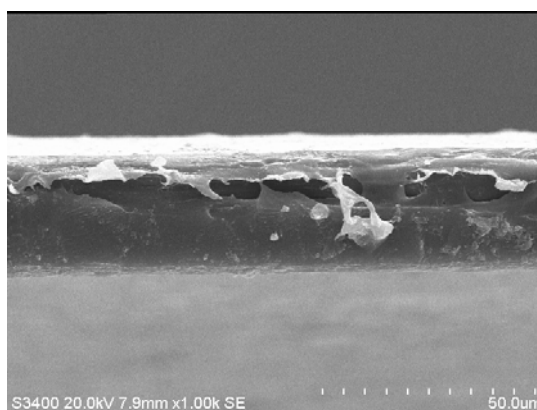
วิธีการวิเคราะห์

1. นำแผ่นตัวอย่างใส่เข้าเครื่องทดสอบ SEM โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องในโหมด High vacuum
2. เลือกบริเวณที่ต้องการสแกนผ่านโปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์
3. ถ่ายภาพพื้นที่ผิว และภาคตัดขวางของตัวอย่างฟิล์มที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ และขนาดไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่บนพื้นที่ผิวของฟิล์ม โดยใช้โปรแกรมภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพถ่ายพื้นผิว TiO_2 -coated film ที่กำลังขยาย 500 เท่า (ซ้าย) และ 1000 เท่า (ขวา)



ภาพถ่ายภาคตัดขวางของ TiO_2 -coated film ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

**เครื่องวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุ
(Energy Dispersive-X-ray Analysis, EDX)**



เครื่องมือ : Energy Dispersive-X-ray Analysis (EDS or EDX)

รุ่น : Horiba 7021

ยี่ห้อ : Hitachi

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาชนิดของธาตุและสัดส่วนของธาตุที่อยู่บนชิ้นตัวอย่าง โดยเครื่องดังกล่าวจะต่อเข้ากับเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อที่กล้องจุลทรรศน์จะยิงอิเล็กตรอนไปยังบริเวณที่ศึกษา จากนั้นเครื่อง EDX ทำการวิเคราะห์พลังงานที่ปล่อยออกมาของบริเวณที่ถูกกระตุ้นด้วยอิเล็กตรอน

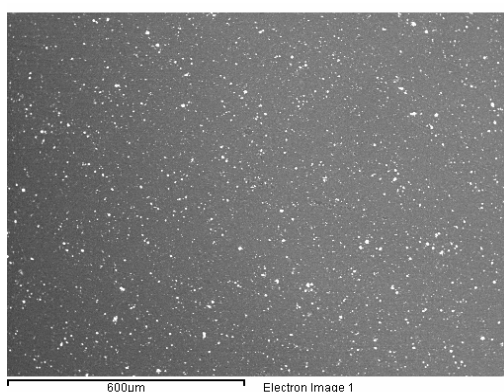
การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบอยู่ให้ได้ขนาดประมาณ 1 X 1 เซนติเมตร นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมาวางตัวอย่าง (sample) โดยใช้แผ่นคาร์บอนเทปช่วยในการยึดติดกับแผ่นฟิล์มตัวอย่างให้ติดแน่นบนแผ่นวางตัวอย่าง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์ โดยตัวอย่างอาจนำไปเคลือบทองบางๆ เพื่อให้ตัวอย่างนำกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้นในขณะทำการวิเคราะห์

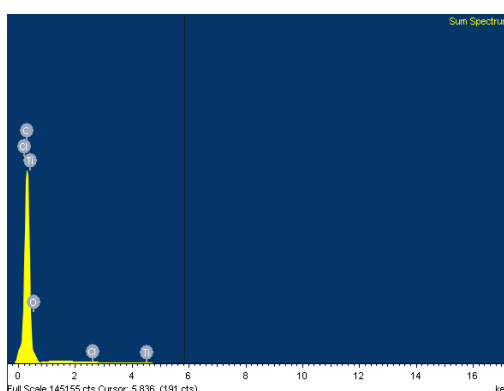
วิธีการวิเคราะห์

1. นำแผ่นตัวอย่างใส่เข้าเครื่องทดสอบ SEM โดยตั้งค่าระดับความเป็นสุญญากาศของ เครื่องใช้ในโหมดสุญญากาศ (Low vacuum)
2. เลือกบริเวณที่ต้องการสแกนผ่านโปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์
3. วิเคราะห์ชนิด สัตว์ส่วน และการกระจายตัวของธาตุที่อยู่บนชั้นตัวอย่าง โดยการใช้โปรแกรมภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง EDX



Ti Ka1



ภาพถ่ายพื้นผิวจากเครื่อง SEM (บน) การกระจายตัวของสารไททาเนียมไดออกไซด์บนฟิล์มตัวอย่าง (กลาง) และกราฟแสดงชนิดและสัดส่วนธาตุที่อยู่บนฟิล์มตัวอย่าง (ล่าง)

**เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน
(Thermogravimetric analysis, TGA)**



เครื่องมือ : Thermogravimetric analysis, TGA

รุ่น : TGA/SDTA851e/1600

ยี่ห้อ : Mettler Toledo

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

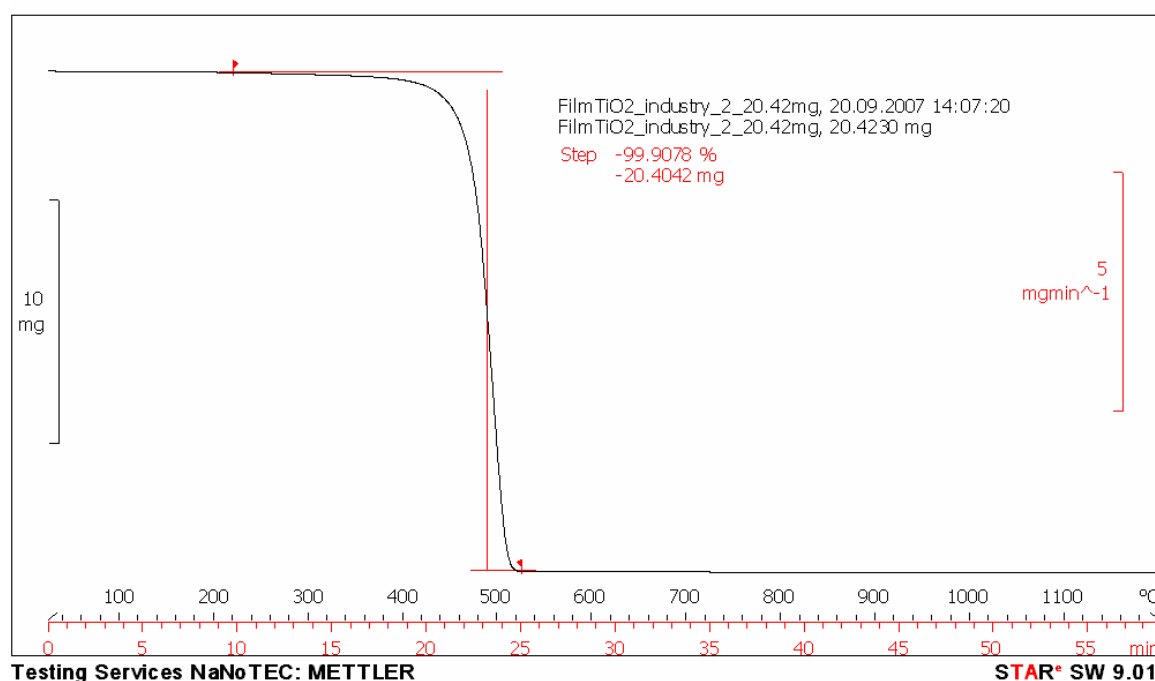
ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ที่ยังไม่ได้เคลือบหรือที่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์เป็นฝอยลงในจาน (pan: crucible) ขนาด 150 μ l จานละ 20 mg จากนั้นนำจานดังกล่าวเข้าเครื่อง TGA ต่อไป

วิธีการวิเคราะห์

1. นำจาน (pan: crucible) ที่ยังไม่มีตัวอย่างเข้าเครื่อง TGA เพื่อหาน้ำหนักของจานในขณะที่ทำการทดลองในสภาวะที่กำหนด ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ
 - อุณหภูมิ 25-1200 $^{\circ}$ C
 - อัตราเร็วของอุณหภูมิ (Heating Rate) 20 $^{\circ}$ C/นาที
 - ก๊าซไนโตรเจน 20 ml/นาที

2. รวบรวมเครื่องยื่น นำจานออกจากเครื่อง TGA และใส่ตัวอย่างลงในจานประมาณ 20 mg
3. ทำการเดินเครื่องโดยสภาวะในการทดลองเหมือนข้อ 1.
4. โปรแกรมในเครื่องจะแสดงผลออกมาเป็นกราฟปริมาณของสารตัวอย่าง ณ ระยะเวลา และอุณหภูมิในการทดลอง
5. จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เกิดขึ้น ณ เวลา และอุณหภูมิที่ต้องการเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นของฟิล์มตัวอย่าง อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีนี้ไม่ค่อยเหมาะนักในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์มพลาสติก เพราะภายหลังจากเผาด้วยความร้อนจะเกิดก๊าซขึ้น ซึ่งมีผลต่อการคำนวณน้ำหนักของสารที่ต้องการ

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง TGA



กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ TiO₂-coated film ที่อุณหภูมิ 25-1200°C

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักของสารไททาเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก



เครื่องมือ : เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่งที่ใช้ในการทดลอง

รุ่น : AB 204-S

ยี่ห้อ : Mettler Toledo

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

วิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักของสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่ยังไม่ได้เคลือบไททาเนียม และที่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ มาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่ตามต้องการ

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่ยังไม่ได้ทำการเคลือบสารมาชั่งน้ำหนัก
2. จากนั้นนำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์มาชั่งน้ำหนัก
3. คำนวณหาปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์

$$X = (B-A) / \text{area}$$

เมื่อ X = น้ำหนักของสารไททาเนียมไดออกไซด์ (มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร)

A = น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ (มิลลิกรัม)

area = พื้นที่ของฟิล์มพลาสติกที่นำมาชั่งน้ำหนัก (ตารางเซนติเมตร)

เครื่องวัดมุมสัมผัสของพื้นผิว (Contact angle tester)



เครื่องมือ : Optical contact angle measuring instrument

รุ่น : PSL 250

ยี่ห้อ : Dataphysics

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ (hydrophilic/hydrophobic character) ของพื้นผิวแผ่นฟิล์มพลาสติกตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2.5×5 เซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมาวางบนแท่นวางตัวอย่าง
2. ทำการหยดหยดน้ำผ่านหัวเข็มที่อยู่เหนือแท่นวางตัวอย่าง
3. ถ่ายรูปและทำการวัดค่ามุมสัมผัสของพื้นผิวผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องวัดมุมสัมผัส



ภาพมุมสัมผัสของพื้นผิวกับน้ำ

เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์มพลาสติก (Film Thickness tester)



เครื่องมือ : Thickness analyzer

ยี่ห้อ : E.J. Cady & Co.

สถานที่ : คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วัตถุประสงค์

เพื่อใช้วิเคราะห์ความหนาของแผ่นฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่างพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ ขนาด 10×10 เซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ปรับเข็มของเครื่องวัดความหนาให้อยู่ที่ศูนย์ก่อนใช้งานทุกครั้ง
2. นำฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์วางลงบนแท่นวางตัวอย่าง
3. อ่านค่าความหนาของฟิล์มจากหน้าปัดของเครื่องวัดความหนาฟิล์ม โดย 1 ช่วงสเกลมีค่าเท่ากับ 1 ไมโครเมตร ตัวอย่างเช่น ถ้าอ่านค่าจากหน้าปัดเครื่องวัดความหนาฟิล์มได้เท่ากับ 25 แสดงว่าฟิล์มตัวอย่างมีความหนาเท่ากับ 25 ไมโครเมตร ซึ่งตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่นำมาทดสอบต้องมีความหนาไม่เกิน 1270 ไมโครเมตร หรือ 1.27 มิลลิเมตร

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงช่วงยูวี-วิสิเบิล (UV/VIS Spectrophotometer)



เครื่องมือ : UV/VIS Spectrophotometer

รุ่น : Lambda 650

ยี่ห้อ : Perkin Elmer

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบ ศูนย์นาโนเทคโนโลยี

แห่งชาติ

วัตถุประสงค์

ศึกษาความสามารถในการการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิลของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารเคลือบด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

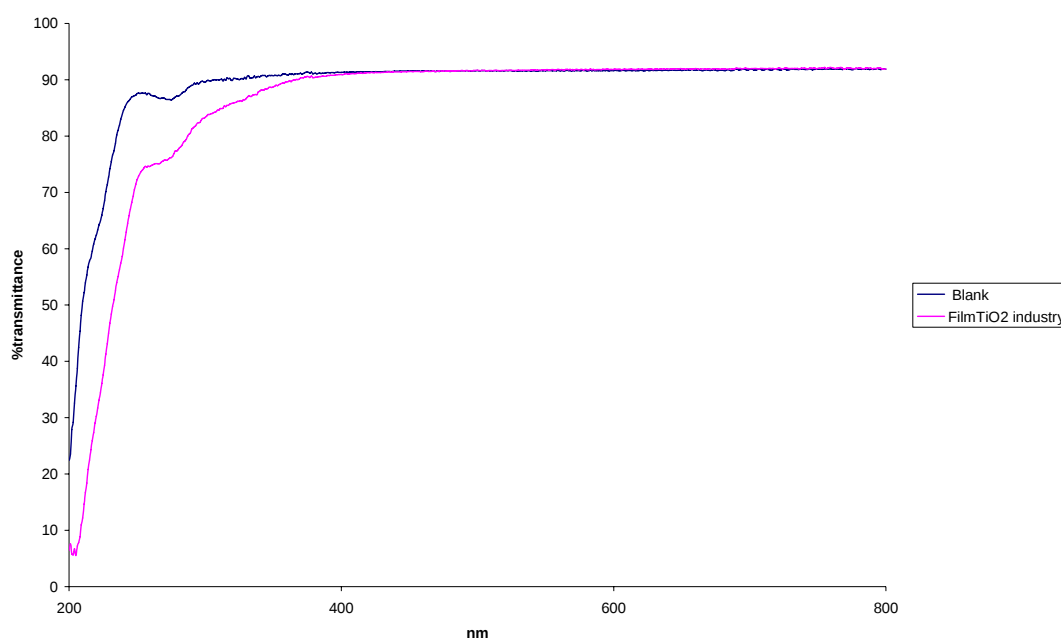
การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีสารไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบอยู่ให้ได้ขนาดประมาณ 5 X 5 เซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำแผ่นตัวอย่างใส่เข้าเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer โดยการตั้งค่าการทำงานของเครื่องใช้ในโหมดการทะลุผ่านของแสง (%Transmittance) และความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 200-800 nm
2. ทำการวัดค่าการทะลุผ่านของแสงโดยใช้โปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง UV/VIS spectroscopy



กราฟร้อยละของการทะลุผ่านของแสง (%Transmittance) ของ uncoated และTiO₂-coated film ที่ช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm

เครื่องวัดสีและความขุ่นใสของฟิล์มพลาสติก (Colorimeter)



เครื่องมือ : Colorimeter

รุ่น : UltraScan PRO

ยี่ห้อ : HunterLab

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการโครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมพอสิต
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

เพื่อใช้วิเคราะห์ค่าสีและค่าความขุ่นของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

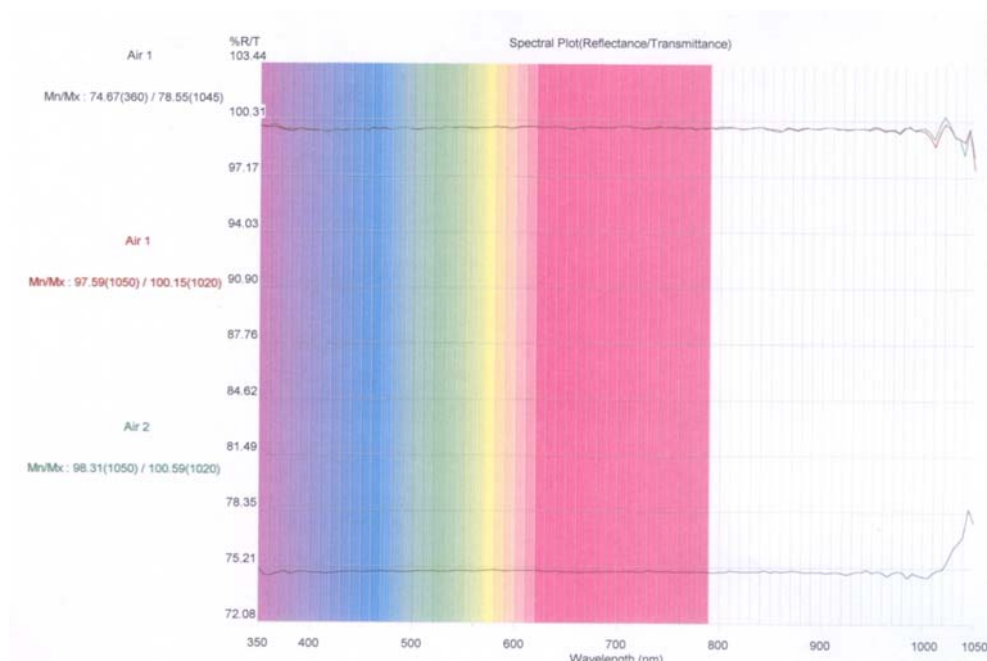
เตรียมตัวอย่างพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ให้มีขนาดประมาณ 5×5 เซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

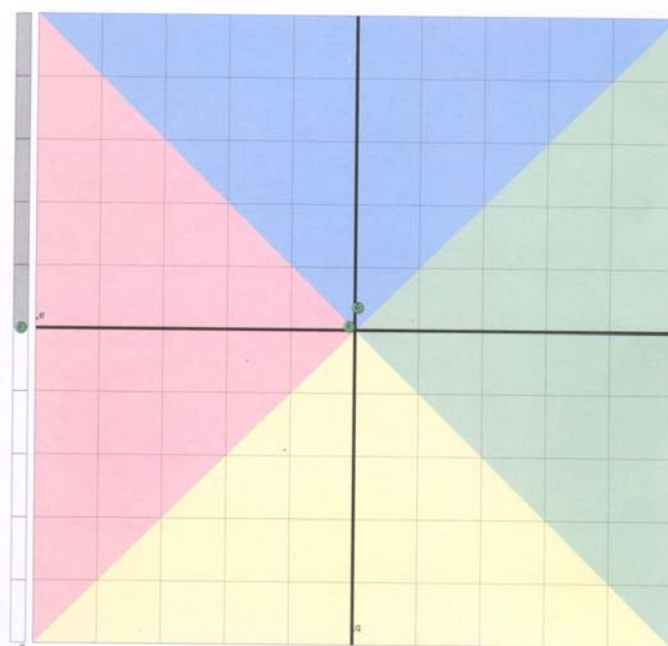
1. ทำการ calibration เครื่องวัดสีก่อนการใช้งานทุกครั้ง โดยใช้แผ่นสีมาตรฐาน black card, white tile และ light trap ของเครื่องวัดสี
2. วัดค่าสี, ความขุ่นใส และ การยอมให้แสงส่องผ่านของ blank เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ โดยในที่นี้ อากาศจะถูกระบุใช้เป็น blank
3. นำแผ่นตัวอย่างฟิล์มไปวางบนแท่นวางตัวอย่างที่ Transmission Port

4. ทำการวัดค่าสี (L, a, b), ค่าความขุ่นใส (haze index) และการยอมให้แสงส่องผ่าน (UV/VIS Transmission) ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องในโหมด Total Transmission

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง(Colorimeter)



Spectral Plot ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์



Color Plot ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์

เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile strength tester)



เครื่องมือ : Universal Testing Machine

รุ่น : Model 55R4502

ยี่ห้อ : Instron, Mocon

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติเชิงกล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านทานแรงดึงขาด การยืดตัว และการยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มพลาสติก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมยาวขนาดประมาณ 10×100 มิลลิเมตร

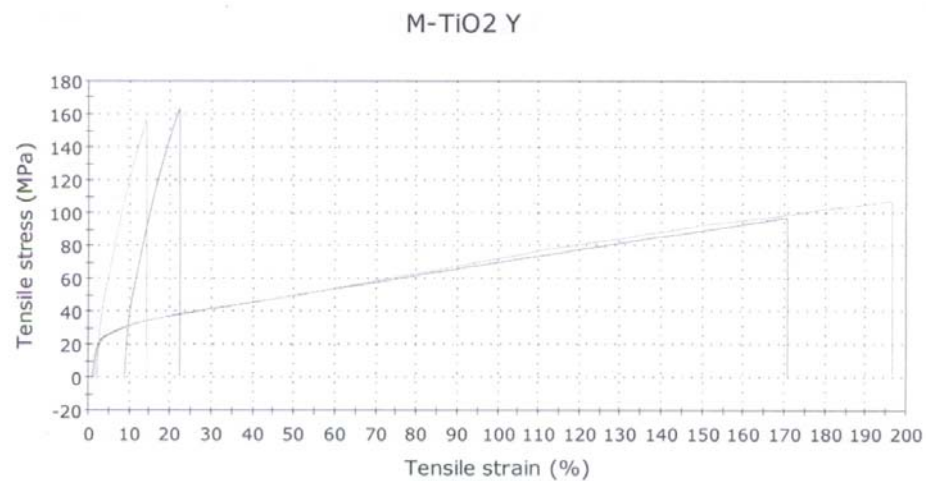
วิธีการวิเคราะห์ (ASTM D 882)

1. วัดความหนาฟิล์มพลาสติกที่ต้องการทดสอบ
2. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมาตรึงกับที่จับตัวอย่าง
3. ปรับระยะห่างระหว่างที่จับตัวอย่างทั้ง 2 ด้านให้มีระยะห่างประมาณ 50 มิลลิเมตร
4. ตั้งค่าการดึงของเครื่องที่อัตรา 50 มิลลิเมตรต่อนาที
5. เครื่องทำการดึงแผ่นฟิล์มพลาสติกจนกระทั่งแผ่นฟิล์มขาด

6. โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มตัวอย่างจากน้ำหนักที่ใช้ในการดึงให้ฟิล์มพลาสติกขาด เช่น ค่าการต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) การยืดตัว (elongation at break) และค่าโมดูลัสของยัง (Young modulus) เป็นต้น

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง Universal Testing Machine

ตารางและกราฟแสดงค่า tensile strength, elongation at break และ Young modulus ของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารที่เคลือบผิวด้วยสารไททาเนียมไดออกไซด์ที่อ่านได้เครื่อง Universal Testing Machine



Maximum Load (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)
40.86	163.45	22.23	4,019.86
24.26	97.05	169.76	1,589.58
26.86	105.35	194.93	1,377.81
39.01	153.92	12.20	3,931.31

**เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน
(Oxygen permeation analyzer)**



เครื่องมือ : Oxygen permeation analyzer

รุ่น : 8000

ยี่ห้อ : Illinois Instrument

สถานที่ : คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วัตถุประสงค์

สำหรับวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มพลาสติก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

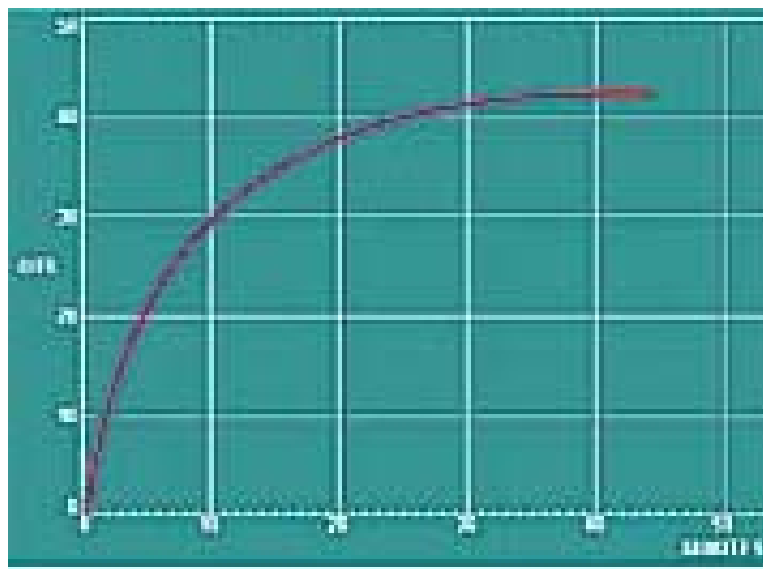
ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกขนาดประมาณ 14×14 เซนติเมตร โดยฟิล์มนี้เมื่อนำไปทดสอบจะมีพื้นที่ที่ใช้ในการวัดอัตราการซึมผ่านเท่ากับ 100 ตารางเซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์ (ASTM D 3985)

1. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่าง
2. ตั้งค่าของสภาวะที่ใช้สำหรับวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซ คือ
 - อุณหภูมิ 23°C
 - ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %
 - ความดันของก๊าซออกซิเจน 100 kPa
 - Carrier gas ใช้ก๊าซไนโตรเจน

3. ทำการวัดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน โดยรายงานค่าที่อ่านได้เป็นอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen transmission rate, OTR) ในหน่วยกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{g.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง Oxygen permeation analyzer



กราฟแสดงค่า OTR ที่อ่านได้จากเครื่อง Oxygen permeation analyzer

**เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
(Carbon dioxide permeation analyzer)**



เครื่องมือ : Permatran C 4/41

รุ่น : MCT module

ยี่ห้อ : Mocon

สถานที่ : คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วัตถุประสงค์

สำหรับวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นฟิล์มพลาสติก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดฟิล์มตัวอย่างขนาดประมาณ 10 x 10 เซนติเมตร โดยฟิล์มนี้เมื่อนำไปทดสอบจะมีพื้นที่ที่ใช้ในการวัดอัตราการซึมผ่าน 50 ตารางเซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่าง
2. ตั้งค่าของสภาวะที่ใช้สำหรับวัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซ คือ
 - อุณหภูมิ 23°C
 - ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %
 - ความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100 kPa
 - Carrier gas ใช้ก๊าซไนโตรเจน

3. ทำการวัดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยรายงานค่าที่อ่านได้เป็นอัตราการซึมผ่านของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide transmission rate, COTR) ในหน่วยกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{g.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)

**เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
(Water vapor permeation analyzer)**



เครื่องมือ : water vapor permeation analyzer

รุ่น : 7002

ยี่ห้อ : Illinois instruments

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการพลาสติก

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

วัดอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นฟิล์มพลาสติก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ตัดฟิล์มตัวอย่างเป็นรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10x10 เซนติเมตร

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่าง
2. ตั้งค่าของสภาวะที่ใช้สำหรับวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ คือ
 - อุณหภูมิ 38°C
 - ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %
 - Carrier gas ใช้ก๊าซไนโตรเจน (free-moisture)
3. ทำการวัดค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ โดยรายงานค่าที่อ่านได้เป็นอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) ในหน่วย กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{g.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)

**การทดสอบการยึดติดของสารที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก
(Tape adhesion test)**



เครื่องมือ : Cross-cut tester (cutter spacing 1 mm, no. of cutter 11)

ยี่ห้อ : BYK, Germany

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการโครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมพอสิต

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

ทดสอบความสามารถในการยึดติดของสารไททานเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก

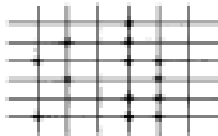
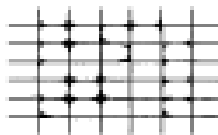
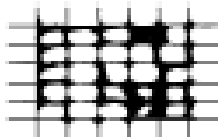
การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

ดูตามวิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ (ASTM D 3359-02)

1. นำแผ่นตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่ต้องการมาทำการกรีดด้วย Cross-cut tester ในแนวตั้งและแนวนอนโดยมีความยาวเส้นจะประมาณ $\frac{3}{4}$ นิ้ว และมีระยะห่างระหว่างช่องเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้จำนวนช่องสี่เหลี่ยมจตุรัสจำนวน 100 ช่อง
2. ติดเทปใส (Scotch Transparent tape 600) ขนาดความกว้างประมาณ 1 นิ้ว มาติดลงบนตัวอย่าง โดยให้บริเวณฟิล์มที่ถูกกรีดอยู่ตรงกลางเทปใส
3. ดึงเทปใสออกจากตัวอย่างอย่างแรง โดยให้มีมุมในการดึงใกล้เคียง 180° มากที่สุด
4. รายงานผลโดยทำการเปรียบเทียบบริเวณที่มีสารเคลือบติดอยู่ตามมาตรฐาน ASTM D 3359-02 ในตารางข้างล่างดังนี้

Classification of adhesion test results (ASTMD 3359-02)

Classification	Surface of cross-cut areas from which listing has occurred. (Example for six parallel cuts.)	Rate of adhesion
5B	None	The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares or the lattice are detached.
4B		Small flakes of coating are detached at intersections; less than 5% of the area is affected.
3B		Small flakes of coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15% of the lattice.
2B		The coating has flaked along the edges and at parts of the squares. The affected area is 15 to 35% of the lattice.
1B		The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and entire squares have detached. The area affected is 35 to 65% of the lattice.
0B	Flaking and detachment in excess of 65%.	

การวิเคราะห์การหลุดลอกของสารที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก



เครื่องมือ : Migration cell ที่ใช้ในการทดลอง

สถานที่ : ห้องปฏิบัติการโครงสร้างนาโนไฮบริดและนาโนคอมพอสิต
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

วัตถุประสงค์

วิเคราะห์หาการหลุดลอกของสารที่เคลือบอยู่บนพื้นผิวฟิล์มพลาสติก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ (ตามมาตรฐาน ASTM D 4754-98)

1. ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกเป็นวงกลม จำนวน 14 แผ่น
2. นำแผ่นตัวอย่างฟิล์มพลาสติกทั้ง 14 แผ่น มาเจาะรูตรงกลางร้อยลูกแก้วสลับไปมาในหลอดสแตนเลส หรือเชือกไนลอน ดังรูป
3. ทำการล้างสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกออก โดยการเติมตัวทำละลาย 22 มิลลิลิตร หรือจนท่วมฟิล์มตัวอย่างที่อยู่ชั้นบนสุดลงในขวดแก้วที่บรรจุฟิล์มพลาสติก ในการศึกษาหาสารเคลือบผิวไททาเนียมไดออกไซด์ที่หลุดลอกออกจากพื้นผิวฟิล์มพลาสติกนี้จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารที่จะนำมาใช้บรรจุภายในฟิล์มตัวอย่างจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่
4. นำขวดแก้วไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เทตัวทำละลายทิ้ง
6. นำแผ่นตัวอย่างไปอบแห้งซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นของฟิล์มตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์ (ตามมาตรฐาน ASTM D 4754-98)

1. เตรียมชุดตัวอย่างอย่างน้อย 4 ชุด (ซ้ำ) สำหรับการทดลอง
2. เตรียมชุด blank เช่นเดียวกับชุดตัวอย่าง โดยไม่ต้องใส่แผ่นฟิล์มตัวอย่างลงในขวดแก้ว
3. เติมน้ำ 22 มิลลิลิตร หรือจนท่วมฟิล์มตัวอย่างที่อยู่ชั้นบนสุด
4. นำขวดแก้วไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส
5. ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะ (ประมาณ 5-8 ครั้ง) ในระยะเวลา 1-2 สัปดาห์
6. ในการเก็บตัวอย่าง นำแผ่นฟิล์มพลาสติกออกมาอบแห้ง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก
7. สุ่มตัวอย่างน้ำในขวดแก้ว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อนที่หลุดออกมาจากฟิล์มพลาสติกต่อไป เช่น ใช้ UV-VIS Spectrophotometer, Inductive Couple Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS), Energy Dispersive-X-ray Analysis (EDX) หรือ Raman spectrometer

การคำนวณ

1. คำนวณในรูปความเข้มข้นของสารที่หลุดออกมาในน้ำ มีหน่วยความเข้มข้นเป็น ppm หรือ ppb
2. คำนวณเป็นปริมาณของสารที่หลุดออกมา (migrant) ต่อพื้นที่ของตัวอย่าง

$$E = (W-B) / [(2\pi R^2 + CT)N]$$

เมื่อ E = ปริมาณของ migrant ที่หลุดออกจากแผ่นฟิล์ม (มิลลิกรัม/ตารางเมตร)

W = น้ำหนักทั้งหมดของ migrant ในน้ำหรือของเหลว (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักของ migrant ใน blank (มิลลิกรัม)

R = รัศมีของแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่ใช้ (เมตร)

C = เส้นรอบวงของแผ่นฟิล์มตัวอย่าง (เมตร)

T = ความหนาของแผ่นฟิล์ม (เมตร)

N = จำนวนของแผ่นฟิล์มในขวดแก้ว