

ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน-เถ้าแกลบที่ก๊าซซึมผ่านได้

Effect of Process Variables on Property of Permeable Polyethylene-Rice Husk Ash Film

นัตรเกล้า มะชะศรี (Chatklaw Machasri)* ดร.สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม (Dr.Somjai Kajoncheppunngam)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ก๊าซซึมผ่านได้ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ผสมเถ้าแกลบ โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราส่วนของเถ้าแกลบที่ผสมในแผ่นฟิล์ม ที่มีสัดส่วนคือ 0%, 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก และอัตราแรงดึงแผ่นฟิล์ม (stretching ratio) ขณะทำการขึ้นรูปคือ 100%, 135%, 150% และ 170% ตามลำดับ ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลและอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่อแผ่นฟิล์ม โดยผลจากงานวิจัยพบว่าเมื่ออัตราส่วนของเถ้าแกลบที่ผสมในเนื้อฟิล์มและอัตราแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้สมบัติความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มลดลง

ABSTRACT

The objective of this research work was to study the effect of variables on property of permeable low density polyethylene (LDPE)-rice husk ash film. The variables were the ratio of rice husk ash mixed in the film. (0%, 10%, 20% and 30% by weight) and the stretching ratio of film forming while forming (100%, 135%, 150% and 170%). These two variables have an effect on both tensile strength and rate of gas permeability of the film. The results of the study are indicated that the increasing of the ratio of rice husk ash blended in film and stretching ratio leading to the increasing of tensile strength and the rate of water vapor and oxygen permeability. But the result showed the reduction in elongation at break when the ratio of rice husk ash and stretching ratio increased.

คำสำคัญ: เถ้าแกลบ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ฟิล์มที่ก๊าซซึมผ่านได้

Key Words: Rice husk ash, Low density polyethylene (LDPE), Permeable film

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

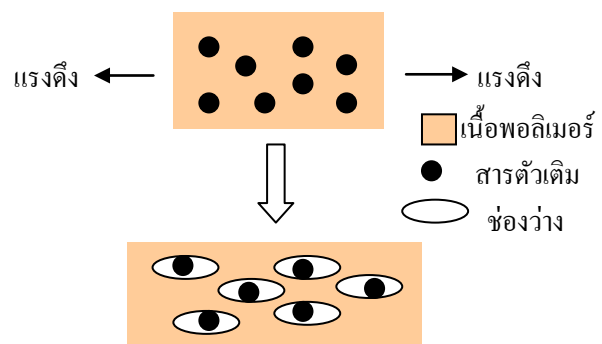
** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

โดยทั่วไปพืชผักและผลไม้สดที่ปลูกในประเทศไทยจัดว่าเป็นผลผลิตเขตร้อนซึ่งจะมีอัตราการหายใจสูงและปัญหาสำคัญที่พบคือการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของผลผลิตและจากกระบวนการหายใจ (อิศรา เพ็ญพูนชาติ, 2548) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยภายนอกอื่นๆ ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสง และการบรรจุภัณฑ์ หรือการหีบห่อ ดังนั้นการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้คงความสดและรักษาคุณภาพไว้ได้นานขึ้น จะต้องอาศัยการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ในปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นพัฒนาบรรจุภัณฑ์ภายใต้สภาพคัดแปลงบรรยากาศ ซึ่งเป็นการจำลองสภาพอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดกับผลผลิตนั้นๆ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลผลิตสำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ภายใต้สภาพคัดแปลงบรรยากาศ ส่วนมากจะผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์นี้มักจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ (permeable film)

โดยการซึมผ่านของก๊าซจะผ่านทางรูพรุนของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ การเกิดรูพรุนของแผ่นฟิล์มนั้นจะเกิดจากการผสมพอลิเมอร์เข้ากับสารตัวเติม (filler) แล้วนำของผสมพอลิเมอร์กับสารตัวเติมไปทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มและทำการดึงฟิล์ม (stretching) โดยในขณะที่ขึ้นรูปจะทำให้เกิดรูเล็กๆระหว่างสารตัวเติมกับเนื้อพอลิเมอร์ดังแสดงในรูปที่ 1 จะมีผลทำให้ไอน้ำและก๊าซชนิดต่างๆสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องด้วยวิธีการต่างๆ เช่น งานวิจัยของ Wang และคณะ (2005) ได้เตรียมแผ่นฟิล์มจาก thermoplastic polyurethane (TPU) ผสมกับ aliphatic polyester พบว่าค่า tensile strength มีค่ามากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ aliphatic polyester และที่สัดส่วน TPU/aliphatic

polyester 80/20 wt% จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิตแผ่นฟิล์มและมีการซึมผ่านของไอน้ำดีที่สุด คือ $2900 \text{ gm}^2\text{day}^{-1}$ งานวิจัยของ Won Lee-Joo และคณะ (2008) ใช้โปรตีน whey protein isolate (WPI) เคลือบบนแผ่นฟิล์มพอลิโพรพิลีนสำหรับการประยุกต์ใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหาร พบว่าแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วย WPI จะมีความโปร่งใส ความมันวาวและความทนแรงดึงที่สูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยโปรตีนชนิดอื่น



รูปที่ 1 การเกิดรูพรุนบนแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังทำการดึงฟิล์ม (Hale *et al*, 2001)

เจ้าแกลบ เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเผาแกลบข้าว มีซิลิกาเป็นสารประกอบหลักอยู่ร้อยละ 90 ซิลิกาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ซิลิกามีความสามารถในการดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดีจึงนิยมใช้เป็นสารดูดความชื้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้เจ้าแกลบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผสมกับพลาสติกเพื่อผลิตแผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ แต่จากการค้นคว้าพบว่ายังไม่มียานวิจัยที่ทำการศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มจากพอลิเมอร์ที่ผสมเจ้าแกลบเข้าร่วมในการผลิตเพื่อช่วยเพิ่มอัตราการซึมผ่านของก๊าซและช่วยเสริมสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มจากพอลิเอทิลีนผสมเจ้าแกลบ โดยจะเน้นศึกษาตัวแปร ได้แก่ ปริมาณเจ้าแกลบที่ผสมอยู่ในแผ่นฟิล์มและอัตราการดึงแผ่นฟิล์มขณะขึ้นรูป ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีผลต่อคุณสมบัติ

การทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์ม ความสามารถในการให้ก๊าซซึมผ่านแผ่นฟิล์มและลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม ซึ่งการทราบคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกนำแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้นี้ไปใช้ในการหีบห่อพืชผักแต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) เกรด EL-Lene LD 1902FA จากบริษัทไทยพอลิเอทิลีน (1993) และ แกลบดิบ (rice husk ash)

2. การเตรียมถ้ำเกลบ

นำแกลบดิบใส่ลงในถังขนาด 100 ลิตรให้เต็มถึงจุดไฟเผาเกลบโดยใช้เวลาเผา 5-6 ชั่วโมงแล้วทิ้งไว้ 1 คืน จึงเก็บถ้ำเกลบได้ นำไปลดขนาดด้วยเครื่องบด ball mill ด้วยความเร็วรอบ 50-60 รอบต่อนาที โดยใช้เวลาบด 4 ชั่วโมง แล้วร่อนแยกขนาดด้วยตะแกรกร่อน (sieve) mesh No. 230 จะได้ถ้ำเกลบที่มีขนาดประมาณ 63 ไมครอน จากนั้นนำถ้ำเกลบไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบสารที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วจึงเก็บในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท

3. การเตรียมส่วนผสมเพื่อทำเม็ดพลาสติก

ชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบทั้ง 2 อย่าง คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และถ้ำเกลบ โดยน้ำหนักรวมของแต่ละสูตรผสมเท่ากับ 20 กิโลกรัม ซึ่งสูตรการผสมทั้ง 4 สูตร เป็นดังนี้ :

สูตรที่ 1 ถ้ำเกลบ 0% และ LDPE 100%

สูตรที่ 2 ถ้ำเกลบ 10% และ LDPE 90%

สูตรที่ 3 ถ้ำเกลบ 20% และ LDPE 80%

สูตรที่ 4 ถ้ำเกลบ 30% และ LDPE 70%

4. กระบวนการผสม

ผสมวัตถุดิบตามสูตรการผสมต่างๆในข้อ 3 เพื่อผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน (compounding) ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extrusion, รุ่น DSE 25, Brablander OHG Dusbarg, ประเทศเยอรมัน) ใช้

ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 23 รอบ/นาที โดยส่วนผสมจะไหลออกจากช่องปล่อยของเครื่องอัดรีด (หัวตาย) ผ่านไปยังอ่างน้ำเย็น จากนั้นนำมาทำเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก (pelletizer)

5. กระบวนการขึ้นรูปแบบเป่า

นำเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วทั้ง 4 สูตรมาทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเป่า (blowing film extruder, บริษัทของมิ่งเอ็นเตอร์ไพรเซส ไทยแลนด์ จำกัด) ปรับค่าอัตราการดึงแผ่นฟิล์มขณะขึ้นรูปของพลาสติกแต่ละสูตร คือ 100%, 135%, 150% และ 170% แล้วควบคุมความกว้างของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ไว้ที่ 40-45 เซนติเมตร และความหนาของแผ่นฟิล์มประมาณ 0.2 มิลลิเมตร

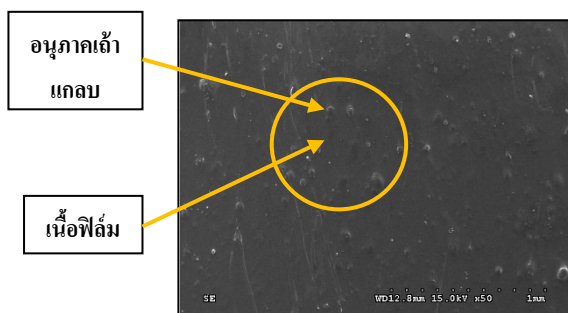
6. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (tensile strength) และสมบัติการยืดตัว (elongation) ของแผ่นฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D822 ทดสอบอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (WTR) ของแผ่นฟิล์ม อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (OTR) ของแผ่นฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D3985 โดยในแต่ละการทดสอบจะทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ค่าที่นำเสนอจะเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)

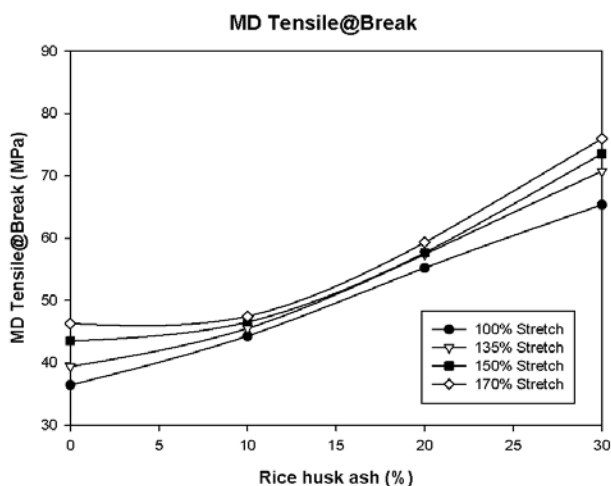
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการผสมวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน (compounding) และการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแบบเป่า เมื่อนำแผ่นฟิล์มของแต่ละสูตรการผสมไปทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาคถ้ำเกลบในเนื้อฟิล์ม พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2

เมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าค่าร้อยละของเถ้าแกลบและแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปมีผลต่อสมบัติความทนแรงดึงและการยืดตัวของแผ่นฟิล์มในทิศทางการดึงของเครื่องจักร (machine direction, MD) ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยสมบัติความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มในแนว MD จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าร้อยละเถ้าแกลบเพิ่มขึ้นและเมื่อแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

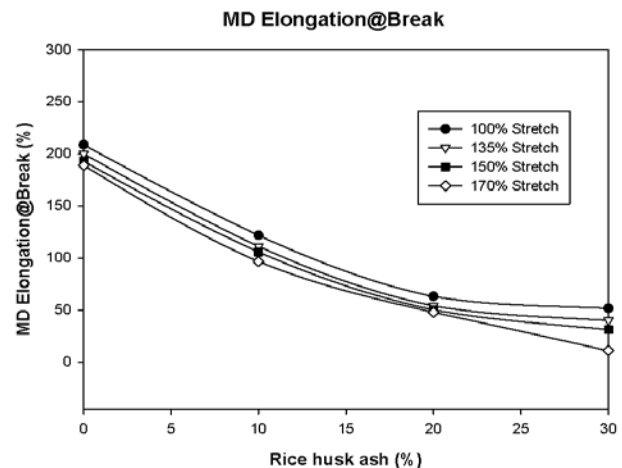


รูปที่ 2 การกระจายตัวของอนุภาคเถ้าแกลบในเนื้อฟิล์มพอลิเอทิลีนที่เถ้าแกลบ 10% และ LDPE 90% ใช้แรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูป 100%



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเถ้าแกลบกับค่าความทนแรงดึงตามแนว machine direction (MD) ของแผ่นฟิล์มที่ขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปต่างๆ

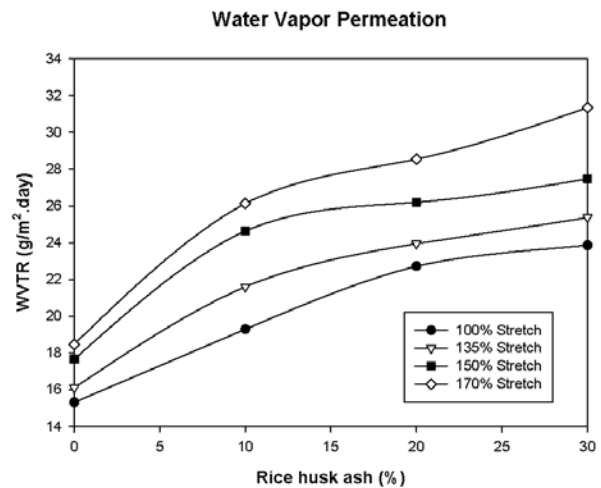
เนื่องจากการดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปจะช่วยจัดเรียงตัวของโมเลกุลพลาสติกให้เป็นระเบียบและอยู่ในทิศทางเดียวกันกับแรงดึง ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามทิศทางที่ดึงและอนุภาคของเถ้าแกลบที่เพิ่มมากขึ้นจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อของฟิล์มพลาสติกและจับตัวกันหนามากขึ้น



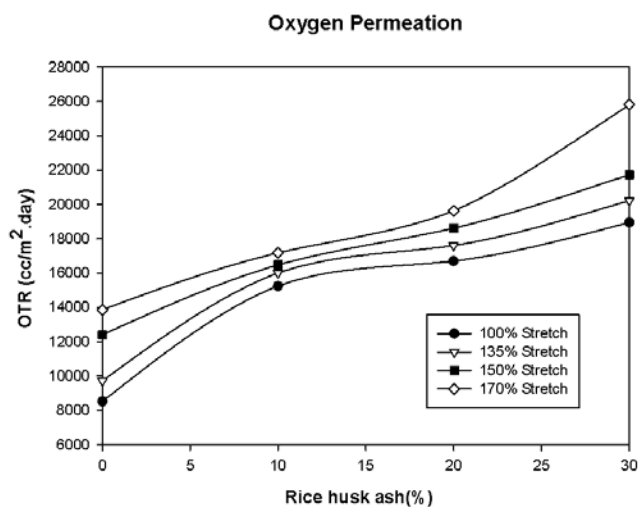
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเถ้าแกลบกับค่าการยืดตัวตามแนว machine direction (MD) ของแผ่นฟิล์มที่ขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปต่างๆ

ทำให้โครงสร้างของแผ่นฟิล์มหนาแน่นขึ้น เป็นการเสริมแรงให้แผ่นฟิล์ม ทำให้ความทนแรงดึงและความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่สมบัติการยืดตัวของแผ่นฟิล์มจะมีค่าลดลง เมื่อค่าร้อยละเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าแกลบไม่มีความยืดหยุ่นเหมือนพลาสติกได้เข้าไปแทรกตัวในเนื้อของฟิล์มพลาสติก ทำให้เนื้อของพลาสติกไม่มีความต่อเนื่องหรือความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) ของพลาสติกลดลง จึงเป็นผลทำให้ความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มลดลง

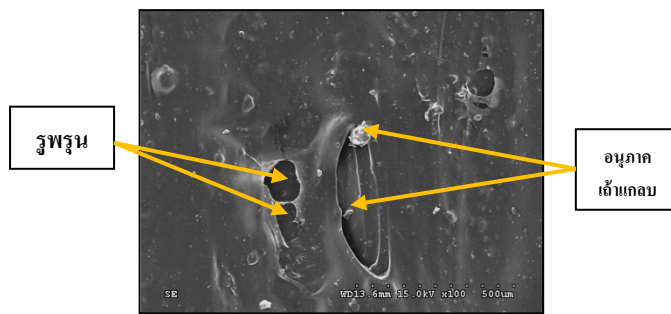
เมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ไปทดสอบหาอัตรา
การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate,
WTR) และอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (oxygen
transmission rate, OTR) จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5
และ 6 ตามลำดับ พบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
และอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น
เมื่อค่าร้อยละเถ้าแกลบที่ผสมอยู่ในเนื้อฟิล์มพลาสติก
และขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะ
อนุภาคของเถ้าแกลบที่แรกอยู่ในเนื้อพลาสติกจะ
ทำให้พื้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของ
เถ้าแกลบกับเนื้อพลาสติกบางลงกว่าบริเวณอื่นๆหรือ
กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ทำให้แผ่นฟิล์มมีรูพรุนขนาดเล็ก
เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ไอน้ำและออกซิเจนสามารถ
ซึมผ่านได้มากขึ้นเมื่อแผ่นฟิล์มมีปริมาณอนุภาค
เถ้าแกลบเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การดึงแผ่นฟิล์มขณะ
ขึ้นรูปจะมีผลทำให้แผ่นฟิล์มบางลงตามขนาดของ
แรงดึงฟิล์มที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
และออกซิเจนผ่านได้ดีขึ้น ภาพถ่ายจากกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในรูปที่ 7
เป็นหลักฐานสนับสนุนที่แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิด
รูพรุนหลังจากทำการดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปนั้น คือ
บริเวณรอบๆผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของเถ้าแกลบ
กับเนื้อพลาสติกพอลิเอทิลีน ซึ่งจะมีช่องว่างหรือรูพรุน
ขนาดเล็กที่ก๊าซสามารถซึมผ่านออกมาได้ ดังนั้นเมื่อ
ปริมาณอนุภาคเถ้าแกลบในแผ่นฟิล์มมีปริมาณเพิ่ม
มากขึ้นจะทำให้ปริมาตรของรูพรุนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน
จึงส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจน
มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเถ้าแกลบกับอัตรา
การซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มที่แรงดึงฟิล์ม
ขณะขึ้นรูปที่ขนาดต่างๆ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเถ้าแกลบกับอัตรา
การซึมผ่านออกซิเจนของแผ่นฟิล์มที่แรงดึง
ฟิล์มขณะขึ้นรูปที่ขนาดต่างๆ



รูปที่ 7 ลักษณะรูพรุนบนแผ่นฟิล์มที่เกิดบริเวณรอบๆ ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของถั่วเหลืองกับเนื้อพลาสติก LDPE ภายหลังการดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปด้วยส่วนผสมถั่วเหลือง 20% แรงดึงฟิล์ม 150% กำลังขยาย 100 เท่า

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ผสมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเป็นแผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ เมื่อปริมาณร้อยละของถั่วเหลืองและขนาดแรงดึงฟิล์มขณะขึ้นรูปมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มลดลง และส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2555 ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- อศิรา เฟื่องฟูชาติ. 2548. ฟิล์มควบคุมการผ่านของก๊าซสำหรับบรรจุภัณฑ์ผลิตผลสด. กรุงเทพฯ.
- Hale, WR., Dohrer, KK., Tant, MR., and Sand, ID. 2001. A diffusion model for water vapor transmission through microporous polyethylene/CaCO₃ films, Physicochemical and Engineering Aspects, (187-188): 483-491.
- Wang Xiaodong, Luo Xin, Wang Xinfeng. 2005. Study on blends of thermoplastic polyurethane and aliphatic polyester: morphology, rheology, and properties as moisture vapor permeable films., Polymer testing, 24:18-24.
- Won Lee -Joo, Min Son- Seok, In Hong- Seok. 2008. Characterization of protein-coated polypropylene films as a novel composite structure for active food packaging application., Journal of food engineering, 86: 484-494.