บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พืชผักและผลไม้ถือได้ว่าเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับมนุษย์ โดยเฉพาะประเทศไทยที่เป็นแหล่งเพาะปลูกพืชผักและผลไม้ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ทำให้มีการส่งออกผลผลิตพืชผักและผลไม้ที่ผลิตได้ในประเทศไทยไปยังประเทศอื่น ๆ ทั่วโลก ปัญหาช่วงแรกที่พบคือผลผลิตที่ส่งออกไปมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เกิดการเน่าเสียเร็ว ทำให้ไม่สามารถเก็บผลิตผลนั้นไว้ได้นาน จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยทำการเก็บผลผลิตที่ได้ไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งจะช่วยลดอัตรากระบวนการเผาผลาญพลังงาน(Metobolic Process Rate) ภายในของผลผลิต ทำให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวขึ้น (Cazier, 2000) แต่วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ต่อมาจึงมีการพัฒนามาเป็นการบรรจุหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง(Modified Atmosphere Packing , MAP) คือ มีการสร้างระบบการหีบห่อผักและผลไม้ที่สามารถควบคุมสภาวะต่าง ๆที่จะเกิดขึ้นกับผลผลิตที่อยู่ภายในหีบห่อได้ เช่น การควบคุมอัตราการไหลผ่านของออกซิเจนที่จะเข้าไปสัมผัสกับผิวของผลผลิต การควบคุมอัตราการระเหยของไอน้ำบนพื้นผิวของผลผลิต การใส่สารที่สามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนลงไปในหีบห่อ และการควบคุม ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในหีบห่อ เป็นต้น

ระบบการหีบห่อภายใต้สภาพอากาศดัดแปลง เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการจำลองสภาพบรรยากาศภายในหีบห่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมกับผลผลิตนั้น ๆ ซึ่งปกตินิยมนำมาใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร ผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์ยาเพื่อยืดอายุของผลผลิต สำหรับการบรรจุหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงของผักและผลไม้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดปริมาณของออกซิเจนที่สัมผัสกับผิวของผลผลิต ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การแทนที่ก๊าซออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในหีบห่อ การลดปริมาณของออกซิเจนจะช่วยชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียประเภทใช้ออกซิเจน (Aerobic) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสียเร็ว

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการทำหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงจะผลิตจากแผ่นฟิล์มของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ และการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์นี้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น การซึมของก๊าซผ่านแผ่นฟิล์ม อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม การส่องของแสงผ่านแผ่นฟิล์ม เป็นต้น พลาสติกที่นิยมนำมาใช้ทำหีบห่อ ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) โคพอลิเมอร์ของ เอทิลีน ไวนิล อะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) พอลิโพไพรลีน (Polypropylene, PP) ซึ่งหีบห่อที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์เหล่านี้มักจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแผ่นฟิล์มที่

ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ (Permeable Film) เพราะถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมอัตราการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่างานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศจะสนใจและเน้นไปที่การควบคุมสภาวะภายในหีบห่อ เช่น การผสมสารเคมี 1-Methylcyclopropane เข้าไปในหีบห่อเพื่อทำการดูดซับก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมได้นานขึ้น (Jiang, 1998) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายความสามารถในการซึมของความชื้นผ่านแผ่นฟิล์ม (Hale et al., 2001) จากการค้นคว้าพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาการผลิตฟิล์มพอลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับระบบบรรจุหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญตัวหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผลที่ทำการหีบห่อ เนื่องจากการเลือกฟิล์มที่ไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้อัตราการไหลผ่านของก๊าซต่าง ๆ ไม่เป็นไปตามที่เราต้องการ และเป็นผลทำให้เกิดผลเสียต่อผลผลิตภายในหีบห่อได้ อีกปัญหาหนึ่งที่พบคือทุกครั้งที่ทำการผลิตระบบบรรจุหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงจะต้องมีการลองผิดลองถูกเพื่อเลือกใช้ชนิดของฟิล์มพอลิเมอร์ให้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซอยู่ในช่วงที่ต้องการ ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่กระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์จากพอลิเอทิลีนโดยจะทำการศึกษาตัวแปรการผลิต เช่น ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมอยู่ในแผ่นฟิล์มและอัตราส่วนการยืดฟิล์มในขณะขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้จะมีผลต่อสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ และสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้น ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้จะช่วยให้เรามีข้อมูลการผลิตและสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นภายใต้เงื่อนไขสภาวะต่าง ๆ ทำให้ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเลือกตัวแปรการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มเพื่อใช้เป็นวัสดุหีบห่อที่มีสมบัติในการซึมผ่านของก๊าซและสมบัติเชิงกลตามที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาขั้นตอนการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ (Permeable Film) จากพอลิเอทิลีน โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเป่า (Blow film extruder)

1.2.2 ศึกษาตัวแปรการผลิต ได้แก่ สัดส่วนการผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตกับพอลิเอทลีน และอัตราส่วนการยืดฟิล์มขณะทำการขึ้นรูปที่มีผลกระทบต่อสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ และลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแผ่นฟิล์ม

1.2.3 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายผลการทดลองที่ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้จะทำการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์จากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม (Filler) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดรูพรุนบนแผ่นฟิล์ม

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน สมบัติความทนแรงดึงและสมบัติการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผลิตได้

1.3.3 ทำการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์โดยเครื่องอัดรีดชนิดเป่า (Blow film extruder) และศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการยืดฟิล์มขณะขึ้นรูป ที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ อัตราการซึมผ่านของออกซิเจน สมบัติความทนแรงดึงและสมบัติการยืดตัวของฟิล์มพอลิเมอร์

1.3.4 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายผลการทดลองที่ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์พอลิเอทิลีนให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ

1.4.2 ทราบตัวแปรการผลิตต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน

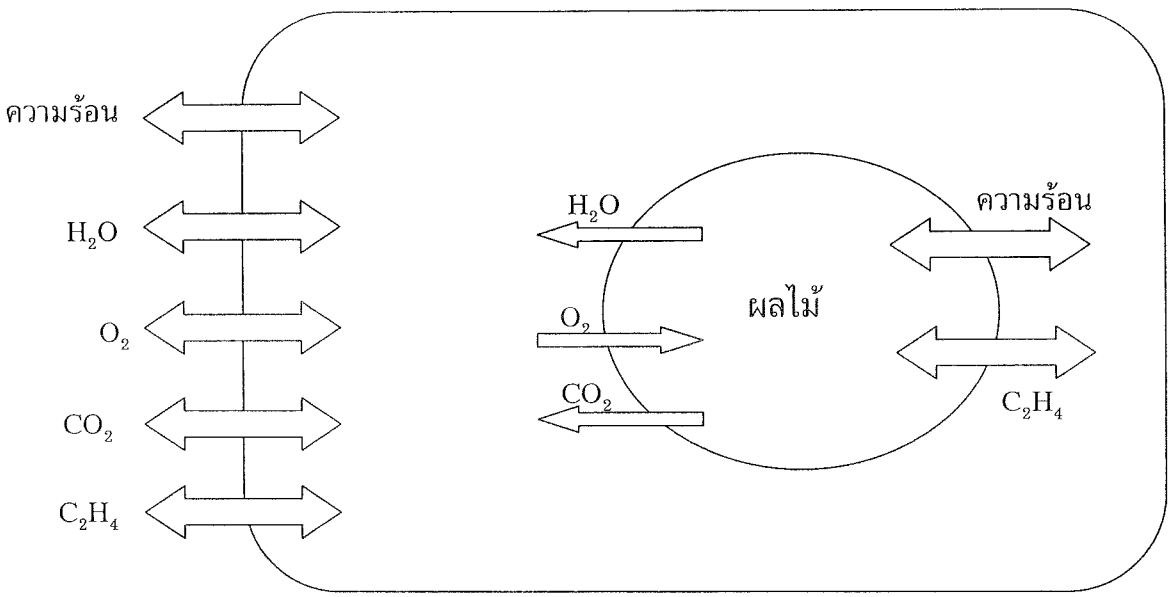
1.4.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำนายผลของการผลิตแผ่นฟิล์มที่ตัวแปรการผลิตค่าอื่น ๆที่นอกเหนือจากการวิจัยนี้ได้

1.4.4 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและการออกแบบการผลิตแผ่นฟิล์มให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น วัสดุใช้ทำส่วนประกอบของผ้าอ้อมและผ้าอนามัย แผ่นฟิล์มพลาสติกทางการเกษตร ส่วนประกอบของเสื้อผ้า เป็นต้น

1.5 กรอบแวดิดของการวิจัย

แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ (permeable film) คือ พลาสติกที่ถูกนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมครอน ทำให้มีคุณสมบัติในการให้ก๊าซซึมผ่านได้แต่กั้นไม่ให้ของเหลวซึมผ่าน โดยที่แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้จะมีความสามารถในการให้ก๊าซและความชื้นซึมผ่านได้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มและชนิดของโพลิเมอร์ที่นำมาทำแผ่นฟิล์ม โดยปกติแผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้จะนิยมใช้พลาสติกจำพวกโพลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โพลิไวนิลคลอไรด์(PVC) โคโพลิเมอร์ของเอทธิลีนไวนิลอะซิเตต(EVA) ซึ่งโพลิเมอร์แต่ละชนิดจะทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้ออกมามีคุณสมบัติต่างกัน ดังนั้นในการเลือกโพลิเมอร์ชนิดใดมาทำแผ่นฟิล์มจึงขึ้นอยู่กับลักษณะการนำแผ่นฟิล์มไปใช้งาน

ระบบการหีบห่อภายใต้สภาพอากาศดัดแปลง(modified atmosphere packaging) หมายถึง การนำผลิตภัณฑ์มาบรรจุภายในภาชนะปิดภายใต้บรรยากาศซึ่งแตกต่างจากบรรยากาศปกติจนมีคุณสมบัติทำให้เชื้อจุลินทรีย์ในผลผลิตเจริญเติบโตช้าลง และทำให้ผลผลิตประเภทผักและผลไม้หายใจช้าลง ซึ่งจะส่งผลให้อาหารมีอายุการจัดเก็บ (shelf life) ที่ยาวนานขึ้นกว่าปกติ โดยปกติความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในหีบห่อจะอยู่ที่ประมาณ 1- 5% เพื่อลดอัตราการหายใจของผักและผลไม้และที่ความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า8% จะช่วยลดการผลิตก๊าซเอทธิลีนของผักผลไม้ ซึ่งก๊าซเอทธิลีนนั้นเป็นตัวหลักที่จะทำให้เกิดการสุกของผักและผลไม้ แต่ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า 1% จะเป็นผลทำให้แบคทีเรียประเภทไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นผลทำให้ผิวของผักและผลไม้เกิดการเน่าเสีย ลักษณะการทำงานของระบบการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง ดังแสดงในรูปที่1.1



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการทำงานของระบบการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง (Cazier, 2000)

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มโพลิเมอร์จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนและขนถ่ายความร้อน ความชื้น (ไอน้ำ) ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทธิลีน ที่อยู่ภายในหีบห่อกับบรรยากาศภายนอกหีบห่อ ดังนั้นการเลือกฟิล์มโพลิเมอร์ที่ดีจะต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของก๊าซที่จะเกิดขึ้นภายในหีบห่อ อัตราการหายใจของผักและผลไม้ อัตราการแพร่ของก๊าซผ่านแผ่นฟิล์ม นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มด้วย เช่น ความแข็งแรงและความเหนียวของฟิล์ม ตารางที่ 1.1 แสดงโพลิเมอร์ชนิดต่าง ๆที่สามารถนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงและสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ

ในปัจจุบันการเลือกแผ่นฟิล์มที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุในการทำระบบหีบห่อภายใต้สภาวะดัดแปลงจะใช้วิธีการเลือกจากชนิดของโพลิเมอร์ที่มีสมบัติให้ก๊าซซึมผ่านได้และด้วยอัตราการซึมผ่านแผ่นฟิล์มตรงตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการใช้แผ่นฟิล์มที่มีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 2600 cm^3/m^2.day.atm ก็จะเลือกโพลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) แต่ถ้าต้องการฟิล์มที่มีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่ 12500 cm^3/m^2.day.atm ก็จะต้องเปลี่ยนไปใช้ฟิล์มเอทธิลีนไวนิลอะซิเตตแทน (ดู ตารางที่ 1.1)

บ่อยครั้งการเปลี่ยนชนิดโพลิเมอร์เพื่อให้ได้ความสามารถการซึมผ่านของก๊าซตามที่เราต้องการทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เพราะโพลิเมอร์บางชนิดที่มีสมบัติการซึมผ่านของก๊าซอยู่ในช่วงที่เราต้องการก็มักมีราคาที่สูงในขณะที่โพลิเมอร์บางตัวมีราคาต่ำกว่าก็จะมีสมบัติไม่ตรงตามที่ต้องการแต่เราสามารถนำโพลิเมอร์นี้มาพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีสมบัติตามที่เราต้องการได้และสามารถนำไปใช้แทนโพลิเมอร์ที่มีราคาสูงกว่าได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การพัฒนากระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มโพลิเมอร์จากโพลิเมอร์ที่มีราคาต่ำเพื่อให้มีสมบัติที่สามารถนำไปใช้แทนแผ่นฟิล์มโพลิเมอร์ที่มีราคาสูง ซึ่งโพลิเมอร์ที่ถูกเลือกเพื่อศึกษาในงานวิจัยนี้ก็คือโพลีเอทธิลีนโดยมีแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)เป็นตัวเติมแต่ง (additive) โดยตัวแปรการผลิตที่ทำการศึกษา ได้แก่ สัดส่วนของ $CaCO_3$ ที่เติมลงไปแทนที่โพลีเอทธิลีน และอัตราการดึงฟิล์มขณะทำการเป่าขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม ซึ่งตัวแปรทั้งสองจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านของก๊าซ การมีอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตแทรกอยู่ในแผ่นฟิล์มโพลิเอทธิลีนจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กๆบนแผ่นฟิล์ม (ขนาดของรูพรุนขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต) ประกอบกับการดึงแผ่นฟิล์มในขณะเป่าขึ้นรูปแผ่นฟิล์มนั้นมีผลทำให้แผ่นฟิล์มบริเวณที่อยู่ใกล้ๆกับอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดช่องว่างและทำให้แผ่นฟิล์มมีความบางกว่าแผ่นฟิล์มบริเวณที่ไม่มีอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจึงทำให้แผ่นฟิล์มนี้มีสมบัติในการให้ก๊าซซึมผ่านได้ โดยการซึมผ่านของก๊าซได้มากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในแผ่นฟิล์มและอัตราการดึงแผ่นฟิล์มในขณะทำการเป่าขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม ผลจากงานวิจัยนี้จะช่วยให้มีข้อมูลการผลิตแผ่นฟิล์มโพลิเอทธิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซในช่วงต่างๆ ที่กว้างขึ้นทำให้สามารถนำแผ่นฟิล์มโพลิเอทธิลีนไปใช้ประโยชน์ในระบบหีบห่อเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการได้มากขึ้นทำให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้เพราะไม่ต้องเปลี่ยนชนิดของโพลิเมอร์บ่อยๆเพื่อให้สอดคล้องกับสมบัติของแผ่นฟิล์มที่ต้องการ นอกจากนี้ราคาของแคลเซียมคาร์บอเนตมีราคาต่ำกว่าโพลิเอทธิลีนประมาณ 10 เท่า ดังนั้นการมีแคลเซียมคาร์บอเนตผสมอยู่ในโพลีเอทธิลีน จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตฟิล์มที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับระบบหีบห่อภายใต้สภาวะดัดแปลงอีกด้วย

ตารางที่ 1.1 แสดงชนิดและสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นแผ่นฟิล์มสำหรับหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง

ชนิดของฟิล์ม	ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ (cm^3/m^2.day.atm for 25 micron film at 25°C)			การซึมผ่านของไอน้ำ (g/m^2/day/atm), 38°C and RH 90%
	O_2	N_2	CO_2	
เอทิลีน ไวนิล แอลกอฮอล์ (EVOH)	3-5	-	-	16-18
พอลิไวนิลลิดีนเคลือบคลอไรด์ (PVdC)	9-15	-	20-30	-
พอลิเอทิลีน, LD	7800	2800	42000	18
พอลิเอทิลีน, HD	2600	650	7600	7-10
พอลิโพรไพลีน , cast	3700	680	10000	10-12
พอลิโพรไพลีน , oriented	2000	400	8000	6-7
พอลิโพรไพลีน , PVdC coated	10-20	8-13	35-50	4-5
Plasticized PVC	500-30000	300-10000	1500-46000	15-40
เอทิลีนไวนิลอะซิเตต(EVA)	12500	4900	50000	40-60
พอลิสไตรีน, oriented	5000	800	18000	100-125
พอลิยูเรเทน (พอลิเอสเตอร์)	800-1500	600-1200	7000-25000	400-600
พอลิเอไมด์ (Nylon-6)	40	14	150-190	84-3100
Microperforated (MP)	> 15000	-	-	-
Microporous (MPOR)	> 15000	-	-	variable

(Farber et al., 2003)