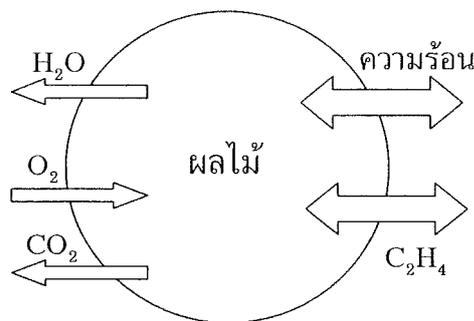


บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลไกการสุกของผลไม้

จากข้อมูลโดยศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโดยความร่วมมือจากกรมศุลกากรพบว่า ผลผลิตทางการเกษตรเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทยและคิดเป็น 10% ของสินค้าส่งออกทั้งหมดของไทย (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2550) อย่างไรก็ตามการส่งออกไปขายยังต่างประเทศประสบปัญหาที่สำคัญ คือไม่สามารถเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวไว้ได้นาน ทำให้ไม่สามารถทำการขนส่งไปยังประเทศที่มีระยะทางไกลๆได้ ซึ่งปัจจัยของการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายใน ซึ่งปัจจัยภายนอกได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของสิ่งแวดล้อม โรคต่างๆ และปัญหาจากพวกแมลง ปัจจัยภายในสามารถป้องกันได้โดยง่าย โดยการทำความสะอาด การคัดเลือกผลไม้ การบรรจุหีบห่อที่ดี และการเก็บผลไม้ในบรรยากาศที่ควบคุม เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายในซึ่งเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยากกว่าเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติในพืช ได้แก่การคายน้ำ การหายใจ การผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของพืชผักและผลไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นในผลไม้ (Cazier, 2000)

ผลไม้จะนำก๊าซออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการหายใจ โดยเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเอนไซม์ที่จะทำการเปลี่ยนอาหารจำพวกแป้ง โปรตีน และไขมันที่พืชสะสมไว้ จากนั้นผลไม้จะทำการปล่อยพลังงาน ความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งการสุกและเน่าเสียของผลไม้ก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการหายใจของผลไม้ด้วย

การหายใจเป็นการสร้างพลังงานของพืชภายหลังการเก็บเกี่ยว และเมื่อมีพลังงานแล้วย่อมจะเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะถูกปล่อยออกมา สำหรับความร้อนที่ปล่อยออกมานั้นมีความสำคัญยิ่งต่อการเก็บรักษาผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เพราะจะเป็นตัวกำหนดว่าผลผลิตใดต้องการอุณหภูมิต่ำแค่ไหน หรือต้องให้มีการถ่ายเทอากาศมากน้อยเท่าใดในการเก็บรักษาคุณภาพ

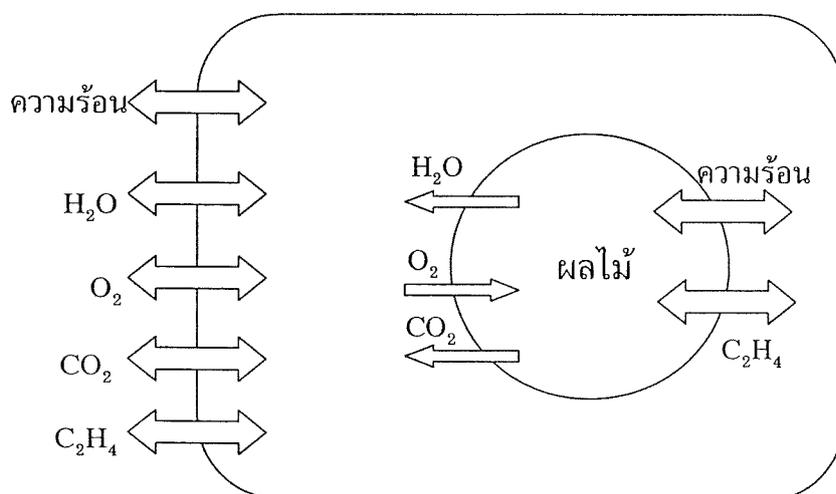
การคายน้ำ โดยทั่วไปผักและผลไม้จะประกอบด้วย น้ำ 80 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า และในระหว่างการเจริญเติบโตผักและผลไม้จะได้รับน้ำอย่างพอเพียง โดยผ่านทางระบบรากของพืช แต่เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วน้ำเหล่านี้ถูกตัดขาดและผักและผลไม้จะมีชีวิตอยู่ได้ด้วยน้ำที่สะสมไว้ และเมื่อไรที่ผักและผลไม้ยังหายใจอยู่การคายน้ำก็ยังคงเกิดอยู่ต่อไป ผลของกระบวนการคายน้ำนี้เป็นการสูญเสียน้ำจากผลผลิตของพืชหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งมีอาจทดแทนได้ อัตราการสูญเสียน้ำโดยการคายน้ำจึงเป็นอีกปัจจัยสำคัญหนึ่งที่จะกำหนดอายุของผักและผลไม้ ซึ่งก็หมายถึงความสดหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ การสูญเสียน้ำทำให้น้ำหนักของผักและผลไม้ลดลง ยิ่งการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นรูปร่างและความยืดหยุ่นของผักผลไม้จะยิ่งลดลงจนอ่อนนุ่มและเหี่ยวแห้งไปในที่สุด

เอทิลีนเป็นสารชนิดหนึ่งที่พืชสามารถผลิตขึ้นเองได้มีสถานะเป็นแก๊ส เอทิลีนมีบทบาทที่สำคัญต่อพืชทั้งก่อน และหลังการเก็บเกี่ยว ในแง่ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ช่วยทำให้มีการออกดอกที่สม่ำเสมอในสัปดาห์หรือเร่งการสุกของผลไม้หลาย ๆ ชนิดให้สม่ำเสมอได้ เช่น กล้วย มะละกอ เป็นต้น ดังนั้นจะพบว่า การสุกของผลไม้จำเป็นต้องมีเอทิลีนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในทางตรงกันข้ามเอทิลีนอาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตได้ เช่น ทำให้ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว อายุการเก็บรักษาสั้น หรือเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นในพืชหลาย ๆ ชนิด เช่น เกิดจุดสีน้ำตาลบนใบผักกาดหอมเกิดรสขมในแครอท หรือทำให้หน่อไม้ฝรั่งมีการสร้างเส้นใยที่มากขึ้นทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลงด้วย (พันธุ์วิศวกรรมพืช, ม.ป.ป.) โดยทั่วไปแล้วผลไม้ทุกชนิดจะมีการผลิตเอทิลีน แต่ในผลไม้บางประเภทจะผลิตเอทิลีนในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างมากในช่วงที่ผลไม้เริ่มสุก (Climacteric fruits) เช่น มะเขือเทศ กล้วย ฯลฯ ซึ่งจะทำให้ผลไม้ประเภทนี้สุกเร็วกว่าผลไม้ประเภทอื่นที่มีการผลิตเอทิลีนที่คงที่ หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงเวลาของการพัฒนา และการเจริญเติบโต (Non-Climacteric fruits) ของผลไม้ เราสามารถชะลอการสุกของผลไม้ได้โดยการใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม หรือการประยุกต์การบรรจุหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง เช่น การผสม 1-Methylcyclopropane เข้าไปในหีบห่อเพื่อทำการดูดซับก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ได้ นานขึ้น (Jiang, 1998) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าจุดประสงค์หลักของการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง คือการยืดอายุของผักและผลไม้ และปัจจัยหลักที่ทำให้ผักและผลไม้มีอายุสั้นคืออัตราการหายใจ ดังนั้นถ้าผักและผลไม้มีอัตราการหายใจที่สูงจะทำให้อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้สั้นลง อัตราการหายใจของผักและผลไม้สามารถวัดได้จากปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ไปหรือปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นมา ดังนั้นระบบหีบห่อ

ภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้นานขึ้นได้จะต้องมีคุณสมบัติทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้ลดลง โดยพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของก๊าซออกซิเจนภายในหีบห่อจะอยู่ที่ 1-5% แต่ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า 1% จะสามารถทำให้เกิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด Anaerobic ได้ (Farber et al., 2003) และจะทำให้เกิดผลเสียที่ผิวของผักและผลไม้ ตัวอย่างของอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้บางชนิดที่มีสภาวะอากาศในการบรรจุหีบห่อที่ต่างกันได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

2.2 ระบบการหีบห่อภายใต้สภาพอากาศดัดแปลง (Modified atmosphere packaging)

ระบบการหีบห่อภายใต้สภาพอากาศดัดแปลง หมายถึง การนำผลิตภัณฑ์มาบรรจุภายในภาชนะปิด ภายใต้บรรยากาศซึ่งแตกต่างจากบรรยากาศปกติ จนมีคุณสมบัติทำให้เชื้อจุลินทรีย์ในผลผลิตเจริญเติบโตช้าลง และทำให้ผลผลิตประเภทผักและผลไม้หายใจช้าลง ซึ่งจะส่งผลให้พืชผักผลไม้หรืออาหารมีอายุการจัดเก็บ (Shelf life) ที่ยาวนานขึ้นกว่าปกติ โดยปกติความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในหีบห่อจะอยู่ที่ประมาณ 1- 5% เพื่อลดอัตราการหายใจของผักและผลไม้และที่ความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า 8% จะช่วยลดการผลิตก๊าซเอทิลีน ของผักผลไม้ ซึ่งก๊าซเอทิลีนนั้นเป็นตัวหลักที่จะทำให้เกิดการสุกของผักและผลไม้ แต่ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า 1% จะเป็นผลทำให้แบคทีเรียประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นผลทำให้ผิวของผักและผลไม้เกิดการเน่าเสีย ลักษณะการทำงานของระบบการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของระบบการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง (Cazier, 2000)

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม ความเข้มข้นของก๊าซในทิ่บห่อและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

ชนิดของผลิตภัณฑ์	อัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม ($\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{hr at } 23^\circ\text{C}$)		ความเข้มข้นของก๊าซในทิ่บห่อ (%)		อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
	O_2	CO_2	O_2	CO_2		
Onion (a)	2100	-	0.67	81.5	25	6
Butternut squash (a)	2100	-	1.10	22.6	5	21
Broccoli (a)	13013	32306	<2	10	12	9
Broccoli	7000	20500	3.68	10.59	13	21
Broccoli	7000	20500	1.3	13.47	21	10
Broccoli	16000	36000	1.34	7.16	21	10
Carrot (a)	3000	9800	-	-	21	4 no toxin
Carrot (a)	6-8000	19-22000	-	-	21	4 no toxin
Stir-fry (d)	80-100	-	0	17.7	25	11
Stir-fry (d)	80-100	-	0	24.2	15	21
Green bean (a)	5500-7500	20000-24000	-	-	21	7 no toxin
Green bean (a)	16544	35175	-	-	21	7 no toxin
Romaine lettuce (d)	40	-	1.37	25.2	25	9
Lettuce (a)	3000	9800	<2	10	21	6

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม ความเข้มข้นของก๊าซในหีบห่อและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ (ต่อ)

ชนิดของผลิตภัณฑ์	อัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม ($\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{hr}$ at 23°C)		ความเข้มข้นของก๊าซในหีบห่อ (%)		อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
	O_2	CO_2	O_2	CO_2		
Lettuce (a)	6000	17000	<2	10	21	6
Mixed salad (d)	80-100	-	1.0	39.0	25	7
Shredded cabbage(a)	unknown	-	-	-	22-25	4
Chopped cabbage (a)	3000	9800	-	-	21	Spoiled 3 day
Chopped cabbage (a)	6000-8000	19000-22000	-	-	21	Spoiled 3 day
Mushrooms (a) ($\text{cm}^3/100 \text{ in}^2$)	800	6000	1-2	-	20	4
Cantaloupe	123	-	≤ 2	20-60	7-15	Inedible 6-9 day
Honeydew	100	-	1	52	15	9
Tomato	PVC trays of with packet 15 g NaCl and sealed with EVA		1.6	21.6	13	42-46

(a) Non commercial, prepare by researcher

(d) Commercially Obtain

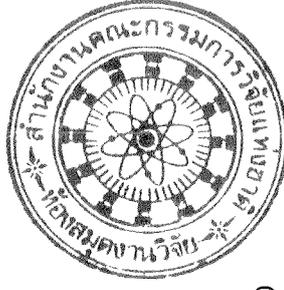
(Farber et al., 2003)

การเลือกใช้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับผลผลิตที่จะทำการหีบห่อ จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนและขนถ่ายความร้อน ความชื้น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทิลีน ที่อยู่ภายในหีบห่อกับบรรยากาศภายนอกหีบห่อ ดังนั้นการเลือกฟิล์มพอลิเมอร์ที่ดีจะต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของก๊าซที่จะเกิดขึ้นภายในหีบห่อ อัตราการหายใจของผักและผลไม้ อัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านแผ่นฟิล์ม (Gas transmission rate) นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงสมบัติเชิงกลของฟิล์มด้วย เช่น ความแข็งแรง (Tensile Strength) และความเหนียวของฟิล์ม (Elongation) ตารางที่ 2.2 แสดงพอลิเมอร์ชนิดต่างๆที่สามารถนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลงและสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ

ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดและสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นแผ่นฟิล์มสำหรับหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศตัดแปลง

ชนิดของฟิล์ม	ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ			การซึมผ่านของไอน้ำ (g/m ² /day/atm), 38°C and RH 90%
	O ₂ (cm ³ /m ² .day.atm for 25 micron film at 25°C)	N ₂	CO ₂	
เอทิลีน ไวนิล แอลกอฮอล์ (EVOH)	3-5	-	-	16-18
พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ (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)



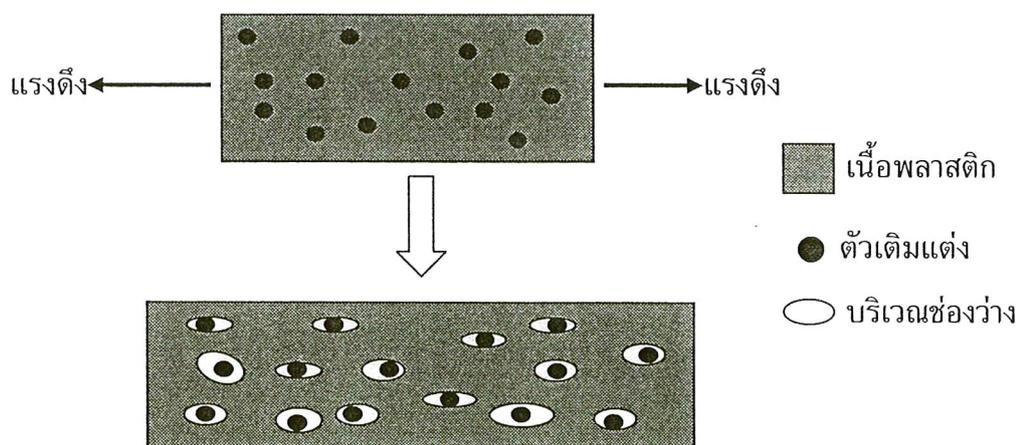
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
 ห้องสมุดงานวิจัย
 วันที่..... 11 ตุลาคม 2555
 เลขทะเบียน..... 243138
 เลขเรียกหนังสือ.....

2.3 แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ (Permeable Film)

แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ (Permeable Film) คือ พลาสติกที่ถูกนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมครอน ทำให้มีสมบัติในการให้ของไหลหรือก๊าซซึมผ่านได้ โดยที่แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้นี้จะมีความสามารถในการให้ของไหลหรือก๊าซซึมผ่านได้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแผ่นฟิล์ม ซึ่งสามารถหาได้โดยการวัดจากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) โดยปกติแผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้จะนิยมใช้พลาสติกจำพวกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โคลิเมอร์ของเอทิลีนไวโนลอะซิเตต (EVA) เป็นวัสดุในการทำ ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะทำให้แผ่นฟิล์มที่ผลิตออกมามีคุณสมบัติต่างกัน ดังนั้นในการเลือกพอลิเมอร์ชนิดใดมาทำแผ่นฟิล์มจึงขึ้นอยู่กับลักษณะการนำแผ่นฟิล์มไปใช้งาน

2.3.1 เทคนิคการผลิตแผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้

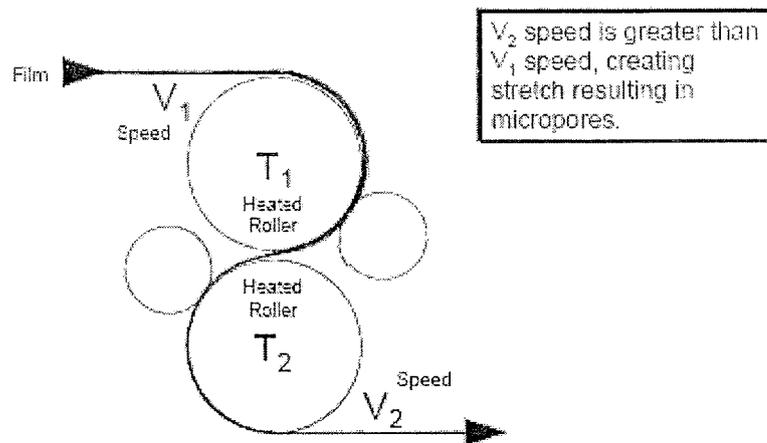
แผ่นฟิล์มที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ สามารถผลิตได้โดยการผสมพอลิเมอร์กับสารตัวเติม (Filler) จากนั้นนำของผสมพลาสติกและสารตัวเติมไปทำการขึ้นรูป และทำการดึงแผ่นฟิล์ม (Stretching) ในขณะที่ทำการขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้เกิดรูเล็ก ๆ ระหว่างสารตัวเติมและเนื้อพลาสติก (ดูรูปที่ 2.3) สำหรับวิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มที่ก๊าซซึมผ่านได้ ปัจจุบันนิยมใช้อยู่ 4 วิธี ได้แก่ วิธีการดึงฟิล์มตามแนวเครื่องจักร (Machine direction orientation, MDO) วิธีการดึงฟิล์มตามแนวขวาง (Transverse direction, TD) โดยใช้ตัวจับยึด (Stretching by tenter frame) วิธีการดึงฟิล์มโดยผ่านฟิล์มเข้าไปในลูกกลิ้ง (TD intermeshing rolls-closed) และวิธีการเป่าฟิล์ม (Blow film extruder)



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดรูพรุนบนแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนหลังทำการดึงฟิล์ม (Hale et al., 2001)

2.3.1.1 วิธีการดึงฟิล์มตามแนวเครื่องจักร (Machine direction orientation, MDO)

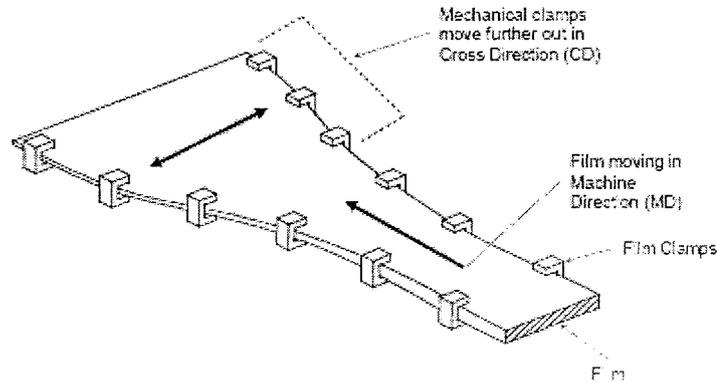
เป็นวิธีการผลิตที่ค่อนข้างจะใช้มากในปัจจุบัน วิธีการผลิตทำโดยปล่อยแผ่นฟิล์มให้เคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งสองลูก ซึ่งลูกกลิ้งทั้งสองจะมีความเร็วในการหมุนไม่เท่ากัน โดยที่ลูกที่สองจะมีความเร็วในการหมุนที่มากกว่าลูกที่หนึ่ง จึงทำให้เกิดการดึงฟิล์มขึ้นระหว่างที่แผ่นฟิล์มผ่านเข้ามา ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงวิธีการดึงฟิล์มตามแนวเครื่องจักร (Wu et al., 2007)

2.3.1.2 วิธีการดึงฟิล์มตามแนวขวางโดยตัวจับยึด (TD stretching by tenter frame)

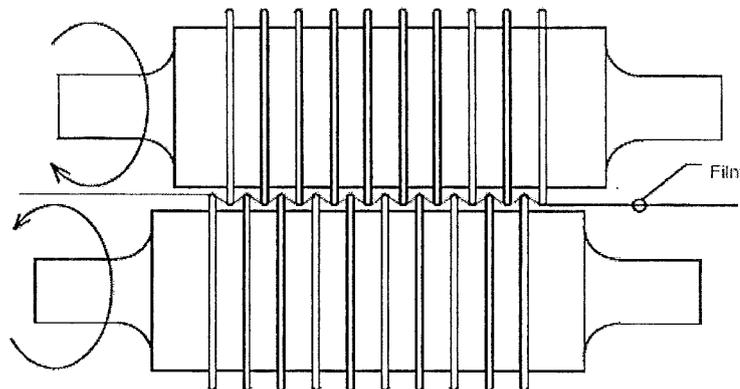
วิธีการผลิตทำโดยการยึดจับแผ่นฟิล์มที่มุม และทำการดึงฟิล์มในแนวขวางกับการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ทำให้เกิดการยืดฟิล์มในแนวขวาง สำหรับวิธีการผลิตนี้ไม่นิยมใช้มากนักเนื่องจากการผลิตแผ่นฟิล์มเป็นไปได้อุ่น และบางครั้งทำให้ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มไม่เรียบสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการดิ่งฟิล์มตามแนวขวางโดยใช้ตัวจับยึด (Wu et al., 2007)

2.3.1.3 วิธีดิ่งฟิล์มโดยผ่านฟิล์มเข้าไปในลูกกลิ้ง (TD intermeshing rolls-closed)

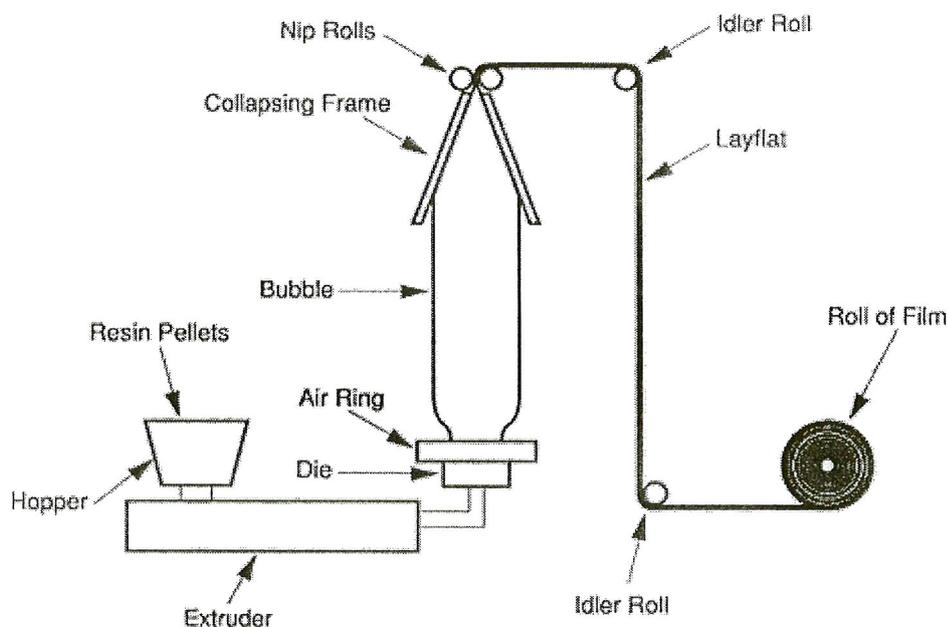
การผลิตฟิล์มโดยวิธีนี้ทำโดยผ่านแผ่นฟิล์มเข้าไปในลูกกลิ้งสองลูกที่มีฟันเฟืองอยู่รอบๆ โดยที่ฟันเฟืองของแต่ละลูกกลิ้งจะไม่สัมผัสกัน จะวางตัวในแนวสลับกัน เมื่อแผ่นฟิล์มผ่านเข้าไประหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง จะถูกทำให้ยึดออกทั้งในแนวเครื่องจักร (MD) และแนวตามขวาง (TD) โดยแรงที่ทำการยึดจะขึ้นอยู่กับลักษณะการวางมุมของฟันเฟืองของลูกกลิ้งแต่ละลูก ระยะห่างของฟันเฟือง และความเร็วของลูกกลิ้งทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการดิ่งฟิล์มโดยผ่านฟิล์มเข้าไปในลูกกลิ้ง (Wu et al., 2007)

2.3.1.4 โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเป่าฟิล์ม (Blowing film extruder)

วิธีนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ โดยวิธีการผลิตทำโดยการใส่ส่วนผสมลงในเครื่องอัดรีดชนิดเป่า แผ่นฟิล์มจะถูกเป่าออกมาจากทางหัวตาย ซึ่งอยู่ปลายสุดของเครื่องอัดรีดชนิดเป่า จากนั้นแผ่นฟิล์มจะถูกดึงขึ้นไปในแนวตั้ง โดยผ่านลูกกลิ้งสองลูก (Nip rolls) ซึ่งติดตั้งอยู่ทางด้านบนของเครื่องจักร แรงดึงฟิล์มและอัตราการยืดของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเร็วของลูกกลิ้งทางด้านบนกับอัตราการไหลออกมาของฟิล์มที่หัวตาย ดังแสดงในรูปที่ 2.7



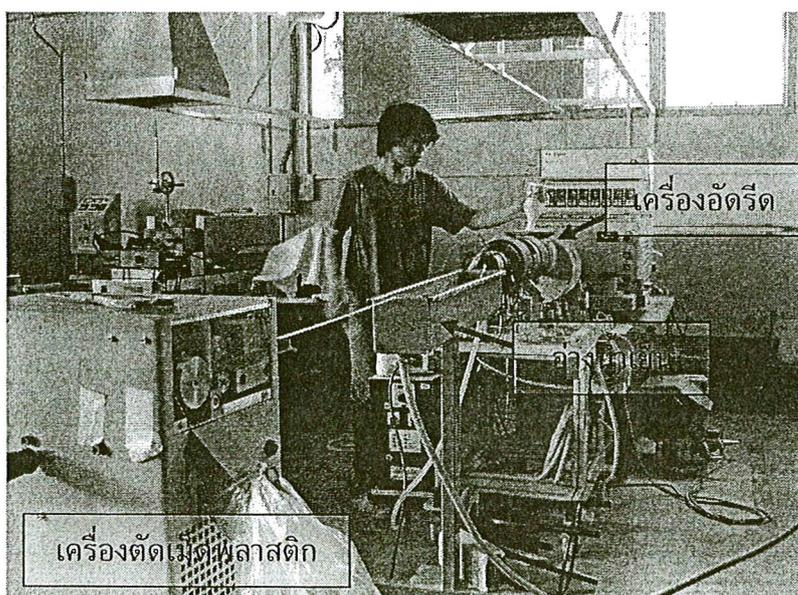
รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการเป่าฟิล์ม

2.3.2 การคอมปาวน์ (Compounding) (เจริญ นาคะสรรค์, 2542)

การคอมปาวน์เป็นการผสมเพื่อทำให้อนุภาคของวัสดุชนิดต่างๆ ที่ผสมกัน กระจายตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน การผสมแบบนี้จะอาศัยแรงเฉือนในการบดผสมองค์ประกอบชนิดต่างๆ ขณะที่พลาสติกอยู่ในสภาวะหลอมเข้าด้วยกัน การคอมปาวน์จะใช้เมื่อต้องการผสมสารเคมีกับพอลิเมอร์ในปริมาณสูงๆ หรือต้องการให้เกิดการกระจายตัวของสารผสมในพอลิเมอร์ที่ดี ในงานวิจัยนี้จะทำการคอมปาวน์เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนกับสารตัวเติมในที่นี้คือแคลเซียมคาร์บอเนต

สำหรับเทคนิคการคอมปาวน์จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การคอมปาวน์แบบกะ (Batch compounding) และการคอมปาวน์แบบต่อเนื่อง (Continuous compounding) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับในงานวิจัยนี้

การคอมปาวน์แบบต่อเนื่อง เป็นการคอมปาวน์พลาสติกโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดต่างๆ เช่น เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ หรือเครื่องอัดรีดแบบหลายสกรู โดยทั่วไปจะนิยมใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผสมที่สูงกว่าแบบสกรูเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรูสูงกว่า หลังจากการทำคอมปาวน์ มีความจำเป็นต้องทำให้พลาสติกที่ได้อยู่ในรูปของเม็ดหรือผงเพื่อให้สามารถป้อนเข้าเครื่องแปรรูปได้ โดยการตัดเส้นพลาสติกที่ไหลออกมาจากหัวตายของเครื่องอัดรีด ซึ่งกระทำได้ 2 วิธี คือการตัดเม็ดแบบเย็น (Cold pelletizing) โดยให้เส้นพลาสติกที่ออกมาจากเครื่องอัดรีดผ่านการหล่อเย็น ก่อนจะถูกป้อนเข้าเครื่องตัดทำเม็ด ดังรูปที่ 2.8 เม็ดพลาสติกที่ได้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเล็กและการตัดเม็ดแบบร้อน (Hot pelletizing) ทำโดยการตีใบมีดตัดที่บริเวณหัวตาย พลาสติกที่ออกมาจากหัวตายจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆทันที แล้วถูกทำให้เย็นโดยน้ำหล่อเย็นหรือลมเย็น รูปทรงของเม็ดพลาสติกที่ได้จะไม่มีรูปทรง

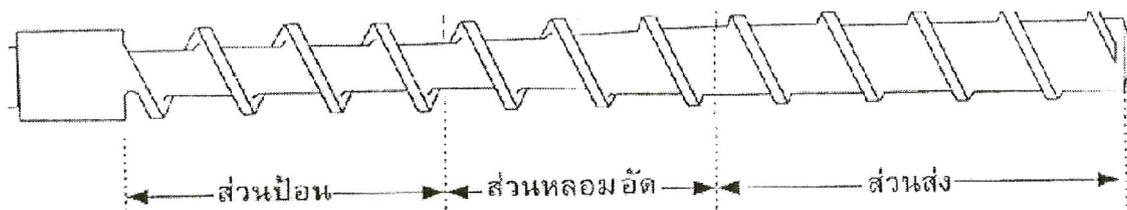


รูปที่ 2.8 วิธีการคอมปาวน์และการตัดเม็ดพลาสติกแบบเย็น

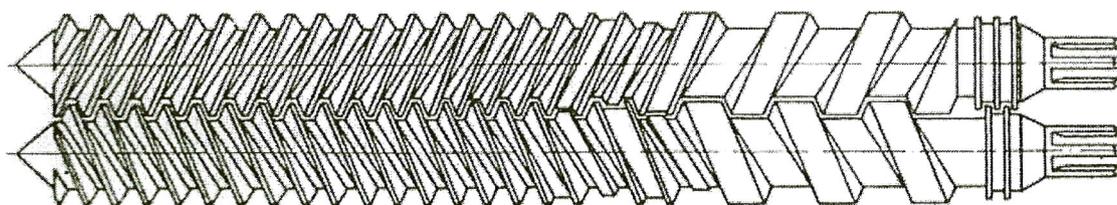
2.3.3 เครื่องอัดรีด (Extruder)

เครื่องอัดรีดที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกมีหลายชนิด ซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ การใช้งานแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง เครื่องอัดรีดที่ทำงานในลักษณะต่อเนื่องจะเป็นเครื่องอัดรีดแบบที่มีสกรู ส่วนเครื่องอัดรีดที่ทำงานแบบไม่ต่อเนื่องจะเป็นเครื่องที่มีลักษณะที่มีสกรูเลื่อนไปเลื่อนมาในแนวแกนของสกรู หรือเป็นแบบลูกสูบ สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้เครื่องอัดรีดแบบทำงานต่อเนื่อง คือ เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) ใช้สำหรับการทำคอมปาวด์และเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) ใช้สำหรับการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มพลาสติก

สำหรับขั้นตอนในการอัดรีดจะเริ่มจากการนำเม็ดพลาสติกเข้าไปในเครื่องอัดรีด จากนั้นจะเกิดการอัดพลาสติกขึ้นภายใน ถ้าเป็นเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวการอัดพลาสติกนั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจาก แกนของสกรูจะมีขนาดค่อย ๆ ใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 2.9 และถ้าเป็นชนิดสกรูคู่การอัดจะเกิดขึ้นได้โดยการเพิ่มจำนวนของเกลียวที่อยู่รอบ ๆ สกรู ดังรูปที่ 2.10 ระหว่างที่พลาสติกถูกอัดนั้น ก็จะเริ่มหลอมละลาย และถูกดันส่งไปยังหน้าต่อไป และจะเริ่มผสมกับสารผสมต่าง ๆ เป็นเนื้อเดียวกัน รวมทั้งมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิของพลาสติกเหลวด้วย และถูกส่งไปยังหัวตายเพื่อทำการขึ้นรูปต่อไป (บรรเลง ศรีนิล, 2540)



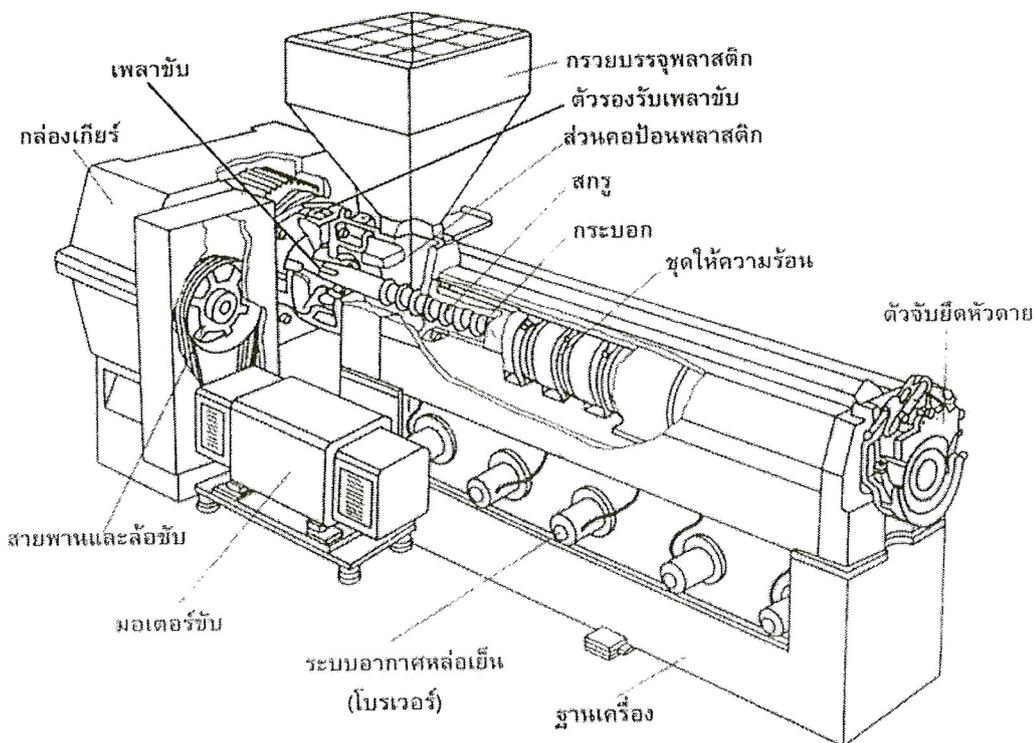
รูปที่ 2.9 สกรูเดี่ยว (Single screw) (บรรเลง ศรีนิล, 2540)



รูปที่ 2.10 สกรูคู่ (Twin screw) พร้อมฟันเพิ่มเติมสำหรับการอัด (บรรเลง ศรีนิล, 2540)

2.3.3.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)

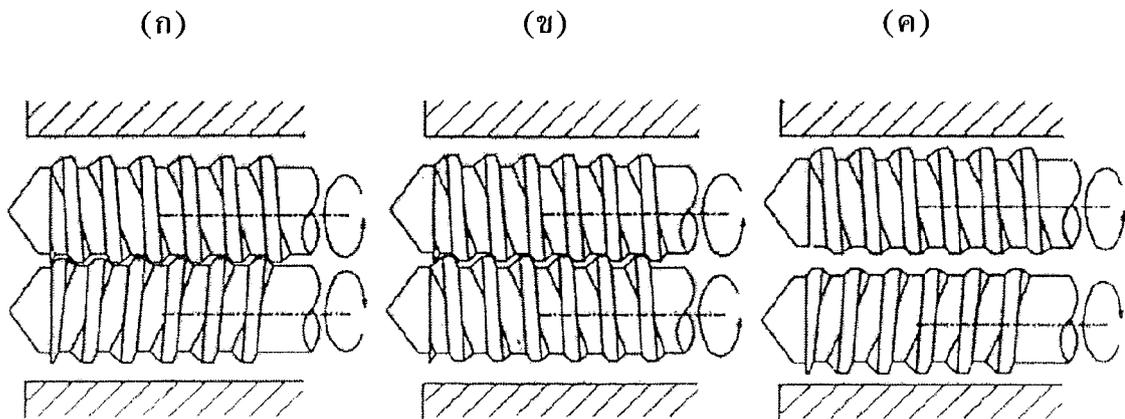
สกรูของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว จะมีส่วนต่าง ๆ 3 ส่วน คือ ส่วนป้อน (Feed zone) ส่วนหลอมอัด (Compression zone) และส่วนส่งพลาสติกหลอม (Metering zone) แสดงดังรูป 2.9 ส่วนป้อนของสกรูเป็นส่วนที่มีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเกลียวในช่วงแรกซึ่งมีระยะสั้น ๆ มีหน้าที่หลักคือการดึงเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมลงในกระบอกของเครื่องอัดรีด เริ่มให้ความร้อนแก่พลาสติก และทำให้เกิดการผสมของพลาสติกและสารผสมต่างๆ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรู สำหรับส่วนหลอมอัด ความลึกของร่องเกลียวจะค่อย ๆ ลดลง เพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอม และทำให้ความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลง จึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานเนื่องจากการหมุนของสกรูในช่วงนี้จะสูงมาก ทำให้พลาสติกหลอมและผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอุณหภูมิของพลาสติกหลอมในช่วงนี้จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูป ค่าอัตราส่วนระหว่างความลึกของร่องสกรูในส่วนป้อนกับส่วนหลอมอัดเรียกว่า อัตราส่วนการอัด (Compression ratio, CR) ของสกรู สำหรับสกรูเดี่ยวของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวนี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 2:1 ถึง 6:1 ส่วนสุดท้ายของสกรูคือส่วนส่งพลาสติกหลอม ลักษณะของสกรูจะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่ แต่มีความลึกน้อยกว่าในส่วนป้อน พลาสติกหลอมในส่วนนี้จะมีความดันเพิ่มขึ้น และมีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ และจะเสถียรอยู่ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ลักษณะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว แสดงดังรูปที่ 2.11 (เจริญ นาคะสรรค์, 2542)



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) (เจริญ นาคะสรรค์, 2542)

2.3.3.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)

เป็นเครื่องอัดรีดที่มีสกรูสองตัวอยู่ในกระบอกรเดียวกัน การแบ่งเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่จะแบ่งตามทิศทางการหมุน และระดับของการประกบกันของสกรู (Intermeshing) ซึ่งหมายถึงการหมุนของสกรูในลักษณะที่สันเกลียวของสกรูตัวหนึ่งแทรกอยู่ในร่องเกลียวของสกรูอีกตัวหนึ่ง ทิศทางการหมุนของสกรูแบ่งได้สองแบบคือ แบบหมุนในทิศตรงข้ามกัน (Counter-rotating) และแบบหมุนในทิศทางเดียวกัน ส่วนระดับของการประกบกันของสกรู แบ่งออกเป็น การประกบแบบเต็ม (Fully intermeshing) การประกบกันบางส่วน (Partially intermeshing) และแบบไม่ประกบกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (ก) ชนิดหมุนสวนทางกันและมีการประกบกันของเกลียว (ข) ชนิดหมุนทิศทางเดียวกันมีการประกบกันของเกลียว (ค) ชนิดหมุนสวนทางกันและไม่มีการประกบกันของเกลียว (เจริญ นาคะสรรค์, 2542)

สกรูแบบชนิดหมุนสวนทางกัน จะทำให้วัสดุถูกดันให้เข้าสู่ศูนย์กลางของการหมุน ทำให้เกิดการสะสมวัสดุระหว่างสกรูทั้งสอง ในขณะที่หมุนจะมีวัสดุจำนวนหนึ่งไหลผ่านช่องว่างระหว่างสกรูทั้งสองได้ แต่ก็จะมีส่วนหนึ่งถูกกักเอาไว้เนื่องจากการประกบกันของเกลียว การปรับระดับของการประกบกันของเกลียว จะเป็นตัวกำหนดระดับความเค้นของวัสดุ คือถ้าสกรูใกล้กันมากวัสดุก็จะมีค่าความเค้นสูงมาก สำหรับสกรูแบบชนิดหมุนทิศเดียวกัน สกรูจะหมุนให้วัสดุเคลื่อนที่จากสกรูตัวแรกแล้วส่งผ่านไปยังสกรูตัวที่สอง โดยไม่มีการสะสมของวัสดุระหว่างสกรูทั้งสอง ทำให้วัสดุไหลเป็นรูปเลข 8 ตลอดความยาวของกระบอก ข้อดีของการไหลในสกรูชนิดนี้ คือพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีดจะมีความเค้นใกล้เคียงกัน และควบคุมอุณหภูมิของพอลิเมอร์หลอมได้ดี และควบคุมการกระจายตัวของเวลาที่วัสดุอยู่ภายในเครื่องอัดรีด (Residence time distribution) ได้ดีกว่าสกรูแบบอื่น ๆ

เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ มักจะนำไปใช้ในการแปรรูปพอลิเมอร์ที่แปรรูปยาก เช่น พอลิเมอร์ที่มีการไหลยากขณะหลอม หรือเสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง และกระบวนการแปรรูปแบบพิเศษชนิดต่าง ๆ เช่น การผสมหรือการทำคอมพาวนด์พลาสติกกับสารเติมแต่งอื่น ๆ

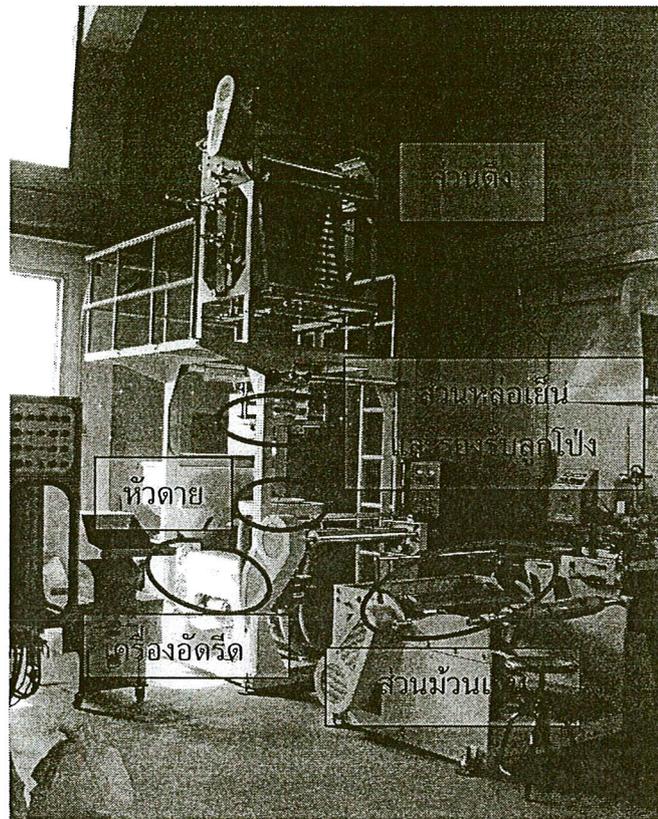
เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่จะมีสมรรถนะเหนือกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ดังนี้ ให้ผลผลิตสูงกว่าที่อัตราของการหมุนสกรูที่เท่ากัน สามารถปรับปรุงลักษณะการส่งพลาสติกหลอมเข้าสู่ตาย ได้หลายแบบ สามารถลดการเกิดความร้อนเนื่องจากการไหลหนืดได้ สามารถใช้กับพอลิเมอร์ที่แปรรูปยากและมีความยุ่งยากในการป้อนเข้าเครื่อง และใช้พลังงานในการเดินเครื่องน้อยกว่า

2.3.4 กระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown film processes)

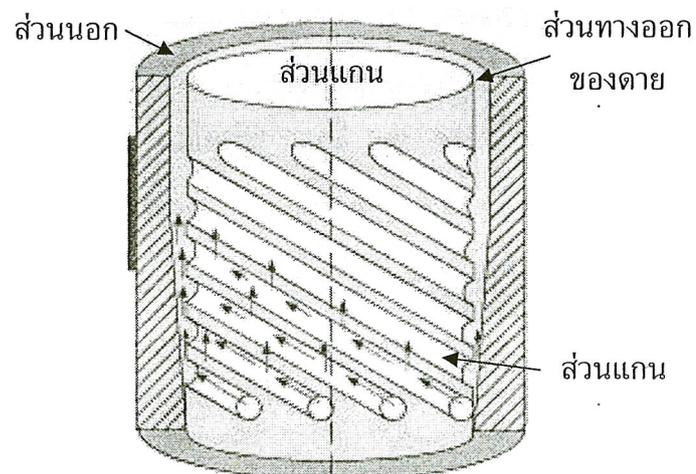
เป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกแบบต่อเนื่อง โดยขั้นตอนแรกจะทำการหลอมพลาสติก โดยผ่านการเครื่องอัดรีด (Extruder) จากนั้นพลาสติกที่หลอมจะไหลออกทางหัวตาย (Die unit) ซึ่งบริเวณนี้จะมีการใช้ลมเป่า ทำให้พลาสติกขยายออกในแนวรัศมีและจะถูกทำให้เย็นด้วยลมเป่าหรืออากาศที่อยู่ภายนอกพลาสติกนั้น และฟิล์มพลาสติกที่ผลิตได้จะถูกดึงขึ้นไปในดิ่งโดยใช้ลูกกลิ้งสองตัวที่อยู่ด้านบนของเครื่องอัดรีด และถูกม้วนเก็บด้วยเครื่องม้วนฟิล์ม (Winder)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดชนิดเป่ามี 5 ส่วน คือ เครื่องอัดรีด (Extruder) หัวตาย (Die unit) ส่วนหล่อเย็นและรองรับลูกโป่ง (Cooling and calibration unit) ส่วนดึง (Haul-off unit) และส่วนม้วนเก็บ (Winder) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนหัวตายที่ใช้ในการเป่าฟิล์มเป็นตายแบบวงแหวนสองชั้น (Annular die) ซึ่งประกอบด้วยส่วนนอกของตาย (Outer die body) และส่วนแกน (Die mandrel) สำหรับการออกแบบและสร้างหัวตายในปัจจุบันจะใช้ตายแบบไหลเวียน (Spiral mandrel die) แสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งมีการออกแบบให้ส่วนแกน (Mandrel) กับตายส่วนนอก ไม่ขัดขวางเส้นทางการไหลของพลาสติกหลอม มีการเชาะร่อง (Manifold) จำนวนมาก ให้เป็นแนววนรอบ ๆ แกนจากจุดพลาสติกหลอมเข้า จนถึงจุดพลาสติกไหลออก ความลึกของร่องจะลดลงเรื่อยๆ จากทางเข้าถึงทางออกซึ่งมีร่องตื้นมากที่สุด การไหลเวียนที่เกิดขึ้นจะทำให้พลาสติกมีเวลานานพอที่จะเกิดการหลอมในแต่ละร่องทำให้เกิดการเชื่อมตัวกันได้สนิทจึงทำให้พลาสติกฟิล์มที่ได้ไม่มีปัญหาเรื่องจุดอ่อนต่อสมบัติเชิงกล นอกจากนี้มีการออกแบบให้ช่องว่างระหว่างแกนกับส่วนนอกของตายกว้างขึ้นในแนวของการไหลของพลาสติก เพื่อให้พลาสติกมีอัตราการเนียนคงที่ และช่วยให้เป่าฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ (เจริญ นาคะสรรค์, 2546)

สมบัติของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีการเป่า คือ มีความแข็งแรงต่อการฉีกขาด ทั้งในทิศทางเครื่องจักรและทิศทางขวาง ความเงาของผิว การจัดเรียงตัวและเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกที่มาก สำหรับตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสมบัติเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิในการหลอมเหลว ความหนาของฟิล์ม อัตราส่วนการดึง เป็นต้น (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2545)



รูปที่ 2.13 แสดงอุปกรณ์ของเครื่องอัดรีดชนิดเป่า (Blow film extruder)



รูปที่ 2.14 ดายไหลเวียน (Spiral mandrel die) (เจริญ นาคะสรรค์, 2546)

ฟิล์มที่ได้จากการเป่า มีการนำไปประยุกต์ใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ฟิล์มหนา เป็นฟิล์มที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานหนัก ฟิล์มชนิดนี้จะมีความหนาอยู่ในช่วง 0.1-0.2 มิลลิเมตร ฟิล์มกลุ่มนี้มักประยุกต์ใช้ในงานเกษตรกรรม การก่อสร้าง และใช้ในอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ เช่น การปูพื้นก่อนเทคอนกรีต ใช้คลุมโรงนา ก่อนที่จะรมควันฆ่าแมลง สำหรับฟิล์มชนิดบาง ที่มีความหนาน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานสำหรับการทำบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ทั้งในการห่อ เคลือบผิวในกระป๋อง ทำถุงสำหรับใส่สิ่งของแบบต่างๆ และทำฟิล์มสำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์

2.4 พอลิเอทิลีน (Polyethylene)

การพัฒนาและการใช้วัสดุทางพอลิเมอร์ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วภายหลังการเกิดสงครามโลกครั้งที่สอง โดยเฉพาะการค้นพบตัวเร่งปฏิกิริยาของ Ziegler-Natta ในปี 1950 ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาพอลิเมอร์ ชนิดพอลิเอทิลีน และพอลิโพรไพลีน

พอลิเมอร์สามารถถูกแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 3 แบบ คือแบบการเติม (Addition polymer) แบบการควบแน่น (Condensation polymer) และแบบพิเศษ (Special polymer) โดยที่พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยพันธะ C-C เป็นหลักจะเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบการเติม และสำหรับพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอน (Hetero atom) เช่น O, N, S, Si ในสายของโซ่หลัก (Backbone Chain) จะเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น และสำหรับพอลิเมอร์ ชนิดพิเศษจะเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อให้มีคุณสมบัติบางประการที่เด่นชัด เช่น คุณสมบัติการทนความร้อน การทนต่อการเผาไหม้ คุณสมบัติการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติการทนแรงกระแทก

พอลิเมอร์แบบการเติมจะถูกผลิตมากในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากง่ายต่อกระบวนการผลิต โมโนเมอร์ที่สำคัญสำหรับพอลิเมอร์ชนิดนี้คือ เอทิลีน โพรไพลีน และบิวเตไดอีน โมโนเมอร์เหล่านี้จะมีราคาที่ไม่สูงมากนักในระบบของปิโตรเลียมหรือก๊าซธรรมชาติ และสามารถถูกผลิตขึ้นโดยกระบวนการแตกกิ่ง (Cracking) หรือรีไฟนิง (Refining) ของน้ำมันดิบ พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิสไตรีน คือ 4 พอลิเมอร์หลักที่ได้จากการทำพอลิเมอร์ไรเซชันแบบการเติมของโมโนเมอร์เหล่านี้

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพอลิเมอร์จำพวกเทอร์โมพลาสติกซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ เอทิลีน ซึ่งพอลิเอทิลีนสองชนิดหลักที่ผลิตได้ในช่วงแรกคือพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) ซึ่งถูกผลิตขึ้นโดยการทำพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม โมโนเมอร์ที่ใช้ในการผลิต คือ เอทิลีนและถูกผลิตภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่สูง เป็นพอลิเมอร์แบบอสัณฐานและมีกิ่งก้านของพอลิเมอร์ค่อนข้างมาก มีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 107 - 120°C. และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ซึ่งถูกผลิตภายใต้สภาวะความดันต่ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ziegler-Natta หรือออกไซด์ของโลหะ พอลิเมอร์ชนิดนี้

จะมีกิ่งก้านของสายพอลิเมอร์น้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ(LDPE) และมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 130-138°C และต่อมาได้มีการผลิตพอลิเอทิลีนอีกชนิดขึ้นมา คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE) พอลิเมอร์ชนิดใหม่นี้เป็นพอลิเอทิลีนเชิงเส้น เนื่องจากมีจำนวนของกิ่งก้านของสายพอลิเมอร์ที่แน่นอน ซึ่งความเป็นเชิงเส้นของพอลิเมอร์จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของพอลิเมอร์นั้น ๆ และจำนวนกิ่งก้านของสายพอลิเมอร์ก็จะบ่งบอกถึงความเหนียวของพอลิเมอร์ด้วย

พอลิเอทิลีนจะมีลักษณะโครงสร้างกิ่งอสังฐานและกิ่งผลึก ความเป็นเชิงเส้นของสายโซ่พอลิเมอร์จะสามารถบอกถึงประสิทธิภาพการเรียงตัวและเกาะตัวกันของโมเลกุลพอลิเมอร์และสามารถกำหนดคุณลักษณะการเป็นผลึกของพอลิเมอร์ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์มีจำนวนกิ่งก้านของสายพอลิเมอร์ที่มากจะทำให้ไปลดระดับของความเป็นผลึกของพอลิเมอร์นั้น ๆ ทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนไป ในทางตรงกันข้ามการลดลงของกิ่งโซ่สาขาจะทำให้ระดับความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่น ความแข็งแรง การทนต่อแรงดึง การทนต่อความร้อน และสารเคมีของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นแต่จะไปลดความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซและความสามารถทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์นั้นได้ ตารางที่ 2.3 จะแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอลิเอทิลีนทั้งสามชนิดที่กล่าวมาข้างต้น

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ

ชนิดกระบวนการผลิต	โครงสร้าง	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ความเป็นผลึก
LDPE ความดันสูง	มีกิ่งก้านสาขา	0.912 - 0.94	50%
LLDPE ความดันต่ำ	กิ่งก้านสาขาน้อย	0.92 - 0.94	50%
HDPE ความดันต่ำ	เป็นเส้นตรง	0.958	90%

(Chanda et al., 1992)

ลักษณะเด่นที่ดีของพอลิเอทิลีนคือ มีความสามารถที่ตีเชื่อมในการต้านทานสารเคมีและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดและเบส ราคาต้นทุนที่ต่ำ และง่ายต่อการผลิต ทำให้มีการนำพอลิเอทิลีนไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น นำไปผลิตเป็นฉนวนหุ้มสายไฟ วัสดุที่ต้องการความเหนียวและความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ วัสดุที่ต้องการความใส วัสดุที่ใช้ในการผลิตหีบห่อที่ต้องการคุณสมบัติ

ทางการซึมผ่านของก๊าซ และการประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรกรรม สำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) นั้นส่วนมากจะถูกนำไปใช้ทำวัสดุบรรจุหีบห่อและแผ่นฟิล์มบาง ๆ สำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) จะถูกนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกการขึ้นรูปด้วยการเป่า เช่น ขวดพลาสติก ถังน้ำ เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำนี้เป็นพอลิโอเลฟินส์ที่มีระดับการเป็นผลึกต่ำ ผลิตโดยใช้เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ (Free-radical bulk polymerization) โดยใช้ออกซิเจนหรือเพอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา โดยทำปฏิกิริยาที่สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง คือ ความดัน 1000-3000 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 250-300 องศาเซลเซียส ที่สภาวะนี้จะทำให้เกิดโซ่ (Side chains branching) จำนวนมาก บนโมเลกุลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีทั้งโซ่สั้น และโซ่ยาว ทำให้โมเลกุลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ไม่สามารถจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบได้มากนัก ทำให้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีสมบัติดังนี้ คือ มีองศาของการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) ต่ำ ประมาณ 50-70% มีอุณหภูมิการหลอมต่ำ (110-115 °C) และมีความหนาแน่นต่ำ ประมาณ 0.91-0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ลักษณะเฉพาะของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ คือ ชิ้นงานที่ผลิตได้ค่อนข้างนิ่ม และค่อนข้างจะ ทึบแสง ถ้าค่อย ๆ เฝายจะไม่มีควัน ให้เปลวไฟสีเหลือง มีกลิ่นไขมัน ทนต่อสารเคมีและน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่จะไม่ทนต่อสารเคมีที่สภาวะความเค้นสูง มีสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีเยี่ยม ประมาณ 3 ใน 4 ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ที่ผลิตได้จะถูกใช้ในการผลิตเป็นแผ่นฟิล์ม และแผ่นพลาสติก ซึ่งใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ ส่วนที่เหลือจะใช้เป็นฉนวนหุ้มสายไฟ ใช้ในการเคลือบผิว (เจริญ นาคะสรรค์, 2546)

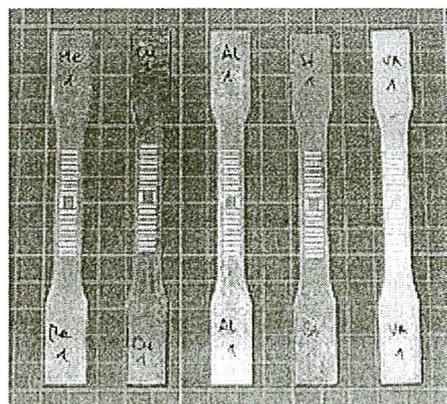
2.5 วิธีการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์ม

2.5.1 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว (Elongation) ของแผ่นฟิล์ม

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบความอ่อนตัวของวัสดุ ซึ่งสามารถใช้ทดสอบได้ทั้งชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นเหล็ก ยาง และพลาสติก และก่อนที่จะนำตัวอย่างไปทดสอบจะต้องมีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง โดยที่ชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นเหล็กจะต้องทำการตัดชิ้นงานให้เป็นรูปกระดูกสุนัข (Dog bone) และสำหรับยางและพลาสติกชิ้นงานตัวอย่างจะถูกเตรียมเป็นรูปของ Dumbbell ดังรูปที่ 2.15 หรือเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่จะถูกนำไปทดสอบ (ก) เหล็ก (ข) พลาสติก

ตัวอย่างที่ถูกเตรียมจะถูกนำไปทดสอบแรงดึงกับเครื่องทดสอบแรงดึงซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM (American Society for Testing and Materials) โดยที่ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกยึดที่ตำแหน่งของหัวและท้ายของชิ้นงานตัวอย่าง และเครื่องทดสอบการดึงจะทำการดึงชิ้นงานตัวอย่างในทิศแนวตั้ง เป็นผลทำให้ชิ้นงานตัวอย่างยืดออก และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟของความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.16

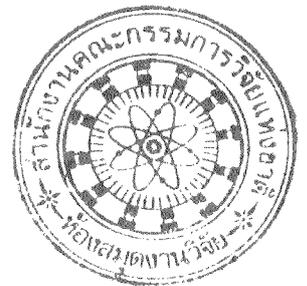
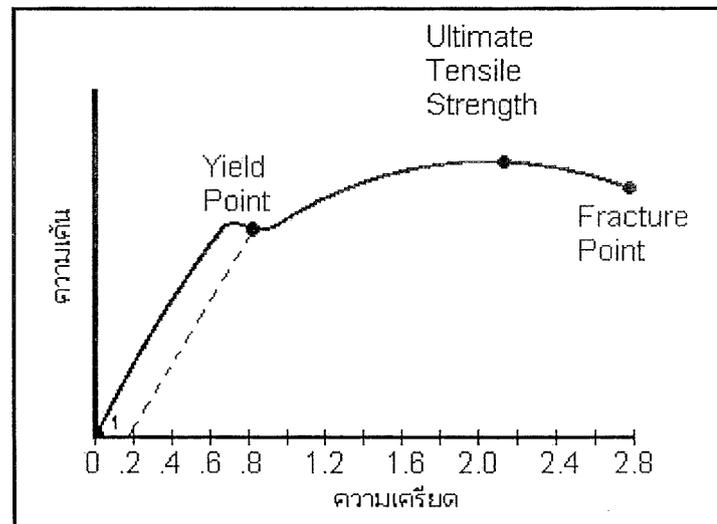
ความเค้น (Stress, σ) คือแรงที่ใช้ในการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (F) ต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (A_0) หรือเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น แรงดึงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานได้ตั้งสมการที่ (1)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

ความเครียด (Strain, ϵ) คือความยาวของชิ้นงานตัวอย่างที่เปลี่ยนไป (L) เทียบความยาวเดิม (L_0) หรือเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความยาวของชิ้นงานได้ตั้งสมการที่ (2)

$$\epsilon = \frac{L}{L_0} \quad (2)$$

ค้ำยั้งโมดูลัส (Young's Modules) คือ ค่าความชันของกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าคงที่เฉพาะเจาะจงของวัสดุแต่ละชนิด



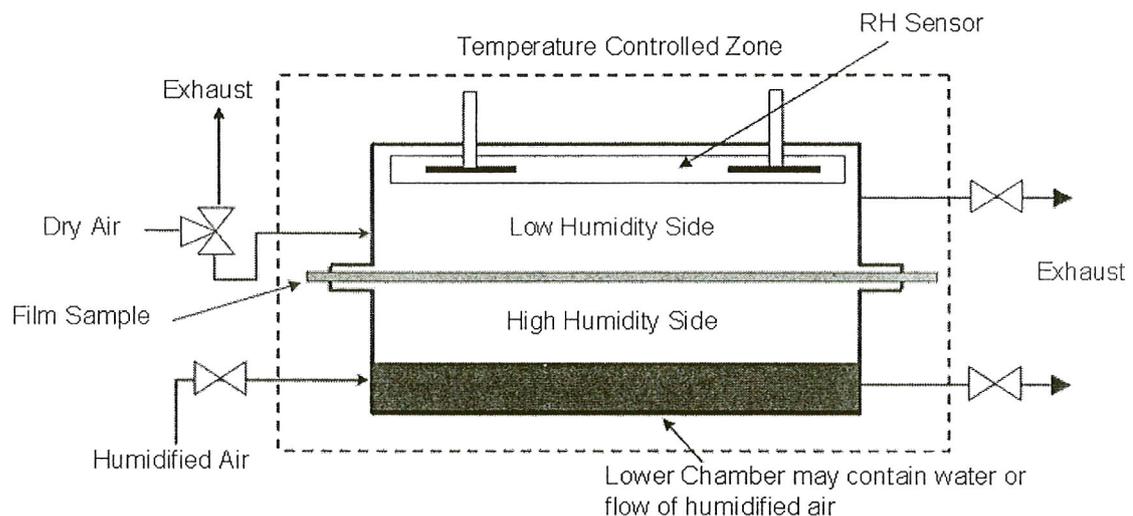
รูปที่ 2.16 กราฟการทดสอบแรงดึงระหว่างความเค้นกับความเครียด

จุด Ultimate Tensile Strength คือจุดสูงสุดของค่าความเค้นในกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียด Percent Elongation คือ เปอร์เซ็นต์ความยาวที่เปลี่ยนไปเทียบกับความยาวเดิมเมื่อชิ้นงานตัวอย่างถูกดึง

2.5.2 ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate) และ ความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen transmission rate)

ความสามารถในการซึมของไอน้ำและออกซิเจนผ่านแผ่นฟิล์ม คือ การวัดความสามารถ การซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์มภายใต้สภาวะที่ถูกตั้งขึ้นตามมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งจะวัดเป็นค่า ของปริมาตรหรือน้ำหนักของก๊าซที่ผ่านแผ่นฟิล์มต่อพื้นที่หน้าตัดต่อเวลาและต่อความดันที่ใช้ใน การวัด

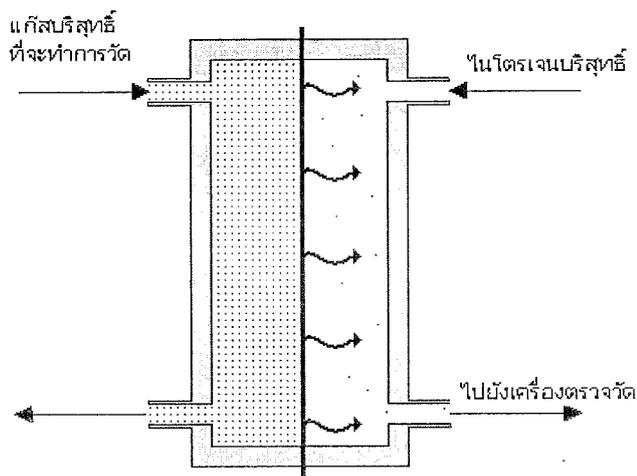
ลักษณะการทำงานของเครื่องมือวัดความสามารถการซึมผ่านของไอน้ำ แผ่นฟิล์มที่จะทำ การวัดจะถูกวางคั่นระหว่างห้อง (Chamber) สองห้อง (ดูรูปที่ 2.17) ห้องด้านล่างแผ่นฟิล์มจะมี ความชื้นที่สูง และมีการบรรจุน้ำไว้ ห้องด้านบนจะเป็นห้องที่มีความชื้นต่ำ จากนั้นทำการปรับตั้ง เครื่องมือทดสอบให้อยู่ในสภาวะตามมาตรฐานการทดสอบ ความชื้นจากห้องด้านล่างจะระเหย และแพร่ผ่านแผ่นฟิล์ม ทำให้ปริมาณความชื้นภายในห้องด้านบนมีความชื้นที่เพิ่มขึ้น จากนั้นทำ การวัดความชื้นที่เพิ่มขึ้นในห้องด้านบน



รูปที่ 2.17 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ของการวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ASTM E398)

ลักษณะการทำงานของเครื่องมือวัดความสามารถการซึมผ่านของออกซิเจน อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้วัดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ห้อง (ดังรูปที่ 2.18) การทดสอบจะเริ่มต้นโดยนำแผ่น ฟิล์มที่จะทำการทดสอบมาคั่นตรงกลางระหว่างสองห้อง และทำให้ห้องที่มีความชื้นน้อย กว่า 1% จากนั้นห้องบริเวณด้านหนึ่งจะทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้ามา ในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะ ทำการจ่ายก๊าซออกซิเจนซึ่งจะสามารถซึมผ่านชั้นของแผ่นฟิล์มพลาสติกไปยังฝั่งของก๊าซ

ไนโตรเจนได้ และจากนั้น ไนโตรเจนก็จะเป็นตัวนำพา (Carrier gas) ก๊าซออกซิเจนไปยังเครื่องตรวจวัดเพื่อทำการวัดปริมาณของออกซิเจนที่สามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มมาได้



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะการวัดความสามารถการซึมผ่านของออกซิเจน (ASTM D3985)

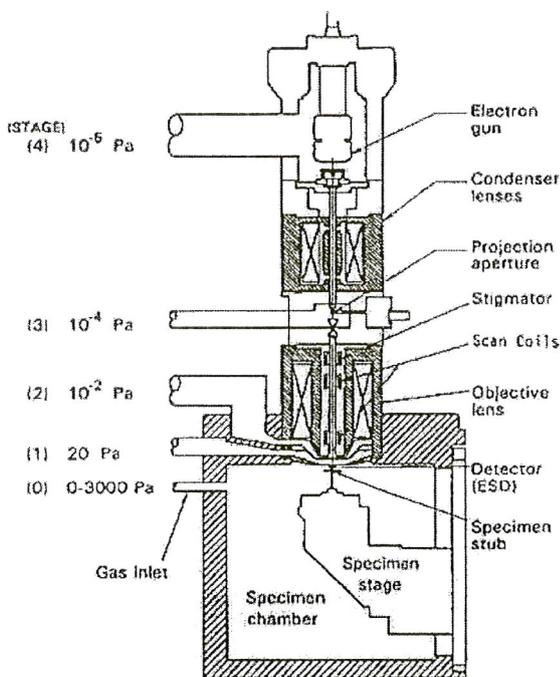
2.5.3 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาขีดความสามารถที่มีจำกัดในกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา และเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับศึกษาตัวอย่างทางชีววิทยา ทางวัสดุศาสตร์ และทางการแพทย์ ช่วยให้สามารถเห็นภาพ 3 มิติ และให้รายละเอียดของพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างได้

แผ่นฟิล์มที่ได้จะทำการส่องดูโครงสร้างโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ทำให้เห็นพื้นผิวของแผ่นฟิล์มได้ชัดเจน เทคนิคนี้ต้องใช้ลำอิเล็กตรอนแทนแสง ซึ่งจะทำให้ได้กำลังขยายได้มากกว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาเป็นล้านเท่า รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องมือมีส่วนประกอบอยู่ในห้องสุญญากาศ

การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เริ่มจากการผ่านลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่มีขนาดแคบไปบนผิวหน้าของตัวอย่าง แล้ววัดอิเล็กตรอนทุติยภูมิหรืออิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับมา เทียบกับตำแหน่งของอิเล็กตรอนปฐมภูมิ ตำแหน่งของตัวอย่างจะทำให้เกิดคอนทราสต์ กล่าวคือส่วนของผิวหน้าที่หันไปทางตัวตรวจวัดจะสว่างกว่าส่วนของผิวหน้าซึ่งอยู่ตรงข้ามกับตัวตรวจวัด อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ออกมาจากส่วนของผิวหน้ามักจะมีค่าพลังงานต่ำ

ประมาณ 5–50 eV อิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับมาจากส่วนที่สึกจากผิวหน้าจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะผิวหน้าและลักษณะของตัวอย่าง เนื่องจากธาตุหนักจะทำให้เกิดการกระเจิงได้ดีกว่า จึงปรากฏเป็นภาพที่สว่างกว่า



รูปที่ 2.19 แสดงองค์ประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Miele et al., 1994)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตแผ่นฟิล์มโดยตรงและงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศตัดแปลง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตแผ่นฟิล์ม

Hale et al. (2001) ได้ทำการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ของรูปร่างของอนุภาคที่เติมลงไปในฟิล์มกับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR) ผ่านฟิล์มที่มีรูพรุน งานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนเพื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ การผลิตแผ่นฟิล์มทำโดยผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีค่า MI 2.3 กรัม/10 นาที กับแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดของอนุภาค 1 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปขึ้นรูปโดยวิธีขึ้นรูปผ่านที่ตาย (T-Die) และทำการดึงฟิล์มขณะทำการขึ้นรูปทั้งสองแนวคือแนวตามยาว และตามขวางของแนวเครื่องจักร และทำการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้นมาโดยสมมติว่าการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของ ไอน้ำมีพฤติกรรมแบบ Fickian โดยแต่

ละโมเลกุลเคลื่อนที่แบบสุ่มและเกิดการชนกันกับโมเลกุลอื่น แต่สำหรับการชนกับผนังของรูพรุน จะไม่ทำให้เกิดการรบกวนกระบวนการแพร่ และ Mean free path จะมีค่าน้อยกว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุน จากผลการทดลองอัตราการซึมผ่านของไอความชื้นจะแปรผันตาม การเพิ่มขนาดรูพรุน และการเพิ่มจำนวนของรูพรุน

Stroeks (2001) ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่าน พิล์มที่มีรูพรุนและความหนาของชั้นอากาศในอุปกรณ์ที่ทำการทดลองหาค่าอัตราการซึมผ่าน โดย พิล์มที่ใช้ในการทดลองนี้ผลิตจากพอลิบิวทิลีน เทเลฟทาเลต (Polybutylene Terephthalate) และ โพรพิลีนออกไซด์ (Propyleneoxide) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความสามารถการซึมผ่าน ของไอน้ำไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มอย่างเดี่ยวแต่ยังขึ้นอยู่กับอากาศที่อยู่รอบ ๆ ของ แผ่นฟิล์มนั้นด้วย โดยที่อัตราการซึมผ่านของไอความชื้นผ่านฟิล์มที่มีรูพรุนจะแปรผันตรงกับ ความหนาของชั้นอากาศภายในอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง

Sa-nguanruksa et al. (2001) และคณะได้ทำการทดลองการผลิตแผ่นฟิล์มที่มีรูพรุน จากพอลิเอทิลีนผสมกับแป้งมันสำปะหลัง และทำการละลาย (Template-leaching) แป้งมันออก จากเนื้อพอลิเมอร์ ทำให้แผ่นพอลิเมอร์เกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็ก วัสดุดิบหลักที่ใช้ได้แก่พอลิเอ ทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ค่า MI 5 กรัม/10 นาที และแป้งมันสำปะหลังที่มีขนาดของอนุภาค 14.8 ไมโครเมตร จากนั้นทำการผสมแป้งมันที่อัตราส่วนต่างๆ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 % โดย น้ำหนัก การผสมคอมปาวน์ทำโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ จากนั้นนำไปขึ้นรูปโดยวิธีขึ้นรูปผ่าน ที่ตาย (T-Die) จากนั้นฟิล์มที่ได้ ไปทำการละลายอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดและ เอนไซม์ จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งผลการทดลองที่ได้คือ โครงสร้างของแผ่นฟิล์มที่ได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของอนุภาคแป้งมันสำปะหลังที่ถูกละลายออกไป และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของกรดที่ใช้จะมีผลทำให้แป้งมันสำปะหลังถูกละลายมากขึ้น และ ยิ่งเพิ่มจำนวนของแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น จำนวนของรูพรุนก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกันและเป็น ผลทำให้สมบัติความทนแรงดึง (Tensile Strength) และการยืดตัว (Elongation) ของแผ่นฟิล์ม จะลดลง

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบการหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง

งานวิจัยประเภทนี้จะเป็นการนำผลิตผลไปหีบห่อภายใต้สภาวะอากาศดัดแปลง และทำ การปรับปรุงคุณภาพของการหีบห่อหรือมีการผสมสารเคมีอื่น ๆ ลงไปในการหีบห่อและสังเกตผล การทดลองที่เกิดขึ้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Ki Myong Kim et al. (2004) ได้ทำการทดลองหาอายุการเก็บรักษาเห็ดที่ถูกบรรจุหีบ ห่อไว้ในสภาวะอากาศดัดแปลง โดยพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ทำแผ่นฟิล์มมีสามชนิดคือพอลิไวนิลคลอ ไรด์ (PVC) พอลิเอเลฟินส์ PD-941 และพอลิเอเลฟินส์ PD-961 โดยที่เห็ดที่ทำการทดลองจะ มีทั้งที่ถูกเคลือบและไม่เคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) และไคโตซาน (Chitosan)

จากนั้นนำเห็ดน้ำหนัก 150 กรัม บรรจุลงในถุงหีบห่อทั้งสามชนิด และเก็บไว้ในอุณหภูมิ 12°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80% เป็นเวลา 6 วันจากนั้นทำการสังเกตน้ำหนักและสภาพภายนอกของเห็ดที่เปลี่ยนไป ผลการทดลองที่ได้พบว่าพอลิโอะเลฟินส์ PD-961 มีน้ำหนักของเห็ดที่หายไปน้อยที่สุด เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดนี้เมื่อนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มจะมีค่าการซึมผ่านของก๊าซน้อยที่สุด และเห็ดที่มีการเคลือบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) และไคโตซาน (Chitosan) จะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าไม่ได้เคลือบสารทั้งสอง

Hyun Kim et al. (2006) ได้ทำการทดลองผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE, FB3000) มีค่า MI 3.0 กรัม/10 นาที พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE, FT810) มีค่า MI 2.1 กรัม/10 นาที พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE, 3300) มีค่า MI 0.8 กรัม/10 นาที โดยวัตถุดิบทั้งสามชนิด บริษัท SK Co., ประเทศเกาหลีใต้เป็นผู้จัดจำหน่าย และทำการผสมกับซีโอไลต์ (Zeolite) เพื่อผลิตแผ่นฟิล์มที่มีรูพรุนโดยวิธีขึ้นรูปผ่านที่ตาย (T-Die) จากนั้นฟิล์มที่ได้จะถูกนำไปทำการเคลือบและไม่เคลือบด้วย Stearic Acid และจากนั้นนำฟิล์มทั้งสองกลุ่มไปทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์ม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Stearic Acid สามารถไปช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงสร้างพอลิเมอร์ ทำให้แผ่นฟิล์มนั้นมีค่า Young's Modulus และคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทกมากกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่มีการเคลือบ Stearic Acid

Glahan & Wongbuppa (2005) ได้ทำการทดลอง 2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเก็บฝรั่ง โดยวัดจากอายุของฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว การทดลองแรก ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาบรรจุต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาฝรั่ง ผลปรากฏว่าฝรั่งที่เก็บในถุงพอลิเอทิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และมีอายุการเก็บรักษานาน 20 วัน ส่วนฝรั่งที่เก็บรักษาในถุง Laminate มีอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน การทดลองที่สองศึกษาการเก็บรักษาฝรั่งไว้ในถุงพอลิเอทิลีนที่มีสารดูดซับเอทิลีน ผลปรากฏว่าฝรั่งมีอายุการเก็บรักษานาน 30 วัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะสรุปได้ว่าการเก็บรักษาภายในถุงพอลิเอทิลีนมีความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าถุงแบบ Laminate และการเพิ่มสารดูดซับเอทิลีนเข้าจะช่วยให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้นกว่าเดิม