บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ความหมายของฟิล์มบริโภคได้

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง

2.3 แป้งข้าวโพด

2.4 ฟิล์มย่อยสลายได้ (Biodegradable film)

2.5 พอลิเมอร์จากธรรมชาติ

2.6 พลาสติไซเซอร์จากธรรมชาติ

2.7 กลไกการเกิดฟิล์มและวิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

2.8 องุ่น

2.1 ความหมายของฟิล์มบริโภคได้

ฟิล์มบริโภคได้ (edible film) คือ ชั้นบางของวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพที่เกิดขึ้นได้เอง ถ้าชั้นบางมีความหนาต่ำกว่า 0.3 มิลลิเมตร เรียกว่า ฟิล์ม (film) ถ้ามีความหนามากกว่า 0.3 มิลลิเมตร เรียกว่า แผ่น (sheet) ตัวอย่างฟิล์มบริโภคได้ ดังรูปที่ 1.1 ฟิล์มสามารถนำมาวางบนอาหารหรือแยกชั้นระหว่างองค์ประกอบของอาหารในลักษณะเป็นฟิล์มห่อหุ้ม (McHugh et al., 1996) และสามารถขึ้นรูปเป็นแคปซูล ถุงเพาซ์ (pouch) ไส้ห่อหุ้ม (Krochta, 2002) เพื่อรักษาคุณภาพอาหาร นอกจากนี้ฟิล์มยังใช้ในการหาสมบัติของฟิล์ม เช่น ค่าการป้องกันไอน้ำ ค่าการป้องกันก๊าซ สมบัติทางกล สมบัติการละลาย สมบัติทางแสง และอื่นๆด้วย

สารเคลือบบริโภคได้ (edible film) คือ ฟิล์มที่เกิดบนผิวของอาหารโดยตรงจากการจุ่ม หรือการฉีดพ่นลงบนผลิตภัณฑ์อาหารในรูปสารละลาย (Krochta and De Mulder- Johnston, 1997) ดังนั้นสารเคลือบจึงเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหาร ที่ช่วยป้องกันการเสื่อมเสียให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ยิ่งกว่านั้นสารเคลือบบริโภคสามารถเสริมสมบัติเฉพาะได้โดยการเติมสารต่างๆ เพื่อให้ได้เป็น

วัสดุบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ (active packaging) เสริมสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น สารควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial) (Cuq et al., 2005)

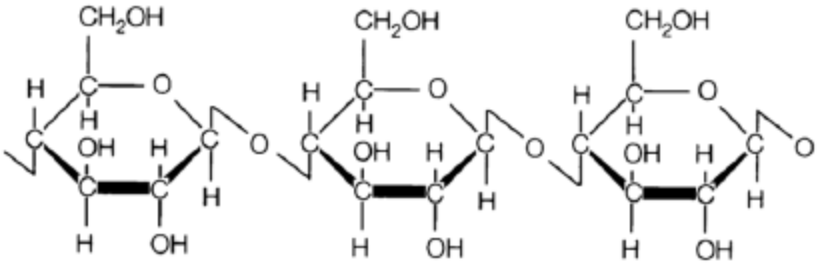
ฟิล์มและสารเคลือบบริโภคได้จะบริโภคได้ หรือจะย่อยสลายได้ขึ้นอยู่กับการใช้สารที่ใช้เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ พอลิเมอร์ชีวภาพ พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) อิมัลซิไฟเออร์ กรด ด่าง เอนไซม์ รวมทั้งสูตรที่ใช้ วิธีการขึ้นรูป และวิธีการดัดแปร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญเกี่ยวกับความหมายของการบริโภคได้ของฟิล์มและสารเคลือบ (Guilbert et al., 1997; Krochta, 2002; Pavlath and Orts,2009) ถ้าพอลิเมอร์ชีวภาพทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นๆในสูตร เช่น สารเชื่อมข้าม (chemical cross-linking หรือ chemical grafting) หรือองค์ประกอบที่ไม่สามารถบริโภคที่ใช้ในสูตรของฟิล์มและสารเคลือบ ก็จะไม่สามารถบริโภคได้ ส่วนฟิล์มและสารเคลือบจะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable films and coatings) ต้องมีสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในขั้นตอนการหมักหรือในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ภาพที่ 2.1 แสดงฟิล์มบริโภคได้มาประยุกต์ใช้กับทุเรียน (กรกนก ศรีอนันต์, 2550)

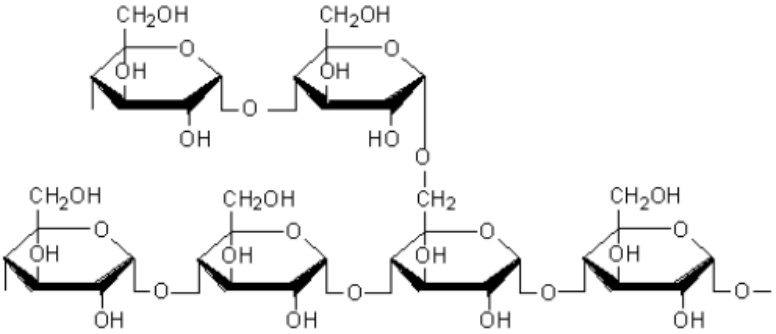
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง

แป้งแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนและเป็น homopolysaccharide ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ซึ่งแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ พอ

ลิเมอร์เชิงเส้น หรือ อะไมโลส (amylose) ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 Da ส่วนใหญ่ประกอบด้วย α -1,4- glucosidic bonds และส่วนน้อยเป็น α -1,6- glucosidic bonds และอาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย (Hizukuri, 1985) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง หรือ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามาก ซึ่งวางตัวในแนวรัศมีอะไมโลส ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส 250-300 หน่วยต่อกันเป็นโซ่ยาวแบบไม่มีกิ่งแต่สายโซ่มีลักษณะขดเป็นเกลียว (helix) ซึ่งแป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน มีสูตรทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมแป้งไว้ตามส่วนต่างๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้นและผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง (starch granule) แป้งส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่างและบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่งและมันสำปะหลัง แป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีโครงสร้างทางเคมีในโมเลกุลแตกต่างกันและเม็ดแป้งจะมีขนาดรูปร่าง และสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วย โดยเฉพาะรูปร่างของเม็ดแป้งที่มาจากพืชต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน แป้ง (starch) ในแง่การผลิตหมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมันและเกลือแร่ในปริมาณที่น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วๆ ไปเม็ดแป้ง (starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า flour เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวเจ้า แต่เมื่อสิ่งเจือปนอื่นๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ เรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช แป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูงจึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของสารเคมีในการทำปฏิกิริยาต่างๆมากมาย แป้งที่มีการนำมาใช้มากที่สุดในโลก คือ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลีและแป้งมันฝรั่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างอะมิโลเพกทิน



ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างอะมิโลเพกทิน

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1.ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1,4	1.มีโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200 – 6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มและทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา: Beynum and Roels ,1985

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30 % ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคู มีประมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 18-24 % ส่วน waxy starch ไม่มีปริมาณอะไมโลส และแป้งจาก amylomaize มีปริมาณอะไมโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 105-106 ดาลตัน โดยอะไมโลสแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสในช่วง ตำแหน่งของอะไมโลสขึ้นอยู่กับสายพันธุ์แป้งซึ่งบางส่วนอยู่ในกลุ่มอะไมโลเพคติน บางส่วนอยู่ในส่วน amorphous และส่วนผลึก crystalline amylose ไม่ละลายน้ำแต่เมื่อเติมน้ำลงไปอะไมโลสจะไปเกาะตัวกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลาย และเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายโซ่ยาวจึงมีโอกาสจับคู่กับอะไมโลสอีกโมเลกุล จนอาจกลายเป็นตาข่ายขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า retrogradation ซึ่งทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะมิโลสและปริมาณไขมันในข้าวโพดพันธุ์ต่างๆ

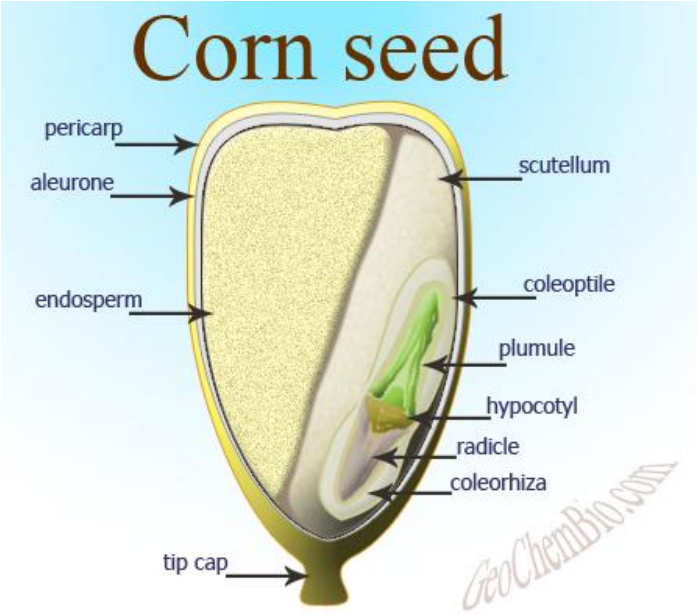
ปริมาณ	**พันธุ์ข้าวโพด**		
	พันธุ์ข้าวเหนียว	**พันธุ์ปกติ**	**พันธุ์อะมิโลเมส**
ปริมาณอะมิโลส (%)	0.2-1.5	27-31	40-47
ปริมาณไขมัน (มิลลิกรัม/กรัมแป้ง)			
กรดไขมันอิสระ	3-13	380-546	581-486
ไลโซฟอสฟอลิพิด (Lysophospholipids)	2-13	184-347	396-486

(ที่มา: Galliard และ Bowler, 1987)

2.3 **แป้งข้าวโพด** (corn starch)

แป้งข้าวโพดจัดได้ว่าเป็นแป้งที่มีมากที่สุดในโลก ผลิตจากข้าวโพด (corn หรือ maize) ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Zea mays L. อยู่ในวงศ์ Gramineae มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกา แล้วกระจายไปยังทวีปแอฟริกา อินเดีย ออสเตรเลีย และประเทศในยุโรปที่อากาศอบอุ่น ข้าวโพดมีหลายพันธุ์ เช่น

หัวแข็ง (dent) หัวบุบ (flint) ปอป (pop) แป้ง (flour) หวาน (sweet) และข้าวเหนียว (waxy) ข้าวโพดมีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 1และตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด (Kerr 1950)

องค์ประกอบ	**ปริมาณ (ร้อยละ)**
ความชื้น	18.5
แป้ง	55.5
โปรตีน	8.2
ไขมัน	3.0
เยื่อใย	2.4
เถ้า	1.5
น้ำตาล	5.1
ส่วนที่เหลือ	5.8

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพด

คุณสมบัติ	**แป้งข้าวโพด**
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	3-26
ปริมาณอะมิโลส (%)	28
ขนาดของอะมิโลส (Degree of polymerization)	800
อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature, °C)	79.18
ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU)	217.13
ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU)	195.21
ความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity, RVU)	145.67
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาทิไนซ์ (Onset temperature, T_o)	49
อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลาทิไนซ์ (Onset temperature, T_o)	67

ที่มา: Ellis และคณะ, 1998)

2.4 **ฟิล์มย่อยสลายได้** (Biodegradable film)

ฟิล์มย่อยสลายได้เป็นวัสดุแผ่นบางที่บริโภคได้นำมาใช้กับอาหารโดยเคลือบผิวของอาหารโดยตรงหรือเตรียมแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของก๊าซ ไอน้ำ ไอระเหย สารละลาย จุลินทรีย์ หรือสารอื่นๆ จากอาหาร ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันโดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ (Gennadios และ Weller, 1990; Gennadios และคณะ, 1993; Koelsch, 1994; Guilbert, 1986; Miller และ Krochta, 1997; Krochta และ Jonhston, 1997) โดยที่มีความสามารถในการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น มีความปลอดภัยและมีความเสถียรภาพ ประโยชน์ที่เห็นได้ชัดเจนของฟิล์มย่อยสลายได้และฟิล์มเคลือบนี้จะนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ๆได้

เช่น ผลิตภัณฑ์ชั้นนอกสำหรับห่อหุ้มอาหาร เป็นผลิตภัณฑ์หลักของการใส่สารเติมแต่งหรือสารอาหารแต่ละชนิดลงไป (Vermeiren และคณะ, 1999)

ฟิล์มที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้างแต่ละส่วนประกอบของแผ่นฟิล์มมีคุณสมบัติที่ดีแตกต่างกันไป ฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ มีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซได้ดี ในขณะที่ฟิล์มจากลิพิดสามารถต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี (Krocht และ De Mulder Johnston, 1997) ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มที่ย่อยสลายได้ที่ทำมาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น แป้งธรรมชาติ (Lawton, 1996; Vicentini และคณะ, 2005) มีการศึกษาและการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของฟิล์มที่ทำมาจากสตาร์ชแป้ง (Laohakunjit และ Noomhorm, 2004) การใช้สารละลายแป้งมาทำการขึ้นรูปฟิล์มแป้งเป็นที่น่าสนใจมาก เพราะว่ามีราคาถูก เป็นผลผลิตทางการเกษตร สามารถทำเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้และสามารถบริโภคได้ รวมทั้งใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง โดยมีอะมิโลสที่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้อย่างดี และแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากพืชธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีข้าวสาลี (wheat) ข้าวโพด (corn) มันฝรั่ง (potatoes) และมันสำปะหลัง (tapioca หรือ cassava) และมีพืชธรรมชาติอื่นๆที่ยังสามารถนำวัตถุดิบมาผลิตฟิล์มได้อีก ซึ่งชนิดของฟิล์มย่อยสลายได้ แบ่งเป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

2.4.1 **ฟิล์มโปรตีน** (Protein Film) ปัจจุบันมีการศึกษาฟิล์มบริโภคได้จากโปรตีนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี และยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย ฟิล์มที่มีการศึกษา ได้แก่ ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนข้าวสาลี เป็นต้น ซึ่งโมเลกุลของโปรตีนทั้งสองชนิดนี้สามารถเชื่อมกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดฟิล์ม ฟิล์มชนิดนี้เตรียมได้จากวัตถุดิบหลัก คือ น้ำนมถั่วเหลืองหรือโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และมีการเติมพลาสติไซเซอร์เพื่อให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น ฟิล์มชนิดนี้มีคุณสมบัติกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่กันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย เพราะมีความเป็นขั้วสูง ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองสามารถนำมาบริโภคเป็นส่วนประกอบของซุปหรือทำเป็นเนื้อเทียม และยังนำมาใช้ห่อเนื้อบดหรือผักให้อยู่ในรูปร่างที่ต้องการ เช่น หมูตั้ง ห้อยจ๊อ ส่วนฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลีเป็นฟิล์มที่ไวต่อความชื้นแต่มีความแข็งแรงและกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี (Gontard et al, 1992) นอกเหนือจากนั้นยังมีการศึกษาฟิล์มโปรตีนชนิดอื่นๆ เช่น ฟิล์มจากโปรตีนข้าวโพด ฟิล์มจากโปรตีนเวย์ และฟิล์มจากเคซีน (Mchugh et al, 1994)

2.4.2 **ฟิล์มลิพิด** (Lipid Film) ลิพิดไม่นิยมขึ้นรูปเป็นแผ่นแต่จะใช้เป็นสารเคลือบ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่งหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล สารประกอบลิพิดมีหลายชนิด รวมทั้งแอซิทิลเลตโมโนกลีเซอไรด์ (Acetate Monoglyceride) ไขธรรมชาติ และสารตึงผิวสามารถนำไปใช้เป็นสารเคลือบได้ ตัวอย่างเช่น ฟิล์มไขบริโภคได้ มีคุณสมบัติกันความชื้นได้ดีมาก โดยเฉพาะไขพาราฟินและไขผึ้ง ฟิล์มจากไขพาราฟิน และฟิล์มลิพิดอีกชนิดหนึ่ง คือ สารตึงผิว (Surfactant) การเคลือบอาหารด้วยสารตึงจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water Activity, Aw) ที่ผิวหน้าของอาหารและลดอัตราการระเหยของน้ำซึ่งจะทำให้การเสื่อมสภาพของอาหารช้าลง โดยสารที่ให้ผลดีที่สุด คือ แอลกอฮอล์ซึ่งมีกรดไขมันในโมเลกุลที่มีจำนวนคาร์บอน 16-18 อะตอม กลีเซอรอลโมโนพาลมิเทตและกลีเซอรอลโมโนสเทียเรตต (Kester and Fennema, 1986) นอกจากนี้ในการผลิตแผ่นฟิล์ฒจากโปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ยังใช้ลิพิดร่วมด้วย เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการซึมผ่านของความชื้น

2.4.3 **ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์ พอลิแซ็กคาไรด์** หรือฟิล์มคาร์โบไฮเดรต มีสตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยโครงสร้างที่ปราศจากน้ำ (anhydroglucose) สตาร์ชส่วนใหญ่ประกอบด้วยอนุพันธ์ 2 รูปแบบ คือ พอลิเมอร์กลูโคส เป็นรูปแบบสายโมเลกุลเส้นตรงของ amylose และ พอลิเมอร์แตกกิ่งสาขาของ amylopectin (Bertoft,2004) สตาร์ชเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตฟิล์มบริโภคได้และสำหรับบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายที่เป็นที่ยอมรับได้ (Krochta และ DeMulder-Johnson, 1997; Ropert, 1996) ฟิล์มสตาร์ชหลายชนิดสามารถนำมาใช้ผลิตหรือสารเคลือบบริโภคได้ เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามพอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้เคลือบอาหารมีลักษณะเหมือนวุ้น จะชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้นๆ นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด และองค์ประกอบอื่นๆในอาหารได้อีกด้วย ตัวอย่างฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์จากแอลจิเนต (Alginate) ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยจะช่วยลดการสูญเสียน้ำปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ รักษาสีแดงของเนื้อและช่วยให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ฟิล์มจากอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มักใช้ร่วมกับลิพิด เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการซึมผ่านของความชื้นได้ดี และฟิล์มจากสตาร์ช ที่นำมา

ทำการผลิตฟิล์มจากสตาร์ชโดยตรงมีเพียงฟิล์มที่ผลิตจากสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงซึ่งผ่านการดัดแปร และฟิล์มที่ผลิตจากอะมิโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของสตาร์ชที่มีคุณลักษณะสามารถเกิดฟิล์มได้

ฟิล์มจากสตาร์ชที่ได้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น รส มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติต้านทานไขมันสูง ด้านอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มได้ต่ำ (Arvanitoyannis et al., 1998; Pagella et al., 2002) แต่ข้อด้อยของฟิล์มชนิดนี้ คือ ด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ปัญหาการละลายอะมิโลสเพื่อเตรียมฟิล์มซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงในการละลายเจลแป้ง ข้อจำกัดที่สำคัญมากที่สุดของการใช้สตาร์ชสำหรับทำฟิล์มย่อยสลายได้ คือ เป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำให้สูงขึ้นโดยการเติมไขมันหรือพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดอื่นๆ เช่น ไคโตซาน (จุฬาลักษณ์ จารจุฑารัตน์, 2552)

คุณสมบัติของแป้งฟิล์มประเภทแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดเหนียวมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากกว่าแป้งสาลี จึงเหมาะสมในการอบแห้งมากกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี เนื่องจากในขณะอบแห้งเม็ดแป้งข้าวโพดและเม็ดแป้งสาลีจะเปราะ แตกหักได้ง่าย

แป้งฟิล์มที่ได้จากแหล่งแป้งที่ต่างกัน จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่างกัน และมีอัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่างกัน แป้งจากธัญพืชมีอะมิโลสและไขมันในปริมาณสูง ทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันในระหว่างการทำแป้งแห้ง ทำให้แป้งส่วนนั้นไม่ละลายและเกิดเป็นร่างแหก่อให้เกิดการไม่ละลายของส่วนอะมิโลเพกทินอีกด้วย ในขณะที่แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว มีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำ จึงสามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างสมบูรณ์

แป้งฟิล์มจะมีคุณสมบัติในการรักษาความสามารถในการละลายน้ำและความเป็นกาวได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แป้งฟิล์มที่ได้นำไปใช้ผลิตภัณฑ์ประเภทกาว เช่น ใช้ทำซองจดหมาย แสตมป์ กระดาษกาว แป้งฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวเหนียว มีความใสและเป็นมันเงามากกว่าแป้งฟิล์มจากแป้งธัญพืช เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งและการเก็บรักษา แป้งจาก

ธัญพืชจะเกิดรีโทรเกรเดชัน โมเลกุลของอะมิโลสจะเกิดเป็นผลึกที่ไม่ละลาย ทำให้แป้งฟิล์มขุ่นและเปราะแตกง่าย (Swinkels, 1985) คุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งแต่ละชนิด

คุณสมบัติ	แป้งมันฝรั่ง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพดเหนียว
ความใส	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
การละลาย	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความเรียบ-ยืดหยุ่น	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความแข็งแรง-เหนียว	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง

(ที่มา: Swinkels, 1985)

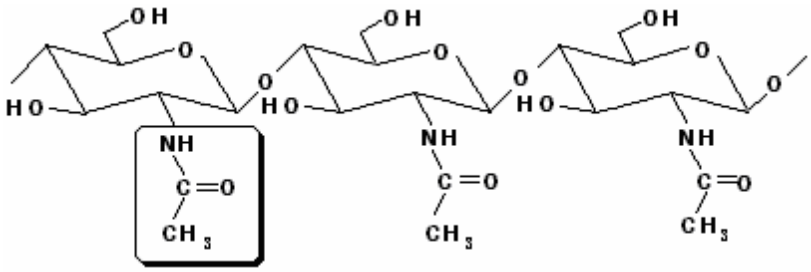
2.5 **พอลิเมอร์จากธรรมชาติ**

2.5.1 **ไคโตซาน** (Chitosan)

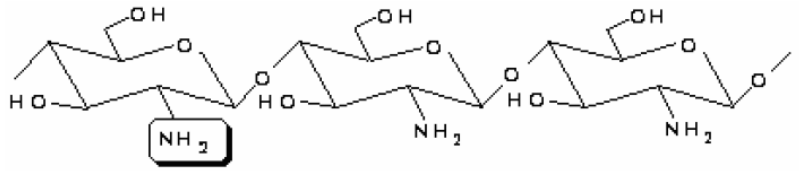
ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า poly β-(1→4) -2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] หรือ poly N-acetyl-glucosamine โดยแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β- (1 →4) และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส แต่จะต่างกันที่ตำแหน่ง C-2 โดยเซลลูโลสจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนไคตินจะประกอบด้วยหมู่อะซิทามิโด (acetamido group) โดยทั่วไปมักพบไคตินในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา รวมทั้งเปลือกของแมลง และสัตว์จำพวกโครงร่างภายนอกแข็ง (exoskeleton) กลุ่ม Crustacea อาทิ กุ้ง ปู และแกนหมึก (Merck Index, 1996)

ไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติล ไคตินที่มีการกำจัดหมู่อะซิติลตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป จะถูกเรียกว่า ไคโตซาน ซึ่งโดยทั่วไปไคโตซานจะมีปริมาณการกำจัดหมู่อะซิติลอยู่ในช่วงร้อยละ 70 ถึง 90 และส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 ถึง 30 ยังคงเป็นหมู่ N-acetyl และถ้าปริมาณการกำจัดหมู่อะซิติลมากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไปจะเรียกว่า full deacetylation

(Hon, 1996) การกำจัดหมู่อะซิติลนี้เรียกว่าปฏิกิริยา deacetylation โดยแช่ไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น โดยหมู่อะซิติล ($-COCH_3$) บนคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนกลายเป็นหมู่เอมีน (NH_2) ซึ่งไคโตซานจะมีชื่อเรียกทางเคมีว่า poly [β- 1 → 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose] และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{11}NO_4)_n$ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมด และน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายได้ดีในกรดอ่อน (Hayes et al., 1977)



(ก) โครงสร้างทางเคมีของไคติน



(ข) โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน (Merck Index, 1996)

2.5.1.1 ลักษณะเฉพาะของไคโตซาน (Characteristics of chitosan)

มีคุณสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial properties) (Harish & Tharanathan, 2007) ไคโตซานและอนุพันธ์ของไคโตซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย ยีสต์และรา ไคโตซานจึงได้รับความสนใจอย่างมาก ในการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและยืดระยะเวลา ในการเก็บรักษาอาหารหลายชนิด เช่น อาหารทะเล เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ นม ขมมปัง และน้ำผลไม้

2.5.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน

(1) การละลาย (Solubility) ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ สภาวะเป็นเบสหรือด่างและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์ทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เช่น กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน และมีกรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริกและกรดฟอสฟอริก ซึ่งการละลายบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น โดยความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2.6 ความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆ กัน (Hon, 1996)

ชนิดของกรด	**ความเข้มข้นของสารละลายกรด** (V/v)				
	1%	5%	10%	50%	**มากกว่า50%**
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+	+	+		
Tartaric	-		+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitri	+	-	-		
H_3PO_4 *	-	-	-		
Sulfuric *	-	-	-		

หมายเหตุ + แสดงว่าไคโตซานสามารถละลายได้

- แสดงว่าไคโตซานไม่สามารถละลายได้

* แสดงว่า ไคโตซานไม่สามารถละลายได้ในกรดซัลฟิวริกและกรดฟอสฟอริก แต่สามารถละลายได้ในกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.5%

(2) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง $1x10^5$ ถึง 1.2×10^6

(3) ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ ไคโตซานในสารละลายกรดจะแสดงสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte ความหนืดของสารละลายจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความเป็นกรดด่าง และปริมาณสารละลายบัฟเฟอร์และเกลือที่ใส่ลงไปในสารละลาย จะมีผลต่อความหนาแน่นและการผลักกันของไฟฟ้าสถิตของประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุล เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานมากขึ้น ความหนืดจำเพาะ (specific viscosity) ของสารละลายจะเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นลดลง ความหนืดจำเพาะจะลดลงเช่นกัน

(4) ความสามารถในการจับตัว (Coagulating ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (Flocculants and coagulating) ที่ดี เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อมและพอลิเมอร์อื่นๆ ซึ่งไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (Coordinate) กับหมู่อะมิโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซิติลในไคติน ดังนั้น ไคโตซานที่มี degree of deacetylation สูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะสูง รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเป็นผลึกและความสามารถในการดึงดูดน้ำของไคโตซาน (Li et al, 1992)

(5) การเสื่อมสลาย (Degradation)

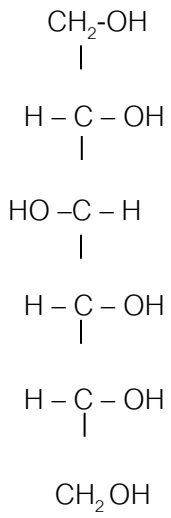
ไคติน-ไคโตซานเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (monomer) หรือ โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) โอลิโกเมอร์/โอลิโกแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์/โมโนแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

มีงานวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มที่ใช้พลาสติไซเซอร์ไคโตซาน คือ ฟิล์มวุ้นร่วมกับไคโตซานและกรดอะซิติก มีการนำมาใช้เคลือบผิวกระเทียมปอกเปลือก พบว่า ลดการสูญเสียน้ำหนักได้ถึง 3 เท่า เมื่อเทียบกับไม่ได้เคลือบ เชื้อราและจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนถูกยับยั้ง และอัตราการหายใจลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อเทียบกับกระเทียมที่ไม่ได้เคลือบ (Geraldine et.al., 2008)

2.6 **พลาสติไซเซอร์จากธรรมชาติ**

พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ตามนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติกหรือสารที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น (elastomer) แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัว คุณสมบัติของพลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม (compatible) โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรจะไม่มีกลิ่น รส ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ (Beerler และ Finney, 1983) ถ้าใช้พลาสติไซเซอร์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันมิให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำฟิล์มให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะกายภาพที่ดี สามารถคงความยืดหยุ่นได้ตลอดการใช้งาน (Guilbert, 1986) ปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักแห้ง (Guilbert, 1986) ดังนั้นพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใส่ในฟิล์มที่ผลิตจากพอลิเมอร์แป้ง (starch – based film) เช่น ซอร์บิทอล (sorbitol) ซึ่งช่วยป้องกันการแตกหักของฟิล์มระหว่างการสัมผัสและการเก็บรักษา (Gontard และคณะ, 1993) ต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ การซึมผ่านของไอน้ำและความสามารถในการละลายและคุณสมบัติในการดูดซับของฟิล์ม

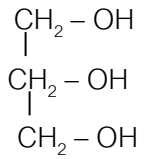
2.6.1 **ซอร์บิทอล** เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำหนักโมเลกุล 182 ซอร์บิทอลพบในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอบเปิ้ล แพร์ เชอรี่ เป็นต้น ในทางการค้าผลิต D - ซอร์บิทอลจากการเร่งปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนของ D-กลูโคส ที่ได้จากการย่อยสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยเอนไซม์ ซอร์บิทอลเป็นผลึกสีขาวอยู่ในรูปของ แกมมา-ซอร์บิทอลซึ่งคงตัว มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลครึ่งหนึ่ง ละลายน้ำได้ดีสารละลายที่ได้ที่ความหนืดต่ำ เป็นสารทำละลายน้ำมันที่ไม่ดี เมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3-60 สามารถรักษาความชื้นและคงลักษณะของความยืดหยุ่นไว้ได้ และมีการศึกษาการเตรียมฟิล์มจากเวย์โปรตีนโดยใช้ซอร์บิทอลเป็นสารพลาสติไซเซอร์ โครงสร้างโมเลกุลของซอร์บิทอล ดังรูป



ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของซอร์บิทอล (ที่มา : Le Bot and Gouy, 1995)

2.6.2 **พอลิออล** (Polyols) หรือพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไอด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลบางชนิดพบในผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอล หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (Hydrogenation) พอลิออลมีคุณสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดี จึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาล มีแคลอรีเพียง 2.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม เนื่องจากถูกดูดซึมได้ช้ามากจึงสามารถใช้กับผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานได้ นอกจากนี้ไม่ทำให้เกิดฟันผุ เพราะแบคทีเรียในปากไม่สามารถใช้ได้ อย่างไรก็ตามพอลิออลอาจมีผลทำให้ระบายท้อง ดังนั้นผู้ใหญ่ไม่ควรบรโภคเกิน 60-80 กรัมต่อวัน และเด็กอายุ 5-16 ปี ไม่ควรบริโภคเกิน 30-40 กรัมต่อวัน

2.6.3 **กลีเซอรอล** (Glyceral) หรือกลีเซอรีน (Glycerine) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ มีสูตรโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ฟิล์มบริโภคหลายชนิดใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ (Mark et al. 1996; Gontard te al. 1993; Park et al, 1993; Mchugh et al, 1994)



ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของกลีเซอรอล

2.6.4 **พอลิเอทิลีนไกลคอล** (Polyethlene Glycol) มีสูตรทั่วไป คือ H $(OCH_2CH_2)_n$ OH โดยที่ n มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 ปกติแล้วจะบอกค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล- 400 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือเป็นของเหลวใส มีความข้นหนืด ละลายน้ำได้ให้สารละลายใส เสื่อมเสียยากเนื่องจากเชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ มีความเป็นพิษต่ำ สำหรับพอลิเอทิลีนไกลคอล-400 มีค่า n อยู่ระหว่าง 8.2-9.1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 380-420 อยู่ในรูปของเหลวข้นหนืด มีกลิ่นจางๆ ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อย มีการศึกษาการใช้ พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์ในฟิล์มบริโภคได้เช่นเดียวกับพอลิออลชนิดอื่นๆ (Park et al, 1993; Mchugh et al, 1994)

2.7 กลไกการเกิดฟิล์มและการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

2.7.1 การเกิดฟิล์มโดยทั่วไป

ฟิล์มย่อยสลายได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การปรับความเป็นกรด-เบส หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มซึ่งหลอมเหลวแข็งตัว (Solidification) ฟิล์มย่อยสลายได้มีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งมีคุณสมบัติเกิดฟิล์มได้ ตัวทำละลายและสารเจือปนซึ่งเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม (Kester และ Fennema, 1986)

ในการเตรียมฟิล์มจะมีแรงที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 แรง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเอง จะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มจะทำให้เกิดการเชื่อมตัวของผิววัตถุเดียวกันสร้างพันธะที่แข็งแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกออกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลายและสภาวะในการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วบนสายพอลิเมอร์ คือ สายพอลิเมอร์ที่ยาวทำ

ให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายพอลิเมอร์ จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของพอลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุด จะได้โครงสร้างซึ่งเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง (Banker, 1996)

ส่วนสภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์เชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (Pinholes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ความอัดแน่น (Compactness) ความโปร่งเป็นรูพรุน (Porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ความยืดหยุ่น (Flexity) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (Adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์ม ทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม (Banker, 1996)

ฟิล์มจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายผสมโดยเฉพาะส่วนของโกบูลล่าร์โปรตีน (Globular Protein) ที่มีหมู่ของไฮโดรโฟบิค (Hydrophobic) ซึ่งไม่สามารถที่จะละลายได้ในน้ำ จะฝังตัวอยู่ด้านในของโมเลกุล เมื่อให้ความร้อนแก่โปรตีนในปริมาณที่พอเหมาะจะฝังตัวอยู่ด้านในของโมเลกุล และเมื่อให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนเกิดการดีเนเจอร์บางส่วน (Partially Denature) เป็นผลให้หมู่ไฮโดรโฟบิค เคลื่อนตัวออกมาอยู่ด้านนอกของโมเลกุล ทำให้โปรตีนละลายน้อยลงและเกิดการรวมตัวของพันธะไฮโดรเจน ไดซัลไฟด์ เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มโปรตีน (Aggregate) สำหรับคาร์โบไฮเดรต จะเกิดการเจลาตอไนซ์ และเกิดการสร้างเป็นร่างแหของพอลิเมอร์ทั้งโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตด้วยพันธะข้าม (Cross Link) โดยกลีเซอรอลใช้เป็นพลาสติไซเซอร์จะแทรกอยู่ระหว่างสายของพอลิเมอร์ ส่งผลให้ฟิล์มเกิดความยืดหยุ่นและอ่อนตัวได้ (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2540)

2.7.2 **การขึ้นรูปฟิล์ม**

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อให้ฟิล์มขึ้นรูปไม่เร็วเกินไป ซึ่งจะทำให้ฟิล์มไม่สม่ำเสมอ ผิวหน้าขรุขระและแตกง่าย (Banker, 1966) วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มมีหลายวิธี เช่น

2.7.2.1 **วิธีเทสารละลายลงบนวัสดุต่างๆ** (Solvent Casting)

เป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยการนำสารละลายของฟิล์มที่เตรียมไว้เทลงบนวัสดุต่างๆ เช่น แผ่นกระจก อะคลีริก ถาดโลหะปลอดสนิมและอื่นๆ แล้วนำไปอบแห้ง แล้วลอกแผ่นฟิล์มตามต้องการสอดคล้องกับงานวิจัยของกนกกร ศรีอนันต์ (2550) เตรียมฟิล์มจากสตาร์ชแป้งผสมไคโตซานสำหรับทุเรียนพร้อมบริโภค โดยการเทลงบนแผ่นอะคลีริกแล้วนำไปอบแห้งโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)

2.7.2.2 **การขึ้นรูปโดยใช้ตัวทำละลาย** (Solvent Casting)

เป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยการนำสารผสมของฟิล์มที่เตรียมได้ทาแผ่เป็นแผ่นบางลงถาด หรือบนภาชนะเฉพาะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้แห้ง แล้วลอกออกเป็นฟิล์มตามต้องการ อาจมีการเคลือบฟิล์มซ้ำด้วยสารที่มีคุณสมบัติในด้านการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์ม เช่น การเคลือบทับด้วยไขพาราฟินอีกชั้นหนึ่ง เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เป็นต้น

2.7.2.3 **การขึ้นรูปเป็นแผ่นบางด้วยเอ็กซ์ทรูเดอร์** (Extruder)

เป็นการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่องมือในนการทำให้ฟิล์มขึ้นรูปเป็นแผ่นบางด้วยการผสม ทำแห้ง พร้อมทั้งฉีดพ่นออกมาเป็นแผ่นจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์คล้ายกับวิธีการผลิตพลาสติกโดยทั่วไป

2.7.2.4 **การขึ้นรูปบนลูกกลิ้ง** (Calendering)

เป็นวิธีที่ทำให้เกิดเป็นแผ่ฟิล์มด้วยลูกกลิ้งโดยผ่านแผ่นฟิล์มเข้าไปยังลูกกลิ้งร้อน เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้งได้ความหนาของฟิล์มที่ต้องการ ซึ่งขึ้นกับแรงกดอัดของลูกกลอ้งบนแผ่นฟิล์มและระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 2 ลูกที่ฟิล์มผ่านเข้าไป สารที่ใช้ทำฟิล์มมีหลายชนิดโดยอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดได้ โดยนำลักษณะเด่นแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ซึ่งประสิทธิภาพของฟิล์มแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตและวิธีการที่เหมาะสม

2.8 **องุ่น** (grapes)

องุ่นเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี ปลูกกันมากกว่า 5,000 ปี สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตหนาว เขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว และเขตร้อน สำหรับในประเทศไทยไทยไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัดว่านำเข้ามาในสมัยใด แต่พอจะเชื่อได้ว่าในสมัยรัชกาลที่ 5 พระองค์ท่านได้นำพันธุ์ไม้แปลกๆจากต่างประเทศที่ได้เสด็จประพาสมาปลูกในประเทศไทย และเชื่อว่าในจำนวนพันธุ์ไม้แปลกๆ เหล่านั้น น่าจะมีพันธุ์องุ่นรวมอยู่ด้วยในสมัยรัชกาลที่ 7 มีหลักฐานยืนยันว่าเริ่มมีการปลูกองุ่นกันบ้างแต่ผลองุ่นที่ได้มีรสเปรี้ยว การปลูกองุ่นจึงซบเซา ต่อมาในปี 2493 ได้เริ่มมีการปลูกองุ่นอย่างจริงจังโดย หลวงสมานวนกิจ ได้นำพันธุ์มาจากแคลิฟอร์เนีย และปี 2497 ดร. พิศ ปัญญาลักษณ์ ได้นำพันธุ์มาจากยุโรปซึ่งปลูกได้ผลเป็นที่น่าพอใจ นับแต่นั้นมาการปลูกองุ่นในประเทศไทยจึงแพร่หลายมากขึ้น

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการปลูกองุ่นในแถบภาคตะวันตก เช่น อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี อำเภอสามพราน อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งสามารถให้ผลผลิตได้ดี แต่เกษตรกรบางรายได้เปลี่ยนจากองุ่นเป็นพืชอื่นเนื่องจากมีโรคแมลงระบาดมาก และแมลงดื้อยาไม่สามารถกำจัดได้ ทำให้พื้นที่ปลูกองุ่นในแถบนี้ลดลง พื้นที่ปลูกองุ่นได้ขยายไปในแถบภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือบ้างเล็กน้อย ถึงแม้ราคาจะเป็นแรงจูงใจ แต่ปัญหาเรื่องโรคแมลงระบาดทำให้พื้นที่ปลูกองุ่นไม่ค่อยขยายพื้นที่เท่าที่ควร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2527)

2.8.1 **สภาพแวดล้อมและดินที่เหมาะสม**

องุ่นแม้จะไม่ใช่พืชเขตร้อน แต่จากสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย องุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงปลูกได้โดยทั่วไปถ้าได้รับการตัดแต่งกิ่ง ก็สามารถออกดอกได้ดีเช่นเดียวกับองุ่นที่ปลูกในเขตหนาวสามารถให้ผลผลิตมากกว่า 1 ครั้งต่อปี และสามารถบังคับให้ผลองุ่นแก่ในฤดูใดของปีก็ได้ในขณะที่องุ่นที่ปลูกในเขตหนาวให้ผลผลิตปีละครั้ง และผลแก่ในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น แต่ควรระวังคือ ในสภาพดินฟ้าอากาศที่มีความชื้นสูงฝนตกชุก จะทำให้เกิดโรคระบาดอย่างรวดเร็วทำความเสียหายแก่ใบ ต้น และผลองุ่นได้มาก จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการป้องกันกำจัดโรคแมลงมากไม่คุ้มกับการลงทุน และถ้าฝนตกตอนผลแก่จะทำให้ผลแตก คุณภาพของผลไม่ดี ดังนั้นสภาพภูมิอากาศจึงเป็นตัวจำกัดเขตการปลูกองุ่น และลักษณะการใช้ประโยชน์ เช่น ในประทศไทยสามารถปลูกองุ่นรับประทานผลสดได้ดี โดยเฉพาะองุ่นที่แก่ในฤดูร้อน และฤดูหนาว แต่การที่จะปลูก

องุ่นสำหรับทำเหล้าองุ่นให้มีคุณภาพดีๆ ยังสู้องุ่นในแถบยุโรปไม่ได้ ซึ่งสภาพภูมิอากาศมีผลต่อคุณภาพของผลผลิตเป็นสำคัญ ส่วนการเจริญเติบโตของต้นไม่มีปัญหามากนัก นอกจากเขตที่มีอากาศร้อนจัดหรือหนาวจัดเกินไป ต้นองุ่นอาจตายได้ จะเห็นได้ว่า เขตปลูกองุ่นของโลกนั้นกว้างมาก สามารถปลูกได้ในพื้นที่สูงตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 6,000 ฟุต แต่แหล่งปลูกองุ่นที่มีคุณภาพดีมักอยู่ในระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,000-4,000 ฟุต องุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ในดินทั่วไปที่มีความอุดมสมบูรณ์เพียงพอ ดินที่เหมาะสำหรับปลูกองุ่นได้ผลดีนั้น มักเป็นดินเหนียวที่มีธาตุอาหารพืชอยู่มาก ตามที่ราบลุ่มแม่น้ำ มีหน้าดินลึก สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 5.6-6.4 มีน้ำเพียงพอต่อความต้องการขององุ่นได้ แต่ต้องเป็นบริเวณที่น้ำท่วมไม่ถึง เพราะถ้าองุ่นถูกน้ำท่วมเพียง 2 วันจะตายได้ และต้องไม่เป็นพื้นที่ที่น้ำทะเลท่วมถึง เพราะจะทำให้ต้นองุ่นได้รับความเสียหายเช่นเดียวกัน

2.8.2 พันธุ์องุ่นที่นิยมปลูก คือ

2.8.2.1 พันธุ์ไวท์มะละกา

เป็นพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้ามากที่สุด ในปัจจุบันเป็นที่นิยมของผู้บริโภคโดยทั่วไป ปลูกง่ายและเจริญเติบโตดี มี 2 สายพันธุ์ คือ ชนิดผลกลมและผลยาว ลักษณะช่อใหญ่ยาว การติดผลดี ผลมีสีเหลืองอมเขียว รสหวานแหลม เปลือกหนาและเหนียว ในผลหนึ่งๆ มี 1-2 เมล็ด ช่วงเวลาหลังจากตัดแต่งกิ่งจนเก็บผลได้ประมาณ 4 เดือนครึ่ง ปีหนึ่งให้ผลผลิต 2 ครั้ง ผลผลิตประมาณ 10-15 กิโลกรัม/ ต้น/ครั้ง ปัจจุบันชาวสวนได้หันมาปลูกองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาสายพันธุ์ผลยาวกันมาก เพราะมีรสหวานกรอบและสีเหลืองสดใสกว่าพันธุ์ผลกลม

2.8.2.2 พันธุ์คาร์ดินัล

เป็นองุ่นที่ปลูกง่าย การเจริญเติบโตดีมาก มีลักษณะช่อใหญ่ ผลดก ผลกลมค่อนข้างใหญ่ มีสีแดงหรือม่วงดำ รสหวาน กรอบ เปลือกบาง จึงทำให้ผลแตกง่ายเมื่อผลแก่ในช่วงฝนตกชุก ในผลหนึ่งๆมีเมล็ด 1-2 เมล็ด ช่วงเวลาหลังจากตัดแต่งกิ่งจนเก็บผลได้ใช้เวลา 3-3 เดือนครึ่ง ในเวลา 2 ปี สามารถให้ผลผลิตได้ถึง 5 ครั้ง ผลผลิตประมาณ 10-15 กิโลกรัม/ต้น/ครั้ง แต่ราคาถูก ปัจจุบันจึงนิยมปลูกกันน้อย (วัฒนา สวรรยาธิปัติ, 2531)