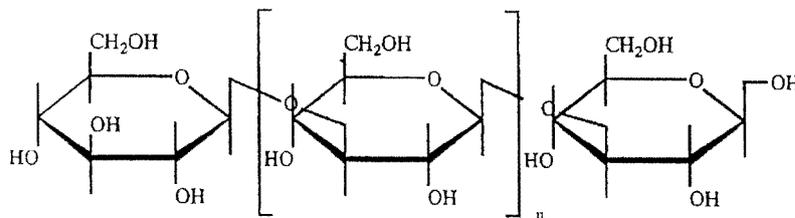


บทที่ 2 ตรวจเอกสาร

2.1. เคิร์ดแลน

เคิร์ดแลนเป็นสารพอลิแซคคาไรด์ที่สังเคราะห์ได้จากแบคทีเรีย *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes* (Harada et al., 1966 อ้างโดย Funami et al., 1999a) มีโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,3-D- glucosidic linkage (Harada, 1968 อ้างโดย Tada et al., 1998) ดังรูปที่ 1

เคิร์ดแลนจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถละลายได้ในสารละลายต่าง (Zhang et al., 2002) เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีความเป็นผลึกสูง (Nakata et al., 1998) เคิร์ดแลนมีความสามารถในการเกิดเจลได้ง่าย ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาว่ามีความปลอดภัยสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารได้ (Funami et al., 2000) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเคิร์ดแลนมีสมบัติเป็นสารต้านเชื้อ HIV และต้านการเกิดมะเร็งได้อีกด้วย (Zhang, et al., 2002; Funami et al., 2000; Yoshida, 1996)



รูปที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของเคิร์ดแลน

2.1.1. ชนิดและกลไกการเกิดเจลของเคิร์ดแลน

เคิร์ดแลนมีสมบัติในการเกิดเจล ที่มีโครงสร้างสามมิติ เกิดจากโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวโดยการเชื่อมประสานด้วยพันธะต่างๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก เคอร์แลนเมื่อได้รับความร้อน โมเลกุลจะเกิดการ แยกตัวและ คลายตัว หลังจากนั้น โมเลกุล จะเกิดการจับ ตัว กัน ใหม่ (aggregation/association) ด้วยพันธะต่างๆในการเกิดเจลซึ่ง เป็นโครงสร้างแบบตาข่ายภายในโครงสร้าง จะมีน้ำและสารละลายต่างๆ แทรกตัวอยู่

การเกิดเจลของเคิร์ดแลนสามารถเกิดได้ใน 2 ลักษณะ ดังนี้ คือ

(1.) การให้ความร้อน (Heat-induced gel formation)

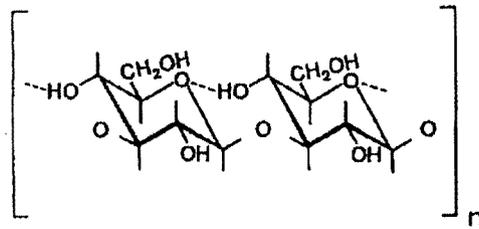
ถึงแม้ว่าเคิร์ดแลนไม่สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่สารแขวนลอยของเคิร์ดแลนในน้ำ (ที่อยู่ในสภาพของอนุภาคไมเซลล์) สามารถเกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อนที่เหมาะสม เจลที่เกิดจากการให้ความร้อนมี 2 แบบ คือ

(1.1) *Low-set gel*

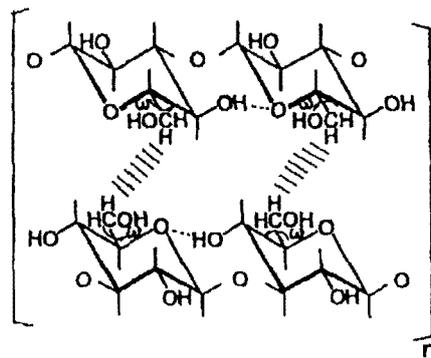
เป็นเจลที่เตรียมได้โดยการให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยของเคิร์ดแลนในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 55-60 °C แล้วทำการหล่อเย็นให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 40 °C เจลชนิดนี้จัดเป็น *thermo-reversible gel* ที่มีพฤติกรรมคล้ายกับวุ้นและเจลาติน (Funami et al., 1999a; 2000) เจลชนิดนี้เกิดจากการเชื่อมขวาง (cross-linking) ระหว่างโมเลกุลเคิร์ดแลนที่เป็นโมเลกุลเดี่ยวมีรูปร่างแบบเกลียว (single helix structure) การเชื่อมประสานเกิดโดยพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล (intra- and inter-molecular hydrogen bonding) (รูปที่ 2(a)) โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเคิร์ดแลนสามารถถูกทำลายได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 40 °C (Saito et al., 1989; Konno et al., 1994 อ้างโดย Funami et al., 2000, Tako and Hanashiro, 1997)

(1.2) *High-set gel*

เป็นเจลที่เตรียมได้โดยการให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยของเคิร์ดแลนในน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะจาก low-set gel ไปเป็น high-set gel (Harada et al., 1987 อ้างโดย Funami et al., 1999a; 2000) กลไกการเกิด high-set gel แตกต่างจาก low-set gel โดย high-set gel เกิดจากการเชื่อมประสานกันระหว่างโมเลกุลของเคิร์ดแลนที่อยู่ในรูป multiple-chain helix หรือ triple-stranded helix (Fulton and Atkins, 1980; Kasai and Harada, 1980 อ้างโดย Funami et al., 1999a; 2000) โดยการเชื่อมประสานกันระหว่างโมเลกุลเกิดโดยอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) (Tako and Hanashiro, 1997) (รูปที่ 2(b)) จึงทำให้เจลชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็น *thermo-irreversible gel* ซึ่งจะคงตัวทั้งที่อุณหภูมิต่ำ (เช่นสภาวะการแช่แข็ง) และอุณหภูมิสูง (เช่นการใช้ในรีพอร์ท) (Nakao et al., 1991)



(a)



(b)

รูปที่ 2 (a) การเกิด intra-molecular hydrogen bonding ที่ช่วงอุณหภูมิ 40 และ 55-60 °C และ
 (b) การเกิด hydrophobic interaction ที่อุณหภูมิมากกว่า 80 °C ของโมเลกุลเคิร์ดแลน
 ที่มา: Tako และ Hanashiro (1997)

(2.) การทำสารละลายเคิร์ดแลนในด่างให้เป็นกลาง (Alkali-neutralized gel formation)

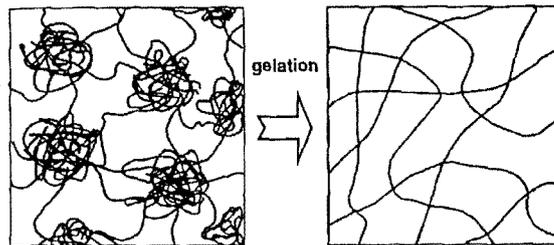
เคิร์ดแลนยังสามารถเกิดเจลได้โดยการนำเคิร์ดแลนที่ละลายในสารละลายต่าง มาทำให้เป็นกลางด้วยกรด เช่น กรดอะซิติก (Harada et al., 1987 อ้างโดย Funami et al., 2000) โดยมีกลไกการเกิดเจล คือ inter- และ intra-molecular hydrogen bonds จะแตกออกและเกิดการบวมตัวของโมเลกุลเคิร์ดแลนในขณะที่ทำการละลายเคิร์ดแลนในสารละลายต่าง หลังจากนั้นพันธะไฮโดรเจนชนิดใหม่จะถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนของการทำให้เป็นกลางด้วยกรด เป็นผลทำให้เกิดเจลขึ้น เจลที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีนี้จัดเป็น thermo-reversible gel คล้ายกับ low-set gel (Harada et al., 1993 อ้างโดย Funami et al., 2000)

2.1.2. พฤติกรรมการเกิดเจล สมบัติ และการใช้ประโยชน์เจลเคิร์ดแลน

Tada และคณะ (1997, 1998) ศึกษาผลของอุณหภูมิ (25 และ 60 °C) และความเข้มข้นของสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ (0.01 N, 0.02N, 0.5N และ 0.1N) ต่อการเกิดเจลและโครงสร้างโมเลกุลเคิร์ดแลนในช่วงความเข้มข้นของเคิร์ดแลนต่ำๆ (0.5 % โดยน้ำหนัก) พบว่า โมเลกุลของเคิร์ดแลนสามารถเกิดการรวมกลุ่มกัน (association) ได้ในสารละลายต่างที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.01 N-0.1N ที่อุณหภูมิ 25 °C การรวมกลุ่มกันของโมเลกุลจะเกิดมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายต่างลดลง ทำให้เคิร์ดแลนละลายได้ลดลงที่อุณหภูมิต่ำ โดยโครงสร้างโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายต่าง ถ้าความเข้มข้นของสารละลายต่างต่ำๆ (0.01 N, 0.02N) โมเลกุลจะขดตัวเกาะกันเป็นก้อน (Gaussian coil conformation) ส่วนที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างสูงขึ้น (0.05 N, 0.1N) การรวมกลุ่มของโมเลกุลจะมีโครงสร้างเป็นแบบแท่งที่เกิดจากหลายๆโมเลกุลมาจับกันแบบขดเป็นเกลียว (multi-helical conformation) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 60 °C พบว่าโมเลกุลจะเกิดการแยกตัวและคลายตัวจากกัน (dissociation) เป็นอิสระได้มากขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายต่างที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างของโมเลกุล โดยที่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายต่างสูงๆ (ที่ 0.05 N และ 0.1N) จะเกิดการแยกตัวของโมเลกุลได้เป็นโมเลกุลเดี่ยวๆอิสระที่มีโครงสร้างแบบเกลียวได้ (single helical conformation) และสามารถเกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างตาข่ายอย่างสม่ำเสมอ (homogeneous network structure) ขึ้นได้ ดังนั้นการ dissociation ของโมเลกุลเคิร์ดแลนมีส่วนสำคัญในการเกิดเจล โดย Tada และคณะ (1999) ได้รายงานว่าจะสามารถทำให้เคิร์ดแลนเกิดเจลได้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของต่ำๆ (<0.05N) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C เพื่อทำให้เกิดการ dissociation ของโมเลกุลก่อนที่จะเกิดเป็นโครงข่ายของเจลขึ้น ดังนั้นการเกิดเจลของเคิร์ดแลนจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจาก heterogeneous network structure (ที่ 25 °C) ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของบริเวณที่เกิดการ association ของโมเลกุล ไปเป็น homogeneous network structure ที่อุณหภูมิ 60 °C ดังรูปที่ 3

Tako และ Hanashiro (1997) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติรีโอโลยีและการ association ของโมเลกุลเคิร์ดแลน พบว่า การเกิดเจลของ เคิร์ดแลนที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเตรียมสารละลาย เคิร์ดแลนในน้ำที่ความเข้มข้น 0.3 % และพบว่าที่ 38 °C สารละลายเคิร์ดแลนที่มีความเข้มข้น 0.1% มีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบนิวตันเนียน (Newtonian behavior) ส่วนสารละลายเคิร์ดแลนที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.2% มีพฤติกรรมการไหลคล้ายพลาสติก (plastic behavior) แสดงถึงการเกิด inter- และ intra-molecular association (hydrogen bonding) และสามารถเกิดเป็นเจลได้ที่ความเข้มข้นเคิร์ดแลน 0.3 % ค่า Dynamic modulus ของสารละลายจะมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 40 °C

หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ จนถึง $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ และถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นสูงกว่า $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่า Dynamic modulus จะมีค่าสูงขึ้นอีกเรื่อยๆ อย่างช้าๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิด hydrophobic intermolecular interaction



รูปที่ 3 แบบจำลองแสดงการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจาก heterogeneous network structure (ซ้าย) ไปเป็น homogeneous network structure (ขวา)

ที่มา: Tada และคณะ (1999)

Funami และคณะ (1999a) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลของเคิร์ดแลนโดยการวิเคราะห์สมบัติเชิงรีโอโลยีและสมบัติทางความร้อน พบว่า อุณหภูมิสำหรับการเตรียมเจลและความเข้มข้นของเคิร์ดแลนมีผลต่อโครงสร้างและสมบัติของเจล ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลที่สร้างโครงข่ายร่างแหของเจลจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และจำนวนของ elastically active chains เพิ่มขึ้น ทำให้เจลมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเหมือนของแข็งมากขึ้น และพบว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะจาก thermo-reversible gel เป็น thermo-irreversible gel มีค่าลดลงต่ำกว่า $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อความเข้มข้นของเคิร์ดแลนเพิ่มขึ้น และมีผลให้สัดส่วนองค์ประกอบที่เป็น thermo-reversible ในเจลลดลงด้วย โดยการเพิ่มความเข้มข้นของเคิร์ดแลนช่วยส่งเสริมการเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า $80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Funami และคณะ (1999b) ศึกษาการใช้เคิร์ดแลนในผลิตภัณฑ์โดนัท พบว่า การใช้เคิร์ดแลนเติมลงในผลิตภัณฑ์ในปริมาณ $0.1 - 1.0\%$ (w/w) สามารถลดการดูดซับน้ำมันและการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทอดได้ เนื่องจากเคิร์ดแลนสามารถเกิดเจลในรูปของอนุภาคในผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อน โดยที่ระดับความเข้มข้นเคิร์ดแลน $0.1-0.3\%$ เจลที่เกิดขึ้นมีสมบัติในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) มีผลทำให้การดูดซับของน้ำมันเข้ามาในตัวผลิตภัณฑ์ได้ลดลง และที่ความเข้มข้นเคิร์ดแลน 0.5% เจลที่เกิดขึ้นยังมีสมบัติในการขวางกั้นการซึมผ่านของน้ำมันและความชื้นได้ซึ่งเป็นผลมาจากโครงข่ายร่างแหที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เคิร์ดแลนเป็นสารเติมแต่งอาหารในผลิตภัณฑ์จำพวกเนื้อมัด (Funami et al., 1998) Moon และ Lee (2005) ใช้เคิร์ดแลนในการเตรียมวัสดุดูดซับโลหะหนัก

ในน้ำ โดยใช้เคิร์ดแลนผสมกับผงคาร์บอน เคิร์ดแลนเจลที่มีลักษณะเป็นรูพรุนจะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ในการยึดเกาะและเป็นที่อยู่ของผงคาร์บอนซึ่งมีสมบัติในการดูดซับโลหะหนัก

2.2. फिल्मและสารเคลือบจากพอลิเมอร์ชีวภาพ

ฟิล์มย่อยสลายได้มีลักษณะเป็นชั้นบางๆเตรียมจากวัสดุทางชีวภาพที่ย่อยสลายได้ โดยมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และการแพร่ของสารต่าง ๆ ฟิล์มจากพอลิเมอร์ชีวภาพสามารถขึ้นรูปในลักษณะการเคลือบผิวและเทหล่อเป็นแผ่นฟิล์มอิสระ การผลิตฟิล์มย่อยสลายได้จากพอลิเมอร์ชีวภาพนอกจากจะเป็นการลดมลพิษที่เกิดจากการใช้วัสดุสังเคราะห์แล้ว ยังสามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เพื่อลดความสูญเสียความชื้น ป้องกันหรือจำกัดการผ่านเข้าออกของออกซิเจน ลดการแพร่ไขมัน ป้องกันความเสียหายทางกลของผลิตภัณฑ์ในขณะขนย้าย (Guilbert, 1986; Kester and Fenema, 1986)

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- ไฮโดรคอลลอยด์ (โปรตีนและพอลิแซคคาไรด์จากแหล่งต่างๆ)
- ไขมัน (กรดไขมัน แอซิล กลีเซอไรด์ และแว็กซ์)
- คอมพอลสิต

2.2.1 फिल्मพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide film)

พอลิแซคคาไรด์ หรืออนุพันธ์ของพอลิแซคคาไรด์ ที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มมีหลายชนิด เช่น อัลจีเนต เพคติน คาราจีแนน แป้ง อนุพันธ์ของแป้ง และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ทั้งที่ได้จากพืชและจุลินทรีย์ เนื่องจากพอลิแซคคาไรด์มีสมบัติชอบน้ำ ฟิล์มจากพอลิแซคคาไรด์จึงสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้น้อย แต่ฟิล์มชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำมัน ไขมัน และสารให้กลิ่นรสได้ดีในที่มีความชื้นต่ำ (นพรัตน์ มะเห, 2541)

2.2.1.1 फिल्मเซลลูโลส

อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) เมทิลเซลลูโลส (MC) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (HPC) ฟิล์มจากพอลิเมอร์เหล่านี้มีสมบัติ คือ มีความแข็งแรงปานกลาง ทนทานต่อน้ำมันและไขมัน ยืดหยุ่นได้ มีความใส ไม่มีกลิ่นรส ละลายน้ำได้ และกั้นการซึมผ่านของไอน้ำได้ปานกลาง

สมบัติในการเป็นตัวกั้น (เช่น การยอมให้ก๊าซผ่าน) และสมบัติเชิงกล (เช่น การต้านแรงดึงและการยืดตัว) ของฟิล์มจากเซลลูโลสมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟิล์ม เช่น จากการศึกษาการซึมผ่านและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่บริโอดได้จากเซลลูโลส 2 ชนิด คือ เมทิลเซลลูโลส

และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส พบว่า การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน การซึมผ่านของไอน้ำ ค่าการต้านแรงดึงจะลดลงและมีการยืดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น

2.2.1.2 फिल्मแบ่ง

ฟิล์มที่ได้มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ปานกลาง ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ไม่ดี และความแข็งแรงด้อยกว่าฟิล์มสังเคราะห์

2.2.1.3 फिल्मอัลจีเนต

อัลจีเนตเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่เป็นกรด (acid polysaccharide) ประกอบด้วยพอลิเมอร์เส้นตรงของ 1,4- β -D-mannuronic และ α -L-gukuronic acid สามารถทำให้เกิดฟิล์มที่คงตัวโดยการเชื่อมขวาง แคลเซียมไอออนและโพลิกลูโรเนต ทำให้เกิดโครงร่างที่มีการเชื่อมขวางกัน 3 มิติ การใช้อัลจีเนตเคลือบอาหาร มีการใช้กับผลิตภัณฑ์พวกเนื้อวัว เนื้อหมู เป็ด ไก่ และเนื้อแกะ โดยอัลจีเนตที่เคลือบผลิตภัณฑ์สามารถลดการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความชื้นภายในของเจลอัลจีเนตที่เคลือบมีความชื้นสูง เกิดการสูญเสียไปก่อนที่อาหารที่ห่อหุ้มจะสูญเสียความชื้น นอกจากนี้การเคลือบด้วยอัลจีเนต ยังสามารถช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันขององค์ประกอบอาหาร (นพรัตน์ มะเห, 2541)

2.2.2 फिल्मโปรตีน (Protein film)

ฟิล์มโปรตีนสามารถผลิตได้จากโปรตีนหลายชนิด เช่น คอลลาเจน เจลลาติน เคซีน เวย์โปรตีน โปรตีนในข้าวโพด โปรตีนในข้าวสาลี และโปรตีนถั่วเหลือง ฟิล์มโปรตีนให้สมบัติในการเป็นตัวกั้นการซึมผ่านไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากสมบัติในการชอบน้ำของโปรตีน แต่ฟิล์มโปรตีนมีการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดี การใช้ประโยชน์ฟิล์มโปรตีน อาจใช้ในการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส หรือสีที่เติมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หรือห่อหุ้มเมล็ดถั่ว ฟิล์มจากโปรตีนมีสมบัติเชิงกลและสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านที่ดีกว่าฟิล์มจากโพลิแซคคาไรด์ เนื่องจากโพลิแซคคาไรด์เป็นพอลิเมอร์ ส่วนโปรตีนมีโครงสร้างที่จำเพาะ จึงให้สมบัติเชิงหน้าที่กว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลที่สูง สามารถเกิดพันธะได้ในตำแหน่งที่หลากหลายและมีความหลากหลายของพันธะ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ตัวทำละลาย พีเอช และสารต่างๆ ที่เติมลงไป (นพรัตน์ มะเห, 2541)

2.2.3 फिल्मไขมัน (Lipid film)

การใช้ไขมันห่อหุ้มอาหารมีมานานแล้ว เช่น การห่อหุ้มช็อกโกแลต และผลไม้ ไขมันมีหลายชนิดที่ใช้ในการห่อหุ้ม เช่น อซีทีเลต โมโนกลีเซอไรด์ ไชธรรมาชาติและสารตั้งผิว เนื่องจากไขมันมีความเป็นขั้วต่ำ ดังนั้นหน้าที่พื้นฐานของฟิล์มไขมัน คือ ป้องกันการสูญเสียความชื้นของอาหาร การใช้ไขมันในรูปแบบ

บริสุทธิ์อาจมีข้อจำกัด เพราะฟิล์มไม่มีความสมบูรณ์และความทนทาน ดังนั้นจึงมักใช้โครงสร้างอื่นเป็นตัวยึด ไขมันสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นผลึกจึงมีความที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ การป้องกันการซึมผ่านจึงขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของผลึก ไขมันที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกค่อนข้างแน่น จะป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่าไขมันที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวม ๆ (นพรัตน์ มะเห, 2541)

2.3. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพ

สมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากพอลิเมอร์ชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ (นพรัตน์ มะเห, 2541)

- ชนิดและสมบัติทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือเตรียมฟิล์ม
- สภาพที่ใช้ในการเตรียมสารละลายฟิล์ม เช่น พีเอช อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน เป็นต้น
- อุณหภูมิขณะทำแห้งฟิล์ม
- ความเข้มข้นของวัสดุที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม
- สารเติมแต่งที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม เช่น พลาสติไซเซอร์ สารให้ความชุ่มชื้น สารกันเหิน และสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น

2.3.1 ชนิดของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์มมีหลายชนิด เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน ไขมัน และการผสมของพอลิเมอร์หลายชนิด พอลิเมอร์แต่ละชนิดให้ฟิล์มที่มีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ฟิล์มชนิดหนึ่งอาจให้สมบัติที่เด่นในด้านหนึ่ง แต่อาจให้สมบัติที่ด้อยในอีกด้าน เช่น ฟิล์มจากโปรตีนสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำไม่ดี แต่มีการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี นอกจากนี้ฟิล์มจากโปรตีนยังสามารถใช้บริโภคได้เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหาร ฟิล์มจากกรดไขมันมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เนื่องจากมีความเป็นขั้วต่ำ ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดต่าง ๆ จะมีค่าแตกต่างกัน เช่น ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดจะให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าฟิล์มจากเซลลูโลส และฟิล์มจากเซลลูโลสจะให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำที่สูงกว่าฟิล์มสังเคราะห์ ส่วนฟิล์มจากขี้ผึ้งมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุด (Sothornvit, 2001)

2.3.2 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม สารประเภทนี้จะช่วยปรับปรุงลักษณะของฟิล์มให้นุ่มขึ้นและมีความยืดหยุ่น โดยจะต้องมีสมบัติในการรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม เป็นสารที่ระเหยได้ยาก จุดเดือดสูง และสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวของพลาสติกไซเซออร์ระหว่างการทำแห้งฟิล์ม โดยเติมลงไปเพื่อลดความเปราะของแผ่นฟิล์ม ซึ่งความเปราะของแผ่นฟิล์มเกิดจากแรงยึดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ พลาสติกไซเซออร์ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์อ่อนตัวลง เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์ม ทำให้การต้านแรงดึงลดลง แต่ในขณะเดียวกันเกิดโครงสร้างที่จับกันอย่างหลวมๆ เนื่องจากแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ลดลงทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำลดลง

พลาสติกไซเซออร์ซึ่งใช้กับฟิล์มสำหรับห่อหุ้มอาหารมีหลายประเภท เช่น

- พวกลิโนล ได และโกลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตสและน้ำผึ้ง
- พวกลีโอลอล เช่น กลีเซอรอล ซอร์บิทอล แมนนิทอล โพรพิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล

คอล

จากการศึกษาผลของพลาสติกไซเซออร์ในฟิล์ม พอลิแซคคาไรด์ พบว่า พลาสติกไซเซออร์สามารถลดแรงระหว่างพันธะไฮโดรเจนและเพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ลดความเปราะและเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำ พลาสติกไซเซออร์แต่ละชนิดมีผลต่อการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่แตกต่างกัน โดยฟิล์มจะมีค่าการซึมผ่านไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1) (Sothornvit et al., 2001)

ตารางที่ 1 ผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) ของฟิล์ม พอลิแซคคาไรด์ ที่ 25 °C

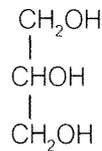
Plasticizer	Thickness (mm)	RH inside cup (%)	WVP (g.mm/kPa.h.m ²)
37.5% Glycerol	0.121	65.1	4.99±0.10
50% Glycerol	0.121	59.1	6.44±0.39
50% PEG200	0.116	61.6	5.61±0.57
50% PEG400	0.115	62.6	5.40±0.49
37.5% Sorbitol	0.129	79.4	2.58±0.18
50% Sorbitol	0.136	75.0	3.53±0.21

ที่มา: Sothornvit และคณะ (2001)

ชนิดของพลาสติกไซเซอรที่สำคัุที่ใช้ในการผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

- กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล หรือ กลีเซอริน มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3- propanetriol glycerol และ trihydroxypropane สูตรทางเคมี คือ $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92.10 มีสูตรโครงสร้างเคมี ดังนี้



จากการศึกษาผลของกลีเซอรอลต่อสมบัติของฟิล์มผสมที่ผลิตจากเพคตินและแป้ง ในอัตราส่วนของเพคติน : แป้ง เท่ากับ 90:10 พบว่า เมื่อระดับของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นถึง 45 % การเปลี่ยนแปลงของการต้านแรงดึงมีน้อยมาก ค่าการยืดตัวเมื่อขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่ามอดุลัสลดลงเมื่อใช้กลีเซอรอลในระดับต่ำ เมื่อระดับของกลีเซอรอลมากกว่า 45 % พบว่า ค่า มอดุลัสและการต้านแรงดึงลดลงอย่างรวดเร็ว และที่ความเข้มข้นของกลีเซอรอล 60 และ 75% ไม่พบรอยแตกของฟิล์ม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของกลีเซอรอลต่อสมบัติของฟิล์มผสมระหว่างเพคตินและแป้ง (อัตราส่วน 90:10)

% Glycerine	Tensile strength (Pa)	Modulus (Pa)	Elongation at break (%)
16	2.7×10^7	3.4×10^9	1.8
30	2.0×10^7	2.6×10^9	1.2
45	2.7×10^7	1.7×10^9	3.1
60	$>1.7 \times 10^7$	7.6×10^8	>13.0
75	$>3.4 \times 10^6$	7.5×10^7	>13.0

ที่มา: นพรัตน์ มะเห (2541)

2.4. สมบัติที่สำคัญของฟิล์มชีวภาพ

สมบัติของฟิล์มสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.1 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลเป็นสมบัติที่เกี่ยวกับความเหนียว และความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม สมบัติที่สำคัญ เช่น การต้านแรงดึง การยืดตัว การต้านแรงกระแทก และการต้านแรงฉีกขาด

การต้านแรงดึง (Tensile strength) หมายถึง ความสามารถของฟิล์มในการต้านแรงดึง ซึ่งกระทำที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่ จนแผ่นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (kN/m^2) หรือ กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (kgf/cm^2)

$$\text{ค่าการต้านแรงดึง (Tensile strength)} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

การยืดตัว (Elongation at break) มีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของแผ่นทดสอบ เป็นค่าที่บอกถึงความเหนียวของฟิล์มและการใช้งาน

$$\text{ค่าการยืดตัว (\%)} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

2.4.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี เป็นสมบัติที่แสดงถึงลักษณะภายนอกที่มองเห็น และความสามารถในการสกัดกั้นไอน้ำ อากาศ และไขมัน รวมทั้งความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม

2.4.2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น หมายถึง น้ำหนักของชิ้นทดสอบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ อุณหภูมิที่กำหนด หน่วยที่นิยมใช้ คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) สมบัติข้อนี้บางครั้งใช้สำหรับการบ่งบอกชนิดของฟิล์ม หรือแผ่นพลาสติกได้ เพราะถ้าฟิล์มหรือพลาสติกต่างชนิดกัน มักมีค่าของความหนาแน่นต่างกัน

2.4.2.2 ความหนา

ความหนา หมายถึง ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าของฟิล์ม หรือแผ่นพลาสติก มีหน่วยเป็นไมครอน หรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติอื่น ๆ เช่น ความคงรูป การต้านแรงดึง การต้านแรงฉีกขาด ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและอากาศ เป็นต้น

2.4.2.3 การดูดซับน้ำ

การดูดซับน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่ฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกดูดซับไว้ในระยะเวลาที่กำหนด สมบัติข้อนี้มีความสำคัญ เพราะถ้าฟิล์มหรือพลาสติกดูดซับน้ำได้มากมีผลทำให้เกิดการบวมตัว อีกทั้งทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซลดลงอีกด้วย ค่าการดูดซับน้ำสามารถวัดเป็นหน่วยร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการดูดซับน้ำภายใต้สภาวะที่กำหนด

2.4.2.4 ความต้านทานไขมัน/น้ำมัน

ความต้านทานไขมัน/น้ำมัน มีความสำคัญเมื่อผลิตภัณฑ์บรรจุมีไขมันหรือน้ำมันมีส่วนผสมอยู่ในปริมาณสูง วิธีการวิเคราะห์สมบัตินี้ใช้น้ำมันสนเป็นตัวแทนของน้ำมัน จับเวลาที่น้ำมันสนปริมาตรที่กำหนดซึมผ่านผิวหน้าของชิ้นทดสอบมายังอีกผิวหน้าหนึ่ง

2.4.2.5 อัตราการซึมผ่านไอน้ำ

อัตราการซึมผ่านไอน้ำ หมายถึง ปริมาณของไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหน่วยพื้นที่ผิวของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน/บรรยากาศที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์

ไอน้ำและก๊าซสามารถซึมผ่านวัสดุที่ใช้ในการห่อหุ้มอาหารโดยผ่านรูขนาดเล็ก หรือการชักนำให้เกิดการแพร่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของส่วนประกอบ

2.5. เปรียบเทียบสมบัติบางประการของฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพและฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์บางชนิด

ฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นกับโครงสร้างทางเคมี ความหนาของฟิล์ม รวมทั้งวิธีและองค์ประกอบที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มด้วย ซึ่งสมบัติที่ต้องการขึ้นกับการนำไปใช้ประโยชน์ ในแง่ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพที่ต้องการควรมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับสมบัติของฟิล์มจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้สำหรับงานบรรจุภัณฑ์ ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของฟิล์มจากพอลิเมอร์ชีวภาพและฟิล์มจากพอลิเมอร์สังเคราะห์บางชนิดที่นิยมใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 3 สมบัติบางประการของฟิล์มพอลิเมอร์สังเคราะห์สำหรับงานบรรจุภัณฑ์และฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพบางชนิด

Films	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	WVP (g/m.s.Pa)	Ref.
HDPE	17.2375 - 41.4	200 - 600	3.58×10^{-17}	Jenkins and Harrington (1991)
LDPE	10.3425 - 34.5	200 - 600	$8.94 - 17.9 \times 10^{-17}$	Jenkins and Harrington (1991)
LLDPE	20.685 - 55.2	400 - 800	$8.94 - 17.9 \times 10^{-17}$	Jenkins and Harrington (1991)
EVA	13.79 - 20.7	500 - 800	$1.79 - 2.68 \times 10^{-16}$	Jenkins and Harrington (1991)
OPP	137.9 - 206.9	50 - 275	3.58×10^{-17}	Jenkins and Harrington (1991)
PET	172.375 - 227.5	70 - 130	$8.94 - 13.4 \times 10^{-17}$	Jenkins and Harrington (1991)
PVC	27.58 - 55.2	100 - 400	$1.79 - 26.8 \times 10^{-16}$	Jenkins and Harrington (1991)
PVDC	55.16 - 110.3	50 - 100	$4.47 - 26.8 \times 10^{-18}$	Jenkins and Harrington (1991)
EVOH	8.274 - 11.7	120 - 280	$2.68 - 5.37 \times 10^{-16}$	Jenkins and Harrington (1991)
PC	62.055 - 75.8	100 - 150	1.07×10^{-15}	Jenkins and Harrington (1991)
Tuna-fish gelatin (+25% glycerol)	2.75 - 5.91	3.56 - 13.77	$1.83 - 2.87 \times 10^{-10}$	Gomez-Estaca et al. (2009)
Bigeye snapper gelatin (+25% glycerol)	28.3	2.67	1.22×10^{-10}	Jongjareonrak et al. (2006)
Whey protein isolate film (+40% glycerol)	14.0	31		McHugh and Krochta (1994)
Rice starch film + 20% glycerol	10.9	2.8	4.64×10^{-11}	Dias et al. (2010)
+ 30% glycerol	1.6	59.8	8.67×10^{-11}	Dias et al. (2010)
+ 20% sorbitol	22.3	2.8	2.67×10^{-11}	Dias et al. (2010)
+ 30% sorbitol	11.2	3.9	3.03×10^{-11}	Dias et al. (2010)
Gellan film (+ 60% glycerol)	30.0	28	3.33×10^{-10}	Yang and Paulson (2000)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- เพื่อศึกษาการเกิดฟิล์มและสมบัติบางประการของฟิล์มจากเคิร์ดแลน
- เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติของฟิล์มเคิร์ดแลน
- เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมฟิล์มต่อโครงสร้างในสถานะของแข็งและสมบัติของฟิล์มเคิร์ดแลน
- เพื่อศึกษาความคงตัวของฟิล์มเคิร์ดแลน