

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ปลาทรายแดง

ปลาทรายแดงหรือปลาแดงหรืออังโกลี เป็นปลาทะเลชนิดหนึ่ง มีชื่อภาษาอังกฤษเรียกกัน โดยทั่วไปว่า Threadfin-bream เนื่องจากตามครีบมีลักษณะเป็นเส้นสายเล็กๆ ส่วนในด้านวิชาการ นั้นมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Nemipterus spp.* และถูกจัดอยู่ในวงศ์เนมิพเทอริดี (Family Nemipteridae) อันดับเพอร์ซิฟอร์มิส (Order Perciformes) ปลาทรายแดงเป็นปลาที่มีรูปร่าง สวยงาม โดยทั่วไปจะมีลำตัวสั้นป้อม บ้างก็ยาวรี ด้านข้างแบน เกล็ดไม่ใหญ่นัก และเป็นชนิดที่ริม เป็นหยัก ลำตัวมีสีส้มหรือสีชมพูสดใส ด้านท้องสีจาง มีแถบสีเหลืองหรือเหลืองแกมเขียวพาดตาม ตัวหรือครีบ ขนาดตัวโตเต็มที่เท่าที่มีรายงานในอ่าวไทย พบว่ามีขนาดความยาวของลำตัวตลอด ปลายหางประมาณ 20 ถึง 30 เซนติเมตร ปลาพวกนี้ปกติว่ายน้ำช้า ชอบอาศัยตามพื้นท้องทะเลที่มีทรายปนโคลน หรือโคลนปนทราย หรือตามสถานที่ที่อยู่ใกล้ปะการัง มีอยู่ในอ่าวไทยแถบจังหวัด ชลบุรี ระยอง ตราด ปัตตานี (หน่วยสำรวจแหล่งประมง, 2516)

ความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในสมัยก่อนปลาทรายแดงเป็นอาหารทะเลที่รู้จักกันเฉพาะชาว ประมงเท่านั้น ส่วนใหญ่ใช้เป็นอาหารของสัตว์เลี้ยง ไม่ค่อยนิยมเอามารับประทานกัน แต่ปัจจุบัน เป็นปลาหน้าดินชนิดหนึ่งที่รู้จักกันแพร่หลายและนิยมบริโภคกันมากในท้องตลาด เนื่องจากมีรสชาติ สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายอย่าง และทั้งมีคุณค่าในทางโภชนาการไม่ด้อยไปกว่าปลา ทะเลชนิดอื่นๆ มีปริมาณมาก ราคาพอสมควร

ชนิดของปลาทรายแดงเท่าที่มีรายงานในอ่าวไทยพบว่า เป็นปลาทะเลจำพวกหนึ่งซึ่งมีอยู่ มากมายหลายชนิด (species) ด้วยกัน ประมาณกันว่ามีมากกว่า 10 ชนิด แต่ที่จับได้มากและ บ่อยๆ โดยอวนลากหน้าดินมีอยู่ 4 ชนิด คือ *N. japonicus*, *N. hexodon*, *N. nematophorus* และ *N. peronii* ปลาทรายแดงเป็นปลาเนื้อขาว และมีความสามารถในการเกิดเจลสูง มี myofibrillar protein ที่ทนต่อสภาวะแช่เยือกแข็งในการเก็บรักษาได้ดีจึงนิยมนำมาผลิตเป็นซูริมิ เนื่องจากทำให้ ได้ซูริมิที่มีคุณภาพสูง (Holmes, Noguchi and McDonal, 1992) และพันธุ์ที่นิยมนำมาทำเป็นซูริมิ ในประเทศไทยคือ *N. hexodon*

2.2 ขั้นตอนการผลิตซูริมิในระดับอุตสาหกรรม (Toyoda, Kimura, Fijita, Noguchi and Lee, 1992)

การผลิตซูริมิในอุตสาหกรรมมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การล้างทำความสะอาด เมื่อรับวัตถุดิบมาแล้วต้องมีการล้างทำความสะอาดปลาเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น โคลน ทราย และเป็นการกำจัดจุลินทรีย์ที่ติดมากับปลาได้บางส่วน ใน การล้างจะใช้น้ำเกลือ เพื่อไม่ให้เนื้อปลามีการเสียน้ำ

2. การเตรียมวัตถุดิบ นำปลามาตัดหัวควักไส้ และล้างทำความสะอาดอีกครั้งเพื่อกำจัด เลือด และเอนไซม์จากทางเดินอาหาร

3. การแยกเนื้อ ทำการแยกเนื้อปลาโดยใช้เครื่องแยกเนื้อออกจากกระดูก ซึ่งใช้หลักการบีบอัดเนื้อปลาผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 3.5 – 4 มิลลิเมตร ทำให้ก้างและหนังติดอยู่กับแผ่นตะแกรง ส่วน เนื้อปลาจะสามารถลอดผ่านไปได้

4. การล้างน้ำ นำเนื้อปลามาล้างน้ำ 3 – 4 ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น ไขมัน หนัง เลือด และโปรตีนที่ละลายน้ำออก ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดใน การผลิตซูริมิ เนื่องจากจะมีผลต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพราะซูริมิเป็นผลิตภัณฑ์ที่อาศัย การเกิดเจลของ myofibrillar protein หากมีส่วนที่ไม่ใช่ myofibrillar protein ปนอยู่จะทำให้ขัดขวาง การเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ได้ ในระหว่างการล้างน้ำจะต้องรักษาอุณหภูมิของน้ำไม่ให้เกิน 10 องศาเซลเซียส การล้างแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลานานเกิน 15 นาที และควรกำจัดน้ำในแต่ละครั้งออกให้ มากที่สุด

5. การกำจัดสิ่งปนเปื้อน เนื้อปลาที่ผ่านการล้างน้ำแล้วจะต้องผ่านเข้าเครื่อง refiner เพื่อกำจัดเศษก้าง เกล็ด อวัยวะภายใน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันออกให้หมด

6. การกำจัดน้ำ เนื้อปลาจะเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อกำจัดน้ำออกให้เหลือความชื้น ประมาณ 85% โดยน้ำหนัก

7. การสับผสม นำเนื้อปลามาเข้าเครื่องสับผสม (silent cutter) โดยเติมสารไครโอโปรเทคแทนท์ (cryoprotectant) ได้แก่ สารฟอสเฟต น้ำตาล และซอร์บิทอล เพื่อรักษาคุณภาพของโปรตีนไว้เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง ในระหว่างการสับผสมเนื้อปลาจะเกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทานขึ้น ดังนั้นควรทำให้เนื้อปลาและเครื่องจักรเย็นก่อนจะทำการผลิต

8. การแช่เยือกแข็ง นำเนื้อปลาที่ได้บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (polyethylene) ขนาด 10 กิโลกรัมต่อหน่วย แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -25 องศาเซลเซียส

จากขั้นตอนการผลิตซูริมิตั้งกล่าวจะพบว่าขั้นตอนการล้างเนื้อปลาด้วยน้ำหลายครั้ง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดและมีผลต่อคุณภาพของซูริมิที่ผลิตได้ เนื่องจากขั้นตอนการล้างน้ำนี้เป็นการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการและขัดขวางการเกิดเจลของซูริมิออกไป (Tayoda *et al.*, 1992) สิ่งที่ถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนนี้คือ

1. โปรตีนที่ละลายน้ำได้ในกล้ามเนื้อปลา (water-soluble sarcoplasmic proteins)
2. เอนไซม์บางชนิด เช่น proteases
3. เลือด และ รังควัตถุ (pigments) ต่างๆ
4. ไขมัน (lipids)
5. สารประกอบจำพวกฮีม (haem compounds)

จะพบว่าขั้นตอนการล้างเนื้อปลาด้วยน้ำในครั้งแรกของกระบวนการผลิต น้ำเสียที่ออกมา มีโปรตีน ไขมัน และเถ้า อยู่ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับการล้างในครั้งต่อมา คือ 2.34 0.13 และ 0.41% ตามลำดับ โปรตีนที่พบมากในช่วงแรกของกระบวนการล้างเป็นพวกที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ประมาณ 40 – 50 kDa (sarcoplasmic proteins) และในช่วงหลังๆ จะพบโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ ประมาณ 205 kDa คือไมโอซิน (myosin) มากขึ้น เนื่องจากการล้างที่รุนแรงหลายครั้งจะทำให้ไมโอซินละลายลงมากในน้ำได้มากขึ้น (Lin, Park, and Morrissey, 1995)

2.3 Sarcoplasmic protein

จากขั้นตอนการผลิตซูริมิตั้งกล่าวจะพบว่าจากกระบวนการล้างเนื้อปลาโปรตีนที่แยกได้ส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งโดยปกติแล้วองค์ประกอบต่างๆ ของเนื้อปลาจะเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบโดยประมาณของเนื้อปลา

Composition	Content (%)
Water	71.7
Protein	24.3
- water soluble	(23 - 44)
- salt soluble	(70 - 50)
- alkali soluble	(2 - 4)
- insoluble	(2)
Lipid	2.7
Ash	1.2

ที่มา : Suzuki, 1981., ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงร้อยละของโปรตีนแต่ละชนิดเทียบกับโปรตีนทั้งหมด

จากตารางจะพบว่าโปรตีนที่สำคัญในเนื้อปลามี 2 ชนิดด้วยกัน คือ

1. Myofibrillar proteins (salt soluble proteins) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือ ไม่ละลายในน้ำ เป็นโปรตีนที่สำคัญในกล้ามเนื้อปลาเนื่องจากเป็นโปรตีนโครงสร้างของกล้ามเนื้อ ส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนชนิดนี้ ได้แก่ แอคติน (actin) และ ไมโอซิน ซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) ได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 53 องศาเซลเซียส (Murphy, Marks, and Marcy, 1998)

2. Sarcoplasmic proteins (water soluble proteins) เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ และเป็นโปรตีนที่มีปริมาณแตกต่างกันไปค่อนข้างมากในสัตว์น้ำแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2

ปริมาณ sarcoplasmic proteins ที่พบในปลาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา โดยที่ปลาเนื้อแดงจะมีปริมาณ sarcoplasmic proteins สูงกว่าในปลาเนื้อขาว และในส่วนกล้ามเนื้อสีเข้ม (dark muscle) จะมีปริมาณ sarcoplasmic proteins มากกว่าในส่วนกล้ามเนื้อสีขาว (white muscle) โดยส่วนกล้ามเนื้อสีเข้มของปลา mackerel มีปริมาณ sarcoplasmic proteins ประมาณ 50% และในปลา sardine มีประมาณ 46% ในขณะที่ส่วนกล้ามเนื้อสีขาวของปลา mackerel มีปริมาณ sarcoplasmic protein ประมาณ 38% และในปลา sardine มีประมาณ 34% (Suzuki, 1981)

ตารางที่ 2 ปริมาณของ sarcoplasmic protein ในสัตว์น้ำบางชนิด

ชนิดของสัตว์	ปริมาณ sarcoplasmic protein (%)
Kuruma prawn	32
Octopus	31
Squid	12 - 20
Shark	21 - 22
Cod	21
Yellowtail	32
Flying fish	29
Carp	23 - 25
Yellowfin tuna	42
Mackerel	38
Sardine	34
Blue marlin	44

ที่มา : Suzuki, 1981

โปรตีนส่วนใหญ่ที่เป็นส่วนประกอบของ sarcoplasmic proteins ได้แก่ ไมโอโกลบิน (myoglobin) เอนไซม์ (enzyme) และ อัลบูมิน (albumin) sarcoplasmic proteins จากปลา เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเนื่องจากมีลักษณะโมเลกุลเป็นก้อนกลม (globular) ซึ่งประกอบด้วย สายโซ่โพลีเพปไทด์ (polypeptide) มาขดม้วน ได้โครงสร้างที่มีความสำคัญสำหรับหน้าที่ทางชีวภาพ เมื่อถูกความร้อนหรืออยู่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลง pH ให้สูงหรือต่ำเกินไป หรือการใช้ยูเรีย (urea) โปรตีนก้อนกลมนี้จะสูญเสียสภาพธรรมชาติ แต่พันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) ยังคงอยู่ โครงสร้างที่สูญเสียสภาพธรรมชาตินี้มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ (random coil) ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ละลาย น้ำที่ pH เท่ากับ 7 (อาภัสรา ชมิดท์, 2537) โปรตีนชนิดนี้จะสามารถสกัดได้ด้วยน้ำหรือสารละลายเกลือธรรมชาติที่มีค่า ionic strength ต่ำกว่า 0.15

Sarcoplasmic proteins อาจจะใช้เป็น fingerprint เพื่อแบ่งแยกปลาชนิดต่างๆ ออกจากกันได้โดยวิธี electrophoretic และ isoelectric focusing techniques บางครั้งอาจเรียกโปรตีนชนิดนี้ว่าไมโอเจน (myogen) (Shahidi and Botta, 1994; Whitaker and Tannenbaum, 1977)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของ sarcoplasmic proteins ที่สำคัญในปลาบางชนิด

Fish name	Myogen (%)	Myoalbumin (%)	Globulin X (%)
Croaker	67	25	8
Jack mackerel	72	13	15
Mackerel	72	5	23

ที่มา : Suzuki, 1981

จากที่กล่าวมาแล้วทำให้ทราบว่า ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในสัตว์ต่างๆ มีปริมาณค่อนข้างมาก และในกระบวนการผลิตซูริมีจำเป็นจะต้องกำจัดโปรตีนส่วนนี้ออกจากเนื้อปลาให้มากที่สุด มีการประมาณว่าในการผลิตซูริมี 1 กิโลกรัม จะให้น้ำเสียออกมาจากขั้นตอนการล้างน้ำถึง 29.1 ± 3.5 ลิตร และในน้ำเสียดังกล่าวจะมีโปรตีนที่ละลายน้ำได้ปนอยู่ถึงประมาณ 2% (Lin, Park, and Morrissey, 1995) ในปัจจุบันได้มีความพยายามแยกโปรตีนที่ละลายน้ำได้นี้มาใช้ แต่การใช้ประโยชน์จากโปรตีนที่แยกได้นี้ยังมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะใช้ผสมในอาหารสัตว์ ทำให้มูลค่าของโปรตีนที่แยกได้ค่อนข้างต่ำ ไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในการแยก จึงทดลองนำโปรตีนชนิดนี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มบริโภาคได้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับโปรตีนดังกล่าว

2.4 ฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภาคได้ (Edible film and coating)

2.4.1 คำจำกัดความ

ฟิล์มบริโภาคได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ นำมาใช้กับอาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม (enrobing) การจุ่ม (dipping) การแปรง (brushing) หรือการพ่นฝอย (spraying) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือชะลอการผ่านเข้าออกของแก๊ส ไอน้ำ ไขมัน เกลือ สารละลาย จุลินทรีย์ หรือสารอื่นๆ จากอาหาร ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปคำว่าฟิล์มหรือสารเคลือบไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ในที่นี้การเคลือบเป็นการนำเอาสารดังกล่าวในลักษณะที่เป็นของเหลวมาเคลือบกับผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่การใช้ฟิล์มจะต้องมีการผลิตเป็นแผ่นฟิล์มขึ้นก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ (Guilbert, 1986)

2.4.2 วิวัฒนาการของฟิล์มและสารเคลือบบริโภคน้ำได้

การใช้ฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารไม่ใช่เรื่องใหม่ แท้จริงแล้วการเคลือบอาหารเป็นความคิดดั้งเดิมที่จะเลียนแบบสารเคลือบผิวธรรมชาติของผักและผลไม้ จึงมีการห่อหุ้มอาหารด้วยลิพิด (lipid) เช่น ไช (wax) และไขมัน เพื่อป้องกันผิวของผัก ผลไม้ จากสูญเสียความชื้น ดังตัวอย่างการทดลองเคลือบส้มและมะนาวสดด้วยไชเพื่อชะลอการระเหยของน้ำ ซึ่งทำกันมานานแล้วในประเทศจีนตั้งแต่ศตวรรษที่ 12 และ 13 ในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมา มีเอกสารวิทยาศาสตร์และเอกสารสิทธิบัตรที่แสดงผลงานวิจัย ซึ่งมุ่งที่จะพัฒนาฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้ อย่างไรก็ตามมีฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้เพียง 2 - 3 ชนิดเท่านั้นที่นำมาใช้ทางการค้า เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้วฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติในการขวางกั้น (barrier) มีให้น้ำ แก๊ส ฯลฯ ผ่านเข้าออกจากอาหารดีกว่าฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้แต่กระนั้นก็ยังมีการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวกับฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้ต่อไปและได้ขยายวงกว้างขึ้นใน 2 - 3 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้มีข้อดีอื่นๆ เหนือกว่าฟิล์มพลาสติกหลายประการด้วยกัน จึงคาดว่าฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้จะมีบทบาทสำคัญต่อผลิตภัณฑ์อาหารของไทยมากขึ้นในอนาคต (มณฑาทิพย์ อยู่นฉลาด, 2535)

2.4.3 เหตุผลของการใช้ฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้

แม้ไม่อาจใช้ฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้แทนวัสดุบรรจุภัณฑ์สังเคราะห์หรือพลาสติกได้ แต่เราสามารถนำฟิล์มและสารเคลือบดังกล่าวเป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหรือยืดอายุการเก็บและเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการใช้ฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคน้ำได้กับฟิล์มพลาสติกบรรจุอาหารมีความคล้ายคลึงกัน ได้แก่ เพื่อชะลอความชื้นและแก๊สให้ซึมผ่านได้ช้าลง ป้องกันมิให้สารหอมระเหยสูญเสียไป ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ และป้องกันการแตกหักเสียหาย เป็นต้น (มณฑาทิพย์ อยู่นฉลาด, 2535)

2.4.4 ข้อดีของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ (Robertson, 1993)

ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้มีข้อดีที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติกดังนี้

1. บริโภคฟิล์มได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัดในการลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม
2. ในกรณีที่ไม่บริโภคฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย เป็นการช่วยลดปัญหามลพิษเช่นกัน
3. เพิ่มคุณค่าทางประสาทสัมผัส ชวนให้นำรับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้นเมื่อใช้ฟิล์มประเภทนี้
4. เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน
5. ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชั้นได้ เช่น ถั่ว เป็นต้น
6. ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พืชชา พาย เป็นต้น
7. ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันจุลินทรีย์ และสารกันหืน และยังควบคุมอัตราการซึมของสารกันเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร
8. สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดแคปซูล บรรจุสารให้กลิ่นและสารทำให้ขึ้นฟูได้
9. สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติกโดยให้ฟิล์มที่บริโภคได้สัมผัสกับอาหารโดยตรง

2.4.5 ชนิดของฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคได้และการใช้ประโยชน์

2.4.5.1 ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide film)

โพลีแซคคาไรด์หลายชนิดสามารถนำมาใช้ผลิตฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคได้ แต่เนื่องจากธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้ชอบน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางตัวที่ใช้เคลือบอาหารมีลักษณะเหมือนวุ้น จะลดการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้นๆ นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์บางชนิดยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ของลิพิดและองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารได้อีกด้วย สามารถใช้โพลีแซคคาไรด์บางชนิดผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่บริโภคได้ เช่น แอลจีเนต (alginate) เพกทิน (pectin) คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ตัวอย่างการนำมาใช้ เช่น ฟิล์มแอลจีเนต นิยมใช้ในรูปโซเดียมแอลจีเนตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออนซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ การเคลือบด้วยฟิล์มชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยจะช่วยลดการสูญเสีย น้ำ ลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ รักษาสีแดงของเนื้อ ป้องกันการออกซิเดชันของลิพิด และช่วยให้ลักษณะสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (มณฑาทิพย์ อยู่นฉลาด, 2535)

2.4.5.2 ฟิล์มลิพิด (lipid film)

ลิพิดไม่นิยมขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแต่จะใช้เป็นสารเคลือบโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ผลอย่างอื่นด้วย เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างการขนส่ง หรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้งแอสีทิลเลตโมโนกลีเซอไรด์ ไชธรรมาชาติ และสารตึงผิว (surfactants) สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ ตัวอย่างของฟิล์มลิพิด ได้แก่ ฟิล์มไซบริโกลด์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการซึมผ่านของความชื้นได้ดีมากโดยเฉพาะไซพาราฟินและไขมัน นอกจากนี้ฟิล์มจากไซพาราฟินและไซคาร์บูรายังช่วยลดอัตราการแพร่ของแก๊สเบนโซเอตเข้าสู่อาหารได้ดีจึงสามารถใช้รักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของอาหารไว้ได้เป็นเวลานาน ฟิล์มลิพิดอีกชนิดหนึ่งคือสารตึงผิว การเคลือบอาหารด้วยสารตึงผิวจะช่วยลดค่า water activity (a_w) ที่ผิวหน้าของอาหารและลดอัตราการระเหยของน้ำซึ่งจะทำให้การเสื่อมสภาพของอาหารช้าลง โดยสารที่ให้ผลดีที่สุด คือ แอลกอฮอล์ซึ่งมีกรดไขมันโมโนเลกุล (fatty alcohol) ที่มีจำนวนคาร์บอน 16 - 18 อะตอม กลีเซอรอลโมโนพาลมิเตต และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต นอกจากนี้ในการผลิตแผ่นฟิล์มจากโปรตีนหรือ โพลีแซ็กคาไรด์ ยังใช้ลิพิดร่วมด้วยเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการซึมผ่านของความชื้น (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535)

2.4.5.3 ฟิล์มโปรตีน (protein film)

ในปัจจุบันการศึกษาฟิล์มบริโกลด์จากโปรตีนมีมากขึ้นเนื่องจากเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติการซึมผ่านของแก๊สได้ดี นอกจากนี้โปรตีนยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535) ฟิล์มโปรตีนที่มีการศึกษากันมาก ได้แก่ ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง ฟิล์มจากโปรตีนข้าวโพด ฟิล์มจากโปรตีนไข่ขาว ฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี และฟิล์มจากโปรตีนนม เป็นต้น ฟิล์มจากโปรตีนที่นิยมศึกษากันในปัจจุบันมีหลายชนิด ดังจะกล่าวต่อไป

ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง ส่วนใหญ่เป็นส่วนของ 7s และ 11s โกลบูลิน (globulin) ซึ่งโมเลกุลของโปรตีนทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถเชื่อมกันได้ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bonds) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดฟิล์ม ฟิล์มชนิดนี้เตรียมได้จากวัตถุดิบหลักคือ น้านมถั่วเหลือง หรือโปรตีนที่สกัดจากถั่วเหลือง (soy protein isolate) (Wu and Bates, 1973) ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองนี้สามารถนำมาบริโกลด์เป็นส่วนประกอบของซูบ หรือทำเป็นเนื้อเทียม นอกจากนี้ยังนำมาใช้ห่อเนื้อบดหรือผักให้อยู่ในรูปร่างที่ต้องการ เช่น หอยจ้อ เป็นต้น

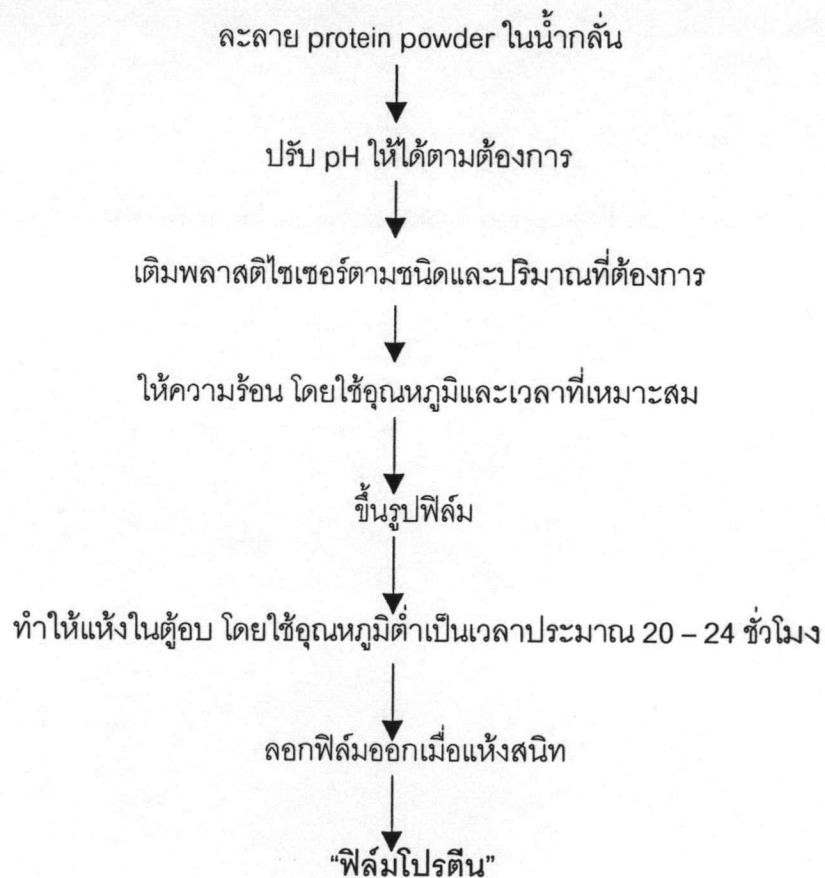
ฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี โปรตีนข้าวสาลีหรือกลูเตน (gluten) ประกอบด้วยกลูอะดีน (gliadin) ร้อยละ 7 ที่เหลือเป็นกลูเตนิน (glutenin) ส่วนประกอบทั้ง 2 นี้มีพันธะไดซัลไฟด์ซึ่ง

มีบทบาทสำคัญในการเกิดฟิล์ม โดยทำให้มีลักษณะการยึดเกาะของโพลีเมอร์และให้ลักษณะยึดหยุ่นดี (Gennadios and Weller, 1990)

ฟิล์มจากโปรตีนเวย์ โปรตีนชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อนหรือการใช้เอนไซม์ เจลที่เกิดขึ้นมาจากโปรตีนสำคัญ 2 ชนิดคือ β -lactoglobulin และ α -lactalbumin โดย α -lactalbumin จะไม่สามารถทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นเจลเองได้ ต้องอาศัย β -lactoglobulin ช่วยในการเกิดเจล นำไปสู่การเกิดพันธะข้าม (cross-link) ระหว่างโมเลกุลโปรตีนและได้เป็นโครงสร้างของฟิล์ม (Fang, Tung, Britt, Yada, and Dalgleish, 2002)

2.4.6 การผลิตฟิล์มที่บริโภคนได้จากโปรตีน

การผลิตฟิล์มบริโภคนได้จากโปรตีนโดยทั่วไปแล้วมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตฟิล์มบริโภคนได้จากโปรตีนโดยทั่วไป

ที่มา : Gennadios and Weller, 1990; Kester and Fennema, 1986

2.4.7 การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำการผลิต film-forming solution

ในการผลิต film-forming solution จะอาศัยหลักการทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ เพื่อให้เกิดการเปิดหมู่ฟังก์ชัน (function) ต่างๆ ที่สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) กัน และเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายระหว่างโมเลกุลของโปรตีนขึ้น เมื่อทำให้แห้งจึงเกิดเป็นโครงสร้างของแผ่นฟิล์มขึ้นได้ ขั้นตอนการทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาตินั้นอาจทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตฟิล์มจากโปรตีนมีด้วยกัน 2 วิธีคือ การให้ความร้อน และการปรับ pH ของสารละลายโปรตีน หรือทั้ง 2 อย่างร่วมกัน (Krochta, 1997)

2.4.7.1 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับ pH ของ film-forming solution

โปรตีนที่อยู่ใน pH ที่ไม่เป็น isoelectric point (pI) ของมัน โดยมากจะมีประจุสุทธิเป็นลบ เมื่อมีการปรับ pH เข้าสู่ isoelectric points ของโปรตีน ประจุสุทธิจะกลายเป็นศูนย์ แรงผลักรันของประจุระหว่างโมเลกุลจะต่ำที่สุด และโปรตีนส่วนมากจะเกิดการตกตะกอน ส่วนโปรตีนที่เหลือในสารละลายที่ isoelectric points ก็จะมีการละลายต่ำสุดในขณะนั้น

ถ้า pH ต่ำกว่า isoelectric point โปรตีนจะเสียสภาพความเป็นลบ และจะมีประจุบวกอย่างเดียว ประจุที่เหมือนกันจะผลักรัน และจะป้องกันไม่ให้โปรตีนเกิดการรวมตัวกันได้ ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประจุมากแรงผลักรันภายในประจูด้วยกันเองอาจจะมากพอที่จะทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว ซึ่งจะมีผลคล้ายกับการให้ความร้อนกับโครงสร้างของโปรตีน ในบางกรณีการคลายตัวอาจจะรุนแรงพอที่จะทำให้เกิดการเปิดออก (expose) ของ hydrophobic group และไม่สามารถเกิดการรวมตัวกันใหม่ให้เกิดโครงสร้างเดิมได้ (Morrissey, Mulvihill, and O'Veill, 1987)

โปรตีนบางชนิดมีหมู่อิธรีนเป็น acid group และเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อยอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียฟังก์ชันแบบผันกลับไม่ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกออกของพันธะโคเวเลนต์ที่มีความจำเพาะ ซึ่งควรพิจารณาแยกออกจากการเกิดเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน การคลายตัวด้วยกรดที่เข้มข้นมากพอที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการปลดปล่อย amide nitrogen จาก glutamine และ asparagine group และในที่สุดจะนำไปสู่การสลายของพันธะเพปไทด์ซึ่งเป็นการเสียสภาพธรรมชาติอย่างถาวร และจะเกิดการตกตะกอนของโปรตีน

ผลกระทบที่เกิดจาก pH สูงๆ ต่างกับที่ pH ต่ำๆ คือ โปรตีนจะมีประจุลบเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะสามารถเกิดการคลายตัวและ aggregation ได้ การใช้ pH สูงๆ นี้ โมเลกุลของโปรตีนจะถูกกระตุ้น (activate) ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะเกิดปฏิสัมพันธ์กับโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่

ใกล้เคียง และจะเกิดการเปลี่ยนแปลง functional properties ต่างๆ ในโมเลกุลของโปรตีน เนื่องมาจากการคลายตัวและการเปิดหมู่ sulfhydryl ออกมา (Pol, Dawson, Acton, and Ogale, 2002)

2.4.7.2 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการให้ความร้อนกับ film-forming solution

เมื่อโปรตีนคลายตัวจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเกิดการสูญเสียความสามารถในการละลาย หรือในกรณีที่โปรตีนนั้นเป็นเอนไซม์จะสูญเสีย enzymatic activity ไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับชนิดของโปรตีน และลักษณะการให้ความร้อน

เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนสูงขึ้น พันธะต่างๆ ในโมเลกุลของโปรตีนจะอ่อนแอลง โดยในขั้นแรกจะส่งผลมากกับแรงสวนที่ยึดกันให้เกิดเป็นโครงสร้างลำดับที่สาม (tertiary structure) ดังนั้นพันธะตรงส่วนนี้จะอ่อนแอลงมากและแตกออกเป็นอันดับแรก ทำให้โปรตีนมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นขึ้นและกระจายตัวในสารละลายมากขึ้น ถ้าหยุดให้ความร้อนในช่วงนี้ โปรตีนอาจจะสามารถกลับเข้ามาอยู่ในสภาพธรรมชาติตามเดิมได้ แต่ถ้าให้ความร้อนต่อไปพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) บางพันธะที่ทำให้เกิดโครงสร้างเกลียวอัลฟา (α -helical structure) ที่เสถียรจะเริ่มแตกออก (Cheftel, Cuq, and Lorient, 1985) เมื่อพันธะตรงนี้แตกออกน้ำจะสามารถแทรก (interact) เข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่กับ amide nitrogen และ carbonyl oxygens ของพันธะเพปไทด์ได้ และ hydrophobic group จะเปิดออกมา

การสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่และการเปิดออกของ hydrophobic group จะทำให้ปริมาณน้ำที่จับกับโมเลกุลของโปรตีนเพิ่มขึ้น การคลี่ออกของโมเลกุลทำให้รัศมีของโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น สุดท้ายโมเลกุลโปรตีนจะพยายามปรับตัวให้มี free energy ต่ำที่สุด โดยการปิด hydrophobic group ที่เปิดออกมา และหันหมู่ที่มีขั้ว (polar group) ออกมาให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ให้เข้าหาตัวทำละลาย ซึ่งดูเหมือนกับว่าโปรตีนนั้นกลับไปเหมือนกับโปรตีนตัวเดิม แต่จริงๆ แล้วโครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ไม่เหมือนกับโปรตีนเดิมตามธรรมชาติ (Cheftel, Cuq, and Lorient, 1985)

เมื่อทำให้สารละลายโปรตีนที่ผ่านการให้ความร้อนเย็นลง จะเกิดโครงสร้างใหม่โดยการรวมตัวกันของโปรตีน แต่โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะไม่เหมือนกับโปรตีนตามธรรมชาติ เนื่องจากในโครงสร้างธรรมชาติต้องการ hydrophobic bonds ในการรวมตัว ซึ่งถูกทำลายไปแล้ว เมื่อ hydrophobic bonds ระหว่างโมเลกุลถูกทำลาย โปรตีนแต่ละโมเลกุลจะมารวมตัวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน

2.4.8 การเกิดฟิล์ม

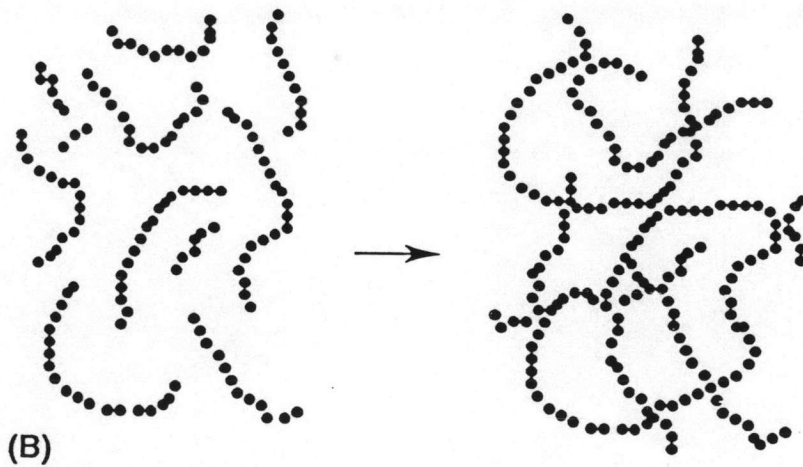
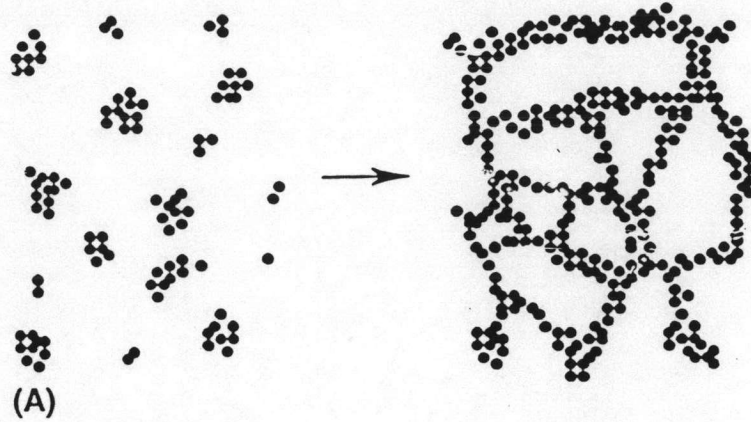
ฟิล์มบริโภาคได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายหรือกระจายตัวในตัวทำละลายแล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การเติมอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เกิดพันธะข้าม การปรับความเป็นกรด - เบส ซึ่งเรียกว่า โคแอกเซอร์เวชัน (coacervation) หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มซึ่งหลอมเหลวเกิดการแข็งตัว (solidification) ฟิล์มบริโภาคได้มีองค์ประกอบหลักคือ โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตัวทำละลาย และสารเจือปนที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม

การเตรียมฟิล์มจะมีแรง 2 ชนิดที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์ด้วยตัวเอง จะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมต่อของโมเลกุลเป็นแผ่นเดียวกันโดยสร้างพันธะที่แข็งแรงซึ่งจะช่วยป้องกันและต้านทานการแยกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของโพลิเมอร์ ระบบการละลาย และสภาวะการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วบนสายโพลิเมอร์ โดยสายโพลิเมอร์ที่ยาวจะทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วบนสายโพลิเมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิก (ionic bond) ระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของโพลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชัน คือถ้าโมเลกุลของโพลิเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มาก จะได้โครงสร้างที่เชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่สูง ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนสภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้นควรเตรียมฟิล์มในสารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้อัตราการระเหยของตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของโพลิเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (pinhole) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้การซึมผ่านของสารต่างๆ เพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม ได้แก่ ความอัดแน่น (compactness) ความโปร่งเป็นรูพรุน (porosity) ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ความยืดหยุ่น (flexibility) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งคือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มหรือช่วยให้เกิดโครงสร้างตาข่ายของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม (Banker, 1966; Oakenfull, Pearce and Burley, 1997)

หลักการขึ้นรูปฟิล์มประเภทโปรตีนนี้เป็นการใช้สารพวกไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ในการผลิตฟิล์ม ซึ่งอาศัยหลักการเกิดเจลของสารไฮโดรคอลลอยด์ และระเหยตัวทำละลายออกจนได้โครงสร้างตาข่ายของไฮโดรคอลลอยด์หรือโปรตีนนั้นๆ (Donhowe and

Fennema, 1994) การเกิดโครงสร้างตาข่ายของโมเลกุลโปรตีนเป็นผลมาจากทฤษฎีการเกิดเจลของโปรตีน โดยการเกิดเจลของโปรตีนจะเกิดเมื่อโมเลกุลโปรตีนมารวมตัวกันเนื่องจากปัจจัยบางอย่าง (Oakenfull, Pearce, and Burley. 1997) ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในการเกิดเจลของโปรตีนคือการเสียสภาพบางส่วนหรือทั้งหมดของโมเลกุลโปรตีน การเสียสภาพบางส่วนของโปรตีนจะทำให้เกิดการเปิดหมู่ฟังก์ชันส่วนที่เป็น hydrophobic ของโมเลกุลออกมาในสารละลาย ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้เป็นตัวทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายของโปรตีน การเกิดเจลของโปรตีนไม่จำเป็นต้องอาศัยการเสียสภาพทั้งหมดของโครงสร้างโปรตีน การเสียสภาพเพียงบางส่วนก็เพียงพอในการเกิดเจลเนื่องจากการเสียสภาพทั้งหมดหรือการเสียสภาพอย่างถาวรของโปรตีนโดยส่วนใหญ่แล้วจะทำให้เกิดการตกตะกอนและโปรตีนจะเสียสภาพการละลาย เนื่องจาก hydrophobic interaction ที่หนาแน่นมากระหว่างสายของโปรตีน การเสียสภาพอย่างถาวรของโปรตีนบางชนิดเท่านั้นที่สามารถเกิดโครงสร้างเจลได้ เช่น การเสียสภาพธรรมชาติโดยการใช้ยูเรีย Hegg (1982) กล่าวว่า การเกิดเจลของโปรตีนเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงของการละลายและการตกตะกอนของโปรตีนซึ่งเป็นช่วงแคบๆ เท่านั้น หากโปรตีนเสียสภาพน้อยเกินไปจะไม่สามารถเกิดโครงสร้างเจลได้ และหากโปรตีนเสียสภาพมากเกินไปจะทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน

การเสียสภาพธรรมชาติของโมเลกุลโปรตีนก่อนกลมเนื่องมาจากการปรับ pH จะให้ผลแตกต่างกันในด้านความใสของเนื้อเจล ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะการเกิดเจลของโปรตีน 2 แบบ คือ ที่ pH ใกล้เคียง pI (A) และที่ pH ห่างจาก pI (B)

(A) Random aggregation of molecules.

(B) Aggregation of "string-of-beads" polymers.

ที่มา : Oakenfull, Pearce and Burley, 1997

ที่ pH ใกล้เคียงกับ pI ของโปรตีน โมเลกุลของโปรตีนจะคลายตัวออกได้น้อย การเกิด aggregation ของโปรตีนจะเป็นในลักษณะสุ่ม (random) ทำให้เจลที่ได้มีลักษณะขุ่น แต่หากปรับ pH ให้ห่างจาก pI ของโปรตีนมากๆ จะทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัวเป็นสาย และเกิด aggregation ของโปรตีนในลักษณะที่เป็นระเบียบกว่า หรือที่เรียกว่า "string-of-beads" ทำให้เจลที่ได้มีลักษณะใสกว่า (Parris and Coffin, 1997; Oakenfull, Pearce and Burley, 1997)

เสถียรภาพของโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนขึ้นกับชนิดของพันธะโดยรวมที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง ซึ่งพันธะที่เกิดระหว่างโมเลกุลของโปรตีนมี 2 ชนิดหลักๆ คือ พันธะโคเวเลนต์ เช่น พันธะไดซัลไฟด์ เป็นต้น และพันธะที่ไม่ใช่โคเวเลนต์ (noncovalent bonds) เช่น พันธะไฮโดรเจน เป็นต้น พันธะต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แร่งระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่เสถียรในการเกิดเจล

Bond type	Example
Noncovalant	
Hydrogen bonds	-H - O - H - -H - N - H -
Hydrophobic interactions	-CH ₃ - CH ₃ -
Electrostatic-salt links	-COO ⁻ - ⁺ H ₃ N -
Electrostatic-metal ion bridges	-COO ⁻ - Ca ²⁺ - -OOC -
Covalent	
Disulfide	-S-S-
Gamma glutamyl	-CH ₂ -CH ₂ -CO- -NH-CH ₂ -CH ₂ -

ที่มา : Oakenfull, Pearce, and Burley (1997)

พันธะที่ไม่ใช่โคเวเลนต์บางตัวที่แสดงในตารางเป็นพันธะที่ค่อนข้างอ่อน แต่ก็สามารถทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงได้เช่นกัน โดยสรุปแล้ว electrostatic bond เป็นพันธะที่แข็งแรงที่สุดเมื่อเทียบกับพันธะที่ไม่ใช่โคเวเลนต์ตัวอื่นๆ แต่เป็นพันธะที่จะเสถียรใน pH และความเข้มข้นของเกลือช่วงแคบๆ เท่านั้น

พันธะไฮโดรเจนและ hydrophobic interactions เป็นพันธะที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน โดยเฉพาะหมู่ O-H จะสามารถใช้อิเล็กตรอนร่วมกับโมเลกุลที่อยู่

ใกล้ที่สุดที่มีอิเล็กตรอนอิสระได้ และจะสร้างพันธะ O-H- -O ขึ้น ในสารละลายที่ใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำพันธะนี้เป็นพันธะที่ไม่สมบูรณ์และไม่เสถียรมากนักสามารถแตกออกได้ง่าย

พันธะโคเวเลนต์ที่สำคัญในการเกิดโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนคือ พันธะไดซัลไฟด์ของ cystine residues ซึ่งจะทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่เสถียรในโปรตีนหลายๆ ชนิด ทำให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรง แต่พันธะไดซัลไฟด์ก็สามารถแตกออกได้หากเติมสารประกอบพวกที่มีหมู่ sulfhydryl และสารรีดิวซิง (reducing agent) บางตัวลงไป ซึ่งสามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์ได้ (Oakenfull, Pearce, and Burley, 1997) การเกิดพันธะไดซัลไฟด์เป็นการเกิดออกซิเดชันของหมู่ sulfhydryl ดังสมการ



พันธะไดซัลไฟด์ในโครงสร้างของโปรตีนสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาได้ เนื่องจากเป็นพันธะที่มีความยืดหยุ่น ดังสมการ



2.4.9 หลักการขึ้นรูปฟิล์ม

โครงสร้างตาข่ายของฟิล์มจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อมีการละลายของโมเลกุลโพลิเมอร์ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของโครงสร้างตาข่ายในตัวทำละลาย จนกระทั่งได้ความเข้มข้นสูงพอที่จะเกิดแรงดึงดูดกันระหว่างสายโซ่ของโพลิเมอร์ ซึ่งความเข้มข้นนี้มักจะสูงกว่าสีเท่าของเศษส่วนกลับของค่า intrinsic viscosity ของโพลิเมอร์ในตัวทำละลายนั้น สารละลายโพลิเมอร์เข้มข้นที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปเพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีรูปร่าง ขนาด และความหนาตามต้องการ หลังจากนั้นตัวทำละลายจะถูกกำจัดออกไปเกือบหมด การกำจัดตัวทำละลายทำให้ความเข้มข้นของโพลิเมอร์สูงขึ้น และเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลิเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างตาข่ายสูงและเกิดเป็นฟิล์มขึ้น (Banker, 1966)

2.4.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปฟิล์ม

2.4.10.1 โครงสร้างของโพลิเมอร์

โพลิเมอร์ส่วนใหญ่มีลักษณะกึ่งผลึกกึ่งอสัณฐาน มีส่วนน้อยที่เป็นผลึกทั้งหมดหรืออสัณฐานทั้งหมด โครงสร้างตาข่ายของโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงจะแข็งแรงกว่าโครงสร้างตาข่ายของโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกต่ำ เนื่องจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โพลิเมอร์มีระเบียบทำให้โมเลกุลอยู่ใกล้ชิดกันมากและมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลิเมอร์ซึ่งเป็นพันธะทุติยภูมิ เช่น พันธะไฮโดรเจน เป็นจำนวนมาก ส่วนโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกต่ำจะมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โพลิเมอร์ไม่มีระเบียบ เนื่องจากโพลิเมอร์พวกนี้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลิเมอร์ ได้น้อยกว่าจึงทำให้โครงสร้างตาข่ายมีความแข็งแรงน้อยกว่าแต่มีความยืดหยุ่นมากกว่าโครงสร้างตาข่ายของโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง การขึ้นรูปฟิล์มต้องการโพลิเมอร์สายโซ่ยาวเพื่อทำให้โครงสร้างตาข่ายของฟิล์มมีความแข็งแรง และความแข็งแรงของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของสายโซ่โพลิเมอร์ที่ใช้เป็นโครงสร้างตาข่ายของฟิล์มยาวขึ้น (Banker, 1966)

2.4.10.2 ตัวทำละลาย

ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการละลายของโพลิเมอร์แต่ละชนิดเป็นไปตามหลัก "like dissolves like" กล่าวคือ โพลิเมอร์ที่มีค่า dielectric constant สูง จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีค่า dielectric constant สูง โพลิเมอร์ที่มีค่า dielectric constant ต่ำ จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีค่า dielectric constant ต่ำ โพลิเมอร์พวกอนุพันธ์เซลลูโลสซึ่งมีความเป็นประจุสูง จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว (polarity) สูง เช่น แอลกอฮอล์ เป็นต้น ส่วนโพลิเมอร์ซึ่งมีสายโซ่มีทั้งส่วนที่มีขั้วสูงและส่วนที่มีขั้วต่ำจะละลายในตัวทำละลายผสมที่มีตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำรวมอยู่ด้วยกันได้ดีกว่าละลายในตัวทำละลายชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียว (Banker, 1966) การละลายของโพลิเมอร์ในตัวทำละลายจะเริ่มเห็นได้จากการที่โพลิเมอร์อุ่มตัวทำละลายเข้าเป็นส่วนหนึ่งของสายโพลิเมอร์หลัก (polymer domain) ทำให้เกิดการพองตัว และในกรณีที่โพลิเมอร์มีประจุหรือเกิดอออนได้บนสายโซ่โพลิเมอร์ในตัวทำละลายนั้นซึ่งเรียกว่า polyelectrolyte ถ้าประจุหรืออออนบนสายโซ่โพลิเมอร์เป็นชนิดเดียวกันแรงผลักระหว่างประจุหรืออออนเหล่านี้จะทำให้สายโซ่โพลิเมอร์ขยายตัวได้ในตัวทำละลายนั้น

2.4.10.3 ความเข้มข้นของสารละลาย

การเกิดโครงสร้างตาข่ายที่แข็งแรงจำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โพลีเมอร์ที่เพียงพอในตัวทำละลาย ถึงแม้ว่าสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำจะมีผลให้สายโซ่โพลีเมอร์เคลื่อนที่ได้มากจนเกิดการพันกันระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ก็ตาม แต่ก็เกิดการแยกตัวของโครงสร้างตาข่ายบางส่วนที่เกิดขึ้นก่อนแล้วตกตะกอนไป จึงได้โครงสร้างตาข่ายที่ไม่แข็งแรง ส่วนสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้นสูงจะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์กับตัวทำละลายน้อย เนื่องจากสายโซ่โพลีเมอร์ขยายตัวได้น้อย การพันกันระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์เกิดได้น้อย โครงสร้างตาข่ายที่ได้ก็จะไม่แข็งแรงเช่นกัน (Banker, 1966)

2.4.10.4 อุณหภูมิที่ใช้เพื่อระเหยตัวทำละลาย

การให้ความร้อนแก่สารละลายโพลีเมอร์เพื่อระเหยตัวทำละลาย ขณะให้ความร้อนโมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่แบบ Brownian หลังจากนั้นเมื่อทำให้สารละลายเย็นลงซึ่งทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าลงและเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์ ซึ่งอาจเกิดจากการพันกันของสายโพลีเมอร์หรือปฏิกิริยาเคมีก็ได้ การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์นี้ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการตกตะกอน ถึงแม้ว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสายโพลีเมอร์จนเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์ก็ตาม แต่ปริมาณความร้อนที่ใช้ก็มีขอบเขตจำกัด กล่าวคือ การใช้ความร้อนสูงมากจนเกิดการระเหยของตัวทำละลายอย่างรวดเร็วจะทำให้สารละลายโพลีเมอร์มีความเข้มข้นสูงมากขึ้น โมเลกุลของโพลีเมอร์จะหยุดการเคลื่อนที่ก่อนการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลีเมอร์ได้น้อย ดังนั้นโครงสร้างตาข่ายที่ได้จึงไม่มีความแข็งแรง ในทางตรงกันข้ามการใช้ความร้อนต่ำเพื่อระเหยตัวทำละลายอย่างช้าๆ แก่สารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำมากจะทำให้โมเลกุลของโพลีเมอร์บางส่วนตกตะกอนอย่างช้าๆ แล้วแยกออกจากโมเลกุลที่ตกตะกอนเร็วกว่าและเกิดโครงสร้างตาข่ายไปก่อนแล้ว จึงได้โครงสร้างตาข่ายที่ไม่แข็งแรง (Banker, 1966)

2.4.11 วิธีการขึ้นรูปฟิล์ม (Guilbert and Biquet, 1996) : วิธีการขึ้นรูปฟิล์มสำหรับฟิล์มจากพอลิไดโรคอลลอยด์มีดังนี้

2.4.11.1 Simple coacervation

วิธีนี้คือการทำให้ไฮโดรคอลลอยด์เพียงชนิดเดียวละลายในน้ำ แล้วเปลี่ยนสถานะโดยการระเหยตัวทำละลาย (น้ำ) ออก หรือการเติมสารที่ไม่เป็น electrolyte และละลายในน้ำได้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่เป็นตัวทำละลายของไฮโดรคอลลอยด์นั้น เช่น แอลกอฮอล์ หรือการเติมสารพวก electrolyte ซึ่งทำให้เกิด salting out หรือเกิดพันธะข้ามระหว่างสายโซ่ของไฮโดรคอลลอยด์ หรือ การเปลี่ยน pH ทั้งหมดนี้ก็เพื่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลิเมอร์และทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายของไฮโดรคอลลอยด์ (Guilbert and Biquet, 1996)

2.4.11.2 Complex coacervation

วิธีการนี้คือการนำสารละลายไฮโดรคอลลอยด์สองชนิดที่มีประจุต่างกั น มาผสมกัน ทำให้เกิดพันธะระหว่างไฮโดรคอลลอยด์สองชนิด เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายของไฮโดรคอลลอยด์ผสมตกตะกอนออกจากสารละลาย (Guilbert and Biquet, 1996)

2.4.11.3 Thermal gelation หรือ precipitation

วิธีการนี้มักใช้กับไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นโปรตีน โดยการให้ความร้อนทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเจลหรือตะกอนของโปรตีน หรืออีกนัยหนึ่งคือการทำให้อาร์แขวนลอยของไฮโดรคอลลอยด์ที่อุ่นและมีลักษณะเป็นสารละลายเย็นลง ซึ่งจะ ทำให้เกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์นั้นคือโครงสร้างตาข่ายของไฮโดรคอลลอยด์นั่นเอง (Guilbert and Biquet, 1996)

2.4.12 คุณสมบัติของฟิล์มและการทดสอบ (Guilbert, 1986)

การจะนำฟิล์มชนิดใดมาใช้ในการห่อหุ้มอาหาร ต้องคำนึงถึงโครงสร้างและสมบัติการใช้งาน ฟิล์มแต่ละชนิดจะมีสมบัติอย่างไรขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของโพลิเมอร์หลักของฟิล์มชนิดนั้นๆ รวมถึง สารอื่นที่เติมลงไป สูตร และวิธีการผลิต โดยสามารถจำแนกสมบัติของฟิล์มได้กว้างๆ คือ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความโปร่งแสง ความมันวาว ความหนา สมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ได้แก่ การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability) การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeability) สมบัติทางกล เช่น ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) ความ

สามารถในการยืดตัว (elongation) ความทนทานต่อการพับ (folding endurance) ซึ่งหมายถึง จำนวนการพับไปพับมา (double folds) ที่ทำให้แผ่นทดสอบขาดจากกันเมื่อใช้แรงดึงที่กำหนด และสมบัติเชิงความร้อน เช่น การปิดผนึก และการหดตัว เป็นต้น

2.4.12.1 ความหนา (thickness)

ความหนาคือระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองข้างของฟิล์ม มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (ไมครอน) หรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติอื่นๆ ของฟิล์ม เช่น การต้านทานแรงดึงขาด การต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ และการต้านทานการซึมผ่านของแก๊ส ออกซิเจน เป็นต้น (Guilbert, 1986)

2.4.12.2 การต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength)

ค่าการต้านทานแรงดึงขาดคือ ค่าแรงเครียดที่ใช้ในการดึงฟิล์มที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่ จนแผ่นฟิล์มนั้นขาดภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ เมกกะปาสคาล (MPa) (Banker, 1966) ค่านี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์มากกว่าความแข็งแรงของตัวสายโซ่โพลิเมอร์เอง เนื่องจากเมื่อออกแรงดึงฟิล์มจะเป็นการทำลายปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ก่อน แล้วจึงทำลายสายโซ่โพลิเมอร์ในช่วงต่อมาของการดึง (Guilbert, 1986)

2.4.12.3 ร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาด (%elongation at break)

ค่าร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มคือร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม ความยืดตัวของฟิล์มขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดที่เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล (junction zone) ถ้าระยะห่างของจุดที่เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลสั้น ร้อยละการยืดตัวถึงจุดขาดของฟิล์มจะมีค่าน้อย (Guilbert, 1986)

2.4.12.4 การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability)

ค่าการซึมผ่านของไอน้ำคือปริมาณไอน้ำเป็นกรัมที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยความหนาของฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนด

และภายใต้ภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นกรัมหน้าต่อเมตรต่อวินาทีต่อหน่วยความดัน (ปาสคาล) ($\text{g.m/m}^2.\text{s.Pa}$) (Guilbert, 1986)

2.4.12.5 การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeability)

ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนคือปริมาณของแก๊สออกซิเจนที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยความหนาของฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้ผลต่างของความดันหนึ่งหน่วยในภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นโมลต่อเมตรต่อวินาทีต่อหน่วยความดัน (ปาสคาล) ($\text{mol.m/m}^2.\text{s.Pa}$) (Guilbert, 1986)

นอกเหนือจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตและการขึ้นรูปฟิล์มที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติในด้านต่างๆ ของฟิล์มบริโกลได้ นั่นคือพลาสติกไซเซอร์

2.5 พลาสติกไซเซอร์ (plasticizer)

พลาสติกไซเซอร์ หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติกหรือ elastomer แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัว แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติกไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปในโครงสร้างโพลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ไปจับยึดกับโพลิเมอร์ด้วยพันธะเวเลนซีทุติยภูมิ (secondary valency) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง เกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว พลาสติกไซเซอร์อีกชนิดหนึ่งคือพลาสติกไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยในการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโพลิเมอร์ พลาสติกไซเซอร์ที่นำมาใช้ต้องได้รับอนุญาตจาก Food and Drug Administration (FDA) โดยมีการพิสูจน์และยอมรับแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (พิทักษ์ เจาะจง, สุนีย์ กมลเดชเดชา, และ รพีพรรณ ปมูติโต, 2541) Banker (1966) กล่าวว่าพลาสติกไซเซอร์ที่ดีควรจะระเหยยาก มีจุดเดือดสูง มีความคงตัวสูงไม่แตกตัวเมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตฟิล์ม ละลายในตัวทำละลายได้ดีพอสมควร และต้องเข้ากันได้กับโพลิเมอร์ที่ใช้ผลิตฟิล์มคือควรมีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับโพลิเมอร์ พลาสติกไซเซอร์ที่ดีที่สุดคือสารประกอบพวกเซลลูโลสที่ละลายน้ำได้ และมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) อยู่ในโมเลกุล เช่น กลีเซอริน (glycerine) ไกลคอล (glycols) และสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอื่นๆ

2.5.1 พลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้ในการผลิตฟิล์มบรีโอบคได้ส่วนใหญ่ คือ

1. mono- , di- และ oligosaccharides ที่มีความสำคัญได้แก่ กลูโคส (glucose) ฟรุคโตส (fructose) ไชรัป (syrops) และน้ำผึ้ง
2. โพลีออล (polyols) ที่มีความสำคัญได้แก่ ซอร์บิทอล (sorbitol) กลีเซอรอล (glycerol) อนุพันธ์ของกลีเซอรอล และ โพลีเอทิลีน ไกลคอล (polyethylene glycols)
3. ไขมันและอนุพันธ์ของไขมัน ที่มีความสำคัญได้แก่ กรดไขมัน (fatty acids) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglycerides) อนุพันธ์ของเอสเทอร์ ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และสารตั้งผิว (Guilbert and Biquet, 1996)

การเติมพลาสติไซเซอร์ในการผลิตฟิล์มบรีโอบคได้โดยทั่วไปจะเติมในปริมาณ 10 - 60% (dry basis) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์ที่นำมาทำฟิล์ม โดยอาศัยหลักที่ว่าโพลิเมอร์ที่มีสายยาวจะให้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นดีกว่าโพลิเมอร์สายสั้นๆ (Guilbert and Biquet, 1996)

2.5.2 บทบาทของพลาสติไซเซอร์ต่อฟิล์มบรีโอบคได้

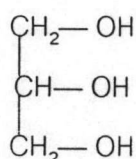
การเติมพลาสติไซเซอร์ในระหว่างการเตรียมฟิล์มบรีโอบคได้นั้นใช้วิธีการละลาย โดยทั้งพลาสติไซเซอร์และโพลิเมอร์จะละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ระหว่างการละลายควรมีการกวนผสมพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม การใช้พลาสติไซเซอร์ลักษณะนี้เป็นแบบภายนอก คือเมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ลงไปแล้วจะไปจับกับโพลิเมอร์ด้วยพันธะเวเลนซ์ทุติยภูมิเกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวมๆ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลง ซึ่งเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ อิทธิพลของความร้อนระหว่างการเตรียมสารละลายฟิล์มทำให้พลาสติไซเซอร์สามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโพลิเมอร์ง่ายขึ้น และทำให้พันธะไฮโดรเจนหรือแรงอื่นๆ ระหว่างโมเลกุลของสายโพลิเมอร์ถูกหักล้างไป เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างโพลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ทำให้โมเลกุลของโพลิเมอร์ไม่สามารถจับกันเองได้ ส่งเสริมให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความเปราะแตกง่าย การต้านแรงฉีกขาด (tear resistance) เพิ่มขึ้น แต่การต้านทานแรงดึงขาดจะลดลง (Gennadios, Weller, Hanna and Froning, 1996) นอกจากนี้พลังงานที่ใช้แยกสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันยังมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของแก๊สและไอให้ผ่านแผ่นฟิล์ม (energy of activation for diffusion, Ed) เมื่อแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ลดลงทำให้ค่า Ed ลดลง การซึมผ่านของแก๊สและไอผ่านแผ่นฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น มีงานวิจัยหลายๆ งานเกี่ยวกับการผลิตฟิล์มบรีโอบคได้จาก

โปรตีนที่มีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติด้านต่างๆ ของฟิล์มที่ผลิตได้ (Kester and Fennema, 1986) ตัวอย่างเช่น ฟิล์มบริโคได้จาก whey protein (McHugh and Krochta, 1994) ฟิล์มบริโคได้จากไข่ขาว (Gennadios *et al*, 1996) ฟิล์มบริโคได้จาก wheat gliadin (Sanchez, Popineau, Mangavel, Larre, and Gueguen, 1998) ฟิล์มบริโคได้จาก soy protein isolate (Cunningham, Ogale, and Dawson, 2000)

2.5.3 พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

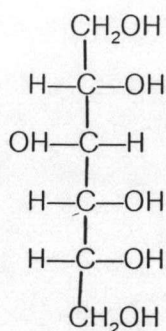
พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และโพลิเอทิลีน ไกลคอล

กลีเซอรอล หรือ กลีเซอริน (glycerine) เป็นโพลีออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 3 มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้ในการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด มีรสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ในการศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มบริโคได้หลายชนิดนิยมใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์



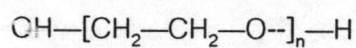
รูปที่ 3 โครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอรอล (Voet and Voet, 1995)

ซอร์บิทอล เป็นโพลีออลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ลักษณะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 182 โครงสร้างโมเลกุลแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลของซอร์บิทอล (Voet and Voet, 1995)

โพลีเอทิลีนไกลคอล เป็นโพลีออลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ขนาดโมเลกุลขึ้นกับจำนวนคาร์บอนอะตอมที่มาต่อกัน เป็นของเหลวหนืด เนื่องจากมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์สายยาวจึงมีน้ำหนักโมเลกุลหลากหลาย โครงสร้างโมเลกุลอย่างย่อแสดงในรูปที่ 5 ในงานวิจัยนี้ใช้โพลีเอทิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 400 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตฟิล์มบริโภคได้



รูปที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลอย่างย่อของโพลีเอทิลีนไกลคอล (Voet and Voet, 1995)