

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สารก่อฟิล์มและการเกิดฟิล์ม

สารก่อฟิล์มหรือพอลิเมอร์ ถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมาย เช่น ถูกนำไปใช้ในงานเคลือบฟิล์มบนเมล็ด ยา การเคลือบฟิล์มบนเมล็ดพันธุ์พืช การใช้แผ่นฟิล์มหุ้มอาหาร อุตสาหกรรมสี เป็นต้น ตัวอย่างของสารก่อฟิล์ม ได้แก่ hydroxypropyl methylcellulose, hydroxypropyl cellulose, polyvinyl pyrrolidone, sodium carboxymethylcellulose, methylcellulose, ethylcellulose, acrylate polymers, cellulose acetate, cellulose acetate phthalate, hydroxypropyl methylcellulose phthalate, polyvinyl acetate phthalate เป็นต้น ซึ่งสารก่อฟิล์มเหล่านี้ จัดเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Seitz et al., 1986) แต่อย่างไรก็ตามสารก่อฟิล์มบางชนิดเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ เช่น starch, alginate, chitosan และ pectin เป็นต้น (Pongjanyakul and Puttipatkhachorn, 2007, Bourtoom, 2008 ภูริสา ทศวิล, 2547)

ฟิล์มเกิดขึ้นได้ จากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มละลายกระจายตัวในตัวทำละลาย แล้วใช้วิธีต่าง ๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลายนั้นๆ เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การเติมอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เกิดพันธะข้าม การปรับความเป็นกรด-เบส ซึ่งเรียกว่า โคแอกเซอร์เวชัน (coacervation) หรือโดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มซึ่งหลอมเหลวแข็งตัว (solidification) ฟิล์มมีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งมีคุณสมบัติเกิดฟิล์มได้ มีการเติมตัวทำละลายและสารเจือปนลงไป เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม

ในการเกิดฟิล์มจะมีแรง 2 ชนิด ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงยึดติด หรือแรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยกันเอง เกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมต่อนของผิววัตถุเดียวกันสร้างพันธะที่แข็งแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลาย และสภาวะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายตัวของกลุ่มที่มีขั้วบนสายพอลิเมอร์ คือ สายพอลิเมอร์ที่ยาวทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายพอลิเมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจน และพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง การละลายของพอลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อแรงโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุด จะได้โครงสร้างซึ่งเชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนสภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้นควรเตรียมโดยใช้สารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยของตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม (pinholes) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอซึ่งทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงยึดติดมีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงดูดติด หรือแรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์ม ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารเพิ่มความยึดหยุ่น ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเช่นกัน (ภูริสา ทศวิล, 2547)

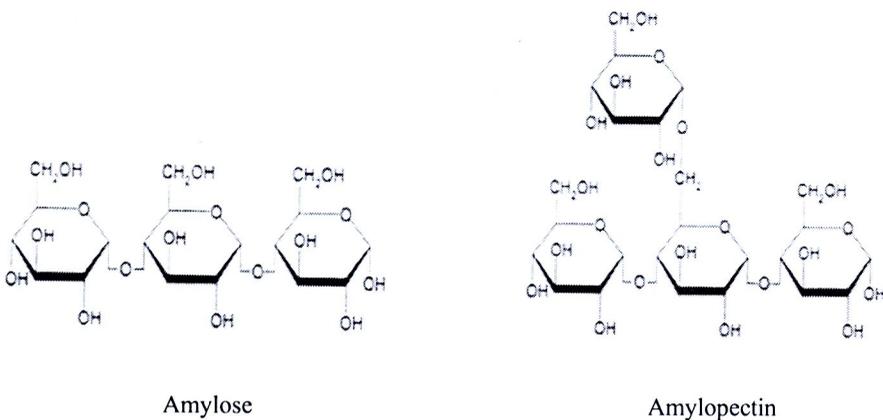
2. แป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวเหนียว (glutinous rice starch หรือ waxy rice starch) ส่วนใหญ่ได้จากเมล็ดหักหรือปลายข้าวเหนียว คุณภาพต่ำ เมล็ดข้าวเหนียวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. (กระทรวงอุตสาหกรรม) นิยมปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย แป้งข้าวเหนียวนำไปใช้เพื่อการบริโภคและในอุตสาหกรรมอาหารเป็นหลัก ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอุตสาหกรรมอาหาร

องค์ประกอบหลักของแป้งข้าวเหนียว มีพอลิเมอร์ของกลูโคสประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูโคซิดิก (polymer glucosidic) 2 ชนิด ได้แก่ อะมิโลส และอะมิโลเพคติน แป้งข้าวเหนียวมีอะมิโลส ประมาณร้อยละ 0.3 และมีอะมิโลเพคติน ประมาณร้อยละ 99.7 คุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียว คือ สามารถพองตัวหรือดูดน้ำน้อย ไม่ละลายในน้ำเย็น และไม่คงตัว (Kadan et al., 1997, กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ตัวอย่างการนำไปใช้งาน ได้แก่ ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น พุดดิ้ง พายผลไม้ อาหารกระป๋อง นำไปใช้เพื่อการบริโภคและในอุตสาหกรรมอาหารเป็นหลัก

3. องค์ประกอบของแป้ง

แป้งเป็นโฮโมพอลิแซคคาไรด์ (homopolysaccharide) ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช ส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดธัญพืช และบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง องค์ประกอบภายในของแป้งหลักๆ ประกอบด้วย พอลิเมอร์ของกลูโคส ไซมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส สัดส่วนแต่ละอย่างในองค์ประกอบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์และแหล่งของแป้ง องค์ประกอบที่สำคัญของแป้ง ได้แก่ พอลิเมอร์ของกลูโคสประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูโคซิดิก (polymer glucosidic) สองชนิดผสมกัน คือ อะมิโลส (Amylose) และอะมิโลเพคติน (amylopectin) อะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่มีในแป้งแต่ละชนิด แตกต่างกันในน้ำหนักโมเลกุล degree of polymerization ของแต่ละสาย ตำแหน่งที่อยู่ในเมล็ดแป้งและสัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพคติน ดังนั้นสมบัติของแป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน แป้งที่มีปริมาณของอะมิโลสสูง ทำให้เกิดการคืนตัวสูง และเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง (ปานทิพย์ บุญส่ง, 2548)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของอะมิโลส และอะมิโลเพคติน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพคติน) วางตัวในแนวรัศมี โดยองค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่ อะมิโลสและอะมิโลเพคติน โครงสร้างทางเคมี (ดังแสดงในภาพที่ 1) และคุณสมบัติที่สำคัญ (ดังแสดงในตารางที่ 1)

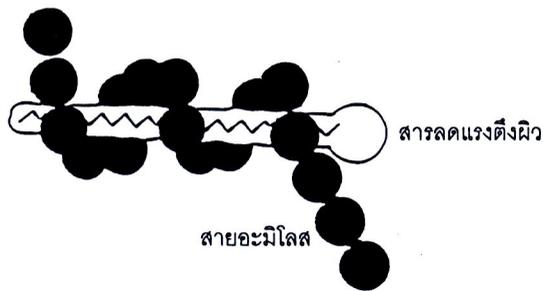
ตารางที่ 1 คุณสมบัติสำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพคติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200 ถึง 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นก้อนและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

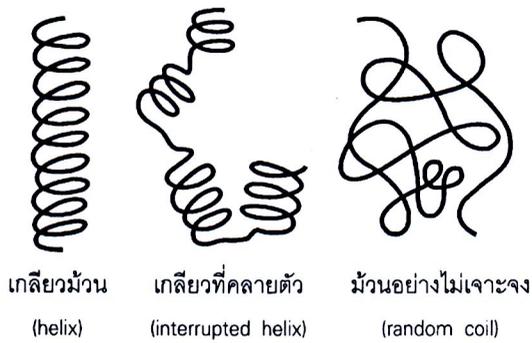
(กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

อะมิโลส

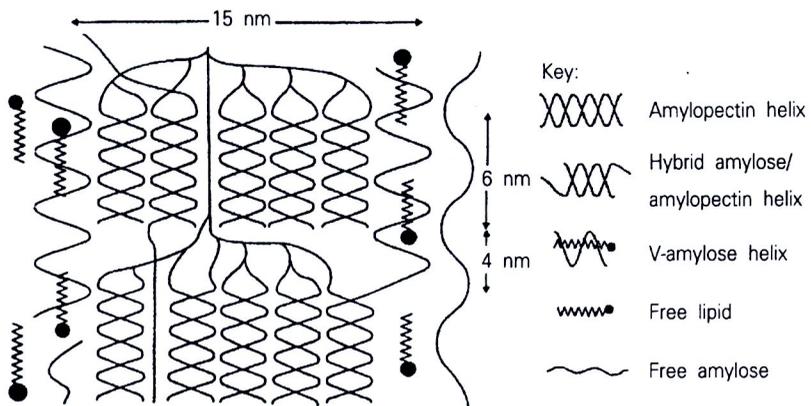
อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glycosidic linkage อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น butanol fatty acid surfactant phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ไม่ละลายในน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (ดังภาพที่ 2) และโครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) (ดังภาพที่ 3) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดจะอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนอย่างไม่เจาะจง อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 6,500 ถึง 160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (double helix) สำหรับอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 มีลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจงและมีบางส่วนละลายได้และการอยู่ร่วมกันระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพคติน สภาพในภาพเม็ดแป้งดังแสดงภาพที่ 4 (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เส้นตรง มีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มได้ในตัวเอง (self supporting film) แป้งที่มีอะมิโลสสูงสามารถเกิดแผ่นฟิล์มบางที่ยืดหยุ่นและแข็งแรงได้ มักใช้ทำเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร (ปานทิพย์ บุญส่ง, 2548)



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)



ภาพที่ 3 ลักษณะเกลียวของอะมิโลส (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)



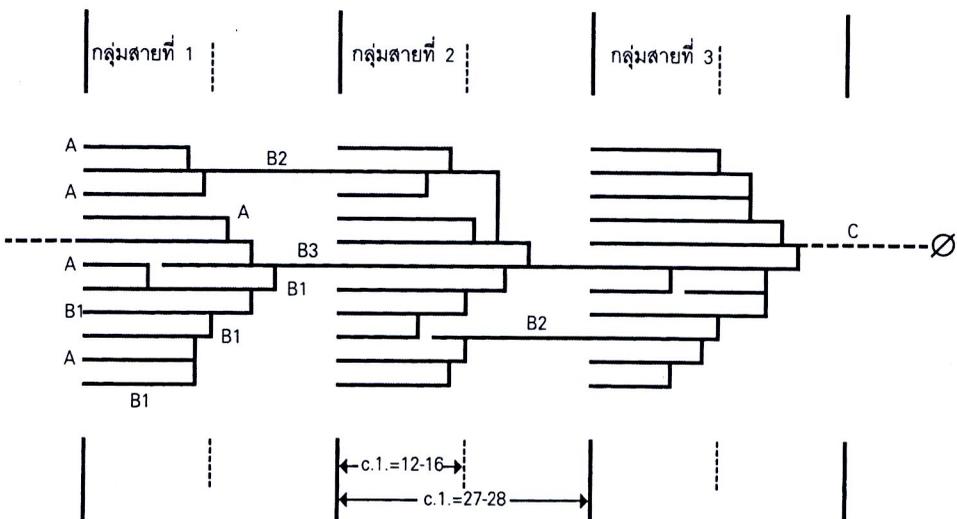
ภาพที่ 4 แบบจำลองโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพคตินและไขมัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

อะมิโลเพคติน

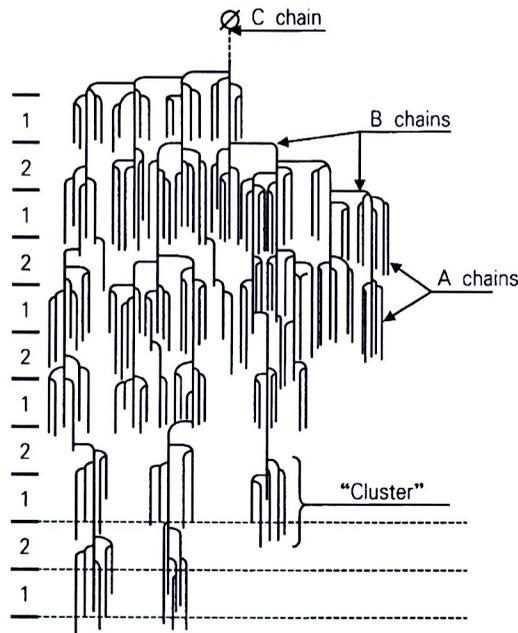
อะมิโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพคตินทั้งหมด DP ของอะมิโลเพคตินในแป้งแต่ละชนิดเท่ากันประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส และมีอัตราการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพคตินประกอบด้วยสายโซ่(chain) 3 ชนิด คือ

1. สาย A (A-chain) เป็นสายที่เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)
2. สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างของอะมิโลเพคตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8 ถึง 0.9 ต่อ 1
3. สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่วีควิ่ง 1 หมู่ ในอะมิโลเพคตินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ในภาพที่ 5 เป็นภาพจำลองของ Hizukuri (1986) แสดงลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพคติน และภาพที่ 6 แสดงลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพคตินอย่างละเอียด ซึ่งจะอยู่กันเป็นกลุ่มก้อนและเชื่อมโยงกันที่มีทั้งส่วนผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน



ภาพที่ 5 ภาพจำลองโครงสร้างของอะมิโลเพคติน (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550 อ้างจาก Hizukuri, 1986)



ภาพที่ 6 ลักษณะ โครงสร้างของอะมิโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน โดย 1 = ส่วนผลึก, 2 = ส่วนอสัณฐาน (กลั่นรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550 อ้างจาก Robin et al., 1974)

สำหรับการผลิตฟิล์มและสารเคลือบที่เตรียมโดยตรงจากแป้งนั้นสามารถทำได้เช่นกัน แต่ฟิล์มที่ได้มีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการแยกส่วน (fractionation) อะมิโลสตาร์ช (amylostarch) เพื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มและสารเคลือบ ลักษณะของฟิล์มอะมิโลสตาร์ช ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรส ไม่เป็นพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว คุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไขมันและออกซิเจนได้ดี แต่มีข้อเสียคือ ในการละลายอะมิโลสตาร์ชเพื่อผลิตเป็นฟิล์มต้องใช้อุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้อนุพันธ์ของอะมิโลสตาร์ช ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีกว่า การใช้งานของฟิล์มอะมิโลสตาร์ช เช่น ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์, ซา, ซุปสำเร็จรูป และผลิตไส้เทียมเพื่อทำไส้กรอกหรือใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ ทำให้ผลไม้ไม่เนยวติดกันเป็นก้อน (ปานทิพย์ บุญส่ง, 2548)

Mali และคณะ (2006) ได้ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากแป้งดิบ (native starch) ชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งข้าวโพด (corn starch) แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) และแป้งมันมือเสือ (yam starch) ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสตาร์ชและอะมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน และสามารถเตรียมแป้งในรูปแบบของเหลวที่มีความหนืด โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาเตรียมแผ่นฟิล์มต่อไป พบว่าฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่า และมีค่าความสามารถในการยึดมากกว่าฟิล์มที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันมือเสือ ทำให้แป้งมันสำปะหลังมีความยืดหยุ่นมากกว่า

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากแป้งดิบ (native starch) 5 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวโพด (corn starch) แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) แป้งข้าวเหนียว (glutinous rice starch) แป้งข้าวเจ้า (rice starch) และแป้งถั่วเขียว (mung bean starch) สามารถเตรียมแป้งในรูปแบบของเหลวที่มีความข้นหนืดโดยใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 นาที แล้วนำมาเตรียมแผ่นฟิล์มต่อไป พบว่า แป้งในรูปแบบของเหลวที่

เตรียมจากแป้งดิบต่างชนิดกันมีค่าความชื้นเหน็ดที่แตกต่างกัน โดยแป้งข้าวเหนียวมีความเหน็ดมากกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด แต่แป้งข้าวเหนียวมีความเหน็ดน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเขียว ซึ่งความเหน็ดจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของการเคลือบอีกด้วย และยังได้พบว่าฟิล์มที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวมีการต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง โดยมีการต้านทานแรงดึงน้อยกว่าแป้งชนิดอื่นๆ (ชิราวุธ ปทุมธนทรัพย์ และ ผดุงขวัญ จิตโรภาส, 2552)

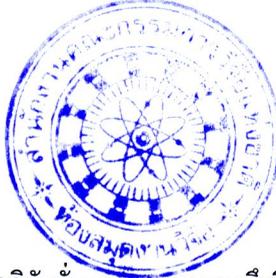
นอกจากสารก่อฟิล์มหรือพอลิเมอร์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสารเคลือบแล้ว ยังมีองค์ประกอบที่สำคัญของสารเคลือบ ได้แก่ สารเพิ่มความยืดหยุ่น (plasticizer) ที่ช่วยให้สารเคลือบมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานมากขึ้นอีกด้วย

4. สารเพิ่มความยืดหยุ่น

สารเพิ่มความยืดหยุ่นตามนิยามของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติก แล้วช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น การยืดตัว และ ความคงทนต่อการใช้งาน สารเพิ่มความยืดหยุ่น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารเพิ่มความยืดหยุ่นภายนอก (external plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปในโครงสร้างพอลิเมอร์แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากสารเพิ่มความยืดหยุ่นไปยึดจับกับพอลิเมอร์ด้วย พันธะเวเลนซีทุติยภูมิ (secondary valency) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงเกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว และสารเพิ่มความยืดหยุ่นภายใน (internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารช่วยในการเกิดพอลิเมอร์ (copolymerization) ส่วนคุณสมบัติของสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (compatible) กับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรมีไม่มีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ ถ้าใช้สารเพิ่มความยืดหยุ่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำฟิล์มให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะทางกายภาพดี สามารถคงความยืดหยุ่นตลอดการใช้งาน สารเพิ่มความยืดหยุ่นที่นำมาใช้ในฟิล์มบริโภคจะต้องได้รับการอนุญาตจาก FDA โดยมีการพิสูจน์และยอมรับว่าไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งในระยะเฉียบพลันและระยะยาว (กูริสา ทศวิไล, 2547)

สารเพิ่มความยืดหยุ่นโดยทั่วไป ได้แก่ พอลิอล (polyol) หรือ พอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งมีหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิอลบางชนิดพบในผลไม้ โดยเฉพาะที่มีคาร์บอน 6 อะตอม หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (hydrogenation) พอลิอลมีคุณสมบัติทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ การนำพอลิอลมาใช้เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นในฟิล์มบริโภคได้มีหลายชนิด เช่น glycerol sorbitol mannitol propylene glycol polyethylene glycol sucrose sucrose fatty acid ester และ acetylate monoglyceride (กูริสา ทศวิไล, 2547)

สารเพิ่มความยืดหยุ่นเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ช่วยเพิ่มความแข็งแรง (strength) และความสามารถในการโค้งงอ (flexibility) ของสารเคลือบ แต่ทำให้สารเคลือบมีการเลือกผ่านของไอน้ำและก๊าซเพิ่มขึ้น ตามปกติการใช้สารเพิ่มความยืดหยุ่นได้ระบุไว้ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (The U.S. Food and Drug Administration; U.S. FDA, 21, 1996) (ดังแสดงในตารางที่ 2)



ตารางที่ 2 สารประกอบที่นำมาใช้เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น สารก่ออิมัลชัน และสารลดแรงตึงผิว ตามข้อกำหนด
ขององค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกา

Compounds	Classification	U.S.FDA 21 CFR#
Glycerol	GRAS, GMP	182.1320
Lecithin	GRAS, GMP	184.1400
Manitol	Permitted food additive, component of resinous and polymeric coatings	180.25, 175.300
Oleic acid	Lubricant, binder, defoaming agent	172.862
Palm oil	GRAS, cocoa butter substitute	184.1259
Polyethylene glycol	MW 2200-9500; coating, binder, plasticizer, lubricant	172.820
Polysorbate 60	Emulsifier, foaming agent	172.836
Polysorbate 80	Emulsifier, dispersing agent, surfactant, wetting agent	172.840
Propylene glycol	GRAS, solvent, thickener, component of resinous and polymeric coatings	184.1666, 175.300
Sodium lauryl sulfate	Emulsifier, whipping agent, surfactant, wetting agent	172.822
Sorbitol	Component of resinous and polymeric coatings	175.300
Sucrose	GRAS, GMP	184.1854
Sucrose fatty acid esters	Emulsifiers, texturizers, components of protective coatings for fresh fruit	172.859

GRAS= Generally recognized as safe by U'S' Food and Drug Administration

GMP= Good Manufacturing Practices

(U.S. FDA, 21, 1996)



สารเพิ่มความยืดหยุ่น เป็นสารที่ผสมลงไปในพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารก่อฟิล์มแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างของพอลิเมอร์ โดยลดพันธะระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ (intermolecular attraction) เพิ่มช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ได้มากขึ้น พอลิเมอร์จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะ glass เป็นลักษณะ rubber ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์ม ได้แก่ ลดการต้านแรงดึง เพิ่มความยืดหยุ่นและความสามารถในการยึดของฟิล์ม ลดอุณหภูมิสภาพแก้ว รวมทั้งทำให้คุณสมบัติด้านการต้านทานต่อไอน้ำเปลี่ยนแปลงไป การเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต้องมีความเหมาะสมกับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารก่อฟิล์ม

กรณีใช้แป้งเป็นสารก่อฟิล์ม มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยของชนิดของสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านความชื้นของฟิล์มที่ได้จากแป้งข้าวเหนียว พบว่าสารเพิ่มความยืดหยุ่นแต่ละชนิดมีมวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านความชื้นของฟิล์มแป้งข้าวเหนียวที่แตกต่างกันด้วย (Mathew and Dufresne, 2002)

มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของชนิดของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด glycerol, xylitol และ sorbitol ต่อคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันฝรั่ง (ดังแสดงในตารางที่ 3) จากข้อมูลพบว่า ฟิล์มที่ไม่เติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น เก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 33, 54 และ 76 ค่าการซึมผ่านไอน้ำผ่านฟิล์ม (Water Vapor Permeability; WVP) ของฟิล์มมีค่าที่สูง สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ในการทดสอบ จากผลดังกล่าว เป็นผลมาจากการเกิดรอยแตก (crack) ที่ผิวของฟิล์มเนื่องจากความดันของไอน้ำทำให้เกิดการซึมผ่านได้ และในฟิล์มที่เติม glycerol เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับความชื้นสัมพัทธ์ในการทดสอบทั้งสาม เห็นผลได้ชัดเจนเกี่ยวกับปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่ใช้ในตำรับ คือ เมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นในระดับหนึ่งทำให้ค่า WVP ที่ต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นขึ้นไปอีกกลับจะทำให้ WVP กลับสูงขึ้น ที่สารเพิ่มความยืดหยุ่น xylitol และ sorbitol ที่ความเข้มข้นเท่ากัน (40% w/w of solids) ให้ค่า WVP ของฟิล์มที่ต่ำกว่า glycerol แต่มีทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นขึ้นอีกจะทำให้ WVP เพิ่มขึ้น เกิดขึ้นเหมือนกันที่ความชื้นสัมพัทธ์ในการทดสอบทั้งสาม จากผลดังกล่าว พบว่าเมื่อใช้ปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นในตำรับฟิล์มในระดับหนึ่ง ทำให้ฟิล์มกักไอน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากการจับพันธะไฮโดรเจนหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างแป้งและสารเพิ่มความยืดหยุ่น ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้นเกิดการ crack ได้ยากขึ้น ทำให้สามารถกักไอน้ำได้ดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณหรือแรงดันของไอน้ำที่เกิดขึ้นด้วย แต่เมื่อปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น กลับทำให้ฟิล์มมีความสามารถกักไอน้ำได้ลดลง เนื่องจากความชื้นจากไอน้ำหรือโมเลกุลของน้ำเพิ่มขึ้น จึงเข้ารบกวพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งและสารเพิ่มความยืดหยุ่น เกิดปฏิกิริยาระหว่างแป้งค่อน้ำ และสารเพิ่มความยืดหยุ่นค่อน้ำเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีลักษณะบวมพอง (swollen) ทำให้ไอน้ำซึมผ่านได้มากขึ้น (Talja et al., 2007)

การศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ กับชนิดของฟิล์มที่ได้จากแป้ง ปริมาณของ glycerol ที่เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นในฟิล์มแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันมือเสือ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ glycerol ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ของน้ำหนักแป้งสามารถลดการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มได้ แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักแป้ง การซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มกลับเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ได้จากแป้งมันฝรั่ง

Plasticizer	Content %	WVP (g mm d ⁻¹ m ⁻² kPa ⁻¹)		
		0/33%	0/544%	0/76%
Without Plasticizer	0	1.06±0.18	2.83±1.44	3.00±0.63
Glycerol	20	0.48±0.05	0.96±0.03	1.38±0.14
	30	1.25±0.21	1.95±0.47	3.67±0.60
	40	3.29±0.70	4.48±0.65	6.05±1.15
Xylitol	30	0.12±0.01	0.45±0.03	1.13±0.13
	40	0.25±0.05	0.88±0.29	1.58±0.34
sorbitol	40	0.07±0.00	0.35±0.03	0.98±0.10
	50	0.14±0.01	0.77±0.10	1.93±0.07

(Talja et al., 2007)

ตารางที่ 4 ผลของปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ได้จากแป้ง

Starch base	Glycerol (g/100 g of starch)	WVP (g mm d ⁻¹ m ⁻² kPa ⁻¹)
Corn	0	8.33±0.21
	20	5.37±0.21
	40	6.70±0.21
Cassava	0	7.59±1.26
	20	4.02±1.26
	40	6.25±1.26
Yam	0	6.75±1.05
	20	4.46±1.05
	40	7.59±1.05

(Mali et al., 2006)

ผลทางด้านอุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass Transition Temperature; Tg) ของฟิล์มแป้ง 3 ชนิดกับปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นในฟิล์ม พบว่า ปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิสภาพแก้วของฟิล์มทั้งสามแป้งลดลง เนื่องจากโมเลกุลของ glycerol เข้าไปรวมกับโครงสร้างของแป้งและเปลี่ยนแปลงไปโครงสร้างเมทริกซ์ สูญเสียความหนาแน่นเกิดแรงเค้นในสายพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้น และเข้าไปลดแรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ทำให้ Tg ลดลง ช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 5)

ผลของปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นกับชนิดของฟิล์มที่ได้จากแป้งต่อคุณสมบัติทางกล พบว่า ฟิล์มแป้งทั้งสามชนิดที่ได้สารเพิ่มความยืดหยุ่นความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้ ความสามารถในการต้านแรงดึง (tensile strength) ลดลง ความสามารถในการยืด (Strain at break or elongation) มากขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 ผลของปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อค่าอุณหภูมิสภาพแก้วของฟิล์มที่ได้จากแป้ง

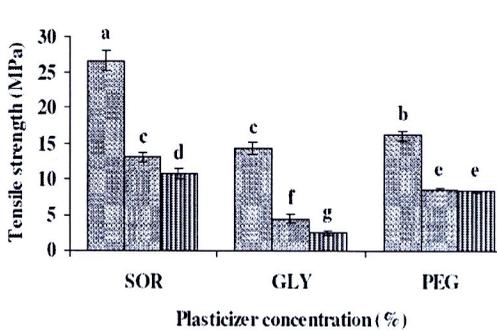
Starch base	Glycerol (g/100g of starch)	Glass Transition; T _g (°C)	
		Initial time	Stored samples
Corn	0	54.23±3.20	44.64±4.93
	20	35.12±6.85	29.57±2.93
	40	20.97±2.47	25.98±2.60
Cassava	0	55.61±0.55	39.6±1.61
	20	42.42±1.75	38.17±0.35
	40	26.96±4.36	27.34±3.83
Yam	0	52.7±3.22	47.69±2.11
	20	39.26±3.47	26.52±4.16
	40	18.7±3.02	21.34±2.38

(Mali et al., 2006)

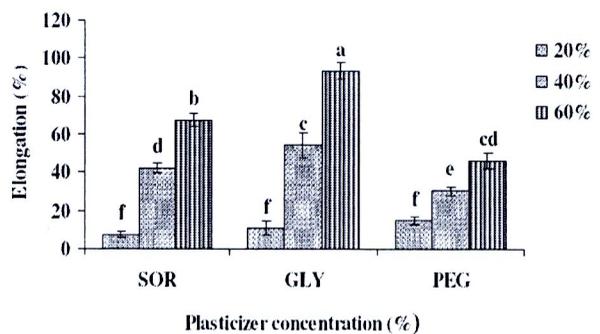
ตารางที่ 6 ผลของปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์มที่ได้จากแป้ง

Starch base	glycerol (g./100 starch)	Tensile stress (MPa)	Strain at break (%)
Corn	0	37±5	3±0.7
	20	17±6	9±5
	40	9±1	28±6
Cassava	0	26±5	6±0.6
	20	10±3	33±1
	40	4±0.2	46±2
Yam	0	49±2	3±0.7
	20	30±5	13±5
	40	10±1	25±8

(Mali et al., 2006)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสม โคลโคซาน (Bourtoom, 2008)

จากผลของฟิล์มที่ได้จากแป้งทั้งสาม จะเห็นว่าในแป้งมันสำปะหลัง จะมีความแข็งแรงน้อยที่สุด และมีความอ่อนตัวมากที่สุด และเสริมให้ชัดเจนขึ้นเมื่อเพิ่มสารเพิ่มความยืดหยุ่นเข้าไป เนื่องจากในแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณของอะมิโลสต่ำ ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงน้อยแต่มีความยืดหยุ่นสูง และสอดคล้องกับการศึกษาของ Bourtoom (2008) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด glycerol, sorbitol และ PEG400 ฟิล์มข้าวเจ้าผสมโคโคซาน มีผลทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงของฟิล์มลดลง แต่ความสามารถในการยึดเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก) และ 7 (ข))

มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของการใช้สารเพิ่มความยืดหยุ่น 3 ชนิดร่วมกับการเตรียมฟิล์มเมื่อจากมะรุม ได้แก่ polyethylene glycol (PEG400), glycerin และ propylene glycol ฟิล์มเมื่อจากมะรุมที่การเตรียมเป็นความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนัก ผสมกับสารเพิ่มความยืดหยุ่น ที่อัตราส่วน mucilage 10% w/w ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต่อ PEG400 0.15 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 30 และ 0.2 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง glycerin 0.15 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง และ propylene glycol 0.2 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง (ดังแสดงในตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 สูตรการเตรียมฟิล์มเมื่อจากมะรุมที่เติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น 3 ชนิด ได้แก่ PEG400, glycerol และ propylene glycol

Formulation (ingredients in mL.)	F2	F3	F5	F6
Mucilage 10%w/w	5	5	5	5
PEG400	0.15	0.2	-	-
Glycerol	-	-	-	0.15
Propylene glycol	-	-	0.2	-

Films were conditioned at 55%RH, 25-30 °C for 48 h before testing

(Panda, Choudhury, Yedukondalu, Si and Gupta, 2008)

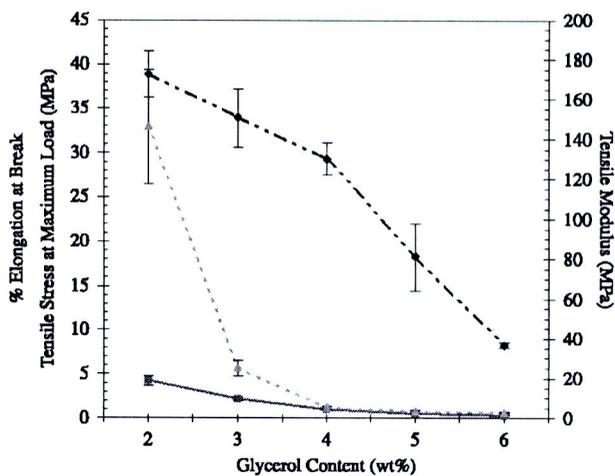
ตารางที่ 8 ผลของชนิดสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติของฟิล์มเมื่อจากมะรุมที่เติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น 3 ชนิด ได้แก่ PEG 400 (F2, F3) glycerin (F6) และ propylene glycol (F5)

Formulation	Thickness (mm.)	Tensile Strength (kg./cm ²)	Water uptake (%)	Water Vapors Transmission Rate (g.m/d.m ²)
F2	0.408	3.12	5.64	3.7
F3	0.378	4.60	8.65	4.6
F5	0.391	3.03	5.62	2.3
F6	0.401	2.71	6.33	2.2

(Panda et al., 2008)

พบว่าฟิล์มเมื่อจากมะรุม ผสมกับสารเพิ่มความยืดหยุ่น (ดังแสดงในตารางที่ 8) ที่อัตราส่วนสารละลาย mucilage ความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนักทั้งหมด ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต่อ PEG400 0.15 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 30 และ 0.2 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง glycerol 0.15 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง และ propylene glycol 0.2 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water uptake) ความสามารถในการต้านทานแรงดึง (tensile strength) และอัตราในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม (water vapor transmission) พบว่า สารเพิ่มความยืดหยุ่นสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากเมือกมะรุมได้ และยังเป็นแนวทางในการเลือกใช้สารเพิ่มความยืดหยุ่น ให้เหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณที่ใช้ร่วมกับสารก่อฟิล์มชนิดอื่นๆ อีกด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด glycerol ที่เพิ่มขึ้นในระดับต่ำมีผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มแป็งอีกด้วย จากการศึกษาของ Bangyekan, Aht-Ong and Srikulkit. (2006) (ดังแสดงในภาพที่ 8) ที่พบว่า การใช้สารเพิ่มความยืดหยุ่นในปริมาณร้อยละ 2 ถึง 6 ของน้ำหนักฟิล์มแป็งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยโคโคซาน มีผลทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง



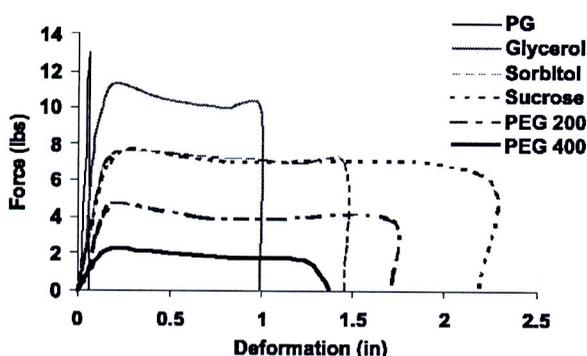
ภาพที่ 8 ผลของปริมาณสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด glycerol ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์มแป็งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยโคโคซาน (Bangyekan et al., 2006)

มีการวิจัยของ Sothornvit and Krochto (2001) ที่ทำการศึกษาผลของชนิดของสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อความสามารถในการต้านทานแรงและความสามารถในการยึดของฟิล์ม β -lactoglobulin ที่พบว่า น้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มที่ลดลง สารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด glycerol, sorbitol และ PEG400 ทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของฟิล์มลดลง ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพที่ 9)

ตารางที่ 9 สูตร โครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิดต่างๆ

Plasticizer type	MW	Formula & Shape
Propylene glycol	76	$C_3H_8O_2$, straight chain
Glycerol	92	$C_3H_8O_3$, straight chain
Sorbitol	182	$C_6H_{14}O_6$, straight chain
Polyethylene glycol	200	$H(OCH_2-CH_2)_4OH$, straight chain
Sucrose	342	$C_{12}H_{22}O_{11}$, ring structure
Polyethylene glycol	400	$H(OCH_2-CH_2)_8OH$, straight chain

(Sothornvit and Krochto, 2001)



ภาพที่ 9 ผลของชนิดสารเพิ่มความยืดหยุ่น ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม β -lactoglobulin

(Sothornvit and Krochto, 2001)

และพบการศึกษาของ Mali et al. (2006), Bangyekan et al. (2006) และ Lopez, Garcia and Zaritzky (2008) ที่พบว่า ปริมาณของ glycerol ที่ใช้ร่วมในฟิล์มแป้งมันมือเสือ, ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบทับด้วยโคโคซาน และแป้งข้าวโพดที่ผ่านกรดซิตริกด้วยวิธีทางเคมี มีผลต่อคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติ hygroscopy ที่สูงของ glycerol เมื่ออยู่ร่วมกับฟิล์ม ความหนาแน่นของโครงข่ายโมเลกุลของแป้งในฟิล์มลดลง ไอน้ำจึงสามารถซึมผ่านได้เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณ glycerol ที่เพิ่มขึ้น ส่วน PEG400 เนื่องจากการสูญเสียความแข็งแรงของฟิล์มไป เมื่อฟิล์มได้รับแรงดันจึงเกิดการแตก (crack) ภายในโครงข่ายของแป้งขึ้น ไอน้ำจึงซึมผ่านฟิล์มได้เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณ PEG400 ที่เพิ่มขึ้น และการศึกษาของ Mathew and Dufresne (2002), Pongjanyakul and Puttipipatkachorn (2007) และ Panda et al. (2008) คุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว, ฟิล์มอัลจินต-แมกเนเซียมอัลลูมินัมซิลิเกต และฟิล์มจากเมือกโมรินกาโอลิเฟียรา ที่ใช้ PEG400 และ maltital ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับ PEG400 ทำให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านฟิล์มได้มากกว่าการใช้ glycerol

ส่วนฟิล์มแป้งที่มีสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด sorbitol ที่ระดับปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้คุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มได้ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Talja et al. (2007) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณของ sorbitol ในฟิล์มแป้งมันฝรั่ง ถึงระดับร้อยละ 40 ของน้ำหนักแป้ง ทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสามารถผ่านฟิล์มได้ลดลง และผลดังกล่าวยังสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านทานแรงเจาะ (Puncture Strength; PS)

ของฟิล์มที่มี sorbitol ที่ระดับเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากโครงข่ายภายในฟิล์มมีความแข็งแรงขึ้น ทำให้คุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำสามารถผ่านฟิล์มได้ลดลง แต่เมื่อใช้ในระดับที่สูงกว่าขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำสามารถผ่านฟิล์มเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สารเพิ่มความยืดหยุ่นมีผลต่อการดูดซับความชื้นของฟิล์มที่ได้จากแป้งอีกด้วย จากการศึกษาของ Bangyekan et al. (2006), Talja et al. (2007) และ Hu, Chen, Jianping and Gao (2009) พบว่าการเพิ่มปริมาณของ glycerol ที่เพิ่มขึ้นในฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบทับด้วยไคโตซาน, ในฟิล์มแป้งมันฝรั่งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน และฟิล์มแป้งมันฝรั่งที่ตัดแปรด้วยวิธีการออกซิไดซ์ ทำให้การดูดความชื้นของฟิล์มเพิ่มขึ้น และคุณสมบัติในการดูดความชื้นของฟิล์มแป้ง ยังสัมพันธ์กับขนาดโมเลกุลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่ใช้ อีกด้วย ซึ่งพบว่า glycerol ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า sorbitol และ PEG400 ตามลำดับ ซึ่งมีความสามารถในการดูดความชื้นมากกว่าสารเพิ่มความยืดหยุ่นทั้งสองชนิดดังกล่าว ตามลำดับ

และพบการศึกษาของ Mathew and Dufresne (2002) และ Bourtoom (2007) ที่พบว่า โมเลกุลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่มีน้ำหนักต่ำจะมีคุณสมบัติทาง hygroscopy ที่สูงกว่าสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนความสัมพันธ์ของปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ PEG400 มีผลต่อคุณสมบัติในการดูดความชื้นของฟิล์มที่ลดลง เนื่องจากคุณสมบัติทาง hygroscopy ของ PEG ที่มีความเข้ากันได้กับน้ำต่ำกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้ไปลดการดูดความชื้นของฟิล์มลง

5. การตัดแปรสภาพแป้ง

ถึงแม้ว่าแป้งดิบ (native starch) สามารถนำมาใช้เตรียมเป็นฟิล์มได้ แต่มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง ไม่เกิดการพองตัว และไม่เกิดความเหนียว เป็นต้น จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนด เพื่อให้ได้แป้งที่สามารถนำไปเตรียมเป็นฟิล์มต่อไปได้ แต่หากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ไม่เหมาะสม ทำให้คุณสมบัติของแป้งเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการตัดแปรแป้งให้มีคุณสมบัติด้านการชอบน้ำ คุณสมบัติในการพองตัวและมีความเหนียวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ได้ จึงเป็นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) การตัดแปรสภาพแป้งสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่

5.1 การตัดแปรทางเคมี (Chemical Modification)

5.1.1 แป้งจากการเกิดอนุพันธ์กับสารเคมี (Derivatization)

5.1.1.1 การแทนที่สารในหมู่โมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการแทนที่ด้วยสารในหมู่เอสเทอร์ เรียกว่า แป้งเอสเทอร์ เช่น แป้งแอสซิเตด และวิธีการแทนที่ด้วยสารในหมู่อีเทอร์ เรียกว่า แป้งอีเทอร์ เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล

5.1.1.2 การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เรียกว่า แป้งคลอสลิง (Cross-linked Starch)

5.1.2 การลดขนาดโมเลกุลแป้งด้วยกรด (Acid Thinning) ได้แก่ แป้งย่อยด้วยกรด (Acid Modified Starch) หรือ Thin-Boiling Starch

5.1.2.1 เดกซ์ทรีนในเซชัน เป็นการลดขนาด/เปลี่ยนการจับเกาะ (Depolymerization/Transglycosylation) โดยใช้ความร้อนร่วมกับ Dextrin

5.1.2.2 ออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุลโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Bleaching และ Depolymerization) ได้แก่ แป้งออกซิเดชัน (Oxidized Starch)

5.1.2.3 การย่อยสลาย (Hydrolysis) โดยใช้เอนไซม์น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น มอลโตเดกซ์ทรีน (Maltodextrin)

5.2 การดัดแปรทางกายภาพ (Physical Modification)

5.2.1 พรีเจลาติไนเซชัน (gelatinization) การให้ความร้อนกับแป้งจนผ่านขั้นตอนการเจลาติไนเซชันแล้วทำให้แห้งทันที

5.2.2 แป้งละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch; GCWSS) โดยการผ่านเอทานอลและค้าง แล้วล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก

5.2.3 การลดขนาดเม็ดแป้งทางกล เช่น ลดขนาดโดยทำให้เม็ดแป้งแตกออก จะได้แป้งที่มีขนาดเล็กลง

5.2.4 การ Annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน

5.2.5 ดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (Heat Moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนแก่แป้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันในขณะที่แป้งมีความชื้นต่ำ

5.3 การดัดแปรทางเทคโนโลยีทางชีวภาพ (Biotechnology Modification)

โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ได้แก่ แป้งที่มีอะมิโลสสูงถึงร้อยละ 50 ถึง 80 เป็นแป้งที่มียีนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ อะมิโลส แป้งชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นสารก่อฟิล์มเคลือบ เช่น แป้งข้าวโพดสายพันธ์ อะมิโลเมส

แป้งอะมิโลเพคติน แป้งที่มีอะมิโลเพคตินเพียงอย่างเดียวพบในธัญพืชที่เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) เป็นสายพันธุ์ที่มีเฉพาะยีน waxy gene แป้งชนิดนี้เหมาะในการใช้เป็นกาวและอุตสาหกรรมทอผ้า เนื่องจากคุณสมบัติความเหนียวและมันวาว

5.4 การออกแบบวิธีการดัดแปรแป้ง

5.4.1 ออกแบบให้เกิดในแป้งที่ผ่านการเกิดเจลาติไนเซชันแล้ว

วิธีนี้นิยมใช้กับกระบวนการย่อยสลาย (hydrolysis) เช่น กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส ในการผลิตสามารถเติมน้ำย่อยพร้อมกับแป้งดิบได้ และเมื่อผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์ปฏิกิริยาการย่อยก็จะเกิดขึ้น ทำให้ความหนืดของสารละลายแป้งลดลง และสามารถทำปฏิกิริยากับของละลายที่มีปริมาณสูงได้ รวมทั้งเป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในแป้ง (pasteurization) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

5.4.2 วิธีการที่ใช้กับเม็ดแป้งแห้งหรือกึ่งแห้ง

เป็นวิธีการที่ทำการเกิดอนุพันธ์จากการให้ความร้อนและสารก่ออนุพันธ์ของแป้งแห้ง/กึ่งแห้ง

5.4.2.1 วิธีที่เกิดปฏิกิริยาภายใน (rotating kiln; rotary dryer) โดยตั้งปฏิกรณ์ reactor ทรงกระบอกที่เดินเครื่องรอบต่ำๆ ใช้ความร้อนสูง 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส

5.4.2.2 วิธีที่เกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องผสม (mixer) วิธีการนี้ใช้ในการผลิตแป้งอีเทอร์ที่ไม่เจลาติไนซ์ (ungelatinized starch ether) โดยผสมแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 10 ถึง 20 กับเบส และสารทำปฏิกิริยา (etherifying agent) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องหรือสูงกว่า โดยใช้อุปกรณ์ในการผสมทั่วไป เช่น เครื่องผสม (mixer หรือ blender) หรือที่เรียกกันว่า thermoblender หรือ thermomixer

5.4.2.3 วิธีที่เกิดปฏิกิริยาภายใน fluidized-bed reactor เป็นการพ่นแป้งให้เคลื่อนในลักษณะไหลใน fluid-bed โดยใช้ fluidizing gas ที่ความหนืดและอุณหภูมิที่ต้องการ พ่นให้แป้งเคลื่อนในหวดตลอดเวลา ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับการผลิตเดกซ์ทริน หรือ โมโนสตาร์ชฟอสเฟต

5.4.2.4 วิธีที่เกิดปฏิกิริยาภายในเอ็กซ์ทรูดเดอร์ (extruder) เอ็กซ์ทรูดเดอร์ใช้สำหรับการผลิตแป้งพรีเจลาติไนซ์และแป้งอีเทอร์ ในรูปแบบที่ผ่านการเจลาติไนซ์แล้ว โดยใช้ส่วนผสมของแป้ง สารเคมีดัดแปร แป้ง ตัวเร่ง และน้ำปริมาณร้อยละ 10 ถึง 60 ของปริมาณแป้ง ทำปฏิกิริยาในช่วง 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส

5.4.3 วิธีการที่ใช้กับเม็ดแป้งในสภาพแขวนลอย

ทำกับเม็ดแป้งดิบในสภาพแขวนลอยสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีได้หลายชนิดในปฏิกิริยาที่มีการเติมเบสและเกลือ เบสบางชนิดเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยาเคมี เกลือบางชนิด เช่น โซเดียมคลอไรด์ หรือ โซเดียมซัลเฟต ช่วยลดการพองตัวของเม็ดแป้ง อุณหภูมิที่ใช้ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 50 องศาเซลเซียส ได้เป็นอนุพันธ์ของแป้ง แล้วนำไปกำจัดน้ำโดยการกรองหรือเหวี่ยง ต่อมาล้างเอาเกลือและสารเคมีที่เติมออกไป และทำให้แห้งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

วิธีการนี้ใช้สำหรับการผลิตแป้งดัดแปร (modified starch) ในระดับอุตสาหกรรม เช่น การผลิตแป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch) แป้งย่อยด้วยกรด (acid-modified starch) แป้งครอสลิง (cross-linked starch) แป้งเอสเทอร์ (starch ester) และแป้งอีเทอร์ (starch ether) เป็นต้น

มีงานวิจัยเกี่ยวกับการดัดแปรแป้งเพื่อใช้เป็นสารก่อฟิล์มเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์ (2543) ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยเอนไซม์พุลูลานเนส พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะนุ่มมากกว่า และการต้านทานแรงดึงและการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ มากกว่าฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ดัดแปร นอกจากนี้ฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยเอนไซม์พุลูลานเนสผสมกับ polycaprolactone มีการต้านทานแรงดึงมากกว่า แต่ความสามารถในการยึด และความสามารถในการละลายน้ำ น้อยกว่าฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ดัดแปรผสม polycaprolactone

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธีเอซิติลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความชื้นเหนียว เป็นการดัดแปรทางเคมี ร่วมกัน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการเกิดอนุพันธ์ (Derivatization) ด้วยการแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับหมู่เอสเทอร์ของสารเคมี ซึ่งใช้ไวนิลเอซิติล (Vinyl Acetate) เกิดปฏิกิริยา Esterification เรียกว่า แป้งเอซิติลเลต หลังจากนั้นทำการดัดแปรต่อเนื่องแบบเชื่อมข้าม (Crosslink หรือ Bridge) ด้วย sodium trimetaphosphate ซึ่งใช้เป็น Cross-Linking Reagent ได้เป็นแป้งข้าวเหนียวดัดแปรด้วยวิธีเอซิติลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม (นุชจรา แซ่ตั้ง, 2545)

ได้มีการนำไปใช้ในการเป็นสารให้ความข้นหนืด และมีการทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีเอซีทิลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม ในการทดสอบดังกล่าวได้ใช้การออกแบบการทดลองวิธี Central Composite Design กำหนดปัจจัยต่างๆ แบบระดับ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง ระดับสูง ระดับสูงกว่าเอลฟา (1.682) และระดับต่ำกว่าเอลฟา (-1.682) ปัจจัยที่กำหนด ได้แก่ ระดับความเข้มข้นของไวนิลเอซีเทต ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม ทำการทดสอบคุณสมบัติในการเป็นสารให้ความข้นหนืด ได้แก่ คุณสมบัติความหนืด (Viscosity) กำลังในการพองตัว (Swelling Power) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) (ดังแสดงในตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีเอซีทิลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม

แผนทดลอง	X1	X2	X3	Peak Viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Trough (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temperature (°C)	Water Holding Capacity (%)	Swelling Power
1	2(-1)	0.01(-1)	10(-1)	230.06	90.22	139.83	155.25	15.42	71.38	138.05	11.93
2	2(-1)	0.01(-1)	30(1)	232	92.42	139.58	158.03	18.42	70.2	138.25	11.13
3	2(-1)	0.05(1)	10(-1)	219.14	85.55	133.58	153.58	20	73.72	142.35	11.61
4	2(-1)	0.05(1)	30(1)	249.86	101.39	148.47	169.22	20.75	70.53	132.65	11.56
5	6(1)	0.01(-1)	10(-1)	224.28	833.81	140.47	155.09	14.61	70.28	149.92	11.71
6	6(1)	0.01(-1)	30(1)	246.58	96.33	150.25	168.31	18.06	69.52	129.05	11.49
7	6(1)	0.05(1)	10(-1)	231.97	89.78	142.19	161.83	19.64	70.37	125.88	11.09
8	6(1)	0.05(1)	30(1)	259.11	105.25	153.86	175.19	21.33	73.38	148.39	10.05
9	0.64(-1.682)	0.03(0)	20(0)	224	85.78	138.22	160.3	22.08	74.71	152	9.42
10	7.35(1.682)	0.03(0)	20(0)	224.94	80.67	148.28	168.8	20.53	72.4	127.95	11.35
11	4(0)	0(-1.682)	20(0)	225.08	80.92	144.17	159.89	15.72	70.23	128.69	9.68
12	4(0)	0.064(1.682)	20(0)	215.53	76.56	138.97	158.47	19.5	73.4	140.04	10.1
13	4(0)	0.03(0)	3.2(-1.682)	218.25	75.31	142.94	154.58	11.64	73.42	79.42	10.28
14	4(0)	0.03(0)	36.8(1.682)	229.75	86.61	143.14	159.17	16.03	70.85	130.09	10.57
15	4(0)	0.03(0)	20(0)	216.22	81.3	140.92	157.92	20.33	72.52	144.54	10.03
16	4(0)	0.03(0)	20(0)	218.72	75.09	143.97	155.17	22.7	72.88	132.32	10.44
17	4(0)	0.03(0)	20(0)	219.05	75.33	141.05	157.49	16.44	73.93	123.92	10
18	4(0)	0.03(0)	20(0)	215.69	75.97	144.72	154.5	19.78	73.75	129.97	11.26
N	-	-	-	209.39	110.39	99	121.92	22.92	75.07	128.08	38.25

หมายเหตุ X1 = ความเข้มข้นของไวนิลเอซีเทต, X2 = ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต,

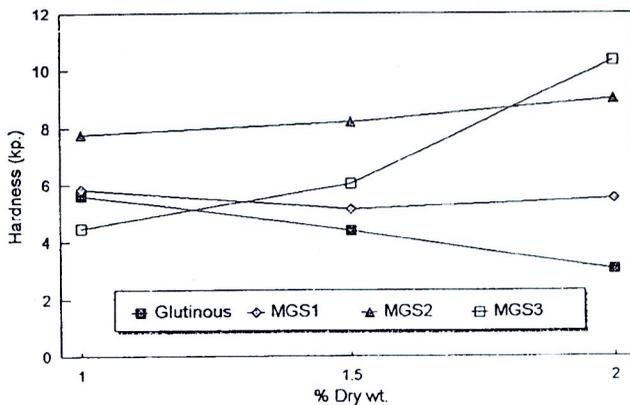
X3 = ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาแบบเชื่อมข้าม, N = แป้งข้าวเหนียว, RVU = Rapid Visco Unit

(นุชจรา แซ่ตั้ง, 2545)

พบว่า แป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีเอซีทิลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม ผ่านข้อกำหนดตาม มอก. 1073-2535 ที่กำหนดว่ามีระดับการแทนที่ของหมู่เอซีทิลและฟอสฟอรัสไม่เกินข้อกำหนด ซึ่งจากการทดลองตัดแปรด้วยวิธีดังกล่าว มีระดับการแทนที่ของหมู่เอซีทิลและฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 1.75 ถึง 5.98×10^{-3}

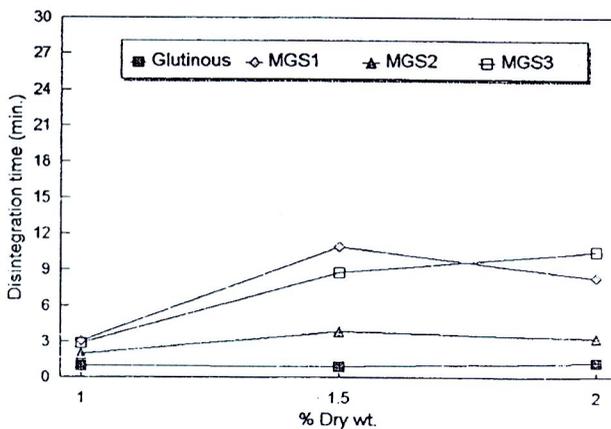
และ 1.43 ถึง 3.22×10^{-4} ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนด และผลของการใช้ vinyl acetate ที่ระดับสูง จะทำให้มีผลของความหนืดสูงขึ้น การใช้ sodium trimetaphosphate ที่ระดับต่ำมีผลทำให้ความหนืดและการคืนตัวเพิ่มขึ้น การใช้เวลาในการ cross-linked ที่นานขึ้น มีผลทำให้ความหนืด ค่าการคืนตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น จากข้อมูลดังกล่าว สรุปได้ว่าแป้งข้าวเหนียวที่ดัดแปรด้วยวิธีเอซิติลเลชันร่วมกับวิธีเชื่อมข้าม สามารถใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารได้

การศึกษาคัดแปรแป้งข้าวเหนียวด้วยโซเดียมคาร์บอกซิเมทิล เพื่อใช้เป็นสารยึดเกาะเป็นการดัดแปรสภาพทางเคมี วิธีแทนที่โมเลกุลด้วยสารในหมู่อีเทอร์ โซเดียมโมโนคลอโรเอซิติเตดได้เป็นแป้งอีเทอร์ หรือแป้งประจุลบ การแป้งข้าวเหนียวมาดัดแปรด้วยวิธีการนี้ เรียกว่า แป้งข้าวเหนียวอีเทอร์ หรือแป้งข้าวเหนียวคาร์บอกซิเมทิลสตาร์ช (ทัศนาศ พัทธ์สุธิพงศ์, 2538) การนำไปใช้งานสามารถใช้งานเป็นสารยึดเกาะในตำรับยาเม็ด โดยใช้ในตำรับยาพาราเซตามอล และมีการทดสอบคุณสมบัติของยาเม็ดที่ได้ ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) การแตกตัวของยาเม็ด (Disintegration Property) และการปลดปล่อยตัวจากยาเม็ด (Dissolution Property) การออกแบบการทดลอง โดยกำหนดปัจจัยและระดับความเข้มข้นของโซเดียมโมโนคลอโรเอซิติเตดที่ใช้เป็นสาร Derivatizing Reagent เป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ได้เป็นแป้งข้าวเหนียวคาร์บอกซิเมทิลสตาร์ช MGS1, MGS2 และ MGS3 ตามลำดับ และกำหนดปัจจัยของระดับปริมาณแป้งดัดแปรในตำรับยาพาราเซตามอล ที่ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง



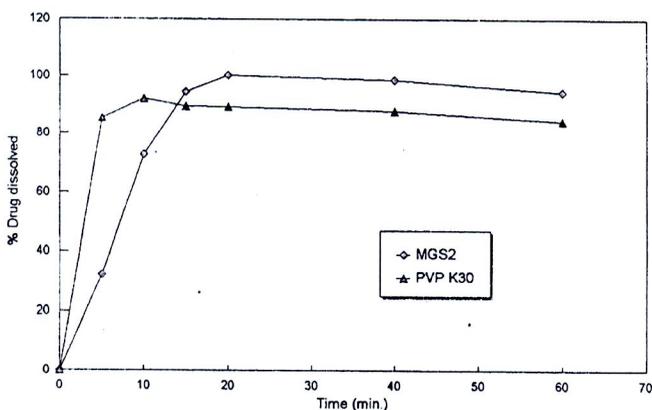
ภาพที่ 10 ความแข็งของยาเม็ดพาราเซตามอลที่ใช้แป้งข้าวเหนียวก่อนดัดแปร (Glutinous) และแป้งข้าวเหนียวคาร์บอกซิเมทิลสตาร์ช (MGS1 MGS2 และ MGS3) เป็นสารยึดเกาะ (ทัศนาศ พัทธ์สุธิพงศ์, 2538)

จากการทดสอบคุณสมบัติความแข็งของยาเม็ด พบว่า ปริมาณระดับความเข้มข้นของโซเดียมโมโนคลอโรเอซิติเตดที่ใช้เป็นสาร Derivatizing Reagent ในการดัดแปรแป้ง ทั้ง 3 ระดับ และปริมาณที่ใช้เป็นสารยึดเกาะในตำรับทุกระดับ สามารถทำให้ความแข็งของเม็ดยาเพิ่มขึ้นได้ ที่ระดับกลางและปริมาณที่ใช้เป็นสารยึดเกาะในตำรับที่ระดับต่ำ ถึง กลาง สามารถทำให้ความแข็งของเม็ดยาเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากแป้งดัดแปรมีความสามารถในการยึดจับโมเลกุลต่างๆ ได้ดีขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 10)



ภาพที่ 11 การแตกตัวของยาเม็ดพาราเซตามอลที่ใช้แป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปร (Glutinous) และแป้งข้าวเหนียวคาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (MGS1 MGS2 และ MGS3) เป็นสารยึดเกาะ (ทัศนาศึกษา พิทักษ์สุธีพงษ์, 2538)

จากคุณสมบัติการแตกตัวของยาเม็ด พบว่า ปริมาณระดับความเข้มข้นของโซเดียม โมโนคลอโรแอซีเทตที่ใช้เป็นสาร Derivatizing Reagent ในการตัดแปรแป้ง ที่ระดับสูงและปริมาณแป้งตัดแปรที่ใช้เป็นสารยึดเกาะในตำรับที่ระดับสูง สามารถทำให้เวลาในการแตกตัวของเม็ดยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งตัดแปรมีความเป็นประจุลบมากขึ้น มีแรงยึดจับ ได้ดีขึ้น ทำให้ชะลอการแตกตัวของยาเม็ดดังกล่าวได้นานขึ้น (ดังแสดงในภาพที่ 11)

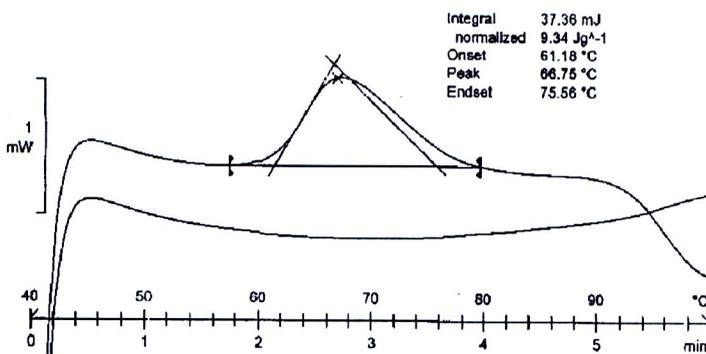


ภาพที่ 12 การปลดปล่อยตัวของยาเม็ดพาราเซตามอลที่ใช้แป้งข้าวเหนียวคาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (MGS2) เป็นสารยึดเกาะ ที่ระดับร้อยละ 2 ของน้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบกับ PVP K30 (ทัศนาศึกษา พิทักษ์สุธีพงษ์, 2538)

จากการทดสอบคุณสมบัติการปลดปล่อยตัวของยาเม็ด พบว่า ปริมาณระดับความเข้มข้นของโซเดียม โมโนคลอโรแอซีเทตที่ใช้เป็นสาร Derivatizing Reagent ในการตัดแปรแป้ง ที่ระดับสูงและปริมาณแป้งตัดแปรที่ใช้เป็นสารยึดเกาะในตำรับที่ระดับสูง สามารถทำให้เวลาในการปลดปล่อยตัวของเม็ดยาเพิ่มขึ้นได้ เมื่อเทียบกับตำรับที่ใช้ PVP K30 เป็นสารยึดเกาะ ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติการแตกตัวของยาเม็ดที่ให้เวลาในการแตกตัวนานขึ้น จึงเกิดการชะลอการปลดปล่อยช้าลง (ดังแสดงในภาพที่ 12) จากข้อมูลดังกล่าว สรุปได้ว่า แป้งข้าวเหนียว

คัดแปรสภาพทางเคมีด้วยวิธีแทนที่โมเลกุลเดี่ยวของแป้งด้วยสารในหมู่ฮีเทอร์ หรือเรียกว่า แป้งข้าวเหนียวฮีเทอร์ สามารถใช้เป็นสารยึดเกาะในตำรับยาเม็ดได้

มีการศึกษาเกี่ยวกับแป้งข้าวเหนียวพรีเจล เพื่อใช้เป็นสารชะลอการปล่อยยาสำหรับตำรับยาเม็ดเป็นการคัดแปรสภาพทางกายภาพแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธี Gelatinization โดยให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งข้าวเหนียวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ผ่านขั้นตอนการเจลาทิไนเซชัน แล้วหลังจากนั้นนำไปฉีดพ่นทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง Inlet/Outlet Temp. 180/92 ถึง 95 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค Spray Dryer ได้เป็นแป้งคัดแปรที่เรียกว่า แป้งข้าวเหนียวพรีเจล (Pregelatinized Glutinous Rice Starch) ที่สามารถละลายและพองตัวในน้ำเย็นได้ เมื่อทำการศึกษาอุณหภูมิที่จะทำให้แป้งข้าวเหนียวเกิดการเจลาทิไนซ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดอุณหภูมิแก่แป้งพรีเจล (ดังแสดงในรูปที่ 13) เป็นการวิเคราะห์เทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเหนียวก่อนการคัดแปร และหลังการคัดแปรเป็นแป้งพรีเจล โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าเทอร์โมแกรมของแป้งก่อนการคัดแปร มี Peak ที่เรียกว่า เจลาทิไนเซชันเอนโดเทอม (Gelatinization Endoterm) เกิดขึ้น โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น (Onset Temp.; T_o) เท่ากับ 61.18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด (Peak Temp.; T_p) เท่ากับ 66.75 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสุดท้าย (Conclusion Temp.; T_c) เท่ากับ 75.56 องศาเซลเซียส จากข้อมูลเทอร์โมแกรมดังกล่าวนำไปกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมแป้งพรีเจล ที่ 70 องศาเซลเซียส และได้นำแป้งพรีเจลไปทำการวิเคราะห์เทอร์โมแกรมจะพบว่าแป้งพรีเจลไม่มี Peak ของ Gelatinization Endoterm เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 13

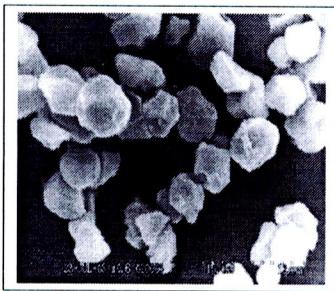


ภาพที่ 13 แสดงเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเหนียวก่อนการคัดแปร และหลังการคัดแปร (แป้งข้าวเหนียวพรีเจล) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) (เพ็ญนภา ภูวฤทธิ์, 2547)

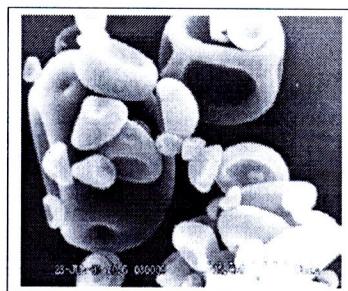
ความสามารถในการพองตัวของแป้ง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งพรีเจลมีความสามารถในการพองตัวมากกว่า เนื่องจากแป้งก่อนคัดแปร โมเลกุลของน้ำจะแทรกซึมเข้าสู่แป้งได้อย่างจำกัดเนื่องจากร่างแห มีความยืดหยุ่นน้อยกว่า จึงทำให้แป้งก่อนคัดแปรไม่สามารถให้ความหนืดในน้ำเย็น ซึ่งต่างจากแป้งพรีเจลที่ผ่านขั้นตอนการทำให้สุกก่อนทำให้แห้ง ความร้อนที่ให้อุ่นเข้าไปทำลายหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าสู่โมเลกุลของแป้งได้โดยง่ายทำให้พองตัวได้มากกว่า และสามารถให้ความหนืดได้ จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้แป้งพรีเจลมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากขึ้น และสามารถในการละลายได้ดีขึ้นอีกด้วย

ขนาดอนุภาคทำการตรวจวัดขนาดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า แป้งก่อนตัดแปรมีขนาดที่โตกว่า แต่มีช่วงของการกระจายขนาดที่น้อยกว่า ส่วนแป้งพรีเจลมีขนาดอนุภาคที่หลากหลาย มีการกระจายขนาดที่สูงมาก มีการยึดเกาะและจับกลุ่มกันมากการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดปัญหาในการผสมได้เพราะจะเกิดการแยกตัวหลังการผสมในขั้นตอนการผลิตยาเม็ด จึงไม่เหมาะสมในการผลิตยาเม็ดด้วยวิธีตอกตรง

ปริมาณความชื้นของแป้ง โดยทั่วไปแป้งจะสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้เองเพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ โดยความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 17 (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) จากการทดสอบแป้งก่อนตัดแปรมีความชื้นร้อยละ 11.22 ส่วนแป้งพรีเจลมีความชื้นร้อยละ 5.79 ซึ่งแตกต่างกัน เนื่องจากแป้งพรีเจลถูกผ่านขั้นตอนทำให้แห้งจึงมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าแป้งก่อนตัดแปร



(ก x 2,000)



(ข x 2,000)

ภาพที่ 14 ภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอน แสดงลักษณะผิวนอกของอนุภาคแป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปร (ก) และแป้งข้าวเหนียวพรีเจล (ข) (Peerapattana, Phuvarit, Srijesdaruk, Preechagoon and Tattawasart, 2010)

จากการตรวจสอบลักษณะผิวนอกของอนุภาคแป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปร และแป้งข้าวเหนียวพรีเจล จากภาพถ่ายด้วยกล้องอิเล็กตรอน (ดังแสดงในภาพที่ 14) พบว่า มีลักษณะผิวนอกที่แตกต่างกัน โดยแป้งก่อนตัดแปรมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม หลายเหลี่ยมและมีขนาดสม่ำเสมอ (ภาพที่ 14 (ก)) ส่วนแป้งพรีเจล (ภาพที่ 14 (ข)) นอกจากจะมีขนาดเล็กแล้วยังมีขนาด รูปร่างที่ไม่แน่นอน และมีการเกาะกลุ่มกันอีกด้วย ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากแป้งถูกทำให้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ โดยการทำให้สุกด้วยความร้อน แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยการฉีดพ่นเป็นละอองฝอยผ่านความร้อนสูง โครงสร้างเดิมถูกทำลาย เมื่อละอองแป้งสัมผัสอากาศร้อนบริเวณผิวนอกจะระเหยและแห้งก่อน และเนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ทำให้ผิวชั้นนอกมีความยืดหยุ่น ของเหลวแป้งที่อยู่ชั้นในถัดเข้าไปเมื่อยังร้อนอยู่ ก็จะเกิดแรงดันไอน้ำ ดันผ่านชั้นผิวนอกออกไป เมื่อความดันภายในหมดลง ผิวของอนุภาคก็จะยุบตัวลงทำให้มีลักษณะเป็นแอ่ง อนุภาคที่เล็กกว่าก็จะเกาะบริเวณแอ่งดังกล่าว

ผลการประเมินคุณสมบัติยาเม็ดที่เตรียมโดยสารก่อเมทริกซ์ต่างชนิดกัน คือ แป้งข้าวเหนียวพรีเจล (P) และ HPMC (H) โดยกำหนดสัดส่วน ยาต่อสารก่อเมทริกซ์ 4 ระดับ คือ 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4 และแป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปร (N) ที่สัดส่วนยาต่อสารก่อเมทริกซ์ที่ระดับ 1:3 เมื่อใช้ความดันในการตอก 13.7 MPa เท่ากันทุกระดับ (ดังแสดงในตารางที่ 11) การประเมินน้ำหนัก Radial Tensile Strength เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสม่ำเสมอของยา และความกร่อนของยาเม็ดดำรับโพพรานโนลอลไฮโดรคลอไรด์ ผลการประเมินคุณสมบัติยาเม็ดทุกดำรับผ่านข้อกำหนดของเภสัชดำรับ USP 26,2003

ตารางที่ 11 คุณสมบัติยาเม็ดที่เตรียมโดยสารก่อเมทริกซ์ แป้งข้าวเหนียวพรีเจล (P) HPMC (H) และแป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปร (N) เมื่อความดันที่ใช้ตอก 13.7 MPa

สารก่อเมทริกซ์	ตัวรับ	ยา: สารก่อเมทริกซ์	น้ำหนัก** (มก.)	Tensile Strength* (เมกะปาสคาล)	เส้นผ่านศูนย์กลาง* (มม.)	ความหนา* (มม.)	ปริมาณยา* (%)	ความกรอบ ^Φ (%)
แป้งข้าวเหนียวพรีเจล	P1	1 : 1	167.3 ^a ± 1.9	1.95 ^{cd} ± 0.19	9.61 ± 0.03	1.63 ^a ± 0.05	106.50 ^f ± 1.37	0.11
	P2	1 : 2	248.6 ^b ± 2.9	1.52 ^a ± 0.11	9.62 ± 0.02	2.61 ^c ± 0.08	102.85 ^{cd} ± 1.15	0.15
	P3	1 : 3	334.6 ^c ± 3.1	2.16 ^b ± 0.19	9.60 ± 0.04	3.68 ^d ± 0.06	104.25 ^{de} ± 3.11	0.15
	P4	1 : 4	422.0 ^d ± 3.5	2.91 ^c ± 0.23	9.56 ± 0.05	4.49 ^e ± 0.09	100.22 ^{bc} ± 2.46	0.06
HPMC	H1	1 : 1	165.3 ^a ± 2.3	1.97 ^{cd} ± 0.20	9.61 ± 0.02	2.08 ^b ± 0.09	99.73 ^{bc} ± 1.59	0.09
	H2	1 : 2	250.7 ^b ± 5.0	1.81 ^{bc} ± 0.17	9.60 ± 0.01	3.19 ^d ± 0.08	97.56 ^{ab} ± 1.64	0.02
	H3	1 : 3	332.5 ^c ± 2.4	1.68 ^{ab} ± 0.20	9.60 ± 0.00	4.13 ^e ± 0.07	102.91 ^{cd} ± 4.10	0.08
	H4	1 : 4	421.2 ^d ± 2.6	2.15 ^b ± 0.12	9.60 ± 0.00	5.28 ^f ± 0.06	96.95 ^a ± 3.44	0.01
แป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปร	N3	1 : 3	328.2 ^c ± 3.7	2.99 ^c ± 0.23	9.60 ± 0.00	3.71 ^d ± 0.07	100.41 ^c ± 2.51	0.65

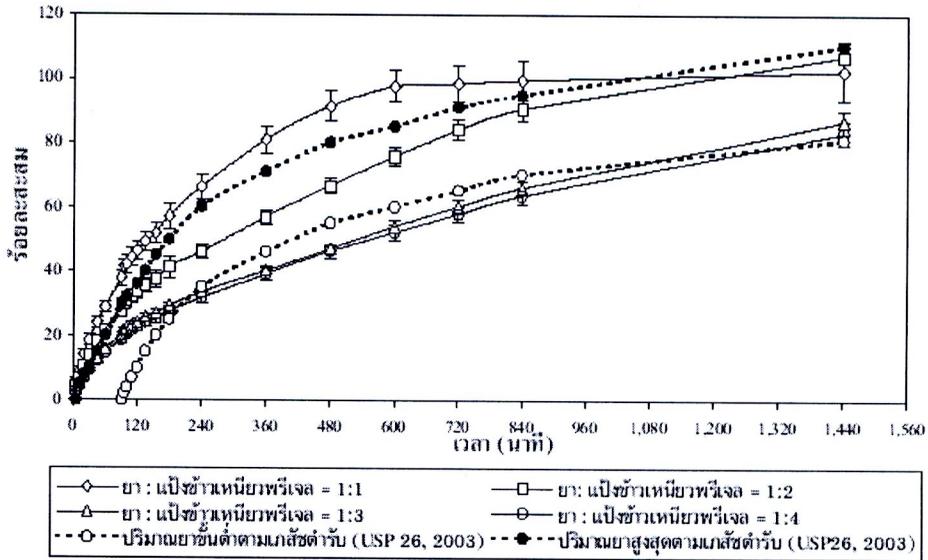
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

*จำนวนตัวอย่างยาเม็ดเท่ากับ 10 เม็ด, **จำนวนตัวอย่างยาเม็ดเท่ากับ 20 เม็ด

^Φ น้ำหนักของยาเม็ดที่นำมาตรวจสอบ 6.50 กรัม

a, b, c,...h เป็นอักษรแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 พิจารณาตามแนวดิ่ง

(เพ็ญภา ภูวฤทธิ์, 2547)



ภาพที่ 15 ร้อยละสะสมของยาพาราโนลอลไฮโดรคลอไรด์ที่ปลดปล่อยออกจากยาเม็ดซึ่งเตรียมโดยใช้อัตราส่วนของยาต่อแป้งข้าวเหนียวพรีเจล ความดันที่ใช้ตอก 13.7 MPa (เพ็ญภา ภูวฤทธิ์, 2547)

การศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวเหนียวพรีเจล ต่อการปลดปล่อยยาพาราโนลอลไฮโดรคลอไรด์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 1.2 และ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.8 ในหลอดทดลอง วัดค่าการดูดกลืนแสง UV ที่ความยาวคลื่น 289 nm. (ดังแสดงในภาพที่ 15) พบว่า ร้อยละของยาที่ถูกปลดปล่อยที่เวลาต่างๆ การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวตัดแปรมีผลทำให้การปลดปล่อยช้าลง สามารถชะลอการปลดปล่อยยาได้นานมากกว่า 10 ชั่วโมงในการปลดปล่อยยาร้อยละ 80 สอดคล้องตามข้อกำหนดเกณฑ์ตัวรับของยาพาราโนลอลไฮโดรคลอไรด์รูปแบบ

แคปซูล (USP 26, 2003) ดังนั้น แป้งข้าวเหนียวพรีเจลจึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นสารชะลอการปลดปล่อยยา สำหรับยาเม็ด เหมาะสมที่จะพัฒนาให้สามารถใช้ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตยาเม็ดออกฤทธิ์นานต่อไป

มีรายงานการศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวทางฟิสิกส์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (พัลลภ ไพพงศ์ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2548) เป็นการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวทางกายภาพ ด้วยวิธี Heat Moisture Treatment ให้ความร้อนสูงด้วยคลื่นไมโครเวฟแก่แป้งข้าวเหนียวที่มีความชื้นต่ำ วิธีการทำโดยให้ความชื้นแก่แป้งแล้วนำไปเข้าตู้อบไมโครเวฟ ได้เป็นแป้งข้าวเหนียวดัดแปรทางฟิสิกส์ด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟร่วมกับความชื้น ศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวที่ดัดแปรด้วยวิธีดังกล่าว ได้แก่ คุณสมบัติความสามารถในการพองตัว (Swelling Power) ความสามารถในการละลาย (Solubility) และความหนืด (Viscosity)

ตารางที่ 12 คุณสมบัติ Swelling Power และ Solubility ของแป้งข้าวเหนียวก่อนดัดแปร และแป้งดัดแปรด้วยวิธี Heat Moisture Treatment ให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟแก่แป้งที่ความชื้นต่ำ ที่ระดับความร้อนและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน

Samples	Swelling Power (g/g) at (°C)				Solubility (%) at (°C)			
	55	65	75	85	55	65	75	85
Native	3.01c	8.13c	23.71c	23.03a	2.07b	3.39b	5.79a	6.09a
Heated 30 min	2.91ab	4.98b	19.95b	24.52b	1.53a	2.33a	6.60a	7.00b
Heated 40 min	2.96bc	4.77ab	17.86a	24.04b	1.50a	2.24a	6.05a	6.64ab
Heated 50 min	2.83a	4.67a	18.69a	23.56ab	1.45a	2.31a	6.82b	6.94b

(พัลลภ ไพพงศ์ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2548)

การศึกษาคูสมบัติความสามารถในการพองตัว (ดังแสดงในตารางที่ 12) และความสามารถในการละลายของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรด้วยวิธีดังกล่าว พบว่า แป้งดัดแปรที่เวลานานขึ้น ให้ค่ากำลังในการพองตัวที่อุณหภูมิ 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส ลดลง แต่แป้งดัดแปรที่เวลานานขึ้นทำให้กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวเหนียวดัดแปร พบว่า แป้งดัดแปรที่เวลานานขึ้นให้ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ลดลง แต่แป้งดัดแปรที่เวลานานขึ้นทำให้ค่าการละลายที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น

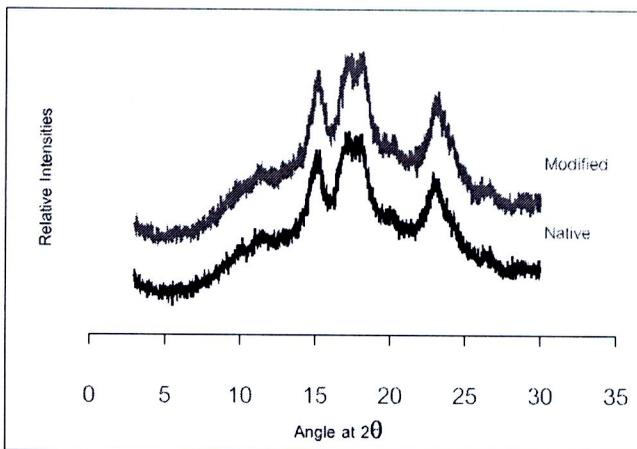
และการศึกษาความหนืดของของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรด้วยวิธีดังกล่าว (ดังแสดงในตารางที่ 13) พบว่า เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (Pasting Temperature) จากการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวที่เวลา 50 นาที ให้ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืดเป็นค่าที่สัมพันธ์กับค่ากำลังการพองตัว ความหนืดเกิดขึ้นหมายความว่าเกิดการพองตัวเกิดขึ้นด้วย การดัดแปรแป้งข้าวเหนียวที่เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดสูงสุด (Peak) ความหนืดต่ำสุดขณะร้อน (Trough) และค่าความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity) มีค่าลดลง ส่วนค่าความต่างของความหนืดสูงสุดกับต่ำสุด (Breakdown) และค่าความต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า Breakdown ที่เพิ่มขึ้นของแป้งดัดแปรบ่งบอกถึงความแข็งแรงของเม็ดแป้งที่ลดลง เมื่อแป้งได้รับความร้อนทำให้เม็ดแป้งพองตัวและแตกออกง่ายขึ้น จึงพบว่าความ

หนืดต่ำสุดขณะร้อนลดลง สอดคล้องกับความสามารถในการละลายของแป้งดัดแปรที่สามารถละลายได้เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส ส่วนค่า Setback ที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกถึงความแข็งแรงของของเหลวหนืดขึ้นเมื่อเกิดเจล ดังนั้นแป้งที่ให้ค่า Setback สูงจึงเหมาะสมในการใช้งานในผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตารางที่ 13 ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรด้วยวิธี Heat Moisture Treatment ให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟแก่แป้งที่ความชื้นต่ำ ที่ระดับเวลาการให้ความร้อนต่างกัน

Samples	Peak time (min)	Pasting temp. (°C)	Pasting Properties (RVU)				
			Peak	Trough	Breakdown	Final Viscosity	Set back
Native	3.44a	69.12a	267.06b	140.10b	126.96a	186.17b	46.07a
Heated 30 min	3.52b	70.89b	260.47a	128.58a	131.89b	178.46a	49.86b
Heated 40 min	3.52b	71.43c	262.31a	128.86a	133.44bc	179.21a	50.35b
Heated 50 min	3.54b	71.58c	262.51a	127.49a	135.03c	180.21a	52.72c

(พัลลภ ไพพงษ์ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2548)



ภาพที่ 16 การตรวจสอบคุณสมบัติทางโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวดัดแปรด้วยวิธี Heat Moisture Treatment ให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ นาน 50 นาที แก่แป้งที่ความชื้น 30% ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (พัลลภ ไพพงษ์ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2548)

การตรวจสอบคุณสมบัติโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเหนียวก่อนการดัดแปร และแป้งข้าวเหนียว ที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธี Heat Moisture Treatment ให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ นาน 50 นาที แก่แป้งที่ความชื้นร้อยละ 30 ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (ดังแสดงในภาพที่ 16) พบว่า ลักษณะโครงสร้างความเป็นผลึกของแป้งดัดแปรมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบ เอ กล่าวคือ มี Peak ที่ 17 และ 17.9 องศาที่ 2θ ซึ่งเป็นลักษณะ

เช่นเดียวกันกับแป้งก่อนตัดแปรรูป ปริมาณความเป็นผลึกสัมพัทธ์ (relative crystallinity) ของแป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปดังกล่าว เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 24.35 (แป้งข้าวเหนียวก่อนตัดแปรรูป) เป็นร้อยละ 27.04

มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการตัดแปรรูปแป้งข้าวเหนียว โดยการใช้ค่าในสภาวะที่มีแอลกอฮอล์เพื่อ ให้ความสามารถละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เกิดการพองตัวและได้ของเหลวที่มีความหนืด ซึ่งคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการเตรียม (ผดุงขวัญ จิตโรภาส และ นุวัตร วิสวรุ้งโรจน์, 2551) โดยสามารถปรับสภาวะที่ใช้ในการเตรียมให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของแป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่ต้องการ

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้แป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูป โดยการใช้ค่าในสภาวะที่มีแอลกอฮอล์ เป็นสารก่อฟิล์มร่วมกับ hydroxypropyl methylcellulose E15LV ในอัตราส่วน 40:60, 50:50, 60:40 เพื่อใช้เป็นสารก่อฟิล์ม พบว่าทั้ง 3 อัตราส่วน สามารถเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มได้

จากการศึกษาเบื้องต้น ในการตัดแปรรูปแป้งข้าวเหนียวที่ทำปฏิกิริยากับ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ที่สะท้อนด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก โดยทำการศึกษาแป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่สะท้อนโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 โมลาร์ และกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 โมลาร์ แล้วทำการประเมินคุณสมบัติของแป้งตัดแปรรูปที่ได้ พบว่า ลักษณะของแป้งตัดแปรรูปขึ้นอยู่กับชนิด ความเข้มข้น และปริมาณของกรดที่ใช้ แป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่สะท้อนด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ในระดับมาก มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.48 ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่สะท้อนด้วยกรดไฮโดรคลอริก ทุกความเข้มข้นและทุกระดับ มีค่าความเป็นกรดต่าง 11 ถึง 12 แป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่สะท้อนด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีการพองตัวและความหนืดมากกว่าการใช้กรดซิตริก การเพิ่มความเข้มข้นของกรดทำให้การพองตัวและความหนืดลดลง ฟิล์มจากแป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่สะท้อนด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีผิวเรียบ ไม่มีสี ฟิล์มจากแป้งข้าวเหนียวตัดแปรรูปที่สะท้อนด้วยกรดซิตริก มีผิวขรุขระ มีสีเหลือง มีความเป็นไปได้ในการใช้งานเป็นสารก่อฟิล์มสำหรับเคลือบเม็ดยา

นอกจากนี้ยังพบว่า การตัดแปรรูปทำให้โครงสร้าง ความเป็นประจุของแป้ง และองค์ประกอบของแป้งเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการตัดแปรรูป

6. ยาเม็ดเคลือบฟิล์ม

ยาเม็ดเคลือบฟิล์มจัดเป็นรูปแบบที่เม็ดยาถูกหุ้มด้วยสารเคลือบที่มีลักษณะเป็นฟิล์ม สามารถเตรียมได้โดยการพ่นสารเคลือบที่มีลักษณะเป็นละอองฝอย ไปสู่ผิวของเม็ดยาที่กำลังเคลื่อนที่ภายในเครื่องเคลือบ เมื่อละอองฝอยของสารเคลือบสัมผัสผิวของเม็ดยา ทำให้ผิวของเม็ดยาเปียก และละอองฝอยของสารเคลือบเกาะบนผิวของเม็ดยา จากนั้นเกิดการระเหยของตัวทำละลายในสารเคลือบ และกระบวนการเคลือบเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดเป็นฟิล์มเคลือบบนผิวของเม็ดยาได้ (Porter, 2000)

วัตถุประสงค์ในการเคลือบเม็ดยาเพื่อป้องกันเม็ดยาจากสภาวะรอบข้างที่ไม่เหมาะสม เช่น ป้องกันแสง ความชื้น อากาศ เชื้อจุลินทรีย์ กลบรสชาติ กลบกลิ่น เพื่อความคงตัว เพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญในเม็ดยา และเพื่อความสวยงาม

โดยทั่วไปสารเคลือบประกอบด้วย สารก่อฟิล์มหรือพอลิเมอร์ สารเพิ่มความยืดหยุ่น ตัวทำละลาย และสารอื่นๆ ซึ่งสารก่อฟิล์มหรือพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของการเคลือบ นอกจากนี้สารเพิ่มความยืดหยุ่น ที่ใช้ต้องมีความสัมพันธ์กับสารก่อฟิล์มหรือพอลิเมอร์อีกด้วย

นอกจากวัตถุประสงค์ในการเคลือบเมล็ด และองค์ประกอบของสารเคลือบแล้ว ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบเมล็ดที่สำคัญ คือสภาวะในการเคลือบเมล็ด ได้แก่ ระบบเครื่องเคลือบ (coating system) อุณหภูมิในระบบขณะเคลือบ (temperature of coating) ระยะเวลาในการเคลือบและอัตราการพ่นละอองฝอยของสารเคลือบ (spray rate of coating solution) ซึ่งปัจจัยด้านสภาวะในการเคลือบดังกล่าว สัมพันธ์กับสารเคลือบที่ใช้ และส่งผลต่อคุณสมบัติของเมล็ดเคลือบที่ได้

พบการศึกษาที่เกี่ยวกับผลของปัจจัยในการเคลือบเมล็ดโดยใช้แป้ง amylose-rice maize starch (Hylon VII) เป็นสารก่อก่อฟิล์ม โดยทำการเคลือบเมล็ดที่โอฟินลิน ด้วยเครื่องเคลือบ ระบบ side-vented pan coating system ของ Thai Coater Model 15 พบว่าความเข้มข้นของสารเพิ่มความยืดหยุ่น อุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบ และอัตราการพ่นละอองสารเคลือบในขั้นตอนการเคลือบ มีผลต่อคุณสมบัติของเมล็ดที่เคลือบได้ ได้แก่ ความเรียบ-ขรุขระของผิวเมล็ดที่เคลือบได้ และการละลายของเมล็ดเคลือบ (Krogars, Antikainen, Heinamaki, Laitinen and Yliruusi, 2002)

มีงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการนำแป้งไปใช้ในงานเป็นสารเคลือบเมล็ด ได้แก่ การศึกษาความสามารถในการเป็นสารก่อก่อฟิล์มจากแป้งถั่วเขียวคัดแปรชนิดโซเดียมคาร์บอกซิเมทิล และทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซออร์ และสารครอสลิงกิงกลุ่มกรดแอลฟาไฮดรอกซี ต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งถั่วเขียวคัดแปรชนิดโซเดียมคาร์บอกซิเมทิล พบว่า การเติมสารพลาสติกไซเซออร์ polyethylene glycol 6000 (PEG6000) ร่วมกับ glycerol ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มให้มีความเป็นพลาสติกมากขึ้น และการเติมสารครอสลิงกิง ได้แก่ กรดซิทริก ทำให้ได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น และได้มีการนำแป้งถั่วเขียวคัดแปรชนิดโซเดียมคาร์บอกซิเมทิล ร่วมกับครอสลิงกิงด้วยกรดซิทริก ที่อัตราส่วนแป้งถั่วเขียวคัดแปรฯ ต่อกรดซิทริก 1:0.6 ไปใช้ในสูตรตำรับน้ำยาเคลือบฟิล์มสำหรับเมล็ดพาราเซตามอล ซึ่งประกอบด้วย แป้งถั่วเขียวคัดแปรฯ ต่อกรดซิทริก 15 กรัม (3% w/v) PEG6000 1.5 กรัม (0.3% w/v) glycerol 2.5 มิลลิลิตร (0.5% w/v) ในน้ำยาเคลือบ 500 มิลลิลิตรเคลือบเมล็ดภายใต้สภาวะ อุณหภูมิลมเข้า 75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในหม้อเคลือบ 60-65 องศาเซลเซียส ความเร็วของหม้อเคลือบ 11 รอบต่อนาที อัตราการป้อนน้ำยาเคลือบ 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที แรงดันสเปรย์ 500 กิโลปาสคาล ระยะเวลาในการเคลือบ 120 นาที สำหรับเม็ดยาน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม เมล็ดที่เคลือบได้มีลักษณะผิวเรียบและเป็นมันเงา น้ำหนักและความหนาของเมล็ดหลังเคลือบเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนการเคลือบคิดเป็นร้อยละ 2.6 และ 2.4 ตามลำดับ ระยะเวลาในการแตกตัวของเมล็ดหลังเคลือบเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนการเคลือบคิดเป็นร้อยละ 65 ในขณะที่ความกร่อนมีค่าคงเดิม (อรอนงค์ กิตติพงษ์พัฒนา และ นิสิต กิตติพงษ์พัฒนา, 2550)

แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึงการนำแป้งข้าวเหนียว หรือการพัฒนาแป้งข้าวเหนียวคัดแปรสภาพ เพื่อนำไปใช้ในการทำเป็นสารก่อก่อฟิล์มเคลือบเมล็ด ดังนั้นหากสามารถคัดแปรแป้งข้าวเหนียวและพัฒนาเพื่อใช้เป็นสารก่อก่อฟิล์ม รวมทั้งสามารถเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่น ให้เหมาะสมในการใช้เป็นสารก่อก่อฟิล์มเพื่อเคลือบเมล็ดได้ จัดเป็นการใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวเหนียวได้มากขึ้น และช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย