



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ สมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ปรับปรุงด้วยซิตริกแอซิดและกลีเซอรอล

Properties of PVA/Starch films Modified with Citric acid and Glycerol

ชื่อนิสิต นางสาวพรรณพัชร เสวตเลข เลขประจำตัว 6033251323

นางสาวอัญญา ดำรงกิจอภิชาติ เลขประจำตัว 6033283423

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

เรื่อง

สมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ไดออกไซด์และกลีเซอรอล

เสนอ

ภาควิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์

นางสาวพรรณพัชร เศวตเลข เลขประจำตัว 6033251323

นางสาวอนัญญา ดำรงกิจอภิชาติ เลขประจำตัว 6033283423

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รศ.ดร. มัณฑนา โอภาประภาสิต

อนุมัติโดย



(รศ.ดร. มัณฑนา โอภาประภาสิต)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ปีการศึกษา 2563

ชื่องานวิจัย : สมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ปรับปรุงด้วยซิทริกแอซิดและกลีเซอรอล

ชื่อผู้วิจัย : นางสาว พรรณพัชร เศวตเลข นางสาว อนัญญา ดำรงกิจอภิชาติ และรศ.ดร. มันทนา โอภาประกาสิต*

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

mantana.o@chula.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้สนใจพัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิดย่อยสลายได้จากแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) แป้งเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ธรรมชาติ หาได้ง่าย ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อร่างกาย PVA เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ละลายได้ในน้ำร้อน เนื่องจากแป้งไวต่อความชื้นและค่อนข้างเปราะแตกง่ายจึงมีข้อจำกัดสำหรับการพัฒนาเป็นฟิล์ม ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของอัตราส่วน PVA ต่อ แป้ง (100:0 75:25 และ 50:50) รวมถึงผลปริมาณของซิทริกแอซิด (C) (ร้อยละ 5 และ 10) และกลีเซอรอล (G) (ร้อยละ 10 และ 20) ต่อสมบัติของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีการรายงานว่ากลีเซอรอลและซิทริกแอซิดสามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์และสารเชื่อมขวางแก่พอลิเมอร์ผสม ตามลำดับ

จากการสังเกตลักษณะของฟิล์มด้วยตาเปล่า พบว่า สำหรับฟิล์มที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งนั้น ฟิล์ม PVA จะมีความโปร่งใสและผิวสัมผัสที่เรียบมากกว่าฟิล์ม PVA/แป้ง ในขณะที่ฟิล์มที่ใส่สารเติมแต่งน้อย (C/G เท่ากับ 5/10) มีผิวสัมผัสหยาบและโปร่งใสน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่ง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่งมากขึ้นสามารถปรับปรุงให้ฟิล์มมีความโปร่งใสมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฟิล์มหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ในกรณีที่ไม่มีการใส่สารเติมแต่ง ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้งมากกว่าจะมีค่าดัชนีการบวมตัวและการละลายของฟิล์มสูงกว่า ในกรณีฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลและซิทริกแอซิดในสัดส่วนต่างกัน พบว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 จะมีค่าการบวมตัวต่ำแต่มีค่าการละลายสูงกว่าที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 โครงสร้างทางเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR แสดงให้เห็นว่า OH stretching และ C=O stretching ในฟิล์มที่มีการเติมสารเติมแต่งมีปริมาณสูงกว่าฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่ง สำหรับฟิล์ม PVA/แป้ง ที่เติมซิทริกแอซิดร้อยละ 10 มักพบพีคบริเวณ 1651 cm^{-1} ต่ำกว่าพีค 1717 cm^{-1} จึงอาจสรุปได้ว่าซิทริกแอซิดร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพการเชื่อมขวางที่สูงกว่าซิทริกแอซิดร้อยละ 5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นแป้งที่เกาะเป็นกลุ่มก้อนอย่างชัดเจนในฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง ทั้งนี้ปริมาณแป้งมากขึ้นกลุ่มก้อนของแป้งจะยังมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเติมสารเติมแต่งพบว่ามีการกระจายตัวของแป้งดีขึ้น โดยสังเกตได้ชัดในฟิล์ม 50:50 PVA/แป้ง ซึ่งอนุภาคแป้งมีขนาดลดจาก ~ 9 เป็น ~ 1 ไมโครเมตร เมื่อเติมซิทริกแอซิดและกลีเซอรอล ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณ C/G ที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ของ ฟิล์ม PVA/แป้ง คือ 10/10

Abstract

This work aims to develop degradable films from starch and polyvinyl alcohol (PVA). Starch is one of natural polymers that is readily available, inexpensive and non-toxic. PVA is a degradable synthetic polymer which easily dissolves in hot water. Since starch is moisture sensitive and brittle, which is limited for film applications, study on the effects of PVA:starch ratios (100:0, 75:25 and 50:50), as well as the contents of citric acid (C) (5 and 10%) and glycerol (G) (10 and 20%) on properties of the blended film are focused in this work. It has been reported that glycerol and citric acid could act as plasticizer and crosslinking agent, respectively for PVA/starch blended film.

It was noticed that among films with no additives added, PVA film was more transparent and smoother than PVA/starch films. Whereas films with low additive contents, especially with C/G at 5/10, had a rough texture and less transparent than films without additives. However, when the greater contents of additives were introduced, film's transparency was remarkably improved. When mass changes after water immersion for 24 hours were monitored, it was found that films (without additives) with the higher starch contents had higher swelling index and solubility. In the case of films with different proportions of glycerol and citric acid, it was found that the films containing 20% glycerol had lower swelling index but higher solubility than films with 10% glycerol. Chemical structure investigated by FT-IR technique presented that intensity of OH stretching and C=O stretching in films without additives was much higher than those with additives. For PVA/starch films with 10% citric acid added, the peak at 1651 cm^{-1} was typically lower than the 1717 cm^{-1} peak. It was possibly concluded that citric acid content at 10% provided higher crosslinking efficiency than 5% citric acid. Images taken from scanning electron microscope showed that starch remarkably agglomerated in the PVA /starch films without additives. The larger the amount of starch, the larger the starch particles were observed. When additives were added, it was found that the dispersion of starch was better. This was evident in the 50:50 PVA/starch films in which size of starch particles reduced from ~ 9 to ~ 1 micrometer when citric acid and glycerol added. Results of this study indicated that the optimum C/G content for improving the properties of PVA/starch film was at 10/10.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรีเรื่องการศึกษาสมบัติฟิล์ม PVA/แป้งที่ปรับปรุงด้วยซิทริกซิดและกลีเซอรอลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ โครงการฉบับนี้จะไม่สามารถบรรลุผลได้เลยหากปราศจากความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมาจาก รศ.ดร. มณฑนา โอภาประกาศิต อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้แก่โครงการฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านผู้ซึ่งให้ความรู้ รวมถึงให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และผู้วิจัยทุกท่าน ผู้เป็นเจ้าของผลงานและบทความทางด้านการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม PVA/แป้ง ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลอันสำคัญยิ่งและเป็นส่วนหนึ่งในโครงการฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อน ๆ ผู้ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ส่งเสริมและสนับสนุนข้าพเจ้าเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าผู้ซึ่งให้การสนับสนุนข้าพเจ้าทั้งด้านการเรียน ทุนทรัพย์และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี ทั้งยังคอยให้กำลังใจ ซึ่งเป็นกำลังอันสำคัญขับเคลื่อนในโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

สารบัญ

บทคัดย่อ	2
Abstract	3
กิตติกรรมประกาศ	4
สารบัญ	5
บทที่ 1	7
บทนำ	7
1.1 ที่มาและความสำคัญ	7
1.2 วัตถุประสงค์	9
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	9
บทที่ 2	10
ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 ความรู้พื้นฐาน	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3	37
การดำเนินงานวิจัย	37
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์การทดสอบ	37
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	38
3.4.1 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธี solution casting	38
3.4.2 วิเคราะห์โครงสร้างเคมีด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR)	39
3.4.4 ค่าการละลายของฟิล์ม (solubility) และดัชนีการบวมตัว (swelling index)	39
บทที่ 4	40

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4.1 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธี solution casting	40
4.2. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier-Transform infrared spectroscopy (FT-IR).....	42
4.3 ลักษณะฐานวิทยา	44
4.4 ค่าการละลาย (solubility) และดัชนีการบวมตัว (swelling index).....	44
บทที่ 5.....	50
สรุปผลการทดลอง	50
เอกสารอ้างอิง	51
ประวัติผู้เขียนโครงการ	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พอลิเมอร์สังเคราะห์นับเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ในหลายแง่มุม ทั้งการใช้งานทั่วไป เช่น ถุงพลาสติก พลาสติกห่ออาหาร และการใช้งานเฉพาะทาง เช่น งานด้านวิศวกรรม งานด้านการแพทย์ แต่ปัจจุบันพอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่กลับสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย ด้วยปริมาณการใช้งานที่มหาศาล การจัดการขยะพลาสติกจึงเป็นเรื่องที่ยากและท้าทาย หากพิจารณาแนวทางการรีไซเคิล ก็พบอุปสรรคเรื่องความคุ้มค่าต่อการลงทุน การปนเปื้อนของพลาสติกที่ใช้แล้ว การแยกขยะ เป็นต้น เมื่อพิจารณาปัญหาขยะจากบรรจุภัณฑ์พลาสติก ผลิตภัณฑ์ที่เป็นปัญหาในปัจจุบันมากที่สุดคือผลิตภัณฑ์ประเภทฟิล์ม ดังนั้นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจและมีการพัฒนาและวิจัยกันอย่างมากมาย

แบ่งเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ธรรมชาติ หาได้ง่ายในประเทศไทย มีราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงได้รับความสนใจเพื่อมาพัฒนาเป็นฟิล์มและผลิตภัณฑ์สำหรับทดแทนการใช้พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์ที่สลายตัวได้ยาก อย่างไรก็ตามการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากแป้งจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการแปรรูปด้วยกระบวนการหลอม เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมของแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลาย แป้งจะเกิดการไหม้และเสื่อมสภาพก่อนหลอม แนวทางการแก้ปัญหาที่สำคัญคือการเติมสารจำพวกพลาสติกไซเซอร์ เช่น กลีเซอรอล น้ำ และซิเตริกแอซิด ปัญหาด้านการใช้งานคือแป้งมีสมบัติเชิงกลต่ำ เปราะ ดูดซึมน้ำและละลายน้ำได้ดี ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติดังกล่าวด้วยการผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถย่อยสลายได้เช่น พอลิไกลโคลิกแอซิด (PGA) พอลิแลกติกแอซิด (PLA) พอลิคาโพรแลกแทม (PCL) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และ พอลิบิวทิลีนอะดิเพทเทเรฟทาเลท (PBAT) เป็นต้น

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นหนึ่งในพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีขั้ว สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติและสามารถละลายน้ำร้อนได้ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้าง การใช้ประโยชน์ของ PVA มีอยู่อย่างมากมาย ได้แก่ เป็นสารเติมแต่ง (additive) ในสารยึดติด (adhesive) โดยเฉพาะกลุ่ม polyvinyl acetate emulsion based adhesives ซึ่งใช้สำหรับอุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์กระดาษ อุตสาหกรรมผลิตแผ่นกระดานเสริมเส้นใย (fiberboard) สำหรับเฟอร์นิเจอร์และวัสดุก่อสร้าง เป็นสารช่วยให้เกิดอิมัลชัน (emulsifying agent) และสารช่วยกระจาย (dispersing agent) ในการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) เป็นชั้นฟิล์มที่เสริมสมบัติการสกัดกั้นออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์พลาสติก และสามารถยึดติดได้ดีกับ BOPP (biaxial oriented polypropylene) และ BOPET (biaxial oriented polyethylene terephthalate) เมื่อใช้เคลือบกระดาษ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มสมบัติการทนต่อการขีดข่วน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า PVA ยังสามารถปรับปรุงให้มีสมบัติที่แตกต่างและใช้งานได้หลากหลายมากขึ้นด้วยการทำให้เกิดการ

เชื่อมขวาง (crosslinking) ให้ไม่ละลายน้ำแต่ยังสามารถดูดน้ำได้ดี จึงสามารถนำมาใช้ผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ที่สามารถทดแทนเส้นใยฝ้ายซึ่งสวมใส่สบาย ชักง่าย ทนต่อการสึกหรอและคงรูปได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสมบัติการรักษาความชื้นได้ดีของ PVA จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์โดยทำเป็นแผ่นฟิล์มใสสำหรับปิดบาดแผล ซึ่งควรมีสมบัติสามารถรักษาความชื้นของบาดแผล ป้องกันไม่ให้บริเวณโดยรอบของบาดแผลแห้ง ยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ กระตุ้นให้เซลล์เกิดการเจริญเติบโตเพื่อรักษาบาดแผล ฟิล์มต้องมีความแข็งแรงมากพอ มีความยืดหยุ่น ไม่เสียรูปขณะใช้งานและสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากมุ่งเน้นพัฒนาฟิล์มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเลือกใช้ PVA มาปรับปรุงข้อด้อยของแป้ง ทั้งนี้มีรายงานว่าการผสม PVA กับแป้งช่วยเพิ่มสมบัติด้านการย่อยสลาย ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และการต้านทานน้ำให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากแป้งไม่สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ PVA ดังนั้นสมบัติที่ดีของฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA/แป้ง จึงขึ้นกับการเติมสารที่สามารถเพิ่มสภาพการเข้ากันได้ เช่น กลีเซอรอล ซิตริกแอซิด เป็นต้น การเติมกลีเซอรอลนอกจากทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ของแป้งแล้ว หมูไฮดรอกซิลจากกลีเซอรอลยังสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับแป้งและ PVA ได้ จึงเกิดการเชื่อมขวางทางกายภาพและยังส่งผลต่อสมบัติการบวมของฟิล์ม ซิตริกแอซิดมีหมู่คาร์บอกซิล 3 หมู่ สามารถเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมูไฮดรอกซิลของ PVA/แป้ง ซิตริกแอซิดจึงจัดเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางและเป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับฟิล์ม PVA/แป้ง เช่นกัน ซิตริกแอซิดยังมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำ การต้านเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าสมบัติของฟิล์มที่ได้ขึ้นกับอัตราส่วนของ PVA/แป้ง ปริมาณและชนิดของพลาสติกไซเซอร์ นอกจากนี้การเติมสารเชื่อมขวางต่างชนิดกัน เช่น บอแรกซ์ ซิตริกแอซิด อีพิกลอโรไฮดริน ยังสามารถส่งผลให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PVA/แป้ง มีสมบัติความต้านทานแรงดึง โมดูลัสแรงดึงและความยืดหยุ่นแตกต่างกันได้อีกด้วย

ในการศึกษานี้สนใจพัฒนาฟิล์ม PVA/แป้ง โดยมุ่งเน้นศึกษาอัตราส่วนของ PVA/แป้ง ปริมาณของกลีเซอรอล ปริมาณของซิตริกแอซิด และอุณหภูมิที่ใช้เพื่อให้ฟิล์มแห้ง ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำ ดัชนีการบวมตัว การละลาย ความเข้ากันได้ โครงสร้าง ของฟิล์ม PVA/แป้งที่เตรียมได้ เนื่องจากแม้ว่ามีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาตัวแปรดังกล่าว หากแต่มักเลือกศึกษาที่อัตราส่วน แป้ง/PVA ต่าง ๆ กัน ดังนั้นโครงการนี้จึงสนใจศึกษาสมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยให้ PVA เป็นส่วนหลักเนื่องจาก PVA มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าแป้ง การใส่แป้งอาจช่วยในเรื่องราคาและการย่อยสลายที่เร็วขึ้น แต่การใส่แป้งในปริมาณมากกว่า PVA จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มด้อยลง และมุ่งเน้นการใช้ซิตริกแอซิดเป็นสารเชื่อมขวางเนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อร่างกายมากกว่าสารเชื่อมขวางอื่น ผลสัมฤทธิ์ของโครงการนี้ จะส่งผลให้สามารถปรับใช้สูตรที่เหมาะสม กับสมบัติที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสม
2. เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างกลีเซอรอลและซิทริกแอซิด
3. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบฟิล์มในปฏิกิริยาเชื่อมขวางต่อสมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. เตรียมฟิล์ม PVA/แป้งด้วยอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักระหว่าง PVA:แป้ง ที่ 100:0, 75:25 และ 50:50
2. ปรับเปลี่ยนปริมาณของซิทริกแอซิด (C) ร้อยละ 5 และ 10 และปริมาณของกลีเซอรอล (G) ร้อยละ 10 และ 20 และของน้ำหนักรวมแป้งและ PVA
3. ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิการอบฟิล์มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง ระหว่าง 40-60 องศาเซลเซียส
4. ศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ ดัชนีการบวมตัวและการละลายของฟิล์มที่เตรียมได้ด้วยวิธี solution casting
5. ศึกษาโครงสร้างเคมี ความเข้ากันได้และสัณฐานวิทยาภาคตัดขวาง ของฟิล์มที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

บทที่ 2

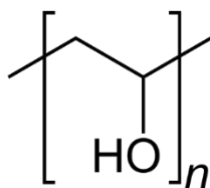
ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐาน

สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [1]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly vinyl alcohol, PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถละลายน้ำได้ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทนต่อตัวทำละลายได้ดี มีสมบัติการเกิดฟิล์มและการยึดติดได้ดี มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึงได้ดีและมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดี จึงได้นิยมนำ PVA มาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มห่อหุ้มอาหาร กาว หรือสารยึดติดกระดาษและไม้ สมบัติของ PVA ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับการไฮโดรไลซิส PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูงจะมีความสามารถในการทนต่อแรงกระทำได้ดีกว่า PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสต่ำ เนื่องจาก PVA ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูงจะมีความเป็นผลึกสูงกว่าและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้มากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพของ PVA ยังขึ้นกับปริมาณความชื้นอีกด้วย เพราะ น้ำสามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำให้สมบัติการทนแรงของ PVA ลดลงแต่ความสามารถในการยึดตัวจะเพิ่มขึ้น

PVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีข้อสังเกตให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและน้ำหนักโมเลกุลลดลง โดยทั่วไป PVA สามารถละลายหมดได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C และเมื่อน้ำหนักโมเลกุลมากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง ค่าความแข็งแรง ความต้านทานต่อการดึงยึด ความทนต่อการฉีกขาด และความสามารถในการอ่อนตัวสูงขึ้น สมบัติการละลายยังขึ้นกับระดับการไฮโดรไลซิส โดยจะสามารถละลายได้ดีที่สุดเมื่อมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างระดับไฮโดรไลซิสปริมาณร้อยละ 80 นอกจากนี้ PVA สามารถต้านทานต่อตัวทำละลายทั่วไปได้เป็นอย่างดี และความสามารถนี้จะเพิ่มตามระดับไฮโดรไลซิสที่สูงขึ้น PVA ที่มีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลสูง (มีระดับการไฮโดรไลซิสสูง) จะไม่ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ และคีโตน เป็นต้น เนื่องจากมีสภาพขั้วที่แตกต่างกัน แต่จะละลายในเอทิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล เป็นต้น

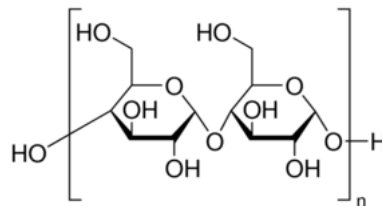


รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ PVA

แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol, 2021

แป้ง [2]

แป้งถูกสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งเก็บอาหารของพืช มักมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ ในประเทศไทยส่วนมากจะผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และแป้งข้าวเหนียว เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตรหลักของประเทศ โดยการนำส่วนต่าง ๆ ของพืชมาสกัดด้วยวิธีการโม่และทำให้บริสุทธิ์จนได้เม็ดแป้งที่บริสุทธิ์ถึง 98-99.5% โครงสร้างของแป้งประกอบไปด้วย คาร์บอน : ไฮโดรเจน : ออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 อนุพันธ์ของแป้งเกิดจากการรวมกันของกลูโคสเป็นพอลิเมอร์สายยาว โดยมีหน่วยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกทิน โดยมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 20-30% และอะไมโลเพกทินประมาณ 70-80% แต่พืชบางชนิดก็มีปริมาณอะไมโลสสูงถึง 50-80% เช่น แป้งข้าวโพดบางสายพันธุ์ ที่เรียกว่า แป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง และข้าวโพดบางสายพันธุ์ไม่มีอะไมโลสเลย เรียกว่า แป้งข้าวโพดเหนียว และมีฟอสฟอรัสในองค์ประกอบ ทำให้แป้งดูดน้ำและพองง่าย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แหล่งที่มา : [https://www.wikiwand.com/th/แป้ง_\(สารอาหาร\)](https://www.wikiwand.com/th/แป้ง_(สารอาหาร)), 2020

สมบัติของแป้ง

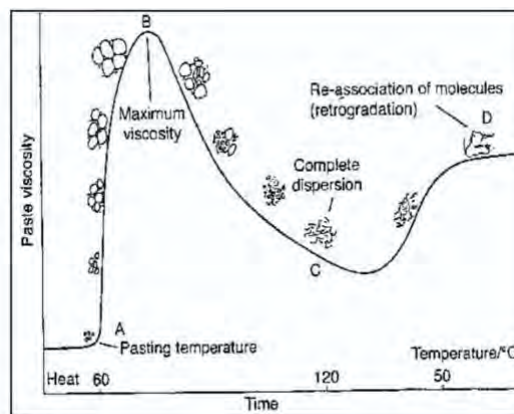
1. การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลายของแป้ง คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงของโครงสร้าง ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต และลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง การละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบที่แตกต่างกัน แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาคีไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่ใกล้เคียงกัน เชื่อมต่อกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าอุณหภูมิเจลลาคีไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำ เชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลอย่างอิสระ เม็ดแป้งจึงพองตัวและละลายน้ำได้ ส่งผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งจากธัญพืช ได้แก่ แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี โครงสร้างร่างแหภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อย ส่วนแป้งจากรากหรือกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเจลลาคีไนซ์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืชทำให้มีการพองตัวและการละลายที่ดีกว่า และแป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง การพองตัวของเม็ดแป้งที่ดีที่สุด เนื่องจากพันธะ

ภายในร่างแหอ่อนแอ และมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตที่ทำให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้า ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ

2. ความหนืดของแป้ง

ความหนืดเกิดจากน้ำแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) เม็ดแป้งจึงเริ่มเกิดความหนืด ต่อจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้ดี ปริมาณน้ำรอบเม็ดแป้งลดลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงที่สุด (peak viscosity) คือ จุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ ในขณะที่อุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นภายใต้แรงกวนอย่างสม่ำเสมอ ทำให้อะไมโลสและอะไมโลเพกทินภายในเม็ดแป้งแตกออกจนมีความหนืดลดลง เมื่ออุณหภูมิลดลงจะเกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง ให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดดังแสดงในภาพ



รูปที่ 2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0591/retrogradation-รีโทรเกรเดชัน>,

2021

3. เจลาติไนเซชัน (gelatinization)

เมื่อให้ความร้อนแป้งจนถึงจุดหนึ่งแป้งจะเกิดการแตกออก ทำให้อะไมโลสและอะไมโลเพกทิน หลุดออกมา สารละลายน้ำแป้งที่ได้มีความข้นหนืดมากขึ้นจนแป้งเปียก เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาติไนเซชัน และเรียกอุณหภูมิเริ่มต้นการพองตัวของเม็ดแป้งว่า อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ดังในตาราง

ตารางที่ 2.1 ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ความข้น-ใสของสารละลาย และความสามารถในการเกิดเจลและรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ละชนิด [2]

ชนิดแป้ง	ช่วงอุณหภูมิ เจลาติไนเซชัน (°C)	ความข้น-ใส ของสารละลาย	ความสามารถในการเกิดเจลและรี โทรเกรเดชัน
แป้งข้าวโพด	80-62	ขุ่น	สูง
แป้งข้าวโพดเหนียว	72-63	ขุ่นเล็กน้อย	ต่ำมาก
แป้งมันฝรั่ง	65-58	ใส	ปานกลางถึงต่ำ
แป้งมันสำปะหลัง	65-52	ใส	ปานกลาง
แป้งสาลี	85-52	ขุ่น	สูง
แป้งข้าวเจ้า	78-61	ขุ่น	สูง

แป้งดัดแปร (modified starch) หมายถึง แป้งที่ได้จากการนำแป้งธรรมชาติ (native starch) มาผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ เช่น ความหนืด (viscosity) ลดลง สามารถคงตัวต่อความร้อน กรด และแรงเฉือนได้มากขึ้น กรรมวิธีการผลิตแป้งดัดแปรโดยวิธีทางเคมี กายภาพ เอนไซม์ หรือโดยจุลินทรีย์ แป้งที่นำมาใช้แปรรูปเป็นแป้งดัดแปร ได้แก่ แป้งจากมันสำปะหลัง (tapioca starch) แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้า

ชนิดของแป้งดัดแปร

1. แป้งดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมี

แป้งดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมี เป็นแป้งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม แป้งดัดแปรกลุ่มนี้ผ่านการดัดแปรโดยกระบวนการทางเคมีมีหลายชนิด ขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่ใช้ และระดับการดัดแปร (degree of substitution, DS) เช่น แป้งไฮดรอกซีโพรพิล (hydroxypropyl starch), แป้งครอสลิง (cross-linked starch), แป้งแอสซิเตต (acetate starch), แป้งคาร์บอกซีเมทิล (carboxymethyl starch) เป็นต้น

2. แป้งดัดแปรทางกายภาพ

แป้งดัดแปรทางกายภาพ เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทำให้โครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยใช้พลังงานความร้อน หรือพลังงานจลน์หรือทั้งสองอย่างประกอบกัน เมื่อโครงสร้างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งได้ถูกเปลี่ยนแปลงไป สมบัติของแป้งก็เปลี่ยนไปเช่นกัน แป้งในกลุ่มนี้ได้แก่ แป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch), Granular cold water soluble starch, Annealing starch, Heat treatment starch, Mechanical milling starch

ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมแป้ง

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) หมายถึงพอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงก็จะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้ พลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ภาชนะและชิ้นส่วนรูปทรงต่าง ๆ ได้ การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกมีข้อจำกัดคือโครงสร้างผลึกในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมาก เม็ดแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมละลายได้ เมื่อให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้น เม็ดแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลาย อย่างไรก็ตามหากมีการเติมสารเติมแต่ง (additive) ประเภทพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) จะช่วยทำให้เม็ดแป้งเกิดการหลอมละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกล (mechanical energy) ได้สารที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [3] ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือและกระบวนการผลิตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพลาสติกทั่วไป เช่น เอ็กซ์ทรูดเดอร์ เครื่องฉีด และเครื่องเป่าฟิล์ม เป็นต้น ถึงแม้ว่าจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ของแป้งได้ดี แต่เนื่องจากน้ำระเหยได้ง่ายทำให้พลาสติกที่ได้มีลักษณะเปราะ จึงไม่นิยมใช้น้ำในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช สารที่นิยมใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ได้แก่ กลีเซอรอล

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถหลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อนและแรงกลที่เหมาะสม จึงสามารถใช้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตพลาสติก อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติก

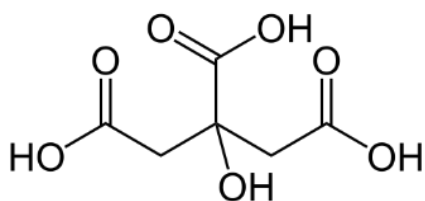
สตาร์ชมีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือมีสมบัติเชิงกลต่ำ (poor mechanical properties) และไม่ทนน้ำ งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งสองด้านของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชให้ดีขึ้น ซึ่งแนวทางที่นิยมได้แก่ การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วยกระบวนการทางเคมี และการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพลาสติกสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ เช่น PVA อย่างไรก็ตาม PVA และแป้งเมื่อผสมกันยังมีความเข้ากันได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้สมบัติเชิงกลไม่ดีขึ้น ต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยให้ PVA และแป้งเข้ากันได้และเพิ่มสมบัติเชิงกล

สารเติมแต่งในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้ง

มีงานวิจัยมากมายศึกษาผลของการใส่สารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม เช่น ซิตริกแอซิด กลีเซอรอล บอเร็็กซ์ อีพิกลอโรไฮดริน ซิงค์ออกไซด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น โดยสารเติมแต่งบางชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางและบางชนิดทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ หรือสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งสองประการ

ซิตริกแอซิด (citric acid)

ซิตริกแอซิดมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ และหมู่คาร์บอกซิล 3 หมู่ (รูปที่ 2.4) ซิตริกแอซิดมักพบในพืชตระกูลส้มและสับปะรด ซิตริกแอซิดมักถูกใช้เป็นสารเติมแต่งให้กับฟิล์ม PVA/แป้ง เนื่องจากโครงสร้างมีหมู่คาร์บอกซิลหลายหมู่ สามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเซชันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของซิตริกแอซิดกับหมู่ไฮดรอกซิลของ PVA หรือแป้งได้ หมู่คาร์บอกซิลยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางทางกายภาพโดยการเกิดพันธะควาเลนส์และพันธะไฮโดรเจน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านความชื้นได้อีกด้วย ซิตริกแอซิดที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับฟิล์ม PVA/แป้ง ยังสามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ให้แก่ฟิล์ม นอกจากนี้ซิตริกแอซิดไม่มีความเป็นพิษอีกด้วย

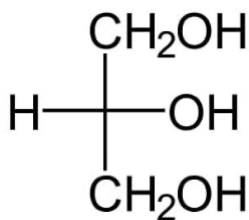


รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของซิตริกแอซิด

แหล่งที่มา : สรีรวิทยาของพืช, 2544

กลีเซอรอล (glycerol)

กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในฟิล์ม PVA/แป้ง [4] ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันเพิ่มสูงขึ้นและลดอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและลดความเปราะของฟิล์ม หมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลยังเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับน้ำจึงทำให้ฟิล์มที่ใส่กลีเซอรอลมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้กลีเซอรอลยังช่วยกระบวนการผลิต โดยลดการติดกับแม่พิมพ์ และยังเป็นสารที่ไม่เป็นพิษอีกด้วย



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล

แหล่งที่มา : <https://simple.wikipedia.org/wiki/Glycerol>, 2021

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทางด้านพอลิเมอร์ที่ผ่านมาให้ความสนใจเกี่ยวกับพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ (biodegradable polymer) อันเนื่องมาจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม หนึ่งในพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้รับความนิยมคือ แป้ง เนื่องจากแป้งสามารถย่อยสลายทางธรรมชาติได้ทั้งหมด (completely biodegradable) ราคาถูก เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีอยู่มาก และยังสามารถสร้างทดแทนได้ แป้งได้รับความสนใจเพื่อนำมาผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์มากกว่า 30 ปี ได้แก่ในลักษณะที่เป็น starch gel ผสมใน ethylene acrylic acid copolymer รวมถึงการผสมอนุภาคแป้งเพื่อเป็นสารตัวเติม (filler) ใน linear density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP), polylactic acid (PLA), polyglycolic acid (PGA), polycaprolactone (PCL), polyvinyl alcohol (PVA) แนวทางการพัฒนาพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ โดยใช้แป้งเป็นสารตัวเติม (filler) มักส่งผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมนั้นด้อยลง เนื่องด้วยแป้งมักไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับพอลิเมอร์เหล่านั้น

ปัจจุบันแนวทางการพัฒนาฟิล์มแป้งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก แต่ด้วยข้อด้อยสำคัญของแป้งคือ แป้งมีสมบัติเชิงกลต่ำ เปราะ ละลายน้ำ รวมถึงแป้งไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนเหมือนพลาสติกทั่วไปเพราะแป้งจะเกิดการไหม้และเสื่อมสภาพก่อนการหลอม ดังนั้นจึงมีงานวิจัยมากมายที่มุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงฟิล์มย่อยสลายได้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้หนึ่งในแนวทางที่น่าสนใจคือการนำ PVA มาผสมกับแป้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

Zou และคณะ [5] ศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption; WA) สมบัติการทนแรงดึง และสัญญาณวิทยาของ starch/PVA composites (S/P composites) โดยใช้ pellet ที่เตรียมจาก single screw extruder โดยองค์ประกอบของ S/P composites มีปริมาณแป้ง (W_S) ร้อยละ 30-70% โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำ (W_W) กลีเซอรอล (W_G) ซิตริกแอซิด (W_{CA}) และบอแรกซ์ (W_B) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เมื่อพิจารณาสมบัติการดูดซึมน้ำ (ตารางที่ 2.3) ร่วมกับ ANOVA analysis พบว่า W_S W_G W_{CA} มีผลต่อค่า WA มากกว่า W_W และ W_B เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งจะส่งผลให้ S/P composites มีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากกว่า PVA ส่วน S/P composites ที่มีการเติมซิตริกแอซิดและกลีเซอรอล กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่นอกจากสามารถช่วยเพิ่มสมบัติการอ่อนตัว ความสามารถในการขึ้นรูป และความเข้ากันได้ของแป้งและ PVA ปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ค่า WA ลดลง ในขณะที่ซิตริกแอซิดซึ่งในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล 3 หมู่และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ต่อโมเลกุล สามารถเกิดการเชื่อมขวางทางเคมีระหว่างแป้งและ PVA ส่งผลให้ WA ลดลง และกล่าวได้ว่าซิตริกแอซิดทำหน้าที่เป็นทั้งสารเชื่อมขวางและพลาสติกไซเซอร์สำหรับ S/P composites ในขณะที่กลีเซอรอลและน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ไม่อิสระเนื่องจากความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลที่ดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ขนาดใหญ่และง่ายต่อการยึดเกาะกับโมเลกุลของแป้ง เป็นผลให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการ

ดูดซึมน้ำให้สมดุลได้ เมื่อพิจารณาสูตรที่ใช้สารบอแรกซ์ พบว่าสารบอแรกซ์ไม่มีผลกระทบต่อการดูดซึมน้ำของ S/P composites อย่างชัดเจน

ตารางที่ 2.2 ปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ของ S/P composites [5]

Testing number	Factors				
	W_S	W_{CA}	W_G	W_W	W_B
1	0.3	0	0.2	0	0
2	0.3	0.02	0.25	0.05	0.005
3	0.3	0.04	0.3	0.1	0.01
4	0.3	0.06	0.35	0.15	0.015
5	0.3	0.08	0.4	0.2	0.02
6	0.4	0	0.25	0.1	0.015
7	0.4	0.02	0.3	0.15	0.02
8	0.4	0.04	0.35	0.2	0
9	0.4	0.06	0.4	0	0.005
10	0.4	0.08	0.2	0.05	0.01
11	0.5	0	0.3	0.2	0.005
12	0.5	0.02	0.35	0	0.01
13	0.5	0.04	0.4	0.05	0.015
14	0.5	0.06	0.2	0.1	0.02
15	0.5	0.08	0.25	0.15	0
16	0.6	0	0.35	0.05	0.02
17	0.6	0.02	0.4	0.1	0
18	0.6	0.04	0.2	0.15	0.005
19	0.6	0.06	0.25	0.2	0.01
20	0.6	0.08	0.3	0	0.015
21	0.7	0	0.4	0.15	0.01
22	0.7	0.02	0.2	0.2	0.015
23	0.7	0.04	0.25	0	0.02
24	0.7	0.06	0.3	0.05	0
25	0.7	0.08	0.35	0.1	0.005

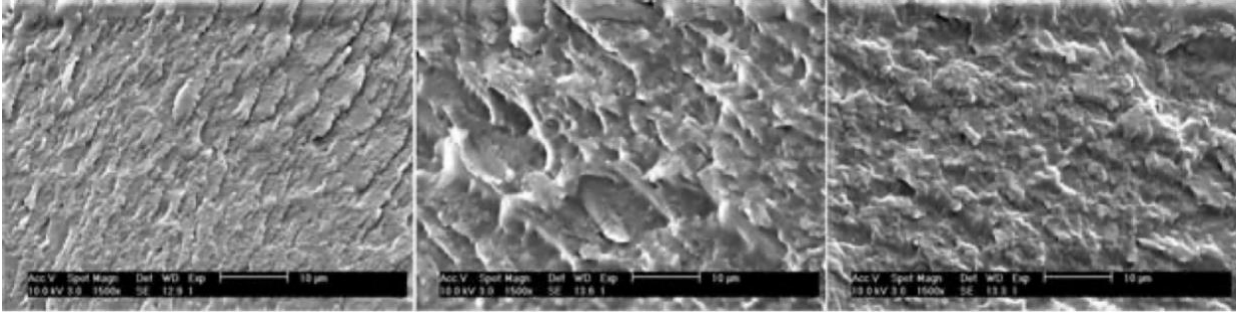
สมบัติเชิงกลของ S/P composites ขึ้นกับปริมาณของแป้ง สารเชื่อมขวาง และพลาสติกไซเซออร์ดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่า S/P composites ที่มีองค์ประกอบเพียงแป้งและ PVA มีสมบัติเชิงกลต่ำเนื่องจากความเป็นอสังฐานของแป้ง แต่ในสูตรที่เติมกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์พบว่า S/P composites ดังกล่าวมีความยืดหยุ่นและมีความสามารถในการยืดสูงกว่า แต่มีความทนแรงดึงต่ำกว่าสูตรที่มีเพียงแป้งและ PVA ในสูตรที่มีการเติมบอแรกซ์และซิทริกแอซิดพบว่ามีค่าความทนแรงดึงสูงและความสามารถในการยืดที่จุดขาดต่ำเมื่อเทียบกับฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง

รูปที่ 2.6 (ก) - (ค) แสดงภาพถ่าย SEM ของ starch/PVA films (S/P composite films) ที่มีปริมาณแป้ง 30 50 และ 70% ตามลำดับ เมื่อปริมาณแป้ง 30% (รูปที่ 2.6 (ก)) พบลักษณะคล้ายเม็ดแป้งหยาบๆ กระจายอยู่ในเนื้อของ PVA แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 70% (รูปที่ 2.6 (ค)) พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มขึ้นและเปราะขึ้น เนื่องจากแป้งกลับเป็นเมทริกซ์โดยมี PVA ที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยกระจายอยู่ ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อแป้งมีปริมาณเกิน 70% ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแย่งลง เมื่อพิจารณารูปที่ 2.6 (ข) พบอนุภาคแป้งขนาดเล็ก

กระจายอย่างสม่ำเสมอโดยมีเนื้อของ PVA ที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยหุ้มอยู่ จึงสรุปได้ว่าแบ่งสามารถกระจายได้ดีใน PVA เมื่ออัตราส่วนแบ่งต่อ PVA เข้าใกล้ 50 ต่อ 50 ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลที่ดีของ S/P composites

ตารางที่ 2.3 ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (WA) ที่เวลา 2 6 และ 12 ชั่วโมง สมบัติด้านการทนแรงดึงของ S/P composites [5]

Testing number	2 h (%)	WA 6 h (%)	12 h (%)	Tensile strength (MPa)	Tensile strain (%)
1	62.48 ± 4.9	93.05 ± 5.5	97.15 ± 4.6	2.25 ± 0.11	24.5 ± 4.8
2	56.23 ± 2.5	81.14 ± 3.5	84.23 ± 3.8	3.87 ± 0.18	55.6 ± 5.2
3	50.45 ± 2.1	69.41 ± 3.6	71.03 ± 3.7	5.14 ± 0.26	82.1 ± 7.5
4	31.01 ± 1.9	57.36 ± 3.6	58.70 ± 3.8	5.46 ± 0.28	112 ± 12
5	25.35 ± 1.8	44.37 ± 3.8	45.40 ± 3.9	4.58 ± 0.25	156 ± 11
6	36.71 ± 2.5	54.43 ± 3.6	55.70 ± 3.7	7.56 ± 0.38	45.6 ± 5.8
7	27.59 ± 2.8	39.02 ± 3.0	39.93 ± 3.2	6.58 ± 0.32	58.3 ± 6.1
8	34.29 ± 3.4	46.43 ± 4.4	47.51 ± 4.6	5.95 ± 0.30	72.5 ± 7.3
9	34.12 ± 1.3	49.41 ± 2.9	50.56 ± 3.0	8.45 ± 0.42	62.5 ± 7.2
10	20.00 ± 1.1	35.63 ± 2.8	36.45 ± 3.3	9.86 ± 0.48	24.2 ± 5.1
11	39.04 ± 2.8	66.71 ± 3.9	68.97 ± 3.9	8.57 ± 0.39	41.6 ± 5.5
12	33.52 ± 2.6	57.77 ± 3.2	59.11 ± 3.3	8.95 ± 0.45	72.5 ± 6.8
13	32.13 ± 2.1	56.07 ± 2.8	57.37 ± 2.9	6.70 ± 0.41	93.5 ± 8.1
14	32.11 ± 1.5	56.04 ± 2.5	57.34 ± 3.2	12.96 ± 0.52	31.2 ± 5.4
15	27.89 ± 1.9	52.41 ± 2.1	53.62 ± 3.2	9.49 ± 0.48	50.2 ± 7.6
16	42.00 ± 2.5	69.57 ± 3.6	71.19 ± 3.8	7.42 ± 0.41	42.6 ± 6.5
17	31.18 ± 2.3	55.40 ± 2.8	56.69 ± 3.0	5.08 ± 0.26	41.5 ± 6.6
18	41.18 ± 2.3	68.21 ± 3.4	69.79 ± 3.5	10.42 ± 0.5	58.3 ± 6.2
19	36.78 ± 1.4	60.92 ± 3.9	62.34 ± 4.1	8.20 ± 0.35	99.8 ± 8.2
20	34.53 ± 1.6	58.78 ± 3.4	60.15 ± 3.6	8.28 ± 0.43	81.3 ± 7.3
21	51.22 ± 3.5	80.73 ± 4.2	82.61 ± 4.8	3.85 ± 0.22	98.2 ± 8.6
22	97.13 ± 4.8	158.2 ± 5.8	161.8 ± 6.2	7.93 ± 0.51	42.3 ± 7.1
23	40.86 ± 3.5	67.68 ± 3.8	69.25 ± 4.3	9.83 ± 0.62	60.3 ± 6.6
24	82.58 ± 3.6	113.7 ± 4.5	116.3 ± 4.3	2.35 ± 0.31	50.2 ± 6.5
25	37.63 ± 2.0	63.41 ± 3.1	64.88 ± 3.6	2.22 ± 0.25	80.1 ± 8.3



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ S/P composites ที่มีองค์ประกอบเป็นแป้ง : PVA เป็น (ก) 30:70 (ข) 50:50 และ (ค) 70:30 [5]

Das และคณะ [6] ศึกษาการบวมตัว สมบัติเชิงกล การดูดซับความชื้น (moisture uptake) สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่เตรียมด้วยวิธี solution casting ที่ใช้สารเชื่อมขวางต่างกัน 4 ชนิด คือ อีพิกลอโรไฮดริน ซิงค์ออกไซด์ โบรเร็กซ์ และฟอร์มัลดีไฮด์ (ตารางที่ 2.2.3) ทั้งนี้ขั้นตอนการเตรียม solution casted S/P films คือนำแป้งและ PVA (น้ำหนักโมเลกุล 14000 g/mol) สัดส่วนที่กำหนดเติมลงในน้ำกลั่น แล้วนำทำเจลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ (30 wt% โดยน้ำหนักรวมของแป้งและ PVA) แล้วจึงเทสารละลายลงบนภาชนะรองรับ แล้วปล่อยให้แห้งโดยการระเหยที่อุณหภูมิห้อง ได้ฟิล์มสูตรที่เรียกว่า U ซึ่งไม่มีการเติมสารเชื่อมขวาง ในกรณีที่ใช้สารเชื่อมขวางชนิดอีพิกลอโรไฮดริน (สูตร E) ซิงค์ออกไซด์ (สูตร Z) และฟอร์มัลดีไฮด์ (สูตร F) จะเติมสารเชื่อมขวางดังกล่าวพร้อมแป้งและ PVA ในขณะที่สูตร B จะเติมโบรเร็กซ์ในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อเจลาตินไนซ์ขั้นสิ้นสุดลง

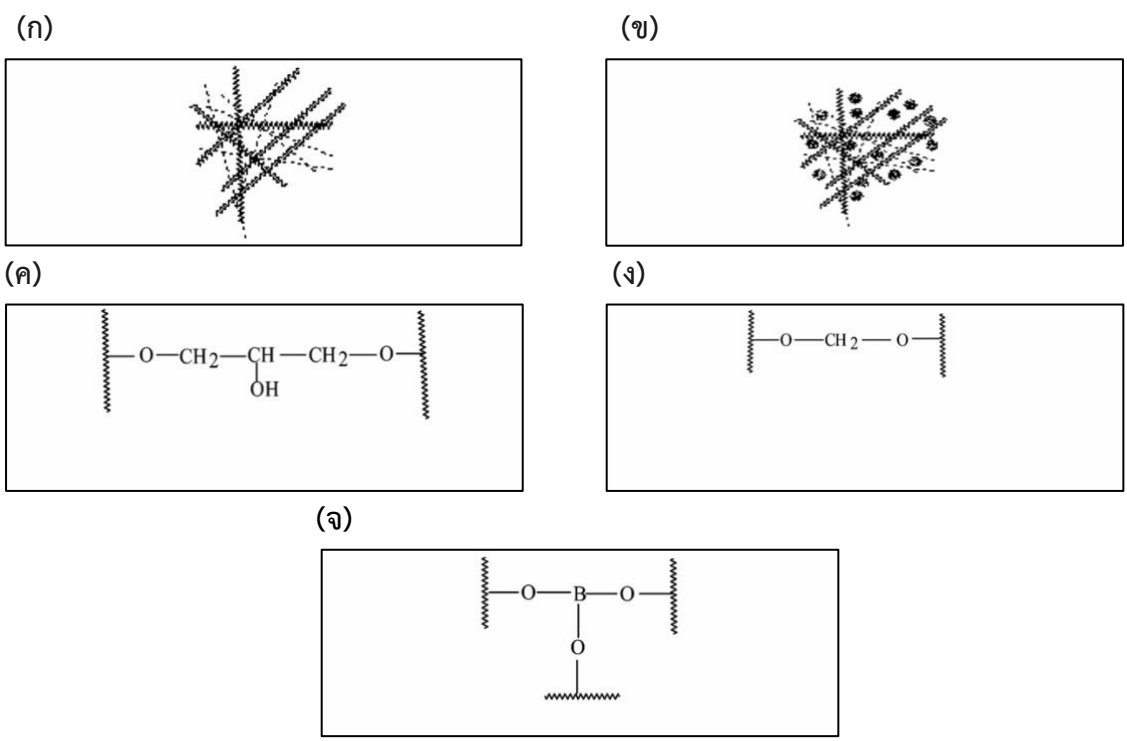
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของ S/P ฟิล์มสูตรต่าง ๆ [6]

sample ID	starch (wt %)	PVA (wt %)	glycerol (wt %)	zinc oxide (wt %)	formaldehyde (wt %)	borax (wt %)	epichlorohydrin (wt %)
U	50	50	30	0	0	0	0
Z	50	50	30	5	0	0	0
F	50	50	30	0	5	0	0
B	50	50	30	0	0	5	0
E	50	50	30	0	0	0	5

กลไกของการเกิดเชื่อมขวางที่เป็นไปได้ระหว่างสารเชื่อมขวางกับแป้ง PVA และกลีเซอรอลแสดงในรูปที่ 2.7 สำหรับฟิล์มสูตร U แม้ไม่ได้เติมสารเชื่อมขวางแต่ด้วยโครงสร้างของแป้งและ PVA ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงส่งผลให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งชนิด intermolecular และ intramolecular ทั้งนี้โมเลกุลของกลีเซอรอลจะอยู่ระหว่างโมเลกุลของแป้งและ PVA จึงลดแรงดึงดูดระหว่างแป้งและ PVA โดยที่กลีเซอรอลก็สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลเหล่านั้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นองค์ประกอบในฟิล์ม U (รูปที่ 2.7 (ก)) จึงมีลักษณะการเชื่อมขวางทางกายภาพระหว่างโมเลกุล สำหรับสูตร Z (รูปที่ 2.7 (ข)) ซิงค์ออกไซด์จะทำหน้าที่

เป็นสารตัวเติม (filler) ระหว่างโมเลกุลของกลีเซอรอล แปะ และ PVA ในขณะที่เมื่อใช้อิพคลอโรไฮดรินฟอร์มัลดีไฮด์ และบอแรกซ์เป็นสารเชื่อมขวาง รูปที่ 2.7 (ค-จ) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างเชื่อมขวางทางเคมีระหว่างสารเชื่อมขวางกับโมเลกุลของแปะ กลีเซอรอลและ PVA

รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มสูตร B มีค่าความทนแรงดึง (รูปที่ 2.8 (ก)) และโมดูลัสสูงที่สุด (รูปที่ 2.8 (ข)) ในขณะที่ฟิล์มสูตรที่เชื่อมขวางด้วยซิงค์ออกไซด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ และอิพคลอโรไฮดรินมีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง สมบัติเชิงกลในฟิล์มที่ใส่บอแรกซ์มีค่าสูงสุดอาจเป็นเพราะการเกิดร่างแหที่แข็งแรงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (3 หมู่ต่อโมเลกุล) ของบอแรกซ์กับแปะและ PVA ในขณะที่โครงสร้างของอิพคลอโรไฮดริน ฟอรัมาลดีไฮด์ และซิงค์ออกไซด์ กลับลดการเกิด compact packing ระหว่างแปะและ PVA จึงทำให้สมบัติเชิงกลนั้นลดลง เมื่อพิจารณา %ความเครียด (รูปที่ 2.8 (ค)) พบว่าฟิล์มสูตร E มีค่าสูงสุด เนื่องจากโครงสร้างที่ยืดหยุ่นของอิพคลอโรไฮดรินที่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างแปะและโมเลกุล PVA ทำให้ค่าความเครียดสูง การเชื่อมขวางจึงเปลี่ยนคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มไปในระดับที่มีนัยสำคัญ



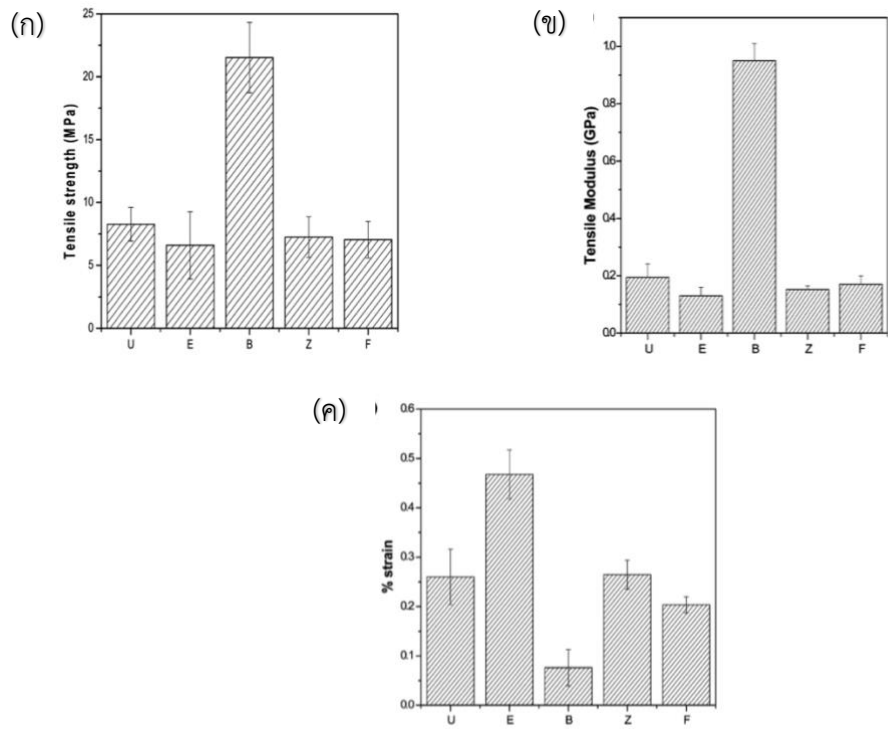
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเชื่อมขวางของ S/P ฟิล์มสูตร U (ก) Z (ข) E (ค) F (ง) และสูตร B (จ) [6]

การดูดซับความชื้นของฟิล์ม S/P นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่ของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระและความง่ายในการแพร่ของโมเลกุลน้ำตลอดความหนาของฟิล์ม จากรูปที่ 2.9 พบว่าฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวางมีการดูดซับความชื้นสูงที่สุดและฟิล์ม B ดูดซับความชื้น > ฟิล์ม Z > ฟิล์ม F > ฟิล์ม E จึงยืนยันได้ว่าปริมาณไฮดรอกซิลอิสระลดลงเนื่องจากการเชื่อมขวาง และการลดลงนี้ขึ้นกับชนิดของสารเชื่อมขวาง สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient; D) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

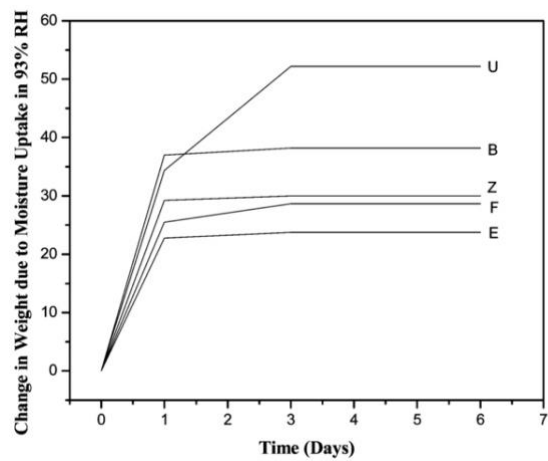
$$\frac{M_t - M_0}{M_\infty} = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{D}{\pi}} \sqrt{t} \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

เมื่อ	M_t	คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่เวลา t ใน 93% RH
	M_0	คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่เวลาก่อนการทดลองใน 93 %RH
	M_∞	คือ มวลที่ดูดซับเข้ามาที่สมดุล
	2L	คือ ความหนาของฟิล์ม
	D	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่

ฟิล์มที่ไม่มีการเชื่อมขวางมีสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านสูงที่สุดและลดลงเมื่อฟิล์มมีการเชื่อมขวาง โดยฟิล์มที่เชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์ อีพิกลอร์โรไฮดริน และฟอร์มัลดีไฮด์ ตามลำดับ การเกิดสารที่ซับซ้อนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้ง PVA กลีเซอรอล กับโบเรตไอออน อาจทำให้เพิ่มระยะห่างพันธะระหว่างสายโซ่ ซึ่งช่วยให้การดูดซับน้ำเกิดได้มากขึ้น ในฟิล์ม Z นั้น ZnO จะทำหน้าที่เหมือนเป็นสารเสริมแรงแต่หมู่ OH มีประสิทธิภาพในการช่วยดูดซับน้ำน้อยลง



รูปที่ 2.8 (ก) ความทนแรงดึง (ข) โมดูลัส (ค) % ความเครียด ของ S/P ฟิล์มสูตร U E B Z และ F [6]



รูปที่ 2.9 % การดูดซับความชื้นของ S/P ฟิล์มสูตร U E B Z และ F [6]

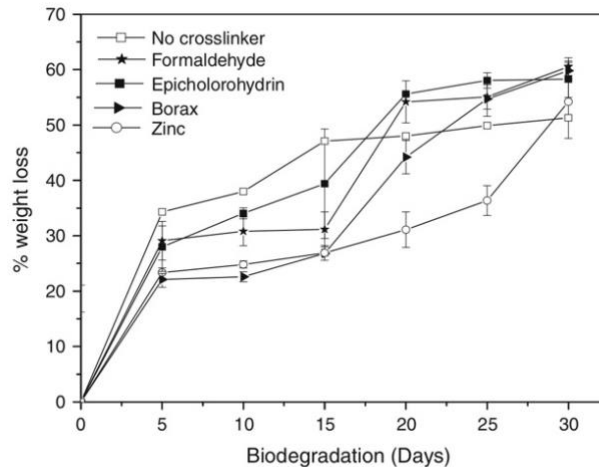
Maiti และคณะ [7] ศึกษาลักษณะในการย่อยสลายทางธรรมชาติของฟิล์ม PVA/แป้ง ซึ่งใส่สาร เชื่อมขวาง 4 ชนิด ประกอบด้วยอีพิกลอโรไฮดริน ฟอรั่มัลดีไฮด์ ซิงค์ออกไซด์ และบอแรกซ์ ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก โดยใช้แป้งที่สามารถละลายน้ำได้ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ PVA คือ 14000 กรัมต่อโมล และกลีเซอรอล ขึ้นรูปด้วยวิธี solution casting (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของฟิล์ม [7]

Sample ID	Starch (wt%)	PVA (wt%)	Glycerol (wt%)	Crosslinker (wt%)	Biodegradation Time(Days)
SP BD0	50	50	30	0	0
SP BD15	50	50	30	0	15
SP BD30	50	50	30	0	30
SP BR BD0	50	50	30	5 (Borax)	0
SP BR BD15	50	50	30	5 (Borax)	15
SP BR BD30	50	50	30	5 (Borax)	30
SP EP BD0	50	50	30	5 (Epichlorohydrin)	0
SP EP BD15	50	50	30	5 (Epichlorohydrin)	15
SP EP BD30	50	50	30	5 (Epichlorohydrin)	30
SP F BD0	50	50	30	5 (Formaldehyde)	0
SP F BD15	50	50	30	5 (Formaldehyde)	15
SP F BD 30	50	50	30	5 (Formaldehyde)	30
SP Z BD0	50	50	30	5 (Zinc oxide)	0
SP Z BD15	50	50	30	5 (Zinc oxide)	15
SP Z BD30	50	50	30	5 (Zinc oxide)	30

เมื่อวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปของชิ้นทดสอบขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร ที่ถูกหมักในปุ๋ยหมักเป็นเวลา 30 วัน พบว่าผลการย่อยสลายมีปัจจัยควบคุมคือ หมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ความเป็นผลึกของฟิล์ม และความง่ายของการแตกออกของการเชื่อมขวาง รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่หนึ่งการย่อยสลายที่เกิดขึ้นใน 15 วันแรก ฟิล์มที่ใส่สารเชื่อมขวางทุกชนิดมีน้ำหนักที่สูญเสียไปน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง เมื่อเปรียบเทียบสารเชื่อมขวางแต่ละชนิดพบว่า ฟิล์มที่ใช้ฟอรั่มัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง มีน้ำหนักสูญหายไปมากที่สุด ตามด้วยฟิล์มที่ใช้อีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมขวาง ส่วนฟิล์มที่ใช้บอแรกซ์และซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมขวาง มีน้ำหนักสูญหายไปน้อยที่สุด ผู้วิจัยอธิบายว่าสภาวะการเชื่อมขวางที่อุณหภูมิ 80°C อาจส่งผลต่อการระเหยของฟอรั่มัลดีไฮด์ระหว่างการเชื่อมขวางส่งผลให้การเชื่อมขวางลดลงและทำให้ฟิล์มเกิดการสลายตัวและสูญเสีย น้ำหนักได้มาก ทั้งนี้เชื่อว่าในช่วงแรกที่ฟิล์มซึ่งมีการเชื่อมขวางเกิดการสูญเสีย น้ำหนักต่ำกว่า อาจเกิดจากปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่น้อยลง จึงสามารถดูดซึมความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังเป็นผลจากฟิล์มที่ใส่สารเชื่อมขวางมีปริมาณผลึกมากกว่าที่ฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง อีกทั้งบอแรกซ์และซิงค์ออกไซด์ยังมีสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย แต่หลังจาก 15 วัน พบว่าพฤติกรรมการสูญเสีย น้ำหนักเปลี่ยนไปอย่างมาก โดยฟิล์มที่ไม่มีการเชื่อมขวางจะไม่มี การสูญเสีย น้ำหนักเพิ่มนัก ในขณะที่ฟิล์มที่มีการเติมสารเชื่อมขวาง ยังพบการสูญเสีย

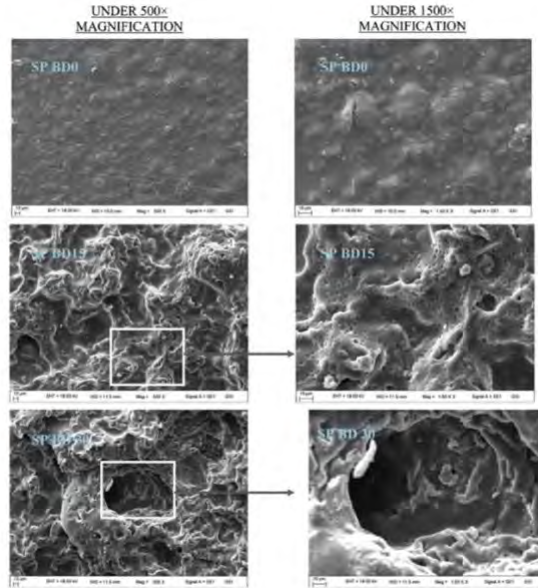
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อาจบ่งชี้ได้ว่าการเชื่อมขวางนั้นถูกทำลายหลังจากการย่อยสลายช่วงแรกทำให้การย่อยสลายในช่วงที่สองเกิดง่ายขึ้น



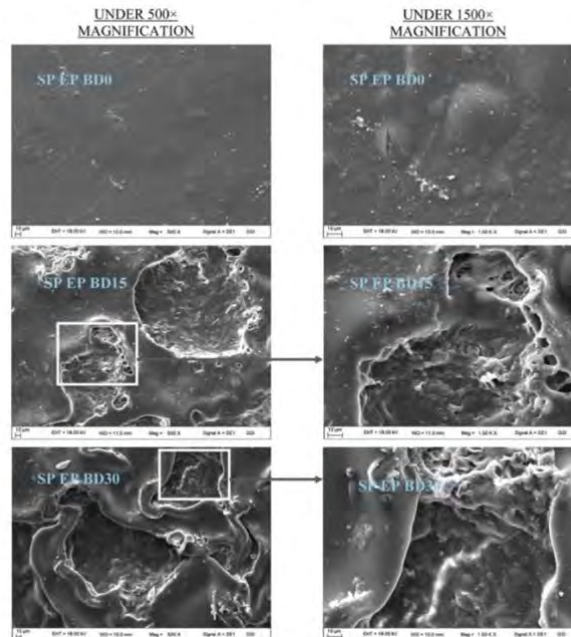
รูปที่ 2.10 % น้ำหนักที่สูญหายของฟิล์มที่สารเชื่อมขวางในการย่อยสลายใน 30 วัน [7]

สัณฐานวิทยาของพื้นผิวฟิล์มทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางธรรมชาติของฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง และฟิล์มที่ใส่สารเชื่อมขวางชนิดอีพิกโลโรไฮดริน ฟอรัลดีไฮด์ ซิงค์ออกไซด์ และบอแรกซ์ แสดงในรูปที่ 2.11 ถึง 2.15 ตามลำดับ ในฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง ฟิล์มที่ใส่อีพิกโลโรไฮดริน และฟิล์มที่ใส่ซิงค์ออกไซด์ พบว่าพื้นผิวที่เรียบในวันที่ 0 จะเปลี่ยนเป็น รู โพรงและรอยแตกที่ใหญ่และลึกขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาที่ฝังดินซึ่งแตกต่างจากฟิล์มที่ใส่สารเชื่อมขวางชนิดฟอรัลดีไฮด์และบอแรกซ์ รูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นว่า โดยหลังจากการย่อยสลาย 15 วัน พบร่องรอยความลึกต่ำ ๆ บนพื้นผิวของฟิล์ม หลังผ่าน 30 วันปรากฏร่องรอยการเสื่อมสภาพเพิ่มมากขึ้นแต่ขนาดยังคงเท่าเดิม

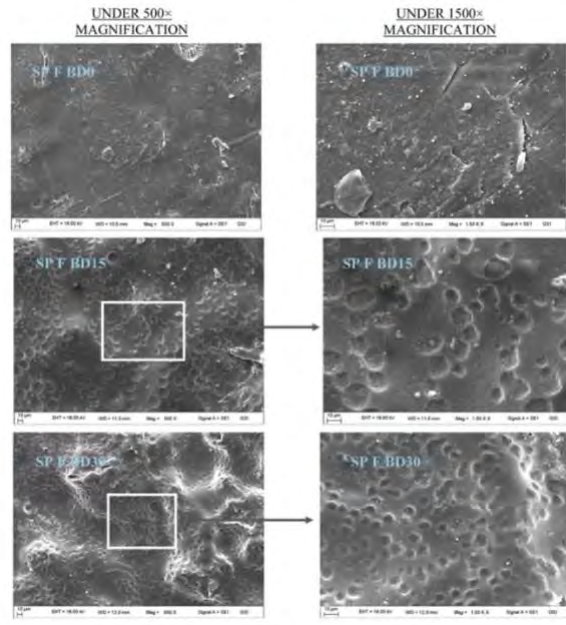
นอกจากนี้ยังพบเมื่อพิจารณาฟิล์มที่ทดสอบ 30 วัน สังเกตพบเส้นใยของเชื้อราในบริเวณกว้าง สะท้อนให้เห็นถึงการย่อยสลายทางชีวภาพในช่วงที่ 2 ของฟิล์มที่เติมซิงค์ออกไซด์และบอแรกซ์



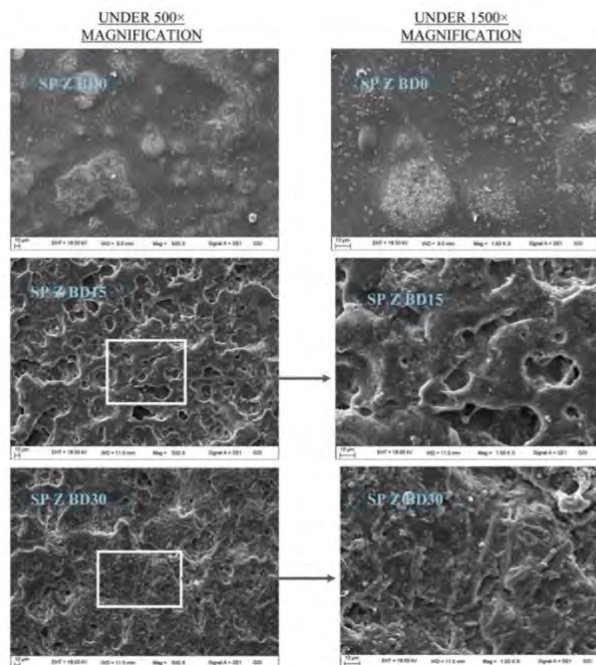
รูปที่ 2.11 ภาพพื้นผิวที่ถ่ายจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า (ซ้าย) และ 1500 เท่า (ขวา) ของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวาง เมื่อทดสอบการย่อยสลาย 0 วัน (แถวบน) 15 วัน (แถวกลาง) และ 30 วัน (แถวกลาง) [7]



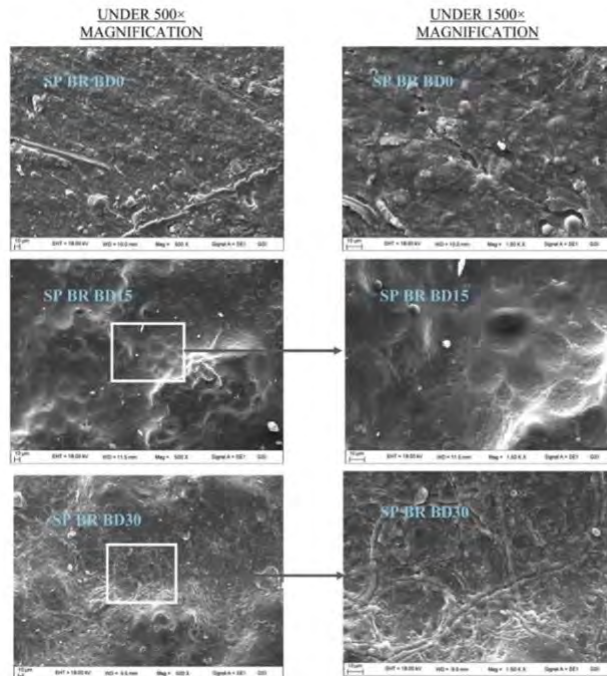
รูปที่ 2.12 ภาพพื้นผิวที่ถ่ายจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า (ซ้าย) และ 1500 เท่า (ขวา) ของฟิล์ม PVA/แป้ง ใส่อิพิคลอโรไฮดริน เมื่อทดสอบการย่อยสลาย 0 วัน (แถวบน) 15 วัน (แถวกลาง) และ 30 วัน (แถวกลาง) [7]



รูปที่ 2.13 ภาพพื้นผิวที่ถ่ายจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า (ซ้าย) และ 1500 เท่า (ขวา) ของฟิล์ม PVA/แป้ง ไส้ฟอรัมาลดีไฮด์ เมื่อทดสอบการย่อยสลาย 0 วัน (แถวบน) 15 วัน (แถวกลาง) และ 30 วัน (แถวกลาง) [7]



รูปที่ 2.14 ภาพพื้นผิวที่ถ่ายจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า (ซ้าย) และ 1500 เท่า (ขวา) ของฟิล์ม PVA/แป้ง ไส้ซิงค์ออกไซด์ เมื่อทดสอบการย่อยสลาย 0 วัน (แถวบน) 15 วัน (แถวกลาง) และ 30 วัน (แถวกลาง) [7]



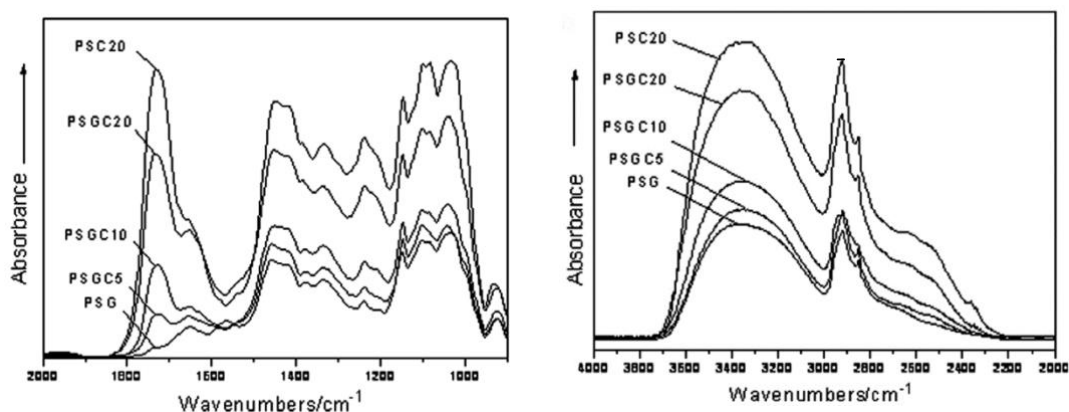
รูปที่ 2.15 ภาพพื้นผิวที่ถ่ายจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า (ซ้าย) และ 1500 เท่า (ขวา) ของฟิล์ม PVA/แป้ง ไส้บอแรกซ์ เมื่อทดสอบการย่อยสลาย 0 วัน (แถวบน) 15 วัน (แถวกกลาง) และ 30 วัน (แถวกกลาง) [7]

Shi และคณะ [8] ศึกษาผลของซิทริกแอซิด (CA) ต่อโครงสร้าง สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและความเป็นพิษของ S/P ฟิล์ม ที่มีอัตราส่วนของแป้งต่อ PVA ในอัตราส่วน 1:3 โดยขึ้นรูปฟิล์มด้วยการ casting ดังนี้ ละลาย PVA แป้งและกลีเซอรอลในน้ำร้อน (ตารางที่ 2.5) กวนของผสมเป็นเวลา 4 ชั่วโมงด้วยเครื่องกวนเชิงกล (1,000 รอบต่อนาที) ที่ 95°C ให้ได้สารละลายที่เป็นลักษณะคล้ายเนื้อเจลที่เป็นเนื้อเดียวกัน ในการเติมซิทริกแอซิด เพื่อป้องกันการเกิด acidolysis จึงเติมซิทริกแอซิดลงในสารละลายด้วยเครื่องกวนเชิงกลเป็นเวลา 10 นาที (1200 รอบต่อนาที) ที่ 30°C จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้เทลงบนจานแก้วที่อุ่นไว้ล่วงหน้าด้วยอุณหภูมิตั้งที่ 140°C แล้วนำเข้าอบเพื่อระเหยน้ำออกที่ 140°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บฟิล์มที่แห้งในถุงพลาสติกที่ 20°C และ 50% RH เป็นเวลา 1 สัปดาห์ก่อนทำการวัดต่อไป

ตารางที่ 2.5 สัดส่วนส่วนประกอบในการเตรียม S/P फिल्म [8]

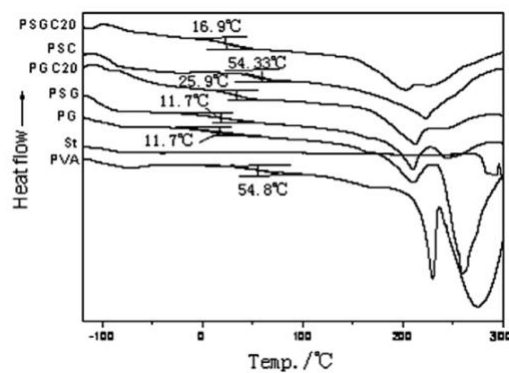
Abbreviations	Samples (weight proportions)		
	PVA:starch (w/w)	Glycerol (wt% of the dry weight)	CA (wt% of the dry weight)
PSG	3:1	20	–
PSGC5	3:1	20	5
PSGC10	3:1	20	10
PSGC20	3:1	20	20
PSGC30	3:1	20	30
PSC20	3:1	–	20

จากการศึกษาผลของ CA ในโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform Infrared spectrometer (FT-IR) เมื่อพิจารณาบริเวณ 1729 cm^{-1} ของ C=O stretching ของฟิล์มที่มีการแช่น้ำเพื่อล้าง CA ส่วนเกิน รูปที่ 2.16 (ก) แสดงให้เห็นว่าความสูงของคาร์บอนิลพีคจะสัมพันธ์การเกิด esterification ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับในฟิล์ม PSG PSGC5 PSGC10 และ PSGC20 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์ม PSGC20 และ PSC20 สังเกตได้ว่าปริมาณ C=O stretching บริเวณดังกล่าวจะสูงกว่าในฟิล์มชนิด PSC20 ซึ่งเชื่อว่ากลีเซอรอลสามารถเกิดปฏิกิริยากับ CA และสารกลีเซอรอลซีเตรตที่เกิดขึ้นสามารถละลายไปในน้ำเมื่อทำการล้าง จึงส่งผลให้ปริมาณ esterification ในฟิล์ม PSC20 มีมากกว่าฟิล์ม PSGC20 เมื่อพิจารณา 3340 cm^{-1} (รูป 2.16) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้น CA เพิ่มขึ้น เป็นเพราะว่าจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลิกเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้น CA เพิ่มขึ้น ที่ 3340 cm^{-1} พีคของกราฟ PSC20 มีความสูงมากกว่ากราฟ PSG เพราะ CA สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับแป้ง/PVA ซึ่งพันธะมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะที่สร้างกับกลีเซอรอล และที่ 3340 cm^{-1} พีคของกราฟ PSC20 มีความสูงมากกว่ากราฟ PSGC20 เนื่องจากบางส่วนของ CA เกิดปฏิกิริยากับกลีเซอรอล ดังนั้น พันธะไฮโดรเจนจึงลดลง

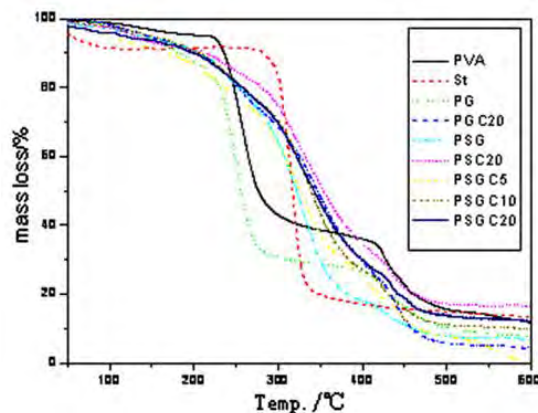


รูปที่ 2.16 FT-IR spectra ของ PSG ที่มีความเข้มข้นซีตริกแอซิดแตกต่างกัน [8]

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทรานสิชันด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC) พบว่า อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ของฟิล์ม PVA มีค่า 54.8°C แต่เมื่อเติมกลีเซอรอลส่งผลให้ T_g ของฟิล์ม PG มีค่าเป็น 11.7°C การลดลงของ T_g สอดคล้องกับการลดลงของแรงยึดเกาะที่ดึงดูดระหว่างโซ่ เนื่องจากกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์แทรกซึมเข้าไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์เมื่อเกิดแรงดึงดูดเชิงขั้วระหว่างกลีเซอรอลและส่วนของโซ่ PVA แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของ PVA จึงลดลง จึงส่งผลให้ T_g ลดลง เมื่อเติมแป้งเพิ่มพบว่าฟิล์ม PSG มีค่า T_g เท่ากับฟิล์ม PG รูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นว่าในขณะที่ฟิล์ม PSG มีค่า T_g เท่ากับ 11.7°C แต่ในฟิล์มที่มีการเติม CA (ทั้งสูตรที่มีและไม่มีการเติมกลีเซอรอล) มีค่า T_g สูงกว่าฟิล์ม PSG ทั้งสิ้น เนื่องจาก CA ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางและพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่าง CA/แป้ง และ CA/PVA ทำให้สายโซ่ของ PVA เคลื่อนที่ได้น้อยลง ค่า T_g จึงมากขึ้น ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) (รูปที่ 2.18) แสดงให้เห็นว่าความเสถียรทางความร้อนของฟิล์มที่มี CA นั้นสูงกว่าที่ไม่มี CA ซึ่งการเชื่อมโยงเป็นหนึ่งในเหตุผลที่ปรับปรุงเสถียรภาพด้านความร้อน



รูปที่ 2.17 อิทธิพลของกลีเซอรอลและ CA ต่อ DSC thermograms ของ PVA และ SP ฟิล์ม [8]



รูป 2.18 กราฟ TG ที่ใช้สารเติมแต่งแต่ละประเภทและความเข้มแตกต่างกัน [8]

เมื่อพิจารณา %การบวมน้ำของฟิล์มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเป็น 31.2 ± 1.7 (PSG) 32.6 ± 2.0 (PSGC5) 30.5 ± 1.1 (PSGC10) 22 ± 1.1 (PSGC20) 19.6 ± 1.3 (PSGC20) จึงสรุปได้ว่าเมื่อเติม CA ปริมาณน้อย ๆ จะไม่มีผลต่อการบวมน้ำอย่างมีนัยสำคัญ แต่ดัชนีการบวมน้ำจะลดลงเมื่อความเข้มข้น CA เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเติมซิทริกแอซิดยังส่งผลให้ฟิล์ม PSGC มีค่าความทนแรงดึงและ %elongation สูงกว่าฟิล์ม PSG (39 MPa และ 81.2%) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณซิทริกแอซิด 5 10 20 และ 30% ส่งผลให้ความทนแรงดึงมีค่าลดลงจาก 48 MPa เป็น 46 , 44 , และ 42 MPa ตามลำดับ ส่วนค่า %elongation เพิ่มขึ้นจาก 101.8% เป็น 126.7 , 178.9 , และ 207.8% ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า CA สามารถเป็นได้ทั้งสารเชื่อมขวางและพลาสติกไซเซอร์ ความทนแรงดึงของ PSGC5 สูงกว่า PSG เป็นผลมาจาก CA ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวาง และเมื่อความเข้มข้น CA เพิ่มมากขึ้น CA ยังจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ความทนแรงดึงจึงมีค่าลดลงและ %elongation จึงมีค่าเพิ่มขึ้น

Yoon และคณะ [9] ศึกษาผลของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่มีการเติมกลีเซอรอล ซิทริกแอซิด และ glutaraldehyde ในสัดส่วนที่แสดงในตารางที่ 2.6 และศึกษาผลของอุณหภูมิที่ทำให้ฟิล์มแห้งต่อสมบัติของฟิล์มที่เตรียมได้ โดยเตรียมสารละลาย PVA ด้วยการละลาย PVA ในน้ำร้อน (90°C) และเตรียมสารละลายผสมระหว่าง แป้ง กลีเซอรอล และซิทริกแอซิดกับน้ำโดยใช้เครื่องผสมเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเติม glutaraldehyde ลงในสารละลายผสมของแป้ง จากนั้นนำสารละลายทั้ง 2 ผสมเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 6 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำมาปั่นต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 50 นาที ด้วยเครื่องกวนที่ความเร็ว (1000 rpm) ทำการกำจัดฟองด้วย aspirator แล้วนำสารละลายเหลวแม่แบบเทฟลอนขนาด $200 \times 200 \times 1$ mm³ ทำให้ฟิล์มแห้งด้วย 2 แนวทางคือโดยการอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและทิ้งไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เก็บฟิล์มที่แห้งแล้วในถุงพลาสติกแล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 25°C ที่ 50% RH หนึ่งสัปดาห์ก่อนนำไปวัด

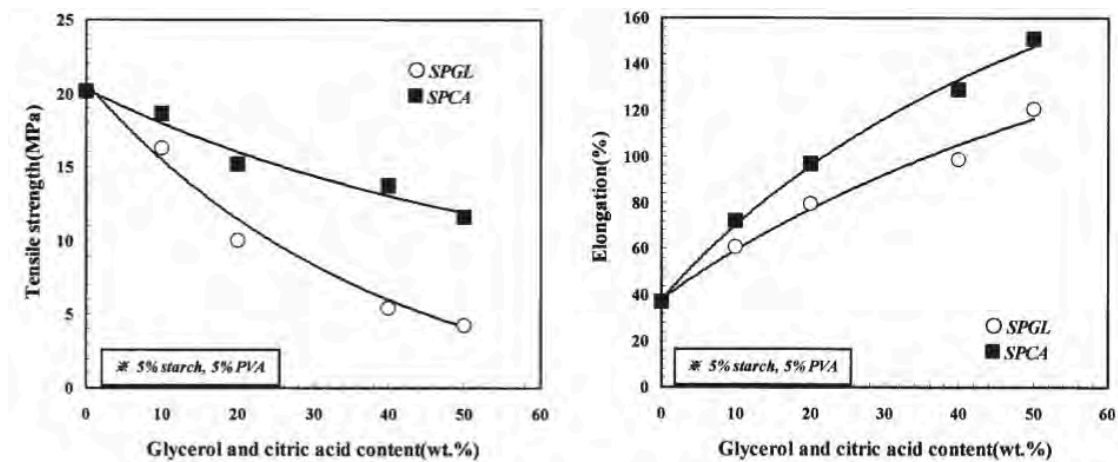
จากการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของฟิล์ม SP เปรียบเทียบกับฟิล์ม SPGL และ SPCA (รูปที่ 2.19) พบว่าทั้ง GL และ CA ส่งผลให้ฟิล์ม SPGL และ SPCA มีค่าการทนแรงดึง (TS) ต่ำกว่าฟิล์ม SP แต่มีค่า %elongation (%E) สูงกว่าฟิล์ม SP ทั้งนี้ยังเพิ่มปริมาณ GL และ CA ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น อีกทั้งการใช้สารเติมแต่งชนิด CA ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวมากกว่า GL เนื่องจากซิทริกแอซิดเป็นองค์ประกอบซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่คาร์บอกซิล ในขณะที่กลีเซอรอลซึ่งมีเพียงหมู่ไฮดรอกซิลเท่านั้น ดังนั้นฟิล์มที่สังเคราะห์จาก CA จึงมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่าฟิล์มที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอล สภาวะการทำให้ฟิล์มแห้งก็มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม โดยรูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นว่าค่าการทนแรงดึงและ %elongation ของฟิล์มที่แห้งที่ 5 องศาเซลเซียส สูงกว่าฟิล์มที่แห้งที่ 50 องศาเซลเซียสเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนเกิดได้ดีและปริมาณมากที่อุณหภูมิต่ำ รูป 2.16 แสดง TS และ %E ของฟิล์ม SP ที่มีการเติมกลีเซอรอลเปรียบเทียบกับที่เติมซิทริกแอซิด เมื่อทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณ GLU เพิ่มขึ้นจาก 0.045 เป็น 0.75% พบว่า ค่าความทนแรงดึงจะเพิ่มขึ้น

ในขณะที่ % elongation ลดลง ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสมบัติด้านการทนแรงดึงของ SP फिल्म สามารถปรับเปลี่ยนให้ได้เหมาะสมด้วยการใช้ CA และ GLU

ตารางที่ 2.6 SP फिल्मที่เตรียมด้วยปริมาณกลีเซอรอล (GL) ซิตริกแอซิด (CA) และ glutaraldehyde (GLU) ต่าง ๆ โดย %wt ที่ปรากฏในตารางคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งและ PVA [9]

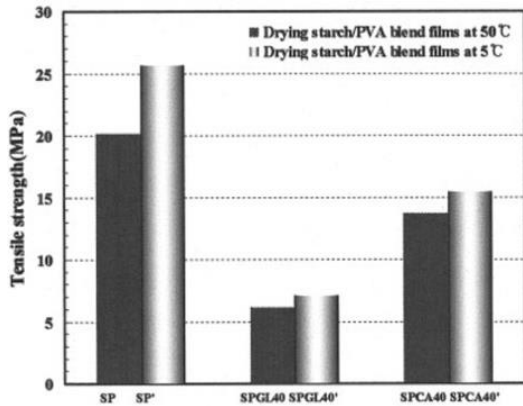
Sample name	Starch (%)	PVA (%)	GL (wt %)	CA (wt %)	GLU (wt %)
SP	5	5	—	—	—
SPGL10	5	5	10	—	—
SPGL20	5	5	20	—	—
SPGL30	5	5	30	—	—
SPGL40	5	5	40	—	—
SPGL50	5	5	50	—	—
SPCA10	5	5	—	10	—
SPCA20	5	5	—	20	—
SPCA30	5	5	—	30	—
SPCA40	5	5	—	40	—
SPCA50	5	5	—	50	—
SPGL40GLU1	5	5	40	—	0.045
SPGL40GLU2	5	5	40	—	0.09
SPGL40GLU3	5	5	40	—	0.19
SPGL40GLU4	5	5	40	—	0.375
SPGL40GLU5	5	5	40	—	0.75
SPCA40GLU1	5	5	—	40	0.045
SPCA40GLU2	5	5	—	40	0.09
SPCA40GLU3	5	5	—	40	0.19
SPCA40GLU4	5	5	—	40	0.375
SPCA40GLU5	5	5	—	40	0.75

หมายเหตุ: ปริมาณพอลิเมอร์ทั้งหมด 100 g. และเติมน้ำ 90% ของพอลิเมอร์ทั้งหมด

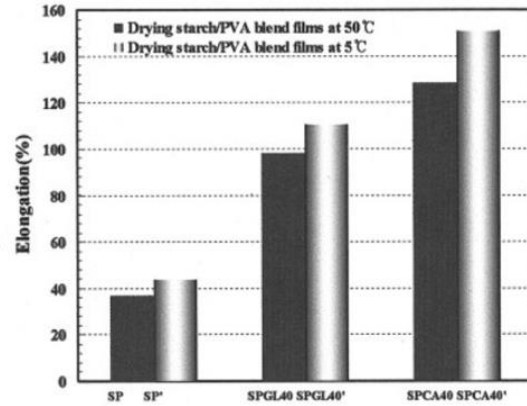


(ข)

รูปที่ 2.19 (ก) ความทนแรงดึง และ (ข) % elongation ของฟิล์มที่ใส่กลีเซอรอลและซิตริกแอซิด [10]

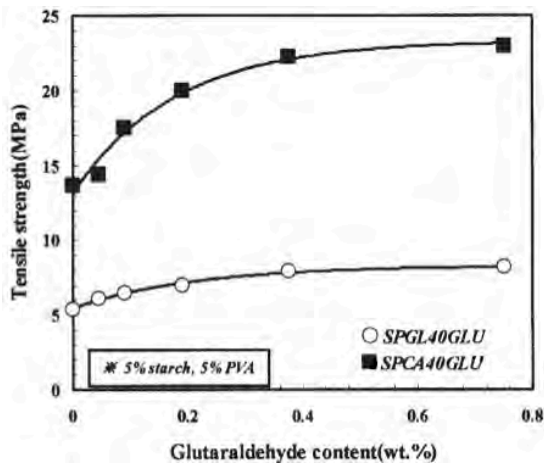


(ก)

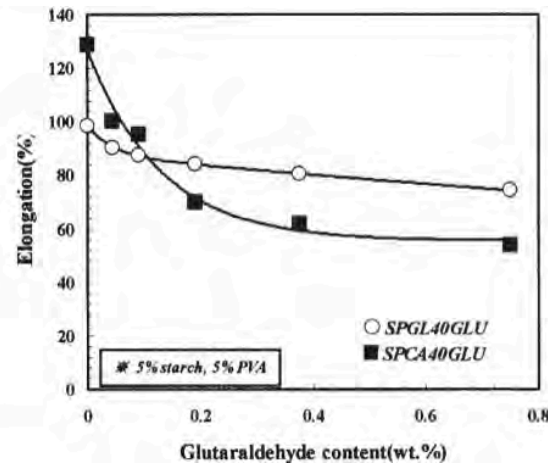


(ข)

รูปที่ 2.20 (ก) ความทนแรงดึง และ (ข) %elongation ของฟิล์ม SP SPGL40 และ SPCA40 ซึ่งทำให้แห้งที่ 50°C เปรียบเทียบกับฟิล์ม SP' SPGL40' และ SPCA40' ซึ่งทำให้แห้งที่ 5°C [10]



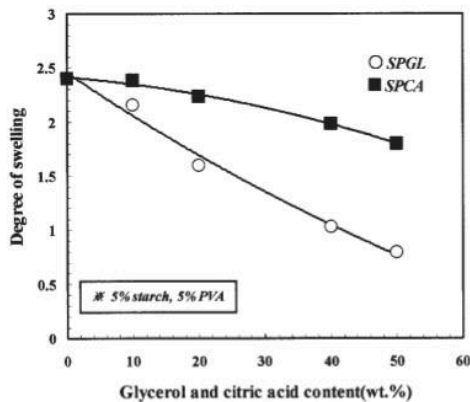
(ก)



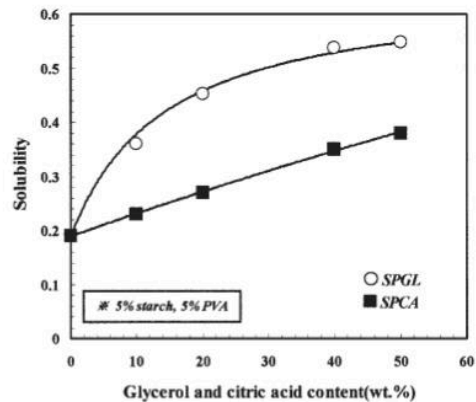
(ข)

รูปที่ 2.21 ความทนแรงดึง (ก) และ %elongation (ข) ของ SP ฟิล์มที่ใช้ glutaraldehyde (GLU) เป็นสารเชื่อมขวางโดยเปรียบเทียบระหว่างการใส่กลีเซอรอลกับซิติริกแอซิด [10]

ระดับการบวมตัว (Degree of swelling, DS) และค่าการละลาย (Solubility, S) ของ SP ฟิล์มสูตรต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.17 พบว่าทั้งฟิล์มสูตร SPGL และ SPCA มีค่า DS ต่ำกว่าฟิล์ม SP (2.22 (ก)) โดยเมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณ CA และ GL จะยิ่งส่งผลให้ฟิล์มมีค่า DS ต่ำลง ในทางกลับกันปริมาณ CA และ GL จะยิ่งส่งผลให้ฟิล์มมีค่า S สูงขึ้น ตารางที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งฟิล์มที่สภาวะต่างกันยังสามารถส่งผลต่อค่า DS และ S อีกด้วย สังเกตได้ว่าการใช้อุณหภูมิการอบแห้งฟิล์มที่ 5°C สามารถเตรียมฟิล์มที่มีค่า DS และ S ต่ำกว่าการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิ 50 °C



(ก)



(ข)

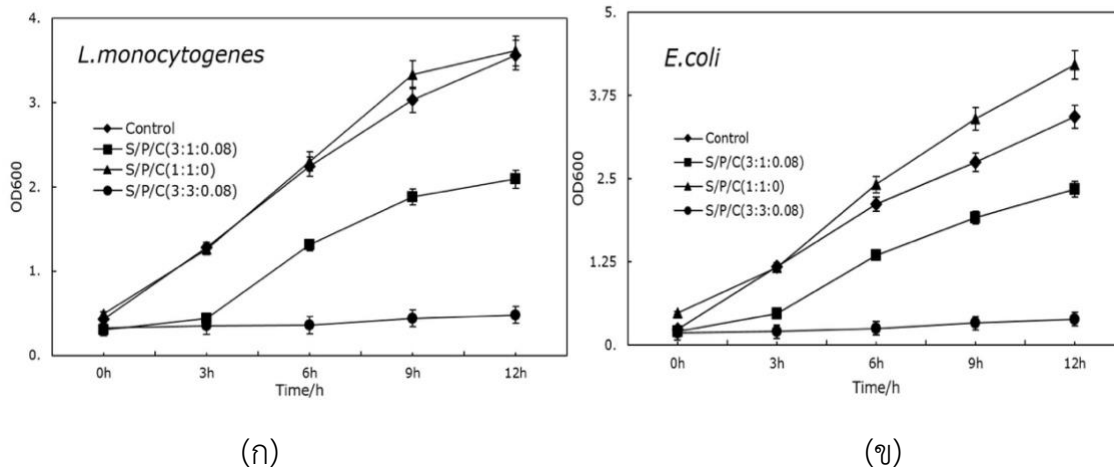
รูปที่ 2.22 Degree of swelling (DS) และ ค่าการละลายของฟิล์ม PVA/แป้ง มีกลีเซอรอลและซิตริกแอซิด เป็นสารตกแต่ง [10]

ตารางที่ 2.7 Degree of swelling (DS) และค่าการละลายของ SP ฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่เตรียมด้วย ที่อุณหภูมิ 50°C และ 5°C [10]

Sample name	Degree of swelling (DS)	Solubility (s)
SP	2.4	0.19
SP'	1.97	0.15
SPGL40	1.03	0.5
SPGL40'	0.96	0.39
SPCA40	1.98	0.35
SPCA40'	1.41	0.14

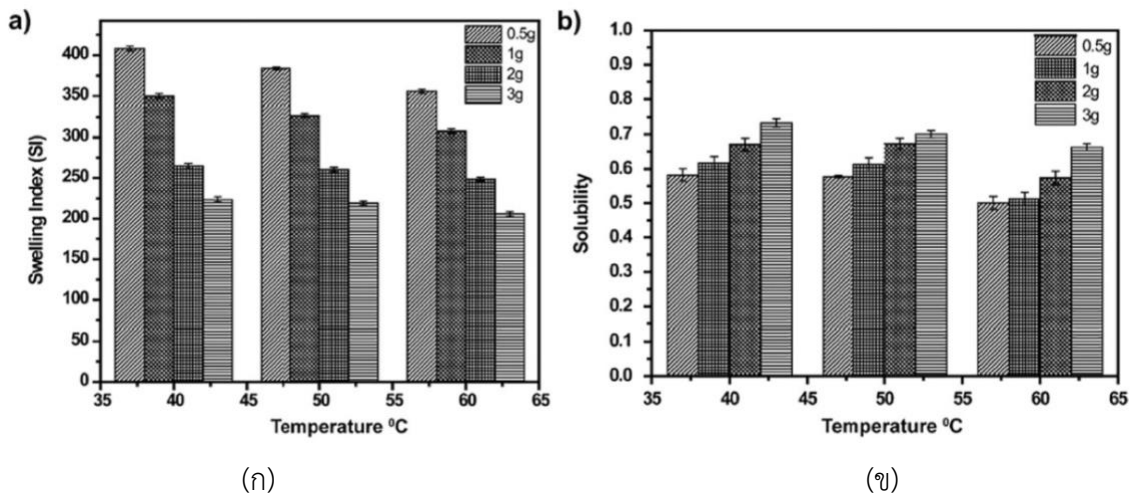
หมายเหตุ : ฟิล์มSP', SPGL40', SPGL40', และSPCA40' อบแห้งที่อุณหภูมิ 5°C

เนื่องจากซิตริกแอซิดเป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจนำมาพัฒนา SP ฟิล์มเพื่อใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์ [10] และวัสดุทางการแพทย์ [11] ทั้งนี้งานวิจัยของ Wu และคณะ [10] พบว่านอกจากซิตริกแอซิดจะสามารถปรับเปลี่ยนสมบัติเชิงกลและสมบัติความชอบน้ำของ SP ฟิล์มแล้ว ยังสามารถทำให้ SP ฟิล์มมีสมบัติการต้านแบคทีเรียได้อีกด้วย รูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่ไม่มีซิตริกแอซิด (S/P/C(1:1:0)) ไม่แสดงผลของการต้านเชื้อแบคทีเรีย ในขณะที่ฟิล์มที่มีซิตริกแอซิดเป็นองค์ประกอบ (S/P/C (3:1:0.08) และ S/P/C (3:3:0.08)) พบกลไกการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยที่ความเป็นกรดของซิตริกแอซิดสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*L. monocytogenes*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*)



รูปที่ 2.23 ลักษณะการต้านเชื้อแบคทีเรียของฟิล์ม PVA/แป้ง ซิตริกแอซิด (S/P/C) โดยทดสอบกับ *L. monocytogenes* (ก) และ *E. coli* (ข) [10]

Das และคณะ [7] ศึกษาผลของปริมาณซิตริกแอซิดและอุณหภูมิในการเชื่อมขวางฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์ม PVA/แป้ง /ซิตริกแอซิด/กลีเซอรอล ซึ่งเตรียมจาก PVA มวลโมเลกุลเฉลี่ย 72,000 กรัม/โมล แป้งที่สามารถละลายน้ำได้ ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และปรับเปลี่ยนปริมาณซิตริกแอซิดซึ่งเป็นสารเชื่อมขวางที่ 0.5-3 กรัม ขึ้นรูปโดย solution casting อุณหภูมิการเชื่อมขวาง 40-60°C โดยใช้เวลา 12 ชั่วโมงในการทำให้ฟิล์มแห้งพบว่า รูปที่ 2.19 (ก) แสดงให้เห็นว่าปริมาณซิตริกแอซิดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีการบวมตัวของฟิล์มลดลงทั้งในฟิล์มที่เตรียมด้วยอุณหภูมิการเชื่อมขวางที่ 40 50 และ 60°C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการเชื่อมขวางไม่ส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว นัก รูปที่ 2.24 (ข) แสดงถึงความสามารถในการละลาย พบว่าความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิตริกแอซิดและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเชื่อมขวางทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นเมื่อซิตริกแอซิดเพิ่มขึ้นและซิตริกแอซิดที่เหลือทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เพิ่มความสามารถในการละลาย นอกจากนี้อุณหภูมิการเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการเชื่อมขวางเพิ่มสูงขึ้น ลดความสามารถในการละลายลง ที่อุณหภูมิ 60°C ความสามารถในการละลายลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 40 และ 50°C



รูปที่ 2.24 ผลของปริมาณซีตริกแอซิดและอุณหภูมิการเชื่อมขวางต่อ (ก) ดัชนีการบวมตัว (ข) ความสามารถในการละลายของฟิล์ม PVA/แป้ง [11]

จากสมบัติด้านแรงดึงของฟิล์ม PVA/แป้ง ในตารางที่ 2.8 พบว่าเมื่อปริมาณซีตริกแอซิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความทนแรงดึง ณ yield point ลดลง ในขณะที่อุณหภูมิการเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นทำให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเชื่อมขวางและความเป็นพลาสติกไซเซอร์ของซีตริกแอซิด

ตารางที่ 2.8 ความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ปริมาณแอซิดต่าง ๆ [11]

Sample name	A40	A50	A60	B40	B50	B60	C40	C50	C60
Tensile stress@yield (MPa)	2.22	2.59	4.12	2.08	2.65	3.48	2.07	2.54	3.52
Tensile strain (%)@yield (MPa)	13.29	10.43	11.04	11.61	14.43	49.69	19.34	38.55	27.12
Elastic modulus (MPa)	34.62	52.47	74.44	42.54	35.03	66.35	25.21	22.13	32.41

จากการวิเคราะห์ FT-IR พบว่าเมื่อใส่ซีตริกแอซิดปริมาณมาก ซีตริกแอซิดจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ และมีหมู่ไฮดรอกซิลเหลืออยู่ เมื่อทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิการเชื่อมขวางต่ำและปริมาณซีตริกแอซิดต่ำทำให้อิน้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ซีตริกแอซิด 35.58 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิการเชื่อมขวาง 50°C ใช้เวลาในการทำให้ฟิล์มแห้ง 12 ชั่วโมงพบว่าให้ผลดีที่สุดสำหรับฟิล์มปิดบาดแผล ซึ่งมีดัชนีการบวมตัวสูง (260.5%) ความสามารถในการละลายสูง (67.3%) ความยืดหยุ่นต่ำ ย่อยสลายง่ายและความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียดี

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- Poly (vinyl alcohol) ที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 85,000-124,000 กรัมต่อโมล และระดับการถูกไฮโดรไลซ์มากกว่าร้อยละ 99
- แป้งมันสำปะหลังดัดแปร
- ซิตริกแอซิดโมโนไฮเดรต ACS reagent grade ความบริสุทธิ์ >99%
- กลีเซอรอล ACS reagent grade ความบริสุทธิ์ >99.5%

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. Mechanical stirrer
2. ตู้อบ
3. Hot plate
4. ถาดอบเทฟลอนขนาด 8x8 นิ้ว
5. ถุง PE
6. ปีกเกอร์
7. แห้งแก้ว
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. เครื่องมือวัดความหนาของฟิล์ม (micrometer)

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์การทดสอบ

1. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)
2. Scanning electron microscope (SEM)

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธี solution casting

1. เติมน้ำ PVA (ตารางที่ 3.1) ในน้ำ 30 mL ทำการกวนเป็นเวลา 45 นาทีที่อุณหภูมิ 80°C
2. เติมน้ำแป้งข้าวโพด (ตารางที่ 3.1) ในน้ำกลั่น 30 mL แล้วให้เกิดเจลาตินไนซ์ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 5 นาที
3. นำสารละลาย PVA ผสมกับสารละลายแป้ง ซิตริกแอซิดและกลีเซอรอล (ตารางที่ 3.1) ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ทั้งสารละลายผสมข้ามคืนเพื่อกำจัดฟองอากาศ
4. เทสารละลายผสมปริมาตร 40 mL ลงบนถาดอบเพฟลอน (ขนาด 17.50 x 17.50 cm)
5. นำไปอบแห้งในเตาอบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้เป็น 40, 50 และ 60°C
6. นำแผ่นฟิล์มที่แห้งแล้วเก็บในถุง PE ที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.1 สูตรฟิล์ม PVA:แป้ง

สูตร	PVA (g)	แป้ง (g)	ซิตริกแอซิด (g)	กลีเซอรอล (g)
PS_100:0	2.80	0	0	0
PSCG_100:0:5:10	2.80	0	0.14	0.28
PSCG_100:0:10:10	2.80	0	0.28	0.28
PSCG_100:0:5:20	2.80	0	0.14	0.28
PSCG_100:0:10:20	2.80	0	0.28	0.56
PS_75:25	2.10	0.70	0	0
PSCG_75:25:5:10	2.10	0.70	0.14	0.28
PSCG_75:25:10:10	2.10	0.70	0.28	0.28
PSCG_75:25:5:20	2.10	0.70	0.14	0.56
PSCG_75:25:10:20	2.10	0.70	0.28	0.56
PS_50:50	1.40	1.40	0	0
PSCG_50:50:5:10	1.40	1.40	0.14	0.28
PSCG_50:50:10:10	1.40	1.40	0.28	0.28
PSCG_50:50:5:20	1.40	1.40	0.14	0.56
PSCG_50:50:10:20	1.40	1.40	0.28	0.56
แป้ง	0	2.80	0	0

3.4.2 วิเคราะห์โครงสร้างเคมีด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) [7]

นำฟิล์มมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR โหมด ATR สเปกตรัมด้วยความละเอียด 4 cm^{-1} ในช่วง 4000 cm^{-1} ถึง 400 cm^{-1}

3.4.3 วิเคราะห์ความเข้ากันได้และสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

นำฟิล์มมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 kV โดยการตัดชิ้นทดสอบเป็นชิ้นเล็ก ๆ ในลักษณะให้ผิวด้านข้างเรียบ จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปดูลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มโดยใช้กำลังขยาย 1000 เท่า

3.4.4 ค่าการละลายของฟิล์ม (solubility) และดัชนีการบวมตัว (swelling index) [7]

นำแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรมาเตรียมชิ้นทดสอบขนาด $1 \times 1\text{ cm}^2$ จำนวน 3 ชิ้น จากนั้นชั่งน้ำหนักฟิล์ม (W_0) แล้วนำมาแช่ในน้ำกลั่น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักฟิล์มขณะเปียก (W_s) จากนั้นทำให้ฟิล์มแห้งอีกครั้งโดยอบที่ อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก (W_d) คำนวณความสามารถในการละลาย (S) และดัชนีการบวมตัว (SI) ของฟิล์มสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2

$$S = \frac{(W_0 - W_d)}{W_0} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

$$SI = \frac{W_s}{W_0} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

เมื่อ

S คือ ความสามารถในการละลาย, %

SI คือ ดัชนีการบวมตัว, %

W_0 คือ น้ำหนักของฟิล์มแห้ง, g

W_s คือ น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น, g

W_d คือ น้ำหนักของฟิล์มหลังแช่น้ำและทำให้แห้งแล้ว, g

บทที่ 4

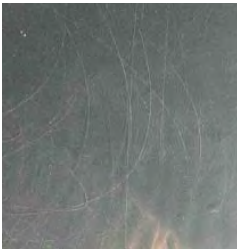
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมฟิล์มด้วยวิธี solution casting

PVA สามารถละลายได้ดีในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C โดยเม็ด PVA จะค่อยๆ บวมตัวขึ้นและละลายภายในเวลา 30 นาที การทำให้แห้งเกิดเจลาตินไนซ์ในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C พบว่า แปะก้อยๆ เกิดการบวมตัวขึ้นและมีลักษณะเป็นเจลสีขาวขุ่นภายในเวลา 5 นาที ในขั้นตอนการผสมสารละลาย PVA สารละลายแห้ง เข้ากับซิทริกแอซิดและกลีเซอรอล พบว่าผงซิทริกแอซิดสามารถละลายและของผสมทั้งหมดเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อทิ้งสารละลายของผสมไว้ข้ามคืนจนไม่มีฟองอากาศ จึงเทสารละลายลงในภาดเทพลอนเพื่อเตรียมฟิล์ม จากนั้นทดลองนำไปอบที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C ฟิล์มมีลักษณะไม่แห้งและไม่สามารแยกฟิล์มออกจากภาดเทพลอนได้ ในขณะที่อุณหภูมิ 60 °C ฟิล์มสามารถแยกออกจากภาดเทพลอนได้ง่าย ลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้ที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่ามีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อพิจารณาฟิล์มที่ไม่เติมซิทริกแอซิดและกลีเซอรอล (รูปที่ 4.1 คอลัมน์ที่ 1) ฟิล์ม PS_100:0 และฟิล์มแห้งมีความโปร่งใสและมีผิวสัมผัสเรียบกว่าฟิล์ม PS_75:25 และ PS_50:50 ปริมาณสัดส่วนของแห้งส่งผลต่อความโปร่งใสและผิวสัมผัสของฟิล์มคือ ฟิล์ม PS_75:25 มีลักษณะใสและมีผิวสัมผัสเรียบกว่าฟิล์ม PS_50:50 มีความเป็นไปได้ว่าแห้งไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับ PVA ดังนั้นจึงเกิดการแยกวัฏภาค เกิดเป็นอนุภาคแห้งกระจายตัวในฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ส่งผลทำให้เกิดการกระเจิงแสงทำให้ฟิล์มมีความโปร่งใสดลดลง

เมื่อพิจารณาฟิล์มที่มีองค์ประกอบของซิทริกแอซิดและกลีเซอรอล พบว่าสารเติมแต่งทั้งสองส่งผลให้ฟิล์มมีลักษณะโปร่งใสน้อยกว่าและมีผิวสัมผัสขรุขระกว่าฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่ง เมื่อเพิ่มปริมาณซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลในฟิล์มที่มีสัดส่วน PVA/แห้ง เท่ากัน (รูปที่ 4.1 ในแถวเดียวกัน) พบว่า ฟิล์มมีลักษณะโปร่งใสและเรียบขึ้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลสามารถปรับปรุงสมบัติความโปร่งใสและผิวสัมผัสของฟิล์มได้ เมื่อพิจารณาฟิล์มที่มีปริมาณซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลเท่ากัน (รูปที่ 4.1 ในคอลัมน์เดียวกัน) กลับให้ผลต่างจากฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่ง กล่าวคือ เมื่อสัดส่วนแห้งในฟิล์ม PVA/แห้ง เพิ่มขึ้น ฟิล์มมีลักษณะโปร่งใสและผิวสัมผัสเรียบกว่าในฟิล์มที่มีสัดส่วนของแห้งน้อยกว่า



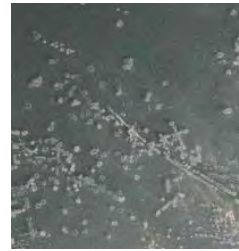
PS_100:0



PSCG_100:0:5:10



PSCG_100:0:10:10



PSCG_100:0:5:20



PSCG_100:0:10:20



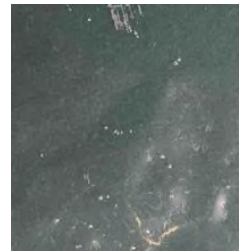
PS_75:25



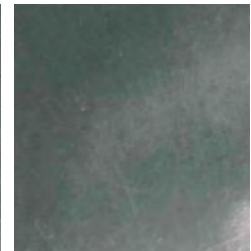
PSCG_75:25:5:10



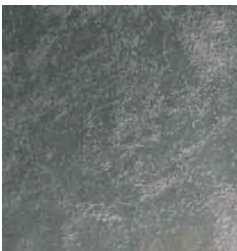
PSCG_75:25:10:10



PSCG_75:25:5:20



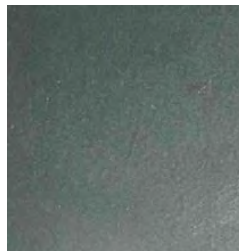
PSCG_75:25:10:20



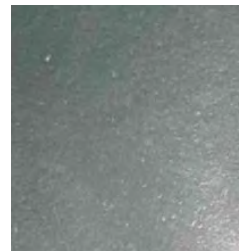
PS_50:50



PSCG_50:50:5:10



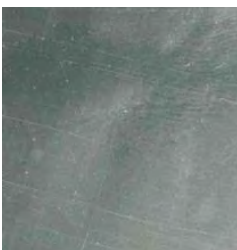
PSCG_50:50:10:10



PSCG_50:50:5:20



PSCG_50:50:10:20



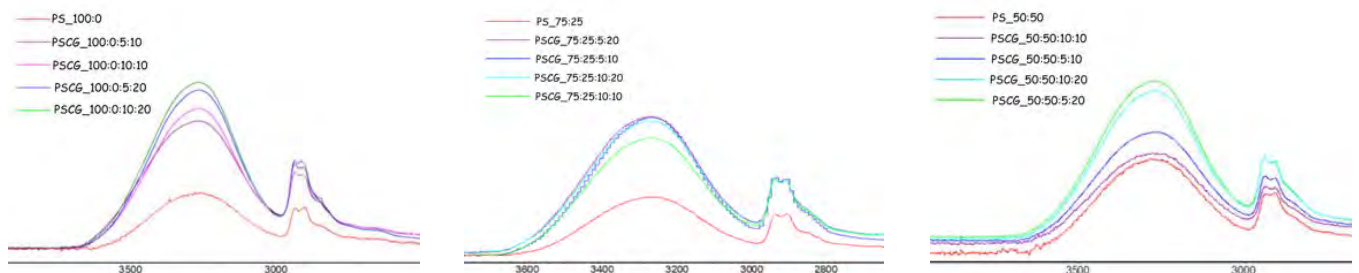
แป้ง

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายฟิล์มที่เตรียมด้วยอัตราส่วน PVA : แป้ง : ซิตริกแอซิด : กลีเซอรอล ต่าง ๆ

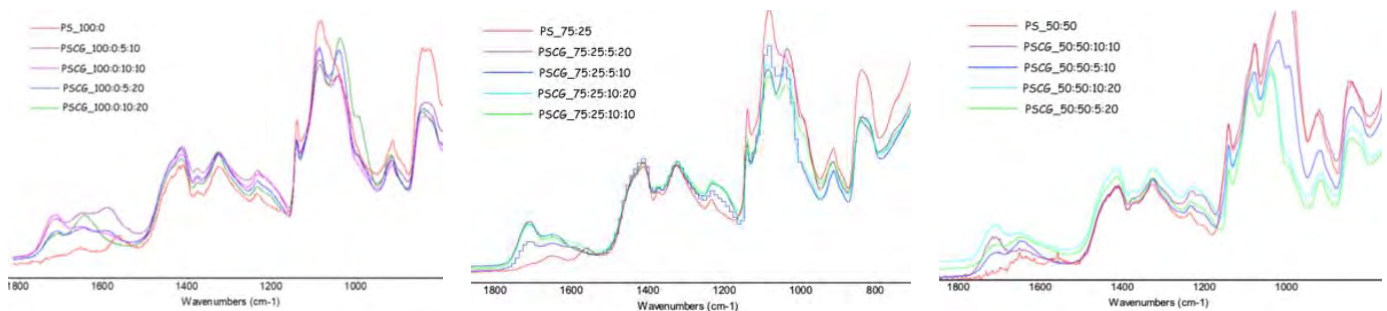
4.2. การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier-Transform infrared spectroscopy (FT-IR)

รูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) แสดง FTIR สเปกตรัมในช่วง $2700-4000\text{ cm}^{-1}$ และ $750-1800\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับที่เปรียบเทียบผลของการเติมซิติริกแอซิดและกลีเซอรอลในปริมาณต่าง ๆ ของฟิล์ม PVA, ฟิล์ม PVA/แป้ง 75:25 และฟิล์ม PVA/แป้ง 50:50 จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์ม PVA/แป้ง ทุกสูตรให้ผลของสเปกตรัมใกล้เคียงกันคือ พบการสั่นของหมู่ O-H stretching ในบริเวณ $3270-3315\text{ cm}^{-1}$, การสั่นแบบสมมาตรและไม่สมมาตรของ C-H stretching ของหมู่เมทิลและหมู่เมทิลีน ในบริเวณ $2900-2947\text{ cm}^{-1}$, การเกิด C=O stretching ของพันธะเอสเทอร์และหมู่คาร์บอกซิลซิติริกแอซิด ที่ตำแหน่ง 1717 cm^{-1} , การสั่นของหมู่ O-H เนื่องจากการดูดความชื้น ที่ตำแหน่ง 1650 cm^{-1} , บริเวณของการเกิด C-O-H bending ในช่วง $1550-1800\text{ cm}^{-1}$, บริเวณการเกิด CH₂ bending แบบสมมาตร ในช่วง $1408-1420\text{ cm}^{-1}$, บริเวณการเกิด C-H และ O-H bending ที่ตำแหน่ง 1378 cm^{-1} และ บริเวณของการเปลี่ยนแปลงลักษณะการสั่นของหมู่ C-O ในช่วง $1326-1328\text{ cm}^{-1}$

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.2 FT-IR spectra ในช่วง (ก) $2700-4000\text{ cm}^{-1}$ และ (ข) $750-1800\text{ cm}^{-1}$ ของฟิล์ม PVA (ซ้าย), ฟิล์ม PVA/แป้ง 75:25 (กลาง) และฟิล์ม PVA/แป้ง 50:50 (ขวา) ที่ไม่เติมซิติริกแอซิดและกลีเซอรอล เปรียบเทียบกับที่เติมซิติริกแอซิดต่อกลีเซอรอลที่อัตราส่วน 5:10, 10:10, 5:20 และ 10:20

เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดสังเกตเห็นความแตกต่างที่น่าสนใจในบริเวณ $3000-4000\text{ cm}^{-1}$ และบริเวณ $1500-1800\text{ cm}^{-1}$ ดังนี้ ในรูปที่ 4.2 (ก) พิกบริเวณ $3270-3315\text{ cm}^{-1}$ ที่บ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ O-H สูงขึ้นในฟิล์มที่มีซิทริกแอซิดและกลีเซอรอล ในฟิล์ม PS_100:0 (รูปที่ 4.2 (ก) ซ้ายมือ) พบว่าพิกบริเวณนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นในโครงสร้างฟิล์ม แต่สำหรับฟิล์มที่มีอัตราส่วน PVA/แป้ง 75:25 (รูปที่ 4.2 (ก) ตรงกลาง) สังเกตว่าฟิล์ม PSCG_75:25:10:10 มีพิกบริเวณนี้น้อยกว่าฟิล์มสูตรอื่นที่มีสารเติมแต่ง และสำหรับในฟิล์มที่มีอัตราส่วน PVA/แป้ง 50:50 (รูปที่ 4.2 (ก) ขวามือ) เห็นได้ว่าฟิล์ม PSCG_50:50:10:10 มีพิกบริเวณนี้ต่ำกว่าฟิล์มสูตรอื่นเช่นกัน ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดเนื่องจากที่ปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 10 และกลีเซอรอล 10 อาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่าง PVA แป้งและซิทริกแอซิดได้ดี ส่งผลให้เกิดพันธะเอสเทอร์ขึ้นในระบบและลดปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลอิสระลง

ในรูปที่ 4.2 (ข) ฟิล์มที่มีซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบพบพิกบริเวณ 1717 cm^{-1} เด่นชัดขึ้นเนื่องจากบริเวณนี้แสดงถึงพันธะเอสเทอร์และหมู่คาร์บอกซิลของซิทริกแอซิด แต่สามารถสังเกตเห็นพิกบริเวณนี้ได้เล็กน้อยในฟิล์ม PVA เนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของ PVA บางส่วน พิจารณาฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้งร้อยละ 50 (รูปที่ 4.2 (ข) ขวามือ) สังเกตว่าฟิล์ม PSCG_50:50:10:10 และฟิล์ม PSCG_50:50:10:20 มีพิก 1717 cm^{-1} สูงกว่าพิก 1650 cm^{-1} ในขณะที่ PSCG_50:50:5:10 และฟิล์ม PSCG_50:50:5:20 แสดงพิกบริเวณ 1717 cm^{-1} ต่ำกว่าพิก 1650 cm^{-1} แสดงว่าฟิล์มที่มีซิทริกแอซิดร้อยละ 10 อาจมีปริมาณการเชื่อมขวางสูงกว่าฟิล์มที่มีซิทริกแอซิดร้อยละ 5 ทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นลดลงจากการมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระของ PVA และแป้งลดลงสำหรับฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้งร้อยละ 25 (รูปที่ 4.2 (ข) ตรงกลาง) พบพิกช่วง 1717 cm^{-1} มีความสูงใกล้เคียงพิก 1650 cm^{-1} เฉพาะในฟิล์ม PSCG_75:25:5:10 ในขณะที่ฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้งร้อยละ 25 สูตรอื่นพบพิกบริเวณ 1717 cm^{-1} สูงกว่าพิก 1650 cm^{-1} ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าฟิล์ม PSCG_75:25:5:10 มีปริมาณการเชื่อมขวางต่ำกว่าฟิล์มสูตรอื่น เมื่อพิจารณาฟิล์ม PVA ที่ไม่มีองค์ประกอบของแป้ง (รูปที่ 4.2 (ข) ซ้ายมือ) แบ่งเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน กล่าวคือ ฟิล์ม PSCG_100:0:5:10 และ PSCG_100:0:10:10 ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 10 มีพิกบริเวณนี้สูงกว่าฟิล์ม PSCG_100:0:5:20 และ PSCG_100:0:10:20 ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 20 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ C=O ไม่สัมพันธ์กับปริมาณซิทริกแอซิด แต่สัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอรอล จึงเป็นไปได้ว่าเมื่อมีปริมาณกลีเซอรอลต่ำ จึงไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะเสริมสภาพเข้ากันได้ระหว่าง PVA และซิทริกแอซิด ส่งผลให้ซิทริกแอซิดอาจแยกออกจาก PVA และอยู่บริเวณผิวหน้าของฟิล์ม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลอาจเพิ่มความเข้ากันได้ของ PVA และซิทริกแอซิด จึงปรากฏซิทริกแอซิดบนผิวหน้าฟิล์มลดลง

ผลจากการสังเกตสเปกตรัม FT-IR ทั้งสองบริเวณอาจกล่าวได้ว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 10 และกลีเซอรอลร้อยละ 10 อาจทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่าง PVA และแป้งผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีที่สุด

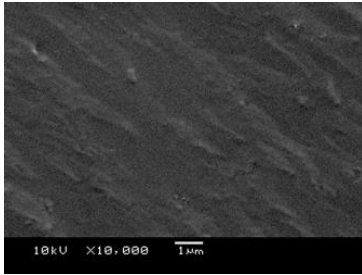
4.3 ลักษณะฐานวิทยา

ลักษณะฐานวิทยาภาคตัดขวางของฟิล์ม PVA/แป้ง ทั้งสามอัตราส่วนและฟิล์มแป้งที่ไม่เติมสารเติมซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลแสดงในรูปที่ 4.3 (ก)-(ง) และฟิล์ม PVA/แป้ง ทั้งสามอัตราส่วนที่เติมซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลร้อยละ 10 แสดงในรูปที่ 4.3 (จ)-(ข) สังเกตเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน กล่าวคือ ฟิล์ม PS_75:25 (รูปที่ 4.3 (ข)) และ PS_50:50 (รูปที่ 4.3 (ค)) เห็นลักษณะแป้งเกาะเป็นกลุ่มก้อนในเนื้อ PVA และกลุ่มแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณแป้ง ซึ่งเห็นได้ชัดในฟิล์ม PS_50:50 (รูปที่ 4.3 (ค)) แป้งเกาะกลุ่มกันขนาดใหญ่ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่เข้ากันของ PVA และแป้ง

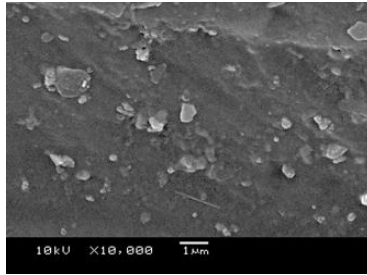
พิจารณารูปที่ 4.3 (ฉ)-(ช) สังเกตเห็นได้ว่า ฟิล์ม PVA/แป้ง ที่มีซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลพบกลุ่มก้อนของแป้งเล็กลงและกระจายตัวได้สม่ำเสมอขึ้นในเนื้อ PVA แต่สำหรับฟิล์ม PSCG_100:0:10:10 พบลักษณะกลุ่มก้อนของซิทริกแอซิดในเนื้อ PVA ซึ่งอาจเกิดจากความไม่เข้ากันระหว่าง PVA และซิทริกแอซิดจึงอาจกล่าวได้ว่าซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลสามารถเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่าง PVA/แป้ง ช่วยให้แป้งเกิดการแตกตัวและกระจายตัวได้ดีขึ้น แต่สารเติมแต่งทั้งสองอาจสามารถเข้ากันได้ดีกว่าแป้งมากกว่า PVA

4.4 ค่าการละลาย (solubility) และดัชนีการบวมตัว (swelling index)

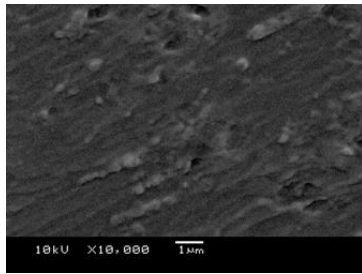
รูปที่ 4.4 (ก) แสดงค่าการละลายของฟิล์มสูตรต่างๆ ที่ใส่กลีเซอรอล 10% เมื่อพิจารณาฟิล์ม PVA ที่ไม่มีแป้ง จะเห็นว่าปริมาณซิทริกแอซิดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์ม PSCG_100:0:10:10 มีความสามารถในการละลายสูงกว่า PSCG_100:0:5:10 ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวยังพบในกรณีฟิล์ม PVA/แป้ง ที่สัดส่วน 75:25 อย่างไรก็ตาม ปริมาณซิทริกแอซิดมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่สัดส่วน 50:50 แตกต่างออกไป โดย ฟิล์ม PSCG_50:50:10:10 มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าฟิล์ม PSCG_50:50:5:10 เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากค่าความคลาดเคลื่อน



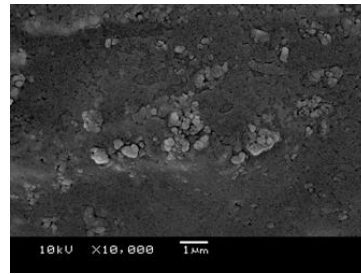
(ก)



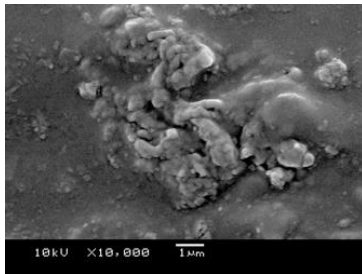
(ข)



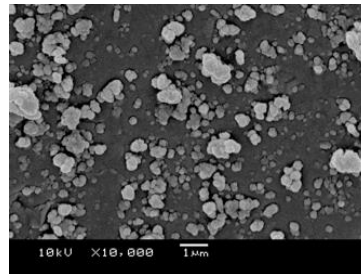
(ค)



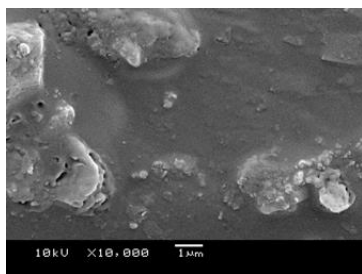
(ง)



(จ)



(ซ)



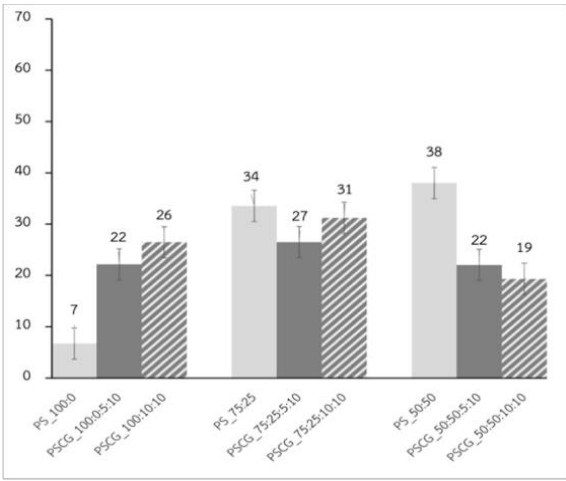
(ฉ)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดภาคตัดขวางของฟิล์ม (ก) PS_{100:0} (ข) PS_{75:25} (ค) PS_{50:50} (ง) แป้ง (จ) PSCG_{100:0:10:10} (ฉ) PSCG_{75:25:10:10} (ซ) PSCG_{50:50:10:10}

รูปที่ 4.4 (ข) แสดงค่าการละลายของฟิล์มสูตรต่างๆ ที่ใส่กลีเซอรอล 20% เมื่อพิจารณาฟิล์ม PS_100 จะเห็นว่า ปริมาณซิทริกแอซิดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์ม PSCG_100:0:10:20 มีความสามารถในการละลายสูงกว่า PSCG_100:0:5:20 ในขณะที่ปริมาณซิทริกแอซิดมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่สัดส่วน 50:50 และ 75:25 แตกต่างออกไปโดยสังเกตได้ชัดว่า ฟิล์ม PSCG_50:50:10:20 มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าฟิล์ม PSCG_50:50:5:20 และฟิล์ม PSCG_75:25:10:20 มีความสามารถในการละลายต่ำกว่า ฟิล์ม PSCG_75:25:5:20 เนื่องจากซิทริกแอซิดซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการละลายลดลงเนื่องจากซิทริกแอซิดเข้ากันได้ดีกับแป้ง ดังที่เห็นได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าซิทริกแอซิดเกิดการแยกเฟสกับ PVA อย่างชัดเจน จึงทำให้ซิทริกแอซิดไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางในฟิล์มที่ไม่ใส่แป้ง

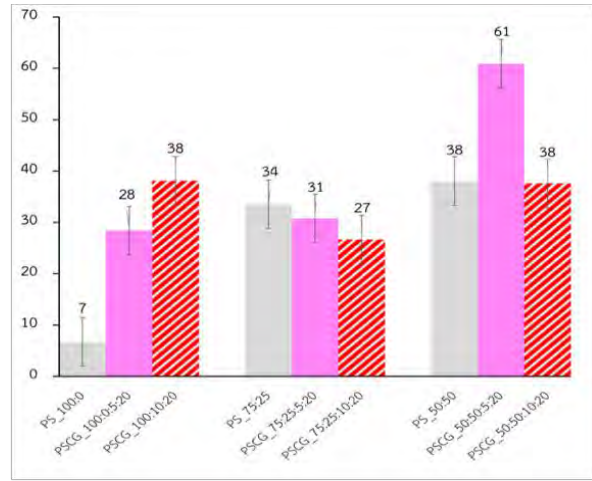
หากเปรียบเทียบกับฟิล์มที่มีองค์ประกอบของ PVA/แป้งที่สัดส่วนเดียวกัน เมื่อใช้ปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นพบว่าฟิล์มมีความสามารถในการละลายมากขึ้น เนื่องจากปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิลจากกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารโมเลกุลเล็กและละลายน้ำได้ดีนี้จะเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำในแก้วฟิล์ม เมื่อพิจารณาที่กลีเซอรอลร้อยละ 10 และมีซิทริกแอซิดเท่ากันเกิดข้อสงสัยว่าในฟิล์มที่มีสัดส่วน 50:50 มีค่าการละลายน้อยกว่าฟิล์มที่มีสัดส่วน 75:25 จึงทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยใช้ซิทริกแอซิดร้อยละ 10 และกลีเซอรอลร้อยละ 10 ผลการทดลองชุดที่ 2 เปรียบเทียบกับชุดที่ 1 แสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าฟิล์มละลายมากขึ้นเมื่อมีสัดส่วนแป้งเพิ่มมากขึ้น หากเปรียบเทียบที่ปริมาณซิทริกแอซิดและกลีเซอรอลเท่ากันจะเห็นว่า ฟิล์ม PSCG_50:50:10:10 จะมีความสามารถในการละลายมากกว่าฟิล์ม PSCG_75:25:10:10 ซึ่งเชื่อว่าจะน่าจะเป็นผลจากแป้งมีความสามารถในการละลายน้ำมากกว่า PVA

ค่าการละลาย (%)



(ก)

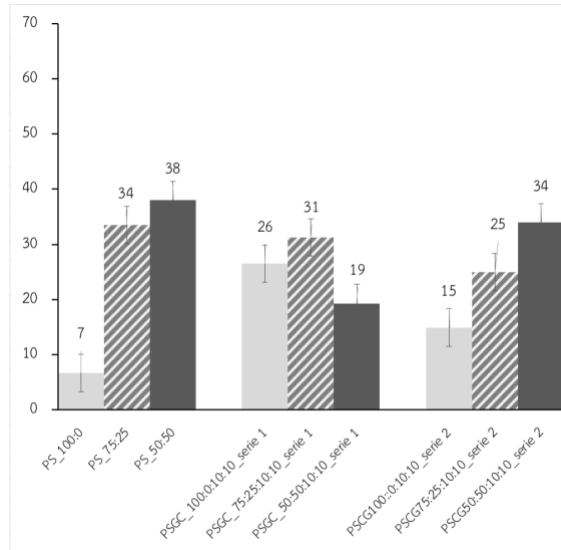
ค่าการละลาย (%)



(ข)

รูปที่ 4.4 ค่าการละลายของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ก) ปริมาณกลีเซอรอล 10% (ข) ปริมาณกลีเซอรอล 20%

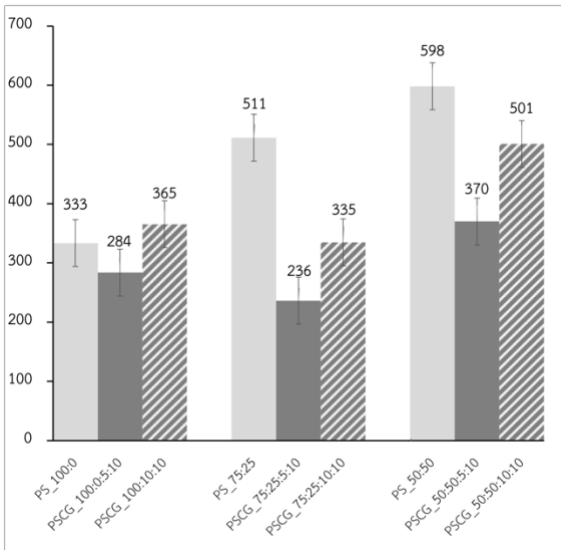
ค่าการละลาย (%)



รูปที่ 4.5 ผลการละลายการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ของฟิล์มที่มีซิติริกแอซิดริกแอซิดร้อยละ 10 และกลีเซอรอลร้อยละ 10

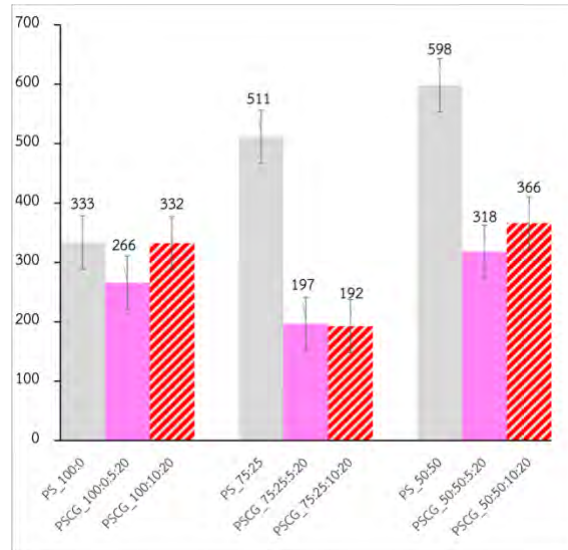
เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการบวมตัวของฟิล์มที่ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 (รูปที่ 4.6 (ก)) และกลีเซอรอลร้อยละ 20 (รูปที่ 4.6 (ข)) ที่สัดส่วนอื่นเท่ากัน พบว่าในฟิล์มที่มีปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 20 มีค่าดัชนีการบวมตัวที่ต่ำกว่าปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 10 เนื่องจากที่กลีเซอรอลร้อยละ 20 มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 เป็นผลให้ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 มีค่าการละลายสูงแต่มีดัชนีการบวมตัวต่ำกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการบวมตัวของฟิล์มที่มีปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ที่สัดส่วนองค์ประกอบอื่นเท่ากัน พบว่าในฟิล์มที่มีปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 10 มีดัชนีการบวมตัวสูงกว่าที่ปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 5 อาจเนื่องจาก ซิทริกแอซิดร้อยละ 5 อาจยังไม่เพียงพอในการเกิดการเชื่อมขวางในฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่เติมซิทริกแอซิดร้อยละ 5 มีความทนต่อความชื้นน้อยกว่าฟิล์มที่ใส่ซิทริกแอซิดร้อยละ 10 เมื่อแช่น้ำจึงทำให้ฟิล์มที่ใส่ซิทริกแอซิดร้อยละ 5 เกิดการละลายน้ำมากกว่าและเกิดการบวมตัวน้อยกว่าฟิล์มที่ใส่ซิทริกแอซิดร้อยละ 10

ดัชนีการบวมตัว (%)



(ก)

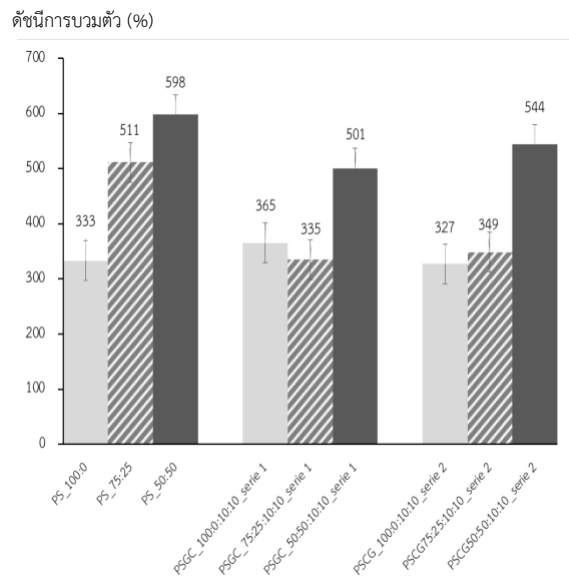
ดัชนีการบวมตัว (%)



(ข)

รูปที่ 4.6 ดัชนีการบวมตัวของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ก) ปริมาณกลีเซอรอล 10% (ข) ปริมาณกลีเซอรอล 20%

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของแป้งต่อดัชนีการบวมตัวของฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่งพบว่า สัดส่วนแป้งในฟิล์มส่งผลให้ดัชนีการบวมตัวมีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6 (ก) และ (ข)) เนื่องจากแป้งมีความสามารถในการดูดความชื้นและบวมตัว ดัชนีการบวมตัวของฟิล์มที่มีสัดส่วนของแป้งเป็นองค์ประกอบพบว่า การเติมซิติริกแอซิดและกลีเซอรอลส่งผลให้ฟิล์มมีดัชนีการบวมตัวลดลงเนื่องจากฟิล์มมีค่าการละลายเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6 (ก) และ (ข)) แต่ในฟิล์ม PSCG_75:25:10:10 มีค่าดัชนีการบวมตัวต่ำกว่าฟิล์ม PSCG_100:0:10:10 จึงทำการทดลองซ้ำโดยใช้ซิติริกแอซิดร้อยละ 10 และกลีเซอรอลร้อยละ 10 ผลการทดลองชุดที่ 2 เปรียบเทียบกับผลการทดลองชุดที่ 1 (รูปที่ 4.7) พบว่าฟิล์มมีดัชนีการบวมตัวเพิ่มขึ้นเมื่อฟิล์มมีสัดส่วนแป้งเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากความสามารถในการดูดความชื้นและการบวมตัวของแป้ง



รูปที่ 4.7 ผลดัชนีการบวมตัวของการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ของฟิล์มที่มีซิติริกแอซิดร้อยละ 10 และกลีเซอรอลร้อยละ 10

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าฟิล์ม PVA/แป้ง สามารถเตรียมได้ด้วยวิธี solution casting โดยใช้เทฟลอนเป็น ภาครอบอบและฟิล์มสามารถแห้งได้ดีที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยเวลาอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของฟิล์ม PVA/แป้ง ที่ อัตราส่วนผสม 100:0 75:25 และ 50:50 ทั้งที่ไม่เติมและเติม C/G ที่อัตราส่วน 5/10 10/10 5/20 และ 10/20 ที่ สังเกตได้ด้วยตาเปล่าพบว่า ฟิล์มที่มีสารเติมแต่งมีผิวสัมผัสที่หยาบและมีความโปร่งใสน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่มีสารเติม แต่ง และปริมาณสารเติมแต่งสามารถปรับปรุงผิวสัมผัสและความโปร่งใสของฟิล์มได้ ภาพสัณฐานวิทยา ภาคตัดขวางของฟิล์มพบว่าในฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่ง แป้งมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนในเนื้อ PVA เมื่อเติมซิทริกแอซิด และกลีเซอรอลพบว่าแป้งสามารถกระจายตัวและแตกตัวได้ดีขึ้น สังเกตได้ชัดในฟิล์ม PVA/แป้ง ที่สัดส่วน 50:50 ที่มีการเติม C/G ร้อยละ 10/10 แป้งมีขนาดอนุภาค 1 ไมโครเมตรเมื่อเทียบกับแป้งมีขนาดอนุภาค 9 ไมโครเมตร ในสูตรที่ไม่มีสารเติมแต่ง เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่า ในกรณีที่ไม่ มีสารเติมแต่ง ฟิล์มที่มีสัดส่วนของแป้งสูงกว่ามีค่าการละลายและดัชนีการบวมตัวสูงกว่า ในกรณีที่มี C/G ที่ สัดส่วนต่างกัน พบว่า ในฟิล์มที่มีกลีเซอรอลร้อยละ 20 จะมีการบวมตัวต่ำกว่าแต่มีค่าการละลายสูงกว่าฟิล์มที่มีกลี เซอรอลร้อยละ 10 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR แสดงให้เห็นว่า ปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 10 มีแนวโน้มที่สามารถ เชื่อมขวางโครงสร้างพอลิเมอร์ได้มากกว่าปริมาณซิทริกแอซิดร้อยละ 5

เอกสารอ้างอิง

- [1] Voaraweth Kanjanarnum, Effect of Epoxidize Natural Rubber on Film and Adhesive Properties of Polyvinyl Alcohol. Master's Thesis, Department of Packaging Technology Science, Graduate school, Prince of Songkla University (2012).
- [2] สุทธิณี สีสังค์, “คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สแตร์วุ้นน้ำ,” 2 มีนาคม 2563
- [3] สำนักประชาสัมพันธ์ขอนแก่น. แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร. [Online]. 2559. Available from: https://ewt.prd.go.th/ewt/region1/ewt_news.php?nid=33275&filename=index&nid=33275&filename=index [2021, June 12]
- [4] Sasiprapa Pitiphatharaworachot, Effect of Glycerol on Physical and Thermal Properties of Tapioca Starch Films. Master's Thesis, Department of Forest Products Forestry, Graduate School, Kasetsart University (2017).
- [5] Zou G., Jin P., Xin L. Extruded Starch/PVA Composites: Water Resistance, Thermal Properties, and Morphology. Journal of Elastomer and Plastics 40 (2008): 303-316.
- [6] Das K., Ray D., Bandyopadhyay R. N., Gupta A., Sengupta S., Sahoo S., Mohanty A., Misra M. Preparation and Characterization of Cross-Linked Starch/Poly(vinyl alcohol) Green Films with Low Moisture Absorption. Industrial & Engineering Chemistry Research 49 (2010): 2176-2185
- [7] Maiti S., Ray D., Mitra D. Role of Crosslinker on Biodegradation Behavior of Starch/Polyvinylalcohol Blend Films. Journal of Polymer and the Environment 20 (2012): 749-759.
- [8] Shi R., Bi J., Zhang Z., Zhu A., Chen D., Zhou X., Zhang L., Tian W. The effect of citric acid on the structural properties and cytotoxicity of the polyvinyl alcohol/starch films when molding at high temperature. Carbohydrate Polymers 74 (2008): 763-770.
- [9] Yoon S., Chough S., Park H. Properties of Starch-Based Blend Films Using Citric Acid as Additive. II. Journal of Applied Polymer Science 100 (2006): 2554-2561.
- [10] Wu Z., Wu J., Peng T., Li Y., Lin D., Xing B., Li C. and others. Preparation and Application of Starch/Polyvinyl Alcohol/Citric Acid Ternary Blend Antimicrobial Functional Food Packaging Films. Polymers 102 (2017): 1-19.
- [11] Das A., Uppaluri R., Das C. Feasibility of poly-vinyl alcohol/starch/glycerol/citric acid composite films for wound dressing applications. Biological Macromolecules 131 (2019): 998-1007.

ประวัติผู้เขียนโครงการ

นางสาวพรรณพัชร เสวตเลข เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2542 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมปลายจากโรงเรียนวัดมกุฏกษัตริย์ กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2559 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ หลักสูตรพอลิเมอร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในภาคต้นของปีการศึกษา 2560 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายของปีการศึกษา 2563 รวมระยะเวลา 4 ปี

นางสาวอัญญา ดำรงกิจอภิชาติ เกิดเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2541 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมปลายจากโรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2559 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ หลักสูตรพอลิเมอร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในภาคต้นของปีการศึกษา 2560 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายของปีการศึกษา 2563 รวมระยะเวลา 4 ปี