



การศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์



โดย
นายมนตรี แสงทองดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง สำหรับบรรจุภัณฑ์ทาง
การแพทย์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

STUDY PREPARATION ON POLY(VINYL ALCOHOL)/STARCH FILM FOR MEDICAL
PACKAGING



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Engineering (POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING)

Department of MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง สำหรับ บรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์
โดย	นายมนตรี แสงทองดี
สาขาวิชา	วิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญา มหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (ผู้รักษาการแทน)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรัติศัย)	
พิจารณาเห็นชอบโดย	
	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐฉิมา ชัยยุตต์)	
	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกุล)	
	ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย)	
	ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร. ศุภณัฐ ภัทรธีรา)	

620920011 : วิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, แป้งพรีเจลาติไนซ์, ถุงซ็อกผ้าละลายน้ำ, สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม, สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไตรเอมีน

นาย มนตรี แสงทองดี: การศึกษาการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกุล

ปัจจุบันทางการแพทย์ได้มีการใช้งานบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดอ่อน (Flexible packaging) จำพวกฟิล์มพลาสติกเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานสำหรับใส่ผ้าเบี่ยงต่าง ๆ ของผู้ป่วยในโรงพยาบาล เนื่องจากผ้าเบี่ยงเหล่านี้ อาจมีเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น เชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด Escherichia Coli (E. Coli) และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด Staphylococcus Aureus (S. Aureus) รวมถึงไวรัสประเภทต่าง ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาฟิล์มพลาสติกที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ สามารถละลายน้ำและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ โดยผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol, PVOH)) ผสมกับแป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized starch, P-St) และเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) และชนิดไตรเอมีน (TRIAEEN) ซึ่งขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกผ่านกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blown film extrusion) โดยงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ PVOH/P-St (90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40) โดยผสมกลีเซอรอล (Glycerol, G) 20 phr ต่อโครงสร้างทางเคมี สมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ สมบัติทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St พบว่าเมื่อเติม P-St ใน PVOH/G ปริมาณสูงขึ้น ทำให้ฟิล์มมีสมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการละลายลดลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสมบัติทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเติม P-St ใน PVOH/G ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก อนุภาค P-St เกิดการกระจายตัวใน PVOH/G ได้ดี ทำให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ดีที่สุด แต่งานวิจัยนี้เลือกฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในตอนที่ 2 เนื่องจากฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 มีสมบัติใกล้เคียงกับฟิล์มที่ใช้ทั่วไปทางการค้า (Commercial) และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เยอะกว่าฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ถึง 2 เท่า ตอนที่ 2 ศึกษาชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (HPQM และ TRIAEEN) และปริมาณ (500, 1000 และ 1500 ppm) ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St พบว่า ฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus สูงกว่าฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAEEN เมื่อพิจารณาผลของปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่า ฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM 1000 ppm สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ได้ 100% ส่วนฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ผสม HPQM 500 ppm สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ได้ 100% ในขณะที่ฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAEEN 1500 ppm สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ได้ 93.14% และ ชนิด S. Aureus ได้ 100% ดังนั้น ฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ผสม HPQM 1000 ppm เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตถุงซ็อกผ้าละลายน้ำ

620920011 : Major (POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING)

Keyword : Poly (vinyl alcohol), Pregelatinized starch, Water soluble laundry bag, HPQM, TRIAMEEN

MR. MONTREE SANGTHONGDEE : STUDY PREPARATION ON POLY(VINYL ALCOHOL)/STARCH FILM FOR MEDICAL PACKAGING THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR POONSUB THREEPOPNAKUL, D.Eng.

Presently, there are many applications for flexible plastic packaging. It's used for containing the infected clothes of patients in the hospital because these infected clothes can contain a variety of pathogenic bacteria, such as Escherichia Coli (E. Coli) and Staphylococcus Aureus (S. Aureus), as well as different types of viruses. The goal of this study was to develop poly (vinyl alcohol) (PVOH) and pregelatinized starch (P-St) blend films by adding HPQM and TRIAMEEN antibacterials for biodegradable, water-soluble, and antibacterial film packaging. The blend films were produced by blown film extrusion. This research was divided into two parts. Firstly, the effect of PVOH/P-St weight ratios (90:10, 80:20, 70:30, and 60:40) with a fixed glycerol content (G) of 20 phr on the chemical structure, rheological properties, thermal properties, water solubility, mechanical properties and morphological properties of PVOH/G/P-St blend films. As a result, the addition of higher P-St content into PVOH/G could reduce the rheological properties, thermal properties, and solubility properties. In addition, when considering morphological and mechanical properties, it was found that PVOH/G with 20% P-St film possessed the highest value in mechanical properties, and P-St had a good distribution in PVOH/G matrix. However, PVOH60/G/P-St40 blend film was selected for blending with the antibacterial agents in the second part because PVOH60/G/P-St40 blend film had the properties similar to those of commercial blend film. Moreover, it could reduce cost of materials. Secondly, the effects of the antibacterial agent types (HPQM and TRIAMEEN) and amounts (500, 1000, and 1500 ppm) on the antibacterial efficacy of PVOH/G/P-St composite films. As a result, PVOH60/G/P-St40 blend film with HPQM was more effective against E. Coli and S. Aureus than the one with TRIAMEEN. Considering the effect of antibacterial content, PVOH60/G/P-St40 blend film with 1000 ppm of HPQM possessed a 100% reduction in bacteria of E. Coli and PVOH60/G/P-St40 blend film with 500 ppm of HPQM possessed a 100% reduction in bacteria of S. Aureus. Furthermore, the PVOH60/G/P-St40 blend film with 1500 ppm of TRIAMEEN possessed a 93.14% reduction in bacteria of E. Coli and 100% of S. Aureus. Finally, PVOH60/G/P-St40 blend with HPQM 1000 ppm is the suitable for producing the water soluble laundry bag.

กิตติกรรมประกาศ

การที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร. ศุภณัฐ ภัทรธีรา ซึ่งเป็นกรรมการสอบในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณิชวุฒิ ชัยยุตต์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ที่สละเวลามาเป็นประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมทั้งตรวจสอบและให้คำแนะนำสำหรับการแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน คุณพินิจ เจียนระลึก นักวิทยาศาสตร์ และคุณไพโรจน์ ตั้งศุภราช วิศวกรประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทความรู้ความเข้าใจในด้านต่าง ๆ และสนับสนุนงานวิจัยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาและการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณคุณคุณทิพาภรณ์ ทรัพย์สมบูรณ์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สอนการเพาะเลี้ยงและสนับสนุนเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินมาด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณบริษัท สยามอติฟายด์ สตาร์ท จำกัด ที่สนับสนุนแบ่งฟรีเจลาติน และบริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด ที่สนับสนุนสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่สนับสนุนการขึ้นรูปฟิล์ม ทำให้งานวิจัยนี้สามารถดำเนินมาได้ด้วยความสะดวก

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 และทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาตรีทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณพ่อแม่และครอบครัวที่คอยสั่งสอน และสนับสนุนทุกเรื่องมาโดยตลอด รวมถึงเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้สามารถก้าวผ่านอุปสรรคต่าง ๆ มาได้จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	๗
สารบัญรูปภาพ.....	๘
บทที่ 1 บทนำ (Introduction).....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (Research objectives).....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย (Research hypothesis).....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย (Research scope).....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVOH).....	5
2.1.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	5
2.1.2 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	6
2.1.3 เกรดและสมบัติทั่วไปของเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	7
2.2 แป้ง (Starch).....	8
2.2.1 โครงสร้างของแป้ง.....	8
2.2.2 สมบัติทั่วไปของแป้ง.....	9
2.2.3 แป้งดัดแปร (Modified starch).....	11

2.3 แบคทีเรีย (Bacteria)	12
2.3.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย	12
2.3.2 ชนิดของแบคทีเรีย.....	13
2.4 การควบคุมเชื้อแบคทีเรีย	15
2.4.1 วิธีทางกายภาพ (Physical control)	15
2.4.2 วิธีทางเคมี (Chemical control).....	16
2.5 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial agent).....	18
2.5.1 ความหมายของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	18
2.5.2 ชนิดของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Antimicrobials)	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review of related literature).....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย (Research methodology).....	40
3.1 วัสดุและวิธีการทดลอง.....	40
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	40
3.1.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ.....	41
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	42
3.2.1 ศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	42
3.2.2 ออกแบบวิธีการทดลอง และวางแผนการทดลอง.....	42
3.2.3 เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ใน การสังเคราะห์ในแต่ละการทดลอง	42
3.2.4 ดำเนินงานวิจัย	42
3.3 แผนผังแสดงการดำเนินงาน	52
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	54

4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งพรีเจลาตีไนซ์	54
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์	54
4.1.2 การศึกษาสมบัติการไหลของเม็ดผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/ แป้งพรีเจลาตีไนซ์	58
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์	62
4.1.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์	68
4.1.5 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาตีไนซ์ของแป้งของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์	71
4.1.6 การศึกษาสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์	73
4.1.7 การศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ กลีเซอรอล/ แป้งพรีเจลาตีไนซ์	76
4.1.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์	79
4.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์/ สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	85
4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	86
4.2.2 การศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	91
4.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	97

4.2.4 การศึกษาสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรี เจลาติน/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	99
4.2.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/ แป้งพรีเจลาติ น/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย.....	101
4.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ กลี เซอรอล/แป้งพรีเจลาติน/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	107
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	112
5.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งพรีเจลาติน ต่อ สมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ และสมบัติเชิงกล ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติน.....	112
5.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติน/ สารยับยั้งเชื้อ แบคทีเรีย	113
5.3 ข้อเสนอแนะ	114
ภาคผนวก	115
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง.....	116
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....	180
รายการอ้างอิง.....	203
ประวัติผู้เขียน	207

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เกรดเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ.....	7
ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกรดต่าง ๆ	7
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	8
ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM).....	19
ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN.....	19
ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o), อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และเอนทัลปี (ΔH) ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง.....	24
ตารางที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVA/CMS.....	30
ตารางที่ 2.8 ค่า MFI ของ PVA/SS.....	31
ตารางที่ 2.9 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพีวีซีคอมพาวด์ที่มีการเติมสารดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม	38
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมและชื่อย่อที่ใช้ในงานวิจัยของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	47
ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการผสมและชื่อย่อที่ใช้ในงานวิจัยของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN	49
ตารางที่ 3.3 Dilution factor ของแต่ละหลอดทดลองที่เจือจางเชื้อแบคทีเรีย.....	50
ตารางที่ 4.1 สมบัติการไหล, ความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของ PVOH และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	59
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (T_d) ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค TGA.....	64

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	69
ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาติไนซ์ (%Gelatinized starch, %GS) ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	72
ตารางที่ 4.5 เวลาในการละลายน้ำ (Water soluble time) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C.....	75
ตารางที่ 4.6 Young's modulus (YM), Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH.....	82
ตารางที่ 4.7 Young's modulus (YM), Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH.....	83
ตารางที่ 4.8 ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของพันธะต่าง ๆ จากเทคนิค FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM, TRIAMEEN, PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	88
ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค TGA..	93
ตารางที่ 4.10 สมบัติทางความร้อนของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	98
ตารางที่ 4.11 เวลาในการละลายน้ำ (Water soluble time) ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C	100
ตารางที่ 4.12 Young's modulus (YM) , Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH.....	104
ตารางที่ 4.13 Young's modulus (YM), Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH.....	105

ตารางที่ 4.14 %Reduction of bacteria ของฟิล์ม PVOH, P-St และฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40.....	110
ตารางที่ 4.15 %Reduction of bacteria ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	111
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI.....	116
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 1).....	116
ตารางที่ ก.3 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 2).....	117
ตารางที่ ก.4 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 3).....	117
ตารางที่ ก.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ครั้งที่ 1).....	118
ตารางที่ ก.6 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ครั้งที่ 2).....	120
ตารางที่ ก.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ครั้งที่ 3).....	122
ตารางที่ ก.8 ข้อมูลที่ได้จากการหาความหนืดแบบ Intrinsic viscosity [η] จากเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	124
ตารางที่ ก.9 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	124
ตารางที่ ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณการเกิดเจลลาติโนสของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค XRD.....	146
ตารางที่ ก.11 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 °C ด้วยเทคนิค Water solubility.....	147

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วยเทคนิค Water solubility	148
ตารางที่ ก.13 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยเทคนิค Water solubility	148
ตารางที่ ก.14 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 °C ด้วยเทคนิค Water solubility	149
ตารางที่ ก.15 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วยเทคนิค Water solubility	149
ตารางที่ ก.16 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยเทคนิค Water solubility	150
ตารางที่ ก.17 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM.....	154
ตารางที่ ก.18 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM.....	157
ตารางที่ ก.19 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM	160
ตารางที่ ก.20 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM	164
ตารางที่ ก.21 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	167

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ..... 170

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสำหรับการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 1).....180

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสำหรับการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 182

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสำหรับคำนวณหาปริมาณผลึกของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 183

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลสำหรับคำนวณหาปริมาณการเกิดเจลาติโนซ์ของแข็งของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 184

ตารางที่ ข.5 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ของฟิล์ม PVOH 185



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5

รูปที่ 2.2 แนวโน้มของสมบัติต่าง ๆ ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณการเกิดไฮโดรไลซิสและ น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน 6

รูปที่ 2.3 การพองตัวของเม็ดแป้ง 9

รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการให้ความร้อน 10

รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ 12

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแบคทีเรีย 13

รูปที่ 2.7 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียชนิด Escherichia Coli (E. Coli) 14

รูปที่ 2.8 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียชนิด Staphylococcus Aureus (S. Aureus) 15

รูปที่ 2.9 โครงสร้างสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) 18

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN 19

รูปที่ 2.11 สเปกตรัม FTIR ของฟิล์มผสมแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ 20

รูปที่ 2.12 สมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ (a) Tensile strength และ (b) Elongation at break 21

รูปที่ 2.13 ภาพ SEM ของฟิล์มผสมนาโนคอมโพสิตแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ : (a) S10P0, (b) S7P3, (c) S5P5, และภาพตัดขวาง : (d) S10P0, (e) S7P3, (f) S5P5 22

รูปที่ 2.14 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง 23

รูปที่ 2.15 กราฟ TGA ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง 24

รูปที่ 2.16 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 200, 300, 400, 500 และ 600 ของฟิล์มผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง 25

รูปที่ 2.17 ภาพ SEM ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งที่อัตราส่วนต่างๆ: (a) STARCH; (b) PVA; (c) PVA-GS (50/50); (d) PVA-GGS (50/50) ผสมกับ ก ลี เซ อ ร อ ล (16.8%, w/w); (e) PVA-UGS (50/50) ผสมกับยูเรีย (16.8%, w/w); และ (f) PVA-NS (50/50) 26

รูปที่ 2.18 ภาพ SEM ของพื้นผิวของฟิล์ม CMS, PVA และฟิล์มผสม CMS/PVA ที่กำลังขยาย 500x และ 2000x : (a, b) ฟิล์ม PVA; (c, d) ฟิล์ม CMS; (e, f) 80P20A และ (g, h) 60P40A28

รูปที่ 2.19 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมบัติเชิงกล : (a) TS; (b) EB; (c) TM ของฟิล์ม PVA, ฟิล์ม CMS และฟิล์มผสม PVA/CMS29

รูปที่ 2.20 ภาพ SEM ของแป้งมันสำปะหลัง (C), แป้งข้าวเจ้า (R), 50%C และ MP 50%C.32

รูปที่ 2.21 สเปกตรัม FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM-water, Precipitated HPQM และสาร Surfactant33

รูปที่ 2.22 รัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของชิ้นงาน a) PP/HPQM-neu, PP/HPQM-water, PS/HPQM-neu และ b) PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm34

รูปที่ 2.23 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-neu และ (b) PS/HPQM-neu ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm35

รูปที่ 2.24 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของชิ้นงาน (a) PP/ HPQM-water และ (b) PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm36

รูปที่ 2.25 สมบัติเชิงกลด้านการต้านทานต่อแรงดัดโค้ง โดย (a) ค่ามอดุลัส และ (b) ความต้านทานแรงดัดโค้งของ PP/HPQM-neu, PP/HPQM-water, PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm37

รูปที่ 2.26 สมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงกระแทกของ PP/HPQM-neu, PP/HPQM-water, PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm37

รูปที่ 2.27 ค่า Tensile modulus, tensile strength และ elongation at break ของพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพีและสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม39

รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{sp}/C กับ C และ $(\ln\eta_{rel})/C$ กับ C45

รูปที่ 3.2 แผนผังการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์52

รูปที่ 3.3 แผนผังการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย53

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	56
รูปที่ 4.2 (a) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH และ Glycerol, (b) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง P-St และ Glycerol และ (c) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH, Glycerol และ P-St.....	57
รูปที่ 4.3 สมบัติการไหลของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	60
รูปที่ 4.4 สมการความสัมพันธ์แบบผกผันของ MFI กับปริมาณ P-St.....	60
รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดปรากฏ (η_{app}) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	61
รูปที่ 4.6 ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (M_v) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	61
รูปที่ 4.7 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ P-St, PVOH และ PVOH/G65	
รูปที่ 4.8 กลไกการสลายตัวทางความร้อนของ PVOH ผ่านกระบวนการ Dehydration.....	66
รูปที่ 4.9 กลไกการสลายตัวทางความร้อนของ P-St.....	66
รูปที่ 4.10 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	67
รูปที่ 4.11 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ที่ First-heat และ Cool step ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	70
รูปที่ 4.12 XRD pattern ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	72
รูปที่ 4.13 ปริมาณการเกิดเจลลาตินไนซ์ของ P-St และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	73
รูปที่ 4.14 เวลาที่ใช้ในการละลายน้ำของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C.....	76
รูปที่ 4.15 ภาพ SEM ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 5000x และ 20000x.....	78
รูปที่ 4.16 ภาพ SEM ของ P-St ที่กำลังขยาย 250x และ 1000x.....	79
รูปที่ 4.17 Young's modulus ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH.....	84

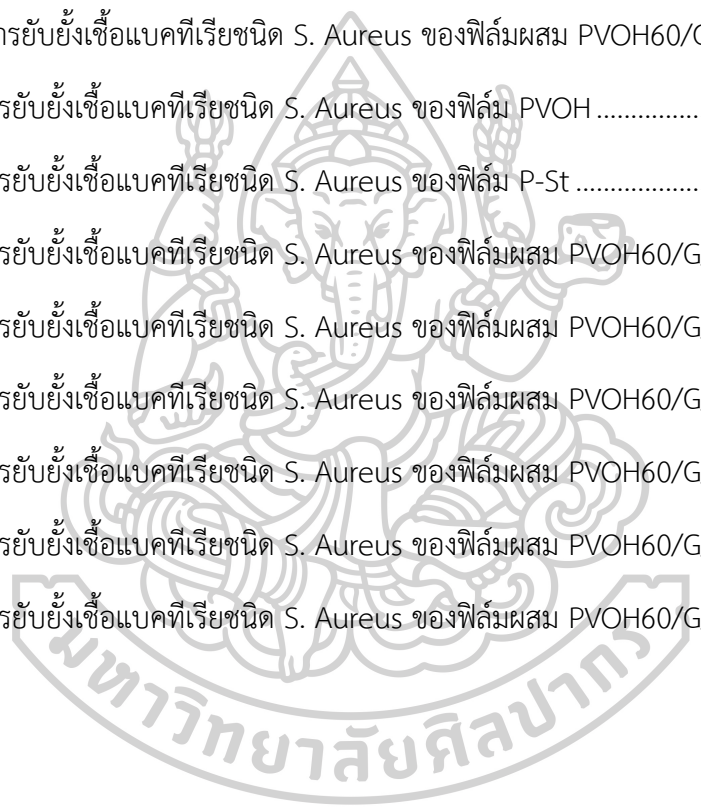
รูปที่ 4.18 Tensile strength ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH	84
รูปที่ 4.19 %Elongation at break ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH	85
รูปที่ 4.20 (a) สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และ (b) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH60/G/P-St40 กับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM	89
รูปที่ 4.21 (a) สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และ (b) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH60/G/P-St40 กับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN	90
รูปที่ 4.22 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	94
รูปที่ 4.23 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	95
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มระหว่างฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN	96
รูปที่ 4.25 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ที่ First-heat และ Cool step ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	99
รูปที่ 4.26 เวลาที่ใช้ในการละลายน้ำของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C	101
รูปที่ 4.27 Young's modulus ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH	106
รูปที่ 4.28 Tensile strength ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH	106

รูปที่ 4.29 Elongation at break ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH	107
รูปที่ 4.30 %Reduction of bacteria ของฟิล์ม PVOH, P-St และฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40	110
รูปที่ 4.31 %Reduction of bacteria ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	111
รูปที่ ก.1 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ P-St.....	125
รูปที่ ก.2 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของกลีเซอรอล.....	125
รูปที่ ก.3 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์ม PVOH.....	126
รูปที่ ก.4 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH/G	126
รูปที่ ก.5 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10	127
รูปที่ ก.6 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20	127
รูปที่ ก.7 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30	128
รูปที่ ก.8 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40	128
รูปที่ ก.9 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM	129
รูปที่ ก.10 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN.....	129
รูปที่ ก.11 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500	130
รูปที่ ก.12 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000.....	130
รูปที่ ก.13 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500.....	131
รูปที่ ก.14 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500	131
รูปที่ ก.15 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000	132
รูปที่ ก.16 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500	132
รูปที่ ก.17 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ P-St.....	133
รูปที่ ก.18 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์ม PVOH.....	133

รูปที่ ก.19 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH/G	134
รูปที่ ก.20 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10.....	134
รูปที่ ก.21 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20.....	135
รูปที่ ก.22 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30.....	135
รูปที่ ก.23 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40.....	136
รูปที่ ก.24 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500.....	136
รูปที่ ก.25 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000	137
รูปที่ ก.26 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500	137
รูปที่ ก.27 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500.....	138
รูปที่ ก.28 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000.....	138
รูปที่ ก.29 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500.....	139
รูปที่ ก.30 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของ P-St.....	139
รูปที่ ก.31 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์ม PVOH.....	140
รูปที่ ก.32 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH/G.....	140
รูปที่ ก.33 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10.....	141
รูปที่ ก.34 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20.....	141

รูปที่ ก.35 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30.....	142
รูปที่ ก.36 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40.....	142
รูปที่ ก.37 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500	143
รูปที่ ก.38 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000	143
รูปที่ ก.39 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500	144
รูปที่ ก.40 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500.....	144
รูปที่ ก.41 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000.....	145
รูปที่ ก.42 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500.....	145
รูปที่ ก.43 XRD pattern ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ..	147
รูปที่ ก.44 ภาพ SEM ของ P-St ที่กำลังขยาย; (a) 250x และ (b) 1000x.....	150
รูปที่ ก.45 ภาพ SEM ของฟิล์ม PVOH ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x	151
รูปที่ ก.46 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH/G ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x.....	151
รูปที่ ก.47 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x.....	152
รูปที่ ก.48 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x.....	152
รูปที่ ก.49 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x.....	153
รูปที่ ก.50 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x.....	153
รูปที่ ก.51 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์ม PVOH.....	170
รูปที่ ก.52 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์ม P-St.....	171
รูปที่ ก.53 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40	171

รูปที่ ก.54 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500	172
รูปที่ ก.55 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000	172
รูปที่ ก.56 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500	173
รูปที่ ก.57 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500	173
รูปที่ ก.58 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000	174
รูปที่ ก.59 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500	174
รูปที่ ก. 60 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40	175
รูปที่ ก.61 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์ม PVOH	175
รูปที่ ก.62 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์ม P-St	176
รูปที่ ก.63 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500....	176
รูปที่ ก.64 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000 .	177
รูปที่ ก.65 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500 .	177
รูปที่ ก.66 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500....	178
รูปที่ ก.67 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000..	178
รูปที่ ก.68 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500..	179



บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันทางการแพทย์ได้มีการใช้งานบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดอ่อน (Flexible packaging) จำพวกฟิล์มพลาสติกเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานสำหรับใส่ผ้าเปียกต่าง ๆ ของผู้ป่วยในโรงพยาบาล เช่น ผ้าเปียกธรรมดาและผ้าปนเปื้อนเชื้อโรค ซึ่งปัญหาในการจัดการผ้าเปียกเหล่านี้ คือต้องมีการเคลื่อนย้ายผ้าเพื่อนำไปซักทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรค หากมีการสัมผัสกับผ้าเปียกเชื้อโรคโดยตรงนั้นจะทำให้เกิดการแพร่กระจายสู่ผู้ปฏิบัติงาน ผู้ป่วยหรือสิ่งแวดล้อมได้ อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้คนทั่วไปเกิดการติดเชื้อโรคได้ โดยทั่วไปแล้วผ้าเปียกเหล่านี้จะมีเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia Coli* (E. Coli) และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *Staphylococcus Aureus* (S. Aureus) เป็นส่วนใหญ่ รวมถึงไวรัสประเภทต่าง ๆ ที่มาจากการสัมผัสเลือด สารน้ำและสารคัดหลั่งจากร่างกาย เช่น น้ำคร่ำ น้ำอสุจิ น้ำลาย เสมหะ หนอง อูจจาระ และปัสสาวะ ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคหิวาตกโรค โรคปอดบวมหรือปอดอักเสบ โรคท้องร่วง ฯลฯ ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นถุงพลาสติกสำหรับใส่ผ้าปนเปื้อนเชื้อโรคเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถุงพลาสติกที่สามารถกำจัดด้วยการละลายน้ำพร้อม ๆ กับกระบวนการซักล้างได้

โดยจากงานวิจัยของ Liang Chen และคณะ [1] ได้มีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) ผสมกับแป้งข้าวโพด (Corn starch) ด้วยการเติมสารเชื่อมขวางเพื่อประยุกต์ใช้เป็นถุงซักผ้าละลายน้ำหรือฟิล์มคลุมดินสำหรับใช้ในการเกษตร เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินที่มีลักษณะเด่นคือสามารถละลายน้ำได้ มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง เหมาะสำหรับนำไปใช้งานด้านฟิล์มบรรจุภัณฑ์ แต่ฟิล์มพลาสติกที่ผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีข้อเสียคือ ฟิล์มพลาสติกจะมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการใช้แป้งเป็นสารตัวเติม เพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิตฟิล์มพลาสติก เนื่องจากแป้งมีราคาถูกและสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก ทำให้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติกของแป้งเป็นไปได้ยาก แต่จะมีแป้งบางชนิดที่ผ่านการดัดแปรแล้วจะช่วยให้แป้งขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดีขึ้น เช่น แป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized starch) หรือแป้งไฮโดรไลซ์ (Hydrolysed starch) ฯลฯ นอกจากนี้หากต้องการให้แป้งสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดียิ่งขึ้นจะต้องเติมพลาสติกไซเซอร์ เช่น น้ำกลีเซอรอล หรือซอร์บิทอล ฯลฯ [2] แต่งานวิจัยดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในฟิล์ม PVOH/Corn starch สำหรับใช้งานเป็นถุงซักผ้าละลายน้ำ เนื่องจากในระหว่าง

การรอเพื่อที่จะนำผ้าเปียกเชื้อโรคไปผ่านกระบวนการซักล้าง เชื้อแบคทีเรียที่ติดอยู่กับผ้าเปียก อาจแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่สำคัญในการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ในฟิล์มผสม PVOH/Corn starch

งานวิจัยของ Artith Eksirinimitr และคณะ [3] ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของการเติม สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ ชนิดเฮซพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวชิน (HPQM-neu) และชนิดเฮซพีคิวเอ็มแบบสารละลาย (HPQM-water) ในพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน เพื่อทำเป็นกล่องบรรจุภัณฑ์ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ พบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด E. Coli และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด S. Aureus ได้ และมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใกล้เคียงกัน แต่ราคาของสารยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียชนิด HPQM-neu มีราคาสูงกว่า HPQM-water มาก นอกจากนี้ยังมีสารยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus ได้ เช่น ไนโตรฟูราน ไโรฟลามพิซิน ทองแดง เงิน ไตรเอมีน ฯลฯ แต่งานวิจัยนี้ต้องการฟิล์มสำหรับใช้เป็นถุงซักรีด ผ้า ที่สามารถละลายน้ำได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการซัก น้ำหลังจากกระบวนการซักจะถูกปล่อยทิ้ง ซึ่งหากใช้สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำพวกที่เป็นโลหะหนัก เช่น ทองแดง เงิน ฯลฯ อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN เพราะเป็นสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถละลายน้ำได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นแนวคิดสำคัญของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาฟิล์มพลาสติก ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ สามารถละลายน้ำและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ โดยผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับแป้งพรีเจลาติไนซ์ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมช่วยในการ ลดต้นทุน แล้วใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติก โดยขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกผ่านกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม เพื่อศึกษาสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ สมบัติทางสัณฐานวิทยาและ สมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ นอกจากนี้ยังเติม สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเฮซพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) และชนิดไตรเอมีน (TRIAMEEN) ในฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ เพื่อศึกษา ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/ แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ โดยทำเป็นถุงซักรีดผ้าที่สามารถละลายน้ำได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (Research objectives)

1.2.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งพรีเจลาติไนซ์ ต่อสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

1.2.2 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

1.3 สมมติฐานของการวิจัย (Research hypothesis)

1.3.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งพรีเจลาติไนซ์ มีผลต่อสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ สมบัติทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

1.3.2 ชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย (Research scope)

1.4.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นเกรด MOWIFLEX C-30 มีค่าดัชนีการไหล (190 °C, 21.6 kg) 20-40 g/10min และความหนาแน่น 0.6-0.9 g/cm³ เหมาะสำหรับการขึ้นรูปด้วยการเป่าฟิล์ม

1.4.2 สารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัย คือ แป้งพรีเจลาติไนซ์ เกรด CRISPYTEC 574 มีความหนาแน่น 0.5 g/cm³ ดัดแปรมาจากแป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch)

1.4.3 พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ กลีเซอรอล เกรดวิเคราะห์ มีความหนาแน่น 1.261 g/cm³

1.4.4 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย คือ สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม รูปแบบสารละลาย (HPQM) มีความหนาแน่น 1.05 g/cm³ และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไตรเอมีน (TRIAMEEN) มีความหนาแน่น 0.865 g/cm³

1.4.5 แบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แบคทีเรียแกรมลบชนิด Escherichia Coli (E. Coli) และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด Staphylococcus Aureus (S. Aureus) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อเอง โดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจนกระทั่งทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

1.4.6 การผสมสารผสมด้วยเครื่องผสมอัดรีดเกลียวทวนคู่ (Twin screw extruder) รุ่น HAAKE-SHJ-25 โดยมีความยาวสกรู 360 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm และมีค่า L/D เท่ากับ 144 และขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่องอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blown film extruder) รุ่น HAAKE PolyLab

1.4.7 ทำการศึกษาสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลาย น้ำ สมบัติทางสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ ด้วยเครื่อง Melt flow indexer (MFI), Fourier transform infrared spectroscope (FTIR), Thermogravimetric analyzer (TGA), Differential scanning calorimeter (DSC), Water solubility test, Scanning electron microscope (SEM), Universal testing machine (UTM)

1.4.8 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method, PCA)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลงานวิจัย

1.5.1 เพื่อทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ โดยพิจารณาจากสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

1.5.2 เพื่อทราบชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

1.5.3 เพื่อประยุกต์ฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ โดยทำเป็นถุงซ็อกผ้าที่สามารถละลายน้ำได้

บทที่ 2

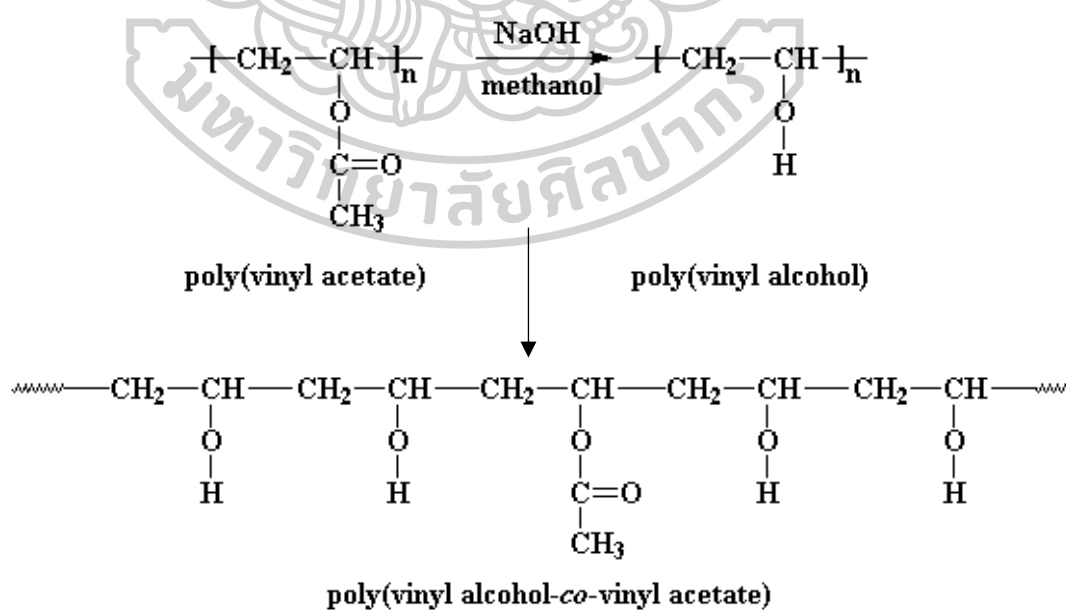
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVOH)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินที่มีสมบัติเด่น คือ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้โดยจุลินทรีย์ สามารถละลายในน้ำ มีสมบัติการยึดติด ทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ และต้านทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้งานในด้านสิ่งทอ กาวหรือสารยึดติด และฟิล์มบรรจุภัณฑ์

2.1.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [4]

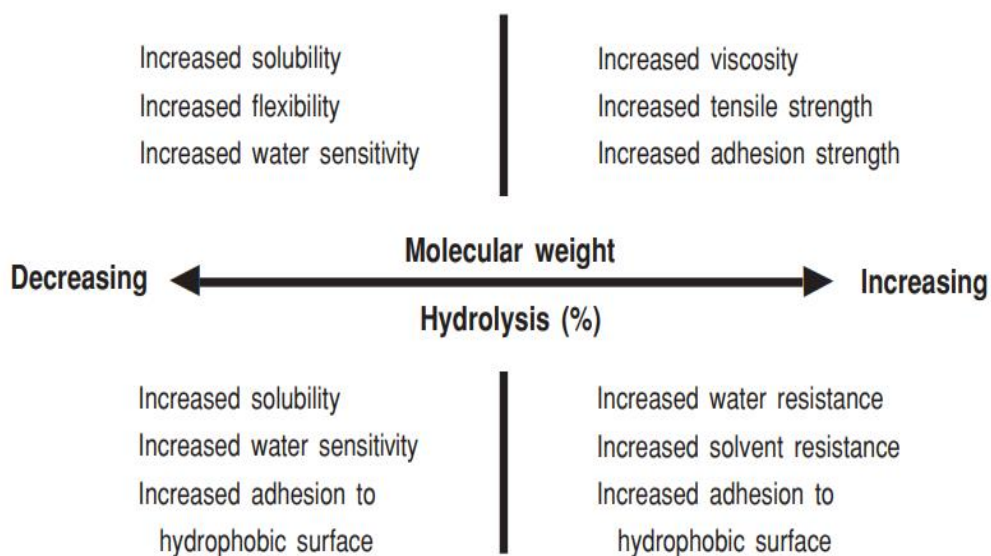
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงจากไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์ เนื่องจากไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์มีโครงสร้างที่ไม่เสถียรต่อกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เพราะไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์จะสลายตัวไปเป็นอะซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ในระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ดังนั้นจึงต้องสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากกลุ่มของไวนิลเอสเทอร์ (Vinyl ester) สารที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate) ซึ่งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการแล้วจะได้โคพอลิเมอร์ (Copolymer) ระหว่างไวนิลแอลกอฮอล์กับไวนิลอะซิเตต ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2.1.2 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [5]

สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับการไฮโดรไลซิส (Degree of hydrolysis) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยหากมีระดับการไฮโดรไลซิสสูง จะมีความสามารถทนต่อแรงกระทำได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสต่ำ เพราะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีระดับการไฮโดรไลซิสสูงมีความเป็นผลึกสูงกว่าและมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลมากกว่า สำหรับความสามารถในการละลายน้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถละลายในน้ำได้อย่างช้า ๆ ในน้ำเย็นแต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยทั่วไปสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส โดยความสามารถในการละลายขึ้นกับระดับการไฮโดรไลซิสของโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสามารถละลายในน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีระดับการไฮโดรไลซิสประมาณร้อยละ 80 สำหรับผลของน้ำหนักโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่ความแข็งแรงความต้านทานต่อการดึงยืด ทนต่อการฉีกขาด และความสามารถในการอ่อนตัวดีขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น



รูปที่ 2.2 แนวโน้มของสมบัติต่าง ๆ ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณการเกิดไฮโดรไลซิส และน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

2.1.3 เกรดและสมบัติทั่วไปของเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [6]

เกรดเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ โดยมีคุณสมบัติทั้งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้มาตรฐานและสามารถใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเหมาะในการใช้งานที่หลากหลายด้านและสามารถใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้ โดยเกรดและสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แต่ละเกรด ดังแสดงตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 เกรดเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ

	C 17	C 30	C 600	C 130T	C 500T	M 05	H 15
3D printing	●	○		○			
Injection molding	○	○	●	●	●	●	●
Sausage casings	○	●					
Film extrusion	○	●					
Extrusion coating		○			●		
Blow molding		○					
Profile extrusion	●	●				○	○
Multi-layer film	●						
Dissolvable downhole tools		○	●			●	●

● = main application area ○ = possible application area

ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของเม็ดพลาสติกชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกรดต่าง ๆ

grade	solubility ^a	MFI [g/10 min]	T _g ^b [°C]	T _m ^b [°C]	max. moisture uptake ^c [%]	density [g/cm ³]
C 17	25°C/3-6min	14-20 ^d	60	170	4	1.25
C 30	25°C/3-6min	20-40 ^d	40	175	7	
C 600	25°C/<3min	15-35 ^e	35	165	7	
C 130T	25°C/3-6min	0.5-2.5 ^e	45	170	4	1.30
C 500T	25°C/<3min	6-10 ^e	40	165	5	1.30
M 05	55°C/>6min	2-8 ^f	45	195	6	
H 15	80°C/>6min	10-30 ^g	40	215	5	

a) Time to dissolve a 200 μm thick film at given temperature under agitation. b) Glass transition temperature (T_g) and peak melting temperature (T_m) from 2nd heating cycle of DSC measurement at a heating rate of 10 K/min. c) Average maximum moisture absorption at 23°C and 50% relative humidity. d) 190°C, 21.6 kg. e) 190°C, 2.16 kg. f) 210°C, 2.16 kg. g) 230°C, 2.16 kg.

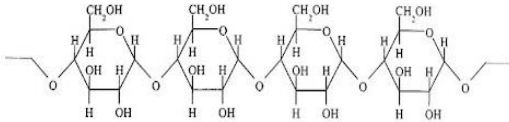
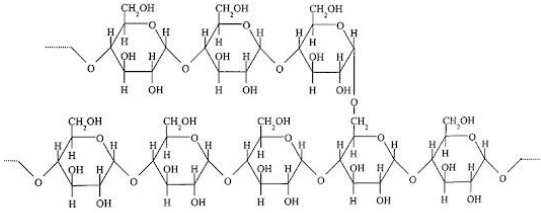
2.2 แป้ง (Starch)

โดยทั่วไปเม็ดแป้ง (Starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่น ๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

2.2.1 โครงสร้างของแป้ง [7]

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดยที่แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไปด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี Anomeric carbon (C_1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือแป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคติน ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่ง ซึ่งคุณสมบัติดังที่แสดงในตารางที่ 2.3

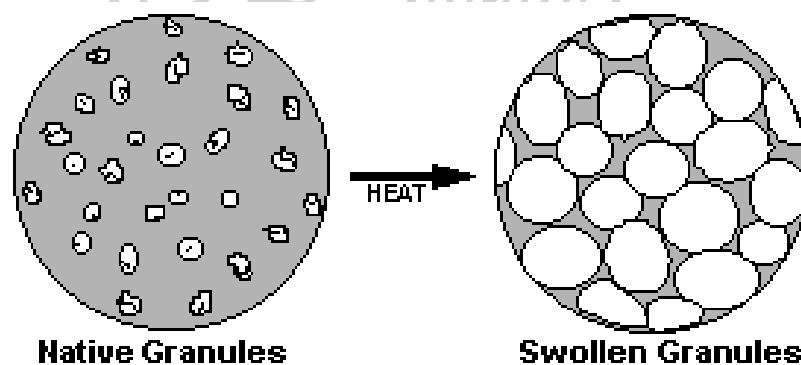
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส (Amylose)	อะไมโลเพคติน (Amylopectin)
	 <p style="text-align: center;">อะไมโลเพคติน</p>
1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งประกอบด้วยกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า

2.2.2 สมบัติทั่วไปของแป้ง [8]

2.2.2.1 การละลายน้ำ (Water solubility)

โดยทั่วไปแป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัว (Swell) น้อยมาก เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ภายในเม็ดแป้งในส่วนที่เป็นผลึกโมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนที่ไม่เป็นผลึก ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ได้บ้างในน้ำเย็น แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำ แป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 °C ขึ้นไป ส่วนที่ไม่เป็นผลึกจะจับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกเริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 โมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกที่ยังยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วนที่เป็นผลึกที่เหลืออยู่จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



รูปที่ 2.3 การพองตัวของเม็ดแป้ง

2.2.2.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

กระบวนการเกิดเจลาตินในเซชัน คือ การให้ความร้อนกับแป้งจนถึงอุณหภูมิประมาณ 60-75 °C เมื่อถึงอุณหภูมิแล้วจะทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นผลึกลดลงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

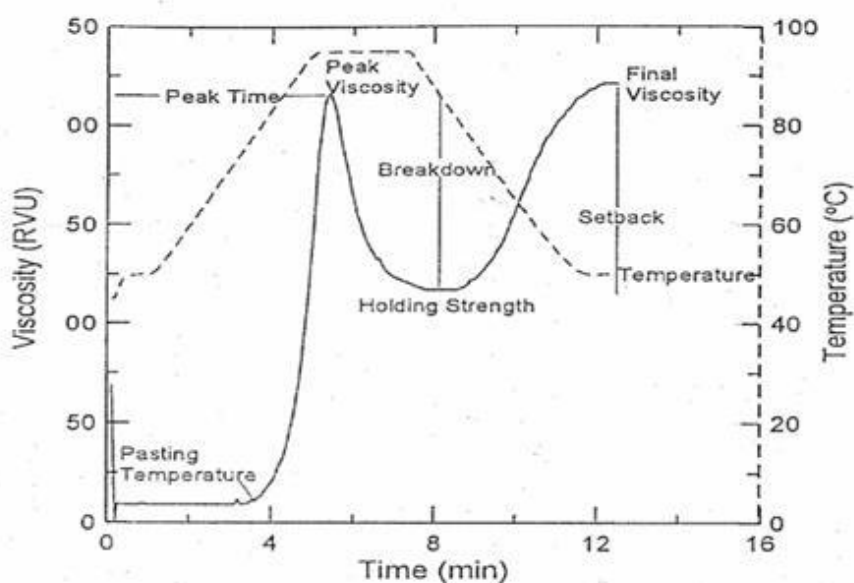
พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้น คือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเม็ดแป้งในลักษณะที่เป็นเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ซึ่งเกิดจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบของเม็ดแป้งที่มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งหายไป

2.2.2.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกที่ร้อนแล้วอุณหภูมิลดต่ำลง โดยขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลของอะไมโลสจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ เป็นผลึก โดยในระหว่างโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันเป็นผลึกใหม่นั้นจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม การคืนตัวของน้ำแป้งสุกโดยทั่วไปจะเกิดได้เมื่อน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูงซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยส่วนมากแป้งที่ได้จากรากหรือหัวจะมีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช

2.2.2.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเกิดจากเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด เม็ดแป้งจะเริ่มเกิดความหนืด และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้ดี ทำให้ปริมาณน้ำรอบเม็ดแป้งลดน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีความหนืดสูงที่สุด (Peak viscosity) คือจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการให้ความร้อน

2.2.3 แป้งดัดแปร (Modified starch) [9, 10]

แป้งดัดแปร หมายถึง แป้งที่ได้จากการนำแป้งจากธรรมชาติมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้มีสมบัติของแป้งเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ เช่น ความหนืด ทนต่อความร้อน ทนต่อกรด และแรงเฉือน กระบวนการผลิตแป้งดัดแปรโดยมีวิธีทางกายภาพ ทางเคมี และเอนไซม์ หรือใช้จุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น

2.2.3.1 แป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized starch) เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรคุณสมบัติด้วยวิธีทางกายภาพโดยการใช้ความร้อน โดยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการอัดรีด (Extrusion) วิธีใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นเป็นละออง (Spray drier) วิธีใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drier) โดยแป้งที่ได้จากการเจลาติไนซ์จะเป็นแป้งสุก ซึ่งโครงสร้างของเม็ดแป้งจะถูกทำให้แตกออกทำให้มีการดูดซับน้ำได้ดีขึ้นและมีสมบัติการละลายน้ำได้ดี

2.2.3.2 แป้งไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed starch) เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรคุณสมบัติด้วยวิธีทางกายภาพ โดยการย่อยสลายโมเลกุลของแป้งให้มีสายพอลิเมอร์สั้นลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ แป้งไฮโดรไลซ์ เช่น น้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup) โดยมีขั้นตอนในการไฮโดรไลซ์แป้ง 3 ขั้นตอน คือ

1. การเจลาติไนซ์ (Gelatinization) เป็นขั้นตอนทำให้เม็ดแป้ง (Starch granule) พองตัวดูดน้ำเข้าไปเต็มที่โดยให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิเจลาติไนซ์ (Gelatinization temperature)
2. การเกิดลิเควแฟชัน (Liquefaction) เป็นการลดความหนืดของแป้งภายหลังการเกิดเจลาติไนซ์ (Gelatinized) การทำให้โมเลกุลแป้งมีสายสั้นลงทำโดยการตัดพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic linkage) ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสด้วยการใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (Alpha-amylase)
3. การเกิดแซ็กคาริฟิเคชัน (Saccharification) เป็นการไฮโดรไลซ์โมเลกุลของแป้งให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และน้ำตาลโมเลกุลคู่ คือ น้ำตาลมอลโทส (Maltose) ด้วยการใช้เอนไซม์

2.2.3.3 แป้งอีเทอร์และเอสเทอร์ เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรคุณสมบัติด้วยวิธีทางเคมีเรียกว่า แป้งไฮดรอกซีเอทิลและแป้งอะซีเตต เตรียมโดยทำปฏิกิริยาระหว่างสารแขวนลอยแป้งในสภาพต่างกับเอทิลีนออกไซด์หรืออะซิติกแอนไฮไดรด์ โดยที่โมเลกุลแป้งจะไม่ถูกทำลาย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความหนืดสูง เหมาะสำหรับใช้ทางด้านฟิล์มที่มีคุณสมบัติแข็งแรง ใส่หรือใช้เป็นสารเคลือบผ้าฝ้ายและเคลือบกระดาษ

2.2.3.4 แป้งดัดแปรโดยเอนไซม์ เป็นแป้งที่ผ่านการดัดแปรคุณสมบัติด้วยการใช้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์ เตรียมโดยใช้เอนไซม์ α -amylase ไปย่อยแป้งสุกจนทำให้มีขนาดโมเลกุล

เล็กลง ดังนั้นจะทำให้คุณสมบัติของแป้งมีความหนืดลดลง และละลายได้ง่ายขึ้น เหมาะกับการใช้งานในด้านอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ

2.3 แบคทีเรีย (Bacteria)

2.3.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย [11]

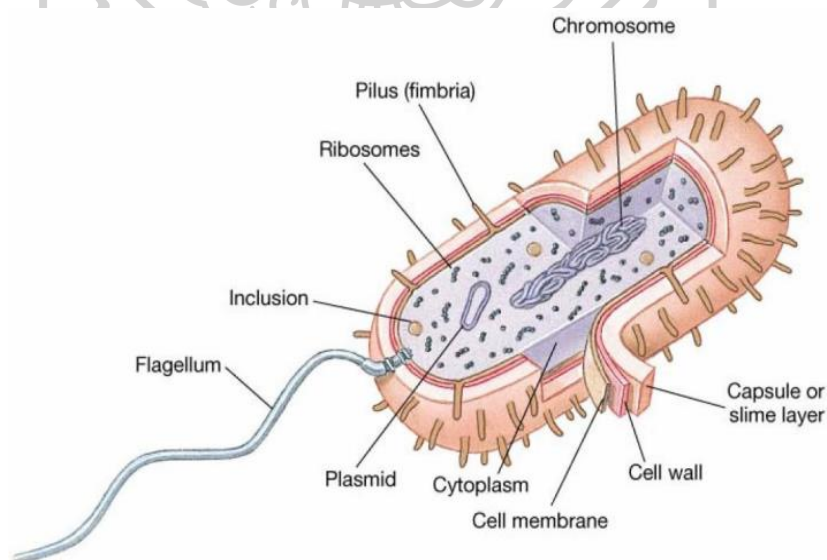
แบคทีเรียเป็นจุลชีพเซลล์เดียวจัดอยู่ในกลุ่มโพรคาริโอต (Prokaryote) ที่มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นทั่วไปแต่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

2.3.1.1 ส่วนผนังเซลล์ (Cell wall) โดยที่ผนังเซลล์จะเป็นผนังที่อยู่ชั้นนอกสุด มีความแข็งแรง และเปรียบเสมือนโครงกระดูกของแบคทีเรีย มีหน้าที่รักษาลักษณะและรูปร่างของแบคทีเรียเอาไว้ โดยมีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 คือ

2.3.1.1.1 ผนังเซลล์ประกอบด้วยน้ำตาลสองชนิด คือ N-acetylglucosamine (NAG) และ N-acetylmuramic acid (NAM) โดยมีการเชื่อมต่อกันเป็นชั้น Mucopetide หรือ Peptidoglycan

2.3.1.1.2 ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย

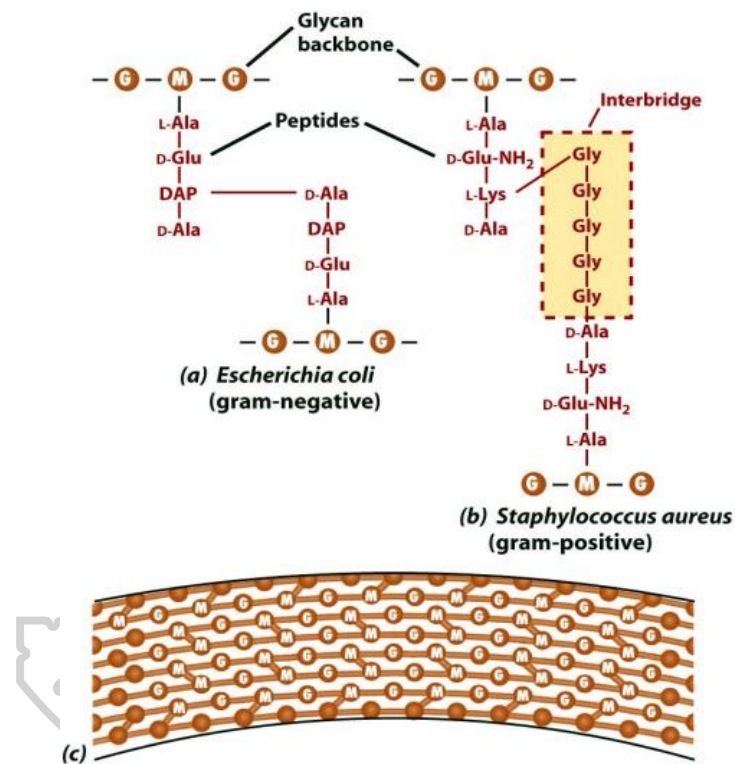
2.3.1.1.3 มีกรด Diaminopimelic (DAP) โดยพบในแบคทีเรียที่ผนังเซลล์ขาดไลซีน คือ แบคทีเรียแกรมลบ



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์

2.3.1.2 ส่วนเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ทำหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนสารอาหารต่าง ๆ และน้ำที่อยู่ภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียให้เหมาะสมในการดำรงชีวิต

2.3.1.3 ส่วนไซโทพลาซึม (Cytoplasm) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในไซโทพลาซึม ประกอบไปด้วยโปรตีน สารอาหารต่าง ๆ เช่น แป้ง ไขมัน และเอนไซม์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำรงชีวิต นอกจากนี้ยังมีกรดนิวคลีอิก หรือดีเอ็นเอ ซึ่งบรรจุรหัสพันธุกรรมสำหรับการควบคุมการดำรงชีวิต และการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์



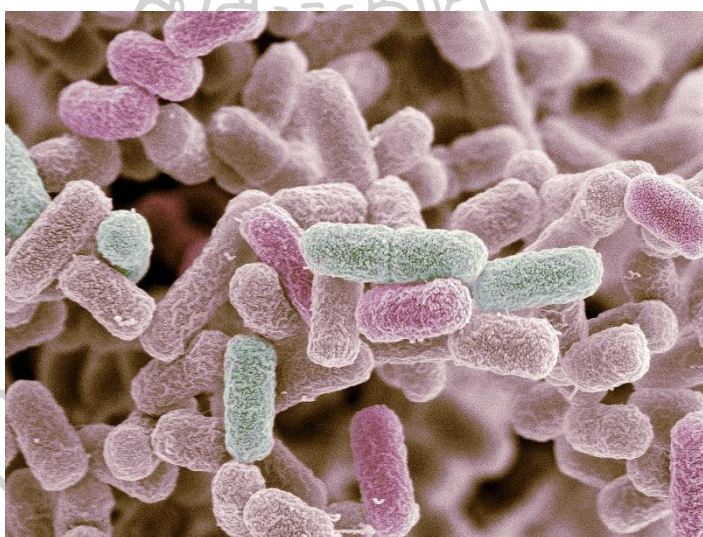
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแบคทีเรีย

2.3.2 ชนิดของแบคทีเรีย [12]

เนื่องจากผ้าเบื่อนที่มาจากผู้ป่วยเหล่านี้จะมีเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia Coli* (*E. Coli*) และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *Staphylococcus Aureus* (*S. Aureus*) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนี้

1. Escherichia Coli (E. Coli)

E. Coli เป็นเชื้อจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีแหล่งอาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น อีกทั้งยังพบในสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ พืช อากาศและดิน E. Coli เป็นแบคทีเรียในวงศ์ Enterobacteriaceae สกุล Escherichia เป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มโคลิฟอร์ม เชื้อ E. Coli มีรูปร่างเป็นแท่ง ติดสี แกรมลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน เคลื่อนที่โดยใช้ Peritrichous flagella ไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 10-40 °C โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 35-37 °C ก่อให้เกิดโรคเมื่อได้รับเชื้อภายใน 18-24 ชั่วโมง ผู้ป่วยจะมีอาการอุจจาระร่วงบ่อยครั้ง อุจจาระเป็นมูกเลือด ปวดท้อง มีอาการชืดเนื่องจากสารพิษของเชื้อไปทำลายเม็ดเลือดแดง จึงเกิดภาวะไตวายได้ แต่ผู้ติดเชื้อบางรายอาจไม่แสดงอาการ

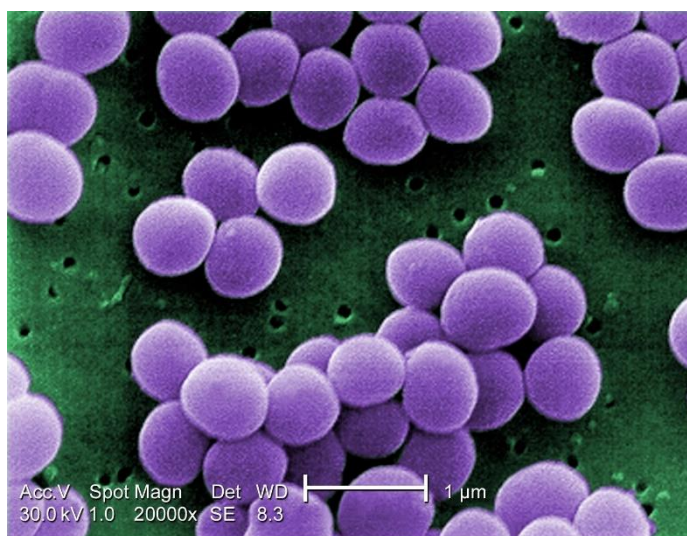


รูปที่ 2.7 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียชนิด Escherichia Coli (E. Coli)

2. Staphylococcus Aureus (S. Aureus)

S. Aureus เป็นแบคทีเรียรูปร่างทรงกลมติดสี แกรมบวก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตร เรียงตัวเป็นกลุ่ม ๆ เหมือนนางพวงองุ่น แต่จะพบเป็นเซลล์เดี่ยว เป็นคู่ และเป็นสายสั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยเชื้อนี้ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนไหว ส่วนใหญ่ไม่มีแคปซูล ให้ผลบวก การติดต่อของเชื้อมาสู่คนติดต่อโดยการรับประทานหรือดื่มน้ำที่มีเชื้อปนเปื้อนเข้าไปประมาณ 1-6 ชั่วโมง เนื่องจากสารพิษไปออกฤทธิ์ที่เยื่อบุลำไส้ ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน

ปวดท้องและท้องเดิน ส่วนมากไม่มีไข้ ในรายที่รุนแรงอาจซื้อคได้แต่ส่วนใหญ่อาการจะดีขึ้นใน 8-24 ชั่วโมง โรคนี้มีลักษณะพิเศษซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการวินิจฉัยได้ คือ มีประวัติเป็นพร้อม ๆ กันและมีระยะพักตัวสั้น อาการรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับจำนวนสารพิษ เชื้อ S. Aureus ที่ผลิตสารพิษส่วนใหญ่มักเป็นพวกที่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ Coagulase ได้ แหล่งที่พบเชื้อ S. Aureus ที่พบได้ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ เช่น จมูก มือ แผลเรื้อรัง ผิวหนังรวมทั้งเสื้อผ้า อากาศและฝุ่นละออง



รูปที่ 2.8 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียชนิด Staphylococcus Aureus (S. Aureus)

2.4 การควบคุมเชื้อแบคทีเรีย

2.4.1 วิธีทางกายภาพ (Physical control) [13]

2.4.1.1 ความร้อน โดยที่ความร้อนจะทำให้เอนไซม์และโปรตีนภายในเซลล์เสียหาย ซึ่งความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิของเชื้อแบคทีเรียก็แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อแบคทีเรีย

2.4.1.2 ความเย็น แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. อุณหภูมิต่ำตู้แช่เย็น โดยมีอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 7 °C ซึ่งความเย็นระดับนี้จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทำให้เจริญเติบโตช้าลง เนื่องจากอัตราการเกิดเมทาบอลิซึมของเซลล์ลดลง

2. การแช่แข็ง โดยปกติอุณหภูมิในช่วง -10 ถึง -20 °C แต่ถ้าเป็นระดับที่เย็นจัดจะลดอุณหภูมิถึง -80 °C โดยจะทำให้เซลล์ตายหรือไม่ทำให้เซลล์ตาย ขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้แข็ง

2.4.1.3 การกรอง เป็นการแยกจุลินทรีย์ออกจากสารละลายเพื่อทำให้ปราศจากเชื้อ โดยนำไปกรองผ่านเยื่อกรองที่มีรูเล็ก ๆ ซึ่งขนาดของรูและวัสดุที่ใช้ทำเยื่อกรองจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน โดยมากมักใช้กับของเหลวที่โดนความร้อนไม่ได้หรือเสื่อมสภาพด้วยความร้อน

2.4.1.4 ความแห้ง คือการทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมหยุดชะงัก จุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนได้ สุดท้ายก็จะตายไป แต่เชื้อบางชนิดสามารถที่จะมีชีวิตรอดได้นานเป็นปี ๆ เช่น ไวรัส และ สปอร์

2.4.1.5 แร่งตันออสโมติก เป็นการควบคุมจุลินทรีย์โดยนำจุลินทรีย์มาไว้ในภาวะที่เซลล์อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์สูงกว่าภายในเซลล์มาก ๆ (Hypertonic solution) สภาวะเช่นนี้จะทำให้เซลล์เหี่ยว เนื่องจากการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ (Plasmolysis) วิธีนี้ไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ เป็นเพียงการยับยั้งการเจริญเท่านั้น

2.4.1.6 รังสี โดยรังสีจะอยู่ในช่วงคลื่นที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ รังสีที่มีการแตกตัวให้อิออน ได้แก่ รังสีที่มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาสูง เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับสารพันธุกรรมของจุลินทรีย์ รวมทั้งมนุษย์และสัตว์ มักใช้สำหรับฆ่าเชื้อทางการแพทย์ ส่วนรังสีที่ไม่แตกตัวให้อิออน เช่น Ultraviolet (UV) โดยที่รังสี UV มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ แต่ก็สามารถทำลายเยื่อบุดวงตาและผิวหนังของมนุษย์ และคลื่นไมโครเวฟ มีผลต่อส่วนที่เป็นของเหลวของเซลล์ โดยของเหลวจะดูดซับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเอาไว้ โดยอาจนำไปใช้เพื่อทำลาย Vegetative cell ในอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ สำหรับสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่มีส่วนที่เป็นน้ำจะไม่ถูกทำลายด้วยไมโครเวฟ

2.4.2 วิธีทางเคมี (Chemical control) [13]

2.4.2.1 Phenols และ Phenolics Phenol มีฤทธิ์ในการทำให้โปรตีนเสียสภาพ และมีความสามารถในการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ปัจจุบันไม่ค่อยนำมาใช้ เนื่องจากมีกลิ่นแรง ทำให้ผิวหนังเกิดการระคายเคืองและทำลายเซลล์สมอง สำหรับ Phenolics นั้นเป็นอนุพันธ์

ของ Phenol จึงมีฤทธิ์คล้าย ๆ กัน ข้อดีของสารทั้งคู่นี้คือมีเสถียรภาพสูงและยังทำงานได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่มีสารอินทรีย์

2.4.2.2 Alcohols เช่น Ethanol และ Isopropanol มักใช้ที่ความเข้มข้นระหว่าง 70-95% สามารถทำลายโปรตีนและเยื่อหุ้มเซลล์ ใช้ในการกำจัด Vegetative cell ของแบคทีเรียและเชื้อรา แต่ไม่สามารถทำลายสปอร์ นำมาใช้ฆ่าเชื้อบริเวณผิวหนังของมนุษย์และสัตว์ได้

2.4.2.3 Halogens มีความสามารถในการทำให้โปรตีนเสียสภาพ สารเคมีที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารประกอบไอโอดีน เช่น ทิงเจอร์ไอโอดีน ซึ่งเป็นสารละลายของไอโอดีนในแอลกอฮอล์ ทำให้โปรตีนเสียสภาพโดยเข้าไปรวมตัวกับกรดอะมิโน Tyrosine

2.4.2.4 Chlorhexidine มีความสามารถในการทำลายผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ตกตะกอน ไม่มีความสามารถในการทำลายสปอร์ของแบคทีเรีย

2.4.2.5 Oxidizing Agents มีความสามารถในการทำลายโปรตีนและเยื่อหุ้มเซลล์ โดยจะไป Oxidize องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ Hydrogen peroxide

2.4.2.6 Heavy Metals มีคุณสมบัติเป็น Oligodynamic action คือ สารที่ใช้ในปริมาณน้อยแต่มีประสิทธิภาพในการทำละลายจุลินทรีย์สูง เมื่อรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์จะทำให้โปรตีนเสียสภาพ ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ Copper sulfate, Selenium, Zinc chloride และ Zinc oxide

2.4.2.7 Quaternary Ammonium Compounds มีความสามารถในการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ใช้เป็น Disinfectants และ Skin antiseptics ทำลายเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ มีประสิทธิภาพกว่าแบคทีเรียแกรมลบ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการทำละลาย Fungi amoebas และ Viruses

2.4.2.8 Aldehydes ทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยทำให้โปรตีนภายในเซลล์เสียสภาพ ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ Formaldehyde, Glutaraldehyde และ Glutaraldehyde

2.4.2.9 Sterilizing Gases มีความสามารถในการทำให้โปรตีนเสียสภาพ ตัวอย่างของแก๊สที่มักนำมาใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ ได้แก่ Ethylene Oxide

2.5 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial agent)

2.5.1 ความหมายของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [14]

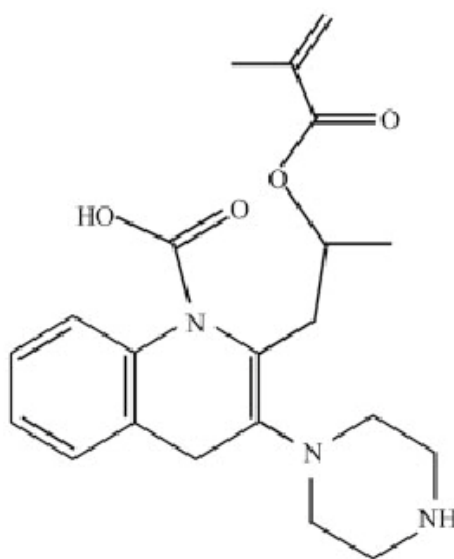
สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหรือสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ คือ สารที่สามารถฆ่า (Microbicide) หรือ หยุดยั้งการเจริญเติบโต (Microbiostasis) ของเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยจุลินทรีย์จะหมายรวมถึงเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์และไวรัส เมื่อจำแนกสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ตามวัตถุประสงค์การใช้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. Disinfectant สามารถใช้ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลายและไม่จำเพาะเจาะจง ใช้กำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวสิ่งของต่าง ๆ ที่ไม่มีชีวิตเพื่อยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อ
2. Antiseptic สามารถใช้ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนผิวหรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต
3. Antibiotic สามารถใช้ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ภายในร่างกาย มีความเฉพาะเจาะจง เดิมจะหมายถึงแต่การกำจัดหรือควบคุมเชื้อแบคทีเรียเท่านั้น แต่ปัจจุบันจะหมายถึงการกำจัดหรือควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ใด ๆ

2.5.2 ชนิดของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Antimicrobials)

2.5.2.1 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเฮชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) [3]

สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเฮชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) เป็นสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียประเภท Disinfectant ใช้ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและรา โดยมีโครงสร้างโมเลกุลของ HPQM ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.4



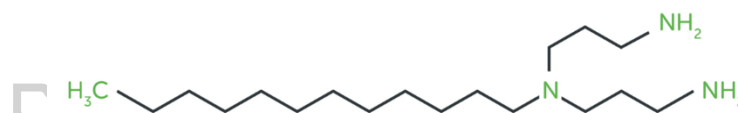
รูปที่ 2.9 โครงสร้างสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเฮชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM)

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM)

Appearance	Liquid
Colour	Clear liquid
Odour	Odorless
Density	1.05 g/cm ³ (25 °C)
Water solubility	Soluble

2.5.2.2 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN [15]

สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิด TRIAMEEN Y12D (N-(3-aminopropyl)-N-dodecylpropane-1,3 diamine Chemical Disinfectant) เป็นสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียประเภท Disinfectant และเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้ได้กับสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา และ ไวรัส รวมไปถึงสารกันบูด โดยมีโครงสร้างโมเลกุลของ TRIAMEEN ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่ามีรูปร่างเป็นเหมือนตัว “Y” โดยมีหมู่เอมีนในโครงสร้างมีส่วนทำที่เป็นกลุ่มโพรพิล 2 กลุ่ม และหมู่เอมีนที่ปลายสายโซ่มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.5



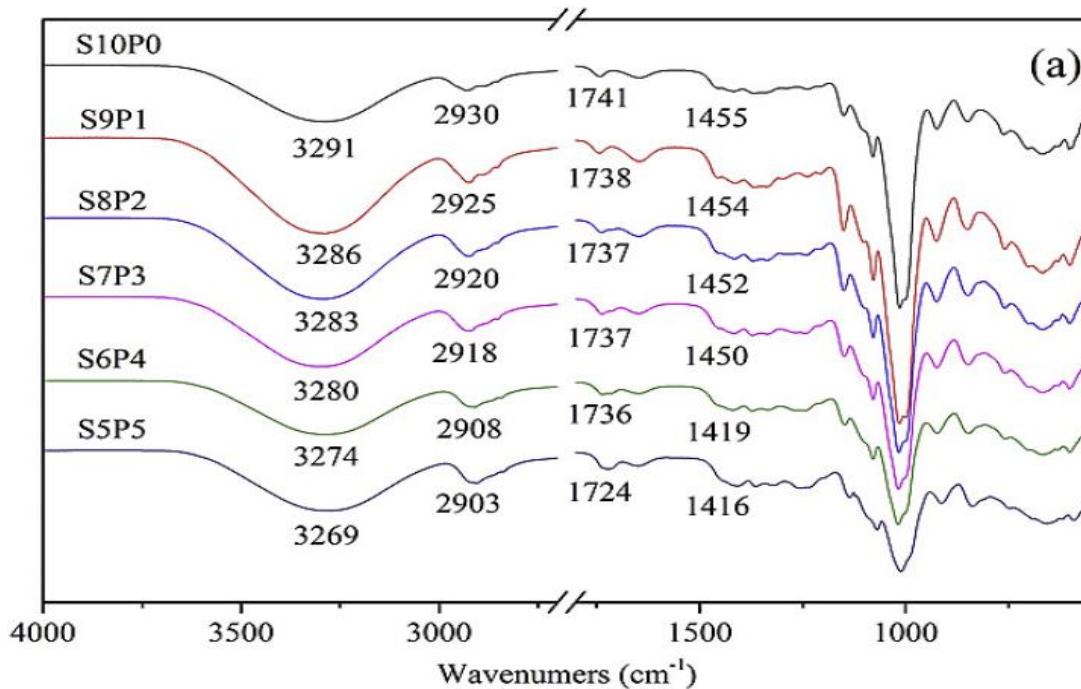
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN

Appearance	Liquid
Colour	Light yellow
Odour	Slight, Ammoniacial
pH	>7
Melting point/range	5 - 20 °C
Boiling point	>300 °C
Flash point	>100–199 °C Method: Pensky-Martens closed cup
Density	0.865 cm ³ (20 °C)
Water solubility	Soluble
Solubility in other solvents	Soluble in ethanol and 2-propanol

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review of related literature)

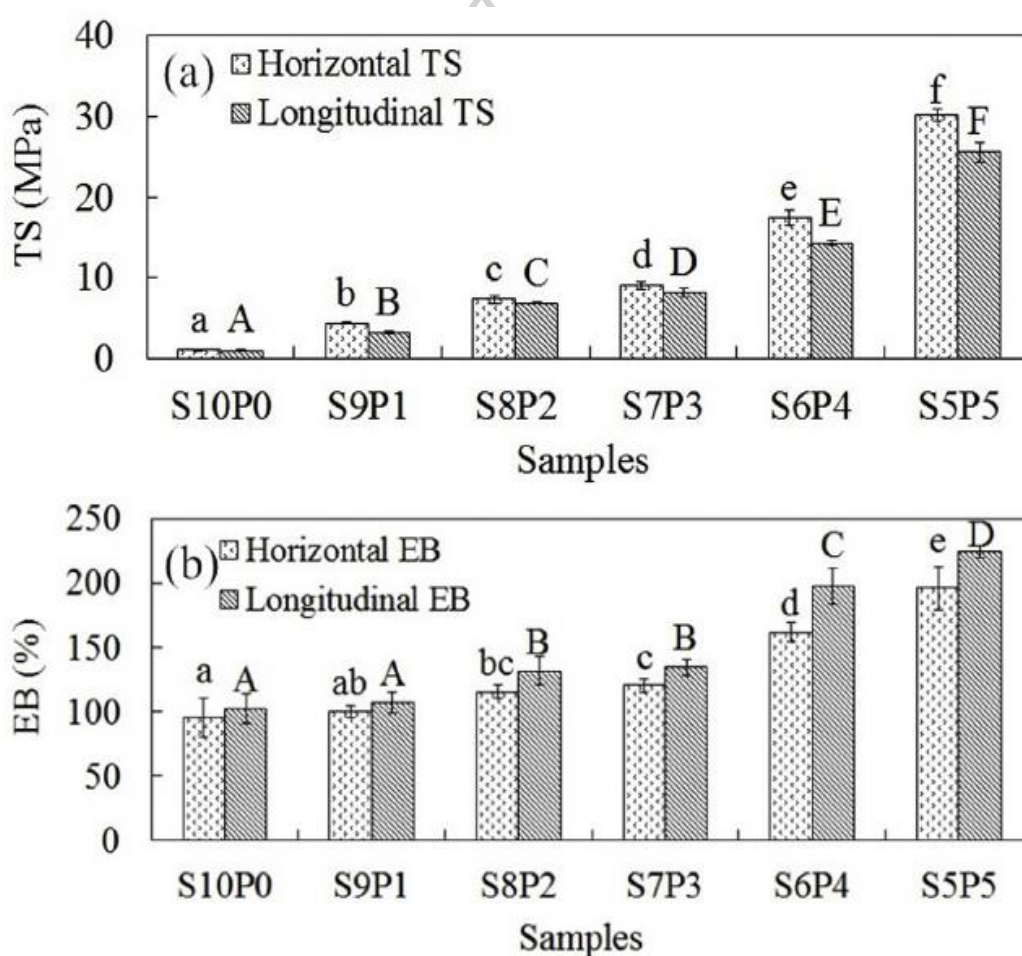
จากงานวิจัยของ Wentao Wang, Hui Zhang, Rui Jia, Yangyong Dai, Haizhou Dong, Hanxue Hou และ Qingbin Guo [16] ได้ศึกษาผลของนาโนฟิลเลอร์และปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อคุณสมบัติของแบง์/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ โดยการขึ้นรูปผ่านกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 2.11 พบว่าเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นโดยสังเกตจากพิคการสั่นของ O-H stretching อยู่ระหว่าง $3200-3400\text{ cm}^{-1}$ ที่สอดคล้องกับของกลุ่มไฮดรอกซิล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ พิคเปลี่ยนแปลงไปที่ความยาวคลื่นต่ำลงสามารถบ่งบอกถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของแบง์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบพิคการสั่นของ C-H stretching อยู่ระหว่าง $2900-2950\text{ cm}^{-1}$ แล้วพบพิคการสั่นของ C-C-O stretching อยู่ที่ 1741 cm^{-1} และพบพิคการสั่นของ O-H bending อยู่ระหว่าง $1400-1707\text{ cm}^{-1}$ ของกลุ่มไฮดรอกซิลของแบง์/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์



รูปที่ 2.11 สเปกตรัม FTIR ของฟิล์มผสมแบง์/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มแบง์/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ โดยศึกษา Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ในทิศทาง Machine direction (MD) และ Transverse direction (TD) ดังแสดงในรูปที่ 2.12a พบว่า เมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีค่า Tensile strength สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สูงขึ้น

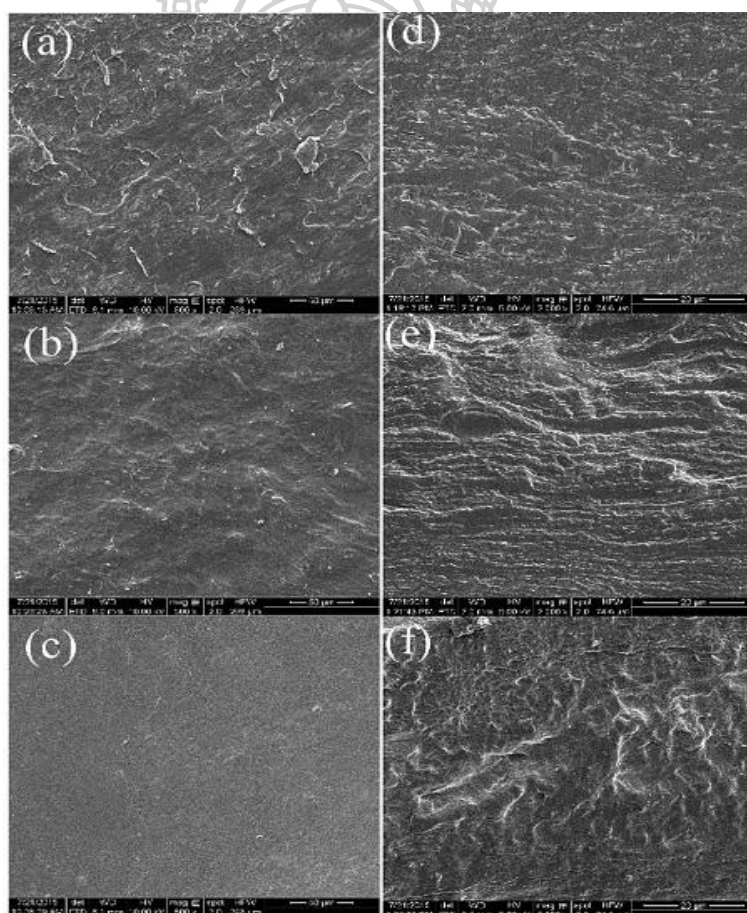
ทำให้เกิดการก่อตัวของพันธะไฮโดรเจนที่หนาแน่นขึ้น โดยพันธะไฮโดรเจนใหม่ที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลแป้งจะถูกแทนที่ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลในกลุ่มแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนั้นการมีอยู่ของพันธะไฮโดรเจนใหม่เหล่านี้จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติแรงดึงของฟิล์มแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ ส่วนรูปที่ 2.12b พบว่า Elongation at break เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมาก โดยที่ Elongation at break ที่สูงที่สุดคือ 224.40% ที่ได้จากฟิล์มแป้งที่ผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 50% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2.12 สมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ (a) Tensile strength และ (b) Elongation at break

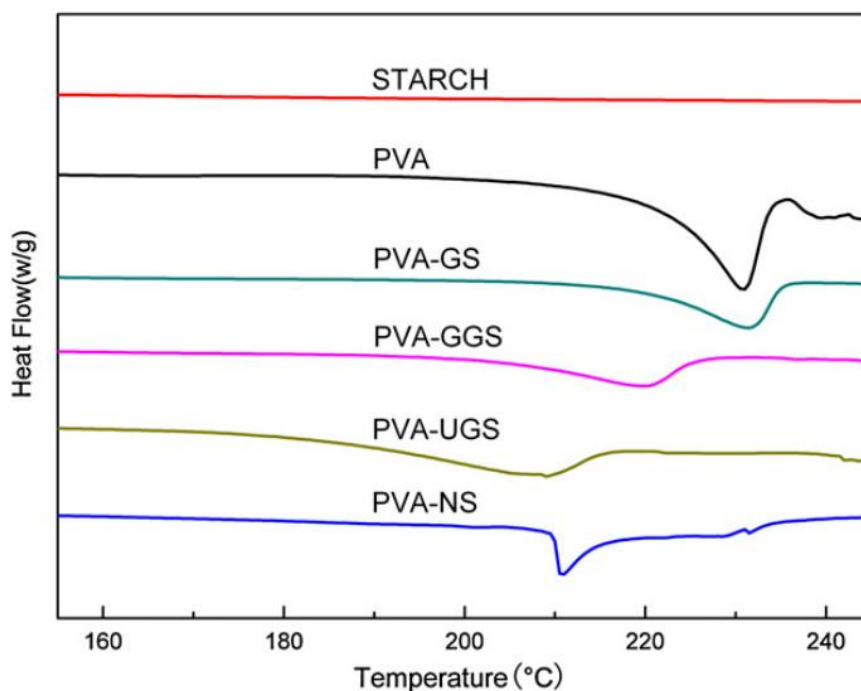
จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ เพื่อดูพื้นผิวและภาพตัดขวางของฟิล์มด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM) พบว่าฟิล์ม S7P3 มีความหยابน้อยกว่าและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับ (รูปที่ 2.13b)

ฟิล์ม S10P0 ซึ่ง S10P0 มีลักษณะโครงสร้างที่ต่อเนื่องแต่มีความหยาบมากและมีอนุภาคกระจัดกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 2.13a) โดยพบอีกว่าพื้นผิวของฟิล์มแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ จะเรียบเนียนขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งพื้นผิวเรียบมากที่สุดเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50% ซึ่งมีลักษณะที่เรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน (รูปที่ 2.13c) ส่วนเมื่อพิจารณารอยแตกหักของพื้นผิวของฟิล์ม S7P3 และ S5P5 แสดงให้เห็นความเข้ากันได้ระหว่างแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ฟิล์ม S10P0 (รูปที่ 2.13d) แสดงพื้นผิวการแตกหักที่ค่อนข้างเรียบซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะทั่วไปของวัสดุที่เปราะ ส่วนฟิล์ม S7P3 แสดงภาพตัดขวางที่ไม่เรียบ โดยมีลายนูนและรอยกดบนพื้นผิวที่แตกหัก (รูปที่ 2.13e) และฟิล์ม S5P5 มีลักษณะเหนียว โดยมีพื้นผิวแตกหักที่หยาบเนื่องจากเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้ง (รูปที่ 2.13f)



รูปที่ 2.13 ภาพ SEM ของฟิล์มผสมนาโนคอมโพสิตแป้ง/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/เคลย์ : (a) S10P0, (b) S7P3, (c) S5P5, และภาพตัดขวาง : (d) S10P0, (e) S7P3, (f) S5P5

จากงานวิจัยของ Xuegang Luo, Jiwei Li และ Xiaoyan Lin [17] ได้ศึกษาผลของ เจลาตินในเซชันและสารเติมแต่งของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง โดยแป้งที่ใช้ คือ แป้งข้าวโพด แล้วเตรียมผ่านวิธีการ Solution casting ซึ่งในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของ ฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งด้วยเทคนิค DSC ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และตารางที่ 2.6 พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเทอร์โมแกรมของแป้งเจลาตินไนซ์ บ่งชี้ว่าแป้งเจลาตินไนซ์มีความเป็น Amorphous ส่วนอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะอยู่ในช่วง 180-240 °C ขึ้นอยู่กับระดับการไฮโดรไลซิส ซึ่งงานวิจัยนี้พบ T_m ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะอยู่ในช่วง 210-230 °C จากนั้นเมื่อนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมแป้งเจลาตินไนซ์ (PVA-GS) และแป้ง ไม่เจลาตินไนซ์ (PVA-NS) พบว่า T_m ของ PVA-GS สูงกว่า PVA-NS เนื่องจากแป้งที่ถูกเจลาตินไนซ์ สามารถเกิดอันตรกิริยาด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงเมื่ออุณหภูมิการเตรียมสูงขึ้น ส่วนเมื่อพิจารณา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมแป้งเจลาตินไนซ์ผสมกับกลีเซอรอล (PVA-GGS) และยูเรีย (PVA-UGS) พบว่า T_m ของ PVA-UGS ต่ำกว่าของ PVA-GGS เนื่องจากยูเรียสามารถมีอันตรกิริยาด้วยพันธะ ไฮโดรเจนกับแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้ดีกว่ากลีเซอรอล ดังนั้นยังพันธะไฮโดรเจน มีความเสถียรและแข็งแรงมากทำให้ค่า T_m ต่ำลง

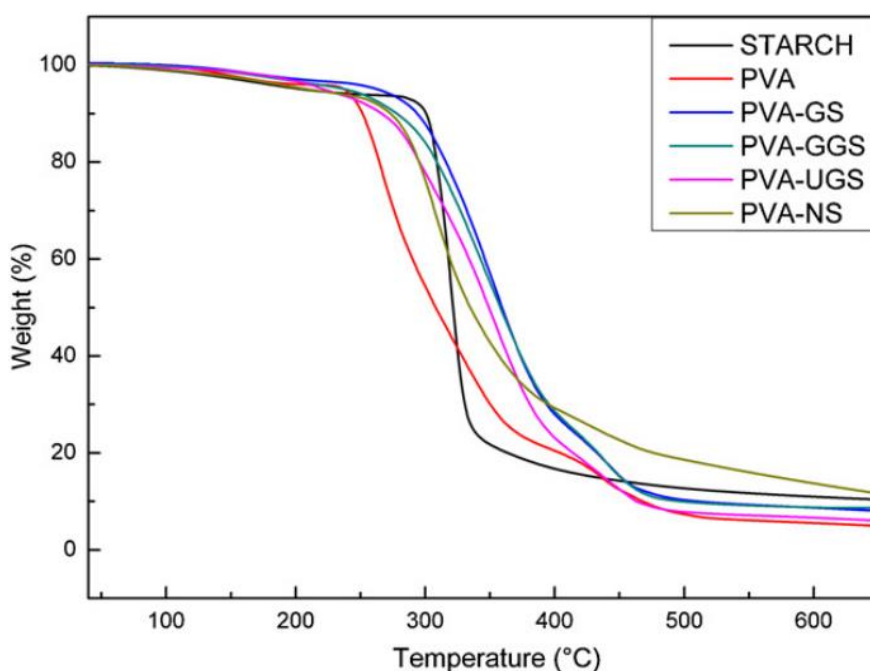


รูปที่ 2.14 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0), อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และเอนทัลปี (ΔH) ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง

Sample	STARCH	PVA	PVA-GS	PVA-GGS	PVA-UGS	PVA-NS
T_0 (°C)	-	222.82	219.61	203.59	186.17	209.91
T_m (°C)	-	230.79	231.32	219.86	208.96	210.75
ΔH (J/g)	-	55.65	36.80	31.58	39.96	15.09

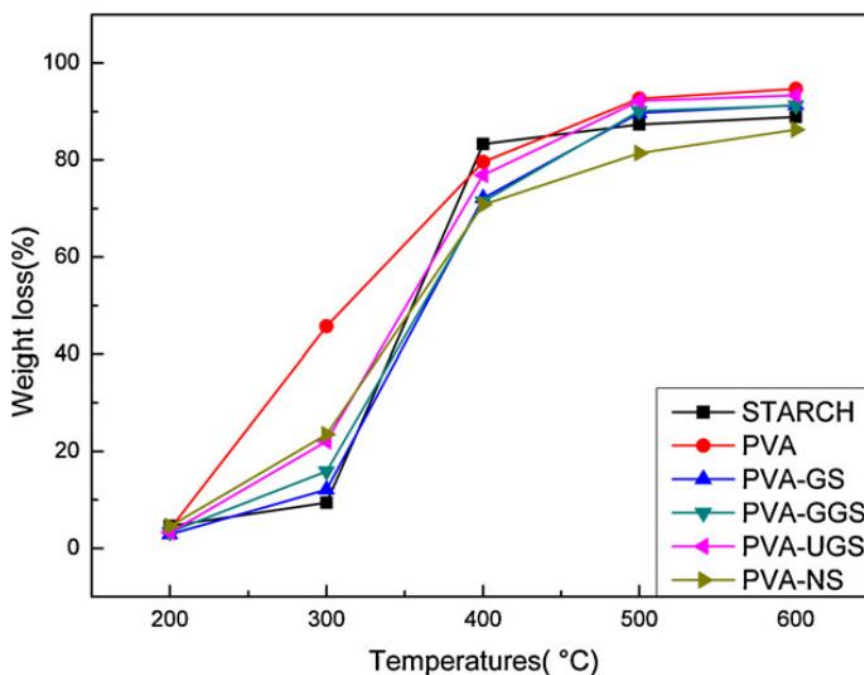
จากการศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 พบว่า การสลายตัวของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง เกิด 3 ชั้น ชั้นแรกเป็นการสลายตัวของน้ำ กลีเซอรอล และยูเรีย ในช่วงอุณหภูมิ 75-200 °C ส่วนชั้นที่สองเป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลของทั้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้ง ในช่วงอุณหภูมิ 300-500 °C และชั้นสุดท้ายเป็นการสลายตัวของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C



รูปที่ 2.15 กราฟ TGA ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง

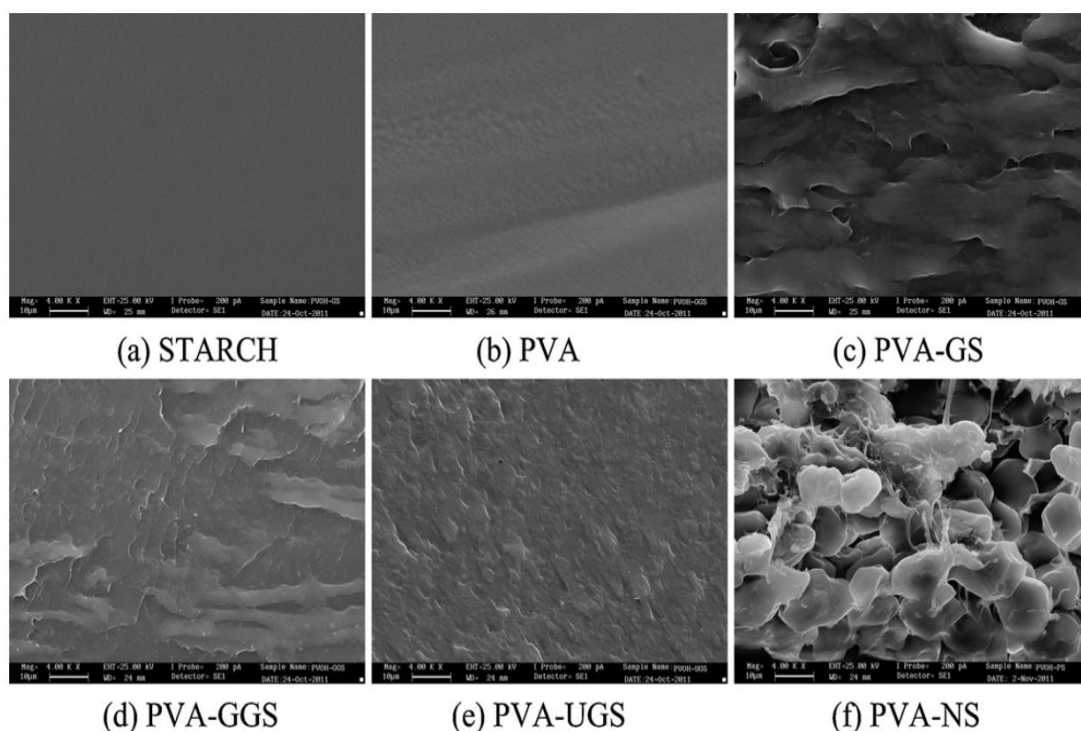
จากการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.16 พบว่า ฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง มีการสูญเสียน้ำหนักลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่อุณหภูมิ 300 °C ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจาก

การเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้งทำให้ฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังบ่งชี้ว่าแป้งมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจเกิดจากการมี Cyclic hemiacetal ในโครงสร้างแป้ง ส่วนการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับแป้งไม่เจลาติไนซ์ (PVA-NS) ในช่วง 300 °C มากกว่าฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับแป้งเจลาติไนซ์ (PVA-GS) ซึ่งอุณหภูมิแป้ง ที่กระจายตัวในเฟสต่อเนื่องของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่งผลให้เกิดการแยกเฟสและการสูญเสียน้ำหนักส่วนใหญ่จะเป็นการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามหลังจากอุณหภูมิ ถึง 400 °C การสูญเสียน้ำหนักของ PVA-NS น้อยกว่า PVA-GS เนื่องจากอุณหภูมิ ของแป้งเจลาติไนซ์ถูกทำลายทำให้อนุภาคแป้งใน PVA-GS ละเอียดและการเกิดเฟสต่อเนื่อง แต่หลังจากอุณหภูมิถึง 600 °C ปริมาณซีเล้าของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีประมาณ 5% ของน้ำหนักเดิม ซึ่งต่ำกว่าฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งที่มีประมาณ 7-10% เนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของแป้งมี Cyclic hemiacetal ดังนั้นจึงให้ปริมาณคาร์บอนตกค้างในระดับสูง



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง

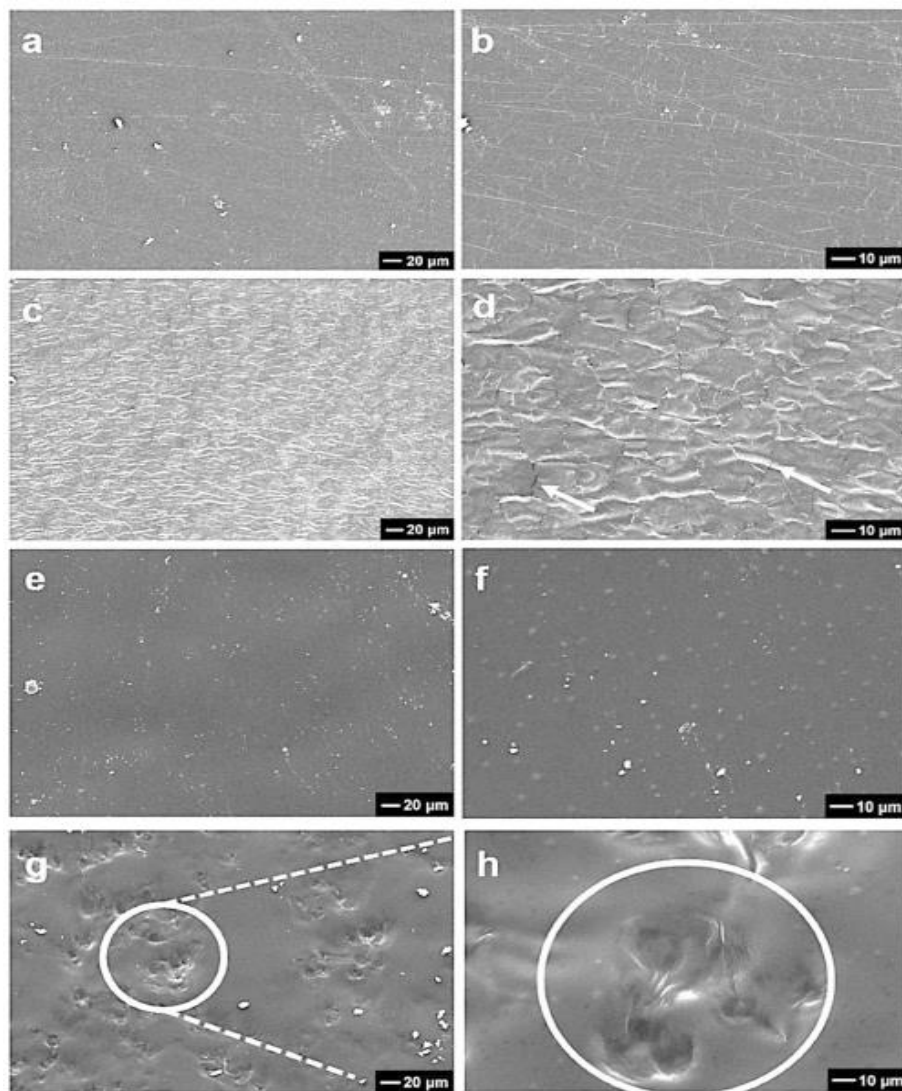
จากการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง ด้วยเทคนิค SEM ดังแสดงในรูปที่ 2.17 พบว่า แป้งเจลาติไนซ์และฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แสดงเฟสกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (รูปที่ 2.17a และ 2.17b) เนื่องจากฟิล์มทั้งสองประกอบด้วยองค์ประกอบเดียว คือแป้งหรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่วนฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง (PVA-GS; PVA-NS) แสดงการแยกเฟสที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.17c และ 2.17f เนื่องจากปริมาณแป้งเยอะเกินไปทำให้ความสามารถในการผสมลดลง แต่เมื่อพิจารณาฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้ง ที่ผสมกับกลีเซอรอล (PVA-GGS) และยูเรีย (PVA-UGS) พบว่ากลีเซอรอลและยูเรียช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้งทำให้เฟสของ PVA-GGS และ PVA-UGS มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งและกลีเซอรอล/ยูเรีย



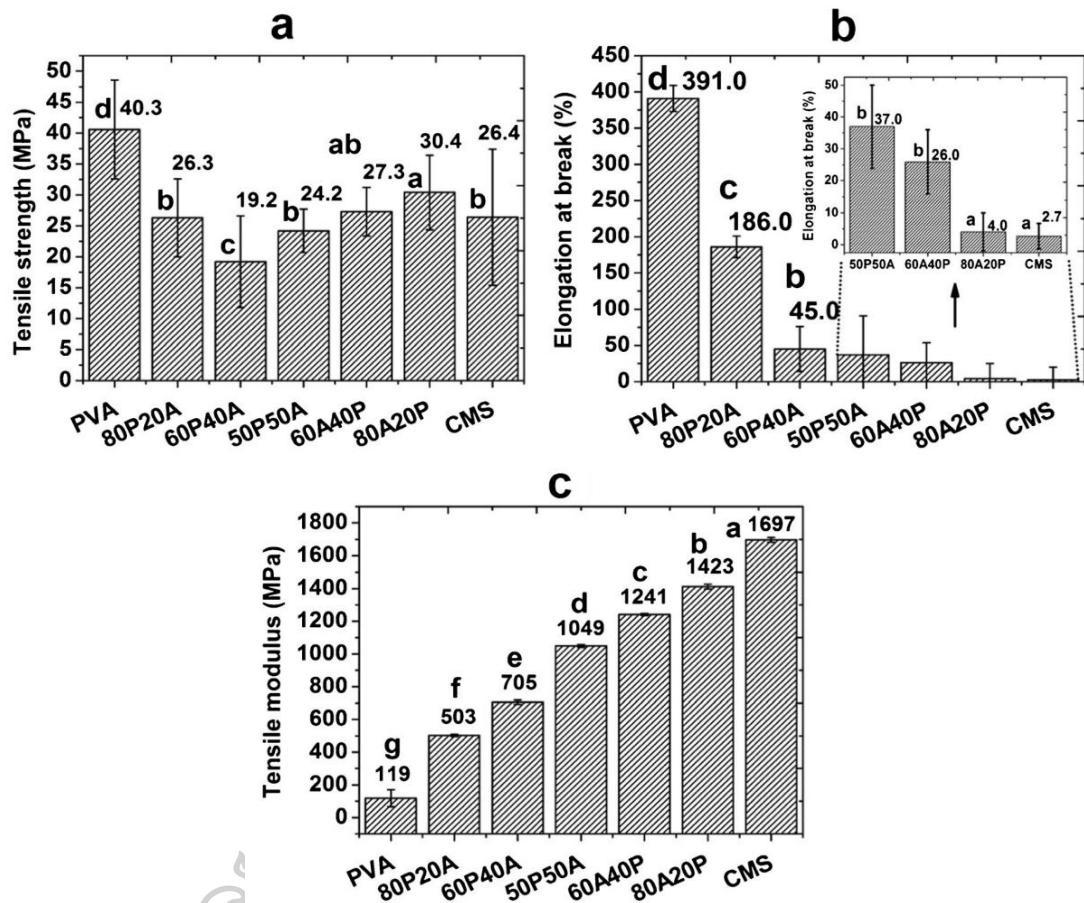
รูปที่ 2.17 ภาพ SEM ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งที่อัตราส่วนต่าง ๆ: (a) STARCH; (b) PVA; (c) PVA-GS (50/50); (d) PVA-GGS (50/50) ผสมกับกลีเซอรอล (16.8%, w/w); (e) PVA-UGS (50/50) ผสมกับยูเรีย (16.8%, w/w); และ (f) PVA-NS (50/50)

จากงานวิจัยของ Mario Guimarães Jr, Vagner Roberto Botaro, Kátia Monteiro Novack, Fábio Gomes Teixeira และ Gustavo Henrique Denzin Tonoli [18] ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังที่ถูกดัดแปร (CMS) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เตรียมจากวิธี Solvent casting ที่ส่งผลต่อสมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งมันสำปะหลังที่ถูกดัดแปร (PVA/CMS) ซึ่งในการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของ PVA/CMS ด้วยเทคนิค SEM ดังแสดงในรูปที่ 2.18 พบว่า ฟิล์ม PVA (รูปที่ 2.18a และ 2.18b) มีพื้นผิวที่สม่ำเสมอต่อเนื่อง เหนียว และไม่มีการเกิดฟองและรอยแตก ส่วนฟิล์ม CMS (รูปที่ 2.18c และ 2.18d) มีรอยแตกร้าวบนพื้นผิวเนื่องจากปริมาณพลาสติกไซเซอร์ค่อนข้างต่ำ ทำให้ฟิล์ม CMS มีความแข็งแต่เปราะมาก ส่วนฟิล์มผสม 80P20A (รูปที่ 2.18e-f) และ 20P80A (รูปที่ 2.18e-f) มีพื้นผิวสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง และแน่นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมอื่นๆ ไม่พบการแตกหัก รอยแตก ความหยاب และฟองอากาศปะทุขึ้นบนพื้นผิวฟิล์ม นอกจากนี้ยังไม่พบการแยกเฟสหรือการแยกชั้นระหว่างพอลิเมอร์ อาจบ่งบอกถึงการมีความเข้ากันได้ ส่วนฟิล์มผสม 50P50A, 40P60A และ 60P40A (รูปที่ 2.18a-f) มีพื้นผิวที่มีความไม่ต่อเนื่องและมีรอยแตกบนพื้นผิวแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ต่ำกว่าฟิล์มผสม PVA/CMS ทั้ง 3 สูตรก่อนหน้านี้

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งมันสำปะหลังที่ถูกดัดแปร (PVA/CMS) โดยศึกษา Tensile strength (TS), Tensile modulus (TM) และ Elongation at break (EB) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 พบว่า ค่าเฉลี่ย TS, TM และ EB ของฟิล์ม PVA คือ 40.3 MPa, 119 MPa และ 391% ตามลำดับ ส่วน ฟิล์ม CMS มีค่าเฉลี่ย 26.4 MPa, 1697 MPa และ 2.7% ตามลำดับ ส่วนฟิล์มผสม PVA/CMS มีค่าที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเทียบกับ TS ของฟิล์ม PVA (40.3 MPa) ส่วนฟิล์มผสมที่มี PVA 80% และ 60% แสดงค่า TS ต่ำสุด (รูปที่ 2.19a) เนื่องจากเมื่อปริมาณ PVA ลดลงจะทำให้ PVA และ CMS มีความเข้ากันได้ต่ำ ส่วนที่ฟิล์มผสม PVA/CMS ที่มี CMS เป็นส่วนผสม 80% มีค่า TS ที่สูง เนื่องจากแป้งมีอะไมโลสทำให้มีความแข็งแรงสูง ส่วนเมื่อพิจารณาค่า EB และ TM พบว่าเมื่อปริมาณ CMS สูงขึ้นทำให้มีความยืดหยุ่นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.19b-c แต่เมื่อเติม PVA ลงในส่วนผสม จะทำให้มีความต้านทานและยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม CMS นอกจากนี้ฟิล์มผสม 80P20A มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นมากขึ้น



รูปที่ 2.18 ภาพ SEM ของพื้นผิวของฟิล์ม CMS, PVA และฟิล์มผสม CMS/PVA ที่กำลังขยาย 500x และ 2000x : (a, b) ฟิล์ม PVA; (c, d) ฟิล์ม CMS; (e, f) 80P20A และ (g, h) 60P40A



รูปที่ 2.19 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมบัติเชิงกล : (a) TS; (b) EB; (c) TM ของฟิล์ม PVA, ฟิล์ม CMS และฟิล์มผสม PVA/CMS

จากการศึกษาสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งมันสำปะหลัง ที่ถูกตัดแปรร (PVA/CMS) ดังแสดงในตารางที่ 2.7 พบว่า เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มผสม PVA/CMS ละลายน้ำมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลในเมทริกซ์หลัก โดยหมู่ไฮดรอกซิลนี้สามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำ ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณ CMS เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำต่ำลง เนื่องจากโครงสร้างของ CMS มีส่วนทำให้การซึมผ่านของน้ำลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง

ตารางที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVA/CMS

Blends ¹ PVA/CMS	Thickness ² (mm)	SOL ³ (%)
100/0	0.062±0.002	21.1±2.11 a
80/20	0.068±0.004	25.4±4.58 b
60/40	0.062±0.001	25.0±3.22 b
50/50	0.058±0.003	23.3±2.16 c
40/60	0.057±0.001	22.8±2.08 c
20/80	0.064±0.002	20.2±3.11 d
0/100	0.056±0.001	18.6±4.23 e

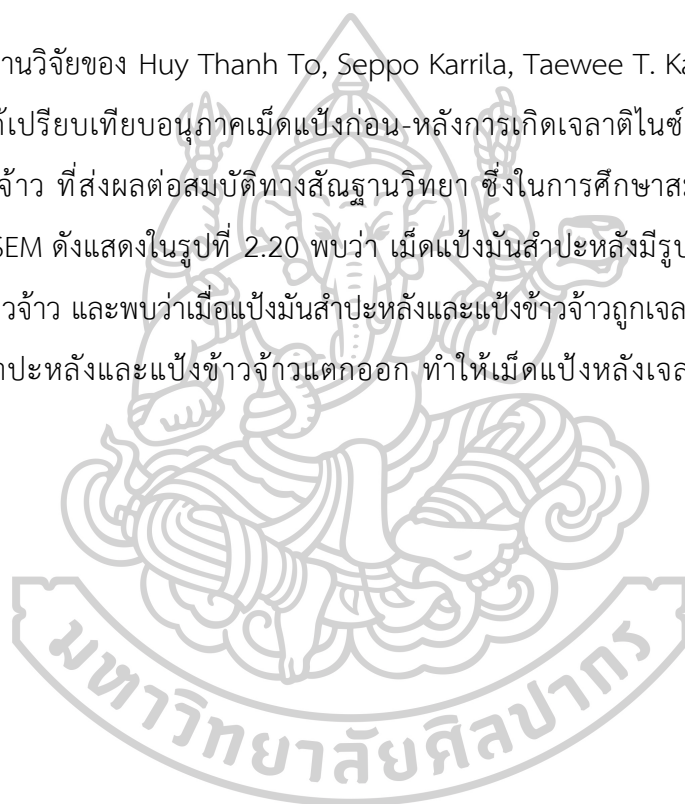
¹ blend produced from polyvinyl alcohol (PVA) and modified cassava starch (CMS; %); ² mean of ten measurements followed by the SD; ³ mean of three measurements followed by the SD. a, b, c, d, e: reported values correspond to the mean±standard deviation. Values within each column followed by different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$) using the Scott-Knott test

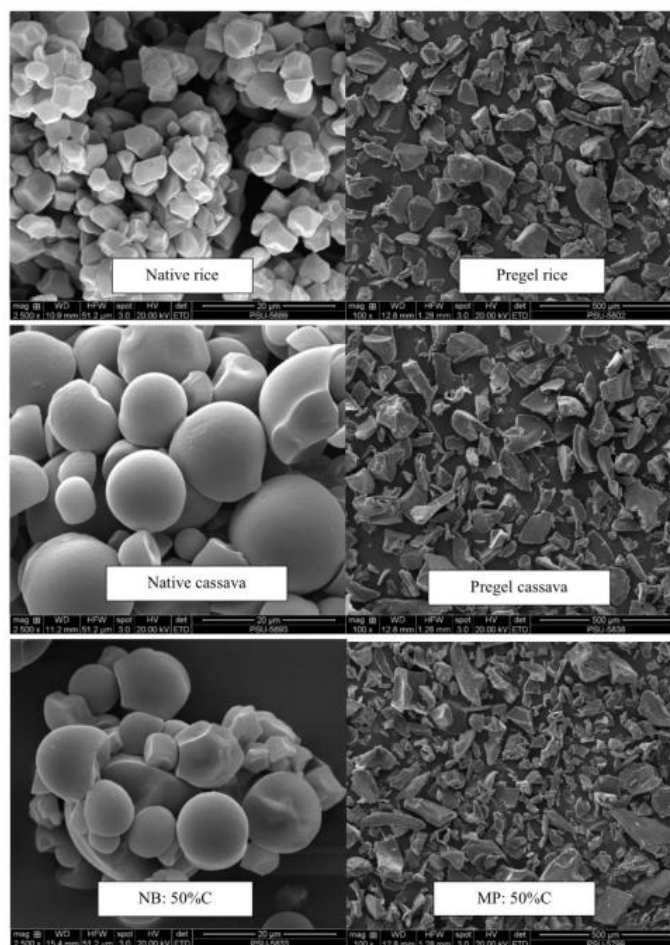
จากงานวิจัยของ Mohd Muizz Fahimi Bin Mohamed และ Rahmah Mohamed [19] ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และแป้ง Succinate (SS) โดยผสมจากเครื่องผสมอัตรัดเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) ที่ส่งผลต่อสมบัติการไหลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/Succinate starch (SS) (PVA/SS) ซึ่งในการศึกษาสมบัติการไหล PVA/SS ด้วยเทคนิค Melt flow indexer (MFI) ดังแสดงในตารางที่ 2.8 พบว่า PVA/SS มีค่าดัชนีการไหล (Melt flow index) ลดลงเมื่อปริมาณ SS เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณ SS เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดอันตรกิริยากับ PVA เพิ่มขึ้นทำให้ไหลยากขึ้น

ตารางที่ 2.8 ค่า MFI ของ PVA/SS

Sample	Materials	Melt Flow Index (g/10min)
1	Neat PVA	29.55
2	PVA + 5% SS	28.22
3	PVA + 10% SS	26.10
4	PVA + 15% SS	25.56
5	PVA + 20% SS	24.54

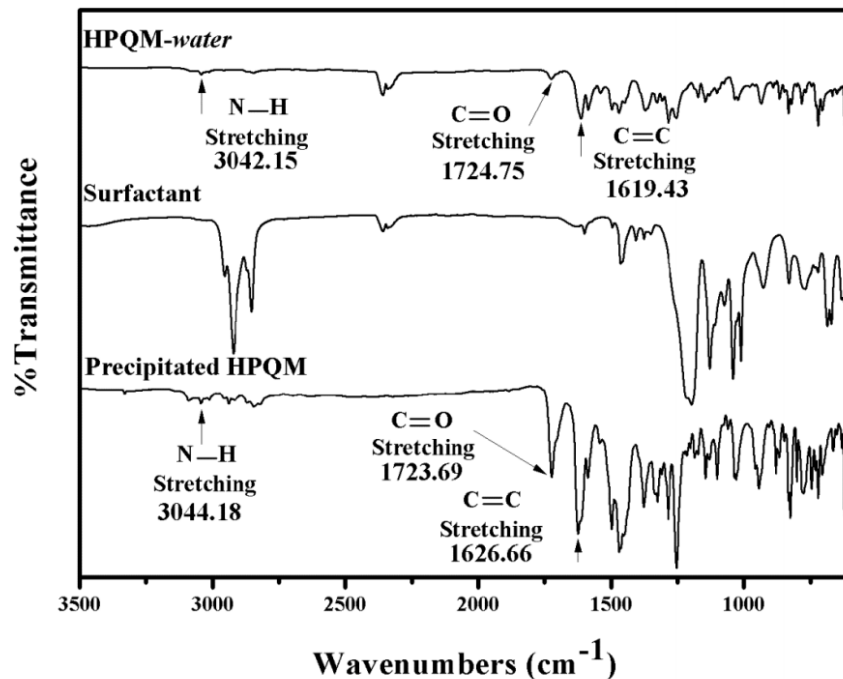
จากงานวิจัยของ Huy Thanh To, Seppo Karrila, Taewee T. Karrila. และ Nga Luong Hong [20] ได้เปรียบเทียบอนุภาคเม็ดแป้งก่อน-หลังการเกิดเจลลาตินไนซ์ จากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางสัณฐานวิทยา ซึ่งในการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยา ด้วยเทคนิค SEM ดังแสดงในรูปที่ 2.20 พบว่า เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกับเม็ดแป้งข้าวเจ้า และพบว่าเมื่อแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าถูกเจลลาตินไนซ์จะทำให้เม็ดแป้งทั้งแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าแตกออก ทำให้เม็ดแป้งหลังเจลลาตินไนซ์ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน





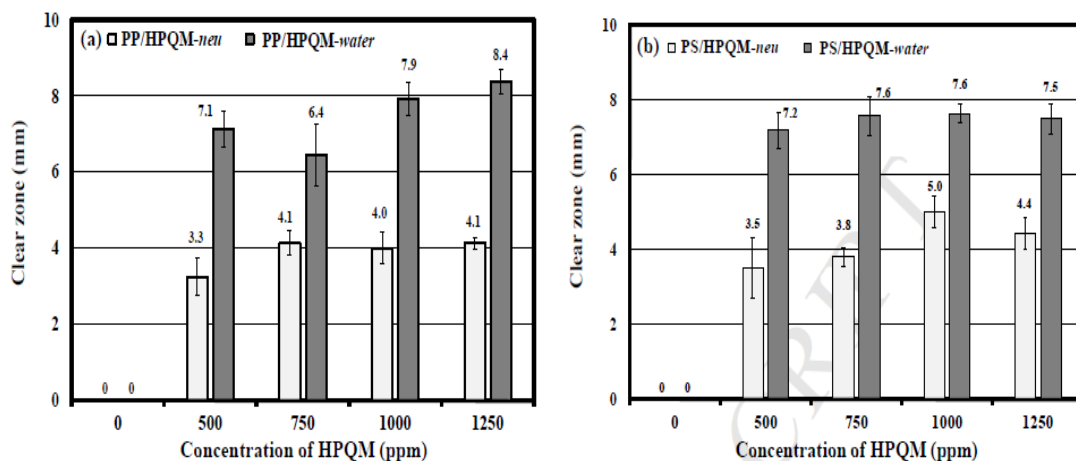
รูปที่ 2.20 ภาพ SEM ของแป้งมันสำปะหลัง (C), แป้งข้าวเจ้า (R), 50%C และ MP 50%C.

จากงานวิจัยของ Artith Eksirinimitr, Ekachai Wimolmala, Kulnida Taptim และ Narongrit Sombatsompop [3] ได้ศึกษาผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ที่ส่งผลต่อสมบัติกายภาพ ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกล ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ชนิดเอชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน (ของแข็ง) และเอชพีคิวเอ็มแบบสารละลาย (ของเหลว) ที่เติมลงในพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน สำหรับการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร จากการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน (ของแข็ง) (HPQM-neu) และเอชพีคิวเอ็มแบบสารละลาย (ของเหลว) (HPQM-water) ด้วยเทคนิค FTIR ดังแสดงในรูปที่ 2.21 พบว่า HPQM-water และ Precipitated HPQM มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด บริเวณเลขคลื่น 1723.69 และ 1724.75 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล ส่วน 1619.43 และ 1626.66 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C=C ของหมู่แอลคีน และที่ 3042.15 และ 3044.08 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ N-H stretching ของหมู่เอมีน



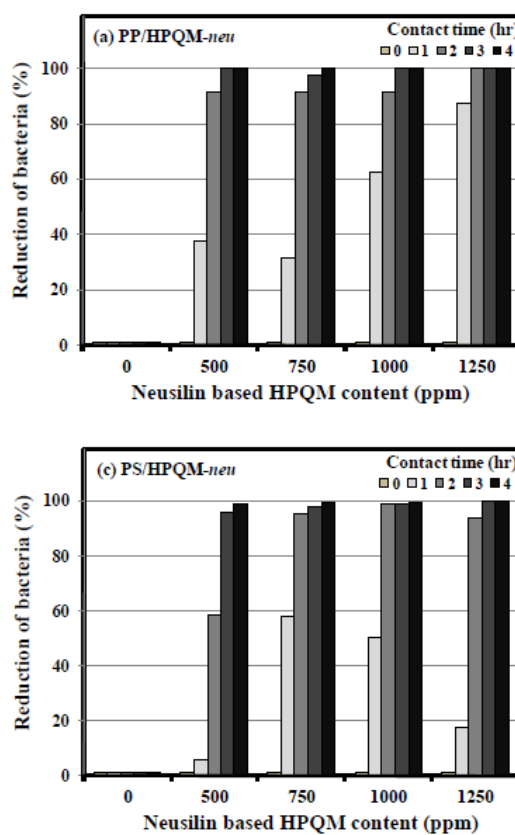
รูปที่ 2.21 สเปกตรัม FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM-water, Precipitated HPQM และสาร Surfactant

จากการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM ก่อนการบ่มเร่งด้วยเทคนิคการวัดรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm พบว่ารัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร HPQM ดังแสดงในรูปที่ 2.22 และพบว่าขึ้นงานพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM-water มีรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากกว่าขึ้นงานที่ผสมสาร HPQM-neu เนื่องจากในการทดสอบรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ขึ้นงานสัมผัสกับวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง ส่งผลให้การปลดปล่อยสาร HPQM-water จากภายในขึ้นงานสู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยความแตกต่างความเข้มข้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่ขึ้นงานผสมสาร HPQM-neu สามารถปลดปล่อยสาร HPQM จากบริเวณผิวหน้าเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลจากสารดูดซับอนุซิลินสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสาร HPQM ได้เป็นการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM จากภายในขึ้นงานทั้งนี้เนื่องจากสาร HPQM มีหมู่คาร์บอกซิลิกสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับอนุซิลินได้ ดังนั้นขึ้นงานที่ผสมสาร HPQM-water จึงสามารถปลดปล่อยสาร HPQM สู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อได้มากกว่าขึ้นงานที่ผสมสาร HPQM-neu



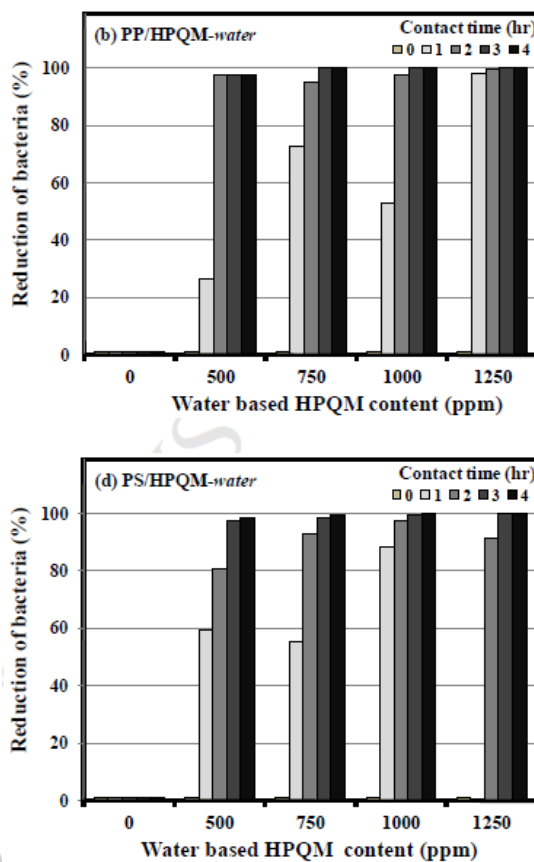
รูปที่ 2.22 รัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของชิ้นงาน a) PP/HPQM-neu, PP/HPQM-water, PS/HPQM-neu และ b) PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลาย ที่ความเข้มข้น 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm ดังแสดงในรูปที่ 2.23 พบว่าพอลิโพรพิลีนผสมสาร HPQM มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย E. Coli เท่ากับ 99.9% ที่ความเข้มข้น 500 และ 750 ppm สำหรับ PP/HPQM-neu และ PP/HPQM-water ตามลำดับ ที่เวลาการทดสอบ 4 ชั่วโมง เนื่องจากสารดูดซับอนุซิลินมีความเป็นรูพรุนและชอบน้ำรวมถึงสาร HPQM สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งสารละลายเปปโตนที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักจึงสามารถเข้าทำลายสาร HPQM ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสารดูดซับกับสาร HPQM ถูกทำลายและเกิดการปลดปล่อยสาร HPQM ได้ดีบริเวณผิวหน้าชิ้นงานที่สัมผัสกับน้ำ ดังนั้น PP/HPQM-neu สามารถปลดปล่อยสาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้รวดเร็วกว่า PP/HPQM-water



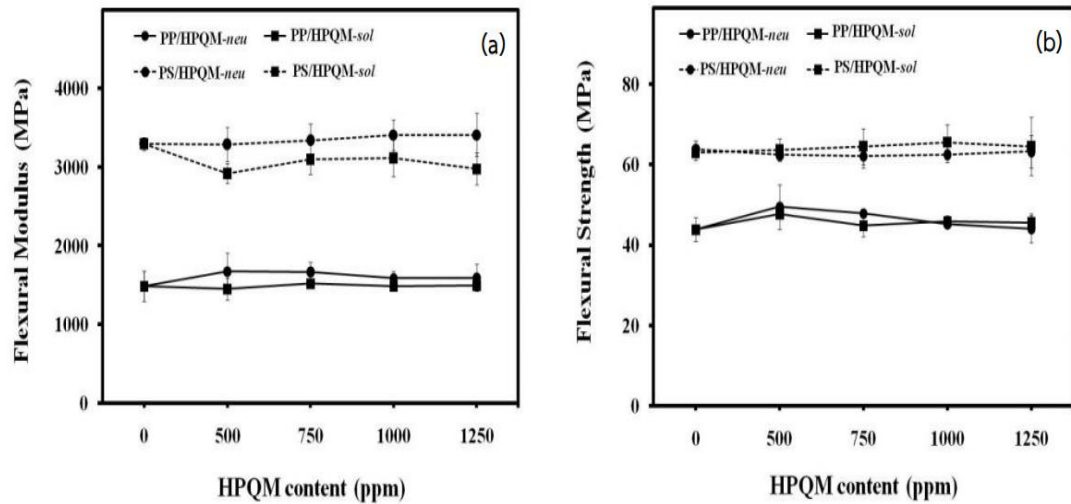
รูปที่ 2.23 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. Coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-neu และ (b) PS/HPQM-neu ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm

โดยแตกต่างจากผลการทดสอบด้วยเทคนิคการวัดรัศมีขั้วยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งชิ้นงานวางอยู่บนฐานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อยรวมถึงเวลาในการทดสอบยาวนานกว่า ขณะที่พอลิไทรินผสมสาร HPQM มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียที่ 99.9% ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1250 ppm สำหรับทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.24 เนื่องจากพอลิไทรินมีสายโซ่โมเลกุลที่แข็งเกร็ง (Chain rigidity) อาจส่งผลให้เกิดการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM ในส่วนการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพอลิเมอร์ พบว่า พอลิโพรพิลีนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ 99.9% ที่ความเข้มข้นของสาร HPQM น้อยกว่าพอลิไทริน เนื่องจากอุณหภูมิในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิโพรพิลีน ขณะที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิไทริน ส่งผลให้สายโซ่ของพอลิไทรินมีความแข็งเกร็ง (Chain rigidity) ที่มากกว่า ดังนั้นพอลิไทรินสามารถปลดปล่อย (Releasing) สาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้น้อยกว่าพอลิโพรพิลีน

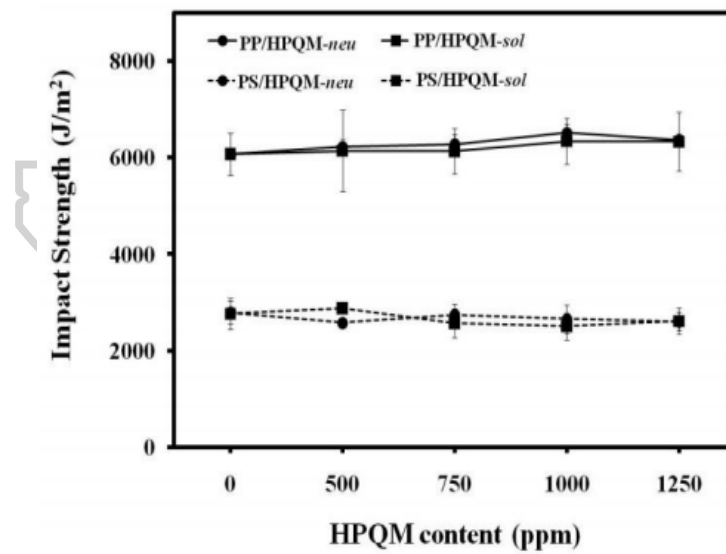


รูปที่ 2.24 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของชิ้นงาน (a) PP/ HPQM-water และ (b) PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสมสาร HPQM โดยศึกษาผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm ดังแสดงในรูปที่ 2.25a และ 2.25b ตามลำดับ พบว่า ค่ามอดูลัสต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) ค่าความต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) และค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) ดังแสดงในรูปที่ 1.26 ของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM ทั้ง 2 รูปแบบที่ความเข้มข้น 0 ถึง 1250 ppm ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความเข้มข้นของสาร HPQM ในงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ตามสัดส่วนโดยน้ำหนัก สาร HPQM มีปริมาณที่น้อยกว่าพอลิเมอร์ค่อนข้างมาก (ที่ความเข้มข้น 1250 ppm คิดเป็น 0.125%) ดังนั้นการผสมสาร HPQM ในพอลิเมอร์ทั้งสองไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล



รูปที่ 2.25 สมบัติเชิงกลด้านการต้านทานต่อแรงดัดโค้ง โดย (a) ค่ามอดูลัส และ (b) ความต้านทานแรงดัดโค้งของ PP/HPQM-neu, PP/HPQM-water, PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm

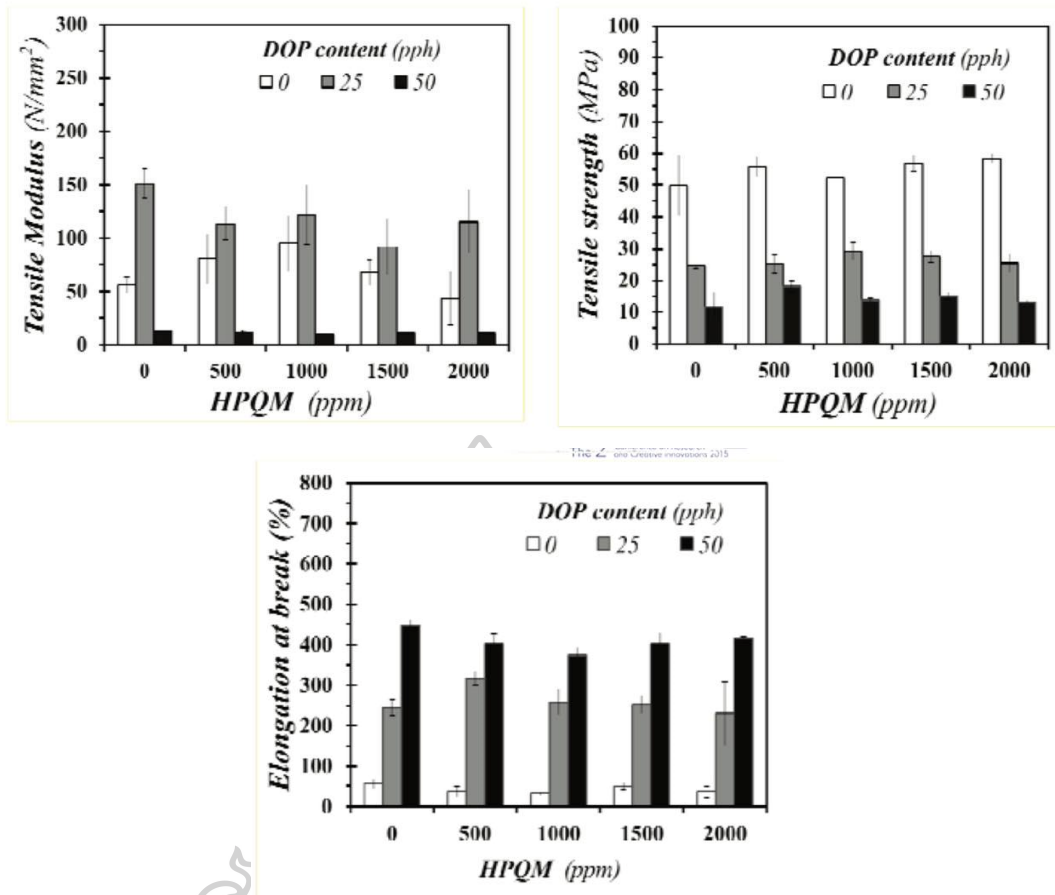


รูปที่ 2.26 สมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงกระแทกของ PP/HPQM-neu, PP/HPQM-water, PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-water ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 500, 750, 1000 และ 1250 ppm

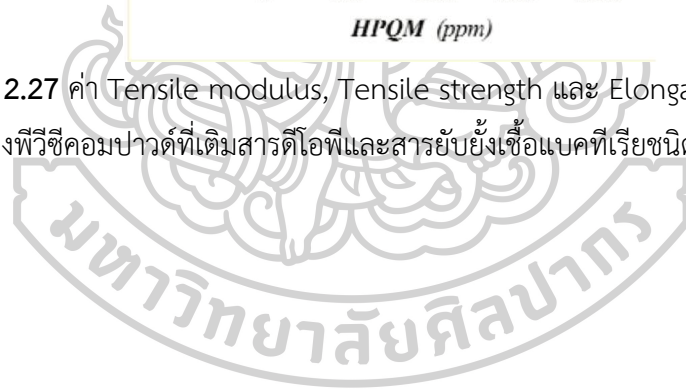
จากงานวิจัยของ ปิยะภรณ์ นิลทัย, อัฐพงษ์ กิตต์ชัยวัชร, ปวีณา แต่งอุดม, เอกชัย วิมลมาลา และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ [21] ได้ศึกษาผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน ของพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ ที่เติมสารเสริมสภาพพลาสติกดีไอพี และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม จากการศึกษาสมบัติสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน ของพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ ที่เติมสารเสริมสภาพพลาสติกดีไอพี และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม ด้วยเทคนิค UTM และ DSC ดังแสดงในรูปที่ 2.27 และตารางที่ 2.9 พบว่า Tensile modulus และ Tensile strength มีแนวโน้มลดลง ส่วน Elongation at break เพิ่มขึ้น ตามปริมาณสารไอดีพีที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารไอดีพีทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ของพีวีซีคอมปาวด์ลดลง เป็นผลจากกระบวนการพลาสติกไซเซชัน (Plasticization) โดยสารดีไอพีเข้าไปแทรกตัวระหว่างสายโซ่พีวีซี ทำให้ไปทำลายแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพีวีซี ทำให้เคลื่อนที่ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรง แต่การเติมดีไอพีที่ปริมาณ 25 pph ทำให้ค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดแอนติพลาสติกไซเซชัน (Antiplasticization) ของพีวีซีคอมปาวด์ ส่วนการเติมปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มในพีวีซีคอมปาวด์ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลด้าน Tensile modulus, Tensile strength และ Elongation at break และสมบัติทางความร้อน เนื่องจากการเติมปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มที่น้อยมาก (ประมาณ 0.05-0.2% เมื่อเทียบกับพีวีซี)

ตารางที่ 2.9 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพีวีซีคอมปาวด์ที่มีการเติมสารดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม

ชิ้นงานทดสอบ	อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (องศาเซลเซียส)
PVC Compound	79.5
PVC/HPQM 1000 ppm	80.4
PVC/DOP 50 pph	13.4
PVC/DOP 50 pph/HPQM 1000 ppm	14.9



รูปที่ 2.27 ค่า Tensile modulus, Tensile strength และ Elongation at break ของพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีโอพีและสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย (Research methodology)

3.1 วัสดุและวิธีการทดลอง

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol); PVOH) เกรด MOWIFLEX™ C-30 ผลิตจากบริษัท Kuraray Asia Pacific จำกัด ประเทศสิงคโปร์

3.1.1.2 แป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized starch; P-St) เกรด CRISPYTEC-574 ผลิตจากบริษัท Siam Modified Starch จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.3 กลีเซอรอล (Glycerol) ผลิตจากบริษัท NP Chemical Supply จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.4 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) ผลิตจาก Koventure จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.5 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไตรเอมีน (TRIAMEEN Y12D) ผลิตจาก Koventure จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.5 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Nutrient Agar) ผลิตจากบริษัท HiMedia Laboratories จำกัด ประเทศอินเดีย

3.1.1.6 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient Broth) ผลิตจากบริษัท HiMedia Laboratories จำกัด ประเทศอินเดีย

3.1.1.7 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ผลิตจากบริษัท V.S. Chem จำกัด ประเทศไทย

3.1.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 จานเพาะเชื้อ (Petri dish)

3.1.2.2 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 และ 500 ml

3.1.2.3 หลอดทดลอง (Test tube) ขนาด 15 ml

3.1.2.4 หลอดเก็บตัวอย่าง (Eppendorf tube) ขนาด 1 ml

3.1.2.5 กระบอกตวง (Graduated tube) ขนาด 250 และ 500 ml

3.1.2.6 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 250 และ 1000 ml

3.1.2.7 ปิเปต (Pipette) ขนาด 1, 5, 25 และ 50 ml

3.1.2.8 ตะเกียงแอลกอฮอล์ (Alcohol burner)

3.1.2.9 Hot plate

3.1.2.10 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

3.1.2.11 ตู้ฆ่าเชื้อ (Autoclave)

3.1.2.12 ตู้ฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV

3.1.2.13 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.3.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนกันคู่ (Twin screw extruder) รุ่น HAAKE-SHJ-25 บริษัท Enmach ประเทศจีน

3.1.3.2 เครื่องอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blown film extruder) รุ่น HAAKE PolyLab บริษัท Enmach ประเทศเยอรมัน

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ

3.1.4.1 Melt flow indexer (MFI) รุ่น Model-7049 บริษัท Kayeness ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.2 Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) รุ่น VERTEX70 จากบริษัท Bruker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.3 Thermogravimetric analyzer (TGA) รุ่น TGA/DSC1 จากบริษัท Mettler Toledo ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.4 Differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น TGA/DSC3+ จากบริษัท Mettler Toledo ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.4.5 X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น MAXima_X XRD-7000 จากบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.1.4.6 Scanning electron microscope (SEM) รุ่น TM3030 จากบริษัท Hitachi ประเทศญี่ปุ่น

3.1.4.7 Universal testing machine (UTM) รุ่น Model 5960 จากบริษัท Instron Engineering Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.2.2 ออกแบบวิธีการทดลอง และวางแผนการทดลอง

3.2.3 เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ในแต่ละการทดลอง

3.2.4 ดำเนินงานวิจัย

โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แบง์พรีเจลาตินไนซ์ ที่ส่งผลต่อสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แบง์พรีเจลาตินไนซ์

3.2.4.1 การเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แบง์พรีเจลาตินไนซ์ (PVOH/G/P-St)

3.2.4.1.1 นำเม็ดพลาสติก PVOH และ P-St ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.4.1.2 นำเม็ดพลาสติก PVOH และ P-St ที่อบแล้วมาผสมกัน ให้มีมวลรวม 2000 กรัม โดยมีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แล้วผสมกลีเซอรอล 20 phr ทำการผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

3.2.4.1.3 นำส่วนผสม PVOH/G/P-St ไปผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) ที่อุณหภูมิในช่วง 120-180 °C ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 50 rpm และใช้การหล่อเย็นผ่านอากาศ โดยสัดส่วนการผสมและชื่อย่อที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.2.4.1.4 นำเส้น Extrudate ที่ได้จากเครื่อง Twin screw extruder ไปตัดเป็นเม็ด

3.2.4.1.5 นำเม็ดผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.4.1.6 นำเม็ดผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อบแล้วไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blown film extruder) ที่อุณหภูมิในช่วง 160-180 °C ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 50 rpm ความเร็ว Nip roll และ Wind up roll เท่ากับ 150 m/min

3.2.4.2 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

3.2.4.2.1 ศึกษาสมบัติการไหลของเม็ดผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Melt flow indexer (MFI) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D1238 โดยใช้น้ำหนักเท่ากับ 2.16 กิโลกรัม แสดงผลในหน่วย g/10min

การหาค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St หาได้ดังสมการที่ 3.1

$$[\eta_{app}] = \frac{4.86 \times M}{Q} \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดยที่

M คือ มวลของ piston

สมการที่ 3.2

Q คือ อัตราการไหลของปริมาตร (Volumetric flow rate) โดยหาจาก

$$Q = \frac{MFI}{600 \times \rho} \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

โดยที่

MFI คือ ค่าดัชนีการไหล

ρ คือ ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ โดยหาจากสมการที่ 3.3

$$\rho = \frac{MFI}{MVR} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

โดยที่

MVR คือ อัตราการไหล โดยหาจากสมการที่ 3.4

$$MVR = \frac{600\pi R^2 L}{t} \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

โดยที่

R คือ รัศมีของหัว die โดย R = 1.048 cm

L คือ ระยะที่ piston เคลื่อนที่ได้

t คือ เวลาที่ทดสอบ

3.2.4.2.2 ศึกษาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของพอลิเมอร์ผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry โดยทำการวัดความหนืดแบบ Intrinsic viscosity $[\eta]$ ของสารละลายพอลิเมอร์ ด้วย Ubbelohde viscometer จากนั้นอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์กับความหนืดตามสมการของ Mark-Houwink ดังสมการที่ 3.5

$$[\eta] = kM_v^a \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

โดยที่ k, a คือ ค่าคงที่สำหรับพอลิเมอร์ โดย $k = 0.02 \text{ ml/g}$ และ $a = 0.76$

การหาค่า Intrinsic viscosity $[\eta]$ หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ตามสมการ Huggins equation (สมการที่ 3.6) และ Kraemer equation (สมการที่ 3.7) ซึ่งพล็อตระหว่าง η_{sp}/C กับ C และ $(\ln \eta_{rel})/C$ กับ C ดังรูปที่ 3.1

$$\eta_{sp}/C = [\eta] + k'[\eta]^2 C \quad (\text{สมการที่ 3.6})$$

โดยที่ η_{sp} คือ Specific viscosity

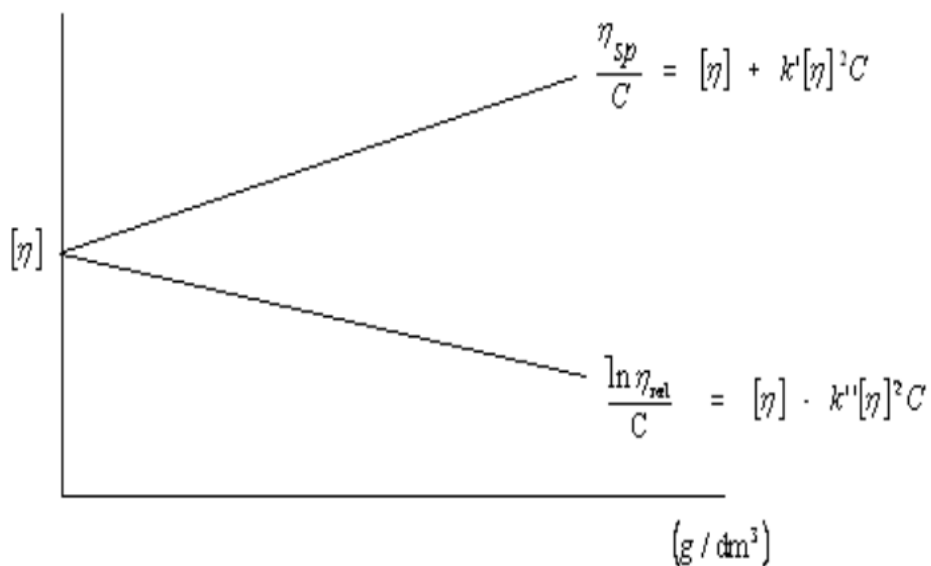
k' คือ Huggins coefficient

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์

$$(\ln \eta_{rel})/C = [\eta] - k''[\eta]^2 C \quad (\text{สมการที่ 3.7})$$

โดยที่ η_{rel} คือ Relative viscosity

k'' คือ Kraemer coefficient



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{sp}/C กับ C และ $(\ln \eta_{rel})/C$ กับ C

3.2.4.2.3 ศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) โดยทดสอบในโหมด Attenuated Total Reflection (ATR) เลขคลื่นอยู่ในช่วง $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ และความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 4 cm^{-1}

3.2.4.2.4 ศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Thermal gravimetric analysis (TGA) เพื่อศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature, T_d) และ %Weight loss ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งเตรียมตัวอย่างประมาณ 5-10 mg ทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ $25-550 \text{ }^\circ\text{C}$ อัตราการสแกน (Heating rate) $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

3.2.4.2.5 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) เพื่อศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Melting temperature; T_m) รวมไปถึงการหาปริมาณผลึก (%Crystallinity, X_c) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งเตรียมตัวอย่างประมาณ 5-10 mg ทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ $25-250 \text{ }^\circ\text{C}$ อัตราการสแกน (Heating rate) $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งการหาปริมาณผลึกสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.8

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^\circ \times \phi} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.8})$$

โดยที่	X_c	คือ ปริมาณผลึก (%Crystallinity)
	ΔH_m	คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึกต่อหนึ่งหน่วย (J/g)
	ΔH_m°	คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอม 100% (J/g) โดย ΔH_m° ของ PVOH มีค่าเท่ากับ 161 J/g
และ	ϕ	คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อยู่ในคอมพอสิต

3.2.4.2.6 ศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาตินไนซ์ (%Gelatinized starch, %GS) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) โดยใช้การทดสอบด้วย Cu-K α radiation ทำการทดสอบในช่วง 10-35 $^\circ$ อัตราเร็วในการทดสอบ 2 $^\circ$ /min ปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 20 mA และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 30 kV ซึ่งการหาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาตินไนซ์ของแป้งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.9

$$\%GS = \frac{\Delta H'_0 - \Delta H_0}{\Delta H'_0} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.9})$$

โดยที่	H'_0	คือ ความเข้มของพีคของแป้งที่ยังไม่ผ่านการเจลาตินไนซ์ ที่ตำแหน่ง 17.4 $^\circ$
และ	H_0	คือ ความเข้มของพีคของแป้งที่เกิดการเจลาตินไนซ์ ที่ตำแหน่ง 23 $^\circ$

3.2.4.2.7 ศึกษาสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Water solubility โดยเตรียมตัวอย่างขนาด 2.5 x 2.5 cm น้ำหนักโดยประมาณ 0.1 g ในน้ำ 10 ml ทดสอบการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 $^\circ$ C โดยบันทึกเวลาที่ฟิล์มละลายน้ำหมด

3.2.4.2.8 ศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วย Cross-section โดยเตรียมชิ้นงานสามารถทำได้โดยการหักชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) จากนั้นนำชิ้นงานไปเคลือบทองแล้วทดสอบที่ 5 keV

3.2.4.2.9 ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D882 ฟิล์มมีขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 1 นิ้ว x 4 นิ้ว ความหนาประมาณ 0.06 mm ขนาดของ Gauge length เท่ากับ 2 นิ้ว ขนาด Load cell เท่ากับ 5 kN และอัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 50 mm/min

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมและชื่อย่อที่ใช้ในงานวิจัยของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	PVOH (%wt)	P-St (%wt)	Glycerol (phr)
P-St	-	100	-
PVOH	100	-	-
PVOH/G	100	-	20
PVOH90/G/P-St10	90	10	20
PVOH80/G/P-St20	80	20	20
PVOH70/G/P-St30	70	30	20
PVOH60/G/P-St40	60	40	20

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

3.2.4.3 การเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) และชนิดไตรเอมีน (TRIAMEEN)

3.2.4.3.1 นำเม็ดพลาสติก PVOH และ P-St ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.4.3.2 นำเม็ดพลาสติก PVOH และ P-St ที่อบแล้วมาผสมกัน ให้มีมวลรวม 2000 กรัม โดยเลือกน้ำหนักที่มีปริมาณแป้งเหมาะสม คือ ปริมาณ P-St 40% (โดยพิจารณาจากต้นทุนการผลิตและสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะสม) ที่ได้จากตอนที่ 1 แล้วผสมกลีเซอรอล 20 phr ทำการผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

3.2.4.1.3 นำส่วนผสม PVOH60/G/P-St40 ไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ชนิดเอชพีคิวเอ็มรูปแบบสารละลาย (HPQM) และชนิดไตรเอมีน (TRIAEEN) ที่ความเข้มข้น 500, 1000 และ 1500 ppm ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวทวนอนคู่ (Twin screw extruder) ที่อุณหภูมิในช่วง 120-180 °C ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 50 rpm และใช้การหล่อเย็นผ่านอากาศ โดยสัดส่วนการผสมและชื่อย่อที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.2.4.1.4 นำเส้น Extrudate ที่ได้จากเครื่อง Twin screw extruder ไปตัดเป็นเม็ด

3.2.4.1.5 นำเม็ดผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ชนิด HPQM และ TRIAEEN ไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.4.1.6 นำเม็ด PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ชนิด HPQM และ TRIAEEN ที่อบแล้วไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยเครื่องอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blown film extruder) ที่อุณหภูมิในช่วง 160-180 °C ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 50 rpm ความเร็ว Nip roll และ Wind up roll เท่ากับ 150 m/min ตามลำดับ

3.2.4.4 ทดสอบสมบัติทางโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเสถียรภาพความร้อน สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ สมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAEEN ดังหัวข้อ 3.2.4.2 นอกจากนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAEEN ด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method, PCA) ซึ่งใช้แบคทีเรีย 2 ชนิด คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด Escherichia Coli (E. Coli) และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด Staphylococcus Aureus (S. Aureus)

การเตรียมอาหารแข็ง (Nutrient Agar; NA) ทำโดยนำ NA 16.8 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 600 ml ในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml ใช้แท่งแก้วคนจนละลาย แล้วนำสารละลายที่ได้มาแบ่งในขวดรูปชมพู่ 2 ขวด ขวดละ 300 ml พร้อมปิดปากขวดด้วยสำลี และอลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที เมื่อฆ่าเชื้อเสร็จแล้วนำขวดรูปชมพู่ทั้ง 2 ขวดตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนมีอุณหภูมิ

ประมาณ 60 °C แล้วค่อยเทลงในจานเพาะเชื้อ (Petri dish) จานละประมาณ 10 ml แล้วทิ้งไว้ให้เย็นตัวแล้วนำไปเก็บในตู้เย็นก่อนการใช้งาน

การเตรียมอาหารเหลว (Nutrient Broth; NB) ทำโดยนำ NB 13 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 ml ในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml ใช้แท่งแก้วคนจนละลาย แล้วแบ่งอาหารเหลวออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml ปริมาณ 50 ml ต่อ 1 ตัวอย่าง พร้อมปิดปากขวดด้วยสำลีและอลูมิเนียมฟอยล์ โดยส่วนที่สองนำไปปิเปตใส่หลอดทดลองหลอดละ 5 ml พร้อมปิดปากหลอดทดลองด้วยฝาพลาสติก จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วขวดรูปชมพู่และหลอดทดลองตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำหลอดทดลองไปเก็บในตู้เย็นก่อนการใช้งาน

การเตรียมสารละลายเจือจางโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ทำโดยนำ NaCl 8.59 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 ml ในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml ใช้แท่งแก้วคนจนละลาย แล้วปิเปตใส่หลอดทดลอง หลอดละ 4.5 ml โดยใช้ 9 หลอดต่อ 1 ตัวอย่าง พร้อมปิดปากหลอดทดลองด้วยฝาพลาสติกจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำหลอดทดลองตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการผสมและชื่อยี่ห้อที่ใช้ในงานวิจัยของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN

Sample	HPQM (ppm)	TRIAMEEN (ppm)
PVOH60/G/P-St40	-	-
PVOH60/G/P-St40/H500	500	-
PVOH60/G/P-St40/H1000	1000	-
PVOH60/G/P-St40/H1500	1500	-
PVOH60/G/P-St40/T500	-	500
PVOH60/G/P-St40/T1000	-	1000
PVOH60/G/P-St40/T1500	-	1500

การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย ทำโดยนำเข็มเย็บเชื้อปลายกลม (Loop) ลงไฟด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์จนแดง แล้วสะบัดให้เย็นลง จากนั้นนำไปจุ่มเชื้อแล้วนำมาใส่ในหลอดทดลองที่มี NB (การเปิด/ปิดฝาหลอดทดลองทุกครั้งจะต้องนำปากหลอดทดลองลงไฟก่อนทุกครั้งเพื่อฆ่าเชื้อ) จากนั้นนำหลอดทดลองใส่ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

การเตรียมตัวอย่าง ทำโดยนำตัวอย่างฟิล์ม 3 g ใส่จานเพาะเชื้อแล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยรังสี UV ด้านละ 15 นาที แล้วนำฟิล์มที่ได้มาใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มี NB 50 ml โดยก่อนและหลังใส่ฟิล์มจะต้องนำขวดรูปชมพู่ลงไฟที่ปากขวดทุกครั้งเพื่อฆ่าเชื้อ จากนั้นนำไมโครปิเปตดูดเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 200 μ L ที่เตรียมไว้ลงในขวด แล้วเขย่าเพื่อให้เชื้อแบคทีเรียกระจายตัวให้ทั่วถึง จากนั้นนำขวดใส่ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

การทำ Dilution คือ การทำให้เชื้อเจือจางลงครั้งละ 10 เท่า (10 fold serial dilution) ในสารละลาย NaCl ซึ่งทำโดยปิเปตเชื้อจากขวดรูปชมพู่ปริมาตร 500 μ L ใส่ลงในหลอดทดลองหมายเลข 1 จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Vortex แล้วปิเปตเชื้อจากหลอดทดลองหมายเลข 1 ปริมาตร 500 μ L ใส่ลงในหลอดทดลองหมายเลข 2 จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Vortex และทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 9 หลอด โดยก่อนและหลังปิเปตเชื้อใส่หลอดทดลองแต่ละหลอดจะต้องลงไฟที่ปากหลอดทุกครั้งเพื่อฆ่าเชื้อ ซึ่งค่า Dilution factor ของแต่ละหลอดทดลองที่เจือจางเชื้อแบคทีเรีย ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 Dilution factor ของแต่ละหลอดทดลองที่เจือจางเชื้อแบคทีเรีย

หลอดทดลองที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ความเข้มข้นของเชื้อ									
แบคทีเรีย (CFU/ml)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Dilution factor	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9

การหาค่าเชื้อลงบนจานเพาะเชื้อที่มี NA ทำโดยเลือกความเข้มข้นจำนวน 3 ความเข้มข้นหลังจากเจือจางเชื้อแบคทีเรียแล้ว แล้วหาค่าเชื้อลงบนจานเพาะเชื้อ โดยจะแบ่งครึ่งจานเพาะเชื้อออกเป็น 2 พับ พับละ 10 หยด หยดละ 10 μL และทำเช่นนี้ ทั้ง 3 ความเข้มข้นต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วทดสอบจนครบทุกสูตร จากนั้นนำจานเพาะเชื้อที่หาค่าเชื้อแล้วใส่ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง

การนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย ทำโดยเลือกจานเพาะเชื้อมา 1 ความเข้มข้นต่อ 1 สูตร โดยเลือกจากจานเพาะเชื้อที่มีการแยกโคโลนีออกจากกันอย่างชัดเจน ที่สามารถนับได้จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียในหน่วยโคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) และคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ดังสมการที่ 3.10 และ 3.11

$$\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้} \times \text{Dilution factor}}{\text{ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงบนอาหาร}} \quad (\text{สมการที่ 3.10})$$

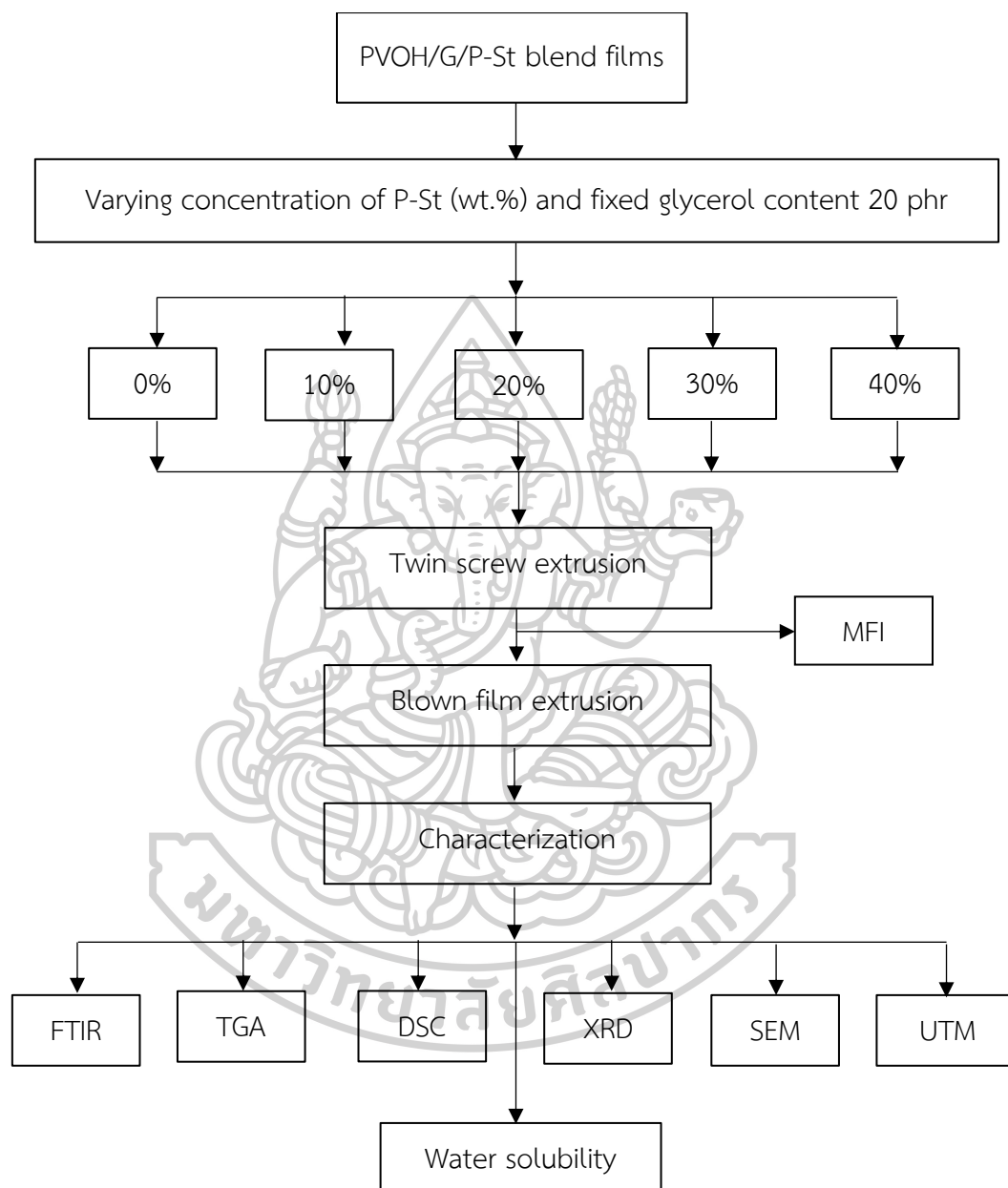
$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria)} = \frac{A-B}{A} \times 10 \quad (\text{สมการที่ 3.11})$$

โดยที่

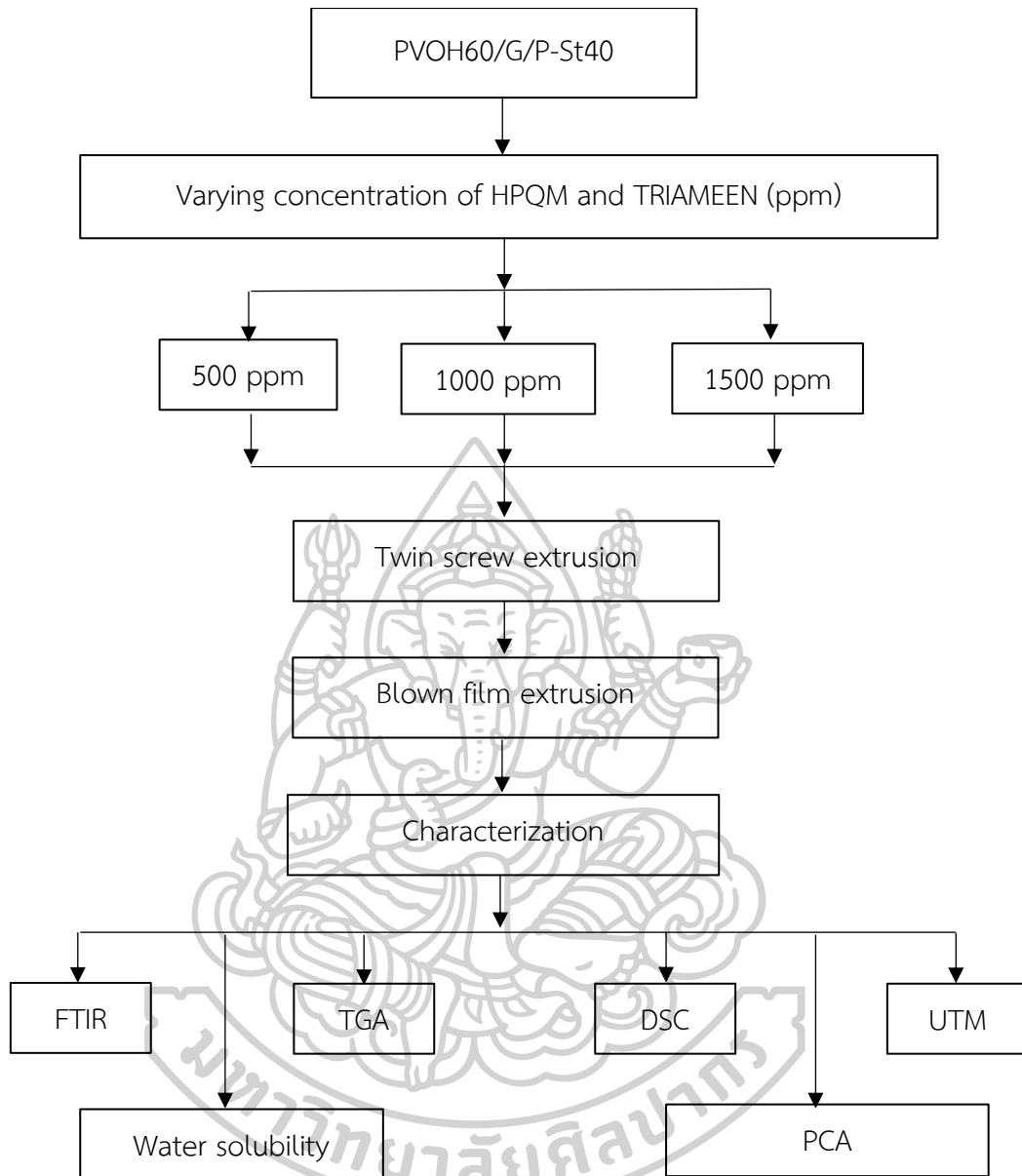
A	คือ ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml) ของฟิล์มที่ไม่มีการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย
B	คือ ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml) ของฟิล์มที่มีการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย



3.3 แผนผังแสดงการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 แผนผังการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์



รูปที่ 3.3 แผนผังการเตรียมฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มพลาสติกที่สามารถละลายน้ำได้ สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ถุงซั๊กผ้าที่สามารถละลายน้ำได้ โดยผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVOH) ผสมกับแป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized Starch, P-St) และกลีเซอรอล (Glycerol, G) แล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มผ่านกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม (Blown film extrusion) ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งพรีเจลาติไนซ์ (90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40) โดยผสมกลีเซอรอล 20 phr ต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ จากนั้นนำอัตราส่วนที่เหมาะสมไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในตอนที่ 2 เพื่อศึกษาชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (HPQM และ TRIAMEEN) และปริมาณ (500, 1000 และ 1500 ppm) ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งพรีเจลาติไนซ์

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล (Glycerol, G) 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาติไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการยืนยันว่ามีการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่าง PVOH กับกลีเซอรอล และ PVOH/G กับ P-St ได้อีกด้วย

จากผลทดสอบการวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของ PVOH พบว่า PVOH มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่น (Wave number) ที่สำคัญ คือ 3354, 2941, 1730, 1640 และ 1038 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching (ของพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) ที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุล), C-H stretching ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon), C=O stretching (หมู่ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate)),

C-O stretching (ของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group)) และ C-O bending ตามลำดับ ส่วนกลีเซอรอล มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่นที่สำคัญ คือ 3372, 2938, 1651 และ 1041 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะเหมือนกับ PVOH แต่โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของกลีเซอรอลไม่มีหมู่ Vinyl acetate ทำให้ไม่พบการสั่นของพันธะ C=O stretching ที่บริเวณเลขคลื่น 1730 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohsin และคณะ [22] โดยพบว่า กลีเซอรอลไม่พบการสั่นของพันธะ C=O stretching เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณา PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr พบว่า PVOH/G ทำให้การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่นที่ 3354 cm^{-1} เปลี่ยนไปเป็น 3340 cm^{-1} เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของ PVOH ทำให้ความแข็งแรงของพันธะ PVOH ลดลง เพราะเลขคลื่น (Wave number, ν) ลดลง พลังงาน (Energy, E) มีค่าลดลง ตามสมการที่ 4.1

$$E = hc\nu \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

โดย h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant) มีค่าเท่ากับ $6.63 \times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ และ c คือ ความเร็วแสง (Speed of light) มีค่าเท่ากับ $3 \times 10^8\text{ m/s}$

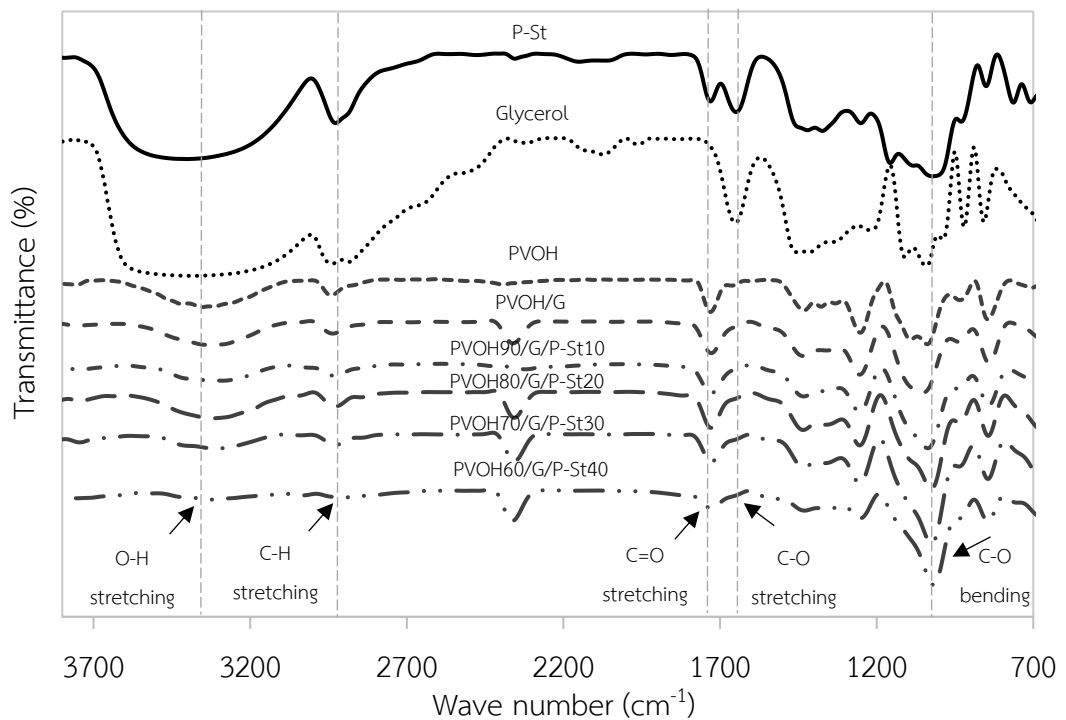
นอกจากนี้กลีเซอรอลสามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVOH ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2a เนื่องจากกลีเซอรอลมีอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) สูง ประกอบไปด้วยอะตอมของออกซิเจน (O) ซึ่งสามารถเกิดพันธะระหว่างอะตอมไฮโดรเจน (H) ของ PVOH ได้

เมื่อพิจารณา P-St ดังแสดงในรูปที่ 4.1a พบว่า P-St มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่นที่สำคัญ คือ 3401, 2927, 1648 และ 1020 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นพันธะ O-H stretching (ของ H-bonding ที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุล), C-H stretching (ของสารประกอบ Hydrocarbon), C-O stretching และ C-O bending (ของ Carbonyl group) ตามลำดับ ซึ่งการสั่นของพันธะดังกล่าวถูกพบในเลขคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกันกับงานวิจัยของ Zhang และคณะ [23]

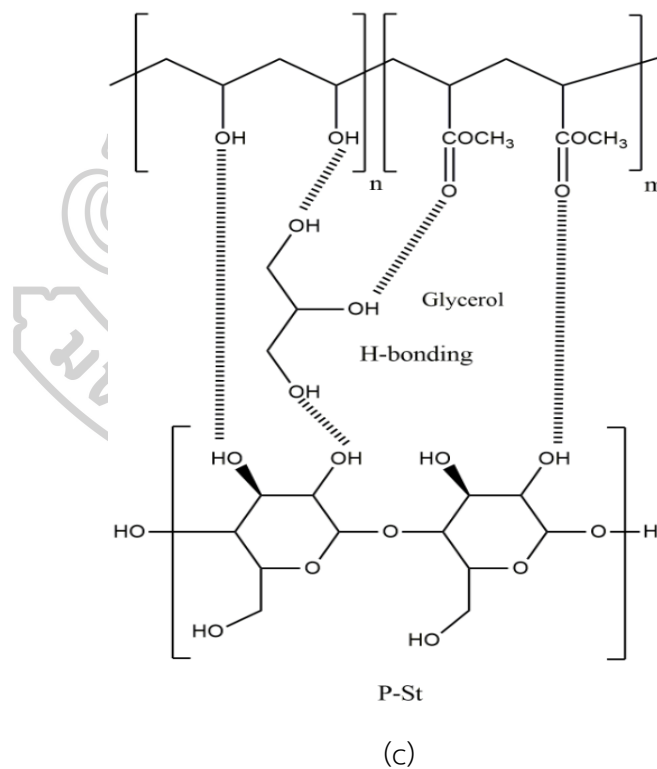
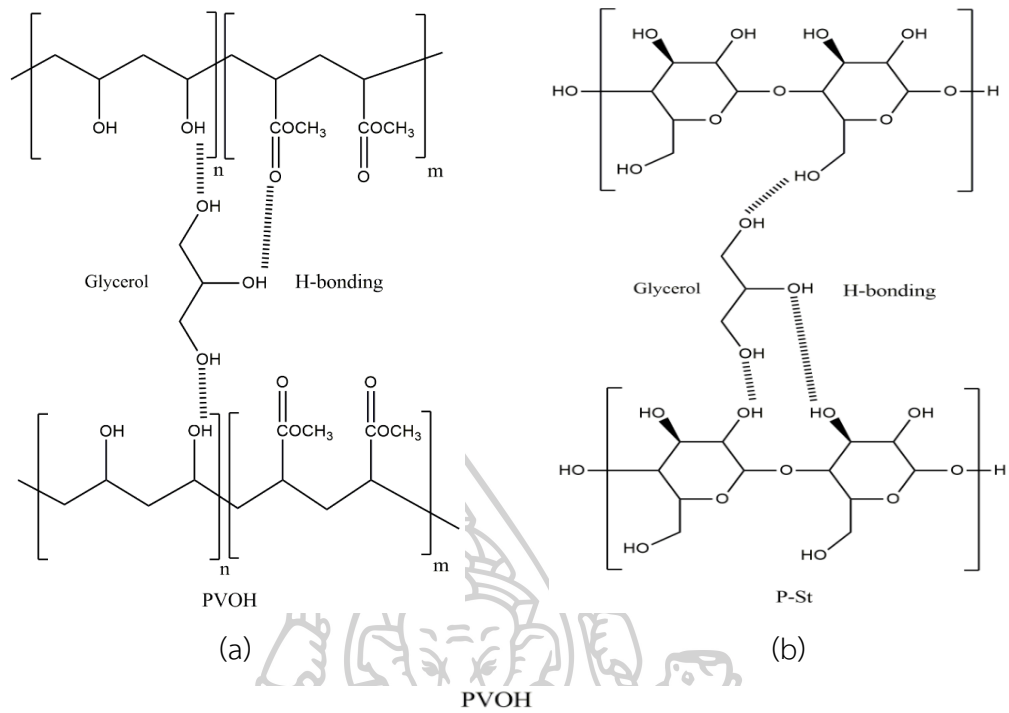
เมื่อพิจารณาผลของการเติม P-St ลงใน PVOH/G โดยมีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่า การเติม P-St ลงใน PVOH/G ทำให้การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่นที่ 3340 cm^{-1} มีการเปลี่ยนแปลงไปบริเวณเลขคลื่นที่ต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของ P-St ได้เช่นเดียวกับ PVOH ทำให้ความแข็งแรงของพันธะ P-St ลดลง

นอกจากนี้กลีเซอรอลยังสามารถเกิดอันตรกิริยากับ P-St ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกับ PVOH ดังแสดงในรูปที่ 4.2b และยิ่งไปกว่านั้น PVOH สามารถมีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับพันธะไฮโดรเจนกับ P-St ได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.2c



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 (a) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH และ Glycerol, (b) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง P-St และ Glycerol และ (c) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH, Glycerol และ P-St

4.1.2 การศึกษาสมบัติการไหลของเม็ดผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

เครื่อง Melt flow indexer ถูกนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติการไหลของเม็ดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาติไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม (Blown film extruder)

จากผลทดสอบสมบัติการไหลระหว่าง PVOH และ PVOH/G พบว่า PVOH/G มีค่าดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 เมื่อเทียบกับ PVOH เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) โดยเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ PVOH ทำให้ PVOH สามารถไหลง่ายขึ้น ซึ่งสามารถยืนยันได้จากการนำค่า MFI ไปคำนวณหาความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) พบว่า η_{app} ของ PVOH ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.1 ซึ่ง Bremner และคณะ [24] พบว่า เมื่อค่าความหนืดลดลง น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight, M_w) ของ PVOH มีค่าลดลงตามสมการที่ 4.2

$$\eta_0 = KM_w^a \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

โดย K คือ ค่าคงที่สำหรับพอลิเมอร์ มีค่าประมาณ 0.02 ml/g และ a คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของพอลิเมอร์ มีค่าประมาณ 0.76

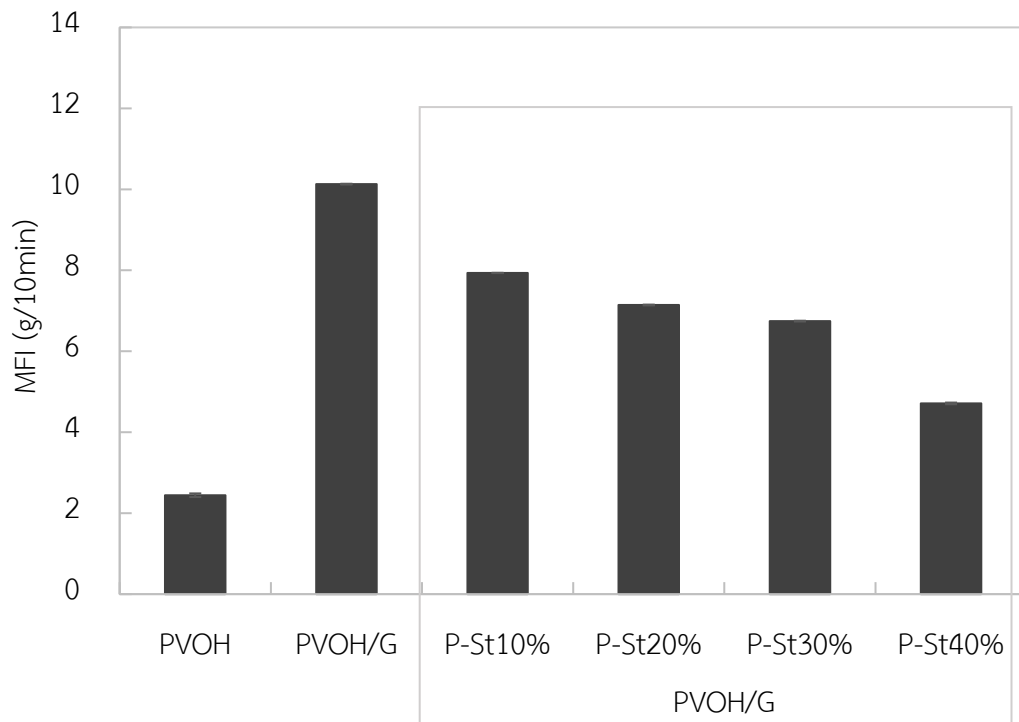
เมื่อพิจารณาผลของการเติม P-St ลงใน PVOH/G โดยมีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า MFI มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 โดย MFI มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณ P-St เป็นสมการเส้นตรงตามความสัมพันธ์ดังสมการ $y = -0.1202x + 9.737$ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดย x คือ ปริมาณ P-St และ y คือ MFI เนื่องจาก กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งช่วยให้แป้งไหลได้ง่ายขึ้นในงานวิจัยนี้เติมกลีเซอรอลปริมาณคงที่ 20 phr ดังนั้นเมื่อเติมปริมาณ P-St มากขึ้น ทำให้อัตราส่วนระหว่าง G ต่อ P-St น้อยลง ส่งผลให้ P-St ไหลได้ยากขึ้น จึงทำให้มีค่า MFI ต่ำลง นอกจากนี้สามารถอธิบายเหตุผล เนื่องจากการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง (%Gelatinized starch, %GS) พบว่าการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งเพิ่มขึ้น ตามปริมาณการเติม P-St ใน PVOH/G เมื่อ %GS มากขึ้น

ส่งผลให้แป้งมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้ MFI ของแป้งที่ถูกเจลาติไนซ์มีค่าต่ำกว่าแป้งที่ไม่ได้ถูกเจลาติไนซ์ ซึ่งผลการทดลองนี้มีแนวโน้มและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Rosa และคณะ [25]

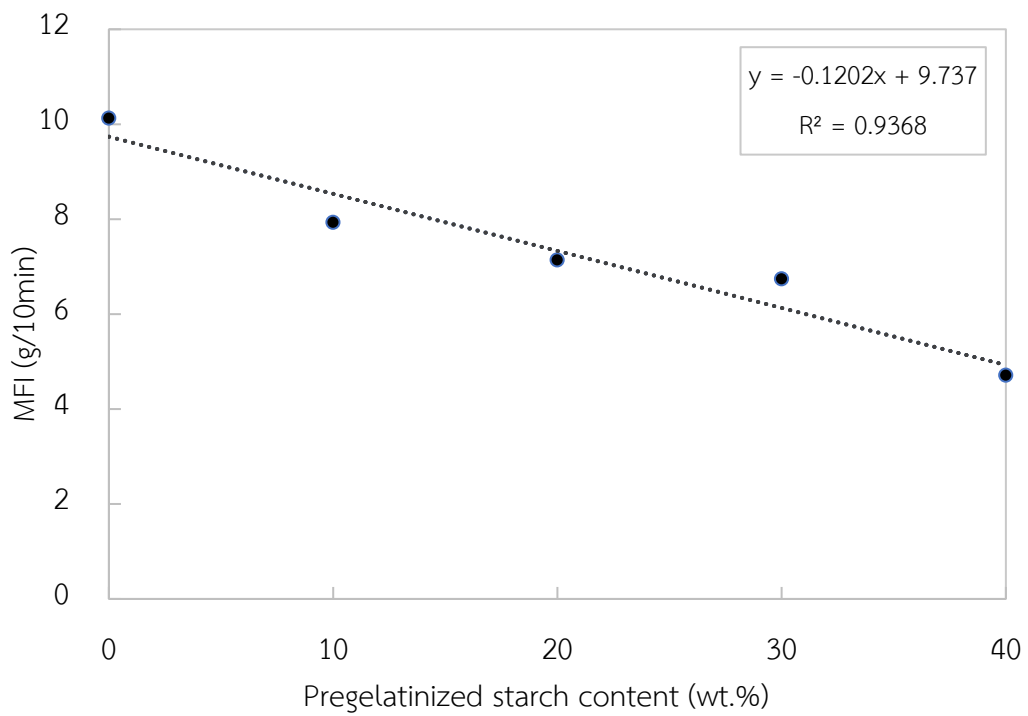
นอกจากนี้ P-St อาจมีพฤติกรรมการไหล (Fluid flow behavior) แบบ Shear thickening เมื่อได้รับแรงเฉือน (Shear force) ทำให้ความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.1 โดยผลการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity-average molecular weight, M_v) ที่ได้จากเทคนิค Dilute-solution viscosity ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.1 สามารถยืนยันได้ว่า P-St มีพฤติกรรมการไหลแบบ Shear thickening ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้น ทำให้ M_v เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ P-St เพิ่มขึ้นจะทำให้สายโซ่ของ P-St และ PVOH/G เกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่ (Entanglement) มากขึ้นทำให้ความหนืดปรากฏ (η_{app}) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ PVOH/G มีความสามารถในการไหลได้ลดลง

ตารางที่ 4.1 สมบัติการไหล, ความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของ PVOH และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

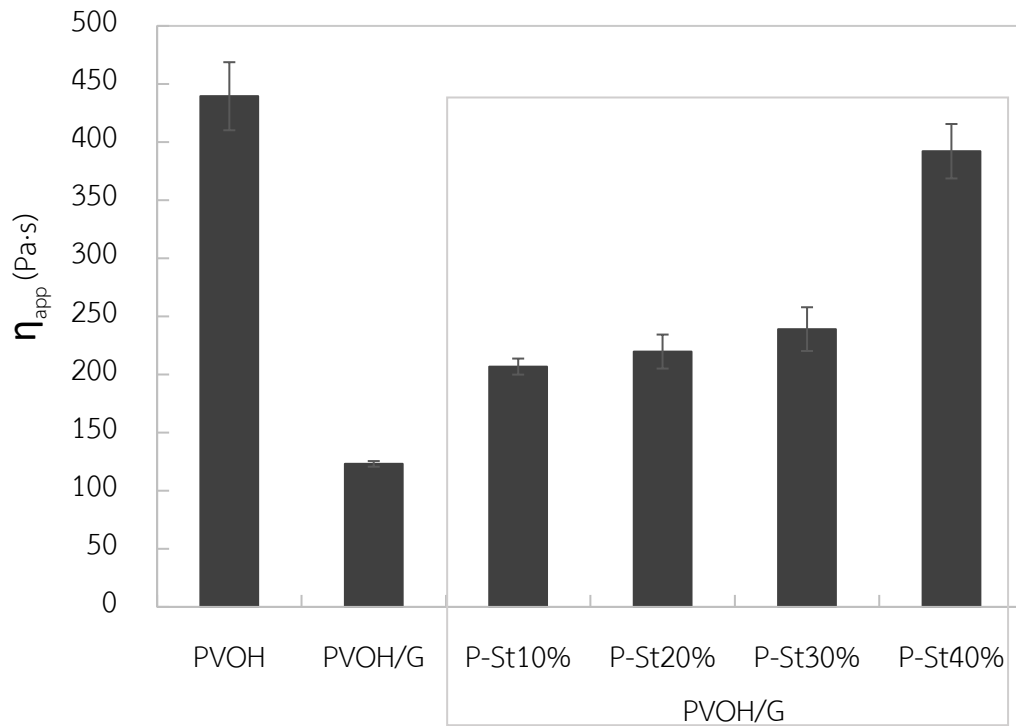
Sample	MFI (g/10min)	η_{app} (Pa·s)	M_v (g/ml)
PVOH	2.44 ± 0.045 ^a	439.49 ± 29.28 ^a	38,631.32 ± 131.57 ^a
PVOH/G	10.13 ± 0.010 ^b	123.10 ± 2.42 ^d	29,021.47 ± 418.28 ^f
PVOH90/G/P-St10	7.93 ± 0.004 ^c	206.82 ± 6.89 ^c	31,421.45 ± 836.89 ^e
PVOH80/G/P-St20	7.14 ± 0.010 ^d	219.75 ± 14.64 ^c	32,726.44 ± 296.60 ^d
PVOH70/G/P-St30	6.74 ± 0.009 ^e	239.06 ± 18.82 ^c	34,298.83 ± 616.21 ^c
PVOH60/G/P-St40	4.71 ± 0.021 ^f	392.16 ± 23.42 ^b	35,963.98 ± 281.68 ^b



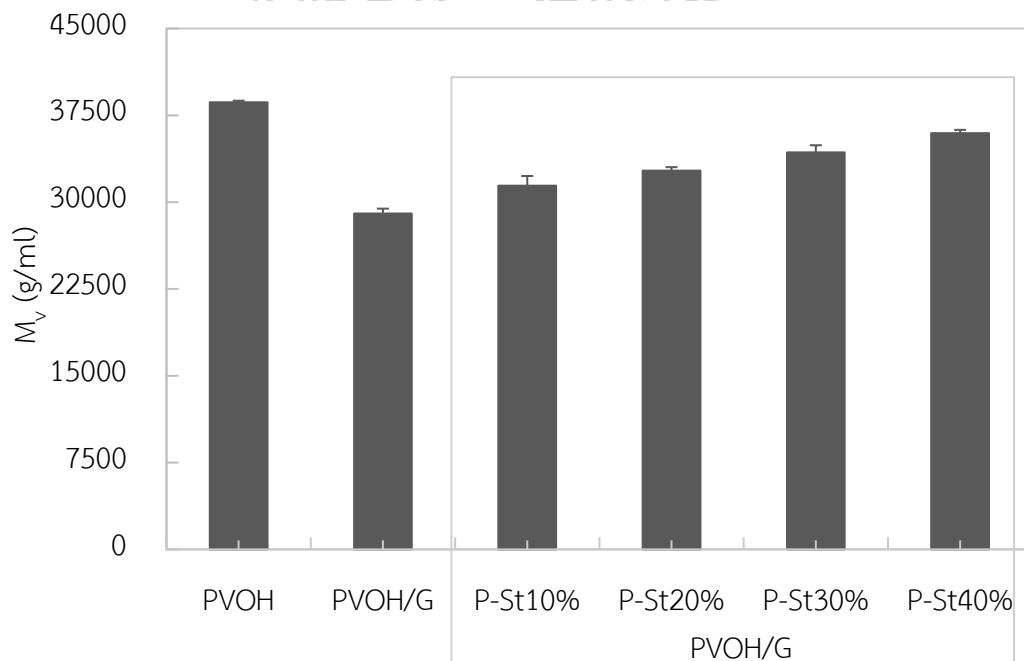
รูปที่ 4.3 สมบัติการไหลของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 สมการความสัมพันธ์แบบผกผันของ MFI กับปริมาณ P-St



รูปที่ 4.5 ค่าความหนืดปรากฏ (η_{app}) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (M_v) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.1.3 การศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์

เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ถูกนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตีไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่าง ๆ

จากผลการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนระหว่าง PVOH และ PVOH/G พบว่า PVOH มีการสลายตัวทางความร้อน 4 ชั้น เช่นเดียวกับ PVOH/G ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 โดย PVOH/G มีการสลายตัวทางความร้อนขั้นแรกช่วง 75-100 °C เป็นการสลายตัวของน้ำ ชั้นที่สองช่วง 100-250 °C เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล ชั้นที่สามช่วง 250-400 °C เป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายสายโซ่ (Side chain) ของ PVOH และชั้นที่สี่ช่วง 400-500 °C เป็นการสลายตัวของหมู่ Aliphatic carbon ที่สายโซ่หลัก (Main chain) ของ PVOH ซึ่งงานวิจัยของ Luo และคณะ [17] ก็พบว่า PVOH และ PVOH/G มีการสลายตัว 4 ชั้น เป็นการสลายตัวของน้ำ, กลีเซอรอล, หมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายสายโซ่และสายโซ่หลักของ PVOH เช่นเดียวกัน โดยงานวิจัยของ Peng และคณะ [26] แสดงกลไกการสลายตัวทางความร้อนของ PVOH ผ่านกระบวนการ Dehydration ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เมื่อเปรียบเทียบเสถียรภาพทางความร้อนและ Residue ระหว่าง PVOH กับ PVOH/G พบว่า PVOH/G มีเสถียรภาพทางความร้อนในขั้นที่สามลดลงจาก 347.37 °C เป็น 345.77 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 เมื่อเทียบกับ PVOH เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นตัวพลาสติกไซเซอร์ ให้กับ PVOH ทำให้ความแข็งแรงของพันธะ PVOH ลดลง ส่งผลให้ Weight ของ PVOH/G เพิ่มขึ้นจาก 96.67% เป็น 97.68% (Residue ของ PVOH/G ลดลงจาก 3.33% เป็น 2.32%) แต่เมื่อพิจารณา Weight ในช่วงก่อนการสลายตัวของ PVOH และ PVOH/G พบว่าในขั้นแรกที่เป็นการสลายตัวของน้ำ จะเห็นว่า Weight ของน้ำที่อยู่ใน PVOH/G มีค่าสูงกว่าน้ำที่อยู่ใน PVOH เท่ากับ 0.3% เนื่องจากน้ำสามารถเกิดอันตรกิริยากับกลีเซอรอลในโมเลกุล PVOH/G ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ ในขั้นที่สองที่เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล จะเห็นว่า Weight ของ PVOH/G สูงกว่า PVOH เท่ากับ 0.65% เนื่องจาก PVOH สามารถเกิดอันตรกิริยากับกลีเซอรอล ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่าง PVOH/G สูงกว่า PVOH ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Srithep และคณะ [27] โดยพบว่ากลีเซอรอลมีความเข้มข้นสูงและเกิดอันตรกิริยากับ PVOH ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้ Weight ของ PVOH/G สูงกว่า PVOH ในขั้นที่สามที่เป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายสายโซ่ของ PVOH จะเห็นว่าในช่วงแรก Weight ของ PVOH/G สูงกว่า PVOH เท่ากับ 2.87% ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH กับกลีเซอรอลในขั้นที่สอง ทำให้ Weight ในช่วงแรกของ PVOH/G ยังสูงกว่า PVOH

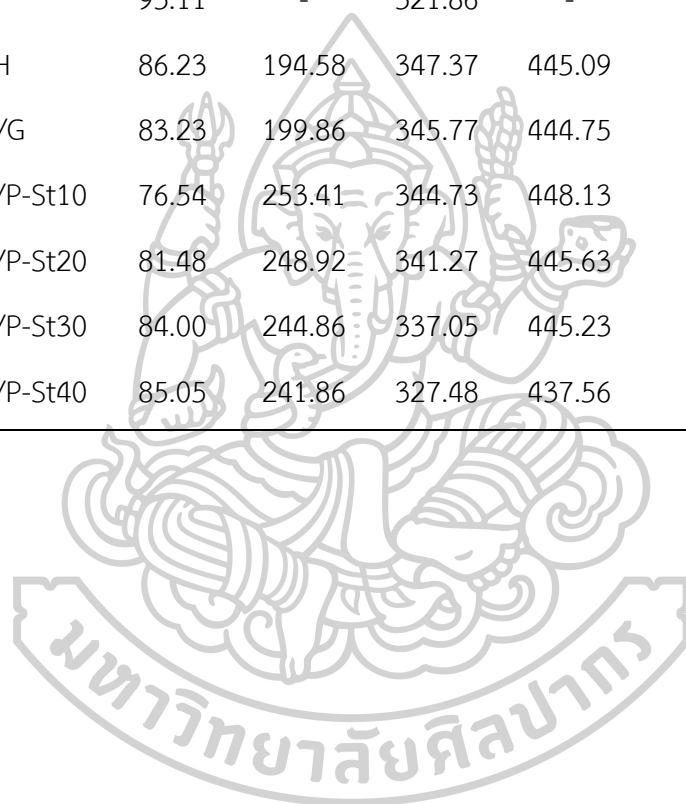
เมื่อพิจารณาการสลายตัวทางความร้อนของ P-St พบว่า P-St มีการสลายตัวทางความร้อน 2 ขั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 โดยขั้นแรกช่วง 75-100 °C เป็นการสลายตัวของน้ำ และขั้นที่สองช่วง 250-400 °C เป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลของ P-St โดยกลไกการสลายตัวทางความร้อนของ P-St ดังแสดงในรูปที่ 4.9

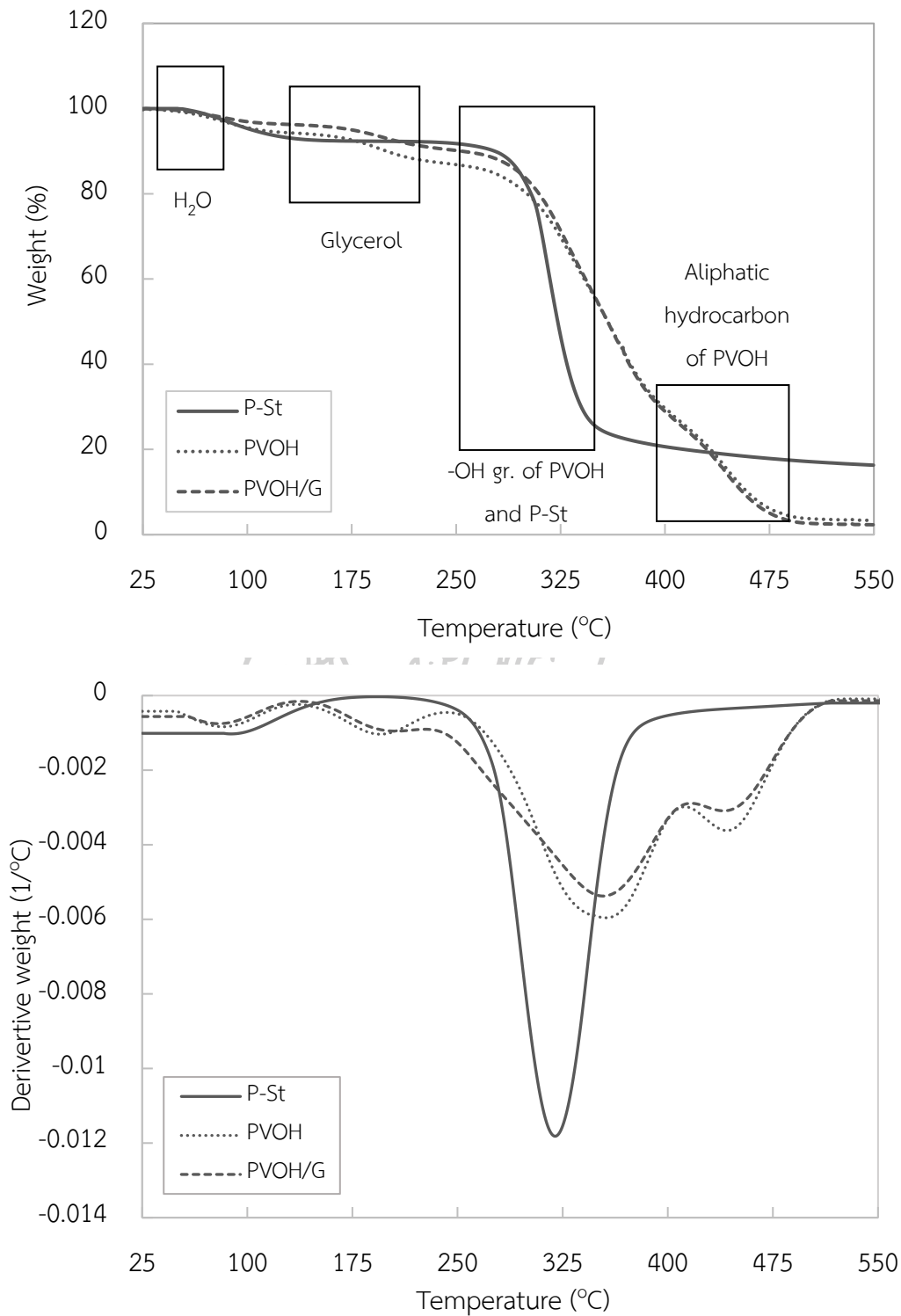
เมื่อพิจารณาผลของการเติม P-St ใน PVOH/G พบว่า การเติม P-St ใน PVOH/G เกิดการสลายตัวทางความร้อน 4 ขั้นเช่นเดียวกับ PVOH/G โดยในขั้นที่สาม เป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ P-St และ PVOH ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.2 เนื่องจาก P-St มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ปลายสายโซ่ (Side group) เช่นเดียวกับ PVOH และขั้นที่สี่ เป็นการสลายตัวของหมู่ Aliphatic carbon ที่สายโซ่หลักของ PVOH แต่เมื่อพิจารณาเสถียรภาพทางความร้อน จากผลของการเติม P-St ใน PVOH/G โดยมีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่า การเติม P-St ลงใน PVOH/G ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนลดลง (พิจารณาจาก T_{d3} จากตารางที่ 4.2) สังเกตจาก P-St ($T_{d3} = 321.86$ °C) มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนในขั้นที่ 3 ต่ำกว่า PVOH ($T_{d3} = 347.37$ °C) เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) กับสายโซ่หลักของ PVOH ((PVOH)-OH) สูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลกับสายโซ่หลักของ P-St ((P-St)-OH) เพราะ P-St มีหมู่ไฮดรอกซิลบางหมู่ที่ไม่ได้ยึดเหนี่ยวกับสายโซ่หลักของ P-St โดยตรง แต่ยึดติดผ่านอะตอมคาร์บอน (C) ((P-St)-C-OH) จึงอาจทำให้หมู่ไฮดรอกซิลที่ติดกับ (P-St)-C-OH เกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ง่ายกว่าที่ติดอยู่กับสายโซ่หลัก (P-St)-OH ดังนั้นเมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้นเสถียรภาพทางความร้อนในขั้นที่สามยิ่งต่ำลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ Residue ของ PVOH/G ผสม P-St ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.2 พบว่า PVOH/G/P-St มี Residue เพิ่มขึ้นตามปริมาณ P-St

เนื่องจาก P-St มีโครงสร้างเป็น Cyclic hydrocarbon ดังนั้นต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะสูงกว่าโครงสร้างที่เป็น Aliphatic hydrocarbon ของ PVOH

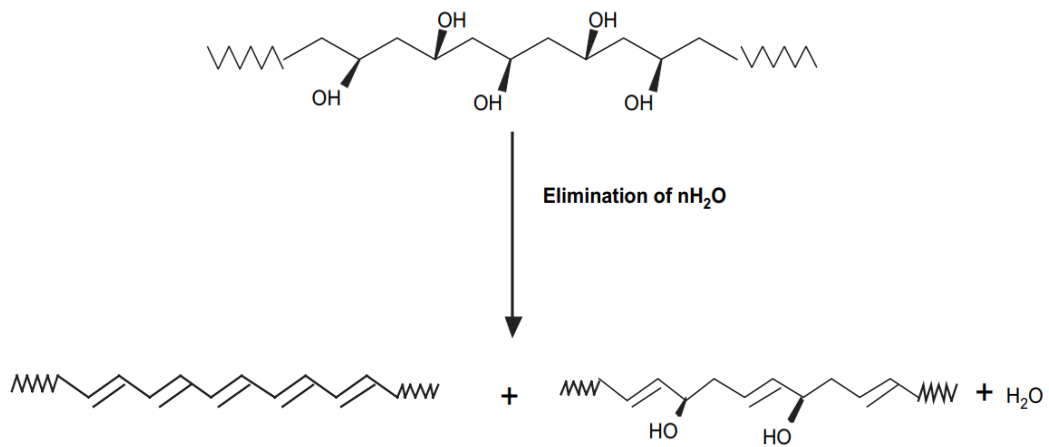
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (T_d) ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค TGA

Sample	T_{d1} (°C)	T_{d2} (°C)	T_{d3} (°C)	T_{d4} (°C)	Weight loss (%)	Residue (%)
P-St	93.11	-	321.86	-	83.70	16.30
PVOH	86.23	194.58	347.37	445.09	96.67	3.33
PVOH/G	83.23	199.86	345.77	444.75	97.68	2.32
PVOH90/G/P-St10	76.54	253.41	344.73	448.13	94.40	5.60
PVOH80/G/P-St20	81.48	248.92	341.27	445.63	93.16	6.84
PVOH70/G/P-St30	84.00	244.86	337.05	445.23	92.09	7.91
PVOH60/G/P-St40	85.05	241.86	327.48	437.56	89.49	10.51

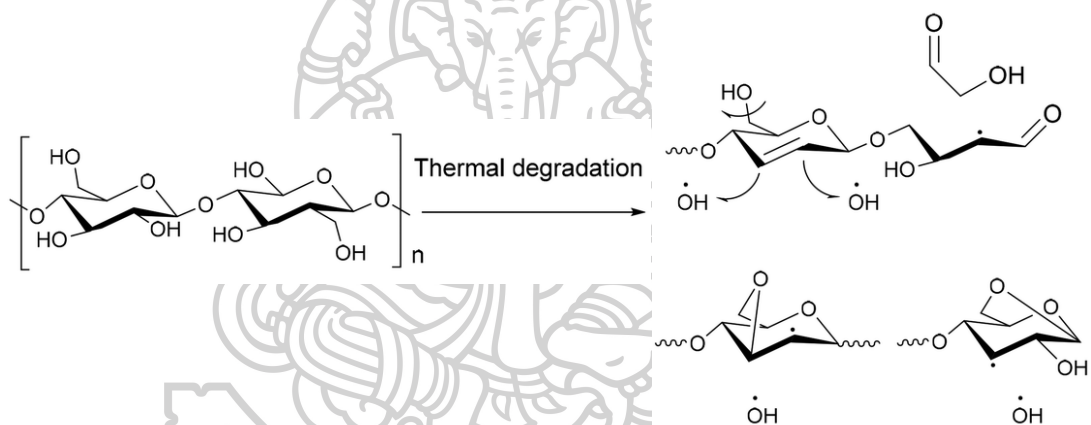




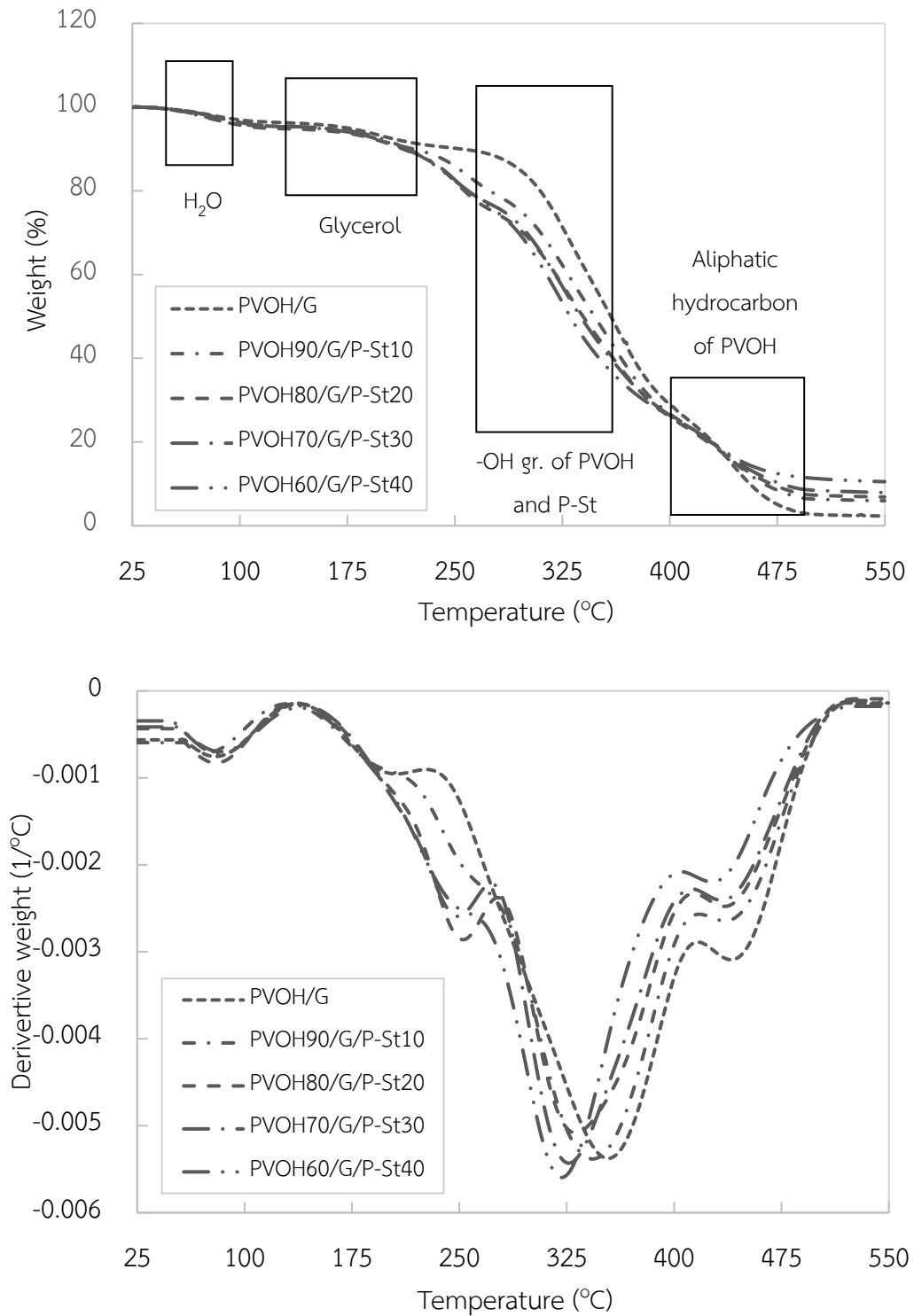
รูปที่ 4.7 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ P-St, PVOH และ PVOH/G



รูปที่ 4.8 กลไกการสลายตัวทางความร้อนของ PVOH ผ่านกระบวนการ Dehydration



รูปที่ 4.9 กลไกการสลายตัวทางความร้อนของ P-St



รูปที่ 4.10 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.1.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตินไนซ์

เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ถูกนำมาใช้ในการศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Melting temperature; T_m) รวมไปถึงการหาปริมาณผลึก (%Crystallinity; X_c) ของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตินไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่างๆ

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนระหว่าง PVOH และ PVOH/G ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 พบว่า PVOH มีค่า T_g เท่ากับ $44.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อมีการเติมกลีเซอรอลลงไปผสมกับ PVOH ทำให้ PVOH/G มีค่า T_g ลดลงเป็น $40.91\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยเข้าไปเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ของ PVOH ทำให้สายโซ่ PVOH เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น (Chain flexibility) นอกจากนี้การเติมกลีเซอรอลทำให้ T_m ลดลงจาก $174.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $170.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลีเซอรอลทำให้ PVOH เคลื่อนที่ไปจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ง่าย ส่งผลให้ผลึกมีขนาดเล็ก

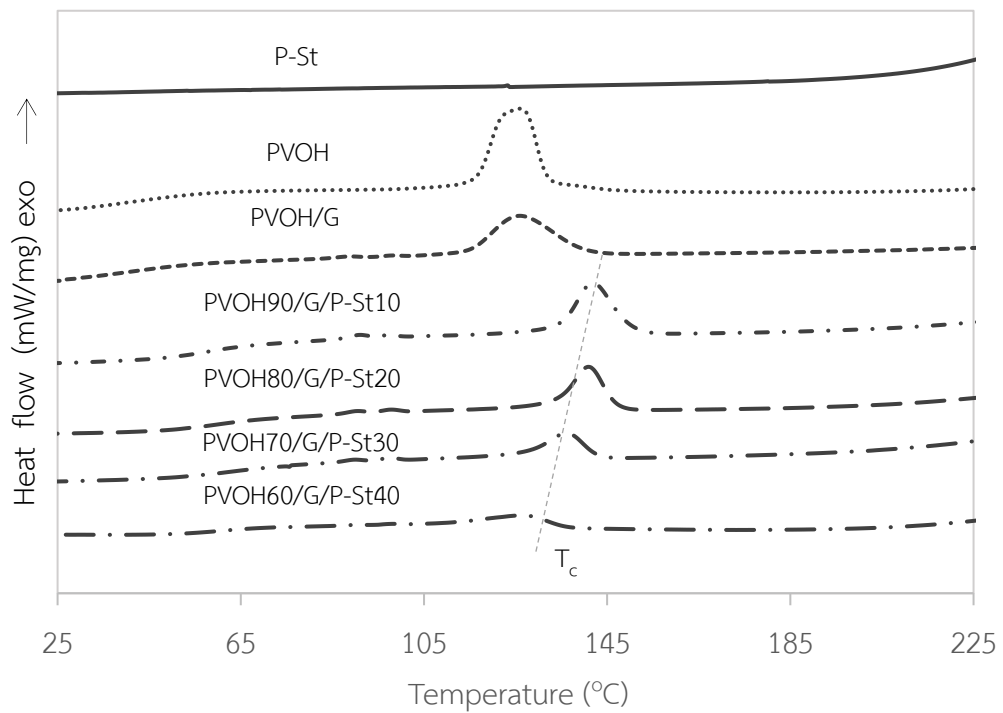
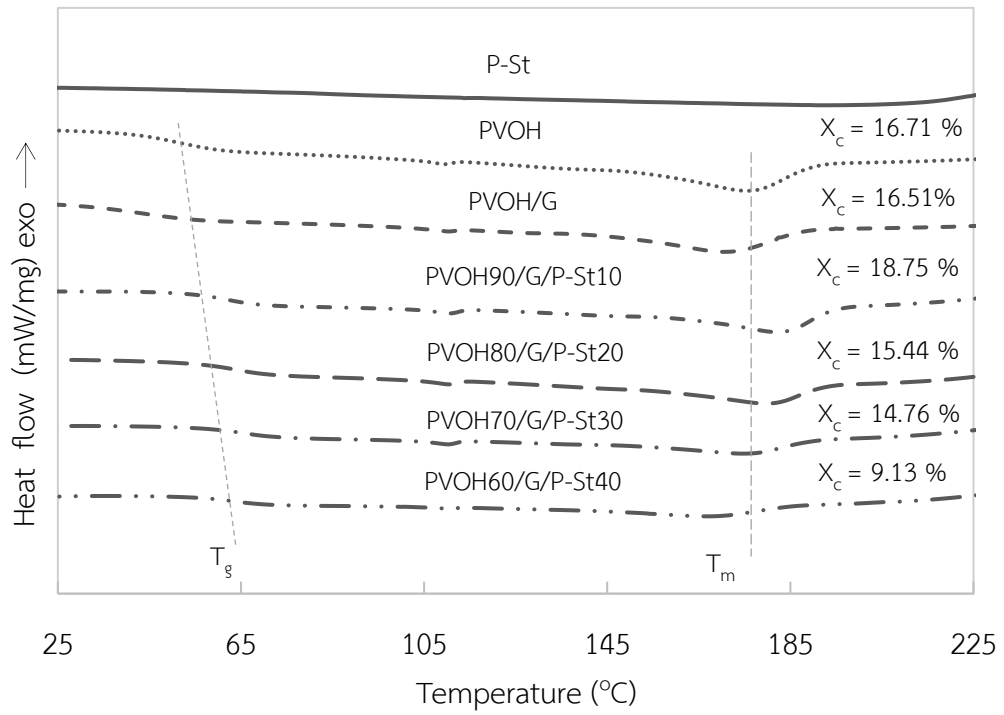
เมื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของแป้งพรีเจลาตินไนซ์ (P-St) พบว่า P-St ไม่ปรากฏ T_g และ T_m บน DSC เทอร์โมแกรม เนื่องจาก P-St ผ่านกระบวนการเจลาตินไนเซชัน (Gelatinization) ทำให้โครงสร้างผลึกของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ DSC เทอร์โมแกรม ไม่พบปริมาณผลึกของ P-St ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Lou และคณะ [17] โดยพบว่า แป้งที่ถูกเจลาตินไนซ์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงบนกราฟเทอร์โมแกรมจากเทคนิค DSC เนื่องจาก แป้งที่ถูกเจลาตินไนซ์มีความเป็น Amorphous สูง

เมื่อพิจารณาผลของการเติม P-St ใน PVOH/G โดยมีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่า T_g มีค่าเพิ่มขึ้น จาก $40.91\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $60.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 เนื่องจาก โมเลกุลของ P-St สามารถเกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่ของ PVOH/G ได้ ซึ่ง Fetsch และคณะ [28] ให้เหตุผลสนับสนุนว่า เมื่อพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น สายโซ่โมเลกุลจะเกิดการเกี่ยวพันกัน ส่งผลให้ T_g เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity-average molecular weight, M_v) ที่ได้จากเทคนิค Dilute-solution

viscosity โดยสามารถยืนยันได้ว่า PVOH/G ผสม P-St ในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ M_v เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.1 นอกจากนี้ พบว่า การเติม P-St ใน PVOH/G ทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) มีค่าสูงขึ้นจาก 126.13 °C เป็น 141.98 °C อาจเป็นเพราะอนุภาคแป้งสามารถประพฤติตัวเป็นสารก่อผลึก (Heterogenous nucleating agent) จึงทำให้ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นจาก 16.51% เป็น 18.75% แต่เมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้นที่ 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มทำให้ค่า T_c ลดลง เนื่องจากการมีอนุภาคแป้งมากทำให้โมเลกุลของแป้งสามารถเกิดการเกี่ยวพันของสายโซ่ (Chain entanglement) ซึ่งไปขัดขวางการเกิดผลึกของ PVOH ปริมาณผลึกจึงลดลงจาก 18.75% เป็น 9.13%

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	T_g (°C)	T_c (°C)	T_m (°C)	X_c (%)
P-St	-	-	-	-
PVOH	44.66	126.20	174.36	16.71
PVOH/G	40.91	126.13	170.73	16.51
PVOH90/G/P-St10	60.46	141.98	182.24	18.75
PVOH80/G/P-St20	62.72	140.97	179.89	15.44
PVOH70/G/P-St30	62.90	136.10	174.76	14.76
PVOH60/G/P-St40	63.25	126.57	167.45	9.13



รูปที่ 4.11 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ที่ First-heat และ Cool step ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

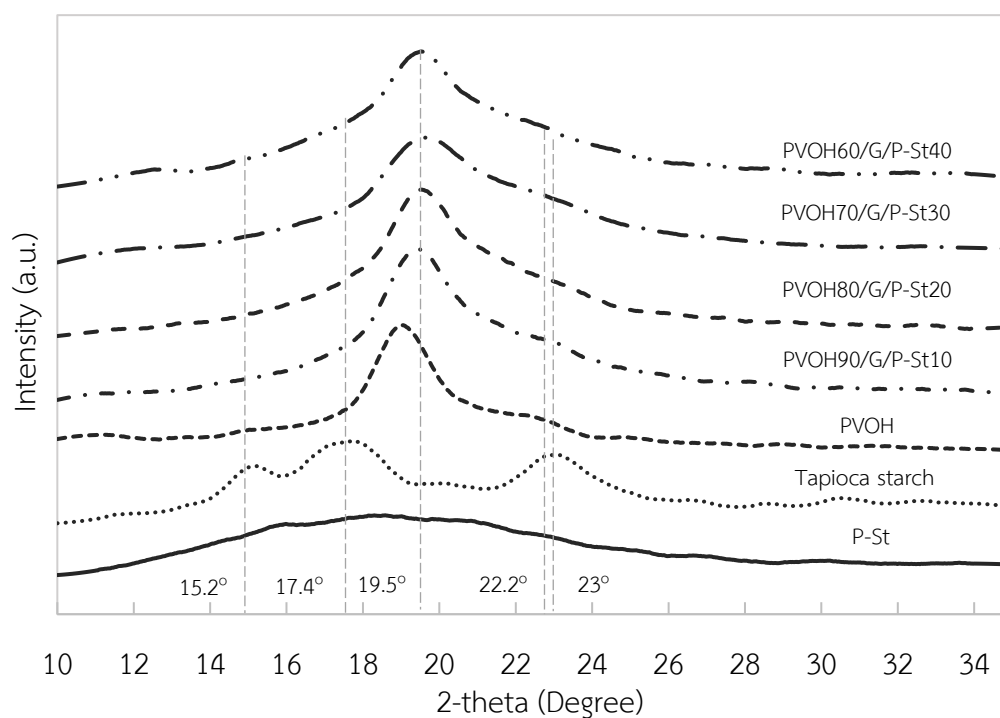
4.1.5 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

เครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ถูกนำมาใช้ในการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลาติไนซ์ (%Gelatinized starch, %GS) ของแป้งพรีเจลาติไนซ์ (P-St), ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาติไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่าง ๆ

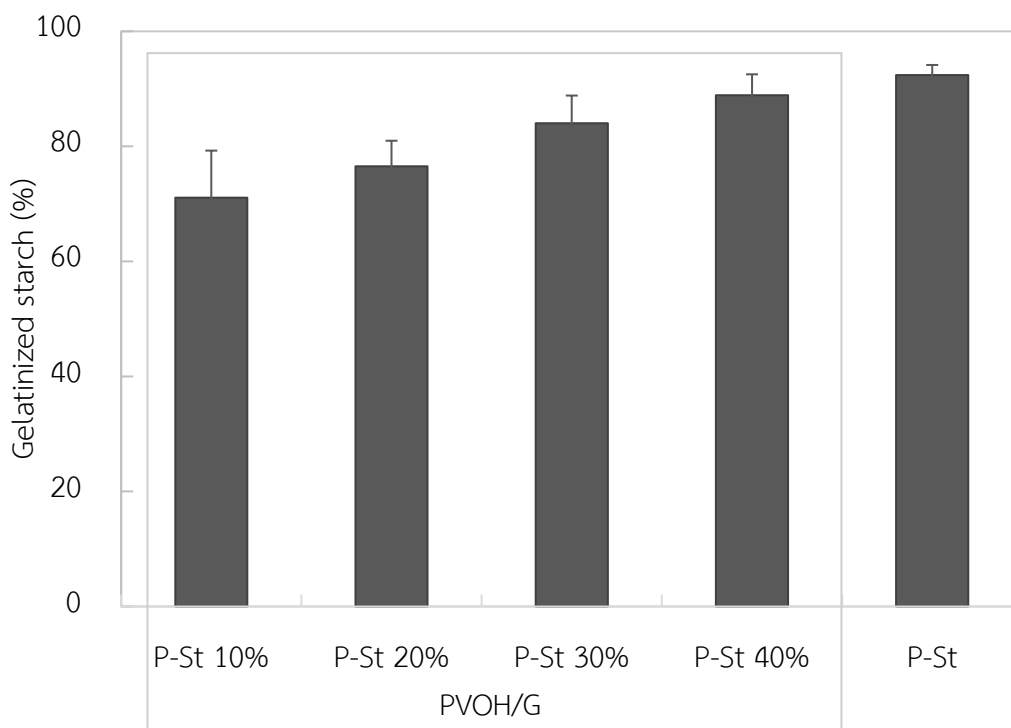
เมื่อพิจารณา XRD pattern ของ PVOH ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.4 พบว่า PVOH ปรากฏพีคเอกลักษณ์ 2 พีค ที่ 2θ ประมาณ 19.5° และ 22.2° โดยแต่ละพีคมีความเข้มของพีค (Intensity) เท่ากับ 92.67 ± 7.09 และ 15.33 ± 3.06 a.u. ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chang และคณะ [29] โดยพบว่า PVOH ปรากฏพีคเอกลักษณ์ที่ 2θ ประมาณ 20.17° และ 22.96° นอกจากนี้ Tapioca starch พบพีคเอกลักษณ์ 3 พีค ที่ 2θ ประมาณ 15.2° , 17.4° และ 23° ตามลำดับ โดยแต่ละพีคมีความเข้มเท่ากับ 29.00 ± 1.73 , 44.33 ± 4.04 และ 34.33 ± 3.06 a.u. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.4 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Abd El-Ghany และคณะ [30] โดยพบว่า PVOH ปรากฏพีคเอกลักษณ์ที่ 2θ ประมาณ 15.2° , 16.9° และ 23.2° ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา XRD pattern ของ P-St พบว่า P-St ปรากฏพีคเอกลักษณ์บนที่ 2θ ตำแหน่งเดียวกันกับ Tapioca starch แต่ความเข้มของพีคของ P-St ต่ำกว่า Tapioca starch คือ 26.67 ± 1.53 , 25.67 ± 1.15 และ 3.33 ± 0.58 a.u. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.4 เนื่องจาก P-St ผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน ทำให้ P-St มีความเป็นผลึกลดลง เพราะโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็นผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน เมื่อนำความเข้มของพีคของ P-St ที่ 2θ ประมาณ 23° มาคำนวณ %GS ด้วยสมการที่ 3.2 จะได้ %GS ของ P-St เท่ากับ 92.40 ± 1.75 % ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.4 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของการเติม P-St ใน PVOH/G ที่มีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าพีคเอกลักษณ์ที่ 2θ ก็ยังปรากฏตำแหน่งเดียวกันกับ Tapioca starch แต่ความเข้มพีคที่ 2θ ที่ตำแหน่ง 23° ขึ้นอยู่กับปริมาณ P-St โดยเมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มพีคลดต่ำลง

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การเกิดเจลลาติไนซ์ (%Gelatinized starch, %GS) ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	H'_o (a.u.)	H_o (a.u.)	%GS (%)
P-St	34.33 ± 3.06	3.33 ± 0.58	92.40 ± 1.75^a
PVOH	34.33 ± 3.06	-	-
PVOH/G	34.33 ± 3.06	-	-
PVOH90/G/P-St10	34.33 ± 3.06	12.67 ± 2.89	71.09 ± 8.17^c
PVOH80/G/P-St20	34.33 ± 3.06	10.33 ± 1.53	$76.53 \pm 4.45^{b,c}$
PVOH70/G/P-St30	34.33 ± 3.06	7.00 ± 1.73	$84.01 \pm 4.82^{a,b}$
PVOH60/G/P-St40	34.33 ± 3.06	5.00 ± 2.00	88.89 ± 3.64^a



รูปที่ 4.12 XRD pattern ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.13 ปริมาณการเกิดเจลาตินไนซ์ของ P-St และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ

4.1.6 การศึกษาสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตินไนซ์

จากงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มพลาสติกที่สามารถละลายน้ำได้ โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ถุงซั๊กผ้าละลายน้ำได้ ดังนั้นการทดสอบสมบัติการละลายน้ำจึงมีความสำคัญในการทดสอบฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตินไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาอัตราส่วนของ P-St ที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นถุงซั๊กผ้าที่สามารถละลายน้ำได้

จากผลการทดสอบสมบัติการละลายน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C ระหว่างฟิล์ม PVOH และฟิล์ม PVOH/G พบว่าฟิล์ม PVOH/G ใช้เวลาในการละลายน้อยกว่าฟิล์ม PVOH ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5 เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ทำให้สายโซ่ PVOH สั่นไหวง่ายขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างมีช่องว่าง (Free volume) เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณากลไกการละลายน้ำประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยขั้นแรกจะเริ่มจากโมเลกุลของน้ำจะเกิดการ Absorption ไปยังผิวด้านหนึ่งพอลิเมอร์ ขั้นที่สองน้ำจะละลายเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ (Bulk polymer) แล้วจึงเกิดการแพร่ (Diffusion)

ไปตามช่องว่างที่อยู่ในพอลิเมอร์ และชั้นที่สามน้ำจะทำละลายพอลิเมอร์ ตามกฎ Like dissolve like ซึ่ง Ramesh และคณะ [31] พบว่า เมื่อช่องว่างภายในโมเลกุล (Free volume, V_f) เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำสามารถแพร่ (Diffusion, D) เข้าไปในสายโซ่ PVOH ได้เพิ่มขึ้นตามสมการที่ 4.3

$$D = A_0 \exp(-\gamma V^*/V_f) \quad (\text{สมการที่ 4.3})$$

โดย A_0 คือ ค่าคงที่ของ Cohen และ Turnbull, γ คือ ค่า numerical factor, V^* คือ ปริมาตรของรู (Hole) ภายในโมเลกุล และ V_f คือ ปริมาตรของช่องว่างภายในโมเลกุล (Free volume)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์การละลาย (Solubility parameter) พบว่ากลีเซอรอล มีค่า Solubility parameter เท่ากับ $36.1 \text{ MPa}^{1/2}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า Solubility parameter ของน้ำที่มีค่า $47.8 \text{ MPa}^{1/2}$ มากกว่าค่า Solubility parameter ของ PVOH ที่มีค่า $23.93 \text{ MPa}^{1/2}$ ทำให้ PVOH/G ละลายน้ำได้ดีกว่า PVOH [32, 33]

เมื่อพิจารณาผลของการเติม P-St ใน PVOH/G ในการทดสอบสมบัติการละลายน้ำ ที่อุณหภูมิ $30 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าฟิล์ม PVOH/G/P-St ใช้เวลาในการละลายลดลงจาก 19.36 ± 0.07 เป็น 14.33 ± 0.19 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5 เมื่อเทียบกับฟิล์ม PVOH/G เนื่องจาก P-St มีอะไมโลเพคตินที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งทำให้ Free volume เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Azahari และคณะ [34] โดยพบว่าโครงสร้างอะไมโลเพคตินของแป้ง จะช่วยให้ความสามารถในการละลายน้ำดีขึ้น เนื่องจากน้ำสามารถแพร่เข้าไปในสายโซ่ PVOH ได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ P-St ใน PVOH/G พบว่าฟิล์ม PVOH/G ที่เติม P-St ในปริมาณเพิ่มขึ้น จะสามารถละลายน้ำจนหมดช้าลง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5 เนื่องจากเมื่อเติม P-St เพิ่มขึ้น กลีเซอรอลบางส่วนที่อยู่ใน PVOH จะสามารถเข้าไปอยู่ใน P-St ทำให้กลีเซอรอลเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของ PVOH ลดลง ทำให้สายโซ่ PVOH สั่นไหวยากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างมี Free volume ลดลง นอกจากนี้ P-St ยังผ่านกระบวนการเจลาติไนเซชัน ทำให้โครงสร้างที่เป็นกิ่งของอะไมโลเพคตินเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ Free volume ภายในโครงสร้างลดลง ดังนั้นน้ำจะแพร่เข้าไปในสายโซ่ PVOH ยากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการหาปริมาณการเกิดเจลาตินในซ์ของแป้ง (Gelatinized starch, %GS) ที่ได้จากเทคนิค XRD ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.4

โดยฟิล์ม PVOH/G ผสม P-St ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่ามี %GS เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มใช้เวลาในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rodriguez-Miranda และคณะ [35] ได้พบว่าการเจลาตินไนซ์ของแป้ง ส่งผลต่อค่าการละลายน้ำ (Water solubility) โดยแป้งที่ไม่ถูกเจลาตินไนซ์มีค่าการละลายน้ำสูงกว่าแป้งที่ถูกเจลาตินไนซ์

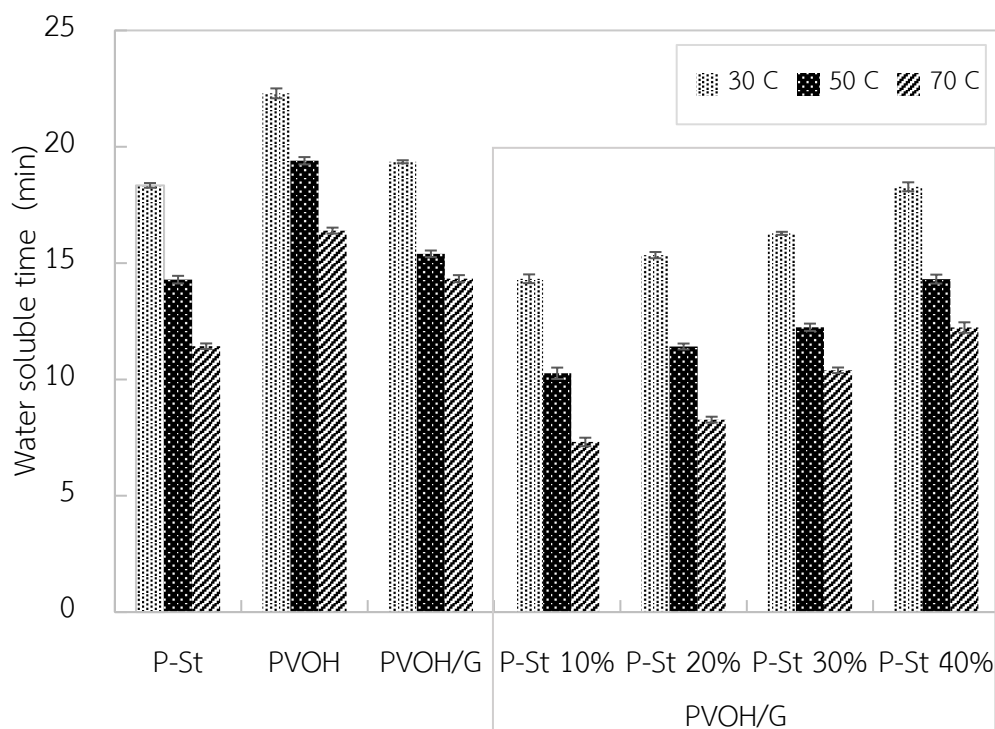
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อการละลายน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อจำลองสภาวะอุณหภูมิน้ำที่สามารถปรับได้จากเครื่องซักผ้า โดยละลายที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ฟิล์มใช้เวลาในการละลายลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5 เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำมีพลังงานสูงขึ้น ดังนั้นน้ำสามารถแพร่เข้าไปในสายโซ่ PVOH/G/P-St ได้เร็ว และมีพลังงานเพียงพอที่จะทำลายอันตรกิริยาระหว่าง PVOH และ P-St จะทำให้ฟิล์มสามารถละลายน้ำได้เร็วขึ้น ซึ่ง Siracusa และคณะ [36] พบว่า เมื่ออุณหภูมิ (Temperature, T) เพิ่มขึ้น ค่าการละลาย (Solubility, S) จะเพิ่มขึ้นตามสมการที่ 4.4

$$S = S_0 \cdot \exp(-H_s/RT) \quad (\text{สมการที่ 4.4})$$

โดย S_0 คือ ค่า Preexponential factors, H_s คือ ความร้อนของการดูดซับ (J/mol) และ R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol·K

ตารางที่ 4.5 เวลาในการละลายน้ำ (Water soluble time) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C

Sample	Water soluble time (min)		
	ที่ 30 °C	ที่ 50 °C	ที่ 70 °C
P-St	18.34 ± 0.10 ^c	14.29 ± 0.16 ^c	11.43 ± 0.12 ^d
PVOH	22.30 ± 0.21 ^a	19.40 ± 0.16 ^a	16.40 ± 0.13 ^a
PVOH/G	19.36 ± 0.07 ^b	15.40 ± 0.14 ^b	14.33 ± 0.15 ^b
PVOH90/G/P-St10	14.33 ± 0.19 ^f	10.26 ± 0.25 ^f	7.31 ± 0.18 ^g
PVOH80/G/P-St20	15.34 ± 0.13 ^e	11.42 ± 0.13 ^e	8.27 ± 0.13 ^f
PVOH70/G/P-St30	16.28 ± 0.07 ^d	12.24 ± 0.16 ^d	10.39 ± 0.12 ^e
PVOH60/G/P-St40	18.28 ± 0.19 ^c	14.31 ± 0.19 ^c	12.23 ± 0.23 ^c



รูปที่ 4.14 เวลาที่ใช้ในการละลายน้ำของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C

4.1.7 การศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์

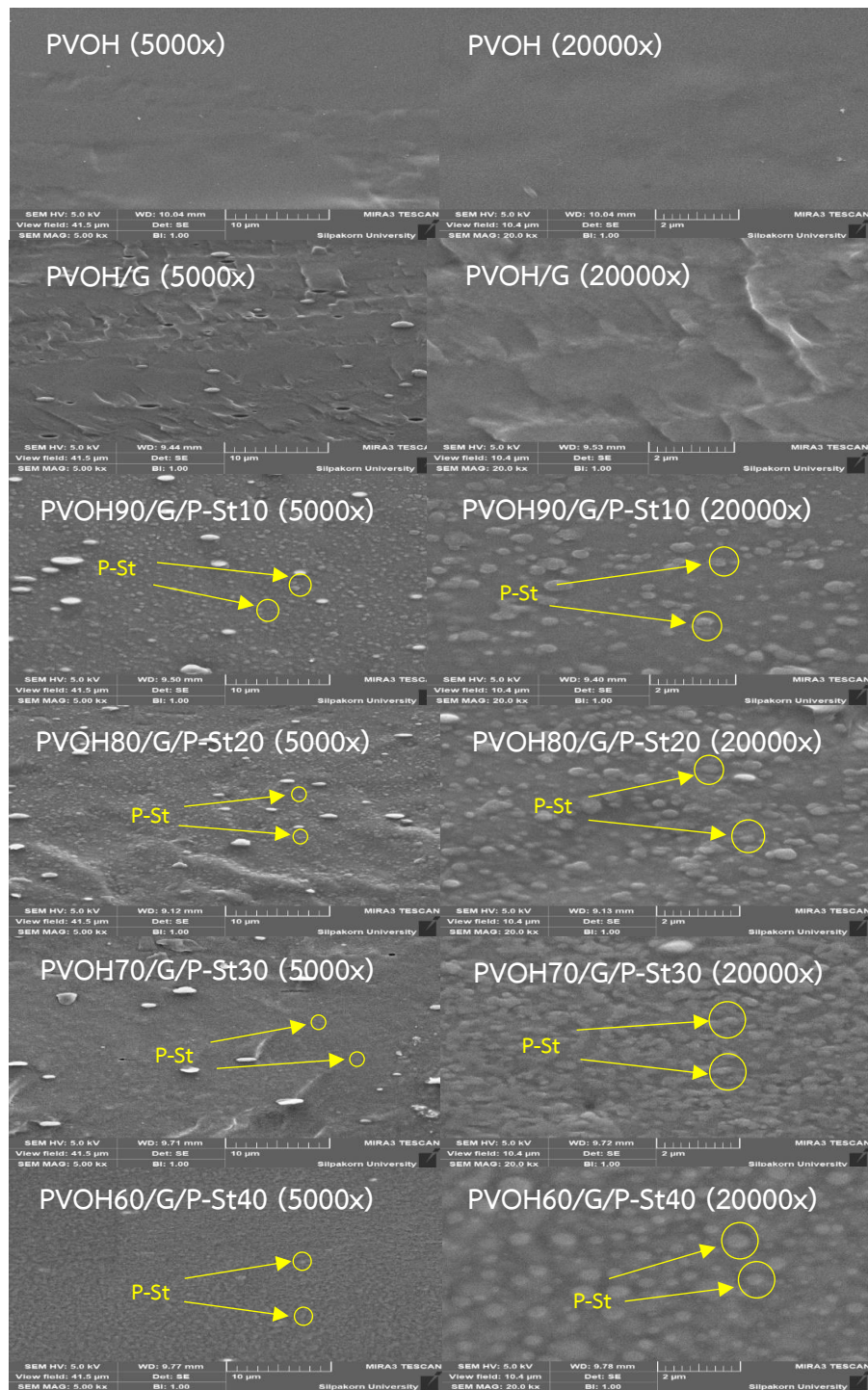
เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ถูกนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และ PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตีไนซ์ (PVOH/G/P-St) ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาในด้านภาพตัดขวาง (Cross-section) ระหว่างฟิล์ม PVOH และ PVOH/G ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า PVOH และ PVOH/G มีพื้นผิวที่คล้ายกัน คือ มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ (Smooth) และเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous phase) แสดงว่า PVOH กับกลีเซอรอลมีความเข้ากันได้ (Complatability) ซึ่งงานวิจัยของ Mohsin และคณะ [22] มีผลการทดลองและให้เหตุผลในทำนองเดียวกัน คือ กลีเซอรอลมีความเข้ากันได้กับ PVOH เพราะกลีเซอรอลสามารถมีอันตรกิริยากับ PVOH ได้

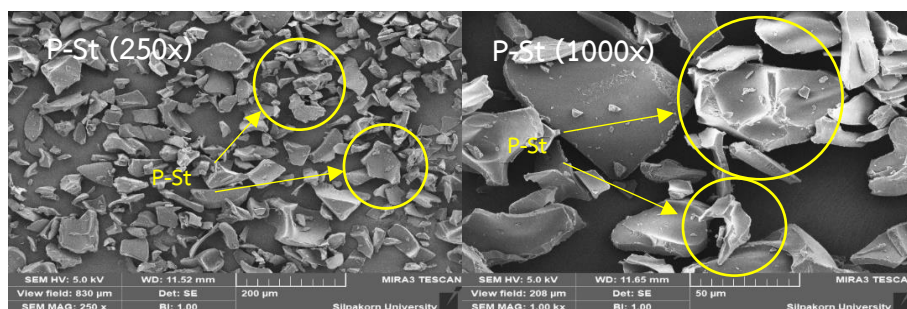
เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งพรีเจลาตีไนซ์ (P-St) พบว่า P-St ปรากฏอนุภาคของเม็ดแป้ง (Starch particles) มีลักษณะเป็นอนุภาคที่แตกออก ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เนื่องจาก P-St ผ่านกระบวนการเจลาตีไนเซชันและได้รับแรงเฉือนจากสกรูในระหว่างกระบวนการผสมและขึ้นรูปฟิล์ม ทำให้อนุภาคของเม็ดแป้งของ P-St ถูกทำลาย

เมื่อพิจารณาผลของการเติมแป้งพรีเจลาตีไนซ์ P-St ใน PVOH พบว่า เมื่อเติม P-St ที่ปริมาณ P-St 10 และ 20% โดยน้ำหนัก ลงใน PVOH/G อนุภาคของ P-St และ PVOH/G จะแยกเฟสกัน (Heterogenous phase) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยจะมีอนุภาคของ P-St ขนาดประมาณ 0.4084 ± 0.1185 และ 0.3864 ± 0.0913 μm ตามลำดับ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Distribution) อยู่ในเฟสของ PVOH/G แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยาดัวยพันธะไฮโดรเจนระหว่าง PVOH/G กับ P-St แต่เมื่อเติม P-St ลงใน PVOH/G ในปริมาณ 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าอนุภาคของ P-St จะเกิดการรวมตัวกัน (Aggregate) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 สังเกตได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ของอนุภาคของ P-St เพิ่มขึ้น ขนาดโดยประมาณ 0.5234 ± 0.1263 และ 0.4002 ± 0.1148 μm ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Piyada และคณะ [37] โดยพบว่าเมื่อเติมแป้งปริมาณเยอะเกินไปจะทำให้อนุภาคของแป้งมีการกระจายตัวในเมทริกซ์หลักไม่ดี ทำให้อนุภาคของแป้งเกิดการรวมตัวกันและเกิดการแยกเฟสระหว่างอนุภาคแป้งกับเมทริกซ์หลักอย่างชัดเจน





รูปที่ 4.15 ภาพ SEM ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 5000x และ 20000x



รูปที่ 4.16 ภาพ SEM ของ P-St ที่กำลังขยาย 250x และ 1000x

4.1.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์

จากงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาฟิล์มพลาสติกที่สามารถละลายน้ำได้ เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ถุงซั๊กผ้าที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งถุงซั๊กผ้าจะต้องมีคุณสมบัติที่แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักเสื้อผ้าที่เปื้อนเชื้อต่าง ๆ ของผู้ป่วยได้ ดังนั้นจึงต้องทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) เพื่อทราบถึงความสามารถในการต้านทานการเสียรูปหรือมอดูลัสของยังค์ (Young's modulus), ความแข็งแรงในการต้านทานแรงดึงยึด (Tensile strength), และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) โดยศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), ฟิล์ม PVOH ที่มีการเติมกลีเซอรอล 20 phr (PVOH/G) และฟิล์ม PVOH/G ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตีไนซ์ (PVOH/G/P-St) อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง Machine direction (MD) และ Transverse direction (TD) ทั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH เพื่อจำลองสภาวะที่ความชื้นต่างกัน

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลในทิศทาง MD และ TD ทั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH ระหว่าง PVOH และ PVOH/G พบว่า PVOH/G มีค่า Young's modulus และ Tensile strength ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อเทียบกับ PVOH เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ให้กับ PVOH ทำให้ PVOH มีความแข็งแรงพันธะลดลง และทำให้ PVOH เคลื่อนที่ได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่า Elongation at break เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายในงานวิจัยของ Cobos และคณะ [38] ให้เหตุผลว่าเมื่อเติมกลีเซอรอลลงใน PVOH ทำให้อันตรกิริยาภายในโมเลกุลของ PVOH ลดลงทำให้ PVOH เคลื่อนที่ได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาการทดสอบในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH ของการเติม P-St ลงใน PVOH/G พบว่าฟิล์ม PVOH/G ที่เติม P-St 10% โดยน้ำหนัก มีค่า Young's modulus และ Tensile strength สูงกว่าฟิล์ม PVOH/G ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เนื่องจาก P-St มีโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน ที่เป็นผลึกอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับผล DSC ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 คือฟิล์ม PVOH90/G/P-St10 มีปริมาณผลึก (%Crystallinity, X_c) มากกว่าฟิล์ม PVOH/G นอกจากนี้ Elongation at break ของฟิล์ม PVOH90/G/P-St10 สูงกว่าฟิล์ม PVOH/G เช่นเดียวกัน เนื่องจาก โครงสร้างเป็นอะไมโลเพคตินที่อยู่ใน P-St มีโครงสร้างเป็นกิ่งอยู่ทำให้สายโซ่บางส่วนเกิดการเกี่ยวพันกันและมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน ทำให้เมื่อฟิล์มได้รับแรงโครงสร้างส่วนที่เป็นอสัณฐานจะเกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบได้ ส่งผลให้ฟิล์มสามารถยืดได้เพิ่มขึ้น ส่วนเมื่อพิจารณาการเติม P-St 20% โดยน้ำหนัก ลงใน PVOH/G จะทำให้ค่า Young's modulus และ Tensile strength มีค่าสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อเทียบกับการเติม P-St ลงใน PVOH/G ในสัดส่วนอื่น เนื่องจากอนุภาค P-St มีการกระจายตัวที่ดี อยู่ในเฟสของ PVOH/G ซึ่งยืนยันได้จากผล SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ที่แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยาดัวยพันธะไฮโดรเจนระหว่าง PVOH/G กับ P-St ส่งผลให้ทำให้ค่า Young's modulus และ Tensile strength มีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเติม P-St ลงใน PVOH/G ในปริมาณ 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มจะมีค่า Young's modulus และ Tensile strength ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เนื่องจากเมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้นจะทำให้ อนุภาคของ P-St จะเกิดการรวมตัวกัน ซึ่งยืนยันได้จากผล SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ส่วนค่า Elongation at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้น สายโซ่จะเกิดการเกี่ยวพันกันมากขึ้น ส่งผลให้ค่า Elongation at break เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผล DSC ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 คือ เมื่อปริมาณ P-St เพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มมีปริมาณผลึกลดลง

เมื่อพิจารณาการทดสอบในทิศทาง MD และ TD พบว่าสูตร PVOH/G และ PVOH/G ที่มีการเติม P-St ในบางสูตรจะมีค่า Young's modulus ในทิศทาง TD มากกว่า MD ทั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เนื่องจากในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มผ่านกระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown film extrusion) ไม่มีการควบคุมค่า Blow up ratio (BUR) และ Draw down ratio (DDR) จึงอาจทำให้บางสูตรมีความแข็งแรง พันธะในทิศทาง TD มากกว่าในทิศทาง MD ส่งผลให้ฟิล์ม PVOH/G ในทิศทาง TD

มีค่า Young's modulus มากกว่าในทิศทาง MD ส่วนค่า Tensile strength และ Elongation at break พบว่าทุก ๆ สูตรมีค่า Tensile strength และ Elongation at break ในทิศทาง MD มากกว่า TD ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มขณะที่พอลิเมอร์หลอมเหลว (Polymer melt) ไหลออกจากหัวขึ้นรูป (Die) จะถูกลูกกลิ้ง (Nip roll) ดึงไปเพื่อรีดอากาศออก ทำให้โมเลกุลเกิดการจัดเรียงตัวไปในทิศทาง MD มากกว่าในทิศทาง TD ส่งผลให้ความแข็งแรงพันธะในทิศทาง MD มากกว่าในทิศทาง TD ดังนั้นค่า Tensile strength และ Elongation at break ในทิศทาง MD จึงมีค่ามากกว่าในทิศทาง TD

เมื่อพิจารณาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจาก 31.1 เป็น 61.1 %RH จะทำฟิล์ม PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St มีค่า Young's modulus และ Tensile strength ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 และในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เนื่องจากเมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น จะทำให้มีไอน้ำในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งไอน้ำทำหน้าที่เป็นตัวพลาสติกไซเซอร์ให้กับ PVOH โดยจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ PVOH ทำให้ PVOH มีความแข็งแรงของพันธะลดลง และเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่า Elongation at break เพิ่มขึ้น

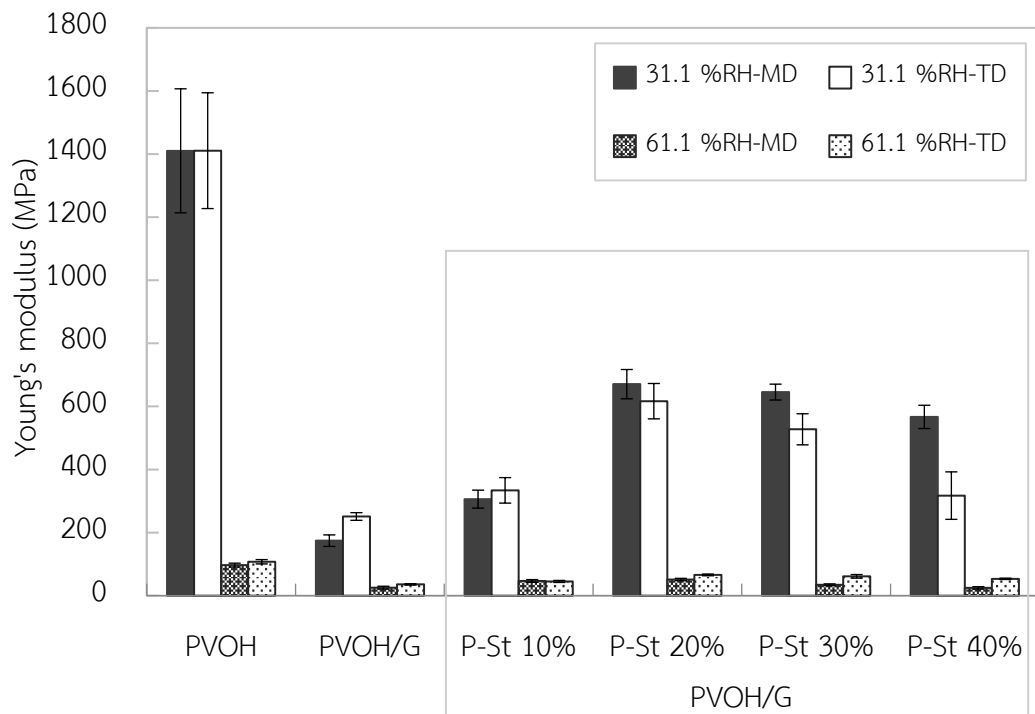


ตารางที่ 4.6 Young's modulus (YM), Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH

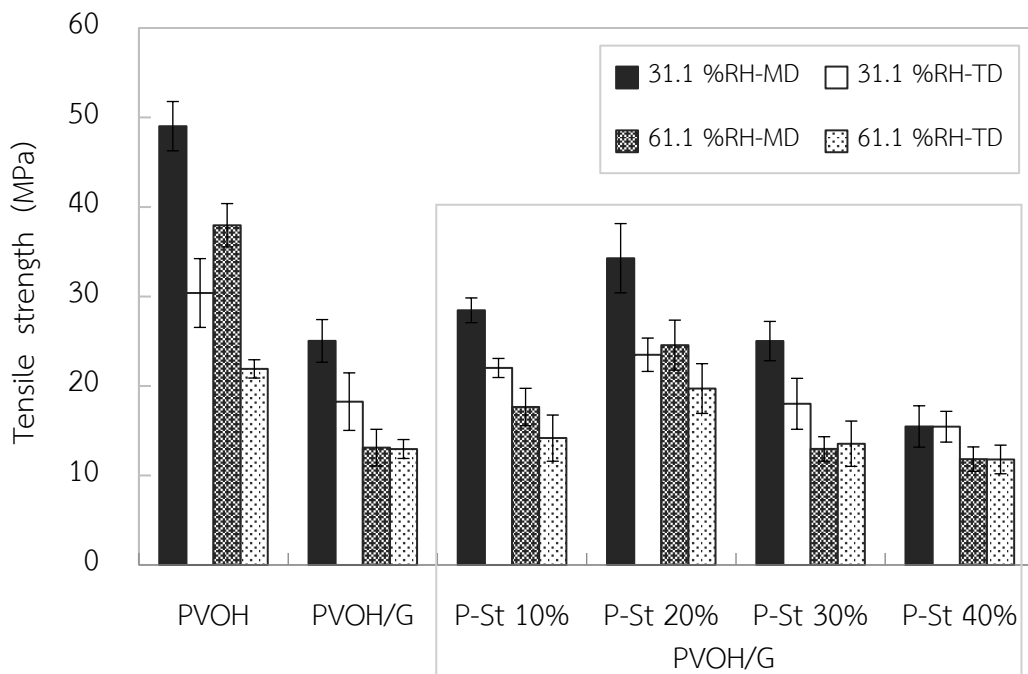
Sample	MD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH	1410.17 ± 196.62 ^a	49.03 ± 2.76 ^a	166.95 ± 12.32 ^{a, b}
PVOH/G	174.34 ± 18.25 ^d	25.04 ± 2.38 ^d	179.14 ± 9.81 ^a
PVOH90/G/P-St10	306.13 ± 28.50 ^c	28.45 ± 1.38 ^c	179.38 ± 3.11 ^a
PVOH80/G/P-St20	670.56 ± 46.44 ^b	34.27 ± 3.87 ^b	141.93 ± 19.68 ^c
PVOH70/G/P-St30	645.48 ± 25.13 ^b	25.01 ± 2.20 ^d	171.75 ± 12.70 ^a
PVOH60/G/P-St40	566.78 ± 36.90 ^b	15.48 ± 2.31 ^e	154.74 ± 7.91 ^{b, c}
Sample	TD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH	1410.69 ± 183.50 ^a	30.39 ± 3.84 ^a	141.41 ± 23.97 ^a
PVOH/G	251.03 ± 12.14 ^c	18.25 ± 3.21 ^c	151.23 ± 6.21 ^a
PVOH90/G/P-St10	333.92 ± 40.39 ^c	22.01 ± 1.06 ^b	157.64 ± 9.48 ^a
PVOH80/G/P-St20	616.55 ± 56.13 ^b	23.49 ± 1.87 ^b	80.93 ± 23.70 ^b
PVOH70/G/P-St30	527.38 ± 49.29 ^b	18.01 ± 2.85 ^c	54.32 ± 14.29 ^c
PVOH60/G/P-St40	317.19 ± 75.24 ^c	15.45 ± 1.72 ^c	160.01 ± 17.32 ^a

ตารางที่ 4.7 Young's modulus (YM), Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH

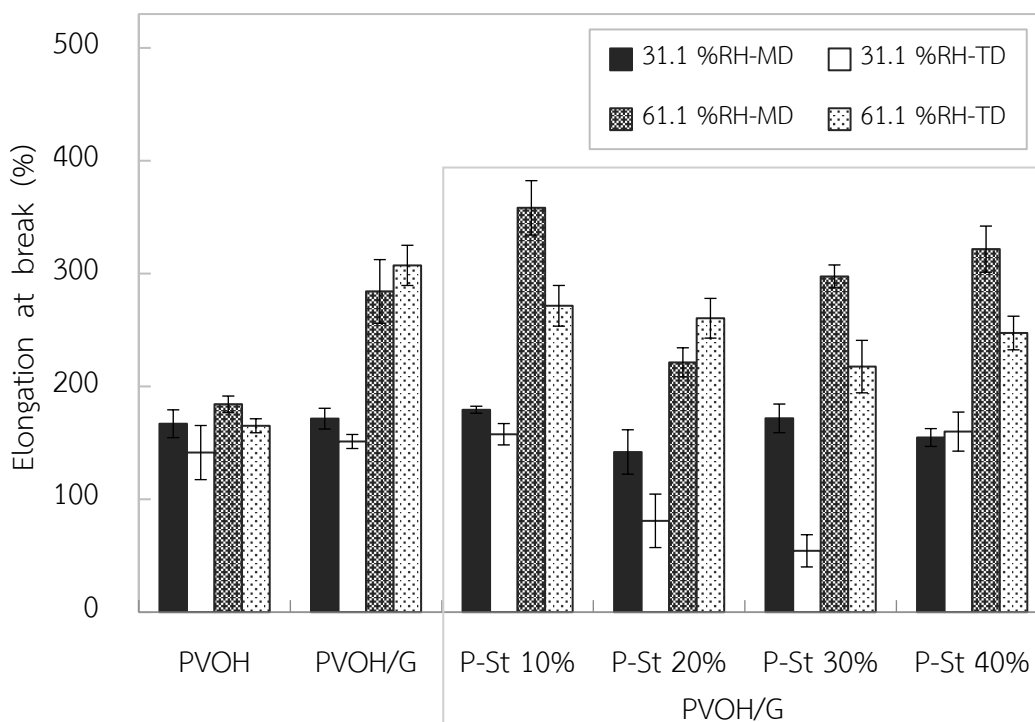
Sample	MD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH	96.95 ± 6.15 ^a	37.96 ± 2.42 ^a	184.34 ± 7.20 ^d
PVOH/G	25.51 ± 4.41 ^d	13.11 ± 2.05 ^d	284.23 ± 28.19 ^c
PVOH90/G/P-St10	46.66 ± 4.30 ^b	17.65 ± 2.09 ^c	358.28 ± 24.08 ^a
PVOH80/G/P-St20	51.26 ± 3.71 ^b	24.56 ± 2.80 ^b	221.35 ± 12.91 ^b
PVOH70/G/P-St30	34.50 ± 2.75 ^c	12.96 ± 1.37 ^d	297.50 ± 10.15 ^b
PVOH60/G/P-St40	24.78 ± 3.91 ^d	11.83 ± 1.36 ^d	321.71 ± 20.44 ^{a, b}
Sample	TD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH	107.49 ± 6.96 ^a	21.91 ± 1.02 ^a	165.15 ± 6.20 ^e
PVOH/G	35.80 ± 1.93 ^e	12.96 ± 1.06 ^b	307.29 ± 17.81 ^a
PVOH90/G/P-St10	45.12 ± 3.29 ^d	14.18 ± 2.58 ^b	271.47 ± 18.03 ^b
PVOH80/G/P-St20	65.83 ± 2.77 ^b	19.71 ± 2.78 ^a	260.46 ± 17.59 ^{b, c}
PVOH70/G/P-St30	61.40 ± 5.67 ^b	13.55 ± 2.53 ^b	217.59 ± 23.26 ^d
PVOH60/G/P-St40	51.60 ± 4.25 ^c	11.54 ± 1.78 ^b	241.66 ± 19.60 ^c



รูปที่ 4.17 Young's modulus ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH



รูปที่ 4.18 Tensile strength ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH



รูปที่ 4.19 %Elongation at break ของ PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ในอัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH

4.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

จากการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งพรีเจลาติไนซ์ (90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40) โดยผสมกลีเซอรอล 20 phr ต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ (PVOH/G/P-St) ในตอนที่ 1 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด คือ HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งจากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ จากตอนที่ 1 พบว่าฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ที่มีอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งพรีเจลาติไนซ์ 80:20 มีคุณสมบัติดีเกือบทุกด้าน แต่หากเลือกอัตราส่วนนี้ไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในตอนที่ 2 ต้นทุนการผลิตก็ยังคงสูง แต่เมื่อพิจารณาฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่มีอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อแป้งพรีเจลาติไนซ์ 60:40 พบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับฟิล์มที่ใช้ทั่วไปทางการค้า (Commercial) และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เยอะกว่าฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือก

ฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในตอนท่ 2 เพื่อศึกษาชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (HPQM และ TRIAMEEN) และปริมาณ (500, 1000 และ 1500 ppm) ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

เทคนิค FTIR ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตีไนซ์ ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตีไนซ์ 40% โดยน้ำหนัก (PVOH60/G/P-St40) และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการยืนยันว่ามีการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH60/G/P-St40 กับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ได้อีกด้วย

จากผลทดสอบการวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของ PVOH60/G/P-St40 พบว่า PVOH60/G/P-St40 มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่นที่สำคัญคือ 3279, 2916, 1719 และ 1013 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.20a และตารางที่ 4.8 โดยที่ 3279 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching ของพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) ที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุล ส่วนที่ 2916 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H stretching ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่ 1719 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C=O stretching ของหมู่ไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate) และที่ 1013 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-O bending ของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group)

เมื่อพิจารณาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM พบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่นที่สำคัญคือ 3465, 2836, 1724, 1631 และ 1030 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.20a และตารางที่ 4.8 โดยที่ 3465 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ N-H stretching ของพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) ที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุล ส่วนที่ 2836 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H stretching ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่ 1724 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ที่ 1631 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C=C stretching ของวงแหวน aromatic และ C-N bending ของหมู่เอมีน และที่ 1030 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ

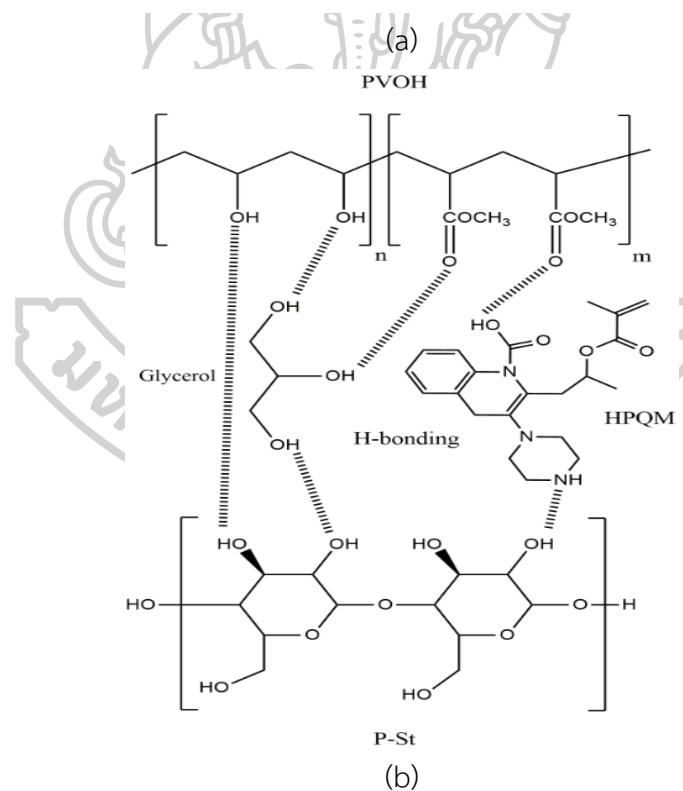
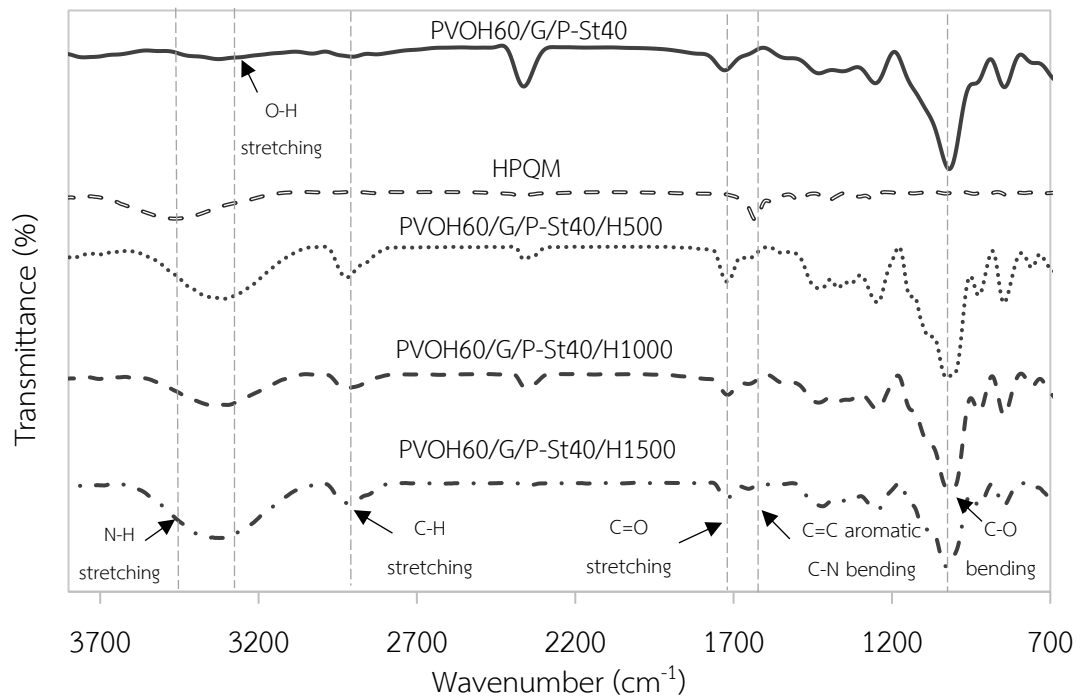
C-O bending ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eksirinimitr และคณะ [3] โดยพบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM พบการสั่นของพันธะ N-H stretching, C=O stretching และ C=C stretching เช่นเดียวกัน ในขณะที่ TRIAMEEN มีการสั่นของโมเลกุลเหมือนกับ HPQM แต่แตกต่างกันที่ TRIAMEEN ไม่พบการสั่นของพันธะ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ที่บริเวณเลขคลื่น 1724 cm^{-1} และการสั่นของพันธะ C=C stretching ของวงแหวน aromatic ที่บริเวณเลขคลื่น 1631 cm^{-1} แต่พบการสั่นพันธะ C-N bending ของหมู่เอมีน ที่บริเวณเลขคลื่น 1573 cm^{-1} แทน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ledeti และคณะ [39] โดยพบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN พบการสั่นของพันธะ N-H stretching, C-N bending เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ลงใน PVOH60/G/P-St40 พบว่า เมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ทำให้การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่น 3279 cm^{-1} ที่เป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching ภายในโมเลกุลของ PVOH60/G/P-St40 เปลี่ยนแปลงไปบริเวณเลขคลื่นที่สูงขึ้น คือ 3309 , 3340 และ 3324 cm^{-1} ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.20a และตารางที่ 4.8 เนื่องจาก HPQM สามารถเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่ของ PVOH60/G/P-St40 ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ PVOH60/G/P-St40 ลดลง นอกจากนี้ HPQM สามารถเกิดอันตรกิริยาด้วยพันธะไฮโดรเจนกับ PVOH60/G/P-St40 ได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.20b เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเลขคลื่นไปบริเวณสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้พลังงานในการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลของ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับ HPQM สูงขึ้น

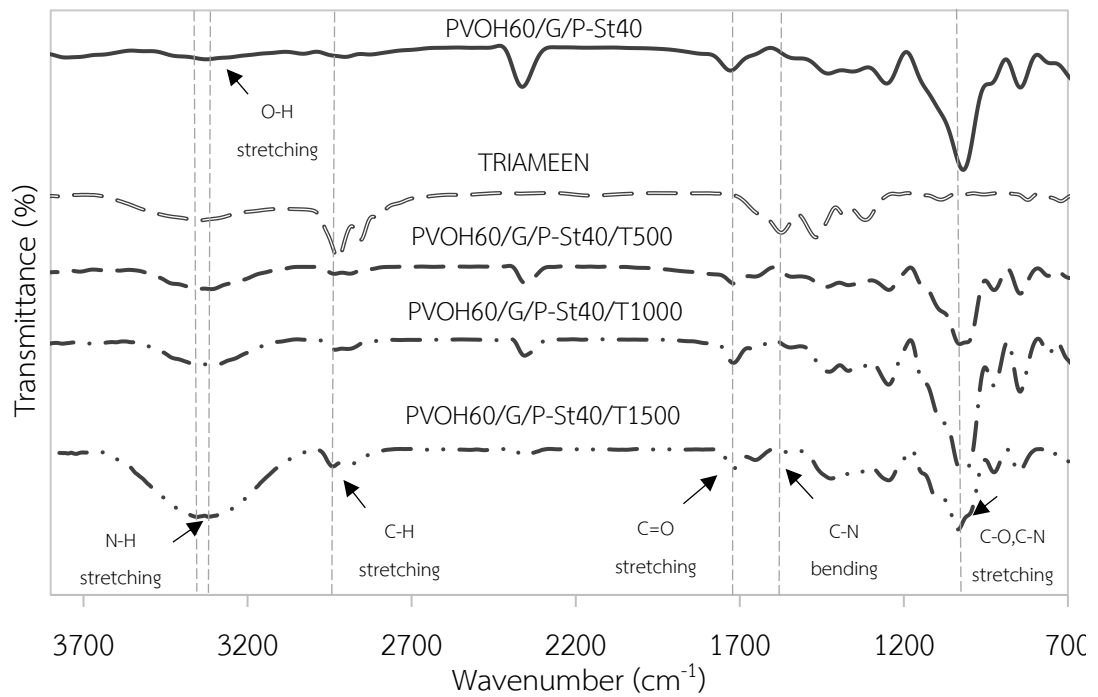
เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่า เมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ทำให้การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดบริเวณเลขคลื่น 3279 cm^{-1} ที่เป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching ภายในโมเลกุลของ PVOH60/G/P-St40 เปลี่ยนแปลงไปบริเวณเลขคลื่นที่สูงขึ้น คือ 3352 , 3353 และ 3352 cm^{-1} ตามลำดับ เช่นเดียวกับการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ดังแสดงในรูปที่ 4.21a และตารางที่ 4.8 เนื่องจาก TRIAMEEN สามารถเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่ของ PVOH60/G/P-St40 และสามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVOH60/G/P-St40 ด้วยพันธะไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกันกับ HPQM ดังแสดงในรูปที่ 4.21b

ตารางที่ 4.8 ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของพันธะต่าง ๆ จากเทคนิค FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM, TRIAMEEN, PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

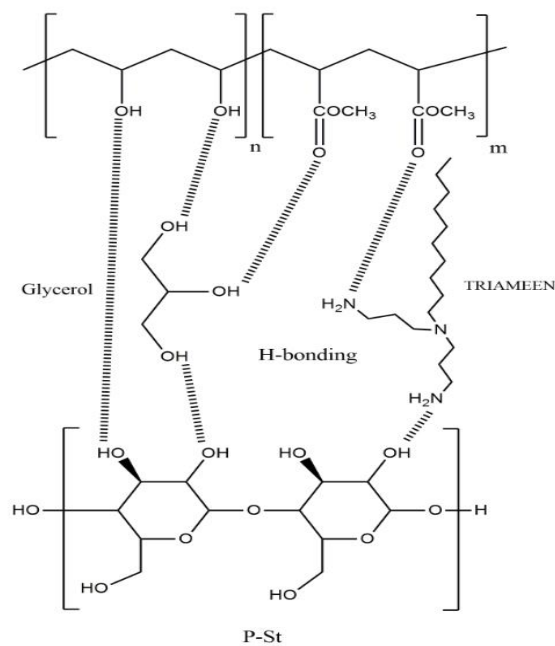
Sample	N-H, O-H stretching	C-H stretching	C=O stretching	C=C ring, C-N bending	C-O, C-N stretching
HPQM	3465	2836	1724	1631	1030
TRIAMEEN	3343	2924	-	1573	1087
PVOH60/G/P-St40	3279	2916	1719	-	1013
PVOH60/G/ P-St40/H500	3309	2922	1720	1656	1026
PVOH60/G/ P-St40/H1000	3340	2927	1719	1653.	1015
PVOH60/G/ P-St40/H1500	3324	2920	1722	1652	1029
PVOH60/G/ P-St40/T500	3352	2935	1716	1655	1029
PVOH60/G/ P-St40/T1000	3353	2932	1719	1656	1025
PVOH60/G/ P-St40/T1500	3352	2940	1720	1652	1035



รูปที่ 4.20 (a) สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และ (b) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH60/G/P-St40 กับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM



(a)



(b)

รูปที่ 4.21 (a) สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และ (b) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง PVOH60/G/P-St40 กับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN

4.2.2 การศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตินไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

เทคนิค TGA ถูกนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตินไนซ์ ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตินไนซ์ 40% โดยน้ำหนัก (PVOH60/G/P-St40) และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM พบการสลายตัวทางความร้อน 4 ชั้น โดยชั้นแรกเป็นการสลายตัวของน้ำ จะเห็นว่าเมื่อเติม HPQM ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ใน PVOH60/G/P-St40 จะทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของน้ำ ($T_{d1} = 72.57, 72.72$ และ 73.17 °C ตามลำดับ) มีค่าต่ำกว่า PVOH60/G/P-St40 ($T_{d1} = 85.05$ °C) ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.9 เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM สามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVOH, P-St และกลีเซอรอลได้ทำให้อันตรกิริยาระหว่างน้ำกับ PVOH, P-St และกลีเซอรอลลดลง เช่นเดียวกันกับในชั้นที่สองที่เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล จะเห็นว่าเมื่อเติม HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของกลีเซอรอล ($T_{d2} = 218.68, 224.31$ และ 224.23 °C ตามลำดับ) มีค่าต่ำกว่า PVOH60/G/P-St40 ($T_{d2} = 241.86$ °C) ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.7 ซึ่งสามารถยืนยันผลที่ได้จากเทคนิค FTIR ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.8 ส่วนในชั้นที่สามและสี่ที่เป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ Aliphatic carbon ของ PVOH และ P-St พบว่าเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ปริมาณ 500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนในชั้นที่สี่ต่ำลง ($T_{d4} = 433.08$ °C) เมื่อเทียบกับ PVOH60/G/P-St40 ($T_{d4} = 437.50$ °C) เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM สามารถเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของ PVOH60/G/P-St40 ได้ทำให้สายโซ่ PVOH60/G/P-St40 มีความแข็งแรงลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM เป็น 1000 และ 1500 ppm ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น ($T_{d3} = 328.63$ และ 330.53 °C และ $T_{d4} = 440.82$ และ 441.36 °C) เมื่อเทียบกับ PVOH60/G/P-St40 ($T_{d3} = 327.48$ และ $T_{d4} = 437.50$ °C) เพราะนอกจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM สามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVOH, P-St และกลีเซอรอลได้ ทำให้สายโซ่ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมกับ HPQM แข็งแรง นอกจากนี้ HPQM ยังมีโครงสร้างที่เป็น Aromatic hydrocarbon ซึ่งมีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอน คือ C=C โดยมีพลังงานพันธะสูงถึง 615 kJ/mol

ทำให้ต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะภายในโมเลกุลสูง เมื่อเทียบกับพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนของ PVOH คือ C-C มีพลังงานพันธะ 347 kJ/mol และเมื่อพิจารณา Residue พบว่าเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 เพิ่มขึ้นจะทำให้ Residue เพิ่มขึ้นจาก 9.23% เป็น 14.99% ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.9 เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีโครงสร้างเป็น Aromatic hydrocarbon จึงทำให้เกิดขี้เถ้า (Char formation) สูง

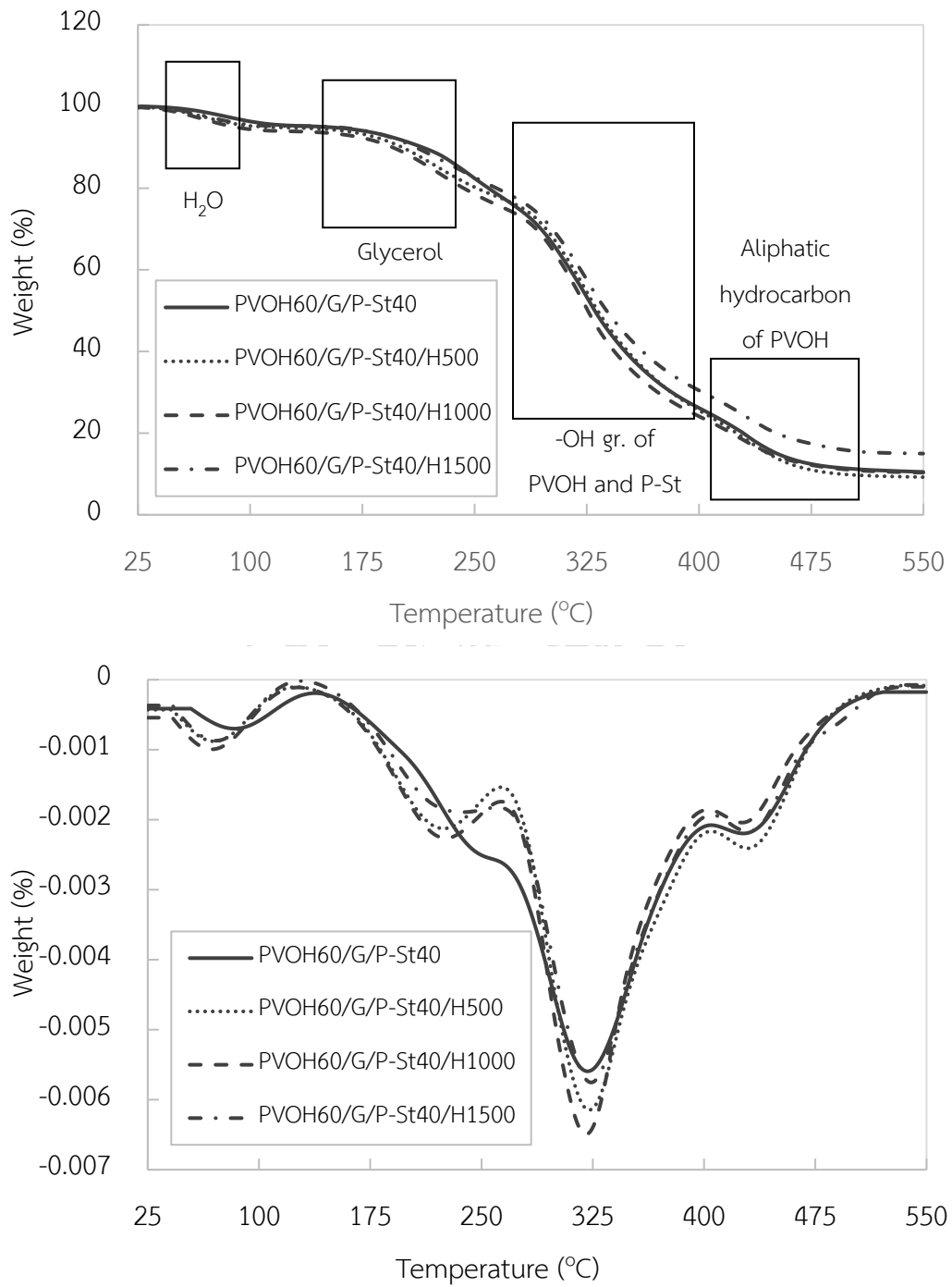
ในขณะที่เมื่อพิจารณาเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN มีการสลายตัวทางความร้อน 4 ชั้น เหมือนกับการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 แต่แตกต่างกันที่ในชั้นที่สามและสี่เป็นการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ Aliphatic carbon ของ PVOH และ P-St พบว่าเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น ($T_{d3} = 331.06, 330.65$ และ 329.96 °C และ $T_{d4} = 439.45$ และ 437.56 °C) ยกเว้นในชั้นที่สี่ที่มีปริมาณ TRIAMEEN 1500 ppm จะเห็นว่าเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่า ($T_{d4} = 436.73$ °C) เมื่อเทียบกับ PVOH60/G/P-St40 ($T_{d3} = 327.48$ °C และ $T_{d4} = 437.50$ °C) ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.9 เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN เกิดอันตรกิริยากับ PVOH และ P-St ทำให้สายโซ่ของ PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN มีความแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN เพิ่มขึ้นจะทำให้เสถียรภาพทางความร้อนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก TRIAMEEN มีโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงและยาว จึงทำให้สายโซ่เกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ Residue ลดลงจาก 11.47% เป็น 9.56% อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบเสถียรภาพทางความร้อนจากผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 ปริมาณที่มากขึ้น (PVOH60/G/P-St40/H1500 มีค่า $T_{d3} = 330.53$ และ $T_{d4} = 440.82$ °C) จะทำให้เสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 ปริมาณที่มากขึ้นเช่นเดียวกัน (PVOH60/G/P-St40/T1500 มีค่า $T_{d3} = 329.96$ และ $T_{d4} = 436.73$ °C) ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.9 เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดต่างกัน คือ สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM จะมีโครงสร้างที่เป็น Aromatic hydrocarbon ทำให้ต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะภายในโมเลกุลสูง ส่วนสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN จะมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและยาว ทำให้ใช้พลังงานในการสลายพันธะภายใน

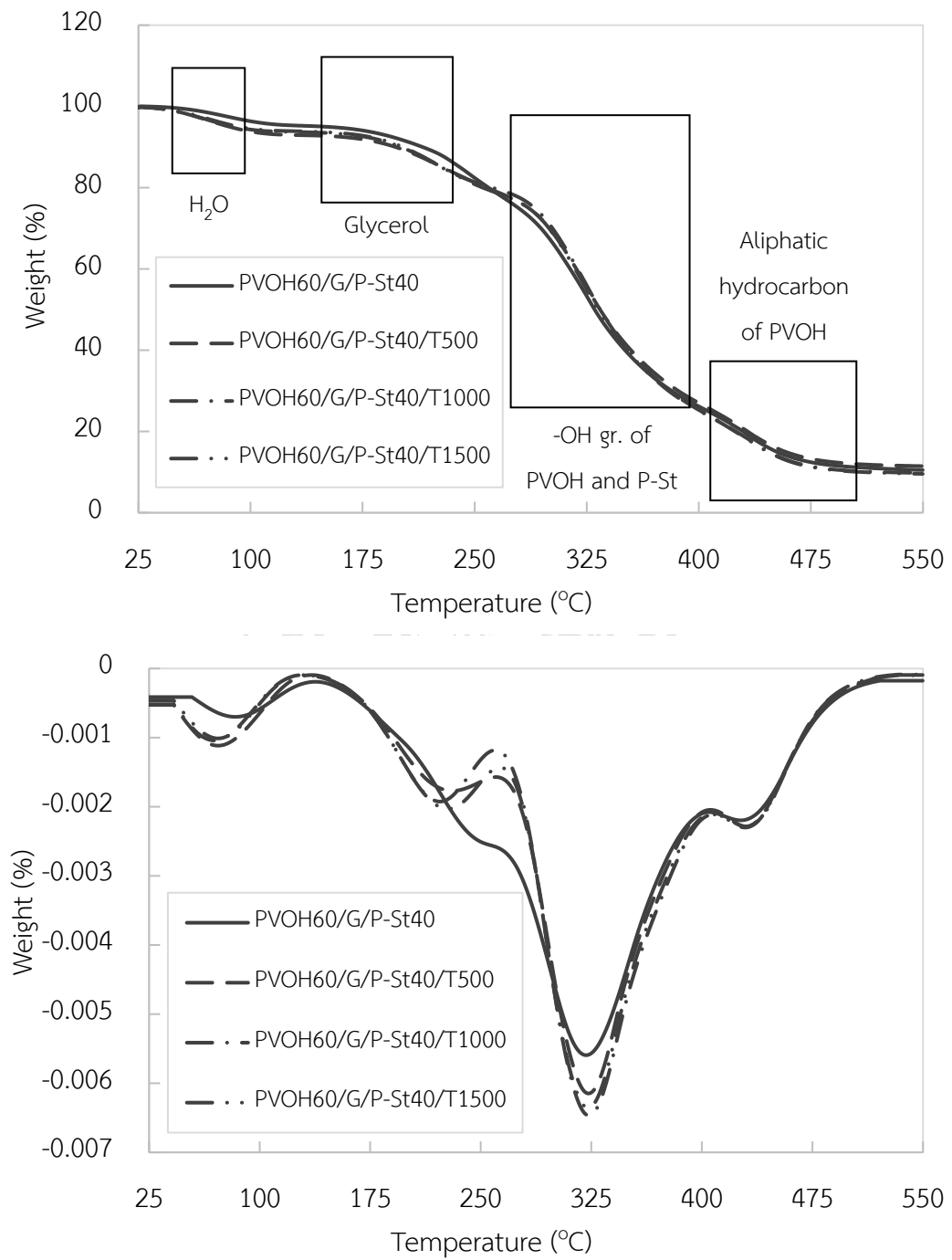
โมเลกุลต่ำ ดังนั้นเสถียรภาพทางความร้อนของ PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM จึงสูงกว่าชนิด TRIAMEEN

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค TGA

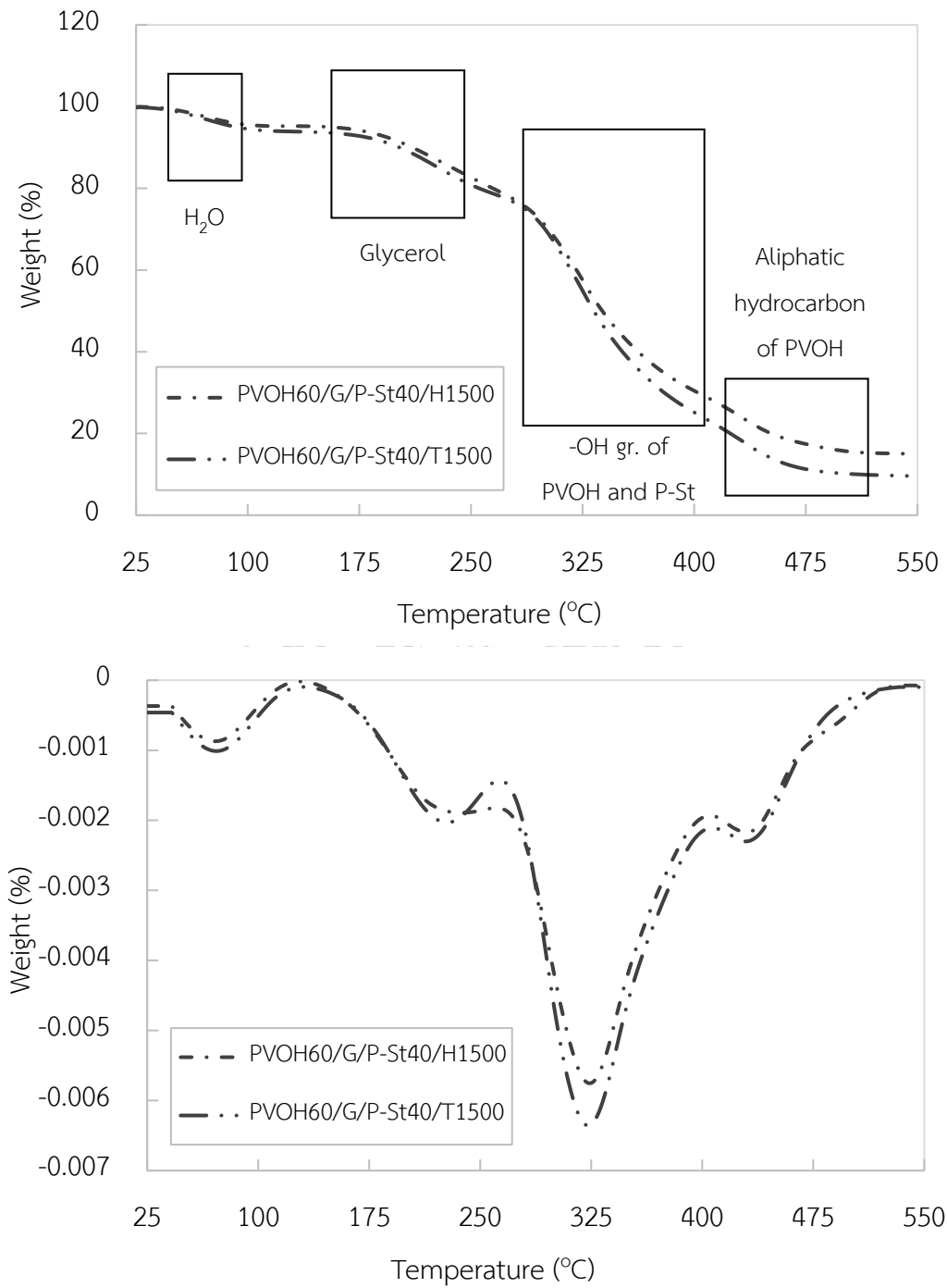
Sample	T _{d1} (°C)	T _{d2} (°C)	T _{d3} (°C)	T _{d4} (°C)	Weight loss (%)	Residue (%)
PVOH60/G/P-St40	85.05	241.86	327.48	437.50	89.49	10.51
PVOH60/G/ P-St40/H500	72.57	218.68	328.08	433.08	90.77	9.23
PVOH60/G/ P-St40/H1000	72.72	224.31	328.63	440.82	89.67	10.33
PVOH60/G/ P-St40/H1500	73.17	224.23	330.53	441.36	85.01	14.99
PVOH60/G/ P-St40/T500	75.68	225.40	331.06	439.45	88.53	11.47
PVOH60/G/ P-St40/T1000	73.28	218.51	330.65	437.56	90.23	9.77
PVOH60/G/ P-St40/T1500	74.07	221.35	329.96	436.73	90.44	9.56



รูปที่ 4.22 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.23 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มระหว่างฟิล์ม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN

4.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

เทคนิค DSC ถูกนำมาใช้ในการศึกษา T_g , T_m และ X_c ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาติไนซ์ 40% โดยน้ำหนัก (PVOH60/G/P-St40) และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากผลทดสอบการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของ PVOH60/G/P-St40 พบว่า PVOH60/G/P-St40 มีค่า T_g , T_m และ X_c เท่ากับ $62.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $167.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 10.96% ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่าค่า T_g ลดลงจาก $62.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น 50.63 , 54.40 และ $49.87\text{ }^{\circ}\text{C}$ (HPQM) และ 52.87 , 50.62 และ $51.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TRIAMEEN) เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN สามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ให้กับระบบ สามารถเกิดการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบได้ง่าย ส่งผลให้ผลึกของ PVOH สมบูรณ์ขึ้นกว่า PVOH60/G/P-St40 ที่ไม่มีการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ค่า T_m จึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่า การเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ปริมาณ 500 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ค่า T_g และ T_m เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วน X_c มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จาก 10.25% เป็น 11.15%

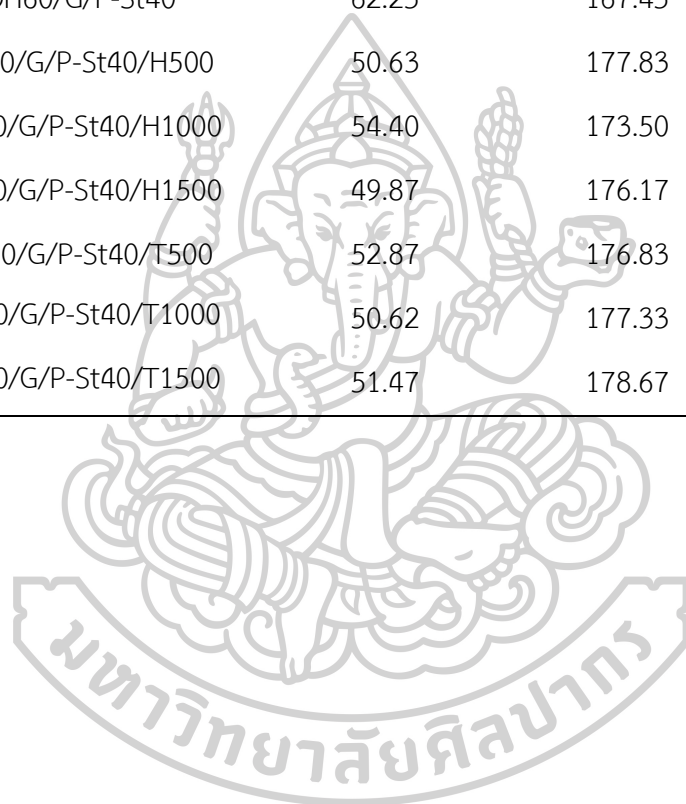
เมื่อพิจารณาผลของปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 เพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ค่า T_g และ X_c เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ T_m มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก $176.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $178.67\text{ }^{\circ}\text{C}$

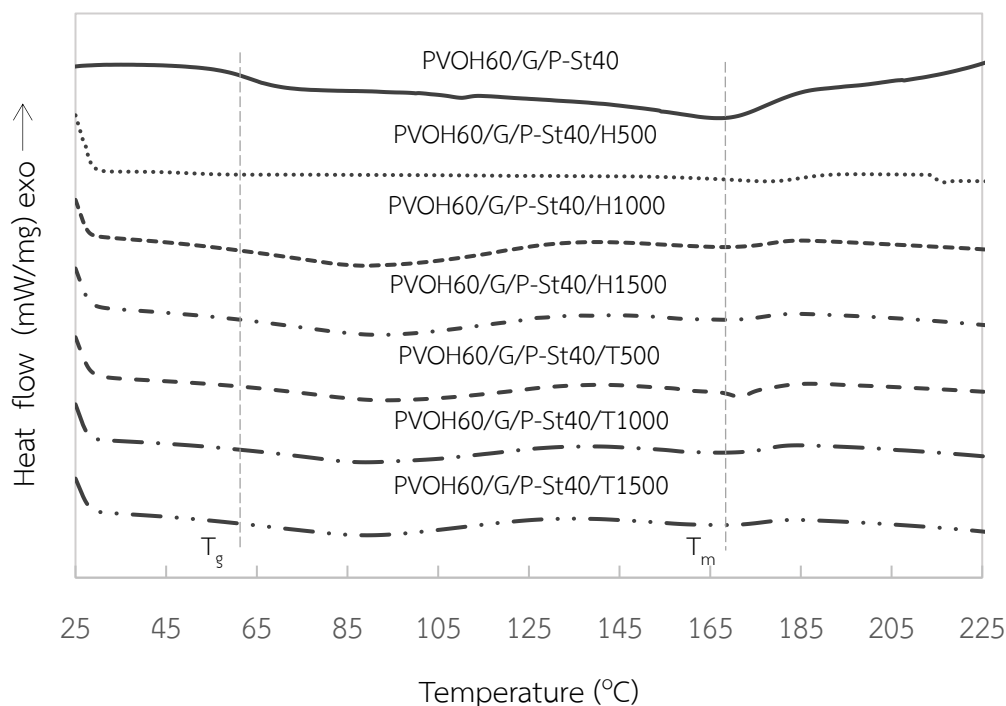
เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนจากผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 จะทำให้ X_c มีแนวโน้มน้อยกว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.10 เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM จะมีโครงสร้างที่เป็น

Aromatic hydrocarbon ทำให้สายโซ่ของ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM เกิดการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบยากกว่า PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางความร้อนของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	T_g (°C)	T_m (°C)	X_c (%)
PVOH60/G/P-St40	62.25	167.45	9.13
PVOH60/G/P-St40/H500	50.63	177.83	10.25
PVOH60/G/P-St40/H1000	54.40	173.50	11.15
PVOH60/G/P-St40/H1500	49.87	176.17	11.49
PVOH60/G/P-St40/T500	52.87	176.83	12.75
PVOH60/G/P-St40/T1000	50.62	177.33	13.07
PVOH60/G/P-St40/T1500	51.47	178.67	12.94





รูปที่ 4.25 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.4 การศึกษาสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แบ็งกรีเจลาติน/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

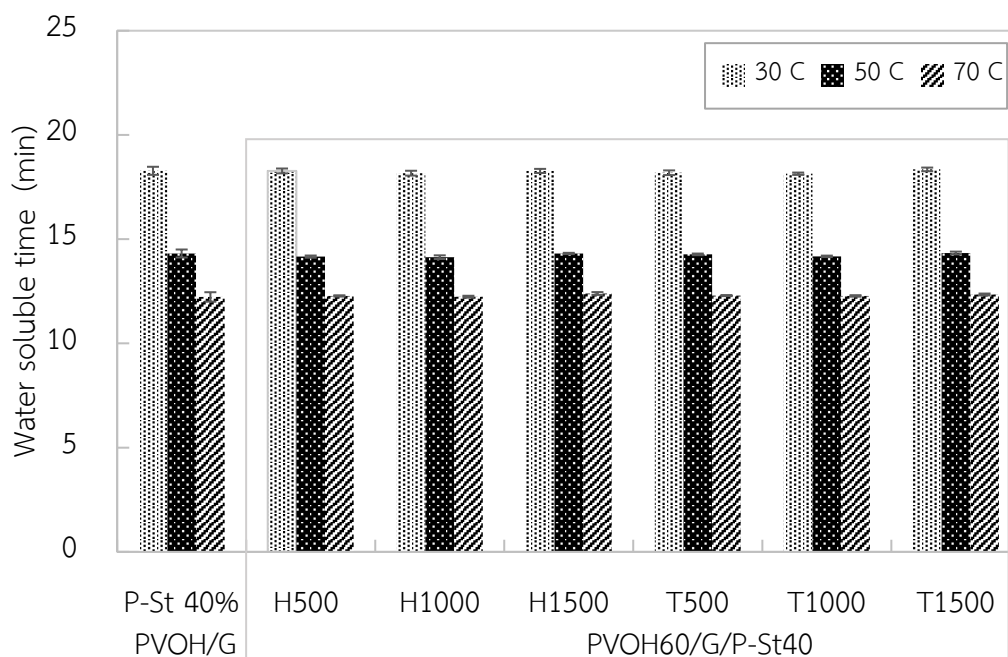
การทดสอบสมบัติการละลายน้ำเป็นสมบัติที่มีความสำคัญถูกนำมาทดสอบฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แบ็งกรีเจลาตินที่มีการเติมแบ็งกรีเจลาติน 40% โดยน้ำหนัก (PVOH60/G/P-St40) และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยทดสอบทั้งหมด 3 อุณหภูมิ คือ 30, 50 และ 70 °C ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสมบัติการละลายน้ำทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ 30, 50 และ 70 °C ตามลำดับของ PVOH60/G/P-St40 พบว่า PVOH60/G/P-St40 ใช้เวลาในการละลายน้ำ 18.28, 14.31 และ 12.23 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.11 เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 โดยมีปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN 500, 1000 และ 1500 ppm ตามลำดับพบว่าฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อเวลาในการละลายน้ำของฟิล์ม เนื่องจากค่า Solubility parameter

ระหว่างสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN (ประกอบด้วยหมู่เอมีน มีค่า Solubility parameter ประมาณ $13.3 \text{ MPa}^{1/2}$) กับ Solubility parameter ของน้ำ ($47.8 \text{ MPa}^{1/2}$) มีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 จะทำให้น้ำไม่สามารถ Absorption มาয়ง์ฟิวของ PVOH60/G/P-St40 ได้เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN จะทำให้ Free volume ของ PVOH60/G/P-St40 เพิ่มขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 4.11 เวลาในการละลายน้ำ (Water soluble time) ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C

Sample	Water soluble time (min)		
	ที่ 30 °C	ที่ 50 °C	ที่ 70 °C
PVOH60/G/P-St40	18.28 ± 0.19^a	14.31 ± 0.19^a	12.23 ± 0.23^a
PVOH60/G/P-St40/H500	18.27 ± 0.12^a	14.16 ± 0.05^a	12.28 ± 0.03^a
PVOH60/G/P-St40/H1000	18.17 ± 0.12^a	14.14 ± 0.09^a	12.24 ± 0.05^a
PVOH60/G/P-St40/H1500	18.27 ± 0.10^a	14.31 ± 0.03^a	12.39 ± 0.07^a
PVOH60/G/P-St40/T500	18.19 ± 0.11^a	14.27 ± 0.04^a	12.29 ± 0.03^a
PVOH60/G/P-St40/T1000	18.14 ± 0.06^a	14.18 ± 0.04^a	12.28 ± 0.04^a
PVOH60/G/P-St40/T1500	18.35 ± 0.09^a	14.34 ± 0.07^a	12.35 ± 0.05^a



รูปที่ 4.26 เวลาที่ใช้ในการละลายน้ำของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70 °C

4.2.5 การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

เครื่อง UTM ถูกนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงกล เพื่อเปรียบเทียบค่า Young's modulus, Tensile strength และ Elongation at break โดยศึกษาสมบัติเชิงกลในทิศทาง MD และ TD ทั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH ระหว่างฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์ ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาติไนซ์ 40% โดยน้ำหนัก (PVOH60/G/P-St40) และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH ของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่าค่า Tensile strength และ Elongation at break ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า Young's modulus มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยจาก 566.78 ± 36.90 MPa เป็น 638.02 ± 28.01 , 647.64 ± 64.32 และ 664.49 ± 25.02 MPa ตามลำดับ ในทิศทาง MD และจาก 317.19 ± 75.24 MPa เป็น 340.78 ± 24.55 , 344.16 ± 40.05 และ 351.92 ± 23.57 MPa ตามลำดับ ในทิศทาง TD

ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ และตารางที่ 4.12 เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีโครงสร้างที่เป็น Aromatic hydrocarbon และสามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVOH และ P-St ได้ เมื่อฟิล์มได้รับแรงทำให้สามารถส่งถ่ายแรงจากพอลิเมอร์ไปยังสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ส่งผลให้โมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านกันได้ยากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้ปริมาณผลึกเพิ่มสูงขึ้น ยืนยันได้จากผล DSC ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.10 ส่งผลให้ทำให้ค่า Young's modulus เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่า Tensile strength และ Elongation at break ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า Young's modulus มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ และตารางที่ 4.12 เช่นเดียวกับการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 เนื่องจากเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้ปริมาณผลึกเพิ่มสูงขึ้น ยืนยันได้จากผล DSC ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.10 จึงทำให้ค่า Young's modulus เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาการศึกษาสมบัติเชิงกลในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH ของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่าค่า Young's modulus ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า Tensile strength มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยจาก 11.83 ± 1.36 MPa เป็น 12.24 ± 0.59 , 12.50 ± 0.94 และ 12.84 ± 0.72 MPa ตามลำดับ ในทิศทาง MD และจาก 11.54 ± 1.78 MPa เป็น 12.65 ± 1.03 , 13.17 ± 0.45 และ 13.20 ± 1.22 MPa ตามลำดับ ในทิศทาง TD ส่วนค่า Elongation at break มีค่าลดลงจาก 321.71 ± 20.44 MPa เป็น 262.58 ± 12.05 , 254.46 ± 14.24 และ 251.54 ± 6.51 MPa ตามลำดับ ในทิศทาง MD ส่วนในทิศทาง TD ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ และตารางที่ 4.13 เนื่องจากเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้สายโซ่ PVOH60/G/P-St40 มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เคลื่อนที่ได้น้อยลง จึงทำให้ค่า Tensile strength มีค่าสูงขึ้น และค่า Elongation at break มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่า Young's modulus, Tensile strength

และ Elongation at break ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ และตารางที่ 4.13

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 ทั้งในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH พบว่า Young's modulus, Tensile strength และ Elongation at break ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ และตารางที่ 4.12 และ 4.13 เนื่องจากปริมาณการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN เพิ่มขึ้นน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Piyaporn และคณะ [21] โดยพบว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM เพิ่มขึ้นในพีวีซีคอมปาวด์ จะไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล เนื่องจากการเติมปริมาณของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM น้อยมาก (ประมาณ 0.05-0.2% เมื่อเทียบกับพีวีซี)

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลจากผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ทั้งในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH พบว่าการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 จะทำให้ค่า Young's modulus และ Tensile strength สูงกว่า ส่วนค่า Elongation at break มีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 ดังแสดงในรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ และตารางที่ 4.12 และ 4.13 เนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีโครงสร้างที่เป็น Aromatic hydrocarbon เมื่อฟิล์มได้รับแรงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านกันได้ยากและมีความแข็งแรงขึ้น

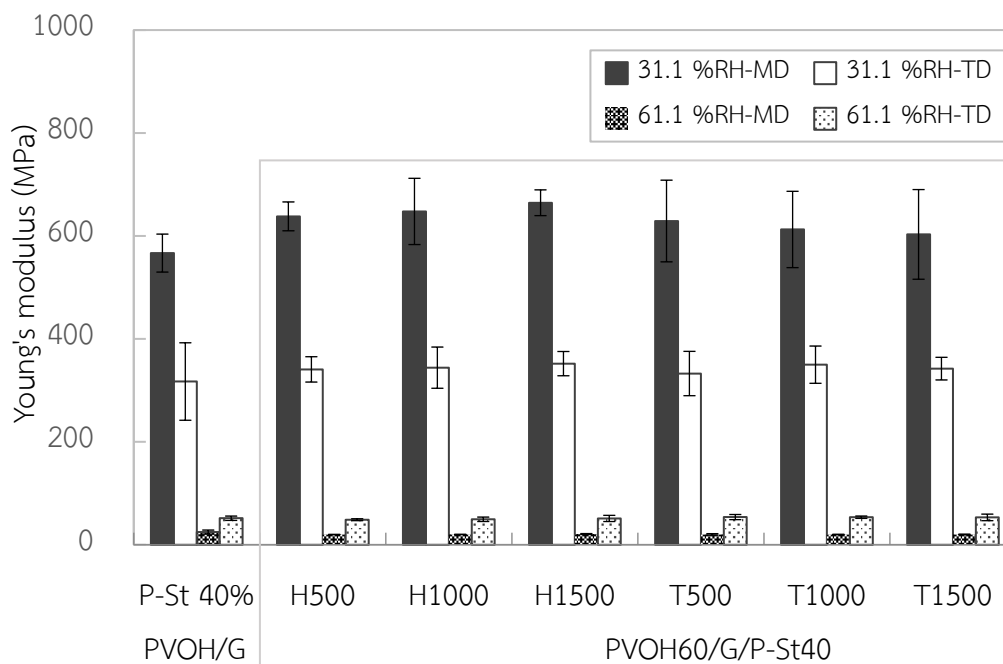
ตารางที่ 4.12 Young's modulus (YM) , Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH

Sample	MD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH60/G/P-St40	566.78 ± 36.90 ^b	15.48 ± 2.31 ^a	154.74 ± 7.91 ^b
PVOH60/G/P-St40/H500	638.02 ± 28.01 ^{a, b}	15.58 ± 0.17 ^a	170.04 ± 16.09 ^{a, b}
PVOH60/G/P-St40/H1000	647.64 ± 64.32 ^a	15.70 ± 0.39 ^a	149.56 ± 6.08 ^a
PVOH60/G/P-St40/H1500	664.49 ± 25.02 ^a	15.88 ± 0.46 ^a	148.67 ± 15.12 ^a
PVOH60/G/P-St40/T500	629.03 ± 79.39 ^{a, b}	15.14 ± 0.89 ^a	163.54 ± 11.58 ^{a, b}
PVOH60/G/P-St40/T1000	612.62 ± 74.14 ^{a, b}	14.80 ± 1.23 ^a	167.47 ± 18.99 ^{a, b}
PVOH60/G/P-St40/T1500	603.02 ± 87.09 ^{a, b}	14.38 ± 1.85 ^a	169.31 ± 9.98 ^{a, b}
Sample	TD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH60/G/P-St40	317.19 ± 75.24 ^a	15.45 ± 1.72 ^a	160.01 ± 17.32 ^a
PVOH60/G/P-St40/H500	340.78 ± 24.55 ^a	15.43 ± 0.77 ^a	156.09 ± 11.30 ^a
PVOH60/G/P-St40/H1000	344.16 ± 40.05 ^a	15.32 ± 0.70 ^a	155.67 ± 2.37 ^a
PVOH60/G/P-St40/H1500	351.92 ± 23.57 ^a	15.54 ± 0.42 ^a	152.75 ± 1.07 ^a
PVOH60/G/P-St40/T500	332.70 ± 43.05 ^a	16.08 ± 2.00 ^a	152.77 ± 8.97 ^a
PVOH60/G/P-St40/T1000	349.97 ± 36.24 ^a	15.74 ± 0.43 ^a	157.83 ± 18.05 ^a
PVOH60/G/P-St40/T1500	342.20 ± 22.02 ^a	15.38 ± 2.26 ^a	158.68 ± 13.58 ^a

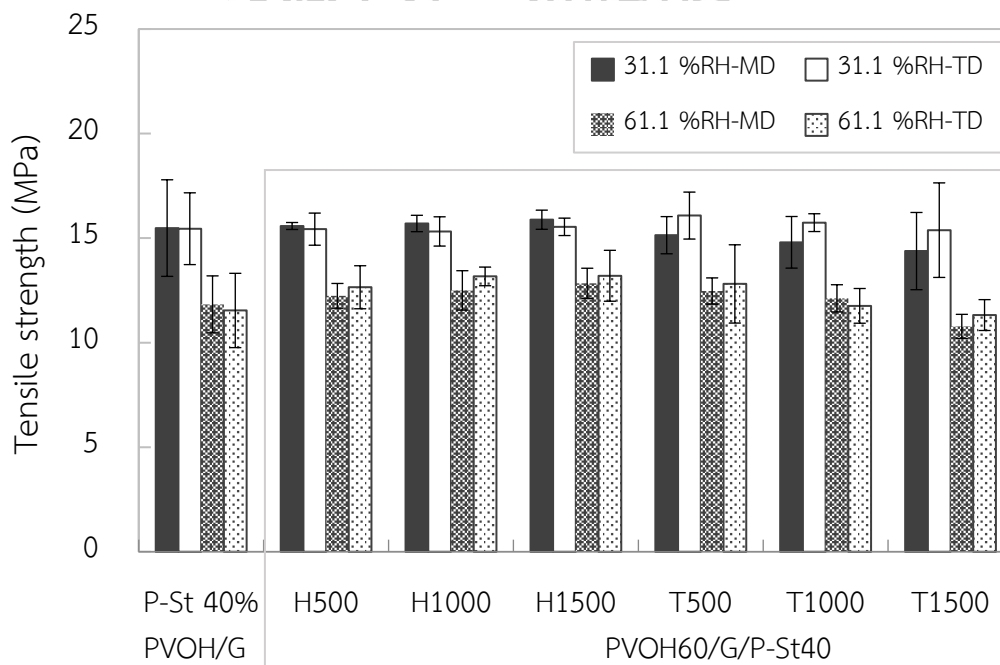
ตารางที่ 4.13 Young's modulus (YM), Tensile strength (TS) และ Elongation at break (EB) ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH

Sample	MD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH60/G/P-St40	24.78 ± 3.91 ^a	11.83 ± 1.36 ^{a, b}	321.71 ± 20.44 ^a
PVOH60/G/P-St40/H500	19.88 ± 0.38 ^b	12.24 ± 0.59 ^a	262.58 ± 12.05 ^b
PVOH60/G/P-St40/H1000	20.07 ± 0.38 ^b	12.50 ± 0.94 ^a	254.46 ± 14.24 ^b
PVOH60/G/P-St40/H1500	20.87 ± 0.93 ^b	12.84 ± 0.72 ^a	251.54 ± 6.51 ^b
PVOH60/G/P-St40/T500	20.14 ± 1.49 ^b	12.47 ± 0.64 ^a	312.32 ± 9.18 ^a
PVOH60/G/P-St40/T1000	19.94 ± 0.56 ^b	12.12 ± 0.65 ^a	317.05 ± 3.35 ^a
PVOH60/G/P-St40/T1500	19.97 ± 0.78 ^b	10.78 ± 0.57 ^b	317.85 ± 11.16 ^a

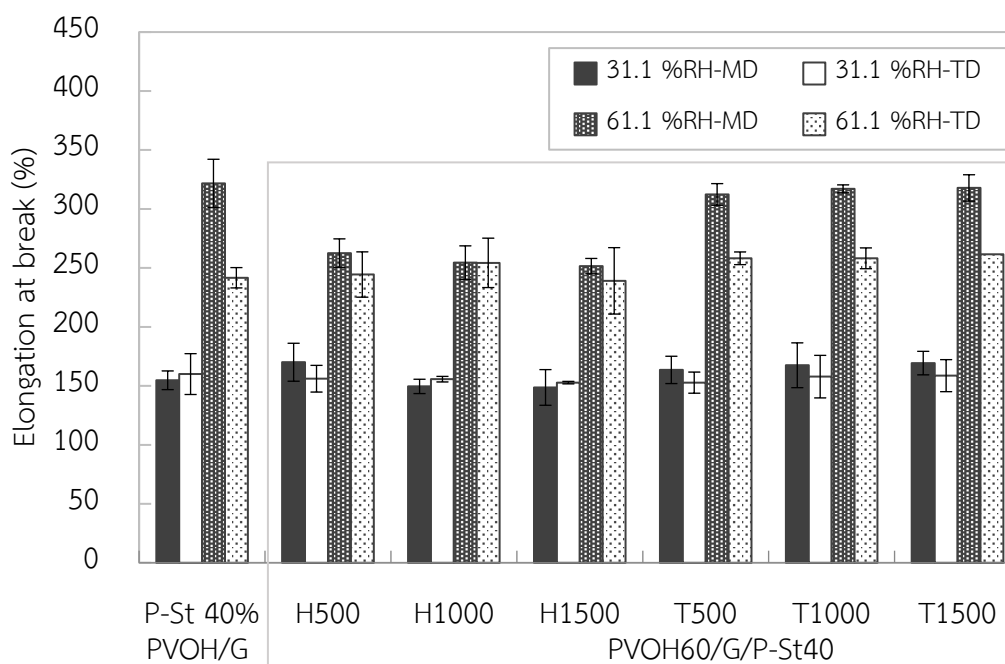
Sample	TD		
	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH60/G/P-St40	51.60 ± 4.25 ^a	11.54 ± 1.78 ^b	241.66 ± 19.60 ^a
PVOH60/G/P-St40/H500	48.71 ± 10.82 ^a	12.65 ± 1.03 ^{a, b}	244.42 ± 8.63 ^a
PVOH60/G/P-St40/H1000	49.54 ± 13.17 ^a	13.17 ± 0.45 ^a	254.31 ± 19.20 ^a
PVOH60/G/P-St40/H1500	51.16 ± 6.02 ^a	13.20 ± 1.22 ^a	239.07 ± 20.95 ^a
PVOH60/G/P-St40/T500	53.83 ± 12.81 ^a	12.81 ± 1.87 ^{a, b}	258.16 ± 28.14 ^a
PVOH60/G/P-St40/T1000	53.58 ± 2.29 ^a	11.76 ± 0.83 ^{a, b}	258.16 ± 5.36 ^a
PVOH60/G/P-St40/T1500	53.22 ± 6.42 ^a	11.32 ± 0.74 ^b	261.64 ± 8.81 ^a



รูปที่ 4.27 Young's modulus ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPOM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH



รูปที่ 4.28 Tensile strength ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH



รูปที่ 4.29 Elongation at break ของ PVOH60/G/P-St40 และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 และ 61.1 %RH

4.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตินไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

จากงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาฟิล์มพลาสติกที่สามารถละลายน้ำได้ เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ถุงซีกผ้าละลายน้ำได้ ซึ่งนอกจากถุงซีกผ้าจะมีคุณสมบัติละลายน้ำได้แล้ว งานวิจัยนี้ยังมีการพัฒนาถุงซีกผ้าให้สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia Coli* (E. Coli) และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *Staphylococcus Aureus* (S. Aureus) ที่ติดมากับเสื้อผ้าผู้ป่วยได้อีกด้วย โดยศึกษาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) แป้งพรีเจลาตินไนซ์ (P-St), ฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาตินไนซ์ ที่มีการเติมแป้งพรีเจลาตินไนซ์ 40% โดยน้ำหนัก (PVOH60/G/P-St40) และ PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method, PCA)

จากการศึกษา %Reduction of bacteria ของฟิล์ม PVOH, P-St และฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 พบว่า PVOH มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด E. Coli และ S. Aureus ได้ โดยมี %Reduction of bacteria ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.14 เนื่องจาก PVOH มีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลและเอสเทอร์ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วสามารถเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (Outer membrane) ของแบคทีเรียชนิด E. Coli ได้ โดยอาศัยโมเลกุลที่มีขั้วไปละลายไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก เนื่องจากไขมันมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (มีขั้ว) และไม่ชอบน้ำ (ไม่มีขั้ว) อยู่ในโมเลกุลเดียวกันหรือเรียกว่า แอมฟิฟิล (Amphiphile) นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิล ยังสามารถทำลายผนังเซลล์ของทั้งแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus โดยอาศัยการละลายโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของ Peptidoglycan ที่อยู่ในผนังเซลล์ ทำให้เซลล์แบคทีเรียเกิดการเสียหายและตายได้ ส่วนหมู่เอสเทอร์ เมื่อโดนน้ำแล้วสามารถเกิด Hydrolysis ได้กรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิลิกและไฮดรอกซิล โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถผ่านเข้าไปภายในผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus ได้ โดยอาศัยการแพร่ของสารผ่านโปรตีนตัวพา (Carrier) ที่ฝังอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้โปรตีนเสียสภาพ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ภายในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์ตายได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nooheet และคณะ [12] โดยพบว่าสารสกัดจากข่ามีสารในกลุ่มคาร์บอกซิลิก สามารถเข้าสู่ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ทำให้โปรตีนเสียสภาพและเกิดการตกตะกอน ส่วน P-St มี %Reduction of bacteria ของทั้งชนิด E. Coli และ S. Aureus ($24.72 \pm 9.81\%$ และ $24.93 \pm 11.03\%$) น้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์ม PVOH ($43.51 \pm 4.91\%$ และ $28.53 \pm 13.22\%$) ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.14 เนื่องจาก P-St มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล แต่ P-St ไม่มีโครงสร้างที่เป็นหมู่เอสเทอร์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อต่ำกว่าฟิล์ม PVOH และฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 มี %Reduction of bacteria ชนิด S. Aureus มากกว่าฟิล์ม PVOH และ P-St ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.14 เนื่องจากฟิล์มผสม PVOH/G/P-St มีทั้งหมู่ไฮดรอกซิลของ PVOH และ P-St และหมู่เอสเทอร์ของ PVOH จึงทำให้ฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 มีความเป็น Hydrophilic สูงสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ได้ดีเพราะผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus มีความเป็น Hydrophilic สูงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 พบว่า มี %Reduction of bacteria น้อยกว่าฟิล์ม PVOH และ P-St ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.14 เนื่องจากฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40

มีความเป็น Hydrophilic สูง แต่เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli มีความเป็น Hydrophobic จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ลดลง

เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่าเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน PVOH60/G/P-St40 เพิ่มขึ้น ทำให้ %Reduction of bacteria ทั้งชนิด E. Coli และ S. Aureus เพิ่มขึ้นจาก $32.71 \pm 9.52\%$ เป็น 70.55 ± 4.96 , 100.00 ± 0.00 และ $100.00 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ (E. Coli) และจาก $51.19 \pm 13.40\%$ เป็น 100.00 ± 0.00 , 100.00 ± 0.00 และ $100.00 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ (S. Aureus) ดังแสดงในรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.15 เนื่องจาก HPQM มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลและเอมีน เพราะหมู่คาร์บอกซิลและหมู่เอมีนสามารถผ่านเข้าไปภายในผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus ได้ โดยอาศัยการแพร่ของสารผ่านโปรตีนตัวพา (Carrier) นอกจากนี้หมู่เอมีนสามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ได้อีกด้วย โดยการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียผ่านกลไก Detergent-like mechanism คือ ทำให้หมู่เอมีนแตกตัวเป็นไอออนบวกของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากนั้นอาศัยประจุบวกในโครงสร้างจับกับประจุลบของ Lipopolysaccharide (LPS) ที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก ทำให้ความดันออสโมติกของเซลล์แบคทีเรียเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดการรั่วไหลของเซลล์ส่งผลให้เซลล์ตายได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sitaruno และคณะ [40] โดยพบว่ายาในกลุ่ม Polymyxins ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่เอมีน สามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ผ่านกลไก Detergent-like mechanism เช่นเดียวกัน

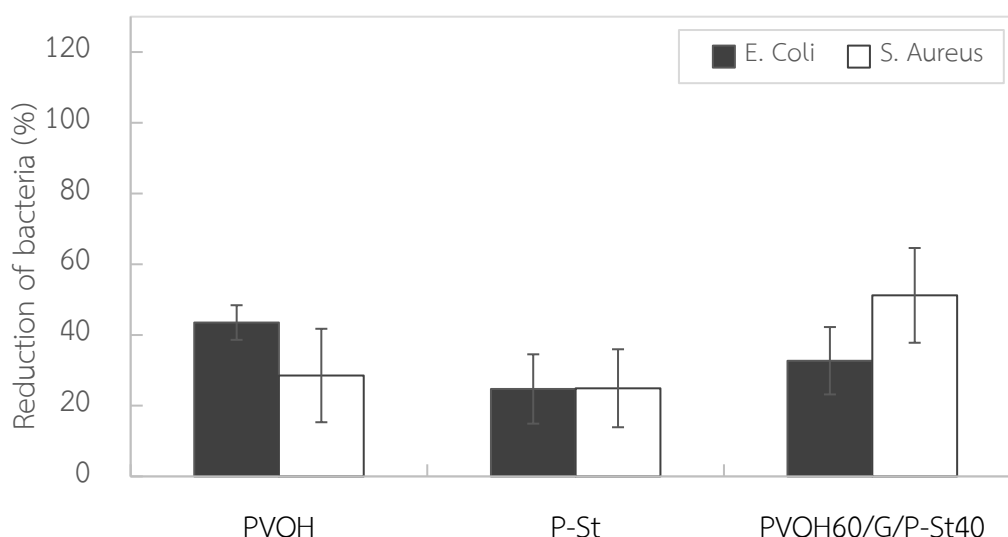
เมื่อพิจารณาผลของการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ปริมาณ 500, 1000 และ 1500 ppm ใน PVOH60/G/P-St40 พบว่าเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมี %Reduction of bacteria ทั้งชนิด E. Coli และ S. Aureus เพิ่มขึ้นจาก $32.71 \pm 9.52\%$ เป็น 41.14 ± 6.88 , 78.73 ± 2.50 และ $84.61 \pm 1.17\%$ ตามลำดับ (E. Coli) และจาก $51.19 \pm 13.40\%$ เป็น 81.50 ± 5.82 , 93.14 ± 4.74 และ $100.00 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ (S. Aureus) ดังแสดงในรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.15 เนื่องจาก TRIAMEEN มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่เอมีน สามารถผ่านเข้าไปภายในผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus ได้ และยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ผ่านกลไก Detergent-like mechanism ได้จากที่กล่าวไว้ข้างต้น

เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่ปริมาณเดียวกันต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด E. Coli และ S. Aureus พบว่า สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดีกว่า สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิด E. Coli และ S. Aureus พบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด S. Aureus ได้ดีกว่า E. Coli เนื่องจากแบคทีเรียชนิด E. Coli จะมีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก แต่แบคทีเรียชนิด S. Aureus ไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก

ตารางที่ 4.14 %Reduction of bacteria ของฟิล์ม PVOH, P-St และฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40

Sample	E. Coli	S. Aureus
	Reduction of bacteria (%)	Reduction of bacteria (%)
PVOH	43.51 ± 4.91 ^a	28.53 ± 13.22 ^b
P-St	24.72 ± 9.81 ^b	24.93 ± 11.03 ^b
PVOH60/G/P-St40	32.71 ± 9.52 ^{a, b}	51.19 ± 13.40 ^a

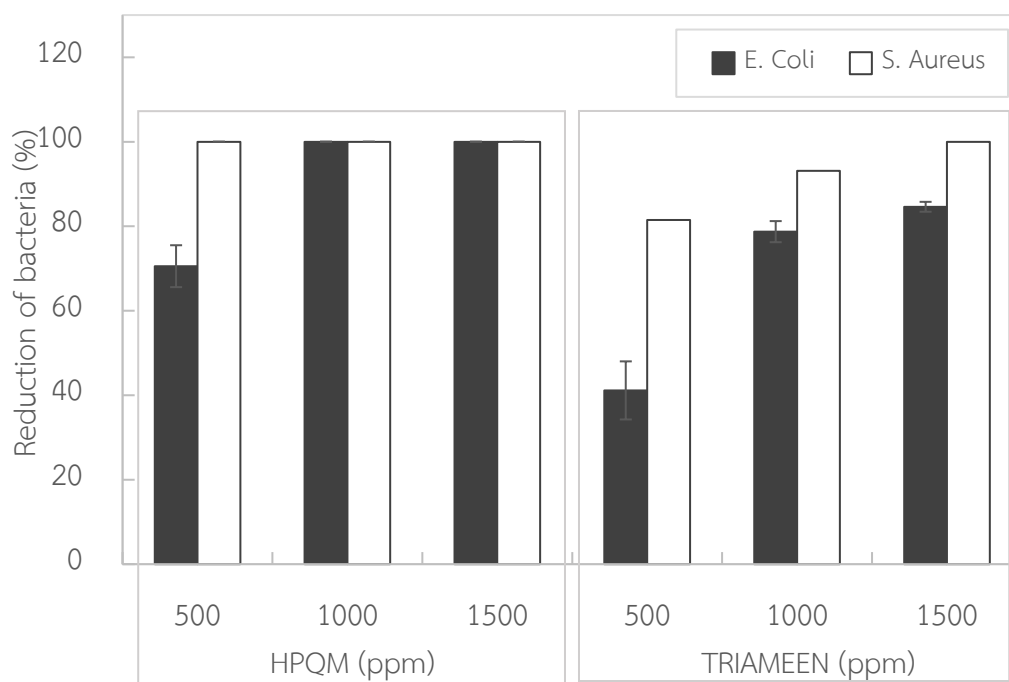


รูปที่ 4.30 %Reduction of bacteria ของฟิล์ม PVOH, P-St และฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40

ตารางที่ 4.15 %Reduction of bacteria ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

HPQM (ppm)	E. Coli	S. Aureus
	Reduction of bacteria (%)	Reduction of bacteria (%)
500	70.55 ± 4.96 ^d	100.00 ± 0.00 ^a
1000	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a
1500	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a

TRIAMEEN (ppm)	E. Coli	S. Aureus
	Reduction of bacteria (%)	Reduction of bacteria (%)
500	41.14 ± 6.88 ^e	81.50 ± 5.82 ^c
1000	78.73 ± 2.50 ^c	93.14 ± 4.74 ^b
1500	84.61 ± 1.17 ^b	100.00 ± 0.00 ^a



รูปที่ 4.31 %Reduction of bacteria ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/แป้งพรีเจลาติไนซ์ ต่อสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมฟิล์มพลาสติกที่สามารถละลายน้ำได้ สำหรับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ถุงซักผ้าที่สามารถละลายน้ำได้ โดยผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVOH) ผสมกับแป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized Starch, P-St) และกลีเซอรอล (Glycerol, G) แล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มผ่านกระบวนการ Blown film extrusion เพื่อศึกษาหาปริมาณการเติม P-St ที่เหมาะสม ใน PVOH/G โดยมีปริมาณ P-St 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติการไหล โครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ สมบัติทางสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกล พบว่า P-St มีโครงสร้างประกอบด้วยอะไมโลสที่เป็นสายโซ่ตรงและอะไมโลเพคตินที่เป็นสายโซ่กึ่ง นอกจากนี้ P-St ยังสามารถเกิดอันตรกิริยากับ PVOH และกลีเซอรอลได้ เมื่อเติม P-St ใน PVOH/G ปริมาณสูงขึ้น ทำให้ฟิล์มมีสมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการละลายลดลง เมื่อพิจารณาสมบัติทางสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเติม P-St ใน PVOH/G ปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก ทำให้อนุภาค P-St เกิดการกระจายตัวใน PVOH/G ดีส่งผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ดีที่สุด แต่เมื่อเติม P-St ใน PVOH/G ปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 40% โดยน้ำหนัก ทำให้อนุภาค P-St เกิดการรวมตัวใน PVOH/G สังเกตจากขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มลดลง ซึ่งจากการพิจารณาสมบัติโดยรวม พบว่า ฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 มีสมบัติที่ดีในหลายด้านที่กล่าวมา แต่นอกจากสมบัติที่ดีแล้วงานวิจัยนี้ยังต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตอีกด้วย เนื่องจาก PVOH ที่ใช้เป็นเกรด MOWIFLEX C-30 ที่มีราคาสูง ดังนั้นหากเลือกใช้ฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จะสามารถลดต้นทุนการผลิตไม่เยอะ แต่เมื่อพิจารณาฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 พบว่าฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 มีสมบัติใกล้เคียงกับฟิล์มที่ใช้ทั่วไปทางการค้า (Commercial) และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เยอะกว่าฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ถึง 2 เท่า (ลดต้นทุนการผลิตประมาณ 225 บาท ต่อฟิล์ม 1 kg เมื่อเทียบอัตราส่วนระหว่าง PVOH:P-St ที่ 80:20 กับ 60:40 โดยน้ำหนัก)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในตอนที่ 2

5.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/กลีเซอรอล/แป้งพรีเจลาติไนซ์/สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เหมาะสม โดยนำอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 คือฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ไปผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN โดยมีปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN 500, 1000 และ 1500 ppm ต่อโครงสร้างทางเคมี สมบัติทางความร้อน สมบัติการละลายน้ำ สมบัติเชิงกล และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus พบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลและเอมีน สามารถเกิดอันตรกริยากับ PVOH และ P-St ได้ เมื่อเติมใน PVOH60/G/P-St40 ทำให้ฟิล์มมีเสถียรภาพทางความร้อน, T_m , T_g , Young's modulus (31.1 %RH) และ Tensile strength (61.1 %RH) ดีขึ้น แต่มีปริมาณผลึกต่ำกว่าเมื่อเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN ใน PVOH60/G/P-St40 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus พบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus สูงกว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus พบว่าฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM %Reduction of bacteria ของ E. Coli เท่ากับ 100% ที่ความเข้มข้น 1000 และ 1500 ppm ส่วน %Reduction of bacteria ของ S. Aureus เท่ากับ 100% ที่ความเข้มข้น 500, 1000 และ 1500 ppm ในขณะที่ฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN มี %Reduction of bacteria ของ E. Coli สูงสุดเท่ากับ 93.14% ที่ความเข้มข้น 1500 ppm ส่วน %Reduction of bacteria ของ S. Aureus เท่ากับ 100% ที่ความเข้มข้น 1500 ppm ดังนั้นชนิดและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในงานวิจัยนี้ คือ สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ที่ความเข้มข้น 1000 ppm เพราะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli และ S. Aureus ได้ 100%

5.3 ข้อแนะนำ

5.3.1 เกรด PVOH ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกรด MOWIFLEX C-30 ซึ่งมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตฟิล์มมีราคาสูง ดังนั้นหากเปลี่ยนเกรด PVOH ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับเกรดนี้และมีราคาถูกกว่านี้ ก็สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

5.3.2 งานวิจัยนี้ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อช่วยให้ P-St ขึ้นรูปได้ดีขึ้น แต่กลีเซอรอลที่ใช้ในงานวิจัยมีสถานะเป็นของเหลว จึงทำให้เกิดปัญหาในระหว่างการผสมด้วยเครื่อง Twin screw extruder ดังนั้นหากเปลี่ยนพลาสติกไซเซอร์ที่มีสถานะเป็นของแข็ง จะสามารถผสมได้ง่ายขึ้น





ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์สมบัติการไหลของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค MFI

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI

Sample	MFI (g/10min)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Mean	S.D.
PVOH	2.4900	2.4400	2.4000	2.4433	0.0451
PVOH/G	1.0025	1.0221	1.0140	10.1287	0.0098
PVOH90/G/P-St10	0.7960	0.7888	0.7955	7.9343	0.0040
PVOH80/G/P-St20	0.7042	0.7139	0.7245	7.1420	0.0102
PVOH70/G/P-St30	0.6643	0.6765	0.6826	6.7447	0.0093
PVOH60/G/P-St40	0.4895	0.4752	0.4488	4.7117	0.0206

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 1)

Sample	L (cm)	m (g)	V (cm ³)	MVR (cm ³ /10min)	ρ (g/cm ³)	Q (cm ³ /s)	η_{app} (Pa·s)
PVOH	0.40	2.49	1.38	13.80	1.80	0.02	456.40
PVOH/G	1.50	1.00	5.18	51.75	0.19	0.09	121.71
PVOH90/G/P-St10	0.85	0.80	2.93	29.33	0.27	0.05	214.77
PVOH80/G/P-St20	0.80	0.70	2.76	27.60	0.26	0.05	228.20
PVOH70/G/P-St30	0.80	0.67	2.76	27.60	0.02	0.05	228.20
PVOH60/G/P-St40	0.45	0.47	1.55	15.53	0.03	0.03	405.68

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 2)

Sample	L (cm)	m (g)	V (cm ³)	MVR (cm ³ /10min)	ρ (g/cm ³)	Q (cm ³ /s)	η_{app} (Pa·s)
PVOH	0.40	2.44	1.38	13.80	1.77	0.02	456.40
PVOH/G	1.45	1.02	5.00	50.03	0.20	0.08	125.90
PVOH90/G/P-St10	0.90	0.79	3.11	31.05	0.25	0.05	202.84
PVOH80/G/P-St20	0.90	0.71	3.11	31.05	0.23	0.05	202.84
PVOH70/G/P-St30	0.80	0.68	2.76	27.60	0.25	0.05	228.20
PVOH60/G/P-St40	0.45	0.48	1.55	15.53	0.31	0.03	405.68

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 3)

Sample	L (cm)	m (g)	V (cm ³)	MVR (cm ³ /10min)	ρ (g/cm ³)	Q (cm ³ /s)	η_{app} (Pa·s)
PVOH	0.45	2.40	1.55	15.53	1.55	0.03	405.68
PVOH/G	1.50	1.01	5.18	51.75	0.20	0.09	121.71
PVOH90/G/P-St10	0.90	0.80	3.11	31.05	0.26	0.05	202.84
PVOH80/G/P-St20	0.80	0.72	2.76	27.60	0.26	0.05	228.20
PVOH70/G/P-St30	0.70	0.68	2.42	24.15	0.28	0.04	260.80
PVOH60/G/P-St40	0.50	0.45	1.73	17.25	0.26	0.03	365.12

2. การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลโดยความหนืดด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ครั้งที่ 1)

PVOH	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	295.00	496.00	459.00	433.67	416.33
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.68	1.56	1.47	1.41
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.68	0.56	0.47	0.41
η_{sp}/C	-	68.14	66.71	65.81	65.81
$\ln\eta_{rel}/C$	-	51.96	53.05	53.94	55.12
PVOH/G	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	295.00	446.67	423.00	402.67	388.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.51	1.43	1.36	1.32
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.51	0.43	0.36	0.32
η_{sp}/C	-	51.41	52.07	51.10	50.80
$\ln\eta_{rel}/C$	-	41.48	43.25	43.56	44.12
PVOH90/G/P-St10	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	295.00	461.33	433.67	412.33	396.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.56	1.47	1.40	1.34
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.56	0.47	0.40	0.34
η_{sp}/C	-	56.38	56.41	55.68	55.14
$\ln\eta_{rel}/C$	-	44.71	46.24	46.88	47.38

PVOH80/G/P-St20	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	295.00	464.00	434.33	414.67	398.00
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.57	1.47	1.41	1.35
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.57	0.47	0.41	0.35
η_{sp}/C	-	57.29	56.68	56.79	55.86
$\ln\eta_{rel}/C$	-	45.29	46.42	47.67	47.92
PVOH70/G/P-St30	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	295.00	465.67	438.00	417.67	400.33
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.58	1.48	1.42	1.36
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.58	0.48	0.42	0.36
η_{sp}/C	-	57.85	58.17	58.21	57.13
$\ln\eta_{rel}/C$	-	45.65	47.43	48.68	48.85
PVOH60/G/P-St40	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	295.00	468.00	440.67	419.67	402.33
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.59	1.49	1.42	1.36
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.59	0.49	0.42	0.36
η_{sp}/C	-	58.64	59.25	59.16	58.21
$\ln\eta_{rel}/C$	-	46.15	48.16	49.35	49.65

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ครั้งที่ 2)

PVOH	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	305.33	502.33	466.67	442.33	426.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.65	1.53	1.45	1.40
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.65	0.53	0.45	0.40
η_{sp}/C	-	64.52	63.41	62.82	63.58
$\ln\eta_{rel}/C$	-	49.79	50.91	51.89	53.54
PVOH/G	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	305.33	451.33	428.00	409.33	397.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.48	1.40	1.34	1.30
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.48	0.40	0.34	0.30
η_{sp}/C	-	47.82	48.21	47.69	48.38
$\ln\eta_{rel}/C$	-	39.08	40.53	41.04	42.27
PVOH90/G/P-St10	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	305.33	464.67	436.33	417.33	404.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.52	1.43	1.37	1.33
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.52	0.43	0.37	0.33
η_{sp}/C	-	52.18	51.48	51.35	52.05
$\ln\eta_{rel}/C$	-	41.99	42.84	43.75	45.07

PVOH80/G/P-St20	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	305.33	465.67	438.33	420.33	406.33
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.53	1.44	1.38	1.33
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.53	0.44	0.38	0.33
η_{sp}/C	-	52.51	52.27	52.73	52.93
$\ln\eta_{rel}/C$	-	42.21	43.39	44.75	45.72
PVOH70/G/P-St30	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	305.33	468.67	441.33	422.33	409.00
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.53	1.45	1.38	1.34
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.53	0.45	0.38	0.34
η_{sp}/C	-	53.49	53.45	53.65	54.32
$\ln\eta_{rel}/C$	-	42.85	44.21	45.41	46.77
PVOH60/G/P-St40	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	305.33	472.00	446.00	426.33	411.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.55	1.46	1.40	1.35
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.55	0.46	0.40	0.35
η_{sp}/C	-	54.59	55.28	55.48	55.72
$\ln\eta_{rel}/C$	-	43.56	45.47	46.73	47.81

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (ครั้งที่ 3)

PVOH	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	301.67	500.67	466.00	440.33	423.00
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.66	1.54	1.46	1.40
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.66	0.54	0.46	0.40
η_{sp}/C	-	65.97	65.37	64.35	64.35
$\ln\eta_{rel}/C$	-	50.66	52.18	52.95	54.09
PVOH/G	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	301.67	451.00	427.33	406.00	396.00
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.50	1.42	1.35	1.31
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.50	0.42	0.35	0.31
η_{sp}/C	-	49.50	49.99	48.42	50.03
$\ln\eta_{rel}/C$	-	40.21	41.79	41.58	43.53
PVOH90/G/P-St10	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	301.67	465.67	435.67	416.67	403.33
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.54	1.44	1.38	1.34
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.54	0.44	0.38	0.34
η_{sp}/C	-	54.36	53.30	53.37	53.92
$\ln\eta_{rel}/C$	-	43.41	44.11	45.21	46.47

PVOH80/G/P-St20	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	301.67	467.33	440.67	420.00	404.67
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.55	1.46	1.39	1.34
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.55	0.46	0.39	0.34
η_{sp}/C	-	54.92	55.29	54.92	54.63
$\ln\eta_{rel}/C$	-	43.77	45.48	46.33	47.00
PVOH70/G/P-St30	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	301.67	467.33	440.00	422.33	405.00
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.55	1.46	1.40	1.34
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.55	0.46	0.40	0.34
η_{sp}/C	-	54.92	55.03	56.00	54.81
$\ln\eta_{rel}/C$	-	43.77	45.29	47.11	47.13
PVOH60/G/P-St40	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Time	301.67	469.00	442.67	425.33	407.00
Relative viscosity (η_{rel})	-	1.55	1.47	1.41	1.35
Specific viscosity (η_{sp})	-	0.55	0.47	0.41	0.35
η_{sp}/C	-	55.47	56.09	57.39	55.87
$\ln\eta_{rel}/C$	-	44.13	46.02	48.10	47.92

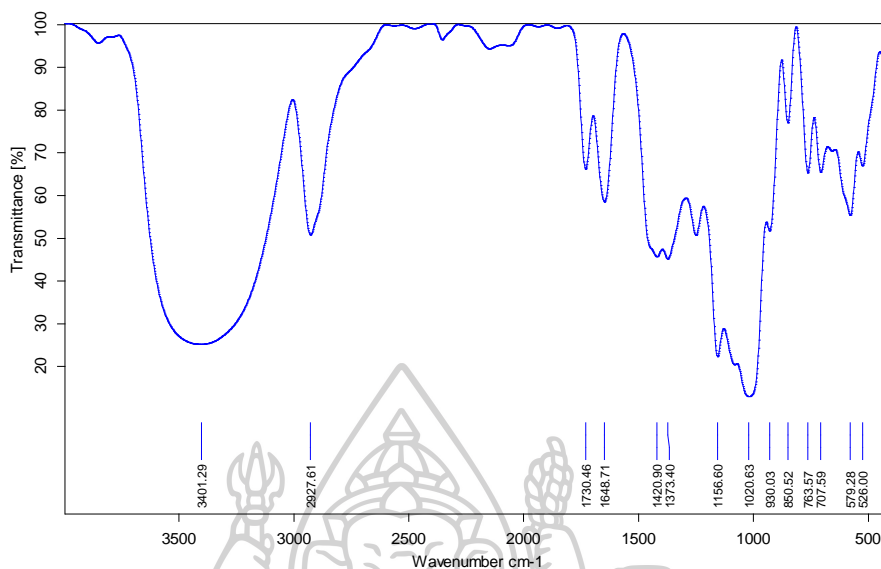
ตารางที่ ก.8 ข้อมูลที่ได้จากการหาความหนืดแบบ Intrinsic viscosity [η] จากเทคนิค Dilute-solution viscometry ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	[η] (Pa·s)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Mean	S.D.
PVOH	61.41	61.09	61.25	61.25	0.16
PVOH/G	49.80	48.72	49.33	49.28	0.54
PVOH90/G/P-St10	53.24	51.17	52.63	52.35	1.06
PVOH80/G/P-St20	54.10	53.58	54.30	53.99	0.37
PVOH70/G/P-St30	56.78	55.27	55.82	55.95	0.76
PVOH60/G/P-St40	58.26	57.61	58.15	58.01	0.35

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	M_v (g/ml)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Mean	S.D.
PVOH	38,764.40	38,501.32	38,628.24	38,631.32	131.57
PVOH/G	29,421.20	28,586.83	29,056.38	29,021.47	418.28
PVOH90/G/P-St10	32,124.12	30,495.60	31,644.64	31,421.45	836.89
PVOH80/G/P-St20	32,811.05	32,396.72	32,971.54	32,726.44	296.60
PVOH70/G/P-St30	34,963.79	33,747.08	34,185.61	34,298.83	616.21
PVOH60/G/P-St40	36,168.70	35,642.74	36,080.51	35,963.98	281.68

3. การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค FTIR



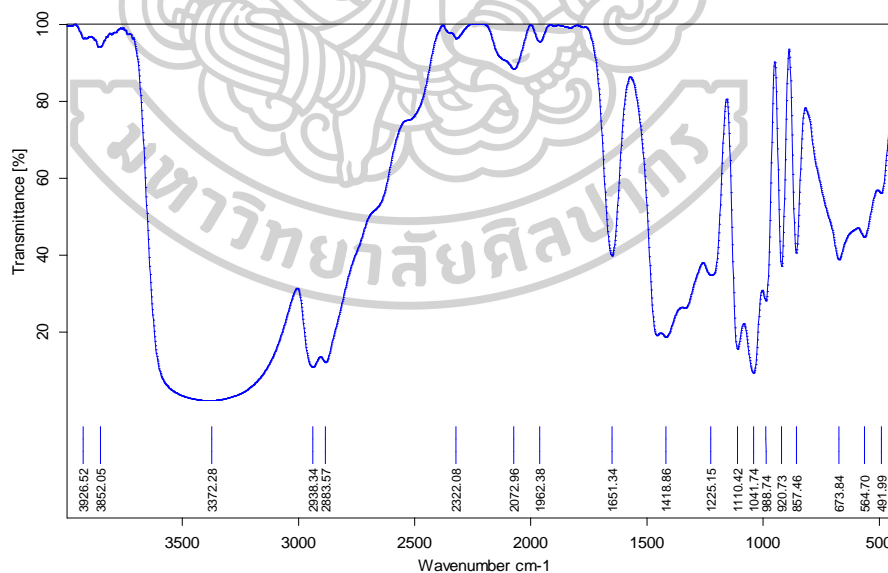
E:\PROJECT2564\620920011\13.4.65\P-St.0

P-St

13/04/2022

Page 1/1

รูปที่ ก.1 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของ P-St



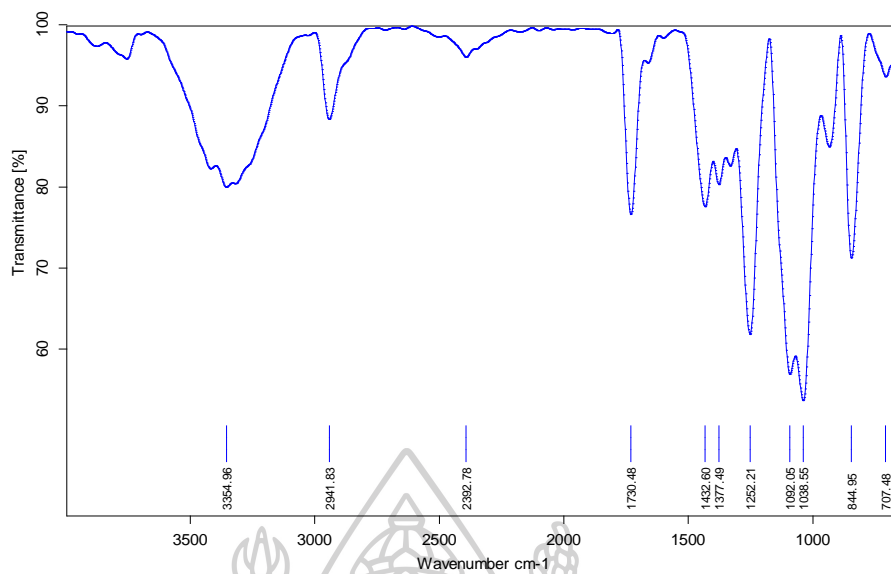
E:\620920012\11.05.65\Glycerol.0

Glycerol

11/05/2022

Page 1/1

รูปที่ ก.2 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของกลีเซอรอล



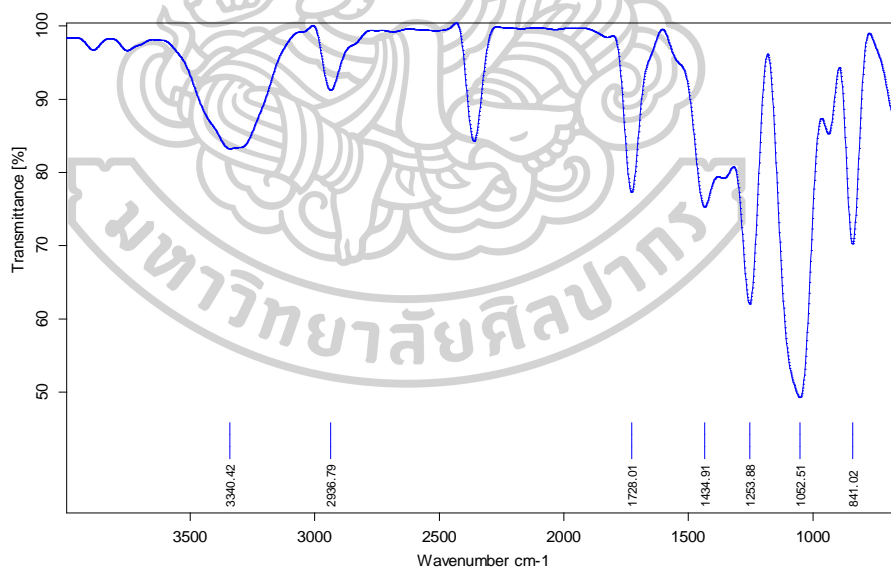
E:\PROJECT2564\620920011\PVOH Pure.0

PVOH Pure

11/03/2022

Page 1/1

รูปที่ ก.3 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์ม PVOH



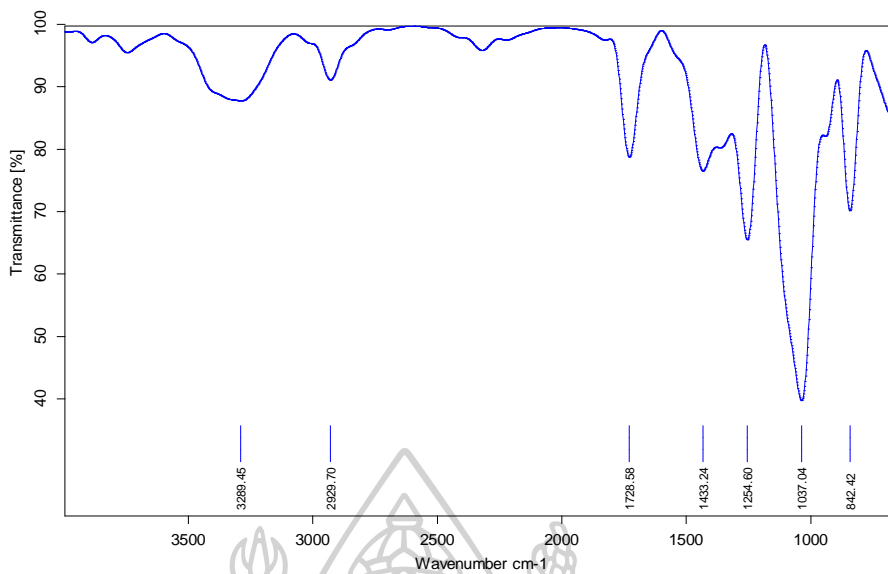
E:\PROJECT2564\620920011\PVOH-G.0

PVOH-G

11/03/2022

Page 1/1

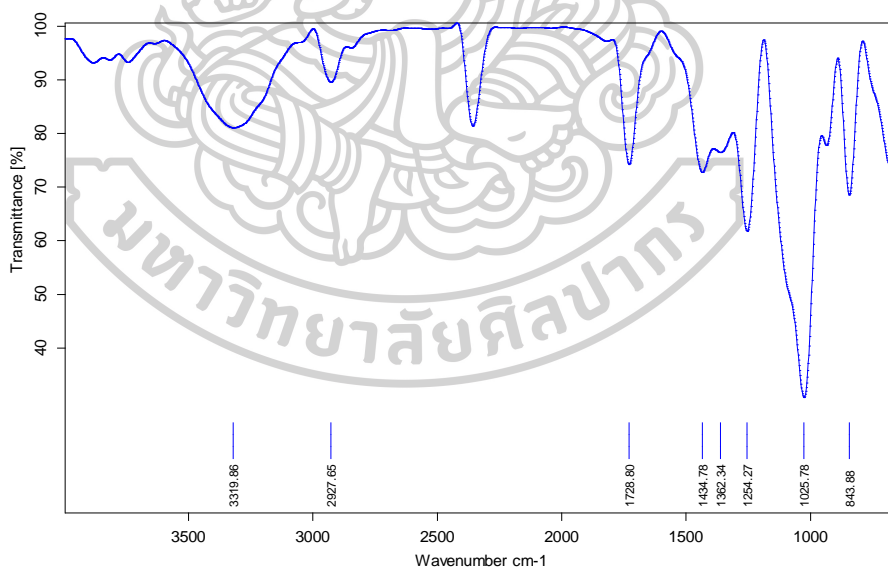
รูปที่ ก.4 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH/G



E:\PROJECT2564\620920011\PVOH-P-ST-10%.0 PVOH-P-ST-10% 11/03/2022

Page 1/1

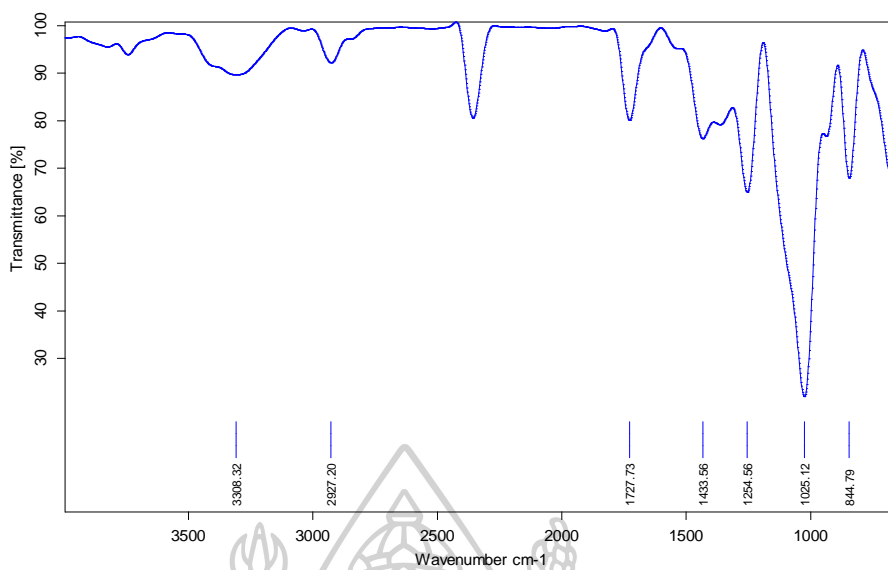
รูปที่ ก.5 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10



E:\PROJECT2564\620920011\PVOH-P-ST-20%.0 PVOH-P-ST-20% 11/03/2022

Page 1/1

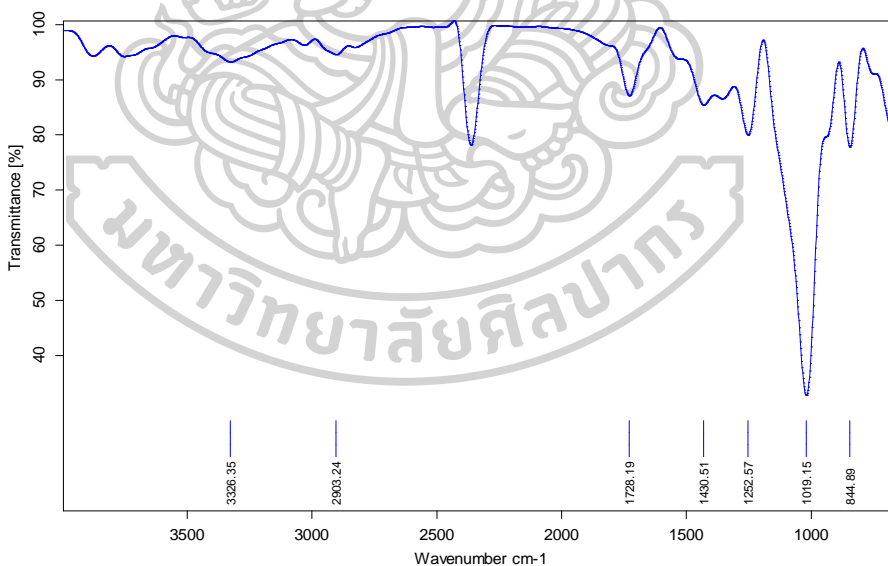
รูปที่ ก.6 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20



E:\PROJECT2564\620920011\PVOH-P-ST-30%.0 PVOH-P-ST-30% 11/03/2022

Page 1/1

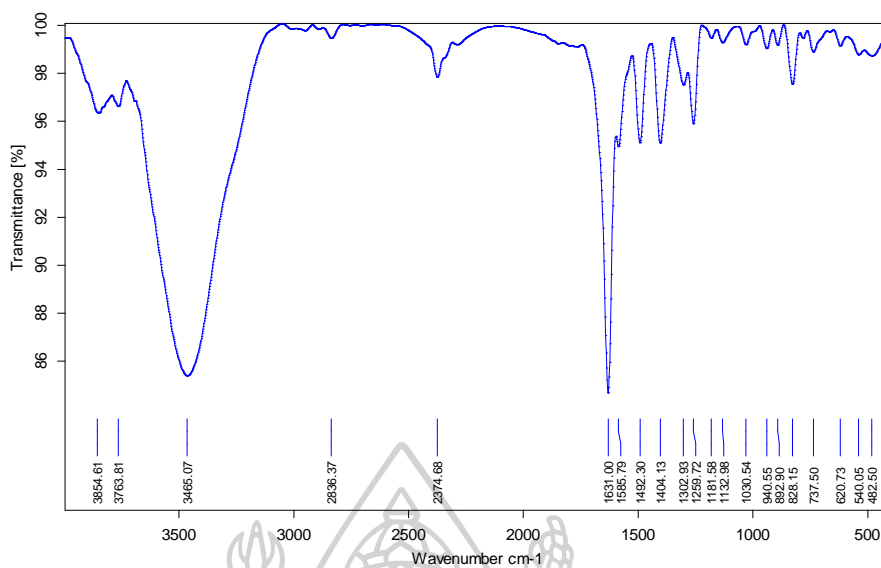
รูปที่ ก.7 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30



E:\PROJECT2564\620920011\PVOH-P-ST-40%.2 PVOH-P-ST-40% 11/03/2022

Page 1/1

รูปที่ ก.8 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40



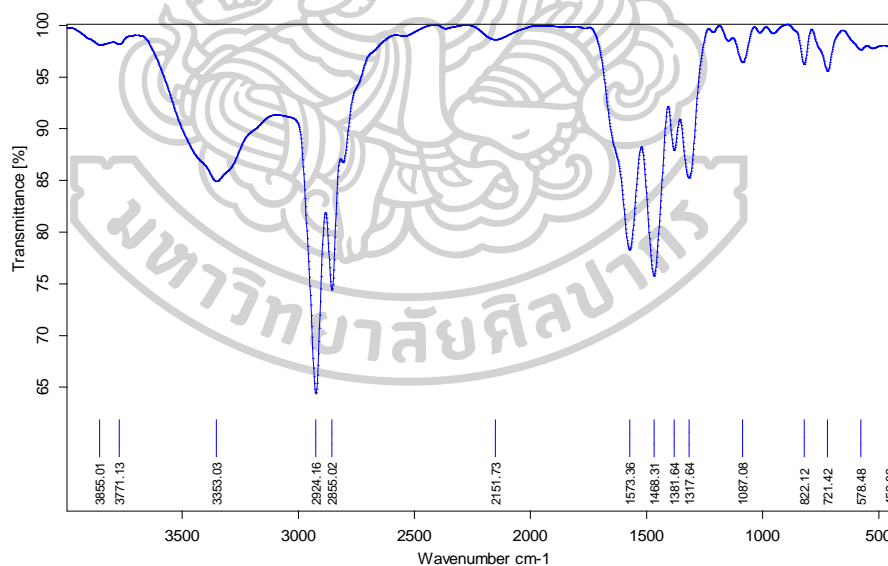
E:____Graduate Project 60_FRIST\HPQM.0

HPQM

16/06/2022

Page 1/1

รูปที่ ก.9 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM



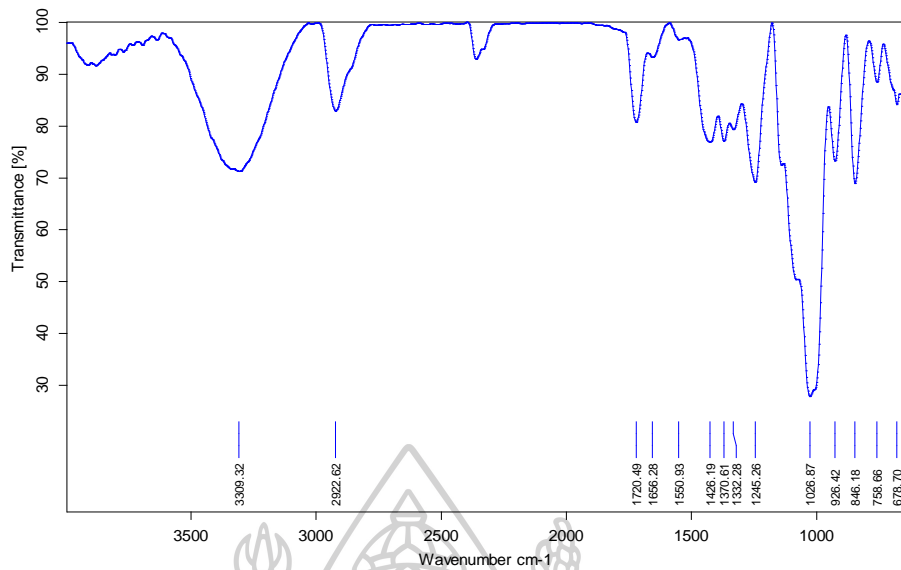
E:____Graduate Project 60_FRIST\TRIAMEEN.0

TRIAMEEN

16/06/2022

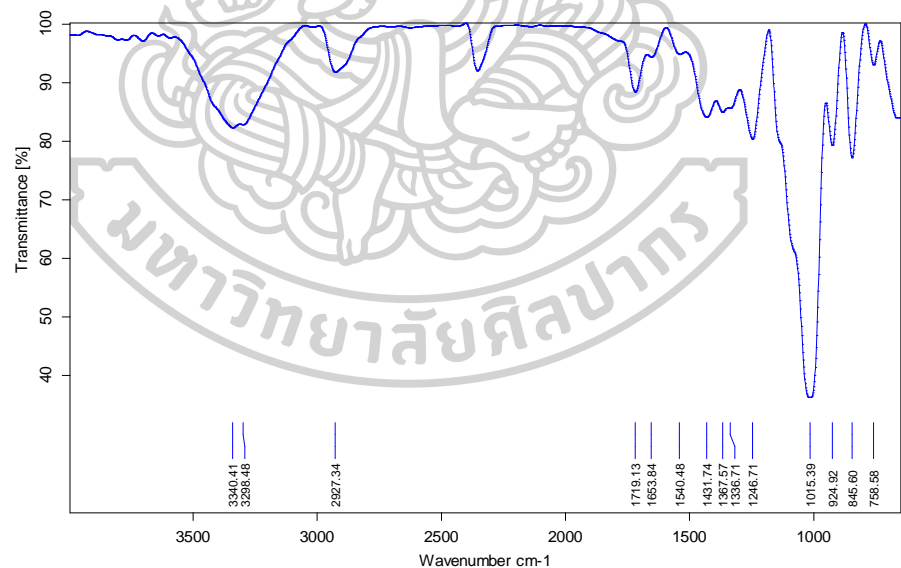
Page 1/1

รูปที่ ก.10 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด TRIAMEEN



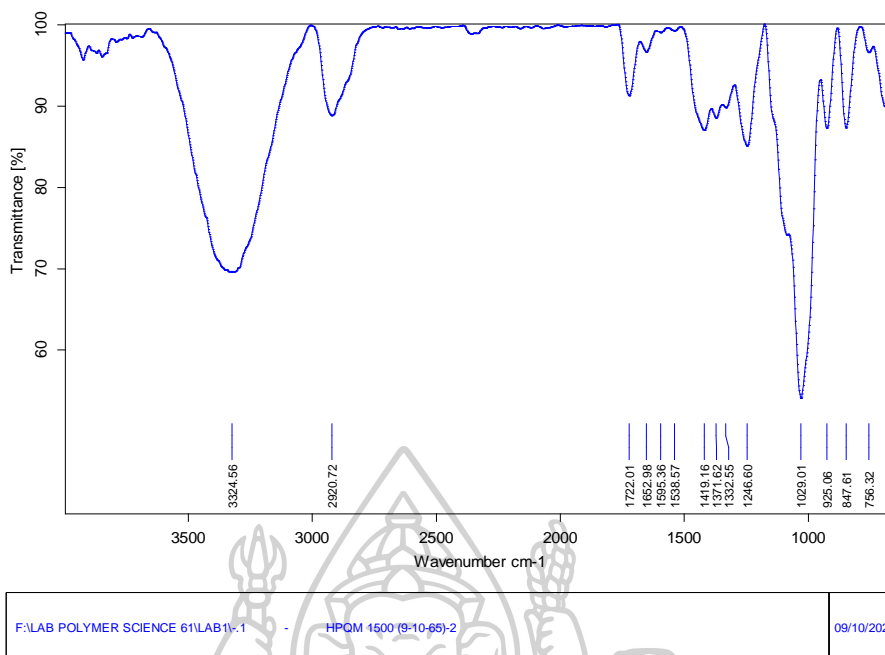
E:_GRADUATE PROJECT_NOTE\FILM.9 HPQM 500.ppm 08/10/2022

รูปที่ ก.11 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500

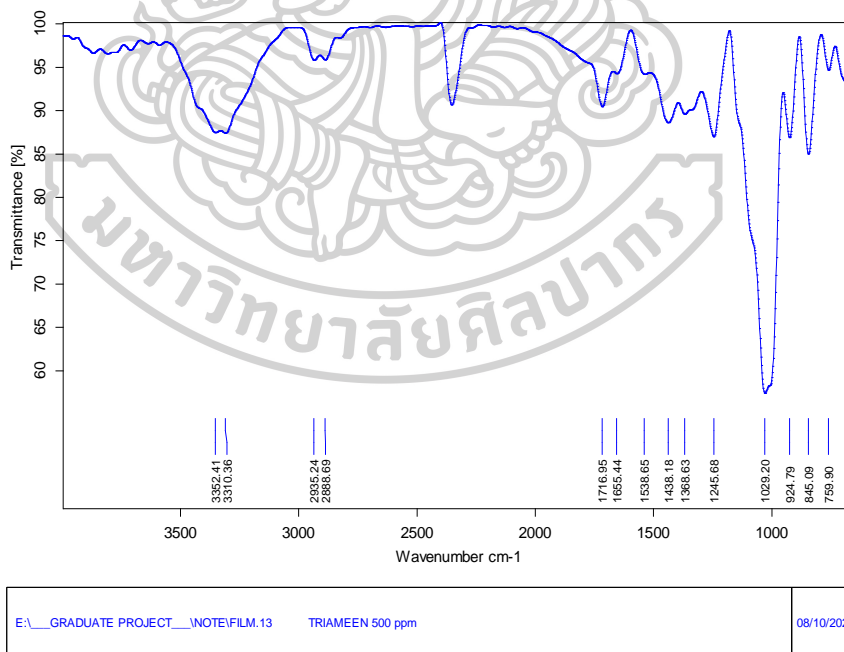


E:_GRADUATE PROJECT_NOTE\FILM.10 HPQM 1000.ppm 08/10/2022

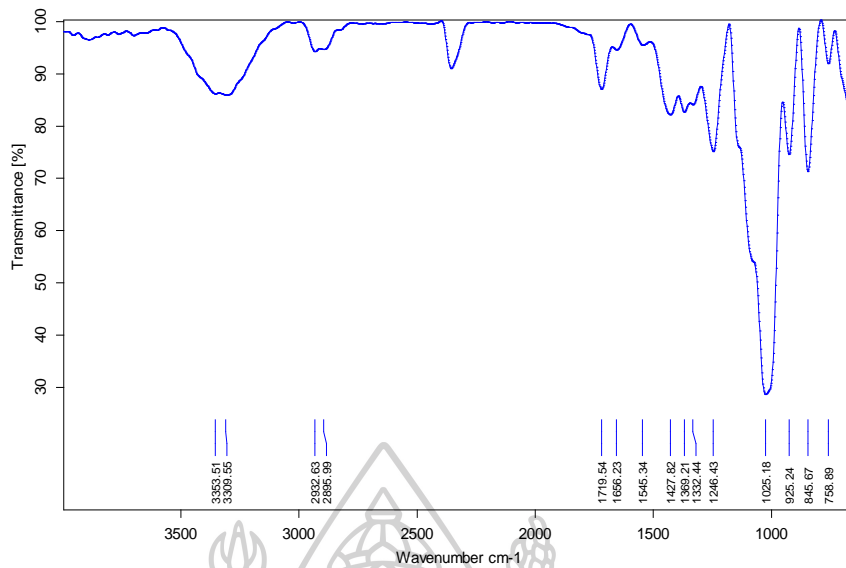
รูปที่ ก.12 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000



รูปที่ ก.13 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500

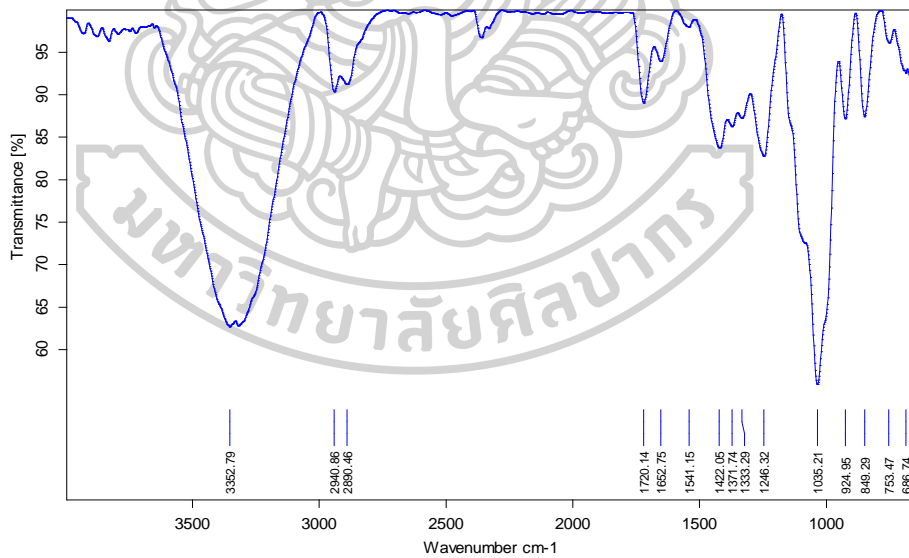


รูปที่ ก.14 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500



E:_GRADUATE PROJECT_NOTE\FILM.14	TRIAMEEN 1000 ppm	08/10/2022
------------------------------------	-------------------	------------

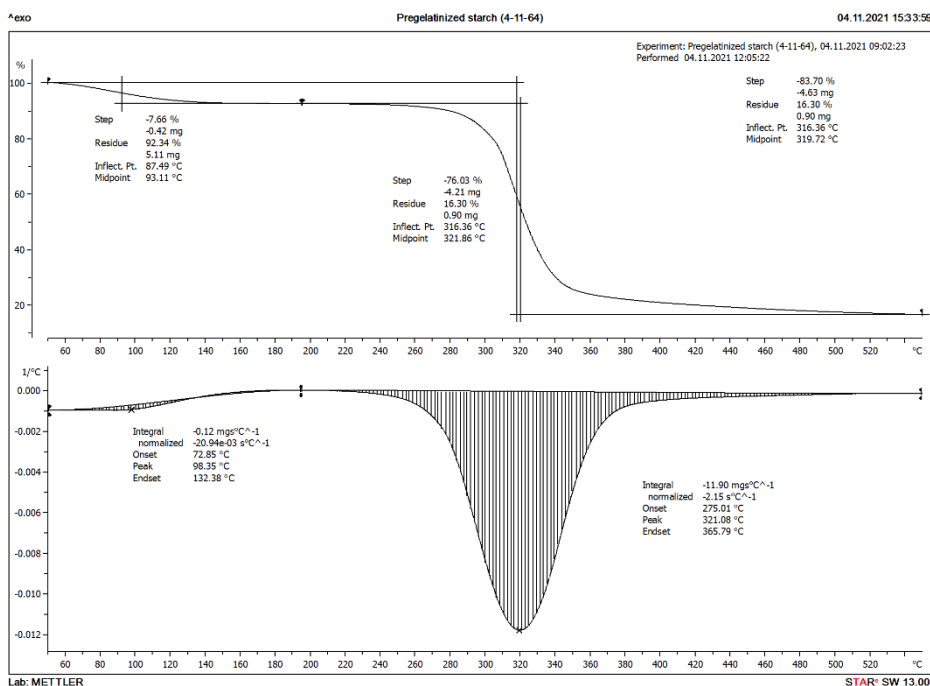
รูปที่ ก.15 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000



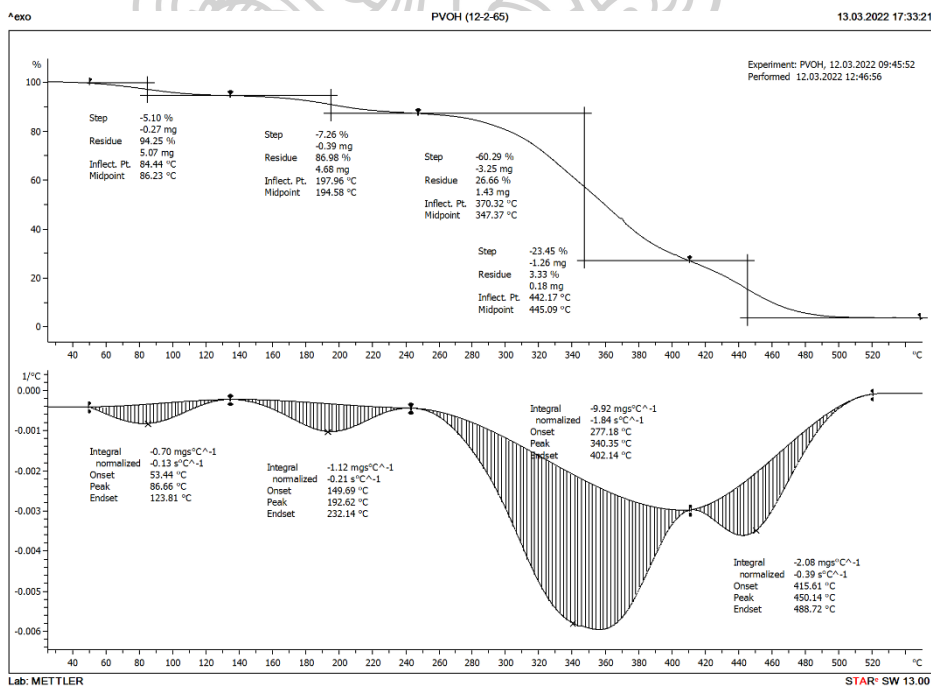
F:\LAB POLYMER SCIENCE 61\LAB1-6	TRIAMEEN 1500 ppm (9-10-65)	09/10/2022
----------------------------------	-----------------------------	------------

รูปที่ ก.16 สเปกตรัมจากเทคนิค FTIR ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500

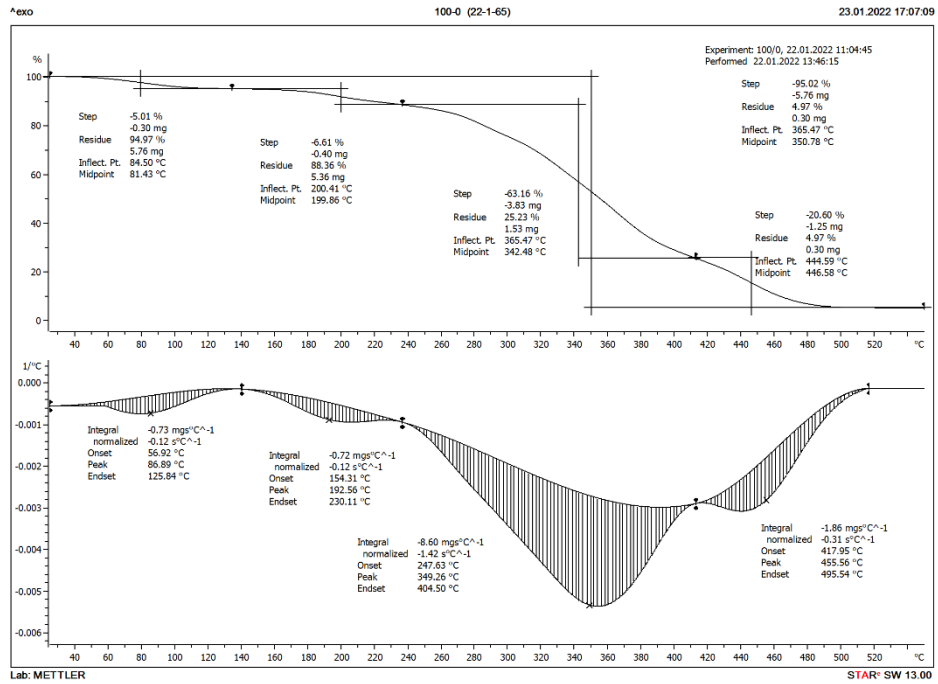
4. การวิเคราะห์สมบัติทางเสถียรภาพทางความร้อนของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค TGA



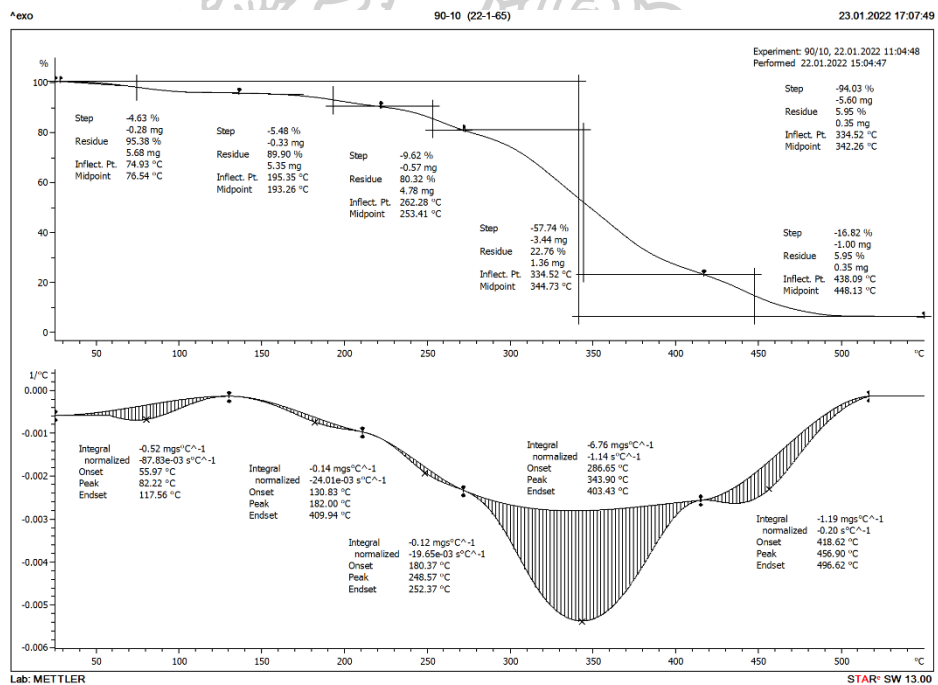
รูปที่ ก.17 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของ P-St



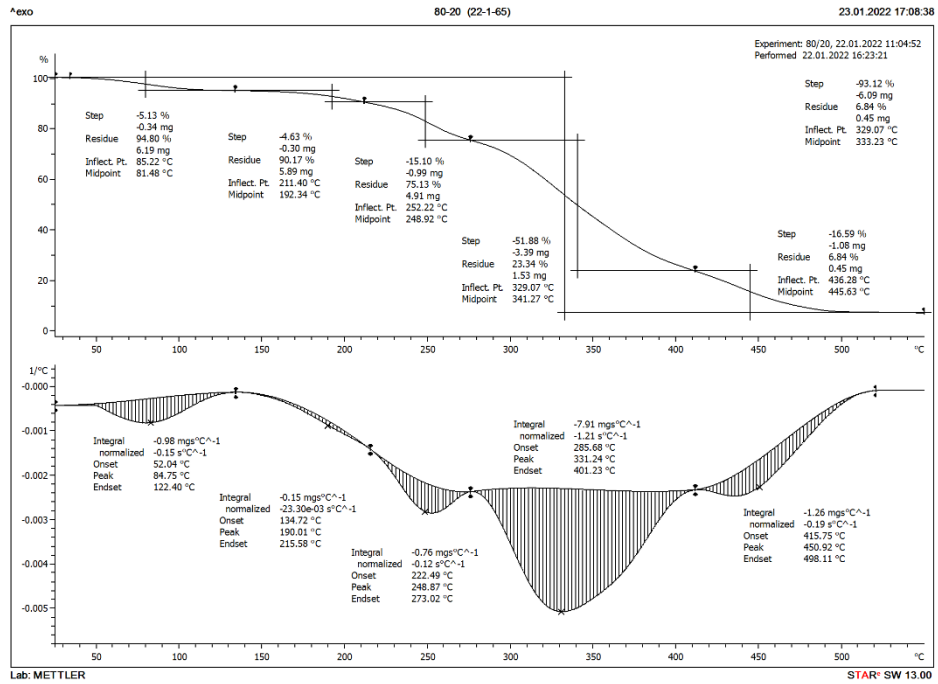
รูปที่ ก.18 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์ม PVOH



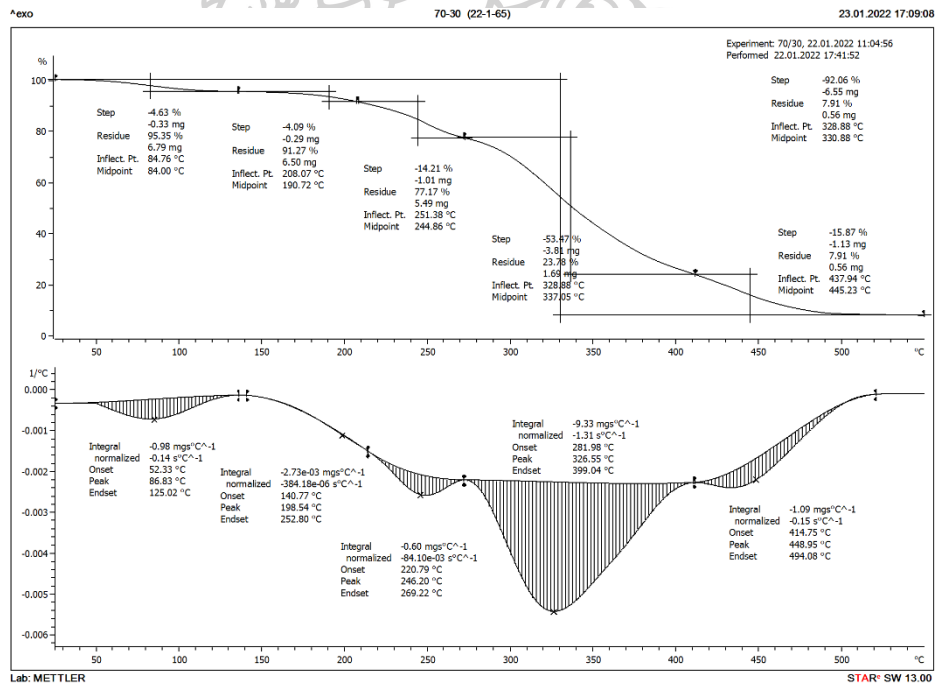
รูปที่ ก.19 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH/G



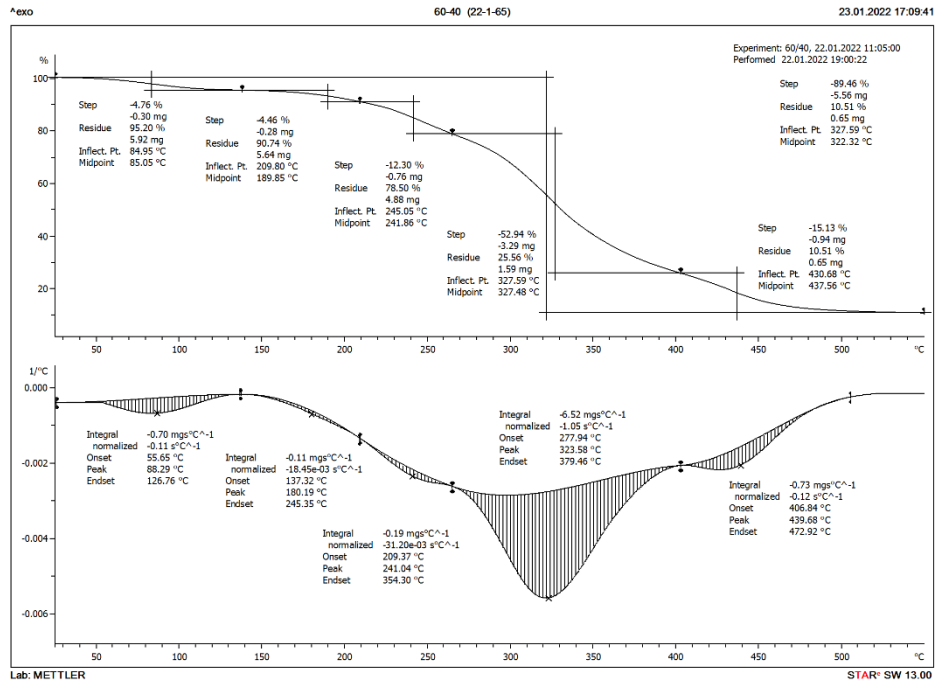
รูปที่ ก.20 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10



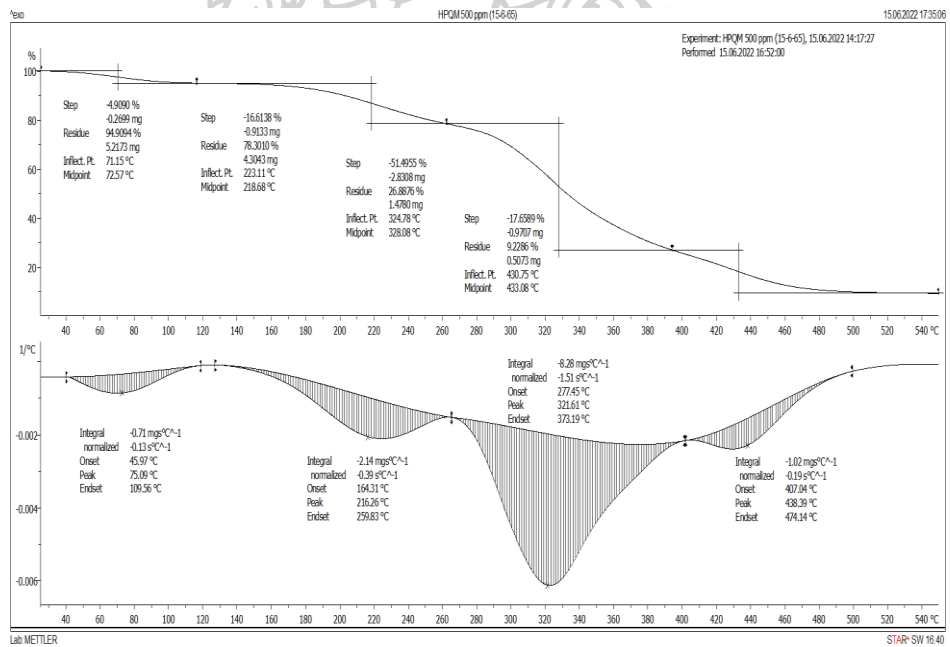
รูปที่ ก.21 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20



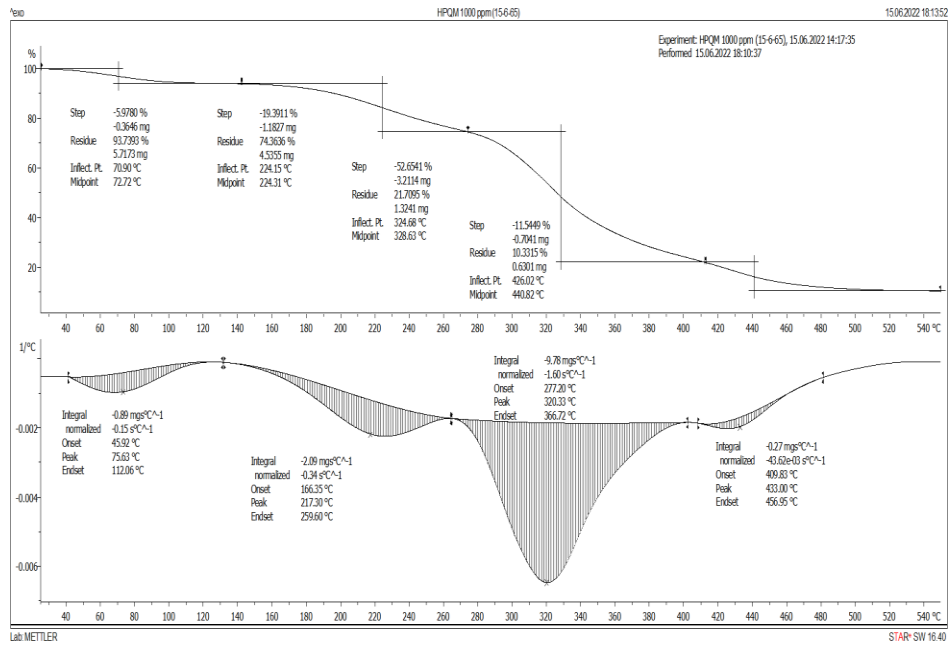
รูปที่ ก.22 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30



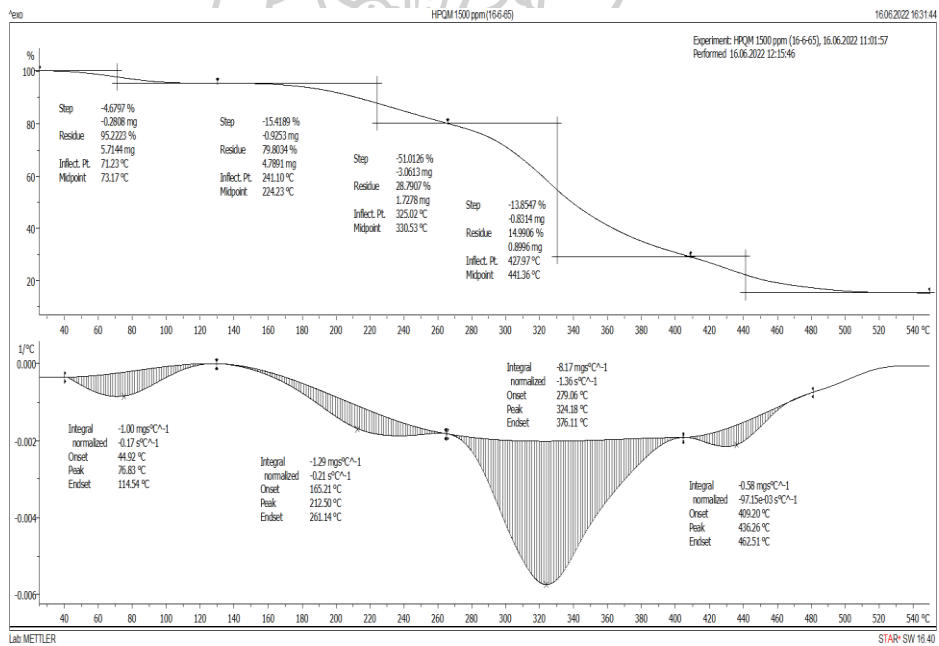
รูปที่ ก.23 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40



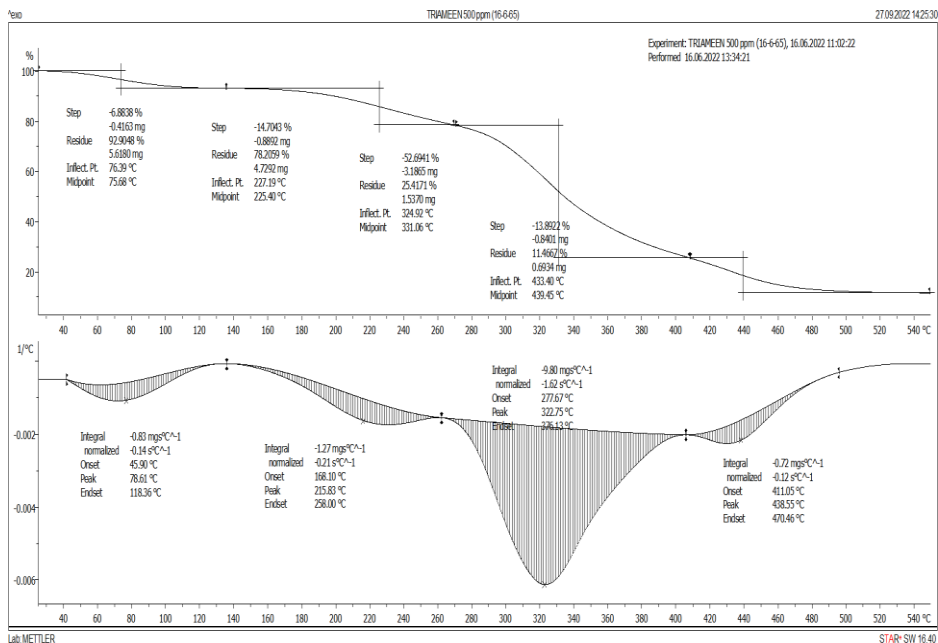
รูปที่ ก.24 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500



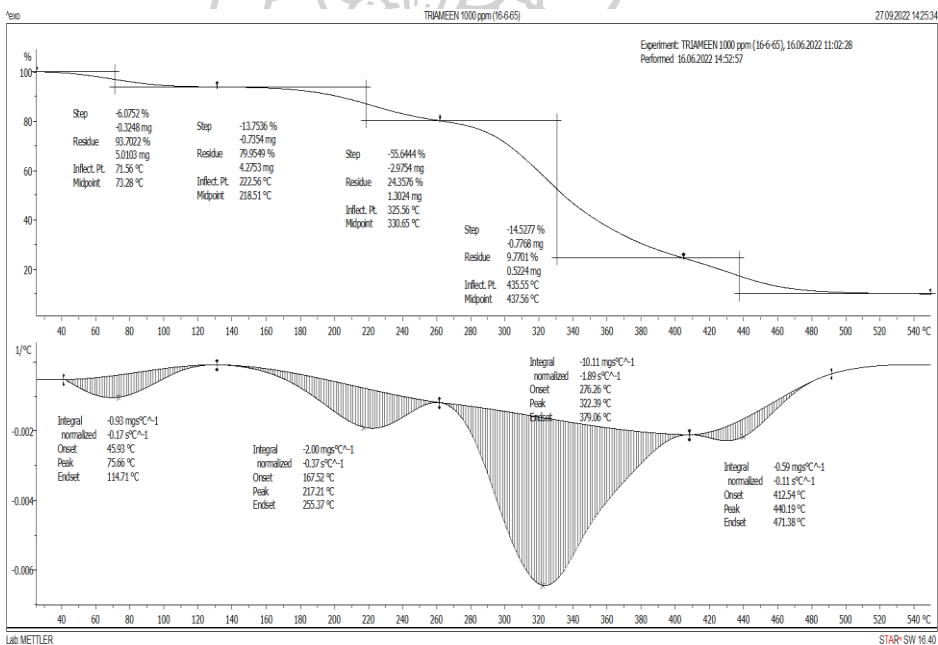
รูปที่ ก.25 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000



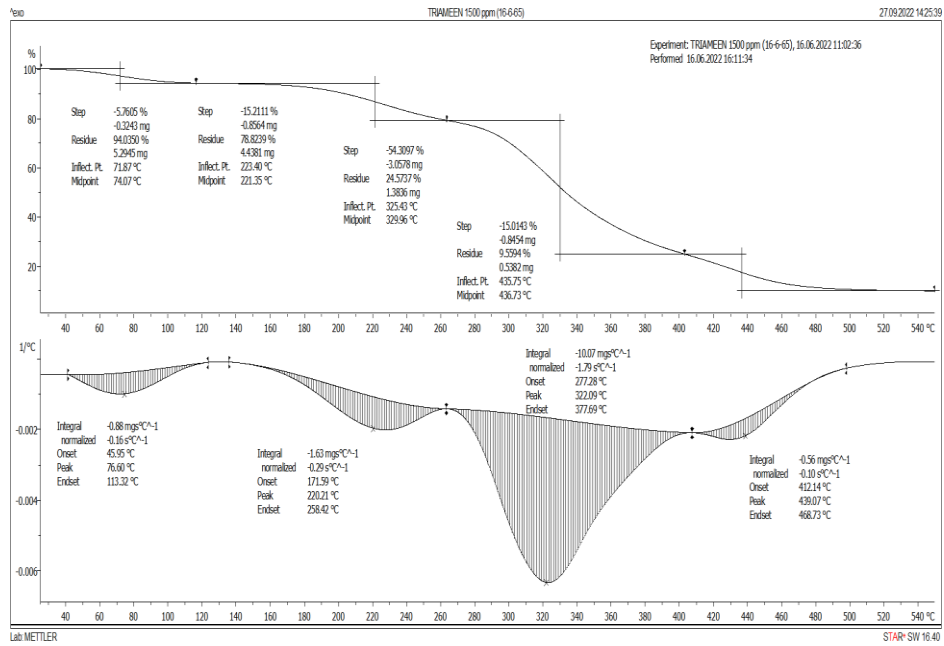
รูปที่ ก.26 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500



รูปที่ ก.27 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500

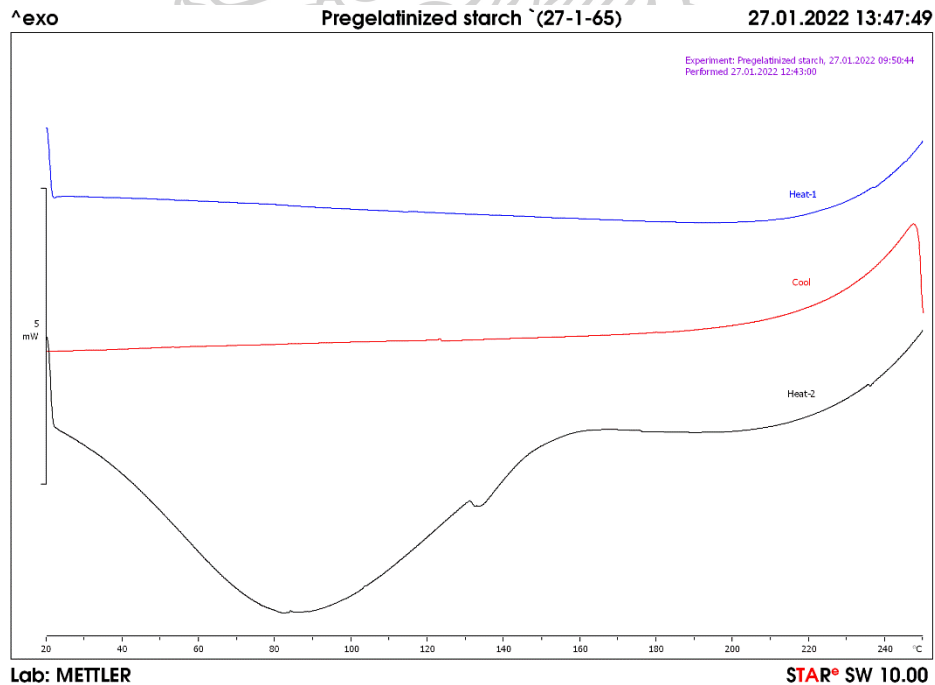


รูปที่ ก.28 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000

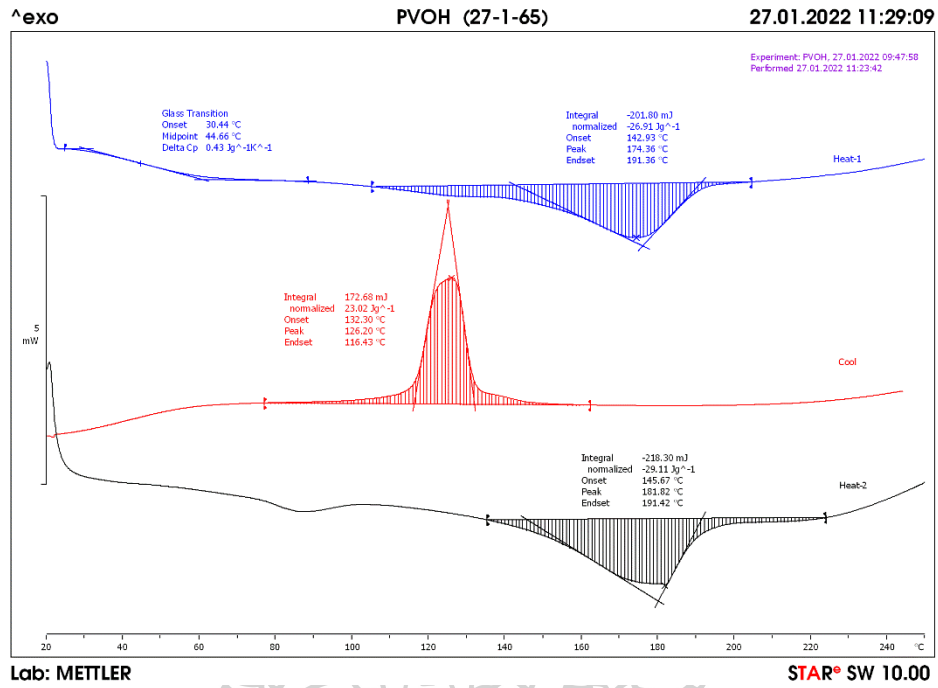


รูปที่ ก.29 การสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTG ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500

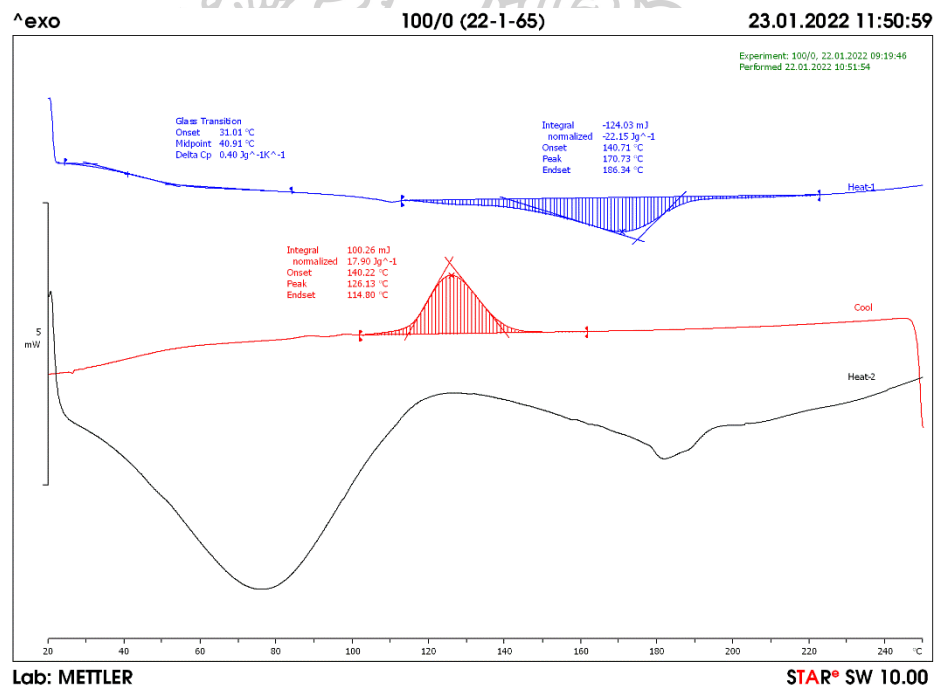
5. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค DSC



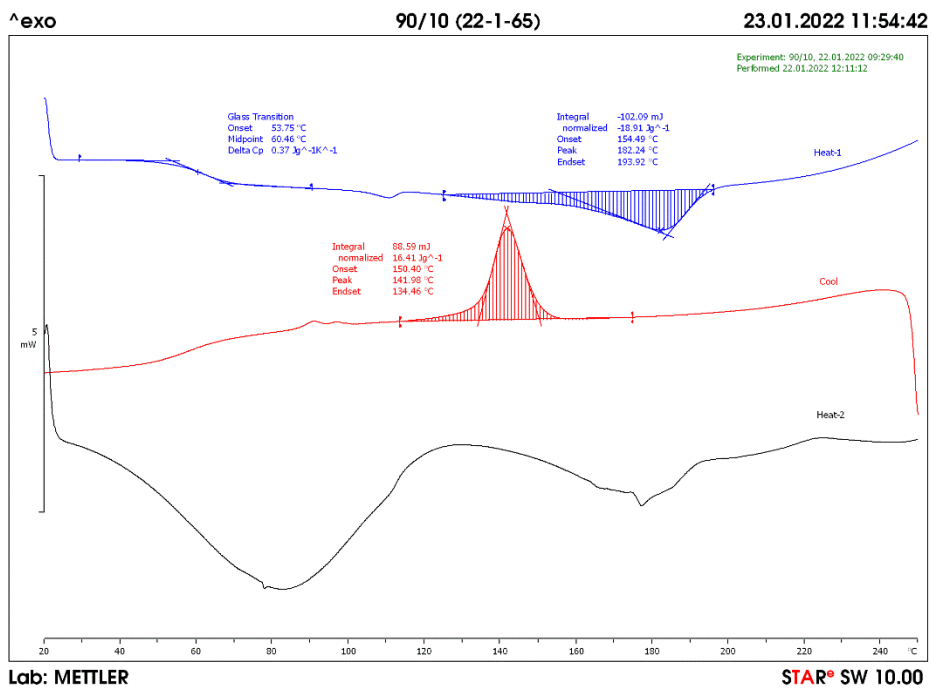
รูปที่ ก.30 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของ P-St



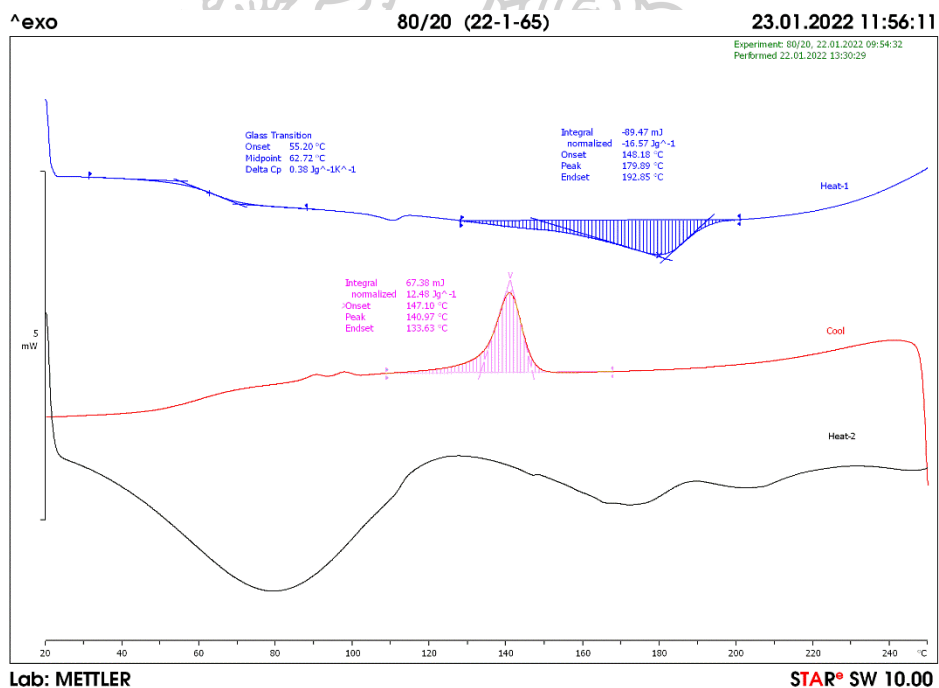
รูปที่ ก.31 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์ม PVOH



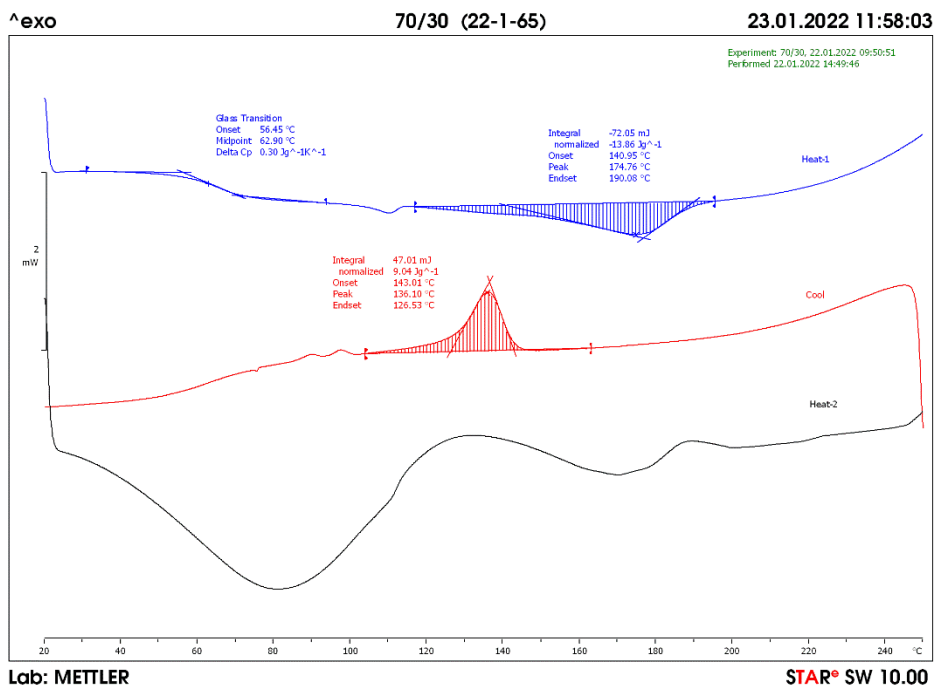
รูปที่ ก.32 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH/G



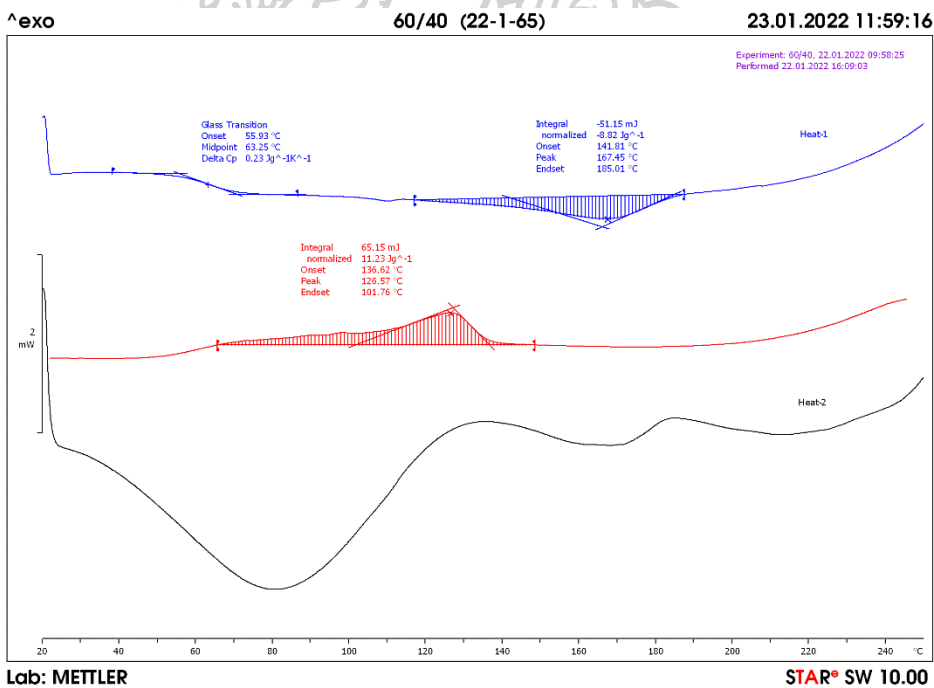
รูปที่ ก.33 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10



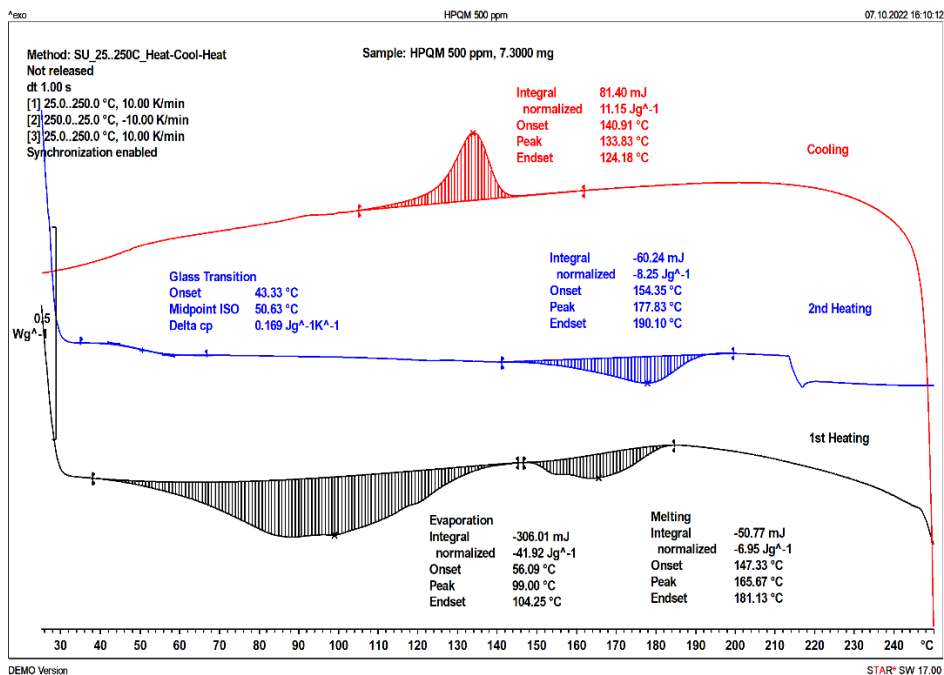
รูปที่ ก.34 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20



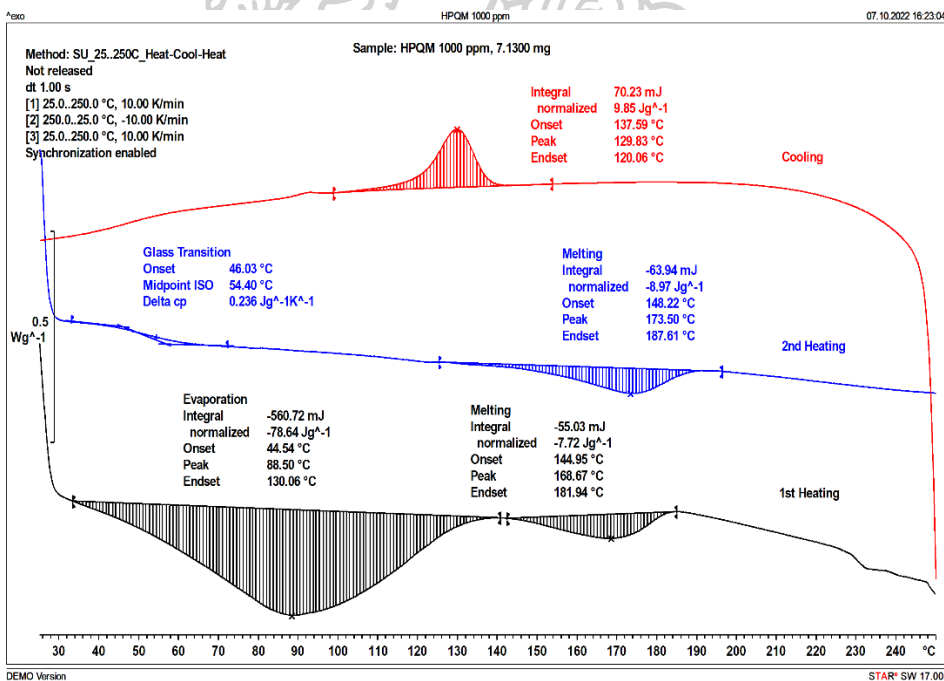
รูปที่ ก.35 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30



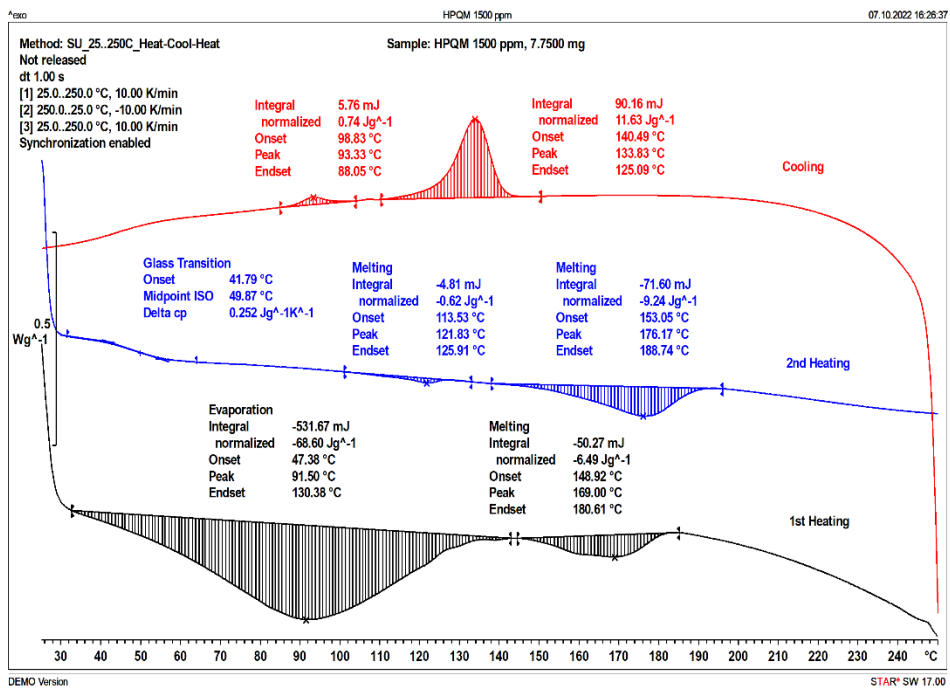
รูปที่ ก.36 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40



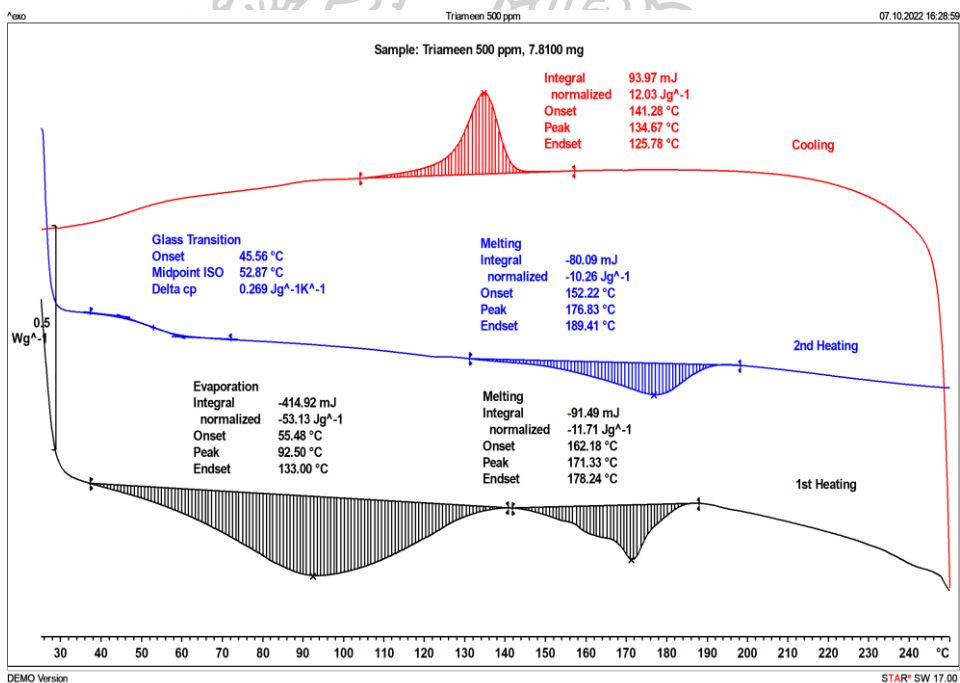
รูปที่ ก.37 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500



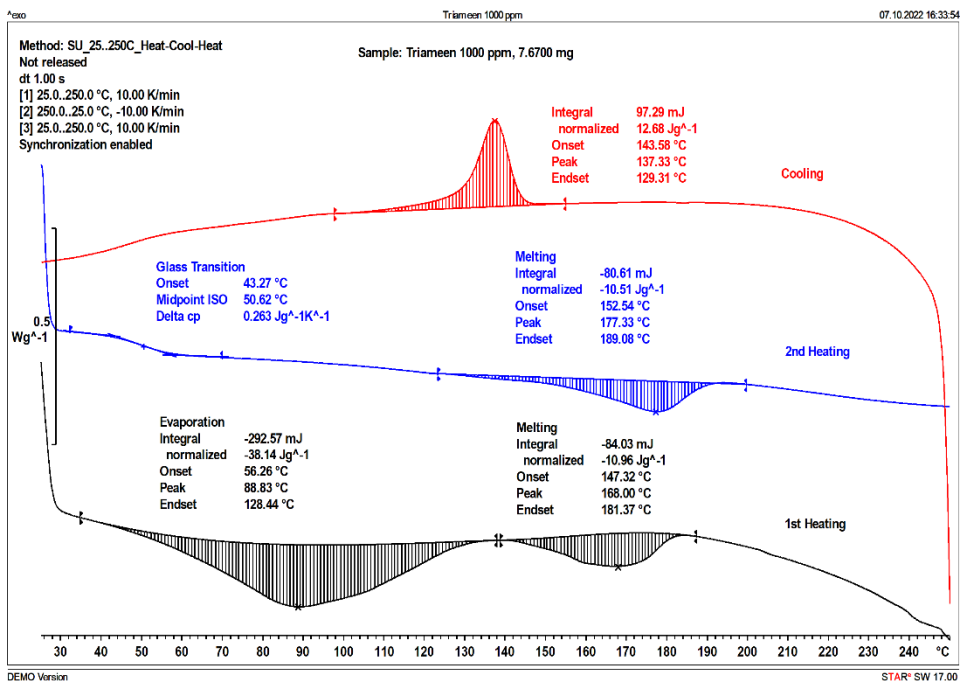
รูปที่ ก.38 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000



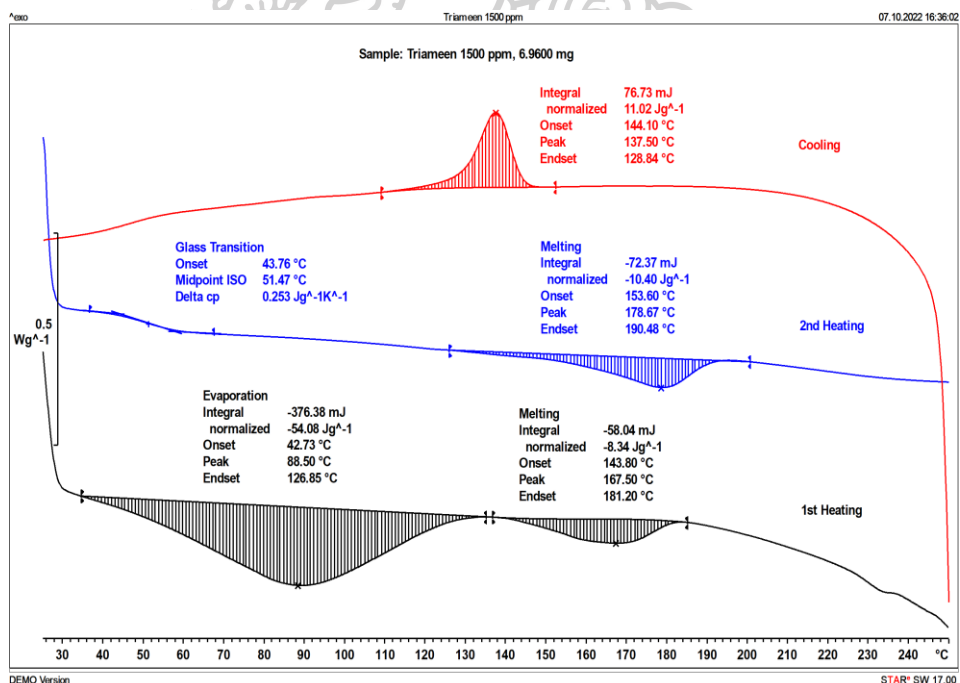
รูปที่ ก.39 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500



รูปที่ ก.40 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500



รูปที่ ก.41 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000

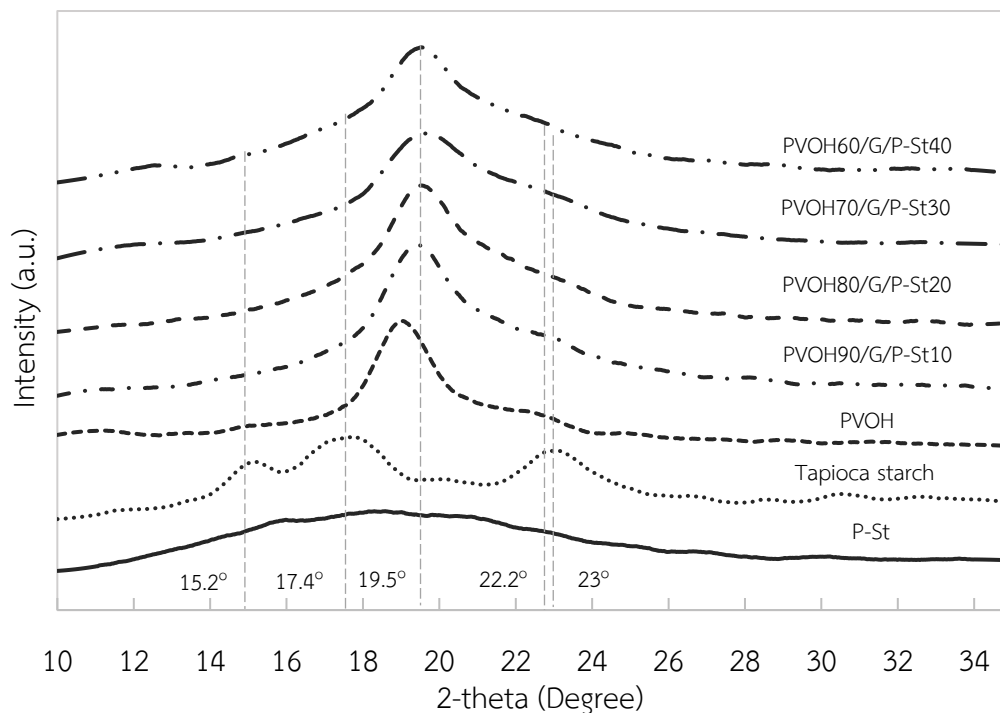


รูปที่ ก.42 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500

6. การวิเคราะห์การคำนวณหาปริมาณการเกิดเจลาติโนซ์ของแป้งด้วยเทคนิค XRD

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณการเกิดเจลาติโนซ์ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค XRD

Sample	No.	Intensity (a.u.)				
		15.2°	17.4°	19.5°	22.2°	23°
Tapioca starch	1	28	49	-	-	37
	2	28	42	-	-	35
	3	31	42	-	-	31
P-St	1	25	25	-	-	3
	2	27	25	-	-	4
	3	28	27	-	-	3
PVOH	1	-	-	85	12	-
	2	-	-	94	16	-
	3	-	-	99	18	-
PVOH90/G/P-St10	1	5	5	112	32	11
	2	2	11	75	31	11
	3	3	9	86	27	16
PVOH80/G/P-St20	1	7	13	110	32	10
	2	8	11	91	27	12
	3	9	10	89	24	9
PVOH70/G/P-St30	1	11	7	87	22	6
	2	6	13	97	27	9
	3	8	4	94	25	6
PVOH60/G/P-St40	1	8	15	98	30	7
	2	3	10	43	25	3
	3	8	11	74	29	5



รูปที่ ก.43 XRD pattern ของ P-St, PVOH, PVOH/G และ PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

7. การวิเคราะห์สมบัติการละลายน้ำของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค Water solubility

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 °C ด้วยเทคนิค Water solubility

Sample	Water soluble time (min)			Mean	S.D.
P-St	18.32	18.25	18.45	18.34	0.10
PVOH	22.15	22.54	22.20	22.30	0.21
PVOH/G	19.29	19.42	19.36	19.36	0.07
PVOH90/G/P-St10	14.45	14.11	14.42	14.33	0.19
PVOH80/G/P-St20	15.19	15.40	15.44	15.34	0.13
PVOH70/G/P-St30	16.29	16.34	16.21	16.28	0.07
PVOH60/G/P-St40	18.11	18.49	18.24	18.28	0.19

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วยเทคนิค Water solubility

Sample	Water soluble time (min)			Mean	S.D.
P-St	14.15	14.25	14.47	14.29	0.16
PVOH	19.51	19.22	19.47	19.40	0.16
PVOH/G	15.45	15.51	15.24	15.40	0.14
PVOH90/G/P-St10	10.26	10.02	10.51	10.26	0.25
PVOH80/G/P-St20	11.32	11.56	11.37	11.42	0.13
PVOH70/G/P-St30	12.10	12.41	12.22	12.24	0.16
PVOH60/G/P-St40	14.37	14.10	14.47	14.31	0.19

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยเทคนิค Water solubility

Sample	Water soluble time (min)			Mean	S.D.
P-St	11.47	11.52	11.29	11.43	0.12
PVOH	16.45	16.25	16.49	16.40	0.13
PVOH/G	14.42	14.16	14.42	14.33	0.15
PVOH90/G/P-St10	7.37	7.46	7.11	7.31	0.18
PVOH80/G/P-St20	8.16	8.24	8.41	8.27	0.13
PVOH70/G/P-St30	10.28	10.52	10.38	10.39	0.12
PVOH60/G/P-St40	12.11	12.09	12.49	12.23	0.23

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 °C ด้วยเทคนิค Water solubility

Sample	Water soluble time (min)			Mean	S.D.
PVOH60/G/P-St40	18.11	18.49	18.24	18.28	0.19
PVOH60/G/P-St40/H500	18.17	18.25	18.40	18.27	0.12
PVOH60/G/P-St40/H1000	18.15	18.06	18.29	18.17	0.12
PVOH60/G/P-St40/H1500	18.34	18.32	18.16	18.27	0.10
PVOH60/G/P-St40/T500	18.16	18.09	18.31	18.19	0.11
PVOH60/G/P-St40/T1000	18.08	18.15	18.19	18.14	0.06
PVOH60/G/P-St40/T1500	18.37	18.42	18.25	18.35	0.09

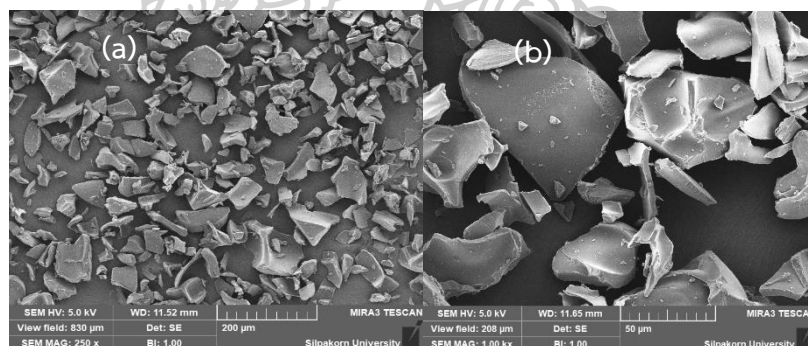
ตารางที่ ก.15 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วยเทคนิค Water solubility

Sample	Water soluble time (min)			Mean	S.D.
PVOH60/G/P-St40	14.37	14.10	14.47	14.31	0.19
PVOH60/G/P-St40/H500	14.12	14.15	14.22	14.16	0.05
PVOH60/G/P-St40/H1000	14.04	14.16	14.21	14.14	0.09
PVOH60/G/P-St40/H1500	14.34	14.28	14.32	14.31	0.03
PVOH60/G/P-St40/T500	14.31	14.27	14.23	14.27	0.04
PVOH60/G/P-St40/T1000	14.21	14.18	14.14	14.18	0.04
PVOH60/G/P-St40/T1500	14.32	14.41	14.28	14.34	0.07

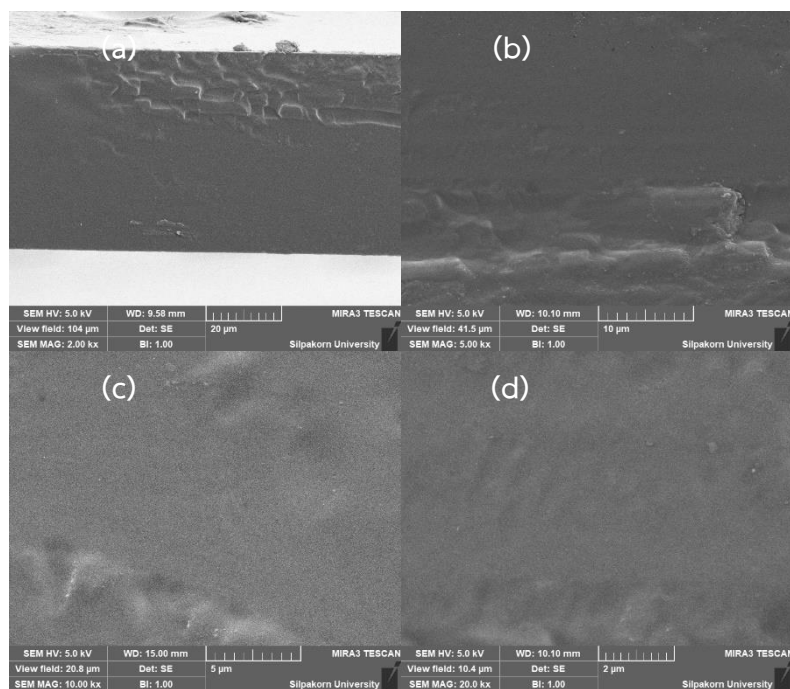
ตารางที่ ก.16 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 70 °C ด้วยเทคนิค Water solubility

Sample	Water soluble time (min)			Mean	S.D.
PVOH60/G/P-St40	12.11	12.09	12.49	12.23	0.23
PVOH60/G/P-St40/H500	12.31	12.25	12.27	12.28	0.03
PVOH60/G/P-St40/H1000	12.25	12.28	12.19	12.24	0.05
PVOH60/G/P-St40/H1500	12.41	12.45	12.32	12.39	0.07
PVOH60/G/P-St40/T500	12.27	12.32	12.29	12.29	0.03
PVOH60/G/P-St40/T1000	12.31	12.24	12.28	12.28	0.04
PVOH60/G/P-St40/T1500	12.30	12.35	12.39	12.35	0.05

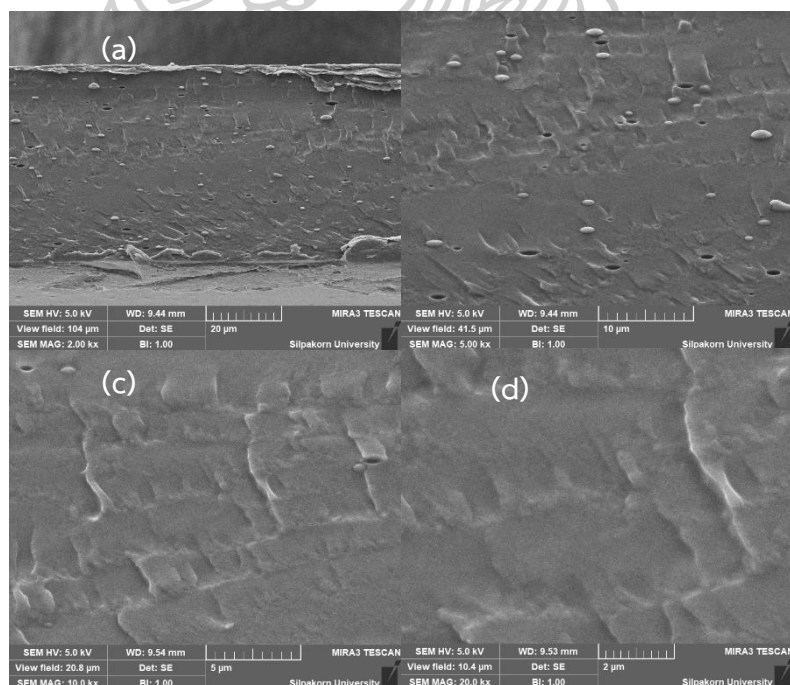
8. การวิเคราะห์สมบัติทางสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค SEM



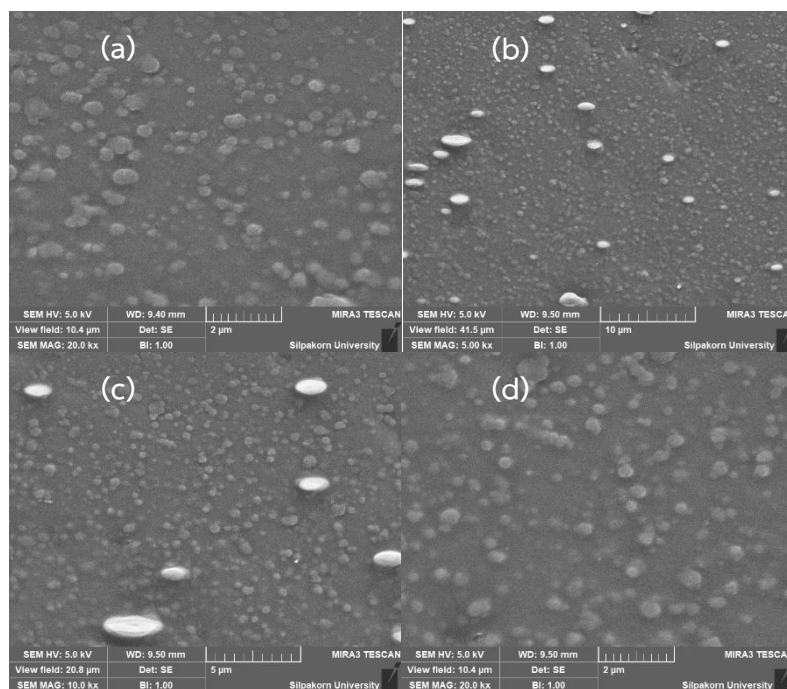
รูปที่ ก.44 ภาพ SEM ของ P-St ที่กำลังขยาย; (a) 250x และ (b) 1000x



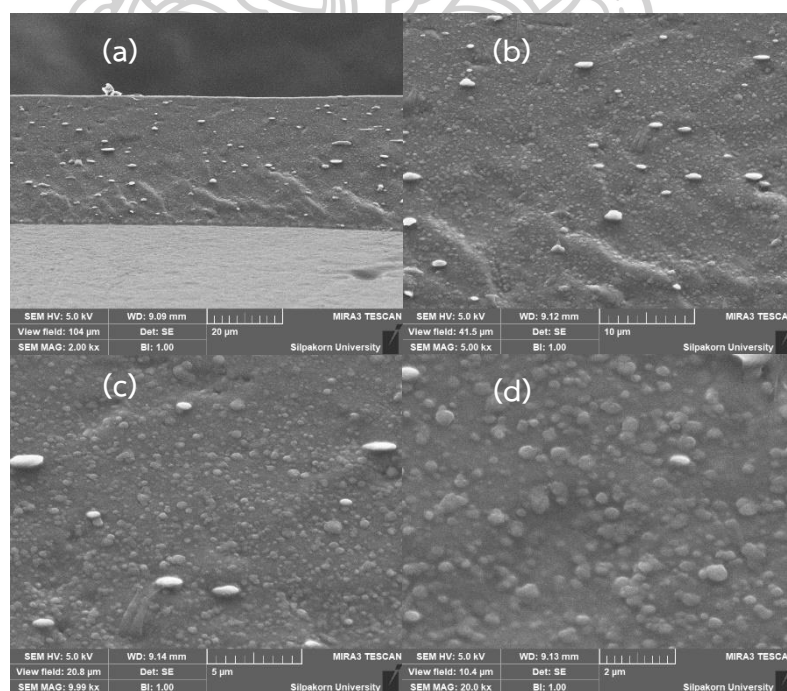
รูปที่ ก.45 ภาพ SEM ของฟิล์ม PVOH ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x



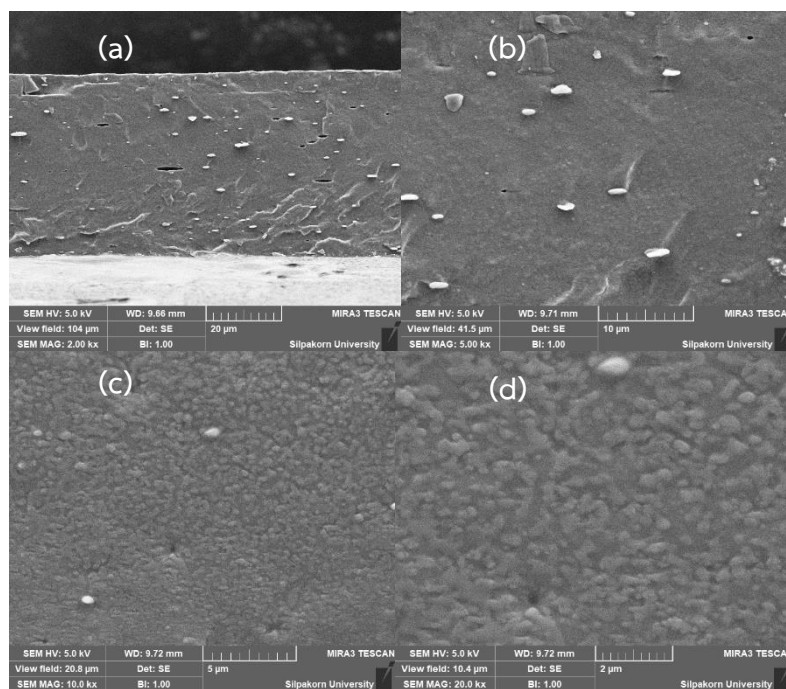
รูปที่ ก.46 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH/G ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x



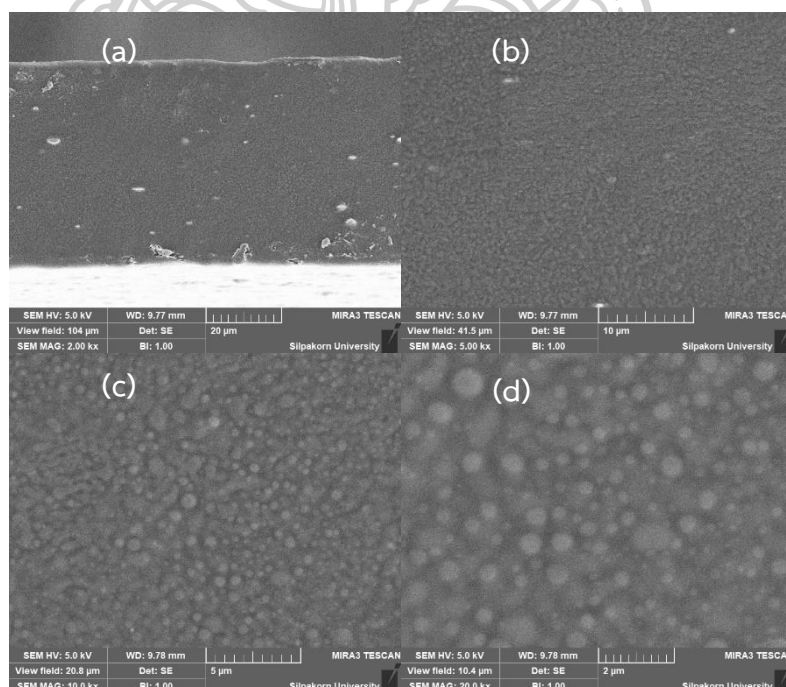
รูปที่ ก.47 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH90/G/P-St10 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x



รูปที่ ก.48 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH80/G/P-St20 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x



รูปที่ ก.49 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH70/G/P-St30 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x



รูปที่ ก.50 ภาพ SEM ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่กำลังขยาย; (a) 2000x, (b) 5000x, (c) 10000x และ (d) 20000x

9. การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง UTM

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM

Sample	No.	Young's modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
PVOH (MD)	1	1244.53	46.87	148.57
	2	1377.25	46.45	162.57
	3	1549.49	47.88	174.40
	4	1668.88	51.44	180.81
	5	1210.71	52.49	168.39
	Mean	1410.17	49.03	166.95
	S.D.	196.62	2.76	12.32
PVOH (TD)	1	1225.47	32.07	147.88
	2	1579.03	27.11	154.56
	3	1312.67	35.78	116.24
	4	1635.23	26.34	117.40
	5	1301.05	30.64	170.98
	Mean	1410.69	30.39	141.41
	S.D.	183.50	3.84	23.97
PVOH/G (MD)	1	191.55	22.50	164.80
	2	179.31	26.25	163.71
	3	160.01	27.67	168.40
	4	150.73	26.26	174.38
	5	190.11	22.50	186.11
	Mean	174.34	25.04	171.48
	S.D.	18.25	2.38	9.18

PVOH/G (TD)	1	236.30	15.24	159.45
	2	245.82	16.09	146.60
	3	262.48	16.58	147.63
	4	245.85	20.80	156.35
	5	264.72	22.53	146.13
	Mean	251.03	18.25	151.23
	S.D.	12.14	3.21	6.21
PVOH90/G/P-St10 (MD)	1	314.29	28.87	181.96
	2	278.43	29.19	183.10
	3	349.27	28.16	178.36
	4	306.09	26.23	178.04
	5	282.59	29.82	175.45
	Mean	306.13	28.45	179.38
	S.D.	28.50	1.38	3.11
PVOH90/G/P-St10 (TD)	1	383.06	21.88	148.11
	2	288.60	21.60	162.96
	3	346.73	23.47	169.96
	4	295.98	20.60	158.87
	5	355.21	22.51	148.30
	Mean	333.92	22.01	157.64
	S.D.	40.39	1.06	9.48
PVOH80/G/P-St20 (MD)	1	658.11	31.50	112.42
	2	600.62	37.70	148.88
	3	711.22	30.01	131.96
	4	668.43	38.88	157.82
	5	714.43	33.28	158.59
	Mean	670.56	34.27	141.93
	S.D.	46.44	3.87	19.68

PVOH80/G/P-St20 (TD)	1	560.03	25.73	44.30
	2	618.99	21.18	92.99
	3	693.89	22.36	77.16
	4	644.61	24.98	81.97
	5	565.24	23.21	108.22
	Mean	616.55	23.49	80.93
	S.D.	56.13	1.87	23.70
PVOH70/G/P-St30 (MD)	1	618.09	22.08	180.88
	2	638.87	23.26	186.03
	3	628.08	26.45	174.20
	4	663.87	26.25	161.75
	5	678.50	27.03	155.88
	Mean	645.48	25.01	171.75
	S.D.	25.13	2.20	12.70
PVOH70/G/P-St30 (TD)	1	580.93	18.31	41.66
	2	534.13	22.06	36.58
	3	538.07	15.03	59.73
	4	446.23	19.05	66.99
	5	537.56	15.58	66.66
	Mean	527.38	18.01	54.32
	S.D.	49.29	2.85	14.29
PVOH60/G/P-St40 (MD)	1	590.17	13.19	157.56
	2	566.47	13.30	164.22
	3	605.19	16.56	153.40
	4	508.34	18.67	155.98
	5	563.71	15.65	142.54
	Mean	566.78	15.48	154.74
	S.D.	36.90	2.31	7.91

PVOH60/G/P-St40 (TD)	1	368.26	16.36	174.39
	2	307.89	16.64	163.05
	3	208.79	14.30	178.42
	4	295.83	13.00	140.94
	5	405.16	16.94	143.25
	Mean	317.19	15.45	160.01
	S.D.	75.24	1.72	17.32

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM

Sample	No.	Young's modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
PVOH (MD)	1	107.62	38.49	188.28
	2	93.26	33.91	174.01
	3	95.95	39.09	188.03
	4	95.48	37.98	179.85
	5	92.42	40.31	191.51
	Mean	96.95	37.96	184.34
	S.D.	6.15	2.42	7.20
PVOH (TD)	1	110.89	21.92	166.77
	2	100.38	22.50	165.90
	3	108.83	20.14	174.11
	4	116.65	22.50	157.77
	5	100.72	22.50	161.18
	Mean	107.49	21.91	165.15
	S.D.	6.96	1.02	6.20

PVOH/G (MD)	1	22.35	15.36	322.62
	2	31.32	15.27	259.17
	3	23.50	11.12	301.22
	4	21.32	12.21	281.88
	5	29.05	11.59	256.25
	Mean	25.51	13.11	284.23
	S.D.	4.41	2.05	28.19
PVOH/G (TD)	1	38.25	13.47	297.78
	2	33.86	12.94	285.45
	3	36.87	11.76	303.79
	4	33.86	12.19	331.11
	5	36.15	14.43	318.31
	Mean	35.80	12.96	307.29
	S.D.	1.93	1.06	17.81
PVOH90/G/P-St10 (MD)	1	50.71	18.99	345.79
	2	47.84	19.84	343.81
	3	40.22	16.80	396.55
	4	49.93	14.50	338.05
	5	44.61	18.12	367.20
	Mean	46.66	17.65	358.28
	S.D.	4.30	2.09	24.08
PVOH90/G/P-St10 (TD)	1	43.26	14.74	282.42
	2	44.10	11.11	256.20
	3	47.34	13.76	282.36
	4	49.55	18.14	288.27
	5	41.36	13.14	248.09
	Mean	45.12	14.18	271.47
	S.D.	3.29	2.58	18.03

PVOH80/G/P-St20 (MD)	1	51.02	24.34	203.61
	2	50.96	21.93	221.31
	3	45.39	25.42	231.09
	4	54.69	28.85	235.97
	5	54.22	22.29	214.77
	Mean	51.26	24.56	221.35
	S.D.	3.71	2.80	12.91
PVOH80/G/P-St20 (TD)	1	63.68	20.47	278.35
	2	69.00	20.44	276.82
	3	66.74	14.82	236.11
	4	67.46	21.57	257.50
	5	62.28	21.26	253.52
	Mean	65.83	19.71	260.46
	S.D.	2.77	2.78	17.59
PVOH70/G/P-St30 (MD)	1	38.25	13.64	282.07
	2	32.31	14.52	293.98
	3	32.87	13.62	309.03
	4	32.46	11.63	301.86
	5	36.64	11.41	300.56
	Mean	34.50	12.96	297.50
	S.D.	2.75	1.37	10.15
PVOH70/G/P-St30 (TD)	1	65.18	11.27	228.21
	2	69.18	13.27	209.94
	3	60.02	13.15	208.69
	4	56.13	17.85	251.35
	5	56.49	12.21	189.78
	Mean	61.40	13.55	217.59
	S.D.	5.67	2.53	23.26

PVOH60/G/P-St40 (MD)	1	25.37	11.28	336.28
	2	22.98	11.16	331.33
	3	31.32	10.32	299.64
	4	21.58	13.78	341.60
	5	22.63	12.60	299.71
	Mean	24.78	11.83	321.71
	S.D.	3.91	1.36	20.44
PVOH60/G/P-St40 (TD)	1	55.94	14.52	271.45
	2	50.40	10.27	232.31
	3	52.69	11.42	238.27
	4	44.91	10.10	218.90
	5	54.04	11.37	247.38
	Mean	51.60	11.54	241.66
	S.D.	4.25	1.78	19.60

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPOM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 31.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM

Sample	No.	Young's modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
PVOH60/G/ P-St40/H500 (MD)	1	600.58	15.54	180.91
	2	636.54	15.50	143.97
	3	625.57	15.81	178.30
	4	675.11	15.68	182.05
	5	652.28	15.38	164.96
	Mean	638.02	15.58	170.04
	S.D.	28.01	0.17	16.09

	1	300.13	15.34	143.98
	2	336.16	14.21	167.57
PVOH60/G/	3	358.82	16.06	145.14
P-St40/H500	4	358.98	15.45	157.15
(TD)	5	349.79	16.11	166.63
	Mean	340.78	15.43	156.09
	S.D.	24.55	0.77	11.30
	1	672.46	15.90	149.74
	2	621.61	16.19	142.54
PVOH60/G/	3	659.06	15.75	144.48
P-St40/H1000	4	729.34	15.48	154.56
(MD)	5	555.71	15.17	156.46
	Mean	647.64	15.70	149.56
	S.D.	64.32	0.39	6.08
	1	379.59	14.38	154.14
	2	298.25	14.98	152.46
PVOH60/G/	3	367.03	15.30	158.31
P-St40/H1000	4	302.95	15.74	156.13
(TD)	5	372.97	16.21	157.31
	Mean	344.16	15.32	155.67
	S.D.	40.05	0.70	2.37
	1	672.50	15.69	139.62
	2	696.50	16.56	156.98
PVOH60/G/	3	651.20	15.52	133.23
P-St40/H1500	4	672.14	15.49	142.73
(MD)	5	630.13	16.12	170.80
	Mean	664.49	15.88	148.67
	S.D.	25.02	0.46	15.12

	1	325.07	15.79	153.04
	2	374.00	15.78	152.05
PVOH60/G/ P-St40/H1500 (TD)	3	354.86	15.38	153.92
	4	375.24	15.88	151.30
	5	330.43	14.88	153.46
	Mean	351.92	15.54	152.75
	S.D.	23.57	0.42	1.07
	1	614.94	14.31	152.30
	2	720.44	14.10	154.46
PVOH60/G/ P-St40/T500 (MD)	3	695.18	15.38	166.98
	4	525.77	15.88	181.30
	5	588.82	16.03	162.64
	Mean	629.03	15.14	163.54
	S.D.	79.39	0.89	11.58
	1	319.04	15.35	157.72
	2	291.10	15.83	136.80
PVOH60/G/ P-St40/T500 (TD)	3	333.21	15.40	156.80
	4	315.38	15.75	155.44
	5	404.79	18.05	157.11
	Mean	332.70	16.08	152.77
	S.D.	43.05	1.12	8.97
	1	682.12	15.75	153.65
	2	651.49	13.83	187.64
PVOH60/G/ P-St40/T1000 (MD)	3	553.39	15.78	188.87
	4	661.97	13.12	153.20
	5	514.13	15.49	153.98
	Mean	612.62	14.80	167.47
	S.D.	74.14	1.23	18.98

	1	319.79	15.67	152.80
	2	374.48	16.49	143.90
PVOH60/G/	3	377.03	15.59	157.90
P-St40/T1000	4	301.98	15.50	146.01
(TD)	5	376.55	15.45	188.55
	Mean	349.97	15.74	157.83
	S.D.	36.24	0.43	18.05
	1	583.39	17.41	178.73
	2	668.93	13.05	173.81
PVOH60/G/	3	701.32	13.57	159.98
P-St40/T1500	4	478.31	13.02	176.80
(MD)	5	583.15	14.83	157.23
	Mean	603.02	14.38	169.31
	S.D.	87.09	1.85	9.98
	1	302.87	14.47	168.23
	2	352.56	13.59	158.00
PVOH60/G/	3	351.62	15.21	150.62
P-St40/T1500	4	353.47	19.29	175.32
(TD)	5	350.51	14.35	141.23
	Mean	342.20	15.38	158.68
	S.D.	22.02	2.26	13.58

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในทิศทาง MD และ TD ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 61.1 %RH ด้วยเครื่อง UTM

Sample	No.	Young's modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
PVOH60/G/ P-St40/H500 (MD)	1	19.60	11.34	250.98
	2	19.43	12.09	253.82
	3	20.27	12.72	260.46
	4	20.25	12.82	266.29
	5	19.86	12.21	281.33
	Mean	19.88	12.24	262.58
	S.D.	0.38	0.59	12.05
PVOH60/G/ P-St40/H500 (TD)	1	46.86	12.27	234.67
	2	51.07	12.00	246.23
	3	47.67	11.77	243.09
	4	47.72	14.34	240.24
	5	50.21	12.86	257.85
	Mean	48.71	12.65	244.42
	S.D.	1.82	1.03	8.63
PVOH60/G/ P-St40/H1000 (MD)	1	20.63	11.16	252.33
	2	19.81	12.80	251.99
	3	19.67	12.32	249.37
	4	20.22	13.78	240.24
	5	20.02	12.43	278.38
	Mean	20.07	12.50	254.46
	S.D.	0.38	0.94	14.24

	1	54.56	13.63	283.56
	2	48.22	13.31	232.54
PVOH60/G/ P-St40/H1000 (TD)	3	44.93	12.70	251.40
	4	46.36	13.53	259.93
	5	53.62	12.70	244.12
	Mean	49.54	13.17	254.31
	S.D.	4.33	0.45	19.19
	1	19.80	13.85	253.16
	2	21.50	12.06	256.90
PVOH60/G/ P-St40/H1500 (MD)	3	22.09	12.25	243.22
	4	20.71	13.14	258.03
	5	20.24	12.89	246.37
	Mean	20.87	12.84	251.54
	S.D.	0.93	0.72	6.51
	1	44.81	14.00	271.30
	2	50.29	12.47	233.79
PVOH60/G/ P-St40/H1500 (TD)	3	58.01	14.96	213.14
	4	46.03	12.30	241.34
	5	56.67	12.29	235.79
	Mean	51.16	13.20	239.07
	S.D.	6.02	1.22	20.95
	1	19.03	11.90	303.72
	2	20.98	13.35	324.75
PVOH60/G/ P-St40/T500 (MD)	3	21.82	12.17	303.05
	4	18.18	12.89	313.06
	5	20.71	12.02	317.00
	Mean	20.14	12.47	312.32
	S.D.	1.49	0.63	9.18

	1	55.42	12.34	261.55
	2	45.52	13.07	259.02
PVOH60/G/	3	59.13	11.19	248.42
P-St40/T500	4	54.55	11.58	221.87
(TD)	5	54.53	15.90	299.92
	Mean	53.83	12.81	258.16
	S.D.	5.02	1.87	28.14
	1	19.92	12.76	321.25
	2	19.37	11.19	312.88
PVOH60/G/	3	19.46	11.85	317.28
P-St40/T1000	4	20.28	12.11	319.13
(MD)	5	20.69	12.70	314.69
	Mean	19.94	12.12	317.05
	S.D.	0.56	0.65	3.35
	1	53.74	12.95	261.12
	2	50.48	12.12	259.67
PVOH60/G/	3	56.92	10.96	251.38
P-St40/T1000	4	53.64	11.78	254.06
(TD)	5	53.09	10.99	264.56
	Mean	53.58	11.76	258.16
	S.D.	2.29	0.83	5.36
	1	19.98	10.75	315.08
	2	20.47	10.06	318.33
PVOH60/G/	3	20.97	10.53	335.33
P-St40/T1500	4	19.15	10.92	316.16
(MD)	5	19.26	11.63	304.35
	Mean	19.97	10.78	317.85
	S.D.	0.78	0.57	11.16

	1	58.76	10.40	271.30
	2	57.45	10.68	252.30
PVOH60/G/	3	44.01	11.56	264.19
P-St40/T1500	4	49.00	11.86	267.94
(TD)	5	56.89	12.08	252.48
	Mean	53.22	11.32	261.64
	S.D.	6.42	0.74	8.81

10. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค PCA

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40 ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

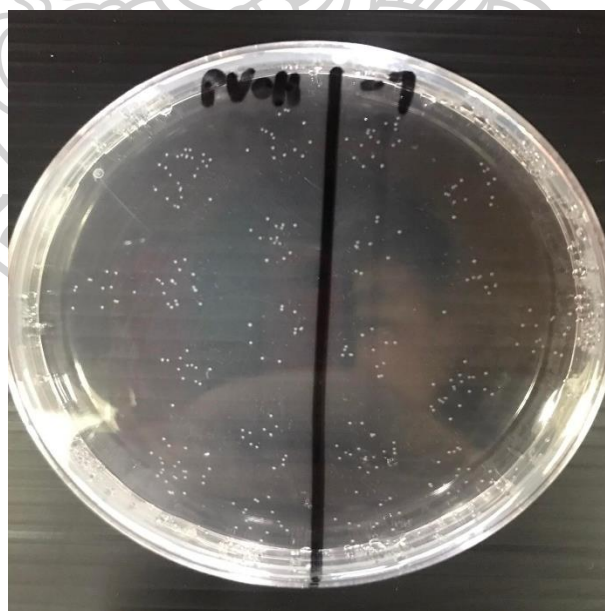
Bank	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	296	306	288	273
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	2.96×10^{10}	3.06×10^{10}	2.88×10^{10}	3.03×10^{10}
PVOH	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	163	154	153	168
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.09	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	1.63×10^{10}	1.54×10^{10}	1.70×10^{10}	1.87×10^{10}

P-St	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	225	242	219	220
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.09	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	2.25×10^{10}	2.42×10^{10}	2.43×10^{10}	2.44×10^{10}
PVOH60/G/P-St40	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	195	198	167	151
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	1.95×10^{10}	1.98×10^{10}	1.67×10^{10}	1.68×10^{10}
PVOH60/G/P-St40/H500	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	69	92	102	88
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.1
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	6.90×10^9	9.20×10^9	1.02×10^{10}	8.80×10^9
PVOH60/G/P-St40/H1000	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	0	0	0	0
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.1
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	0	0	0	0

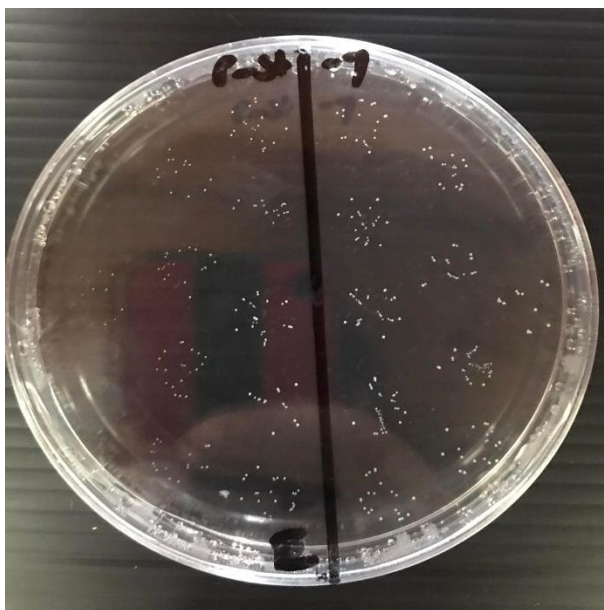
PVOH60/G/P-St40/H1500	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	0	0	0	0
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.1
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	0	0	0	0
PVOH60/G/P-St40/T500	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	176	150	180	176
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	1.76×10^{10}	1.50×10^{10}	1.80×10^{10}	1.96×10^{10}
PVOH60/G/P-St40/T1000	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	74	62	51	55
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.09	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	6.90×10^9	6.20×10^9	5.67×10^9	6.11×10^9
PVOH60/G/P-St40/T1500	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	48	30	38	36
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.07	0.08	0.08
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	4.80×10^9	4.29×10^9	4.75×10^9	4.50×10^9

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่ผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM และ TRIAMEEN ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

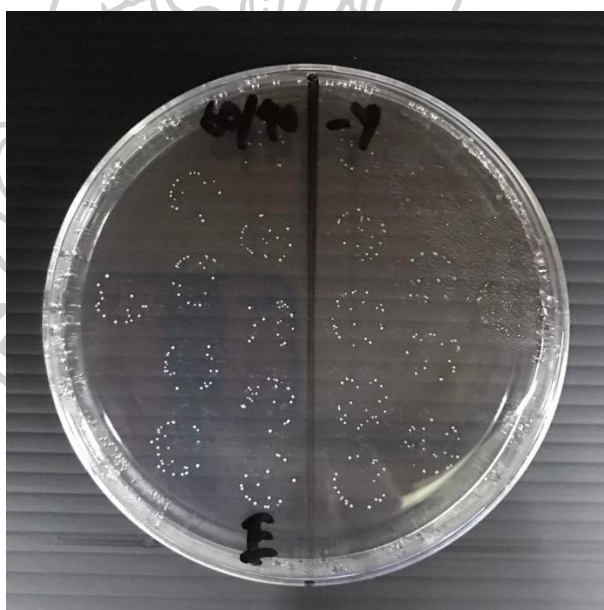
Sample	%Reduction of bacteria			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
PVOH	44.93	49.67	40.972	38.462
P-St	23.99	20.92	15.509	38.462
PVOH60/G/P-St40	34.12	35.29	42.014	19.414
PVOH60/G/P-St40/H500	76.69	69.93	64.583	70.989
PVOH60/G/P-St40/H1000	100.00	100.00	100.000	100.000
PVOH60/G/P-St40/H1500	100.00	100.00	100.000	100.000
PVOH60/G/P-St40/T500	40.54	50.98	37.500	35.531
PVOH60/G/P-St40/T1000	75.00	79.74	80.324	79.853
PVOH60/G/P-St40/T1500	83.78	85.99	83.507	85.165



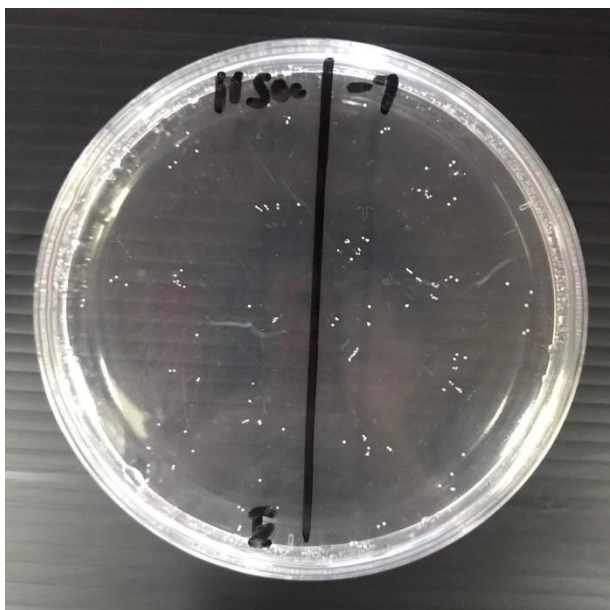
รูปที่ ก.51 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์ม PVOH



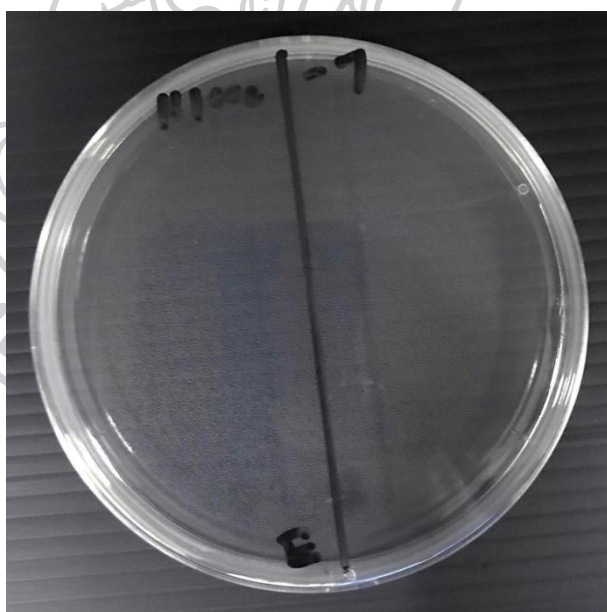
รูปที่ ก.52 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์ม P-St



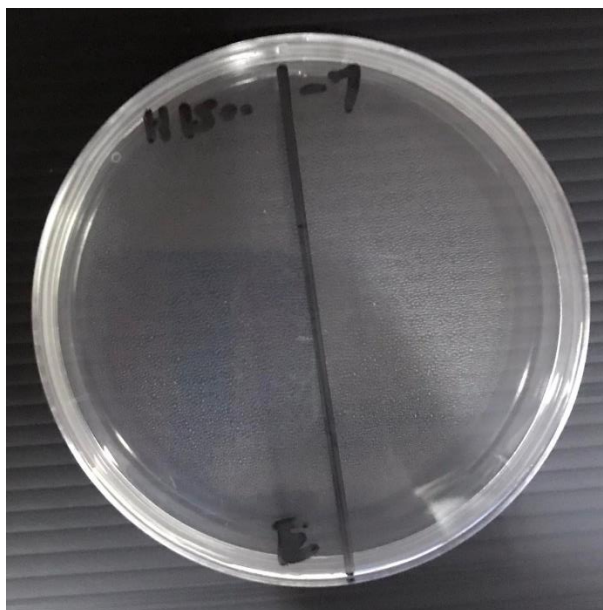
รูปที่ ก.53 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40



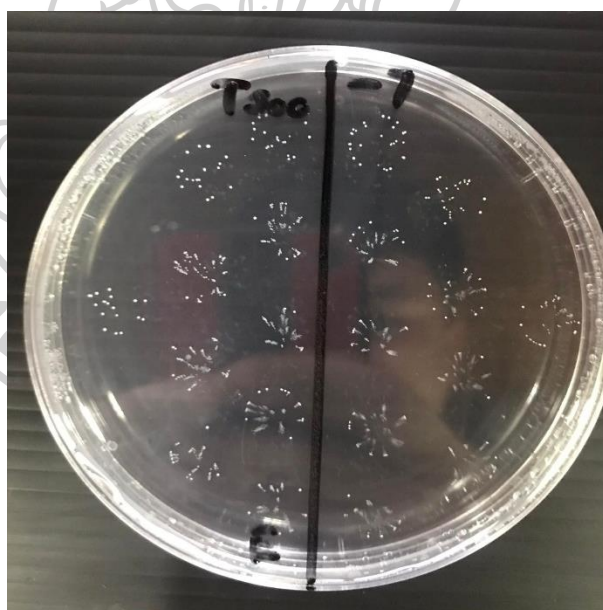
รูปที่ ก.54 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500



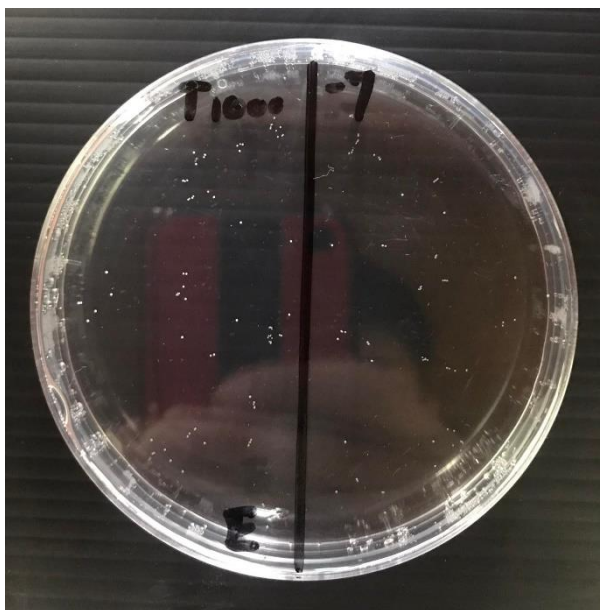
รูปที่ ก.55 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000



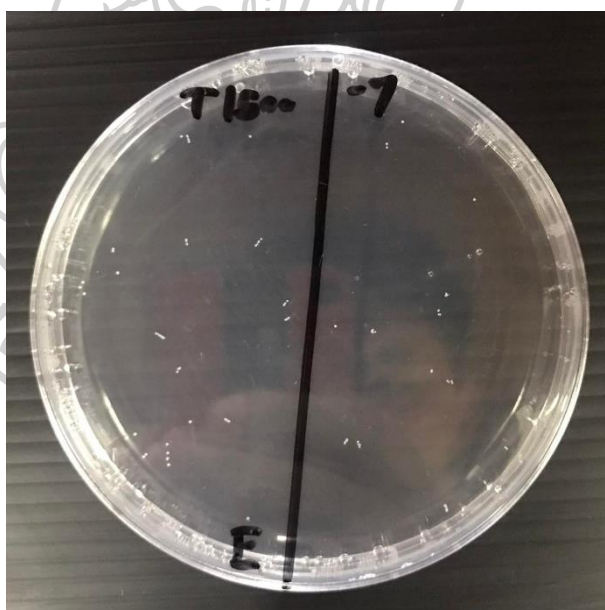
รูปที่ ก.56 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500



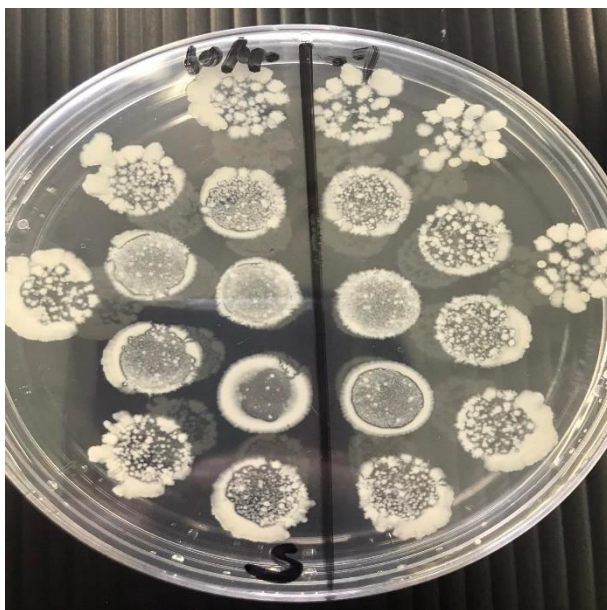
รูปที่ ก.57 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500



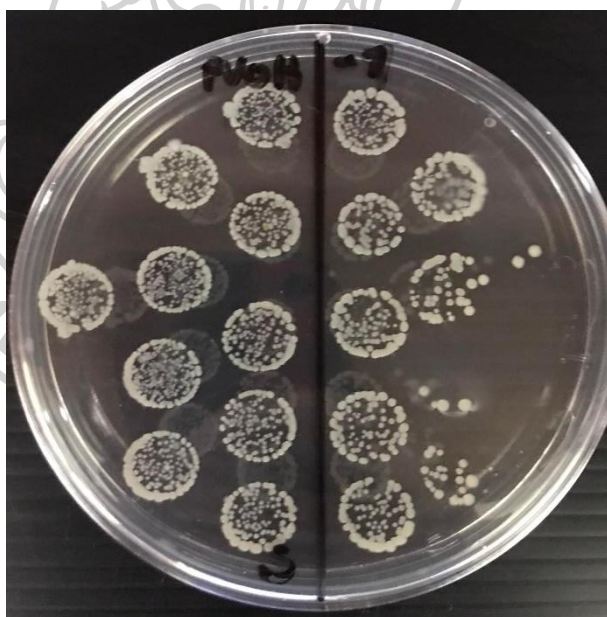
รูปที่ ก.58 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000



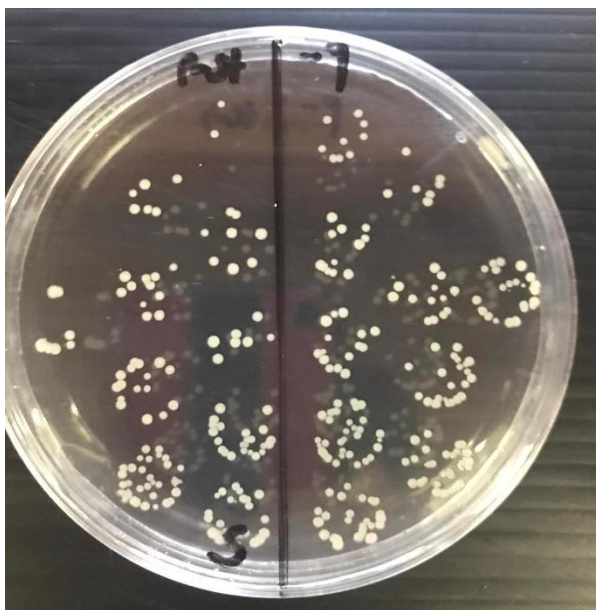
รูปที่ ก.59 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด E. Coli ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500



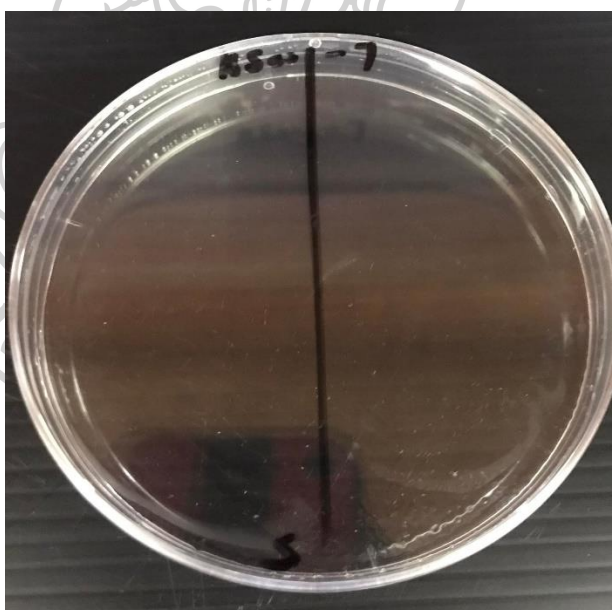
รูปที่ ก. 60 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40



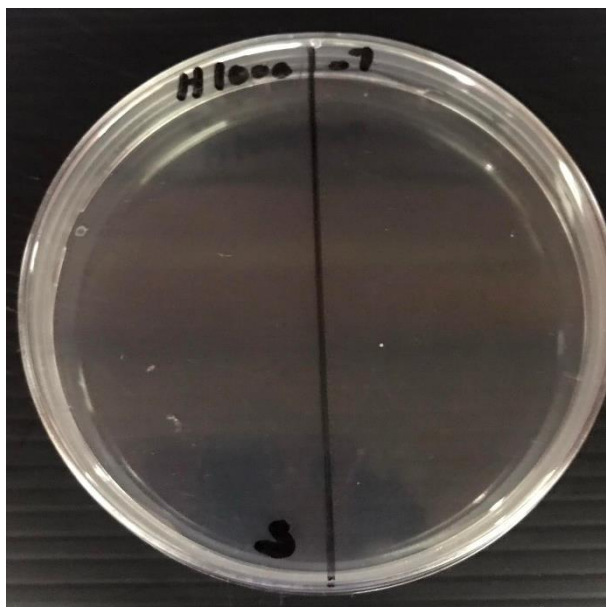
รูปที่ ก.61 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์ม PVOH



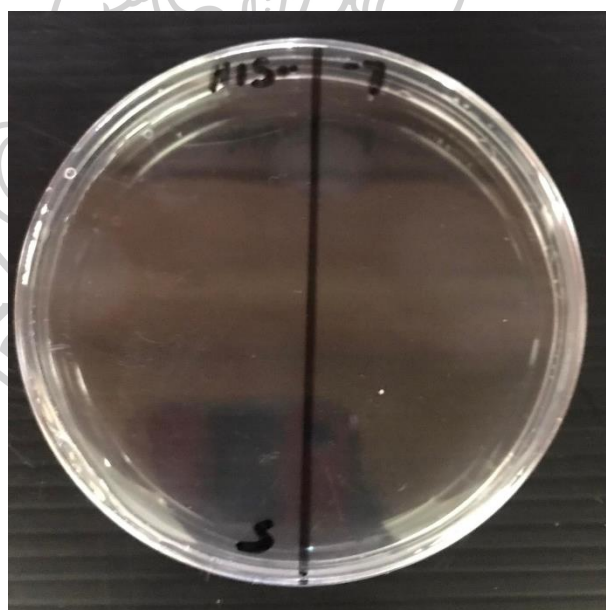
รูปที่ ก.62 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์ม P-St



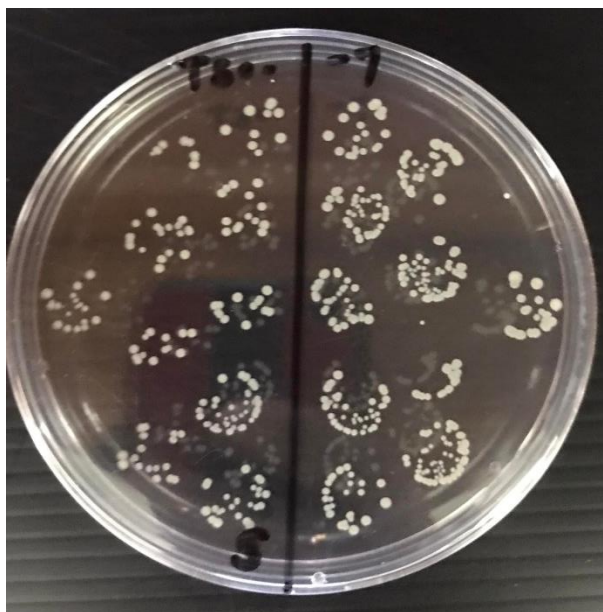
รูปที่ ก.63 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H500



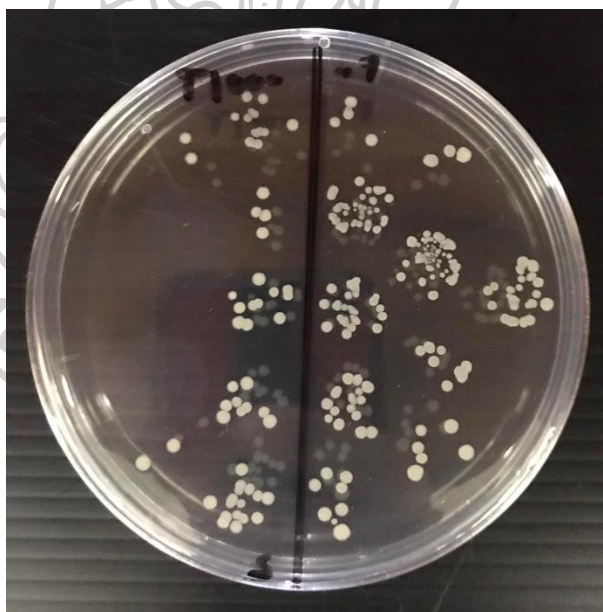
รูปที่ ก.64 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1000



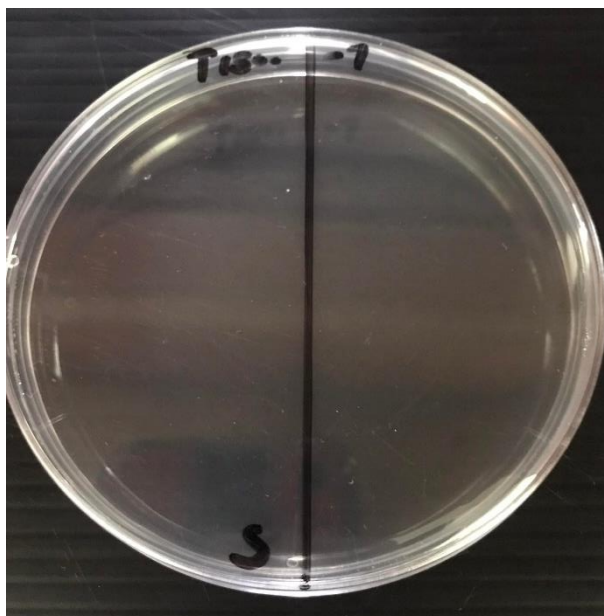
รูปที่ ก.65 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/H1500



รูปที่ ก.66 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T500



รูปที่ ก.67 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1000



รูปที่ ก.68 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. Aureus* ของฟิล์มผสม PVOH60/G/P-St40/T1500



ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณหาความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากเทคนิค MFI

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสำหรับการคำนวณความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity, η_{app}) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค MFI (ครั้งที่ 1)

Sample	L (cm)	m (g)	V (cm ³)	MVR (cm ³ /10min)	ρ (g/cm ³)	Q (cm ³ /s)	η_{app} (Pa-s)
PVOH	0.40	2.49	1.38	13.80	1.80	0.02	456.40
PVOH/G	1.50	1.00	5.18	51.75	0.19	0.09	121.71
PVOH90/G/P-St10	0.85	0.80	2.93	29.33	0.27	0.05	214.77
PVOH80/G/P-St20	0.80	0.70	2.76	27.60	0.26	0.05	228.20
PVOH70/G/P-St30	0.80	0.67	2.76	27.60	0.02	0.05	228.20
PVOH60/G/P-St40	0.45	0.47	1.55	15.53	0.03	0.03	405.68

การคำนวณหา η_{app} ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1

จาก
$$\eta_{app} = \frac{4.86 \times M}{Q} \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดยที่ M คือ มวลของ piston
Q คือ อัตราการไหลของปริมาตร (Volumetric flow rate) โดยหาจาก

สมการที่ 3.2

$$Q = \frac{MFI}{600 \times \rho} \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

โดยที่ MFI คือ ค่าดัชนีการไหล

ρ คือ ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ โดยหาจากสมการที่ 3.3

$$\rho = \frac{MFI}{MVR} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

โดยที่ MVR คือ อัตราการไหล โดยหาจากสมการที่ 3.4

$$MVR = \frac{600\pi R^2 L}{t}$$

(สมการที่ 3.4)

- โดยที่
- R คือ รัศมีของหัว die
 - L คือ ระยะที่ piston เคลื่อนที่ได้
 - t คือ เวลาที่ทดสอบ

ตัวอย่างการคำนวณหา η_{app} ของ PVOH (ครั้งที่ 1)

จะได้

$$MVR = \frac{600\pi(1.048)^2 \times 0.40}{60}$$

$$MVR = 13.80 \text{ cm}^3/10\text{min}$$

$$\rho = \frac{MFI}{MVR}$$

$$\rho = \frac{24.90}{13.80}$$

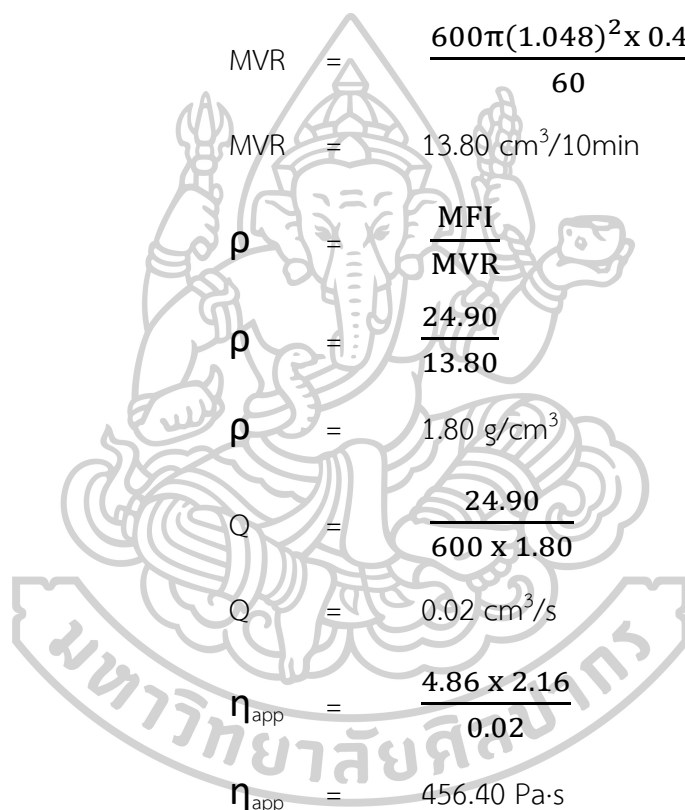
$$\rho = 1.80 \text{ g/cm}^3$$

$$Q = \frac{24.90}{600 \times 1.80}$$

$$Q = 0.02 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\eta_{app} = \frac{4.86 \times 2.16}{0.02}$$

$$\eta_{app} = 456.40 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$



2. การคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากเทคนิค MFI

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยความหนืด (Viscosity average molecular weight, M_v) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	$[\eta]$ (Pa-s)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Mean	S.D.
PVOH	61.41	61.09	61.25	61.25	0.16
PVOH/G	49.80	48.72	49.33	49.28	0.54
PVOH90/G/P-St10	53.24	51.17	52.63	52.35	1.06
PVOH80/G/P-St20	54.10	53.58	54.30	53.99	0.37
PVOH70/G/P-St30	56.78	55.27	55.82	55.95	0.76
PVOH60/G/P-St40	58.26	57.61	58.15	58.01	0.35

การคำนวณหา M_v ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ สามารถคำนวณได้
ดังสมการที่ 3.5

จาก $[\eta] = kM_v^a$ (สมการที่ 3.5)

โดยที่ k, a คือ ค่าคงที่สำหรับพอลิเมอร์ โดย $k = 0.02 \text{ ml/g}$ และ $a = 0.76$

ตัวอย่างการคำนวณหา M_v ของ PVOH (ครั้งที่ 1)

$$61.41 = 0.02 \times M_v^{0.76}$$

$$M_v = 38,764.40 \text{ g/mol}$$

3. การคำนวณหาปริมาณผลึก (%Crystallinity, X_c) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากเทคนิค DSC

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสำหรับคำนวณหาปริมาณผลึกของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	ΔH_m (J/g)	\emptyset of PVOH
P-St	-	0
PVOH	26.91	1.00
PVOH/G	22.15	0.83
PVOH90/G/P-St10	22.64	0.75
PVOH80/G/P-St20	16.57	0.67
PVOH70/G/P-St30	13.86	0.58
PVOH60/G/P-St40	8.82	0.50

การคำนวณหา X_c ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ สามารถคำนวณได้
ดังสมการที่ 3.8

จาก
$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0 \times \emptyset} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.8})$$

โดยที่

X_c คือ ปริมาณผลึก (%Crystallinity)

ΔH_m คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึกต่อหนึ่งหน่วย (J/g)

ΔH_m^0 คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอม 100% (J/g) โดย ΔH_m^0 ของ PVOH เท่ากับ 161 J/g

และ

\emptyset คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อยู่ในคอมพอสิต

ตัวอย่างการคำนวณหา X_c ของ PVOH

$$X_c = \frac{26.91}{161 \times 1.00} \times 100\%$$

$$X_c = 16.71\%$$

4. การคำนวณหาปริมาณการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง (Gelatinized starch, %GS) ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากเทคนิค XRD

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลสำหรับคำนวณหาปริมาณการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

Sample	H' (a.u.)	H _o (a.u.)
P-St	34.33 ± 3.06	3.33 ± 0.58
PVOH	34.33 ± 3.06	-
PVOH/G	34.33 ± 3.06	-
PVOH90/G/P-St10	34.33 ± 3.06	18.67 ± 2.89
PVOH80/G/P-St20	34.33 ± 3.06	16.33 ± 1.53
PVOH70/G/P-St30	34.33 ± 3.06	13.00 ± 1.73
PVOH60/G/P-St40	34.33 ± 3.06	11.00 ± 2.00

การคำนวณหา %GS ของฟิล์มผสม PVOH/G/P-St ที่อัตราส่วนต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.9

$$\%GS = \frac{\Delta H'_o - \Delta H_o}{\Delta H'_o} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.9})$$

โดยที่ H' คือ ความเข้มพีคของแป้งที่ยังไม่ผ่านการเจลาติไนซ์ ที่ตำแหน่ง 17.4°

และ H_o คือ ความเข้มพีคของแป้งที่เกิดการเจลาติไนซ์ ที่ตำแหน่ง 23°

ตัวอย่างการคำนวณหา X_c ของ P-St

$$\%GS = \frac{34.33 - 3.33}{34.33} \times 100\%$$

$$\%GS = 90.30\%$$

5. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียจากเทคนิค PCA

ตารางที่ ข.5 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ของฟิล์ม PVOH

Bank	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	296	306	288	273
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.1	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	2.96×10^{10}	3.06×10^{10}	2.88×10^{10}	3.03×10^{10}
PVOH	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4
จำนวนโคโลนีที่นับได้	163	154	153	168
Dilution factor	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7	1.00×10^7
ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงอาหาร (ml)	0.1	0.1	0.09	0.09
ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)	1.63×10^{10}	1.54×10^{10}	1.70×10^{10}	1.87×10^{10}

การคำนวณหาปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml) ของฟิล์ม PVOH สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.10

$$\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)} = \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้} \times \text{Dilution factor}}{\text{ปริมาตรของเชื้อที่เลี้ยงบนอาหาร}} \quad (\text{สมการที่ 3.10})$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียของ Blank (ซ้ำที่ 1)

$$\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)} = \frac{296 \times (1.00 \times 10^7)}{0.1}$$

$$\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)} = 2.96 \times 10^{10} \text{ CFU/ml}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียของ PVOH (ซ้ำที่ 1)

$$\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)} = \frac{163 \times 1.00 \times 10^7}{0.1}$$

$$\text{ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)} = 1.63 \times 10^{10} \text{ CFU/ml}$$

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria) ของฟิล์ม PVOH สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.11

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%Reduction of bacteria)} = \frac{A-B}{A} \times 10 \text{ (สมการที่ 3.11)}$$

โดยที่ A คือ ปริมาณเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มที่ไม่มีการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

B คือ ปริมาณเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มที่มีการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ตัวอย่างการคำนวณหา %Reduction of bacteria ของ PVOH (ซ้ำที่ 1)

$$\begin{aligned} \text{\%Reduction of bacteria} &= \frac{2.69 \times 10^{10} - 1.63 \times 10^{10}}{2.96 \times 10^{10}} \\ \times 100 & \end{aligned}$$

$$\text{\%Reduction of bacteria} = 44.93 \%$$



ภาคผนวก ค. การนำเสนอผลงานวิจัย

เข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Pure and Applied Chemistry International Conference 2022 (PACCON 2022) จัดโดยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในหัวข้อเรื่อง The Effect of Pregelatinized Starch on the Properties of Poly (Vinyl Alcohol) Film for the Water-Soluble Laundry Bag ในวันที่ 30 มิถุนายน ถึง 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 โดยนำเสนอแบบ Oral presentation และผลงานวิจัยได้ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ Chiang Mai Journal of Science Vol 49(6) ปี ค.ศ. 2022





**Chiang Mai
Journal of Science**
Faculty of Science, Chiang Mai University

Chiang Mai Journal of Science
Published by Faculty of Science
Chiang Mai University Chiang Mai 50200, Thailand
Tel: 053 943467 E-mail: cmjs@cmu.ac.th
Website: <http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/>

Authorship Responsibility and License Agreement Form

Research Article Review Article Short Communication

Title The effect of pregelatinized starch on the properties of poly(vinyl alcohol) film for the water-soluble lau

The authors must agree with the following statements and sign below by corresponding author on behalf of all authors. Completed statements should be uploaded through the online manuscript submission system.


I, on behalf of all authors, hereby submit my manuscript for consideration by the Editorial Board of the **Chiang Mai Journal of Science** for reviewing, editing and publishing.

I hereby transfer, assign, and otherwise convey copyright to the Faculty of Science, Chiang Mai University upon acceptance of the manuscript for publication by the Chiang Mai Journal of Science. I understand that I can use part or all of the contents of the manuscript provided that the original work is properly cited.

The contribution is original work, all of which has been carried out by the authors listed below who will take public responsibility for its content.

I agree to the standards and principles of copying with duplication and certify that the content of the manuscript, either all or in part, has not been previously published and is not being considered for publication elsewhere, unless otherwise specified herein.

I certify that I have disclosed all potential conflicts of interest, whether arising from financial support or political pressure from interest groups, in a statement at the end of the manuscript.

Corresponding Author's Name (print)	Position	Signature	Date
<u>Asst. Prof. Dr. Poosub Threepopnatkul</u>	<u>Lecturer</u>	<u></u>	<u>23 Jun 2022</u>



Chiang Mai J. Sci. 2022; 49(6): 1-14

<https://doi.org/10.12982/CMJ.S.2022.xxxx>

Journal homepage : <http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/>

Research Article

The Effect of Pregelatinized Starch on the Properties of Poly (Vinyl Alcohol) Film for the Water-Soluble Laundry Bag

Montree Sangthongdee [a], Supanut Phattarateera [b] and Poonsub Threepopnatkul*[a]

[a] Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

[b] National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, Thailand Science Park, Pathum Thani 12120, Thailand

*Author for correspondence; e-mail: threepopnatkul_p@su.ac.th

Received: 23 June 2022

Revised: 9 September 2022

Accepted: 12 September 2022

ABSTRACT

The goal of this study was to develop pregelatinized starch (P-St) and polyvinyl alcohol (PVOH) films as water-soluble laundry plastic bags to avoid having contact with COVID-19 infected clothes by extrusion method. The effects of pregelatinized starch (P-St) content on the properties of polyvinyl alcohol (PVOH) films were examined. PVOH and P-St blend were compounded by twin-screw extruder with various P-St content of 0, 10, 20, 30, and 40% by weight with fixed glycerol content of 20 phr. The blend films were produced by blown film extrusion. The chemical structure, thermal properties, water-solubility, mechanical properties, and the cross-sections morphological properties of PVOH/G/P-St were characterized. As a result, the formation of intermolecular interactions between PVOH, glycerol and P-St was confirmed by FTIR. Moreover, the addition of P-St on PVOH could reduce the thermal stability due to the content of P-St with amylose, a substance of amorphous structure, affecting the chains flexibility of PVOH/G/P-St. From the differential scanning calorimeter result, the glass transition temperature was increased with the increment of P-St content because the chains entanglement between PVOH and P-St had affected the reduction in crystallinity and led to the decrement of the melting temperature. Furthermore, the water solubility would strongly be dependent on the percentage of the gelatinized starch (%GS). The solubility decreased as the percentage of the GS increased. In addition, PVOH with 20% of P-St film possessed the highest value in tensile strength and modulus, and the particles of P-St have a good distribution in PVOH/G indicating to stronger interaction of P-St and PVOH/G.

Keywords: poly (vinyl alcohol), pregelatinized starch, solubility films, water-soluble laundry bag

1. INTRODUCTION

Presently, most countries around the world are facing trouble related to the epidemic of coronavirus disease 2019 (COVID-19). Coronavirus disease 2019 is defined as illness caused by a novel

Coronavirus ranging from common cold to severe acute respiratory syndrome. Coronavirus was first identified amid an outbreak of respiratory illness cases in Wuhan City, Hubei Province, China. It

then rapidly spread to many countries throughout the world, causing the COVID-19 pandemic to impact those who had limited access to the health care services in the hospital and causes morbidity and mortality. Coronavirus spread quickly and remained on the clothing. Therefore, infectious clothes must be separated into the designated laundry bag. Water-soluble laundry bags are commonly used to minimize the contact of contaminated clothes and reduce the risks of COVID-19 infection. [1]

Since water-soluble laundry bags are mostly produced from poly (vinyl alcohol) (PVOH), it is a water-soluble polymer [2] and biodegradable polymer prepared by partial or complete hydrolysis of poly (vinyl acetate). [3] The high cost of using PVOH as water-soluble laundry bags would be an obstacle for the purposes thus the solution to this limitation is blending PVOH with starch as the filler. Starch is derived from the agricultural crops and is considered abundant in Thailand. Starch granules have partially crystalline particles and are composed of amylose with a linear structure and amylopectin with a branched structure, [4] which is a relatively low-cost polymer available in the market. In addition, it is a biodegradable polymer. Many types of starch were classified as unmodified and modified starch. [5] Pregelatinized starch (P-St) is one of the modified starches that we selected in our research, which would be used as the filler. It has the advantages matching our goal that it absorbs water quickly which used as disintegrant. In addition, P-St is produced by gelatinization process affecting destroy of amylose and amylopectin within the starch granule leading to reduced crystallinity also the ability of water absorption, water-soluble, and high viscosity. [6] On the other hand, starch could not be plasticized by itself. Glycerol is usually used as a plasticizer to plasticize starch because glycerol reduced the molecular interaction between polymer chains affecting increasing the mobility polymer chains and processability. [7] Ajiya Dahiru Adamu et al. found that using glycerol as a plasticizer could

help starch processability.[8]

Numerous researchers had reported PVOH blended with different types of starch. For example, Luo, X et al. studied the effect of non-gelatinized and gelatinized starch on the morphologies and thermal properties of PVOH/corn starch blended with the additives of glycerol and urea. They found that the melting temperature of PVOH/non-gelatinized starch blends was higher than that of PVOH/gelatinized starch blends. The blend with glycerol or urea exhibited a decrement of melting temperature. [3] Guimarães, M.Jr. et al investigated the effect of modified cassava starch (CMS) content on the physical, mechanical, and thermal properties of PVOH. They found that the increase in CMS content led to an increase in rigid, brittle, and thermally stable whereas it would decrease in water solubility and permeability. [9] Bin Mohamed, M.M.F et al. studied the effect of starch succinate (SS) content (0, 5, 10, and 20% by weight) on the mechanical properties of PVOH blends. They found that the increased SS content affected the increment of tensile strength but decrement of the elongation. [10] Negim, E. et al. studied the effect of modified starch and molecular weight of PVOH on the thermal properties and solubility of PVOH. The starch was modified with acetic acid as a crosslinking agent. They found that the increased modified starch content and molecular weight of PVOH could affect the rising of glass transition temperature and might as well reduce the solubility of PVOH. [11] Juhari, F. A. et al. studied the effect of sago starch (SS) on the mechanical properties and water absorption of PVOH blend and PVOH/sago starch acetate (PVOH/SSA) blend. They found that the PVOH/SSA blend possessed higher hydrophobicity and tensile strength than the ones of PVOH/SS blend. [12]

This research led to the development of water-soluble laundry bags which would be produced from PVOH, P-St and glycerol. All of the mentioned are biodegradable polymers and totally water soluble. [2, 4] The objective of this

research was to study the effect of P-St content on the properties of PVOH films with various P-St content of 0, 10, 20, 30, and 40 % by weight with fixed glycerol content of 20 phr. Pregelatinized starch was made from tapioca starch. The chemical structure, thermal, mechanical, water solubility, and morphological properties of the blends were discussed.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Poly (vinyl alcohol) (PVOH, MOWIFLEX™ C-30, density 0.6-0.9 g/cm³) was purchased from Kuraray Asia Pacific Pte. Ltd. (City Tower, Singapore). Pregelatinized starch (P-St, CRISPYTEC 574) was obtained from Siam Modified Starch Co. Ltd. (Pathum Thani, Thailand). Glycerol (G, analytical grade) was purchased from NP Chemical Supply Co. Ltd. (Bangkok, Thailand).

2.2 Preparation of PVOH/G/P-St Blend Films

PVOH, pregelatinized starch and glycerol were compounded by twin-screw extruder (HAAKE-SHJ-25, Enmach, China) with a process temperature heated in the range of 120 °C to 180 °C. The formulation of PVOH/G/P-St blends is listed in Table 1. The PVOH blends were varied P-St contents of 0, 10, 20, 30, and 40% by weight with a fixed glycerol content of

20 phr. The blend films were produced by blown film extrusion with a process temperature heated in the range of 160 °C to 180 °C. However, if the content of P-St was added to PVOH of greater than 40% by weight, it would highly result in poor processability.

2.3 Fourier Transform Infrared Analysis (FTIR)

The chemical structure and functional group of PVOH/G/P-St blend films was characterized by Fourier transform infrared spectrometer (FTIR-VERTEX70, Bruker, USA). The FTIR spectra were recorded in the range of 4000-400 cm⁻¹ with a resolution of 4 cm⁻¹.

2.4 Thermogravimetric Analysis (TGA)

The thermal stability of PVOH/G/P-St blend films was investigated by thermogravimetric analyzer (TGA-2, Mettler Toledo, Thailand). The measurement was carried out at temperature heating from 25 °C to 550 °C at a heating rate of 10 °C/min under a nitrogen atmosphere at a flow rate of 50 ml/min. The weight of each sample was about 5-10 mg.

2.5 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

The thermal properties of PVOH/G/P-St blend films were investigated by differential scanning calorimeter (TGA/DSC 3+, Mettler

Table 1. Composition of PVOH/G/P-St blend films.

Samples	PVOH	P-St	Glycerol
	(%wt)	(%wt)	(phr)
P-St	-	100	-
PVOH	100	-	-
PVOH/G	100	-	20
PVOH90/G/P-St10	90	10	20
PVOH80/G/P-St20	80	20	20
PVOH70/G/P-St30	70	30	20
PVOH60/G/P-St40	60	40	20

Toledo, Thailand). The measurement was carried out at temperature heating from 25 °C to 225 °C at a heating rate of 10 °C/min under a nitrogen atmosphere at a flow rate of 50 ml/min. The weight of each sample was about 5-10 mg.

The degree of crystallinity (X_c) of PVOH/G/P-St blend films was calculated according to the equation (1):

$$X_c = [\Delta H_m / (\Delta H_m^0 \times \phi)] \times 100\% \quad (1)$$

where ΔH_m is the DSC measured value of fusion enthalpy, ΔH_m^0 is the fusion enthalpy of the completely crystalline PVOH, and ϕ is the weight fraction of PVOH. ΔH_m^0 of PVOH is 161 J/g. [13]

2.6 X-ray Diffractometer (XRD)

The percentage of the gelatinization of starch (%GS) of PVOH/G/P-St blend films was investigated by x-ray diffractometer (MAXima_X XRD-7000, Shimadzu, Japan). Cu K α radiation was generated at 30 kV and 20 mA. The measurement was carried out at a scan speed of 2 degrees/min from 10° to 35°.

The %GS of PVOH/G/P-St blend films was calculated according to the equation (2):

$$\%GS = ((H'_o/H_o) / H'_o) \times 100 \quad (2)$$

where H'_o is the peak height of tapioca starch (34.33 ± 3.06 a.u.) which occurred at a diffraction angle of 17.4° and used as an internal standard and H_o is the peak height of starch undergoing gelatinization which occurred at a diffraction angle of 23°. [14]

2.7 Solubility in Water

The water solubility of PVOH/G/P-St blend films was determined at a temperature of 50 °C. The samples were prepared into 2.5x2.5 cm² and the weight was 0.1 g in 10 ml of water. The suspension was gently stirred until the sample is completely dissolved as the water soluble time.

2.8 Mechanical Properties

Young's modulus, tensile strength, and elongation at break of PVOH/G/P-St blend films were measured with Universal testing machine (Model 5960, Instron, USA) at 61.1 %RH according to ASTM D-882. The specimens were prepared into 25.4 mm x 100 mm, the film thickness was about 0.06 mm. The tensile test uses a load of 5 kN with a crosshead speed of 50 mm/min for at least 5 samples.

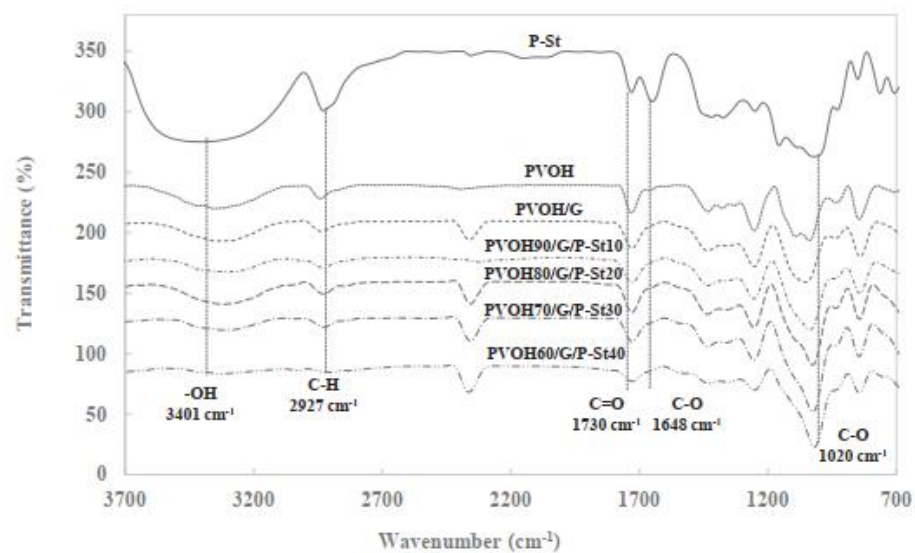
2.9 Scanning Electron Microscope (SEM)

The fractured surfaces (cross-section) of PVOH/G/P-St blend films were observed with scanning electron microscope (TM3030, Hitachi, Japan) at 5 keV. The samples were cracked under liquid nitrogen and coated with gold before the SEM observation.

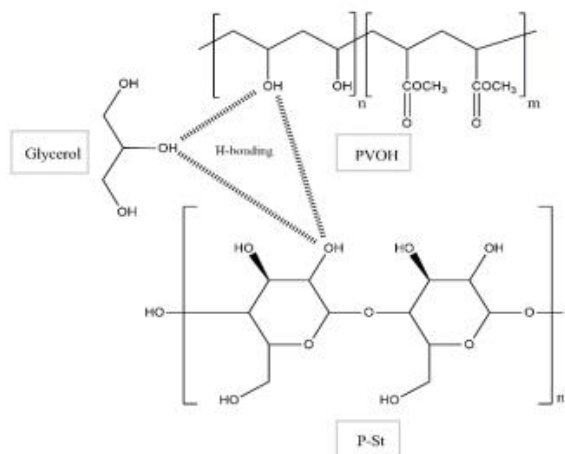
3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 The Effect of Pregelatinized Starch on the Chemical Structure and Functional Group of PVOH

Chemical structures and functional groups of the P-St, glycerol, PVOH and PVOH/G were examined by FTIR spectra as shown in Figure 1a. It illustrated that the spectrum of P-St bands at 3401 cm⁻¹, 2927 cm⁻¹, 1730 cm⁻¹, 1648 cm⁻¹ and 1020 cm⁻¹ corresponding to the O-H stretching, C-H stretching, C=O stretching, C-O stretching and C-O bending respectively. Spectra of PVOH displayed the bands at 3354 cm⁻¹, 2941 cm⁻¹, 1730 cm⁻¹, 1648 cm⁻¹ and 1038 cm⁻¹ indicating O-H stretching, C-H stretching, C=O stretching, C-O stretching and C-O bending respectively. In addition, the spectrum of PVOH with glycerol (PVOH/G) at 3354 cm⁻¹ indicating the OH-stretching had been shifted to a lower wavenumber when compared with the PVOH spectrum. It hence indicated that PVOH had intermolecular interaction with glycerol as shown in schematic 1b. For the addition of P-St in PVOH/G with various P-St contents at 10, 20, 30, and 40 %wt., the spectrum at 3354 cm⁻¹ (OH stretching)



(a)



(b)

Figure 1. FTIR spectra of P-St, glycerol, PVOH, PVOH/G, PVOH/G/P-St blend films (a) and Schematic of intramolecular interaction of PVOH, glycerol and P-St (b).

tends to decrease in term of its intensity when compared with the PVOH spectrum. Moreover, the OH stretching spectrum of PVOH/G with various P-St content tends to decrease in the wavenumber ($3326\text{-}3340\text{ cm}^{-1}$) compared with the PVOH spectrum (3354 cm^{-1}). It indicated that the PVOH, glycerol and P-St had the intermolecular interaction, as shown in schematic 1b. [15, 16]

3.2 The Effect of Pregelatinized Starch on the Thermal Properties of PVOH

The thermal stabilities of the P-St, PVOH and PVOH/G were determined by TGA curves

as shown in Figure 2. It illustrated that the thermal degradation of P-St occurred in two stages of degradation. The first stage was found at $75\text{ - }100\text{ }^{\circ}\text{C}$, indicating that water was eliminated by heat. The second stage occurred at $250\text{ - }400\text{ }^{\circ}\text{C}$ corresponding to the decomposition of the hydroxyl group. According to the hydrogen bonding interaction between -OH from PVOH and water molecules, the first step of the degradation of PVOH tends to retard the degradation of water compared to P-St. In addition, the second step pointed out the degradation of the hydroxyl group at its chain at $250\text{ - }400\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the final stage indicated the

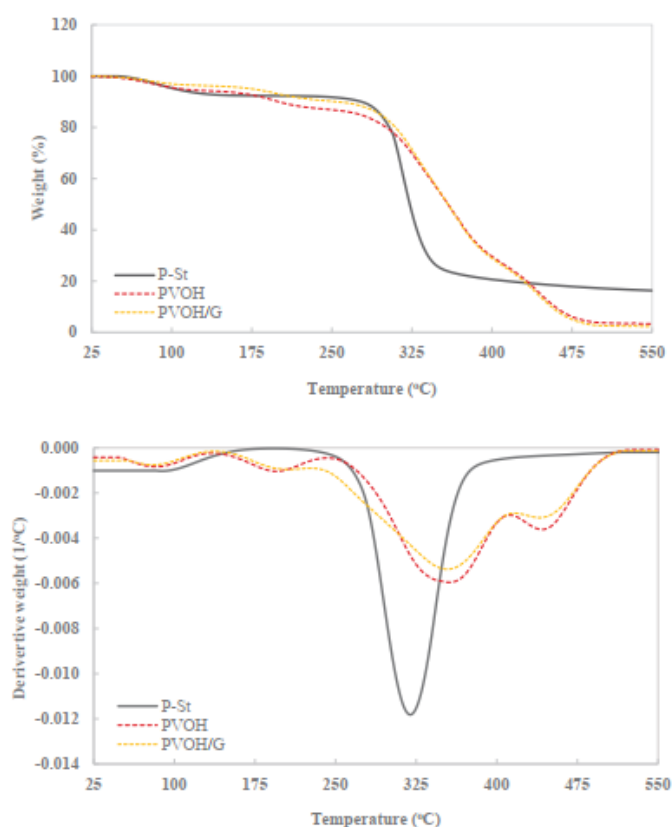


Figure 2. TGA and DTG curves of P-St, PVOH, and PVOH/G films.

decomposition of the aliphatic hydrocarbon of PVOH at more than 400 °C. The incorporation of PVOH with glycerol (PVOH/G) hindered the degradation rate of the water elimination step more than that of P-St and neat PVOH. It was because the hydroxyl molecules from glycerol have an intermolecular interaction to form H-bonding with the hydroxyl molecules from PVOH and water. [3], [16-17] In the second stage of decomposition, the percentage of the weight of PVOH was lower than the one of PVOH/G. This could be the presence of hydrocarbon molecules from glycerol.

The presence of P-St affected on the thermal stability are shown in Figure 3. Thermal degradation of also illustrated the thermal degradation in four stages similar to PVOH/G. However, PVOH/G/P-St had the lower degradation temperature at the third stage which is considered to be the decomposition of hydroxyl group at the side chain. Hydroxyl group of P-St could be easily degraded than the one of PVOH. Therefore, the addition of P-St into PVOH would reduce the thermal stability.

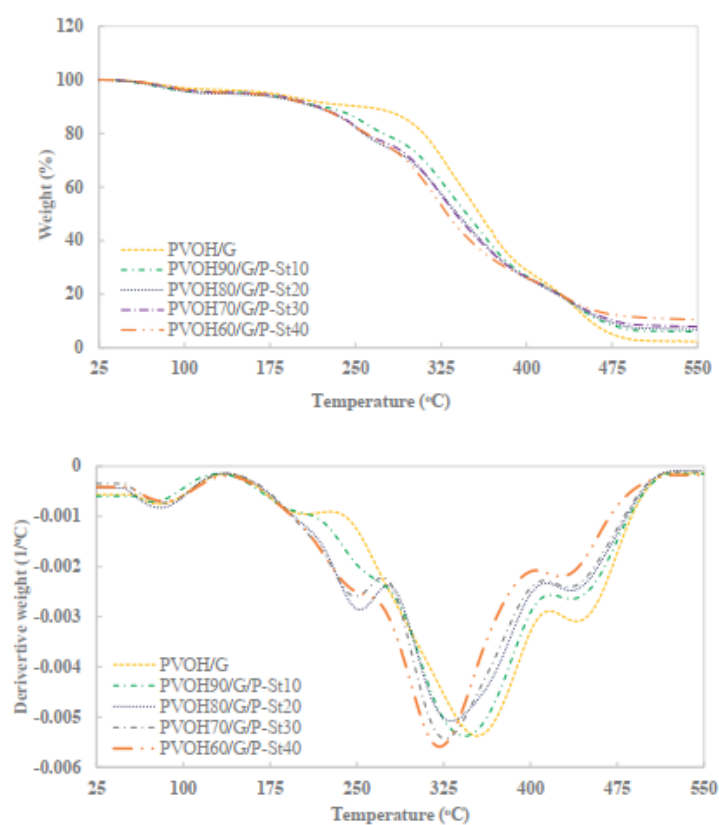


Figure 3. TGA and DTG curves of PVOH/G and PVOH/G/P-St blend films with various of P-St content.

Moreover, PVOH/G with higher P-St content possessed relatively lower thermal stability than the one with lesser P-St content. In addition, the PVOH/G with higher P-St content had relatively higher amount of residue. P-St structure was composed of the cyclic hydrocarbon which needed more energy for bonds breaking up than the aliphatic hydrocarbon chain of PVOH. [18]

The effect of P-St on thermal behavior was examined by the DSC curves. The datum of the samples and the blends are shown in Figure 4 and Table 2. The enthalpy of P-St on DSC has not been observed. This might be due to the structure of P-St performed as an amorphous phase. On the other hand, a difference in the enthalpy of PVOH and PVOH/G were observed. Both glass transition temperature (T_g) and melt temperature (T_m) of PVOH/G were decreased when compared with PVOH due to plasticizer effect. However, the glycerol content was relatively low to enhance the crystallinity of PVOH.

In the case of the addition of P-St in PVOH/G, it significantly increased the glass transition temperature (T_g) by increasing the P-St

content. It was probably because the presence of P-St was obstructed by starch chain entanglement to flow. In addition, the melting temperature (T_m) and the percent crystallinity of PVOH/G/P-St trended to decrease by increasing P-St content. It was because the addition of P-St led to a decrease in chain flexibility to form PVOH crystals.[19]

Moreover, the increase in P-St content on PVOH tends to increase the percent of the gelatinized starch as shown in Table 3. From the XRD datum, the starch molecules have more amylopectin molecules with longer branched structures than amylose molecules.

3.3 The Effect of Pregelatinized Starch on Water Solubility of PVOH

The water solubility of the PVOH/G/P-St blend films was studied by the water solubility at temperature of 50 °C as shown in Figure 5 and Table 4. The water solubility was indirectly proportional to the water soluble time. In other words, the lesser the water soluble time it took. The more water solubility it would be. The water solubility of PVOH/G was higher than the one

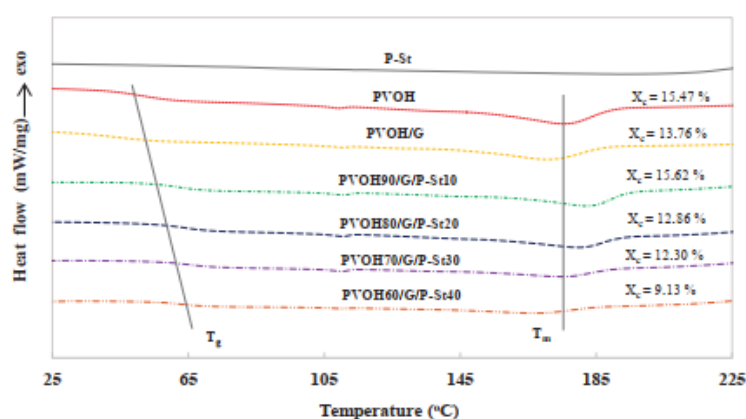


Figure 4. DSC curves of P-St, PVOH, PVOH/G, and PVOH/G/P-St blend films with various of P-St content.

Table 2. Melting temperature (T_m), glass transition temperature (T_g), enthalpy (ΔH_m), and degree of crystallinity (X_c) of PVOH/G/P-St blend films.

Samples	T_g (°C)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
P-St	-	-	-	-
PVOH	50.78	175.54	24.90	15.47
PVOH/G	40.91	170.73	22.15	13.76
PVOH90/G/P-St10	60.46	182.24	22.64	15.62
PVOH80/G/P-St20	62.72	179.89	16.57	12.86
PVOH70/G/P-St30	62.90	174.76	13.86	12.30
PVOH60/G/P-St40	63.25	167.45	8.82	9.13

Table 3. The percentage of the gelatinized starch (%GS) of PVOH/G/P-St blend films.

Samples	H_o (a.u.)	H_u (a.u.)	%GS (%)
P-St	34.33 ± 3.06	3.33 ± 0.58	92.40 ± 1.75
PVOH	34.33 ± 3.06	-	-
PVOH/G	34.33 ± 3.06	-	-
PVOH90/G/P-St10	34.33 ± 3.06	18.67 ± 2.89	57.48 ± 9.02
PVOH80/G/P-St20	34.33 ± 3.06	16.33 ± 1.53	62.93 ± 5.24
PVOH70/G/P-St30	34.33 ± 3.06	13.00 ± 1.73	70.41 ± 5.68
PVOH60/G/P-St40	34.33 ± 3.06	11.00 ± 2.00	75.28 ± 2.85

of PVOH because glycerol acted as plasticizer and led to higher free volume of PVOH. Therefore, water molecules could easily diffuse into PVOH/G film. The addition of P-St into PVOH/G would increase the water solubility (decrease the water soluble time) due to the P-St with amylopectin, a substance of branched structure with free volume within the material, which affected the fast diffusion process into the matrix. However, water solubility decreased (water soluble time increased) with the increment of P-St content. Water solubility is related to the percentage of the gelatinized starch (%GS) as seen in Table 3. The water solubility of blended films was inversely proportional to %GS. The increased %GS led to

the decrement of the free volume of the polymer matrix and affecting the slow diffusion process into the matrix. [20-21]

3.4 The Effect of Pregelatinized Starch on Mechanical and Morphological Properties of PVOH

The Young's modulus, tensile strength, and %elongation at break of PVOH/G/P-St blend films were shown in Figure 6 and Table 5. The cross-sections morphologies of PVOH/G/P-St blend films were shown in Figure 7. It was observed in the first place that starch in the granular form could not be spotted on P-St because it was presumably gelatinized. However, the presence of

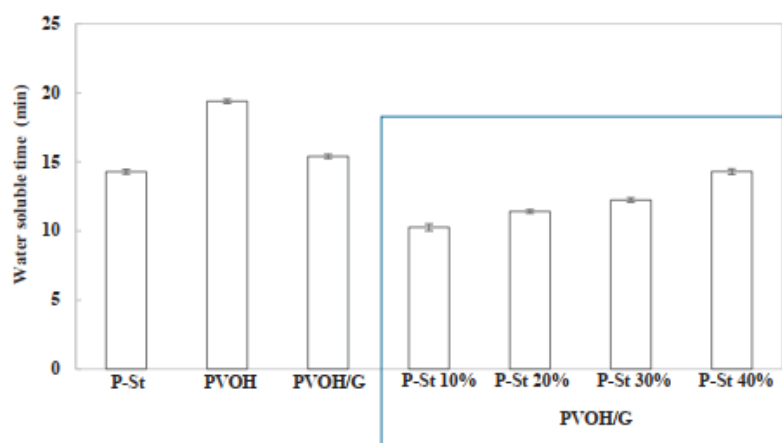


Figure 5. Water soluble time of P-St, PVOH,PVOH/G,PVOH/G/P-St blend films.

Table 4. Water soluble time of P-St, PVOH, PVOH/G,PVOH/G/P-St blend films.

Samples	Water soluble time (min)
P-St	14.29 ± 0.16
PVOH	19.40 ± 0.16
PVOH/G	15.40 ± 0.14
PVOH90/G/P-St10	10.26 ± 0.25
PVOH80/G/P-St20	11.42 ± 0.13
PVOH70/G/P-St30	12.24 ± 0.16
PVOH60/G/P-St40	14.31 ± 0.19

glycerol on PVOH dropped by 70% in Young's modulus and tensile strength of PVOH, whereas the elongation at break was increased from 200% to 300% due to plasticizer effect leading to chain flexibility. Additionally, the microstructure of the film revealed somewhat similarity on the surfaces that showed fairly smooth surface fracture as shown in Figure 7.

On the other hand, modulus, tensile strength, and elongation at break of PVOH/G were

increased by addition only 10% of P-St. It was because amylopectin and amylose crystal structure led to a higher crystallinity than that of PVOH/G. The microstructure of PVOH/G with 10% of P-St film illustrated good particle distribution in PVOH/G as shown in Figure 7. Moreover, PVOH/G with 20% of P-St film possessed the highest value in tensile strength and modulus. It could be explained by SEM micrograph that P-St 20 % wt. illustrated good particle distribution in

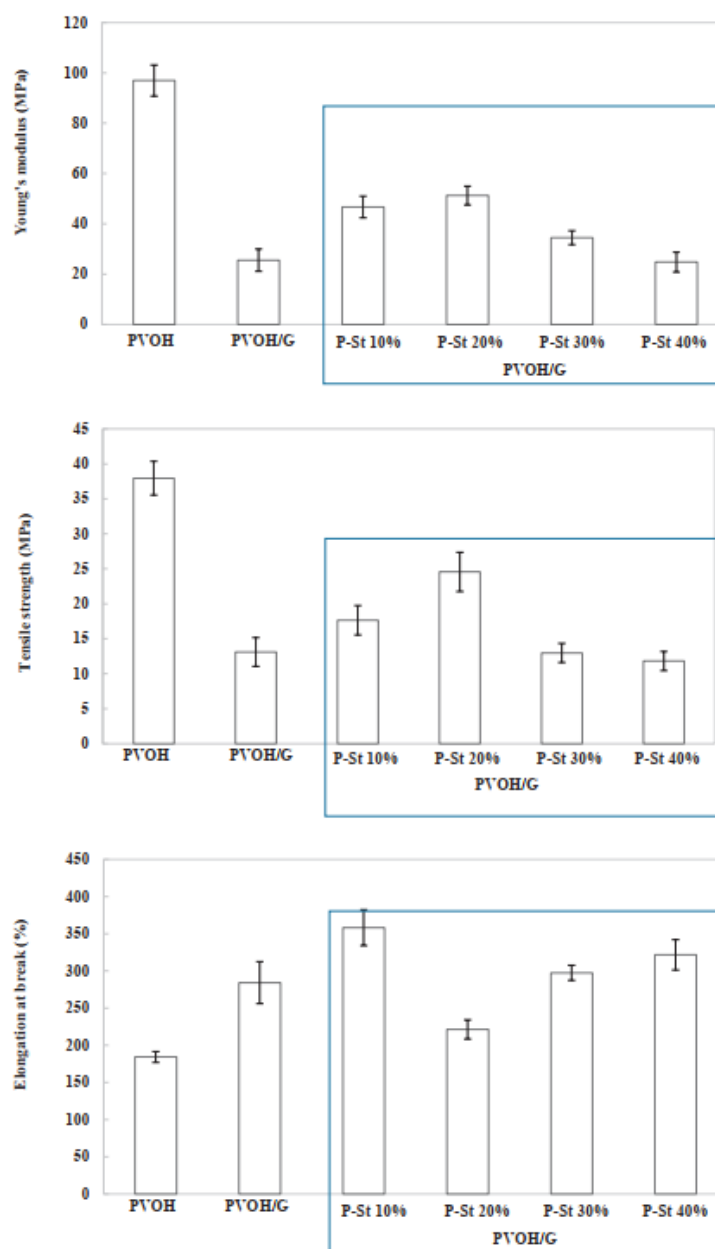


Figure 6. Young's modulus, tensile strength and elongation at break of PVOH, PVOH/G, PVOH/G/P-St blend films with various of P-St content.

Table 5. Young's modulus (YM), tensile strength (TS) and elongation at break (EB) of PVOH, PVOH/G, PVOH/G/P-St blend films with P-St content of 10, 20, 30, and 40 wt.%.

Samples	YM (MPa)	TS (MPa)	EB (%)
PVOH	96.95 ± 6.15	37.96 ± 2.42	184.34 ± 7.20
PVOH/G	25.51 ± 4.41	13.11 ± 2.05	284.23 ± 28.19
PVOH90/G/P-St10	46.66 ± 4.30	17.65 ± 2.09	358.28 ± 24.08
PVOH80/G/P-St20	51.26 ± 3.71	24.56 ± 2.80	211.35 ± 12.91
PVOH70/G/P-St30	34.50 ± 2.75	12.96 ± 1.37	297.50 ± 10.15
PVOH60/G/P-St40	24.78 ± 3.91	11.83 ± 1.36	321.71 ± 20.44

PVOH/G, which was observed from the small P-St particles as shown in Figure 7. This indicated the strong interaction between P-St and PVOH/G. On the other hand, the addition of higher P-St content (30 and 40%) in PVOH/G decreased modulus and tensile strength because of the agglomerates of P-St particles in PVOH/G, which possibly increased the diameter of P-St particles as seen in Figure 7. In regard to this behavior, the increase in the diameter of particles led to an increment in the elongation at break of the blend. [7], [16], [22-23]

4. CONCLUSIONS

This novel was successfully prepared at the reasonable price of water-soluble laundry bags prepared by PVOH blended with P-St and glycerol. The presence of glycerol on PVOH had a higher thermal stability than that of neat PVOH, whereas the presence of P-St led to a lower thermal stability than the one of PVOH/G. In addition, the increment of P-St content in the PVOH blend led to an increase in the glass transition temperature but decrease in the melting temperature and percentage of crystallinity of PVOH. For the water solubility, the presence of glycerol significantly increased the solubility between PVOH and water, while PVOH/G with P-St decreased the solubility as the percentage of

the GS increased. Furthermore, PVOH/G with 20% of P-St film possessed the highest value in tensile strength and modulus with a good distribution indicating to stronger interaction of P-St and PVOH/G. At this point, this formula has appropriate properties in both mechanical and water solubility. Comparatively, the use of our materials as for water-soluble laundry bags would undoubtedly lower the cost entirely because the bulk materials for the PVOH/G film with 20% P-St is definitely lower than that of neat PVOH film. However, it will be tested in the field for further research.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was financially supported by the following: Thailand Science Research and Innovation (TSRI); National Science, Research and Innovation Fund (NSRF) (Fiscal Year 2022); Siam Modified Starch Co. Ltd. (Pathum Thani, Thailand) and Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Thailand.

REFERENCES

- [1] Matsumot H., Hao A., Yashita D., Sakurai Y. and Uchio N., *J. Health Sci. Med. Res.*, 2021; **40(2)**: 203–214. DOI 10.31584/jhsr.2021829.

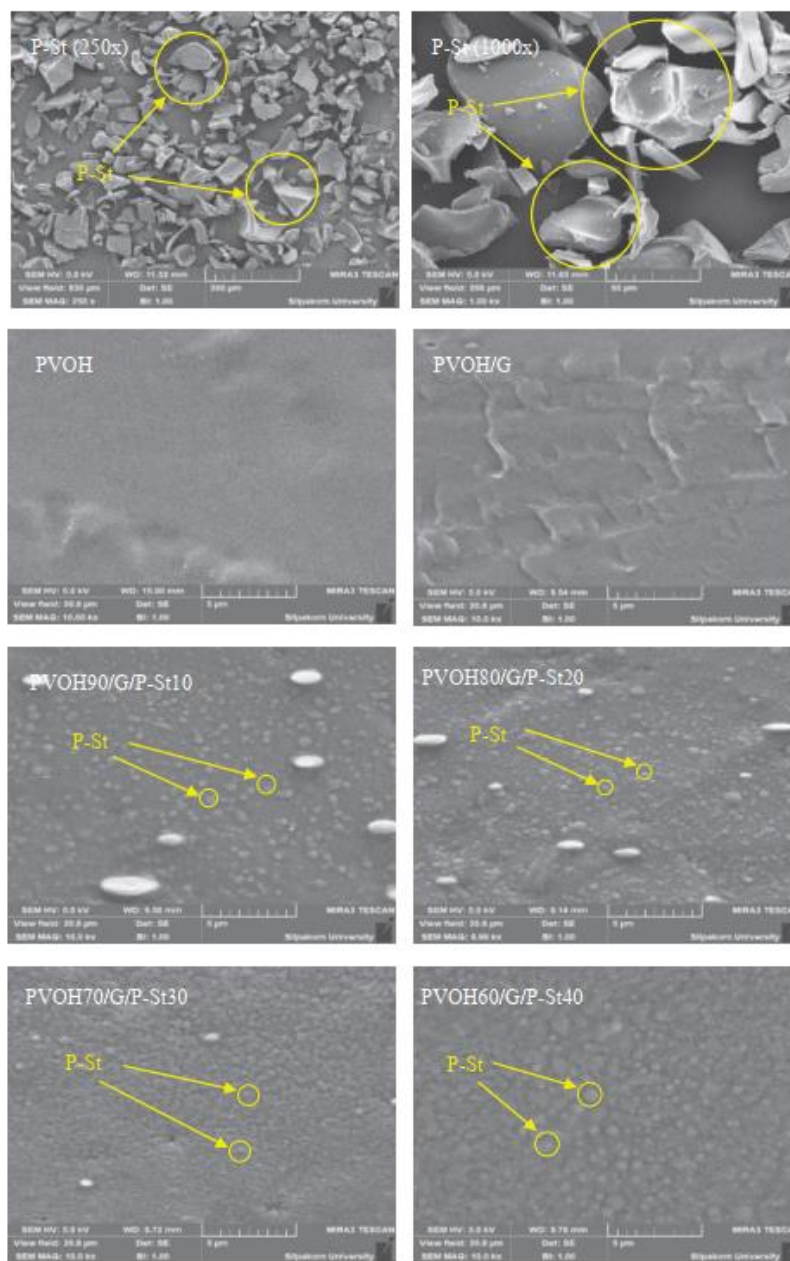


Figure 7. Fractured surface of P-St (250x), P-St (1000x), PVOH, PVOH/G, PVOH/G/P-St blend films with various P-St content.

- [2] Tang X. and Alavi S., *J. Carbohydr. Polym.*, 2011; **85**: 7–16. DOI 10.1016/j.carbpol.2011.01.030.
- [3] Luo X., Li J. and Lin X., *J. Carbohydr. Polym.*, 2012; **90**: 1595-1600. DOI 10.1016/j.carbpol.2012.07.036.
- [4] Douzals J.P., Marechal P.A., Coquille J.C. and Gervais P., *J. Agric. Food Chem.*, 1996; **44**: 1403–1408. DOI 10.1021/jf950239c.
- [5] Chen L., Imam S.H., Gordon S.H. and Greene R.V., *J. Environ. Polym. Degrad.*, 1997; **5**: 111-117. DOI 10.1007/BF02763594.
- [6] Rosa D.S., Guedes C.G.F., Pedroso A.G. and Calil M.R., *J. Mater. Sci. Eng.*, 2004; **24**: 663-670. DOI 10.1016/j.msec.2004.08.045.
- [7] Cobos M., Fernández M. and Fernández M., *J. Nanomater.*, 2018; **8**: 1013. DOI 10.3390/nano8121013.
- [8] Adamu A.D., Jikan S.S., Talip B.H.A., Badarulzaman N.A. and Yahaya S., *J. Mater. Sci. Forum.*, 2017; **888**: 239–243. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.888.239.
- [9] Guimarães M.Jr., Botaro V.R., Novack K.M., Teixeira F.G. and Tonoli G.H.D., *J. Polym. Res.*, 2015; **22**: 192-219. DOI 10.1007/s10965-015-0834-z.
- [10] Bin Mohamed M.M.F. and Mohamed R., *J. Adv. Mat. Res.*, 2015; **1113**: 122–126. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1113.122.
- [11] Negim E., Rakhmetullayeva R., Yeligbayeva G., Urkimbaeva P., Primzharova S., Kaldybekov D., et al., *Int. J. Basic Appl. Sci.*, 2014; **3**: 263-273. DOI 10.14419/ijbasv3i3.2842.
- [12] Juhari F.A., Mohamad R. and Basri N.S., *Proceedings of The IRES 6th International Conference*, Melbourne, Australia, 16 August 2015; 82-86.
- [13] Chen H., Du X., Yang A., Yang J., Huang T., Zhang N., et al., *RSC Adv.*, 2014; **4**: 3443-3456. DOI 10.1039/c3ra45480k.
- [14] Owusu A.J., Vandervoort F.R. and Stanley D.W., *J. Cereal Chem.*, 1982; **59**: 167-171.
- [15] Mohsin M., Hossin A. and Haik Y., *J. Appl. Polym. Sci.*, 2011; **122**: 3102-3109. DOI 10.1002/app.34229.
- [16] Zhang L., Yang X., Li S. and Gao W., *J. LWT-Food Sci. Technol.*, 2011; **44**: 787-792. DOI 10.1016/j.lwt.2010.09.001.
- [17] Srithep Y., Pholharn D., Veang-in O. and Yangyuen S., *J. Polym. Eng.*, 2017; **37**: 335-343. DOI 10.1515/polyeng-2016-0105.
- [18] Liu X., Wang Y., Yu L., Tong Z., Chen L., Liu H., et al., *Starch/Stärke.*, 2013; **65**: 48-60. DOI 10.1002/star.201200198.
- [19] Fetsch C. and Luxenhofer R., *Polym. J.*, 2013; **5**: 112-127. DOI 10.3390/polym5010112.
- [20] Azahari N.A., Othman N. and Ismail H., *J. Phys. Sci.*, 2011; **22**: 15-31. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.747.668.
- [21] Ramesh N., Davis P.K., Zielinski J.M., Danner R.P. and Duda J.L., *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, 2011; **49**: 1629–1644. DOI 10.1002/polb.22366.
- [22] Piyada K., Wāranyou S. and Thawien W., *Int. Food Res. J.*, 2013; **20**: 439-449.
- [23] Abdullah Z.W. and Dong Y., *J. Front. Mater.*, 2019; **6**: 58. DOI 10.3389/fmats.2019.00058.

รายการอ้างอิง

1. Chen, L., et al., *Starch- polyvinyl alcohol crosslinked film— performance and biodegradation*. Journal of environmental polymer degradation, 1997. 5(2): p. 111-117.
2. Tang, X. and Alavi, S., *Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability*. Carbohydrate Polymers, 2011. 85(1): p. 7-16.
3. Eksirinimitr, A., et al., *Effects of simulation conditions on antibacterial performance of polypropylene and polystyrene doped with HPQM antibacterial agent*. Polymer Testing, 2016. 55: p. 123-134.
4. Kanjanarnun, V., Prodpran, T., and Prasarnpran, S., *Effect Of Epoxidized Natural Rubber (Enr) on Film and Adhesive Properties of Polyvinyl Alcohol (Pva)*. International Journal of Scientific Research, 2012. 3: p. 134-137.
5. Bassner, S.L. and Klingenberg, E.H., *Using poly(vinyl alcohol) as a binder*. American Ceramic Society Bulletin, 1998. 77: p. 71-75.
6. MOWIFLEX. [cited 2020 August, 28]; Available from: <https://www.kuraray.com/products/mowiflex>.
7. สีสั่งข์, ส., คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. 2020.
8. Baitahe, P., *Improvement of mechanical properties and moisture adsorption of thermoplastic starch using amide derivatives*. 2012.
9. อภิชาชาญ, อ., การปรับปรุงคุณภาพของโดนัทเค้กโดยใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งสาลี. 2004.
10. *Hydrolysed starch*. [cited 2020 August, 28]; Available from: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3045/starch-hydrolysis>.
11. โครงสร้างของแบคทีเรีย. [cited 2020 August, 25]; Available from: http://www.biotech.mju.ac.th/Upload/Document/973_BI330_bacterial%20structure_1.61.pdf.
12. Nooheet, W., *Inhibition of pathogenic bacteria contaminating exposed surfaces by extracts of Zingiberaceae family*. 2014.

13. นันทพงษ์, อ.ด.น. การควบคุมจุลินทรีย์. [cited 2020 August, 25]; Available from: <http://sutir.sut.ac.th>.
14. สำนักควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, ส. คู่มือสารต้านเชื้อจุลินทรีย์. [cited 2020 August, 25]; Available from: <https://www.fda.moph.go.th>.
15. TRIAMEEN Y12D. [cited 2020 August, 25]; Available from: <https://www.yellowpages.co.th/en/profile/Koventure-Co-Ltd-2GZj9cz7J>.
16. Wang, W., et al., *High performance extrusion blown starch/polyvinyl alcohol/clay nanocomposite films*. Food Hydrocolloids, 2018. 79: p. 534-543.
17. Luo, X., Li, J., and Lin, X., *Effect of gelatinization and additives on morphology and thermal behavior of corn starch/PVA blend films*. Carbohydrate Polymers, 2012. 90(4): p. 1595-1600.
18. Guimarães, M., et al., *High moisture strength of cassava starch/polyvinyl alcohol-compatible blends for the packaging and agricultural sectors*. Journal of Polymer Research, 2015. 22(10): p. 192.
19. Bin Mohamed, M.M.F. and Mohamed, R., *Tensile Properties and Degradability of Polyvinyl Alcohol and Starch Succinate Blend*. Advanced Materials Research, 2015. 1113: p. 122-126.
20. Karrila, S.J., Nga, L.H., and Karrila, T., *Effect of blending and pregelatinizing order on properties of pregelatinized starch from rice and cassava*. Food Research, 2019.
21. Niltui, P., A.G., Tangudom, P., Wimolmala, E., and Sombatsompop, N., *Mechanical Properties and Antibacterial Performance of Polyvinyl chloride compound added DOP Plasticizer and HPQM Antibacterial agent*. 2015.
22. Mohsin, M., Hossin, A., and Haik, Y., *Thermal and mechanical properties of poly(vinyl alcohol) plasticized with glycerol*. Journal of Applied Polymer Science, 2011. 122(5): p. 3102-3109.
23. Zhang, L., et al., *Preparation, physicochemical characterization and in vitro digestibility on solid complex of maize starches with quercetin*. LWT - Food Science and Technology, 2011. 44(3): p. 787-792.

24. Bremner, T., Rudin, A., and Cook, D.G., *Melt flow index values and molecular weight distributions of commercial thermoplastics*. Journal of Applied Polymer Science, 1990. 41(7-8): p. 1617-1627.
25. Rosa, D.S., et al., *The influence of starch gelatinization on the rheological, thermal, and morphological properties of poly(ϵ -caprolactone) with corn starch blends*. Materials Science and Engineering: C, 2004. 24(5): p. 663-670.
26. Peng, Z. and Kong, L.X., *A thermal degradation mechanism of polyvinyl alcohol/silica nanocomposites*. Polymer Degradation and Stability, 2007. 92(6): p. 1061-1071.
27. Srithep, Y., et al., *Effect of banana fibers and plasticizer on melt processing of poly(vinyl alcohol)*. Journal of Polymer Engineering, 2017. 37(4): p. 335-343.
28. Fetsch, C. and Luxenhofer, R., *Thermal Properties of Aliphatic Polypeptoids*. Polymers, 2013. 5, 112-127 DOI: 10.3390/polym5010112.
29. Lv, C., et al., *Non-isothermal crystallization kinetics of polyvinyl alcohol plasticized with glycerol and pentaerythritol*. Journal of Polymer Research, 2020. 27(3): p. 66.
30. Abd El-Ghany, N.A. and Mahmoud, Z.M., *Synthesis, characterization and swelling behavior of high-performance antimicrobial amphoteric hydrogels from corn starch*. Polymer Bulletin, 2021. 78(11): p. 6161-6182.
31. Ramesh, N., et al., *Application of free-volume theory to self diffusion of solvents in polymers below the glass transition temperature: A review*. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2011. 49(23): p. 1629-1644.
32. Subrahmanyam, R., et al., *On the Road to Biopolymer Aerogels—Dealing with the Solvent*. Gels, 2015. 1: p. 291-313.
33. Yang, W., et al., *Dispersion copolymerization of styrene and N-vinyl carbazole in polar solvents*. Journal of Macromolecular Science, Part A, 2000. 37: p. 659-675.
34. Azahari, N., Othman, N., and Ismail, H., *Biodegradation Studies of Polyvinyl Alcohol/Corn Starch Blend Films in Solid and Solution Media*. Journal of Physical Science, 2011. 22.

35. Rodríguez-Miranda, J., et al., *The effect of pregelatinized potato starch on the functional properties of an extruded aquafeed*. Journal of Animal Production Advances, 2012. 2: p. 335-344.
36. Siracusa, V., *Food Packaging Permeability Behaviour: A Report*. International Journal of Polymer Science, 2012. 2012.
37. Piyada, K., Sridach, W., and Thawien, W., *Mechanical, thermal and structural properties of rice starch films reinforced with rice starch nanocrystals*. International Food Research Journal, 2013. 20: p. 439-449.
38. Cobos, M., Fernández, M.J., and Fernández, M.D., *Graphene Based Poly(Vinyl Alcohol) Nanocomposites Prepared by In Situ Green Reduction of Graphene Oxide by Ascorbic Acid: Influence of Graphene Content and Glycerol Plasticizer on Properties*. Nanomaterials (Basel), 2018. 8(12).
39. Ledeti, I., et al., *Thermal decomposition, kinetic study and evolved gas analysis of 1,3,5-triazine-2,4,6-triamine*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014. 118(2): p. 1057-1063.
40. Sirima Sitaruno, W.S., *Efficacy and Safety of Colistin in Clinical Practice*. Thai Journal of Pharmacy Practice 2018. 10.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	มนตรี แสงทองดี
วัน เดือน ปี เกิด	28 กรกฎาคม 2539
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2558 – 2561 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	48 ม.2 ต.ทุ่งกระบัง อ.เลาขวัญ จ.กาญจนบุรี 71210
ผลงานตีพิมพ์	M. Sangthongdee, S. Phattarateera, and P. Threepopnatkul, The Effect of Pregelatinized Starch on the Properties of Poly (Vinyl Alcohol) Film for the Water-Soluble Laundry Bag, Chiang Mai J. Sci., 2020; 49(6): 1-14.
รางวัลที่ได้รับ	พ.ศ. 2562-2563 (4 ภาคการศึกษา) ได้รับทุนการศึกษาและทุนนักศึกษาผู้ช่วยสอน จากภาควิชาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2565 ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.)