

โครงการย่อยที่ 4

สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติกยืดหยุ่นและย่อยสลายที่ได้จากยางธรรมชาติ
และแป้งมันสำปะหลัง

ชูศักดิ์ พูนสวัสดิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้อมูลโครงการ

กลุ่มโครงการการสังเคราะห์พอลิเมอร์เชิงประกอบและพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติ มข. (1)

สัญญาเลขที่ RDG4750043

โครงการย่อยที่ 4

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติกที่ยืดหยุ่นและย่อยสลายที่ได้จากยางธรรมชาติกับพอลิเอธิลีนและแป้งมันสำปะหลัง

คำสำคัญ พอลิเมอร์ผสม ยางธรรมชาติ พอลิเอธิลีน แป้งมันสำปะหลัง

(ภาษาอังกฤษ) Physical and Chemical Properties of Degradable Thermoplastic Elastomer from Blend of Natural Rubber, Polyethylene and Casava Starch

Keyword Degradable Thermoplastic Elastomer, Natural Rubber, Polyethylene, Casava starch

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด **ที่อยู่** หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นายชูศักดิ์ พูนสวัสดิ์

หน่วยงาน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4320-2222-41 ต่อ 2243 / 0-4320-2373 **E-mail** choosak@kku.ac.th

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด **ที่อยู่** หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ชื่อ-สกุล นายธงชัย ช่อประพันธ์

นางสาวอาภาภรณ์ เทียมสินสังวร

หน่วยงาน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4320-2222-41 ต่อ 2243 / 0-4320-2373 **E-mail**

ชื่อและสถานที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร.ไฉนพร ด่านวิรุทัย

หน่วยงาน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4320-2222-41 ต่อ 2243 / 0-4320-2373 E-mail chanai@kku.ac.th

วันเริ่มต้นโครงการ 15 กันยายน 2547 วันสิ้นสุดโครงการ 30 เมษายน 2548

เวลาที่ทำวิจัยทั้งสิ้น 7 เดือน 15 วัน

บทคัดย่อ

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี อัตราส่วนที่เหมาะสมของ thermoplastic starch / natural rubber polymer blends จากยางธรรมชาติที่มี DRC ประมาณ 30 % w/w และเจลแป้งมันสำปะหลัง โดยมีกลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ เตรียมพอลิเมอร์ผสมในเครื่องผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ความร้อน 95 °C ด้วย heating bath เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปปั่นในเครื่องผสมอีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C แล้วนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาศึกษาความสามารถในการพองตัวในโทลูอิน, ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล, ศึกษาสัณฐานวิทยา และศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสม พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ อัตราส่วน 70:30:5 (ยาง:แป้ง:กลีเซอรอล) ซึ่งให้ค่าความสามารถในการทนต่อแรงดึงสูงสุด และค่าสัมประสิทธิ์ของความยืดหยุ่นสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล และยางธรรมชาติ อัตราส่วน TPS/NR นี้สามารถทนต่อแรงที่มากกระทำได้ดี เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานได้ยาก สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของชิ้นงานมีค่าปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่นๆ นั่นคือชิ้นงานมีความยืดหยุ่นไม่มากนักแต่ก็ไม่เปราะ เมื่อมองด้วยตาเปล่า พบว่าชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างเรียบ ไม่มีการไหลเยิ้มของกลีเซอรอลออกมา มีรูพรุนละเอียดกระจายตัวอยู่ทั่วไป จากผลการวิเคราะห์ด้วย SEM พบจุดเล็กๆของเม็ดแป้งกระจายกันอยู่ แสดงว่าเกิดการผสมกันได้ดีและมีการกระจายตัวดี

คำสำคัญ: วัสดุผสม ยางพารา พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ และเทอร์มอพลาสติกสตาร์ช

Abstract

A Study of physical and chemical properties and optimized ratio of Thermoplastic starch/natural rubber polymer blends (TPS/NR) were carried out. Samples were prepared using natural rubber, having 30% w/w DRC, cassava starch gel and glycerol plasticizer to produce plastics that can be naturally biodegradable. The blends were prepared in a mixer for an hour, then heated at 95 °C in a heating bath for half an hour. Finally the blends were mixed in the mixer again for half an hour. After that the blends were dried in oven for 16 hours. Chemical, mechanical, physical and thermal properties such as swelling, morphology, tensile strength, elongation and thermal transition were studied. It's concluded that the optimized blend ratio of TPS/NR/glycerol was 70:30:5. The results revealed that blend ratio of 70:30:5 showed maximum value in Ultimate Tensile Strength (UTS) and modulus and a moderate value in %elongation at break. It's also concluded that polymer blends of this ratio had a high stress resistance and elasticity. This ratio had a rather smooth surface with a small porous. Results from Scanning Electron Microscope showed a good dispersion of the starch in polymer blends.

Keyword: polymer blend, natural rubber, degradable polymer and thermoplastic starch

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	141
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	141
สารบัญ	142
สารบัญรูป	144
สารบัญตาราง	146
บทที่ 1 บทนำ	147
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	147
1.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber).....	147
1.3 แป้ง (Starch).....	151
1.4 Glycerol.....	157
1.5 พลาสติกไซเซออร์.....	158
1.6 Thermoplastic Starch (TPS).....	160
1.7 Thermoplastic Elastomers (TPEs).....	161
1.8 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	162
1.9 ขอบเขตของงานวิจัย.....	163
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	164
2.1 วัสดุและสารเคมี.....	164
2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	164
2.3 วิธีการทดลอง.....	164
บทที่ 3 ผลการทดลอง	171
3.1 คุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....	171
3.2 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม.....	171
3.3 การวิเคราะห์การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	174
3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวในโทลูอีน.....	183
3.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วย SEM.....	185
3.6 การศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสม.....	187

บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	189
บรรณานุกรม	191
ภาคผนวก	193

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ลักษณะสวนยางพาราในประเทศไทย	148
รูปที่ 1.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	149
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของอะไมโลส	152
รูปที่ 1.4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	153
รูปที่ 1.5 ภาพจำลองการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอ	157
รูปที่ 1.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล	158
รูปที่ 2.1 เครื่องทดสอบแรงดึง	167
รูปที่ 2.2 ลักษณะตัวอย่างที่ตัดเป็นรูปคัมเบลตามมาตรฐาน ASTM	167
รูปที่ 2.3 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis, Differential Gravimetry and Differential Thermal Analyzer (TGA/DTG/DTA)	169
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะภายนอกของชิ้นงานอัตราส่วน 60:40:5 (a), 70:30:0 (b), 70:30:5 (c), 70:30:10 (d), 70:30:5 (e), 80:20:0 (f) และ 80:20:5 (g)	173
รูปที่ 3.2.ก ผลของ cassava starch content ต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	174
รูปที่ 3.2.ข ผลของ cassava starch content ต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล เทียบกับยางธรรมชาติผสมที่ไม่ได้เติมกลีเซอรอล	175
รูปที่ 3.3.ก แสดงผลของ cassava starch content ต่อค่า % elongation at break ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	176
รูปที่ 3.3.ข แสดงผลของ cassava starch content ต่อค่า % elongation at break ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล เทียบกับยางธรรมชาติผสมที่ไม่ได้เติมกลีเซอรอล	176
รูปที่ 3.4.ก ผลของ cassava starch content ต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	177
รูปที่ 3.4.ข ผลของ cassava starch content ต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	177

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5.ก แสดงผลของ glycerol content ต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	178
รูปที่ 3.5.ข แสดงผลของ glycerol content ต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	179
รูปที่ 3.6 ผลของ glycerol content ต่อค่า % elongation at break ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	180
รูปที่ 3.7 ผลของ glycerol content ต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล	180
รูปที่ 3.8 พื้นที่ใต้กราฟของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ	182
รูปที่ 3.9 ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อค่า swelling ratio ของพอลิเมอร์ผสม	184
รูปที่ 3.10 รูปแบบที่เป็นไปได้ของการเกิดพันธะไฮโดรเจนของแป้งและกลีเซอรอล	184
รูปที่ 3.11 ลักษณะของพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนยางต่อแป้งเป็น 70:30:0 (a), 70:30:5 (b) 70:30:10 (c) และ 70:30:15 (d) โดยใช้กำลังขยาย 200 เท่า	185
รูปที่ 3.12 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่มีปริมาณกลีเซอรอลเท่ากับ 5% ดังอัตราส่วน 60:40:5 (a), 70:30:5 (b) และ 80:20:5 (c)	191

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด	149
ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ	151
ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติของแป้ง	156
ตารางที่ 1.4 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง	157
ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนการผสมของสาร	166
ตารางที่ 3.1 ค่า Dry Rubber Content (DRC) ของน้ำยางที่ใช้ในงานวิจัย	171
ตารางที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานของชิ้นงานตัวอย่างอัตราส่วนต่างๆ	172
ตารางที่ 3.3 พื้นที่ใต้กราฟของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ	182
ตารางที่ 3.4 Swelling ratio ของชิ้นตัวอย่างผสม	183
ตารางที่ 3.5 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมจากเทคนิค TGA/DTG/DTA	188

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาการจัดการขยะในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นพลาสติก หรือผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากพลาสติกต่างๆ ล้วนเป็นปัญหาที่สำคัญและโยงใยไปถึงมลภาวะของโลก อันเนื่องมาจากอัตราการใช้พลาสติกมีปริมาณสูงขึ้นตลอดมา แต่ตัวพลาสติกเองมีการสลายตัวได้ช้ามาก บางส่วนถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในขณะที่บางส่วนถูกปล่อยทิ้งไว้ตามพื้นดินหรือแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาในการจัดและทำลาย นอกจากนี้แล้ว ปริมาณที่จำกัดของบริเวณที่ทิ้งขยะ (landfill) ก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งด้วย การแก้ปัญหาดังกล่าว อาจทำได้โดยการควบคุมการใช้ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพลาสติกไม่ให้มีมากจนเกินความจำเป็น และถ้ามุ่งไปที่ปลายทางก็คือหาวิธีกำจัดพลาสติกที่ใช้แล้วเหล่านั้นเสียหรือหาวิธีผลิตพลาสติกที่สลายตัวได้เองในธรรมชาติ

วิธีการหนึ่งในการผลิตพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้เอง ก็คือการเติมสารที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้ เช่น แป้ง เนื่องจากแป้งมีส่วนสำคัญในขบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งเป็นกลไกการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เมื่อนำมาผสมลงในพลาสติก ในปริมาณที่เหมาะสมจะยังคงทำให้พลาสติก มีความเหนียวและความแข็งแรง ต่อการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นแล้ว ถ้าผ่านกระบวนการออกซิเดชันโดยใช้แสง ตามด้วยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จะทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำพลาสติกฝังลงดิน จะทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากในดิน มีทั้งความร้อน ความชื้น แร่ธาตุ และจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิด

การพัฒนาพลาสติก โดยผสมรวมกับแป้งและเติมพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมนั้น นอกจากจะทำให้สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติแล้ว ยังเป็นการประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการผลิต โดยเฉพาะหากนำแป้งมันสำปะหลังที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ปลูกมากในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ก็จะเป็นการช่วยพัฒนาเศรษฐกิจพื้นฐานของประเทศไทยอีกด้วย

1.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)¹

ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ Hevea Braziliensis ซึ่งเป็นไม้ป่าที่มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 30% (โดยน้ำหนัก) แฉวนลอยอยู่ในน้ำ ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำยางและยางแห้ง



รูปที่ 1.1 ลักษณะสวนยางพาราในประเทศไทย²

น้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำยางสดจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มมากขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางที่ได้นี้ว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีนและฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถถูกย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นน้ำยางจึงสามารถบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียลงไปหรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางที่ใช้แอมโมเนียอย่างเดียวจะต้องใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงถึง 0.7 % น้ำยางชนิดนี้จึงเรียกว่า High Ammonia Latex หรือ HA latex ส่วนน้ำยางข้นที่ใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.2 % ก็จำเป็นต้องใช้สารเคมีอื่นๆร่วมด้วย เช่น ZnO/Tetramethylthiuram Disulfide (TMTD) 0.02% หรือใช้กรดบอริก 0.2 % หรือใช้ Santobrite (chlorophene ซึ่งเป็นสารย่อยสลาย และใช้เป็นสาร antimicrobial agent) 0.2% เป็นต้น ซึ่งน้ำยางชนิดหลังเรียกว่า Low Ammonia Latex หรือ LA latex

น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยาง โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถกำจัดน้ำออก

ได้ง่าย นั่นคือ ผลิตภัณฑ์นั้นต้องบางหรือมีรูพรุนเพื่อให้น้ำระเหยออกได้ง่าย ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้แก่ ถูมือยาง ถูยางอนามัย ลูกโป่ง จุกหัวนม เบ้าหล่อปูนปลาสเตอร์ ฟองน้ำที่นอน เป็นต้น

ยางแห้ง ยางแห้งได้จากการนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้ มาเติมกรด (นิยมใช้กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดซัลฟูริก) เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็ไล่ความชื้นออกจากเนื้อยาง เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา

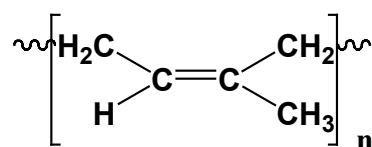
1.2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวครีม โดยมีอนุภาคยางแขวนลอย กระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรัม (serum) อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 – 5 ไมโครเมตร ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีนโดยแต่ละอนุภาคมีอนุโมลตบของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลทำให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มหรือมีการสะเทินอนุโมลตบ จะทำให้อนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลาง เกิดการรวมตัวจับเป็นก้อนขึ้น

ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด³

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
1. สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
2. เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)	33
3. สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1 – 1.5
4. สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
5. เถ้า (Ash)	< 1
6. น้ำ	64

1.2.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ



รูปที่ 1.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือในโมเลกุลของยางหนึ่งโมเลกุลจะประกอบไปด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ประมาณ -72°C นั้นหมายความว่า หากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -70°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่า หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกัมมันตอยู่ ดังนั้นพันธะคู่ที่อยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกัมมันต อย่างไรก็ตาม พันธะคู่เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน หรือโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมคุณภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง (ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่างๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะ เช่น อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือที่เรียกว่า “low temperature crystallize” จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกเร็วขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางเข้าไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่นๆ ได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ประเทศในเขตกึ่งหนาวจึงต้องมีการนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิประมาณ $50-70^\circ\text{C}$ เพื่อให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดออกจนมีความยาวมากกว่าความยาวดั้งเดิมประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (translucent) ไปเป็นทึบแสง (opaque) ซึ่งเป็นที่สังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้ การเกิดผลึกอันเนื่องมาจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานการขัดสีสูงขึ้น

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ

คุณสมบัติ	ค่า
1. สูตรโมเลกุล	$\text{-(C}_3\text{H}_8\text{)}_n$
2. น้ำหนักโมเลกุล	200,000 ถึง 400,000
3. ความหนาแน่น (ที่อุณหภูมิ 20 °C)	0.93 g.cm ⁻³
4. Glass transition temperature, T _g	- 72 °C
5. ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	10 ¹⁵ -10 ¹⁶ ohm.cm
6. สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน	37 x 10 ⁻⁵ F ⁻¹
7. ความเป็นกรด – ด่าง	6.5 -7.0
8. อุณหภูมิการใช้งาน	-55 °C – 70 °C

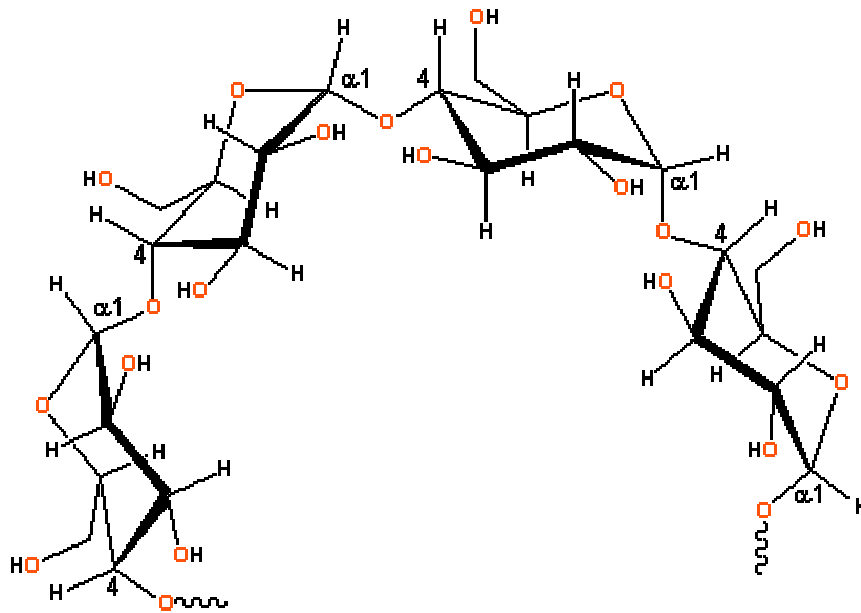
1.3 แป้ง (Starch)

1.3.1 โครงสร้างของแป้ง⁴

แป้ง (Starch) เป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) หลาย ๆ หน่วย มาต่อกัน สูตรทั่วไปคือ (CH₂O)_n โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพกติน (amylopectin)

อะไมโลส (Amylose)

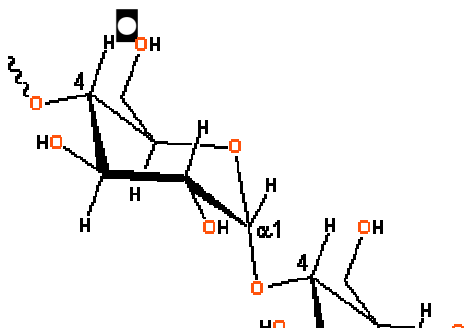
อัลฟา-อะไมโลส (α-amylose) ประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส D(+) ประมาณ 500-2,000 มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ α,1-4 glycosidic linkage น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000-500,000 โดยทั่วไปอะไมโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน มีอยู่ประมาณ 20-25% ของแป้งทั้งหมด



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของอะไมโลส

อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แขนของอะไมโลเพคตินจะยึดกันด้วยพันธะ α , 1-4 - glycosidic linkage แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึดกันด้วยพันธะ (, 1-6 glycosidic linkage ปกติอะไมโลเพคตินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (1,000,000 เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง มีอยู่ประมาณ 75-80% ของแป้งทั้งหมด



รูปที่ 1.4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

1.3.2 คุณสมบัติของแป้ง

โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำ แป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็กๆกระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำเนื่องจากอนุภาคของแป้งจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะละลายน้ำได้ แป้งจะมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงประมาณ $1.45-1.64 \text{ g/cm}^3$ (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นแป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ $60-70^\circ\text{C}$ (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานและพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลง ความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการแตกอย่างฉับพลัน ทำให้อะไมโลสออกจากเม็ดแป้ง เกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจล (gelatinization) คุณสมบัติของแป้งแสดงในตารางที่ 1.3

แป้งมันสำปะหลัง คือแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดมารวมตัวกัน แต่ละเม็ดจะมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบน ไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจนและในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งด้วย นอกจากนี้แป้งมันสำปะหลังจะต่างจากแป้งชนิดอื่น เช่นแป้งมันสำปะหลังจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า

แป้งมันฝรั่ง^{5,6} จึงสามารถเกิดการดูดน้ำได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแป้งมันฝรั่งจะมีปริมาณอะไมโลสสูง แต่มีหมู่ฟอสเฟตที่อยู่ภายในโมเลกุลของแป้ง จึงทำให้โมเลกุลของแป้งเป็นประจุลบ การเกิดพันธะกับน้ำสามารถเกิดได้ดี การดูดซึมน้ำจึงสามารถเกิดได้ดีเช่นกัน องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 1.4

1.3.3 ผลของความร้อนต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้ง⁷

ก่อนที่จะนำแป้งไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทใดก็ตาม ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งให้ตรงกับความต้องการก่อนนำไปใช้ โดยเฉพาะการให้ความร้อนแก่แป้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการทำให้แป้งเกิดเป็นเจลได้และยังทำให้สมบัติต่างๆของแป้ง เช่น ความหนืด การดูดซึมน้ำ (water solubility) เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้ส่วนที่บิกระนาบแสงได้ หรือเรียกว่า “ไบรีฟรินเจนท์” (birefringent) หายไป และถ้าหากให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งที่มีน้ำมากเกินไปจนสามารถทำให้แป้งเกิดเป็นเจล เรียกว่าแป้งเกิดเจล (starch gelatinization) และถ้านำแป้งที่เกิดเจลแล้วไปอบให้แห้งทันที แล้วนำไปบดให้ละเอียด จะได้แป้งที่มีสมบัติแตกต่างไปจากแป้งดิบ (native starch) ซึ่งสมบัติต่างๆของแป้งแต่ละชนิดที่ผ่านการให้ความร้อนจะแตกต่างกันออกไป

โดยการให้ความร้อนด้วยวิธีการต้มและกวน จะทำให้แป้งเกิดเจลได้ดีที่สุด โดยสังเกตได้จากการให้ความร้อนนั้นสามารถทำให้ลักษณะอนุภาคของเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป โดยเม็ดแป้งสูญเสียส่วนที่เป็นไบรีฟรินเจนท์ไป นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซึมน้ำได้ดี เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำ เมื่อแป้งได้รับความร้อนจะทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. การสูญเสียสมบัติการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ หรือเรียกว่า ไบรีฟรินเจนท์

โดยทั่วไปเม็ดแป้งจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่เป็นเชิงเส้นหรืออะไมโลส (amylose) และเชิงกิ่งหรืออะไมโลเพกทิน (amylopectin) ที่จัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) ขึ้นลักษณะโครงสร้างแบบนี้จะประกอบด้วยทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite lamella) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous lamella) เรียงตัวสลับกันไปมาเป็นชั้น ๆ โครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกจะเกิดจากบริเวณที่เป็นสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทิน จัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ (double helices) และบางส่วนของเกลียวคู่จะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบขึ้น ลักษณะโครงสร้างที่เป็นระเบียบเช่นนี้ ทำให้เม็ดแป้งมีความสามารถในการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ แต่เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อน ความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างที่เป็นระเบียบถูกทำลาย เม็ดแป้งจึงสูญเสียสมบัติการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์

2. การสูญเสียความเป็นผลึก ในขณะที่ให้ความร้อนแก่เม็ดแป้ง พบว่าโครงสร้างเม็ดแป้งจะ

สูญเสียสมบัติความเป็นผลึกและโครงสร้างที่เป็นระเบียบไป โดยลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-ray diffraction pattern) จะลดลง

3. การเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้ง เมื่อให้ความร้อนแก่เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ พบว่ารูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งจะเปลี่ยนแปลงไป โดยในแป้งบางชนิด เช่น แป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพด เม็ดแป้งจะมีการขยายตัวออกในทุกทิศทาง ทำให้เม็ดแป้งคล้ายคลึงกับแป้งดิบ แต่มีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่แป้งบางชนิด เช่น แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวบาร์เลย์ เม็ดแป้งจะขยายตัวในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น

4. การพองตัวและการละลาย ในขณะที่ให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง พบว่า การเปลี่ยนแปลงในระยะแรก คือการสูญเสียความเป็นระเบียบในโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง ซึ่งในแง่ของการใช้ประโยชน์ของแป้งนั้น นอกจากโครงสร้างผลึกจะถูกทำลายแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่เม็ดแป้งต้องมีการดูดซับน้ำไว้ มีผลทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น นอกจากนี้ขณะที่เม็ดแป้งพองตัวขึ้น โมเลกุลบางส่วนของเม็ดแป้งจะถูกชะออกมา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลของอะไมโลสและโมเลกุลของอะไมโลเพกตินอาจถูกชะออกมาได้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง และสภาวะในการต้มแป้ง (อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มแป้ง)

1.3.4 การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

การเกิดเจลาของเม็ดแป้งแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะมีการดูดซึมน้ำอย่างช้าๆ และจำกัด ทำให้เกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ ระยะที่ 2 เมื่อมีการให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาของแป้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง เม็ดแป้งดูดซึมน้ำมากขึ้น และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ การดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งนี้จะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีบางส่วนของโมเลกุลของแป้งละลายออกมาอยู่ในส่วนใส ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ซึ่งส่วนของแป้งที่ละลายออกมานี้สามารถให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีนได้ และเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำแป้งต่อไป การเกิดเจลาของเม็ดแป้งเข้าสู่ระยะที่ 3 ซึ่งมีการพองตัวและละลายของแป้งเพิ่มมากขึ้น

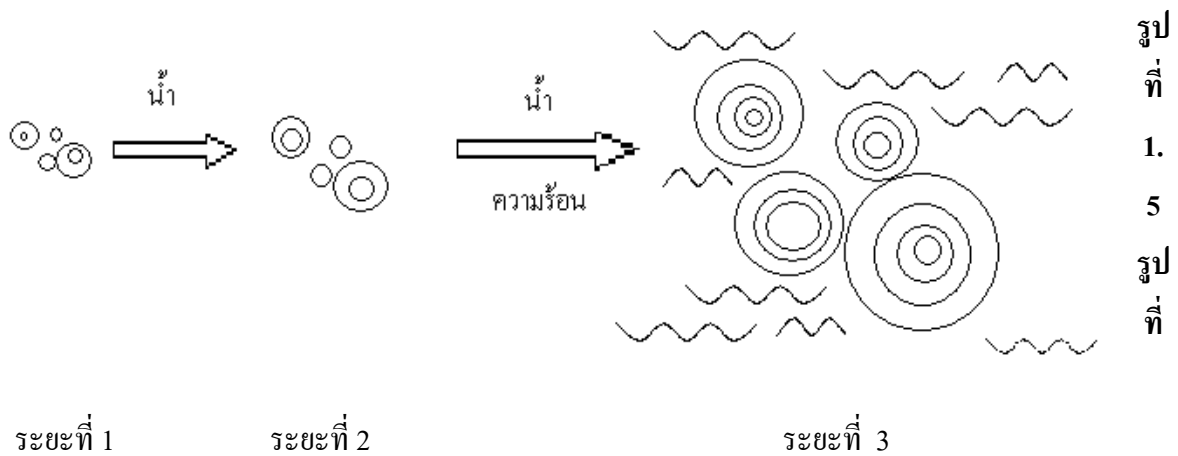
ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติของแป้ง⁸

สมบัติ	ค่า
1. Chemical composition (%dry basis)	
- Protein	0.15 – 0.30

- Fat	0 – 0.01
- Ash	0.10 – 0.15
2. Granule size (μm by image analysis)	3 - 34
3. Amylose content (% by high performance Size exclusion chromatography)	17 - 23
4. Amylose size (Dp_n , by high performance Size exclusion chromatography)	2040 - 4640
5. Swelling power at 85°C (0.1 g starch at 15 ml of distilled water)	40 - 62
6. Solubility (%) at 85°C (0.1 g starch at 15 ml of distilled water)	22 - 42
7. Paste viscosity by rapid Visco Analyzer using 3 g starch at 14% moisture content 25 ml of distilled water	
- Pasting temperature ($^\circ\text{C}$)	67.0 – 74.0
- Peak viscosity (RVU)	350 – 490
- Trough viscosity (RVU)	110 – 210
- Final viscosity (RVU)	180 – 290
- Breakdown (RVU)	160 – 340
- Setback (RVU)	50 - 110
8. Thermal analysis (By Difference Scanning Calorimeter using 30% starch)	
- Onset temperature ($^\circ\text{C}$)	60.0 – 65.0
- Peak temperature ($^\circ\text{C}$)	67.0 – 74.0
- Conclusion temperature ($^\circ\text{C}$)	79.0 – 87.0
- Enthalpy (J/ g)	14.0 – 17.0
9. Degree of hydrolysis (% using 1% each of α -amylose and glucoamylase at 37°C , 48 hr.)	25 - 60

ตารางที่ 1.4 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง^๑

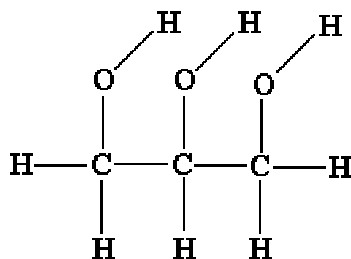
Composition	% (dry basis)
Starch	98.28 ± 0.10
Crude protein	0.10 ± 0.00
Crude fat	0.12 ± 0.07
Ash	0.13 ± 0.00
Fiber	0.04 ± 0.01



1.4 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นหนึ่งในแอลกอฮอล์ที่พบได้มากที่สุดในการบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอน 3 ตัวที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8O_3$ และมีน้ำหนักโมเลกุลคือ 92.09 daltons กลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวเหมือนน้ำเชื่อมที่มีรสหวานรู้จักกันในชื่อของ glycerin, glycerine, 1,2,3-propanetriol และ trihydroxypropane

ในงานวิจัยนี้กลีเซอรอลจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) ซึ่งเมื่อผสมอยู่ในพอลิเมอร์ จะเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์และกลีเซอรอลเป็นแบบไดโพล (dipole) หรือระหว่างหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวที่มีขั้ว (hydroxy group) นอกจากนี้กลีเซอรอลยังทำหน้าที่เป็น compatibilizer เป็นตัวช่วยให้แป้งและยางธรรมชาติผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 1.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล

1.5 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)¹⁰

พอลิเมอร์จำนวนมากมีสมบัติแข็งไม่ยืดหยุ่นและแตกหักง่ายเหมือนแก้วเมื่อมีแรงมากระทบจากภายนอก เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นต้น พอลิเมอร์เหล่านี้จึงไม่เหมาะกับการใช้งาน จนกว่าจะได้มีการทำให้พอลิเมอร์นั้นมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้นหรือไม่แตกหักง่าย กระบวนการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับพอลิเมอร์เรียกว่า “พลาสติไซเซชัน” (plasticization) และสารที่เติมใส่เรียกว่า “พลาสติไซเซอร์” (plasticizer) ดังนั้นพลาสติไซเซอร์คือสารที่เติมใส่กับพลาสติกเพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลได้ (flexibility) ของพลาสติกนั้น โดยทำให้อุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ลดต่ำลงจนถึงขั้นที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เปลี่ยนสมบัติสถานะแข็งเปราะ แตกง่ายเหมือนแก้วไปเป็นวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่นและเหนียว พลาสติไซเซอร์ จำแนกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. พลาสติไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้รวมเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของโซ่โพลิเมอร์ด้วย พันธะระหว่างโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์และพอลิเมอร์แบบโควาเลนต์ ดังนั้นโดยแท้จริงแล้วการเกิดพลาสติไซเซอร์แบบภายในก็คือ การเกิดโคพอลิเมอร์ระหว่างไวนิลโมโนเมอร์และโมโนเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์นั่นเอง เช่น ไวนิลคลอไรด์พลาสติไซค์กับโพลิไวนิลอะซิเตต ทำได้โดยนำไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์กับไวนิลอะซิเตตจำนวนเล็กน้อย มาทำปฏิกิริยาโคพอลิเมไรเซชัน ผลที่ได้ก็คือมีหน่วยไวนิลอะซิเตตเข้าไปแทรกอยู่ในโซ่ของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ได้ ทำให้สมมาตร (symmetry) ของโมเลกุลเสียไป เป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีสมบัติยืดหยุ่นขึ้น ไม่แตกง่าย ไวนิลอะซิเตตจึงจัดเป็นพลาสติไซเซอร์ภายใน ตัวอย่างพลาสติไซเซอร์ภายในอื่นๆ ที่ใช้กับไวนิลคลอไรด์ ได้แก่ ไวนิลิดีนคลอไรด์ (vinylidene chloride) ไดเอทิลฟลูมาเรต (diethylflumarate) และไดเอทิลมาลีเอต (diethyl maleate) เป็นต้น

2. พลาสติไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้ผสมกับ

พอลิเมอร์หรือละลายอยู่ในพอลิเมอร์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซอรเป็นแบบไดโพล (dipole) หรือระหว่างหมู่ที่แสดงสมบัติเฉพาะตัวที่มีขั้ว การเลือกชนิดของพลาสติกไซเซอรที่ใช้กับพอลิเมอร์ใดก็ตาม ต้องพิจารณาถึงการเข้ากันได้ (compatibility) ระหว่างพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซอร พลาสติกไซเซอรจะต้องสามารถผสมเข้ากันกับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี และจะต้องคงสภาพอยู่ในพอลิเมอร์ได้นาน ไม่ซึมหรือระเหยออกมา ดังนั้นควรมีจุดเดือดสูง เพื่อไม่ให้ระเหยออกไปได้ง่าย

บทบาทของพลาสติกไซเซอรภายนอกก็คือ ไปทำหน้าที่ลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นผลให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ความเปราะลดลงไม่แตกหักง่าย

สารที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรมีหลายประเภท ที่สำคัญมีดังนี้

1. เฟทาเลตเอสเทอร์ (phthalate esters) เป็นพลาสติกไซเซอรที่ใช้มากที่สุด ประมาณการว่าเกินกว่าครึ่งหนึ่งของพลาสติกไซเซอรที่ใช้ทั้งหมดเป็นสารจำพวกเฟทาเลตเอสเทอร์นี้ สารที่ใช้มากที่สุดได้แก่ di(2-ethylhexyl)phthalate ซึ่งในอุตสาหกรรมนิยมเรียกว่า dioctyl phthalate (DOP)

2. ฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) ที่สำคัญได้แก่ tricresyl phosphate สารจำพวกฟอสเฟตเอสเทอร์ยังมีสมบัติช่วยป้องกันการติดไฟและลุกไหม้ของพอลิเมอร์

3. สารจำพวกอะดีเปต (adipates) อะซีเลต (azelates) โอลิเอต (oleates) และซีบาเกต (sebacates) พลาสติกไซเซอรเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้กับพอลิเมอร์ที่เตรียมจากไวนิลโมโนเมอร์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ณ อุณหภูมิต่ำ

4. สารจำพวกอีพอกซี (epoxy) ซึ่งเตรียมจากการนำน้ำมันพืชและกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

5. เอสเทอร์ของกรดไขมันจากแหล่งธรรมชาติ สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอรเสริม (secondary plasticizers) หรือเรียกว่า extender พลาสติกไซเซอรเสริมมีความเข้ากันได้ (compatibility) กับพอลิเมอร์ต่ำ เพราะเกิดแรงดึงดูดกันต่ำ พลาสติกไซเซอรเสริมจึงใช้ลำพังไม่ได้แต่ใช้ควบคู่ไปกับพลาสติกไซเซอรที่มีความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์สูงเท่านั้น สารเหล่านี้มีราคาถูก เนื่องจากพลาสติกไซเซอรที่เข้ากันได้กับพอลิเมอร์บางชนิดมีราคาแพงกว่าพลาสติก ดังนั้นการใช้พลาสติกไซเซอรเสริมจึงช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ด้วย

6. อนุพันธ์ไกลคอล (glycol) ส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวหล่อลื่น และทาในแบบฟิมพ์ ช่วยทำให้พลาสติกหลังแปรรูปไม่ติดแบบฟิมพ์ สะดวกต่อการแกะออก

7. ซัลโฟนาไมด์ (sulfonamides) ส่วนใหญ่ใช้กับเซลลูโลสเอสเทอร์ (cellulose esters) พลาสติกจำพวกฟีนอลิก (phenolics) และอะมิโน (amino) อะไมด์ (amide) และโพรตีน

8. ไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอน สารประเภทนี้ก็ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร

เสริมเช่นกัน

1.6 Thermoplastic Starch (TPS)

ในธรรมชาติโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีการจัดเรียงตัวกัน โดยมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่ค่อนข้างแข็งแรงอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีอุณหภูมิการหลอมตัวสูงมาก โดยปกติอุณหภูมิการหลอมตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัว ทำให้แป้งไม่สามารถหลอมตัวได้ นั่นคือถ้าได้รับความร้อนสูง (มากกว่า 265 °C) แป้งจะเกิดการเผาไหม้ก่อนการหลอมตัว

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หมายถึงวัสดุที่สามารถหลอมตัว และนำไปขึ้นรูปแบบต่างๆได้ โดยการใช้ความร้อนและความดัน จากคุณสมบัติของแป้งที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าโดยธรรมชาติแล้ว แป้งไม่มีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเลย อย่างไรก็ตามเราสามารถทำให้แป้งมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกได้ โดยการใช้ Additive (Plasticizer) ช่วยทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินเป็นอิสระมากขึ้น ดังนั้นเราจึงสามารถนำแป้งมาขึ้นรูปเป็นแผ่น หรือขึ้นรูปเป็นรูปต่างๆได้ พลาสติกที่ผลิตได้โดยวิธีนี้เรียกว่า Thermoplastic Starch (TPS) ซึ่งตัวอย่างพลาสติกไฮเซอรท์ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดได้แก่น้ำ อย่างไรก็ตามในการผลิต TPS นั้น น้ำจัดเป็นพลาสติกไฮเซอรท์ที่ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากน้ำสามารถระเหยและเกิดการสูญเสียน้ำออกจาก TPS ได้ ซึ่งส่งผลให้พลาสติกที่ผลิตขึ้นมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษา พลาสติกไฮเซอรท์ที่นิยมส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มของ polyhydric alcohol เช่น glycerol, ethylene glycol, sorbitol, polyethylene glycol เป็นต้น

พลาสติกที่ผลิตโดยวิธีนี้จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งโมเลกุลของแป้งมีลักษณะเป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ทำให้พลาสติกที่ผลิตขึ้นมีความไวต่อความชื้น กล่าวคือถ้าเก็บไว้ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง โมเลกุลแป้งจะมีการดูดซับน้ำจากสิ่งแวดล้อม ทำให้พลาสติกมีลักษณะแห้งและเปราะ (brittle) นอกจากนี้ TPS ยังมีสมบัติไม่ทนน้ำอีกด้วย หากสัมผัสน้ำจะเกิดการพองตัวและละลายโมเลกุลของแป้งได้ การปรับปรุงคุณสมบัติของการทนน้ำให้ได้ดีขึ้นอาจทำได้โดยการผสม TPS กับพลาสติกสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติทนน้ำ หรือทำการดัดแปลงโมเลกุลของแป้งให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มากขึ้น

1.7 ยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Elastomers, TPEs)

ยางเทอร์โมพลาสติก คือพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่รวมเอาสมบัติของทั้งยางและพลาสติกเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ยางเทอร์โมพลาสติกจะมีกระบวนการขึ้นรูปแบบเดียวกับพลาสติกทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน (PE) หรือพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นต้น แต่ยางเทอร์โมพลาสติกจะมีสมบัติและการใช้งานเหมือนยางคงรูป

เนื่องจากยางเทอร์โมพลาสติกไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการคงรูปก่อนนำไปใช้งาน ดังนั้น ยางเทอร์โมพลาสติกจึงมีสมบัติเหมือนยางเฉพาะในอุณหภูมิบางช่วงเท่านั้น โดยทั่วไป ยางเทอร์โมพลาสติกจะมีสมบัติเหมือนยางที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง (ขึ้นอยู่กับชนิดของยางเทอร์โมพลาสติกนั้นๆ) ยางเทอร์โมพลาสติกก็จะอ่อนตัวและมีสมบัติเหมือนพลาสติก กล่าวคือสามารถไหลได้ง่ายจึงสามารถนำยางเทอร์โมพลาสติกไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องมือทั่วไปที่ใช้สำหรับขึ้นรูปพลาสติก เช่น เครื่องฉีด (injection molding machine) เครื่องเป่า (blow molding machine) หรือเครื่องเอ็กทรูดเดอร์ (extruder) เป็นต้น เมื่อยางเทอร์โมพลาสติกถูกทำให้เย็นลงภายหลังการขึ้นรูป ยางเทอร์โมพลาสติกก็จะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวที่ไหลได้ง่ายไปเป็นของแข็งที่มีสมบัติเหมือนยาง ซึ่งการเปลี่ยนสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นได้โดยง่ายและสามารถย้อนกลับได้ เศษยางเทอร์โมพลาสติก (scrap) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้โดยการบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วจึงนำไปผสมกับเทอร์โมพลาสติกตั้งต้น (virgin material) เพื่อนำไปขึ้นรูปต่อไป

เนื่องจากยางเทอร์โมพลาสติกมีกระบวนการผลิตที่ง่ายกว่ายางทั่วไปและยังมีสมบัติที่ดีหลายประการอีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำใหยางเทอร์โมพลาสติกเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมยาง ปัจจุบันจึงได้มีการนำยางเทอร์โมพลาสติกมาใช้แทนยางคงรูปในการใช้งานอย่างหลากหลาย

ข้อดีและข้อเสียของยางเทอร์โมพลาสติก

เมื่อเปรียบเทียบกับยางคงรูปแล้ว ยางเทอร์โมพลาสติกมีข้อดีหลายประการดังนี้

1. เนื่องจากยางเทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่ได้รับการผลิตมาเพื่อพร้อมที่จะถูกใช้งาน ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องผสมสารเคมี (หรือการผสมสารเคมีที่ยุ่งยากเหมือนเช่นในกรณีของยางทั่วไป) ด้วยเหตุนี้ ปัญหาด้านความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างการผสมสารเคมีแต่ละครั้ง (batch-to-batch variation) จึงหมดไป นอกจากนี้ ยังช่วยประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการผสมและกระบวนการคงรูปอีกด้วย

2. ยางเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดจะใช้เวลาในการฉีดสั้นมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการผลิต (productivity) สูงขึ้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีต้นทุนต่ำลง

3. เศษยางเทอร์โมพลาสติกที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย ในขณะที่เศษยางคงรูปส่วนใหญ่มักถูกนำไปทิ้งเนื่องจากนำกลับมาใช้ใหม่ได้ยาก
4. ยางเทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่มีความหนาแน่นต่ำกว่ายางคงรูปทั่วไป
5. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางเทอร์โมพลาสติกมีความสม่ำเสมอด้านคุณภาพสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางคงรูป
6. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความถูกต้องด้านขนาดมากกว่า (tighter dimensional tolerance)
7. ยางเทอร์โมพลาสติกสามารถทำให้เป็นสีต่างๆที่ต้องการได้ง่าย
8. ยางเทอร์โมพลาสติกมีกระบวนการผลิตที่ง่าย ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานคนที่ มีทักษะสูงมาก
9. ไม่ก่อให้เกิดสารพิษ เช่น nitrosamine ในระหว่างกระบวนการผลิต

อย่างไรก็ดี ยางเทอร์โมพลาสติกก็มีข้อด้อยเมื่อเปรียบเทียบกับยางคงรูป กล่าวคือ

1. ยางเทอร์โมพลาสติกมีความยืดหยุ่นต่ำกว่ายางคงรูป
2. ยางเทอร์โมพลาสติกมีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่ายางคงรูป
3. ยางเทอร์โมพลาสติกสามารถหลอมและไหลได้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่สามารถนำไปในงานในที่อุณหภูมิสูงมากๆ ได้
4. ยางเทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่มีความแข็งค่อนข้างสูง
5. ในบางกรณี อาจจำเป็นต้องนำยางเทอร์โมพลาสติกไปอบเพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต

1.8 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
2. เพื่อพัฒนาคุณสมบัติการสลายตัวในธรรมชาติของพอลิเมอร์ผสม
3. เพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ เช่น Universal tensile testing, Scanning Electron Microscope และ Thermo gravimetric/ Differential Thermal Analyzer

1.9 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำยางมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอล

เป็นพลาสติกไฮเซอร์ ในการทดลองจะทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้ Universal tensile testing และทดสอบสมบัติทางเคมี เช่น การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวในโทลูอีน (Swelling)

2. การทดลอง

2.1 วัสดุและสารเคมี

- 2.1.1 Natural rubber latex (บจม.ไทยอ้อยยางพารา จังหวัดอุดรธานี)
- 2.1.2 Cassava starch (หจก. เกรียงไกรค้าแป้ง จังหวัดนครปฐม)
- 2.1.3 Glycerol (Carlo Erba Reagent)

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 2.2.1 เครื่องปั่นผสม (mixer, Kitchen Aid, USA)
- 2.2.2 Heating Bath (B-490, Büche)
- 2.2.3 Oven (Fisher Scientific)
- 2.2.4 Universal Tensile Tester (INSTRON 5567)
- 2.2.5 Scanning Electron Microscope (LEO 1450VP)
- 2.2.6 Thermogravimetric/ Differential Thermal Analyser (PERKIN ELMER INSTRUMENTS Pyris Diamond TG/DTA)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การหาปริมาณ Dry Rubber Content (%DRC) ของยางธรรมชาติ

การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) ของยางตัวอย่างจะเป็นการทดลองหาเพื่อนำมาคำนวณปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เริ่มต้นซึ่งตัวอย่างน้ำยางข้น 5 กรัม เติมน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร จากนั้นค่อย ๆ หยดกรดอะซิติกความเข้มข้น 2% v/v ให้เนื้อยางจับตัวกันแยกออกมาจากส่วนที่เป็นซีรัม จากนั้นใช้น้ำปราศจากไอออนล้างเนื้อยางที่ได้ และอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักของเนื้อยางแห้งที่ได้ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณของเนื้อยาง สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\% \text{ DRC} = \frac{\text{น้ำหนักยางแห้งหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักยางแห้งก่อนอบ}}$$

2.3.2 การเตรียมแป้งในรูปของเจล

เตรียมแป้งในรูปของเจล ในอัตราส่วนน้ำต่อแป้ง 80:20 กวนตลอดเวลาให้เข้ากัน ที่ 95 °C จนกระทั่งแป้งอยู่ในรูปเจลอย่างสมบูรณ์¹¹ แล้วนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวของชิ้นงานในโทลูอิน

2.3.3 การผสมยางธรรมชาติกับแป้งและกลีเซอรอล

นำแป้งในรูปของเจลมาผสมกับยางแล้วเติมกลีเซอรอลด้วยเครื่องปั่นผสม ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอุ่นใน heating bath ที่อุณหภูมิ 95 °C แล้วนำไปปั่นอีกครั้งในเครื่องปั่นผสมเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำตัวอย่างจากการปั่นผสมมา 200 g นำไปเทลงในถาดอะลูมิเนียม ขนาด 18.5×28.5 cm² ที่มีแผ่นพลาสติกใสรองอยู่ที่ก้นถาดเพื่อป้องกันการติดกันของยางขณะกับชิ้นงาน จากนั้นจึงนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 16 ชั่วโมง

2.3.4 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal Tensile Testing)

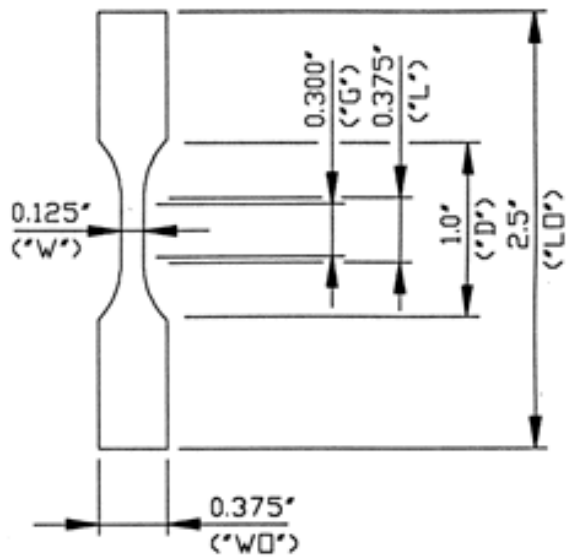
สมบัติความทนทานต่อแรงดึงเป็นสมบัติเชิงกลพื้นฐาน ที่โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพหรือ สเปคของผลิตภัณฑ์ วิธีการวัดคือจะให้แรงดึงกับชิ้นงานกับตัวอย่างจนกระทั่งชิ้นงานขาด วัดความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด ณ จุดขาด และสามารถบอกได้ว่าชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยยึดได้กี่เปอร์เซ็นต์ วิธีวัดและชิ้นงานที่ใช้จะต้องทำตามมาตรฐานที่กำหนด นำชิ้นงานมาตัดให้เป็นรูปดัมเบล¹² ดังรูปที่ 2.2 แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง INSTRON 5567 Universal Tensile Tester โดยเครื่องจะเริ่มดึงขึ้น ด้วยอัตราเร็ว 50 mm/min จากศูนย์เรื่อยไปจนกว่าชิ้นงานจะขาดพร้อมกันนั้นก็วัดส่วนที่ยืดออกเทียบกับแรงที่กระทำ (โดยอัตโนมัติ) แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Diagram) โดย ผ่านทางเครื่องบันทึก ทำการวัด 5 ครั้งต่อชิ้นตัวอย่าง

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนการผสมของสาร

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	อัตราส่วนยางต่อเจลแข็ง	ชื่อตัวอย่าง
0	100/0	100:0:0
	90/10	90:10:0
	80/20	80:20:0
	70/30	70:30:0
	60/40	60:40:0
	50/50	50:50:0
5	90/10	90:10:5
	80/20	80:20:5
	70/30	70:30:5
	60/40	60:40:5
	50/50	50:50:5
10	90/10	90:10:10
	80/20	80:20:10
	70/30	70:30:10
	60/40	60:40:10
	50/50	50:50:10
15	90/10	90:10:15
	80/20	80:20:15
	70/30	70:30:15
	60/40	60:40:15
	50/50	50:50:15
20	90/10	90:10:20
	80/20	80:20:20
	70/30	70:30:20
	60/40	60:40:20
	50/50	50:50:20



รูปที่ 2.1 เครื่องทดสอบแรงดึง



รูปที่ 2.2 ลักษณะตัวอย่างที่ตัดเป็นรูปคัมเบลตามมาตรฐาน ASTM

2.3.5 การศึกษาสัณฐานวิทยา (morphology) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับส่องดูลักษณะพื้นผิวและสามารถให้รายละเอียดต่างๆ ได้มาก โดยอาศัยลำแสงอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจ สอบ เกิดเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ง่ายด้วยตาเปล่าและสามารถบันทึกภาพบนแผ่นฟิล์มได้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนจะให้ภาพที่มีรายละเอียดมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา (Optical Microscope, OM) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยตัดตัวอย่างแบบ cross-section นำไปวางไว้บน aluminium stub เคลือบด้วยทองในสุญญากาศ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope โดยวางชิ้นทดสอบลงบนฐานวางตัวอย่างในสุญญากาศซึ่งสามารถปรับเลื่อนไปในทิศต่างๆ เพื่อหาตำแหน่งที่ต้องการส่องดู บันทึกผลที่ได้ผ่านทางคอมพิวเตอร์

2.3.6 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน โดยใช้ Thermogravimetric/ Differential Thermal Analyzer (TG-DTA Instrument)¹³

Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์เป็นการวิเคราะห์หาชนิดของวัสดุจากการวัดความแตกต่างของความร้อนเมื่อเทียบกับสารอ้างอิง (reference material) เช่นเมื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์กับสารอ้างอิง ความร้อนจะทำให้สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของตัวอย่างเปลี่ยนแปลง ในขณะที่สารอ้างอิงไม่เปลี่ยนแปลง ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสารตัวอย่างกับสารอ้างอิงจากปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน จะถูกนำมาวิเคราะห์หาชนิดของสาร โดยใช้เส้นกราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ เนื่องจากสารแต่ละชนิดจะให้ปฏิกิริยาการดูดหรือคายความร้อน จึงใช้สมบัติข้อนี้ในการจำแนกชนิดของสาร คุณสมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ Glass Transition Temperature ปริมาณผลึก จุดหลอมเหลว ศึกษาการสลายตัวทางความร้อนของตัวอย่างจากปฏิกิริยา Decarboxylation และ Dehydration ตัวอย่างที่วิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้เทคนิคนี้ต้องอยู่ในสถานะของแข็ง สารตัวอย่างได้รับความร้อนสูงจากแหล่งให้ความร้อนซึ่งเป็นระบบเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50-1600 °C มีอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ 0.1 - 100 °C ความแม่นยำของอุณหภูมิ ± 0.2 °C มีระบบทำให้เตาเผาเย็นแบบอัตโนมัติโดยใช้อากาศ ระบบการทำงานและการประมวลผลถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนทาง TGA เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสารเมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนสูงและเกิดการสลายตัว เครื่อง TGA มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของตัวอย่าง ใช้ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสารเช่น ปริมาณตัวทำ

ละลาย ความชื้น ปริมาณสารเติมแต่ง ปริมาณคาร์บอนแบล็ก ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ และการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของตัวอย่างพอลิเมอร์ ขาง วิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งสถานะของแข็งของเหลว ผง แผ่นฟิล์ม และเส้นใย ระบบเครื่องซึ่งมีความละเอียดในการวิเคราะห์สูงถึง 0.1 ไมโครกรัม มีความถูกต้องของน้ำหนักมากกว่า 0.1% ความแม่นยำของอุณหภูมิ $\pm 5^{\circ}\text{C}$ แหล่งให้ความร้อนเป็นระบบใช้เตาเผาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50-1500 $^{\circ}\text{C}$ มีอัตราการเพิ่มลดอุณหภูมิ 0.1 – 200 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ มีระบบทำให้เตาเผาเย็นอย่างรวดเร็วโดยใช้อากาศ ระบบการทำงานและการประมวลผลถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปเทอร์โมแกรมระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ หรือเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$, และใช้อุณหภูมิระหว่าง 40-400 $^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ใช้อะลูมินาเป็นสารอ้างอิง



รูปที่ 2.3 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis, Differential Gravimetry and Differential Thermal Analyzer (TGA/DTG/DTA)

2.3.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวในโทลูอิน (Swelling)^{3,14}

ชั่งชิ้นงานประมาณ 0.8 กรัม (w_0) จากนั้นใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml ปิดฝา โทลูอินปริมาตร 30 ml ลงในขวดรูปชมพู่ให้ท่วมแผ่นยาง ปิดปากขวดด้วยแผ่น aluminium foil แล้วปิดด้วยพาราฟินอีกครั้งหนึ่งเพื่อไม่ให้โทลูอินระเหยออก ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นคิบน้ำหนักออกมา ใช้กระดาษทิชชูซับแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกผล (w_1) แล้วนำชิ้นงานไปประเหยตัวทำละลายออก โดยวางทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน

เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักอีกครั้งแล้วบันทึกผล (w_2) น้ำหนักของ w_2 ควรใกล้เคียงกับน้ำหนักเริ่มต้น เพื่อแสดงว่าไม่เกิดการละลายของชิ้นตัวอย่างคำนวณหาค่า Swelling Ratio จากสมการ

$$\text{Swelling Ratio} = \frac{[(w_1 - w_0)] \times 100}{w_0}$$

เมื่อ w_1 คือน้ำหนักเริ่มต้นของยาง

w_1 คือน้ำหนักของยางหลังแช่ในโทลูอินเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

w_2 คือน้ำหนักของยางหลังจากปล่อยให้แห้งในโทลูอินระเหยออกเป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ผลการศึกษา Dry Rubber Content (DRC) ของน้ำยางข้นที่ใช้ในการศึกษาซึ่งเก็บมาจาก จังหวัดอุดรธานี พบว่าน้ำยางข้นที่ใช้ในการศึกษามีค่า %DRC เท่ากับ $30.25 \pm 0.48\%$ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่า Dry Rubber Content (DRC) ของน้ำยางที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่าง	Dry Rubber Content (DRC) (%)
1	29.77
2	30.25
3	30.73
เฉลี่ย	30.25 ± 0.48

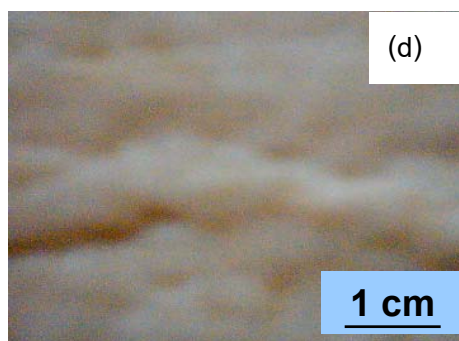
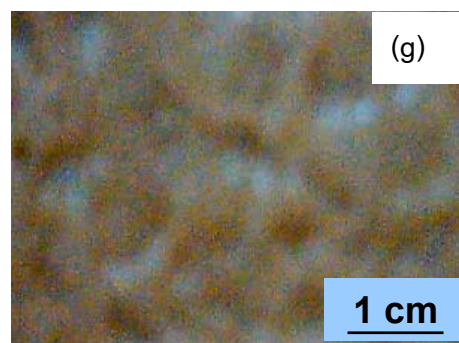
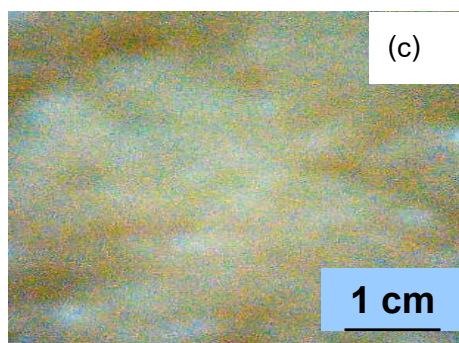
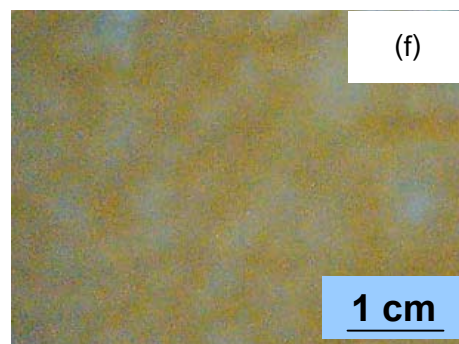
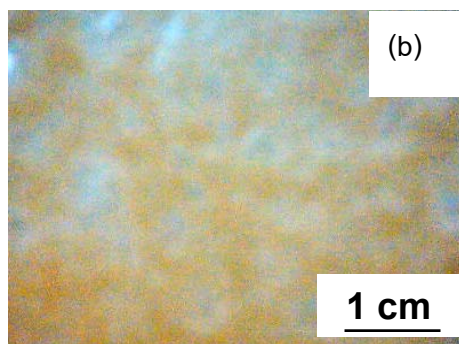
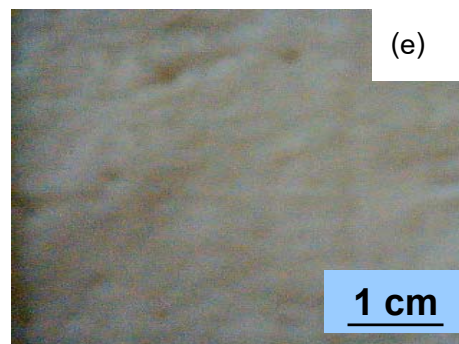
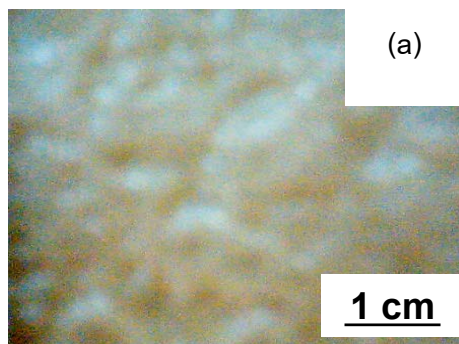
3.2 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.1 พบว่า ผลจากการเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ลงไปในพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ นั้น เมื่อปริมาณ กลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น รูปทรงของชิ้นงานจะมีขนาดเล็กลง พอลิเมอร์ผสมกันได้ดีขึ้น⁸ ชิ้นงานเรียบเนียน ผิว ของชิ้นงานอ่อนมากขึ้น มีความชุ่มเพิ่มมากขึ้น มีความเหนียวติดพลาสติกที่รองกันถาดมากขึ้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งที่ผสมด้วย นั่นคือเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นมากๆ แต่มีปริมาณแป้งน้อย (อัตราส่วน 90:10:15 และ 90:10:20) พบว่ามีกลีเซอรอลไหลเยิ้มออกมาเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เติม กลีเซอรอล ในขณะที่ชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลมีลักษณะแข็ง ค่อนข้างกรอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีเมื่อ ปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานก็ยิ่งกรอบมากขึ้น ดังเช่นอัตราส่วน 50:50:15 นั่นคือกลีเซอรอลซึ่งจัด เป็นพลาสติกไซเซอร์ภายนอก มีบทบาทช่วยลดความเปราะหรือการแตกหักของชิ้นงาน

ตารางที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานของชิ้นงานตัวอย่างอัตราส่วนต่างๆ

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	อัตราส่วนยาง:แป้ง	ลักษณะชิ้นงาน				
		ความหนา (mm)	ขนาดรูพรุน	ความเป็นเนื้อเดียวของชิ้นงาน	ความขุ่น	ความอ่อนที่ผิวของชิ้นงาน
0	100/0	1.22	O	●●●	●	●●
	90/10	1.74	●●●	●	●●	●●
	80/20	2.52	●●●	●	●●	●●
	70/30	2.39	●●●	●	●●	●●
	60/40	3.00	●●	●	●●●	●
	50/50	-	●●	●	●●●	●
5	90/10	1.61	●●	●	●●●	●●
	80/20	1.35	●●	●	●●●	●●
	70/30	1.91	●●	●	●●●	●●
	60/40	1.72	●●	●	●●●	●●
	50/50	-	●●	●	●●●	●
10	90/10	1.64	●●	●	●●●	●●
	80/20	1.18	●●	●	●●●	●●
	70/30	1.55	●●	●	●●●	●●
	60/40	1.64	●●	●	●●●	●●
	50/50	-	●●	●●	●●●	●●
15	90/10*	2.16	●●	●●	●●●	●
	80/20	2.59	●●	●●	●●●	●
	70/30	2.92	●●	●●	●●●	●
	60/40	1.97	●●	●●	●●●	●
	50/50	-	●●	●	●●●	●
20	90/10*	-	●	●●●	●●●	●
	80/20	-	●	●●●	●●●	●●●
	70/30	-	●	●●●	●●●	●●●
	60/40	-	●	●●●	●●●	●●●
	50/50	-	●	●●●	●●●	●●●

หมายเหตุ * มีกลีเซอรอลเติม O ไม่มี ● น้อย ●● ปานกลาง ●●● มาก



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะภายนอกของชิ้นงานอัตราส่วน
60:40:5 (a), 70:30:0 (b), 70:30:5 (c),
70:30:10 (d), 70:30:5 (e), 80:20:0 (f)
และ 80:20:5 (g)

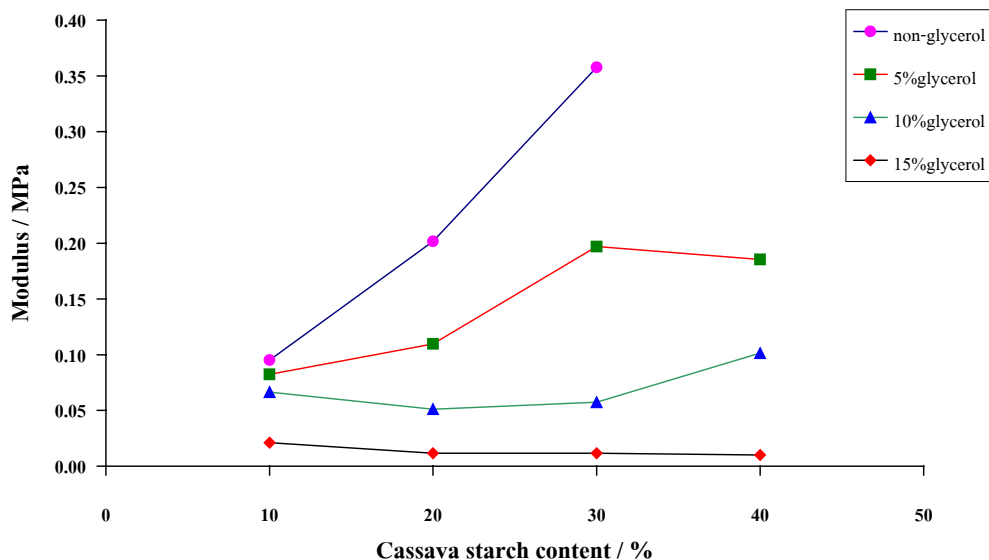
3.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น UTS มอดูลัส Percent elongation at break และพื้นที่ใต้กราฟ (toughness) ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอลที่อัตราส่วนต่างๆ กัน แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2-3.8

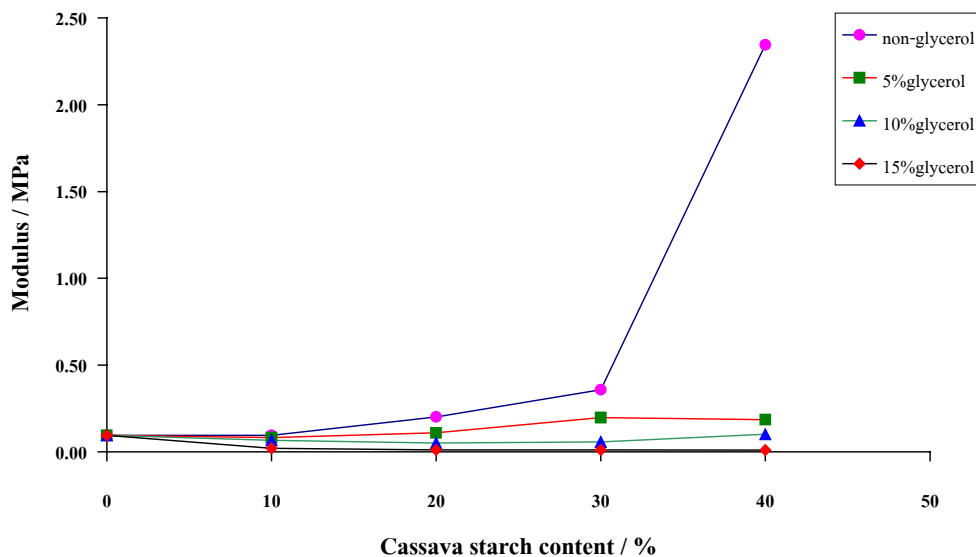
3.3.1 ผลของปริมาณแป้งต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 3.2 ก และ ข แสดงผลจากการคำนวณค่ามอดูลัสที่ 2% และ 10% ดังแสดงใน พบว่าทั้งในชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลและเติมกลีเซอรอล เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นคือปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ชิ้นงานสามารถทนต่อแรงดึงได้มาก¹⁵ เกิดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้ค่ามอดูลัส มากกว่าชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล

ส่วนในชิ้นงานที่ปริมาณกลีเซอรอล 15% พบว่าค่ามอดูลัสมีค่าต่ำและใกล้เคียงกัน มีความเป็น elastic สูงในทุกสัดส่วนของกลีเซอรอล ซึ่งแสดงว่าชิ้นงานที่ได้ทนต่อแรงที่มากกว่ามี ความยืดหยุ่นสูง เกิดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานได้ง่ายกว่าอัตราส่วนอื่น ชิ้นงานที่ให้ค่ามอดูลัสดีที่สุดคือ ชิ้นงานที่มีปริมาณแป้ง 30% คืออัตราส่วน 70:30:5 และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีปริมาณแป้ง 0% และ ไม่มีกลีเซอรอล (100:0:0) พบว่าอัตราส่วน 70:30:5 ให้ค่ามอดูลัสมากกว่า



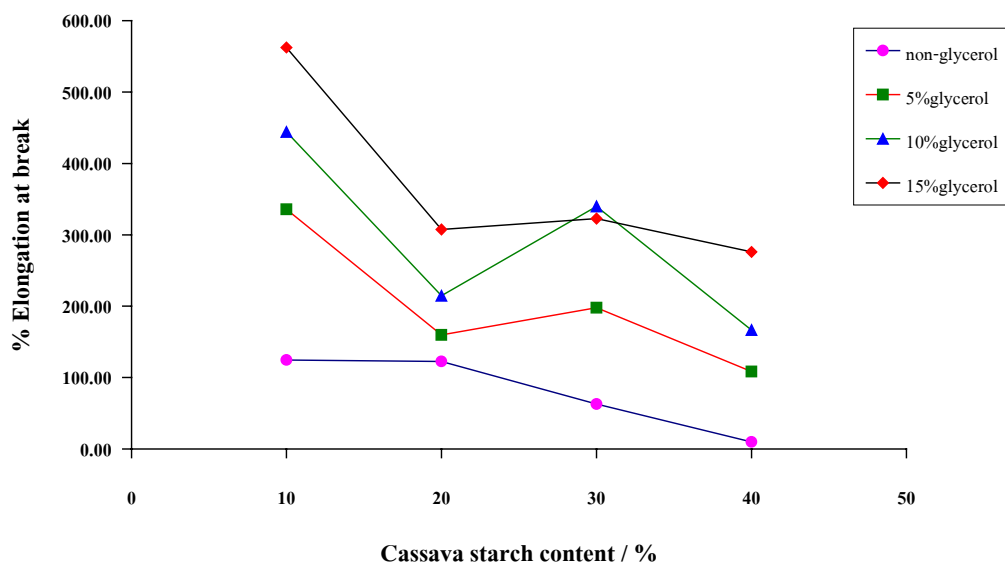
รูปที่ 3.2.ก ผลของ cassava starch content ต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้ง และกลีเซอรอล



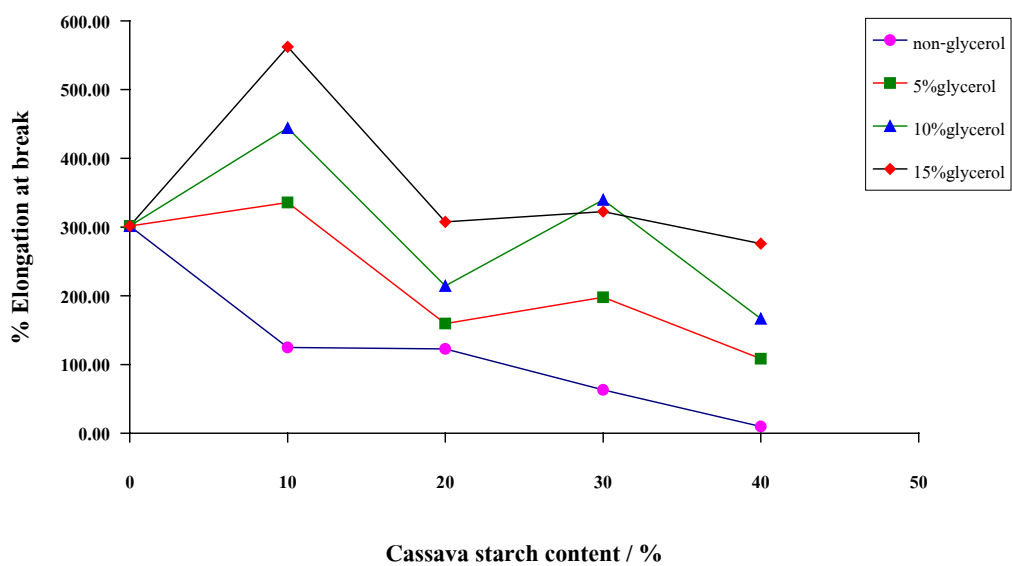
รูปที่ 3.2.ข ผลของ cassava starch content ต่อค่ามอดุลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล เทียบกับยางธรรมชาติผสมที่ไม่ได้เติมกลีเซอรอล

3.3.2 ผลของปริมาณแป้งต่อค่า percent elongation at break ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 3.3 ก และ ข พบว่าทั้งชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอลและไม่เติมกลีเซอรอล เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ค่า % elongation at break มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นน่าจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานน้อย จะเห็นว่าชิ้นงานที่ให้ค่า % elongation at break ดีที่สุดคือชิ้นงานที่มีปริมาณแป้ง 10% คืออัตราส่วน 90:10:15



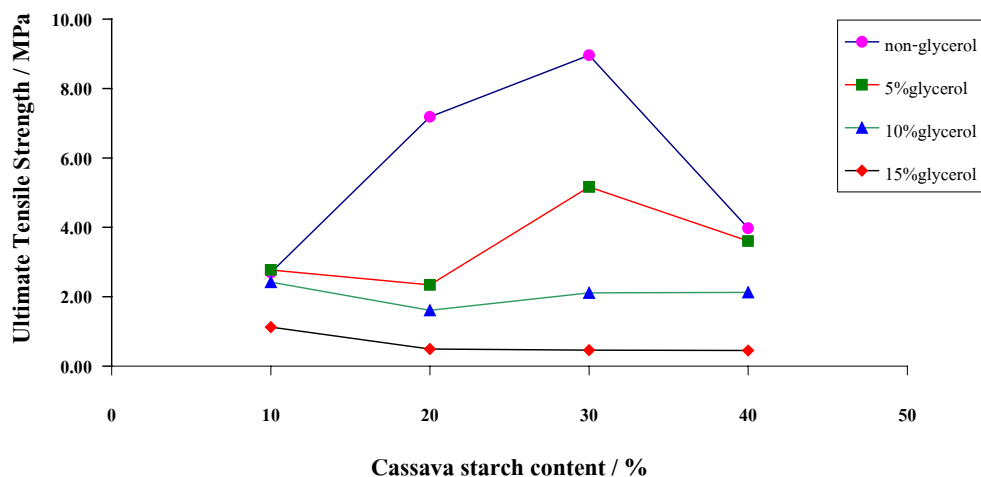
รูปที่ 3.3.ก แสดงผลของ cassava starch content ต่อค่า % elongation at break ของยางธรรมชาติที่ ผสม กับแป้งและกลีเซอรอล



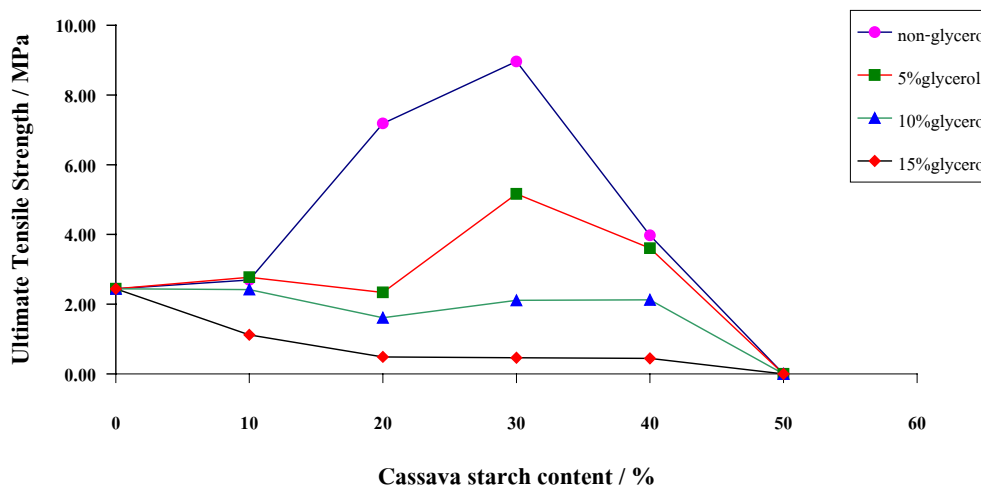
รูปที่ 3.3.ข แสดงผลของ cassava starch content ต่อค่า % elongation at break ของยางธรรมชาติ ที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล เทียบกับยางธรรมชาติผสมที่ไม่ได้เติมกลีเซอรอล

3.3.3 ผลของปริมาณแป้งต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 3.4 ก และ ข พบว่าค่า UTS ทั้งในชั้นงานที่เติมกลีเซอรอลและไม่เติมกลีเซอรอล มีแนวโน้มเดียวกัน คือในขณะที่ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น พบว่าค่า UTS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอัตราส่วนหนึ่ง ค่า UTS จะมีแนวโน้มลดลง ในช่วงหลังซึ่งปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้น แล้วมีผลทำให้ค่า UTS ลดลง นั้น อาจเกิดจากการแยกเฟสและความเปราะของแป้ง ชั้นงานที่ให้ค่า UTS ดีที่สุดคือชั้นงานที่มีปริมาณแป้ง 30% คืออัตราส่วน 70:30:5



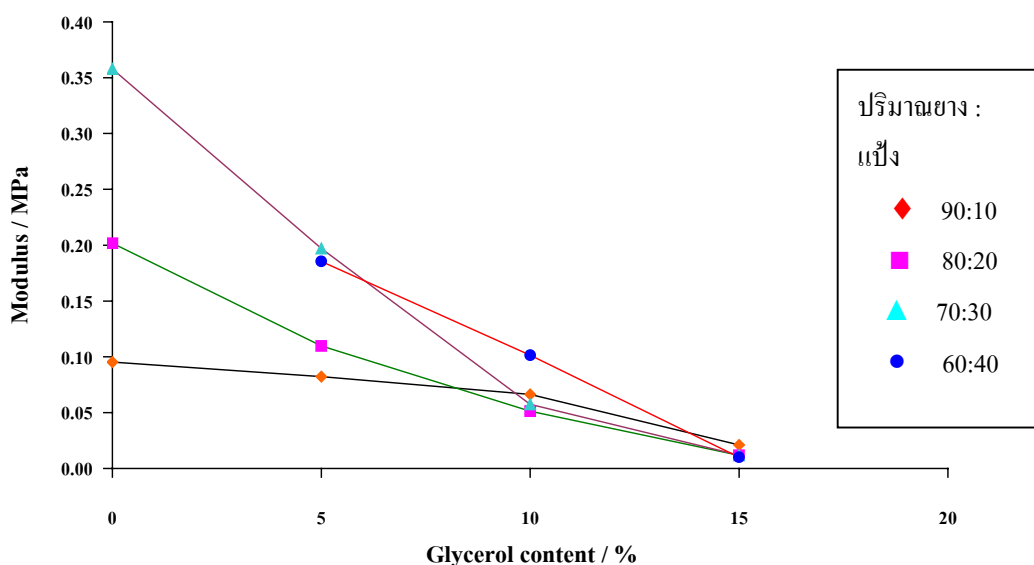
รูปที่ 3.4.ก ผลของ cassava starch content ต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล



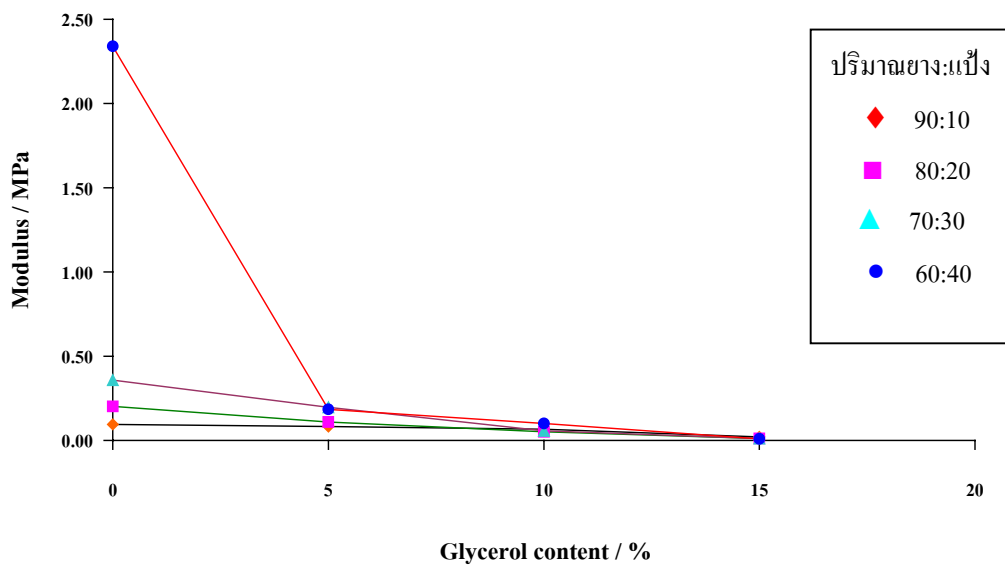
รูปที่ 3.4.ข ผลของ cassava starch content ต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

3.3.4 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 3.5 พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเท่ากัน จะเห็นว่าชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล ให้ค่ามอดูลัสสูงสุด คืออัตราส่วน 60:40:0 ส่วนชิ้นงานที่มีการเติมกลีเซอรอล พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะชิ้นงานที่ปริมาณกลีเซอรอล 15% พบว่าค่ามอดูลัสมีค่าต่ำและใกล้เคียงกัน มีความยืดหยุ่นสูงในทุกๆสัดส่วนของกลีเซอรอล ซึ่งแสดงว่าชิ้นงานที่ได้ทนต่อแรงที่มากระทำได้น้อยกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานได้ง่ายกว่าอัตราส่วนอื่น แสดงว่าการเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ มีบทบาททำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ลดความแตกเปราะของชิ้นงานลงไม่หักง่าย¹⁶ และชิ้นงานที่ให้ค่ามอดูลัสดีที่สุดคือ ชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 5% อัตราส่วน 70:30:5



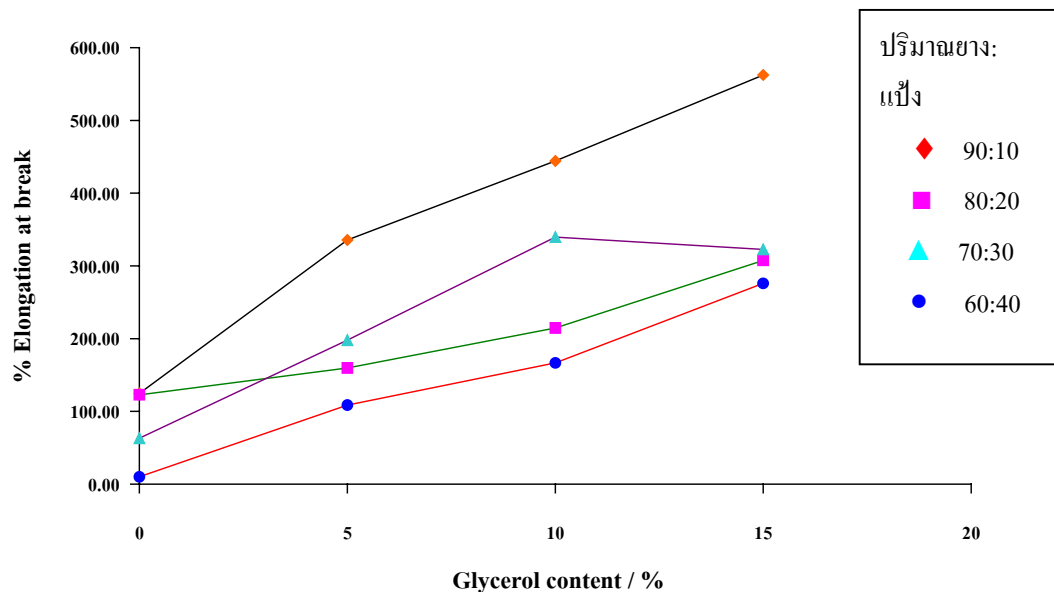
รูปที่ 3.5.ก แสดงผลของ glycerol content ต่อค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล



รูปที่ 3.5.ข แสดงผลของ glycerol content ต่อค่ามอดุลัสของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

3.3.5 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า percent elongation at break ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 3.6 พบว่าในชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้ค่า % elongation at break ต่ำที่สุด ส่วนในชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล จะเห็นว่าเมื่อปริมาณแป้งเท่ากัน ในขณะที่ เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น % elongation at break เพิ่มขึ้น มีความยืดหยุ่นสูงขึ้นในทุกๆสัดส่วนของกลีเซอรอล ชิ้นงานที่ให้ค่า % elongation at break ดีที่สุดคือชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 15% อัตราส่วน 90:10:15 แสดงว่าการเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์มีบทบาททำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น ความเปราะลดลง ไม่แตกหักง่าย^{17, 18}

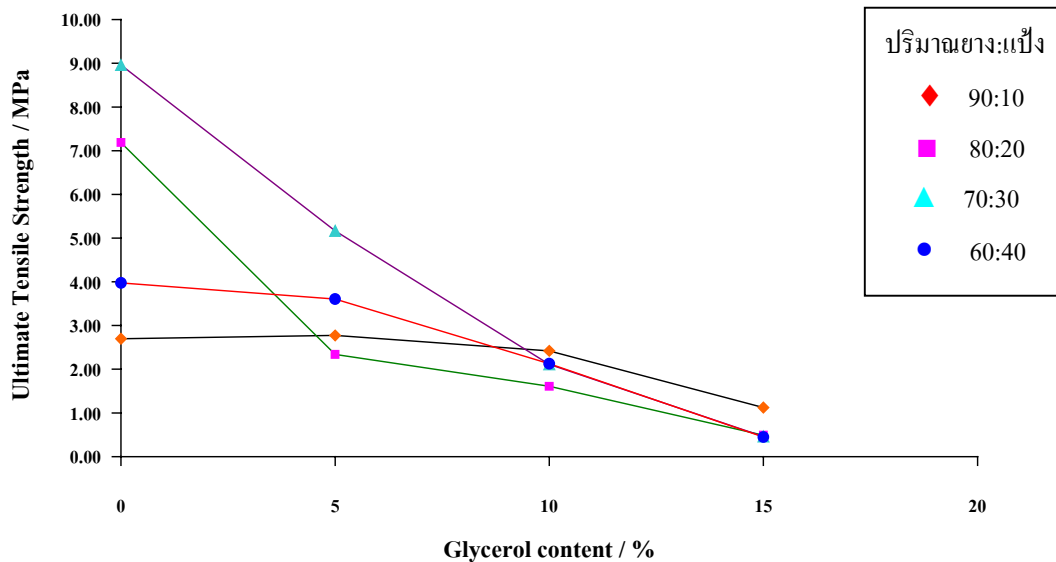


รูปที่ 3.6 ผลของ glycerol content ต่อค่า % elongation at break ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้ง และกลีเซอรอล

3.3.6 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

จากรูปที่ 3.7 พบว่า ค่า UTS ในชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอลนั้น มีแนวโน้มลดลง ยิ่งกลีเซอรอลมีปริมาณมาก ค่า UTS ก็ยิ่งลดลงมาก จะเห็นว่าชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล 15 % ให้ค่า UTS ต่ำสุดในทุกอัตราส่วน ชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้ค่า UTS สูงกว่า นั่นคือกลีเซอรอลมีผลต่อความยืดหยุ่นของชิ้นงานโดยตรง

ชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล ซึ่งให้ค่า UTS สูงสุด คือชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล 5% อัตราส่วน 70:30:5 นั่นคือชิ้นงานอัตราส่วน 70:30:5 นี้ เป็นชิ้นงานที่ทนต่อแรงดึงสูงสุด



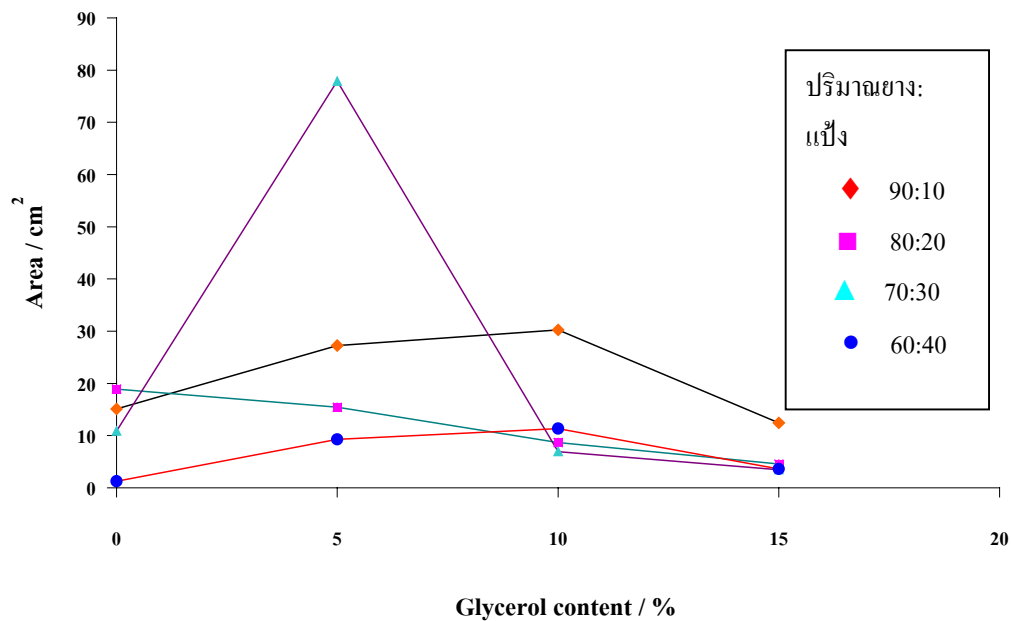
รูปที่ 3.7 ผลของ glycerol content ต่อค่า UTS ของยางธรรมชาติที่ผสมกับแป้งและกลีเซอรอล

3.3.7 การหาพื้นที่ใต้กราฟของพอลิเมอร์ผสม

การหาพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด เป็นการบอกถึงค่าความเหนียว (toughness) ของชิ้นงาน จากรูปที่ 3.8 พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น พื้นที่ใต้กราฟลดลง นั่นคือความเหนียวของวัสดุลดลง และเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ที่ในอัตราส่วน 80:20 พื้นที่ใต้กราฟมีแนวโน้มลดลง ในอัตราส่วน 90:10 และ 60:40 เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น พื้นที่ใต้กราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงจุดๆหนึ่ง แล้วจึงลดลง ที่อัตราส่วนที่มีปริมาณกลีเซอรอล 10% และในอัตราส่วน 70:30 แนวโน้มเช่นเดียวกับอัตราส่วน 90:10 และ 60:40 แต่จุดที่มีพื้นที่ใต้กราฟสูงสุดคือ 70:30:5 และเป็นจุดที่มีพื้นที่ใต้กราฟสูงที่สุดในอัตราส่วนทั้งหมด นั่นคือที่อัตราส่วน 70:30:5 เป็นชิ้นงานที่มีความเหนียวมากที่สุด

ตารางที่ 3.3 พื้นที่ใต้กราฟของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

Glycerol content / %	พื้นที่ใต้กราฟของอัตราส่วนยาง: แป้งในอัตราส่วนต่างๆ (cm ²)			
	90:10	80:20	70:30	60:40
0	15.12	18.90	10.87	1.26
5	27.25	15.43	77.88	9.29
10	30.24	8.66	6.93	11.34
15	12.44	4.57	3.46	3.62



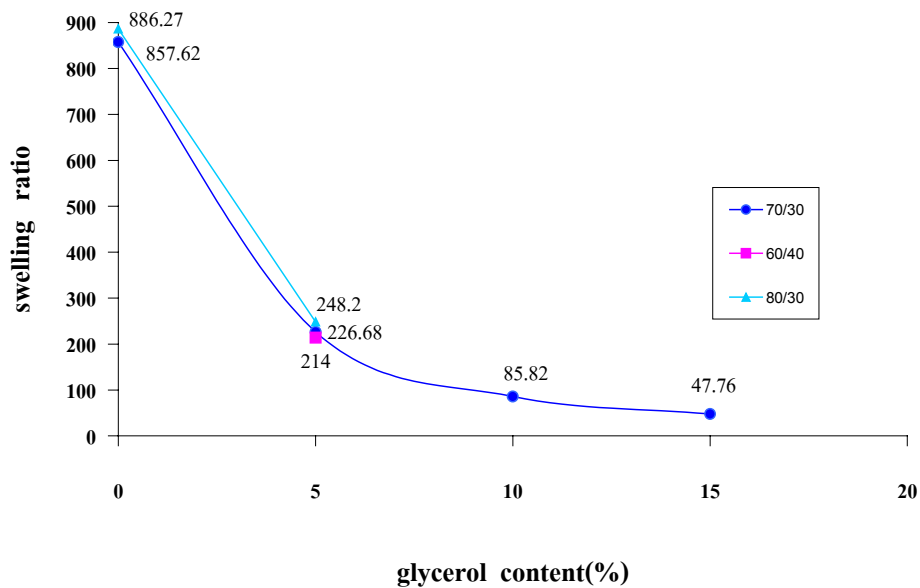
รูปที่ 3.8 พื้นที่ใต้กราฟของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัวใน Toluene (Swelling)

ตารางที่ 3.4 Swelling ratio ของชิ้นตัวอย่างผสม

ปริมาณกลีเซอรอล (%)	อัตราส่วน ยาง:แป้ง	Swelling ratio
0	0:100	6.57
	100:0	1559.90
	70:30	875.62
	80:20	886.27
5	60:40	214.00
	70:30	226.68
	80:20	248.20
10	70:30	85.82
15	70:30	47.76

การพองตัวของพอลิเมอร์ผสมในโทลูอินเป็นผลจากการที่โทลูอินเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างโครงสร้างของยาง จากตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.9 พบว่าค่า Swelling ratio มีค่าสูงสุดในชิ้นงานที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอล โดยมีค่าเท่ากับ 857.62 เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้น ค่า Swelling ratio มีค่าลดลง และเมื่อเติมกลีเซอรอล 5%, 10% และ 15% พบว่า ค่า Swelling ratio ลดลงเป็น 226.68, 85.82 และ 47.76 ตามลำดับ เนื่องมาจากแป้งและกลีเซอรอลสร้างพันธะไฮโดรเจน¹⁹ ระหว่างกันและกลีเซอรอลดังรูปที่ 3.10 ทำให้แป้งมีความเป็นขั้วลดน้อยลงจึงผสมเข้ากับยางธรรมชาติได้มากขึ้นดังนั้นโทลูอินสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของชิ้นงานได้น้อยลง นั่นคือชิ้นงานมีการผสมกันดีขึ้น เนื้อแน่นขึ้นกว่าชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล



รูปที่ 3.9 ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อค่า swelling ratio ของพอลิเมอร์ผสม

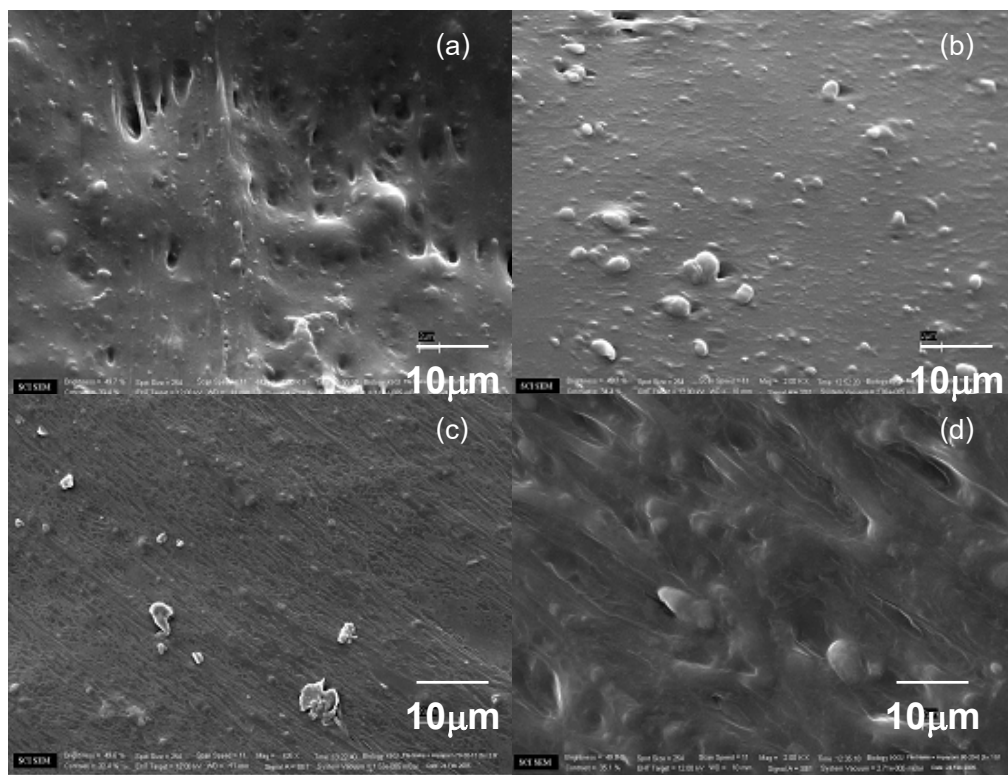


รูปที่ 3.10 รูปแบบที่เป็นไปได้ของการเกิดพันธะไฮโดรเจนของแป้งและกลีเซอรอล

3.5 การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.5.1 ผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อลักษณะของชิ้นงาน

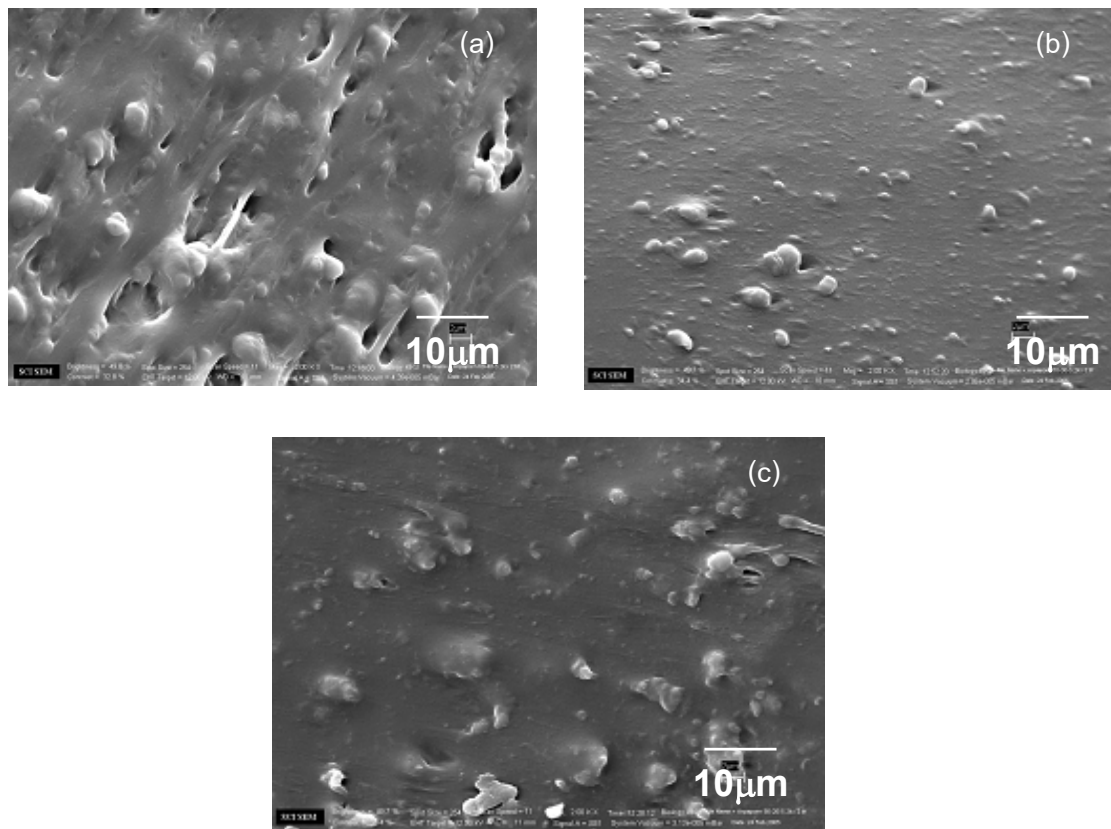
จากการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอล ชิ้นงานจะมีลักษณะพื้นผิวเรียบมากขึ้นแต่ก็ยังคงมองเห็นอนุภาคของแข็งอยู่ ดังรูปที่ 3.11 (a), (b) และ(c) สำหรับชิ้นงาน 3.10 (d) จะมีความขรุขระของผิวมาก อาจเนื่องมาจากเกิดการแพร่ (migration) ของกลีเซอรอลที่มีปริมาณอยู่มากที่ผิวของชิ้นงานทำให้แข็งไม่สามารถผสมได้ดีกับชิ้นงาน โดยปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติบางประการของยางเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งข้อมูลจาก SEM สอดคล้องกับผลของ % elongation at break ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น¹⁶



รูปที่ 3.11 ลักษณะของพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนยางต่อแข็งเป็น 70:30:0 (a), 70:30:5 (b) 70:30:10 (c) และ 70:30:15 (d) โดยใช้กำลังขยาย 200 เท่า

3.5.2 ผลของปริมาณแข็งต่อลักษณะชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้น ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่มีกลีเซอรอล 5 % มีลักษณะไม่เรียบเห็นเป็นเส้นเชื่อมกันอยู่ มีรูพรุนอันเนื่องมาจากอนุภาคของแป้งหลุดออกมาจากชิ้นงานขณะผสมหรือขณะแกะชิ้นงานออกจากภาชนะ หรือเกิดจากแรงเหวี่ยง หรืออาจเกิดจากฟองอากาศ ดังรูปที่ 3.12 (a) นอกจากนี้ยังเห็นการกระจายของอนุภาคแต่ไม่กระจุกตัว อย่างไรก็ตามการที่เห็นอนุภาคของแป้งเป็นจุดๆดังรูปที่ 3.12 (a), (b) และ (c) นั้นคือการผสมยังเข้ากันไม่สนิท อนุภาคของแป้งยึดติดกับอนุภาคของยางได้น้อยและยังพบว่าขนาดของอนุภาคมีหลายขนาด นั่นคือยังไม่สามารถควบคุมขนาดอนุภาคของแป้งได้ ซึ่งขนาดของอนุภาคแป้งมีผลต่อสมบัติของชิ้นงาน¹⁹ ในชิ้นงานอัตราส่วน 70:30:5 จะพบจุดเล็กๆน้อยมาก แสดงว่าเกิดการผสมกันได้ดีและมีการกระจายตัวได้ดี ดังรูปที่ 3.12 (b)



รูปที่ 3.12 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่มีปริมาณกลีเซอรอลเท่ากับ 5% ดังอัตราส่วน 60:40:5 (a), 70:30:5 (b) และ 80:20:5 (c)

3.6 การศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทอร์โมกราวิเมตริก /ดิฟเฟอเรน

เชียล เทอร์มอล อะนาไลเซอร์ (TG-DTA)

เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 60:40:5, 70:30:0, 70:30:5, 70:30:10, 70:30:15, 80:20:0 และ 80:20:5 แสดงไว้ดังรูปที่ ผ.30-ผ.36 ในภาคผนวก เทอร์โมแกรมที่ได้จะเกิดจากการให้ความร้อนจาก 40 °C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 400 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C min⁻¹ ทรานซิสชันที่เกิดขึ้นใน รูปที่สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5 พบว่าเมื่อไม่มีการเติมกลีเซอรอล พอลิเมอร์ผสมจะมีการสลายตัวเพียง 2 ช่วง แต่เมื่อเติมกลีเซอรอลจะพบว่ามีช่วงการสลายตัวเพิ่มขึ้นเป็น 3 ช่วง โดยที่ช่วงแรกน่าจะเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลและช่วงที่ 2 น่าจะเป็นการสลายตัวของแป้ง²⁰ และช่วงที่ 3 น่าจะเป็น เทอร์โมแกรมที่เกิดจากการสลายตัวของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิประมาณ 390 °C²¹

จากตารางที่ 3.5 ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรมของ TG-DTA ของพอลิเมอร์ผสม พบว่ามีช่วงของการสลายตัวทางความร้อนซึ่งพิจารณาจากการลดลงของน้ำหนัก (weight loss) เป็น 3 ช่วงคือ

1. ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 250 °C พบว่าพีคที่สอดคล้องกับช่วงนี้คือ พีคของการดูดความร้อน (endothermic peak) ซึ่งน่าจะเป็นช่วงการสลายตัวของกลีเซอรอล
2. ช่วงอุณหภูมิ 250-300 °C พบว่าพีคที่สอดคล้องกับช่วงนี้คือ พีคของการดูดความร้อน (endothermic peak) ซึ่งเป็นการสลายตัวของแป้ง
3. ช่วงอุณหภูมิ 300-390 °C พบพีคที่สอดคล้องกับช่วงนี้คือ พีคของการคายความร้อน (exothermic peak) ซึ่งน่าจะเกิดจากการสลายตัวของยางธรรมชาติ

ตารางที่ 3.5 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมจากเทคนิค TGA/DTG/DTA

ตัวอย่าง	ทรานซิสชันที่พบจากเทคนิค TGA			ทรานซิสชันที่พบจากเทคนิค DTA	Total Weight loss (mg)
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3		
starch*	Decompose 280 °C			Endo (274, 296 °C)	-
60:40: 5	248.5	268.2	333.1	Small Endo (246.8 °C) Endo (298.1 °C) Exo (333.1 °C)	2.24
70:30:0	-	295.6	327.9	Endo (298.3 °C) Exo (346.2 °C)	1.24
70:30: 5	229.2	271.8	334.4	Endo (240.8 °C) Endo (298.1 °C) Exo (323.3 °C)	2.14
70:30:10	240.4	278.3	329.6	Endo (243.4 °C) Endo (278.3 °C) Exo (344.2 °C)	2.57
70:30:15	251.8	286.2	327.9	Endo (254.1 °C) Endo (296.5 °C) Exo (352.3 °C)	2.94
80:20: 0	-	293.5	321.2	Endo (295.8 °C) Exo (366.4 °C)	0.90
80:20: 5	224.2	298.6	325.3	Endo (240.3 °C) Endo (292.9 °C) Exo (333.3 °C)	1.57

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่พบเทอร์โมแกรม

4. สรุปผลการทดลอง

- จากการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสมของยางธรรมชาติและแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ตามวิธีที่ได้บรรยายไว้ในบทการทดลอง แล้วศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของชิ้นงานที่เตรียมได้ตามอัตราส่วนต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่า
1. อัตราส่วนของยางกับแป้งและกลีเซอรอลที่เหมาะสมคือ 70:30 กลีเซอรอล 5% ซึ่งให้ค่า tensile strength และ มอดูลัส สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอลด้วยกันและยังมีค่ามากกว่าอัตราส่วน 100:0 กลีเซอรอล 0% นั่นคืออัตราส่วน 70:30 กลีเซอรอล 5% นี้สามารถทนต่อแรงที่มากระทำได้ดี เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานได้ยาก สำหรับค่า %elongation at break มีค่าไม่สูงมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่นๆ เมื่อมองด้วยตาเปล่า พบว่าชิ้นงานมีลักษณะค่อนข้างเรียบ ไม่มีการไหลเยิ้มของกลีเซอรอลออกมา มีรูพรุนละเอียดกระจายตัวอยู่ทั่วไป จากผลการวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าอัตราส่วน 70:30 กลีเซอรอล 5% นี้ พบจุดเล็กๆ ของเม็ดแป้ง แสดงว่าเกิดการผสมกันได้ดีและมีการกระจายตัวได้ดี ดังรูปที่ 3.10 (b)
 2. จากการศึกษาผลของแป้งต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยทั่วไปพบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่ามอดูลัส, UTS และ %elongation at break ดังนี้
ผลต่อค่ามอดูลัส จากรูปที่ 3.2 ก และ ข ทั้งในชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอลและไม่เติมกลีเซอรอล เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น พบว่าค่า มอดูลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้ค่ามอดูลัสมากกว่าชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล
ผลต่อค่า %elongation at break จากรูปที่ 3.3 ก และ ข พบว่าทั้งชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอลและไม่เติมกลีเซอรอล เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ค่า %elongation at break มีแนวโน้มลดลง
ผลต่อค่า UTS จากรูปที่ 3.4 ก และ ข ทั้งในชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอลและไม่เติมกลีเซอรอล มีแนวโน้มเดียวกัน คือในขณะที่ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น พบว่าค่า UTS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงอัตราส่วนหนึ่ง ค่า tensile strength มีแนวโน้มลดลง
 3. จากการศึกษาผลของกลีเซอรอลที่เติมลงไปเพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานโดยทั่วไปพบว่า
ผลต่อค่ามอดูลัส จากรูปที่ 3.5 ก และ ข ชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล ให้ค่ามอดูลัสสูงสุด คืออัตราส่วน 70:30:0 ส่วนชิ้นงานที่มีการเติมกลีเซอรอล พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ค่า มอดูลัส มีแนวโน้มลดลง

ผลต่อค่า %elongation at break จากรูปที่ 3.6 ในชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอลให้ค่า %elongation at break ต่ำที่สุด ส่วนในชิ้นงานที่เติมกลีเซอรอล เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น พบว่าค่า %elongation at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ ผลที่ได้จาก SEM และ Swelling นั่นคือเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น ค่า Swelling ratio มีค่าลดลง นั่นคือชิ้นงานมีการผสมกันดีขึ้น เนื้อแน่นขึ้นกว่าชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล และผลจาก SEM พบว่าชิ้นงานมีรูพรุนละเอียดมากขึ้น ชิ้นงานเรียบเนียนนุ่มมากขึ้น มีความเหนียวติดพลาสติกมากขึ้นโดยเฉพาะอัตราส่วนที่มีกลีเซอรอล 20% จะมีความเหนียวมากไม่สามารถแกะออกจากวัสดุรองเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกลได้เลย เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล พบว่าชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล มีลักษณะแข็ง ค่อนข้างกรอบ นั่นคือกลีเซอรอลซึ่งจัดเป็น

พลาสติกไฮดรอกซีภายนอก มีบทบาทช่วยลดความเปราะหรือการแตกหักของชิ้นงาน เพิ่มความยืดหยุ่นของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี^{17,18}

ผลต่อค่า UTS จากรูปที่ 3.7 พบว่าเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่า UTS ลดลง

4. เมื่อพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้นทำให้การพองตัวในโทลูอีนลดลงเนื่องจาก แป้งและกลีเซอรอลสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันมีผลทำให้แป้งมีความเป็นขั้วลดต่ำลง ทำให้ยางธรรมชาติสามารถผสมได้ดีมากขึ้น¹⁹
5. จากผลการทดลองนี้พบว่า วิธีที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานนี้ใช้ได้ดีในระดับหนึ่ง ยังคงต้องปรับปรุง เพื่อให้สามารถควบคุมลักษณะของอนุภาคเม็ดแป้งให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้นอีกด้วย เนื่องจาก ขนาดของเม็ดแป้งในชิ้นงานมีผลต่อสมบัติของชิ้นงาน⁹

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

วัสดุผสมที่สังเคราะห์ขึ้น มีความเป็นรูพรุนค่อนข้างละเอียด มีความเป็นไปได้น่าไปทำเป็นเชื้อเลือกผ่าน ซึ่งกำลังอยู่ในระหว่างทดสอบความสามารถในการแยกสารละลายบางกลุ่ม

การสร้างสภาวะหรือเครื่องควบคุมเพื่อศึกษาการย่อยสลายในธรรมชาติ เป็นไปได้ยาก และใช้เวลานาน ทำให้ต้องศึกษาทางอ้อมโดยการทดสอบการบวมของชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

1. พงษ์ธร แซ่อูย. ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน . ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) (2547).
2. แผนงานวิจัยและวิเคราะห์สถิติ กองแผนงานกรมพัฒนาที่ดิน. (2002). การจัดการดินตามกลุ่มชุดดินเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจ. ค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2548, จาก www.ldd.go.th/pldweb/tech/sgMGT/M_soil27.htm.
3. จุติ สมทรัพย์ และวีรพงษ์ ดอกไม้. การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ในไทรล์-บิวตะไดอิน ด้วยการเติมฟูลซิลิกา. โครงการวิจัยหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2546).
4. Chaplin, M., (2005). *Water structure and behavior*. ค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2548, จาก <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>.
5. กล้าณรงค์ ศรีรอด. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. หน้า 225 (2542).
6. Blanshard, J.M.V. Starch granule structure and function : a physicochemical approach. In Galliard, T.(ed.). *Starch: Properties and Potential*. Chiches: John Willy&Sons.18 (1976).
7. ศุภชัย อมรกันทรการ และเพ็ญศิริ ศรีบุรี. ผลของความร้อนต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันฝรั่ง. *Starch Newsletter*. 3(2), 1-8 (2546).
8. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. (2548). *คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง*. ค้นข้อมูล 28 กุมภาพันธ์ 2548, จาก <http://www.cassava.org/thai/contactusth.html>.
9. Petnamsin, C., Termvejsayanon, N. and Sriroth, K. Effect of particle size on physical properties and biodegradability of cassava starch/polymer blend. *Kasetsart J. (Nat. Sci)*. 34, 254-261 (2000).
10. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. *เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน*. O.S PRINTING HOUSE CO.TH.,LTD. กรุงเทพมหานคร. 286-248 (2527).
11. ปิยะวรรณ สุรุษนาจิรสกุล. *พอลิเมอร์ผสมของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติเพื่อเป็นโฟมกันกระแทก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2543).

12. ASTM D412, Standard Test Method for Tensile set of Rubber and Thermoplastic Elastomers.
13. กิ่งดาว แผนสมบุญ. (2001). การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่อง *Differential Thermal Analysis*. ค้นข้อมูล 17 มีนาคม 2548, จาก www.dss.go.th/known_list/docs/38.pdf.
14. Sae-oui, P. and Thepsuwan, U. Prediction of cure level in thick rubber cylinder using finite element analysis. *Science Asia*, 28, 358-391(2002).
15. St-Pierre, N., Favis, B. D., Ramsay, B. A., Ramsay, J. A. and Verhoogt, H. Processing and characterization of thermoplastic starch/polyethylene blends. *Polymer*. 38(3), 647-655 (1997).
16. Carvalho, A. J. F., Job, A. E., Alves, N., Curvelo, A. A. S. and Gandini, A. Thermoplastic starch/natural rubber blends. *Carbohydrate Polymers*. 53, 95-99 (2003).
17. Cervera, M.F., Heinämäki, J., Krogars, K., Jörgensen, A. C., Karjalainen, M., Colarte, A.I. and Yliruusi, J. Solid-State and Mechanical Properties of Aqueous Chitosan-Amylose Starch Films Plasticized With Polyols. *AAPS Pharm SciTech*. 5(1),1-5 (2004).
18. Myllärinen, P., Partanen, R., Seppälä, J. and Forssell, P. Effect of glycerol on behaviour of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*. 50, 355-361 (2002).
19. Ma, X. and Yu, J. Formamide as the Plasticizer for Thermoplastic Starch. *Applied Polymer Science*. 93, 1769–1773 (2004).
20. Jansson, A. and Thuvander, F. Influence of thickness on the mechanical properties for starch films, *Carbohydrate Polymers* 56, 499-503 (2004).
21. Perkinelmer. (2005). Thermal Decomposition Analysis of Rubbers Utilizing Simultaneous TG/DTA. ค้นข้อมูล 15 เมษายน 48 . จาก [http://las.perkinelmer.com/content/Application Notes/TA%20PETech-116.pdf](http://las.perkinelmer.com/content/Application%20PETech-116.pdf).
22. Simon, J., Müller, H.P., Koch, R. and Müller, V. Thermoplastic and biodegradable polymers of cellulose. *Polymer Degradation and Stability*. 59,107-115 (1998).

ภาคผนวก

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
เพื่อผลิตวัสดุที่มี ความยืดหยุ่น ความ แข็งแรงและย่อย สลายได้จากพอลิ เมอร์ผสมของยาง ธรรมชาติกับพอลิเอ ธิลีนและแป้งมัน สำปะหลัง	เตรียม thermoplastic starch	เตรียม thermoplastic starch ที่อัตราส่วนที่มี กลีเซอรอล 0-20%	ได้วัสดุผสมระหว่างเจลแป้ง และกลีเซอรอล ที่มีความเป็น thermoplastic
	เตรียม thermoplastic starch/natural rubber	-เตรียม thermoplastic starch/natural rubber ที่ อัตราส่วนยางธรรมชาติ 10-50% -ขึ้นรูปวัสดุผสมกับพอลิ เอธิลีน	-ได้วัสดุผสมที่มีความยืด หยุ่นจากยางธรรมชาติและ thermoplastic starch -ได้วัสดุผสมแบบ immiscible ของยาง แป้งและ พอลิเอธิลีน
	ทดสอบสมบัติทางเคมี และกายภาพ	-ทดสอบสมบัติเชิงกล หา UTS, elongation, modulus -ทดสอบการบวมในตัว ทำละลายโทลูอิน -ทดสอบลักษณะพื้นผิว	-ได้วัสดุผสมที่มี UTS และ modulus สูงสุดที่ อัตราส่วน ยาง:แป้ง:กลีเซอรอลที่ 70:30:5 -วัสดุผสมมียืดได้มากขึ้นเมื่อ เพิ่มปริมาณกลีเซอรอลและ ยาง แต่ถ้ากลีเซอรอลมากกว่า 10% จะเกิดการเยิ้ม -วัสดุผสมมีค่าการบวมในโท ลูอินเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแป้ง มันสำปะหลังมากขึ้น ทำให้ ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น

**ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) สมบัติทางกายภาพและเคมีของพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติ
กับพอลิเอทิลีนและแป้งมันสำปะหลัง**

คำชี้แจงเพิ่มเติมเรื่องความคงทนของวัสดุผสมภายใต้ความร้อนและสมบัติของการย่อยสลาย

ผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความคงทนของวัสดุผสมภายใต้ความร้อนและสมบัติของการย่อยสลายเพิ่มเติม เนื่องจากไม่สามารถทำให้แล้วเสร็จในรอบเงื่อนไขเวลา 6 เดือนที่ทาง สกว. กำหนด จากการทดลองเพิ่มเติมได้ผลการศึกษาดังนี้

การเตรียมวัสดุผสมของยางพารา แป้งมันสำปะหลังและพอลิเอทิลีน

จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางข้นต่อแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล คือ 70:30:5 จึงได้วัสดุผสมที่มีความแข็งแรงสูงสุด ดังนั้นในการผสมพอลิเอทิลีนจึงได้คงอัตราส่วนระหว่างน้ำยางข้น แป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล ไว้ที่ 70:30:5 การขึ้นรูปวัสดุผสมจะทำการผสมในเบื้องต้นโดยใช้เครื่อง two roll mill หลังจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปลักษณะต่างๆ เช่นแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่อง compression molding และรูป dumbbell โดยใช้เครื่อง injection molding เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่พร้อมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีต่อไป อัตราส่วนในการผสมแสดงไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนในการผสมน้ำยางข้น แป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีน

Sample ratio PE : TPS	PE contents (g)	TPS contents (rubber : starch: glycerol = 70:30:5) (g)
100 : 100	100	100
100 : 90	100	90
100 : 70	100	70
100 : 50	100	50
100 : 30	100	30
100 : 10	100	10

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุผสมของ

ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้ thermogravimetric analysis (TGA, Perkin Elmer, model 7) ทำการวัดที่ heating rate เท่ากับ $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ อุณหภูมิระหว่าง $50 - 600^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สภาวะอากาศ (air atmosphere) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 และรูปที่ 1-6

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุผสมของยางพารา (TPS) และพอลิเอทิลีน (PE)

Sample ratio PE : TPS	อุณหภูมิที่เกิด Thermal transition ($^{\circ}\text{C}$)	% น้ำหนักที่หายไปหลังเกิดการเปลี่ยนแปลง
100 : 100	429.3	50.4
100 : 90	450.4	50.6
100 : 70	426.1	50.8
100 : 50	405.0	50.2
100 : 30	413.2	50.7
100 : 10	420.7	50.5
0 : 100	387.9	17.7
100 : 0	441.1	50.4

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 1-6 พบว่า วัสดุผสมของยางพาราและพอลิเอทิลีนมีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุผสมที่ไม่ได้ใส่พอลิเอทิลีน อาจกล่าวได้ว่าวัสดุผสมของยางพาราและพอลิเอทิลีนมีความทนทานต่อความร้อนได้สูงขึ้น ทนต่อการเสื่อมสภาพ aging ได้ดีขึ้น จากผลการทดลองยังพบว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนจะทำให้น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างลดลงไปประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 1-6 พบว่าในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 400°C จะไม่เกิดการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเนื่องจากความร้อน

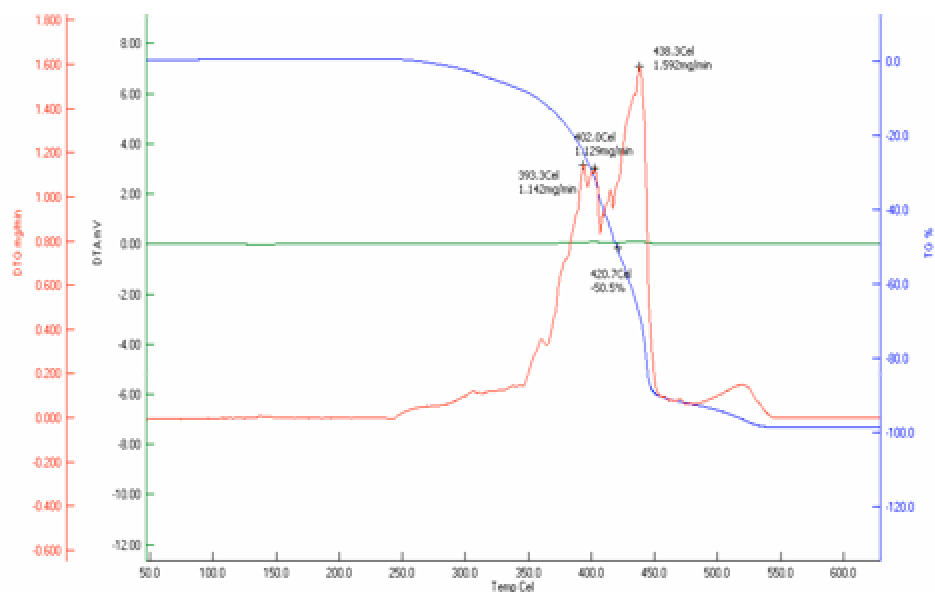


Figure 1. TG-DTA thermograms of PE/TPS ratio 100:10

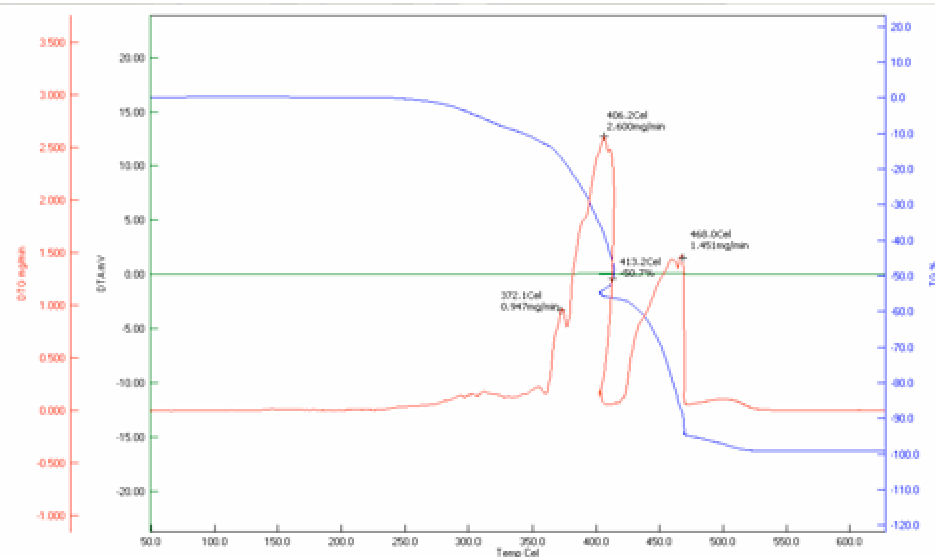


Figure 2. TG-DTA thermograms of PE/TPS ratio 100:30

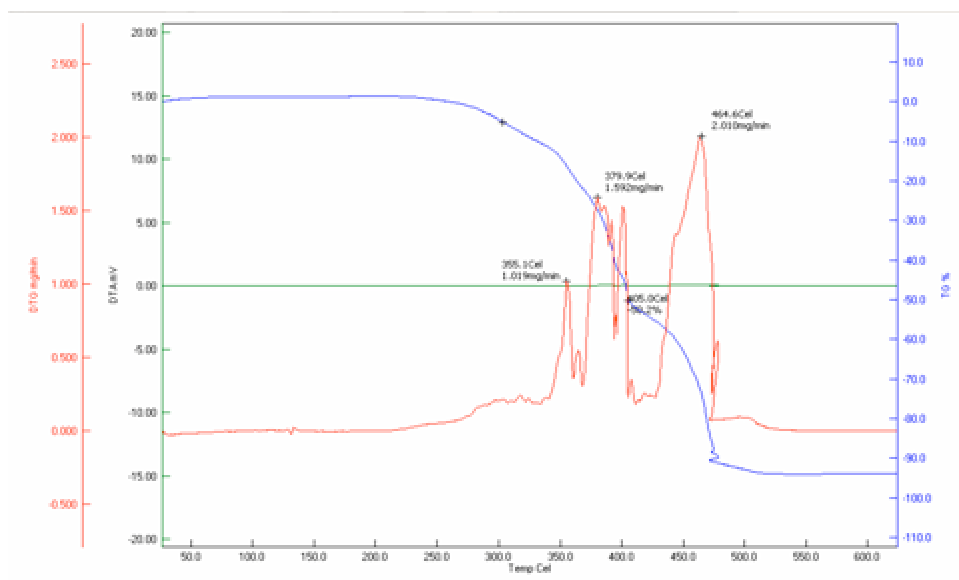


Figure 3. TG-DTA thermograms of PE/TPS ratio 100:50

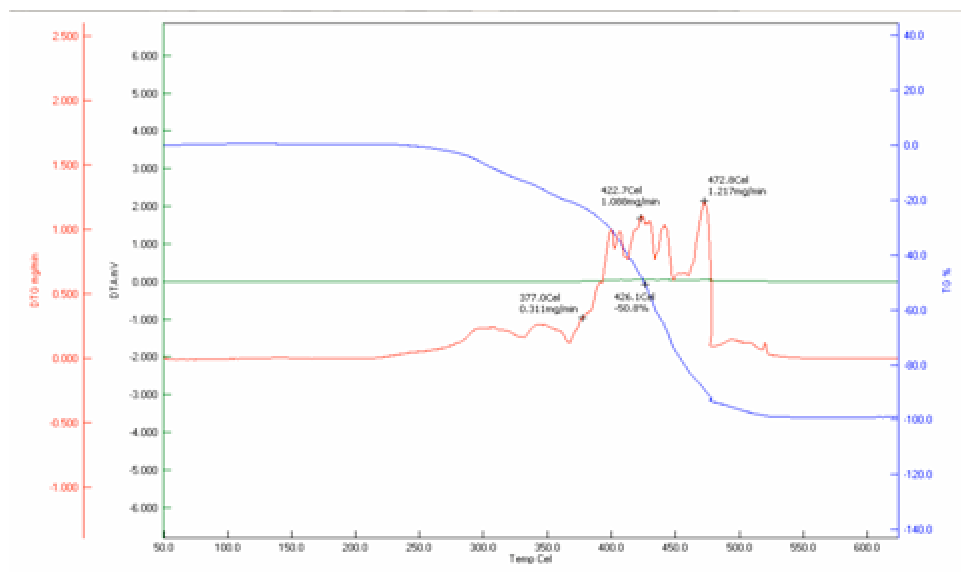


Figure 4. TG-DTA thermograms of PE/TPS ratio 100:70

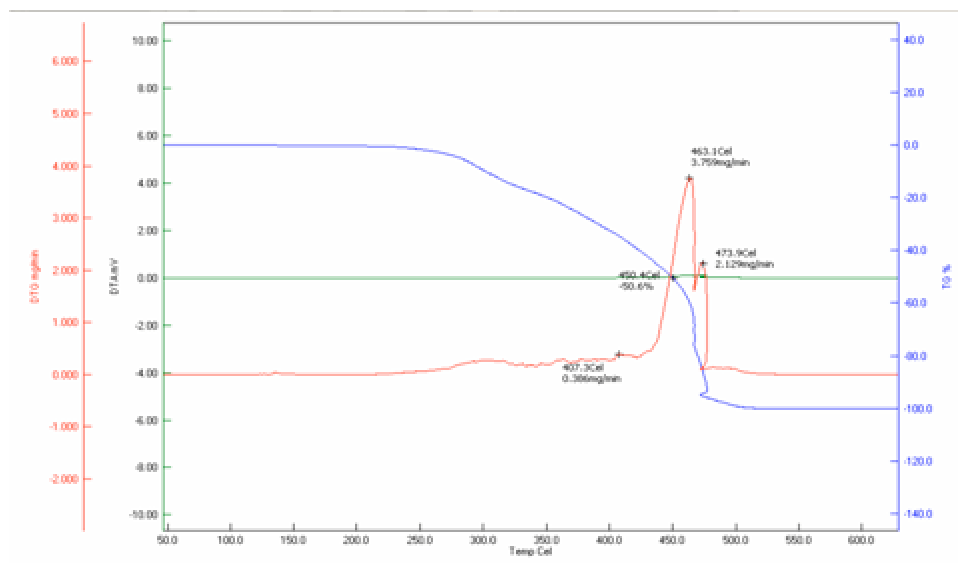


Figure 5. TG-DTA thermograms of PE/TPS ratio 100:90

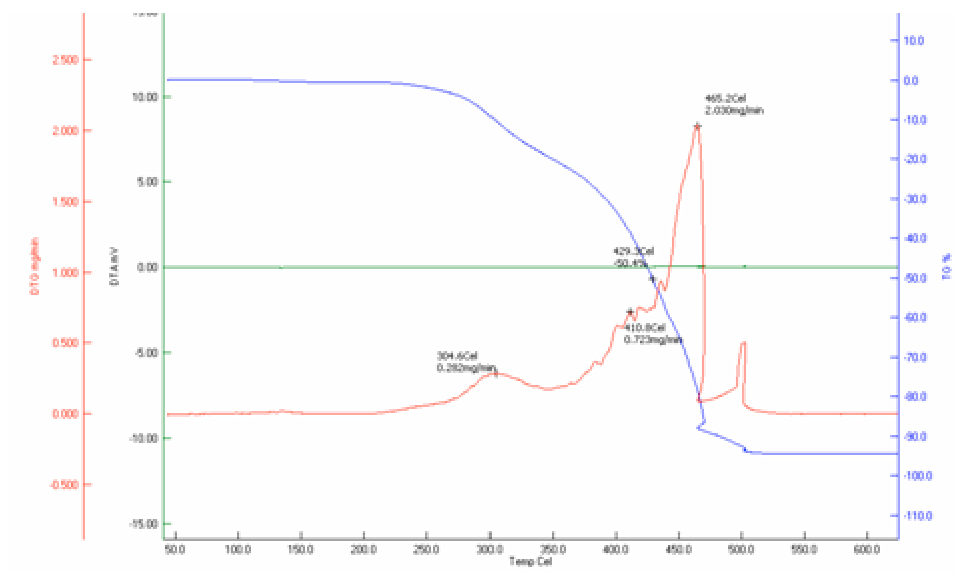


Figure 6. TG-DTA thermograms of PE/TPS ratio 100:100

การศึกษาการย่อยสลายทางธรรมชาติโดยวิธีการฝัง (Soil Burial Test)

การฝังโดยวิธีแบบ Soil Burial (ตามวิธี ASTM G71-90) เป็นกิจกรรมที่ทำกลางแจ้งในสภาวะแวดล้อมจริง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องควบคุมความชื้นในดิน อุณหภูมิและ macro-organisms ขึ้นตัวอย่างที่ใช้ทดลองมีขนาด $100 \times 30 \times 3$ mm ฝังชิ้นงานในระดับความลึก 15 cm นำชิ้นตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ในทุก 10 วัน ก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องนำชิ้นงานมาอบที่ 50°C ในสภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 12 ชม. บันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนไปของชิ้นตัวอย่าง การฝังชิ้นงานได้ทำในช่วง มกราคมถึงมีนาคม 2549 เป็นเวลา 3 เดือน

ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 7 พบว่าปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นในวัสดุผสมจะทำให้เกิดการย่อยสลายหรือสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น นั่นคือสามารถออกแบบวัสดุผสมที่ย่อยสลายในธรรมชาติและแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยการผสมแป้งและพอลิเอทิลีน

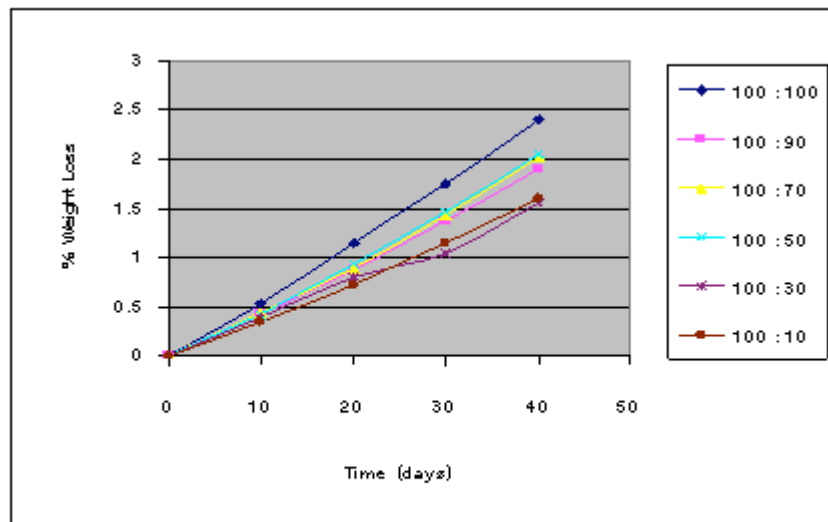


Figure 7. Weight loss of PE/TPS blends in Soil burial test.