การเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว

นฤปนาถ พลเมือง วาสนา หมัดล่าเตะ และ วัชรินทร์ สายน้ำใส*
สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
**ผู้รับผิดชอบบทความ E-mail: watcharin.sa@skru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวเป็นสารตัวเติมปริมาณ 40 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยส่วนโดยน้ำหนักใน 3 สภาวะ คือ การบ่มเร่งในน้ำร้อน อากาศร้อน และ QUV โดยแปรเวลาบ่มเร่งเป็น 0, 1, 3, 7, 14, 21 และ 30 วัน จากผลการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมีค่าลดลงตามเวลาการบ่มเร่ง โดยการบ่มเร่งภายใต้สภาวะ QUV ทำให้สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมีค่าลดลงเร็วที่สุด และลดลงมากที่สุด ยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับผลิตวัสดุปลูกหรือเพาะชำกล้าไม้ และสามารถเกิดการเสื่อมสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ความร้อน ความชื้น หรือแสงแดด ดังนั้นยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตวัสดุปลูก หรือเพาะชำกล้าไม้เพื่อทดแทนวัสดุปลูกหรือเพาะชำพลาสติกได้

คำสำคัญ: การเสื่อมสภาพ ยางธรรมชาติ แป้งข้าวเหนียว สมบัติทางกายภาพ สภาวะในการบ่มเร่ง

Deterioration of Glutinous Rice Flour-Filled Natural Rubber

Naruepanat Polmeung, Wassna Madlateh, and Watcharin Sainumsai*
Program in Rubber and Polymer Technology, Faculty of Science and Technology, SKRU
**Corresponding Author; E-mail: watcharin.sa@skru.ac.th*

Abstract

Physical and ageing properties of glutinous rice flour-filled natural rubber (NR) were studied. The glutinous rice flour content used in this research was 40 phr (parts (by weight) per hundred parts of rubber). Three ageing conditions: hot water, hot air and QUV were investigated. Ageing time was varied 0, 1, 3, 7, 14, 21 and 30 days. It was found that all of physical properties of glutinous rice flour-filled NR were decreased with increasing ageing time. Under QUV ageing condition, physical properties of glutinous rice flour-filled NR exhibited the fastest and highest decreasing. Glutinous rice flour-filled NR exhibited the suitable physical properties for the production of plant nursery bags that degraded under oxygen, heat, moisture or sunlight conditions. Glutinous rice flour-filled natural rubber compound has potential to be used as raw material for manufacturing the plant nursery bags to replace the plastic bags.

Keywords: deterioration, natural rubber, glutinous rice flour, physical properties, ageing conditions

1. บทนำ

ยางพาราเป็นยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis* จัดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในปี 2559 มีผลผลิตประมาณ 4.3 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วสามารถยืดได้ถึงประมาณ 1000 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่านั้น (Gent & Mars, 2014; Roberts, 1988) ทำให้สามารถนำยางธรรมชาติไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการยืดได้สูง ยางธรรมชาติมีโครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอ ทำให้สามารถตกผลึกได้เมื่อดึง (Toki et al., 2005; Sainumsai et al., 2017) นอกจากนั้นยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง ซึ่งในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ จะมีการเติมสารตัวเติมชนิดเสริมแรงบางชนิด เช่น เขม่าดำ (carbon black) หรือซิลิกา (silica) (Donnet & Custodero, 2014; Waddell & Evans, 2001) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับยางธรรมชาติ เป็นต้น สารตัวเติมอื่น ๆ นอกเหนือจากเขม่าดำ และ ซิลิกา ได้แก่ ดินขาวหรือเคลย์ (clay) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ทัลคัม (talcum) ซึ่งสารเหล่านี้ไม่มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงจนถึงมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงได้ปานกลาง แต่จะช่วยลดต้นทุนในการผลิต และช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้โดยง่าย

แป้งธรรมชาติพบในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง ข้าวโพด และถั่วเหลือง เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ซึ่งจะอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมโครเมตร (ดุษฎี อุตภาพ, 2562) แป้งเป็นสารคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งจะแบ่งเป็น อะไมโลส (amylose) ประกอบด้วยกลูโคส 500-6000 โมเลกุล ซึ่งต่อกันเป็นโซ่ยาวแบบไม่มีกิ่ง และ อะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งสาขาสูง สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะอยู่เป็นขึ้นกับชนิดของแป้งแต่ละชนิด (Taggart, 2004) นอกจากนั้นแป้งยังเป็นเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์

ถุงเพาะชำกล้าต้นไม้ (plant nursery bag) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ผลิตมาจากพอลิเอทธิลีน (polyethylene) ซึ่งเป็นวัสดุจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีความเหนียว ทนกรดและด่าง ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี แต่ออกซิเจนและอากาศสามารถซึมผ่านได้ ถุงเพาะชำที่ผลิตมาจากพลาสติกมักก่อให้เกิดขยะและย่อยสลายได้ยาก ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้ ได้ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของยางธรรมชาติผสมแป้งจากพืช 4 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า (rice flour) แป้งข้าวเหนียว (glutinous rice flour) แป้งข้าวโพด (corn starch) และแป้งมันสำปะหลัง (cassava starch) โดยใช้แป้งในปริมาณ 40 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยส่วนโดยน้ำหนัก (parts (by weight) per hundred parts of rubber, phr) ฟาตีฮะห์ และคณะ (2562) พบว่าแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้ามีความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และความต้านทานการฉีกขาดสูง นอกจากนั้นยังสามารถเสื่อมสภาพและย่อยสลายได้ เหมาะสมที่ในการนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปลูกหรือเพาะชำได้

จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีแนวความคิดในการนำเอายางพารา และแป้งข้าวเหนียวที่เป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตวัสดุปลูกหรือเพาะชำที่สามารถย่อยสลายได้ เพื่อเป็นการทดแทน และลดการใช้วัสดุปลูกหรือเพาะชำที่ทำมาจากพลาสติก โดยในการศึกษาครั้งนี้นำแป้งข้าวเหนียวมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ และศึกษาการเสื่อมสภาพในสภาวะบ่มเร่งต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 30 วัน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว (glutinous rice flour) เป็นสารตัวเติม

2. ศึกษาการเสื่อมสภาพ (deterioration) ของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว หลังการบ่มในสภาวะเร่ง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นยางแท่งมาตรฐานเกรด 20 (STR 20) ผลิตโดยบริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด จังหวัดสงขลา ส่วนแป้งข้าวเหนียว ชนิดโม่น้ำดีพิเศษ ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ฮกเส็งไรซฟลาว อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร โดยใช้แป้งข้าวเหนียวในปริมาณ 40 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยส่วนโดยน้ำหนัก (parts (by weight) per hundred parts of rubber, phr) และสารเคมีอื่น ๆ เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง

3.2 การเตรียมยางคอมพาวด์

เตรียมยางคอมพาวด์โดยนำยางมาบดผสมกับสารเคมีตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3182 (1994) ตามสูตรการทดลองในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้งขนาด 10x20 นิ้ว ซึ่งมี friction ratio เท่ากับ 1:1.2 ผลิตโดยบริษัทชัยเจริญเอ็นจิเนียริ่ง

ตารางที่ 1 ปริมาณยางและสารเคมีที่ใช้ของยางคอมพาวด์

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ	100
กรดสเตียริก	2
ซิงค์ออกไซด์	5
สารตัวเร่ง เอ็มบีที*	1
แป้งข้าวเหนียว	40
กำมะถัน	2.5

*MBT: 2-Mercaptobenzothiazol

3.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ

นำยางคอมพาวด์ที่เตรียมได้มาทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2084 (1995) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการอัดเบ้าของยางคอมพาวด์ หลังจากนั้นนำยางคอมพาวด์ไปอัดเบ้าเป็นแผ่นทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3182 (1994)

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

นำยางตัวอย่างที่ได้จากการอัดเบ้ามาทดสอบสมบัติด้านการดึง (tension properties) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (1998a) และทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D 624 (1998) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ NRI Universal Testing Machine รุ่น NRI-TS500-20B ด้วยอัตราเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที ทดสอบ 5 ชิ้นทดสอบ รายงานผลด้วยค่าเฉลี่ย

3.5 การทดสอบการเสื่อมสภาพ

นำยางตัวอย่างมาทำการบ่มเร่งการเสื่อมสภาพใน 3 สภาวะ ดังนี้ (ก) บ่มเร่งในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ข) บ่มเร่งในตู้อบอากาศร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และ (ค) บ่มเร่งในตู้ QUV อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (เครื่อง Weathering Tester (QUV) Test z รุ่น Manual 1.0 ผลิตโดย COLOR GLOBAL Co., Ltd.) เป็นระยะเวลา 0, 1, 3, 7, 14, 21 และ 30 วัน ตามลำดับ หลังจากนั้นนำยางตัวอย่างมาทดสอบสมบัติด้านการดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (1998a)

และทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D 624 (1998) แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณสมบัติสัมพัทธ์ (relative properties) ตามสมการที่ (1) ทดสอบ 5 ชิ้นทดสอบ รายงานผลด้วยค่าเฉลี่ย

$$Relative\ properties = \frac{P_{aged}}{P_{unaged}} \quad (1)$$

โดยที่ P_{aged} คือ สมบัติหลังการบ่มเร่ง

P_{unaged} คือ สมบัติก่อนบ่มเร่ง

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 40 phr มีลักษณะการวัลคาไนซ์ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าประมาณ 26 lbf.in ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสำหรับการแปรรูป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงแป้งข้าวเหนียวที่ผสมเข้าในยางธรรมชาติจะอ่อนตัวลงเมื่อได้รับความร้อน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ซึ่งในขั้นตอนนี้ใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลาวัลคาไนซ์และอัตราการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ผสมแป้งข้าวเหนียวอยู่ในเกณฑ์ปกติ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากแป้งข้าวเหนียวที่ผสมลงไปในยางธรรมชาติ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากโมเลกุลของกลูโคสเพียงชนิดมาต่อกัน (ดุษฎี อุตภาพ, 2562) ไม่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยาง

ตารางที่ 2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว

Properties	ผลการทดสอบ
min. Torque (lbf.in)	4.7 ± 0.04
max. Torque (lbf.in)	26.1 ± 0.23
diff. Torque (lbf.in)	21.4 ± 0.21
Scorch time (min)	1.73 ± 0.01
Cure time (min)	9.15 ± 0.09
Cure rate index (min^{-1})	13.48 ± 0.12

สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ผสมแป้งข้าวเหนียวที่ยังไม่บ่มเร่ง แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ ของยางธรรมชาติที่ผสมแป้งข้าวเหนียวที่ยังไม่ได้บ่มเร่งมีค่า 1.31 N/mm^2 บ่งชี้ว่ายางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวจะต้องใช้แรงกระทำสูงเพื่อให้ยืดออก 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของเม็ดแป้ง ซึ่งแป้งข้าวเหนียวมีขนาดของเม็ดแป้งเล็กมากประมาณ 2 - 9 ไมโครเมตร (Tester et al., 2004) เมื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ แป้งข้าวเหนียวซึ่งมีขนาดอนุภาคเม็ดแป้งเล็กจะมีพื้นที่ผิวสูง โอกาสที่จะกระจายตัวและเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลยางก็มีมากกว่าด้วย ทำให้ต้องใช้แรงดึงสูงในการดึงให้ยางยืดตัวออก ส่วนความทนทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่ผสมแป้งข้าวเหนียว มีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ผสมสารตัวเติมซึ่งจะมีค่าประมาณ 30.0 N/mm^2 (Sainumsai et al., 2017) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยางธรรมชาติเป็นยางที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นระเบียบสูงมาก สามารถจัดเรียงตัวและเกิดผลึกได้ขณะยืดตัวออก เมื่อนำมาผสมกับแป้งข้าวเหนียวเป็นสารตัวเติม แป้งข้าวเหนียวอาจเข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัว ทำให้ยางธรรมชาติที่ผสมแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นระเบียบน้อยลง ส่งผลให้ความทนทานต่อแรงดึงลดลงด้วย ความสามารถในการยืดจนขาดและความต้านทานต่อการฉีกขาดก็เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้ค่าทั้งสองของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมี

ค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม แต่สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวยังเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นวัสดุเพาะหรือปลูกพืช ซึ่งจะได้ศึกษาถึงสมบัติด้านการเสื่อมสภาพต่อไป

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว

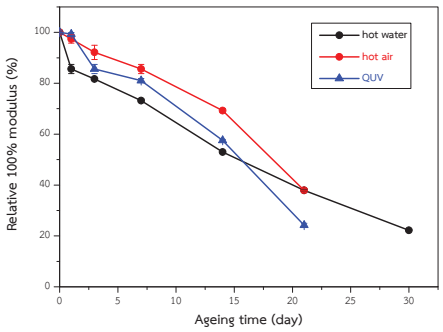
Physical properties	ผลการทดสอบ
100% Modulus (N/mm^2)	1.31 ± 0.09
Tensile strength (N/mm^2)	13.28 ± 0.28
Elongation at break (%)	734.48 ± 14.6
Tear resistance (N/mm)	31.73 ± 3.21

การศึกษาการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว ทำโดยนำยางตัวอย่างมาบ่มเร่งในสภาวะต่าง ๆ 3 สภาวะ เพื่อศึกษาผลของความร้อน ออกซิเจน ความชื้น และแสงยูวีต่อการเสื่อมสภาพของยางตัวอย่าง กำหนดสภาวะในการบ่มเร่งดังนี้ สภาวะที่ 1 บ่มเร่งในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ส่วนสภาวะที่ 2 บ่มเร่งในตู้อบอากาศร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และสภาวะที่ 3 บ่มเร่งในตู้บรรยากาศเทียม QUV อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ซึ่งเปรียบเสมือนแสงแดดในช่วงเวลาเที่ยงวัน อาศัยแสง UV-A (340 nm) จากหลอดกำเนิดแสงยูวี) แปรระยะเวลาในการบ่มเร่งในช่วง 0 - 30 วัน จากนั้นนำยางตัวอย่างมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ ความทนทานแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาดเช่นเดียวกับยางตัวอย่างที่ไม่ได้บ่มเร่ง สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการบ่มเร่งแล้วแสดงดังตารางที่ 4 ผลการทดลองพบว่าสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ผสมแป้งข้าวเหนียวมีค่าลดลงตามเวลาการบ่มเร่งในทุกสภาวะ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าสมบัติทางกายภาพของยางลดลงค่อนข้างมากในช่วง 7 วันแรก หลังจากนั้นเมื่อบ่มเร่งยางตัวอย่างนานขึ้น สมบัติทางกายภาพของยางตัวอย่างจะลดลงเรื่อย ๆ เช่น ความทนทานต่อแรงดึงของยางตัวอย่างมีค่าลดลงจาก 13.28 N/mm^2 เมื่อบ่มเร่งเป็นเวลา 30 วัน มีค่าลดลงเหลือ 2.90, 1.82 และ 1.13 N/mm^2 เมื่อบ่มเร่งในน้ำร้อน อากาศร้อน และ QUV ตามลำดับ บ่งชี้ว่าความร้อน ออกซิเจน ความชื้น และแสงยูวีมีผลต่อการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียว ซึ่งจะเปรียบเทียบการลดลงของสมบัติทางกายภาพให้เห็นชัดเจน เพื่อพิจารณาถึงผลของความร้อน ออกซิเจน ความชื้น และแสงยูวีต่อการเสื่อมสภาพของยางตัวอย่างต่อไปโดยใช้สมบัติทางกายภาพสัมพัทธ์

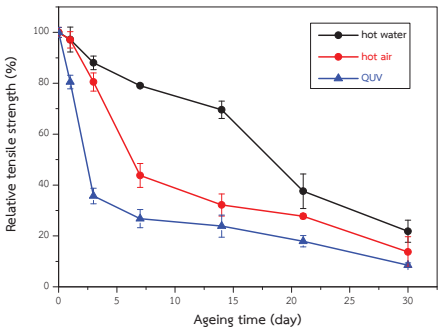
จากสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวที่บ่มเร่งเป็นเวลา 0 - 30 วันทั้ง 3 สภาวะ นำมาคำนวณสมบัติทางกายภาพสัมพัทธ์ตามสมการ (1) แสดงดังรูปที่ 2(ก), 2(ข), 2(ค) และ 2(ง) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ายางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวในปริมาณ 40 phr มีสมบัติทางกายภาพลดลง นั่นคือสามารถเสื่อมสภาพได้ ภายใต้สภาวะน้ำร้อน อากาศร้อน และ QUV ยางตัวอย่างมีความทานทานต่อแรงดึงลดลงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ความร้อน ความชื้น ออกซิเจน และแสงยูวี มีผลทำให้ยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวเสื่อมสภาพได้ (Brown, Forrest & Soulanget, 2000) ความร้อนเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพ ออกซิเจนที่มีในอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ที่ว่องไวบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ ทำให้เกิดการตัดโซ่โมเลกุลของยาง ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของยางลดลง แต่ลดลงน้อยกว่าสภาวะ QUV เนื่องจากแสงยูวีสามารถทะลุผ่านเข้าไปในโครงสร้างยางได้ลึกกว่าออกซิเจน ส่วนการบ่มในสภาวะน้ำร้อนซึ่งมีความชื้นที่อาจทำให้เม็ดแป้งข้าวเหนียวเกิดการพองตัว เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีองค์ประกอบของของแอลฟา-อะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งสามารถดูดซับน้ำและคลายตัว พองตัวได้ (Oates, 1997; Jane *et al*., 1999) ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวลดลง

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวที่บ่มเร่งเป็นเวลา 0 - 30 วันในสภาวะต่าง ๆ

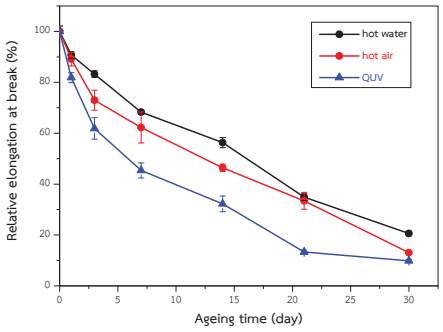
Properties	Ageing time (days)	Ageing condition		
		Hot water	Hot air	QUV
100% Modulus (N/mm^2)	0	1.31±0.09	1.31±0.09	1.31±0.09
	1	1.25±0.01	1.41±0.14	1.53±0.03
	3	1.30±0.02	1.49±0.08	1.52±0.03
	7	1.12±0.03	1.33±0.01	1.24±0.04
	14	0.81±0.01	1.06±0.04	0.88±0.02
	21	0.58±0.02	0.58±0.03	0.37±0.04
	30	0.34±0.01		
Tensile strength (N/mm^2)	0	13.28±0.28	13.28±0.28	13.28±0.28
	1	12.91±0.70	12.89±0.46	10.69±0.38
	3	11.69±0.38	10.69±0.51	4.74±0.44
	7	10.50±0.21	5.81±0.67	3.56±0.51
	14	9.24±0.49	4.27±0.62	3.17±0.62
	21	4.99±0.97	3.68±0.13	2.38±0.32
	30	2.90±0.62	1.82±0.86	1.13±0.13
Elongation at break (%)	0	734.48±14.6	734.48±14.6	734.48±14.6
	1	666.60±9.04	654.75±18.9	601.18±13.6
	3	611.22±8.92	536.04±27.5	454.46±29.4
	7	501.67±5.34	501.34±42.6	333.35±20.8
	14	413.62±14.1	340.90±10.4	236.82±21.5
	21	256.13±9.27	245.43±23.2	97.92±5.27
	30	111.23±6.13	96.04±1.43	72.31±3.40
Tear resistance (N/mm)	0	31.73±3.21	31.73±3.21	31.73±3.21
	1	27.91±0.93	26.43±2.31	26.8±2.90
	3	25.94±0.89	23.60±1.63	22.84±1.59
	7	21.33±3.18	20.35±5.86	17.88±3.33
	14	18.81±1.87	17.09±2.64	14.72±3.72
	21	17.17±0.67	13.49±2.83	8.07±3.47
	30	14.74±2.50	11.79±5.96	7.59±1.07



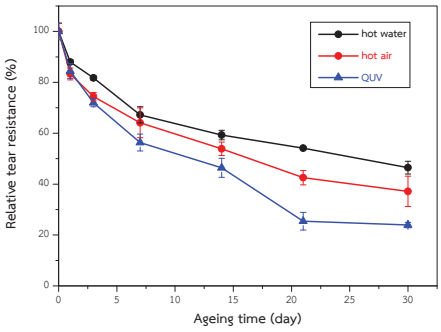
(ก) ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์สัมพัทธ์



(ข) ความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์



(ค) ความสามารถในการยืดจนขาดสัมพัทธ์



(ง) ความต้านทานต่อการฉีกขาดสัมพัทธ์

รูปที่ 2 เปรียบเทียบสมบัติสัมพัทธ์ของยางธรรมชาติที่มีแป้งข้าวเหนียวเป็นสารตัวเติมหลังการบ่มเร่ง

ยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม และสามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อน ความชื้น อากาศ หรือแสงแดด จึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ไปใช้ผลิตเป็นวัสดุปลูกหรือเพาะชำที่ย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถนำต้นกล้าที่เพาะชำไว้ไปปลูกพร้อมวัสดุปลูกหรือเพาะชำได้เลย โดยไม่จำเป็นจะต้องฉีกวัสดุปลูกหรือวัสดุเพาะชำออก อันจะทำให้ระบบรากของพืชไม่บอบช้ำ เนื่องจากสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวลดลงตามระยะเวลาที่นานขึ้น จึงทำให้รากของพืชที่เพาะชำไว้สามารถแทงทะลุวัสดุปลูกหรือเพาะชำออกมาได้

5. สรุปผลการวิจัย

ยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับผลิตวัสดุปลูกหรือเพาะชำกล้าไม้ และสามารถเกิดการเสื่อมสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ความร้อน ความชื้น หรือแสงแดด ซึ่งยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตวัสดุปลูกหรือเพาะชำกล้าไม้เพื่อทดแทนวัสดุปลูกหรือเพาะชำพลาสติกได้ ผลการวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ และการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งข้าวเหนียวที่ศึกษานี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้น ในการศึกษาขั้นต่อไปจะได้ศึกษาการเสื่อมสภาพในสภาวะการใช้งานจริง และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นชิ้นงานที่ต้องการต่อไป นอกจากนั้นข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานอื่น ๆ สำหรับการเกษตรเพิ่มได้ด้วย เช่น ฟิล์มคลุมดิน ฟิล์มคลุมโรงเรือน ถาดเพาะเมล็ด และกระถางปลูกต้นไม้ เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่อนุเคราะห์วัสดุและสารเคมี รวมทั้งเครื่องมือ เครื่องจักร เครื่องทดสอบ และขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่สนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอผลงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฟาตีฮะห์ แดวอสนุง นฤปนาถ พลเมือง และวัชรินทร์ สายน้ำใส. (2562). **ลักษณะการวัลคาไนซ์ สมบัติทางกายภาพ และการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติผสมแป้งพืชเป็นสารตัวเติม**. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม “วิจัยสร้างนวัตกรรม เพื่อพัฒนาท้องถิ่นและสังคมไทย สู่ Disruptive Society” 11 – 12 กรกฎาคม 2562. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม. หน้า 2066-1073.

ดุษฎี อุตภาพ. (2562). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **เคมีและสมบัติของแป้ง.** ค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2562 จาก https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562) **ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร: ยางพารา**. ค้นเมื่อ 10 เมษายน 2562 จาก http://www.oae.go.th/view/1/ยางพารา/TH-T

ASTM D 2084. (1995). Standard test method for Rubber Property - Vulcanization using oscillating disk cure meter. **Annual book of ASTM standards**, Vol 09.01. New York, USA.

ASTM D 3182. (1994). Standard practice for rubber - Materials, equipment, and procedures for mixing standard compounds and preparing standard vulcanized sheets. **Annual book of ASTM standards**, Vol 09.01. New York, USA.

ASTM D 412. (1998). Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers – Tension. **Annual book of ASTM standards**, Vol 09.01. New York, USA.

ASTM D 624. (1998). Standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber and thermoplastic elastomers. **Annual book of ASTM standards**, Vol 09.01. New York, USA.

Brown, R., Forrest, M., & Soulanget, G. (2000). **Long-term and accelerated ageing tests on rubbers**. Shropshire: Smithers Rapra.

Donnet, J. B., & Custodero, E. (2014). Reinforcement of elastomers by particulate fillers. In Mark, J. E., Erman, B., & Roland, C. M. (eds.), **The science and technology of rubber**. (383-416) 4th ed. MA: Elsevier Inc.

Gent, A., N., & Mars, W. V. (2014). Strength of elastomers. In Mark, J. E., Erman, B., & Roland, C. M. (eds.), **The science and technology of rubber**. (473-516) 4th ed. MA: Elsevier Inc.

Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L.F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal chemistry**, 76(5), 629-637.

Oates, C.G. (1997). Toward an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in food science and technology**, 8(11), 375-382.

Roberts, A. D. (1988). **Natural rubber science and technology**. Oxford: Oxford University Press.

Sainumsai, W., Toki, S., Amnuaypornsri, S., Nimpaiboon, A., Sakdapapanich, J., Rong, L., Hsiao B. S., & Suchiva, K. (2017). Dependence of the onset of strain-induced crystallization of natural rubber and its synthetic analogue on crosslink and entanglement by using synchrotron X-ray. **Rubber chemistry and technology**, 90(4), 728-742.

Taggart, P. (2004). Starch as an ingredient: Manufacture and applications. In Eliasson, A. C. (ed.), **Starch in food: Structure, function and applications**. (363-392). Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.

Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, 39, 151–165.

Toki, S., Sics, I., Hsiao, B. S., Murakami, S., Tosaka, M., Poompradub, S., Kohjiya, S., & Ikeda, Y. (2005). Probing the nature of strain-induced crystallization in polyisoprene rubber by combined thermomechanical and in situ X-ray diffraction techniques. **Macromolecules**, 38, 7064-7073.

Waddell, W. H., & Evans, L. R. (2001). Precipitated silica and non-black fillers. In Dick, J. S. (ed.), **Rubber technology: Compounding and testing for performance.** (325-343). Ohio: Hanser Gardner Publications, Inc.