

ผลของผงขี้เลื่อยและน้ำยางพาราต่อสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง

EFFECT OF WOOD SAWDUST AND RUBBER LATEX ON PROPERTIES OF TAPIOCA STARCH COMPOSITE FOAM

มณิศรา พิริยวิรุตม์* บำรุง เลิศลอยกุลชัย

Manisara Phiriyawirut, Bumrung Lertloykulchai*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University
 of Technology Thonburi.

*Corresponding author, E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

คอมพอสิตโฟมแป้งเตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง ผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติ ผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสมแล้วขึ้นรูปโดยการอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์ โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณ ผงขี้เลื่อยยางพารา 0-25% และน้ำยางธรรมชาติ 0-30% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง แล้วศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ โครงสร้างสัณฐานวิทยา ความหนาแน่น สมบัติการรับแรงดัด การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมพอสิตโฟมแป้ง โดยพบว่า ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้ง เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพารา การเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราสามารถ เพิ่มสมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งแต่การเพิ่มปริมาณน้ำยางพารากลับทำให้สมบัติ การรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง ส่วนการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีผงขี้เลื่อยยางพารา และน้ำยางธรรมชาติจะมีค่าต่ำกว่าโฟมแป้ง ดังนั้นผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติสามารถปรับปรุง ให้คอมพอสิตโฟมแป้งทนน้ำมากขึ้น การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยแอลฟอะไมเลส พบว่า การเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราทำให้การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง

คำสำคัญ: คอมพอสิตโฟมแป้ง แป้งมันสำปะหลัง ผงขี้เลื่อยยางพารา น้ำยางธรรมชาติ

Abstract

Starch-based composite foams were prepared from tapioca starch, rubber wood sawdust, and natural rubber latex, by using a mixer, by varying content of rubber wood sawdust and natural rubber latex of 0-25% and 0-30%, respectively. Then the batter was formed by thermal compression molding. Morphology, density, flexural properties, water absorption, and biodegradability of starch-based composite foams were investigated. Overall foam density increased with increasing rubber wood sawdust and natural rubber latex content. Incorporation of the rubber wood sawdust led to the increasing in flexural properties of starch-based foams, while rubber latex results in diverse effect. Water absorption of starch foams decreased by

increasing rubber wood sawdust and natural rubber latex content. Starch foams were degraded by α -amylase and increasing rubber wood sawdust and natural rubber latex content decreased degradation on starch foams.

Keywords: Starch Composite Foam, Tapioca Starch, Rubber Wood Sawdust, Natural Rubber Latex

บทนำ

โฟมแป้ง (Starch Foam) เริ่มเป็นที่รู้จักกันมากขึ้นและได้มีการวิจัยและพัฒนาคุณภาพบรรจุภัณฑ์และภาชนะต่างๆ จนในปัจจุบันเริ่มมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ แต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก เนื่องจากราคาของผลิตภัณฑ์ยังสูงอยู่ในเชิงพาณิชย์และยังมีสมบัติด้อยบางประการเมื่อเทียบกับโฟมพลาสติกสังเคราะห์พื้นฐานปิโตรเลียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากโฟมแป้งมีข้อเสียบางประการ ประการที่หนึ่งโฟมแป้งมีความว่องไวกับน้ำเนื่องจากธรรมชาติของแป้งเป็นสารที่มีแนวโน้มที่จะดึงดูดโมเลกุลของน้ำ หรือมีความชอบน้ำสูง (Hydrophilic) ทำให้โฟมแป้งมีปริมาณความชื้นสูง ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลอีกด้วย [1] ประการที่สองโฟมแป้งมีสมบัติการยึดตัวที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกสังเคราะห์ที่มีอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบัน การพัฒนาสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งทำได้โดยนำแป้งมาผสมกับพอลิเมอร์ที่มีสมบัติที่ดีกว่า แป้งและสารแต่งเติมที่ช่วยเพิ่มสมบัติโฟมแป้งให้ดีขึ้น เช่น การนำแป้งผสมกับพลาสติกสังเคราะห์พื้นฐานปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น การนำแป้งผสมกับพอลิสไตรีน การผสมแป้งกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถเสื่อมสภาพได้ตามธรรมชาติ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือพอลิแลคติกแอซิด หรือพอลิคาโพรแลคโตน หรือการผสมแป้งกับพอลิเมอร์ที่เป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น การนำแป้งผสมกับไคติน [2]

น้ำยางพาราเป็นวัตถุดิบพอลิเมอร์ชีวภาพ และยางพารายังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มี

การปลูกกันมากในประเทศไทย ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่ของโลก เช่นเดียวกับมันสำปะหลัง น้ำยางธรรมชาติมีสมบัติที่สามารถต้านทานต่อโมเลกุลของน้ำหรือมีความไม่ชอบน้ำสูง (Hydrophobic) และยังสามารถปรับปรุงเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำยางพารา

สารตัวเติมเป็นสารที่ใช้เพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์หรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ผงซีลีอิมยางพาราซึ่งมักเป็นวัสดุที่ใช้ช่วยเสริมแรงให้ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีปริมาณความเป็นผลึกสูงไม่เป็นวัสดุผสมที่มีความซับซ้อนซึ่งโครงสร้างหลักๆ ประกอบด้วย เซลลูโลส (40-45%) เฮมิเซลลูโลส (20-30%) และลิกนิน (20-30%) เฮมิเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนที่เป็นอสัณฐานหน้าที่หลักทางกลของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินคือช่วยเสริมความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลส [3] โดยแทรกและยึดตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลส ส่วนเซลลูโลสเป็นส่วนที่เป็นผลึกของไม้และเซลลูโลสจะอยู่ในรูปแบบของไมโครไฟบริลโดยสะสมโครงสร้างที่แข็งแรงในผนังเซลล์และเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำมากกว่าแป้ง (Gaspar และคณะ, 2005) เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นที่มีพันธะระหว่างกลูโคสเป็นแบบเบต้าไกลโคซิดิก โดยทั่วไปแล้วพบว่าพอลิเมอร์ที่มีไม่เป็นองค์ประกอบจะแสดงผลของไม้ในส่วนผสมของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เนื่องด้วยระดับการเกิดพอลิเมอร์และความเป็นผลึกซึ่งเซลลูโลสจะมีหน้าที่สร้างความแข็งแรง

ในเส้นใยไม้ [4] และมีการวิจัยต่างๆ ที่นำเส้นใยเซลลูโลสมาเป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกหรือเทอร์โมพลาสติกสตาติค ซึ่งสามารถปรับปรุงการทนต่อแรงดึงได้และการต้านทานน้ำของพลาสติกจากแป้งสามารถที่จะปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเส้นใยจากผงซีลี้อยไม้ยางพาราเติมลงในคอมพอสิตโฟมแป้ง เพื่อใช้เป็นฟิลเลอร์ปรับปรุงสมบัติทางกลของคอมพอสิตโฟมแป้ง

แป้งมันสำปะหลัง น้ำยางพาราและผงซีลี้อยไม้ยางพารา วัตถุประสงค์เหล่านี้เป็นวัตถุประสงค์ที่มีอยู่ในประเทศไทยแล้วจึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะพัฒนาสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งกับวัตถุประสงค์ที่มีอยู่ อีกประการหนึ่งแม้ว่าแป้งมันสำปะหลัง และน้ำยางพาราจะมีปริมาณการส่งออกต่างประเทศมาก แต่เมื่อเกิดภาวะวิกฤติทางเศรษฐกิจหรือปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลัง และน้ำยางพาราลดลงมาก ปัญหาที่ตามมาคือ แป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราล้นตลาดและราคาตกต่ำ หากได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น โดยการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำยางพาราชนิดต่างๆ จะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา เพื่อให้สามารถแข่งขันทางการตลาดได้ สุดท้ายนี้สิ่งที่สำคัญคือการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่รักษาสิ่งแวดล้อมและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะกับโลกของเรา

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของปริมาณผงซีลี้อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังด้วยการขึ้นรูปแบบอัดร้อน แล้วนำชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล การดูดซับน้ำ โครงสร้างฐานวิทยาและการย่อยสลายเนื่องจากเอนไซม์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของปริมาณผงซีลี้อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง
2. เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกลและทางโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังที่มีการเติมน้ำยางพาราและผงซีลี้อยไม้ยางพารา

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Tapioca Starch) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแป้งมันกาฬสินธุ์ น้ำยางพาราชนิดสารละลายแอมโมเนียชนิดเข้มข้น (Natural Rubber Latex Type High Ammonium) จากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ผงซีลี้อยไม้ยางพารา (Rubber Wood Sawdust) ขนาดอนุภาค 106 μm หรือ 140 เมช ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทยูนิเวอร์แซล พาราวูด จำกัด กัวกัม (Guar Gum) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทวิทย์คอร์ป โปรดักส์จำกัด แมกนีเซียมสเตริยเรต (Magnesium Stearate) จากบริษัทซิกมา (Sigma) นอนไอเด้นท์ ฟอสฟอรัส (Nonident P40) เป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) จากบริษัทฟลูกา (Fluka)

การเตรียมคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง

อบแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นผสมแป้งมันสำปะหลัง กัวกัม (1% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง) แมกนีเซียมสเตริยเรต (2% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง) และผงซีลี้อยไม้ยางพารา 0-25% น้ำยางพารา 0-30% โดยส่วนผสมที่เป็นของแข็งนี้จะผสมกันด้วยไม้พาย โดยดูด้วยตาเปล่าว่ามีการกระจายตัวที่ดีแล้ว ร่อนผสมกับส่วนผสมที่เป็นของเหลวต่อไป

ส่วนผสมที่เป็นของเหลว เริ่มต้นโดยนอนไอเดินท์ ฟีสส์ลิป (Nonident P40) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการกระจายตัวของน้ำยางชั้นในแป้งมันสำปะหลังนำไปหยดใส่น้ำยางชั้นที่เตรียมไว้และคนด้วยแท่งแก้วคนสักพัก หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในน้ำยางชั้นที่มีนอนไอเดินท์ ฟีสส์ลิป ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งและส่วนผสมที่เป็นของเหลวผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสม โดยผสมด้วยเครื่องช่วยผสมเป็นเวลา 20 นาที นำแป้งผสมที่ได้นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อน (Hot Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที หลังจากนั้น นำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ได้ไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงนำชิ้นงานโฟมแป้งที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

การทดสอบสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมจะศึกษาด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ส่องดูบริเวณจุดที่เกิดการแตกหักของชิ้นงานโฟมแป้งที่ทดสอบจากการรับแรงดัด โดยชิ้นงานโฟมแป้งที่จะนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ต้องนำชิ้นงานไปเคลือบทองบริเวณที่ต้องการจะส่อง เพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้ากับชิ้นงาน

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

W_1 = น้ำหนักของคอมพอสิตโฟมแป้งก่อนการแช่น้ำ

W_2 = น้ำหนักของคอมพอสิตโฟมแป้งหลังการแช่น้ำ

การวัดการย่อยสลายคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลส โดยตัดคอมพอสิตโฟมแป้งให้มีขนาดประมาณ กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร และชั่งน้ำหนัก (0.2 – 0.3 กรัม) จากนั้นจุ่มชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้ง

การวัดค่าความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้ง โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักคอมพอสิตโฟมแป้งในอากาศเทียบกับในของเหลว (คลอโรฟอร์ม)

ความต้านทานต่อแรงดัด โดยนำคอมพอสิตโฟมแป้งที่เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 7 วัน วัดการทนต่อแรงดัดสูงสุด และค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุดด้วยวิธี Three point bending method โดยใช้เครื่อง Tensile tester ตามมาตรฐาน ASTM D5943-96 ความเร็วในการกด 2 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ Load cell 5 kN

การวัดปริมาณการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งที่สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยตัดคอมพอสิตโฟมแป้งให้มีขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ซึ่งปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานที่ทดสอบจะมีลักษณะของปลายเปิดคือ ชิ้นงานจะไม่มีผนังปิดซึ่งน้ำสามารถแทรกเข้าไปภายในโพรงได้ง่าย สำหรับงานวิจัยนี้จะจุ่มชิ้นงานตัวอย่างลงในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องนาน 150 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานขึ้นจากน้ำปราศจากไอออนแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการแช่น้ำ แล้วทำการคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งตามสมการที่ 1

ลงในขวดทดลองที่มีเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α - amylase) จำนวน 250 U ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตต (Acetate buffer) เข้มข้น 0.1 M ซึ่งมีค่า pH 6.0 หรือขวดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตตเข้มข้น 0.1 M ซึ่งมีค่า pH

6.0 ที่ปราศจากเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส หลังจากนั้น นำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแข็งขึ้นจากสารละลาย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแข็ง ด้วยน้ำปราศจากไอออน 2 ครั้งและอบให้แห้ง

ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดน้ำหนักที่หายไป เพื่อคำนวณหา ปริมาณโฟมแข็งที่ย่อยสลายไปเนื่องจากเอนไซม์ แอลฟาอะไมเลส (α - amylase) ดังสมการที่ 2

$$\text{น้ำหนักที่ลดลง (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

W_1 = น้ำหนักโฟมแข็งก่อนการทดสอบในสารละลาย

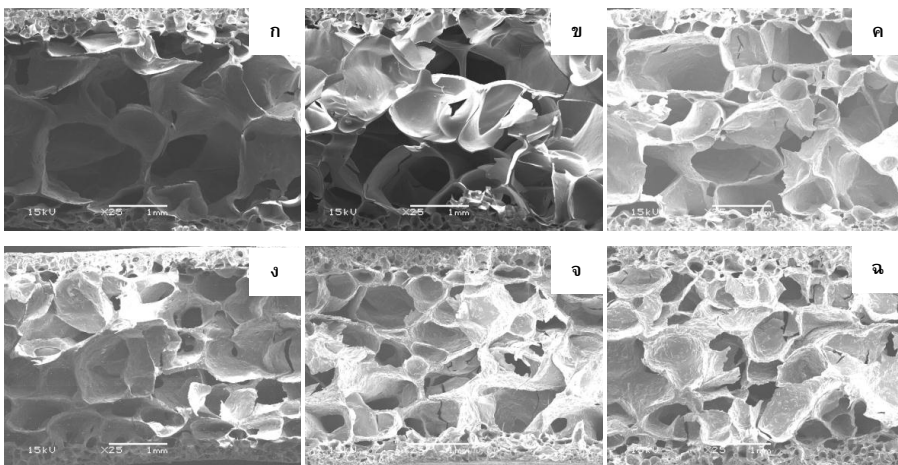
W_2 = น้ำหนักโฟมแข็งหลังการทดสอบในสารละลาย

ผลการวิจัย

กระบวนการขึ้นรูปของคอมพอสิตโฟมแข็ง สามารถแบ่งขั้นตอนการเกิดการฟุ้งตัวได้หลายขั้นตอน ขั้นที่หนึ่ง นำแป้งกับน้ำที่ผสมกันเรียบร้อยแล้ว ไปใส่ในแม่พิมพ์ร้อน จากนั้นทำการปิดแม่พิมพ์ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของแป้งที่ผสมกับน้ำ อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้แป้ง เกิดเจล ขั้นที่สอง แป้งจะเกิดเจลและกลายเป็นแป้ง เปียกขึ้น จนกระทั่ง เมื่ออุณหภูมิของน้ำ ถึงจุดเดือด น้ำที่ผสมอยู่กับแป้งจะระเหยกลายเป็นไอ โดยความดันจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและทำให้อุณหภูมิในแม่พิมพ์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันไอน้ำ ที่อยู่ในแม่พิมพ์จะออกจากแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว โดยลอดผ่านช่องระบายและน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอนี้จะทำให้แป้งเกิดการขยายตัวเนื่องจากความดันของไอน้ำ แป้งจะขยายตัวจนเต็มแม่พิมพ์

และแป้งที่เป็นส่วนเกินในแม่พิมพ์จะเริ่มล้นออกมาทางช่องระบายรอบๆ ขอบของแม่พิมพ์ โดยช่วงสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่นานที่สุดคือโฟมแข็งจะค่อยๆ แห้งเนื่องจากได้รับความร้อนจากแม่พิมพ์แล้วจึงนำชิ้นงานโฟมแข็งออกจากแม่พิมพ์

จากภาพที่ 1 พบว่าลักษณะโครงสร้างของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีการเติมผงซีลี้อย่างพาราและคอมพอสิตโฟมแข็งที่ปราศจากผงซีลี้อย่างพารามีลักษณะหลักที่คล้ายคลึงกันคือ บริเวณขอบทั้งส่วนบนและล่างของคอมพอสิตโฟมแข็ง จะมีขนาดเซลล์ที่เล็กกว่าขนาดเซลล์บริเวณ ส่วนกลางของคอมพอสิตโฟมแข็งซึ่งมีขนาดที่ใหญ่ เนื่องจากขณะขึ้นรูปแป้งเปียกจะแห้งอย่างรวดเร็ว และไม่สามารถขยายตัวได้เนื่องจากมีผนังแม่พิมพ์ที่กั้นอยู่

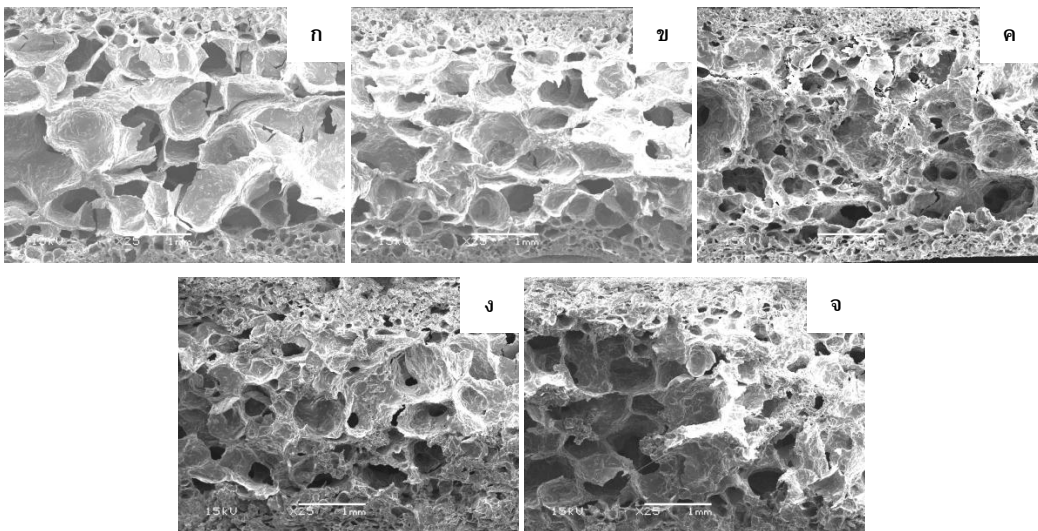


ภาพที่ 1 ภาพตัดขวางของคอมพอสิตโฟมแข็งมันสำปะหลังที่เติมผงซีลี้อย่างพาราที่ปริมาณต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า (ก) 0% (ข) 5% (ค) 10% (ง) 15% (จ) 20% และ (ฉ) 25% โดยน้ำหนักของแป้ง

เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างเซลล์ของคอมพอสิตโฟม จะมีโครงสร้างเซลล์ 2 แบบ คือ โครงสร้างเซลล์ปิด (Closed Cell) เป็นโครงสร้างที่เซลล์ไม่ติดต่อกันและแยกกันอย่างชัดเจน โครงสร้างอีกแบบคือ โครงสร้างเซลล์เปิด (Open Cell) เป็นโครงสร้างที่เซลล์ติดต่อกัน ด้วยผนังเซลล์ที่แตกหรือเจาะต่อกันระหว่างเซลล์กับเซลล์สองจุดหรือมากกว่า จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าคอมพอสิตโฟมแบ่งมีโครงสร้างของเซลล์เป็นแบบเซลล์เปิด (Open Cell) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เซลล์ติดต่อกันด้วยผนังเซลล์ที่แตกหรือเจาะต่อกันระหว่างเซลล์กับเซลล์สองจุดหรือมากกว่า [5] และคอมพอสิตโฟมแบ่งมีผนังเซลล์ที่บางและมีขนาดเซลล์ที่เล็กและใหญ่แบบไม่มีรูปแบบ [6] ในขณะที่การเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยไม่ยางพาราทำให้บริเวณส่วนกลางของคอมพอสิตโฟมแบ่งมีขนาดเซลล์ที่เล็กลง โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นเมื่อเพิ่มผงซีลี้อยไม่

ยางพาราตั้งแต่ 10% โดยเฉพาะปริมาณผงซีลี้อยไม่ยางพาราที่ 20 และ 25% ยังพบว่าคอมพอสิตโฟมแบ่งมีความหนาของขอบด้านบนและด้านล่างมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยไม่ยางพารามากขึ้น ขนาดเซลล์ที่เล็กลงและความหนาของขอบด้านบนและด้านล่างมากขึ้น ส่วนสีของชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแบ่งที่มีการเติมผงซีลี้อยไม่ยางพาราจะมีสีน้ำตาลอ่อนและจะมีสีที่เข้มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยไม่ยางพารามากขึ้น เนื่องจากเนื้อของคอมพอสิตโฟมแบ่งมีปริมาณผงซีลี้อยไม่ยางพาราสะสมมากขึ้น [7]

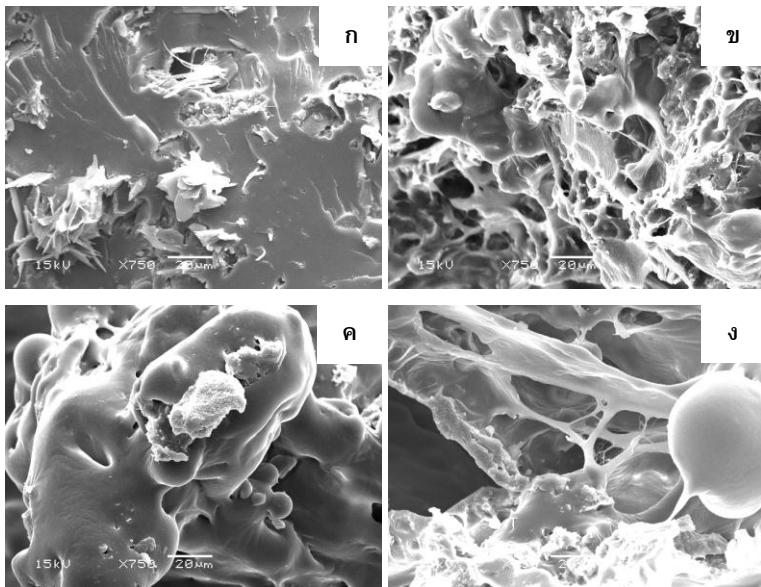
จากภาพที่ 2 และ 3 เป็นภาพโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแบ่งที่มีปริมาณผงซีลี้อยไม่ยางพารา 25% และเติมน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 0-30% โดยน้ำหนักของแบ่งที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า และ 750 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 2 ภาพตัดขวางของคอมพอสิตโฟมแบ่งมันสำปะหลังที่เติมผงซีลี้อยไม่ยางพาราที่ปริมาณ 25% ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า (ก) 0% (ข) 5% (ค) 10% (ง) 20% และ (จ) 30% โดยน้ำหนักของแบ่ง

จากภาพที่ 2 พบว่าที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า คอมพอสิตโฟมแข็งที่มีผงซีลีออยไม้อย่างพารา 25% และน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 0-30% จะมีโครงสร้างของเซลล์เป็นแบบเซลล์เปิดและมีขนาดเซลล์ที่เล็กและใหญ่แบบไม่มีรูปแบบ [7] และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารามากขึ้น โฟมแข็งจะมีขนาดเซลล์เล็กลงเนื่องจากทั้งผงซีลีออยไม้อย่างพาราและยางพาราเป็นส่วนที่ตัน (ไม่เกิดโพรง) เนื้อของคอมพอสิตโฟมแข็งจึงมีรูพรุนน้อยลง ส่วนเนื้อของคอมพอสิตโฟมแข็งมีบางส่วนที่มีเนื้อจับตัวเป็นก้อนและเนื้อของคอมพอสิตโฟมแข็งมีลักษณะที่ร่วนและนิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณยางพาราสำหรับสีของชิ้นงานโฟมแข็งจะมีสีน้ำตาลอ่อนและจะมีส่วนที่เป็นยางสีน้ำตาลที่เข้มและอ่อน

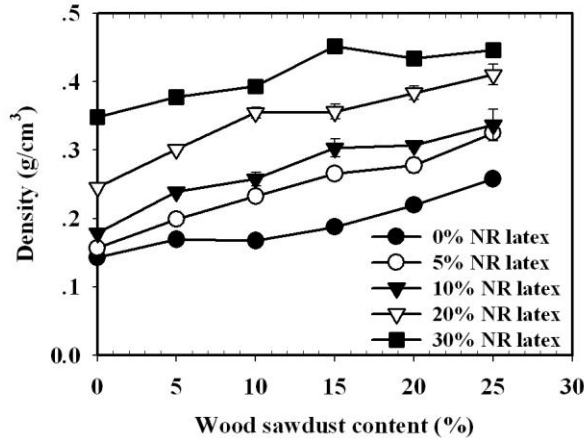
กระจายอยู่ในชิ้นงานเมื่อเติมน้ำยางมากขึ้น เนื่องจากผงซีลีออยไม้อย่างพาราซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มีความเป็นขั้วเช่นเดียวกับแป้ง เมื่อเติมน้ำยางซึ่งมีความเป็นขั้วต่ำลงในคอมพอสิตโฟมแข็งมากขึ้นทำให้คอมพอสิตโฟมแข็งเริ่มเกิดการแยกเฟสซึ่งเมื่อปริมาณน้ำยางมากขึ้น จะเห็นส่วนของยางกระจุกกระจายอยู่ในคอมพอสิตโฟมแข็งมากขึ้น ส่วนภาพโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีปริมาณผงซีลีออยไม้อย่างพารา 25% ที่ระดับกำลังขยาย 750 เท่า (ภาพที่ 3) นั้นพบว่าเมื่อปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นจะสามารถสังเกตเห็นเนื้อยางพาราในคอมพอสิตโฟมแข็งมากขึ้นและเมื่อน้ำยางพารามากขึ้นจะมีการแยกเฟสมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณเนื้อยางพาราที่ 20 และ 30% จะเกิดการแยกเฟสอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางของคอมพอสิตโฟมแข็งมันสำปะหลังที่เติมผงซีลีออยไม้อย่างพาราที่ปริมาณ 25% ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ระดับกำลังขยาย 750 เท่า (ก) 5% (ข) 10% (ค) 20% และ (ง) 30% โดยน้ำหนักของแป้ง

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของคอมพอสิต โฟมแข็งที่เติมผงซีลี้อยู่ไมยางพาราและน้ำ ยางพาราแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าการเติมวัสดุ ทั้งสองชนิดคือผงซีลี้อยู่ไมยางพาราและน้ำยางพารา ผสมกับโฟมแข็ง ทำให้ความหนาแน่นของคอมพอสิต

โฟมแข็งจะมากขึ้นเมื่อเพิ่มทั้งปริมาณผงซีลี้อยู่ไมยางพาราและปริมาณน้ำยางพารา ซึ่งปริมาณความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็ง มีค่าสูงสุด เมื่อเติมปริมาณผงซีลี้อยู่ไมยางพาราที่ 25% และน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 30%



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็งกับปริมาณผงซีลี้อยู่ไมยางพารา และปริมาณน้ำยางพารา

ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็งมัน สำปะหลังที่เติมผงซีลี้อยู่ไมยางพาราจะมีค่าความ หนาแน่นมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยู่ไม ยางพารามากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้าง สัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแข็งที่ขนาดเซลล์ เล็กลงตามภาพที่ 1 เนื่องจากผงซีลี้อยู่ไมยางพารา ที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมแข็งเป็นส่วนที่ตัน (ไม่เกิดเป็นโฟม) เนื้อของคอมพอสิตโฟมแข็ง จึงมีรูพรุนน้อยลง ดังนั้นความหนาแน่นของ คอมพอสิตโฟมแข็งจึงมากขึ้น จากผลการทดลอง คอมพอสิตโฟมแข็งที่เติมผงซีลี้อยู่ไมยางพาราที่ 25% จะมีค่าความหนาแน่นมากที่สุดที่ 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Carr และคณะ [7] ที่ศึกษาผลของ การเติมเส้นใยมันสำปะหลังและเส้นใยข้าวสาลี ลงในคอมพอสิตโฟมแข็งมันสำปะหลัง พบว่า ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็งมัน สำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย

มันสำปะหลังและเส้นใยข้าวสาลี เนื่องจากบริเวณ ผิวของคอมพอสิตโฟมแข็งมีปริมาณเส้นใยสะสม มากขึ้น

ส่วนผลของปริมาณน้ำยางพารานั้น ก็สอดคล้องกับการศึกษาของ Shey และคณะ [8] ซึ่งพบว่าการเติมน้ำยางพาราลงในคอมพอสิต โฟมจากแข็งทั้ง 3 ชนิด คือโฟมแข็งสาลี โฟมแข็งมันเทศและโฟมแข็งข้าวโพดชนิด มีผลทำให้ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็ง ทั้ง 3 ชนิดมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำยาง พาราลงในคอมพอสิตโฟมแข็ง เนื่องจาก ปริมาณของน้ำยางที่เพิ่มขึ้นในก้อนแข็งที่เตรียมใน การขึ้นรูปจะมีน้ำหนักมากขึ้นและเมื่อทำการอบขึ้น รูปก้อนแข็งจะพบว่าส่วนของเนื้อยางจะเป็นส่วนที่ตัน (ไม่เกิดโพรง) เนื้อของคอมพอสิตโฟมแข็ง จึงมีรูพรุนน้อยลง ดังนั้นความหนาแน่นของ คอมพอสิตโฟมแข็งจึงเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยของ Shogren และคณะ [9] ศึกษาผลของความชื้นและเวลาในการเก็บที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตโฟมแข็ง พบว่าสมบัติทางกลทั้งความแข็งแรงและการยึดตัวของคอมพอสิตโฟมแข็งขาวโพลและโฟมแข็งมันเทศมีค่าลดลงทั้งคู่เมื่อเพิ่มเวลาในการเก็บชิ้นงาน ในขณะที่ความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแข็งมากที่สุดที่ระดับความชื้นปานกลาง (50% RH) ในสภาวะที่มีความชื้นต่ำโฟมแข็งจะเกิดรอยร้าวง่ายแต่ในสภาวะที่มีความชื้นสูงโฟมแข็งจะมีความนิ่มและการยึดตัวที่สูงกว่าเนื่องจากโฟมแข็งสามารถดูดซับน้ำจากความชื้น ดังนั้นสภาวะในการเก็บและความชื้นของงานวิจัยนี้จึงใช้ระยะเวลาในการเก็บควบคุมเป็นเวลา 7 วัน โดยใส่ไว้ในตู้ดูดความชื้น (15% RH) หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

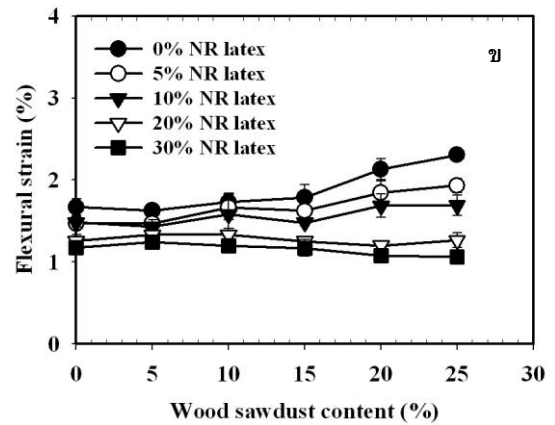
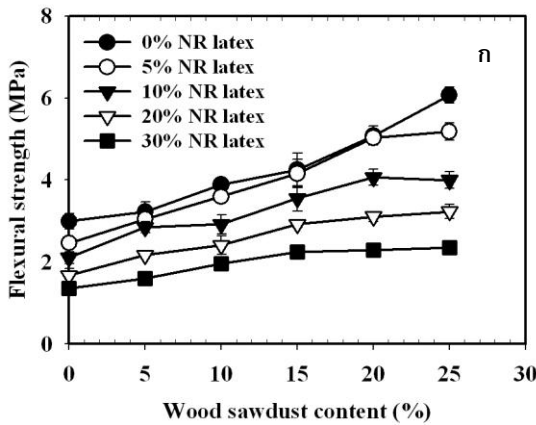
ภาพที่ 5 แสดงสมบัติการรับแรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งผสมผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารา โดยพบว่าค่าการทนต่อแรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีการเติมผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารา ซึ่งคอมพอสิตโฟมแข็งที่เติมผงซีลี้อยู่ 25% จะมีค่าการรับแรงดัดสูงสุด 6.07 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ในทางกลับกันค่าการทนต่อแรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีผงซีลี้อยู่ไม่ยางพาราและน้ำยางพารามีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา เนื่องจากน้ำยางพารามีผลต่อการแยกเฟสของคอมพอสิตโฟมแข็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโฟมแข็งที่มีการเติมผงซีลี้อยู่ไม่ยางพาราที่ปริมาณ 20-25% และน้ำยางพาราในปริมาณ 30% จะเห็นได้ว่าโฟมแข็งเกิดการแยกเฟสมาก สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งกับปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารา พบว่าค่าการยึดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีการเติมผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารามากขึ้น เนื่องจากผงซีลี้อยู่ไม่ยางพาราสามารถติดกันดีกับแข็งจึงทำหน้าที่เป็นเส้นใยเสริมแรงและเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างแข็งที่แตกหัก [9] จึงทำให้คอมพอสิตโฟมแข็งสามารถยึดตัวได้มากขึ้นขณะรับแรงดัด ในทางกลับกันค่าการยึดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีการเติมน้ำยางพารามีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 20-30% ค่าการยึดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแข็งไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ ถึงแม้ว่าจะมีการเติมปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่ยางพาราเพิ่มขึ้นจาก 0-25% ซึ่งเกิดจากโฟมแข็งเริ่มมีการแยกเฟส เนื่องจากขาดความเข้ากันได้ระหว่างเฟสของแข็งกับน้ำยางพาราหรือเฟสของผงซีลี้อยู่ไม่ยางพารากับน้ำยางพารา

สำหรับเส้นใยนั้นสามารถเสริมความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแข็งได้ แต่ต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม จากงานวิจัยของ Lawton และคณะ [10] ศึกษาการเติมเส้นใยแอสเพน (Aspen Fiber) ซึ่งเป็นเส้นใยสายพันธุ์เดียวกับต้นวิลโลว์ลงในคอมพอสิตโฟมแข็งขาวโพลที่ขึ้นรูปโดยการอบ เพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติทางกล สำหรับปริมาณเส้นใยที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมแข็งนั้นอยู่ในช่วง 2.5% ถึง 45% ผลพบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณเส้นใยที่ 15% และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยระหว่าง 15% ถึง 30% ผลพบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแข็งมีค่าไม่ต่างกัน ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่มากกว่า 30% ขึ้นไป พบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแข็งมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมากการกระจายตัวของเส้นใยไม่มีรูปแบบทำให้ไม่สามารถเสริมแรงให้กับคอมพอสิตโฟมแข็งได้ ซึ่งจะส่งผลทำให้ความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแข็งลดลง และสมบัติความยืดหยุ่นของ

ยางคอมพอสิตที่ประกอบด้วยยางพาราและเส้นใยแอสเพน (Aspen Fiber) เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยแอสเพน (Aspen Fiber) ยกเว้นความชื้นที่สูงและต่ำ

ผลพบว่าร้อยละยี่สิบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความชื้น 50%



ภาพที่ 5 สมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโพลีเมอร์กับปริมาณผงซีลี้อยไม้ยางพารา และปริมาณน้ำยางพารา ก) ค่าการทนต่อแรงดัดสูงสุด และ ข) ค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุด

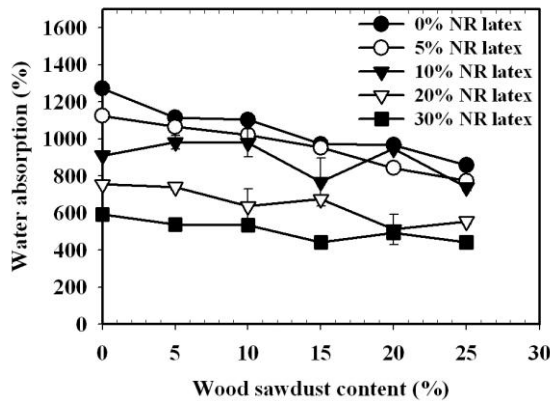
เนื่องจากยางซึ่งมีความเป็นขี้ผึ้งกับยางที่มีความเป็นขี้ผึ้งต่ำ ทำให้มีความเข้ากันได้ระหว่างกันต่ำ สมบัติทางกลจึงต่ำลงไปด้วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Wu และคณะ [11] ศึกษาพบว่ายางซึ่งมีความเป็นขี้ผึ้ง ทำให้มีการเข้ากันต่ำกับยางที่ไม่มีขี้ผึ้งอย่างเช่น สไตรีน-บิวทาไดอีนรับเบอร์ (SBR) และยางธรรมชาติ (NR) มีผลทำให้สมบัติทางกลของวัสดุผสมระหว่างยางกับยางมีค่าต่ำ และงานวิจัยของ Nakason และคณะ [12] ได้ศึกษาสมบัติทางกลของยางพารา 100 ส่วนกับยางมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจนถึง 60 ส่วน พบว่าค่าการทนต่อแรงดัดและค่าการยืดตัว ณ จุดแตกหักมีค่าลดลง สมบัติความแข็งแรงที่ค่อนข้างต่ำนี้อาจจะเกิดจากอนุภาคของยางมันสำปะหลังที่ไม่สามารถรับการถ่ายเทความเค้นจากส่วนที่เป็นยาง เนื่องจากความไม่เข้ากันของยางมันสำปะหลังและยางจึงทำให้ผิวสัมผัสระหว่างยางมันสำปะหลังกับยางพารามีอันตรกิริยาระหว่างผิว (Surface Interaction) ที่ต่ำ ดังนั้นยางมันสำปะหลังจึงไม่สามารถรับการถ่ายเทความเค้นจากส่วนที่เป็นยางได้

ข้อด้อยอีกประการของคอมพอสิตโพลีเมอร์จากยางก็คือน้ำมีความต้านทานต่อการดูดซับน้ำ (Water Absorption) ที่จำกัด เมื่อโพลีเมอร์ดูดซับน้ำมากเกินไปจะทำให้โครงสร้างของคอมพอสิตโพลีเมอร์เสียรูปทรงได้ จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้โพลีเมอร์จากยางจึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นสมบัติการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโพลีเมอร์มีความสำคัญต่อโพลีเมอร์ จึงมีนักวิจัยที่พัฒนาโพลีเมอร์ให้มีสมบัติทนน้ำมากขึ้น เช่น การเคลือบโพลีเมอร์โดยสารละลายเซอโนที่ทนน้ำ การผสมยางดัดแปรที่มีความสามารถในการทนน้ำ และการเติมสารฟิลเลอร์ที่สามารถทำให้โพลีเมอร์มีความสามารถทนน้ำมากขึ้น [13-15]

ภาพที่ 6 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโพลีเมอร์ที่ผสมผงซีลี้อยไม้ยางพารากับปริมาณน้ำยางพารา ผลพบว่า การเติมวัสดุทั้งสองชนิดผสมคือผงซีลี้อยไม้ยางพารา และน้ำยางพาราลงในคอมพอสิตโพลีเมอร์จะทำให้ค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโพลีเมอร์มีค่าลดลง เนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคของคอมพอสิตโพลีเมอร์ ตามภาพที่ 2 ที่มีความหนาแน่นมากขึ้น

ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนไหวเข้าไปในคอมพอสิต โฟมแข็งได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมน้ำยางพาราลงในคอมพอสิตโฟมแข็งจะมีผลต่อการลดค่าการดูดซับน้ำลงมากกว่าการเติมผงซีลี้อยู่ในยางพาราในคอมพอสิตโฟมแข็ง เนื่องจากน้ำยางพารามีความเป็นขั้วต่ำจึงมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ เพราะน้ำเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูง [11] ในขณะที่ผงซีลี้อยู่ในยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลสที่ประกอบด้วย ดี-กลูโคส (D-glucose) เช่นเดียวกับแป้ง

แต่แตกต่างกันที่มีพันธะแบบ β ของคอมพอสิตโฟม ส่วนแป้งเป็นพันธะแบบ α โดยพันธะแบบ β ของผงซีลี้อยู่ในยางพารานั้นเป็นโครงสร้างที่มีความเป็นโครงร่างผลึกสูง [14] ทำให้ผงซีลี้อยู่ในยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ทนน้ำได้ดีกว่าแป้ง [16] ดังนั้นการเติมน้ำยางพาราจึงสามารถลดค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแข็งได้มากกว่าการเติมผงซีลี้อยู่ในยางพารา



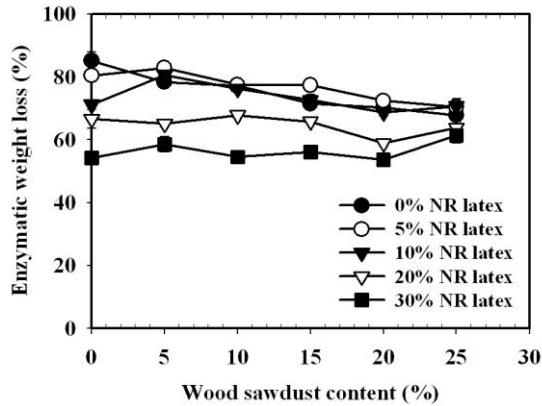
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแข็งกับปริมาณผงซีลี้อยู่ในยางพารา และปริมาณน้ำยางพารา ที่ 25 องศาเซลเซียสนาน 150 นาที

การศึกษาสมบัติการสลายตัวเนื่องจาก เอนไซม์ของคอมพอสิตโฟมแข็ง ในงานวิจัยนี้ เอนไซม์ที่เลือกใช้ คือ เอนไซม์ อะไมเลส ซึ่งข้อดีของการเลือกใช้การศึกษาการสลายตัวของคอมพอสิตโฟมแข็งด้วยเอนไซม์ก็คือ เป็นวิธีที่ง่าย ได้ผลเร็วและสารที่ได้จากการสลายตัวสามารถนำไปวิเคราะห์ได้โดยไม่มีผลเนื่องจากตัวแปรอย่างอื่น [17] เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสสามารถที่จะผลิตได้จากแหล่งต่างๆ เช่น จากแบคทีเรีย จากเห็ดรา งานวิจัยนี้ได้เลือกเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส จากเห็ดรา (*Aspergillus oryzae*) ซึ่งถูกมาทำเอนไซม์ และใช้ในอุตสาหกรรมการหมักอย่างแพร่หลาย [18] การเลือกใช้เอนไซม์อะไมเลส เนื่องจากโฟมแข็งมีแป้งเป็นวัสดุหลัก ดังนั้นการใช้เอนไซม์อะไมเลส จะทำให้เห็นผลของการสลายตัวที่ชัดเจนขึ้น

การสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์ของคอมพอสิต โฟมแข็งที่มีการเติมผงซีลี้อยู่ในยางพาราและน้ำยางพาราในอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 6 ที่ 25 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำหนักที่หายไปของคอมพอสิตโฟมแข็งมีแนวโน้มที่ลดลง จากผลที่ได้นี้อาจกล่าวได้ว่าผงซีลี้อยู่ในยางพาราและน้ำยางพาราที่เติมลงไปในการคอมพอสิตโฟมแข็งมีผลทำให้การสลายตัวของคอมพอสิตโฟมแข็งด้วยเอนไซม์อะไมเลสมีค่าลดลง เนื่องจากโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีการเติมผงซีลี้อยู่ในยางพาราและน้ำยางพารามีความหนาแน่นที่มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันนี้เป็นพื้นฐานในการกำหนดอัตราการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ [17] เฉพาะผงซีลี้อยู่ในยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลส

ที่มีโครงสร้างมีความเป็นโครงสร้างผลึกสูง [14] และมีพันธะแบบ β -1,4 แต่เอโนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีความเจาะจงต่อการย่อยสลายของพันธะไกลโคซิลของแป้งที่ α -1,4 ดังนั้นผงซีลี้อย

ไม่ยางพาราจึงไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอโนไซม์แอลฟาอะไมเลส [19] ส่วนยางพาราไม่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอโนไซม์ แต่สลายด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การเสื่อมสภาพต่อสภาวะแวดล้อม



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายตัวเนื่องจากเอโนไซม์แอลฟาอะไมเลสของคอมพอสิตโฟมแป้งกับปริมาณผงซีลี้อยไม้ยางพาราและปริมาณน้ำยางพาราที่ 25 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง

สรุปและอภิปรายผล

คอมพอสิตโฟมแป้งเตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง ผงซีลี้อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสมแล้วขึ้นรูปโดยการอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสแล้วศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ โครงสร้างพื้นฐานวิทยา ความหนาแน่น สมบัติการรับแรงดัด การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมพอสิตโฟมแป้ง จากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มผงซีลี้อยไม้ยางพาราและน้ำยางพารา การเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยไม้ยางพาราสามารถเพิ่มสมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งแต่การเพิ่มปริมาณน้ำยางพารากลับทำให้สมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลงเนื่องจากความเป็นขั้วที่แตกต่างกันระหว่างน้ำยางพารากับแป้งมันสำปะหลัง ส่วนการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มี

ผงซีลี้อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติจะมีค่าต่ำกว่าโฟมแป้ง การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยแอลฟาอะไมเลส พบว่าการเพิ่มผงซีลี้อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราทำให้การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง ดังนั้นผงซีลี้อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติสามารถปรับปรุงให้คอมพอสิตโฟมแป้งทนน้ำมากขึ้นแต่ก็มีผลทำให้การย่อยสลายเนื่องจากเอโนไซม์อะไมเลสเกิดได้ช้าลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Xu, Y.; and Hanna, M.A. (2005). Preparation and Properties of Biodegradable Foams from Starch Acetate and Poly (tetramethylene adipate-co-terephthalate). *Carbohydrate Polymers*. 59: 521-529.
- [2] Phiriyawirut, M.; and Tooljinda, P. (2009). Alpha-chitin Reinforced Tapioca Starch-based Composite Foam. In *Asian Workshop on Polymer Processing (AWPP 2009)*. Malaysia: (CD rom-B111).
- [3] Wikberg, H.; and Maunu, S.L. (2004). Characterisation of Thermally Modified Hard-and Softwoods by ¹³C CPMAS NMR. *Carbohydrate Polymers*. 58: 461-466.
- [4] Yildiz, S.; and Gumuskaya, E. (2007). The Effects of Thermal Modification on Crystalline Structure of Cellulose in Soft and Hardwood. *Building and Environment*. 42: 62-67.
- [5] ปิยวรรณ สุริยชนาจิรสกุล. (2543). พอลิเมอร์ผสมของโฟมแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ เพื่อเป็นโฟมกันกระแทก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปิโตรเคมี และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์). กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] Glenn, G.M.; and Orts, W.J. (2001). Properties of Starch-based Foam Formed by Compression: Explosion Processing. *Industrial Crops and Products*. 13: 135-143.
- [7] Carr, L.G., Parra, D.F., Ponce, P., Lugao, A.B.; and Buchler, P.M. (2006). Influence of Fibers on the Mechanical Properties of Cassava Starch Foams. *Journal Polymer Environment*. 14: 179-183.
- [8] Shey, J., Imam, S.H., Glenn, G.M.; and Orts, W.J. (2006). Properties of Baked Starch Foam with Natural Rubber Latex. *Industrial Crops and Products*. 24: 34-40.
- [9] Shogren, R.L., Lawton, J.W., Doane, W.M.; and Tiefenbacher K.F. (1998). Structure and Morphology of Baked Starch Foams. *Polymer*. 39: 6649-6655.
- [10] Lawton, J.W., Shogren, R.L.; and Tiefenbacher, K.F. (2004). Aspen Fiber Addition Improves The Mechanical Properties of Baked Cornstarch Foams. *Industrial Crops and Products*. 19: 41-48.
- [11] Wu, Y-P., Qi, Q., Liang, G-H.; and Zhang, L-Q. (2006). A Strategy to Prepare High Performance Starch/rubber Composites: In situ Modification During Latex Compounding Process. *Carbohydrate Polymers*. 65: 109-113.
- [12] Nakason, C., Kaesaman, A.; and Eardrod K. (2005). Cure and Mechanical Properties of Natural Rubber-g-poly (methyl methacrylate)-cassava Starch Compounds. *Materials Letters*. 59: 4020-4025.
- [13] พรทิพย์ ฐานมัน. (2543). การพัฒนาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [14] ภัสสร มณีศรีวัชฎ์. (2543). การปรับปรุงคุณสมบัติทางการบรรจุของวัสดุขึ้นรูปจากแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- [15] วรภัทร ลัคณาทินวงศ์. (2546). การศึกษาวัสดุย่อยสลายได้ กระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุย่อยสลายได้. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [16] Gaspar, M., Benko, Z., Dogossy, G., Reczey, K.; and Czigany, T. (2005). Reducing Water Absorption in Compostable Starch-based Plastics. *Polymer Degradation and Stability*. 90: 563-569.
- [17] Vikman, M., Itavaara, M.; and Poutanen, K. (1995). Measurement of the Biodegradation of Starch-based Materials by Enzymatic Methods and Composting. *Journal of Environmental Degradation*. 3: 23-29.
- [18] Jiff, B., van Leeuwen, H.J., Patel, B.; and Yu, Q. (1998). Utilisation of Starch Processing Wastewater for Production of Microbial Biomass Protein and Fungal α -amylase by *Aspergillus Oryzae*. *Bioresource Technology*. 66: 201-206.
- [19] ปราณี อานเป็รื่อง. (2543). เอ็นไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.