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 ผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสมแล้วขึ้นรูปโดยการอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์ โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณผงขี้เลื่อยยางพารา 0-25% และน้ำยางธรรมชาติ 0-30% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง แล้วศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ โครงสร้างสัณฐานวิทยา ความหนาแน่น สมบัติการรับแรงดัด การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมพอสิตโฟมแป้ง โดยพบว่า ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพารา การเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราสามารถเพิ่มสมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งแต่การเพิ่มปริมาณน้ำยางพารากลับทำให้สมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง ส่วนการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติจะมีค่าต่ำกว่าโฟมแป้ง ดังนั้นผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติสามารถปรับปรุงให้คอมพอสิตโฟมแป้งทนน้ำมากขึ้น การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยแอลฟาอะไมเลส พบว่าการเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราทำให้การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง

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] ประการที่สองโฟมแป้งมีสมบัติการยืดตัวที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โฟมพลาสติกสังเคราะห์ที่มีอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบัน การพัฒนาสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งทำได้โดยนำแป้งมาผสมกับพอลิเมอร์ที่มีสมบัติที่ดีกว่าแป้งและสารแต่งเติมที่ช่วยเพิ่มสมบัติโฟมแป้งให้ดีขึ้น เช่น การนำแป้งผสมกับพลาสติกสังเคราะห์พื้นฐานปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น การนำแป้งผสมกับพอลิสไตรีน การผสมแป้งกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถเสื่อมสภาพได้ตามธรรมชาติ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือพอลิแลคติกแอซิด หรือพอลิคาโพรแลคโทน หรือการผสมแป้งกับพอลิเมอร์ที่เป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น การนำแป้งผสมกับไคติน [2]

น้ำยางพาราเป็นวัตถุดิบพอลิเมอร์ชีวภาพและยางพารายังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกกันมากในประเทศไทย ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่ของโลก เช่นเดียวกับมันสำปะหลัง น้ำยางธรรมชาติมีสมบัติที่สามารถต้านทานต่อโมเลกุลของน้ำหรือมีความไม่ชอบน้ำสูง (Hydrophobic) และยังสามารถปรับปรุงเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำยางพารา

สารตัวเติมเป็นสารที่ใช้เพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์หรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งมักเป็นวัสดุที่ใช้ช่วยเสริมแรงให้ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีปริมาณความเป็นผลึกสูง ไม้เป็นวัสดุผสมที่มีความซับซ้อนซึ่งโครงสร้างหลักๆ ประกอบด้วย เซลลูโลส (40-45%) เฮมิเซลลูโลส (20-30%) และลิกนิน (20-30%) เฮมิเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนที่เป็นอสัณฐาน หน้าที่หลักทางกลของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินคือช่วยเสริมความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลส [3] โดยแทรกและยึดตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลส ส่วนเซลลูโลสเป็นส่วนที่เป็นผลึกของไม้และเซลลูโลสจะอยู่ในรูปแบบของไมโครไฟบริลโดยสะสมโครงร่างที่แข็งแรงในผนังเซลล์และเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำมากกว่าแป้ง (Gaspar และคณะ, 2005) เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นที่มีพันธะระหว่างกลูโคสเป็นแบบเบต้าไกลโคซิดิก โดยทั่วไปแล้วพบว่าพอลิเมอร์ที่มีไม้เป็นองค์ประกอบจะแสดงผลของไม้ในส่วนของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เนื่องด้วยระดับการเกิดพอลิเมอร์และความเป็นผลึกซึ่งเซลลูโลสจะมีหน้าที่สร้างความแข็งแรง

ในเส้นใยไม้ [4] และมีงานวิจัยต่างๆ ที่นำเส้นใยเซลลูโลสมาเป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกหรือเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ซึ่งสามารถปรับปรุงการทนต่อแรงดึงได้และการต้านทานน้ำของพลาสติกจากแป้งสามารถที่จะปรับปรุงโดยการเพิ่มจำนวนเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเส้นใยจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราเติมลงในคอมพอสิตโฟมแป้ง เพื่อใช้เป็นฟิลเลอร์ปรับปรุงสมบัติทางกลของคอมพอสิตโฟมแป้ง

แป้งมันสำปะหลัง น้ำยางพาราและผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา วัตถุดิบเหล่านี้เป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศไทยแล้วจึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะพัฒนาสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งกับวัตถุดิบที่มีอยู่ อีกประการหนึ่งแม้ว่าแป้งมันสำปะหลัง และน้ำยางพาราจะมีปริมาณการส่งออกต่างประเทศมาก แต่เมื่อเกิดภาวะวิกฤติทางเศรษฐกิจหรือปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราลดลงมาก ปัญหาที่ตามมาคือแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราล้นตลาดและราคาตกต่ำ หากได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพาราภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น โดยการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำยางพาราชนิดต่างๆ จะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับแป้งมันสำปะหลังและน้ำยางพารา เพื่อให้สามารถแข่งขันทางการตลาดได้ สุดท้ายนี้สิ่งที่สำคัญคือการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่รักษาสิ่งแวดล้อมและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะกับโลกของเรานี้

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังด้วยการขึ้นรูปแบบอัดร้อน แล้วนำชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล การดูดซับน้ำ โครงสร้างสัณฐานวิทยาและการย่อยสลายเนื่องจากเอนไซม์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางข้นที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง

2. เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกลและทางโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังที่มีการเติมน้ำยางข้นและผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Tapioca Starch) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแป้งมันกาฬสินธุ์ น้ำยางพาราข้นชนิดสารละลายแอมโมเนียชนิดเข้มข้น (Natural Rubber Latex Type High Ammonium) จากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์ คอร์ปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Rubber Wood Sawdust) ขนาดอนุภาค 106 μm หรือ 140 เมช ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทยูนิเวอร์แซล พาราวูด จำกัด กัวกัม (Guar Gum) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทวิทย์คอร์ป โปรดักส์จำกัด แมกนีเซียมสะเตรียเรต (Magnesium Stearate) จากบริษัทซิกมา (Sigma) นอนไอเด็นท์ พีสี่สิบ (Nonident P40) เป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) จากบริษัทฟลูกา (Fluka)

การเตรียมคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง

อบแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นผสมแป้งมันสำปะหลัง กัวกัม (1% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง) แมกนีเซียมสะเตรียเรต (2% โดยน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง) และผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา 0-25% น้ำยางพารา 0-30% โดยส่วนผสมที่เป็นของแข็งนี้จะผสมกันด้วยไม้พายโดยดูด้วยตาเปล่าว่ามีการกระจายตัวที่ดีแล้วรอผสมกับส่วนผสมที่เป็นของเหลวต่อไป

ส่วนผสมที่เป็นของเหลว เริ่มต้นโดยนอนไอเด็นท์ พีสี่สิบ (Nonident P40) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการกระจายตัวของน้ำยางข้นในแป้งมันสำปะหลัง นำไปหยดใส่ในน้ำยางข้นที่เตรียมไว้และคนด้วยแท่งแก้วคนสักพัก หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในน้ำยางข้นที่มีนอนไอเด็นท์ พีสี่สิบ ผสมส่วนผสมที่เป็นของแข็งและส่วนผสมที่เป็นของเหลวผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสม โดยผสมด้วยเครื่องช่วยผสมเป็นเวลา 20 นาที นำแป้งผสมที่ได้นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อน (Hot Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ได้ไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงนำชิ้นงานโฟมแป้งที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

การทดสอบสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมจะศึกษาด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ส่องดูบริเวณจุดที่เกิดการแตกหักของชิ้นงานโฟมแป้งที่ทดสอบจากการรับแรงดัด โดยชิ้นงานโฟมแป้งที่จะนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ต้องนำชิ้นงานไปเคลือบทองบริเวณที่ต้องการจะส่อง เพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้ากับชิ้นงาน

การวัดค่าความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งโดยการเปรียบเทียบน้ำหนักคอมพอสิตโฟมแป้งในอากาศเทียบกับในของเหลว (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 ซึ่งปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานที่ทดสอบจะมีลักษณะของปลายเปิดคือชิ้นงานจะไม่มีผนังปิดซึ่งน้ำสามารถแทรกเข้าไปภายในโพรงได้ง่าย สำหรับงานวิจัยนี้จะจุ่มชิ้นงานตัวอย่างลงในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องนาน 150 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานขึ้นจากน้ำปราศจากไอออนแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการแช่น้ำ แล้วทำการคำนวณหาปริมาณการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งตามสมการที่ 1

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

W_1 = น้ำหนักของคอมพอสิตโฟมแป้งก่อนการแช่น้ำ
W_2 = น้ำหนักของคอมพอสิตโฟมแป้งหลังการแช่น้ำ

การวัดการย่อยสลายคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลส โดยตัดคอมพอสิตโฟมแป้งให้มีขนาดประมาณ กว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร และชั่งน้ำหนัก (0.2 – 0.3 กรัม) จากนั้นจุ่มชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งลงในขวดทดลองที่มีเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α – amylase) จำนวน 250 U ผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์อะซีเตต (Acetate buffer) เข้มข้น 0.1 M ซึ่งมีค่า pH 6.0 หรือขวดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตตเข้มข้น 0.1 M ซึ่งมีค่า pH

6.0 ที่ปราศจากเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส หลังจากนั้นนำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งขึ้นจากสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยน้ำปราศจากไอออน 2 ครั้งและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดน้ำหนักที่หายไป เพื่อคำนวณหาปริมาณโฟมแป้งที่ย่อยสลายไปเนื่องจากเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α – amylase) ดังสมการที่ 2

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

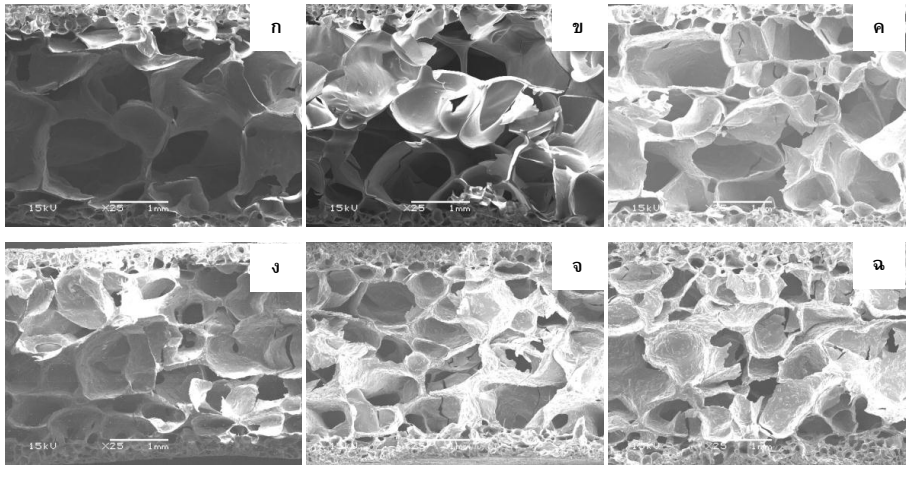
W_1 = น้ำหนักโฟมแป้งก่อนการทดสอบในสารละลาย

W_2 = น้ำหนักโฟมแป้งหลังการทดสอบในสารละลาย

ผลการวิจัย

กระบวนการขึ้นรูปของคอมพอสิตโฟมแป้งสามารถแบ่งขั้นตอนการเกิดการฟูตัวได้หลายขั้นตอน ขั้นที่หนึ่ง นำแป้งกับน้ำที่ผสมกันเรียบร้อยแล้วไปใส่ในแม่พิมพ์ร้อน จากนั้นทำการปิดแม่พิมพ์ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของแป้งที่ผสมกับน้ำอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเกิดเจล ขั้นที่สอง แป้งจะเกิดเจลและกลายเป็นแป้งเปียกข้น จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือด น้ำที่ผสมอยู่กับแป้งจะระเหยกลายเป็นไอ โดยความดันจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและทำให้อุณหภูมิในแม่พิมพ์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันไอน้ำที่อยู่ในแม่พิมพ์จะออกจากแม่พิมพ์อย่างรวดเร็วโดยลอดผ่านช่องระบายและน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอนี้จะทำให้แป้งเกิดการขยายตัวเนื่องจากความดันของไอน้ำ แป้งจะขยายตัวจนเต็มแม่พิมพ์และแป้งที่เป็นส่วนเกินในเบ้าแม่พิมพ์จะเริ่มล้นออกมาทางช่องระบายรอบๆ ขอบของแม่พิมพ์ โดยช่วงสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่นานที่สุดคือโฟมแป้งจะค่อยๆ แห้งเนื่องจากได้รับความร้อนจากแม่พิมพ์แล้วจึงนำชิ้นงานโฟมแป้งออกจากแม่พิมพ์

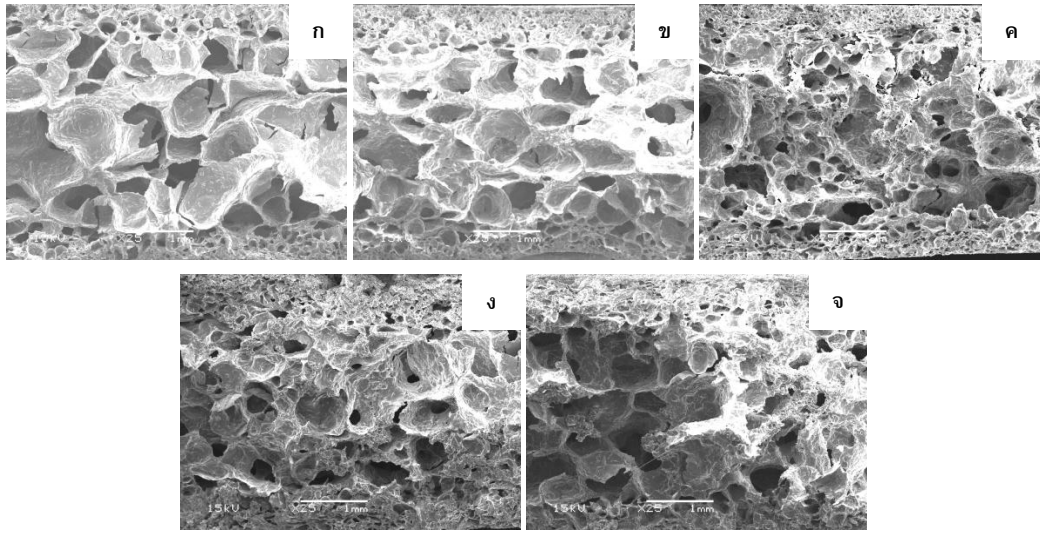
จากภาพที่ 1 พบว่าลักษณะโครงสร้างของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและคอมพอสิตโฟมแป้งที่ปราศจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามีลักษณะหลักที่คล้ายคลึงกันคือบริเวณขอบทั้งส่วนบนและล่างของคอมพอสิตโฟมแป้งจะมีขนาดเซลล์ที่เล็กกว่าขนาดเซลล์บริเวณส่วนกลางของคอมพอสิตโฟมแป้งซึ่งมีขนาดที่ใหญ่ เนื่องจากขณะขึ้นรูปแป้งเปียกจะแห้งอย่างรวดเร็วและไม่สามารถขยายตัวได้เนื่องจากมีผนังแม่พิมพ์ที่กั้นอยู่



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

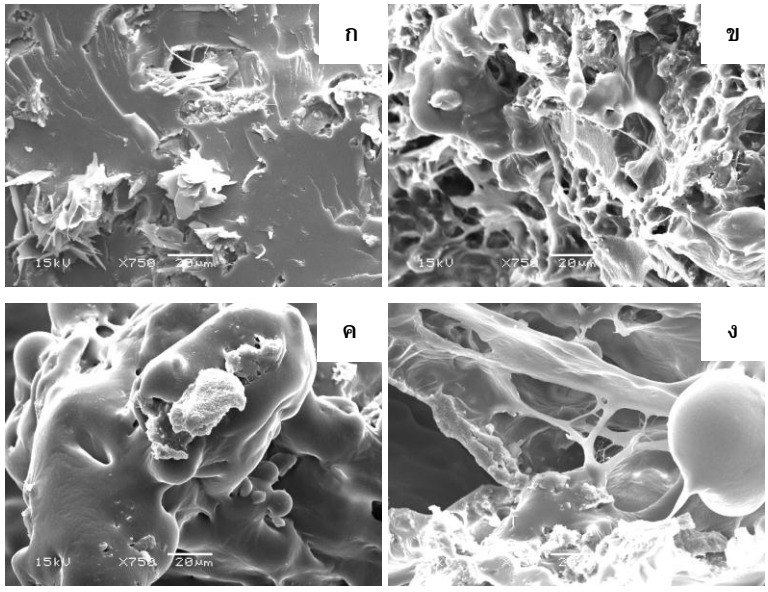
เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างเซลล์ของคอมพอสิตโฟมจะมีโครงสร้างเซลล์ 2 แบบ คือ โครงสร้างเซลล์ปิด (Closed Cell) เป็นโครงสร้างที่เซลล์ไม่ติดต่อกันและแยกกันอย่างชัดเจน โครงสร้างอีกแบบคือโครงสร้างเซลล์เปิด (Open Cell) เป็นโครงสร้างที่เซลล์ติดต่อกัน ด้วยผนังเซลล์ที่แตกหรือเจาะต่อกันระหว่างเซลล์กับเซลล์สองจุดหรือมากกว่า จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าคอมพอสิตโฟมแป้งมีโครงสร้างของเซลล์เป็นแบบเซลล์เปิด (Open Cell) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เซลล์ติดต่อกันด้วยผนังเซลล์ที่แตกหรือเจาะต่อกันระหว่างเซลล์กับเซลล์สองจุดหรือมากกว่า [5] และคอมพอสิตโฟมแป้งมีผนังเซลล์ที่บางและมีขนาดเซลล์ที่เล็กและใหญ่แบบไม่มีรูปแบบ [6] ในขณะที่การเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราทำให้บริเวณส่วนกลางของคอมพอสิตโฟมแป้งมีขนาดเซลล์ที่เล็กลง โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นเมื่อเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราตั้งแต่ 10% โดยเฉพาะปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ 20 และ 25% ยังพบว่าคอมพอสิตโฟมแป้งจะมีความหนาของขอบด้านบนและด้านล่างมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามากขึ้น ขนาดเซลล์ที่เล็กลงและความหนาของขอบด้านบนและด้านล่างมากขึ้น ส่วนสีของชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราจะมีสีน้ำตาลอ่อนและจะมีสีที่เข้มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามากขึ้น เนื่องจากเนื้อของคอมพอสิตโฟมแป้งมีปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราสะสมมากขึ้น [7]

จากภาพที่ 2 และ 3 เป็นภาพโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา 25% และเติมน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 0-30% โดยน้ำหนักของแป้งที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า และ 750 เท่า ตามลำดับ



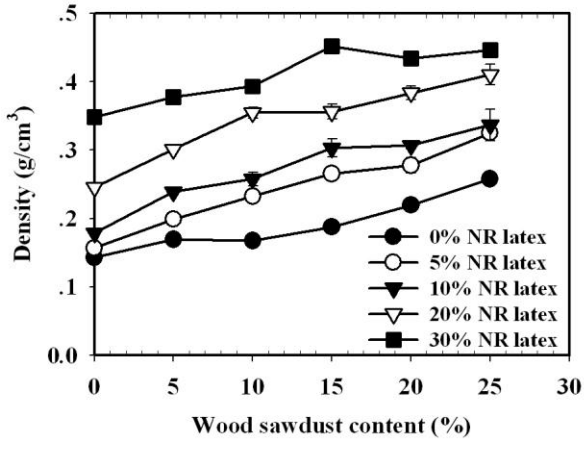
ภาพที่ 2 ภาพตัดขวางของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังที่เติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณ 25% ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า (ก) 0% (ข) 5% (ค) 10% (ง) 20% และ (จ) 30% โดยน้ำหนักของแป้ง

จากภาพที่ 2 พบว่าที่ระดับกำลังขยาย 25 เท่า คอมพอสิตโฟมแป้งที่มีผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา 25% และน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 0-30% จะมีโครงสร้างของเซลล์เป็นแบบเซลล์เปิดและมีขนาดเซลล์ที่เล็กและใหญ่แบบไม่มีรูปแบบ [7] และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารามากขึ้น โฟมแป้งจะมีขนาดเซลล์เล็กลงเนื่องจากทั้งผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและยางพาราเป็นส่วนที่ตัน (ไม่เกิดโพรง) เนื้อของคอมพอสิตโฟมแป้งจึงมีรูพรุนน้อยลง ส่วนเนื้อของคอมพอสิตโฟมแป้งมีบางส่วนที่มีเนื้อจับตัวเป็นก้อนและเนื้อของคอมพอสิตโฟมแป้งมีลักษณะที่ร่วนและนิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณยางพารา สำหรับสีของชิ้นงานโฟมแป้งจะมีสีน้ำตาลอ่อนและจะมีส่วนที่เป็นยางสีน้ำตาลที่เข้มและอ่อนกระจายอยู่ในชิ้นงานเมื่อเติมน้ำยางมากขึ้น เนื่องจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มีความเป็นขั้วเช่นเดียวกับแป้ง เมื่อเติมน้ำยางซึ่งมีความเป็นขั้วต่ำลงในคอมพอสิตโฟมแป้งมากขึ้นทำให้คอมพอสิตโฟมแป้งเริ่มเกิดการแยกเฟส ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำยางมากขึ้น จะเห็นส่วนของยางกระจัดกระจายอยู่ในคอมพอสิตโฟมแป้งมากขึ้น ส่วนภาพโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา 25% ที่ระดับกำลังขยาย 750 เท่า (ภาพที่ 3) นั้น พบว่าเมื่อปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นจะสามารถสังเกตเห็นเนื้อยางพาราในคอมพอสิตโฟมแป้งมากขึ้น และเมื่อน้ำยางพารามากขึ้นจะมีการแยกเฟสมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณเนื้อยางพาราที่ 20 และ 30% จะเกิดการแยกเฟสอย่างเห็นได้ชัด



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

เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งที่เติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าการเติมวัสดุทั้งสองชนิดคือผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราผสมกับโฟมแป้ง ทำให้ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งจะมากขึ้นเมื่อเพิ่มทั้งปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและปริมาณน้ำยางพารา ซึ่งปริมาณความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งมีค่าสูงสุด เมื่อเติมปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ 25% และน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 30%



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งกับปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและปริมาณน้ำยางพารา

ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังที่เติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราจะมีค่าความหนาแน่นมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งที่ขนาดเซลล์เล็กลงตามภาพที่ 1 เนื่องจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมแป้งเป็นส่วนที่ตัน (ไม่เกิดเป็นโฟม) เนื้อของคอมพอสิตโฟมแป้งจึงมีรูพรุนน้อยลง ดังนั้นความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งจึงมากขึ้น จากผลการทดลองคอมพอสิตโฟมแป้งที่เติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ 25% จะมีค่าความหนาแน่นมากที่สุดที่ 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Carr และคณะ [7] ที่ศึกษาผลของการเติมเส้นใยมันสำปะหลังและเส้นใยข้าวสาลีลงในคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง พบว่าความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมันสำปะหลังและเส้นใยข้าวสาลี เนื่องจากบริเวณผิวของคอมพอสิตโฟมแป้งมีปริมาณเส้นใยสะสมมากขึ้น

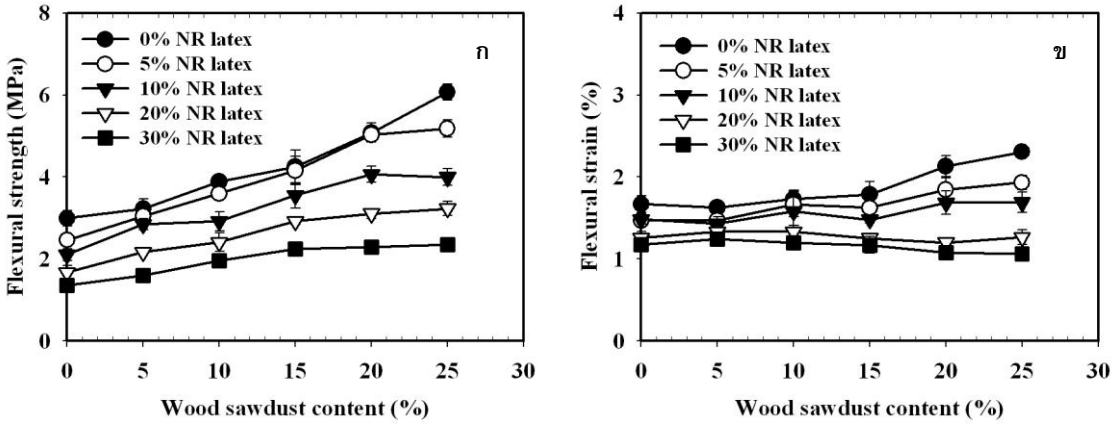
ส่วนผลของปริมาณน้ำยางพารานั้นก็สอดคล้องกับการศึกษาของ Shey และคณะ [8] ซึ่งพบว่าการเติมน้ำยางพาราลงในคอมพอสิตโฟมจากแป้งทั้ง 3 ชนิด คือโฟมแป้งสาลี โฟมแป้งมันเทศและโฟมแป้งข้าวโพดหนืด มีผลทำให้ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งทั้ง 3 ชนิดมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำยางพาราลงในคอมพอสิตโฟมแป้ง เนื่องจากปริมาณของน้ำยางที่เพิ่มขึ้นในก้อนแป้งที่เตรียมในการขึ้นรูปจะมีน้ำหนักมากขึ้นและเมื่อทำการอบขึ้นรูปก้อนแป้งจะพบว่าส่วนของเนื้อยางจะเป็นส่วนที่ตัน (ไม่เกิดโพรง) เนื้อของคอมพอสิตโฟมแป้งจึงมีรูพรุนน้อยลง ดังนั้นความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งจึงเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยของ Shogren และคณะ [9] ศึกษาผลของความชื้นและเวลาในการเก็บที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตโฟมแป้ง พบว่าสมบัติทางกลทั้งความแข็งแรงและการยืดตัวของคอมพอสิตโฟมแป้งข้าวโพดและโฟมแป้งมันเทศมีค่าลดลงทั้งคู่เมื่อเพิ่มเวลาในการเก็บชิ้นงาน ในขณะที่ความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแป้งมากที่สุดที่ระดับความชื้นปานกลาง (50% RH) ในสภาวะที่มีความชื้นต่ำโฟมแป้งจะเกิดรอยร้าวง่ายแต่ในสภาวะที่มีความชื้นสูงโฟมแป้งจะมีความนิ่มและการยืดตัวที่สูงกว่าเนื่องจากโฟมแป้งสามารถดูดซับน้ำจากความชื้น ดังนั้นสภาวะในการเก็บและความชื้นของงานวิจัยนี้จึงใช้ระยะเวลาในการเก็บควบคุมเป็นเวลา 7 วัน โดยใส่ไว้ในตู้ดูดความชื้น (15% RH) หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

ภาพที่ 5 แสดงสมบัติการรับแรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งผสมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยพบว่าค่าการทนต่อแรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งคอมพอสิตโฟมแป้งที่เติมผงขี้เลื่อย 25% จะมีค่าการรับแรงดัดสูงสุด 6.07 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ในทางกลับกันค่าการทนต่อแรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพารามีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา เนื่องจากน้ำยางพารามีผลต่อการแยกเฟสของคอมพอสิตโฟมแป้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณ 20-25% และน้ำยางพาราในปริมาณ 30% จะเห็นได้ว่าโฟมแป้งเกิดการแยกเฟสมาก สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งกับปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา พบว่าค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพารามากขึ้น เนื่องจากผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราสามารถติดกันดีกับแป้งจึงทำหน้าที่เป็นเส้นใยเสริมแรงและเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างแป้งที่แตกหัก [9] จึงทำให้คอมพอสิตโฟมแป้งสามารถยืดตัวได้มากขึ้นขณะรับแรงดัด ในทางกลับกันค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมน้ำยางพารามีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีน้ำยางพาราที่ปริมาณเนื้อยาง 20-30% ค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุดของคอมพอสิตโฟมแป้งไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ ถึงแม้ว่าจะมีการเติมปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นจาก 0-25% ซึ่งเกิดจากโฟมแป้งเริ่มมีการแยกเฟส เนื่องจากขาดความเข้ากันได้ระหว่างเฟสของแป้งกับน้ำยางพาราหรือเฟสของผงขี้เลื่อยไม้ยางพารากับน้ำยางพารา

สำหรับเส้นใยนั้นสามารถเสริมความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแป้งได้ แต่ต้องอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม จากงานวิจัยของ Lawton และคณะ [10] ศึกษาการเติมเส้นใยแอสเพน (Aspen Fiber) ซึ่งเป็นเส้นใยสายพันธุ์เดียวกันกับต้นวิลโลว์ลงในคอมพอสิตโฟมแป้งข้าวโพดที่ขึ้นรูปโดยการอบ เพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติทางกล สำหรับปริมาณเส้นใยที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมแป้งนั้นอยู่ในช่วง 2.5% ถึง 45% ผลพบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแป้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณเส้นใยที่ 15% และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยระหว่าง 15% ถึง 30% ผลพบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแป้งมีค่าไม่ต่างกัน ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่มากกว่า 30% ขึ้นไป พบว่าความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแป้งมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมากการกระจายตัวของเส้นใยไม่มีรูปแบบทำให้ไม่สามารถเสริมแรงให้กับคอมพอสิตโฟมแป้งได้ ซึ่งจะส่งผลทำให้ความแข็งแรงของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง และสมบัติความยืดหยุ่นของ

ถาดโฟมแป้งถูกวัดโดยระยะยืดตัวภายใต้แรง ผลพบว่าระยะยืดตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความชื้น 50% เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยแอสเพน (Aspen Fiber) ยกเว้นความชื้นที่สูงและต่ำ



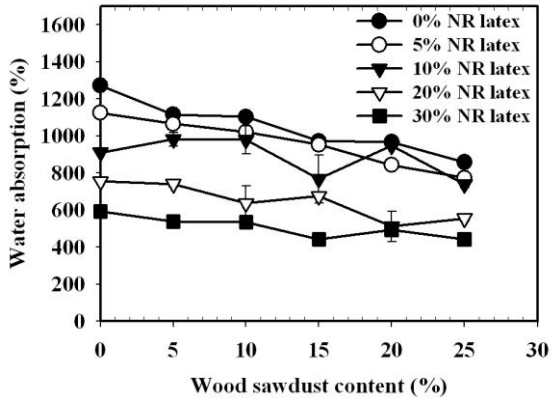
ภาพที่ 5 สมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งกับปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและปริมาณน้ำยางพารา ก) ค่าการทนต่อแรงดัดสูงสุด และ ข) ค่าการยืดตัว ณ แรงดัดสูงสุด

เนื่องจากแป้งซึ่งมีความเป็นขั้วสูงกับยางที่มีความเป็นขั้วต่ำ ทำให้มีความเข้ากันได้ระหว่างกันต่ำ สมบัติทางกลจึงต่ำลงไปด้วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Wu และคณะ [11] ศึกษาพบว่าแป้งซึ่งมีความเป็นขั้วสูง ทำให้มีการเข้ากันต่ำกับยางที่ไม่มีขั้วอย่างเช่น สไตรีน-บิวทาไดอีนรับเบอร์ (SBR) และยางธรรมชาติ (NR) มีผลทำให้สมบัติทางกลของวัสดุผสมระหว่างยางกับแป้งมีค่าต่ำ และงานวิจัยของ Nakason และคณะ [12] ได้ศึกษาสมบัติทางกลของยางพารา 100 ส่วนกับแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจนถึง 60 ส่วน พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดแตกหักมีค่าลดลง สมบัติความแข็งแรงที่ค่อนข้างต่ำนี้อาจจะเกิดจากอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่สามารถรับการถ่ายเทความเค้นจากส่วนที่เป็นยาง เนื่องจากความไม่เข้ากันของแป้งมันสำปะหลังและยางจึงทำให้ผิวสัมผัสระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับยางพารามีอันตรกิริยาระหว่างผิว (Surface Interaction) ที่ต่ำ ดังนั้นแป้งมันสำปะหลังจึงไม่สามารถรับการถ่ายเทความเค้นจากส่วนที่เป็นยางได้

ข้อด้อยอีกประการของคอมพอสิตโฟมจากแป้งก็คือ มีความต้านทานต่อการดูดซับน้ำ (Water Absorption) ที่จำกัด เมื่อโฟมแป้งดูดซับน้ำมากเกินไปจะทำให้โครงสร้างของคอมพอสิตโฟมแป้งเสียรูปทรงได้ จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้โฟมจากแป้งจึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นสมบัติการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งมีความสำคัญต่อโฟมแป้ง จึงมีนักวิจัยที่พัฒนาโฟมแป้งให้มีสมบัติทนทานน้ำมากขึ้น เช่น การเคลือบโฟมแป้งโดยสารละลายเซอินที่ทนน้ำ การผสมแป้งดัดแปรที่มีความสามารถในการทนน้ำ และการเติมสารฟิลเลอร์ที่สามารถทำให้โฟมแป้งมีความสามารถทนน้ำมากขึ้น [13-15]

ภาพที่ 6 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งที่ผสมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารากับปริมาณน้ำยางพารา ผลพบว่าการเติมวัสดุทั้งสองชนิดผสมคือผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราลงในคอมพอสิตโฟมแป้งจะทำให้ค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งมีค่าลดต่ำลง เนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคของคอมพอสิตโฟมแป้ง ตามภาพที่ 2 ที่มีความหนาแน่นมากขึ้น

ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนไหวเข้าไปในคอมพอสิตโฟมแป้งได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมน้ำยางพาราลงในคอมพอสิตโฟมแป้งจะมีผลต่อการลดค่าการดูดซับน้ำลงมากกว่าการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราลงในคอมพอสิตโฟมแป้ง เนื่องจากน้ำยางพารามีความเป็นขั้วต่ำจึงมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ เพราะน้ำเป็นสารที่มีความเป็นขั้วสูง [11] ในขณะที่ผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลสที่ประกอบด้วยดี-กลูโคส (D-glucose) เช่นเดียวกับแป้ง แต่แตกต่างกันที่มีพันธะแบบ β ของคอมพอสิตโฟมส่วนแป้งเป็นพันธะแบบ α โดยพันธะแบบ β ของผงขี้เลื่อยไม้ยางพารานั้นเป็นโครงสร้างที่มีความเป็นโครงร่างผลึกสูง [14] ทำให้ผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ทนน้ำได้ดีกว่าแป้ง [16] ดังนั้นการเติมน้ำยางพาราจึงสามารถลดค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งได้มากกว่าการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา

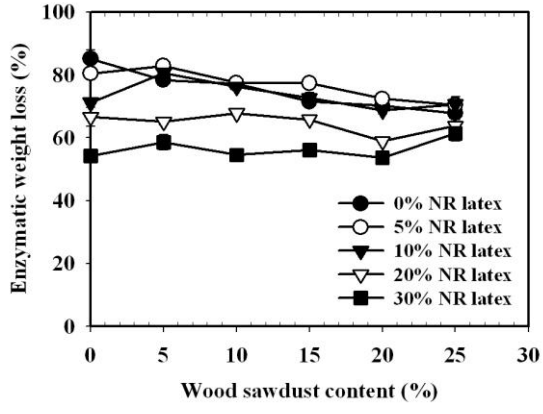


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งกับปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและปริมาณน้ำยางพารา ที่ 25 องศาเซลเซียสนาน 150 นาที

การศึกษาสมบัติการสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์ของคอมพอสิตโฟมแป้ง ในงานวิจัยนี้เอนไซม์ที่เลือกใช้ คือ เอนไซม์ อะไมเลส ซึ่งข้อดีของการเลือกใช้การศึกษาการสลายตัวของคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยเอนไซม์ก็คือ เป็นวิธีที่ง่าย ได้ผลเร็วและสารที่ได้จากการสลายตัวสามารถนำไปวิเคราะห์ได้โดยไม่มีผลเนื่องจากตัวแปรอย่างอื่น [17] เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสสามารถที่จะผลิตได้จากแหล่งต่างๆ เช่น จากแบคทีเรีย จากเห็ดรา งานวิจัยนี้ได้เลือกเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจากเห็ดรา (Aspergillus oryzae) ซึ่งถูกมาทำเอนไซม์และใช้ในอุตสาหกรรมการหมักอย่างแพร่หลาย [18] การเลือกใช้เอนไซม์อะไมเลส เนื่องจากโฟมแป้งมีแป้งเป็นวัสดุหลัก ดังนั้นการใช้เอนไซม์อะไมเลส จะทำให้เห็นผลของการสลายตัวที่ชัดเจนขึ้น

การสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์ของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราในอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 6 ที่ 25 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำหนักที่หายไปของคอมพอสิตโฟมแป้งมีแนวโน้มที่ลดลง จากผลที่ได้นี้อาจกล่าวได้ว่าผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราที่เติมลงไปในคอมพอสิตโฟมแป้งมีผลทำให้การสลายตัวของคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลสมีค่าลดลง เนื่องจากโครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพารามีความหนาแน่นที่มากขึ้น ซึ่งโครงสร้างสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันนี้เป็นพื้นฐานในการกำหนดอัตราการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ [17] เฉพาะผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นเซลลูโลส

ที่มีโครงสร้างมีความเป็นโครงร่างผลึกสูง [14] และมีพันธะแบบ β-1,4 แต่เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีความเจาะจงต่อการย่อยสลายของพันธะไกลโคซิลของแป้งที่ α-1,4 ดังนั้นผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราจึงไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส [19] ส่วนยางพาราไม่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ แต่สลายด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การเสื่อมสภาพต่อสภาวะแวดล้อม



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสของคอมพอสิตโฟมแป้งกับปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและปริมาณน้ำยางพาราที่ 25 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง

สรุปและอภิปรายผล

คอมพอสิตโฟมแป้งเตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง ผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสมแล้วขึ้นรูปโดยการอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แล้วศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ โครงสร้างสัณฐานวิทยา ความหนาแน่น สมบัติการรับแรงดัด การดูดซับน้ำ และการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมพอสิตโฟมแป้ง จากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพารา การเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราสามารถเพิ่มสมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งแต่การเพิ่มปริมาณน้ำยางพารากลับทำให้สมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง เนื่องจากความเป็นขั้วที่แตกต่างกันระหว่างน้ำยางพารากับแป้งมันสำปะหลัง ส่วนการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแป้งที่มีผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติจะมีค่าต่ำกว่าโฟมแป้ง การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งด้วยแอลฟาอะไมเลส พบว่าการเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราและน้ำยางพาราทำให้การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแป้งลดลง ดังนั้นผงขี้เลื่อยยางพาราและน้ำยางธรรมชาติสามารถปรับปรุงให้คอมพอสิตโฟมแป้งทนน้ำมากขึ้นแต่ก็มีผลทำให้การย่อยสลายเนื่องจากเอนไซม์อะไมเลสเกิดได้ช้าลง

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 ^{13}C 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 สุรัญชนาจิรสกุล. (2543). *พอลิเมอร์ผสมของโฟมแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติเพื่อเป็นโฟมกันกระแทก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์). 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 Rbber 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 ฐานมั่น. (2543). *การพัฒนาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[14] ภัสสรา มณีศรีรัษฎ์. (2543). *การปรับปรุงคุณสมบัติทางการบรรจุของวัสดุขึ้นรูปจากแป้งมันสำปะหลัง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[15] วรภัทร ลัดนทินวงศ์. (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 อ่านเปรื่อง. (2543). *เอ็นไซม์ทางอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.