



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของการเติมน้ำยาฟาราที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติ
ทางกลของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคติน
เป็นส่วนประกอบ

โดย ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์และคณะ

มีนาคม 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของการเติมน้ำยางพาราที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกล ของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินเป็นส่วนประกอบ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. นส. พรทิพย์ ทูลจินดา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. นส. ปาริชาติ มาเนี้ยว	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาผลของการเติมน้ำยางพาราที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินเป็นส่วนประกอบ

คำสำคัญ: ยางพารา คอมพอสิตโฟม แป้งมันสำปะหลัง ไคติน สมบัติทางกล

(ภาษาอังกฤษ) Effect of Natural Rubber Latex on Mechanical Properties of Tapioca Starch-Chitin Composite Foams

Keywords: Natural rubber Latex, Composite Foam, Tapioca starch, Chitin, Mechanical properties

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล ดร. มณีนศรา ปิรียวิรุตม์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140

โทรศัพท์/โทรสาร 02-470-9217 / 02-872-9080 E-mail Manisara.pee@kmutt.ac.th

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาวพรทิพย์ ทุลจินดา

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140

โทรศัพท์/โทรสาร 086-6525436 E-mail Arm su@hotmail.com

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาวปาริชาติ มาเนี้ยว

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140

โทรศัพท์/โทรสาร 086-5539716 E-mail -

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2550 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2551

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ (โดยย่อประมาณ 5 บรรทัด)

ผลจากปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันได้มีการผลิตโฟมที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก (Starch foam) ออกมาใช้ทดแทนโฟมพลาสติก แต่สมบัติของโฟมก็ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการใช้งาน เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ทั้งหมด เนื่องจากโฟมจากแป้งมีสมบัติทางกลต่ำ ค่อนข้างเปราะ ไวต่อความชื้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การศึกษาโฟมแป้งโดยใช้สารธรรมชาติที่สลายตัวได้ในธรรมชาติและมีสมบัติทางกลที่ดีมา

เป็นสารตัวเติม เช่น ไคติน แต่คอมพอสิตโฟมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไคตินค่อนข้างแข็งเปราะขาดความยืดหยุ่น จึงมีการเติมน้ำยางพาราลงไป ซึ่งน่าจะทำให้โฟมที่ได้มีความยืดหยุ่นและทนต่อน้ำได้มากขึ้น

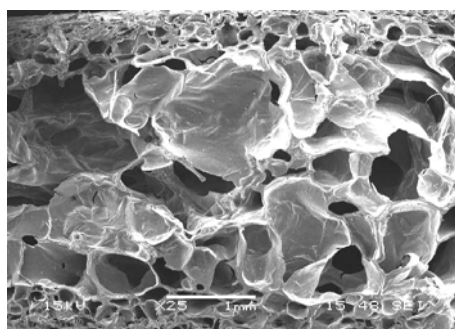
วัตถุประสงค์ (ตามที่ระบุในสัญญาวิทยานิพนธ์)

เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง-ไคตินในการผลิตคอมพอสิตโฟมที่มีสมบัติทางกลที่ดี ทนน้ำ และสลายตัวได้ในธรรมชาติ

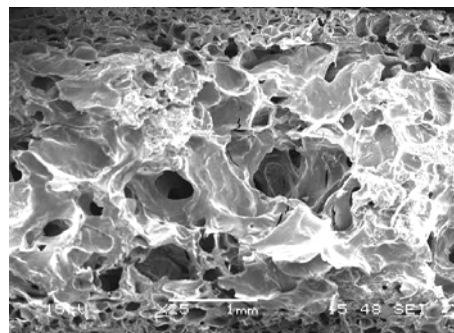
ผลการดำเนินงาน

การเติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคติน (เบต้า-ไคติน) เป็นส่วนประกอบเตรียมการผสมโดยหาปริมาณที่เหมาะสมของปริมาณไคตินและปริมาณน้ำ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำร้อยละ 130-170 โดยน้ำหนักแป้ง ไปพร้อมๆ กับปรับเปลี่ยนปริมาณไคติน ร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งจากการขึ้นรูปและนำไปทดสอบ พบว่าปริมาณที่เหมาะสมที่ให้สมบัติเชิงกลสูงคือ ปริมาณน้ำ 140% โดยน้ำหนักแป้ง และไคติน 10% โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งคาดว่าในปริมาณดังกล่าวของผสมมีการกระจายตัวที่ดี ขนาดเซลล์ค่อนข้างสม่ำเสมอ และเมื่อเติมน้ำยางพาราในปริมาณ 0-30% โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งจำเป็นต้องใช้สารลดแรงตึงผิว Non-idet P40 เพื่อช่วยให้น้ำยางสามารถกระจายตัวในของผสมดีขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.5% โดยน้ำหนักยาง

จากการตรวจสอบทางโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพาราจากรูปที่ 1 พบว่า โฟมมีความหนาแน่นมากขึ้นและเมื่อการเติมน้ำยางลงไป ทำให้คอมพอสิตโฟมมีลักษณะไม่เข้ากันเกิดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนในบางจุด เนื่องจากแป้งมีความเป็นขรุขระทำให้น้ำยางและไคตินเข้ากันไม่ได้กับแป้งเสียส่วนใหญ่ เซลล์ที่ได้มีขนาดเล็กและหนาจนเกิดการเสียรูปทรงไป เมื่อเติมน้ำยางมากขึ้นยังพบว่าคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคตินแทบจะไม่มีความเป็นเซลล์หลงเหลืออยู่เลย



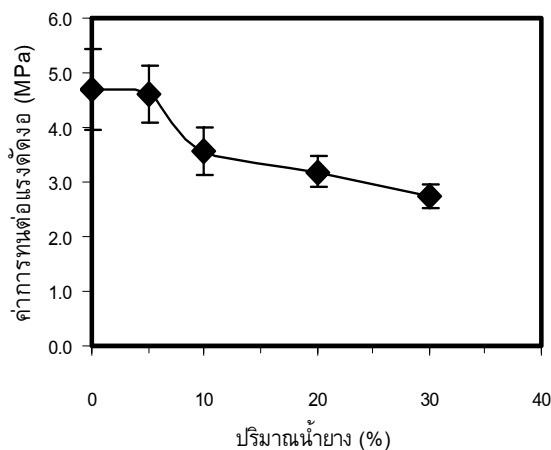
(ก)



(ข)

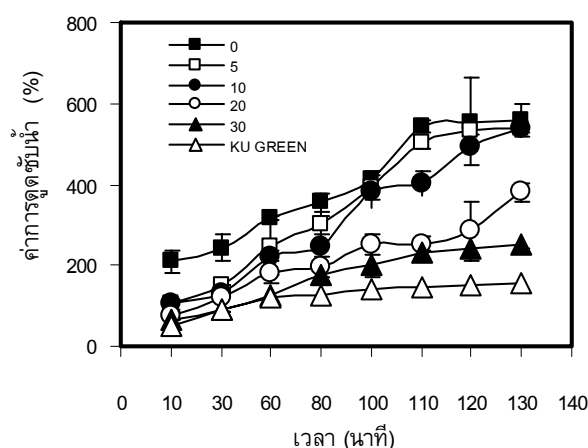
รูปที่ 1 ภาพตัดขวางจากกล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปของคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางพารา (ก) 0% (ข) 5% ที่กำลังขยาย X25 เท่า

การศึกษาสมบัติเชิงกลที่มีการเติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินเป็นส่วนประกอบจากรูปที่ 2 พบว่าที่การเติมน้ำยางพารา 5% โดยน้ำหนักแป้งไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยางมากขึ้นทำให้ผลของสมบัติเชิงกลลดลง อาจเนื่องจากว่าน้ำยางมีสภาพความเป็นขี้ด่ำ เมื่อผสมกับแป้งและไคตินจึงทำให้ของผสมไม่สามารถรวมเข้ากันได้ เกิดการแยกเฟสมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยาง และอาจจะเป็นผลมาจากโฟมมีความชื้นที่ต่ำเกินไป ทำให้ชิ้นงานเปราะมากขึ้นเป็นผลให้สมบัติเชิงกลลดต่ำลง



รูปที่ 2 ค่าการทนต่อแรงดัดงอของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง

การศึกษาสมบัติการทนน้ำของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินเป็นส่วนประกอบ เมื่อเติมด้วยน้ำยางพาราจากรูปที่ 3 พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำยางทำให้ทนน้ำได้ดีมากขึ้นตามปริมาณที่มากขึ้น และมากกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟม เนื่องจากสมบัติของน้ำยางที่ไม่ชอบน้ำหรือไม่ดูดซับน้ำ (Hydrophobic) ประกอบกับโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารามีความหนาแน่นขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสของคอมพอสิตโฟมกับน้ำยากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแป้งของ KU GREEN ทนน้ำได้ดีกว่า อาจจะมีการเคลือบผิวหรือใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มสมบัติให้กับโฟมแป้งจึงทนน้ำได้ดีกว่า



รูปที่ 3 ค่าการดูดซับน้ำคอมพอสิตโฟม เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง 0-30% โดยน้ำหนักของแป้ง และโฟมแป้งทางการค้าของ KU GREEN

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินที่มีการเติมด้วยน้ำยาง พาราพบว่า มีความเสถียรทางความร้อนที่คล้ายคลึงกับคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ไม่ได้เติมน้ำยางพาราโดยจะเริ่มสลายตัวในช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง

การศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลสของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินที่มีการเติมด้วยน้ำยางพาราพบว่า น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานคอมพอสิตโฟมจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเติมปริมาณน้ำยางในคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินพบว่า การย่อย

สลายด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลส ณ เวลาต่างๆ ปริมาณน้ำหนัที่หายไปของชั้นงานคอมพอสิตโฟมลดลงตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาน้ำหนัที่หายไปของเฉพาะแบ่งในคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมด้วยน้ำยางพาราก็ลดลงเช่นกัน แสดงว่าการเติมน้ำยางอาจไปขัดขวางหรือขวางทางการเข้าไปทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ α -อะไมเลสกับโมเลกุลของแบ่ง ทำให้เอนไซม์ α -อะไมเลสเข้าไปตัดพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิกระหว่างโมเลกุลกลูโคสภายในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในแบ่งได้ยากขึ้น จึงเป็นผลให้ย่อยสลายได้ช้าลง และบางส่วนของแบ่งที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลสคือ ในส่วนของพันธะ α -1,6 กลูโคซิดิกภายในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

จากข้อมูลเบื้องต้น น้ำยางสามารถช่วยให้คอมพอสิตโฟมทนน้ำได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันไม่สามารถช่วยในเรื่องความแข็งแรงได้ ถึงแม้ว่ายางจะมีสมบัติที่ช่วยในการเพิ่มความยืดหยุ่นก็ตาม เนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างคอมพอสิตโฟมแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินและน้ำยางพารา จึงทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มในทางที่ดีที่จะพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเพื่อจะปรับปรุงคอมพอสิตโฟมให้มีสมบัติเชิงกลและการทนน้ำให้ดีขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมของแบ่งมันสำปะหลัง/ไคติน พบว่าที่ปริมาณการเติมน้ำยางพารา 5% สมบัติเชิงกลของโฟมไม่เปลี่ยนแปลง และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากขึ้น เนื่องจากความเข้ากันได้ระหว่างคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินและน้ำยางพาราต่ำ ในขณะเดียวกันการเพิ่มปริมาณน้ำยางทำให้โฟมมีความหนาแน่นมากขึ้นและสามารถทนน้ำได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสมบัติของยางที่สามารถการต้านทานโมเลกุลของน้ำได้ซึ่งมีแนวโน้มไปในทางที่ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โฟมแบ่งของ KU GREEN พบว่ายังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังทำให้การย่อยสลายด้วย α -อะไมเลสของคอมพอสิตโฟมช้าลงเมื่อเทียบกับการย่อยสลายของแบ่งและคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคติน ส่วนการสลายตัวทางความร้อนของคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมด้วยน้ำยางพาราพบว่า มีความเสถียรทางความร้อนที่คล้ายคลึงกับคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ไม่ได้เติมน้ำยางพารา โดยจะเริ่มสลายตัวในช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากผลการทดลองการเตรียมการผสมระหว่างคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคตินกับน้ำยางพาราพบว่า โฟมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก เนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคตินกับน้ำยางพารา เพราะน้ำยางมีสภาพความเป็นขี้ดต่ำเมื่อผสมกับแบ่งและไคตินจึงทำให้ของผสมไม่สามารถรวมเข้ากันได้ จึงเกิดการแยกเฟสขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยาง ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยนี้คือ การเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ลงในของผสมดังกล่าว เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของของผสม ซึ่งอาจจะทำให้ของผสมดังกล่าวมีสมบัติดีขึ้น โดยสารที่น่าสนใจอย่างเช่น Aminopropyl triethoxy silane, Glycidoxypopyl trimethoxy silane หรือ $[\beta$ -(3,4 Epoxycyclohexyl)-ethyl] trimethoxy silane เป็นต้น ปริมาณสารที่ใช้ก็ค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อต้นทุนในการผลิตไม่มากนัก

ผลงานวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

นำเสนอแบบปากเปล่าในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ “Asian Workshop on Polymer Processing 2008” เรื่อง “Influence of Beta-Chitin and Natural Rubber Latex on Water Absorption of Biodegradable Starch-based Foam” วันที่ 26-29 สิงหาคม 2551 เมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

รหัสโครงการ: RDG5050042
 ชื่อโครงการ: การศึกษาผลของการเติมน้ำยางพาราที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและไคตินเป็นส่วนประกอบ

ชื่อนักวิจัย: ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์
 นส. พรทิพย์ ทูลจินดา
 นส. ปาริชาติ มาเนี้ยว

สังกัด: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โทรศัพท์: 02-470-9217
 E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th
 ระยะเวลาโครงการ: 9 เดือน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน (เบต้า-ไคติน) ที่มีการเติมน้ำยางพารา โดยใช้วิธีการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบ สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยความดัน 80-110 kgf/cm² เป็นเวลา 2 นาที สำหรับการขึ้นรูปของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำที่มีการเติมไคติน จากการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำร้อยละ 130-170 โดยน้ำหนักแป้ง พร้อมกับปริมาณไคตินร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งปริมาณน้ำ 140% โดยน้ำหนักแป้งและไคติน 10% โดยน้ำหนักแป้งเป็นช่วงที่เหมาะสม คอมพอสิตโฟมที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบเซลล์เปิดค่อนข้างสม่ำเสมอและมีสมบัติเชิงกลที่สูงที่สุด ในขณะเดียวกันเมื่อเติมน้ำยางพาราลงไปผสม 5-30% โดยน้ำหนักแป้ง พร้อมด้วย Non-idet P40 1.5% โดยน้ำหนักของยางในน้ำยาง เพื่อช่วยให้ยางกระจายตัวในของผสมได้ดียิ่งขึ้น พบว่าที่ปริมาณการเติมน้ำยางพารา 5% สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตโฟมไม่เปลี่ยนแปลงแต่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีผลทำให้คอมพอสิตโฟมมีความหนาแน่นสูงขึ้นและสามารถทนน้ำได้ดียิ่งขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแป้งของ KU GREEN ประสิทธิภาพการทนน้ำยังต่ำกว่าเล็กน้อย จากการศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อะไมเลสของคอมพอสิตโฟมพบว่าการย่อยสลายได้ช้าลงเมื่อมีการเติมน้ำยางพารา แต่การเติมน้ำยางพาราไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตโฟมเลย

คำสำคัญ : ยางพารา / คอมพอสิตโฟม / แป้งมันสำปะหลัง / ไคติน / สมบัติทางกล

Project code: RDG5050042

Project title: Effect of Natural Rubber Latex on Mechanical Properties of Tapioca Starch-Chitin Composite Foams

Investigators: Dr. Manisara Phiriyawirut
Miss. PornTip Tooljinda
Miss. Parichart maniw
Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi

Telephone number: 02-470-9217

E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

Project duration: 9 Months

Abstract

Natural rubber latex added tapioca-chitin composite foam was studied by compression molding. The composite foam was molded at 180 degree C, 80-100 kgf/cm² for two minutes. Water content at 130-170 percent and beta-chitin at 0-30 percent by weight of tapioca starch were studied to find the best composition to obtain homogeneous open cell and highest mechanical properties of composite foam. The best composition for composite foam is 140% and 10% of water content and chitin, respectively. The effect of natural rubber latex content at 5 to 30 percent of tapioca-starch and Non-idet P40 1.5% by weight of latex on mechanical properties of composite foam were studied. It has no significant change in mechanical properties at 5% of natural rubber latex but the mechanical properties were decreased by the increasing of latex content. Higher content of latex causes higher density of composite foam, and better in water resistance property. However, natural rubber latex added tapioca-chitin composite has a bit lower in water resistance comparing to KU Green. It was found that the composite foam has slow degradation with alpha-amylase. No significant effect of natural rubber latex addition on thermal stability of the composite foam was observed.

Keyword: Natural rubber latex / Composite foam / Tapioca starch / Chitin / Mechanical properties

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยพยายามผลิตโฟมที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบหลัก (Starch foam) ออกมาใช้ทดแทนโฟมพลาสติก เนื่องจากปัญหาทางสิ่งแวดล้อมแต่สมบัติของโฟมดังกล่าวก็ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ทั้งหมด เนื่องจากโฟมจากแป้งมีสมบัติทางกลต่ำ ค่อนข้างเปราะ นอกจากนี้โฟมจากแป้งยังมีความไวต่อความชื้น สามารถละลายน้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถคงสมบัติเดิมได้ในสภาวะที่มีความชื้นสูง การเติมสารธรรมชาติชนิดอื่นที่มีความสามารถในการสลายตัวในธรรมชาติและมีสมบัติทางกลที่ดีเช่น ไคติน ซึ่งไคตินก็เป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่งที่น่าไปใช้และยังเป็นตัวเสริมประสิทธิภาพอีกด้วย แต่คอมพอสิตโฟมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไคตินค่อนข้างแข็งเปราะขาดความยืดหยุ่น จึงมีการเติมน้ำยางพาราเข้าไปในคอมพอสิตโฟมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไคตินเป็นส่วนผสม ซึ่งน่าจะทำให้โฟมที่ได้มีความยืดหยุ่นและทนต่อน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากสมบัติของยางที่สามารถต้านทานต่อโมเลกุลของน้ำหรือไม่ดูดซับน้ำ (Hydrophobic) และน่าจะสามารถช่วยเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์โฟมจากแป้งได้ ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะนำเอาน้ำยางพารามาปรับปรุงสมบัติทั้งในด้านสมบัติเชิงกลและการทนต่อความชื้นให้กับโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน งานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การศึกษาหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง ไคตินและน้ำยางธรรมชาติเพื่อให้ได้คอมพอสิตโฟมที่มีสมบัติทางกลที่ดี ไม่เปราะและทนต่อน้ำเพื่อนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ โดยคาดว่าข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตโฟมจากแป้งให้มีสมบัติทางกลที่ดี ทนน้ำและสลายตัวได้ในธรรมชาติ เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในงานด้านบรรจุภัณฑ์สำหรับหีบห่อและตอบสนองต่อการนำไปใช้งานต่อไป

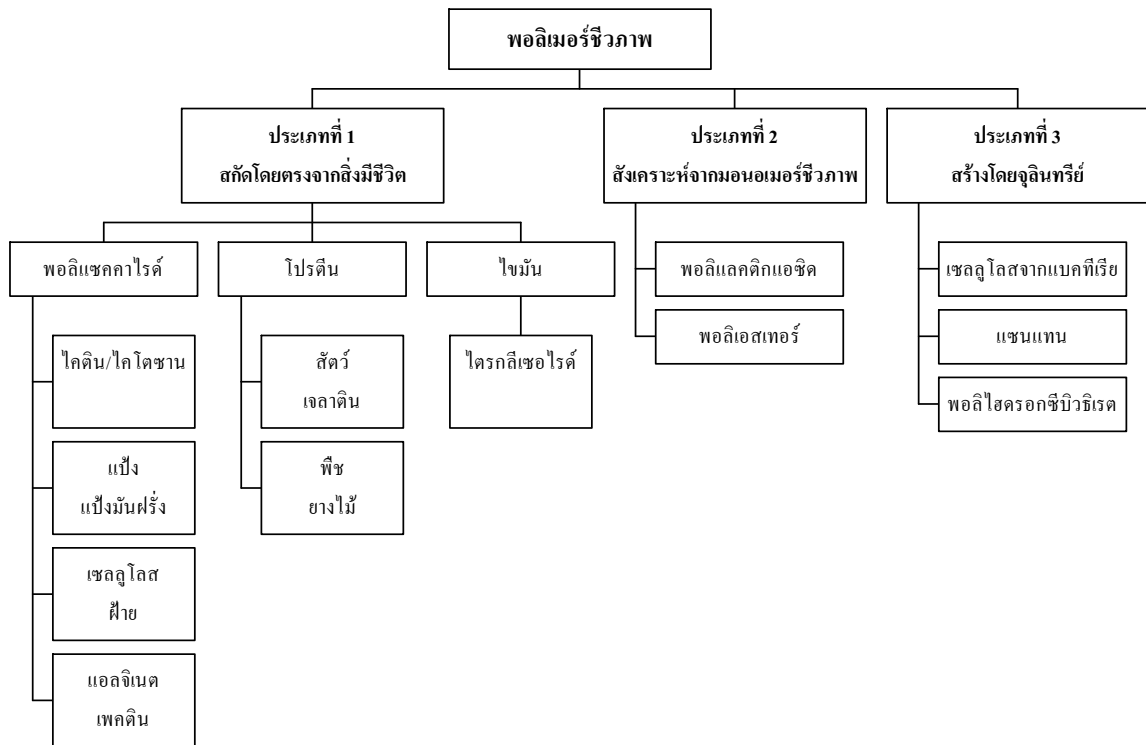
วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง-ไคตินในการผลิตคอมพอสิตโฟมที่มีสมบัติทางกลที่ดี ทนน้ำ และสลายตัวได้ในธรรมชาติ

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

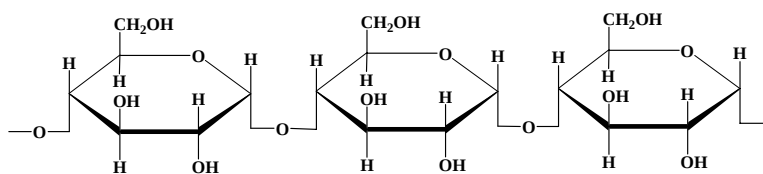
โฟม (Foam)" เป็นคำที่รู้จักกันทั่วไปและถูกใช้ในความหมายที่กว้าง หากพิจารณาตามความหมายของคำแปลจะหมายถึง "ฟู" โฟมในที่นี้หมายถึงวัตถุที่มีน้ำหนักเบาภายในเนื้อวัตถุมีรูฟองอากาศจำนวนมาก ลักษณะโดยทั่วไปคล้ายฟองน้ำธรรมชาติ [1] พลาสติกที่ใช้ทำโฟมมีทั้งชนิดเทอร์โมเซต (Thermoset) และเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เช่น พอลิสไตรีน พอลิยูรีเทน ไวนิลอีพอกซี พอลิเอทิลีน ซิลิโคน เซลลูโลซิก เป็นต้น แต่ที่มีการใช้แพร่หลายคือ พอลิสไตรีนและพอลิยูรีเทน แม้ว่าโฟมพลาสติกจะมีข้อดีหลายประการในการนำมาใช้ประโยชน์ แต่ข้อเสียที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้จากการนำโฟมพลาสติกมาใช้งาน คือการเกิดขยะโฟมพลาสติกเป็นจำนวนมากและมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากระยะเวลาในการสลายตัวของมันค่อนข้างนานหรือชั่วชีวิตของคนและยากที่จะกำจัด แนวทางหนึ่งสำหรับทางออกในการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทโฟมคือ การเลือกใช้โฟมที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biobased polymers) ซึ่งสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ วิธีการกำจัดเช่นเดียวกับการกำจัดขยะอินทรีย์ ใช้เวลาน้อยกว่า 2 เดือนในการสลายตัว เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ทั่วไปซึ่งใช้เวลามากกว่า 10 ปี ซึ่งถือได้ว่าเร็วกว่ามาก ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เองจึงทำให้การใช้พอลิเมอร์ชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

บรรจุภัณฑ์จากโฟมที่ผลิตจากพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biobased polymers) วัตถุดิบส่วนใหญ่ได้จากสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติทางชีวภาพที่ไม่สูญสิ้น (Renewable resource) พอลิเมอร์ชีวภาพสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. แผนภาพแสดงประเภทของพอลิเมอร์ชีวภาพ [1]

ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยพยายามผลิตโฟมที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก (Starch foam) ที่มีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2 ออกมาใช้ทดแทนโฟมพลาสติก แต่สมบัติของโฟมที่ได้ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ทั้งหมด เนื่องจากสมบัติทางกลของโฟมจากแป้งยังค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้โฟมจากแป้งยังมีความไวต่อความชื้นสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำเอาโฟมจากแป้งนี้ไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารประเภทน้ำได้

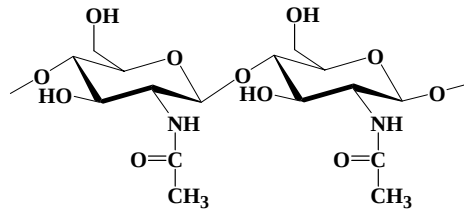


รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

จากข้อด้อยดังกล่าวของโฟมจากแป้ง นักวิจัยจึงได้พยายามพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของโฟมจากแป้ง ให้มีสมบัติที่สามารถตอบสนองในการใช้งานได้อย่างครอบคลุมไม่ว่าจะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยได้มีการเติมสารตัวเติมต่างๆ เช่น ปอ ฝ้าย เซลลูโลส เป็นต้น เพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้น แต่ก็ยังไม่ดีเท่าที่ควร

และด้วยประเทศไทยเป็นประเทศสิทธรมที่มีพืชผลทางการเกษตรเป็นผลผลิตหลักของประเทศมากมาย เช่น แป้งมันสำปะหลัง ยางพารา ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแช่แข็ง เช่น กุ้ง ปลาหมึก และปู ซึ่งของเหลือทิ้งเหล่านี้สามารถเพิ่มมูลค่าโดยการเปลี่ยนรูปเป็นไคตินโดยมีโครงสร้างดังรูป 3 จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ เนื่องด้วยสมบัติที่โดดเด่นคือ ให้สมบัติทางกลที่ดี ไม่ละลายในน้ำ เป็นวัสดุเชิง

ประกอบที่นอกจากจะเหนียวฉีกขาดยาก ยังสามารถรับแรงได้สูง และไม่เปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายๆ สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใย สิ่งทอ ขึ้นรูปเป็นแผ่นเยื่อบาง เพื่อใช้ในการกรองแยก เช่น แยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ ขึ้นรูปเป็นเม็ด เป็นแคปซูล ต่อด้านเชื้ออินทรีย์ ป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น [2]



รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของโคติน

ในขณะเดียวกันมีการศึกษาพบว่าน้ำยางพาราซึ่งเป็นวัตถุดิบพอลิเมอร์ชีวภาพได้จากพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกกันมากในประเทศไทย มีสมบัติที่สามารถต้านทานต่อโมเลกุลของน้ำหรือไม่ดูดซึมหรือไม่ดูดซับน้ำ (Hydrophobic) และยังสามารถช่วยเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์โฟมจากแป้งได้ ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการนำคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง/โคตินมาผสมกับน้ำยางพารา เพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งในด้านความแข็งแรงและการทนต่อความชื้น ในขณะเดียวกันโฟมจากแป้งที่ได้ยังคงสมบัติในการเสื่อมสลายได้ในธรรมชาติ (ในงานวิจัยนี้ไม่มีการเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ของโมเลกุลของยาง)

เมื่อเปรียบเทียบเนื้อหาของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการผลิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลังที่เรียกว่า KU-GREEN [3,4] พบว่ามีความแตกต่างกันหลายส่วนเช่น การเลือกใช้วัสดุอันมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โคตินจากแกนปลาหมึก (เบต้า-โคติน) ซึ่งผลิตภัณฑ์ KU-GREEN ไม่ได้ใช้ นอกจากนี้การเลือกใช้น้ำยางพาราเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นก็ยิ่งแตกต่างไปอีกด้วย

สิ่งที่คาดหวังจากงานวิจัยครั้งนี้คือ สามารถนำเอาคอมพอสิตโฟมจากแป้ง-โคตินที่มีการเติมน้ำยางพาราไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์สำหรับหีบห่อ ที่มีสมบัติทางกลที่ดี มีความยืดหยุ่น ทนต่อความชื้น และสามารถสลายตัวได้ในระยะเวลาที่กำหนด โดยมีราคาไม่แพงสามารถแข่งขันกับโฟมจากพลาสติกได้ รวมถึงสามารถตีพิมพ์ในบทความวิชาการได้อีกด้วย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โฟมพองตัวจากแป้ง (Expanded starch-based foam) ได้เริ่มมีการผลิตตั้งแต่ปีพ.ศ. 2513 เป็นต้นมา โดยเริ่มแรกใช้น้ำเป็นสารทำให้ฟูโดยการผ่านขบวนการอัดรีด (Extrusion) แต่โฟมที่ผลิตได้ในช่วงนี้ยังไม่สามารถทำให้มีรูปทรงที่ต้องการได้ เนื่องจากในขบวนการให้ความร้อนแก่แป้งความร้อนจะทำให้แป้งสูญเสียความชื้นและทำให้แป้งเกิดอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน [5]

ในปี ค.ศ. 1993 Tiefenbacher สามารถเตรียมโฟมจากแป้งด้วยกระบวนการอบ (Baking process) ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการอบก้อนแป้งที่เติมน้ำและนวดจนเข้ากันแล้วใส่ลงในแม่แบบที่ร้อน หลังจากนั้นก้อนแป้งจะเริ่มเกิดเป็นเจล (Gelatinization) พองตัวและแห้งจนได้โฟมในที่สุด [6]

ในปี ค.ศ. 1998 Shogren และคณะ [7] สามารถผลิตขึ้นงานที่มีผนังบางๆด้วยโฟมจากแป้ง (Starch foam) โดยวิธีการอบในแม่แบบปิด (Closed mold) ในขั้นแรกก้อนแป้งที่ผ่านการเติมน้ำ แล้วจะถูกนวดจนมีความยืดหยุ่นพอเหมาะ เมื่อก้อนแป้งได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ภายในเนื้อแป้งจะเกิดการระเหยและเกิดเป็น

ฟองอากาศขึ้นภายในเนื้อแป้ง ต่อจากนั้นความหนืดของเนื้อแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่เกิดการขยายตัวของเนื้อแป้ง จนในที่สุดแป้งจะเกิดการแข็งตัวซึ่งทำให้โพลีเมอร์ที่คงตัวรวมทั้งป้องกันการยุบตัว เนื่องจากการระเหยของน้ำ โพลีเมอร์จะมีความหนาแน่นสูงบริเวณผิวนอก ส่วนภายในเนื้อโพลีเมอร์มีความหนาแน่นน้อยกว่าหรือมีลักษณะเป็นเซลล์แบบเปิด (Open cell) [1] ความหนาแน่นและสมบัติทางกลของโพลีเมอร์จากแป้งสามารถควบคุมได้โดยการปรับเปลี่ยนสูตรของแป้งผสม แป้งผสมที่สามารถแข็งตัวได้เร็ว (แข็งตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ) เช่น แป้งที่มีปริมาณของอะไมโลสต่ำ แป้งที่มีปริมาณของแป้งต่ำหรือน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะทำให้โพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ความต้านทานต่อแรงกดต่ำแต่มีความยืดหยุ่นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ไทรินจะพบว่า โพลีเมอร์จากแป้งมีความหนาแน่นสูงกว่าแต่มีความแข็งแรงต่ำกว่า โดยเฉพาะทั้งในสภาวะที่มีความชื้นสูงและต่ำ บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจาก โพลีเมอร์จากแป้งจะมีความไวต่อน้ำค่อนข้างมากเนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic polymer)

ในปีพ.ศ. 2541 สายสนม ประดิษฐ์กวางและงามทิพย์ ภูวโรดม [3] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุและภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยมีชื่อเรียกว่า KU-GREEN ซึ่งมีลักษณะเป็นภาชนะบรรจุรูปทรง มีฟองอากาศกระจายภายในเนื้อวัสดุ ลักษณะคล้ายโพลีเมอร์พลาสติก ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารพร้อมบริโภคแบบใช้ครั้งเดียว (Disposable package) โดยวัสดุหลักคือแป้งมันสำปะหลังที่มีการผสมพลาสติกไซเซอร์และสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing filler) โดยพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในงานนี้ประกอบไปด้วย พอลิแอล โมโน- ได- และโอลิโกแซคคาไรด์รวมทั้งลิปิดและอนุพันธ์ โดยที่พลาสติกไซเซอร์จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น ความยืดตัว ความสะดวกในการขึ้นรูปและปรับความหนืดของส่วนผสมได้ ส่วนสารเพิ่มความแข็งแรงเช่น ผงหินปูนและเส้นใยธรรมชาติต่างๆ จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและช่วยลดการดูดซับน้ำและไขมัน นอกจากนี้ยังเติมสารเชื่อม (Binder) เช่นไฮโดรคอลลอยด์ต่างๆ เช่น แอลจิเนต คาร์ราจีแนน วุ้น และพวกโปรตีนในกรณีที่ต้องการให้มีความเหนียวและผิวเรียบมากขึ้น การขึ้นรูปทำได้โดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding) หรือการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ที่ช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 300 องศาเซลเซียส หรือโดยวิธีหล่อ (Casting) แล้วนำไปอบแห้งที่ช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 100 องศาเซลเซียสขึ้นกับรูปทรงของภาชนะที่ต้องการ

ในปีพ.ศ. 2544 งามทิพย์ ภูวโรดมและสายสนม ประดิษฐ์กวาง [4] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุและภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรง (Reinforcing filler) เช่นผงหินปูนหรือกากมันสำปะหลัง จาก 0-2% เป็น 0-30% ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเติมแต่งหรือเกลือ เช่น โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียม คาร์บอเนต (Na_2CO_3) เพื่อช่วยให้ส่วนผสมต่างๆ เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดอุณหภูมิและหรือเวลาในการขึ้นรูปอีกด้วย

อย่างไรก็ตามเนื่องจากโพลีเมอร์จากแป้งเพียงอย่างเดียวมักประสบปัญหาที่ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปมีความเสถียรต่ำและยังมีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโพลีเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิสไตรีนหรือ พอลิยูรีเทน จึงได้มีการพยายามเติมพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ลงไปในแป้งเพื่อผลิตเป็นคอมพอสิตโพลีเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของโพลีเมอร์จากแป้งให้ดีขึ้นและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

ในปี ค.ศ. 1995 Bhatnagar และ Hanna [8] เตรียมคอมพอสิตโพลีเมอร์จากแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลส 25% กับพอลิสไตรีน และพอลิเมทิลเมทาไครเลตในสัดส่วน 70:30 โดยใช้กระบวนการอัดรีด คอมพอสิตโพลีเมอร์ที่ผลิตได้จะมีความสามารถในการละลายในน้ำ (Water solubility indices, WSI) ลดลงประมาณ 4-13% เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีเมอร์จากแป้งเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการที่คอมพอสิตโพลีเมอร์จากแป้งมีส่วนประกอบของพอลิสไตรีนอยู่ด้วยจะทำให้การสลายตัวตามธรรมชาติของโพลีเมอร์เกิดได้ยากขึ้น

นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2001 Kiatkamjornwong และคณะ [9] ได้ศึกษาการขึ้นรูปโพลีเมอร์จากแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำยางพาราด้วยวิธีการอัดเข้าแบบ (Compression molding) ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำ

ยางพารามีผลทำให้โฟมจากแป้งมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมเบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ลงไปในน้ำยางพาราซึ่งมีผลทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่นั้น จะทำให้โฟมจากแป้งมีมอดุลัสเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ค.ศ. 2005 Shey และคณะ [10] ศึกษาถึงสมบัติของโฟมแป้ง เช่น แป้งมันเทศดิบ แป้งสาลี แป้งข้าวโพดเหนียว โดยการเติมน้ำยางพาราเพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้ง จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของโฟมแป้งทั้ง 3 ชนิด ที่มีการเติมน้ำยางพาราพบว่า โฟมแป้งมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น มีความยืดหยุ่นมากขึ้น นอกจากนี้พบว่า โฟมจากแป้งสาลีให้ค่าความเค้นสูงสุด ณ จุดแตก โมดูลัสและความหนาแน่นมากกว่าโฟมจากแป้งชนิดอื่นๆ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมน้ำยางพาราเข้าไปในแป้งจะเพิ่มความยืดหยุ่นและการต้านทานความชื้นของโฟมแป้งได้ สำหรับการเสถียรของน้ำยางธรรมชาติได้โดยการใส่สารแต่งเติม Triton X-100 เพื่อให้ยางเกิดการกระจายตัวดีไม่จับตัวเป็นก้อนเกิดเป็นลักษณะ Non-ionic

และจากข้อมูลที่ผ่านมาการที่เติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมนั้น สามารถช่วยให้สมบัติเชิงกลของโฟมเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและเบตา-ไคตินเป็นส่วนประกอบ เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงและการทนน้ำให้กับโฟม และเป็นการใช้วัตถุดิบภายในประเทศที่มีอยู่และเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์

1. เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression mold)
2. เครื่องทดสอบความทนแรงดึง (Tensile tester) รุ่น Instron 2532
3. กล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 5200
4. เครื่อง Thermogravimetric analyzer; TGA ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น TGA 7
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB204-S

2. วัตถุดิบและสารเคมี

1. น้ำยางพาราชั้นชนิด Low ammonia ที่มีปริมาณเนื้อยาง 61.68%
2. แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch) จากบริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์
3. แคนหมึก (Squid pen)
4. กาวกัม (Gaur gum) (AR grade) จากบริษัท วิทย์คอร์ปเคมีคอล
5. แมกนีเซียม สเตียเรต (Magnesium stearate) (AR grade) จากบริษัท Sigma Aldrich
6. Nonidet P40 เพื่อช่วยในการกระจายตัวของน้ำยางชั้นในแป้งมันสำปะหลัง จากบริษัท Fluka
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH) (AR grade) จากบริษัท Lab Scan
8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: HCl) (AR grade) จากบริษัท Lab Scan
9. น้ำ DI
10. เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -Amylase form *Aspergillus oryzae*: 250 U/g) จากบริษัท Fluka
11. กรดอะซิติก (Acetic acid: CH_3COOH) (AR grade) จากบริษัท Lab Scan
12. โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate) (AR grade) จากบริษัท Sigma Aldrich

3. สูตรในการเตรียมคอมพอสิตโฟมแข็งสำหรับหลัง/เบตา-ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารา

ตารางที่ 1 สูตรในการเตรียมคอมพอสิตโฟมแข็งสำหรับหลัง/เบตา-ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารา

สารประกอบ	ปริมาณสารที่ใช้ในสูตรต่าง ๆ (ส่วนโดยน้ำหนัก)				
	1	2	3	4	5
แป้งมันสำปะหลัง (% โดยน้ำหนัก)	100	100	100	100	100
ไคติน (% โดยน้ำหนักแป้ง)	10	10	10	10	10
น้ำยางพารา (% โดยน้ำหนักแป้ง)	0	5	10	20	30
กาวกัม (% โดยน้ำหนักแป้ง)	1	1	1	1	1
แมกนีเซียมอะซิเตตเรต (% โดยน้ำหนักแป้ง)	2	2	2	2	2
Nonidet P40 (% โดยน้ำหนักยางพารา)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำ DI (% โดยน้ำหนักแป้ง)	140	140	140	140	140

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมไคตินจากแกนหมึก

นำแกนหมึกที่ล้างจนสะอาดและแห้งแล้วมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 N นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ DI จนมีค่า pH เป็นกลาง แล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ DI จนมีค่า pH เป็นกลาง อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง สารที่ได้คือ เบตา-ไคติน (β -chitin) นำไปบดจนมีลักษณะเป็นผงโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 41.6 μm –1.40 mm. เพื่อพร้อมสำหรับขั้นตอนต่อไป

2. การเตรียมคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลัก

อบแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นผสมแป้งมันสำปะหลัง กาวกัม (1% โดยน้ำหนักของแป้ง) และแมกนีเซียมอะซิเตตเรต (2% โดยน้ำหนักของแป้ง) ด้วยเครื่องผสม เติมน้ำ DI แล้วผสมต่อไปอีก 20 นาที เติมน้ำไคตินและน้ำยางพาราตามส่วนผสมที่กำหนด

นำส่วนผสมที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที แล้วปล่อยให้แม่พิมพ์เย็นด้วยอัตราเร็ว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จะได้แผ่นคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารา นำแผ่นโฟมที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

3. การวิเคราะห์สมบัติของคอมพอสิตโฟม

3.1. โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟม

วิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมโดยใช้เครื่องสแกนนิ่ง อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM)

3.2. ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟม

นำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมที่ต้องการทดสอบขนาด 15.0 × 15.0 ตารางมิลลิเมตร มาวัดความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (Density Determination Kit) และทำการวัดหรือชั่ง

น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศและน้ำหนักของชิ้นงานในน้ำ ในการทดลองนี้จะใช้คลอโรฟอร์ม (Chloroform) แทนน้ำ เนื่องจากแป้งมีความเป็นขี้ผึ้งสามารถดูดซับและละลายน้ำได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่น (ρ) ตามสมการที่ 1

$$\rho = \frac{W_{(a)} \cdot \rho_{(f)}}{W_{(a)} - W_{(f)}} = \frac{W_{(a)} \cdot \rho_{(f)}}{G} \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่ $W_{(a)}$ = น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในอากาศ
 $W_{(f)}$ = น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในคลอโรฟอร์ม
 $\rho_{(f)}$ = ความหนาแน่นคลอโรฟอร์ม 1.44 g/cm³
 G = แรงลอยตัว

3.3 สมบัติการทนน้ำ

ตัดชิ้นงานคอมพอสิตโฟมขนาด 15.0 × 15.0 ตารางมิลลิเมตร และชั่งน้ำหนัก (0.3-0.6 กรัม) จากนั้นจุ่มชิ้นงานคอมพอสิตโฟมลงในขวดทดลองที่ใส่น้ำ DI หลังจากนั้นนำชิ้นงานคอมพอสิตขึ้นจากน้ำ DI ที่เวลา 10 30 60 80 100 110 120 และ 130 นาที โดยใช้กระดาษซับน้ำส่วนที่เกินออกมา นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง แล้ววัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\text{ปริมาณการดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{W_a - W_d}{W_a} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ W_a = น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำของชิ้นงาน
 W_d = น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำของชิ้นงาน

หาน้ำหนักที่หายไปโดยนำชิ้นงานที่จุ่มน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงจากข้อมูลข้างต้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงหรือจนชิ้นงานแห้ง นำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป ได้เช่นเดียวกับสมการข้างต้น โดยการทดลองนี้ทำตามมาตรฐาน ASTM D 570

3.4 สมบัติเชิงกล

3.3.1 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

นำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมมาวัดการทนต่อแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด โดยใช้เครื่อง Tensile tester ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยมีระยะดึง (Gauge length) เป็น 118 มิลลิเมตรและความเร็วในการดึง (Crosshead speed) เป็น 5 มิลลิเมตรต่อนาที

3.3.2 ความต้านทานต่อแรงดัดงอ (Flexural strength)

นำคอมพอสิตโฟมมาวัดความต้านทานต่อแรงดัดงอและค่าการยืดตัวสูงสุดเนื่องจากแรงดัดงอ โดยใช้เครื่อง Tensile tester ตามมาตรฐาน ASTM D 5943-96 โดยวิธี Three point bending method และความเร็วในการวัด (Crosshead speed) เป็น 2 มิลลิเมตรต่อนาที

3.5. สมบัติทางความร้อน

เตรียมตัวอย่างคอมพอสิตโฟมโดยอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง ก่อนชั่งน้ำหนักแล้วนำไปใส่ Aluminum pan เพื่อทดสอบสมบัติการทนต่อความร้อน ด้วยเครื่อง Perkin Elmer Thermogravimetric Analyzer, TGA ในสภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจน $20 \text{ m}^3/\text{min}$ โดยใช้อัตราการให้ความร้อน $10^\circ\text{C}/\text{min}$ จากอุณหภูมิ 30°C ถึง 750°C เพื่อวัดน้ำหนักที่สูญเสียไปของชิ้นงานตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทุกช่วงอุณหภูมิ และนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่าง

3.6. การศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

ศึกษาการย่อยสลายของแป้งในคอมพอสิตโฟม โดยตัดชิ้นงานคอมพอสิตโฟมขนาด 15.0×15.0 ตารางมิลลิเมตร และชั่งน้ำหนัก (0.3-0.4 กรัม) จากนั้นทำการทดลอง 2 ส่วนคือ

- 1) จุ่มชิ้นงานคอมพอสิตโฟมลงในขวดทดลองของ 0.1 M อะซิเตต บัฟเฟอร์ (Acetate buffer) ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 6.0 จำนวน 10 มิลลิลิตร
- 2) จุ่มชิ้นงานคอมพอสิตโฟมลงในขวดทดลองที่ผสม 0.1 M อะซิเตต บัฟเฟอร์ (Acetate buffer) ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 6.0 จำนวน 10 มิลลิลิตร กับเอนไซม์อะไมเลส (250U/g) จำนวน 0.0078 กรัม

ทำการทดลองตามข้อ 1) และ 2) ที่เวลา 1, 2, 4, 6, 15 และ 24 ชม. จนครบตามจำนวนที่ต้องการทดสอบ หลังจากนั้นนำชิ้นงานคอมพอสิตโฟมขึ้นจากสารละลายตามเวลาที่กำหนด ล้างชิ้นงานคอมพอสิตโฟมด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง [11,12] แล้ววัดน้ำหนักที่หายไปทั้งข้อ 1) และ 2) เพื่อคำนวณหาปริมาณโฟมที่ย่อยสลายไป โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{น้ำหนักที่หายไป (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ W_0 = น้ำหนักชิ้นงานก่อนการวัดการย่อยสลาย

W_1 = น้ำหนักชิ้นงานหลังการวัดการย่อยสลาย

เมื่อคำนวณหาปริมาณโฟมที่ถูกย่อยสลายไปทั้งข้อ 1) และ 2) แล้วคำนวณหาปริมาณที่ถูกย่อยสลายไปของโฟมเนื่องจากเอนไซม์ α -อะไมเลส ตามสมการที่ 4 และคำนวณหาปริมาณแป้งที่ถูกย่อยสลายไปเนื่องจากเอนไซม์ α -อะไมเลส (คำนวณจากโฟมจากแป้งที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำร้อยละ 130-170 โดยน้ำหนักแป้ง) ตามสมการที่ 5

ปริมาณที่ถูกย่อยสลายไปของโฟมเนื่องจากเอนไซม์ α -อะไมเลส (%)

= ปริมาณที่ถูกย่อยสลายของโฟมในสารละลายบัฟเฟอร์กับเอนไซม์อะไมเลส (%)

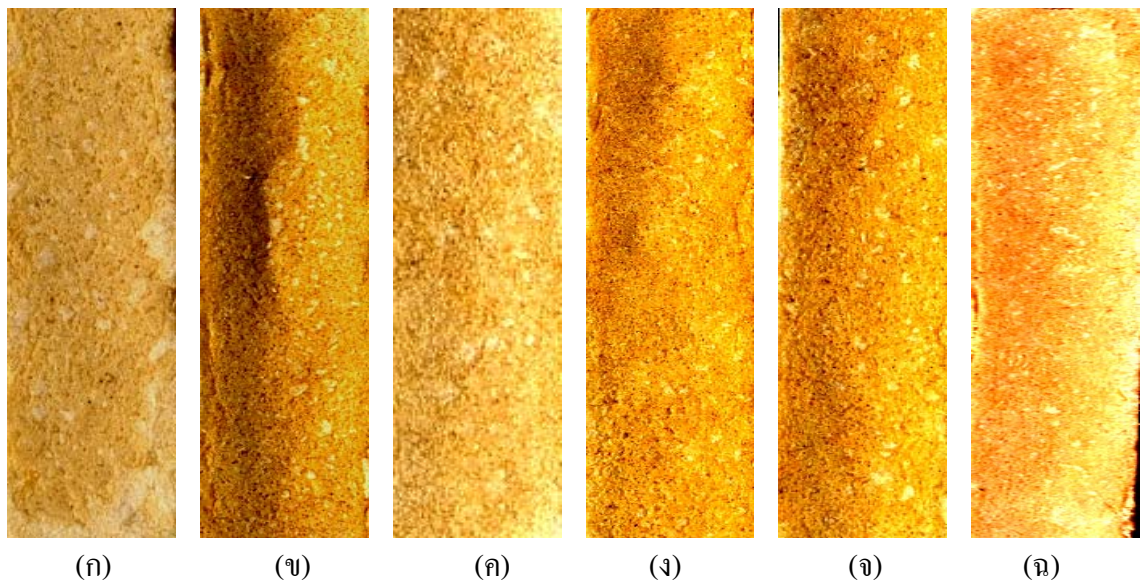
- ปริมาณที่ถูกย่อยสลายไปของโฟมในสารละลายบัฟเฟอร์ (%) \dots\dots\dots(4)

ปริมาณแป้งที่ถูกย่อยสลายไปเนื่องจากเอนไซม์ α -อะไมเลส (%)

= (ผลจากสมการที่ 4 x 100)/ปริมาณแป้งในชิ้นงานทดสอบ \dots\dots\dots(5)

ผลการวิจัย

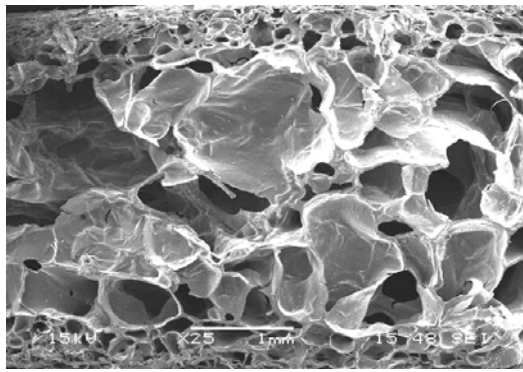
จากผลการศึกษาของพรทิพย์ ทูลจินดา และมณิศรา พิริยวิรุฒม์ [13] ที่ได้ศึกษาคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำร้อยละ 130-170 โดยน้ำหนักของแป้ง และปริมาณไคตินร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนักของแป้งไปพร้อมๆ กัน พบว่าในช่วงที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีคือที่ปริมาณน้ำ 140% โดยน้ำหนักของแป้ง และปริมาณไคติน 10% โดยน้ำหนักของแป้ง ในการทดลองนี้จึงใช้สัดส่วนที่ปริมาณดังกล่าวนี้มาใช้ในการทดลองในส่วนของการเติมน้ำยางพารา แต่เมื่อมีการเติมน้ำยางลงในคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินจำเป็นต้องใช้สารช่วยให้ น้ำยางกระจายตัว เพื่อให้แรงดึงผิวของสารละลายลดต่ำลง ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ Nonidet P40 เป็นสารลดแรงดึงผิวของน้ำยางในคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน โดยทำการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณ Nonidet P40 ร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 5.0 โดยน้ำหนักของยาง โดยทำการทดลองขึ้นรูปและดูด้วยสายตาโดยพิจารณาจากรูปที่ 1 พบว่า ปริมาณ Nonidet P40 ที่เหมาะสมในการศึกษานี้คือร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักของยาง เนื่องจากที่ปริมาณของ Nonidet P40 ร้อยละ 1.5-5.0 โดยน้ำหนักของยางมีการกระจายตัวค่อนข้างดี และในช่วงดังกล่าวมีลักษณะการกระจายตัวของของผสมที่คล้ายกันโดยสังเกตจากผิวของโฟม ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ Nonidet P40 ที่ปริมาณต่ำสุดจากช่วงดังกล่าวคือร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักของยาง จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางธรรมชาติในคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินร้อยละ 5-30 โดยน้ำหนักแป้ง เพื่อศึกษาและปรับปรุงด้านสมบัติเชิงกล การทนต่อความชื้นของคอมพอสิตโฟม



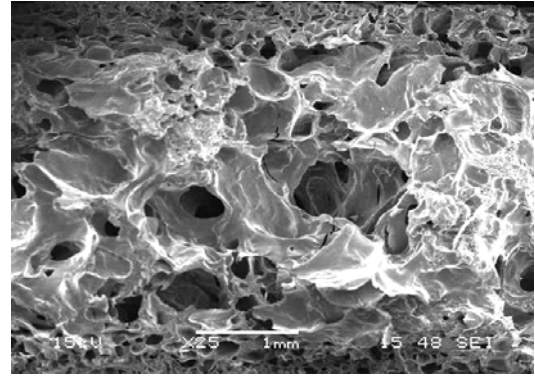
รูปที่ 1 ลักษณะของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลังและไคตินที่เติมน้ำยาง 30% โดยน้ำหนักแป้ง โดยปรับเปลี่ยนสารลดแรงดึงผิว Nonidet P40 (ก) 1% (ข) 1.5% (ค) 2% (ง) 2.5% (จ) 3% และ (ฉ) 5%

1. โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารา

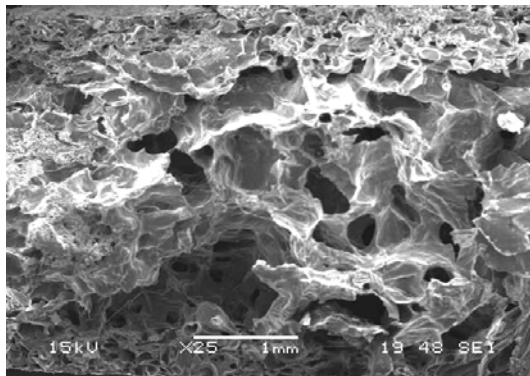
จากกระบวนการขึ้นรูปที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นด้วยวิธีอบในแม่แบบของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน ในการศึกษาจะเป็นการขึ้นรูปคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ปริมาณน้ำร้อยละ 140 โดยน้ำหนักของแป้ง และปริมาณไคตินที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแป้ง โดยมีการเติมน้ำยางลงไป ปริมาณร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนักของแป้ง จากภาพถ่ายจากกล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปดังรูปที่ 2



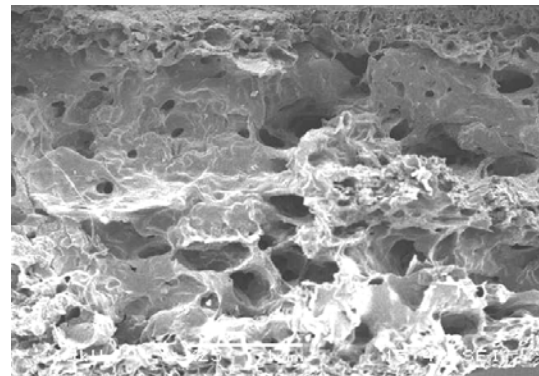
(ก)



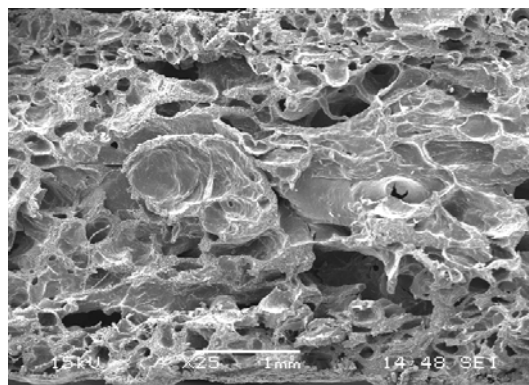
(ข)



(ค)



(ง)

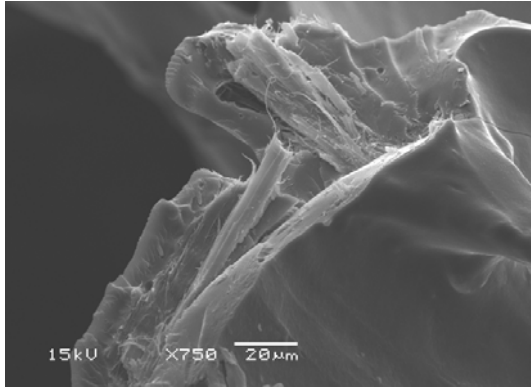


(จ)

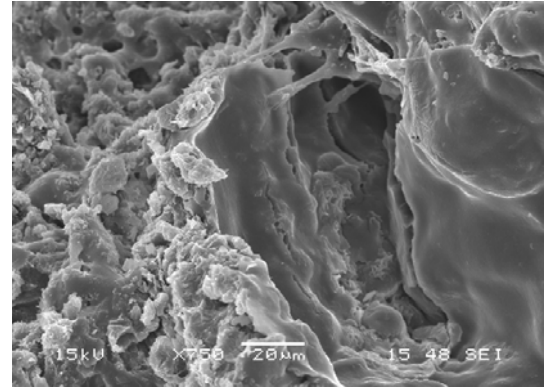
รูปที่ 2 ภาพตัดขวางจากกล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปของคอมพอสิตโฟมจากแป้ง/ไคติน 10% โดยน้ำหนักแป้ง เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางพารา (ก) 0% (ข) 5% (ค) 10% (ง) 20% (จ) 30% ที่กำลังขยาย X25 เท่า

จากรูปที่ 2 พบว่า เมื่อมีการเติมน้ำยางลงไป 5% ทำให้คอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินมีลักษณะไม่เข้ากันเกิดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนในบางจุด เนื่องจากแป้งมีความเป็นขี้สูงทำให้น้ำยางและไคตินเข้ากันไม่ได้กับแป้งเสียส่วนใหญ่ ทำให้บริเวณผิวหน้า ผงแป้งและภายในของเซลล์มีลักษณะที่ไม่ดีนักดังแสดงในรูปที่ 3 เซลล์ที่ได้มีขนาดเล็กและหนาจนเกิดการเสียรูปทรงไป เมื่อเติมน้ำยางมากขึ้นยังพบว่าคอมพอสิตโฟมแทบจะไม่มีความเป็นเซลล์หลงเหลืออยู่เลย และมีการปรากฏอนุภาคของยางกระจายอยู่ตามพื้นผิวทั่วไป เกิดรอยขรุขระไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการแยกเฟสมากขึ้น ทำให้ผิวมีสภาพที่อ่อนแออย่างเห็นได้ชัด และในส่วนของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินเองที่มีข้อจำกัดในเรื่องการจัดเรียงตัวและกระจายตัวของ

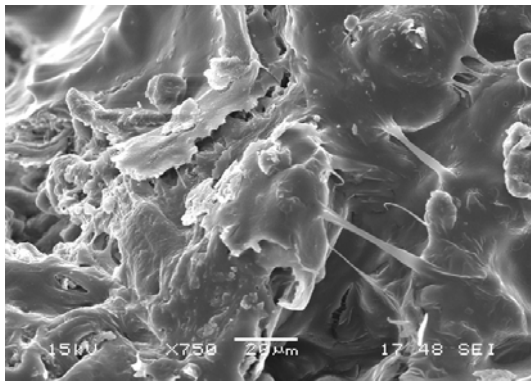
เส้นใยในขณะไหลเข้าแม่แบบที่อาจก่อให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอหรือแยกเฟสมากขึ้น เมื่อมีการเติมน้ำยางเข้าไปอาจทำให้เกิดในลักษณะดังกล่าวมากขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Carvalho และคณะ [14] ที่ได้ศึกษาผสมแป้งข้าวโพดกับน้ำยางธรรมชาติ ด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณยาง 2.5-20% พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำยางมากขึ้น มีผลให้พื้นผิวสัมผัสระหว่างแป้งและน้ำยางเกิดการแยกเฟสเกิดขึ้น มีการปรากฏอนุภาคของยางกระจายอยู่ตามพื้นผิว



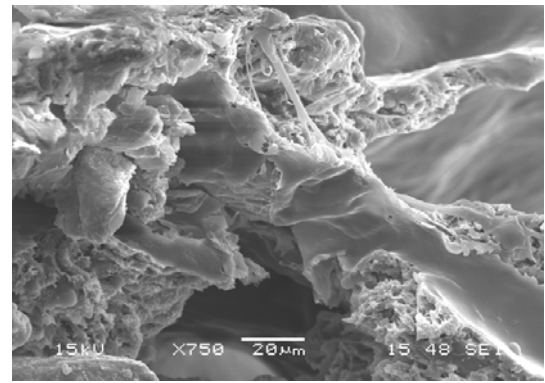
(ก)



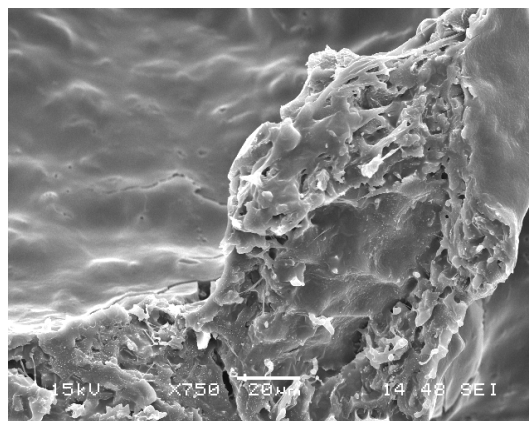
(ข)



(ค)



(ง)

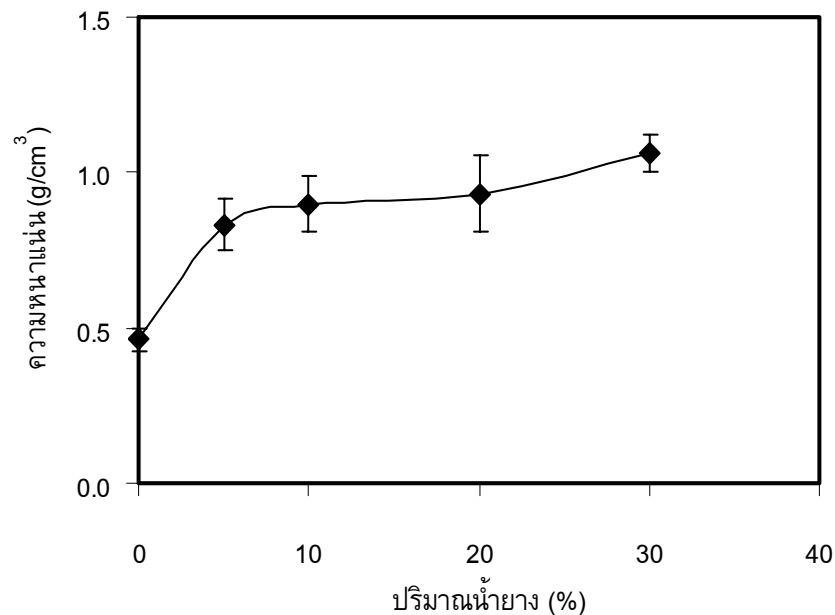


(จ)

รูปที่ 3 ภาพตัดขวางจากกล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปแสดงลักษณะของน้ำยางในคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน 10% บริเวณรอยแตกหักผิวหน้าชิ้นงาน โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง (ก) 0% (ข) 5% (ค) 10% (ง) 20% (จ) 30% ที่กำลังขยาย X750 เท่า

2. ความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคตินที่มีการเติมน้ำยาฟารา

จากการวัดความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมของแข็งมันสำปะหลัง/ไคตินโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำยาในปริมาณร้อยละ 5 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแข็งจากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำยาเพิ่มขึ้นผลทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอสิตโฟมจากแข็งมันสำปะหลัง/ไคติน แต่เมื่อเปรียบ เทียบความหนาแน่นระหว่างที่ปริมาณน้ำยาร้อยละ 5-30 โดยน้ำหนักแข็งไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเป็นเพราะช่วงของปริมาณน้ำยาที่ใช้ไม่แตกต่างกันมากนัก



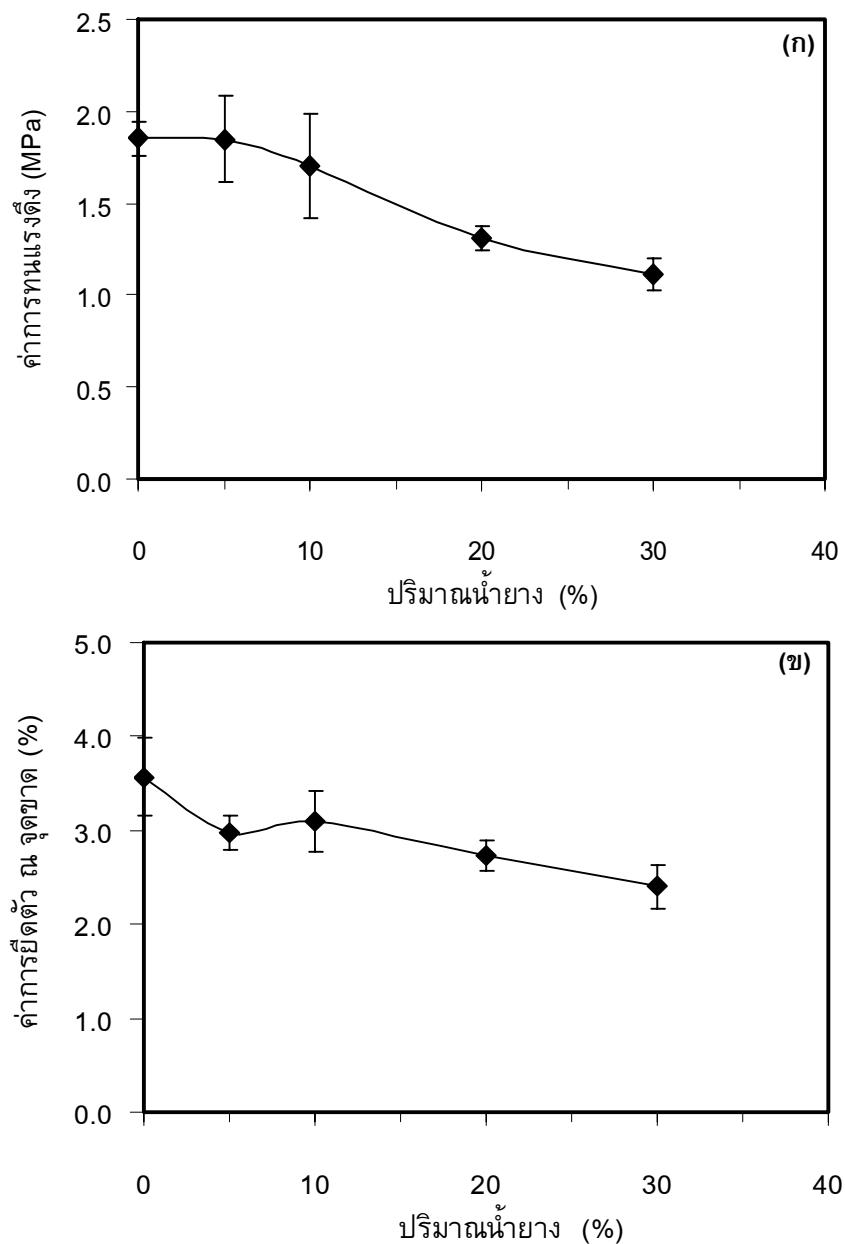
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมของแข็งมันสำปะหลัง/ไคติน เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแข็ง

3. สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตโฟมจากแข็งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคตินที่มีการเติมน้ำยาฟารา

นำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปภายหลังการเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 15-20% เป็นเวลา 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [7] [15] ที่มีขนาดมาตรฐานตาม ASTM D638 และ D5943-96 ไปทดสอบสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบสมบัติในการรับแรงดึงและสมบัติในการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมจากแข็งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคตินที่มีการเติมน้ำยาฟารา แต่การเก็บชิ้นงานไว้ในตู้ดูดความชื้นในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าว ทำให้ชิ้นงานมีความชื้นต่ำซึ่งอาจจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่ำกว่างานวิจัยอื่น ๆ ดังเช่นรายงานของ Preechawong และคณะ [12] ที่ได้ศึกษาผลของการเติมพอลิแลคติก แอซิดในโฟมแข็งพบว่า โฟมมีสมบัติเชิงกลสูงสุดเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 42% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ เช่นเดียวกันชิ้นงานในการทดลองนี้อาจจะให้ผลของสมบัติเชิงกลได้ไม่ดีนัก เพราะชิ้นงานมีความชื้นที่ต่ำเกินไปซึ่งอาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่จะมีผลต่อสมบัติเชิงกล ซึ่งรายละเอียดผลการทดลองอธิบายได้ดังข้างล่างนี้ และในส่วนโฟมจากแข็งของ KU Green ไม่สามารถทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ได้ เพราะโฟมจากแข็งของ KU Green ที่ได้มาไม่สามารถเตรียมชิ้นงานทดสอบ ตามมาตรฐานได้ ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

3.1 ผลของน้ำยางพาราที่มีต่อสมบัติในการรับแรงดึงของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคติน

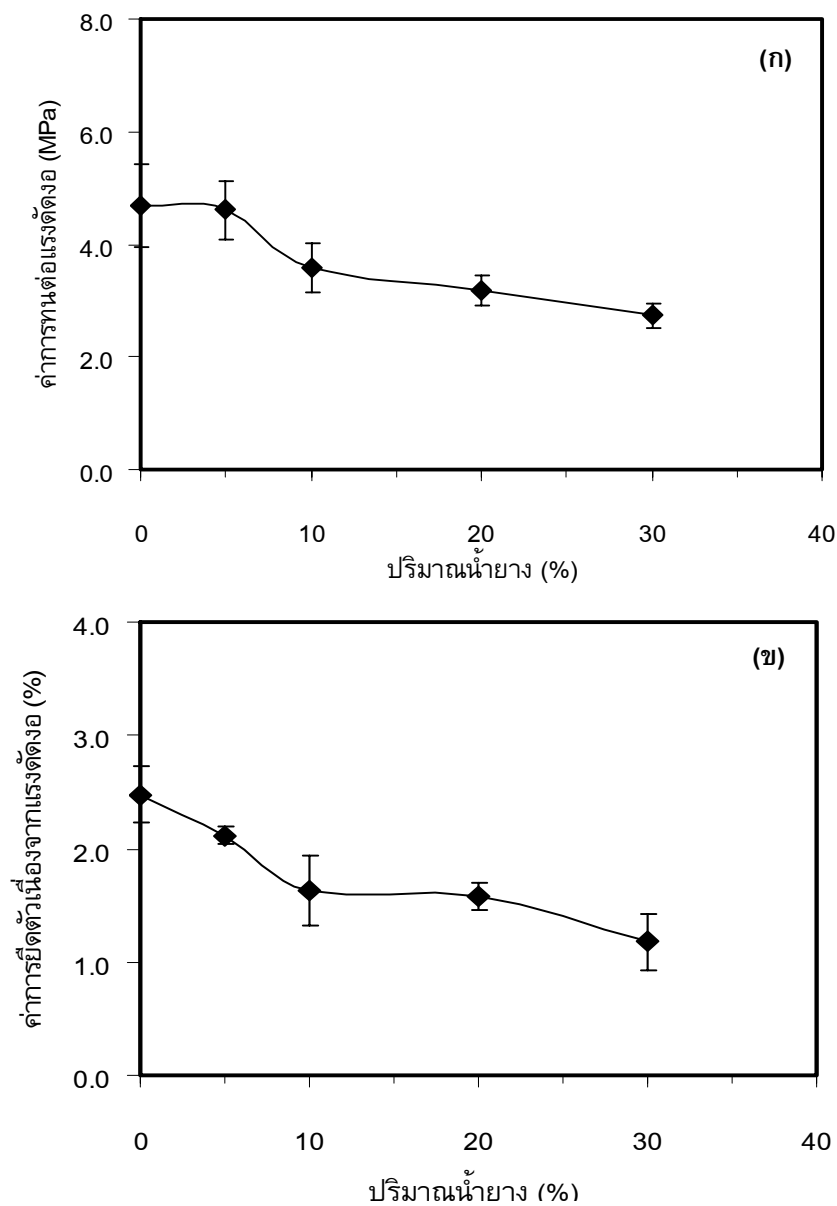
ผลจากการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของคอมพอสิตโฟม จากรูปที่ 5 เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง 5-30% พบว่าที่ปริมาณน้ำยาง 5% ค่าการรับแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดได้ไม่แตกต่างจากคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินมากนัก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากกว่า 5% ค่าการรับแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารามีค่าลดลงมากกว่าคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ไม่มีการเติมน้ำยาง อาจเนื่องมาจากการที่ปริมาณน้ำยางมากขึ้นคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินกับน้ำยางมีความเข้ากันได้้น้อยมาก ทำให้เกิดการแยกเฟสมากขึ้นจึงส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ค่าการทนต่อแรงดึง และ (ข) ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน (100/10) เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง

3.2 ผลของน้ำยางพาราที่มีต่อสมบัติในการรับแรงดัดงอของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน

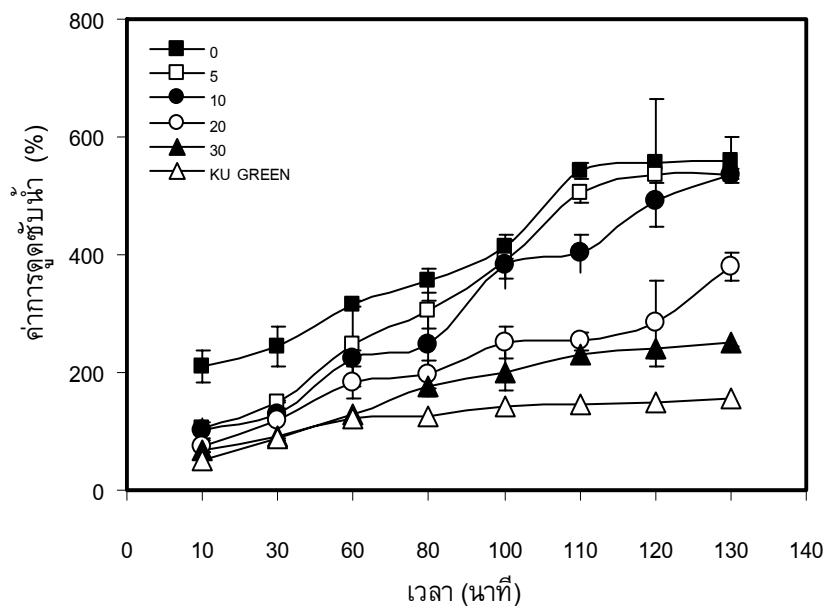
ผลจากการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดัดงอและการยืดตัวเนื่องจากแรงดัดงอของคอมพอสิตโฟมโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง จากรูปที่ 6 พบว่าที่ปริมาณน้ำยาง 5% ค่าการทนต่อแรงดัดงอและการยืดตัวเนื่องจากแรงดัดงอที่ได้ไม่แตกต่างจากคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากกว่า 5% ค่าการรับแรงดัดงอและค่าการยืดตัวเนื่องจากแรงดัดงอของคอมพอสิตโฟมมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ปราศจากการเติมน้ำยาง จะให้ผลเช่นเดียวกับค่าการทนต่อแรงดัดงอ ซึ่งการเติมปริมาณน้ำยางมากขึ้นก็ยิ่งทำให้เกิดการแยกเฟสอย่างชัดเจน เป็นผลให้วัสดุคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางมีความแข็งแรงลดลงไม่ทนต่อการรับแรง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ค่าการทนต่อแรงดัดงอ และ (ข) ค่าการยืดตัวเนื่องจากแรงดัดงอของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน (100/10) เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาง

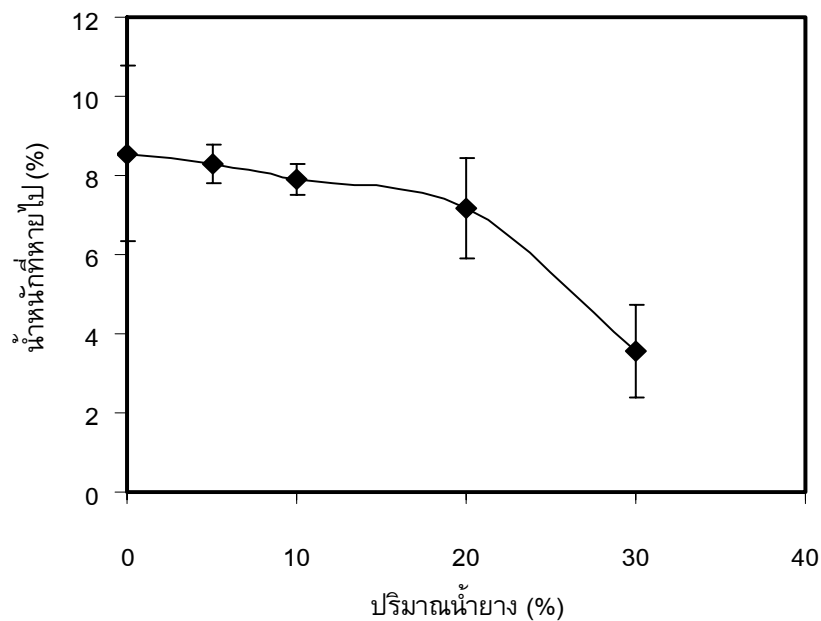
4. สมบัติการทนน้ำของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยารพารา

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน (100/10) กับเวลาการจุ่มชิ้นงานในน้ำจาก 10-130 นาที โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของปริมาณน้ำยาร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง จากรูปที่ 7 พบว่าค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟม เพิ่มมากขึ้นตามเวลาการจุ่มที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางในของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินมากขึ้น ทำให้คอมพอสิตโฟมสามารถทนน้ำดีขึ้นตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งดีกว่าโฟมจากแป้งเพียงอย่างเดียวและคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ไม่มีการเติมน้ำยารพารา เนื่องจากสมบัติของน้ำยางที่สามารถต้านทานต่อโมเลกุลของน้ำหรือไม่ดูดซับน้ำ (Hydrophobic) ประกอบกับโครงสร้างฐานนิยทาของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยารพารามีความหนาแน่นขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสของคอมพอสิตโฟมกับน้ำยากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแป้งทางการค้าของ KU GREEN ทนน้ำได้ต่ำกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับเวลาการจุ่มชิ้นงานในน้ำของคอมพอสิตโฟม เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยาร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง และโฟมแป้งทางการค้า

จากรูปที่ 8 แสดงน้ำหนักที่หายไปของคอมพอสิตโฟมในการจุ่มน้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง พบว่า คอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมด้วยน้ำยางสามารถทนน้ำได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟม ภาพถ่ายจากโครงสร้างทางจุลภาค สมบัติของน้ำยางเองที่สามารถต้านทานต่อการดูดซับน้ำ และจากการที่ยางอาจเกิดการบวมตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิในช่วงการขึ้นรูป 150–180 องศาเซลเซียส ทำให้คอมพอสิตโฟมทนน้ำได้มากยิ่งขึ้น

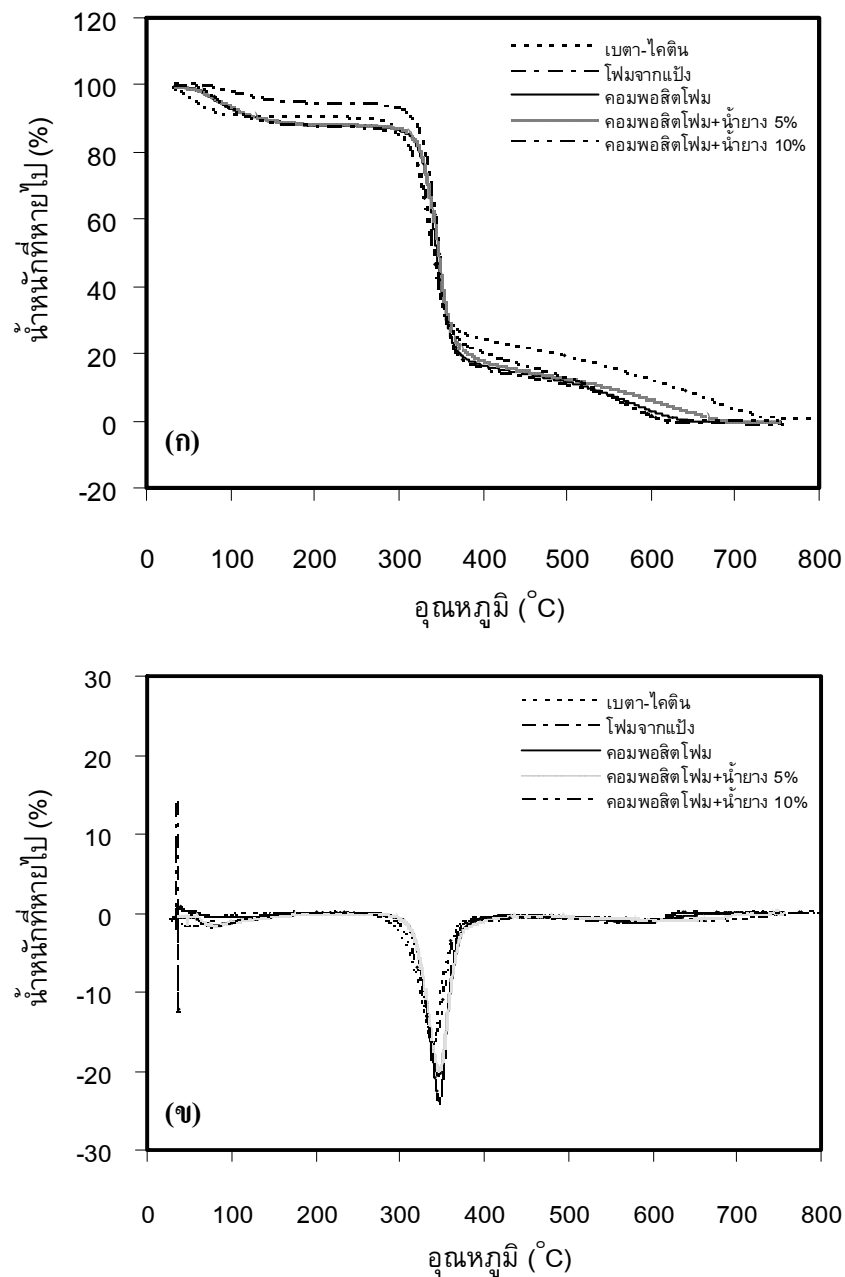


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่หายไปกับปริมาณน้ำยางที่เติมในคอมพอสิตโฟมแข็งมันสำปะหลัง/ไคตินร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง

5. สมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารา

จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของไคตินบริสุทธิ์ โฟมจากแป้ง คอมพอสิตโฟม (แป้ง/ไคติน 10%) คอมพอสิตโฟม/น้ำยาง 5-10% ด้วยเทคนิค TGA (Thermogravimetric Analyzer) ในสภาวะที่มีก๊าซไนโตรเจน 20 m³/min โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10°C/min จากอุณหภูมิ 30 °C ถึง 750 °C จากผลการทดลองข้างต้น พบว่ามีการสลายตัว 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 จะเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของน้ำ ขั้นตอนที่ 2 เกิดจากการแตกหักสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นการสูญเสียเนื้อสารไปอย่างรวดเร็ว และขั้นตอนที่ 3 เป็นการเผาไหม้ในส่วนที่หลงเหลืออยู่ในขั้นตอนที่ 2 และเมื่อทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้งในคอมพอสิตโฟมแป้ง/ไคติน พบว่ามีการสลายตัว 3 ขั้นตอนเช่นกันดังรูปที่ 9

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 9 จากการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักแป้งในคอมพอสิตโฟม ในการเกิดการสลายตัวนั้นขั้นตอนแรกยังคงปรากฏการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 80-90°C น้ำหนักที่หายไปประมาณ 10% เช่นเดียวกับกับไคตินบริสุทธิ์ โฟมจากแป้ง คอมพอสิตโฟม ซึ่งเป็นช่วงที่แป้งและไคตินในคอมพอสิตโฟมยังคงปรากฏการสูญเสียในเนื้อสารเกิดขึ้น เนื่องจากแป้งและไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถดูดความชื้น เมื่อได้รับความร้อนจึงมีการระเหยของไอน้ำออกมาที่อุณหภูมิการกลายเป็นไอของน้ำ ส่วนการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปในขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 พบว่าการเติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมนั้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนมากนักหรือมีความเสถียรทางความร้อนที่คล้าย คลึงกัน เช่นเดียวกับกับคอมพอสิตโฟมที่ปราศจากน้ำยาง โดยจะสลายตัวที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง

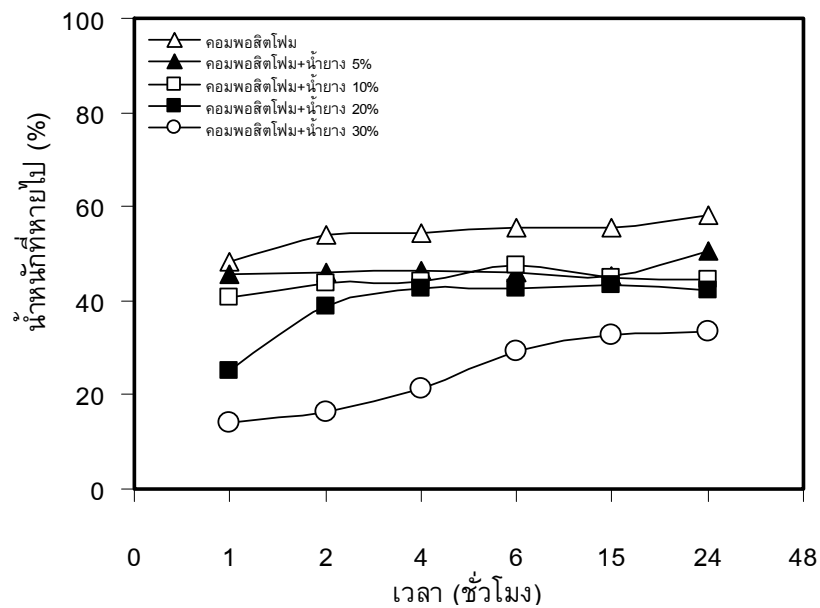


รูปที่ 9 ลักษณะกราฟของ (ก) กราฟ TGA และ (ข) กราฟ DTG ของโคตินบริสุทธิ์ โฟมจากแป้ง คอมพอสิตโฟม และคอมพอสิตโฟมที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนักของแป้ง

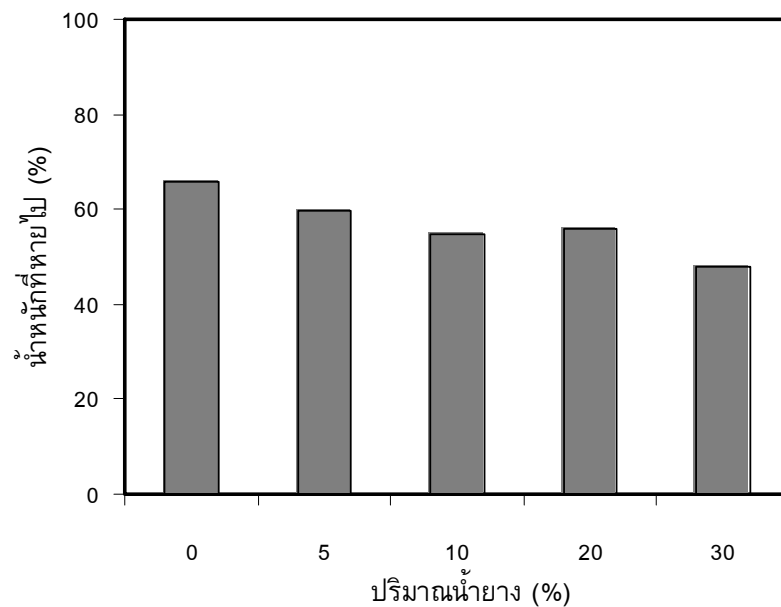
6. การสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์ของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/โคตินที่มีการเติมน้ำยางพารา

ในงานวิจัยนี้จะใช้เอนไซม์ α -อะไมเลสในการศึกษาผลการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เช่นเดียวกับ คอมพอสิตโฟม จากแป้งมันสำปะหลัง/โคติน จากรูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลสกับเวลาของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/โคติน และที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง พบว่า น้ำหนักที่หายไปจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเติมน้ำยางในคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/โคติน พบว่า ณ เวลาต่างๆ ปริมาณน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำยาง เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 11 พบว่า น้ำหนักที่หายไปของเฉพาะแป้งในคอมพอสิตโฟม

จากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมด้วยน้ำยางพารามีแนวโน้มลดลงเช่นกัน



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลสกับเวลาในการย่อยสลายของชิ้นงานคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคติน เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง



รูปที่ 11 ค่าน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลส ณ เวลา 24 ชม.ของปริมาณแป้งในคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง/เบตา-ไคติน เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของแป้ง

6. วิจารณ์ผล

ในการศึกษาคอมพอสิตโฟมจะทำการวิเคราะห์สมบัติของคอมพอสิตโฟมทั้งหมด 6 หมวดคือ ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟม ความหนาแน่น สมบัติเชิงกล สมบัติการทนน้ำ สมบัติทางความร้อน การศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

ในการศึกษาผลของโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมด้วยน้ำยางพาราพบว่า มีความหนาแน่นมากขึ้นจนแทบจะไม่มีความเป็นเซลล์หลงเหลืออยู่เลยและมีการปรากฏอนุภาคของยางกระจายอยู่ตามพื้นผิวทั่วไป เกิดรอยขรุขระไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีการแยกเฟสมากขึ้น ทำให้ผิวมีสภาพที่อ่อนแออย่างเห็นได้ชัด และในส่วนของคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินเองที่มีข้อจำกัดในเรื่องการจัดเรียงตัวและกระจายตัวของเส้นใยในขณะไหลเข้าแม่แบบที่อาจก่อให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอหรือแยกเฟสมากขึ้น เมื่อมีการเติมน้ำยางเข้าไปอาจทำให้เกิดในลักษณะดังกล่าวมากขึ้น

จากการวัดความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมของแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางพบว่า เมื่อมีการเติมปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคติน เนื่องจากน้ำยางเองที่มีความหนาแน่นสูงกว่าคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคติน และผลจากโครงสร้างพื้นฐานวิทยาที่พบ แต่เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างที่ปริมาณน้ำยางร้อยละ 5-30 โดยน้ำหนักแบ่งไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเป็นเพราะช่วงของปริมาณน้ำยางที่ใช้ไม่แตกต่างกันมากนัก

การทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ที่การเติมปริมาณน้ำยาง 5% โดยน้ำหนักแบ่งในคอมพอสิตโฟมแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินกับน้ำยางมีความเข้ากันได้ต่ำ เป็นเพราะความมีขั้วของแบ่งสูงและความมีขั้วต่ำของน้ำยาง ก่อให้เกิดการแยกเฟสและโดยสภาพผิวของเซลล์ที่พบจากการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานวิทยาส่งผลให้ชิ้นงานเปราะ ซึ่งเป็นสาเหตุให้คอมพอสิตโฟมมีความแข็งแรงลดลง และอาจจะเป็นผลจากชิ้นงานโฟมที่มีความชื้นต่ำเกินไปจึงเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลง ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ในการทดสอบสมบัติการทนน้ำจะพบว่าค่าการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมเพิ่มมากขึ้นตามเวลาการจุ่มที่เพิ่มขึ้น แต่การที่เพิ่มปริมาณน้ำยางในของคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินมากขึ้นทำให้โฟมสามารถทนน้ำดีขึ้น ซึ่งดีกว่าโฟมจากแบ่งเพียงอย่างเดียวและคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ไม่มีการเติมน้ำยางพารา เนื่องจากสมบัติของน้ำยางที่ไม่ชอบน้ำหรือไม่ดูดซับน้ำ (Hydrophobic) ประกอบกับโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพารามีความหนาแน่นขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสของคอมพอสิตโฟมกับน้ำยากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแบ่งของ KU GREEN ทนน้ำได้ต่ำกว่า อาจจะมีการเคลือบผิวหรือใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มสมบัติให้กับโฟมจึงทนน้ำได้ดีกว่า

การทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมแบ่ง/ไคตินมีการสลายตัว 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 จะเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของน้ำ ขั้นตอนที่ 2 เกิดจากการแตกหักสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นการสูญเสียเนื้อสารไปอย่างรวดเร็ว และขั้นตอนที่ 3 เป็นการเผาไหม้ในส่วนที่หลงเหลืออยู่ในขั้นตอนที่ 2 และจะสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ซึ่งไม่ต่างจากกรณีที่ไม่มีการเติมน้ำยางพาราในคอมพอสิตโฟมแบ่ง/ไคติน หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนมากนัก หรือมีความเสถียรทางความร้อนที่คล้ายคลึงกัน อาจจะเป็นเพราะปริมาณน้ำยางที่เติมน้อยเกินไปจึงไม่เกิดผล การเปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากนี้ผลการทดลองยังบอกได้ว่า คอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางนี้สามารถที่จะนำไปใช้งานเป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ในช่วงการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ และการที่เติมน้ำยางในคอมพอสิตโฟมจากแบ่งมันสำปะหลัง/ไคตินจะไม่ทำให้คอมพอสิตโฟม สลายตัวในระหว่างการขึ้นรูปที่ 180 องศาเซลเซียส

การทดสอบการสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์-อะไมเลสของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่มีการเติมน้ำยางพาราพบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำยางร้อยละ 5-30 โดยน้ำหนักของแป้ง พบว่า น้ำหนักที่หายไปจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเติมน้ำยางในคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินพบว่า ณ เวลาต่างๆ ปริมาณน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ลดลงตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาน้ำหนักที่หายไปของเฉพาะแป้งในคอมพอสิตโฟม จากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมน้ำยางพาราก็ลดลงเช่นกัน แสดงว่าการเติมน้ำยางอาจไปขัดขวางหรือขวางทางการเข้าไปทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ α -อะไมเลสกับโมเลกุลของแป้ง ทำให้เอนไซม์ α -อะไมเลสเข้าไปตัดพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิกระหว่างโมเลกุลกลูโคสภายในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในแป้งได้ยากขึ้น จึงเป็นผลให้ย่อยสลายได้ช้าลง และบางส่วนของแป้งที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลสคือ ในส่วนของพันธะ α -1,6 กลูโคซิดิกภายในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

เมื่อเปรียบเทียบผลการเติมน้ำยางพาราลงในแป้งมันสำปะหลังกับงานวิจัยของสุดา เกียรติกำจรวงศ์ และคณะ [9] พบว่าในงานวิจัยนี้การเติมน้ำยางพารามีผลทำให้คอมพอสิตโฟมมีสมบัติที่ลดลง ในขณะที่งานวิจัยดังกล่าวกลับให้ผลที่ดีในการเติมน้ำยางพาราลงในแป้งมันสำปะหลัง สาเหตุที่ในงานวิจัยนี้เมื่อเติมน้ำยางลงในคอมพอสิตแล้วมีผลทำให้สมบัติของคอมพอสิตโฟมมีค่าลดลงต่ำลงนั้นเนื่องมาจากวิธีในการผสมน้ำยางพารากับแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ผสมน้ำยางพารากับแป้งและไคตินที่อุณหภูมิห้องจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากการถนอมของสุดา เกียรติกำจรวงศ์และคณะ [9] โดยในงานวิจัยดังกล่าวจะผสมแป้งและน้ำยางพาราที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาวะดังกล่าวแป้งมันสำปะหลังจะเกิดการกลายเป็นเจล (Gelatinizatio) ซึ่งในสภาวะนี้น้ำยางพาราจะสามารถรวมตัวกับแป้งในสภาพที่เป็นเจลได้ดีกว่าสภาวะที่เป็นของแข็ง จึงทำให้เมื่อมีการเติมน้ำยางลงในแป้งที่อุณหภูมิในการเกิดเจลจึงทำให้โฟมที่ได้มีสมบัติที่ดีกว่าการผสมแป้งที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องแป้งที่อยู่ในสภาพของผงถึงแม้ว่าจะมีการเติมน้ำลงไปจะช่วยให้ น้ำยางกระจายตัวได้ดีขึ้น แต่เมื่อแป้งยังไม่เกิดการแตกตัวการเข้าทำปฏิกิริยาของน้ำยางจึงเกิดได้ยาก น้ำยางจึงไม่สามารถรวมตัวกับโมเลกุลของแป้ง ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำยางมากขึ้นจึงเกิดความไม่เข้ากันระหว่างน้ำยางและแป้งมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้สมบัติของคอมพอสิตโฟมมีสมบัติต่ำลง

7. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่เติมลงในคอมพอสิตโฟมของแป้งมันสำปะหลัง/ไคติน (เบต้า-ไคติน) พบว่า ที่ปริมาณการเติมน้ำยางพารา 5% สมบัติเชิงกลของโฟมไม่เปลี่ยนแปลงและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางมากขึ้น เนื่องจากความเข้ากันได้ระหว่างคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินและน้ำยางพาราน้อย ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณน้ำยางทำให้โฟมมีความหนาแน่นมากขึ้นและสามารถทนน้ำได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสมบัติของยางที่สามารถการต้านทานโมเลกุลของน้ำได้ซึ่งมีแนวโน้มไปในทางที่ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โฟมแป้งของ KU GREEN พบว่ายังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังทำให้การย่อยสลายด้วย α -อะไมเลสของคอมพอสิตโฟมช้าลง ส่วนการสลายตัวทางความร้อนของคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่เติมน้ำยางพาราพบว่า มีความเสถียรทางความร้อนที่คล้าย คลึงกับคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินที่ไม่ได้เติมน้ำยางพารา โดยจะเริ่มสลายตัวในช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง

8. ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับขั้นตอนการผสมในส่วนที่มีการเติมน้ำยางลงไปด้วยนั้น จะเห็นว่าของผสมส่วนใหญ่จะจับตัวเป็นก้อนไม่เป็นเนื้อเดียวกันถึงแม้ว่าจะใส่สารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยให้ น้ำยางกระจายตัวก็ตาม ซึ่งเป็นผลให้โฟมที่ได้มีสมบัติเชิงกลต่ำ เนื่องมาจากความไม่เข้ากันระหว่างคอมพอสิตโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง/ไคตินกับน้ำยาง

พารา เพราะน้ำยางมีสภาพความเป็นขี้ตัวเมื่อผสมกับแป้งและโคตินจึงทำให้ของผสมไม่สามารถรวมเข้ากันได้ จึงเกิดการแยกเฟสขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยาง ดังนั้นถ้าหากจะทำให้คอมพอสิตโฟมเพิ่มทั้งสมบัติเชิงกลและการทนน้ำได้ดียิ่งขึ้น ควรใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เพื่อช่วยให้ของผสมเข้ากันได้ดี ด้วยการเคลือบสารตัวเติมด้วยสารประสาน (Coupling agents) เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของของผสม โดยสารที่น่าสนใจอย่างเช่น Aminopropyl triethoxy silane, Glycidoxypopyl trimethoxy silane หรือ $[\beta-(3,4\text{-Epoxy cyclohexyl})\text{-ethyl}]$ trimethoxy silane เป็นต้น ปริมาณสารที่ใช้ก็ค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อต้นทุนในการผลิตไม่มากนัก

2. อาจจะใช้สารตัวเติมต่างหรือเกลือ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียม คาร์บอเนต (Na_2CO_3) เพื่อช่วยให้ส่วนผสมต่างๆ เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ซึ่งน่าจะช่วยลดอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปโฟม เนื่องจากถ้ามีการนำโฟมแป้งไปผลิตทางการค้าจะต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต

3. โฟมจากแป้งถึงแม้จะมีการพัฒนาโดยการเติมสารตัวเติมเพิ่มประสิทธิภาพมาโดยตลอด แต่สมบัติเชิงกล และการทนน้ำ ก็ยังไม่สามารถตอบสนองต่อการนำไปใช้งานเท่าที่ควรนัก ดังนั้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นควรเคลือบผิวของโฟมแป้งด้วย

4. เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับน้ำยางอาจทำการผสมกันที่อุณหภูมิในการกลายเป็นเจลของแป้ง ซึ่งจะช่วยให้ด้านความเข้ากันได้ของแป้งกับน้ำยางได้ดีขึ้น

9. เอกสารอ้างอิง

1. V. Weber, C.J., 2000, “**Biobased Packaging Materials for the Food Industry : Status and Perspectives**”, pp. 1-69.
2. Maijetti N.V. Ravi Kumar, “A review of chitin and chitosan applications”, **Reactive & Functional Polymers**, 46, 2000, pp 1-27.
3. งามทิพย์ ภู่วโรดมและสายสนม ประดิษฐ์กวง, นายธีระ สุตะบุตร, 2544, องค์ประกอบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งที่ปรับปรุงให้ดีขึ้น, เลขที่คำขอสิทธิบัตร 050546.
4. H. Ishida, **Polymer Composite Processing**, Case Western Reserve University.
5. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**, 2nd, John Wiley and Sons, 1990.
6. K. F. Tiefenbacher, **Journal of Macromolecular Science, Pure Applied Chemistry**, A30, 1993, pp. 727-731.
7. R. L. Shogren, J. W. Lawton, W. M. Doane, and K. F. Tiefenbacher, “Structure and morphology of baked starch foams”, **Polymer**, 39, 1998, pp. 6649-6655.
8. C. Bhatnagar, and M. A. Hanna, “Properties of extruded starch-based plastic foam”, **Industrial Crops and Product**, 4, 1995, pp. 71-77.
9. S. Kiatkamjornwong, P. Suranchanajirasakul, and P. Tasakorn, “Natural rubber-cassava starch foam by compression moulding”, **Plastics, Rubber and Composites**, 30, 2001, pp. 318-327.
10. J. Shey, S.H. Imam, G.M. Glenn, and W.J. Orts, “Properties of baked starch foam with natural rubber latex”, **Industrials Crops and Products**, 24, 2006, pp. 34-40.
11. Vikman, M., Itiivaara, M. and Poutanen, K., 1995, “Measurement of the biodegradation of starch-based materials by enzymatic methods and composting”, **Journal of Environmental Polymer Degradation**, 3, pp. 23-29.

12. Preechawong, D., Peesan, M., Supaphol, P. and Rujiravanit, R., 2002, "Preparation and characterization of starch/poly(L-lactic acid) hybrid foams", **Carbohydrate Polymers**, 59, pp. 329–337.
13. พรทิพย์ พูลจินดา และ มณิสรา พิริยวิรุตม์, 2551, "การศึกษาสมบัติของคอมพอสิตโฟมที่มีแป้งมันสำปะหลังและเบตา-ไคตินเป็นส่วนประกอบ", การประชุมวิชาการเทคโนโลยีการขึ้นรูปวัสดุ, ครั้งที่ 5, หน้า 120-127.
14. Carvalho, A.J.F., Job, A.E., Alves, N., Curvelo, A.A.S. and Gandini, A., 2003, "Thermoplastic starch/natural rubber blends", **Carbohydrate Polymers**, 53, pp. 95-99.
15. Preechawong, D., Peesan, M., Supaphol, P. and Rujiravanit, R., 2004, "Characterization of starch/poly (ϵ -caprolactone) hybrid foams", **Polymer Testing**, 23, pp. 651–657.

10. ตอบข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. หน้า 15 ข้อ 3.3 สมบัติการทนน้ำ ทดสอบตามมาตรฐานอะไร

ตอบ: .ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570

2. ผลการทดลองควรมี Raw data ซึ่งอาจเอาไว้ในภาคผนวก

ตอบ: Raw data ของผลการทดลองมีค่อนข้างมาก ถ้าใส่ในภาคผนวกอาจจะทำให้รายงานมีขนาดเล่มใหญ่เกินไป

3. รูปที่ 5 (ข) ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดค่อนข้างน้อย 2.5-3.5% ควรระมัดระวังเรื่องความผิดพลาด และควรทำซ้ำด้วย

ตอบ: ในการทดลองสมบัติทางกลของคอมพอสิตโฟมค่อนข้างมีความระมัดระวังอย่างมาก เนื่องจากชิ้นงานตัวอย่างค่อนข้างเปราะ และในการทดลองค่าการทนต่อแรงดึงได้ทำการทดลองซ้ำ ประมาณ 3 ชิ้นทดสอบต่อตัวอย่าง

4. รูปที่ 8 มีแต่ผล แต่ไม่มีวิธีการทดลอง

ตอบ: เพิ่มวิธีการทดลองแล้ว ดังหน้าที่ 15

5. ทำไมผลที่ได้จากการเติมน้ำยางลงในคอมโพสิตถึงต่างจากของ อ. สุดา เกียรติกำจรวงศ์ ได้ศึกษาวิธีการเตรียมที่ต่างกันหรือไม่ ตามสมมุติฐานน่าจะเพิ่มขึ้น เพราะเหตุใดถึงลดลง คงไม่ใช้การไม่เข้ากัน เพราะเคยมีคนเคยทำเข้ากันได้ น่าจะหาที่ผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ตอบ: สาเหตุที่ในการทดลองนี้เมื่อเติมน้ำยางลงในคอมพอสิตแล้วมีผลทำให้สมบัติของคอมพอสิตโฟมมีค่าลดลงต่ำลง ซึ่งแตกต่างจากงานของ อ. สุดา เกียรติกำจรวงศ์ ที่ตีพิมพ์ใน Palstic, Rubber and Composite vol 30 หน้า 318-327 ปีคศ. 2001 นั้นเนื่องมาจากวิธีในการผสมน้ำยางพารากับแป้งมันสำปะหลังที่ต่างกัน โดยในการทดลองนี้ได้ผสมน้ำยางพารากับแป้งและไคตินที่อุณหภูมิห้องจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากกรณีงานของอ. สุดา โดยในงานวิจัยของอ. สุดาจะผสมแป้งและน้ำยางพาราที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาวะดังกล่าวแป้งมันสำปะหลังจะเกิดการกลายเป็นเจล (Gelatinizatio) ซึ่งในสภาวะนี้น้ำยางพาราจะสามารถรวมตัวกับแป้งในสภาพที่เป็นเจลได้ดีกว่าสภาวะที่เป็นของแข็ง จึงทำให้เมื่อมีการเติมน้ำยางลงในแป้งที่อุณหภูมิในการเกิดเจลจึงทำให้โฟมที่ได้มีสมบัติที่ดีกว่าการผสมแป้งที่อุณหภูมิห้อง

เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องแป้งที่อยู่ในสภาพของผงถึงแม้ว่าจะมีการเติมน้ำลงไปจะช่วยให้น้ำยางกระจายตัวได้ดีขึ้น แต่เมื่อแป้งยังไม่เกิดการแตกตัวการเข้าทำปฏิกิริยาของน้ำยางจึงเกิดได้ยาก น้ำยางจึงไม่สามารถรวมตัวกับโมเลกุลของแป้ง ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำยางมากขึ้นจึงเกิดความไม่เข้ากันระหว่างน้ำยางและแป้งมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้สมบัติของคอมพอสิตโฟมมีสมบัติต่ำลง

หมายเหตุ: งานนี้น่าจะเริ่มจาก Hypothesis งานเดิมของ เกียรติกำจรวงศ์ (2001) และ Shey (2005) ซึ่ง report ออกมาว่าการเติมน้ำยางแล้วดี แต่เมื่องานออกมาแล้วได้ผลตรงกันข้าม ในรายงานน่าจะเจาะลึกความต่างว่าเกิดจากอะไร