



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

อิทธิพลของสารตัวเติมชีวภาพต่อสมบัติของโฟมแข็ง

โดย ผศ.ดร.แก้วตา แก้วตาทิพย์ และคณะ

มิถุนายน พ.ศ.2559 เสร็จโครงการ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

อิทธิพลของสารตัวเติมชีวภาพต่อสมบัติของโฟมแข็ง

ผศ.ดร.แก้วตา แก้วตาทิพย์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สนับสนุนโดย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “อิทธิพลของสารตัวเติมชีวภาพต่อสมบัติของโฟมแข็ง”
สามารถดำเนินการได้สำเร็จล่วง ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(สกว.) และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนส่งเสริมนักวิจัย
รุ่นใหม่

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สอาด รริยะจันทร์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ นักวิจัยที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา ตั้งแต่เริ่มทำวิจัยจนกระทั่งเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณบริษัท Siam Modified Starch Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลัง

ขอขอบคุณบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เปลือกกุ้ง

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ และทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามที่ได้อำนวยความสะดวกและให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้

แก้วตา แก้วตาทิพย์

1. บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

รหัสโครงการ: TRG5780213

ชื่อโครงการ: อิทธิพลของสารตัวเติมชีวภาพต่อสมบัติของโฟมแป้ง

ชื่อนักวิจัย: ผศ.ดร.แก้วตา แก้วตาทิพย์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี (2 มิ.ย. 2557 - 1 มิ.ย. 2559)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้งโดยใช้สารตัวเติมชีวภาพ 2 ชนิด คือ เปลือกไข่ และเปลือกกุ้ง เปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า โดยแปรปริมาณสารตัวเติมจาก 5 wt% ถึง 20 wt% และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด

ความดัน จากผลการทดลองพบว่าโปรตีนปริมาณมากในโครงสร้างของเปลือกกุ้ง และการเกาะกลุ่มกันของแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าในเมทริกซ์แป้ง ส่งผลต่อการขึ้นรูปโฟมแป้ง เนื่องจาก steam bubble เกิดได้ยาก ดังนั้นพบว่าเมื่อผสมแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าและเปลือกกุ้งในปริมาณมาก (15 และ 20 wt%) ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของโฟมแป้งมีค่าลดลง ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น และมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์โฟมที่มีความผิดปกติ แต่โฟมแป้งที่ผสมเปลือกไข่มีค่าความหนาแน่นลดลง ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น และขนาดเซลล์ในโฟมแป้งมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเปลือกไข่ทำหน้าที่เป็น nucleating agent อย่างไรก็ตามพบว่าสารตัวเติมชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของโฟมแป้งได้ เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ในโครงสร้างของเปลือกไข่และเปลือกกุ้ง จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า

คำสำคัญ: เปลือกกุ้ง; เปลือกไข่; แคลเซียมคาร์บอเนต; โฟมแป้ง

Project code: TRG5780213

Project title: The effect of bio-filler on the properties of baked starch foam

Investigator: Asst. Prof. Dr.Kaewta Kaewtatip

Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science,
Prince of Songkla University

Project duration: 2 year

Abstract

The objectives of this work was to improve the properties of starch foam by using two types of bio-fillers, i.e. egg shells and shrimp shells and then to compare these with the use of commercial calcium carbonate. The amount of these fillers was used in the range of from 5 wt% to 20 wt% (dry starch basis). All the starch foams were prepared using a baking process. The agglomeration of calcium carbonate in the starch matrix and the high protein content in the shrimp shell had a huge impact on the formation of steam bubbles during the baking process that reduced the izod impact

strength at the higher filler content (15 and 20 wt%) and increased the density of the starch foam. In contrast, starch foam with egg shell had a low density, high izod impact strength and a narrow cell size distribution due to the egg shell acting as a nucleating agent with less protein content in its structure. The thermogravimetric analysis (TGA) showed that the temperature at the maximum weight loss of the starch foam was slightly decreased by addition of the bio-fillers because of the low thermal stability of the organic components in the egg shell and shrimp shell.

Keywords: Shrimp shell; Egg shell; Calcium carbonate; Starch foam

2. Executive summary

โฟมเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยม เนื่องจากน้ำหนักเบา และนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร วัสดุกันกระแทกหรือเป็นฉนวนกันความร้อน โฟมว่ายน้ำ หมวกกันน็อกและบรรจุภัณฑ์อื่นๆ เช่น กล่องใส่ไข่ ถาดใส่เนื้อ และนิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เป็นต้น โฟมบรรจุอาหารที่มีการใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่เป็นโฟมที่ทำมาจากพลาสติกชนิด polystyrene (PS) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ (polymer) ที่เกิดจากการนำโมเลกุลของสารสไตรีน (styrene) มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) โดยพอลิสไตรีน (polystyrene) ที่ได้จะถูกนำมาเติมสารช่วยในการขยายตัว (blowing agent หรือ expanding agent) ได้แก่ carbon dioxide และ pentane เพื่อช่วยให้พลาสติกสามารถพองตัวและเกิดการแทรกตัวของก๊าซในเนื้อพลาสติกได้เป็น polystyrene foam (PS foam) แต่การย่อยสลายของโฟมต้องใช้เวลานานประมาณ 500-1000 ปี และอาจมีสารตกค้างที่หลงเหลืออยู่ในธรรมชาติหรือถ้ากำจัดด้วยการเผาก็จะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำลายระบบนิเวศวิทยาของโลก ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน

ปัญหาเหล่านี้ล้วนเป็นประเด็นที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญและกำลังหาแนวทางแก้ไขอย่างเร่งด่วน พยายามคิดค้น หรือหาวัสดุใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการผลิตพลาสติกและโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและที่ได้รับความนิยมสูงสุด คือ การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ เพราะเป็นพืชเศรษฐกิจ มีปริมาณมากสามารถปลูกใหม่ทดแทนได้และมีราคาถูก การเตรียมโฟมจากแป้งเป็นแนวทางหนึ่ง

สามารถลดปริมาณขยะที่เกิดจากโฟมพอลิสไตรีนที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอยู่ในขณะนี้ แต่โฟมแข็งยังคงมีข้อด้อย คือ มีความเปราะ ไวต่อความชื้น สมบัติเชิงกลต่ำ และมีความสามารถในการทนต่อความร้อนต่ำ จึงมีงานวิจัยที่สนใจหาแนวทางเพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติของโฟมแข็งให้ดีขึ้น เช่น เตรียมโฟมแข็งผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (poly(lactic acid); PLA) พอลิไฮดรอกซิลเอสเทอร์ อีเทอร์ (poly(hydroxyester ether); (PHEE)), พอลิคาร์โปแลกโตน (poly(ϵ -caprolactone) (PCL)) อย่างธรรมชาติ เส้นใยธรรมชาติ ไคโตซาน แป้งดัดแปร และโปรตีน เป็นต้น¹⁻⁶ นอกจากนี้การใช้สารอนินทรีย์ เช่น เคโอลิน (kaolin) มอนต์มอริลโลไนท์ (montmorillonite) ทัล (talc) และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) สามารถปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก และยังสามารถลดการดูดซับน้ำของโฟมแข็ง แต่สารอนินทรีย์เหล่านี้บางชนิดมีราคาแพง แตกตัวและกระจายตัวในเมทริกซ์ของแข็งได้ไม่ดี อีกทั้งไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ⁷⁻¹¹

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารอนินทรีย์ที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภท¹²⁻¹⁵ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมยาง เป็นต้น เนื่องจากไม่เป็นพิษ นอกจากนี้ยังสมบัติพิเศษอื่นๆ เช่น ความขาว (brightness) การดูดซับน้ำมัน (oil absorption) แต่ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ผู้วิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (thermoplastic starch) พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจะหน่วงระยะเวลาการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชให้ช้าลง⁷ นอกจากนี้ขั้นตอนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตจะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่บรรยากาศ^{16, 17}

ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้มีของเสียจำพวกกระดูกปลาหมึก เปลือกกุ้งและเปลือกไข่ในปริมาณมาก ถ้าของเสียเหล่านี้ถูกทิ้งไว้ในสภาพสดๆ จะมีกลิ่นเหม็น ดังนั้นการนำเอาของเสียดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกระดูกปลาหมึก เปลือกกุ้งและเปลือกไข่ จากการค้นคว้างานวิจัยพบว่ามีหลายแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับกระดูกปลาหมึก เปลือกกุ้ง และเปลือกไข่ เช่น เตรียมเป็นสารดูดซับ (absorbents) ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ปุ๋ย (fertilizers) อาหารสัตว์ (additive for animal feed) และใช้สำหรับสกัดไคติน และไคโตซาน เป็นต้น¹⁸⁻²² แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ใช้กระดูกปลาหมึก เปลือกกุ้ง และเปลือกไข่ปรับปรุงสมบัติของโฟมแข็ง ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจเตรียมโฟมแข็งผสมกระดูกปลาหมึก เปลือกกุ้งและเปลือกไข่ เพื่อปรับปรุงสมบัติของโฟมแข็งเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า

สำหรับโครงการอิทธิพลของสารตัวเติมชีวภาพต่อสมบัติของโฟมแข็ง ผู้วิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชีวภาพ 3 ชนิดคือ กระดูกปลาหมึก เปลือกกุ้งและเปลือกไข่ เพื่อปรับปรุงสมบัติของโฟมแข็งเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า แต่

พบว่ากระดองปลาหมึกไม่สามารถปรับปรุงสมบัติของโฟมแข็งได้ ดังนั้นในรายงานฉบับนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะอิทธิพลของเปลือกกุ้งและเปลือกไข่ที่มีผลต่อสมบัติของโฟมแข็ง เปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า

ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ เป็นแนวทางในการผลิตโฟมแข็งในระดับอุตสาหกรรม และเป็นการเพิ่มมูลค่าของแป้งมันสำปะหลัง และวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

3. วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาอิทธิพลของเปลือกกุ้งและเปลือกไข่ที่มีผลต่อสมบัติของโฟมแข็ง และเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า

4. วิธีการทดลอง

4.1 เตรียมผงกระดองปลาหมึก เปลือกกุ้งและเปลือกไข่

นำกระดองปลาหมึก เปลือกกุ้ง และเปลือกไข่ไปล้างทำความสะอาด และอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า นำผงกระดองปลาหมึก ผงเปลือกกุ้ง และผงเปลือกไข่ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นบรรจุใส่ถุงซิปล็อค 2 ชั้น และนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปใช้งาน

4.2 การขึ้นรูปโฟมแข็ง

เตรียมส่วนผสมต่างๆ ตามตารางที่ 1 จากนั้นผสมแป้งและส่วนผสมต่างๆ ด้วยเครื่องผสม Kenwood (KM 262) กวนของผสมเป็นเวลา 10 นาที จนของผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน นำของผสมเทลงในแม่แบบที่ร้อน และนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความดันที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดัน 1500 psi หลังจากนั้นนำแม่แบบออกจากเครื่องอัดความดัน วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เย็นตัวลง และนำโฟมออกจากแม่แบบ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟมแข็ง

ส่วนผสม	น้ำหนัก (wt% เปรียบเทียบกับน้ำหนักแป้ง)
---------	---

แป้งมันสำปะหลัง ชนิดแป้งดิบ	100
สารตัวเติม	0, 5, 10, 15, 20
กาวร์กัม	1
แมกนีเซียมสเตียเรท	2
กลีเซอรอล	5
น้ำกลั่น	100

4.3 การทดสอบหาความหนาแน่น (Density)

เตรียมชิ้นทดสอบให้มีความกว้าง x ความยาว x และความหนา = 12.7 x 63.5 x 4 mm ตัวอย่างหนึ่งสูตรจะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้น วัดขนาดของชิ้นทดสอบ และชั่งน้ำหนัก โดยความหนาแน่น คำนวณจากสมการที่ (1)

$$\text{Density} = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักของตัวอย่าง มีหน่วยเป็น g
 V คือ ปริมาตรของตัวอย่าง มีหน่วยเป็น cm^3

4.4 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance testing)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 แบบไอซอด (Izod) เตรียมชิ้นทดสอบให้มีความกว้าง 12.7 mm ความยาว 63.5 mm และความหนาเท่ากับ 4 mm โดยไม่มีการบากชิ้นทดสอบ ใช้ลูกตุ้ม (pendulum) ขนาด 2 J ตัวอย่างหนึ่งสูตรจะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก คำนวณตามสมการที่ (2)

$$\text{Izod impact strength} = \frac{E}{A} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ E คือ พลังงานในกาทำให้วัสดุแตกหัก มีหน่วยเป็น J
 A คือ พื้นที่ที่รับแรงกระแทก มีหน่วยเป็น m^2

4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) โดยให้อัตราความร้อนที่ $10\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$ จากอุณหภูมิ 50 ถึง $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน

4.6 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

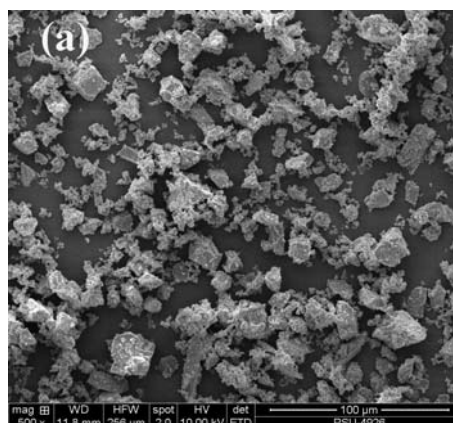
เตรียมตัวอย่างแบบแตกหักที่ผิวหน้า (Surface fracture) เพื่อศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาที่บริเวณรอยแตกหักของตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM-Quanta)

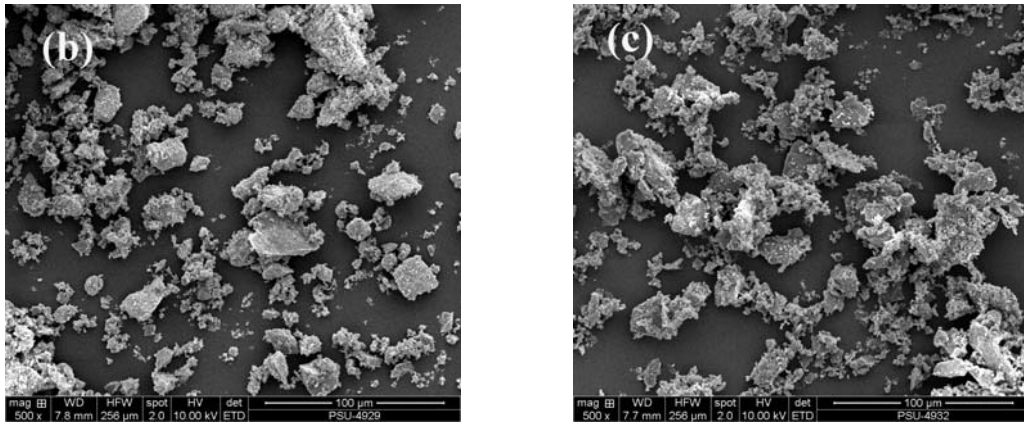
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติทางความร้อนของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้ง

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้ามีลักษณะเหลี่ยม (angular) และแบน (plate-like) มีขนาดอนุภาคเท่ากับ $11.64 \pm 4.55\text{ }\mu\text{m}$ (รูปที่ 1 (a)) สำหรับเปลือกไข่ และเปลือกกุ้งเมื่อผ่านการบดแล้วมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาล้ำกับผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และมีขนาดอนุภาคเท่ากับ $16.67 \pm 7.72\text{ }\mu\text{m}$ (รูปที่ 1 (b)) และ $14.23 \pm 7.88\text{ }\mu\text{m}$ (รูปที่ 1 (c)) ตามลำดับ

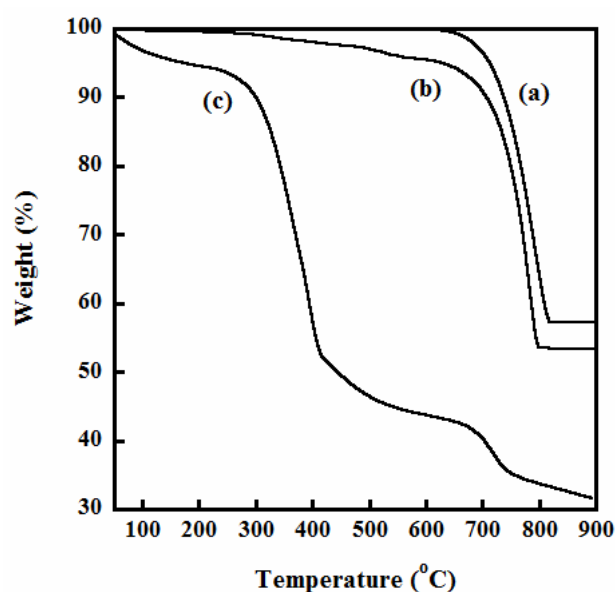
ศึกษาลักษณะการเสื่อมสภาพและเสถียรภาพทางความร้อนของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้ง ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) พบว่ากราฟ TGA ของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า รูปที่ 2 (a) แสดงตำแหน่งการสลายตัว 1 ตำแหน่ง คือ ที่อุณหภูมิ $729\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Murakami et al. (2007)²³ ที่รายงานว่ากราฟ TGA ของแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าจะปรากฏตำแหน่งการสลายตัว 1 ตำแหน่งที่อุณหภูมิ $601\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $770\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต





รูปที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า (a) ผงเปลือกไข่ (b) และผงเปลือกกุ้ง (c)

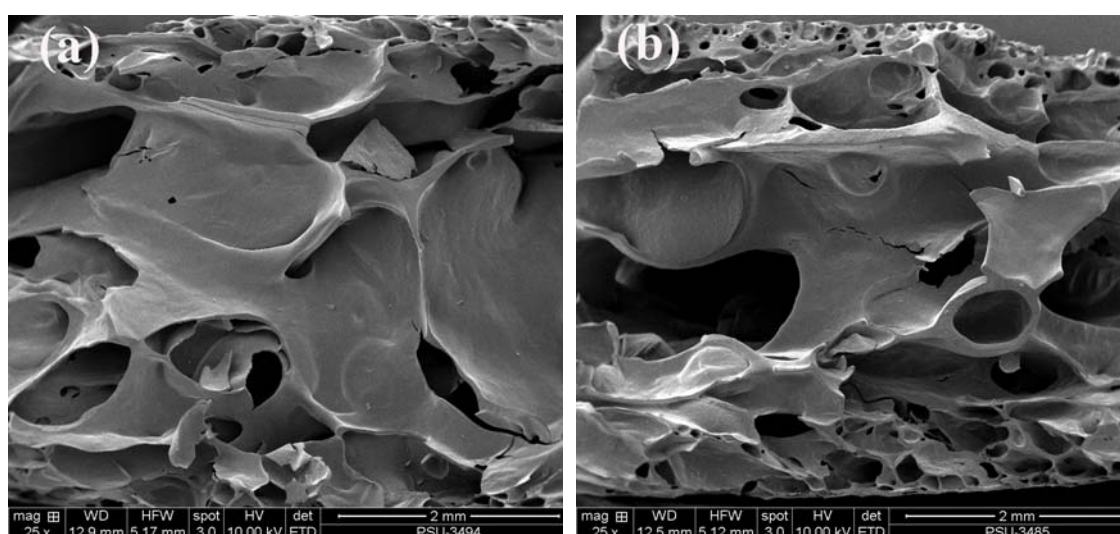
สำหรับกราฟ TGA ของผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้ง แสดงในรูปที่ 2 (b) และ 2 (c) พบว่าแสดงตำแหน่งการสลายตัว 2 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกเป็นการสลายตัวของสารอินทรีย์ในโครงสร้างของผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้ง เช่น โปรตีน ไคติน และพอลิแซ็กคาไรด์ โดยผงเปลือกไข่แสดงค่าน้ำหนักที่หายไปประมาณ 6% แต่ผงเปลือกกุ้งแสดงค่าน้ำหนักที่หายไปประมาณ 50% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ji et al. (2009)²⁴ ที่รายงานว่าเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 95% และสารอินทรีย์ประมาณ 5% และเปลือกกุ้งประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 35-50%^{19,25} สำหรับการเสื่อมสภาพในตำแหน่งที่ 2 ของผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้ง เกิดที่อุณหภูมิ 700 °C และ 688 °C ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการเกิดการเสื่อมสภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตในโครงสร้างของผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้ง

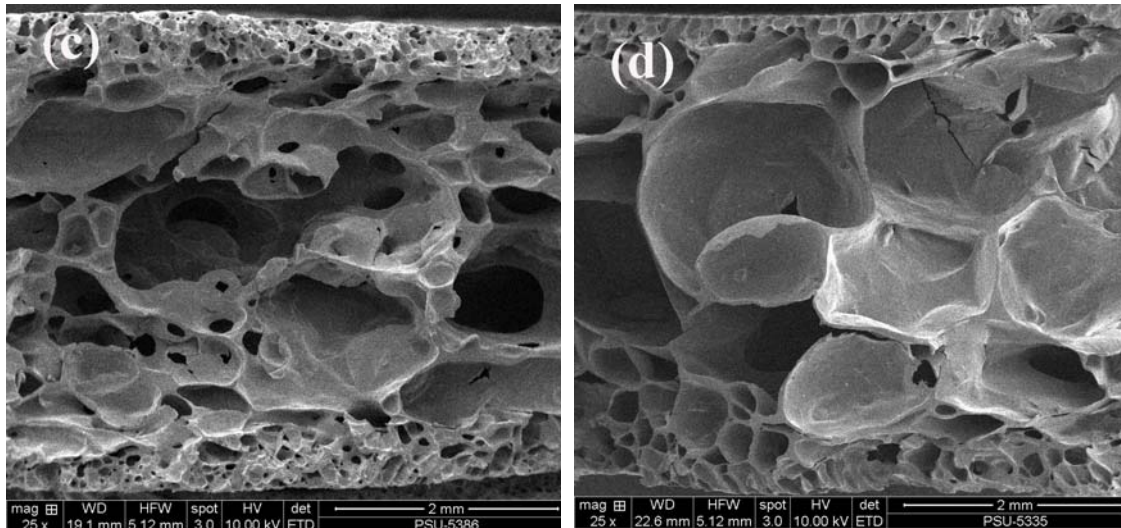


รูปที่ 2 กราฟ TGA ของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า (a) ผงเปลือกไข่ (b) และผงเปลือกกุ้ง (c)

5.2 ศึกษาอิทธิพลของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโฟมแข็ง

จากรูปที่ 3 พบว่าโฟมแข็งที่ไม่ผสมสารตัวเติมมีลักษณะเซลล์ที่มีขนาดแตกต่างกัน และเซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอ แต่โฟมแข็งที่ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตและผงเปลือกกุ้งมีลักษณะเซลล์ที่ผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมักจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าพลังงานผิว (surface energy) และอันตรกิริยาระหว่างอนุภาค (particle-particle interactions) สูง และการมีโปรตีนปริมาณมากในโครงสร้างของผงเปลือกกุ้ง ทำให้เกิดจากแยกเฟสระหว่างแป้งกับผงเปลือกกุ้ง เนื่องจากมีความเป็นไฮโดรฟิลิก และไฮโดรโฟบิกที่แตกต่างกันระหว่างแป้งและโปรตีน จากสาเหตุที่กล่าวมาจึงเป็นเหตุให้ความหนืดของของผสมระหว่างแป้งกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต และของผสมระหว่างแป้งกับผงเปลือกกุ้งมีค่าสูงขึ้น การเกิดเซลล์ในโฟมแข็งจึงเกิดได้ยากขึ้น แต่สำหรับโฟมแข็งที่ผสมเปลือกไข่มีลักษณะเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ ผนังเซลล์บางและการกระจายขนาดของเซลล์ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากผงเปลือกไข่ทำหน้าที่เป็น nucleating agent ในกระบวนการขึ้นรูปโฟมส่งผลให้เกิด steam bubble เกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจากโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาสามารถสรุปได้ว่าสารตัวเติมที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้โฟมแข็งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน

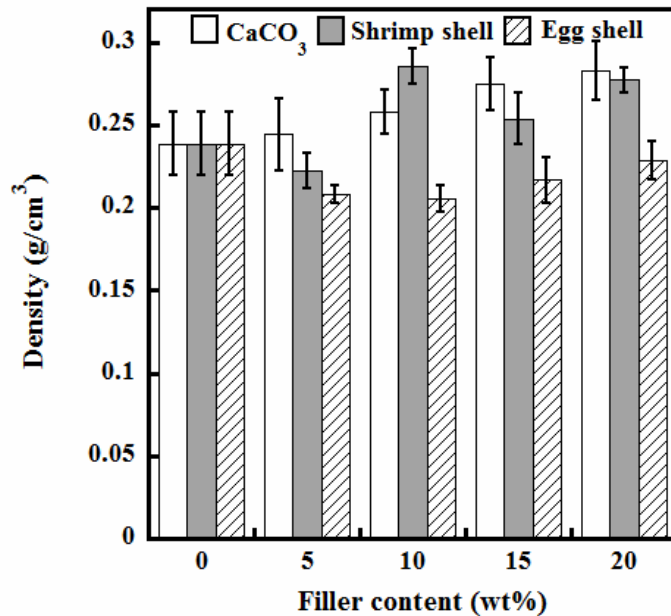




รูปที่ 3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมแป้งไม่ผสมสารตัวเติม (a) และโฟมแป้งผสมสารตัวเติม 10 wt%; ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (b) ผงเปลือกกุ้ง (c) และผงเปลือกไข่ (d)

5.3 ศึกษาอิทธิพลของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมแป้ง

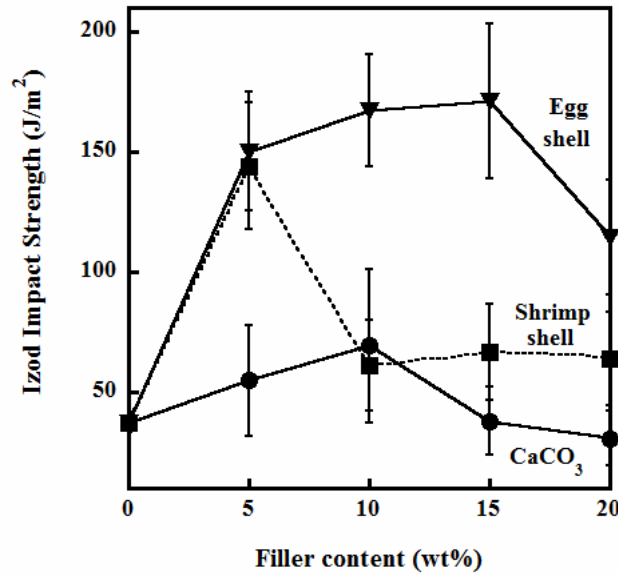
ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโฟมแป้ง โดยทำการศึกษาปริมาณของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อความหนาแน่นของโฟมแป้ง ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแป้งที่ไม่ผสมสารตัวเติม พบว่าโฟมแป้งที่ไม่ผสมสารตัวเติมมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.2385 g/cm^3 และโฟมแป้งที่ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้ของผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้น การเกิดเซลล์ของโฟมแป้งจึงเกิดได้ยาก และโฟมแป้งที่ผสมผงเปลือกกุ้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โฟมแป้งมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เพราะเปลือกกุ้งประกอบไปด้วยโปรตีนสูงประมาณ 35-50 % ทำให้ความหนืดของของผสมเพิ่มขึ้นจึงไปขัดขวางการเกิดเซลล์ของโฟมแป้ง สำหรับโฟมแป้งที่ผสมผงเปลือกไข่เป็นสารตัวเติมนั้น พบว่าผงเปลือกไข่ทำให้ความหนาแน่นของโฟมแป้งลดลง เนื่องจากเปลือกไข่หน้าที่เป็น nucleating agent โดยค่าความหนาแน่นสอดคล้องกับลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมแป้งดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 4 อิทธิพลของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมแข็ง

5.4 ศึกษาอิทธิพลของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของโฟมแข็ง

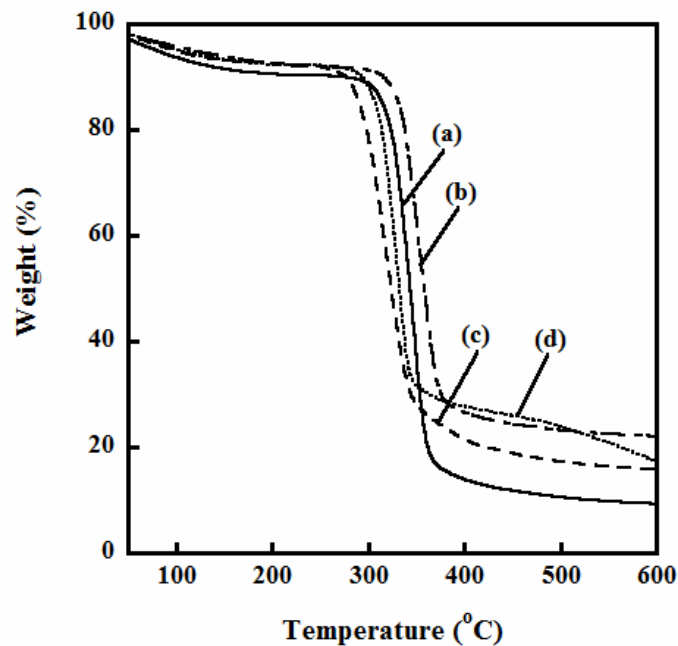
ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของโฟมแข็งที่ปริมาณสารตัวเติมแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของโฟมแข็งที่ไม่ผสมสารตัวเติมมีค่าเท่ากับ 37.373 J/m^2 และเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมแข็งที่ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นจาก 55.02 J/m^2 เป็น 69.30 J/m^2 เมื่อผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าเพิ่มขึ้นจาก 5 wt% เป็น 10 wt% แต่เมื่อปริมาณของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้ามากกว่า 10 wt% ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เพราะผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการเกาะกลุ่มกันในเมทริกซ์แข็ง สำหรับโฟมแข็งที่ใช้ผงเปลือกกุ้งเป็นสารตัวเติม พบว่าเมื่อปริมาณผงเปลือกกุ้งเท่ากับ 5 wt% มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุด คือ 144.18 J/m^2 และเมื่อปริมาณของผงเปลือกกุ้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง เนื่องจากโปรตีนในผงเปลือกกุ้งมีความเหนียวสูงกว่าแข็งอาจทำให้เกิดการแยกเฟสของของผสมในโฟมแข็ง ส่วนโฟมแข็งที่ผสมผงเปลือกไข่มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเปลือกไข่เพิ่มขึ้น 5-15 wt% เนื่องจากผงเปลือกไข่สามารถกระจายตัวและยึดเกาะกับแข็งได้ดี ซึ่งส่งผลให้เซลล์โฟมมีความแข็งแรง แต่ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 20 wt% ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง เพราะปริมาณผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเกาะกลุ่มในเมทริกซ์แข็ง



รูปที่ 5 อิทธิพลของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของโพลีเอทิลีน

5.5 ศึกษาอิทธิพลของผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า ผงเปลือกไข่ และผงเปลือกกุ้งที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของโพลีเอทิลีน

รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งการสลายตัวของโพลีเอทิลีนโดยโพลีเอทิลีนมีการสลายตัว 2 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ 1 ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-100 °C เป็นการระเหยของน้ำที่อยู่ในโพลีเอทิลีน และตำแหน่งที่ 2 เกิดจากการเสื่อมสภาพของเมทริกซ์โพลีเอทิลีน โพลีเอทิลีนที่ไม่ผสมสารเสริมแรงจะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 338°C แต่เมื่อผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปริมาณ 20 wt% อุณหภูมิการเสื่อมสภาพของโพลีเอทิลีนเพิ่มขึ้นเป็น 350°C เมื่อผสมผงเปลือกกุ้งและผงเปลือกไข่ที่ 20 wt% อุณหภูมิการเสื่อมสภาพของโพลีเอทิลีนลดลงเล็กน้อยเป็น 318°C และ 327°C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโพลีเอทิลีนที่ผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตมีอุณหภูมิการเสื่อมสภาพที่สูงกว่าโพลีเอทิลีนที่ไม่ผสมสารตัวเติม แต่โพลีเอทิลีนที่ผสมผงเปลือกกุ้งและผงเปลือกไข่นั้นมีอุณหภูมิการเสื่อมสภาพที่ต่ำลง เนื่องจากผงเปลือกกุ้งและผงเปลือกไข่มีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ปะปนอยู่ สารอินทรีย์เหล่านี้เสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำจึงส่งผลทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสภาพของโพลีเอทิลีนที่ผสมสารตัวเติมทั้งสองลดลง จึงสรุปได้ว่าเปลือกกุ้งและเปลือกไข่ไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของโพลีเอทิลีน



รูปที่ 6 กราฟ TGA ของโฟมแข็งไม่ผสมสารตัวเติม (a) และโฟมแข็งผสมสารตัวเติม 20 wt%; แคลเซียมคาร์บอเนต (b), ผงเปลือกกุ้ง (c) และผงเปลือกไข่ (d)

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของผงเปลือกกุ้ง และผงเปลือกไข่ที่มีผลต่อสมบัติของโฟมแข็ง โดยเปรียบเทียบกับผงแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า พบว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนต และผงเปลือกกุ้งส่งผลให้ลักษณะเซลล์ในโฟมแข็งผิดปกติ ค่าความหนาแน่นของโฟมแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของโฟมแข็งลดลง เนื่องจากผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการเกาะกลุ่มกันในเมทริกซ์แข็ง และโปรตีนปริมาณในผงเปลือกกุ้งเป็นสาเหตุให้เกิดการแยกเฟสกับเมทริกซ์แข็ง ส่งผลให้เกิด steam bubble ในระหว่างการขึ้นรูปเกิดได้ยาก แต่ผงเปลือกไข่ทำหน้าที่เป็น nucleating agent ส่งผลให้โฟมแข็งมีลักษณะเซลล์ที่สม่ำเสมอ ค่าความหนาแน่นของโฟมแข็งลดลง และค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของโฟมแข็งเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผงเปลือกกุ้ง และผงเปลือกไข่ไม่สามารถปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของโฟมแข็ง เนื่องจากสารอินทรีย์ในโครงสร้างของผงเปลือกกุ้ง และผงเปลือกไข่เกิดการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- 1 Pornsuksomboon, K; Hollo, B; Szecsenyi, K; Kaewtatip, K. *Carbohydr. Polym.* **2016**, 136, 107.
- 2 Kaisangsri, N; Kerdchoechuen, O; Laohakunjit, N. *Ind. Crop. Prod.* **2012**, 37, 542.
- 3 Kaisangsri, N; Kerdchoechuen, O; Laohakunjit, N. *Carbohydr. Polym.* **2014**, 110, 70.
- 4 Shey, J; Imam, H; Glenn, M; Orts, J. *Ind. Crop. Prod.* **2006**, 24, 34.
- 5 Willett, L; Shogren, L. *Polymer.* **2002**, 43, 5935.
- 6 Soykeabkaew, N; Thanomsilp, C; Suwantong, O. *Composites: Part A.* **2015**, 78, 246.
- 7 Kaewtatip, K; Tanrattanakul, V; Phetrat, W. *Appl. Clay. Sci.* **2013**, 80-81, 413.
- 8 Rangari, V; Hassan, T; Zhou, Y; Mahfuz, H; Jeelani, S; Prorok, B. *J. Appl. Polym. Sci.* **2007**, 103:308.
- 9 Glenn, M; Orts, J; Nobes, R. *Ind. Crop. Prod.* **2001**, 14, 201.
- 10 Matsuda, M; Verceheze, S; Carvalho, M; Yamashita, F; Mali, S. *Ind. Crop. Prod.* **2013**, 44, 705.
- 11 Pushpadass, A; Babu, S; Weber, W; Hanna, A. *Packag. Technol. Sci.* **2008**, 21, 171.
- 12 Manroshan, S; Baharin, A. *J. Appl. Polym. Sci.* **2005**, 63:1550.
- 13 Cai, H; Li, D; Tian, R; Wang, B; Wang, H. *J. Appl. Polym. Sci.* **2003**, 87, 982.
- 14 Chan, M; Wu, J; Li, X; Cheung, K. *Polymer.* **2002**, 43, 2981.
- 15 Kramer, H; Raza, A; Gedde, W. *Polym. Degrad. Stab.* **2007**, 92, 1795.
- 16 Klungsuwan, P; Jarerat, A; Poompradub, S. *J. Polym. Environ.* **2013**, 21, 766.
- 17 Bootklad, M; Kaewtatip, K. *Carbohydr. Polym.* **2013**, 97, 315.
- 18 Cho, B; Seo, G. *Bioresour. Technol.* **2010**, 101, 8515.
- 19 Sachindra, M; Bhaskar, N. *Bioresour. Technol.* **2008**, 99, 9013.
- 20 Tsai, T; Yang, M; Lai, W; Cheng, H; Lin, C; Yeh, W. *Bioresour. Technol.* **2006**, 97, 488.
- 21 Yoo, S; Hsieh, J; Zou, P; Kokoszka, J. *Bioresour. Technol.* **2009**, 100, 6416.

- 22 Hafsa, J; Smach, M; Charfeddine, B; Limem, K; Majdoub, H; Rouatbi, S. *Ann. Pharm. Fr.* **2016**, 74, 27.
- 23 Murakami, F; Rodrigues, P; Campos, C; Silva, M. *Food. Sci. Technol.* **2007**; 27, 658.
- 24 Ji, G; Zhu, H; Qi, C; Zeng, M. *Polym. Eng. Sci.* **2009**, 49, 1383.
- 25 Cho, I; No, K; Meyers, P. *J. Agric. Food. Chem.* **1998**, 46, 3839.

7. Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุน สกว.

Kaewta Kaewtatip, Chaliga Chiachun, Sa-Ad Riyajan (2016). The effects of egg shell and shrimp shell on the properties of baked starch foam. *Journal of applied polymer science*. Revised manuscript.

ภาคผนวก

Journal of Applied Polymer Science



**The effects of egg shell and shrimp shell on the properties
of baked starch foam**

Journal:	<i>Journal of Applied Polymer Science</i>
Manuscript ID	Draft
Wiley - Manuscript type:	Research Article
Keywords:	Biopolymers & renewable polymers, foams, morphology, thermal properties

SCHOLARONE™
Manuscripts

Review

John Wiley & Sons, Inc.

The effects of egg shell and shrimp shell on the properties of baked starch foam

Kaewta Kaewtatip^{a,*}, Chaliga Chiachun^a, Sa-Ad Riyajan^b

^a*Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand.*

^b*Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Knongluang, Patumthani, 12120 Thailand.*

The objectives of this work was to improve the properties of starch foam by using two types of bio-fillers, i.e. egg shells and shrimp shells and then to compare these with the use of commercial calcium carbonate. The amount of these fillers was used in the range of from 5 wt% to 20 wt% (dry starch basis). All the starch foams were prepared using a baking process. The agglomeration of calcium carbonate in the starch matrix and the high protein content in the shrimp shell had a big effect on the formation of steam bubbles during the baking process that reduced the izod impact strength at the higher filler content (15 and 20 wt%) and increased the density of the starch foam. In contrast, starch foam with egg shell had a low density, high izod impact strength and a narrow cell size distribution due to the egg shell acting as a nucleating agent with less protein content in its structure. The thermogravimetric analysis (TGA) showed that the temperature at the maximum weight loss of the starch foam was slightly decreased by addition of the bio-fillers because of the low thermal stability of the organic components in the egg shell and shrimp shell.

Keywords: Biopolymers and Renewable Polymers; Foams; Morphology; Thermal Properties