ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

การพัฒนาและคุณลักษณะของปริมาณสารเติมแต่งต่อสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟาเลต สำหรับการใช้งานแบบเติมร้อน : คุณภาพของน้ำผลไม้ที่ทำจากน้ำผลไม้เข้มข้น

Development and Characterization of Additives Content on The Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles for Hot-Fill Applications : The Quality of Fruit Juice Made from Concentrate

ปาริชาติ เทียนเงิน*

Parichat Tienngern

สุรเชษฐ์ ตุ้มมี**

Surachet Toommee

ชิราวุฒิ เพชรเย็น***

Chiravoot Pechyen

Received : May 29, 2023

Revised : December 6, 2024

Accepted : December 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟาเลตโคพอลิเมอร์กับพอลิเอทิลีน ไกลคอล (PET-co-PEG) ที่อัตราส่วนของสารเติมแต่ง และการขึ้นรูปแตกต่างกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติโดยจะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนผ่านของสาร (Migration) ปริมาณการแพร่กระจายของสารไพรมารีแอโรแมติกแอมีนส์ (Primary aromatic amines; PAAs) แต่ละชนิด และการแพร่กระจายของสารจำเพาะ (Specific migration limits) สำหรับภาชนะบรรจุที่ทำมาจากพลาสติกบางชนิด ที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection; LOD) ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นไปตามข้อจำกัดที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยวัสดุที่สัมผัสอาหาร (FCM) ด้วยการวิเคราะห์โดยคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางความร้อน คุณสมบัติทางเคมี

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of Science Program Student Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University

**อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer at Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University(Corresponding Author) e-mail: Chiravoot.p@gmail.com

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

และศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษา (Self-life), %Total soluble solid (Brix°), pH จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีพบว่าอัตราส่วนของสารเติมแต่ง และการขึ้นรูปของตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์ และเมื่อทดสอบอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition Temperature : Tg) เท่ากับ 82.5, 81.5, 80.7, 79.8 และ 82.2 องศาแซลเซียส และอุณภูมิการหลอมเหลว (Melting Temperature : Tm) เท่ากับ 253.9, 253.7, 246.9, 253.5 248.9 องศาแซลเซียส ดังนั้นประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะ สำหรับการใช้งานแบบเติมร้อน โดยจะต้องมีอัตราส่วนของสารเติมแต่งและการขึ้นรูปที่เหมาะสม จะสามารถคงความสเถียรต่อคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้น และมีระยะเวลาเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ทนต่อการจัดเก็บที่อุณภูมิสูง รวมถึงสามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดได้สูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคด้านคุณภาพและความปลอดภัย อีกทั้งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญสำหรับความก้าวหน้าในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้เข้มข้น

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีนเทเรฟาเลต / บรรจุภัณฑ์ / การเคลื่อนผ่านของสาร / น้ำผลไม้เข้มข้น

ABSTRACT

This research is to study the development of polyethylene terephthalate copolymer bottle packaging with polyethylene glycol (PET-co-PEG) at the ratio of additives. and different forms. To improve the properties, factors affecting the migration and diffusion amounts of each type of primary aromatic amine (PAA) will be studied. of specific migration limits for containers made of certain plastics The limit of detection (LOD) is not more than 0.002 mg/kg. Meets the limits set forth in the Food Contact Materials (FCM) Act by analyzing physical properties. thermal properties, chemical properties, and the study of storage period (self-life), % total soluble solid (brix°), and pH. And the molding of different samples did not affect the change in the chemical composition of the packaging. and when tested, the glass transition temperature (Tg) was 82.5, 81.5, 80.7, 79.8, and 82.2 °C, and the melting temperature (Tm) was 253.9, 253.7, 246.9, 253.5, and 248.9 °C. Therefore, the type of packaging for hot-fill applications It must have the right ratio of additives and formability. It will be able to maintain stability in the quality of concentrated juice and have a longer storage period. Resistant to high-temperature storage Including being able to withstand more acidic conditions. To meet the needs of consumers in terms of quality and safety. It is also an important factor in the advancement of the concentrated fruit juice industry.

Keywords : Polyethylene terephthalate (PET) / Packaging / Migration / Fruit Juice Concentration

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากความเสี่ยงจากปัจจัยต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของหลักของการเจ็บป่วย เช่น กิจกรรมในชีวิตประจำวัน มลพิษ สารเคมี เชื้อโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการแพร่ระบาดของโรค Covid-19 ซึ่งทำให้มีผู้ติดเชื้อจำนวนมาก ดังนั้นการเลือกรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีประโยชน์และจำเป็นต่อร่างกายจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อช่วยให้ร่างกายสามารถฟื้นฟูและรักษาอาการเจ็บป่วยได้ ผลไม้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และอุดมณ์ไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ มีไฟโตนิวเทรียนท์ (ฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์) วิตามิน (วิตามินซี กรดโฟลิกและโปรวิตามินเอ) กรดอินทรีย์ และเส้นใย Bermu´dez-Soto & Tomas-Barber´an (2004) อย่างไรก็ตามผลไม้ที่หลากหลายมักเกิดขึ้นตามฤดูกาล และมีการเพาะปลูกเฉพาะสภาพแต่ละพื้นที่ภูมิประเทศทั่วโลก ผลไม้ส่วนใหญ่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นและง่ายต่อการเน่าเสีย ดังนั้นจึงนิยมนำผลไม้ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลไม้อบแห้ง น้ำผลไม้เข้มข้น ผลไม้กระป๋อง ผลไม้แช่แข็ง แยม เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ Aguiar, et al., (2012); Yabsley & Cross (2001) ยิ่งไปกว่านั้นจำนวนผลผลิตของผลไม้ในแต่ละฤดูกาลมีปริมาณมาก เพื่อป้องกันผลผลิตที่ล้นตลาด การเน่าเสียระหว่างการจัดเก็บและขนส่ง ดังนั้นผลไม้จึงถูกนิยมนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ “น้ำผลไม้เข้มข้น” แต่เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำผลไม้ที่อาจทำให้มีผลต่อคุณสมบัติการเก็บรักษาคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้นระหว่างการจัดเก็บของบรรจุภัณฑ์และความปลอดภัยที่มีต่อ

ผู้บริโภค ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จึงมีความสำคัญต่อการคงคุณสมบัติของน้ำผลไม้เข้มข้นเนื่องจากสาเหตุที่ทำให้น้ำผลไม้เสื่อมคุณภาพ ได้แก่จุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ทำให้รสชาติและสีของน้ำเปลี่ยนได้ นอกจากนี้ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสมในการบรรจุใส่น้ำผลไม้ยังอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ไปทำลายคุณภาพของน้ำผลไม้ ดังนั้น ควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำผลไม้ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการดื่มน้ำผลไม้ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2560)

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) เป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ ในอุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้นเนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลที่มีความแข็งแรงน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นหยุ่นสูง ลักษณะใส ทนต่ออุณหภูมิสูง ยิ่งไปกว่านั้นคือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นเทอร์โมพลาสติกที่กลับมาแปรรูปใหม่ได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงและเป็นพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามในการจัดเก็บน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีค่าความเป็นกรดสูงในบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต อาจจะก่อให้เกิดการเคลื่อนผ่านของสาร (Migration) เช่น สารตกค้างจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันและสารประกอบที่ย่อยสลาย เมื่อใช้วัสดุดังกล่าว ในการผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร สารมลพิษเหล่านี้อาจเคลื่อนที่เข้าสู่อาหารส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์ เช่นการดูดซึมทำให้บรรจุภัณฑ์บวมและเร่งอาการถ่ายโอนสารจากวัสดุไปยังเครื่องดื่ม ทำให้รสชาติเปลี่ยน รวมไปถึงคุณภาพและการเก็บรักษาโดยปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนผ่านของสารเช่น ความเข้มข้นของสารและความสามารถในการละลายของสารที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะในน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีความเข้มข้นของกรดสูงซึ่งสามารถเพิ่มความสามารถในการละลายของสารได้ Begley & Hollifield (1990); Mekonnen, Incarnato & Di Maio (2016) จากปัญหาการเกิดการ

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

เคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารได้และอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคจึงมีกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 435 โดยมีข้อกำหนดปริมาณการแพร่กระจายของสารไพรมารีแอโรแมติกแอมีนส์ (Primary Aromatic Amines: PAAs) แต่ละชนิด ที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection: LoD) เท่ากับ 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมาตรฐานการแพร่กระจายของสารจำเพาะ (Specific migration limits) สำหรับภาชนะบรรจุที่ทำมาจากพลาสติกบางชนิด (กระทรวงสาธารณสุข, 2565) โดยในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น โดยปรับเปลี่ยนโครงสร้างของพอลิเอทิลีน-เทเรฟทาเลตกับพอลิเอทิลีไกคอล เพื่อให้คงคุณสมบัติในการทนกรด ลดการเกิดออกซิเดชัน และเกิดการเคลื่อนผ่านของสาร จากวัสดุบรรจุภัณฑ์ไปยังอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถคงคุณสมบัติในการเก็บรักษา และยังคงคุณภาพของน้ำผลไม้เข้มข้น

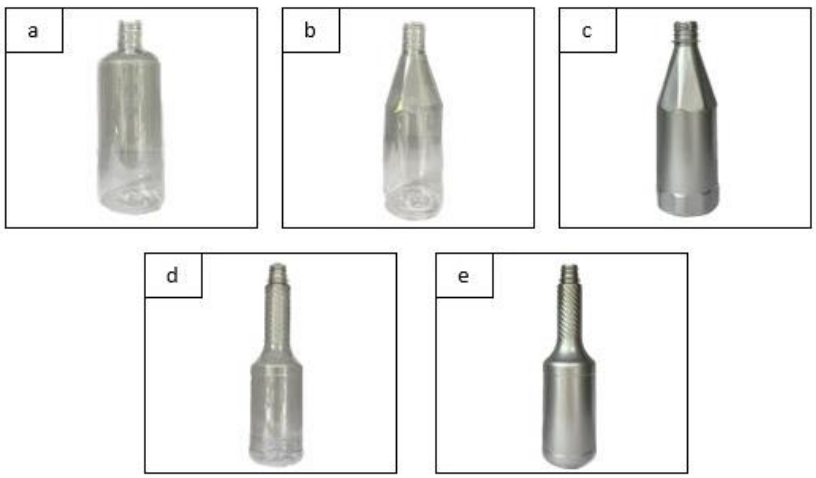
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนเตรียมเม็ดเรซินผสม (Compound resin)

นำเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต และพอลิเอทิลีนไกลคอลโคพอลิเมอร์ มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำเม็ดเรซินโดยนำพอลิพอพริลีนผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล-โคพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ

2. ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

นำเม็ดเรซินผสมแต่ละสูตรที่ผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติกด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ ดังภาพที่



ภาพที่ 1 บรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

3. การทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทเลต

3.1 วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทเลต ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared: FTIR)

เพื่อตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุลรวมกับเทคนิคอื่น โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ 400-4000 cm^{-1} เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนซ์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) ได้ผลเป็นสเปคตรัม ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน

3.2 วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของ บรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทเลต ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate: OTR) (ศศิประภา และธวัชชัย, 2564)

เพื่อศึกษาอัตราการส่งผ่านออกซิเจน (OTR) คือการวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผ่านสสารในช่วงเวลาที่กำหนด อัตราคงที่ที่ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านฟิล์มได้ OTR แสดงเป็นปริมาตรของออกซิเจนที่แทรกซึมเข้าไปในพื้นที่ที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่งวัน cc/m^2/24hr...หรือ...cc/100 in^2/24hr วัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน 73°F (23°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 0% OTR สำหรับวัสดุฟิล์มพลาสติกคืออัตราคงตัวที่ก๊าซออกซิเจนซึมผ่านฟิล์มในสภาวะที่กำหนด (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) OTR ถูกวัดสำหรับอาหารที่แตกต่างกัน (ของแข็งและของเหลว) และวัสดุบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ไม้ ไม้ก๊อก แก้ว อลูมิเนียม พลาสติก (แข็งและยืดหยุ่น) เป็นต้น ในบรรจุภัณฑ์อาหาร การซึมผ่านของออกซิเจนผ่านบรรจุภัณฑ์เมื่อเวลาผ่านไปก่อให้เกิดกระบวนการสลายตัวของอาหารที่เรียกว่าออกซิเดชัน ดังนั้น การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผ่านโครงสร้างวัสดุกั้นที่ปรับแต่งได้เองเพื่อลดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร

ในงานวิจัยนี้ใช้ตามมาตรฐาน OTR: ASTM D3985 เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อวัดอัตราการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนอย่างแม่นยำโดยใช้วิธีเซนเซอร์แบบคูลอมเมตริกสำหรับฟิล์มและแผ่นพลาสติกและตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 23 °C ตามเกณฑ์มาตรฐานที่เราวัดตัวเลข OTR ของบรรุภัณฑ์

3.3 วิเคราะห์ความเสถียรของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทเลต เมื่อได้รับความร้อน ด้วยเทคนิคศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis : TGA) (Monda & Hu, 2006; Martins, et al., 2009)

เพื่อศึกษาความเสถียรของพอลิเมอร์ เมื่อสารตัวอย่างในรูปของแข็งได้รับความร้อน จะทำการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เครื่องนี้ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ หรือ

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

การระเหยของน้ำ หรือการที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโมเลกุล การแตกตัวของวัสดุ หรือการตกผลึกที่เกิดจากการเปลี่ยนเฟส สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะถูกวางไว้บนจานขนาดเล็กที่เชื่อมกับเครื่องชั่งที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ เช่น อากาศหรือออกซิเจน หากอยู่ในบรรยากาศรีดักชัน ซึ่งอาจจะเป็นก๊าซเฉื่อยเช่น ไนโตรเจน เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป จะเกิดสัญญาณการวัดที่สามารถแสดงผลในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อน้ำหนัก (Tg) โดยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด น้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปเกิดมาจากการระเหย การสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยา โดยตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนตั้งแต่ 25-600 °C ที่อัตรา 20°C/min ในบรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 40 mL/min

3.4 วิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยเทคนิค เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter: DSC) (ปิยะธิดา, 2565)

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal transition) ของสารตัวอย่าง ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุมโดยที่ (Glass Transition) และ (melting) เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน (Endothermic) ในขณะที่ crystallization เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน (Exothermic) ซึ่งตัวอย่างปริมาณ 10 mg จะถูกให้ความร้อนตั้งแต่ -40 ถึง 290 °C (Temperature) อัตราการให้ความร้อนคงที่ 5 min (Certain heating) และ Cool down ที่อุณภูมิ 25 °C

3.5 การทดสอบค่าพีเอชที่มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำผลไม้ที่อัตราส่วนต่างๆของสารเติมแต่ง (pH)

ตรวจวัดค่า pH ของน้ำผลไม้เข้มข้นโดยใช้เครื่องวัดค่า pH แบบดิจิทัล (เครื่องวัดค่า pH แบบไมโครโปรเซสเซอร์ รุ่น HI 9020) ปริมาณที่เพียงพอ 50 mL. ของตัวอย่างถูกถ่ายในบีกเกอร์ 100 มล. และ pH ถูกบันทึกโดยเครื่องวัดค่า pH ตามวิธีการที่อธิบายไว้ใน AOAC 2000

3.6 การทดสอบหาค่าปริมาณของแข็ง (%Total soluble solids)

ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่างน้ำผลไม้ถูกบันทึกโดยตรงโดยเครื่องวัดการหักเหของแสงของ Abbe (รุ่น RL Nr. 1373) และผลลัพธ์ถูกแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix°) ตามที่ Rangana (1991) อธิบาย

โดยการนำตัวอย่างน้ำผลไม้ 10 กรัม ปรับค่า refractive index ของ Hand refractometer ให้อยู่ตรงตำแหน่ง %0 brix° โดยใช้น้ำกลั่นหยดลงบน prism 2-3 หยด เมื่อปรับแล้วใช้ทิชชูเช็ด prism ให้แห้ง ใช้หลอดหยดดูดตัวอย่างหยดลงบน prism ของ Hand refractometer 2-3 หยด พยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ ทำการอ่านค่า refractive index ของ Soluble solid ซึ่งมีหน่วยเป็น %Brix ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับค่าการหักเหแสงของน้ำตาลซูโครสที่ละลายในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (น้ำเชื่อมบริสุทธิ) ที่อุณภูมิ 20 °C ถ้าวัดที่อุณภูมิอื่นต้องปรับค่าให้ถูกต้อง (Creation) โดยใช้ตารางปรับค่า

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำผลไม้ (Organic acid) (Rehman, et al., 2014)

โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก) ในน้ำผลไม้หลังจากการเก็บรักษาที่อุณภูมิสูง 100 องศา ด้วยเทคนิคการแยกสารประกอบ โดยอาศัยหลักการความแตกต่าง ของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบ (High Performance Liquid Chromatograph: HPLC) ใช้ buffer-acetonitrile เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) $(NH_4)_2HPO_4$ (0.5% wt/Vol) (0.038 M), acetonitrile (0.4% vol/vol) (0.049 M) ปรับ pH 2.24 ด้วย H_3PO_4 กระดาษกรอง Whatman number 1 และตัวกรองเมมเบรน 0.45 μm ที่สภาวะอัตราการไหล 0.3 mL/min

3.8 การวิเคราะห์ปริมาณการแพร่กระจายของสารไพรมารี แอโรแมติก แอมีนส์ (Primary Aromatic Amines: PAAs)

โดยวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังเครื่องดื่ม ด้วยเทคนิคการแยกสารประกอบ โดยอาศัยหลักการความแตกต่าง ของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบ (High Performance Liquid Chromatograph: HPLC) วิเคราะห์ผ่าน Column C-18 โดยใช้อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 40 min โดยเพิ่มทีละ 20 °C/min จนไปถึง 320 °C

ภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก แต่ละชนิดต้องตรวจรายการการพร่กระจายของสารไพรมารี แอโรแมติก แอมีนส์ (Primary Aromatic Amines: PAAs) ตามประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 435 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะที่ทำมาจากพลาสติก โดยปริมาณของสารในกลุ่ม PAAs จะต้องปริมาณสูงสุดที่ยอมให้แพร่กระจายสู่อาหาร สำหรับพลาสติกแต่ละชนิด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ไม่เกินที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection: LOD)

ผลวิจัยวิจัย

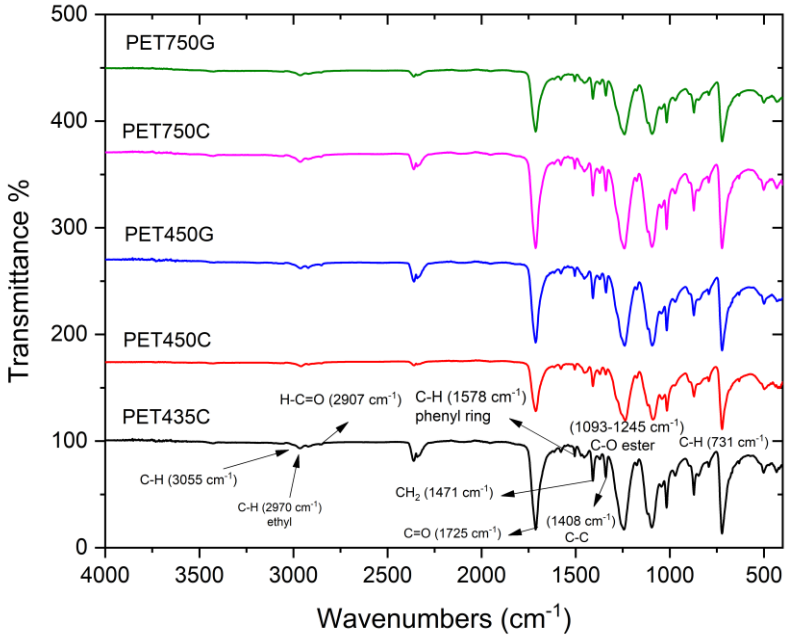
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลตสำหรับการบรรจุน้ำผลไม้เข้มข้นเพื่อทนต่อปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ผ่านของสาร (Migration) และยังคงคุณสมบัติและความเสถียรของน้ำผลไม้เข้มข้น จึงวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) และคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์-ฟอร์มอินฟาเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared: FTIR)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เพื่อศึกษาอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลผ่านการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ที่สอดคล้องกับการยืดหรือดัดการสั่นสะเทือนของพันธะเฉพาะ ตำแหน่งเหล่านี้ปรากฏขึ้นอยู่กับประเภทของพันธะ แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลตดังภาพที่ 2 จากภาพแสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลตที่ตำแหน่ง 1093 cm^{-1} และ 1245 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ C-O (C-O stretching) ที่ตำแหน่ง 1725 cm^{-1} พบ C=O ของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ และที่ตำแหน่ง 2970 cm^{-1} C-H(C-H stretching) ตำแหน่ง 731 cm^{-1} C-H (C–H bending) ของหมู่ฟังก์ชันเอทิล และพบ C-H(C-H stretching)

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

ตำแหน่ง 3055 cm^{-1} ของวงแหวนอะโรมาติก นอกจากนี้ยังพบวงอะโรมาติกของฟีนิลที่ตำแหน่ง 1578 cm^{-1} สำหรับบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลตที่ตรวจสอบ พบตำแหน่งของเลขคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งหมด โดยไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นที่ตำแหน่งใหม่



ภาพที่ 2 FTIR สเปคตราของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาแลต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปของบรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยเทคนิค เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential Scanning Calorimeter: DSC)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของพอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต โดยทำการเตรียมตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุ ตัวอย่างลงในถ้วย (Pan) ทำการอัดแน่นแล้วตัวอย่าง จะถูกให้ความร้อนตั้งแต่ -40 ถึง 290 °C (Temperature) อัตราการให้ความร้อนคงที่ 5 min (Certain heating) และ Cool down ที่อุณภูมิ 25 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน สามารถคำนวณหาค่าร้อยละความเป็นผลึกได้จากสมการ (1)

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

$$\% \text{ crystallinity } (X_c) = \frac{\Delta Hm}{w\Delta H_m^*} \times 100 \quad (1)$$

ΔHm คือ การเปลี่ยนแปลงความร้อนของการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง

ΔH_m^* คือ การเปลี่ยนแปลงความร้อนของการหลอมเหลวของสารตัวอย่างที่เกิดผลึกร้อยละ 100

w คือ เศษส่วนโมลของพอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิในการหลอมเหลว และความร้อน แฝงของการหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต

Sample	Tg (°C)	Tm (°C)	Tc (°C)	ΔHm (J/g)
PET435C	76.2	255.5	182.1	73.74
PET450C	81.8	253.7	186.1	64.62
PET450G	80.7	246.9	201.9	54.04
PET750C	79.8	253.5	182.9	47.7
PET750G	82.2	248.9	201.9	58.68

วิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของ บรรจุภัณฑ์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลต ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen Transmission rate: OTR)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราการส่งผ่านออกซิเจน (OTR) คือการวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผ่านสสารในช่วงเวลาที่กำหนด อัตราคงที่ที่ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านฟิล์มได้ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังน้ำผลไม้เข้มข้น ตามมาตรฐาน OTR: ASTM D3985 เป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อวัดอัตราการส่งผ่านก๊าซออกซิเจนอย่างแม่นยำโดยใช้วิธีเซนเซอร์แบบคูลอมเมตริกสำหรับฟิล์มและแผ่นพลาสติก และตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 23 °C ตามเกณฑ์มาตรฐานที่เราวัดตัวเลข OTR ของบรรุภัณฑ์

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟาเลตเพื่อบรรจุน้ำผลไม้เข้มข้น โดยการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลเพื่อปรับปรุงภายโครงสร้างของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟาเลตให้มีคุณสมบัติในการเก็บรักษาน้ำผลไม้เข้มข้นที่ยาวนานขึ้น และสามารถทนต่อค่าความเป็นกรดได้สูง คงความสเถียรต่อคุณภาพและรสชาติของน้ำผลไม้เข้มโดยลดการเกิดการเคลื่อนผ่านของสารจากบรรจุภัณฑ์ไปยังผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อการแพร่กระจายของสาร สำหรับภาชนะบรรจุที่ทำมาจากพลาสติกบางชนิด ที่ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection: LOD) ไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่เป็นไปตามข้อจำกัดที่กำหนดไว้ในกฎหมายว่าด้วยวัสดุที่สัมผัสอาหาร (FCM) จากผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง

Vol.11 No.2 July-December 2024 ISSN 2985-2161 (Online)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลตที่ตรวจสอบ พบตำแหน่งของเลขคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งหมดที่ตำแหน่ง 1093 cm^{-1} และ 1245 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ C-O (C-O stretching) ที่ตำแหน่ง 1725 cm^{-1} พบ C=O ของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ และที่ตำแหน่ง 2970 cm^{-1} C-H(C-H stretching) ตำแหน่ง 731 cm^{-1} C-H (C–H bending) ของหมู่ฟังก์ชันเอทิล และพบ C-H(C-H stretching) ตำแหน่ง 3055 cm^{-1} ของวงแหวนอะโรมาติก นอกจากนี้ยังพบวงอะโรมาติกของฟีนิลที่ตำแหน่ง 1578 cm^{-1} โดยไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นที่ตำแหน่งใหม่ และจากผลการศึกษาผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนสถานะทางความร้อนของสาร พบว่าการขึ้นรูปของตัวอย่างที่แตกต่างกันและการใส่สารเติมแต่งสี (colorant) ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์พอลิเอทิลีนเทเรฟเทแลตที่ไม่เติมสารเติมแต่งสี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชิราวุฒิ เพชรเย็น ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ๆ ในสาขานัวตกรรมวัสดุ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเรื่องสารเคมี อุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่าง และอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางต่างๆ และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจจนประสบผลสำเร็จตามที่หวังไว้

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2567 ISSN 2985-2161 (Online)

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 435) พ.ศ. 2556. (2565, 17 มิถุนายน). **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 139 ตอนพิเศษ. หน้า 139 ง.

ปิยะธิดา สนธิสมบัติ. (2565). **Research division**. [Online]. Available : https://www.asiaplus.co.th/asps/research_file.php?id=64491&file=1 [2022, June 10]

ศศิประภา ชิตรัตถา และธวัชชัย แพชมัด. (2564, กันยายน). เทคนิคทางเลือกสำหรับศึกษาลักษณะฟิล์มและเมมเบรน. **วารสารเภสัชกรอุตสาหการ, 9**(2), 4-5.

ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม. (2560). การเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำผลไม้. [Online]. Available : https://www.dip.go.th/th/search?keyword=น้ำผลไม้&page=2 [2022, June 10].

Aguiar, I.B., Miranda, N.G.M., Gomes, F.S., Santos, M.C.S., Freitas, D.d.G.C. & Tonon, R.V., (2012, October). Physicochemical and sensory properties of apple juice concentrated By Reverse osmosis and osmotic evaporation. **Innov Food Sci Emerg. Technol, 16**, 137-142.

Begley, T.H. & Hollifield, H.C. (1990, May-June). Evaluation of polyethylene terephthalate cyclic trimer migration from microwave food packaging using temperature-time profiles. **Food Addit Contam,** 7(3), 339-346.

Bermu´dez-Soto, M.J. & Tomas-Barber´an, F.A. (2004, July). Evaluation of commercial red fruit juice concentrates as ´ingredients for antioxidant functional juices. **Eur Food Res Technol, 219**(2), 133-141.

Martins, I.M.G., Magina, S.P., Oliveira, L., Freire. C.S.R., Silvestre, A.J.D., Neto. C.P. & Gandini. A. (2009, October). New biocomposites based on thermoplastic starch and bacterial cellulose. **Compos Sci Technol, 69**(13), 2163-2168.

Mekonnen, Z.T., Incarnato, L. & Di Maio, L. (2016). Migration Phenomena Analysis of Virgin PET Recycled PET Multlayers Films. **Ann Food Process Preserv, 1**(1), 1008.

Monda, S. & Hu, J.L. (2006, April). Structural characterization and mass transfer properties of Nonporous segmented polyurethane membrane: Influence of hydrophilicand carboxylic group. **J Membrane Sci, 274**, 219-226.

Rehman, M.A., Khan, M.R., Sharif, M.K., Ahmad, S. & Shah, F.H. (2014, January). Study on the storage stability of fruit juice concentrates. **Journal of Food Sciences, 24**(1), 101-107.

Yabsley, C. & Cross, A. (2001). **Miracle Juices: 60 Juices for a Healthy Life**. Creative Publishing International, Beverly, MA, USA.