

Received: January 23, 2023; Revised: March 30, 2023; Accepted: April 26, 2023

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซีซีซีซีไม้จิกกับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุของ
ของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

Feasibility study on using hard resin of 'Ton Jik' Taengwood balau tree
(*Shorea Obtusa* Wall) with multilayer plastic film as materials of ethanol
vapor-controlled release sachets in active packages

หทัยพร กัมพวงศ์¹ ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล² และวีรเวทย์ อุทโธ^{1,3,4*}

Hathaiphon Kampawong¹, Rittirong Pruthitikul² and Weerawate Utto^{1,3,4*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

¹Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province.

²ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จังหวัดปทุมธานี

²National Metal and Materials Technology Center-MTEC) SMEONE, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani Province.

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) จังหวัดกรุงเทพมหานคร

³Postharvest Technology Innovation Center, Promotion and Coordination Division for the Benefits of Science research and innovation, Office of the Permanent Secretary Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok Province

⁴ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

⁴Local Food Industry Research and Development Center, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province.

*Corresponding Author E-mail Address : weerewate.u@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ซีซีซีซีไม้จิก (วัสดุ KC) กับฟิล์มพลาสติกหลายชั้นสำหรับเป็นวัสดุของของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ การวิจัยนี้พัฒนาฟิล์มพลาสติกหลายชั้นต้นแบบโดยการทาสารละลายซีซีซีซีไม้จิกลงบนผิวหน้าของฟิล์ม Ethylene vinyl acetate (EVA) จากนั้นเชื่อมประกบฟิล์มพลาสติก Low density polyethylene (LDPE) ทั้งสองด้านโดยเทคนิคการปิดผนึกด้วยความร้อน ต้นแบบฟิล์มแอคทีฟ KC (LDPE/KC/EVA/LDPE) ได้นำไปพัฒนาเป็นซองควบคุมฯ (KC sachet) ซึ่งมีผนังเป็นฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนตและฟิล์มแอคทีฟ KC โดยมีกระดาศกรองที่เอบซุ่มด้วยเอทานอลเหลวอยู่ภายในซองควบคุมฯ การวิจัยได้ศึกษาการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ (KC sachet) ในบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมลามิเนตปริมาตร 250 ml ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอล

ในบรรจุภัณฑ์ได้รับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame-ionized detector gas chromatogram (FID-GC) ในระหว่างการเก็บรักษา 17 วัน ที่อุณหภูมิ 25°C และเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลซึ่งปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ทำจากฟิล์ม LDPE (LDPE sachet) และฟิล์มหลายชั้นที่ไม่มีวัสดุ KC (2LDEVA sachet) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในทุกสิ่งทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในช่วง 7 วันแรก จากนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเกิดขึ้นช้าลงและมีแนวโน้มคงที่ ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลสูงสุดพบในสิ่งทดลอง KC sachet ในขณะที่ค่าต่ำสุดพบในสิ่งทดลอง 2LDEVA sachet แบบจำลองคณิตศาสตร์ประเภท First-order kinetic reaction สามารถทำนายการระดับและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลได้ดี (R^2 เท่ากับ 0.99) อัตราเร็วที่สูงของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฯ ในสิ่งทดลอง KC sachet ได้ตั้งสมมติฐานว่าอาจเกิดจากปรากฏการณ์พลาสติกไซเซชันในโครงสร้างของฟิล์มพลาสติกโดยมีสาเหตุจากทั้งโมเลกุลเอทานอลและสารประกอบอินทรีย์ของซีซีชันไม้จิกที่เกิดการซึมผ่านภายในชั้นฟิล์มอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ไอระเหยของซีซีชันไม้จิกได้ถูกปลดปล่อยออกมารวมกับไอระเหยเอทานอลโดยประเภทของไอระเหยดังกล่าวอยู่ในระหว่างการพิสูจน์ทราบเพื่อการพัฒนาของควบคุมฯ KC ต่อไป

คำสำคัญ: ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล ซีซีชันไม้จิก บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ฟิล์มพลาสติกหลายชั้น

Abstract

The purpose of this research was to study feasibilities in using hard resin of Taengwood balau tree (KC material) with multilayer plastic films as materials of ethanol vapor-controlled release sachet in active packaging. The resin and the tree are locally called KeeCee (or KC) and Ton Jik, respectively. This research developed a prototype of a multi-layer plastic film by applying a KC material solution on the surface of the ethylene vinyl acetate (EVA) film of which low density polyethylene (LDPE) plastic films subsequently were laminated on both sides using the heat-sealing technique. The active KC film prototype (LDPE/KC/EVA/LDPE) was developed further as an ethanol vapor-controlled release sachet, so-called KC sachet. The sachet comprises with an aluminium laminated film on one side and the KC film on the other and contains a filter paper pre-saturated with ethanol liquid. The present research studied ethanol vapor released from the KC sachet within the 250-ml aluminium laminated packages. Ethanol vapor concentrations were analyzed using the flame-ionized detector gas chromatogram (FID-GC) during 17 days at 25°C and were compared to those released from sachets of which the material on one side was made of either LDPE (LDPE sachet) or multilayer film having no KC layer (2LDEVA sachet). Experimental results show that ethanol vapor concentrations of all treatments rapidly and continuously increased during 7 days of the storage period. Changes of the concentrations thereafter became slower and apparently, had steady trends. The highest ethanol vapor concentration was found in the KC sachet treatment, whilst the lowest one was observed in the 2LDEVA sachet one. The first-order kinetic mathematical model could well predict concentration levels and their changes in all treatments ($R^2 = 0.99$). The highest rate of the concentration changes in the KC sachet treatment hypothetically was attributed to the plasticization phenomena occurred within the film structures caused by molecules of both ethanol and KC-based organic compounds, continuously permeating into the film layers. In addition, the volatiles which presumably were of the KC were released from the KC sachet,

together with the ethanol vapor. These currently have been identified for types and their anti-microbial activities for further development of the KC sachets.

Keywords: Ethanol vapor-controlled release sachets, Hard resin of Taengwood balau tree (KC), Active packaging, Multilayer plastic film

บทนำ

การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร (Active packaging for food products) ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษ พลาสติก หรือสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ (Edible coating material) มีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยา (Interactions) กับบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และ/หรือ ผลิตภัณฑ์อาหาร นำไปสู่การควบคุมคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา (วีรเวทย์, 2562) ตัวอย่างของส่วนประกอบ เช่น น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ซึ่งสกัดจากพืช อบเชย (Thongsrikhem et al., 2022) ตะไคร้ (Han Lyn and Nur Hanani, 2020) และกานพลู (Ahmed et al., 2019) ได้รับความสนใจพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟฯ เป็นการยกระดับประสิทธิภาพด้านสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional property) ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ซึ่งให้ประโยชน์ต่อการใช้งานเพิ่มเติมจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อันเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบของวัสดุฯ กับเชื้อจุลินทรีย์ (Sharma et al., 2021) ทั้งนี้วัสดุบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีชื่อเรียกโดยรวมว่าวัสดุบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging material หรือ วัสดุ APM) ในการวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจในวัสดุ APM ที่มีส่วนประกอบของซีซีซึ่งเป็นชันไม้ (Hard resin) ของต้นจิก (*Shorea obtusa* Wall) โดยต้นจิกมีชื่อเรียกในภาษากลางว่า ต้นเต็ง (Taengwood balu) เป็นพืชในวงศ์ยางนา (Dipterocarpaceae) ซีซีชันไม้เกิดจากการเจาะต้นไม้ของด้วงหรือรอยแตกของเนื้อไม้ทำให้เกิดการไหลของน้ำยาง (Oleoresin) ออกจากต้นมา และเกิดการแข็งตัวคล้ายกับหินงอกหินย้อยในถ้ำมีสีน้ำตาลอ่อนหรือคล้ำตามสภาวะแวดล้อม ซีซีชันไม้มีส่วนผสมสำคัญเป็นสารประกอบอินทรีย์กลุ่มเทอร์เพน (Terpenes) (Ramle, 2010) สารกลุ่มนี้พบในพืชสมุนไพรและมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Mahizan et al., 2019; Masyita et al., 2022) ซีซีชันไม้ได้รับการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์แผนไทยโดยเป็นส่วนประกอบร่วมกับสมุนไพรไทยอื่น ๆ ของยาสมุนไพรเหลืองปิดสมุทรซึ่งออกฤทธิ์ชะลอการถ่ายท้องเสียจากโรคบิดหรือโรคทางเดินอาหาร (Sireeratawong et al., 2012; Phromnoi et al., 2019)

ซีซีชันไม้จิกมีความสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี เช่น แอลกอฮอล์ หรือน้ำมัน ตลอดจนมีความเหนียวและยึดติดกับผิวหน้าวัสดุได้ดีและกันน้ำ จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้ซีซีชันไม้จิกเพื่อเป็นวัสดุเคลือบผิวหน้าภาชนะไม้สำหรับกันการรั่วในการบรรจุน้ำ หรือใช้งานในรูปของวัสดุการเชื่อมประสาน (Sealant) สำหรับเชื่อมหรือปิดรอยแตก (Morkhade et al., 2017) จากสมบัติการคงตัวและยึดติดกับผิวหน้าได้ดีของซีซีชันไม้จิกดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำซีซีมาเป็นส่วนประกอบของฟิล์มพลาสติกเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุ APM และใช้ในรูปแบบของซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล (Ethanol vapor controlled release sachet) ซึ่งเป็นระบบแอคทีฟ (Active system) ที่ใช้บรรจุร่วมกับผักและผลไม้หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟเพื่อชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แนวคิดดังกล่าวมีพื้นฐานข้อมูลจากรายงานในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง พบว่า แม้ไอระเหยเอทานอลสามารถชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยเฉพาะภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำ 7-12°C แต่ประสิทธิภาพดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูง เช่น 25-30°C (วีรเวทย์ และคณะ, 2555) ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่มักพบได้โดยทั่วไปในโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์สด (วีรเวทย์, 2562) ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาว่า หากมีการเพิ่มไอระเหยอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์นอกเหนือจากไอระเหยเอทานอล จักเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ เนื่องจากการควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยไอระเหยที่

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุ APM ประเภทฟิล์มพลาสติกหลายชั้น (Multilayer film) ซึ่งมีส่วนประกอบของพีซีซีไนไมจีคและศึกษาผลของวัสดุ APM ต่อการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญก่อนการทดสอบและประยุกต์ใช้ของควมคมฯ สำหรับการบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อาหาร

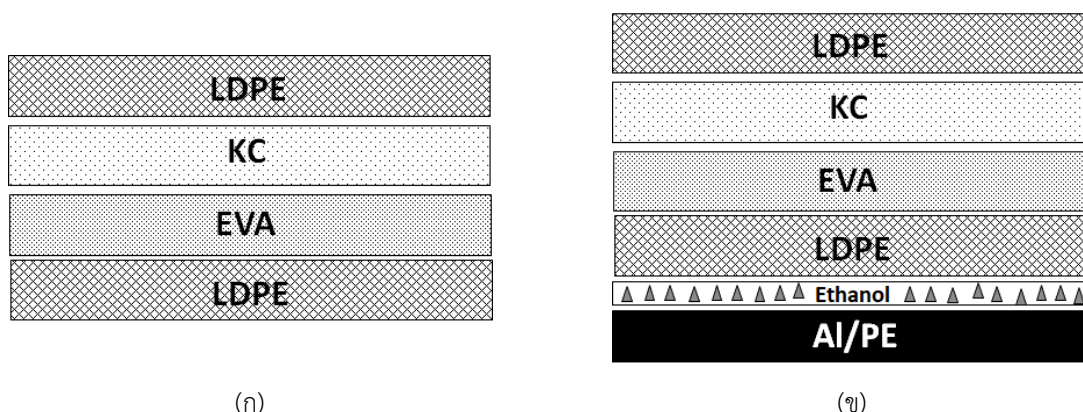
วัตถุประสงค์สำคัญของการวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) ขี้ชีชั้นไม้จิกบดผง (ชันยาเรือ ตราหัวเรือ บริษัท แอล เค อาร์อุตสาหกรรม จำกัด) และ (2) พิล์มพลาสติก สำหรับการขึ้นรูปเป็นวัสดุ APM รูปแบบฟิล์มหลายชั้น จำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้ (2.1) พิล์มพลาสติกเอทิลีนไวนิล อะซิเตท (Ethylene vinyl acetate; EVA) ยี่ห้อ Heat n bond ultrahold iron-on adhesive ความหนาเท่ากับ 203 μm มีสมบัติด้าน O_2 transmission rate (OTR) CO_2 transmission rate (CTR) และ Water vapour transmission rate (WVTR) เท่ากับ 821 $\text{ml m}^{-2} \text{day}^{-1}$, 2,612 $\text{ml m}^{-2} \text{day}^{-1}$ และ 15 $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ พิล์มพลาสติก EVA ทำหน้าที่เป็นตัวพาขี้ชีชั้นไม้และวัสดุเชื่อมประสานในโครงสร้างของวัสดุ APM (2.2) พิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) ความหนาเท่ากับ 30 μm โดยมีสมบัติ OTR CTR และ WVTR เท่ากับ 2,500 $\text{ml m}^{-2} \text{day}^{-1}$, 13,500 $\text{ml m}^{-2} \text{day}^{-1}$ และ 8 $\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ และ (2.3) พิล์มพลาสติกอะลูมิเนียมลามิเนต (AL/PE) ซึ่งมีสมบัติการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำข้างต้นต่ำมาก (วีรเวทย์, 2562) ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานว่าทั้งแก๊สและไอน้ำไม่เกิดการซึมผ่านชั้นฟิล์มพลาสติก AL/PE ในระหว่างช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

2. การเตรียมสารละลายชั้นไม้จิก

ผู้วิจัยได้ประยุกต์วิธีการเตรียมสารละลายเซลแล็ค (Shellac) ซึ่งรายงานโดย Khorram and Ramezani (2021) และมีรายละเอียดดังนี้ นำชั้นไม้จิกบดผงน้ำหนัก 100 g ผสมกับสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 95% (v/v) ปริมาตร 200 ml (อัตราส่วนชั้นไม้จิกผงต่อเอทานอล 1:2 w/v) คนผสมให้เข้ากันจากนั้นนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65-70°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยทำการคนกวนสารละลายทุก ๆ 30 นาที ทั้งนี้ในการคนกวนแต่ละครั้งได้ทำการคนกวนต่อเนื่องเป็นเวลานาน 5 นาที ภายหลังจากเมื่อครบเวลาการคนกวนแล้ว นำสารละลายมาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 (Whatman No. 4) สารละลายที่ผ่านกระดาษกรองมีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นของชั้นไม้จิกอ่อน ๆ จากนั้นทำการเติมกลีเซอรอล (Glycerol 99.5% (v/v), Kamaus, Australia) ด้วยความเข้มข้น 2.5% (w/v) โดยเปรียบเทียบกับปริมาตรสารละลายที่กรองได้ ทั้งนี้สารกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ให้ความยืดหยุ่นแก่โครงสร้างพอลิเมอร์ของสารละลายซีซีชั้นไม้จิกภายหลังจากนั้นได้ทำการเก็บสารละลายในขวดสีชาพร้อมทั้งปิดฝาให้สนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกว่านำไปใช้ในการทดสอบ

3. การพัฒนาวัสดุ APM และช่องควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล

วัสดุ APM สำหรับการวิจัยนี้เป็นฟิล์มพลาสติกแบบหลายชั้นโดยมีส่วนประกอบของซีซีชั้นไม้จิกเป็นองค์ประกอบ การพัฒนาฟิล์มพลาสติกได้ประยุกต์วิธีการที่รายงานโดย Kampawong et al. (2021) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ เตรียมฟิล์มพลาสติก EVA และ LDPE ขนาดเท่ากับ 7×7 cm นำสารละลายซีซีชั้นไม้ที่เตรียมในหัวข้อ 2.2 ระเหยตัวทำละลายเอทานอลในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 65-70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งสารละลายซีซีชั้นไม้มีลักษณะเหนียวแต่สามารถแผ่ตัวได้ (Spread ability) โดยทำการชั่งสารละลายซีซี 0.4 g และนำมาทาที่ผิวด้านหนึ่งของฟิล์มพลาสติก EVA (มีสัญลักษณ์ คือ KC/EVA) ภายหลังจากกระบวนการดังกล่าว ได้ทำการประกบฟิล์มพลาสติก KC/EVA ทั้งสองด้านด้วยฟิล์มพลาสติก LDPE จากนั้นนำแผ่นโลหะให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 100°C วางทับบนกระดาษไขซึ่งวางบนผิวด้านของฟิล์มพลาสติก LDPE เป็นเวลา 3 นาที ความร้อนจากแผ่นโลหะได้ทำให้ฟิล์มพลาสติกเกิดการอ่อนตัว โดยเฉพาะฟิล์มพลาสติก EVA ได้เกิดการหลอมตัวมีลักษณะคล้ายกาวทำให้เกิดการเชื่อมประสานกับฟิล์มพลาสติก LDPE ทั้งสองแผ่นที่ผิวด้าน เมื่อนำความร้อนออกจากแผ่นโลหะส่งผลให้ฟิล์มแต่ละชั้นเกิดการเย็นตัวและเกิดการยึดเหนี่ยวเชื่อมประสานแน่นระหว่างชั้น ความหนาโดยรวมของฟิล์มเท่ากับ 232 μm ฟิล์มหลายชั้นดังกล่าวนี้มีสัญลักษณ์ขององค์ประกอบของฟิล์มแต่ละชั้น (จากด้านนอกสู่ด้านในของฟิล์ม) คือ “LDPE/KC/EVA/LDPE” และเพื่อความกระชับของเนื้อหาจึงขอเรียกฟิล์มพลาสติกหลายชั้นซึ่งเป็นฟิล์มแอคทีฟ (Active film) ว่า ฟิล์ม KC (รูปที่ 1ก)



รูปที่ 1 แบบจำลองแนวคิดของฟิล์มแอคทีฟ KC ซึ่งเป็นฟิล์มแอคทีฟประเภทฟิล์มพลาสติกหลายชั้นซึ่งมีส่วนประกอบของซีซีชั้นไม้ (ก) และ ช่องควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลประเภท 4-side-sealed (ข)

ภายหลังจากการเตรียมฟิล์มพลาสติกหลายชั้น ผู้วิจัยได้นำฟิล์มแอคทิฟมาทำการขึ้นรูปเป็นซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล โดยประยุกต์วิธีการที่รายงานโดย Kampawong et al. (2021) มีรายละเอียดดังนี้ นำฟิล์ม KC เชื่อมประกบกับฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต (ขนาด 7x7 cm เท่ากันทั้งสองแผ่นฟิล์ม) ด้วยความร้อน (Heat-sealing) เพื่อขึ้นรูปเป็นซองขนาดเล็กปิดผนึกสามด้าน (3-side-sealed) จากนั้นนำกระดาษกรองขนาด 6x6 cm ซึ่งเอิบชุ่มด้วยเอทานอลเหลว 99.9% (v/v) (ปริมาตรเท่ากับ 0.4 ml) ใส่ลงในซองควบคุมฯ แล้วปิดผนึกด้านที่เปิดนั้นด้วยความร้อน ส่งผลให้ได้ซองขนาดเล็กแบบปิดผนึก 4 ด้าน (4-side sealed) (รูปที่ 1ข) ทั้งนี้ชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนตมีสมบัติการซึมผ่านแก๊สและไอน้ำที่ต่ำมาก ดังนั้นการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ จึงเกิดขึ้นผ่านชั้นฟิล์มอีกด้านหนึ่งในลักษณะการปลดปล่อยทิศทางเดียว (One-dimension release) (Utto et al., 2018; Kampawong et al., 2021)

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เตรียมซองควบคุมฯ ที่มีรูปแบบเดียวกันแต่ใช้วัสดุฟิล์ม LDPE (30 μm) หรือ ฟิล์มหลายชั้นที่ไม่มีส่วนประกอบของซีซีซี (LDPE/EVA/LDPE) (176 μm) ประกบกับฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต จุดประสงค์ของการเตรียมซองควบคุมฯ โดยใช้ฟิล์มพลาสติกอื่น ๆ เพื่อเป็นการศึกษาผลของชนิดฟิล์มพลาสติกต่อการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอล ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีสิ่งทดลอง (Treatments) จำนวน 3 สิ่งทดลอง ซึ่งทำการแบ่งตามชนิดของฟิล์มพลาสติกที่นำมาทำเป็นวัสดุของซองควบคุมฯ ประกอบด้วย (1) ฟิล์ม KC (ตัวอย่างของสิ่งทดลอง คือ KC sachet) (2) ฟิล์ม LDPE/EVA/LDPE (ตัวอย่างของสิ่งทดลอง คือ 2LDEVA sachet) และ (3) ฟิล์ม LDPE (ตัวอย่างของสิ่งทดลอง คือ LDPE sachet)

4. การทดสอบการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ

ภายหลังจากเตรียมซองควบคุมฯ เสร็จแล้ว ได้ดำเนินการทดสอบการปล่อยไอระเหยเอทานอลจากซองควบคุมฯ ประเภทต่าง ๆ โดยประยุกต์วิธีของ พัชร และคณะ (2563); Kampawong et al. (2021) ซึ่งเป็นการปล่อยไอระเหยเอทานอลในระบบปิด โดยมีรายละเอียดดังนี้ นำซองควบคุมฯ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร (1 ซองควบคุมฯ ต่อ 1 บีกเกอร์) จากนั้นนำบีกเกอร์บรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมลามิเนตและปิดผนึกด้วยความร้อนโดยให้รอยปิดผนึกใกล้ชิดกับปากบีกเกอร์ที่อยู่ภายในถุง และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 17 วัน ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยและสะสมในบรรยากาศของถุงอะลูมิเนียมลามิเนตได้ทำการวิเคราะห์ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ประกอบด้วย (1) ดำเนินการวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง ภายหลังจากการปิดปากถุงอะลูมิเนียมฯ (2) ดำเนินการวัดในรอบ 24 ชั่วโมง ภายหลังจากปิดปากถุง จนครบ 17 วัน ตัวอย่างของแก๊สในบรรยากาศของถุงอะลูมิเนียมฯ ได้ทำการสุ่มเก็บ (Sampling) ด้วยเข็ม Gas-tight syringe (Hamilton) โดยรูที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่เข็มเจาะในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างได้ถูกปิดอย่างรวดเร็วโดยแผ่นเทปกาอะลูมิเนียม ตัวอย่างแก๊สในเข็มได้ถูกนำไปฉีดเข้าในเครื่อง Gas chromatogram (GC 2014, Shimadzu, Japan) ประเภท Flame ionized detector (FID-GC) โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ ดังนี้ Injector temperature 150°C Detector temperature 250°C และ Oven temperature ซึ่งมีการกำหนดระดับของอุณหภูมิไว้ดังนี้ อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 min จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็ว 10°C min⁻¹ จนถึง 200°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 3 min โดยมีแก๊ส Helium ทำหน้าที่เป็น Carrier gas (Flow rate 50 ml min⁻¹) ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลรายงานในหน่วยของ Part per million หรือ $\mu\text{L L}^{-1}$ ทั้งนี้จำนวนซ้ำของการเก็บตัวอย่างในช่วง 6 ชั่วโมงแรกดำเนินการเก็บ 1 ซ้ำ เนื่องจากข้อจำกัดของรอบเวลาในการวิเคราะห์ (ประมาณ 20 นาที ต่อตัวอย่าง) ส่วนการเก็บตัวอย่างตามรอบ 24 ชั่วโมงได้เก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้นำผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่วิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตแกรมข้างต้น มาใช้ในศึกษาจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ซึ่งเกี่ยวกับอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นผลจากอัตราเร็วของการปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ในการศึกษาของ วีระเวทย์ และคณะ (2555) พบว่า อันดับของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์เป็นอันดับที่ 1 (First order) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงหรือการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นและ/หรือปริมาณของสารตั้งต้น

(ณ ที่นี้ คือ ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในบรรจุภัณฑ์ และ/หรือปริมาณไธราฟอสฟอไรต์ในตัวพาในช่องควบคุม) (Earle and Earle, 2003) ดังนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ First-order reaction model (สมการที่ 1) เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในบรรจุภัณฑ์

$$C_t^{EtOH} = C_{max}^{EtOH} (1 - \exp(-k_{1st}^{EtOH} \cdot t)) \quad (1)$$

กำหนดให้ C_t^{EtOH} คือ ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในเวลาใด ๆ (t) ($\mu\text{L L}^{-1}$) C_{max}^{EtOH} คือ ค่าประมาณความเข้มข้นสูงสุดของไธราฟอสฟอไรต์ ($\mu\text{L L}^{-1}$) k_{1st}^{EtOH} คือ ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์แบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (day^{-1}) และ t คือ ระยะเวลาการเก็บรักษา (day)

6. แผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

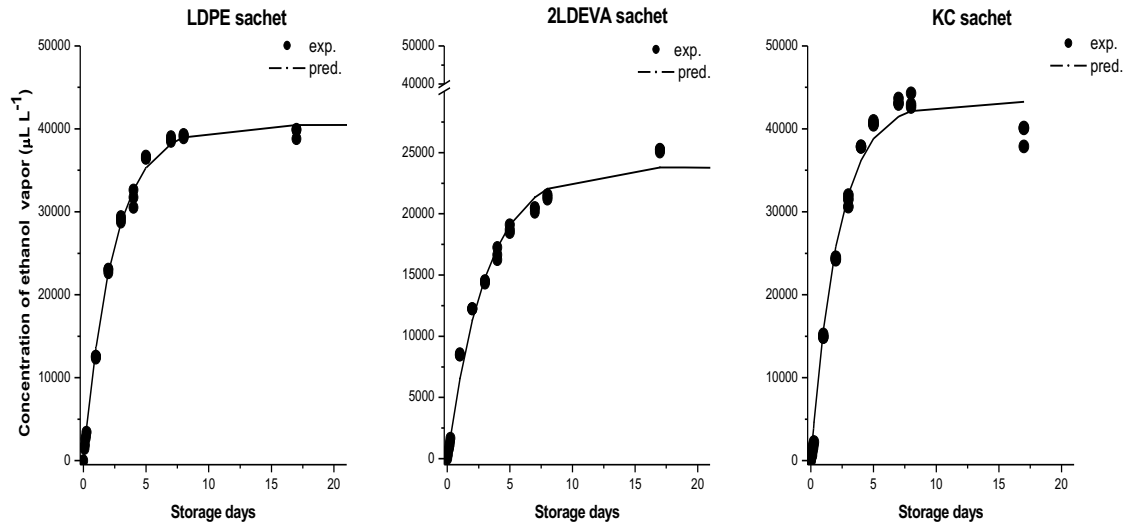
การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in completely randomized design โดยมี 2 ปัจจัยประกอบด้วย (1) ชนิดวัสดุของซอง Sachet และ (2) ระยะเวลาการเก็บรักษา ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ 1 ได้ใช้แนวทางของ Nonlinear regression ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel® 2019 (Microsoft Inc.) และดำเนินการตามวิธีที่ได้นำเสนอโดย Ávila and Silva (1999) โดยความแม่นยำของการทำนายค่าที่ได้จากการทดลองด้วยสมการที่ 1 แสดงด้วยค่า R^2 ซึ่งประยุกต์แนวทางที่รายงานโดย Phungam et al. (2018) การวิจัยนี้ได้ศึกษาในช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2565

ผลการวิจัย

ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ที่ปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ทุกประเภท และสะสมในบรรจุภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จากนั้นระดับความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระยะเวลาการทดสอบ (รูปที่ 2) เมื่อพิจารณาในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา พบว่า ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ที่ปลดปล่อยและสะสมจากซองควบคุมฯ ประเภท 2LDEVA และ KC มีการเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยตามลำดับเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดในวันที่ 7 ทั้งนี้ความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์ในสถานะคงที่ (Steady-state concentration ในช่วงระหว่างวันที่ 8-17 ของการเก็บรักษา) ซึ่งเป็นผลจากการปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ ประเภท KC sachet มีระดับที่สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ความเข้มข้นฯ ในสิ่งทดลอง 2LDEVA มีค่าต่ำที่สุด ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธราฟอสฟอไรต์จากสิ่งทดลองต่าง ๆ ด้วยสมการที่ 1 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ k_{1st}^{EtOH} มีค่าอยู่ในระหว่าง $0.32\text{-}0.45 \text{ day}^{-1}$ โดยค่า k_{1st}^{EtOH} ของสิ่งทดลอง KC sachet มีค่าสูงที่สุด และพบว่าค่าดังกล่าวของสิ่งทดลอง 2LDEVA sachet มีค่าต่ำสุด แต่ค่าสัมประสิทธิ์ k_{1st}^{EtOH} ของสิ่งทดลอง LDPE sachet ต่ำกว่าของสิ่งทดลอง KC sachet เล็กน้อย ค่าความเข้มข้นสูงสุด (C_{max}^{EtOH}) ที่ทำนายจากสมการที่ 1 ของสิ่งทดลองทั้งสามมีค่าอยู่ในระหว่าง $23,000\text{-}43,300 \mu\text{L L}^{-1}$ โดยมีลำดับเมื่อเรียงจากค่าสูงไปยังค่าต่ำ คือ $\text{KC} > \text{LDPE} > \text{2LDEVA sachet}$ ทั้งนี้ค่า R^2 ของการประมาณค่าความเข้มข้นด้วยสมการที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.99 ในทุกสิ่งทดลอง (ตารางที่ 1)

ข้อมูลซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์แก๊สโครมาโตแกรมแสดงในรูปที่ 3 โครมาโตแกรมของไธราฟอสฟอไรต์มีระยะเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ หรือเรียกว่าเวลาริเทนชัน (Retention time RT หรือ เวลา RT) อยู่ในช่วง 8.20 นาที และมีพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโตแกรมมีค่าสูงกว่าโครมาโตแกรมอื่น ๆ (พิจารณา ณ เวลา RT อื่น ๆ) เมื่อพิจารณาโครมาโตแกรมของสิ่งทดลอง LDPE และ 2LDEVA sachet พบว่า มีจำนวนของโครมาโตแกรมที่วิเคราะห์จากตัวอย่างที่ใกล้เคียงหรือเท่ากัน

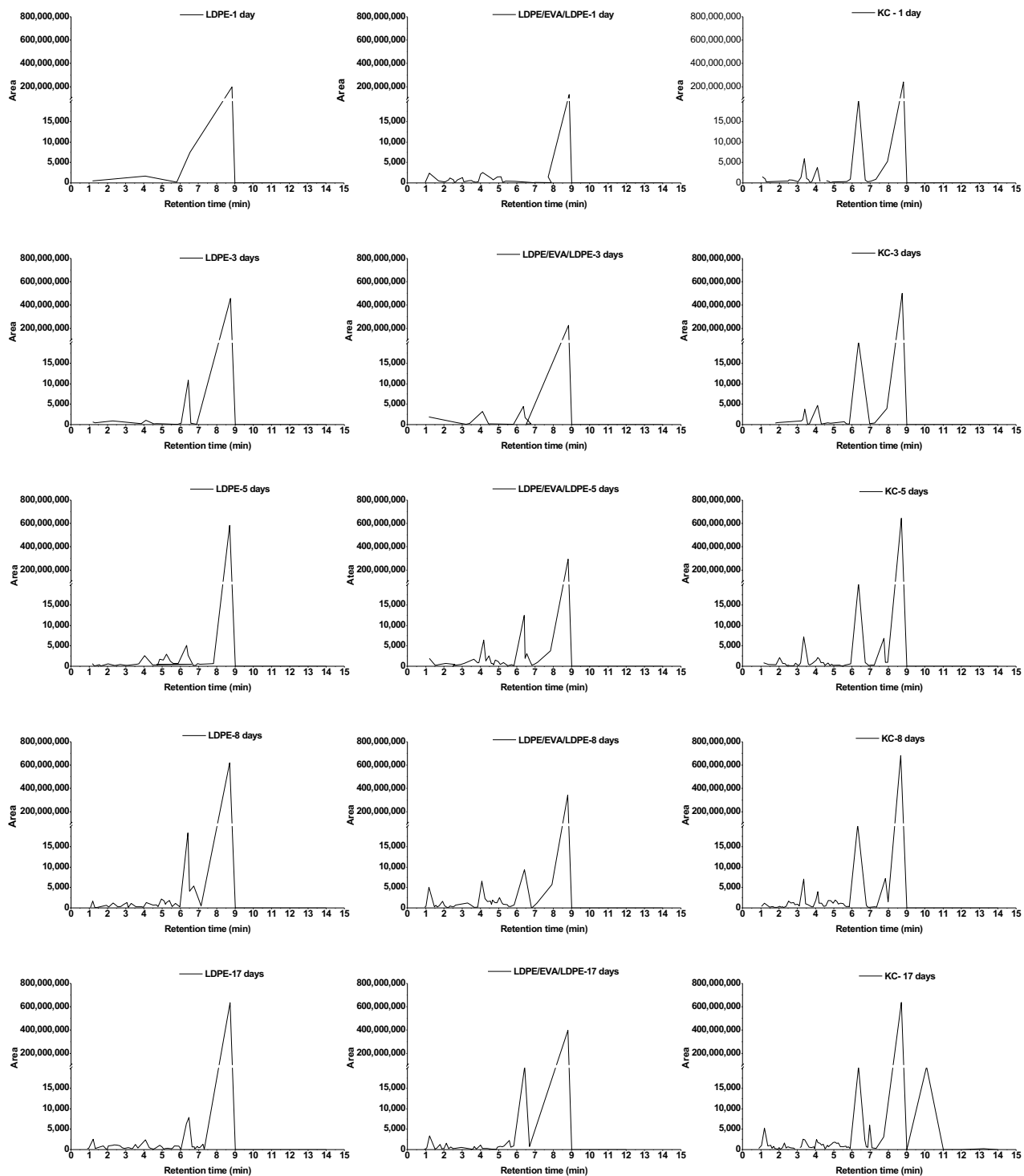
โดยเฉพาะพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโตแกรมของเอทานอลที่ความใกล้เคียงหรือเท่ากัน ในทางตรงกันข้าม พบว่าโครมาโตแกรมที่เวลา RT เท่ากับ 3.5 นาที พบเพียงในตัวอย่างของสิ่งทดลอง KC sachet โดยพื้นที่ใต้กราฟฯ และเวลา RT ของโครมาโตแกรมนี้มีความสม่ำเสมอในแต่ละครั้งของการทำการวิเคราะห์ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่ปลดปล่อยจากซองควมคุมฯ ประเภทต่าง ๆ และสะสมในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์ถุงอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 17 วัน สัญลักษณ์ ● ที่แสดงแทนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (exp.) และ เส้นสีดำ คือ ข้อมูลความเข้มข้นฯ ที่ทำนายโดยสมการที่ 1 (pred.)

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (สมการที่ 1) ของจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลในระบบปิด ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 17 วัน

ซองควมคุมฯ	k_{1st}^{EtOH} (day ⁻¹)	C_{max}^{EtOH} (µL L ⁻¹)	R ²
LDPE	0.41	40,495.96	0.99
2LDEVA	0.32	23,873.65	0.99
KC	0.45	43,284.11	0.99



รูปที่ 3 ลักษณะของ FID-GC โครมาโตแกรมของตัวอย่างแก๊ส (Gaseous samples) ในบรรจุภัณฑ์ที่มีช่องควบคุมฯ ทำจากวัสดุ LDPE 2LDEVA และ KC ซึ่งทำการวิเคราะห์ในวันต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา 17 วัน

การอภิปรายผล

ของควบคุมการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลทุกประเภทได้ปลดปล่อยเอทานอลเข้าสู่บรรยากาศภายในของบรรจุภัณฑ์ตลอดระยะเวลาของการศึกษา การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในช่วงแรกของการเก็บรักษาโดยเฉพาะ 5 วันแรก พบว่า เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วแต่ภายหลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ช้ากว่าและมีแนวโน้มคงที่ภายหลังจากการเก็บรักษา 7 วัน (รูปที่ 2) ลักษณะของการปลดปล่อย (Release profile) ดังกล่าวเป็นผลความแตกต่างของความดันไธเรเฮเอทานอลซึ่งอยู่ภายในของควบคุมฯ และบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ กลไกที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการปลดปล่อยดังกล่าวได้นำเสนอใน Utto (2014) และ Kampawong et al. (2021) กล่าวโดยสรุปคือ ในช่วงเริ่มต้นของการปลดปล่อย ($t = 0$) ภายในบรรจุภัณฑ์ไม่มีไธเรเฮเอทานอลแต่ภายในของควบคุมฯ มีไธเรเฮเอทานอลซึ่งมีความดันหรือความเข้มข้นที่สูง เนื่องจากการสะสมของไธเรเฮเอทานอลปลดปล่อยจากตัวพา (กระดาษกรอง) ที่เอบซึมด้วยเอทานอลเหลวภายในของควบคุมฯ ด้วยความแตกต่างระหว่างความดันไธเรเฮเอทานอลระหว่างของควบคุมฯ กับบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มีค่าที่สูง ส่งผลให้อัตราเร็วของการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลมีค่าสูงตามกฎข้อที่ 1 ของฟิก (Fick's first law) ที่แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกของอัตราเร็วของการแพร่ผ่านตัวกลางกับความแตกต่างของความดัน (Pressure gradient) ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving force) ของการแพร่หรือถ่ายโอนมวล (วีรเวทย์, 2562) ทั้งนี้อัตราเร็วของการปลดปล่อยและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงภายหลังจากวันที่ 5 ของการเก็บรักษา เนื่องจากระดับความแตกต่างของความดันไธเรเฮเอทานอลภายในของควบคุมฯ และภายในบรรจุภัณฑ์ลดลง อันเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของความดันไธเรเฮเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ เมื่อพิจารณาข้อมูลภายหลังจากการเก็บรักษา 7 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในบรรจุภัณฑ์เกิดขึ้นน้อยและเข้าสู่สภาวะกึ่งคงที่ (Quasi-steady state) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากความดันไธเรเฮเอทานอลภายในของควบคุมฯ และภายในบรรจุภัณฑ์มีค่าแตกต่างกันที่น้อยลง ทั้งนี้ความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในสิ่งทดลอง KC sachet ณ วันที่ 17 ของการเก็บรักษามีค่าลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 2) อาจเป็นผลจากการลดลงของความเข้มข้นไธเรเฮเอทานอลในของควบคุมฯ ที่เกิดจากปริมาณเอทานอลเหลวบนตัวพาได้ลดลงหลังจากการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลไปได้ระยะหนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลที่สมดุลกับปริมาณเอทานอลบนตัวพาเป็นสมบัติไอโซเทอร์ของการดูดซับ-การคาย (Sorption isotherm) (Utto et al., 2014; Utto et al., 2018)

จากผลการศึกษาลงพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไธเรเฮเอทานอลด้วยสมการที่ 1 ทำให้ทราบว่าชนิดของวัสดุ APM ซึ่งนำมาทำเป็นของควบคุมฯ มีผลต่ออัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (k_{1st}^{EtOH}) อันเป็นผลจากการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอล (รูปที่ 2 และตารางที่ 1) อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไธเรเฮเอทานอลในสิ่งทดลอง KC sachet มีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ในขณะที่อัตราเร็วในสิ่งทดลอง 2LDEVA มีค่าที่ต่ำสุด ทั้งนี้ความเข้มข้นสูงสุด (C_{max}^{EtOH}) ที่ได้จากการทำนายโดยสมการที่ 1 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราเร็วของการปลดปล่อยไธเรเฮเอทานอลจากของควบคุมฯ จากกฎของฟิกข้อที่ 1 ซึ่งอัตราเร็วของการแพร่ผ่านตัวกลางผกผันกับความหนาของชั้นตัวกลาง ดังนั้นการปลดปล่อยเอทานอลจากของควบคุมฯ ที่ทำจากฟิล์ม 2LDEVA หรือฟิล์ม KC จึงเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่ต่ำเนื่องจากวัสดุฟิล์มมีความหนาสูงสุด จึงส่งผลให้เกิดการสะสมของไธเรเฮเอทานอลในระดับความเข้มข้นที่มีค่าต่ำกว่าในสิ่งทดลองอื่น ๆ (รูปที่ 2)

เมื่อพิจารณาจากกฎของฟิกดังกล่าว ทำให้คาดคะเนได้ว่าอัตราเร็วการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและระดับค่า C_{max}^{EtOH} ที่สูงสุดควรเกิดขึ้นในสิ่งทดลอง LDPE sachet เนื่องจากฟิล์มพลาสติก LDPE มีความหนาที่ต่ำกว่าฟิล์มหลายชั้นทั้งสองประเภท แต่ผลการศึกษาก็แสดงให้เห็นว่าสิ่งทดลอง KC sachet มีค่า k_{1st}^{EtOH} และ ค่า C_{max}^{EtOH} สูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อาจเป็นผลมาจากชั้นของซีซีซีที่ไม่จิกที่เป็นส่วนประกอบของฟิล์มหลายชั้น ซีซีซีไม่จิกละลายได้ในตัวทำละลายเอทานอลและเกิดการ

ปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์กลุ่มเทอร์พีน หรือน้ำมันหอมระเหยอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของซีซีซีชันไม้จิก จากนั้นสารประกอบเหล่านี้เกิดปฏิกิริยากับชั้นฟิล์มพลาสติกและนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์พลาสติกไซเซชัน (Plasticization phenomena) ที่ส่งผลให้มีการขยายตัวของปริมาตรอิสระ (Free volume) ภายในโครงสร้างพอลิเมอร์ การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างดังกล่าวทำให้กระบวนการแพร่และการดูดซับสารเข้าสู่โครงสร้างพอลิเมอร์เกิดขึ้นในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น (พัชร และคณะ 2563; Johansson and Leufven, 1994; Utto et al., 2016) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหอมระเหยกับฟิล์มพลาสติกที่ส่งผลให้เกิดพลาสติกไซเซชันซึ่งเพิ่มอัตราเร็วของการซึมผ่านชั้นฟิล์มของโมเลกุลน้ำมันหอมระเหยได้รับรายงานอย่างกว้างขวางดังในตัวอย่างรายงานในการศึกษาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู (Clove oil) และเปปเปอร์มินต์ (Peppermint) ในฟิล์มคอมพอสิต Polylactic acid/Poly (Butylene adipate-co-terephthalate)/Thermoplastic starch (Gui et al., 2022) ในการพัฒนาของควบคุมการปล่อยไธระเหยเอทานอลที่มีฟิล์มพลาสติก LDPE และ EVA เป็นองค์ประกอบ หทัยพร (2563) รายงานว่าไธระเหยเอทานอลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทหนึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับฟิล์มพลาสติกทั้งสองและส่งผลให้เกิดพลาสติกไซเซชันภายในโครงสร้างพอลิเมอร์ ทั้งนี้สมบัติการยอมให้ไธระเหยเอทานอลซึมผ่าน (Effective film permeance to ethanol vapor หรือ FPE) มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของไธระเหยเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไธระเหยเอทานอลกับฟิล์มพลาสติก และนำไปสู่การเกิดพลาสติกไซเซชัน ในโครงสร้างพอลิเมอร์ ผลของการเกิดปฏิกิริยาอาจสังเกตได้ด้วยตาเปล่าโดยเฉพาะการบวมของฟิล์มพลาสติกซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของโครงสร้างและปริมาตรอิสระในชั้นพอลิเมอร์ (Miyachi et al., 1996) ในการศึกษาที่ต่อเนื่องกับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยพบแนวโน้มเบื้องต้นของค่า FPE ของฟิล์มทั้งสามประเภท โดยพบว่าค่า FPE ของฟิล์มแอคทีฟ KC มีค่าสูงที่สุด และของฟิล์ม 2LDEVA มีค่าต่ำสุด (ไม่รายงานผลเนื่องจากอยู่ในระหว่างการการศึกษา)

จากข้อมูลในการเกิดพลาสติกไซเซชันในโครงสร้างพอลิเมอร์ของฟิล์มพลาสติกจากเอทานอลและ/หรือสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในเทอร์พีนหรือน้ำมันหอมระเหย ดังนั้นผู้วิจัยจึงคาดคะเนว่าการเกิดพลาสติกไซเซชันในโครงสร้างพอลิเมอร์ของฟิล์ม KC เกิดขึ้นในระดับที่มากกว่าฟิล์ม LDPE เนื่องจากในฟิล์มแอคทีฟ KC มีส่วนประกอบของซีซีซีชันไม้ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ต่างจากฟิล์ม LDPE โดยสารประกอบอินทรีย์ของซีซีซีชันไม้ทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ดังนั้นของควบคุมฯ KC sachet จึงปลดปล่อยไธระเหยด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าดังข้อมูลที่สนับสนุนด้วยค่า k_{1st}^{EtOH} และค่า C_{max}^{EtOH} ที่สูงที่สุดในรูปที่ 3 ผู้วิจัยได้รายงานผลโครมาโตแกรมของตัวอย่างแก๊ส พบว่า โครมาโตแกรมในสิ่งทดลอง KC sachet มีความแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่น ๆ ที่เวลา RT 3.20 นาที ในปัจจุบันผู้วิจัยอยู่ในระหว่างการการศึกษาเพื่อพิสูจน์ทราบประเภทของสารประกอบที่สามารถตรวจจับด้วยเครื่อง FID-GC แนวทางการศึกษาได้วางแผนใช้เครื่อง FID-GC ซึ่งมีเครื่อง Mass spectrophotometer (หรือ GC-MS) และเครื่องฟลูอิดรีทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโมไโครสโคป (Fourier transform infrared spectroscopy; FTIR) เพื่อวิเคราะห์หาสารประกอบที่อยู่ภายในโครงสร้างของฟิล์มพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุของของควบคุมฯ โดยจะได้ทำการนำเสนอในอนาคตต่อไป

เมื่อพิจารณาผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไธระเหยเอทานอลด้วยสมการที่ 1 พบว่าค่า R^2 ของทุกสิ่งทดลองใกล้เคียง 1 ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสมการที่ 1 ทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฯ ได้ดีมาก และสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากกว่าร้อยละ 99 ข้อมูลดังกล่าวสนับสนุนการปลดปล่อยไธระเหยเอทานอลจากของควบคุมฯ ว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ดังที่ได้รายงานในการศึกษาของวีรเวทย์ และคณะ (2555)

บทสรุป

ผลจากการศึกษาที่ได้รายงานข้างต้น ทำให้ทราบได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการนำซีซีซีชันไม้จิกมาพัฒนาเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (วัสดุ APM) โดยใช้ในรูปของฟิล์มหลายชั้นเพื่อเป็นวัสดุของของควบคุมการปล่อยไธระเหยเอทานอลสำหรับการ

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

- พัชรีย์ มะลิลา. (2563). การพัฒนาฟิล์มพลาสติกที่สำหรับควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลด้วยการกระตุ้นโดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการบรรจุแอคทีฟสำหรับผักและผลไม้สด. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- วีรเวทย์ อุทโย, เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด และเรวัตติ ชัยราช. (2555). การพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอสุกดีสด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30(2): 39-49.
- วีรเวทย์ อุทโย. (2562). การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดีแอคทีฟสำหรับผักและผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- หทัยพร กัมพวงค์. (2563). การพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลด้วยการกระตุ้นโดยความชื้นเพื่อการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับพริกหวานสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- Ahmed J., Mulla M., Jacob H., Luciano G., T.b. and Almusallam A. (2019). Polylactide/poly (ε-caprolactone)/zinc oxide/clove essential oil composite antimicrobial films for scrambled egg packaging. Food Packaging and Shelf Life. 21(3): 45-55.
- Avila I.M.L.B. and Silva C.L.M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. Journal of Food Engineering. 39(2): 161-166.
- Dong Z., Xu F., Ahmed I., Li Z. and Lin H. (2018). Characterization and preservation performance of active polyethylene films containing rosemary and cinnamon essential oils for Pacific white shrimp packaging. Food Control. 92(1): 37-46.
- Earle M.D. and Earle R.L. (2003). Fundamentals of food reaction technology. Royal society of chemistry: NY.

- Gui H., Zhao M., Zhang S., Yin R., Hu C., Fan M. and Li L. (2022). Active antioxidant packaging from essential oils incorporated polylactic acid/ poly (butylene adipate-co-terephthalate)/thermoplastic starch for preserving straw mushroom. *Foods*. 11(15): 1-15.
- Han Lyn F. and Nur Hanani Z.A. (2020). Effect of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil on the properties of chitosan films for active packaging. *Journal of Packaging Technology and Research*. 4(1): 33-44.
- Johansson F. and Leufven A. (1994). Food packaging polymer films as aroma vapor barriers at different relative humidities. *Journal of Food Science*. 59(6): 1328-1331.
- Kampawong H., Utto W. and Pruthikul R. (2021). Effects of relative humidity on ethanol vapour releases from hydrophilic film-based sachet in active food packaging. *Food Research*. 5(5): 89-94.
- Khorram F. and Ramezani A. (2021). Cinnamon essential oil incorporated in shellac, a novel bio-product to maintain quality of 'Thomson navel' orange fruit. *Journal of Food Science and Technology*. 58(8): 2963-2972.
- Mahizan N.A., Yang S.K., Moo C.L., Song A.A.L., Chong C.M., Chong C.W., Abushelaibi A., Lim S.H. E. and Lai K.S. (2019). Terpene derivatives as a potential agent against antimicrobial resistance (amr) pathogens. *Molecules*. 24(14): 1-21.
- Masyita A., Mustika Sari R., Dwi Astuti A., Yasir B., Rahma Rumata N., Emran T. B., Nainu F. and Simal-Gandara J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*. 13(1): 8-17.
- Miyauchi M., Nakanishi Y. and Sagara Y. (1996). Permeation of water and volatile flavors through packaging films. *Food Science and Technology International*, Tokyo. 2(4): 217-222.
- Morkhade D.M. (2017) Evaluation of gum mastic (*Pistacia lentiscus*) as a microencapsulating and matrix forming material for sustained drug release. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 12(5): 424-432.
- Phromnoi K., Sinchaiyakij P., Khanaree C., Nuntaboon P., Chanwikrai Y., Chaiwangsri T. and Suttajit M. (2019). Anti-inflammatory and antioxidant activities of medicinal plants used by traditional healers for antiulcer treatment. *Scientia Pharmaceutica*. 87(3): 1-12.
- Phungam, N., Utto, W. and Pruthikul, R. (2018). Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *International Food Research Journal*. 25(5): 1885-1892.
- Ramle S.F.M., Kawamura F., Sulaiman O., Hashim R. and Ohara S. (2010). Antifungal properties and radical scavenging activities of Dipterocarpaceae family from selected malaysian timbers. *Environmental Research and Technology*. 5(2): 70-74.
- Robertson G.L. (2012). *Food packaging: Principles and Practice*. 2nd Edition. Taylor and Francis Group: NY.
- Sharma S., Barkauskaite S., Jaiswal A.K. and Jaiswal S. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*. 343(2): 128-133.

- Sireeratawong S., Khonsung P., Nanna U., Vannasiri S., Lertprasertsuke N., Singhalak T., Soonthornchareonnon N. and Jaijoy K. (2012). Anti-diarrheal activity and toxicity of learnng pid samud recipe. *African Journal of Traditional. Complementary and Alternative Medicines*. 9(4): 519-529.
- Thongsrikhem N., Taokaew S., Sriariyanun M. and Kirdponpattara S. (2022). Antibacterial activity in gelatin-bacterial cellulose composite film by thermally crosslinking with cinnamaldehyde towards food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*. 31(1): 58-66.
- Utto W. (2014). Factors affecting release of ethanol vapour in active modified atmosphere packaging systems for horticultural products. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 8(2): 75-85.
- Utto W., Pruthikul R., Malila P., Noomhorm A. and Bronlund J.E. (2016). Concentration and temperature dependences of effective ethanol vapor permeance of plastic films utilized in controlled release-based active packaging for horticultural products. *Key Engineering Materials*. 718(1): 45-48.
- Utto W., Preutikul R., Malila P., Noomhorm A. and Bronlund J.E. (2018). Delaying microbial proliferation in fresh peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour controlled release sachets and low storage temperature. *Food Science and Technology International*. 24(1): 132-144.