การซึมผ่านของหมึกปากกาเคมีผ่านถุงพลาสติกใส่อาหาร

พงศกร โลหะศิริวัฒน์

โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ นครปฐม 73170

E-mail: pongsakorn.loha@gmail.com

รับบทความ: 6 กรกฎาคม 2566 แก้ไขบทความ: 17 มีนาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 30 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

การซื้ออาหารพร้อมรับประทานในประเทศไทยเป็นสิ่งที่พบเห็นได้โดยทั่วไป บรรจุภัณฑ์ที่ผู้ขายเลือกใช้มีหลายรูปแบบและผลิตขึ้นจากวัสดุหลายชนิด เช่น พลาสติก กระดาษ กล่องโฟม ขวดแก้ว บรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ ปัจจุบันยังพบว่า ผู้ขายนิยมใช้ปากกาเคมีในการเขียนรายละเอียดลงบนภาชนะบรรจุเพื่อบ่งบอกชนิดอาหาร ซึ่งหมึกปากกาเคมีเป็นสารเคมีที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภคและก่อให้เกิดโทษต่อสุขภาพได้ การศึกษาครั้งนี้ทดสอบความเป็นไปได้ของการซึมผ่านหมึกปากกาเคมี 4 ยี่ห้อ เมื่อเขียนลงบนบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติก 3 ประเภท ได้แก่ ถุงร้อนแบบขุ่น ถุงร้อนแบบใส และถุงเย็น โดยทดสอบถุงบรรจุน้ำร้อนเป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาพการมีความชื้น และไม่มีความชื้น ผลการทดสอบพบว่า 1) ถุงพลาสติกเย็นก่อให้เกิดการซึมผ่านของหมึกปากกามากที่สุด ตามด้วยถุงร้อนแบบขุ่น ส่วนถุงร้อนแบบใสมีการซึมผ่านน้อยที่สุด 2) หากถุงเปียกเกิดการซึมผ่านของหมึกเคมีได้มากกว่าถุงแห้ง และ 3) ปากกาเคมีแต่ละยี่ห้อส่งผลต่อการซึมผ่านของหมึกแตกต่างกัน จากการศึกษาสรุปได้ว่า ผู้ขายควรหลีกเลี่ยงการใช้ปากกาเคมีเขียนลงบนบรรจุภัณฑ์อาหาร ระวังความเปียกชื้นภายนอกถุงโดยเช็ดแห้ง และควรเลือกใช้ถุงให้ถูกประเภท

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์อาหาร หมึกปากกาเคมี การซึมผ่าน ความชื้น

Permanent Ink Permeability through Plastic Bag for Food Packaging

Pongsakorn Lohasiriwat

Mahidol Wittayanusorn School, Nakornpathom 73170, Thailand
E-mail: pongsakorn.loha@gmail.com

Received: 6 July 2023 Revised: 17 March 2024 Accepted: 30 March 2024

Abstract

The ready–to–eat food is common in many regions of Thailand. There are various types of packaging that sellers has chosen from materials such as plastic, paper, foam box, glass bottle and packaging using natural materials. At present, many sellers still use permanent chemical markers to write on the food packages to identify the packed food. The permanent ink is a chemical which is unsuitable for consuming and can lead to health risks. This study aimed to investigate the possibility of ink permeability under various conditions. Testing factors included four brands of blue ink permanent pens and three types of plastic bag, i.e., high–density polyethylene bag (HD), polypropylene bag (PP) and low–density polyethylene bag (PE). The testing was conducted with bags containing hot water for sixty minutes under with and without moisture outside the bag. The results revealed that 1) PE bag was the most permeability of the ink, following by HD bag. PP bag was the least ink permeability, 2) if the bag is wet outside (moisture condition), the ink diffusion had to be increased, and 3) each marker brand had different ink permeability. As results, it summarized to avoid using permanent markers to write on the hot food packages. The moisture outside the packaging is also awareness by wipe it out, and the bag types has been chosen correctly.

Keywords: Food packaging, Permanent ink, Permeability, Moisture

บทนำ

อาหารพร้อมรับประทานที่จำหน่ายโดยทั่วไปในประเทศไทย ทั้งในรูปแบบร้านอาหารที่ปรุงสำเร็จแบบพร้อมบรรจุเพื่อส่งขาย หรือเป็นร้านอาหารริมทาง (street food) ที่ผู้บริโภคสามารถเลือกนั่งรับประทานริมทางเดิน ทางเท้า ด้วยรสชาติที่ดี ความสะดวกในการซื้อขาย และมีความหลากหลายของประเภทอาหาร ทำให้อาหารพร้อมรับประทานรูปแบบต่าง ๆ กลายเป็นวิถีชีวิตประจำวันของคนไทย กลายเป็นสิ่งดึงดูดนักท่องเที่ยวจากต่างชาติได้เป็นอย่างดี (Michelin Guide Thailand, 2023) อย่างไรก็ตามคุณภาพของอาหารเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องรักษาไว้ สิ่งเจือปนในอาหารไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคและทำให้เกิดโทษต่อร่าง-

กาย นอกจากนี้ยังเป็นผลเสียต่อความเชื่อมั่นที่ผู้บริโภคจะมีต่อร้านค้าไปจนถึงธุรกิจการท่องเที่ยวของประเทศ ดังตัวอย่างที่เกิดขึ้นในข่าว (ภาพที่ 1) ได้แก่ ปัญหาการซึมผ่านของหมึกปากกาสีชมพูที่เขียนบนถุงบรรจุอาหารเข้าสู่อาหารประเภทโจ๊ก



ภาพที่ 1 การซึมผ่านของหมึกปากกาเข้าในถุง
ที่มา: Thai PBS, 2022

ปากกาเคมีมีความสะดวกในการเขียนลงบนบรรจุภัณฑ์อาหาร ทำให้การบริหารจัดการสำหรับการบริการของร้านอาหารเป็นไปได้โดยสะดวก ลดข้อผิดพลาดในการจำหน่าย และเป็นต้นทุนการดำเนินการที่ไม่มากนัก แต่การปนเปื้อนของหมึกเคมีในอาหารก็เป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้เช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

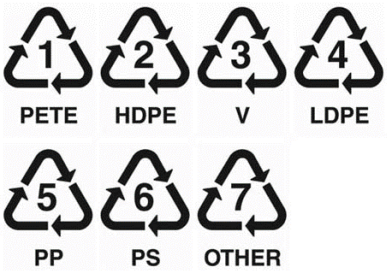
ปัญหาการซึมผ่านของหมึกเคมีเคยมีการทดสอบหลายครั้งในถุงพลาสติกทางการแพทย์ ได้แก่ ถุงน้ำเกลือผู้ป่วย ซึ่งเป็นถุง polyvinyl chloride (PVC) ที่เจ้าหน้าที่ทางการแพทย์นิยมใช้ปากกาเคมีเขียนข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ บนถุงระหว่างการให้บริการ จากผลการศึกษาพบว่ามีความปลอดภัย กล่าวคือ ไม่มีการแพร่ผ่านของหมึกเข้าสู่ถุงน้ำเกลือ (Bickler *et al.*, 1989; Langston *et al.*, 2014; Tummarintra *et al.*, 2018) โดยการทดสอบมักใช้เทคนิคที่มีความแม่นยำสูง เช่น วิธีโครมาโทแกรม (chromatogram) ซึ่งเป็นการนำส่วนผสมที่ต้องการศึกษา (เช่น น้ำเกลือภายในถุง) มาแยกส่วนประกอบด้วยเครื่องมือปฏิบัติการทำให้สามารถทราบได้อย่างชัดเจนว่าส่วนผสมนั้นมีองค์ประกอบใดปนเปื้อนอยู่บ้าง อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอแนวทางการตรวจวัดปริมาณหมึกซึมผ่านอย่างง่ายโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือปฏิบัติการ แต่อาศัยการติดแผ่นดูดซับสีทางด้านในถุง และใช้การวิเคราะห์ปริมาณหมึกที่ติดกับแผ่นดูดสีดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดหลักของการศึกษา ด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล (digital image analysis technique) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการพิมพ์ดิจิทัลในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้สะดวก รวดเร็ว และมีต้นทุนดำเนินการต่ำ วิธีการนี้นำภาพถ่ายดิจิทัลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่สามารถแบ่งส่วนภาพสี (color image segmentation) ออกเป็นบริเวณต่าง ๆ ตามความคล้ายคลึงหรือค่าความเข้มข้นสีที่เปลี่ยนไป (Adamu *et al.*, 2023)

หากเปรียบเทียบระหว่างการเขียนปากกาลงบนถุงน้ำเกลือกับบรรจุภัณฑ์อาหารแล้ว อาจมีบริบทที่แตกต่างกัน ทั้งคุณภาพหรือประเภทของถุงพลาสติกที่ใช้ สภาพแวดล้อมขณะใช้งานบรรจุภัณฑ์ อุณหภูมิของสิ่งที่บรรจุ ดังนั้นการศึกษานี้จึงกำหนดวัตถุประสงค์ขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลต่อการซึมผ่านของหมึกปากกาเคมีเข้าสู่ถุงบรรจุภัณฑ์พลาสติก

ชนิดของถุงพลาสติก

ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีทั้งหมด 7 ชนิด แต่ละชนิดจะมีรหัสพลาสติกที่แตกต่างกันตามกำหนดโดย NA Society of the Plastics Industry ซึ่งแสดงด้วยการใช้หมายเลข 1 ถึง 7 (ภาพที่ 2)

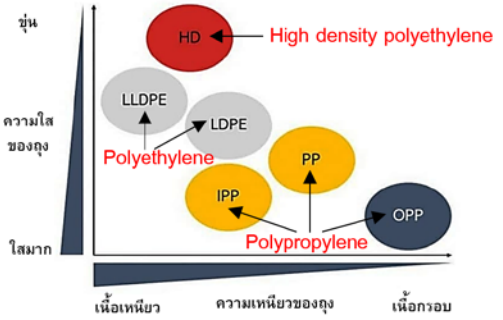
เพื่อประโยชน์ในการคัดแยกพลาสติกในการทำลายหรือนำไปใช้ใหม่อย่างถูกวิธี



ภาพที่ 2 สัญลักษณ์รหัสพลาสติก 7 ชนิด
ที่มา: Food Network Solution, 2011

สำหรับถุงพลาสติกที่นิยมใช้ในการบรรจุอาหารพร้อมรับประทานมี 3 ประเภท ได้แก่ ถุงเย็น (polyethylene: PE) ถุงร้อนใส (polypropylene: PP) และถุงร้อนขุ่น (high density poly ethylene: HD หรือ HDPE) ซึ่งความเหมาะสมการใช้งานต้องตรวจสอบคุณสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิด (ภาพที่ 3) รวมถึงพิจารณาว่าใช้ใส่อาหารร้อนหรือเย็น โดยทั่วไปสมบัติของถุงร้อนสามารถใส่ของร้อนได้ถึง 100 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า และถุงร้อนแบบใสจะทนทานต่อความร้อนได้มากกว่าถุงร้อนแบบขุ่น ในขณะที่ถุงร้อนแบบขุ่นรับน้ำหนักได้มาก เหนียวและแตกยากกว่าแบบใส (Sertsuwankul, 2022) ดังนั้นถุงร้อนแบบขุ่นจึงมักแนะนำให้ใช้ในการบรรจุอาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำมาก เช่น โจ๊ก ก๋วยเตี๋ยว ข้าวต้ม (Sunstoreonline, n.d.) ในขณะที่ถุงเย็นสามารถทนอุณหภูมิได้ต่ำมากถึง 1–40 องศาเซลเซียส

การใช้ถุงพลาสติกควรเลือกให้เหมาะสมกับประเภทการใช้งานเพื่อประโยชน์ในการเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม หากนำไปใช้ผิดประเภทจะเกิดปัญหาได้ เช่น หากนำถุงเย็นไปบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น อาหารเดือด จะทำให้



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของถุงพลาสติกแบบต่าง ๆ
ที่มา: Sertsuwankul, 2022

เสียรูป ยืดหรือย้วยได้ ในทางตรงกันข้าม หากนำถุงร้อนไปบรรจุสิ่งของและแช่ในช่องแช่แข็งจะทำให้ถุงกรอบแตกเสียหายได้

คุณลักษณะของปากกาเคมี

ปากกาเคมีสำหรับเขียนบนพื้นผิวพลาสติกโดยทั่วไปไม่ได้ถูกออกแบบไว้สำหรับการรับประทาน ซึ่งหากรับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจ และการควบคุมของระบบประสาท เช่น อาการสั่น ใบหน้าบวม หายใจติดขัด (Anderson and Anderson, 2003) การใช้งานกับภาชนะบรรจุอาหารจึงควรระมัดระวังเป็นกรณีพิเศษเพื่อไม่ให้ผู้บริโภคได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย

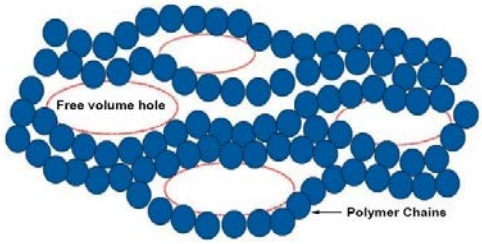
หมึกของปากกาเคมีโดยทั่วไปเป็นสีประจุบวก (cationic dyes) ในกลุ่มของไตรเอริลมีเทน (triarylmethane dyes) ซึ่งหากมีความเข้มสูง และอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วปานกลางจะทำให้แรงตึงผิวลดลง จนสามารถเกาะติดกับผิวพลาสติกที่ไม่มีขั้ว และใช้ประโยชน์ในการเขียนบนพื้นที่ผิวพลาสติกประเภทต่าง ๆ ได้ดี อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบความมีขั้วกับอาหารร้อนหรือน้ำร้อนที่มักบรรจุในถุง ซึ่งมักประกอบด้วย

โมเลกุลแบบมีขั้ว (จากน้ำและอาหาร) ที่มากกว่าตัวถุงพลาสติก หากหมึกปากกาเคมีสามารถแพร่ผ่านถุงพลาสติกได้ก็จะละลายเข้ากับโมเลกุลมีขั้วเหล่านี้ได้อย่างดี ตามกฎ like dissolves like กล่าวคือ ตัวถูกละลายที่มีขั้วละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว เพราะแรงดึงดูดแบบไดโพล–ไดโพล แต่จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (Physical Chemistry of Textiles, Food, and Surroundings, 2019)

ปัจจัยด้านความร้อน

การปนเปื้อนของหมึกปากการเคมีเข้าสู่ถุงบรรจุภัณฑ์คาดว่าเกิดจากกระบวนการแพร่ (diffusion) ซึ่งเป็นการกระจายตัวของโมเลกุลสสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าด้วยการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุล จึงทำให้เกิดการผสมกันระหว่างวัสดุของทั้งสองบริเวณจนมีความเข้มข้นเท่ากัน เรียกว่า เกิดสมดุลของการแพร่ (diffusion equilibrium) การแพร่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกสถานะของสาร เช่น การแพร่ของด่างทับทิมในน้ำ การแพร่ของน้ำหอมในอากาศ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการแพร่มีหลายปัจจัย ได้แก่ สถานะของสสาร และตัวกลาง ขนาดของอนุภาค ความเข้มข้นของสาร อุณหภูมิ ความดัน และความสามารถในการละลายของสาร (Chuenwongarun, 2020) สำหรับการศึกษานี้จะออกแบบให้มีปัจจัยด้านความร้อนเนื่องจากเป็นการศึกษาบรรจุภัณฑ์อาหารร้อนเป็นหลัก

ความร้อนหรือระดับอุณหภูมิจะส่งผลต่ออัตราการแพร่ได้ เนื่องจากการแพร่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสสาร ในภาวะอุณหภูมิสูง สสารจะได้รับพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นจึงถูกกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้เกิดการแพร่ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลต่อพลาสติกบรรจุภัณฑ์ได้เป็นการเพิ่มเติม โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะก่อให้เกิดการขยายตัวจากความร้อน ลดความหนาแน่นในพอลิเมอร์เมมเบรน เกิดบริเวณที่เป็นปริมาตรอิสระ หรือปริมาตรว่าง (free volume) ได้มากขึ้น พื้นที่ว่างเหล่านี้ส่งผลให้การแพร่ผ่านของโมเลกุลสสารระหว่างภายนอกกับภายในถุงพลาสติกได้มากขึ้นดังในภาพที่ 4 (Nylor *et al.*, 1989, Swapna *et al.*, 2020)

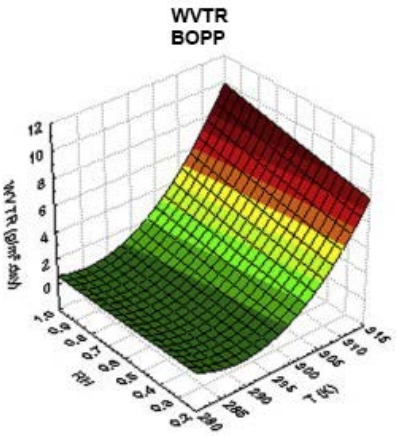


ภาพที่ 4 ปริมาตรว่าง (free volume) ที่เกิดขึ้นระหว่างโซ่พอลิเมอร์
ที่มา: Swapna *et al.*, 2020

ปัจจัยด้านความชื้น

ภายใต้ภาวะความชื้นสูงหรือการสัมผัสกับน้ำเป็นเวลานาน พลาสติกสามารถดูดซับความชื้นไว้ ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเปลี่ยนไป เช่น เกิดการบวมของแผ่นพลาสติกจากการที่มีโมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกไปในโครงสร้างพอลิเมอร์ และดันให้เกิดช่องว่างระหว่างโซ่พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น (คล้ายกับปัจจัยด้านอุณหภูมิที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้) หรือเป็นปัจจัยเสริมเพิ่มการอ่อนตัวของพลาสติก (plasticization) โดยไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ลง ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ผ่านการได้ง่ายขึ้น รวมไปถึงอาจส่งผลต่อการลดค่า glass transition temperature

(Tg) ผลของกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ สามารถสังเกตได้จากเนื้อพลาสติกที่อ่อนตัวลง ผลจากปัจจัยด้านอุณหภูมิและการได้รับความชื้นสูง จะส่งผลกระทบเป็นปัจจัยร่วมกันในการเพิ่มการซึมผ่านของไอน้ำได้ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ผลจากอุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในบรรยากาศต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR) ในฟิลม์พลาสติก
ที่มา: Macedo *et al.*, 2013

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการทดลอง

การศึกษานี้กำหนดตัวแปรต้นที่คาดว่าจะส่งผลกับการซึมผ่านของหมึกปากกาเคมีไว้ 3 ตัวแปร ได้แก่ 1) ประเภทของถุงพลาสติก ได้แก่ ถุงร้อนแบบขุ่น หนา 0.03 ไมครอน ถุงร้อนแบบใส หนา 0.035 ไมครอน และถุงเย็น หนา 0.045 ไมครอน 2) ยี่ห้อปากกาเคมี 4 ยี่ห้อ โดยทุกยี่ห้อเป็น permanent marker สามารถกันน้ำได้ มีความหนาเส้นปากกาอยู่ในช่วง 1–2 มิลลิเมตร และ 3) ความชื้นภายนอกถุง ได้แก่ มีและไม่มีความชื้น ดังนั้นสถานการณ์ทดสอบจึงมีทั้งสิ้น 3×4×2 = 24 สถานการณ์ และดำเนินการทดลองซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ สำหรับตัวแปรตามของการทดลอง พิจารณาจากปริมาณรอยเปื้อนที่แสดงการซึมผ่านของหมึกปากกาเคมี โดยคำนวณจากความเข้มข้นสีและร้อยละของพื้นที่รอยเปื้อนบนกระดาษทดสอบที่ติดไว้ด้านในถุง

ขั้นตอนการดำเนินงาน

นำกระดาษชำระขนาด 4×4 เซนติเมตร มาพับทบจนได้สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2×2 เซนติเมตร เมื่อพับทบความหนาจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 ชั้น จากนั้นติดกระดาษชำระที่พับแล้วเข้ากับแผ่นสติ๊กเกอร์ขนาด 4×4 เซนติเมตร โดยติดบริเวณกึ่งกลาง และนำไปติด “ภายใน” ถุงพลาสติกที่ต้องการทดสอบ โดยแต่ละถุงติดแผ่นทดสอบดังกล่าว 4 ชิ้น (ภาพที่ 6) เพื่อใช้ทดสอบปากกาเคมี 4 ยี่ห้อภายในสถานการณ์เดียวกัน



ภาพที่ 6 ลักษณะการติดแผ่นทดสอบ

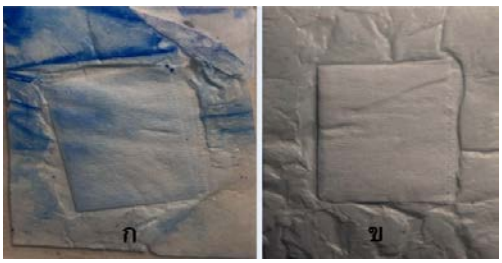
ระบายปากกาเคมีทางด้านนอกของถุงพลาสติกเป็นสี่เหลี่ยมทึบโดยเว้นขอบให้เล็กกว่าขนาดสติ๊กเกอร์ประมาณ 0.5 เซนติเมตร ทำให้มีพื้นที่ระบายทึบเป็น 3×3 เซนติเมตร โดยระบายเพียง 1 ชั้น (ภาพที่ 7) ต้มน้ำเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกที่ต้องการทดสอบ รัดปากถุงด้วยยางรัด และทิ้งไว้ 60 นาที สำหรับการทดสอบแบบมีความชื้นให้สเปรย์น้ำภายนอกถุงพลาสติก และใช้ผ้าชุบน้ำบิดหมาด



ภาพที่ 7 ระบายสีทึบครอบคลุมบริเวณกระดาษชำระ (ก) พื้นที่ระบายสี และ (ข) ลักษณะที่ระบายสีเสร็จสิ้น

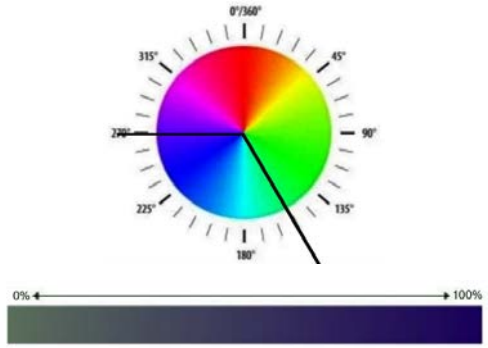
หุ้มทับเพื่อคงความชื้น สำหรับการทดสอบแบบไม่มีความชื้นให้ใช้ผ้าแห้งเช็ดถุงพลาสติกด้านนอกให้แห้งแล้ววางทิ้งไว้ เมื่อครบ 60 นาที ให้เทน้ำในถุงออก ตัดถุงพลาสติกและกางออกเพื่อผึ่งแผ่นทดสอบทั้ง 4 แผ่นให้แห้งในที่ร่ม ภายหลังจากถุงและแผ่นทดสอบแห้งแล้ว ให้ลอกแผ่นทดสอบออกจากถุงพลาสติกเพื่อนำไปพิจารณาพื้นที่เปื้อนหมึกต่อไป ดำเนินตามขั้นตอนดังกล่าวทุกสถานการณ์ที่วางแผนไว้

การพิจารณาพื้นที่เปื้อนหมึก ทำโดยการถ่ายภาพแผ่นทดสอบด้วยกล้องดิจิทัล (ภาพที่ 8) จากนั้นนำภาพที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สี (image color summarizer) ทางระบบออนไลน์ที่ http://mkweb.bcgsc.ca/color-summarizer/?analyze



ภาพที่ 8 แผ่นทดสอบ (ก) ที่มีรอยเปื้อนหมึกแสดงถึงการซึมผ่านของหมึกเทียบกับ (ข) แบบไม่มีรอยเปื้อน

โปรแกรมจะวิเคราะห์ร้อยละของพื้นที่ที่ตรวจพบสีต่าง ๆ โดยทำการจัดกลุ่มสีที่ตรวจพบด้วยเทคนิค K–means clustering โดยค่าสีที่ใช้ในการศึกษานี้ อ่านค่าสีตามระบบ Hue–Saturation–Value (HSV) จากภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าโทนสีฟ้า–น้ำเงิน จะเป็นช่วงที่มีค่า Hue ในช่วงประมาณ 150–270 องศาบนวงล้อสี ในขณะที่ค่า Saturation เป็นค่าที่บ่งบอกความอิ่มตัวหรือเข้มข้นของสีโดยสีที่หม่นจะเกิดจากการมีสีเทาปนอยู่มาก จะมีค่า S เข้าใกล้ 0% ในขณะที่สีสดใสหรือไม่มีสีเทาปนอยู่เลย จะมีค่า S เข้าสู่ 100% เรียกว่า Full Saturation หรือมีความอิ่มตัวของสีเต็มที่ ดังนั้น การพิจารณาตัวแปรตามของการศึกษานี้จะอาศัยการคำนวณร้อยละของพื้นที่ (%pixel) ที่ตรวจพบสีฟ้า–น้ำเงิน โดยถ่วงด้วยค่าน้ำหนักความเข้มข้นของสี ตามตัวอย่างการคำนวณดังนี้



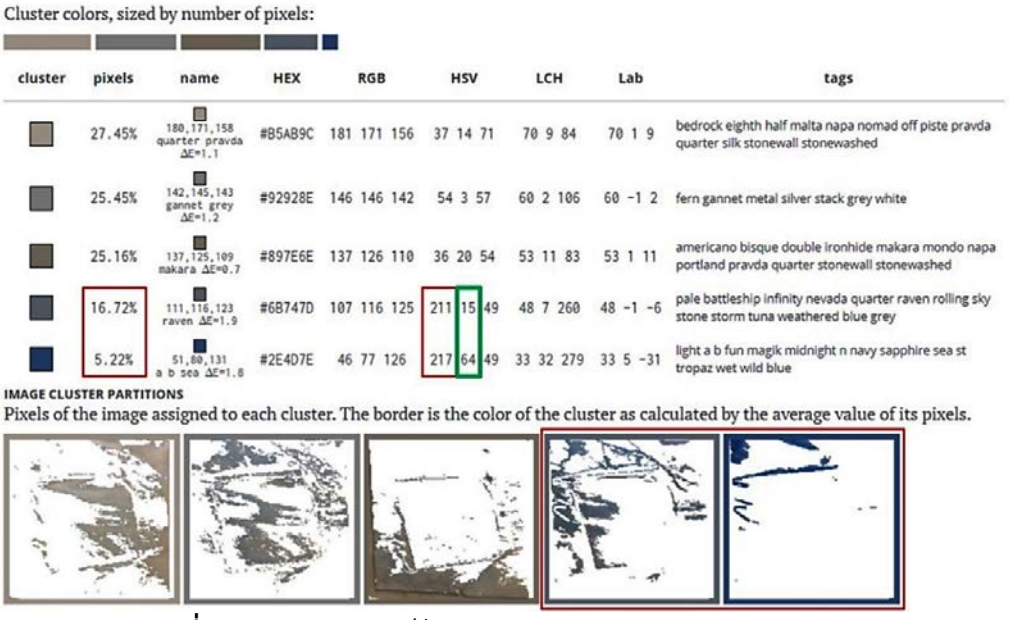
ภาพที่ 9 วงล้อสีแสดงค่า Hue (องศา) และความอิ่มตัวของสีน้อยหรือหม่น (0%) ความอิ่มตัวมากหรือสดใส (100%)

จากภาพที่ 10 เป็นผลการวิเคราะห์สีจากแผ่นทดสอบหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสีที่ปรากฏอยู่ในกลุ่มโทนสีเทา และน้ำเงิน การวิเคราะห์เริ่มจากเลือกค่า Hue (H) ที่สนใจไว้ 2 ค่า คือ 211 และ 217 (ค่า Hue อยู่ในช่วง 150–270) พบว่ามีค่า Saturation (S) ของ Hue ทั้งสองกลุ่ม อยู่ที่

15 และ 64 ตามลำดับ ในขณะที่มีร้อยละของพื้นที่ภาพ (%pixel) เป็น 16.72% และ 5.22% ตามลำดับ ปริมาณรอยเปื้อนของหมึกคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

ปริมาณรอยเปื้อน = $\sum(s \cdot \%pixel)$ - - - (1)

ดังนั้นแผ่นทดสอบในตัวอย่างภาพที่ 10 นี้คำนวณค่ารอยเปื้อนหมึกโดยใช้สมการที่ (1) ได้ปริมาณรอยเปื้อนหมึกเท่ากับ (15×16.72) + (64×5.22) = 584.88 (ไม่มีหน่วย)



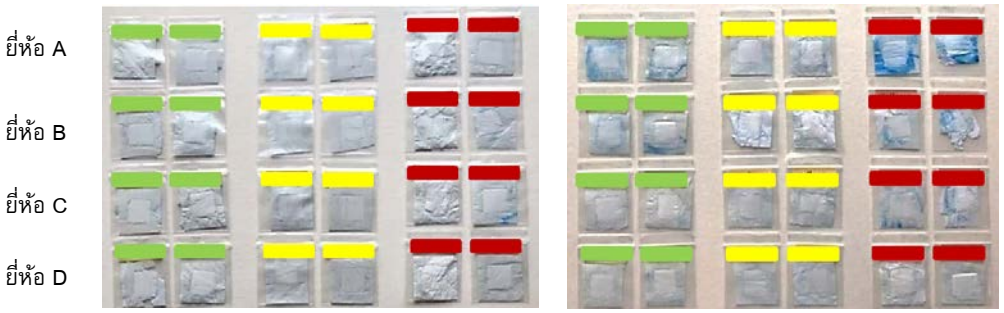
ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์สี (program print out) จากภาพแผ่นทดสอบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

แผ่นทดสอบที่ได้จากทุกสถานการณ์ทดสอบแสดงดังในภาพที่ 11 โดยภาพที่ 11(ก) เป็นผลการทดสอบแบบไม่มีความชื้น และภาพที่ 11(ข) เป็นแบบมีความชื้น ในแต่ละรูปแบบแบ่งออกเป็น 3 คอลัมน์ คือ ถุงร้อนแบบขุ่น ถุงร้อนแบบใส และถุงเย็น แต่ละแถวแสดงผลทดสอบจากปากกา 4 ยี่ห้อ เรียงจากบนลงล่าง คือ ยี่ห้อ A B C และ D ค่าปริมาณรอยเปื้อนทั้งหมดที่คำนวณได้ดังในตาราง 1

เมื่อพิจารณาตัวแปรต้นด้านประเภทของถุงพลาสติก ถุงเย็นส่งผลให้เกิดการซึมผ่านของหมึกมากที่สุด รองลงมา คือถุงร้อนแบบขุ่น และถุงร้อนแบบใสพบการซึมผ่านน้อยที่สุด การเลือกใช้ถุงพลาสติกแบบใสจะมีผลดีต่อการป้องกันการซึมผ่านของหมึกเมื่อเปรียบเทียบกับถุงพลาสติกประเภทอื่น ผลการสอบนี้สอดคล้องกับคุณสมบัติของถุงร้อนแบบขุ่น (HD) ที่แม้จะทนทานรับน้ำหนักได้ดีกว่าแบบใส (PP) แต่โมเลกุลเนื้อพลาสติกจะมีช่องว่างเล็ก ๆ มากกว่า (Sertsuwankul, 2022) ทำให้โอกาสที่อากาศและความชื้นจะซึมผ่านได้เพิ่มมากขึ้น

สำหรับตัวแปรยี่ห้อปากกาเคมี พบว่าปากกายี่ห้อ A มีการซึมผ่านมากที่สุด รองลงมา



ภาพที่ 11 แผ่นทดสอบทั้ง 24 สถานการณ์ (ก) แบบไม่มีความชื้น และ (ข) แบบมีความชื้น

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยปริมาณรอยเปื้อนของแผ่นทดสอบ

ความชื้น	ประเภทถุงพลาสติก	ยี่ห้อของปากกา			
		ยี่ห้อ A	**ยี่ห้อ B**	**ยี่ห้อ C**	**ยี่ห้อ D**
มีความชื้น	ถุงร้อนขุ่น	221.6 (119.87–323.33)	73.94 (71.82–76.05)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
	ถุงร้อนใส	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
	ถุงเย็น	616.35 (584.88–647.81)	83.43 (12.04–154.82)	74.49 (68.64–80.33)	0.00 (0.00)
ไม่มีความชื้น	ถุงร้อนขุ่น	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
	ถุงร้อนใส	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	10.23 (0.00–20.45)	0.00 (0.00)
	ถุงเย็น	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	20.41 (0.00–40.81)	0.00 (0.00)

คือ ยี่ห้อ B และ C ส่วนยี่ห้อ D ตรวจไม่พบรอยเปื้อนจากการซึมผ่านทุกสถานการณ์ที่ทดสอบ อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนไม่ทราบถึงชนิดของสารเคมีที่ใช้ในน้ำหมึกแต่ละยี่ห้อเนื่องจากเป็นสูตรเฉพาะของแต่ละยี่ห้อปากกา จึงทำให้ไม่สามารถทราบสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างดังกล่าวอย่างชัดเจน

ตัวแปรด้านความชื้น พบว่า เป็นปัจจัยที่สำคัญและคาดว่าจะส่งผลมากที่สุด โดยถุงพลาสติกที่มีความชื้นเกิดการซึมผ่านได้มากกว่าถุงพลาสติกแห้งอย่างชัดเจน คาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถุงพลาสติกตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้น จากการสังเกตสภาพถุงด้วยตาและสัมผัสพบว่าเนื้อถุงพลาสติกมีความยืดย้วยมากกว่าก่อนนำมาทดสอบค่อนข้างชัดเจน สถานการณ์ทดสอบที่มีการซึมผ่านสูงที่สุดของตัวแปรต้น 3 ตัวแปร พบว่า ปากกายี่ห้อ A ถุงแบบเย็นที่สัมผัสความชื้นมีปริมาณหมึกซึมผ่านมากจน

ทำให้น้ำในถุงเปลี่ยนเป็นสีฟ้า (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 น้ำที่ปนเปื้อนในสถานการณ์ทดสอบ: ยี่ห้อ A ถุงแบบเย็น และมีความชื้นรอบถุง

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การซึมผ่านของหมึกปากกาเคมีเข้าสู่ถุงบรรจุอาหารสามารถเกิดขึ้นได้จริงโดยเฉพาะการใช้ถุงเย็นไปบรรจุอาหารร้อน และการมีความชื้นภายนอกถุงจะทำให้เกิดการซึมผ่านมากขึ้น การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกกับอาหารร้อนที่มีการศึกษาก่อนหน้า พบว่ามีความเชื่อมโยงกับความผิดปกติเกี่ยวกับฮอร์โมนและระบบเผาผลาญของหญิงตั้งครรภ์ที่สุขภาพดี (Alharbi *et al*., 2020) การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกเพื่อบรรจุอาหารร้อนจึงควรศึกษารายละเอียดให้มากขึ้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และประชาสัมพันธ์ให้บุคคลทั่วไปทราบถึงความสำคัญของการเลือกใช้ถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ให้ถูกประเภท หากมีการใช้ถุงพลาสติกบรรจุอาหารร้อน ควรเลือกถุงร้อนแบบใส และควรเช็ดถุงพลาสติกด้านนอกให้แห้ง รวมถึงระมัดระวังพื้นที่จัดเก็บและป้องกันไม่ให้เปียกชื้นเพิ่มเติม เช่น การมีฝนสาดหรือน้ำปนเปื้อนจากภายนอก อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญเบื้องต้น จึงควรทดสอบคุณสมบัติถุงพลาสติกด้วยวิธีที่ชัดเจนมากขึ้น เช่น การทดสอบความหนาแน่นของพลาสติก รวมถึงอาจพิจารณาทดสอบการปนเปื้อนของหมึกจากตัวอย่างน้ำภายในถุงพลาสติกด้วยวิธีมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการมากกว่าการพิจารณาคุณสมบัติของสีจากภาพถ่ายการซึมเปื้อนแต่เพียงอย่างเดียว และหากสามารถตรวจติดตามคุณภาพของน้ำในถุงได้ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป คาดว่าจะทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการซึมผ่านของหมึกปากกาได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสมาชิกทีมวิจัย ได้แก่ นายพงศภัค อรุณสวัสดิ์วงศ์ นายฐิติวัตร คุ้มพงษ์ และนายกวิน ป้อมสนาม ในการช่วยเหลือดำเนินงานรวบรวมข้อมูลจนสำเร็จลุล่วงอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

Adamu, B. F., Gebeyehu, E. K., Wagaye, B. T., Kumelachew, D. M., Tadesse, M. G., and Jhatial, A. K. (2023). Quality of digital textile printing. In Wang, H., and Memon, H. (Eds.), **Digital Textile Printing** (pp.185–206). USA: Elsevier.

Alharbi, M. H., Mumena, W. A., and Hammouda, S. A. (2020). Use of plastics with hot food among Saudi pregnant women is associated with increased concentrations of A1C, Thyroid–stimulating hormone, and homocysteine and decreased concentrations of vitamins and minerals. **Nutrients** 12(9): 2609.

Anderson, R. C., and Anderson, J. H. (2003). Acute toxicity of marking pen emissions. **Journal of Toxicology and Environ-**

mental Health 66(9): 829–845.

Bickler, P. E., Gold, B., and Johnson, B. H. (1989). Diffusion of felt–tip marker pen ink into intravenous bags. **Anesthesia & Analgesia** 69(3): 412.

Chuenwongarun, K. (2020). Interesting science about the diffusion of substances. **National Geographic.** Retrieved from https://ngthai.com/science/27711/diffusion-science, July 5, 2023. (in Thai)

Food Network Solution. (2011). Food packaging part 5 (plastic packaging). Retrieved from https://shorturl.at/lDHT9, June 5, 2023. (in Thai)

Langston, J. D., Monaghan, W. P., and Bush, M. (2014). The contamination of intravenous fluids by writing on the infusion bag: Fact or fiction? **International Journal of Advanced Nursing Studies** 3(1): 18–19.

Macedo, I. S. M., Sousa–Gallagher, M. J., Oliveira, J. C., and Byrne, E. (2013). Quality by design for packaging of granola breakfast product. **Food Control** 29: 438–443.

Michelin Guide Thailand. (2023). **Why Bangkok Is a Street Food Capital and These Are Street Bites to Try**. Retrieved from https://guide.michelin.com/th/en/article/features/why-bangkok-is-a-street-food-capital-and-these-are-street-bites-to-try, May 20, 2023.

Nylor, T. V. (1989). Permeation properties. In Allen, G., Bevington, J. C., Booth, C., and Price, C. (Eds.), **Comprehensive Polymer Science Vol. 1** (pp. 643–668). Oxford: Pergamon.

Physical Chemistry of Textiles, Food, and Surroundings. (2019). **When There Is an Incident Where the Ink Seeps from the Outside of the Bag and Stains the Porridge in the Bag [Status Update]**. Retrieved from https://th-th.facebook.com/textile.phys.and.chem/posts/2739253396113077, May 2, 2023. (in Thai)

Sertsuwankul, N. (2022). **What Are the Different Properties of Plastic Bags (i.e., Hot Bags, Cold Bags)?** Retrieved from https://www.thaivikrom.com/hdpe-ldpe-ll-pp-ipp-opp, May 9, 2023. (in Thai)

Sunstoreonline. (n.d.). **Getting to Know Hot Bags, Food Bags, High Temperature Resistant Plastic Bags**. Retrieved from https://short url.at/fizDQ, May 9, 2023. (in Thai).

Swapna, V. P., Abhisha, V. S., and Stehen, R. (2020). Polymer/polyhedral oligomeric silsesquioxane nanocomposite membranes for pervaporation. In Thomas, S., George, S. C., and Jose, T. (Eds). **Polymer Nanocomposite Membranes for Pervaporation** (pp. 201–229). USA: Elevier.

Thai PBS. (2022). **How Does the Ink Color Penetrate the Porridge Bag?** Retrieved from www.thaipbs.or.th/news/content/285207, May 2, 2023. (in Thai)

Tummarintra, P., Limratana, P., Sujirattanawimol, K., and Srisawat, C. (2018). The contamination of intravenous fluid by felt–tip marking pen ink: A pilot study. **Siriraj Medical Journal** 70: 349–354.