ผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อการเคลื่อนย้ายของสารเคมีโดยรวมจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนอาหาร

EFFECT OF MICROWAVE HEATING ON OVERALL MIGRATION OF POLYPROPYLENE PLASTIC CONTAINER INTO FOOD SIMULANTS

สุปัญญา ยมศรีเคน

SUPANYA YOMSRIKEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-054-292

ผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อการเคลื่อนย้ายของสารเคมีโดยรวม จากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนอาหาร

EFFECT OF MICROWAVE HEATING ON OVERALL MIGRATION OF POLYPROPYLENE PLASTIC CONTAINER INTO FOOD SIMULANTS

สุปัญญา ยมศรีเคน

SUPANYA YOMSRIKEN

0265721

TM00042

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการความปลอดภัยอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-054-292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF MICROWAVE HEATING ON OVERALL MIGRATION OF POLYPROPYLENE PLASTIC CONTAINER INTO FOOD SIMULANTS

SUPANYA YOMSRIKEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF MASTER SCIENCE IN FOOD SAFETY MANAGEMENT

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-AI-M-054-292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อการเคลื่อนย้ายของสารเคมีโดยรวมจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนอาหาร
EFFECT OF MICROWAVE HEATING ON OVERALL MIGRATION OF POLYPROPYLENE PLASTIC CONTAINER INTO FOOD SIMULANTS

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุปัญญา ยมศรีเคน

รหัสประจำตัว 56608027

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การจัดการความปลอดภัยอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กิตติชัย บรรจง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติชัย บรรจง	
รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์	
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 12 ธันวาคม 2560 เวลา 15.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 13 เดือน ธค. พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อการเคลื่อนย้ายของสารเคมีโดยรวมจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนอาหาร
นักศึกษา	นางสาวสุปัญญา ยมศรีเคน
รหัสประจำตัว	56608027
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การจัดการความปลอดภัยอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการบริโภคอาหารสำเร็จรูปตามร้านสะดวกซื้อมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งอาหารเหล่านี้มักบรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับนำเข้าไมโครเวฟ โดยในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกจะมีการใส่สารเติมแต่งมากมายลงไป เช่น สารพลาสติกไซเซอร์, สารแอนติออกซิแดนซ์ ซึ่งสารเหล่านี้อาจหลุดออกมาปะปนกับอาหารระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และก่อให้เกิดการสะสมของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ซึ่งสหภาพยุโรปได้กำหนดให้พลาสติกสำหรับบรรจุอาหารต้องสอดคล้องตามกฎหมาย EC1935/2004 และ EU Regulation 10/2011 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration; OM) ในบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) จำนวน 4 ยี่ห้อ (ก, ข, ค และ ง) โดยเลือกใช้วิธีการแช่ชิ้นตัวอย่างลงในตัวแทนอาหาร 4 ชนิด (น้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และนอร์มอลเฮปเทน) ทำการให้ความร้อนแบบปกติและแบบให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟกำลัง 800W เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาค่า OM ตามวิธีมาตฐาน EN 1186-3 : Test method for overall migration into food simulant ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบปกติและแบบให้ความร้อนซ้ำ บรรจุภัณฑ์ทั้ง 4 ยี่ห้อมีค่า OM ในตัวแทนอาหารนอร์มอลเฮปเทน (n-heptane) สูงที่สุด รองลงมาคือในตัวแทนอาหารกรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่า OM ที่ได้จะแปรผันตามเวลาในการให้ความร้อน นั่นคือเมื่อให้ความร้อนแบบปกติเป็นเวลา 5 นาที พบว่า ในตัวแทนน้ำกลั่นและกรดอะซีติก 3% ตัวอย่างยี่ห้อ ข ให้ค่า OM สูงที่สุด (0.0213 และ0.0553 mg/dm^2 ตามลำดับ), ตัวแทนเอทานอล 15% ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อ ค ให้ค่า OM สูงที่สุด (0.0253 mg/dm^2) และตัวแทนอาหารนอร์มอลเฮปเทนตัวอย่างยี่ห้อ ก ให้ค่า OM สูงที่สุด (0.0810 mg/dm^2) ในขณะที่ทำการให้ความร้อนซ้ำเป็นเวลา 5 นาที ในตัวแทนน้ำกลั่นและกรดอะซีติก 3% ตัวอย่างยี่ห้อ ข ให้ค่า OM สูงที่สุด (0.0347 และ 0.0673 mg/dm^2 ตามลำดับ), ตัวแทนเอทานอล 15% และนอร์มอลเฮปเทน พบว่าตัวอย่างยี่ห้อ ก ให้ค่า OM สูงที่สุด (0.0573 และ 0.9220 mg/dm^2 ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าค่า OM ในงานวิจัยนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ EU regulation 10/2011 กำหนด (ไม่เกิน 10 mg/dm^2) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ มีความปลอดภัยและสามารถนำมาใช้กับไมโครเวฟได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Effect of microwave heating on overall migration of polypropylene plastic container into food simulants
Student	Miss Supanya Yomsriken
Student ID	56608027
Degree	Master of Science
Program	Food Safety Management
Year	2017
Thesis Advisor	Dr. Kittichai Banjong

ABSTRACT

Nowadays, ready-to-eat foods in convenience store are popular among consumers. These foods are packed in disposable food containers, which usually are made of plastic and may contain additives such as plasticizers, stabilizers or antioxidants. For the package in direct contact with the food product, these substances can migrate into food, specifically during heating by microwave. These substances can also alter tastes and flavors of food product or accumulate in consumer's body, which cause the health risk. This study investigated the effect of microwave heating on overall migration of polypropylene plastic container into food simulants. According to EN 1186-3 : material and articles in contact with food stuffs-plastic, four polypropylene plastic containers were immersed in four different food simulants (distilled water, 3% acetic acid, 15% ethanol and n-heptane). These were also performed in two different situations (Normal heat and reheat by microwave) : by holding at 20°C for 10 days and by heating at 800 watt microwave power for 0, 2, 3 and 5 minutes to simulate the effect of microwave heating as per consumer practice. The result of all normal heat and reheat showed that OM of all samples in n-heptane were higher than in 3% acetic acid, 15% ethanol and distilled water significantly ($p<0.05$). The OM level tended to increase with the heating time and highest levels were observed at 5 minutes for all simulant. At 5 minute of normal heat, the highest OM was sample ข in distilled water and 3% acetic acid (0.0213 and 0.0553 mg/dm^2), the highest OM was sample ค in 15% ethanol (0.0253 mg/dm^2) and the highest OM was sample ก in n-heptane (0.0810 mg/dm^2). While the reheat at 5 minutes, the highest OM was sample ข in distilled water and 3% acetic acid (0.0347 and 0.0673 mg/dm^2) and the highest OM was sample ก in n-heptane and 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ethanol (0.9220 and 0.0573 mg/dm^2). However, all OM subjected to microwave heating test were not exceed the EU limit according to the EU regulation 10/2011 ($\leq$ 10 mg/dm^2). In conclusion that polypropylene plastic containers are safe to use and can be applied to the microwave without harming the consumer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการความปลอดภัยอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร โดยได้รับเกียรติอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กิตติชัย บรรจง เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้ความรู้ คำชี้แนะ และคำปรึกษาในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รองศาตราจารย์ ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์, รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ เป็นอย่างสูงที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ รวมถึงความกรุณาในการให้คำแนะนำ ตลอดจนคำชี้แนะและตรวจสอบแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา องค์ความรู้ต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบันฯแห่งนี้ จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ยมศรีเคน ที่ให้โอกาสในการศึกษา คอยสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แด่บิดามารดา ตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์อันดีให้แก่ข้าพเจ้า และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษา หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป หากมีข้อความอันใดหรือเนื้อหาส่วนหนึ่งส่วนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุผลอื่นใดก็ตาม ข้าพเจ้าขอน้อมรับทุกคำติชมจากผู้อ่านด้วยใจ

สุปัญญา ยมศรีเคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง XI

สารบัญรูปภาพ XII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย 3

1.4 สถานที่วิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 พลาสติก 5

2.1.1 เทอร์โมเซต (Thermosets) 5

2.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) 5

2.1.2.1 พอลิเอทิลีน (polyethylene; PE) 6

2.1.2.2 พอลิพรอพิลีน (polypropylene; PP) 7

2.1.2.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride; PVC) 7

2.1.2.4 พอลิสไตรีน (polystyrene; PS) 7

2.1.2.5 พอลิเอสเทอร์ (polyester) 8

2.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติก 8

2.2.1 ถุงพลาสติก (plastic bag) 8

2.2.2 ฟิล์มหด (shrink film) 9

2.2.3 ฟิล์มยืด (stretch film) 9

2.2.4 ขวดพลาสติก (plastic bottle) 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4.1 โพลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ……..……...…. 9

2.2.4.2 โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ……..…….…… 9

2.2.4.3 โพลิเอทธิลีนเทเรฟทาเลต(PET) ……...…… 10

2.2.4.4 โพลิสไตรีน (PS) ……... 10

2.2.4.5 โพลีโพรพิลีน (PP) …..……..…… 10

2.2.5 ถ้วยพลาสติก (plastic cup) ……..……...… 10

2.2.6 ถาดพลาสติก (plastic container) ……..……. 11

2.2.7 กล่องพลาสติก (plastic box) ……..……..…… 11

2.2.8 กระป๋องพลาสติก (plastic can) …..……..…… 11

2.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก…… 11

2.3.1 กระบวนการอัดรีดหรือกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (extrusion) ……. 11

2.3.2 การเคลือบและการประกบ ……..…... 11

2.3.3 การรีดร่วม (co-extrusion) ……...……... 11

2.3.4 การอัดแบบชนิดฉีด (injection molding) ……...……. 12

2.3.5 การอัดแบบชนิดเป่า (blow molding) ……...…….. 12

2.3.6 การขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming) ……..….. 12

2.4 หน้าที่ของสารเติมแต่ง (additive) ในเนื้อพลาสติก ……..…….. 12

2.4.1 Plasticizer ……..…….. 12

2.4.2 Antistatic agent ……..…… 12

2.4.3 Blowing agent …… 12

2.4.4 Antioxidant ……..……... 13

2.4.5 Dye & Pigment …….. 13

2.4.6 Filler ……... 13

2.5 การเคลื่อนย้ายสารเคมี (migration) ……..…….. 13

2.5.1 การเคลื่อนย้ายของสารเคมีและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนย้าย ……. 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1.1 Fick's first law 14

2.5.1.2 Fick's second law 14

2.5.2 ธรรมชาติของอาหาร (nature of the food) 14

2.5.2.1 การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม 14

2.5.2.2 ความสามารถในการละลาย 15

2.5.3 อุณหภูมิที่ใช้สัมผัส 15

2.5.4 ระยะเวลาในการสัมผัส 15

2.5.5 การเคลื่อนย้ายสารเคมีภายในบรรจุภัณฑ์ 16

2.5.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายสารเคมี 17

2.5.6.1 ปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการแพร่กระจายที่เพิ่มขึ้น 17

2.5.6.2 ปัจจัยที่ช่วยลดการแพร่กระจาย 17

2.6 กฎหมายอ้างอิง 18

2.6.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 295 18

2.6.2 ข้อกำหนด EC 1935/2004 (2004) 18

2.6.3 COMMISSION REGULATION (EU) No 10/2011(2011) 21

2.6.4 ข้อกำหนด Commission directive 2005/79/EC(2005) 22

2.6.5 มาตรฐานวิเคราะห์ EN 1186-1 : 2002(2002) 22

2.6.6 มาตรฐานวิเคราะห์ EN 1186-3 : 2002(2002) 22

2.7 สารประกอบในพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ 22

2.7.1 สาร phthalate 22

2.7.2 สาร vinyl chloride 23

2.7.3 สาร styrene 23

2.7.4 สาร bisphenol A 23

2.7.5 สาร formaldehyde 23

2.7.6 สาร Hydrogen peroxide (H_2O_2) 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 หลักการทำงานของไมโครเวฟ 24
2.8.1 หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟ 24
2.8.2 กลไกการเกิดความร้อนเนื่องจากไมโครเวฟ 24
2.8.2.1 การเคลื่อนที่ของอิออน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า 25
2.8.2.2 การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว 25
2.8.3 ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ 25
2.8.3.1 การสะท้อนกลับ (reflection) 25
2.8.3.2 การส่งผ่าน (transmission) 26
2.8.3.3 การดูดซึม (absorption) 26
2.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 27
2.10 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 31
3.1 เครื่องมือ /อุปกรณ์ (Apparatus) 31
3.2 สารเคมีและตัวอย่างสาหรับทดสอบ (Reagents) 32
3.3 ตัวอย่างในการจำลอง 32
3.4 การดำเนินการวิจัย 33
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ 34
3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ 39

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 40

บทที่ 5 สรุปการทดลอง 51
5.1 สรุปผลการทดลอง 51
5.2 ข้อเสนอแนะ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 54

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีในการทดสอบหาปริมาณการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม 58

ภาคผนวก ข การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดลอง 58

ประวัติผู้เขียน 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กลุ่มอาหารและชนิดของสารเคมีที่เหมาะสมต่อการละลาย ……...	15
2.2	สภาวะที่ใช้ในการทดสอบการแพร่กระจายโดยรวมสำหรับอาหารแต่ละประเภท	21
4.1	การแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3% , แอลกอฮอล์ 15% และนอร์มอลเฮปเทน ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบปกติ …….	42
4.2	การแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3% , แอลกอฮอล์ 15% และนอร์มอลเฮปเทน ให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ….	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย (net molecule) ……...	5
2.2	ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบลูกโซ่ (chains molecule) ……...	6
2.3	โครงสร้าง polyethylene (Polymer Science Leaning Center, 2016) ……...	6
2.4	โครงสร้าง polypropylene (Polymer Science Leaning Center, 2016)……..	7
2.5	โครงสร้าง PVC (Polymer Science Leaning Center, 2016)…….	7
2.6	โครงสร้าง polystyrene (Polymer Science Leaning Center, 2016)……..	8
2.7	โครงสร้าง polyethylene terephthalate (Polymer Science Leaning Center, 2016) ……...	8
2.8	การแพร่กระจายของวัสดุที่ไม่มีการซึมผ่าน ……	16
2.9	การแพร่กระจายของวัสดุที่ไม่มีการซึมผ่าน ……	17
2.10	การแพร่กระจายของวัสดุที่มีรูพรุน ……	17
2.11	สัญลักษณ์วัสดุที่ใช้สัมผัสอาหาร……..	18
2.12	โครงสร้างของ Regulation (EC) No. 1935/2004(2004) วัสดุสัมผัสอาหาร……..	20
2.13	การแพร่กระจายโดยรวม ในตัวแทนอาหารประเภทน้ำมันพืช ……	27
2.14	การแพร่กระจายโดยรวม ในตัวแทนอาหารประเภทกรดอะซีติก ……	28
3.1	ลักษณะสารตกค้างที่เหลือจากการระเหย ณ เวลาในการให้ความร้อนปกติ ……	37
3.2	ลักษณะสารตกค้างที่เหลือจากการระเหย ณ เวลาในการให้ความร้อนซ้ำ ……	38
4.1	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในน้ำกลั่น (ความร้อนแบบปกติ) …….	44
4.2	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในกรดอะซีติก 3% (ความร้อนแบบปกติ)	44
4.3	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในเอทานอล 15% (ความร้อนแบบปกติ)	45
4.4	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในนอร์มอลเฮปเทน(ความร้อนแบบปกติ)	45
4.5	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในน้ำกลั่น (ความร้อนซ้ำ) ……...…	49
4.6	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในกรดอะซีติก 3% (ความร้อนซ้ำ) ……..	49
4.7	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในเอทานอล 15% (ความร้อนซ้ำ) ……	50
4.8	กราฟแสดงการเกิด overall migration ในนอร์มอลเฮปเทน (ความร้อนซ้ำ) ……	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.1	เปรียบเทียบค่าการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี ระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบปกติ 5 นาทีและให้ความร้อนซ้ำ 5 นาที ……...	51
1ข	ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ก หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร…..	58
2ข	ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ข หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร…..	58
3ข	ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ค หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร…..	59
4ข	ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ง หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร…...	59
5ข	การระเหยตัวแทนอาหารบน hot plate หลังผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	60
6ข	วิธีระเหยตัวอย่างในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ……..	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความสำคัญของปัญหา

วัสดุสัมผัสอาหารประเภทพลาสติกหรือบรรจุภัณฑ์พลาสติก ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารแพร่หลายมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับบรรจุอาหารสำเร็จรูป (ready to eat) ที่สามารถนำเข้าเครื่องไมโครเวฟได้ กำลังเป็นที่นิยมในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตอาหารทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ใช้งานได้หลากหลาย มีความทนทาน(ทนร้อน,ทนเย็น) ยืดหยุ่น สะดวกต่อการใช้งาน และน้ำหนักเบา (ประหยัดค่าขนส่ง) เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์พลาสติก ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากมายหลายชนิด โดยแยกตามลักษณะการใช้งาน เช่น พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate ; PET) เหมาะสำหรับทำขวดบรรจุเครื่องดื่ม น้ำอัดลม, คริสตัลไลน์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (crystallized polyethylene terephthalate ; CPET) เหมาะสำหรับทำกล่องบรรจุอาหาร, พอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นสูง (high density polyethylene ; HDPE) เหมาะสำหรับทำขวดนม,ถุงหิ้ว, พอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene ; LDPE) เหมาะสำหรับทำฟิล์มห่ออาหาร ถุงหิ้ว ถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร, พอลิพรอพิลีน (polypropylene ;PP) เหมาะสำหรับทำกล่องบรรจุอาหาร จาน ชาม กระบอกบรรจุอาหารเย็นและพอลิสไตรีน (polystyrene ; PS) เหมาะสำหรับทำถาดโฟม กว่าจะได้มาซึ่งบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหารนั้นต้องผ่านขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติการใช้งานที่หลากหลาย อาทิเช่น คุณสมบัติในการทนความร้อน ทนความเย็น น้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน มีความใส แวววาว สีสันสวยงาม ซึ่งในกระบวนการผลิตอาจมีการเติมสารเติมแต่ง(additive) หลายชนิดลงไปเพื่อให้ได้คุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์ตามต้องการ

วัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติก,สารเคมีบางประเภท เช่น โมโนเมอร์สารเติมแต่งหรือตัวเร่งปฏิกริยาจากวัสดุ อาจหลุดออกมาจากบรรจุภัณฑ์ในขณะทำการให้ความร้อนซึ่งอาจทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์กับอาหาร เมื่ออาหารถูกให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟภายในบรรจุภัณฑ์ อาจส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมี(migration)เพิ่มขึ้นเมื่ออาหารนั้นเป็นอาหารประเภทไขมัน นอกจากนี้ ยังพบว่าอาหารที่มีปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบสูงๆ จะเกิดการแพร่กระจายของสารเคมีได้มากกว่าอาหารแห้ง (Cai, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในยุคที่ต้องทำงานแข่งกับเวลา และไม่ต้องเสียเวลาในการปรุงอาหารอีกต่อไป ยกตัวอย่างเช่น อาหารจานด่วนประเภท fast food, อาหารแช่เย็น (chill food) และอาหารแช่แข็ง (frozen food) กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสะดวกในการเลือกซื้อหรือพกพาและง่ายต่อการรับประทาน เพียงนำเข้าไมโครเวฟ2-3นาทีก็สามารถรับประทานได้

จากการสำรวจบรรจุภัณฑ์สำหรับไมโครเวฟที่มีขายตามท้องตลาดในกรุงเทพฯและปริมณฑล พบว่า ทำจากพลาสติกชนิด PP ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านความหนา สี และลักษณะเนื้อพลาสติก ดังนั้น คุณสมบัติและความหลากหลายของพลาสติกที่ต่างกัน อาจทำให้ผู้บริโภคเกิดความสับสนในการใช้งาน นำไปสู่การใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น การนำบรรจุภัณฑ์กลับมาบรรจุและ/หรืออุ่นอาหารซ้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมี(migration) ในพลาสติกออกมาปนเปื้อนกับอาหาร หากมีการให้ความร้อนซ้ำ อาจมีแนวโน้มที่สารเคมีเหล่านั้นจะแพร่กระจายออกมามากยิ่งขึ้น

ข้อกำหนด มอก.2493 เล่ม 2 (2556) กำหนดให้บรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับนำเข้าไมโครเวฟต้องทำจากวัสดุชนิดที่ยอมให้สัมผัสกับอาหาร (food grade) และทนความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า 100 °C ได้แก่ พลาสติกชนิด PP, PET และ PS อย่างใดอย่างหนึ่งตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก

อย่างไรก็ตาม ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 295 (2548) กำหนดว่า บรรจุภัณฑ์พลาสติกต้องไม่มีสารอื่นออกมาปนเปื้อนกับอาหารในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ แม้ว่าสารพิษในพลาสติกยังไม่ถูกพิจารณาให้เป็นปัญหาหลักของระบบสาธารณสุข แต่การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ปลอดภัย โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับอาหารและเครื่องดื่ม อาจนำมาซึ่งการสะสมสารพิษและความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ของผู้บริโภค (ศุลีพร แสงกระจ่าง และคณะ, 2556)

ข้อกำหนด COMMISSION DIRECTIVE 2005/79/EC (2005) กำหนดให้วัสดุและสิ่งของที่เป็นพลาสติกจะต้องไม่มีการแพร่กระจายของสารที่เป็นส่วนประกอบผ่านเข้าสู่อาหารในปริมาณที่มากกว่า 10 มิลลิกรัม/ตารางเดซิเมตร (mg/dm^2) ซึ่งสอดคล้องตามข้อกำหนดของ EU Regulation 10/2011 (2011) ได้มีการกำหนดเกี่ยวกับข้อกำหนดทั่วไปและข้อกำหนดเฉพาะของสารต่างๆ ที่อนุญาตให้ใช้ในพลาสติก ดังนี้

- Specific migration limits : SML ต้องไม่เกิน 60 mg/kg
- Overall migration limits : OML ต้องไม่เกิน 10 mg/ dm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวัสดุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกแต่ละชนิดมีค่า SML แตกต่างกัน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง เช่น gas chromatography (GC) / mass chromatography (MS) หรือ high performance liquid chromatography (HPLC) (โอภาส ตั้งวัธนวิบูลย์, 2548) ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้วิธีการประเมินการแพร่กระจายโดยรวม หรือ OML เพื่อประเมินความเสี่ยงของสารเคมีที่อาจละลายออกมาจากบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยการสร้างแบบจำลองและทำการทดสอบโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบจาก British standard EN1186-1 (2002) materials and articles in contact with foodstuffs-plastics-part 1 : Guide to the selection of conditions and test methods for overall migration และวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร เล่ม 2 ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2557)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสัมผัส และชนิดของตัวแทนอาหาร (food simulants) ที่มีผลต่อปริมาณการเคลื่อนย้ายสารเคมี (chemical migration) จากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนอาหาร

1.2.2 เพื่อศึกษาการแพร่กระจายโดยรวม (overall migration) ของสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนอาหาร ในระหว่างให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน EU และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับ 295 (2548)

1.2.3 เพื่อศึกษาการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนสู่ตัวแทนของอาหาร ในระหว่างให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน EU และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับ 295 (2548)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ มุ่งศึกษาในบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับไมโครเวฟชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) เนื่องจากมีการใช้แพร่หลายและวางจำหน่ายโดยทั่วไปตามห้องตลาดย่านกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยศึกษาความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration; OM) เมื่อทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ในสภาวะปกติและในสภาวะให้ความร้อนซ้ำ (reheat) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของสหภาพยุโรป Commission Regulation (EU) No.10/2011 (2011) และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับ 295 (2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สถานที่วิจัย

ห้องปฏิบัติการชีววัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

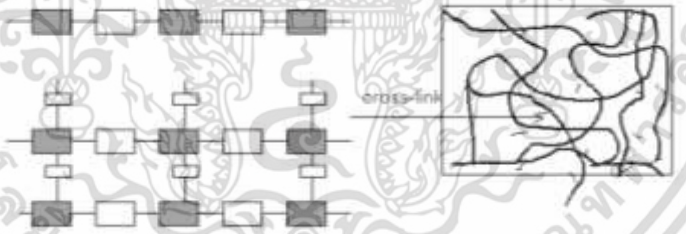
บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก (วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2554)

แบ่งตามคุณสมบัติเมื่อได้รับความร้อน เป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 เทอร์โมเซต (Thermosets)

เทอร์โมเซตติง (thermosetting plastic) หรือพลาสติกประเภทคงรูป หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า พลาสติกแข็ง คือพลาสติกที่มีรูปทรงถาวรซึ่งผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน (heat) หรือแรงอัด (pressure) ขึ้นรูป แต่เมื่อเย็นตัวลงจะไม่สามารถทำให้อ่อนตัวโดยใช้ความร้อนหรือนำไปหลอมละลายขึ้นรูปใหม่ได้อีก เปรียบเสมือนไข่ เมื่อนำไปต้มสุกแล้วจะทำให้เหลวเหมือนเดิมอีกไม่ได้ ในประเทศอังกฤษเรียกพลาสติกชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า ดูโรพลาสติก (duroplastics) โครงสร้างของพลาสติกแบบคงรูปร่างจะมีการเกาะตัวของโมเลกุลเป็นแบบตาข่าย หรือร่างแห (net) เวลาได้รับความร้อนจะไม่ยืดหรือหดตัว แต่จะเกิด covalent bond ยึดระหว่างโมเลกุลขึ้น ตัวอย่างเช่น phenol formaldehyde หรือที่เรียกว่า bakelite ยางดิบหากผ่านกรรมวิธี vulcanization ก็เป็นพลาสติกประเภทคงรูปอย่างหนึ่ง



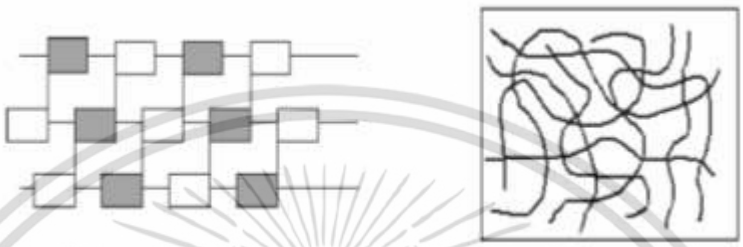
ภาพที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย (net molecule)
ที่มา : วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2554)

2.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) หรือพลาสติกประเภทคืนรูป หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าพลาสติกอ่อน เป็นชนิดที่ถูกความร้อนแล้วจะหลอมตัว กลายเป็นของเหลวได้ พลาสติกชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นสายยาว ทำให้ทนต่อแรงดึงได้สูง เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก พลาสติกประเภทนี้สามารถนำมาหลอมใหม่ได้ เนื่องจากความร้อนไม่ทำให้โครงสร้างของพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลง และสามารถนำไปหลอมได้อีกไม่มีที่สิ้นสุด เรียกว่า “plastics with a memory” โครงสร้างของพลาสติกประเภทนี้จะประกอบด้วยโมเลกุลเดี่ยวเกาะตัวแบบต่อแขนยาวออกเป็นเส้นด้าย หรือแบบลูกโซ่ (filament or chain) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพลาสติกอาจเกิดได้ง่าย โดยการไหลเลื่อนระหว่างโมเลกุลต้านแรง Van der Waal’s forces ซึ่งดึงดูดโมเลกุลเข้าไว้ด้วยกันอย่างอ่อนๆ ตัวอย่างเช่น nylon



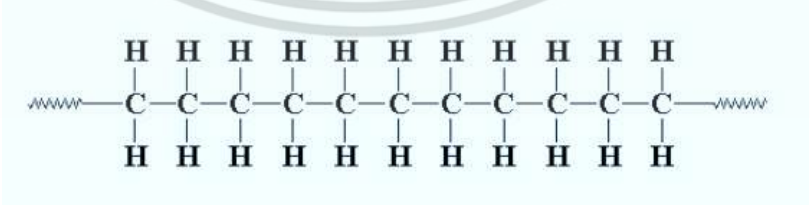
ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบลูกโซ่ (chains molecule)

ที่มา : วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2554)

เทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้ในบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ (เกสรี จุ้ยชุม, 2547)

2.1.2.1 พอลิเอทิลีน (polyethylene ; PE) มีลักษณะขาวขุ่นโปร่งแสง ยืดตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี จึงเป็นฉนวนไฟฟ้า แบ่งตามความหนาแน่น ดังนี้

- ชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene; LDPE)
- ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene; MDPE)
- ชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene; HDPE)
- ชนิดความหนาแน่นต่ำ มีโครงสร้างเชิงเส้น (linear low density polyethylene; LLDPE)

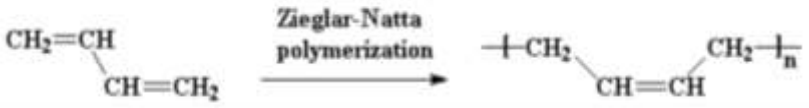


ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง polyethylene

ที่มา : Polymer Science Leaning Center (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 พอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่า PE มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.89-0.90 สามารถลอยน้ำได้ ลักษณะอื่นๆ คล้ายกับ PE



Propylene **Polypropylene**

ภาพที่ 2.4 โครงสร้าง polypropylene

ที่มา : Polymer Science Leaning Center (2016)

2.1.2.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride ; PVC) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่ติดไฟ มีลักษณะขุ่นทึบ เป็นทั้งของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่ม ใช้งานได้หลากหลาย

- ชนิดไม่เติมสารพลาสติกไซเซอร์ (unplasticized PVC, U-PVC)
- ชนิดเติมสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticized PVC, P-PVC)

ภาพที่ 2.5 โครงสร้าง PVC

ที่มา : Polymer Science Leaning Center (2016)

2.1.2.4 พอลิสไตรีน (polystyrene ; PS) มีความแข็ง เปราะแตกง่าย ทนแรงอัดได้สูง สามารถใช้เป็นโคพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติพอลิเมอร์อื่นๆ เช่น เพิ่มความเหนียวและความแข็ง เพิ่มการทนความร้อน เป็นต้น

- ชนิดใช้งานทั่วไป (general purpose polystyrene, GPS)
- ชนิดทนกระแทกได้สูง (high impact polystyrene, HIPS)

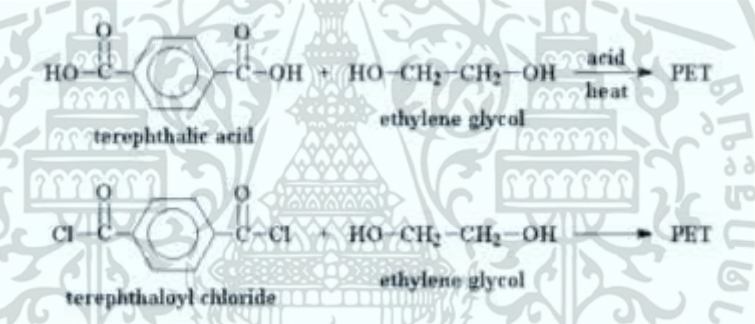
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.6 โครงสร้าง polystyrene

ที่มา : Polymer Science Leaning Center (2016)

2.1.2.5 พอลิเอสเทอร์ (polyester)

- พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate ; PET)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้าง polyethylene terephthalate

ที่มา : Polymer Science Leaning Center (2016)

2.2 ประเภทของบรรจุภัณฑ์พลาสติก (เกสรี จุ้ยชุม, 2547)

2.2.1 ถุงพลาสติก (plastic bag)

ถุงพลาสติกทำจากฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวหรือหลายชั้น นิยมใช้ทำถุงพลาสติกชั้นเดียว ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene ; LDPE), พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low density polyethylene ; LLDPE) ซึ่งมักเรียกว่าถุงเย็น ถ้าทำจากpolypropylene(PP) เรียกว่า ถุงร้อน ส่วนถุงหิ้วที่บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากในห้างสรรพสินค้ามักทำจาก LLDPE เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ฟิล์มหด (shrink film)

ฟิล์มหดทำจากพลาสติกหลายชนิด เช่น polyvinyl chloride (PVC) ใช้สำหรับสินค้าขายปลีก polypropylene (PP) ใช้สำหรับสินค้าปลีกที่มีราคาสูง ส่วน low density polyethylene (LDPE) หรือ linear low density polyethylene (LLDPE) ใช้สำหรับสินค้าบนแท่นรอบรับสินค้าเพื่อการขนส่ง เพราะเป็นพลาสติกที่มีความเหนียวและราคาไม่แพง

2.2.3 ฟิล์มยืด (stretch film)

ทำจากพลาสติกหลายชนิด เช่น polyvinyl chloride (PVC) ใช้สำหรับสินค้าขายปลีก, low density polyethylene (LDPE) หรือ linear low density polyethylene (LLDPE) ใช้สำหรับสินค้าบนแท่นรองรับสินค้าเพื่อการขนส่ง ข้อดีของฟิล์มชนิดนี้ คือ สะดวกต่อการใช้งาน เพราะเกาะติดกันเองได้ ทำให้ประหยัดพลังงาน

2.2.4 ขวดพลาสติก (plastic bottle)

2.2.4.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene ; HDPE)

HDPE พอลิเอทิลีนชนิดหนาแน่นสูงมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็ง แต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสันสวยงาม ยกเว้นขวดที่ใช้บรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะขุ่นกว่าขวด polyethylene terephthalate (PET) ราคาถูก ขึ้นรูปได้ง่าย ทนสารเคมี จึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพู สระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว นอกจากนี้ ภาชนะที่ทำจาก HDPE ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นขวดนมเพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น HDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดบรรจุนม น้ำผลไม้ และมักใช้กับอาหารที่มีราคาแพง เนื่องจาก polyethylene(PE) สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซไม่ดี ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับบรรจุอาหารที่ไวต่อก๊าซออกซิเจน เพราะจะทำให้อายุการเก็บอาหารสั้นลง

2.2.4.2 พอลิไวนิลคลอไรด์ (poly vinyl chloride ; PVC)

PVC เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยการใส่เติมแต่งหรือสาร plasticizer ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสาหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะและขวดใส่แชมพูสระผม เป็นต้น PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันพืช น้ำส้มสายชู น้ำมันสลัด แต่มักพบปัญหาจากการใส่สารเติมแต่งและมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ของไวนิลคลอไรด์ มอนอเมอร์ ออกมาปะปนในอาหารได้ถ้ากระบวนการผลิตพลาสติกไม่ดี

2.2.4.3 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (poly ethylene terephthalate ; PET)

PET ทนแรงกระแทกไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องสำอางค์นอกจากนี้ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำมาใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันพืช น้ำอัดลม เนื่องจากสามารถป้องกันการซึมผ่านของไขมันและก๊าซอยู่ในเกณฑ์ดี ไม่มีปัญหาเรื่องการปนเปื้อน ดังนั้น ปลอดภัยกว่าการใช้ PVC แต่มีราคาแพงกว่า

2.2.4.4 พอลิสไตรีน (polystyrene ; PS)

PS เป็นพลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะ และแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุอาหารแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และคุ้กกี้ เนื่องจาก PS เปราะและแตกง่าย จึงไม่นิยมนำพลาสติกประเภทนี้มาบรรจุน้ำดื่ม เนื่องจากอาจลื่นตกแตกได้ มีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบามาก เนื่องจากประกอบด้วย PS ประมาณ 2-5% เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง PS สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนิยมใช้ PS ทำขวดขนาดใหญ่เพื่อบรรจุนมสำหรับการขนส่งไปต่างประเทศ ไม่นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ปัจจุบันนี้การใช้ PS มีแนวโน้มลดลง

2.2.4.5 พอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP)

PP เป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ทนความร้อนและน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ชาม จาน หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น นอกจากนี้ PP ยังทนความร้อนได้สูง ดังนั้น จึงนิยมใช้ทำขวดบรรจุน้ำผลไม้หรือน้ำเชื่อมที่บรรจุขณะร้อน

2.2.5 ถ้วยพลาสติก (plastic cup)

พลาสติกที่นิยมใช้ทำถ้วย ได้แก่ PP PS EPS PP เมื่อต้องการบรรจุอาหารขณะร้อน เพราะสามารถทนความร้อนได้สูง เช่น โยเกิร์ต น้ำเชื่อม มอยองเนส แยมและน้ำผึ้ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ถาดพลาสติก (plastic container)

พลาสติกที่นิยมใช้ทำถาด ได้แก่ PS EPS PS มีสีขาวเป็นถาดตื้น และไม่มีฝาปิด ดังนั้น จึงใช้ฟิล์มยืดห่อ ถาด EPS เป็นฉนวนความร้อนใช้สำหรับบรรจุอาหารเพื่ออุ่น นอกจากนี้ถาดบรรจุอาหารยังอาจทำจาก HDPE หรือ PP ก็ได้

2.2.7 กล่องพลาสติก (plastic box)

พลาสติกที่ใช้ทำกล่อง ได้แก่ PS PVC เพราะมีความใสและขึ้นรูปด้วยความร้อนได้ง่าย PS มีความแข็งแรงกว่า PVC ดังนั้น จึงแตกยากกว่า นิยมใช้บรรจุอาหารแห้ง เช่น หมูหยอง ลูกกวาด

2.2.8 กระป๋องพลาสติก (plastic can)

พลาสติกที่ใช้ทำกระป๋อง ได้แก่ PP, PET, HDPE, PP ทำกระป๋องบรรจุอาหารที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแทนกระป๋องโลหะได้

2.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก (เกสรี จุ้ยชุม, 2547)

2.3.1 กระบวนการอัดรีดหรือกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (extrusion)

การอัดรีดหรือการเอ็กซ์ทรูชั่นเป็นกระบวนการอัด และให้ความร้อนกับวัสดุที่ไหลได้เพื่อให้วัสดุผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยผ่านสกรูของเกลียวขับ จากนั้นจึงอัดเข้าไปในดาย และขึ้นเป็นรูปร่างตามต้องการ

2.3.2 การเคลือบและการประกบ

เป็นกระบวนการที่ทำให้วัสดุ 2 ชั้น หรือมากกว่ายึดติดเข้าด้วยกันโดยใช้กาวหรือความร้อน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและการสกัดกั้นให้ดีขึ้น เช่น มีความแข็งแรงมากขึ้น ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี เป็นต้น

2.3.3 การรีดร่วม (co-extrusion)

การรีดร่วม เป็นกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกหลายชั้น โดยการใช้กาวหรือชั้นของวัสดุเคลือบในการยึดติดแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน ปัจจุบันฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่ผลิตได้จากการรีดร่วมกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรจุภัณฑ์อาหาร เพราะสามารถนำพลาสติกที่มีคุณสมบัติเด่นในแง่ต่างกัน มาใช้ร่วมกัน ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างชั้นได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การอัดแบบชนิดฉีด (injection molding)

การอัดแบบชนิดฉีด เป็นวิธีดั้งเดิมและใช้มากสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์อาหาร มีหลักการที่สำคัญคือ ให้ความร้อนแก่พลาสติกจนหลอมเหลวจากภายในกระบอกสูบใช้แรงอัดเข้าไปในแบบ ซึ่งมีการหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัวแล้วจึงเปิดแบบเพื่อนำชิ้นงานออก วิธีนี้จะให้บรรจุภัณฑ์ที่มีผนังสม่ำเสมอ มีรายละเอียดและขนาดที่แน่นอนอกจากนี้ยังเหมาะกับเรซินที่ขึ้นรูปด้วยความร้อนได้ไม่ดีนัก อาทิเช่น HDPE, PET และ PP รวมถึงบรรจุภัณฑ์ที่มีความลึกมากๆ เกินกว่าจะขึ้นรูปด้วยความร้อน

2.3.5 การอัดแบบชนิดเป่า (blow molding)

การอัดแบบชนิดเป่าเริ่มใช้กับ HDPE ในการผลิตขวดบรรจุสารทำความสะอาดภายในบ้านและขวดบรรจุนม ต่อมามีการใช้ผลิตขวด PET บรรจุเครื่องดื่มประเภทที่มีคาร์บอเนต วิธีนี้มักใช้ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ เช่น HDPE PVC, PET และ PP เป็นต้น

2.3.6 การขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming)

การขึ้นรูปด้วยความร้อน เป็นกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากแผ่นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนา โดยใช้ความร้อนและแรงอัดเข้าช่วย เมื่อแผ่นพลาสติกได้รับความร้อนและถูกอัดเข้าแม่พิมพ์และแข็งตัวเมื่อเย็น แรงอัดเกิดจากการใช้ความดันสุญญากาศหรือแม่แบบ ส่วนใหญ่วิธีนี้ใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหาร เช่น ถ้วยพลาสติกประเภทใช้แล้วทิ้งสำหรับใส่น้ำอัดลมและน้ำหวาน, กล่องพลาสติกบรรจุขนมต่างๆ, ถ้วยและถาดบรรจุผลิตภัณฑ์นม, ถาดบรรจุเนื้อสัตว์ ไข่ และภาชนะบรรจุอาหารจานด่วน(fast food) เป็นต้น

2.4 หน้าที่ของสารเติมแต่ง (additive) ในเนื้อพลาสติก (โอภาส ตั้งวัธนวิบูลย์, 2548)

2.4.1 Plasticizer ทำหน้าที่ลดแรงเสียดสี ระหว่างเม็ดพลาสติก barrel และ screw ทำให้การไหลของพลาสติกสะดวกยิ่งขึ้น

2.4.2 Antistatic agent ทำให้ประจุเกิดความสมดุลที่บริเวณผิวของบรรจุภัณฑ์หลังจากผ่านขั้นตอนการผลิต ทำให้ประจุบริเวณผิวมีค่าเป็นศูนย์ หรือใกล้เคียงศูนย์ ผลที่ตามมาคือทำให้ลดการเกาะติดของฝุ่นละอองกับบรรจุภัณฑ์

2.4.3 Blowing agent ทำหน้าที่ให้พลาสติกเป่าขึ้นรูปได้ง่าย เนื่องจากเป็นการเพิ่มการยึดเกาะของโมเลกุลของพลาสติก ทำให้เป่าออกมาเป็นแผ่นฟิล์มบางๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 Antioxidant ทำหน้าที่ลดการเกิดปฏิกริยา oxidation ระหว่างการแปรรูป เนื่องจากขั้นตอนการแปรรูปพลาสติกต้องใช้ความร้อนสูงประมาณ 180 - 220 °C ซึ่งอาจทำให้เนื้อพลาสติกเกิดการสลายตัวหรือสูญเสียคุณสมบัติบางอย่าง

2.4.5 Dye & Pigment ทำหน้าที่ให้สีสันในบรรจุภัณฑ์

2.4.6 Filler ทำหน้าที่ ลดต้นทุนในการผลิตและทำให้บรรจุภัณฑ์มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น บรรจุภัณฑ์มีลักษณะแข็งขึ้น แต่ในขณะเดียวกันต้องระมัดระวังการใช้ เนื่องจากถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์เสีย เช่น แคลเซี่ยม คาร์บอเนต

2.5 การเคลื่อนย้ายสารเคมี (migration) (Castle, 2007)

บรรจุภัณฑ์ หากมีการนำไปใช้อย่างถูกวิธี ผู้บริโภคก็จะได้รับประโยชน์จากการใช้งานบรรจุภัณฑ์ เช่น ช่วยปกป้องอาหารจากสิ่งแปลกปลอมภายนอก เช่น สัตว์เลี้ยง, กลิ่น, จุลินทรีย์, แสงและออกซิเจน อย่างไรก็ตาม อาจมีการแพร่กระจายของสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร หากมีการนำไปใช้ผิดวัตถุประสงค์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร ดังนั้น จึงควรให้ความสำคัญในการศึกษาและพิจารณามาตรการในการควบคุมเกี่ยวกับการแพร่กระจายของสารเคมีเหล่านั้น ยกตัวอย่างเช่น วัสดุหรือสารเติมแต่งที่ตั้งใจเติมลงไประหว่างกระบวนการผลิต, สภาวะในการขนส่ง, ขั้นตอนการเตรียมอาหารสำหรับการบริโภค รวมไปถึงเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรงระหว่างกระบวนการผลิต เช่น สายพานลำเลียง, ท่อส่งอาหารและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบอาหาร เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ต้องทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อการการใช้งานและเหมาะสมกับอาหารแต่ละประเภท ยกตัวอย่างเช่น อาหารประเภทกรดสามารถกัดกร่อนโลหะ, อาหารประเภทไขมันเร่งให้เกิดการชะของสารเคมีจากวัสดุพลาสติก ซึ่งในความเป็นจริงไม่มีวัสดุสัมผัสอาหารชนิดใดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร และมีความเป็นไปได้ว่าองค์ประกอบเคมีในอาหารส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์ลงสู่อาหารได้ ไม่ว่าภาชนะบรรจุจะทำจากโลหะ,แก้ว,เซรามิกและ/หรือพลาสติก สามารถเกิดแพร่กระจายภายในเวลาไม่กี่นาที เมื่ออาหารสัมผัสกับภาชนะบรรจุ สารเคมีจะถูกปลดปล่อยหรือถูกชะออกมาจากบรรจุภัณฑ์ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมีลงสู่อาหาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออาหาร ดังนี้

- ด้านความปลอดภัย สารเคมี/สารติมแต่งบางชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาจเป็นอันตรายเมื่อเกิดการแพร่กระจายและมีการสะสมในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านคุณภาพ การแพร่กระจายของสารเคมี อาจส่งผลกระทบต่อกลิ่นรสอาหาร ส่งผลให้อาหารมีรสชาติเปลี่ยนไป

2.5.1 การเคลื่อนย้ายของสารเคมีและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนย้าย (chemical migration and factors)

กลไกการเคลื่อนย้ายสารเคมี เกิดจากกระบวนการแพร่กระจายของสารจากบริเวณหนึ่งไปสู่บริเวณหนึ่ง โดยอาศัยหลังการจลนศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ ซึ่งอธิบายได้ว่าอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic) เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของกระบวนการอย่างมีทิศทาง โดยระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ทำให้พลังงานอิสระลดลง หลักการนี้บอกถึงทิศทางของการเกิดปฏิกริยา ส่วนจนศาสตร์ (kinetic) เกี่ยวข้องกับผลของเวลาที่มีต่อกระบวนการหรือปฏิกริยา หลักการนี้บอกถึงเวลาที่ต้องใช้ในการเกิดปฏิกริยา หรือบอกอัตราเร็วในการเกิดปฏิกริยานั่นเอง นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายหลักการแพร่กระจายได้ด้วยสมการของฟิกค์ (Fick's law) ได้กล่าวว่า "ฟลักซ์เชิงมวลต่อหน่วยพื้นที่ขององค์ประกอบหนึ่งเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของความเข้มข้น" โดยกระบวนการแพร่จะขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการสัมผัส (function of time), อุณหภูมิ (temperature), ความหนาของวัสดุ (thickness of the material), ปริมาณของสารเคมีในวัสดุ (amount of chemical in the material), ค่าสัมประสิทธิ์การละลาย (partition coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient)

2.5.1.1 Fick's first law เป็นการเคลื่อนย้ายสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (concentration gradient) ระหว่าง 2 phase

2.5.1.2 Fick's second law เป็นการเคลื่อนย้ายสารเคมีใน phase เดียวกันหรือมีการเคลื่อนย้ายภายในเนื้อบรรจุภัณฑ์ (Crosby, 1981)

2.5.2 ธรรมชาติของอาหาร (nature of the food)

2.5.2.1 การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม (incompatibility)

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ไม่เหมาะสมกับชนิดอาหาร อาจส่งผลเร่งให้เกิดปฏิกริยาปลดปล่อยสารเคมีออกมา เช่น เมื่อมีการบรรจุอาหารประเภทไขมันลงในบรรจุภัณฑ์ชนิดพลาสติก ทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างกัน ทำให้องค์ประกอบของพลาสติกเกิดการขยายตัว สารเคมีจึงถูกชะออกมาและปนเปื้อนลงสู่อาหาร นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์โลหะที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวด้านในด้วยสารเคลือบที่เหมาะสม เมื่อนำมาบรรจุอาหารประเภทกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างอาหารกับโลหะที่ใช้ทำกระป๋อง ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนและมีการแพร่กระจายของสารเคมี (โลหะหนัก) ลงสู่อาหาร

2.5.2.2 ความสามารถในการละลาย (solubility)

ธรรมชาติของอาหาร ส่งอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารเคมีที่ต่างกัน เพราะอาหารแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งกลุ่มอาหารออกเป็น 5 กลุ่ม คือ น้ำ, กรด, แอลกอฮอล์, ไขมันและอาหารแห้ง ซึ่งรายละเอียดในการจัดกลุ่มอาหารและชนิดสารเคมีที่เหมาะสมต่อการละลาย แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มอาหารและชนิดของสารเคมีที่เหมาะสมต่อการละลาย

ประเภทอาหาร	ชนิดสารเคมีที่ละลาย
อาหารประเภทกรด,น้ำดื่ม,เครื่องดื่มชนิดแอลกอฮอล์ต่ำ	สารประกอบชนิดมีขั้ว, เกลือ,โลหะต่างๆ
อาหารประเภทไขมัน, แอลกอฮอล์	สารประกอบชนิดไม่มีขั้ว, สารประกอบที่เข้ากันได้กับน้ำมัน/ไขมัน
อาหารแห้ง	สารเคมีที่มีมวลโมเลกุลต่ำ, สารประกอบที่ระเหยได้

ที่มา : Castle (2007)

2.5.3 อุณหภูมิที่ใช้สัมผัส

การแพร่กระจายของสารเคมี จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องและจะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณเมื่อบรรจุภัณฑ์นั้นสัมผัสกับช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันอย่างมาก เช่น การจัดเก็บในสภาวะเย็นจัด,การแช่เย็นและ/หรือการจัดเก็บที่อุณหภูมิปกติ, การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน, การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและ/หรือความร้อนจากการอบ/อุ่นอาหาร เป็นต้น

2.5.4 ระยะเวลาในการสัมผัส

บรรจุภัณฑ์ควรสัมผัสกับอาหารในระยะเวลาน้อยที่สุด เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกริยาระหว่างสารเคมีและองค์ประกอบในอาหาร ซึ่งสอดคล้องตามหลักจนศาสตร์ โดยอาหารแต่ละชนิดจะมีช่วงเวลาในการสัมผัสอาหารที่แตกต่างกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เวลา (นาที) เช่น อาหารพร้อมบริโภค
- เวลา (ชั่วโมง) เช่น อาหารประเภทเบอเกอรี่,แซนวิช
- เวลา (วัน) เช่น นมสด, เนื้อสัตว์, ผักและผลไม้
- เวลา (อาทิตย์) เช่น เนยสด, ชีส
- เวลา (เดือน/ปี) เช่น อาหารแช่เยือกแข็ง, อาหารแห้ง, อาหารกระป๋องและอาหารประเภทเครื่องดื่ม

2.5.5 การเคลื่อนย้ายสารเคมีภายในบรรจุภัณฑ์

การเคลื่อนย้ายสารเคมีภายในบรรจุภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของโมเลกุล, ปฏิกริยาภายในของวัสดุสัมผัสอาหาร และความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของวัสดุ เป็นต้น

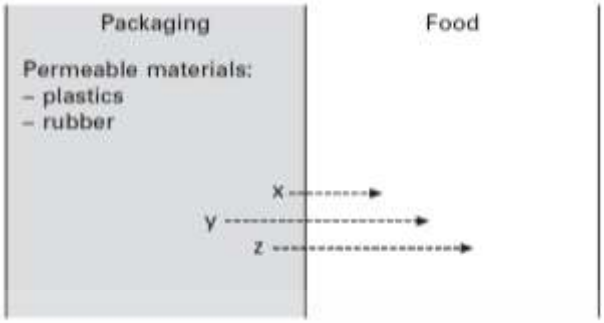
- วัสดุที่ไม่มีการซึมผ่าน (impermeable materials) ได้แก่ วัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทาน เช่น แก้ว, เซรามิก, โลหะ วัสดุประเภทนี้จะมีการเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น ทำให้ไม่สามารถเกิดการเคลื่อนย้ายสารจากภายในชั้นวัสดุ ดังนั้น การแพร่กระจายจึงเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณพื้นผิวสัมผัสเท่านั้น

ภาพที่ 2.8 การแพร่กระจายของวัสดุที่ไม่มีการซึมผ่าน

ที่มา : Castle (2007)

- วัสดุที่ยอมให้มีการซึมผ่าน (permeable materials) ได้แก่ วัสดุจำพวกพลาสติก, ยาง และอีลาสโตเมอร์ต่างๆ วัสดุประเภทนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้ทั้งจากพื้นผิววัสดุและจากภายในชั้นวัสดุเกิดขึ้น โดยความสามารถในการแพร่กระจายขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุ,ความหนาแน่น,ลักษณะการฟอร์มตัวของวัสดุ เป็นต้น

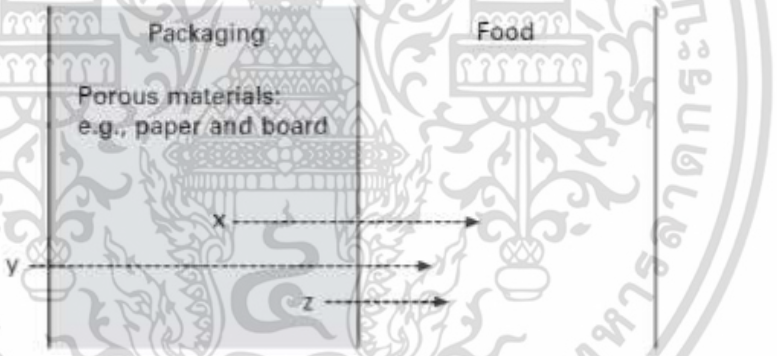
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 การแพร่กระจายของวัสดุที่ยอมให้มีการซึมผ่าน

ที่มา : Castle (2007)

- วัสดุที่มีรูพรุน (porous materials) ได้แก่ วัสดุจำพวกกระดาษ,ลัง ด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้สารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ สามารถเคลื่อนย้ายเข้าออกได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.10 การแพร่กระจายของวัสดุที่มีรูพรุน

ที่มา : Castle (2007)

2.5.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายสารเคมี

2.5.6.1 ปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการแพร่กระจายที่เพิ่มขึ้น

- ระยะเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายที่เพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เร่งให้เกิดการแพร่กระจายได้เร็วขึ้น
- ปริมาณสารเคมีในเนื้อวัสดุ ยิ่งมีปริมาณสูง ยิ่งส่งผลต่อการแพร่กระจาย
- พื้นผิวสัมผัสมาก เกิดการแพร่กระจายได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชนิด/ประเภทอาหาร ส่งผลต่อการแพร่กระจายที่แตกต่างกัน

2.5.6.2 ปัจจัยที่ช่วยลดการแพร่กระจาย

- เลือกใช้สารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูงๆในการผลิตบรรจุภัณฑ์
- บรรจุเฉพาะอาหารแห้ง หรือหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับภาชนะโดยตรง
- เลือกใช้วัสดุที่มีอัตราการแพร่กระจายต่ำ

2.6 กฎหมายอ้างอิง

2.6.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 295

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่295) พ.ศ.2548 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ข้อ 3(2) ภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติกต้องไม่มีสารอื่นออกมาปนเปื้อนกับอาหารในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และข้อ 5 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพหรือมาตรฐานการแพร่กระจายของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติกให้วิเคราะห์โดยวิธีตามที่กำหนดของคณะกรรมการอาหารและยา

2.6.2 ข้อกำหนด EC 1935/2004(2004)

เป็นกฎหมายหลักที่ใช้เป็นกรอบดำเนินการและกำกับดูแลด้านวัสดุสัมผัสอาหารทั้งหมด มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหารในระดับที่เป็นอันตรายตอสุขภาพมนุษย์ หรือมีผลทำให้ส่วนประกอบอาหารเปลี่ยนแปลง หรือทำลายรสชาติและกลิ่นของอาหาร สาระสำคัญดังนี้

- วัสดุสัมผัสอาหารที่ผ่านการประเมินความปลอดภัยและได้รับการรับรองว่ามีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค จะได้รับอนุญาตให้ติดฉลากที่ผลิตภัณฑ์พร้อมระบุคำว่า “for food contact” และมีตราสัญลักษณ์แก้วและส้อมคู่กันหรือใช้สัญลักษณ์อื่นๆ ที่บงชี้ได้ชัดเจนว่าเป็นวัสดุและบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้สัมผัสอาหาร

ภาพที่ 2.11 สัญลักษณ์วัสดุที่ใช้สัมผัสอาหาร

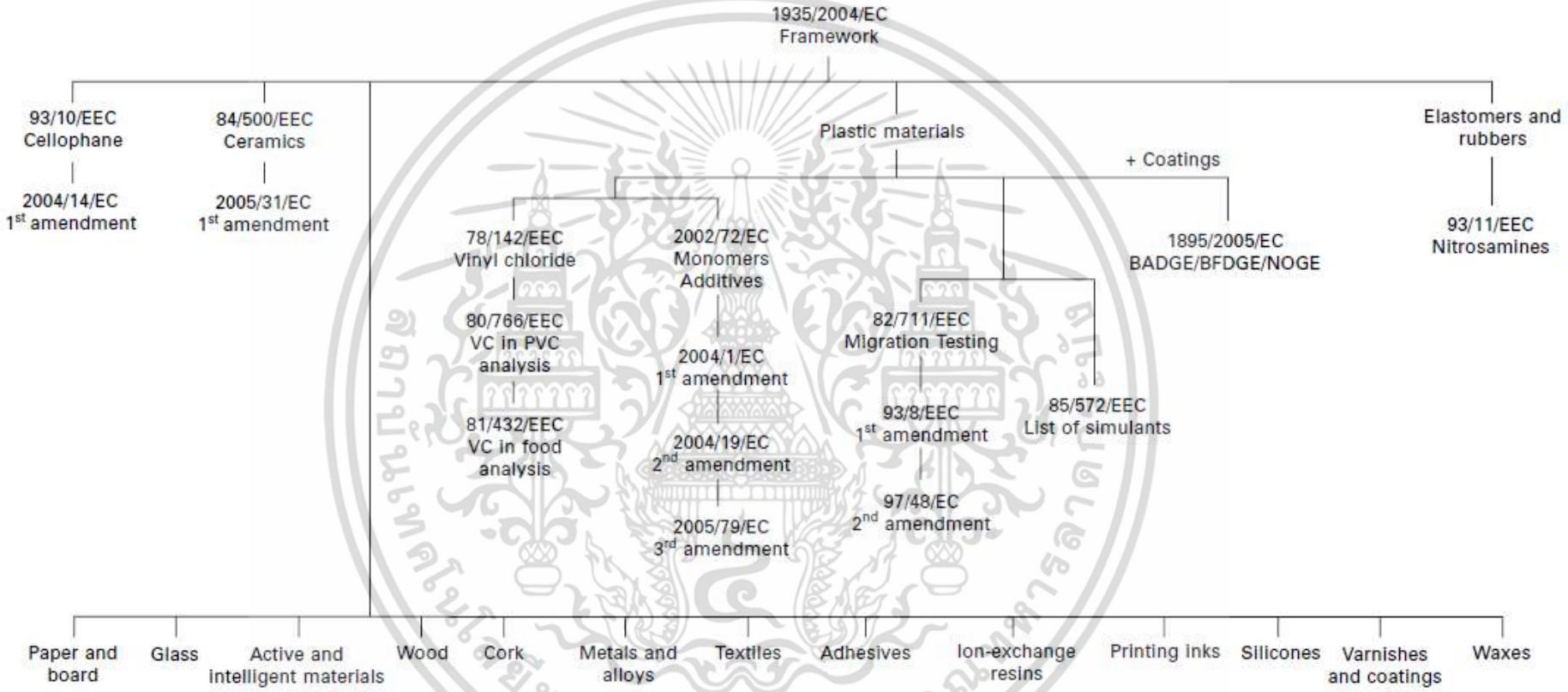
ที่มา : EC 1935/2004(2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควบคุมปริมาณสารที่ใช้ในวัสดุสัมผัสอาหาร โดยครอบคลุมวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ภาชนะบรรจุอาหาร, เครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น ช้อน มีด เขียง ฯลฯ และเครื่องจักรและวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร
- กำหนดกระบวนกการขออนุญาตใช้สารเคมีในวัสดุที่สัมผัสอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของ Regulation (EC) No. 1935/2004(2004) วัสดุสัมผัสอาหาร



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของ Regulation (EC) No. 1935/2004 (2004) วัสดุสัมผัสอาหาร

ที่มา : กลุ่มมาตรฐานการ TBT สำนักมาตรฐานทางการค้า (2555)

2.6.3 COMMISSION REGULATION (EU) No 10/2011 (2011)

สาระสำคัญสำหรับข้อกำหนดทั่วไปหรือข้อกำหนดเฉพาะ(General requirements, restrictions and specifications) ของสารต่างๆ ที่อนุญาตให้ใช้ผลิตพลาสติก ได้แก่

• Specific migration limits : SML ต้องไม่เกิน 60 mg/kg

• Overall migration limits : OML ต้องไม่เกิน 10 mg/dm^2

ตารางที่ 2.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบการแพร่กระจายโดยรวมสำหรับอาหารแต่ละประเภท

Column 1	**Column 2**	**Column 3**	
Test number	**Contact time in days [d] or hours [h] at Contact temperature in [°C]**	**Intended food contact conditions**	
OM1	10 d at 20 °C	Any food contact at frozen and refrigerated conditions.	
OM2	10 d at 40 °C	Any long term storage at room temperature or below, including heating up to 70 °C for up to 2 hours, or heating up to 100 °C for up to 15 minutes.	
OM3	2 h at 70 °C	Any contact conditions that include heating up to 70 °C for up to 2 hours, or up to 100 °C for up to 15 minutes, which are not followed by long term room or refrigerated temperature storage.	
OM4	1 h at 100 °C	High temperature applications for all food simulants at temperature up to 100 °C.	
OM5	2 h at 100 °C or at reflux or alternatively 1 h at 121 °C	High temperature applications up to 121 °C.	
OM6	4 h at 100 °C or at reflux	Any food contact conditions with food simulants A, B or °C, at temperature exceeding 40 °C.	
OM7	2 h at 175 °C	High temperature applications with fatty foods exceeding the conditions of OM5.	
Test number	**Test conditions**	**Intended food contact conditions**	**Covers the intended food contact conditions described in**
OM8	Food simulant E for 2 hours at 175 °C and food simulant D2 for 2 hours at 100 °C	High temperature applications only	OM1, OM3, OM4, OM5, and OM6
OM 9	Food simulant E for 2 hours at 175 °C and food simulant D2 for 10 days at 40 °C	High temperature applications including long term storage at room temperature	OM1, OM2, OM3, OM4, OM5 and OM6

ที่มา : EU regulation 10/2011 (2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ข้อกำหนด Commission directive 2005/79/EC (2005)

ข้อ 1) นิยาม พลาสติก หมายความว่า สารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้จากการนำสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและน้ำหนักโมเลกุลต่ำไปผ่านกระบวนการ polymerization polycondensation polyaddition หรือกระบวนการอื่นๆ ที่คล้ายกันหรือนำสารที่ได้จากธรรมชาติที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ที่อาจมีการเติมสารอื่นเข้าไปด้วย แล้วได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่

ข้อ 4) วัสดุและสิ่งที่เป็นพลาสติก ต้องไม่แพร่กระจายสารที่เป็นส่วนประกอบ ผ่านเข้าสู่อาหารในปริมาณที่มากเกินกว่า 10 mg/dm^2

2.6.5 มาตรฐานวิเคราะห์ British standard EN 1186-1 : 2002 (2002)

ข้อแนะนำเกี่ยวกับการสภาวะในการทดสอบการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์พลาสติก

2.6.6 มาตรฐานวิเคราะห์ British standard EN 1186-3 : 2002 (2002)

ข้อแนะนำเกี่ยวกับการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์พลาสติก

2.7 สารประกอบในพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (ศุลีพร แสงกระจ่างและคณะ, 2556)

2.7.1 สารพาทาเลต (phthalate) เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ที่เติมลงไปในการกระบวนการผลิตพลาสติก เพื่อทำให้พลาสติกคุณสมบัติอ่อนนุ่มและสามารถยืดหยุ่นได้ดี สารนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นสารที่มีกลไกการทำงานคล้ายฮอร์โมน จึงไปรบกวนการทำงานของฮอร์โมนตามธรรมชาติ (endocrine disruption) จากการศึกษาในสัตว์ทดลองทำให้ทราบผลที่แน่ชัดว่าสารพาทาเลต ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงต่อระดับฮอร์โมนและการคลอดลูกในหนูทดลองผิดปกติ แต่การศึกษาในคนยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน IARC จึงจัดให้ phthalate เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B (possible carcinogen) คือ สารที่อาจทำให้เกิดมะเร็งในคนได้

สารพาทาเลต เป็นสารที่หลุดออกจากพลาสติกได้ง่าย เนื่องจากการจับตัวของสารนี้กับพลาสติกไม่ได้เป็นแบบ covalent bond โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลาสติกที่สัมผัสความร้อนและผ่านการใช้งานมานาน สหภาพยุโรปและอเมริกาจึงได้มีการออกกฎห้ามใช้ของเล่นเด็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีส่วนผสมของสารพาทาเลต โดยเฉพาะชนิดที่เอาเข้าปากได้ นอกจากนี้การใช้ฟิล์มถนอมอาหารปิดอาหารเพื่อใส่ในไมโครเวฟ อาจทำให้สารพาทาเลตละลายและปนเปื้อนสู่อาหาร

2.7.2 สารไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ด polyvinylchloride resin หรือ PVC resin ที่ความดันบรรยากาศปกติ จะเป็นแก๊สไม่มีสี แต่ส่วนใหญ่จะบรรจุอยู่ในรูปแก๊สที่อัดอยู่ในรูปของเหลว นิยมใช้ทำท่อน้ำ สายไฟฟ้า ของเล่นชนิดเป่าลม จากรายงาน IARC พบว่าสารไวนิลคลอไรด์ เป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งตับชนิด angiosarcoma จึงจัดให้สารไวนิลคลอไรด์ เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1

2.7.3 สารสไตรีน (styrene) เป็นสารตั้งต้นของการผลิตพลาสติกชนิดพอลีสไตรีน ที่เรารู้จักกันดี คือ กล่องโฟม สารสไตรีนเป็นสารอันตรายส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและระบบเม็ดเลือด อีกทั้งยังมีผลต่อ DNA และโครโมโซม จากรายงานการวิจัย พบว่า สารนี้ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปยืนยันว่าสารนี้เป็นสารที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้น IARC จึงจัดให้ Styrene เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B

เนื่องด้วยสารสไตรีน เป็นสารที่ละลายในน้ำมันและแอลกอฮอล์ อีกทั้งทำปฏิกริยากับความร้อน ดังนั้น การใช้กล่องโฟมบรรจุอาหารโดยเฉพาะอาหารประเภททอดร้อนๆ เช่น ข้าวกระเพราะไข่ดาว หอยทอด หรือแม้แต่แก้วโฟมที่บรรจุเครื่องดื่มประเภทร้อน เป็นต้น

2.7.4 สารบิสฟีนอล เอ (bisphenol A) ใช้ในการผลิตพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต (polycarbonate) ซึ่งใช้ทำขวดนมเด็ก ขวดน้ำดื่มแบบใส สารบิสฟีนอล เอ เป็นสารที่ทำหน้าที่คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็ง เต้านมและมะเร็งต่อมลูกหมาก อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อยืนยันชัดเจนว่าสารนี้ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคน IARC จึงจัดให้สารบิสฟีนอล เอ เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B

จากคุณสมบัติของพลาสติกที่มีลักษณะใสและคงทน ทำให้มีผู้นิยมนำไปทำขวดน้ำชนิดใช้ซ้ำ (reuse) และยังนิยมนำไปเคลือบบนผิวในของกระป๋องที่ใช้บรรจุอาหารหรือเครื่องดื่ม เพื่อไม่ให้อาหารหรือเครื่องดื่มนั้นติดกระป๋อง อย่างไรก็ตามสารบิสฟีนอล เอ สามารถละลายออกมามาก เมื่อสัมผัสกับความร้อนหรือสัมผัสกับสารที่เป็นกรด

2.7.5 สารฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) อาจปนเปื้อนสู่อาหารจากการใช้ภาชนะที่ทำจากเมลามิน (melamine) ไม่ถูกวิธี เช่น นำไปใช้กับไมโครเวฟหรือเตาอบอุณหภูมิสูง โดยสารฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งจะปรากฏอยู่ในรูปของสารละลายและในรูปแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งอุณหภูมิที่ปลอดภัยในการใช้เมลามีนจะอยู่ที่ระดับ 70-80 °C จากรายงานของ IARC ระบุว่าสารฟอร์มาลดีไฮด์ จัดเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 Hydrogen peroxide (H_2O_2) เป็นสารที่นำมาใช้ในการทำความสะอาดบรรจุภัณฑ์ชนิด polypropylene (PP) และ polyethylene (PE) ซึ่งการใช้ H_2O_2 อาจส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารเหล่านั้นออกมาจากบรรจุภัณฑ์ชนิด PP และ PE (Cai, 2013)

2.8 หลักการทำงานของไมโครเวฟ

2.8.1 หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟ

การประดิษฐ์เครื่องไมโครเวฟ เกิดขึ้นช่วงสงครามโลกครั้งที่สองนั้น มีการประดิษฐ์หลอดสุญญากาศ (vacuum tubes) ที่เรียกว่าแมกนีตรอน (magnetrons) ที่สามารถผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้กำลังหลายกิโลวัตต์ (ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 1 - 30 GHz , ความยาวคลื่นระหว่าง 30–0.3 เซนติเมตร) และถูกเรียกว่า “ไมโครเวฟ” แต่ในปัจจุบันคลื่นไมโครเวฟมีความถี่ระหว่าง 300 MHz – 300 GHz ในปี ค.ศ. 1945 ได้มีการจดสิทธิบัตรครั้งแรกในการใช้พลังงานไมโครเวฟเพื่อทำให้เกิดความร้อนแก่อาหาร โดยบริษัท Raytheon corporation และมีการประดิษฐ์เตาไมโครเวฟขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1947 โดย Percy Spencer ระบบของเตาไมโครเวฟ จะประกอบไปด้วยแมกนีตรอนที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งแมกนีตรอนที่ใช้ทั่วไปจะมีความต่างศักย์ประมาณ 4,000โวลท์ และใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) เพื่อเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ให้ได้ตามที่ต้องการ แมกนีตรอนส่วนใหญ่ถูกผลิตเพื่อให้ใช้กับความต่างศักย์ที่คงที่ (constant voltage) ดังนั้น จึงต้องมีวงจรของไดโอด (diode) และตัวเก็บประจุ (capacitor) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนความต่างศักย์สลับมาเป็นความต่างศักย์คงที่ (Buffler, 1993)

2.8.2 กลไกการเกิดความร้อนเนื่องจากไมโครเวฟ

จากการที่วัตถุดูดซับพลังงานไมโครเวฟเนื่องจากการมีคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในวัตถุ ซึ่ง Singh และ Heldman (2001) รายงานว่าการเกิดความร้อนภายในวัตถุที่สัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟนั้นมีสาเหตุมาจากกลไก 2 ประการ ได้แก่

- การเคลื่อนที่ของอิออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic polarization)
- การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.1 การเคลื่อนที่ของอิออน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic polarization)

ภายในเตาไมโครเวฟ (microwave oven) จะมีอุปกรณ์ที่ เรียกว่า แมกนีตรอน (magnetron) ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสนามไฟฟ้าจะถูกสร้างออกมาในลักษณะ 3 ทิศทาง คือ บนสู่ล่าง ข้างสู่ข้างและหน้าสู่หลังเมื่ออนุภาคที่มีประจุในอาหารสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟ จะทำให้เกิดการสั่นและเคลื่อนที่จึงเกิดการชน (collisions) หรือเสียดสีกับอนุภาค ที่อยู่ข้างเคียง เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในอาหาร ซึ่งโดยทั่วไปในอาหารจะมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนมีปริมาณน้ำและเกลือที่ละลายได้แตกต่างกัน เช่น โซเดียม-โปตัสเซียม หรือแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะแตกตัวให้อิออนบวก(cations) และอิออนลบ(anions) ดังนั้นอนุภาคที่มีประจุจึงสามารถที่จะมีอันตรกิริยา(interactions) กับสนามไฟฟ้าใดๆ รวมทั้งสนามไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นในเตาไมโครเวฟเช่นเดียวกัน

2.8.2.2 การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation)

ในอาหารประกอบด้วยน้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน น้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (polar molecule) ซึ่งในสภาพปกติจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (random oriented) เมื่อผ่านสนามไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไป ประจุบวกและลบในโมเลกุลจะหมุนตัวเพื่อเปลี่ยนทิศทางตามทิศของสนามไฟฟ้าสลับนั้นๆ โดยการหมุนตัวกลับไปมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามความถี่ของไมโครเวฟ คือ 915 หรือ 2,450พันล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดความร้อนขึ้นและกระจายไปยังโมเลกุลข้างเคียง เนื่องมาจากการชนระหว่างโมเลกุลของน้ำในอาหาร ในส่วนของโมเลกุลที่อยู่ในสถานะของแข็ง เช่น น้ำแข็งนั้นโมเลกุลของน้ำจะถูกยึดติดกับโครงสร้างที่มีลักษณะเฉพาะของผลึกและไม่สามารถหมุนตัวเองมากพอที่จะชนกับโมเลกุลอื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียงเพื่อทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้ และในส่วนของโมเลกุลที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือไอ จะมีโมเลกุลข้างเคียงจำนวนน้อยมากที่จะชนกันจนสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้เช่นเดียวกัน โดยอันตรกิริยาชนิดนี้มีความสำคัญที่สุดในอาหาร ยกเว้นในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงมาก เช่น แฮม เป็นต้น

2.8.3 ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ 3 ประการ คือ

2.8.3.1 การสะท้อนกลับ (reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้จะสะท้อนกลับทั้งหมด ดังนั้น อาหารที่ใส่ ในภาชนะที่เป็นโลหะ ก็จะไม่สุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.2 การส่งผ่าน (transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ ไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเตาอบไมโครเวฟ

2.8.3.3 การดูดซึม (absorption) ปกติอาหารโดยทั่วๆไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหารซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟ ทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็วและอีกนัยหนึ่ง เมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีไม่สะสมในอาหาร

การเกิดความร้อนในอาหารบริเวณจุดที่สัมผัสกับไมโครเวฟ เนื่องจากกลไกทั้งสองแบบดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ความร้อนจะกระจายออกไปยังส่วนอื่นๆ เนื่องจากผลของการเดือดของน้ำโดยการนำความร้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (สายสนม, 2543)

ปัญหาที่สำคัญในการใช้ไมโครเวฟ คือ การที่อาหารแต่ละจุดถูกทำให้ร้อนไม่ทั่วถึง ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากเตาไมโครเวฟและมีความเกี่ยวข้องกับความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของเตาไมโครเวฟ นอกจากนั้นการจัดเรียงของอาหารภายในไมโครเวฟและคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร จะมีผลต่อความสม่ำเสมอของความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อไมโครเวฟถูกปล่อยให้เข้ามาในช่องใส่อาหาร (cavity) จะสะท้อนที่ผนังโลหะ การสะท้อนของโลหะเกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกันกับผนังโลหะถูกทำให้ลัดวงจร (short circuit) โดยโลหะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้น ทำให้สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์

ในส่วนของใบพัด (stirrer) ทำมาจากโลหะ เป็นใบพัดที่หมุนอยู่ในช่องใส่อาหาร โดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กหรือใช้แรงลมที่ได้จากระบบระบายความร้อนให้แก่แมกนีตรอนและพาความชื้นออกไปด้านนอกเตาไมโครเวฟ นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นๆ ในการกระจายความร้อน เช่น การใช้จานแก้วหรือเซรามิกที่สามารถหมุนและถอดออกได้ ในระบบนี้คลื่นไมโครเวฟจะสัมผัสกับอาหารที่ทำให้หมุนบนจาน ทำให้จุดร้อนและเย็นได้รับพลังงานโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน เตาไมโครเวฟอาจใช้ระบบใดระบบหนึ่งหรือใช้ควบคู่ทั้งสองระบบ เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความร้อนแก่อาหารให้ดียิ่งขึ้น (การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร, 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

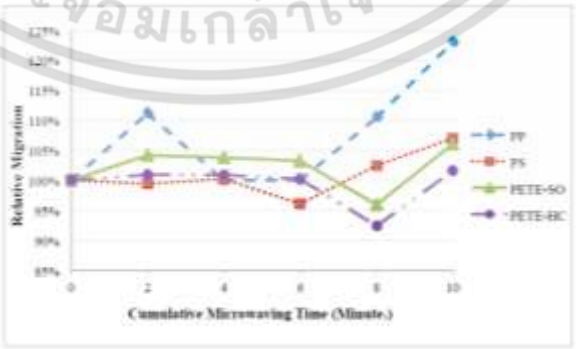
2.9.1 ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์อาหารในระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2.9.2 เพื่อเป็นข้อมูลความปลอดภัยในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน สำหรับใช้กับไมโครเวฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มผู้บริโภคที่นิยมรับประทานอาหารชนิด ready to eat

2.9.3 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานของรัฐหรือองค์กรต่างๆ ในการกำหนดมาตรการหรือขีดจำกัดในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับไมโครเวฟต่อไป

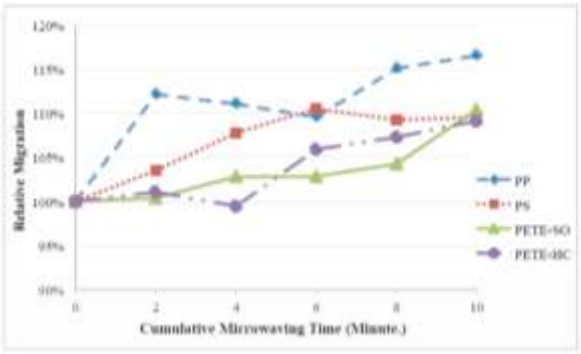
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีรายงานการศึกษาผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อการแพร่กระจายของสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP), พอลิสไตรีน (polystyrene ; PS) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate ; PET) ลงสู่ตัวแทนอาหาร (น้ำมันพืช, กรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และน้ำมันมะกอก) โดยทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (540 วัตต์) เป็นเวลา 2, 4, 6, 8 และ10 นาที พบว่า ที่เวลา 2, 8 และ10 นาที บรรจุภัณฑ์ชนิด PP เกิดการแพร่กระจายโดยรวมสูงที่สุดในตัวแทนอาหารประเภทน้ำมันพืช ส่วนตัวแทนอาหารประเภทกรดอะซีติก 3% พบการแพร่กระจายโดยรวมสูงที่สุดที่เวลา 2, 4, 8 และ 10 นาที ตามลำดับ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ประเภท PS, PET เกิดการแพร่กระจายโดยรวมสูงสุดในตัวแทนอาหารประเภทกรดอะซีติก 3% และเอทานอล 15% ตามลำดับ โดยแนวโน้มของการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลานาน ซึ่งข้อกำหนด EU Regulation 10/2011 (2011) ได้กำหนดให้วัสดุและสิ่งของที่เป็นพลาสติก ต้องไม่แพร่กระจายสารที่เป็นส่วนประกอบผ่านเข้าสู่อาหารในปริมาณที่มากกว่า 10 mg/dm^2 (Cai, 2014)



ภาพที่ 2.13 การแพร่กระจายโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ PPในตัวแทนอาหารประเภทน้ำมันพืช
ที่มา : Cai (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 การแพร่กระจายโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ PPในตัวแทนอาหารประเภทกรดอะซีติก
ที่มา : Cai (2014)

จากการศึกษาการเกิด Overall migration ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทพอลิสไตรีน (polystyrene ; PS), พอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate ; PET) ที่ใช้สำหรับบรรจุเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ น้ำอัดลมและน้ำดื่ม ซึ่งทดสอบโดยวิธีการแช่ในตัวแทนอาหาร (total immersion) พบว่า ที่สภาวะ 70 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบค่าการแพร่กระจายโดยรวมสูงสุด และที่สภาวะ 40 ºC เป็นเวลา 10 วัน ให้ค่าการแพร่กระจายโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยตามประกาศของ EU Directive 2002/72/EC (2002) และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 111 พ.ศ. 2531 ได้กำหนดค่าการแพร่กระจายโดยรวมไม่เกิน 10 mg/dm^2 ซึ่งผลการศึกษาการแพร่กระจายโดยรวมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด PS, PP ที่สภาวะ 40 ºC เป็นเวลา 10 วันให้ค่าที่ 4.44 - 5.28 mg/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ PET อย่างมีนัยสาคัญ (โอภาส ตั้งวัธนวิบูลย์, 2548)

มีรายงานการศึกษาปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารเคมีและสารตกค้างก่อภูมิแพ้บางชนิดจากผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร จำนวน 11 ตัวอย่างโดยวิธีการแช่ตัวอย่างในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีตริก 3% และเอทานอล 10% โดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างที่เหลือจากการระเหยอาหารจำลองตามวิธีมาตรฐาน EN 1186-3 ผลการวิเคราะห์พบว่า ถุงมือยางทั้งหมดในตัวแทนอาหารทั้ง 3 ชนิดมีค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของสารก่อภูมิแพ้ที่เคลื่อนย้ายออกจากถุงมือยางที่ใช้ในการสัมผัสอาหารจำนวน 11 ตัวอย่างในตัวแทนอาหารกรดอะซีตริก 3% โดยทำการวิเคราะห์สารก่อภูมิแพ้จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ Zinc dithiocarbamate (ZDEC), Mercaptpbenzothiazole (MBT) และ Diphenyl guanidine (DPG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ High pressure chromatography (HPLC) พบว่าถุงมือยางไนไตร์สังเคราะห์ จำนวน 1 ตัวอย่าง มีสารตกค้าง ZDEC เท่ากับ 20.8 ppm, พบสารตกค้าง MBT ในถุงมือยางไนไตร์สังเคราะห์แบบหนา 70.3 ppm, ถุงมือยางสังเคราะห์ไนไตร์แบบบาง 31.9 ppm และถุงมือยางธรรมชาติแบบหนา จำนวน 2 ตัวอย่าง มีสารตกค้าง 2.2 ppm และ 50.9 ppm ตามลำดับ และตรวจไม่พบสารตกค้างก่อภูมิแพ้ของสาร DPG ในถุงมือยางที่ศึกษา (อังคณา พูลสวัสดิ์, 2560)

มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการแพร่กระจายของสารในกลุ่มพาทาเลต (phthalates) จากบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) โดยทำการทดสอบแช่บรรจุภัณฑ์ในตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรดต่างกัน (pH 3, 5, 7 และ 9) ทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (1200 W) เป็นเวลา 0, 3 และ 5 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารปนเปื้อนด้วยวิธี gas chromatography-mass chromatography (GC-MS) พบว่าสาร di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) และdi-n-butyl phthalate (DBP) เกิดการแพร่กระจายสูงสุด (159.8 μg และ 104.9 μg ตามลำดับ) ในตัวแทนอาหารที่มีความเป็นกรดสูง (pH = 3) โดยอัตราการแพร่กระจายจะแปรผันตามระยะเวลาในการให้ความร้อน (Fang, 2017)

มีรายงานการศึกษาการแพร่กระจายของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) จำนวน 10 ตัวอย่างโดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 บรรจุภัณฑ์ใหม่และกลุ่มที่ 2 คือ บรรจุภัณฑ์ที่มีการบรรจุอาหารไว้เป็นเวลานาน พบว่าระหว่างทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (กำลัง 210, 350 และ 700 W) เป็นระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 นาที พบการแพร่กระจายของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์กลุ่มที่ 2 มากกว่าในกลุ่ม 1 เนื่องจากเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้สารเคมีในบรรจุภัณฑ์มีโอกาสแพร่กระจายและปนเปื้อนลงสู่อาหารได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลของการให้ความร้อนสูงเป็นระยะเวลานานจะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมีมากขึ้น (Miriany A.M., et. al., 2014)

มีรายงานการสำรวจปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์(plasticizer) ในกลุ่มพทาเลท (phthalates) ในบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วประเภทเครื่องปรุงรสต่างๆได้แก่ น้ำพริกเผา เครื่องแกง น้ำซอสผัดไทย ของประเทศไทยที่ส่งไปจำหน่ายยังสหภาพยุโรป จำนวน 65 ตัวอย่าง พบปริมาณสาร di-isononyl phthalate (DINP) เกินเกณฑ์กำหนด คือ 9 mg/kg จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยปริมาณสารดังกล่าวอยู่ในช่วง 637-788 mg/kg (ศุลีพร แสงกระจ่างและคณะ, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรายงานกาศึกษาผลของสภาวะเก็บตัวอย่างต่อการชะออกมาของ DEHP ในขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate ; PET) และขวดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene ; HDPE) ที่บรรจุน้ำกลั่นปราศจากอิออนและเก็บไว้ที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ ตากแดดไว้กลางแจ้ง (อุณหภูมิเฉลี่ย 29.17 ± 1.77 °C) เก็บไว้ในอาคาร (อุณหภูมิเฉลี่ย 26.13 ± 1.28 °C) และเก็บไว้ในตู้เย็น (อุณหภูมิ 4 °C) โดยทำการเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า น้ำที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมีค่า DEHP สูงกว่าน้ำที่ตากแดดไว้กลางแจ้ง ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารชนิดนี้ไปบางส่วนเมื่อสัมผัสกับแสงแดดและน้ำที่เก็บไว้ในตู้เย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่า ที่ระดับ pH = 2 และ pH = 9 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในน้ำสูงกว่าที่ pH = 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดด่างนั้น DEHP และสายโซ่พอลิเมอร์เกิดปฏิริยาไฮโดรไลซิสได้บางส่วน ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณ DEHP ในเนื้อพลาสติก พบว่าในเนื้อขวด PET มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าในเนื้อของขวด HDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (อรทัย พุมดวง, 2554)

มีรายงานการศึกษาการสกัดหาปริมาณสารที่มีแนวโน้มเคลื่อนย้ายออกมาสู่อาหารจากถุงบรรจุอาหารร้อนชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene ; HDPE) จากผู้ผลิต 2 รายในประเทศ, ถุงบรรจุอาหารเย็นชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene ; LDPE) จากผู้ผลิต 2 รายในประเทศ, ฟิล์มยืดผลิตในประเทศ 1 ตัวอย่าง และฟิล์มยืดจากสหรัฐอเมริกา จำนวน 1 ตัวอย่าง โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการสกัด 2 วิธี คือ rapid extraction test และultrasonic extraction พบว่าถุง HDPE ทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าการแพร่กระจายโดยรวม (overall migration ; OM) อยู่ในช่วง 0.89–1.54 mg/dm^2 ซึ่งต่ำกว่าค่า OM ที่สหภาพยุโรปกำหนดไว้ (ไม่เกิน 10 mg/dm^2) สำหรับถุง LDPE ทั้ง 2 ตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธี rapid extraction มีค่า OM อยู่ในช่วง 8.87– 4.13 mg/dm^2 และสกัดด้วยวิธี ultrasonic extraction มีค่า OM อยู่ในช่วง 14.26–23.09 mg/dm^2 ซึ่งสูงกว่าค่าที่สหภาพยุโรปกำหนดไว้ ส่วนฟิล์มยืดห่ออาหารผลิตในประเทศมีค่า OM อยู่ในช่วง 38.53 – 41.76 mg/dm^2 ซึ่งสูงกว่าค่าที่สหภาพยุโรปกำหนดไว้มาก ในขณะที่ฟิล์มยืดจากสหรัฐอเมริกา มีค่า OM อยู่ในช่วง 1.76–1.99 mg/dm^2 เท่านั้น และมีค่าต่ำกว่าค่าที่สหภาพยุโรปกำหนด (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินวิจัย

3.1 เครื่องมือ /อุปกรณ์ (Apparatus)

3.1.1 เตาไมโครเวฟ (Microwave oven) กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ (SAMSUNG ME711K)

3.1.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (MEMMERT)

3.1.3 ตู้ดูดควัน (Hood)

3.1.4 ตู้เย็น (Refrigerator)

3.1.5 เตาไฟฟ้า (Hot Plate) (LabTech, Korea)

3.1.6 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.1.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบพกพา (Data Locker)

3.1.8 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.9 เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.0001 g (Sartorius, Germany)

3.1.10 ไม้บรรทัด ความละเอียด 0.1 mm

3.1.11 อุปกรณ์สาหรับตัดตัวอย่าง Die cut ขนาด 2.5 *2.5 cm

3.1.12 เวอร์เนีย สำหรับวัดความหนา ความละเอียด 0.1 mm

3.1.13 ถ้วยสแตนเลส สำหรับระเหยสาร

3.1.14 กระบอกตวงขนาด 100 ml (Measuring cylinder)

3.1.15 ขวดแก้วปากกว้าง สำหรับสกัดตัวอย่าง

3.1.16 คีมคีบ (Thong)

3.1.17 อลูมิเนียมฟอยด์ (Aluminium foil)

3.1.18 ขวดวัดปริมาตร (Volume metric flask)

3.1.19 ปิเปต (Pipette)

3.1.20 แท่งแก้ว (Stirring rod)

3.1.21 หลอดทดลอง (Test tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมีและตัวอย่างสาหรับทดสอบ (Reagents) ; อ้างอิงตามมาตรฐาน EU 10/2011

3.2.1 Food simulants A : distillate water

ใช้เป็นตัวแทนอาหารที่เป็นกลาง (pH > 4.5)

3.2.2 Food simulants B : 3 % acetic acid (v/v) in aqueous solution (Merck, Germany)

ใช้เป็นตัวแทนอาหารที่เป็นกรด (pH ≤ 4.5)

3.2.3 Food simulants C : 15 % ethanol (v/v) in aqueous solution (Merck, Germany)

ใช้เป็นตัวแทนอาหารที่มีแอลกอฮอล์

3.2.4 Food simulants D : n-heptane (Univar, Australia)

ใช้เป็นตัวแทนอาหารที่มีไขมัน/น้ำมัน

3.3 ตัวอย่างในการทำลอง จำนวน 4 ตัวอย่าง

3.3.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP)

3.3.1.1 ตัวอย่าง PP container สีดำ ความหนา 0.538 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ก

ลักษณะปรากฏ : แข็ง เปราะ ไม่โปร่งแสง แต่มีความมันวาว

3.3.1.2 ตัวอย่าง PP container สีดำ ความหนา 0.554 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ข

ลักษณะปรากฏ : เหนียว ยืดหยุ่น โปร่งแสง มีสีขาวขุ่นเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 ตัวอย่าง PP container สีดำ ความหนา 0.530 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ค
ลักษณะปรากฏ : เหนียว ยืดหยุ่น ไม่โปร่งแสง ไม่มันวาว

3.3.1.4 ตัวอย่าง PP container สีขาว ความหนา 0.459 มิลลิเมตร ยี่ห้อ ง
ลักษณะปรากฏ : เหนียว ยืดหยุ่นเล็กน้อย ไม่โปร่งแสง ไม่มันวาว

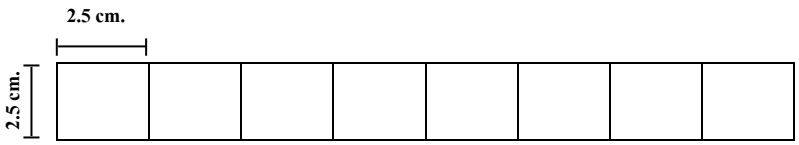
3.4 การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างชิ้นพลาสติก สำหรับทดสอบหาปริมาการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี (overall migration ; OM) ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับไมโครเวฟชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) ดังนี้

3.4.2 ตัดบรรจุภัณฑ์พลาสติกเฉพาะบริเวณที่มีผิวเรียบ ให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจตุรัส โดยมีความละเอียด 1.0 dm^2 ซึ่งในการทดสอบหาการแพร่กระจายโดยรวม (overall migration; OM) โดยวิธีการแช่ (total immersion) ในตัวแทนอาหาร (food simulant) จะทำการตัดชิ้นส่วนบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้มีขนาด 2.5 x 2.5 cm^2 จำนวน 8 ชิ้น/ตัวอย่าง 1 ชุด (Refer to EN 1186-1:2002 (2002))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.4.3 การหาปริมาการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene; PP) ระหว่างให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสัมผัส และชนิดของตัวแทนอาหาร โดยอ้างอิงวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร เล่ม 2 ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2557) และ British standard EN 1186-3:2002 (2002)

3.4.4 การหาปริมาการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene ; PP) ระหว่างให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ (reheat microwave) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสัมผัส และชนิดของตัวแทนอาหาร โดยอ้างอิงวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหารเล่ม 2 ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2557) และ British standard EN 1186-3:2002 (2002)

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Procedure)

3.5.1 การวิเคราะห์ overall migration โดยวิธี total immersion (refer EN 1186-3:2002(2002)) ดังนี้

3.5.1.1 ชนิดตัวแทนอาหาร 4 ชนิด

- ตัวแทนอาหารน้ำกลั่น (distilled water ; simulant A) ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทที่มี pH เป็นกลาง
- ตัวแทนอาหารกรดอะซีกตริก 3% (3% acetic acid ; simulant B) ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทกรด หรือมี pH $\leq$ 4.6
- ตัวแทนอาหารเอทานอล 15% (15% ethanol ; simulant C) ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์ และตัวแทนอาหารนอร์มอล เฮปเทน (*n*-heptane ; simulant D) ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมัน

3.5.1.2 การแช่ชิ้นทดสอบ

เทสารละลายตัวแทนอาหารทั้ง 4 ชนิด (food simulant A, B, C และ D) ปริมาตร 100 ± 2 ml ลงในขวดแก้วปากกว้าง จำนวน 5 ใบ ใส่ชิ้นทดสอบ (ข้อ 3.4.2) ลงไปในขวดปากกว้าง จำนวน 3 ใบ ขวดปากกว้างที่เหลืออีก 2 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นสารละลาย blank จากนั้น ปิดฝาด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 วัน โดยควบคุมอุณหภูมิ 20 °C

ใช้ลูกแก้วหรือแท่งแก้วรองชิ้นทดสอบไม่ให้สัมผัสกับผนังขวดแก้วปากกว้างหรือซ้อนทับกัน โดยกดชิ้นทดสอบทุกชิ้นให้จมในสารละลายตัวแทนอาหาร (food simulants) หากมีชิ้นทดสอบลอยขึ้นมาให้ใช้แตะแกรงสแตนเลสกดทับ หรือกรณีที่ใช้ตัวแทนอาหารประเภทกรดอะซีติก (food simulant B) ให้ใช้แท่งแก้วแทนปิดฝาให้สนิท

3.5.1.3 การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

เมื่อครบกำหนดเวลาการแช่ชิ้นทดสอบ ให้นำชิ้นทดสอบที่แช่ในแต่ละตัวแทนอาหารดังกล่าว มาทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กำลัง 800 วัตต์ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที ดังต่อไปนี้

Name of Sample	ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง			
	ชนิดตัวแทนอาหาร			
ยี่ห้อ ก ยี่ห้อ ข ยี่ห้อ ค ยี่ห้อ ง	Simulant A	Simulant B	Simulant C	Simulant D
	กำลังไฟฟ้าในการให้ความร้อน (วัตต์)			
	800			
	ระยะเวลาในการสัมผัสตัวอย่างอาหาร (นาที)			
	0	2	3	5
ปริมาณการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม				
ปริมาณการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม เมื่อทำการให้ความร้อนซ้ำ				

3.5.2 เมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟตามเวลาที่กำหนด ให้ทิ้งตัวอย่างให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นยกชิ้นทดสอบและอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใส่ในขวดปากกว้างขึ้น แล้วปล่อยให้สารละลายที่ติดค้างอยู่ไหลลงสู่ขวดปากกว้างจนหมด ตรวจดูระดับของสารละลายที่เหลือต้องไม่ต่ำกว่าเดิม 10 มิลลิเมตร (กรณีที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดนี้ต้องทำการทดสอบใหม่ตั้งแต่ต้น โดยใช้ตัวอย่างชุดใหม่) จากนั้นนำไปใช้เป็นสารละลายทดสอบ (test solution) และสารละลายแบลงค์ (blank solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างที่เหลือจากการระเหย

3.5.3.1 การเตรียมถ้วยระเหย โดยอบถ้วยระเหยที่ล้างสะอาดแล้วในตู้อบร้อนอุณหภูมิ 105 -110 °C เป็นเวลา 30 ± 5 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกจนกว่าจะได้น้ำหนักถ้วยคงที่ (มีค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่ได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม (mg) ห้ามจับถ้วยระเหย ที่อบแล้วด้วยมือเปล่าให้ใช้คีมคีบ (tong) หรือสวมถุงมือที่สะอาด

3.5.3.2 เทสารละลายที่ใช้เป็นตัวแทนอาหาร (food simulant) ใส่ลงในถ้วยระเหย ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร (ml) นำไประเหยบนอ่างน้ำร้อนหรือเครื่องให้ความร้อน (hot plate) จนหมดแล้ว ทำการชะล้าง (rinse) ขวดแก้วปากกว้างด้วย food simulant ประมาณ 5 มิลลิลิตร (ml), 2 ครั้ง แล้วเทลงสารละลายดังกล่าวลงในถ้วยระเหยใบเดิม นำระเหยต่อไปจนเหลือปริมาณ 1 มิลลิลิตร (ml)

3.5.3.3 นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลา 30 ± 5 นาที หรือจนกว่าจะระเหยสารหมด ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักถ้วยระเหยและบันทึกน้ำหนักที่ได้ ปฏิบัติตามขั้นตอนนี้ซ้ำจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (มีค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่ได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม (mg)) เมื่อน้ำหนักของถ้วยระเหยคงที่แล้วให้ใช้น้ำหนักค่าที่น้อยกว่าในการคำนวณ

3.5.3.4 การคำนวณและการรายงานผล (Calculation and expression of results) โดยผลการทดสอบการแพร่กระจาย (migration) แต่ละครั้งรายงานจากค่าเฉลี่ยในการทดสอบตัวอย่าง 3 ซ้ำ (triplicate) รายงานหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร (mg/dm^2)

$$\text{สารตกค้างที่เหลือจากการระเหย } (mg/dm^2) = \frac{(Wa - Wb) \times 1000}{S}$$

เมื่อ Wa = น้ำหนักที่เหลือของสารจากการระเหย test solution หลังจากหักน้ำหนักถ้วยระเหย (g)

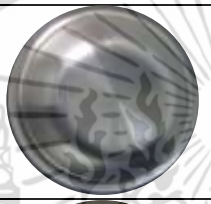
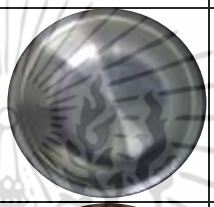
Wb = น้ำหนักที่เหลือของสารจากการระเหย blank หลังจากหักน้ำหนักถ้วยระเหย (g)

S = พื้นที่ผิวของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (dm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ลักษณะสารตกค้างที่เหลือหลังจากทำการระเหย

3.5.4.1 ลักษณะสารตกค้างที่เหลือหลังจากทำการระเหย ณ เวลาในการให้ความร้อนปกติ 5 นาที จากบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และนอร์มอลเฮปเทน ตามลำดับ

ยี่ห้อตัวอย่าง / ตัวแทนอาหาร	ยี่ห้อ ก	ยี่ห้อ ข	ยี่ห้อ ค	ยี่ห้อ ง
น้ำกลั่น				
กรดอะซีติก 3%				
เอทานอล 15%				
นอร์มอลเฮปเทน				

ภาพที่ 3.1 สารตกค้างที่เหลือจากการระเหยจากบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง เป็นเวลา 5 นาที ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และนอร์มอลเฮปเทน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4.2 ลักษณะสารตกค้างที่เหลือหลังจากทำการระเหย ณ เวลาในการให้ความร้อนซ้ำ 5 นาที จากบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และนอร์มอลเฮปเทน ตามลำดับ

ยี่ห้อตัวอย่าง / ตัวแทนอาหาร	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C	ยี่ห้อ D
น้ำกลั่น				
กรดอะซีติก 3%				
เอทานอล 15%				
นอร์มอลเฮปเทน				

ภาพที่ 3.2 สารตกค้างที่เหลือจากการระเหยจากบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ให้ความร้อนซ้ำเป็นเวลา 5 นาที ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, กรดอะซีติก 3%, เอทานอล 15% และนอร์มอลเฮปเทน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design (CRD)) และนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟแผนภูมิวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกของสารเคมีโดยรวมจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด polyproprlene (PP) ด้วยความแปรปรวนทางเดียว one-way analysis of variance (one-way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์แบบเป็นกลุ่มโดยวิธี Dancan's multiple range test (DMRT) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป statistical package for the social science/personal computer(SPSS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน และชนิดตัวแทนอาหารต่อการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) จากบรรจุภัณฑ์สู่ตัวแทนอาหาร (food simulants) 4 ชนิด

การศึกษาการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene; PP) จำนวน 4 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี (Overall migration ; OM) ในตัวแทนอาหารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าในตัวแทนอาหารประเภทไขมัน มีค่า OM สูงที่สุดในทุกตัวอย่างทดสอบ รองลงมาคือ ตัวแทนอาหารประเภทกรด ในขณะที่ตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์และอาหารประเภทที่มี pH เป็นกลาง มีค่า OM ใกล้เคียงกันตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cai (2013) ที่พบว่าอาหารประเภทไขมันเมื่อถูกให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมสูงที่สุด เช่นเดียวกับ Castle (2007) ที่กล่าวว่า อาหารประเภทไขมันจะเร่งให้เกิดการชะของสารเคมีในพลาสติก โดยอาหารประเภทไขมันจะทำปฏิกริยากับพลาสติก ทำให้องค์ประกอบของพลาสติกเกิดการขยายตัว สารเคมีจึงถูกชะออกมาปนเปื้อนสู่อาหาร นอกจากนี้เวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันมีผลต่อการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (800 วัตต์) เป็นเวลา 5 นาทีมีค่า OM สูงที่สุดในทุกตัวอย่างทดสอบ รองลงมาคือ 3 นาที, 2 นาที และ 0 นาที ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของตัวอย่างต่อปริมาณการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี พบว่าในตัวอย่างอาหารที่มี pH เป็นกลาง ที่เวลา 0 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ยี่ห้อ ก มีค่า OM แตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ในตัวแทนอาหารประเภทกรด ที่เวลา 0 นาที พบว่า ยี่ห้อ ค มีค่า OM แตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ยี่ห้อ ก และข มีค่า OM แตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ในตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์ ที่เวลา 0 นาที พบว่า ยี่ห้อ ง มีค่า OM แตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ยี่ห้อ ค และ ง มีค่า OM แตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวแทนอาหารประเภทไขมัน/น้ำมัน ที่เวลา 0 นาที พบว่า ยี่ห้อ ก และ ค มีค่า OM แตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ทุกยี่ห้อมีค่า OM แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) ในตัวแทนอาหาร 4 ชนิด ที่เวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

MW Times (800 W)	Non acid food simulant (distilled water)			
	ยี่ห้อ ก	ยี่ห้อ ข	ยี่ห้อ ค	ยี่ห้อ ง
0 [ns]	0.0033 ± 0.0012 [a]	0.0027 ± 0.0012 [a]	0.0027 ± 0.0012 [a]	0.0027 ± 0.0012 [a]
2	[A] 0.0060 ± 0.0000 [b]	[B,C] 0.0113 ± 0.0012 [b]	[C] 0.0127 ± 0.0012 [b]	[B] 0.0107 ± 0.0012 [b]
3	[A] 0.0127 ± 0.0012 [c]	[B] 0.0160 ± 0.0000 [c]	[C] 0.0187 ± 0.0012 [c]	[B] 0.0147 ± 0.0012 [c]
5	[A] 0.0167 ± 0.0012 [d]	[B] 0.0213 ± 0.0012 [d]	[B] 0.0207 ± 0.0012 [c]	[B] 0.0200 ± 0.0000 [d]
MW Times (800 W)	**Acidic food simulant (3% acetic acid)**			
	ยี่ห้อ ก	ยี่ห้อ ข	ยี่ห้อ ค	ยี่ห้อ ง
0	[A] 0.0107 ± 0.0007 [a]	[A] 0.0107 ± 0.0012 [a]	[B] 0.0273 ± 0.0028 [a]	[A] 0.0120 ± 0.0012 [a]
2 [ns]	0.0287 ± 0.0068 [b]	0.0247 ± 0.0030 [b]	0.0327 ± 0.0013 [a,b]	0.0273 ± 0.0027 [b]
3	[A,B] 0.0320 ± 0.0020 [b,c]	[A] 0.0273 ± 0.0024 [b]	[B] 0.0347 ± 0.0028 [b]	[A,B] 0.0327 ± 0.0013 [b]
5	[A] 0.0367 ± 0.0012 [c]	[C] 0.0553 ± 0.0037 [c]	[B] 0.0460 ± 0.0031 [c]	[B] 0.0473 ± 0.0013 [c]

อักษร ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อักษร A-D ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

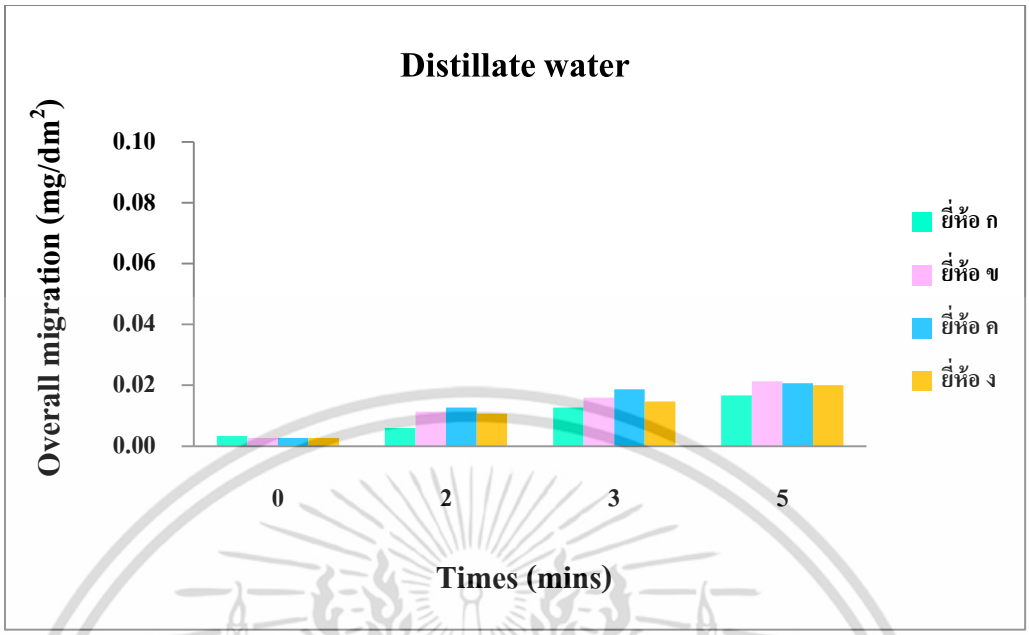
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) ในตัวแทนอาหาร 4 ชนิด ที่เวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

MW Times (800 W)	Alcoholic food simulant (15% ethanol)			
	ยี่ห้อ ก	ยี่ห้อ ข	ยี่ห้อ ค	ยี่ห้อ ง
0	$^{A}0.0040 \pm 0.0000^{a}$	$^{A}0.0040 \pm 0.0040^{a}$	$^{A}0.0040 \pm 0.0040^{a}$	$^{B}0.0053 \pm 0.0053^{a}$
2	$^{A}0.0073 \pm 0.0073^{b}$	$^{A}0.0087 \pm 0.0087^{b}$	$^{A}0.0087 \pm 0.0867^{b}$	$^{B}0.0147 \pm 0.0147^{b}$
3	$^{A}0.0147 \pm 0.0147^{c}$	$^{A}0.0127 \pm 0.1267^{c}$	$^{A}0.0127 \pm 0.0127^{c}$	$^{B}0.0187 \pm 0.0187^{c}$
5	$^{A}0.0167 \pm 0.0177^{d}$	$^{A}0.0187 \pm 0.1867^{d}$	$^{C}0.0253 \pm 0.0253^{d}$	$^{B}0.0227 \pm 0.0267^{d}$
MW Times (800 W)	**Fatty/oily food simulant (n-heptane)**			
	ยี่ห้อ ก	ยี่ห้อ ข	ยี่ห้อ ค	ยี่ห้อ ง
0	$^{A}0.0220 \pm 0.0020^{a}$	$^{B}0.0330 \pm 0.0011^{a}$	$^{C}0.0700 \pm 0.0055^{a}$	$^{B}0.0330 \pm 0.0057^{a}$
2	$^{D}0.3300 \pm 0.0000^{b}$	$^{C}0.4260 \pm 0.0115^{b}$	$^{B}0.1360 \pm 0.0057^{b}$	$^{A}0.0660 \pm 0.0057^{b}$
3	$^{C}0.4500 \pm 0.0100^{c}$	$^{D}0.4760 \pm 0.0057^{c}$	$^{B}0.1660 \pm 0.0057^{c}$	$^{A}0.0760 \pm 0.0057^{b}$
5	$^{D}0.8100 \pm 0.0608^{d}$	$^{C}0.5500 \pm 0.0173^{d}$	$^{B}0.2430 \pm 0.0230^{d}$	$^{A}0.1500 \pm 0.0100^{c}$

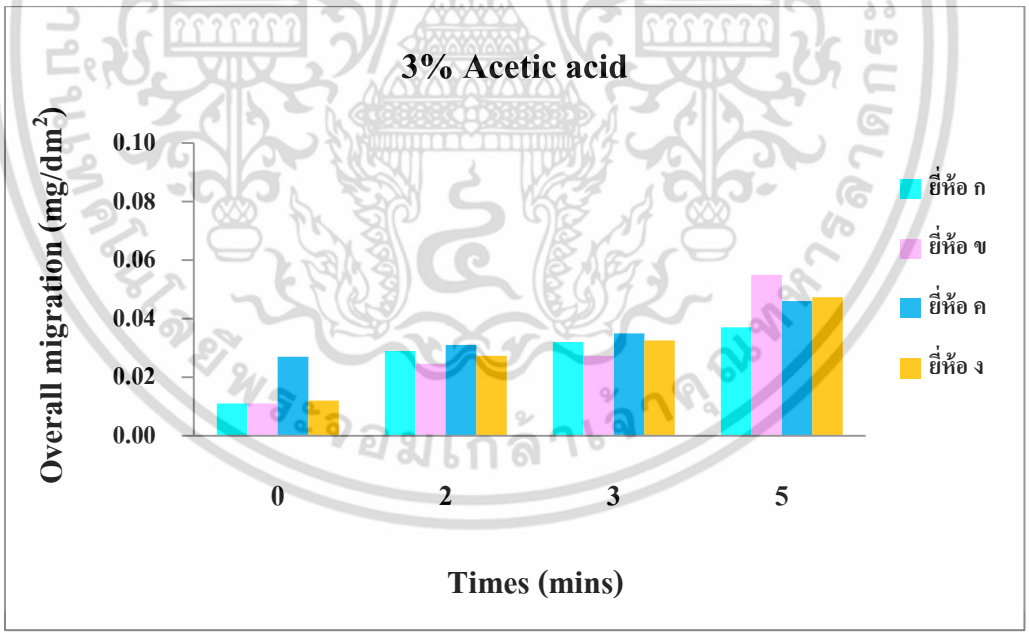
อักษร ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อักษร A-D ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

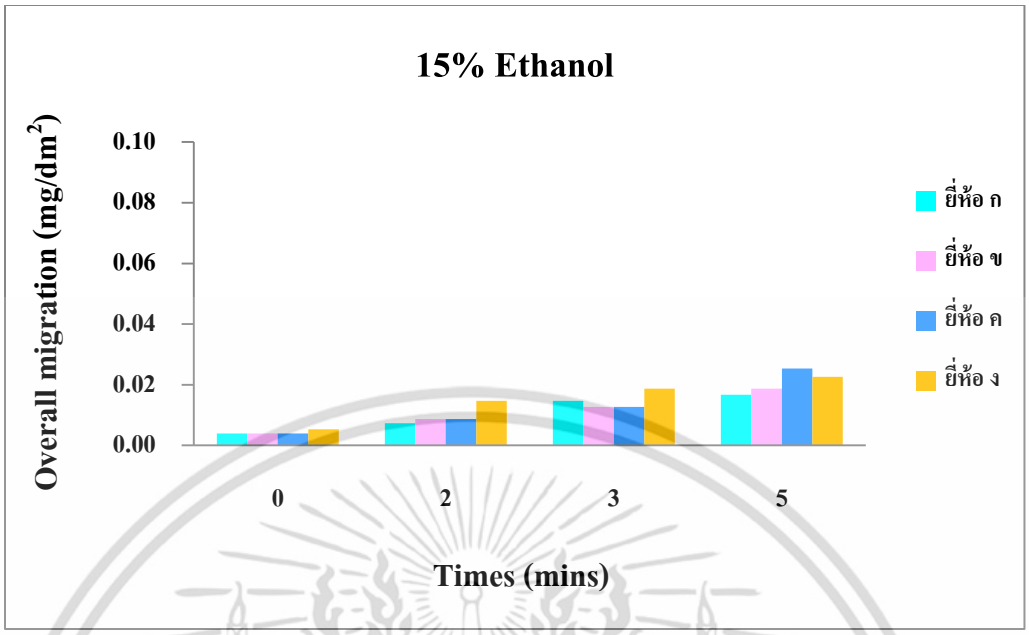


ภาพที่ 4.1 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที

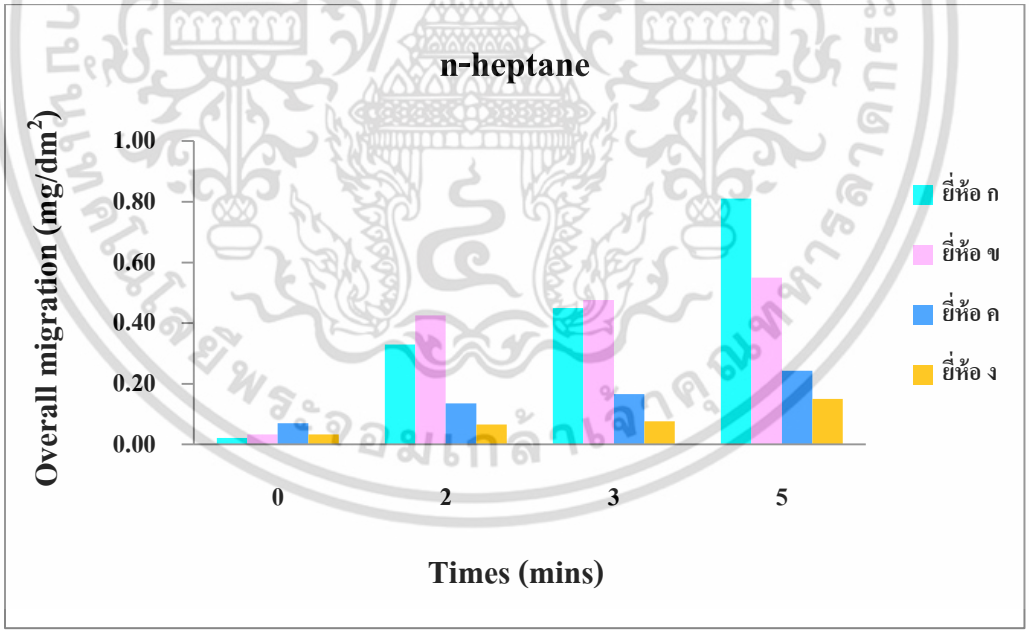


ภาพที่ 4.2 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารกรดอะซีติก 3% , ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์, ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที



ภาพที่ 4.4 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมัน, ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนซ้ำ และชนิดตัวแทนอาหารต่อการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) จากบรรจุภัณฑ์สู่ตัวแทนอาหาร (food simulants) 4 ชนิด

การศึกษาการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมีในบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene; PP) จำนวน 4 ตัวอย่าง โดยการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที พบว่า ปริมาณการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี (Overall migration ; OM) ในตัวแทนอาหารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าตัวอย่างในตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำ มีค่า OM สูงที่สุดในทุกตัวอย่างทดสอบ รองลงมาคือ ตัวแทนอาหารประเภทกรดและแอลกอฮอล์ ในขณะที่ตัวแทนอาหารที่มี pH เป็นกลาง มีค่า OM น้อยที่สุดตามลำดับ นอกจากนี้เวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันมีผลต่อการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าที่เวลาในการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ (800 วัตต์) เป็นเวลา 5 นาที มีค่า OM สูงที่สุดในทุกตัวอย่างทดสอบ รองลงมาคือ 3 นาที, 2 นาที และ 0 นาที ตามลำดับ สอดคล้องกับ Castle (2007) ซึ่งกล่าวว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของสารเคมี ได้แก่ ระยะเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า OM สูงขึ้น, อุณหภูมิที่ใช้สัมผัสมากขึ้น เร่งให้เกิด OM มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ชนิด/ประเภทของอาหารที่สัมผัสกับภาชนะต่างกัน ส่งผลให้ค่า OM ที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของตัวอย่างต่อปริมาณการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี พบว่าในตัวแทนอาหารที่มี pH เป็นกลาง ที่เวลา 0 นาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่ายี่ห้อ ข และ ง มีความแตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ในตัวแทนอาหารประเภทกรด ที่เวลา 0 นาที พบว่า ยี่ห้อ ค มีความแตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ทุกยี่ห้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ในตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์ ที่เวลา 0 นาที พบว่า ยี่ห้อ ง ความแตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ทุกยี่ห้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และในตัวแทนอาหารประเภทไขมัน/น้ำมัน ที่เวลา 0 นาที พบว่า ยี่ห้อ ข และ ค มีความแตกต่างจากยี่ห้ออื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เวลา 5 นาที พบว่า ทุกยี่ห้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) ในตัวแทนอาหาร 4 ชนิด โดยวิธีการให้ความร้อนซ้ำ ที่เวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

Reheat MW Times (800 W)	**Non acid food simulant (distilled water)**			
	ยี่ห้อ ก	**ยี่ห้อ ข**	**ยี่ห้อ ค**	**ยี่ห้อ ง**
0 [ns]	0.0040 ± 0.0000 [a]	0.0027 ± 0.0011 [a]	0.0033 ± 0.0011 [a]	0.0027 ± 0.0011 [a]
2	[A] 0.0087 ± 0.0011 [b]	[B] 0.0167 ± 0.0011 [b]	[B] 0.0173 ± 0.0011 [b]	[C] 0.0220 ± 0.0020 [b]
3	[A] 0.0173 ± 0.0011 [c]	[B] 0.0213 ± 0.0011 [c]	[C] 0.0253 ± 0.0011 [c]	[B,C] 0.0233 ± 0.0011 [b]
5	[A] 0.0260 ± 0.0000 [d]	[C] 0.0347 ± 0.0011 [d]	[A] 0.0267 ± 0.0011 [c]	[B] 0.0293 ± 0.0011 [c]
Reheat MW Times (800 W)	**Acidic food simulant (3% acetic acid)**			
	ยี่ห้อ ก	**ยี่ห้อ ข**	**ยี่ห้อ ค**	**ยี่ห้อ ง**
0	[A] 0.0107 ± 0.0023 [a]	[A] 0.0107 ± 0.0011 [a]	[B] 0.0253 ± 0.0011 [a]	[A] 0.0107 ± 0.0011 [a]
2	[B] 0.0420 ± 0.0034 [b]	[A] 0.0373 ± 0.0011 [b]	[A,B] 0.0393 ± 0.0011 [b]	[A] 0.0373 ± 0.0011 [b]
3	[A] 0.0460 ± 0.0020 [b]	[A] 0.0433 ± 0.0011 [c]	[B] 0.0493 ± 0.0023 [c]	[A] 0.0447 ± 0.0011 [c]
5	[B] 0.0580 ± 0.0020 [c]	[D] 0.0673 ± 0.0011 [d]	[C] 0.0613 ± 0.0011 [d]	[A] 0.0527 ± 0.0011 [d]

อักษร ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อักษร A-D ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

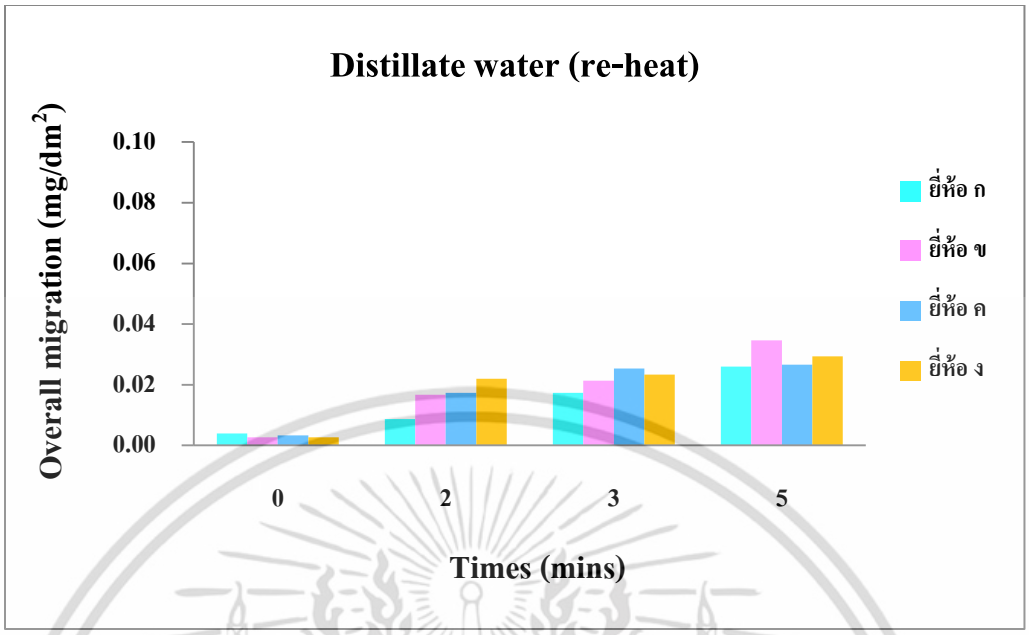
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration) ในตัวแทนอาหาร 4 ชนิด โดยวิธีการให้ความร้อนซ้ำ ที่เวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

Reheat MW Times (800 W)	Alcoholic food simulant (15% ethanol)			
	ยี่ห้อ ก	ยี่ห้อ ข	ยี่ห้อ ค	ยี่ห้อ ง
0	$^{A}0.0040 \pm 0.0000^{a}$	$^{A}0.0040 \pm 0.0000^{a}$	$^{A}0.0040 \pm 0.0000^{a}$	$^{B}0.0060 \pm 0.0000^{a}$
2	$^{A}0.0167 \pm 0.0011^{b}$	$^{B}0.0227 \pm 0.0023^{b}$	$^{B}0.0213 \pm 0.0011^{b}$	$^{C}0.0267 \pm 0.0011^{b}$
3	$^{C}0.0407 \pm 0.0011^{c}$	$^{B}0.0373 \pm 0.0011^{c}$	$^{A}0.0247 \pm 0.0011^{c}$	$^{B}0.0373 \pm 0.0011^{c}$
5	$^{D}0.0573 \pm 0.0050^{d}$	$^{C}0.0493 \pm 0.0023^{d}$	$^{A}0.0347 \pm 0.0011^{d}$	$^{B}0.0427 \pm 0.0011^{d}$
Reheat MW Times (800 W)	**Fatty/oily food simulant (n-heptane)**			
	ยี่ห้อ ก	**ยี่ห้อ ข**	**ยี่ห้อ ค**	**ยี่ห้อ ง**
0	$^{A}0.0033 \pm 0.0011^{a}$	$^{B}0.0327 \pm 0.0011^{a}$	$^{C}0.0707 \pm 0.0011^{a}$	$^{A}0.0036 \pm 0.0006^{a}$
2	$^{C}0.4027 \pm 0.0061^{b}$	$^{D}0.5513 \pm 0.0110^{b}$	$^{B}0.2013 \pm 0.0041^{b}$	$^{A}0.0927 \pm 0.0041^{b}$
3	$^{C}0.4987 \pm 0.0041^{c}$	$^{D}0.6860 \pm 0.0020^{c}$	$^{B}0.2820 \pm 0.0020^{c}$	$^{A}0.1507 \pm 0.0023^{c}$
5	$^{D}0.9220 \pm 0.0072^{d}$	$^{C}0.7787 \pm 0.0046^{d}$	$^{B}0.3920 \pm 0.0061^{d}$	$^{A}0.2287 \pm 0.0011^{d}$

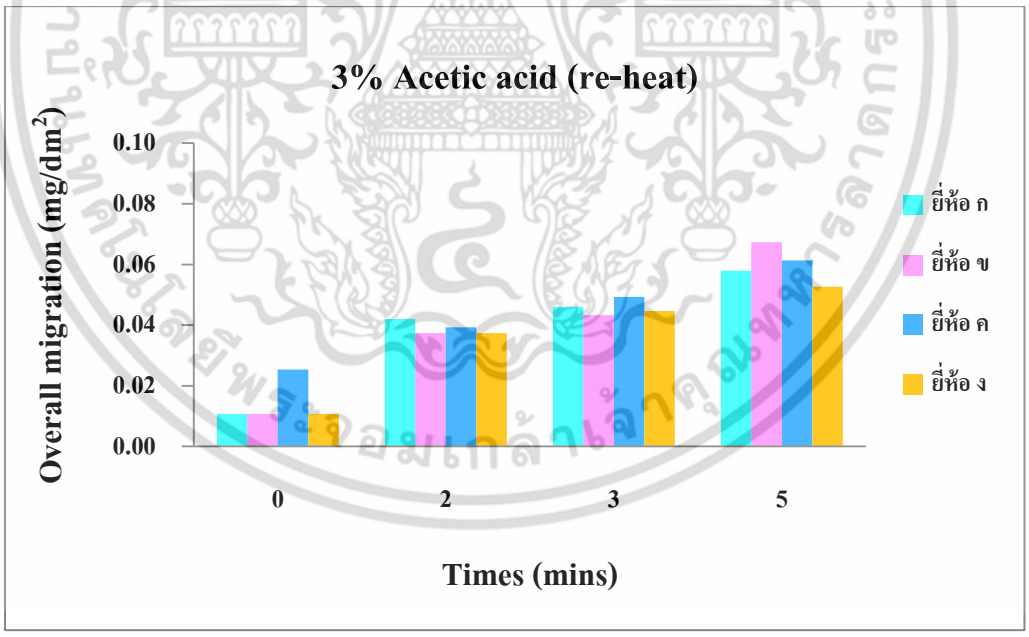
อักษร ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อักษร A-D ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษร a-d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

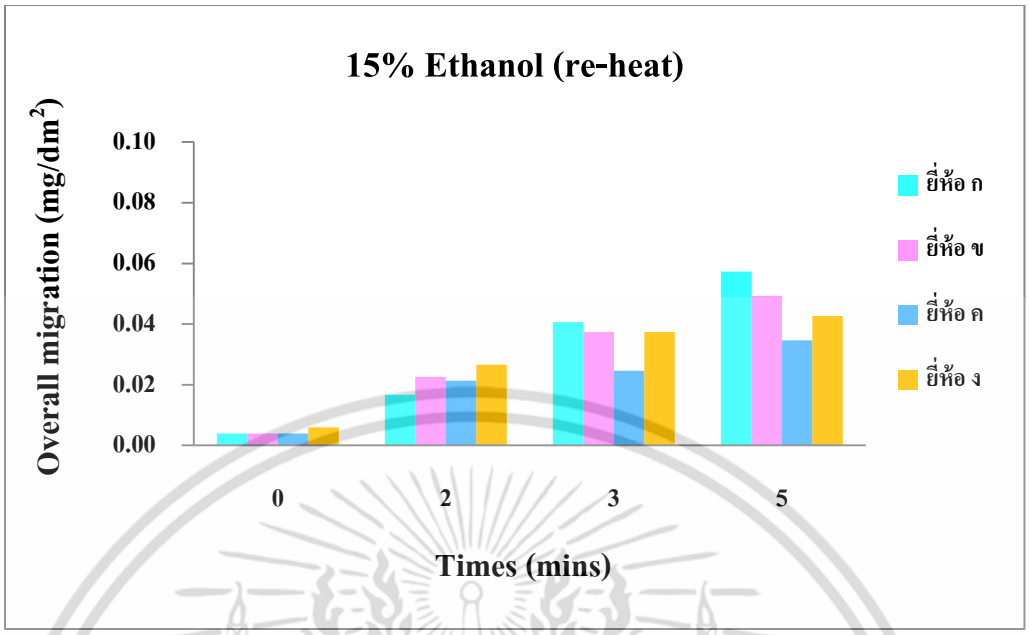


ภาพที่ 4.5 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารน้ำกลั่น, ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที

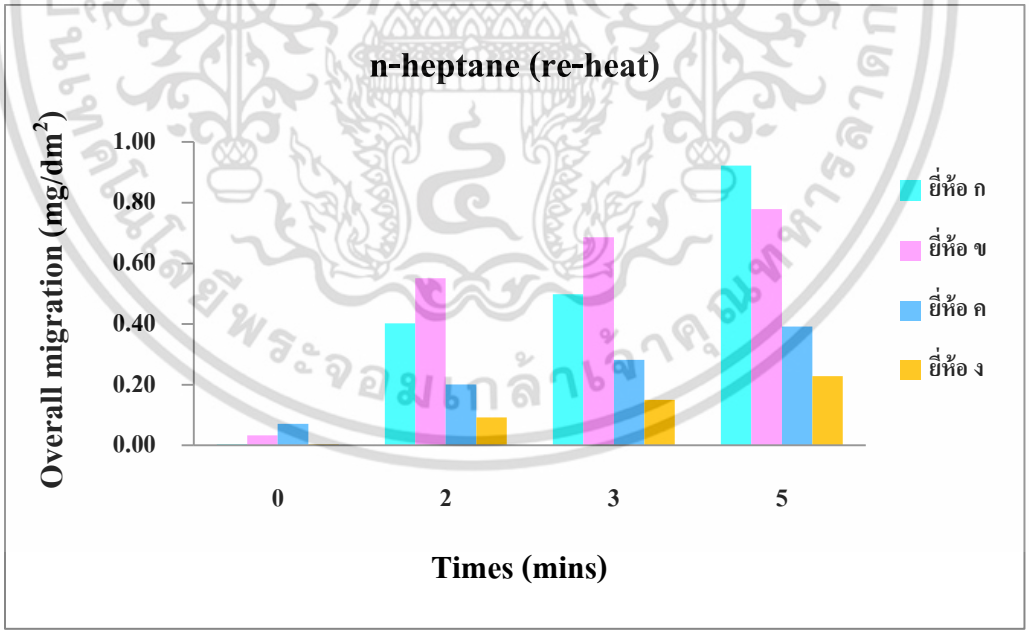


ภาพที่ 4.6 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนอาหารประเภทกรด, ให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนในตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์, ให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที



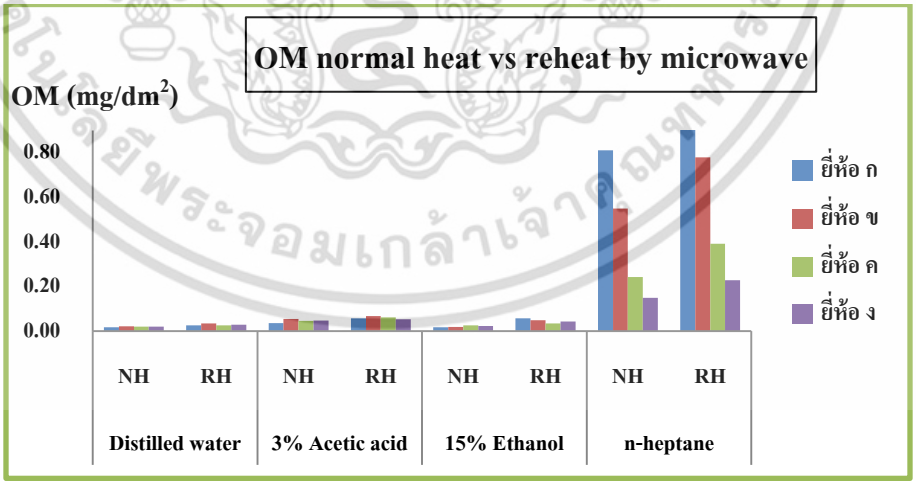
ภาพที่ 4.8 ค่าการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ยี่ห้อ ก, ข, ค และ ง ในตัวแทนในตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมัน, ให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 0, 2, 3 และ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี (overall migration ; OM) ในบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดพอลิพรอพิลีน จำนวน 4 ตัวอย่าง โดยแช่ในตัวแทนอาหาร 4 ชนิด พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)ในทุกตัวแทนอาหาร โดยตัวแทนอาหารที่มี pH เป็นกลางให้ค่า OM น้อยที่สุด ในขณะที่ตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมันให้ค่า OM สูงที่สุด เนื่องจากพลาสติกจัดเป็นวัสดุที่ยอมให้มีการซึมผ่านได้ทั้งบริเวณภายในชั้นวัสดุและบริเวณพื้นผิวสัมผัส ประกอบกับโครงสร้างไม่มีขั้วของพลาสติก เมื่อสัมผัสกับตัวแทนอาหารประเภทน้ำมัน/ไขมันซึ่งไม่มีขั้วเหมือนกัน ส่งผลให้สารที่อยู่ภายในเนื้อพลาสติกเกิดการละลายและเคลื่อนย้ายออกมา ดังนั้น จึงควรหลีกเลี่ยงการบรรจุอาหารประเภทไขมันในบรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นเวลานาน และเมื่อทำการให้ความร้อนตัวอย่างซ้ำ พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการให้ความร้อนแบบปกติ คือตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมันจะให้ค่า OM สูงที่สุด ตามด้วยตัวแทนอาหารประเภทกรด แอลกอฮอลล์ และตัวแทนอาหารที่มี pH เป็นกลางตามลำดับ ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าการแพร่กระจายโดยรวมของสารเคมี ระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแบบปกติ 5 นาทีและให้ความร้อนซ้ำ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ค่า OM ที่เกิดจากการให้ความร้อนซ้ำมีค่าสูงกว่าการให้ความร้อนแบบปกติในทุกตัวแทนอาหาร โดยปัจจัยที่เป็นตัวกระตุ้นให้ค่า OM สูงขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาในการสัมผัส เมื่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกสัมผัสกับอาหารเป็นเวลานาน อาจส่งผลให้สารเคมีภายในบรรจุภัณฑ์มีโอกาสแพร่กระจายและปนเปื้อนลงสู่อาหารได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลของการให้ความร้อนสูงเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของสารเคมีมากยิ่งขึ้น (Miriany et. al., 2014) ดังนั้น ผู้บริโภคที่มีพฤติกรรมชอบอุ่นอาหารภายในบรรจุภัณฑ์พลาสติกซ้ำๆ จึงอาจมีความเสี่ยงต่อการสะสมของสารเคมีภายในร่างกาย

เมื่อพิจารณาถึงเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ พบว่า ค่า OM จะแปรผันตามเวลาในการให้ความร้อนในทุกประเภทของตัวแทนอาหาร โดยปริมาณของ OM นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละตัวแทนอาหาร นั่นคือ ที่เวลา 5 นาทีในตัวแทนอาหารที่มี pH เป็นกลางและอาหารประเภทกรด ตัวอย่างยี่ห้อ ข ให้ค่า OM สูงที่สุด ทั้งในการให้ความร้อนแบบปกติและการให้ความร้อนซ้ำ ในขณะที่ตัวแทนอาหารที่มีแอลกอฮอล์ ตัวอย่างยี่ห้อ ค ให้ค่า OM สูงที่สุดในการให้ความร้อนแบบปกติ แต่เมื่อทำการให้ความร้อนซ้ำ พบว่าตัวอย่างยี่ห้อ ก จะให้ค่า OM สูงที่สุด และในตัวแทนอาหารประเภทไขมันและน้ำมัน พบว่าตัวอย่างยี่ห้อ ก ให้ค่า OM สูงที่สุด ทั้งในการให้ความร้อนแบบปกติและการให้ความร้อนซ้ำ

อย่างไรก็ตาม ค่า OM ในงานวิจัยนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับ 295 และ EU regulation 10/2011 กำหนด นั่นคือ ไม่เกิน 10 mg/dm^2 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีความปลอดภัยและสามารถนำมาใช้กับไมโครเวฟได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้จะมีความปลอดภัยต่อการใช้งานด้วยไมโครเวฟ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัจจุบันมีบรรจุภัณฑ์พลาสติกจำนวนมากในท้องตลาด ซึ่งอาจมีบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตโดยแหล่งผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานปะปนอยู่ด้วย ดังนั้น ผู้บริโภคจึงควรเลือกบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีแหล่งผลิตที่น่าเชื่อถือ และหลีกเลี่ยงการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกเหล่านี้มาใช้ซ้ำหลายๆครั้ง นอกจากนี้

- ภาครัฐ ควรกำหนดมาตรฐานเพิ่มเติมเพื่อควบคุมภาชนะพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร เช่น กำหนดตราสัญลักษณ์แสดงมาตรฐาน เพื่อให้ผู้บริโภคสังเกตและสามารถเลือกใช้บรรจุภัณฑ์เหล่านี้ได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม และควรประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้รับทราบและนำไปปฏิบัติ
- ผู้ผลิตควรแสดงสัญลักษณ์ที่จำเป็นเพื่อให้ผู้บริโภคเห็นจุดสังเกตและเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม เช่น สัญลักษณ์แสดงชนิดของพลาสติก, สัญลักษณ์ใช้กับไมโครเวฟ หรือสัญลักษณ์ใช้บรรจุอาหาร เป็นต้น
- ผู้บริโภค ควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร หลีกเลี่ยงการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกเหล่านี้มาใช้ซ้ำหลายๆ ครั้งและไม่ควรบริโภคอาหารสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์เหล่านี้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพื่อลดความเสี่ยงในการสะสมของสารเคมีจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2557. วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร การวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างที่เหลือจากการระเหย. เข้าถึงได้จาก http://e-library.dmsc.moph.go.th/ebook/files/วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร%20 เล่ม2 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.pdf. วันที่สืบค้น 12/08/2017.

การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร กลไกการเกิดความร้อนและหลักการทำงานด้วยไมโครเวฟ. เข้าถึงได้จาก http://conf.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/204_file.pdf. วันที่สืบค้น 25/05/2560.

เกสรี จุ้ยชุม. 2547. การบรรจุหีบห่อและการเก็บรักษา. ครั้งที่พิมพ์ 1. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2543. "สารที่มีแนวโน้มเคลื่อนย้ายจากถุงและฟิล์มพลาสติกที่สัมผัสอาหาร." หน้า 516-521. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. 2548. ฉบับ 295. เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก. บัญชีหมายเลข 1 ท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับ 295) พ.ศ. 2548. ตารางที่ 1 และ 2.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2557. ฉบับ 4607. เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารสำหรับเตาไมโครเวฟ. เล่มที่ 2 สำหรับการอุ่นครั้งเดียว. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2554. ประกอบการสอนรายวิชาเคมีประยุกต์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. เข้าถึงได้จาก http://www.sc.sci.rmutp.ac.th/sctank/appchem/wcs-polymer.pdf. วันที่สืบค้น 11/10/2559.

ศุลีพร แสงกระจ่าง, ปัทมา พลอยสว่าง และปริณดา พรหมหิตาธร. 2556. ผลกระทบของพลาสติกต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. วารสารพิษวิทยาไทย. 28(1) : 39-48.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2543. การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2556. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2493) ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารสำหรับเตาไมโครเวฟ. เล่ม 2. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2556. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.656) วิธีวิเคราะห์พลาสติกที่สัมผัสอาหาร. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

หลักการทำงานของไมโครเวฟ ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ. 2560. เข้าถึงได้จาก http://www.enconlab.com/high_performance/file_download/operation/operation_microwave.pdf. วันที่สืบค้น 24/05/2560.

อรทัย พุมดวง. 2554. สภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ di-(2-ethyhexyl) phthalate จากภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและขวดบรรจุน้ำดื่ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อังคณา พูลสวัสดิ์. 2560. ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารเคมีและสารตกค้างก่อภูมิแพ้บางชนิดจากผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสุขาภิบาลอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

โอภาส ตั้งวัธนวิบูลย์. 2548. ปริมาณสารเคมีสลายตัวจากบรรจุภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกสาหรับอาหารและเครื่องดื่ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสุขาภิบาลอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

British standard. 2002. Materials and articles in contact with foodstuffs-plastics- part 1: Guide to the selection of conditions and test methods for overall migration (EN1186-1).

British standard. 2002. Materials and articles in contact with foodstuffs-plastics - part 3: Test methods for overall migration into aqueous food simulants by total immersion (EN1186-3).

Buffler C. R. 1993. Microwave Cooking and Processing : Engineering Fundamental for the Food Scientist. Van Nostrand Reinheld, New York.

Castle L.D. 2007. Chemical migration into food: an overview. 1-13. in Karen A.B., Richard C.S., and Watson D.H. Chemical migration and food contact materials. England: Woodhead.

Commission Regulation (EU) No 10/2011. 2011. in plastic materials and articles intended to come into contact with food 125-126.

Crosby N.T. 1981. Food packaging material. Aspects of analysis and migration of contaminants. Appl. Sci, London.

Haiqin F., Jun W. and Robert A.L. 2017. Migration of di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) and di-n-butylphthalate (DBP) from polypropylene food containers. Food Control : 2017(73).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Miriany A.M., Leiliane C.A. and Zenilda L.C. 2014. Analysis of Phthalate Migration to Food Simulants in Platic Containers during Microwave Operations. International Journal of Environmental Research and Public Health 2014 (11).

Polymer Science Leaning Center. 2016. Polyethylene structure. [Online]. Available : http://www.pslc .ws/macrog/pe.htm.

Polymer Science Leaning Center. 2016. Polyethylene terephthalate structure. [Online]. Available : [Online]. Available : http://www. pslc.ws/macrog/pp.htm.

Polymer Science Leaning Center. 2013-2016. Poly vinyl chloride structure. [Online]. Available : http://www.pslc.ws/macrog/pvc.htm.

Ruoyin C. 2013. Effect of Microwave Heating on The Migration of Additives From PS, PP and PET Container Into Food Simulants. M.Sc.Thesis of Rochester Institute of Technology. New York.

Singh, R.P. and D.R. Heldman. 1993. Introduction to Food Engineering. San Diego Academic Press 3rd ed. United States of America.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การเตรียมสารเคมีในการทดสอบหาปริมาณการแพร่กระจายของสารเคมีโดยรวม (overall migration)

ก.1 การเตรียมสารละลายกรดอะซีตริกเข้มข้น 3% v/v

ปิเปต glacial acetic acid ปริมาตร 30 มิลลิลิตร (ml) ใส่ในขวดวัดปริมาตร (volume metric flask) ขนาด 1,000 ml จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml.

ก.2 การเตรียมสารละลายเอทานอล 15%

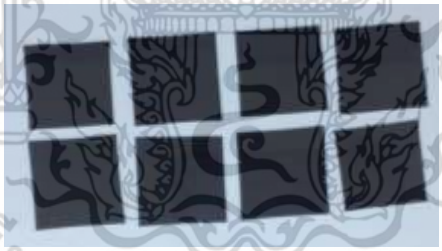
ปิเปตเอทานอล AR gradeปริมาตร 150 มิลลิลิตร (ml) ใส่ในขวดวัดปริมาตร (volume metric flask) ขนาด 1,000 ml จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml.

ข. การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดลอง

ข.1 การตัดชิ้นตัวอย่าง

ตัดบรรจุภัณฑ์พลาสติกเฉพาะบริเวณที่มีผิวเรียบ ให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจตุรัส โดยทำการตัดชิ้นส่วนบรรจุภัณฑ์พลาสติกให้มีความละเอียด 1.0 dm^2 ขนาด 2.5 x 2.5 cm^2 จำนวน 8 ชิ้น/ตัวอย่าง 1 ชุด

- ตัวอย่างยี่ห้อ ก



ภาพที่ 1ข : ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ก หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร

- ตัวอย่างยี่ห้อ ข

ภาพที่ 2ข : ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ข หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวอย่างยี่ห้อ ค

ภาพที่ 3ข : ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ค หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร

- ตัวอย่างยี่ห้อ ง

ภาพที่ 4ข : ลักษณะชิ้นพลาสติกยี่ห้อ ง หลังจากผ่านการตัด ขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างที่เหลือจากการระเหย

การเตรียมถ้วยระเหย โดยอบถ้วยระเหยที่ล้างสะอาดแล้วในตู้อบร้อนอุณหภูมิ 105 -110 °C เป็นเวลา 30 ± 5 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกจนกว่าจะได้น้ำหนักถ้วยคงที่ (มีค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่ได้ไม่เกิน 0.5 mg) ห้ามจับถ้วยระเหย ที่อบแล้วด้วยมือเปล่าให้ใช้ tong หรือสวมถุงมือที่สะอาด

เท food simulant ใส่ถ้วยระเหยครั้งละประมาณ 50 ml นำไประเหยบนอ่างน้ำร้อนหรือ hot plate จนหมดแล้ว rinse ขวดแก้วปากกว้างด้วย food simulant 5 ml, 2 ครั้ง แล้วเทลงในถ้วยระเหยใบเดิม ระเหยต่อไปจนเหลือปริมาณ 1 ml ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5ข : การระเหยตัวแทนอาหารบน hot plate หลังผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบร้อนอุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลา 30 ± 5 นาที หรือจนกว่าจะระเหยสารหมด ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ ปฏิบัติตามขั้นตอนนี้ซ้ำจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (มีค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่ได้ไม่เกิน 0.5 mg) เมื่อน้ำหนักของถ้วยระเหยคงที่แล้วให้ใช้น้ำหนักค่าที่น้อยกว่าในการคำนวณ ดังรูป

(1) (2)

ภาพที่ 6ข : (1) การระเหยตัวแทนอาหารในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C และ (2) การนำถ้วยระเหยทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวสุปัญญา ยมศรีเคน
วัน เดือน ปีเกิด	11 ตุลาคม พ.ศ. 2526
ที่อยู่	37/553 ถ.หทัยราษฎร์ ซอย 39 แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510
ประวัติการศึกษา	2551 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2552 – 2554	บริษัท จีเอฟซีเอ จำกัด (GFCA Co., Ltd.) ตำแหน่ง : เจ้าหน้าที่เอกสารคุณภาพ (QMS document control)
พ.ศ. 2554 – 2556	บริษัท ไทยน้ำทิพย์ จำกัด (Thainamthip Co., Ltd.) ตำแหน่ง : หัวหน้าควบคุมคุณภาพ (Quality control supervisor.)
พ.ศ. 2556 – 2559	สถาบันอาหาร (National food institute) ตำแหน่ง : นักวิชาการด้านพัฒนาอาหาร (Food technologist.)
พ.ศ. 2559 – ปัจจุบัน	บริษัท เคซีจี คอร์โปเรชั่น จำกัด (KCG corporation Co., Ltd.) ตำแหน่ง : หัวหน้าแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Research and development supervisor.)
พ.ศ. 2560	นำเสนอผลงานโปสเตอร์ เรื่อง Effect of microwave heating on overall migration of polypropylene plastic container into food simulants ในงาน Thai Society for Biotechnology and International Conference ครั้งที่ 29 วันที่ 23-25 พฤศจิกายน 2560 ณ โรงแรมสวิสโซเทล เลอ คองคอร์ด, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้