

การแพร่กระจายของเมลามีนจากภาชนะบรรจุอาหาร ประเภทเมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

อุมา บริบูรณ์* ศศิธร หอมดำรงวงศ์ และภัสสะริน สายสุวรรณ

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

บทคัดย่อ

เมลามีนเป็นมอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิตพลาสติกชนิด เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ (MF) เรียกสั้นๆว่าเมลามีน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก อนุญาตให้ใช้ MF ทำภาชนะบรรจุอาหารได้ โดยไม่ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณเมลามีน ซึ่งเป็นสารพิษต่อไตและอาจแพร่กระจาย (Migration) ลงสู่อาหารเมื่อนำไปใช้งาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของเมลามีนจากภาชนะบรรจุอาหารประเภท MF ที่นอกเหนือจากข้อกำหนดในกฎหมาย โดยการเก็บตัวอย่าง ถ้วย จาน ชาม จำนวน 41 ตัวอย่างที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมาตรวจวิเคราะห์ พบว่ามี 40 ตัวอย่าง ที่ด้านในของภาชนะซึ่งต้องสัมผัสกับอาหารเป็น MF และอีก 1 ตัวอย่าง เป็นยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ (UF) โดยมี 1 ตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายของไทย เมื่อวิเคราะห์การแพร่กระจายของเมลามีนพบว่ามี 13 ตัวอย่าง (ร้อยละ 31.7) ที่มีปริมาณเกินเกณฑ์ Commission Regulation (EU) No 1282/2011 (2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในจำนวนนี้เป็นภาชนะชนิด MF 3 ตัวอย่าง (ร้อยละ 18.8) และ UF ที่เคลือบผิวด้านในด้วย MF 10 ตัวอย่าง (ร้อยละ 41.7) ซึ่งปริมาณเมลามีนที่พบของภาชนะในกลุ่มหลัง มีค่าเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าภาชนะเมลามีนที่วางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดอาจพบเมลามีนแพร่กระจายออกมาเกินเกณฑ์มาตรฐานสหภาพยุโรปได้ ดังนั้นเพื่อการคุ้มครองผู้บริโภค หน่วยงานที่กำกับดูแลควรกำหนดเกณฑ์การแพร่กระจายของเมลามีนจากภาชนะบรรจุอาหาร

คำสำคัญ: เมลามีน-ฟอรัมาลดีไฮด์ การแพร่กระจาย เมลามีน ภาชนะบรรจุอาหาร

*ผู้รับผิดชอบบทความ

อุมา บริบูรณ์

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ถ.ติวานนท์ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

Email: uma.b@dmasc.mail.go.th

Migration of Melamine from Melamine-formaldehyde Food Containers Available on the Market

Uma Boriboon*, Sasithorn Homdumrongwong, Passarin Saysuway

Bureau of Quality and Safety of Food, Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health

Abstract

Melamine is a monomer used in the manufacturing of melamine-formaldehyde (MF) resin, shortened to melamine. According to the Notification of the Ministry of Public Health No. 295 (2005) Re: Qualities or standard for container made from plastic, MF is permitted as a material used for manufacturing of food containers but there is no specific migration level (SML) of melamine. Melamine may cause harmful effects to kidneys and may be migrated into food. The purposes of this study were to investigate the migration of melamine from MF food containers which is beyond the scope of the regulation. A total of 41 table-wares collected from market were analyzed. The results showed that 40 samples were made of MF as food contact surfaces and the rest one was made of urea-formaldehyde (UF). There was only one failed to comply with Thai regulation. An analysis of melamine migration was also performed. There were 13 samples (31.7%) found melamine levels exceeding the SML of Commission Regulation (EU) No 1282/2011 (2.5 mg/kg). Among the non-complied samples, 3 samples (18.8%) were MF containers and 10 samples (41.7%) were UF containers with MF inside coating. Moreover, the mean values of melamine from the second group were significantly higher than the first one. These results suggested that melamine wares sold on the market might have melamine migration higher than the restriction limit of EU regulation. For protecting the consumers, it is recommended that the national authority should establish regulatory limit for melamine migrated from food containers.

Keywords: Melamine-formaldehyde (MF), Migration, Melamine, Food containers***Corresponding author**

Mrs. Uma Boriboon

Bureau of Quality and Safety of Food, Department of Medical Sciences

Tiwanond Rd., Amper Meuang, Nonthaburi 11000.

Email: uma.b@dmisc.mail.go.th

บทนำ

เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine-formaldehyde; MF) เป็น แอมีโนพลาสติก (aminoplastic) ในกลุ่มเทอร์โมเซต (thermoset plastic)¹ ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเมลามีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์มีชื่อทางเคมีว่า 2,4,6-triamino-1,3,5-triazine กับฟอรัมาลดีไฮด์ มักเรียกกันสั้นๆว่าเมลามีน นำมาทำเป็นภาชนะและเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร นิยมใช้กันแพร่หลาย เพราะมีความสวยงาม น้ำหนักเบา ตกไม่แตก และมีวางจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด การผลิตภาชนะบรรจุอาหาร ชั้นแรกเป็นการผลิตผงพลาสติกโดยใช้ ฟอรัมาลดีไฮด์มาทำปฏิกิริยาแบบควบแน่นกับ เมลามีน ชั้นที่สองเป็นการขึ้นรูปภาชนะด้วยวิธีกดอัดในแม่พิมพ์โดยนำผงพลาสติกมาอบให้แห้ง ไล่ลงในแม่พิมพ์ กดอัดด้วยความดันและความร้อนเพื่อให้พลาสติกเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์ไขว้ (crosslink) เป็นโครงร่างที่แข็งแรง หากต้องการลดค่าจะใช้แผ่นรูปลอกติดบนผิวภาชนะ เคลือบผิวด้วยผงพลาสติกโดยใช้แรงกดอัด จะได้ชิ้นงานที่มันเงาทนการขีดขีด² พลาสติกที่ใช้ทำภาชนะและเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร นอกจาก MF แล้ว ยังมี ยูเรีย-ฟอรัมาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde; UF) เรียกสั้นๆว่า ยูเรีย ซึ่งมีวิธีการผลิตและลักษณะภายนอกเหมือนกัน เป็นพลาสติกที่อนุญาตให้ใช้สัมผัสกับอาหารได้ในหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น³ สหรัฐอเมริกา⁴ และสหภาพยุโรป⁵ สำหรับประเทศไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 524-2539

เรื่องภาชนะและเครื่องใช้เมลามีน อนุญาตให้ใช้เฉพาะ MF ทำเป็นภาชนะบรรจุอาหาร^{6,7} ฟอรัมาลดีไฮด์ และเมลามีนซึ่งเป็นมอนอเมอร์เริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตหากทำปฏิกิริยาไม่หมด จะหลงเหลือตกค้างในเนื้อพลาสติก และจะเกิดการแพร่กระจาย (migration) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายของสารจากเนื้อพลาสติกออกมาสู่อาหารเมื่อนำไปใช้งาน ทำให้อาหารที่บรรจุบนภาชนะปนเปื้อนสารเคมีอันตรายได้ ฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารที่มีความเป็นพิษ International Agency for Research on Cancer ; IARC จัดเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1⁸ ในส่วนของเมลามีน ถ้าได้รับปริมาณสูงทำให้เกิดก้อนนิ่วในไต อาจทำให้ไตวายได้^{9,10} องค์การอนามัยโลก (WHO) (2008) และ European Food Safety Authority; EFSA (2010) ได้กำหนดค่า Tolerable daily intake (TDI) หรือค่าปนเปื้อนสูงสุดของเมลามีนที่ร่างกายได้รับต่อวันโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (mg/kg.bw./day)^{10,11} ภาวะเจ็บป่วยสุขภาพยุโรป กำหนดปริมาณการแพร่กระจายของเมลามีน ไม่ให้เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม¹² มาตรฐานของไทยยังไม่มีกำหนดปริมาณการแพร่กระจายของเมลามีน โดยที่อนุญาตให้ใช้พลาสติกชนิด MF เป็นภาชนะบรรจุอาหารได้หลายประเทศมีการสำรวจคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมลามีนที่วางจำหน่ายในท้องตลาด และตรวจพบการแพร่กระจายของเมลามีนลงสู่สารละลายที่สัมผัส ในสถานะที่มีความร้อนสูงและมีสภาพเป็นกรด ปริมาณเมลามีนที่พบส่วนใหญ่ไม่เกินจากค่าที่กำหนดตามมาตรฐานสหภาพยุโรป¹³ ในขณะที่

ที่ทำการศึกษา (30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)^{14,15,16} แต่ปัจจุบันข้อกำหนดของสหภาพยุโรปตาม Commission Regulation (EU) No 1282/2011¹² กำหนดปริมาณเมลามีนต่ำกว่าเดิมมากกว่า 10 เท่าเนื่องจากต้องการปกป้องอันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะเด็กเล็ก ราช นุสนธรา และคณะ (2016) สํารวจคุณภาพของเครื่องใช้ในครัวเรือนพลาสติกเมลามีน โดยทำการวิเคราะห์ฟอรัมาลดีไฮด์และเมลามีนตามเกณฑ์มาตรฐานสหภาพยุโรป สรุปว่าเครื่องใช้ในครัวเรือนประเภทพลาสติก เมลามีน ที่จำหน่ายในประเทศไทย ส่วน ใหญ่ มี ปริมาณ เมลามีน และ ฟอรัมาลดีไฮด์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน¹⁷

ในปี พ.ศ. 2556 สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้ สํารวจภาชนะและเครื่องใช้ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 113 ตัวอย่าง พบว่าทำด้วยพลาสติก 2 ชนิด คือ MF เรียกว่าเมลามีนแท้ และ UF เรียกว่า เมลามีนปลอม เนื่องด้วยกฎหมายของ ไทยอนุญาตให้ใช้เฉพาะ MF เท่านั้น เมลามีนปลอมส่วนใหญ่เป็นสินค้านำเข้ามาจากต่างประเทศและตรวจพบจำนวนตัวอย่างที่มีฟอรัมาลดีไฮด์แพร่กระจายออกมาเกินค่ามาตรฐานมากกว่าเมลามีนแท้¹⁸ แต่ยังไม่ได้ศึกษาการแพร่กระจายของเมลามีน ทั้งนี้พลาสติกชนิด MF ประกอบด้วยเมลามีน และฟอรัมาลดีไฮด์ที่เป็นสารเริ่มต้น ในอัตราส่วนของโมล 1 ต่อ 3⁴ จึงอาจมีการแพร่กระจายของทั้งฟอรัมาลดีไฮด์และเมลามีนออกมาได้เมื่อถูกกระตุ้นจากการใช้งาน กฎหมายที่กำกับดูแลความปลอดภัยภาชนะที่ใช้บรรจุอาหารของไทยคือประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) ได้กำหนด

คุณภาพของภาชนะเมลามีน ไม่ให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก คือ ตะกั่ว และแคดเมียม เกินค่ามาตรฐาน และกำหนดการแพร่กระจายของสารต่างๆ จากภาชนะ เช่น ฟีนอลและฟอรัมาลดีไฮด์ต้องไม่พบ⁶ แต่ยังไม่มียกข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณการแพร่กระจายของเมลามีน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของเมลามีนจากภาชนะบรรจุอาหารประเภท MF ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด โดยการวิเคราะห์คุณภาพตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) และศึกษาการแพร่กระจายของเมลามีนเพิ่ม ตามข้อกำหนด Commission Regulation (EU) No. 1282/2011¹² ซึ่งนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในกฎหมายของ ไทย เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ปรับมาตรฐานภาชนะบรรจุอาหารของประเทศต่อไป

วัสดุและวิธีการศึกษา

ตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

ภาชนะบรรจุอาหารประเภท ถ้วย จาน ชาม ทำด้วยพลาสติกคล้ายเมลามีน (สังเกตจากลักษณะ ฉลาก หรือข้อความที่แจ้งไว้) จำนวน 41 ตัวอย่าง ซื้อมาจากร้านค้าในตลาดนัด แผงลอย และซูเปอร์มาร์เก็ตในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลระหว่างปี พ.ศ. 2559 แต่ละตัวอย่างเก็บภาชนะจำนวน 10 ชิ้น

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ : เครื่อง High Performance Liquid Chromatograph with DAD detector (HPLC-DAD): Agilent 1100 Series, เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) : Perkin Elmer Model Spectrum 1000, อุปกรณ์ประกอบ Diffuse reflectance และ

Abrasive pad, เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer - Flame (Flam-AAS) : Varian SpectrAA 640 พร้อม hollow cathode lamp ของ ตะกั่วและแคดเมียม, เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer: Shimadzu ; UV-160A, เครื่อง ชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง Sartorius ED 224S, อ่างน้ำ ร้อนควบคุมอุณหภูมิ Memmert WB 10, เตาเผา อุณหภูมิสูง Neytech Vulcan 3-550, ตู้อบร้อน Memmert UF 160, เตาไฟฟ้า, porcelain crucible, ถ้วยระเหย, หลอดเนสส์เลอร์, แผ่นกรองชนิด Cellulose acetate ขนาด 13 mm, 0.45 μ m

สารมาตรฐานและสารเคมี

สารมาตรฐาน: สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร Perkin Elmer (traceable to NIST) สารละลายมาตรฐาน แคดเมียมความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร Perkin Elmer (traceable to NIST)

สารเคมี: โซเดียมออกซาเลต ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.99 โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99, ฟีนอล ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99, สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 40, เมลามีน ($\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$) ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99, กรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 69-70, กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 95-97, กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 37, กรดอะซิติก (CH_3COOH) แกรเซียล, อะซิโตนไนไตรท์ (CH_3CN) HPLC grade, สารเคมีชนิดใช้กับการวิเคราะห์ (analytical grade) โซเดียมซัลไฟด์ไดไฮไดรต ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), บอริกแอซิด (H_3BO_3), 4 อะมิโนแอนติไพรีน ($\text{C}_{11}\text{H}_9\text{N}_3\text{O}$), โพแทสเซียม

เฮกซะไซยาโนเฟอร์ไรต์ ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$), แอซีทิลแอซีโตน ($\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3$)

วิธีการศึกษา

1. การวิเคราะห์ชนิดพลาสติก โดย FT-IR

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นขนาดประมาณ 4 ตารางเซนติเมตร ชูด้วย abrasive pad ที่ตำแหน่งผิวเคลือบด้านในภาชนะ เนื้อภาชนะ และผิวเคลือบด้านนอก นำผงที่ขูดได้ไปวิเคราะห์ผ่านอุปกรณ์ diffuse reflectance วัดด้วยเครื่อง FT-IR บันทึก IR spectrum ของตัวอย่าง ประเมินผลชนิดพลาสติก โดยเปรียบเทียบ IR spectrum ของตัวอย่างกับ IR spectrum ของพลาสติกที่มีในฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Eucliden Search

2. การวิเคราะห์คุณภาพตามประกาศกระทรวง

สาธารณสุข ฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548): มี 2 ส่วน 7 รายการ วิเคราะห์อ้างอิงตาม JETRO 2008¹⁹ ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 วิเคราะห์คุณภาพของเนื้อพลาสติก (material test) ในรายการ ตะกั่ว และแคดเมียม : เปรียบตัวอย่างที่ตัดละเอียด ใน porcelain crucible ที่มีกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จนเป็นถ่านดำ นำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนกระทั่งเป็นเถ้าขาว ละลายเถ้าด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ระเหยจนแห้ง ละลายด้วยสารละลายกรดไนตริก วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame AAS

ส่วนที่ 2 วิเคราะห์คุณภาพการแพร่กระจาย (migration test)

การแพร่กระจาย : ใส่ น้ำ หรือสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 (v/v) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในภาชนะตัวอย่าง ปริมาตรที่ใช้อัตราส่วน 2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปิดด้วยกระจก

วางในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 60 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สารละลายตัวอย่างที่ใช้น้ำ นำไปวิเคราะห์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา ฟีนอล และฟอร์มัลดีไฮด์ และสารละลายตัวอย่างที่ใช้กรดอะซีติกร้อยละ 4 (v/v) นำไปวิเคราะห์สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ในกรดอะซีติกร้อยละ 4 (v/v) และโลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว)

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา:ไทเทรตแบบย้อนกลับ (back titration) โดยนำสารละลายตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมออกซาลेट 0.005 โมลต่อลิตร ที่มีปริมาณมากเกินไปในสถานะที่เป็นกรด แล้วไทเทรตส่วนที่เหลือกับ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.002 โมลต่อลิตร คำนวณปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอล : นำสารละลายตัวอย่าง มาทำปฏิกิริยาให้เกิดสีกับสารละลาย 4 อะมิโนแอนติไพรีน และโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ภายใต้สภาวะที่มี บอริกบัฟเฟอร์ จะได้สารละลายสีแดง แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นประมาณ 510 นาโนเมตร (scan หาความยาวคลื่นที่วัดได้ค่าสูงสุด) คำนวณปริมาณฟีนอล เทียบกับกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์: นำสารละลายตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับสารละลายแอสซิทิลแอซีโทน (Nash reagent) ในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นประมาณ 413 นาโนเมตร (scan หาความยาวคลื่น

ที่วัดได้ค่าสูงสุด) คำนวณปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ เทียบกับกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ในกรดอะซีติกร้อยละ 4 (v/v) : ระเหยสารละลายตัวอย่าง (กรดอะซีติกร้อยละ 4 (v/v)) ในถ้วยระเหยบนอ่างน้ำร้อนจนแห้ง อบในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งและอบซ้ำจนได้มวลคงที่ แล้วคำนวณปริมาณสารตกค้างจากสารที่ระเหยได้

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว): สารละลายตัวอย่าง (กรดอะซีติกร้อยละ 4 (v/v)) และสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ในหลอดเนสส์เลอร์ จะเกิดตะกอนสีเทาแขวนลอย สีของสารละลายตัวอย่างต้องไม่เข้มกว่าสีของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

3. การวิเคราะห์การแพร่กระจายของเมลามีนตามมาตรฐานสหภาพยุโรป อ้างอิง Commission Regulation (EU) No. 10/2011⁵ และ British Standards. DD CEN/TS 13130-27²⁰

การแพร่กระจาย : ใช้ภาชนะ 3 ชั้นต่อตัวอย่าง ใส่สารละลายกรดอะซีติกร้อยละ 3 (w/v) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในภาชนะตัวอย่างให้ต่ำกว่าขอบบนของภาชนะ 0.5 เซนติเมตร ปิดด้วยกระจก วางในตู้อบร้อน ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 70 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (คำนวณพื้นที่ผิวของตัวอย่างที่สัมผัสกับสารละลายเพื่อใช้ในการคำนวณผลวิเคราะห์) สารละลายตัวอย่างที่ได้ นำไปวิเคราะห์ปริมาณเมลามีน และตัวอย่างชุดเดิมทดสอบการแพร่กระจายซ้ำอีก 2 ครั้ง

การวิเคราะห์ปริมาณเมลามีน: นำสารละลายตัวอย่าง จากการทดสอบการแพร่กระจายทั้ง 3 ครั้ง

กรองผ่านแผ่นกรองชนิด Cellulose acetate ขนาด 0.45 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ที่มี column LC-NH₂ ขนาด 250 x 4.6 mm สภาวะการวิเคราะห์ Mobile phase; 75% acetonitrile : 25% 5mM phosphate buffer pH 6.5 ± 0.2 flow rate 1 ml/min injection volume 20 µl detector DAD (Wavelength 202 nm) คำนวณปริมาณเมลามีนเทียบกับกราฟมาตรฐาน หน่วย เป็นมิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณกลับเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยใช้ น้ำหนักของสารละลายแทนปริมาตร ตัวอย่างที่มีความจุน้อยกว่า 500 มิลลิลิตร คำนวณปริมาณเมลามีนต่อหน่วยพื้นที่ แล้วคำนวณกลับให้หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (1 กิโลกรัมเทียบเท่ากับ 6 ตารางเดซิเมตร) วิเคราะห์ผลทางสถิติ ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเมลามีนระหว่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ทำด้วยพลาสติกต่างชนิดกัน ของการวิเคราะห์แต่ละครั้ง ด้วย t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$)

4. การควบคุมคุณภาพผลวิเคราะห์: มีการวิเคราะห์ blank และการตรวจสอบ % recovery (spiked sample analysis) ให้เป็นไปตามเกณฑ์ของวิธีวิเคราะห์

5. ประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ ทุกวิธีได้นำมา ทวนสอบวิธีการ ก่อนนำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ และพบว่ามีประสิทธิภาพ (ตารางที่ 1) เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ และสอดคล้องกับเกณฑ์ยอมรับตามข้อกำหนดของ AOAC (2002)²¹

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ (Performance Characteristic)

รายการวิเคราะห์	ประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์				
	Calibration curve*	LOD	LOQ	%RSD***	% recovery***
ตะกั่ว	0 - 3.50	1.0**	5.0**	2.0 - 3.9	91 - 93
แคดเมียม	0 - 0.80	0.50**	2.0**	3.3-6.2	89 - 95
สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ใน กรดอะซิติกร้อยละ 4 (v/v)	-	1.6*	5.0*	11.4	-
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำ ปฏิกิริยา	-	0.16*	0.5*	4.8 - 10.8	84 - 90
ฟีนอล	0 - 5.0	0.04*	0.50*	1.3 - 4.6	95 - 100
ฟอร์มัลดีไฮด์	0 - 4.0	0.10*	0.50*	1.6 - 12.3	98 - 103
โลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว)	-	1.0*	-	-	-
เมลามีน	0 - 5.0	0.25**	0.5**	0.8 - 1.9	85 - 102

หมายเหตุ *มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

** มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

*** จากการทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์พลาสติก ที่ 3 ระดับความเข้มข้น กรอบคลุมเกณฑ์มาตรฐาน

ผลการศึกษา

1. ผลการวิเคราะห์ชนิดพลาสติกของตัวอย่าง ในส่วนผิวเคลือบด้านใน เนื้อ และผิวเคลือบด้านนอกภาชนะ พบว่าประกอบด้วย วัสดุ 2 ชนิด คือ MF และ UF แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ 1.MF/MF/MF 2.MF/UF/UF และ 3.UF/UF/MF (ตารางที่ 2) ตัวอย่างกลุ่มที่ 1. MF/MF/MF คือ พลาสติกชนิด MF ตลอดทั้งชิ้น จำนวน 16 ตัวอย่าง ทั้งหมดผลิตในประเทศ ตัวอย่างกลุ่มที่ 2.

MF/UF/UF เนื้อภาชนะ และผิวเคลือบด้านนอก เป็นพลาสติกชนิด UF ส่วนผิวเคลือบด้านใน ภาชนะซึ่งเป็นด้านที่สัมผัสกับอาหาร เป็น พลาสติกชนิด MF มีจำนวน 24 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ ผลิตต่างประเทศ ตัวอย่างกลุ่มที่ 3. UF/UF/MF ผิวเคลือบด้านในและเนื้อภาชนะเป็นพลาสติกชนิด UF มีการเคลือบผิวด้านนอกด้วยพลาสติกชนิด MF จำนวน 1 ตัวอย่าง ผลิตจากต่างประเทศ

ตารางที่ 2 ชนิดของพลาสติกที่ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารประเภท ถ้วย จาน ชาม

กลุ่มที่	ชนิดของแอมิโนพลาสติก	จำนวน (ตัวอย่าง)	แหล่งผลิต (ตัวอย่าง)		
			ในประเทศ	ต่างประเทศ	ไม่มีข้อมูล
1	MF/MF/MF	16	16	-	-
2	MF/UF/UF	24	1	21	2
3	UF/UF/MF	1	-	1	-
รวม		41	17	22	2

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548)⁶ มี 7 รายการ คือ ตะกั่วและแคดเมียม ในเนื้อพลาสติก และการแพร่กระจายของ โลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว) ฟีนอล ฟอรัมาลดีไฮด์ สารตกค้างจากสารที่ระเหย ได้ในกร คอะซีติก ร้อยละ 4 (v/v) และ โปแตสเซียมเปอร์แมงกานต์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา

พบว่าภาชนะบรรจุอาหารจำนวน 40 ตัวอย่าง (ร้อยละ 97.6) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข มีภาชนะในกลุ่มที่ 1. MF/MF/MF เพียงตัวอย่างเดียว (ร้อยละ 2.4) ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยพบสารตกค้างจาก สารที่ระเหยได้ในกร คอะซีติก ร้อยละ 4 (v/v) เกินค่ากำหนดที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และทุก ตัวอย่างตรวจไม่พบสารอันตราย เช่น ฟีนอล และ ฟอรัมาลดีไฮด์ (ตารางที่ 3)

3. ผลการแพร่กระจายของเมลามีนตามมาตรฐานสหภาพยุโรป ผลการแพร่กระจายซึ่งทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้สารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3% (w/v) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีการแพร่กระจายของเมลามีนออกมาทุกตัวอย่าง ขณะที่ไม่พบการแพร่กระจายของเมลามีนในกลุ่มที่ 3 เมื่อใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งที่ 3 เทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ตามข้อกำหนด Commission Regulation (EU) No. 1282/2011¹² พบว่าตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 3 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 18.8 และตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 10 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 41.7 (ตารางที่ 4) การทดสอบซ้ำ 3 ครั้งพบว่า มีหลายตัวอย่างค่าที่ได้มีแนวโน้มไม่แน่นอน บางตัวอย่างพบเมลามีนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในการทดสอบครั้งแรกแต่เมื่อทดสอบครั้งที่ 2 และ 3 ผลที่ได้กลับผ่านเกณฑ์ เช่นตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 จำนวน 5 ตัวอย่าง ขณะที่ตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 จำนวน 2 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ 2 จำนวน 2 ตัวอย่าง พบเมลามีนผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบครั้งแรก แต่เมื่อทดสอบครั้งที่ 3 ผลที่ได้กลับไม่ผ่านเกณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมลามีนที่แพร่กระจายออกมาจากภาชนะกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ในการทดสอบ 3 ครั้งพบว่า ปริมาณเมลามีนที่แพร่กระจายออกมาของภาชนะกลุ่มที่ 2 สูงกว่า

กลุ่มที่ 1 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง (ตารางที่ 4)

วิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ชนิดพลาสติก ของภาชนะบรรจุอาหารประเภท MF ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าเป็นแอมิโนพลาสติก และตัวอย่างส่วนใหญ่มี MF เคลือบผิวภาชนะด้านในส่วนที่ใช้สัมผัสอาหาร จึงมีโอกาสเกิดการแพร่กระจายของเมลามีนได้ จากชนิดพลาสติกที่พบแสดงให้เห็นว่า ภาชนะพลาสติกที่มีลักษณะเหมือนเมลามีนอาจมีทั้ง MF และ UF ในกรณีที่ทำด้วย UF มักเคลือบผิวด้านในด้วย MF ตัวอย่างที่นำมาศึกษาพบว่าหากทำด้วย MF ทั้งชิ้นทั้งหมดเป็นสินค้าที่ผลิตในประเทศ แต่ภาชนะที่ทำด้วย UF เคลือบผิวด้วย MF ส่วนใหญ่เป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้^{17,18} การใช้ UF ซึ่งมีราคาถูกกว่าเป็นเนื้อในของภาชนะ แล้วเคลือบผิวด้วย MF อาจมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนทำให้สินค้ามีราคาต่ำกว่าชนิดที่ใช้ MF ตลอดทั้งชิ้น หรือเพื่ออำพรางคุณภาพสินค้า เพราะหากตรวจสอบชนิดพลาสติกเฉพาะด้านในที่สัมผัสกับอาหารจะพบว่าเป็น MF ตามที่กฎหมายกำหนด และฉลากของภาชนะดังกล่าว ส่วนใหญ่แจ้งเพียงว่าเป็นพลาสติก ไม่ได้บ่งชี้ว่าเป็นพลาสติกชนิดใด แต่มีลักษณะเหมือนเมลามีน จึงอาจสร้างความเข้าใจผิดต่อผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อสินค้าได้

ตารางที่ 4 ปริมาณเมลามีนที่แพร่กระจายจากภาชนะบรรจุอาหาร ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยสารละลายกรดอะซีติกร้อยละ 3 (w/v)

ชนิดพลาสติก	ตัวอย่าง	ปริมาณเมลามีน* (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			ผล **
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
กลุ่มที่ 1 MF/MF/MF	1. ขามกลมสีชมพู ๑6 นิ้ว	0.69	0.22	0.81	ผ่าน
	2. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกดาวกระจาย ๑6 นิ้ว	0.69	1.69	1.71	ผ่าน
	3. ขามกลมสีครีม ๑7 นิ้ว	2.26	0.99	1.85	ผ่าน
	4. ขามสามเหลี่ยมสีเขียว	0.69	0.33	2.90	ไม่ผ่าน
	5. ขามกลมสีครีมด้านนอก พิมพ์ลายดอกไม้ ๑5.5 นิ้ว	0.37	0.72	1.24	ผ่าน
	6. ขามกลมสีชมพู ๑6 นิ้ว	1.60	1.42	1.82	ผ่าน
	7. ขามกลมสีฟ้า ๑6 นิ้ว	0	0.08	0.30	ผ่าน
	8. ขามกลมสีชมพู ๑7 นิ้ว	0	0.12	0.27	ผ่าน
	9. ถ้วยกลมสีขาวด้านนอกพิมพ์ลายดอกไม้ ๑4.5 นิ้ว	3.47	3.79	2.94	ไม่ผ่าน
	10. ถ้วยกลมสีฟ้า ๑4.5 นิ้ว	3.89	3.30	1.80	ผ่าน
	11. ถ้วยกลมสีขาวด้านนอกพิมพ์ลายดอกไม้ ๑4.5 นิ้ว	0.78	1.43	0.85	ผ่าน
	12. ถ้วยกลมสีขาว ๑4.5 นิ้ว	0.93	1.22	1.11	ผ่าน
	13. ถ้วยกลมสีแดง ๑5 นิ้ว	0.37	0.71	2.41	ผ่าน
	14. ถ้วยกลมสีดำ ๑5 นิ้ว	1.64	1.56	3.16	ไม่ผ่าน
	15. จานสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้ ๑8 นิ้ว	0.63	0.29	0.63	ผ่าน
	16. จานสีขาวด้านในพิมพ์ลายดาว ๑8 นิ้ว	1.09	0.81	1.31	ผ่าน
ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.20 ± 1.29	1.17 ± 1.15	1.57 ± 0.85	
กลุ่มที่ 2 MF/UF/UF	1. ขามกลมสีน้ำตาลด้านในพิมพ์ลายผลไม้ ๑6 นิ้ว	4.26	4.57	5.50	ไม่ผ่าน
	2. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้ ๑7 นิ้ว	7.13	1.47	2.83	ไม่ผ่าน
	3. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายสีเหลือง ๑7 นิ้ว	0.70	0.74	1.41	ผ่าน
	4. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้สีแดง ๑6 นิ้ว	1.20	0.54	0.79	ผ่าน
	5. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้สีชมพู ๑6 นิ้ว	1.70	0.48	1.38	ผ่าน
	6. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกบัว ๑8 นิ้ว	0.28	0	0.42	ผ่าน
	7. ขามกลมสีฟ้า ๑6 นิ้ว	3.36	0.77	1.66	ผ่าน
	8. ขามทรงใบบัวสีชมพู ๑6 นิ้ว	3.25	1.39	1.84	ผ่าน
	9. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกกุหลาบ ๑6 นิ้ว	1.76	0.81	1.44	ผ่าน
	10. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้สีเขียว ๑7 นิ้ว	3.85	0.69	1.47	ผ่าน
	11. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้ ๑7.5 นิ้ว	3.82	1.29	0.86	ผ่าน
	12. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกทิวลิป ๑8 นิ้ว	1.17	0.86	1.86	ผ่าน
	13. ขามกลม 2 สี ด้านในสีขาวด้านนอกสีส้ม ๑6 นิ้ว	1.85	1.10	3.11	ไม่ผ่าน
	14. ขามกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกกุหลาบ ๑6 นิ้ว	2.45	2.59	2.70	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 4 ปริมาณเมลามีนที่แพร่กระจายจากภาชนะบรรจุอาหาร ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 (w/v) (ต่อ)

ชนิดพลาสติก	ตัวอย่าง	ปริมาณเมลามีน* (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			ผล**
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
	15. ขามทรงรีสีขาวด้านในพิมพ์ลาย	0.79	0.94	1.54	ผ่าน
	16. ถ้วยกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายรูปสัตว์ ๑ 4.5 นิ้ว	1.75	0.84	1.13	ผ่าน
	17. ถ้วยกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายผลไม้ ๑ 5 นิ้ว	8.25	2.27	3.64	ไม่ผ่าน
	18. ถ้วยกลมสีชมพู ๑ 4.5 นิ้ว	2.06	0.92	1.42	ผ่าน
	19. ถ้วยสี่เหลี่ยมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกกุหลาบ	5.88	1.98	1.60	ผ่าน
	20. ถ้วยกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกกลี๋ย ๑ 5 นิ้ว	4.78	2.48	5.47	ไม่ผ่าน
	21. ถ้วยกลมสีขาวด้านในพิมพ์ลายใบไม้ ๑ 5 นิ้ว	8.23	6.21	6.19	ไม่ผ่าน
	22. ถ้วยสี่เหลี่ยมสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกกลี๋ย	14.74	10.58	9.59	ไม่ผ่าน
	23. ถ้วยสี่เหลี่ยมสีขาวด้านในพิมพ์ลายอักษร	6.06	4.34	4.38	ไม่ผ่าน
	24. จานสีขาวด้านในพิมพ์ลายดอกไม้ ๑ 8 นิ้ว	3.84	2.60	3.25	ไม่ผ่าน
ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		3.88 ± 10.75	2.10 ± 5.47	2.73 ± 4.66	
p-value (ระหว่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2)***		0.00	0.048	0.01	
กลุ่มที่ 3	1. ขามสีขาวด้านนอกพิมพ์ลายดอกไม้ ๑ 6 นิ้ว	0	0	0	ผ่าน
UF/UF/MF					

หมายเหตุ ๑ คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

* แสดงปริมาณจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบภาชนะ 3 ชิ้นต่อตัวอย่าง (N=3)

** ผลที่ใช้ตัดสินเทียบกับเกณฑ์ Commission Regulation (EU) No. 1282/2011 (กำหนดปริมาณเมลามีนไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

*** p-value จาก t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิเคราะห์คุณภาพของภาชนะตามข้อกำหนดของกฎหมาย ใช้วิธีวิเคราะห์ที่เป็นวิธีมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น¹⁹ ซึ่งมีข้อกำหนดเช่นเดียวกับประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) วิธีที่อ้างอิงกำหนดให้ทดสอบการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สำหรับภาชนะที่ใช้งานอุณหภูมิไม่

เกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นลักษณะการใช้งานทั่วไปของตัวอย่างประเภท ถ้วย จาน ขาม ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างภาชนะพลาสติกที่นำมาศึกษาจำนวน 40 ตัวอย่าง (ร้อยละ 97.6) มีคุณภาพตามที่กฎหมายของไทยกำหนดไว้ เกณฑ์กำหนดปริมาณการแพร่กระจาย อิงตามชนิดพลาสติกที่สัมผัสกับอาหาร กรณีตัวอย่างที่นำมาศึกษา กลุ่ม

ที่ 1. MF/MF/MF เป็น MF ตลอดทั้งชิ้น จะตรงตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ขณะที่ตัวอย่างกลุ่มที่ 2. MF/UF/UF ใช้วัสดุประเภท UF มาขึ้นรูปเป็นภาชนะแล้วเคลือบผิวด้านในด้วย MF ซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องสัมผัสกับอาหาร เป็นการทำให้ตรงตามข้อกำหนดของกฎหมาย จึงสามารถวางจำหน่ายในท้องตลาดได้ แต่ผลการวิจัยโดย Kim S. et al. (2006) พบว่าพลาสติกประเภท UF มีความแข็งแรงน้อยกว่า MF เพราะพอร์มาดีไฮด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับเมลามีนได้ดีกว่ายูเรีย จึงเกิดพันธะเชื่อมขวางได้มากกว่า และความร้อนจะทำให้โครงข่ายของพลาสติกชนิด UF แตกออกได้ง่ายกว่า MF ทำให้พอร์มาดีไฮด์เกิดการแพร่กระจายได้มากกว่า²²

กรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์ได้ศึกษาการแพร่กระจายของพอร์มาดีไฮด์จากภาชนะบรรจุอาหาร อิงตามมาตรฐานสหภาพยุโรป โดยใช้สารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3 (w/v) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าภาชนะพลาสติกชนิด UF มีการแพร่กระจายของพอร์มาดีไฮด์เกินเกณฑ์มาตรฐานจำนวนมาก แม้ว่าภาชนะดังกล่าวมีการเคลือบผิวด้วยพลาสติกชนิด MF ไว้แล้วก็ตาม¹⁸ ในการศึกษาครั้งนี้ สภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามที่กฎหมายกำหนดอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้พอร์มาดีไฮด์แพร่กระจายออกมาได้จึงตรวจไม่พบพอร์มาดีไฮด์

มาตรฐานสหภาพยุโรป European Commission Directive 2002/72/EC¹³ กำหนดค่า SML (specific migration limit) ของเมลามีน ไว้ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อมาได้ปรับลดลงเหลือ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอิงกับ

ค่า TDI ซึ่งคำนึงถึงการได้รับสารของเด็ก และให้สอดคล้องกับค่าที่กำหนดการปนเปื้อนของเมลามีนในอาหาร¹² ในส่วนการวิเคราะห์กำหนดไว้ว่า หากตัวอย่างมีการใช้งานซ้ำหลายครั้ง ต้องทดสอบการแพร่กระจายซ้ำ 3 ครั้ง และใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งที่ 3 เทียบกับค่ามาตรฐาน ในการทดสอบจะใช้ตัวแทนอาหารเรียกว่า food simulant กระตุ้นให้เกิดการแพร่กระจายของสารจากภาชนะ มาตรฐานกำหนด food simulants ไว้ให้เลือกใช้หลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมและครอบคลุมประเภทของอาหารกลุ่มต่างๆ การศึกษานี้ทดสอบการแพร่กระจาย โดยเลือกใช้สารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 3% (w/v) เป็นตัวแทนอาหาร ที่มีสภาวะเป็นกรดซึ่งมีการศึกษาพบว่าสามารถกระตุ้นให้เมลามีนแพร่กระจายออกมาได้มากกว่าสารละลายอื่น^{14,16} การทดสอบในสภาวะอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงนั้น เป็นข้อกำหนดสำหรับภาชนะประเภทที่ใช้บนโต๊ะอาหารซึ่งอาจจะต้องสัมผัสกับอาหารร้อนที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ในเวลาไม่เกิน 15 นาที เรียกว่าเป็นการบรรจุขณะร้อน (hot filled) และเป็นสภาวะที่แนะนำให้ใช้เพื่อทดสอบการแพร่กระจายของภาชนะประเภทถ้วย จาน ชาม เมลามีน²³ การวิเคราะห์ปริมาณเมลามีนตามวิธี British Standards. DD CEN/TS 13130-27²⁰ จากการทวนสอบวิธีวิเคราะห์ พบว่ามีประสิทธิภาพสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ตามเกณฑ์ยอมรับ ผลการศึกษาพบการแพร่กระจายของเมลามีนออกมาจากทุกตัวอย่าง ที่มี MF เป็นด้านที่สัมผัสกับอาหาร และตัวอย่างร้อยละ 31.7 ไม่ผ่านเกณฑ์สหภาพยุโรป ซึ่งในจำนวนตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์นั้นพบว่าเป็นตัวอย่างในกลุ่มที่

2. MF/UF/UF จำนวน 10 ตัวอย่าง (ร้อยละ 41.7) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมลามีนที่แพร่กระจายออกมาของภาชนะ กลุ่มที่ 1 กับ กลุ่มที่ 2 จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง พบว่าปริมาณเมลามีนจากภาชนะกลุ่มที่ 2 สูงกว่ากลุ่มที่ 1 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ ($p = 0.00, 0.01$ และ 0.04 ตามลำดับ) เป็นที่น่าสังเกตว่าการแพร่กระจายของเมลามีนมีความแปรปรวน กล่าวคือค่าที่ได้มีแนวโน้มไม่แน่นอน บางตัวอย่างพบเมลามีนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในการทดสอบครั้งแรกแต่เมื่อทดสอบครั้งที่ 2 และ 3 ผลที่ได้กลับผ่านเกณฑ์ ขณะที่บางตัวอย่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบครั้งแรก แต่เมื่อทดสอบครั้งที่ 3 ผลที่ได้กลับไม่ผ่านเกณฑ์ ความแปรปรวนดังกล่าวอาจมาจากตัวสินค้า ถึงแม้จะมีตราสินค้าเดียวกันแต่ในการผลิต มีการผลิตแยกแต่ละชิ้น ภาชนะที่ใช้ในการขึ้นรูปอาจไม่สม่ำเสมอทั้งอุณหภูมิและความดัน ส่งผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอไปด้วย อย่างไรก็ตาม แม้ว่าตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มจะมีพลาสติกชนิด MF สัมผัสกับสารละลายที่ใช้ทดสอบ แต่ภาชนะทำด้วย MF ทั้งส่วนเนื้อและผิวที่เคลือบมีอัตราส่วน ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าภาชนะที่มี MF เฉพาะส่วนผิวเคลือบเท่านั้น สอดคล้องกับการศึกษาอื่นซึ่งพบว่าพลาสติกชนิด UF ที่เคลือบผิวด้วย MF มีจำนวนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าชนิด MF¹⁷ โดยอาจจะมีสาเหตุมาจากวัตถุดิบและกระบวนการผลิต หากการเคลือบผิวไม่สมบูรณ์สารที่เคลือบมีโอกาสที่จะแพร่กระจายออกมาได้ ขณะที่ตัวอย่างกลุ่มที่ 3. UF/UF/MF ตรวจไม่พบการแพร่กระจายของ เมลามีน ซึ่งตัวอย่างนี้ด้านใน

ของภาชนะเป็น UF ไม่ได้ใช้เมลามีนเป็นสารตั้งต้นในการผลิต จึงไม่มีเมลามีนตกค้างในเนื้อพลาสติก อย่างไรก็ตามผลการศึกษา ที่ผ่านมาพบการแพร่กระจายของฟอร์มาลดีไฮด์จากภาชนะ UF ในปริมาณสูงกว่าภาชนะที่ทำด้วย MF^{17,18}

หากพิจารณาในแง่ของการทดสอบการแพร่กระจาย จะเห็นว่ามาตรฐานของไทยและสหภาพยุโรป กำหนดสภาวะที่ใช้ทดสอบต่างกัน กล่าวคือ ตามมาตรฐานของไทยทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่รุนแรงเท่ากับสภาวะทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามมาตรฐานสหภาพยุโรป มีรายงานการศึกษาพบว่า เมื่อทดสอบการแพร่กระจายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบเมลามีนปริมาณต่ำมากหรือตรวจไม่พบเลย^{24,25} และการศึกษาเปรียบเทียบสภาวะทดสอบระหว่างอุณหภูมิ 25, 70 และ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที พบว่าเมลามีนแพร่กระจายออกมาปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น¹⁶ มีหลายการศึกษาสรุปตรงกันว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ จากภาชนะบรรจุอาหาร คือความเป็นกรด หากสารละลายที่ใช้มีความเป็นกรดสูงจะทำให้เกิดการแพร่กระจายได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยของอุณหภูมิและเวลา กรณีที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาที่สารละลายสัมผัสกับภาชนะยาวนานขึ้นจะยิ่งกระตุ้นให้ทั้งฟอร์มาลดีไฮด์และเมลามีนเกิดแพร่กระจายได้มากขึ้นด้วย^{14,16,24,25,26} ดังนั้น สำหรับภาชนะแอมิโนพลาสติกประเภท MF และ UF สภาวะที่ใช้ทดสอบการแพร่กระจายจึงมี

ความสำคัญต่อการบ่งบอกถึงคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

สรุป

ภาชนะบรรจุอาหารประเภท ถ้วย จาน ชาม ทำด้วยแอมิโนพลาสติก ที่มักจะเรียกกันว่า ภาชนะเมลามีนนั้น เมื่อตรวจสอบชนิดของพลาสติกในส่วนของผิวเคลือบด้านใน ตัวภาชนะ และผิวเคลือบด้านนอก โดยใช้ FT-IR พบว่ามีทั้งที่ทำด้วยพลาสติกชนิด MF/MF/MF MF/UF/UF และ UF/MF/MF กฎหมายและมาตรฐานของประเทศไทยกำหนดให้ใช้ได้เฉพาะพลาสติกชนิด MF เท่านั้น การนำพลาสติกอื่น เช่น UF มาทำภาชนะแล้วเคลือบเฉพาะผิวหน้าด้วย MF เพื่อลดต้นทุนการผลิต หากฉลากสินค้าไม่ได้ให้ข้อมูลที่ถูกต้อง เป็นการปลอมและหลอกลวงผู้บริโภคให้เข้าใจผิดได้ จากการตรวจคุณภาพของตัวอย่างตามข้อกำหนดของกฎหมายพบว่าร้อยละ 97.6 ได้มาตรฐาน และตัวอย่างทั้งหมดตรวจไม่พบการแพร่กระจายของสารเคมีอันตราย เช่น ฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ ดังนั้นถึงแม้ว่าจะผลิตจากพลาสติกที่ไม่ใช่ MF แต่ถ้าเคลือบผิวในส่วนที่สัมผัสอาหารด้วย MF ก็ทำให้คุณภาพของสินค้าตรงตามที่กฎหมายกำหนดได้ อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบการแพร่กระจายของเมลามีนเพิ่มเติมไป

จากข้อกำหนดที่มีอยู่ โดยวิธีวิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐานสหภาพยุโรป พบว่ามีตัวอย่างที่ไม่ได้มาตรฐานร้อยละ 31.7 ซึ่งมีข้อสังเกตว่า การทดสอบตามมาตรฐานสหภาพยุโรป มีระดับความเข้มข้นกว่าเงื่อนไขที่กำหนดตามมาตรฐานของไทย ทั้งอุณหภูมิที่สูงกว่าและระยะเวลาที่ใช้มากกว่า จึงทำให้สารต่างๆที่ตกค้างในเนื้อพลาสติก มีโอกาสแพร่กระจายออกมาจากภาชนะได้มากกว่า การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการทบทวนข้อกำหนดคุณภาพของภาชนะบรรจุอาหารให้ครอบคลุม แอมิโนพลาสติกทั้งชนิด MF และ UF ควรกำหนดปริมาณการแพร่กระจายทั้งของเมลามีนและฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ เริ่มต้นที่ใช้ผลิต และควรกำหนดสภาวะทดสอบให้เหมาะสม สอดคล้องกับมาตรฐานอื่น เพื่อป้องกันสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานเข้ามาวางจำหน่ายในท้องตลาด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ดำเนินการภายใต้งบประมาณของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวัสดุสัมผัสอาหาร สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ทุกท่านที่มีส่วนดำเนินการจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

1. ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรมศัพท์พอลิเมอร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพฯ: บริษัทแปลนปริทัศน์ จำกัด, 2551.
2. งามทิพย์ ภู่วโรคม. วัสดุสัมผัสอาหาร: ความปลอดภัยและกฎระเบียบ. กรุงเทพมหานคร: บริษัทออฟโฟรเอบ จำกัด, 2558: 252-3.
3. Japan External Trade Organization. Specifications and standards for foods food additives etc. under the Food Sanitation Act (abstracts). JETRO Overseas research department, 2010:128.
4. Food and Drugs. The Code of Federal Regulation 21 Part 170 to 199. 177.1460 melamine-formaldehyde resin in molded articles. Maryland: Bernan, 2006: 275.
5. Commission Regulation (EU) No. 10/2011. Plastic materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Union*, 2011. L12/1-89.
6. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศ กระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 295) พ.ศ. 2548 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก. คัดจากราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 123 ตอนพิเศษ 1 ง. ลงวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2548.
7. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 524-2539, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะและเครื่องใช้เมลามีน. กรุงเทพฯ: สมอ., 2539. 1-15.
8. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Formaldehyde, Volume 100F (2012); 1-36.
9. Skinner C G, Thomas J D, Osterloh J D. Melamine toxicity. *J. Med Toxicol*, 2010; 6:50-5.
10. European Food Safety Authority (EFSA) (2010). Scientific opinion on melamine in food and feed. Available at <http://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2010.1573>, accessed Aug 3, 2018.
11. World Health Organization (WHO). Expert set tolerable level for melamine intake, 2008; 1-2. Available at <http://www.who.int/mediacentre/news/release/2008/pr48/en/>, accessed Aug 3, 2018.
12. Commission Regulation (EU) No. 1282/2011. Amending and correcting Commission Regulation (EU) No. 10/2011 plastic materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Union*, 2011.L328/22-29.
13. EC 2002. Commission Directive 2002/72/EC of 6 August 2002 relating to plastics materials and articles intended to come into contact with foodstuffs. *Official Journal of the European Communities* L 220:18.

14. Bradley E L, Boughtlower V, Smith T L, *et al.* Survey of the migration of melamine and formaldehyde from melamine food contact articles available on the UK market. *Food Additives & Contaminants* 2005; 22(6):597-606.
15. Lu J, Xiao J, Yang D-J, *et al.* Study on migration of melamine from packaging materials on market. *Biomed Environ Sci* 2009; 22: 104-8.
16. Chick Z, Mohamad Haron D E, Ahmad E D, *et al.*, Analysis of melamine migration from melamine food contact articles. *Food Additives and Contaminants*. July 2011; 28(7): 967-73.
17. ชวัช นุสนธรา, ปวีรศา สีสวย, สุภัตรา เจริญเกษมวิทย์. การสำรวจเบื้องต้น : คุณภาพของเครื่องใช้ในครัวเรือนพลาสติกเมลามีน. *Bulletin of Applied Sciences*. 2016; 5(5): 19-30.
18. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. การสำรวจคุณภาพของภาชนะที่ใช้บนโต๊ะอาหารทำด้วยพลาสติกเกรดสูงที่วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล. รายงานประจำปี 2556 กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. นนทบุรี; กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2556: 73-4.
19. Japan External Trade Organization. II Standard and testing methods for implements, containers and packaging. Specifications, standards and testing methods for foodstuffs, implements, containers and packaging toys detergents. JETRO Overseas research department, 2008; 85-117.
20. British Standards. DD CEN/TS 13130-27, Materials and articles in contact with foodstuffs - Plastics substances subject to limitation - Part 27: determination of 2,4,6-triamino-1,3,5-triazine in food simulants. 2005; 1-13.
21. AOAC guideline for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals, 2002. Available at http://www.aoac.org/imis.15_prod/AOAC_Docs/Standards_Development/SLV_Guideline_Dietary_Supplements.pdf, accessed Feb 12, 2010.
22. Kim S, Kim H-J, Kim H-S, *et al.* Thermal analysis study of viscoelastic properties and activation energy of melamine-modified urea-formaldehyde resin. *J. Adhesion Sci.Technol*, 2006; 20 (8):803-16.
23. Simoneau C, Hoekstra E, Bradley E, Bustos J, Golja V, Kappenstein O, *et al.* Technical guideline on testing the migration of primary aromatic amines from polyamide kitchenware and of formaldehyde from melamine kitchenware. *JRC Scientific and Technical Reports*, 2011; 1-58.
24. Ishiwata H, Inoue T, and Tanimura A. Migration of melamine and formaldehyde from tableware made of melamine resin.

-
- Food Additives & Contaminants* 1986; 3(1):63-70.
25. Martin R E, Hizo C B, Ong A M, et al. Release of formaldehyde and melamine from melamine tableware manufactured in the Philippines. *J Food Protection*, 1992; 55(8): 632-5.
26. Lynch R A, Hollen H, Johnson D L, et al. The effect of pH on the migration of melamine from children's bowls. *Int J Food Contam*, 2015; 2(9):1-14.

ตารางที่ 3 ผลการตรวจคุณภาพของภาชนะพลาสติกตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548)

ชนิดพลาสติก	จำนวน (ตัวอย่าง)	ตะกั่ว*	แคดเมียม*	ปริมาณ (*มิลลิกรัม/กิโลกรัม หรือ **มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)					ไม่ผ่านเกณฑ์ (ตัวอย่าง)
				สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ ในกรดอะซิติกร้อยละ 4(v/v)**	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ ใช้ทำปฏิกิริยา**	โลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว)**	ฟีนอล**	ฟอร์มาลดีไฮด์**	
1.MF/MF/MF	16	ND - <5.0	ND - <2.0	ND - 35	<0.5 – 2.2	ND	ND	ND	1***
2.MF/UF/UF	24	ND - <5.0	ND - <2.0	ND - <5.0	<0.5 – 2.1	ND	ND	ND	ไม่มี
3.UF/UF/MF	1	<5.0	ND	<5.0	9.2	ND	ND	ND	ไม่มี

หมายเหตุ ND = Not detected (ตรวจไม่พบ)

** ทดสอบการแพร่กระจาย ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีก่อนนำสารละลายตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์

*** สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ในการดอะซิติกร้อยละ 4 (v/v) เกินเกณฑ์มาตรฐาน (30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)