

การศึกษาปริมาณ บีสฟีนอล เอ ฟีนอล และ พี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่ออกมาจากขวดนม และ ภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กชนิดพอลิคาร์บอเนต ที่สภาวะต่าง ๆ

อุมา บริบูรณ์ ศศิธร หอมดำรงวงศ์ และภัสสริน สายสุวรรณ

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ถนนติวานนท์ นนทบุรี 11000

บทคัดย่อ บีสฟีนอล เอ (BPA) จัดเป็นสารรบกวนการทำงานของฮอร์โมน (endocrine disruptor) จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า บีสฟีนอล เอ มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ พัฒนาการ และการเจริญเติบโต เนื่องจากในการผลิตพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต (PC) ที่ใช้ทำขวดนมมี บีสฟีนอล เอ เป็นสารเริ่มต้น ผู้บริโภคจึงมีความกังวลถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับบีสฟีนอล เอ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแพร่ (migration) ของบีสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล จากขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็ก รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานซ้ำในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ ดำเนินการในระหว่างปี พ.ศ. 2554 โดยสุ่มซื้อขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กจำนวน 32 ตัวอย่างที่วางจำหน่ายในกรุงเทพฯ และนนทบุรี ทดสอบการแพร่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใช้น้ำ และสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนอาหาร (food simulants) เตรียมสารละลายตัวอย่างให้สะอาดและเข้มข้นโดยผ่าน solid-phase extraction (SPE) ตรวจวิเคราะห์ด้วย HPLC-FL ผลการศึกษาพบการแพร่ไปสู่ food simulants ของ บีสฟีนอล เอ และฟีนอล จากทุกตัวอย่าง ปริมาณรวมของสารทั้ง 3 ชนิดที่พบในน้ำ 0.73 - 2.54 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.41 ไมโครกรัมต่อลิตร และในสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 โดยปริมาตร พบ 0.72 - 3.68 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.58 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้ง 2 กรณีพบ พี-ที-บิวทิลฟีนอล ปริมาณน้อยกว่าบีสฟีนอล เอ และฟีนอล เมื่อศึกษาเปรียบเทียบการแพร่จำนวน 120 ครั้งในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ จำลองจากการใช้งาน พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ใน autoclave มีการแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิดมากกว่าที่สภาวะอื่น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่สัมผัสมีผลต่อการแพร่ของสารมากกว่าปัจจัยอื่น อย่างไรก็ตามปริมาณสารที่พบทุกกรณีต่ำกว่าค่ากำหนด 2.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร (2,500 ไมโครกรัมต่อลิตร) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) มาก และปริมาณบีสฟีนอล เอ ที่พบก็ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 30 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามที่กำหนดในมาตรฐานสหภาพยุโรป EN 14350-2 (2004)

บทนำ

บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A, BPA) สังเคราะห์มาจาก อะซิโตนกับฟีนอล (Phenol, PH) เป็นสารเริ่มต้นในการผลิต อีพอกซี-เรซิน ที่ใช้เคลือบกระป๋องบรรจุอาหารและพลาสติกหลายชนิด เช่น พอลิคาร์บอเนต พอลิเอสเทอร์ พอลิซิลิโคน พอลิอะคริเลต เป็นต้น บิสฟีนอล เอ มีโครงสร้างที่คล้ายกับฮอร์โมนเอสโตรเจน จัดเป็นสารในกลุ่ม endocrine disruptor ที่อาจรบกวนการทำงานของฮอร์โมนเอสโตรเจนได้⁽¹⁾ US EPA สรุปไว้ว่าจากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า บิสฟีนอล เอ มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ พัฒนาการ และการเจริญเติบโต ปริมาณบิสฟีนอล เอ ที่สะสมในร่างกายของมนุษย์และในสิ่งแวดล้อมพบว่าต่ำมากจนอาจจะไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ แต่อาจมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดจากการได้รับสารปริมาณน้อยยังไม่มีข้อสรุป⁽²⁾ พอลิคาร์บอเนต มีลักษณะใส แข็งแรง ตกไม่แตก ทนความร้อนสูงได้ นิยมใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ ขวดนม และอุปกรณ์ต่างๆ จากความกังวลในอันตรายของ บิสฟีนอล เอ ทำให้หลายประเทศออกกฎหมายห้ามใช้สารนี้ในการผลิตขวดนมสำหรับเด็กและทารกไว้ก่อน เนื่องจากทารกตอบสนองต่อการได้รับ บิสฟีนอล เอ มากกว่าผู้ใหญ่ เพราะระบบต่างๆ กำลังพัฒนาและทารกไม่สามารถกำจัดสารออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ^(2, 3, 4) แคนาดาเป็นประเทศแรกที่ได้ประกาศห้ามจำหน่ายขวดนมที่มี บิสฟีนอล เอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากพบว่าสารนี้ เป็นสารเคมีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์แม้ในปริมาณต่ำ⁽⁵⁾ คณะกรรมาธิการกิจการนโยบายสาธารณสุขและผู้บริโภคของสหภาพยุโรปประกาศห้ามผลิตและจำหน่ายขวดนมที่ทำจากพอลิคาร์บอเนตซึ่งมีบิสฟีนอล เอ ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2554 ด้วยหลัก precautionary principle⁽⁶⁾ หลายประเทศในแต่ละภูมิภาค เช่น สหรัฐอเมริกาจำนวน 9 รัฐ จีน มาเลเซีย แอฟริกาใต้ เกาหลีใต้ และสหราชอาณาจักรได้ประกาศห้ามผลิตและจำหน่ายขวดนมที่ทำจากพอลิคาร์บอเนตซึ่งมีบิสฟีนอล เอ อีกหลายประเทศใช้มาตรการความร่วมมือโดยสมัครใจระหว่างรัฐบาลและผู้จำหน่ายในการทยอยเลิกใช้ขวดนมที่มี บิสฟีนอล เอ⁽⁷⁾ ขณะที่ FAO/WHO ยังไม่มีข้อสรุปในการกำหนดค่าความปลอดภัยหรือมาตรการในการควบคุมเนื่องจากพบว่ายังขาดข้อมูลการศึกษาในสัตว์ทดลองที่มีการประเมินความเสี่ยงอย่างถูกต้องและเหมาะสม⁽⁸⁾ ภายหลังการพิจารณาหลายครั้ง European Food Safety Authority (EFSA) ยังคงกำหนดปริมาณสูงสุดที่ยอมให้รับได้ต่อวัน (Tolerable Daily intake: TDI) เท่ากับ 0.05 mg/kg.bw/day⁽⁹⁾ แม้จากการศึกษาจะพบว่าการแพร่ (migration) ของบิสฟีนอล เอ ออกมาจากขวดนมที่ทำด้วยพอลิคาร์บอเนต อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายเมื่อเปรียบเทียบกับค่า TDI^(10, 11, 12) แต่อย่างไรก็ตามหลายหน่วยงานมีความเห็นว่าทารกและเด็กเล็ก ได้รับบิสฟีนอล เอ ซึ่งมาจากภาชนะบรรจุและลงไปสู่อาหารมากกว่าจากแหล่งอื่น^(2, 3) ดังนั้นหน่วยงานต่างๆ ที่กำกับดูแลด้านความปลอดภัยของผู้บริโภคยังคงติดตามและศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแหล่งที่มา การได้รับสัมผัส และความเป็นพิษของบิสฟีนอล เอ ต่อไป

จากการศึกษาในประเทศญี่ปุ่นพบสารอื่นแพร่ออกมาจากขวดนม นอกจากบิสฟีนอล เอ คือ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล (p-tert-butylphenol, PTBP)⁽¹³⁾ ญี่ปุ่นจึงมีข้อกำหนดปริมาณการตกค้างของสารดังกล่าวรวมกันในพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนตไว้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณการแพร่ไม่เกิน 2.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร⁽¹⁴⁾ เช่นเดียวกับประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก⁽¹⁵⁾ ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานการสำรวจวิจัยปริมาณ บิสฟีนอล เอ ที่รวมฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล จากผลิตภัณฑ์พอลิคาร์บอเนต ขณะที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 117 (พ.ศ. 2532) เรื่อง ขวดนม อนุญาตให้ใช้พอลิคาร์บอเนตผลิตขวดนมได้โดยไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับบิสฟีนอล เอ⁽¹⁶⁾ อย่างไรก็ตามตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2554 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้พิจารณาในประเด็นเรื่องบิสฟีนอล เอ เพื่อทบทวนและปรับปรุงประกาศฉบับนี้ จึงได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาปริมาณ บิสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่จากขวดนมและ

ภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กซึ่งมีวางจำหน่ายในท้องตลาด ทำการศึกษาเฉพาะชนิดพอลิคาร์บอเนตเนื่องจากใช้ บีสฟีนอล เอ ในการผลิต โดยการตรวจยืนยันชนิดพลาสติกก่อนด้วย Infrared spectrum แล้วศึกษาการแพร่ของสาร ทั้ง 3 ชนิดตามที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548)⁽¹⁵⁾ ให้ได้ข้อมูลการแพร่ของ บีสฟีนอล เอ และสารที่เกี่ยวข้องเพื่อยืนยันและสนับสนุนมาตรการควบคุมวัสดุที่ใช้ทำขวดนม ในการศึกษาตรวจวิเคราะห์ ปริมาณสารด้วย HPLC ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ทั่วไปและกำหนดไว้ในวิธี JETRO 2008⁽¹⁷⁾ และ EN 14350-2:2004⁽¹⁸⁾ ใช้ detector ชนิด fluorescence ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณสารได้ต่ำถึง 0.04 นาโนกรัม⁽¹⁹⁾ เพิ่มขั้นตอนการเตรียม สารละลายตัวอย่างให้บริสุทธิ์และเข้มข้นด้วย Solid-Phase Extraction (SPE) พัฒนามาจากวิธีของ Rykowska I, Szymanski A, and Wasia W.⁽²⁰⁾ เพื่อเพิ่มความไวของการวิเคราะห์ให้สามารถตรวจวัดสารปริมาณต่ำได้ และ ด้วยเหตุที่ขวดนมมีการใช้ซ้ำๆ จนกระทั่งขวดแตก หรือเด็กเลืกรับประทานนมจากขวด ดังนั้น จึงทำการศึกษา เปรียบเทียบการใช้งานซ้ำที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลลักษณะการแพร่ของสารในช่วงอายุการใช้งาน และ อาจนำข้อมูลไปใช้ประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารเคมีเหล่านี้จากขวดนมเด็กได้ต่อไป

วัสดุและวิธีการ

สารเคมีและสารมาตรฐาน

สารมาตรฐาน : บีสฟีนอล เอ และฟีนอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 และพี-ที-บิวทิลฟีนอลความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.7 ผลิตภัณฑ์ Sigma Aldrich, สารเคมี : เมทานอล, แอซีโตน, ไดคลอโรมีเทน และแอซีโทไนไทรล์ ชั้นคุณภาพ HPLC, สารเคมีอื่นชั้นคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ (AR grade) น้ำที่ใช้คือน้ำปราศจากไอออน (deionized water (DI)) กรดอะซิติกเข้มข้น (glacial acetic acid), น้ำยาล้างขวดนม

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

เครื่อง HPLC พร้อมด้วย fluorescence detector: Shimadzu LC-20 A คอลัมน์ Luna C18, 5 μm ขนาด $250 \times 4.6 \text{ mm}$; mobile phase เป็นสารผสม แอซีโทไนไทรล์ : น้ำ อัตราส่วนเริ่มต้นที่ 30:70 ความเร็ว 1 มิลลิลิตร/นาที เพิ่มอัตราส่วนขึ้นตามระบบ gradient จนได้อัตราส่วน 100:0 ที่ 30 นาที อุณหภูมิคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส, detector ชนิด fluorescence ที่สภาวะ excite; 275 nm และ emission; 313 nm ปริมาตร ที่ฉีด 30 ไมโครลิตร ตรวจสอบความเหมาะสมของระบบเครื่อง (system suitability) ก่อนการใช้งาน, เครื่อง FT-IR: Perkin Elmer Spectrum 1000 พร้อมฐานข้อมูล Sealtel polymer วัดในช่วงเลขคลื่น 4000 cm^{-1} - 400 cm^{-1} , resolution 4 cm^{-1} , scan time 4, อ่างน้ำร้อนชนิดควบคุมอุณหภูมิที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 95 และ 40 องศาเซลเซียส, เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, autoclave, vacuum pump, เยื่อกรองแบบ syringe filter ชนิด regenerated cellulose $0.45 \mu\text{m}$, 13 mm, SPE ชนิด hydrophilic polymer ที่มี sorbent เป็น polyamine-divinylbenzene copolymer: VertiPak HCP ที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพโดยพิจารณาจาก ร้อยละการกักเก็บของ บีสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

ตัวอย่าง

ในเดือนเมษายน ถึง มิถุนายน 2554 เก็บตัวอย่างขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กจากร้านขายส่ง แผงลอย และซูเปอร์มาร์เกตในกรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรีจำนวน 35 ตัวอย่าง สำหรับศึกษาการแพร่ รูปแบบที่ 1 ตัวอย่างขวดนมชนิดพอลิคาร์บอเนต ขนาด 8 ออนซ์ 1 ตัวอย่าง จำนวน 12 ขวด เพื่อใช้ศึกษา การแพร่ซ้ำที่สภาวะต่างๆ 4 สภาวะ ตามรูปแบบที่ 2

วิธีวิเคราะห์

การตรวจเอกลักษณ์ชนิดวัสดุ

ตัดตัวอย่างพลาสติกส่วนที่ไม่มีลายและหมึกพิมพ์ขนาด $2 \times 4 \text{ cm}^2$ อัดให้บางด้วยความร้อนนำไปตรวจ IR Spectrum ด้วยเครื่อง FT-IR เปรียบเทียบ IR Spectrum ที่ได้กับฐานข้อมูล Seatler polymer

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ บิสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล

การสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานผสม บิสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ความเข้มข้น 2, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ไมโครกรัมต่อลิตร : ซึ่งสารมาตรฐาน บิสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล แต่ละชนิด 0.0100 g ละลายในแอซีโตนไทรล์ ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายที่ได้ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย สารละลาย แอซีโตนไทรล์ : น้ำ (30:70) แล้วปิเปตสารละลายที่ได้ ปริมาตร 0.02, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรแต่ละขวด ปรับปริมาตรด้วย สารละลายแอซีโตนไทรล์ : น้ำ (30:70) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC และสร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้ peak ของสาร คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient: r) ค่า r ต้อง ≥ 0.995

การแพร่ (Migration)

ใช้สภาวะการแพร่ 2 รูปแบบดังนี้

(1) ตามสภาวะที่กำหนดในมาตรฐานเรื่องขวดนม

สารสกัดซึ่งเป็นตัวแทนอาหาร (food simulants) มี 2 ชนิดคือ น้ำ แตนน้ำมัน และสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร (4% HOAc) แตนน้ำมัน ตัวอย่างชนิดพอลิคาร์บอเนตที่ผ่านการตรวจสอบยืนยันแล้ว ทุกตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้งติดกัน รายงานปริมาณสารจากค่าเฉลี่ย

การแพร่ด้วยน้ำ : ล้างตัวอย่างให้สะอาดด้วยน้ำยาล้างขวดนม ตามด้วย น้ำประปา ผึ่งให้แห้ง ขวดนมต้มในน้ำเดือด 10 นาที กลั้วทิ้งด้วยน้ำ ผึ่งให้แห้งในที่ปลอดฝุ่น ภาชนะบรรจุอาหาร ลวกน้ำเดือด กลั้วทิ้งด้วยน้ำ แล้วผึ่งให้แห้งใส่น้ำให้ถึงระดับบรรจุสูงสุดของภาชนะที่ระบุไว้ ปิดด้วยแผ่นกระจก นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ถ่ายสารละลายออกจากตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ปิดฝา วางทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดอะซิติกเข้มข้นในสารละลายตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้นเป็นร้อยละ 4 โดยปริมาตร ก่อนนำไปผ่าน SPE

การแพร่ด้วย 4% HOAc ดำเนินการเช่นเดียวกับการแพร่ด้วยน้ำ แต่ไม่ต้องเติมกรดอะซิติก ก่อนนำไปผ่าน SPE

ทดสอบแบลนด์ โดยใช้ภาชนะแก้ว ดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง

(2) ตามสภาวะเลียนแบบการใช้งานของขวดนม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในส่วนการแพร่ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ (1) ในส่วนการควบคุมอุณหภูมิแบ่งเป็น 4 สภาวะและให้มีระยะเวลาที่สัมผัส 2 ชั่วโมง (ตามข้อแนะนำของการเก็บน้ำนมที่เตรียมแล้วซึ่งสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 2 ชั่วโมง) ดังนี้

2.1 ใส่ น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ไว้ 2 ชั่วโมง เพื่อเลียนแบบการเตรียมน้ำนมจากนมผงตามปกติ

2.2 ใส่ 4% HOAc อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ไว้ 2 ชั่วโมง เพื่อเลียนแบบการใช้สื่อน้ำผลไม้

2.3 ใส่ น้ำเดือด (อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส) แล้ววางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเลียนแบบการเตรียมน้ำดื่มที่ใช้น้ำเดือดใส่ขวดไว้ก่อนวางไว้จนน้ำอุ่นแล้วจึงใช้ชงนม

2.4 ใส่ น้ำให้ความร้อนใน autoclave ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำออกมาวางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเลียนแบบการเตรียมน้ำนมและฆ่าเชื้อใน autoclave

ทุกสภาวะทำการทดสอบซ้ำโดยดำเนินการตั้งแต่ต้นจนจบต่อเนื่องกัน 120 ครั้ง เก็บสารละลายตัวอย่างจากครั้งที่ 1 ถึง 10 ต่อมาเก็บทุกๆ 5 ครั้งจนถึงครั้งที่ 120 นำมาตรวจวิเคราะห์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รูปแบบการศึกษา การแพร่ (Migration) ของขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็ก

รูปแบบ	วิธีการ	อุณหภูมิ/เวลา	ตัวแทนอาหาร	การทำซ้ำ (ครั้ง)
1	ตามมาตรฐานขวดนม	95 องศาเซลเซียส/30 นาที	น้ำ 4% HOAc	3 3
2	เลียนแบบการใช้งาน			
	2.1 เตรียมนมวิธีปกติ	40 องศาเซลเซียส/2 ชั่วโมง	น้ำ	120
	2.2 เตรียมน้ำผลไม้	40 องศาเซลเซียส/2 ชั่วโมง	4% HOAc	120
	2.3 เตรียมนมโดยใช้น้ำเดือดใส่ขวดวางทิ้งไว้ให้เย็น	100 องศาเซลเซียส วางที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง	น้ำ	120
	2.4 เตรียมนมและฆ่าเชื้อใน autoclave	100 องศาเซลเซียส/15 นาที/วางที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง	น้ำ	120

การทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยผ่าน SPE

เตรียม SPE ก่อนใช้งานโดย ผ่านสารละลายผสม แอซีโตนไทรล์ : น้ำ (1:1) 5 มิลลิลิตร ตามด้วยเมทานอล 5 มิลลิลิตร และน้ำ 15 มิลลิลิตร แล้วใส่สารละลายตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ให้ไหลผ่านจนหมด ใช้ vacuum pump สูบของเหลวที่ค้างอยู่ใน SPE ออกให้หมดเป็นเวลา 15 นาที elute ด้วย เมทานอล 2.5 มิลลิลิตร กรองผ่านเยื่อกรองวิเคราะห์ด้วย HPLC

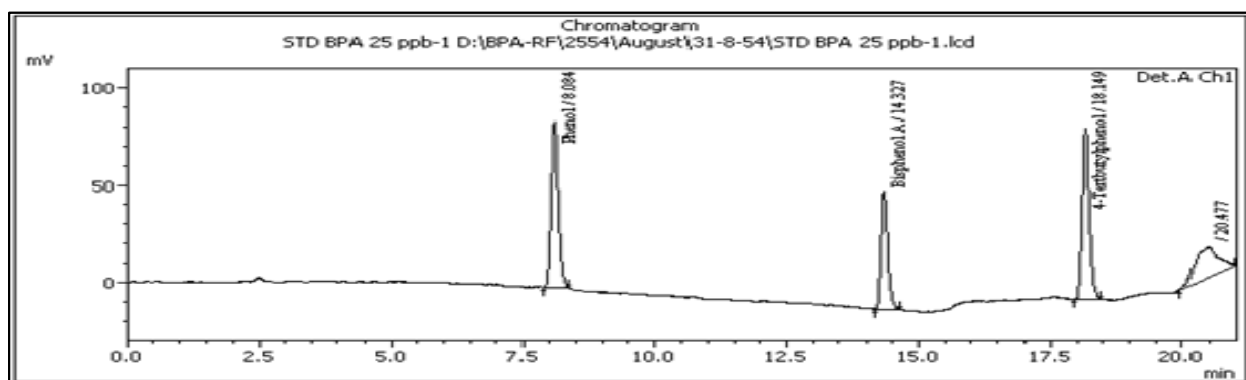
การประกันคุณภาพ และประสิทธิภาพวิธีวิเคราะห์

วิธีนี้มีช่วงของการวัดด้วยเครื่อง HPLC อยู่ในระดับ 2-30 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ละสารมีขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) ใช้ค่าที่มี signal/noise มากกว่า 3 และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) ที่มี signal/noise มากกว่า 10 และมี % recovery, % RSD ตามเกณฑ์การยอมรับ ค่าที่ได้จากการอ่านเทียบกับกราฟมาตรฐานนำมาคำนวณกลับเป็นความเข้มข้นในสารละลายตัวอย่าง (เมื่อผ่าน SPE แล้วจะมีความเข้มข้นขึ้น 40 เท่า) โดยมีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.12 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างที่เดิมสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด ความเข้มข้น

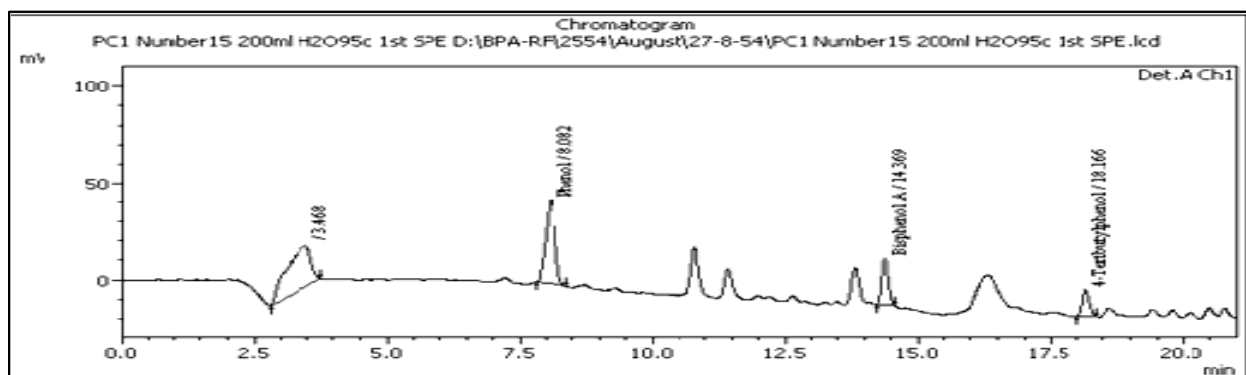
ที่ระดับ 0.12, 0.75 และ 2.00 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ละระดับวิเคราะห์ 7 ซ้ำ % recovery ของ ฟีนอล บีสฟีนอล เอ และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ค่าเท่ากับ 53-105, 102-105 และ 105-110% ตามลำดับ และ % RSD ที่ได้เท่ากับ 4-8, 2.6-4.2 และ 2.0-3.7% ตามลำดับ การควบคุมคุณภาพในแต่ละชุดของการวิเคราะห์ ประกอบด้วยการวิเคราะห์ แบลงค์ และตรวจสอบ % recovery โดยเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นช่วงกลางของกราฟมาตรฐาน ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดคือ 80-110%

ผล

ตามสภาวะของเครื่อง HPLC ที่ใช้วิเคราะห์ได้โครมาโตแกรม (chromatogram) ของสารมาตรฐาน ฟีนอล บีสฟีนอล เอ และพี-ที-บิวทิลฟีนอล แต่ละสารสามารถแยกกันได้อย่างชัดเจนและ chromatogram ของตัวอย่าง ไม่มี peak รบกวนที่ retention time (RT) ตรงกับสารมาตรฐาน (ภาพที่ 1)

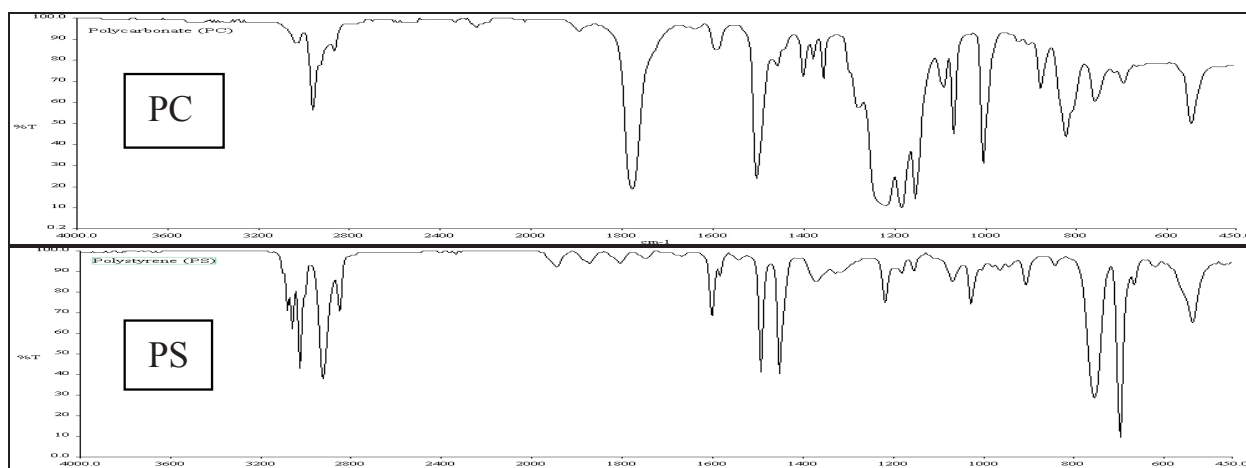


(A)



ภาพที่ 1 HPLC chromatogram ของสารมาตรฐาน (A) และของตัวอย่าง (B)

ผลการตรวจเอกลักษณ์ชนิดวัสดุโดย IR Spectrum จากจำนวน 35 ตัวอย่างพบว่าเป็นพลาสติกชนิด พอลิคาร์บอเนต จำนวน 32 ตัวอย่าง มีขนาดนม 29 ตัวอย่าง ถ้วยหัดดื่ม 2 ตัวอย่าง และชาม 1 ตัวอย่าง ถ้วยหัดดื่ม 3 ตัวอย่าง เป็นพลาสติกชนิด พอลิสไตรีน แสดง IR Spectrum (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 Infrared (IR) Spectrum ของพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต (PC) และพอลิสไตรีน (PS)

ขบวนการและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กจำนวน 32 ตัวอย่างที่ทำด้วยพอลิคาร์บอเนต ระบุประเทศที่ผลิตเป็นประเทศไทยและผู้ผลิตจำนวน 18 ตัวอย่าง จากผู้ผลิตจำนวน 6 บริษัท ระบุประเทศที่ผลิตเป็นประเทศไทยแต่ไม่ระบุผู้ผลิตจำนวน 7 ตัวอย่าง ไม่แจ้งข้อมูลใดๆ จำนวน 7 ตัวอย่าง ผลการแพร่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที พบสารทั้ง 3 ชนิดรวมกันปริมาณต่ำสุด-สูงสุด เป็น 0.73 – 2.54 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 1.41 ไมโครกรัมต่อลิตร และใน 4% HOAc พบอยู่ในช่วง 0.72 – 3.68 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 1.58 ไมโครกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณการแพร่โดยรวมของสารทั้ง 3 ชนิด จากขบวนการและภาชนะบรรจุอาหารของเด็กชนิดพอลิคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที

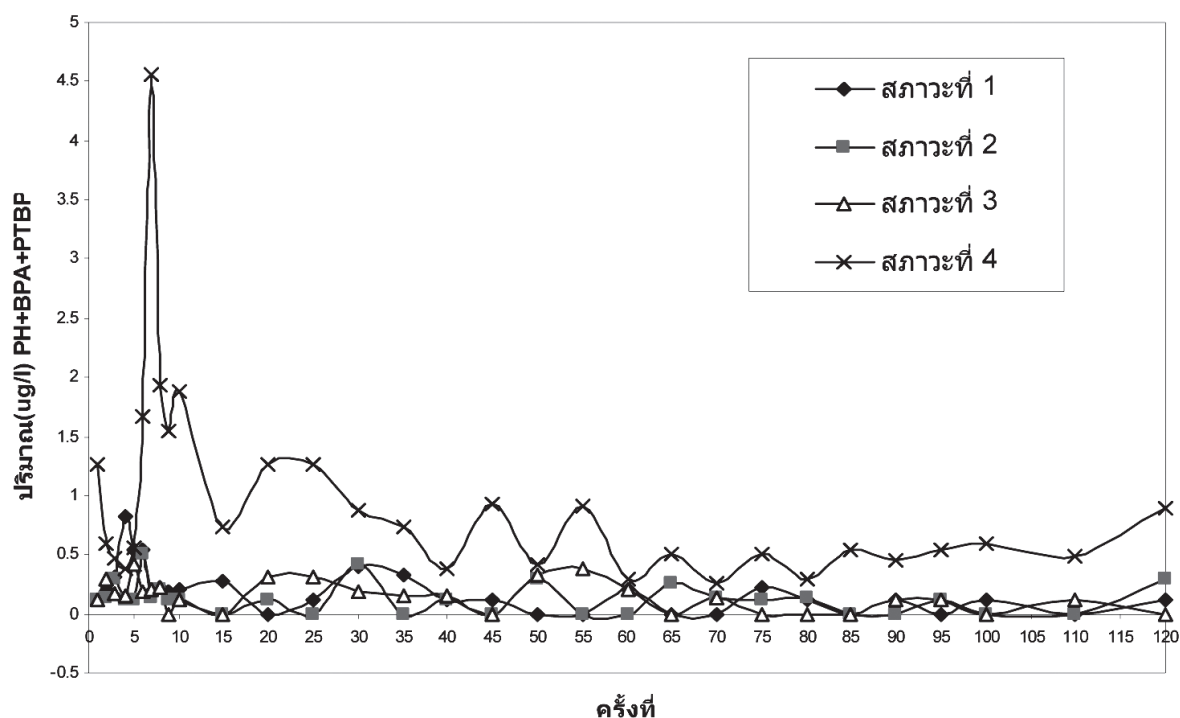
ประเทศที่ผลิต	ผู้ผลิต	ประเภท	จำนวน (ตัวอย่าง)	ปริมาณ ฟีนอล, บีสฟีนอล เอ และพี-ที-บิวทิลฟีนอล (ไมโครกรัมต่อลิตร)			
				ในน้ำ		ใน 4% HOAc	
				ต่ำสุด - สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด - สูงสุด	เฉลี่ย
ประเทศไทย	บริษัท ก	ขวดนม	3	0.73 – 1.28	1.03	0.72 – 2.08	1.26
		ถ้วยหัดดื่ม	1	-2.35-	2.35	-1.96-	1.96
		ชาม	1	-1.27-	1.27	-1.97-	1.97
	บริษัท ข	ขวดนม	5	0.74-2.43	1.41	1.11-1.84	1.43
	บริษัท ค	ขวดนม	3	1.13-1.50	1.32	0.79-2.47	1.64
		ถ้วยหัดดื่ม	1	-1.69-	1.69	-1.74-	1.74
	บริษัท ง	ขวดนม	1	-0.77-	0.77	-0.76-	0.76
	บริษัท จ	ขวดนม	2	1.21-1.24	1.22	1.81-1.93	1.87
	บริษัท ฉ	ขวดนม	1	-1.31-	1.37	-1.09-	1.09
	-ไม่แจ้ง-	ขวดนม	7	0.84-2.05	1.52	0.84-2.43	1.70
-ไม่แจ้ง-	-ไม่แจ้ง-	ขวดนม	7	0.92-2.54	1.56	0.74-3.68	1.94
รวม			32	0.73-2.54	1.41	0.72-3.68	1.58

การแพร่ของสารแต่ละชนิดในน้ำดังนี้ ฟีนอล พบอยู่ในช่วง 0.2 – 1.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย 0.63 ไมโครกรัมต่อลิตร บีสฟีนอล เอ พบอยู่ในช่วง 0.36 – 0.95 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย 0.61 ไมโครกรัมต่อลิตร และ พี-ที-บิวทิลฟีนอล อยู่ในช่วง <0.12 – 0.62 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย 0.19 ไมโครกรัมต่อลิตร การแพร่ใน 4% HOAc พบ ฟีนอล อยู่ในช่วง 0.16 – 2.73 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย 0.90 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณบีสฟีนอล เอ อยู่ในช่วง 0.23 – 0.80 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย 0.41 ไมโครกรัมต่อลิตร พี-ที-บิวทิลฟีนอล ตรวจไม่พบ 2 ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่พบปริมาณอยู่ในช่วง 0.19 – 0.60 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ย 0.36 ไมโครกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณการแพร่ของสารแต่ละชนิด จากขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารของเด็กชนิด พอลิคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที

สาร	ปริมาณ (ไมโครกรัมต่อลิตร)			
	ในน้ำ		ใน 4% HOAc	
	ต่ำสุด – สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด – สูงสุด	เฉลี่ย
ฟีนอล	0.2 – 1.8	0.63	0.16 – 2.73	0.90
บีสฟีนอล เอ	0.36 – 0.95	0.61	0.23 – 0.80	0.41
พี-ที-บิวทิลฟีนอล	<0.12 – 0.62	0.19	0.19 – 0.60	0.36

ศึกษาการแพร่ของ บีสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล จากขวดนมที่สภาวะต่างๆ เลียนแบบการใช้งานโดยทดสอบต่อเนื่อง 120 ครั้ง ได้ผลดังนี้ สภาวะที่ 1. ใส่ น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมินี้ไว้ 2 ชั่วโมง การแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิด ไม่พบ-0.83 ไมโครกรัมต่อลิตร สภาวะที่ 2. ใส่ 4% HOAc ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมินี้ไว้ 2 ชั่วโมง การแพร่ของสาร ไม่พบ-0.51 ไมโครกรัมต่อลิตร สภาวะที่ 3. ใส่ น้ำเดือดแล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง การแพร่ของสาร ไม่พบ-0.42 ไมโครกรัมต่อลิตร สภาวะที่ 4. ใส่ น้ำให้ความร้อนใน autoclave ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง พบการแพร่ของสารปริมาณอยู่ในช่วง 0.26 – 4.56 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณการแพร่ของสารโดยรวม (รูปที่ 3)



ภาพที่ 3 ปริมาณรวมการแพร่ของ บีสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล จากขวดนมที่สภาวะต่างๆ 4 สภาวะ ดังนี้ (สุ่มวิเคราะห์จากการแพร่ครั้งที่ 1 ถึง 10 และทุกๆ 5 ครั้งถึงครั้งที่ 120) 1. ใส่ น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมินี้ไว้ 2 ชั่วโมง 2. ใส่ 4% HOAc ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมินี้ไว้ 2 ชั่วโมง 3. ใส่ น้ำเดือด แล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง 4. ใส่ น้ำให้ความร้อนใน autoclave ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง

วิจารณ์

วิธีวิเคราะห์บีสฟีนอล เอ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่ออกมาจากพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต โดย HPLC ที่มี fluorescence detector เตรียมสารละลายให้บริสุทธิ์และเข้มข้นด้วย SPE ชนิด polyamine-divinylbenzene copolymer สามารถวิเคราะห์และวัดปริมาณสารทั้ง 3 ชนิด ได้ในระดับไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) โดยแต่ละสารมี LOD และ LOQ เมื่อคำนวณเป็นความเข้มข้นต่อสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.12 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ

พลาสติกที่ใช้ทำขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารทั้ง 35 ตัวอย่าง ลักษณะของพลาสติกที่มองเห็นเหมือนกัน แยกไม่ออก แต่เมื่อตรวจวิเคราะห์ IR Spectrum ด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าขวดนมทุกตัวอย่างเป็นพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต ส่วนภาชนะบรรจุอาหารอื่น เช่น ถ้วยหัดดื่มและชาม มีทั้งพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนตและพอลิสไตรีน ซึ่งทนความร้อนได้ต่ำกว่า ตัวอย่างที่เก็บมามีทั้งระบุผู้ผลิต ประเทศที่ผลิต หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง หรือไม่แจ้งข้อมูลใดๆ เมื่อนำมาศึกษาเฉพาะตัวอย่างชนิดพอลิคาร์บอเนตพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณ บีสฟีนอล เอ ฟีนอล และ พี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่ลงสู่ตัวแทนอาหารทั้ง 2 ประเภทคือ น้ำ แขนงนม และ 4% HOAc แขนงผลไม้ ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งผลิต และตัวแทนอาหารทั้ง 2 ประเภท และพบปริมาณน้อยไม่เกินค่ากำหนดในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) ซึ่งกำหนดปริมาณ บีสฟีนอล เอ รวมฟีนอล และ พี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่จากพลาสติกบรรจุอาหารทั่วไปชนิดพอลิคาร์บอเนตไว้ไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์

เดซิเมตร (2,500 ไมโครกรัมต่อลิตร)⁽¹⁶⁾ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น⁽¹³⁾ การศึกษาน้ำพืชน้ำที่แพร่ลงใน 4% HOAc สูงกว่าในน้ำ ขณะที่พบบิสฟีนอล เอ ในน้ำมากกว่าใน 4% HOAc และพบพี-ที-บิวทิลฟีนอล มีปริมาณน้อยกว่า ฟีนอล และบิสฟีนอล เอ ในตัวแทนอาหารทั้ง 2 ประเภท แม้ว่าประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 117 (พ.ศ. 2532) เรื่อง ขวดนม ไม่ได้กำหนดปริมาณการแพร่ของบิสฟีนอล เอ ไว้⁽¹⁵⁾ แต่กลุ่มประเทศยุโรปเคยมีการกำหนดปริมาณการแพร่ของบิสฟีนอล เอ ตาม European standard EN 14350-2 (2004) ไม่เกิน 30 ไมโครกรัมต่อลิตร⁽¹⁸⁾ ต่อมาในปี ค.ศ. 2011 ได้ประกาศห้ามใช้ บิสฟีนอล เอ ในการผลิตขวดนมสำหรับเด็ก⁽⁶⁾ อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้ปริมาณการแพร่ของ บิสฟีนอล เอ ที่พบแม้จะต่ำกว่าค่ามาตรฐานมากแต่มีการแพร่ออกมาจากทุกตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา migration จากพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนตในการศึกษาอื่น ถึงแม้ว่าแต่ละการศึกษาจะมีวิธีดำเนินการ เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ อุณหภูมิ หรือเวลา ที่ใช้ทดสอบแตกต่างกันออกไป^(10, 11, 21)

ผู้บริโภคมักทำความสะอาดขวดนมตามวิธีที่ผู้ผลิตแนะนำ คือล้างด้วยน้ำยาล้างขวดนม ตามด้วยน้ำสะอาดต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5-10 นาที แล้วจึงใช้ชงนม หรือใส่อาหารอื่นเช่นน้ำผลไม้ ในชีวิตประจำวันการใช้ขวดนมจะใช้ซ้ำๆ จนกระทั่งขวดแตก หรือเด็กเลิกรับประทานนมจากขวด การทดสอบเพื่อให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมี 4 สถานะดังนี้ ในสถานะที่ 1. จำลองการใช้งานที่มีการปฏิบัติมากกว่าสถานะอื่น ๆ ซึ่งเป็นการเตรียมนมในน้ำอุ่น สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ไม่เกิน 2 ชั่วโมง กรณีที่รับประทานไม่หมดจะเก็บไว้ในตู้เย็น ก่อนให้เด็กรับประทานอีกจะนำมาอุ่นซ้ำ การทดสอบใส่น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสสองอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมงนับว่าเป็นสถานะที่รุนแรงกว่าการใช้งานจริง แต่พบว่าการแพร่ของสารออกมาน้อยมากแม้ทดสอบไปถึง 120 ครั้งแล้วก็ตาม เช่นเดียวกับสถานะที่ 2. ซึ่งจำลองการใช้ใส่น้ำผลไม้เพื่อให้เด็กดูดจากขวด ผลการแพร่ของสารไม่แตกต่างจากสถานะแรก ในสถานะที่ 3. จำลองการเตรียมนมโดยใช้น้ำเดือดเทใส่ขวดนมวางทิ้งไว้จนเย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าปริมาณสารที่แพร่ออกมาไม่ได้แตกต่างจาก 2 สถานะข้างต้น ขณะที่เมื่อเตรียมนมตามสถานะที่ 4. โดยการให้ความร้อนใน autoclave ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งมีการใช้วิธีนี้ตามโรงพยาบาลเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรคที่อาจมีปนเปื้อนอยู่ในอาหารนมของเด็ก แล้ววางทิ้งไว้ให้เย็น 2 ชั่วโมง ผลการศึกษพบการแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิด ออกมามากกว่าสถานะอื่นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้เมื่อทดสอบต่อเนื่องไปถึง 120 ครั้ง พบว่าปริมาณการแพร่ของสารมีแนวโน้มที่สูงขึ้นกว่าสถานะการทดสอบอื่นๆ ลักษณะการแพร่ของสารในภาพรวมช่วงแรก มีปริมาณมากแค่ช่วงสั้นๆ ต่อมาปริมาณการแพร่แกว่งตัวขึ้นลงจนกระทั่งในช่วงปลายมีแนวโน้มของการแพร่ที่เพิ่มขึ้น นักวิจัยได้อธิบายกระบวนการแพร่ของบิสฟีนอล เอ ไว้ว่าการแพร่ที่เกิดขึ้นมาจากสารซึ่งหลงเหลือตกค้างในพลาสติกจากการทำปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ ประกอบกับมีการแตกสลายของพลาสติกด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยปัจจัยด้านอุณหภูมิ ระยะเวลาใช้งาน และความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่บรรจุ แต่ละปัจจัยดังกล่าวจะมีผลเสริมกัน เมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานานพลาสติกจะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้สารแพร่ออกมาได้มากขึ้น^(9, 10) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าขณะที่ทำให้ขวดนมแห้งถ้ามีน้ำยาล้างขวดนมซึ่งเป็นด่างตกค้างอยู่ที่ผิวขวดจะทำให้มีบิสฟีนอล เอ เกิดขึ้นมารวมที่ผิวขวด และแพร่ออกมาได้ในปริมาณที่สูงกว่าปกติ⁽¹²⁾ ผลการศึกษานี้สถานะการใช้งานซ้ำในครั้งนี้นี้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่สัมผัสกับอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สารสามารถแพร่ออกมาได้มากกว่า ปัจจัยด้านจำนวนครั้งที่ผ่านการใช้งาน ไม่เฉพาะ บิสฟีนอล เอ แต่ทั้ง ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ก็มีผลเหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาโดย Maragou NC et al. และ Kubwabo C et al. ที่พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการแพร่ของบิสฟีนอล เอ มากกว่าปัจจัยอื่น^(11, 22)

ปริมาณ บิสฟีนอล เอ ที่พบต่ำกว่าค่ามาตรฐานตามที่กำหนดใน EN 14350-2 (2004) (30 ไมโครกรัมต่อลิตร)⁽¹⁸⁾ เมื่อรวมกับ ฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล แล้ว ปริมาณที่พบก็ยังไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) (2,500 ไมโครกรัมต่อลิตร)⁽¹⁶⁾ มาก จากการคำนวณปริมาณ

บิสฟีนอล เอ ที่สามารถยอมให้พบได้ในอาหารของเด็กโดยอิงกับค่า TDI ได้เท่ากับ 300 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ($50 \mu\text{g (TDI)} \times 6 \text{ kg bw}$ (น้ำหนักตัว เด็กอายุ 0-6 เดือน)/1 kg (ปริมาณการบริโภคต่อวัน) ซึ่งสูงกว่าปริมาณการแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิดรวมกันมาก อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า FAO/WHO ยังไม่มีข้อสรุปในการกำหนดค่าความปลอดภัยหรือมาตรการในการควบคุมเนื่องจากพบว่ายังขาดข้อมูลการศึกษาในสัตว์ทดลองที่มีการประเมินความเสี่ยงอย่างถูกต้องและเหมาะสม และยังต้องศึกษาความเป็นพิษในปริมาณน้อยต่อไป⁽⁸⁾ แต่หลายประเทศได้ประกาศห้ามหรือโดยมาตรการสมัครใจในการไม่ผลิตหรือจำหน่ายขวดนมที่ทำจากพอลิคาร์บอเนต ซึ่งมีสารบิสฟีนอล เอ เป็นส่วนประกอบไปแล้ว ขณะที่การศึกษาประเทศไทยยังไม่ได้ประกาศห้ามการใช้ขวดนมชนิดพอลิคาร์บอเนต แต่จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการแพร่ออกมาของ บิสฟีนอล เอ รวมทั้งฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล จากทุกตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ อีกทั้งมีการศึกษาใหม่ที่พบการมีผลกระทบต่อสัตว์ทดลองของบิสฟีนอล เอ ที่ปริมาณต่ำกว่าค่า TDI⁽²³⁾ จึงเป็นเหตุผลที่สนับสนุนในการทบทวนมาตรฐานหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับขวดนมเด็กให้ทันต่อสถานการณ์ เช่นเดียวกับประเทศอื่นๆ ขณะเดียวกันผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้เลิกใช้ขวดนมประเภทนี้ไปแล้ว และมีขวดนมที่ทำจากวัสดุอื่นเริ่มวางจำหน่ายในท้องตลาด ทดแทนขวดนมชนิดพอลิคาร์บอเนตแพร่หลายมากขึ้น จึงควรมีการศึกษาสำรวจชนิดวัสดุที่นำมาใช้รวมทั้งการแพร่ของสารเคมีเมื่อนำมาใช้งานต่อไป

สรุป

จากการศึกษาวิจัยในระหว่างปี พ.ศ. 2554 พบว่าขวดนมที่วางจำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่ทำด้วยพอลิคาร์บอเนต มีภาชนะบรรจุอาหารของเด็กเพียงส่วนน้อยทำด้วยพอลิสไตรีน ปริมาณ บิสฟีนอล เอ รวมฟีนอล และพี-ที-บิวทิลฟีนอล ที่แพร่ออกมาไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแหล่งผลิต และพบว่าทุกตัวอย่างมีการแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิดรวมกันแล้วมีปริมาณต่ำกว่าค่ากำหนดในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) มากกว่า 1,000 เท่า ขณะที่การแพร่ออกมาของ บิสฟีนอล เอ พบปริมาณต่ำมากเช่นเดียวกับการศึกษาอื่นๆ ในต่างประเทศ การทดสอบโดยจำลองสภาวะการใช้งานพบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาที่สัมผัสโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง มีผลต่อการแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิดอย่างเห็นได้ชัด และมีความสอดคล้องกับการศึกษาในต่างประเทศซึ่งได้ให้ข้อสรุปไว้ว่า ปัจจัยสำคัญในการแพร่ออกมาของสารเคมีจากพลาสติกคืออุณหภูมิ และระยะเวลาที่สัมผัสของสารกับพลาสติก ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ ในการกำหนดมาตรการต่างๆ ทางด้านกฎหมาย และข้อบังคับของการใช้ขวดนมชนิดพอลิคาร์บอเนตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ที่ให้การสนับสนุนการทํารวจในครั้งนี้ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายวัสดุสัมผัสอาหารทุกท่านที่ทุ่มเทเวลาช่วยให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

1. Rykowska I, Wasiak W. Properties, threats, and methods of analysis of bisphenol A and its derivatives. *Acta Chromatogr* 2006; 16: 7-27.
2. U.S. Environment Protection Agency. Bisphenol A action plan (CASRN 80-05-7). [online]. 2010; [cited 2013 Jun 13]. [22 screens]. Available from: URL: http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/bpa_action_plan.pdf

3. Aschberger K, Castello P, Hoekstra E, Karakitsios S, Munns S, Pakalin S, et al. Bisphenol A and baby bottles: challenges and perspectives. JRC scientific and technical reports EUR 24389-2010 Luxembourg: European Union; 2010.
4. U.S. Food and Drug Administration. Bisphenol A (BPA): use in food contact application. [online] 2010; [cited 2013 Jun 13]. [8 screens]. Available from: URL: <http://www.fda.gov/newsevents/publichealthfocus/ucm064437.htm>
5. SOR/DORS/2010-53: Order amending schedule I to the hazardous products act (bisphenol A). Canada Gazette Part II 2010; 144(7): 413-26.
6. Commission directive 2011/8/EU of amending directive 2002/72/EC as regards the restriction of use of Bisphenol A in plastic infant feeding bottles. January 2011.
7. ความเห็นและข้อเสนอแนะการจัดการปัญหาสารบีพีเอในขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับทารกและเด็กเล็ก. กรุงเทพฯ : คณะทำงานการพัฒนาคุณภาพชีวิต สาธารณสุข และคุ้มครองผู้บริโภค; 2556.
8. Joint FAO/WHO Expert meeting to review toxicological and health aspects of bisphenol A, Summary report including report of stakeholder meeting on bisphenol A. [online]. 2010; [cited 2013 Aug 23]. Available from: URL: ftp://ftp.fao.org/ag/agn/agns/BPA_Summary_Report.pdf
9. EFSA considers more than 800 studies on BPA, to finalise opinion in September. [online]. 2010; [cited 2011 Dec 01]. [2 screens]. Available from: URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/cef20100713.htm>
10. Brede C, Fjeldal P, Skjevrak I, Herikstad H. Increased migration levels of bisphenol A from polycarbonate baby bottles after dishwashing, boiling and brushing. Food Addit Contam 2003; 20(7): 684-9.
11. Maragou NC, Marki A, Lampi EN, Thomaidis NS, Koupparis MA. Migration of bisphenol A from polycarbonate baby bottles under real use conditions. Food Addit Contam 2008; 25(3): 373-83.
12. Biedermann-Brem S, Grob K, Fjeldal P. Release of bisphenol A from polycarbonate baby bottles: mechanisms of formation and investigation of worst case scenarios. Eur Food Res Technol 2008; 227:1053-60.
13. Kawamura Y, Koyano Y, Takeda Y, Yamada T. Migration of bisphenol A from polycarbonate products. J Food Hyg Soc Jpn 1998; 39: 206-12.
14. Specifications and standards according to kinds of materials table AP02. In: JETRO. Specifications and standards for foods, food additives, etc. under the food sanitation act. (abstracts) 2008. Tokyo: Japan External Trade Organization; 2009. p. 127-30.
15. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 117 (พ.ศ. 2532) เรื่อง ขวดนม. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 106 ตอนที่ 32 (วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2532)
16. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 (พ.ศ. 2548) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนพิเศษ 1 ง (วันที่ 6 มกราคม 2549)
17. II Standards and testing methods for implements, containers and packaging. In: JETRO. Specifications, standards and testing methods for foodstuffs, implements, containers and packaging, toys, detergents 2008. Tokyo: Japan External Trade Organization; 2009. p. 85-136.

18. EN 14350-2:2004. Child use and care articles - drinking equipment-Part 2: chemical requirements and tests. United Kingdom: European Strandard; 2004.
 19. Annex I: Standard operation procedure: determination of bisphenol A in 50% aqueous ethanol. In: EURL – Food Contact Material. ILC 2009/02 BPA in 50% ethanol. Luxembourg: European Union; 2010. p. 43-7.
 20. Rykowska I, Szymanski A, Wasiak W. Method based on solid phase extraction, LC and GC for analysis of bisphenol A in drinking water. Chem Pap 2004; 58(6): 382-5.
 21. Ehlert KA, Beumer CWE, Groot MCE. Migration of bisphenol A into water from polycarbonate baby bottles during microwave heating. Food Addit Contam Part A 2008; 25(7): 904-10.
 22. Kubwabo C, Kosarac I, Stewart B, Gauthier BR, Lalonde K, Lalonde PJ. Migration of bisphenol A from plastic baby bottles, baby bottle liners and reusable polycarbonate drinking bottles. Food Addit Contam Part A 2009; 26(6): 928-37.
 23. Vom Saal FS, Hughes C. An extensive new literature concerning low-dose effects of bisphenol A shows the need for a new risk assessment. Environ Health Perspect 2005; 113(8): 926-33.
-

A Study of the Migration of Bisphenol A, Phenol and P-tert-Butylphenol from Polycarbonate Child Utensils Under Various Conditions

Uma Boriboon Sasitorn Homdumrongvong and Passarin Saysuway

Bureau of Quality and Safety of Food, Department of Medical Sciences, Tiwanon Road, Nonthaburi 11000, Thailand.

ABSTRACT Bisphenol A belongs to a group of endocrine disruptors with potential adverse effects on the reproductive system, development and growth was observed in exposed experimental animals. Due to the use of bisphenol A as a base substance in the manufacture of polycarbonate (PC), consumers are concerned about the health impacts of its migration. This study was conducted to observe the migration of bisphenol A, phenol and p-tert-butylphenol from PC child utensils. Furthermore, the migration was performed under various conditions that reflected realistic conditions of use. During the year 2011, a total of 32 child utensils with a focus on PC were collected in Bangkok and Nonthaburi provinces. Migration tests were conducted at 95 °C for 30 minutes using water and 4% acetic acid solution as food simulant. The sample solutions were cleaned up and concentrated using solid-phase extraction (SPE). The determination of migrants in the simulant was carried out using HPLC-FL. The migration of bisphenol A, phenol and p-tert-butylphenol were found in all samples. Their contents in water ranged from 0.73 – 2.54 µg/L, with a mean level of 1.41 µg/L, and the migrants in 4% acetic acid solution ranged from 0.72 – 3.68 µg/L, with a mean level of 1.58 µg/L. From both food simulants, the levels of p-tert-butylphenol migration were lower than bisphenol A and phenol. When comparing the amounts of migration under various test conditions performed on 120 cycles, it was observed that at 100 °C for 15 minutes, under autoclave condition the levels of migrations were higher than other test conditions. The migration of substances significantly increased with higher temperatures and contact periods. However, the levels of bisphenol A, phenol and p-tert-butylphenol migrating from PC child utensils were far below the restriction limit (2,500 µg/L) set by the ‘Notification of the ministry of Public Health No 295’ (BE 2548) and bisphenol A levels were also lower than the limit level (30 µg/L) pertaining to ‘European standard EN14350-2’ (2004).

Key words: bisphenol A, phenol, p-tert-butylphenol, PC child utensil, migration, HPLC