ความเสี่ยงจากการบริโภคอาหารบรรจุกล่องโฟมโพลิสไตรีน
Risks from Consuming Food from Polystyrene Foam Packages

ชุมาพร รถสีดา (Chumaporn Rodseeda)* ดร.กรรนิการ์ ฉัตรสันติประภา (Dr.Kannikar Chatsantiprapa)**

บทคัดย่อ

เพื่อประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการนำภาชนะบรรจุอาหารชนิดโฟมโพลิสไตรีนมาใช้บรรจุอาหาร นักวิจัยจึงวิเคราะห์ปริมาณสไตรีนโมโนเมอร์และสไตรีนออกไซด์ที่เคลื่อนย้ายออกจากภาชนะบรรจุอาหารเข้าสู่เครื่องปรุงอาหาร 8 ชนิดและอาหาร 5 ชนิดในสถานการณ์ที่แตกต่างกันด้วยเครื่อง GC-FID แล้วคำนวณระดับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นทั้งชนิดความเสี่ยงที่มีระดับกั้นของปริมาณสารที่ก่อพิษ (Threshold toxicity) และชนิดไม่มีระดับกั้นของปริมาณสารที่ก่อพิษ (Non-threshold toxicity) พบว่าค่า Margin of Safety จากสไตรีนโมโนเมอร์อยู่ระหว่าง 51 ถึง 124 (อ้างอิงค่าปลอดภัย = 0.2 mg/kg-day, U.S.EPA 1994) หรือ 6.8-16.6 (อ้างอิงค่าปลอดภัย 90000 mg/person-day,American Chemical Council, 2007) และความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากสไตรีนออกไซด์อยู่ระหว่าง 1.7×10^{-6} ถึง 6.4×10^{-6} ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงโอกาสเกิดอันตราย จึงสมควรหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารบรรจุกล่องโฟมเท่าที่จะสามารถทำได้

ABSTRACT

Risks from migrations of styrene monomer and styrene oxide from polystyrene foam packages into 8 flavoring ingredients and 5 foods were assessed in different conditions, using Gas Chromatography - Flame Ionization Detector, for both threshold toxicity and non-threshold toxicity. From the risk assessment, the margin of safety from styrene monomer migration was found between 51 - 124 (using the reference dose 0.2 mg/kg-day, U.S.EPA, 1994) or 6.8-16.6 (using the reference dose 90,000 mg/day, American Chemical Council, 2007) in threshold toxicity assessment. The lifetime cancer risk from styrene oxide migration was found between 1.7×10^{-6} to 6.4×10^{-6} in non-threshold toxicity assessment. These risks were in high levels. Therefore, public should be warned to avoid consuming foods in polystyrene packages.

คำสำคัญ : กล่องโฟม สไตรีนโมโนเมอร์ การประเมินความเสี่ยง

Key Words : Foam Package, Styrene monomer, Risk assessment

มหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพิษวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพิษวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารชนิดโฟมโพลิสไตรีนมาใช้อย่างกว้างขวางในหลากหลายรูปแบบ เลือกใช้ได้ง่ายตามความต้องการ กล่องโฟมจึงเป็นที่นิยมใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร โดยเฉพาะกรณีอาหารปรุงสำเร็จรูป ซึ่งเมื่อนำมาบรรจุอาหารในสภาวะต่าง ๆ กัน เช่น อุณหภูมิของอาหาร ระยะเวลาสัมผัสกับกล่องโฟม (Lickly *et al.*, 1995) ความเป็นกรดของอาหาร ปริมาณน้ำมันหรือไขมันในอาหาร (Tawfik and Huyghebaert, 1998) สภาวะการเก็บรักษา (Lozano *et al.*, 2007) และการนำกล่องโฟมที่บรรจุอาหารเข้าอุ่นในเตาไมโครเวฟ (Melski *et al.*, 2003) พบการเคลื่อนย้ายของสไตรีนโมโนเมอร์ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกโพลิสไตรีนเข้าสู่อาหารที่บรรจุอยู่ได้ ในประเทศไทยรายงานการศึกษาของอมร และกาญจนา (2532) ซึ่งนำตัวอย่างภาชนะบรรจุ หุ้มห่อ และสัมผัสอาหารชนิดต่าง ๆ จำนวน 115 ตัวอย่างมาตรวจ พบปริมาณสไตรีนโมโนเมอร์ในภาชนะบรรจุอยู่ในช่วง 40.0 - 7,118.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเนื่องจากอาหารของไทยมีความหลากหลายในรูปแบบของการประกอบอาหารและเครื่องปรุงอาหารมากกว่าที่มีรายงานจากการศึกษาในต่างประเทศ นักวิจัยจึงต้องการศึกษาปริมาณสไตรีนโมโนเมอร์และสไตรีนออกไซด์ที่เคลื่อนย้ายออกจากภาชนะบรรจุอาหารในสถานการณ์ที่แตกต่างกันสำหรับการบริโภคอาหารของคนไทย เพื่อประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากรูปแบบการบรรจุอาหารด้วยกล่องโฟมโพลิสไตรีน อันจะนำไปสู่ความตระหนักในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดต่อสุขภาพของผู้บริโภคอาหารในระยะยาวได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อประเมินความเสี่ยงของผู้บริโภคจากการเคลื่อนย้ายของสารสไตรีนโมโนเมอร์จากภาชนะบรรจุอาหารชนิดโฟมโพลิสไตรีนเข้าสู่อาหาร

วัตถุประสงค์เฉพาะ

เพื่อศึกษาปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารสไตรีนโมโนเมอร์จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารเมื่อ

1. อาหารที่สัมผัสกล่องโฟมมีระดับความเป็นกรด ความเค็ม ความเผ็ด ความหวาน น้ำมันหรือไขมันต่างกัน
2. อาหารสัมผัสกับกล่องโฟมด้วยระยะเวลาการเก็บรักษานานต่างกัน
3. อาหารที่สัมผัสกล่องโฟมมีอุณหภูมิต่างกัน
4. อาหารที่บรรจุในกล่องโฟมถูกเก็บรักษาในตู้เย็นและแช่ตู้แช่แข็งที่ระยะเวลาแตกต่างกัน
5. นำกล่องโฟมที่บรรจุอาหารเข้าอุ่นในเตาไมโครเวฟด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ กำหนดเครื่องปรุง 8 ชนิด และอาหารที่เป็นตัวอย่างการทดลอง 5 ชนิด ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงเครื่องปรุง 8 ชนิด ที่ใช้วิจัย

เครื่องปรุงรส (วิธีเตรียม)	ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภค*
น้ำมะนาว (บีบน้ำมะนาวออกจากผลโดยตรง)	15 มิลลิลิตร
น้ำปลา (ตราปลาหมึกเทจากขวดโดยตรง)	15 มิลลิลิตร
น้ำเชื่อม (น้ำตาล 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร)	30 มิลลิลิตร
น้ำเกลือ (เกลือ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร)	15 มิลลิลิตร
น้ำพริก (ชั่งพริกขี้หนูจินดาที่ปั่นแล้ว 15 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร)	15 มิลลิลิตร
น้ำมันพืช (น้ำมันถั่วเหลืองตราองุ่น)	15 มิลลิลิตร
น้ำมันสัตว์ (นำมันหมูมาเจียว)	15 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	200 มิลลิลิตร

* เป็นค่าปริมาณอาหาร โดยน้ำหนักหรือปริมาตรของการรับประทานแต่ละครั้ง (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

ตารางที่ 2 แสดงอาหาร 5 ชนิด ที่ใช้วิจัย

ชนิดอาหาร (วิธีเตรียม**)	ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภค*
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปลวกสุก (บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรสต้มยำกุ้ง ตรามาม่า)	50 กรัม
ผักบุ้งลวกสุก (ผักบุ้งจีน)	130 กรัม
เนื้อไก่ต้มสุก (เนื้อไก่ที่เลาะเอากระดูกเอ็น และหนังออกหมด)	55 กรัม
หนังไก่ต้มสุก (หนังไก่ที่ไม่มีเนื้อติดแต่มีไขมันติดอยู่เล็กน้อย)	55 กรัม
ข้าวสวย (ข้าวหอมมะลิ)	130 กรัม

* เป็นค่าปริมาณอาหาร โดยน้ำหนักหรือปริมาตรของการรับประทานแต่ละครั้ง (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

** อาหารที่นำมาทดลองทั้งหมดทำให้สุกก่อนแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

อุปกรณ์และสารเคมี

- กล่องโฟมบรรจุอาหารชนิดฝาปิดแบบบานพับก้นจีบที่ผลิตจากพลาสติกโพลิสไตรีนซื้อจากร้านค้าในตลาดสดบางลำพู ขอนแก่น ผลิตจากบริษัท เจ.ที. แพ็ค ออฟฟู้ดส์ จำกัด ตรา A-912 ขนาดกว้าง × ยาว × สูง = 13.3 × 18.5 × 6 เซนติเมตร น้ำหนัก 4.98 $\pm$ 0.03 g

- กระดาษกรองชนิดไนลอน (Whatman) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 µm สำหรับใช้กรองสารละลายหลังจากละลายกล่องโฟม

- กระบอกฉีดยา (syringe) สำหรับฉีดสารละลายผ่านกระดาษกรองชนิดไนลอนหลังจากละลายกล่องโฟม ก่อนฉีดเข้า GC-FID

- เครื่อง GC Detector FID รุ่น HP-6890 ของ Agilent Technologies ใช้ column ชนิด PH - Innowax 30 m × 0.25 mm. ID: 0.32 mm.

- เครื่องอุ่นอาหารไมโครเวฟ (Microwave Oven) ยี่ห้อ Sanyo รุ่น EM - Z2100GS 900 Watts

- สารมาตรฐาน Styrene monomer (SM) AR ของบริษัท SUPELCO 99% pure, stabilized with Methanol ปริมาณ 1 ml ความเข้มข้น 5000 µg/ml

- สารมาตรฐาน Styrene oxide (SO) ของบริษัท ALDRICH 97% ความหนาแน่น 1.053

- Dichloromethane AR grade ของบริษัท Lab Scan Analytical Sciences ขนาด 2.5 L

- Methanol AR grade ของบริษัท Lab Scan Analytical Sciences ขนาด 2.5 L

การวิเคราะห์ปริมาณสารสไตรีนโมโนเมอร์ (SM) ในอาหารหรือเครื่องปรุงอาหาร (ดัดแปลงมาจาก Lickly *et al.*, 1995)

ในการทดลองทำ 3 ซ้ำทุกชนิด

เนื่องจากความจำกัดของความไวของเครื่องมือวิเคราะห์ การหาปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารหรือเครื่องปรุงอาหารจึงหาได้โดยทางอ้อม ดังนี้

ปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารหรือเครื่องปรุงอาหาร = ปริมาณ SM ที่มีในกล่องโฟมเปล่าก่อนบรรจุอาหารหรือเครื่องปรุง - ปริมาณ SM ที่เหลือในกล่องโฟมภายหลังบรรจุอาหารหรือเครื่องปรุง

1. วิธีการวิเคราะห์ SM ที่มีในกล่องโฟม

นำกล่องโฟมโพลิสไตรีนทั้งกล่องมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ใน flask ขนาด 250 ml เติมสาร Dichloromethane 10 ml คนชิ้นกล่องโฟมให้ละลายจนหมด จากนั้นเติม Methanol 5 ml เพื่อตกตะกอนสารที่ไม่ละลายออกจากสารละลายแล้วนำสารละลายมากรองโดยใช้แรงดันจากกระบอกฉีดยาให้สารละลายไหลผ่านกระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45 µm นำสารละลายตัวอย่างที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ SM ด้วยเครื่อง GC-FID คำนวณหาปริมาณ SM โดยใช้ Peak height ของ Chromatogram แทนค่าในสมการจากกราฟ calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน SM

2. การวิเคราะห์ SM ในเครื่องปรุงและอาหาร

นำกล่องโฟมเปล่ามาครั้งละ 1 กล่อง มาบรรจุเครื่องปรุงอาหารหรืออาหารชนิดละหนึ่งหน่วยบริโภค (ครั้งละหนึ่งชนิด) เอียงกล่องโฟมวนไปมาบนพื้นโต๊ะในแนวระนาบให้เครื่องปรุงหรืออาหารสัมผัสทั่วผิวพื้นกล่องโฟม 3 รอบ ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เอียงวนแบบเดิมอีก 3 รอบ แล้วเทเครื่องปรุงอาหารหรืออาหารทิ้งพร้อมกับใช้ช้อนกวาดเครื่องปรุงหรืออาหารที่

เหลือทิ้งไป แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ SM ในกล่องโฟมตามวิธีในข้อ 1

3. การทดลองในสภาวะต่าง ๆ

- ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

นำเครื่องปรุงอาหารหรืออาหารที่มีความเย็นระดับอุณหภูมิห้องมาบรรจุกล่องโฟม ตามวิธีในข้อ 2

- ในสภาวะร้อน

กรณีเครื่องปรุงอาหารนำเครื่องปรุงอาหารใส่บิกเกอร์ปิดฝาด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำไปอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟขนาด 900 วัตต์ ใช้ความร้อนสูงสุดเป็นเวลา 1 นาที ก่อนนำมาเทใส่กล่องโฟม นำกล่องโฟมที่บรรจุเครื่องปรุงอาหารมาวิเคราะห์ ตามวิธีในข้อ 2

กรณีอาหาร นำอาหารที่เพิ่งสุกออกจากเตาบรรจุในกล่องโฟม แล้วดำเนินการตามวิธีในข้อ 2

- ในสภาวะแช่ตู้เย็น

นำกล่องโฟมมาบรรจุอาหารครั้งละหนึ่งชนิดที่ต้มสุกและเย็นลงระดับอุณหภูมิห้องแล้วนำเข้าไปแช่ในตู้เย็น (6 ± 0.5 °C) ตั้งทิ้งไว้ 10 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง หรือ 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำอาหารแต่ละชนิดมาตั้งไว้จนเท่าอุณหภูมิห้องแล้วดำเนินการตามขั้นตอนในข้อ 2

- ในสภาวะแช่ตู้แช่แข็ง

ทำเช่นเดียวกับในสภาวะ-แช่ตู้เย็น แต่นำเข้าไปแช่ในตู้แช่แข็ง (-20 °C) ตั้งทิ้งไว้ 10 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง หรือ 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำอาหารแต่ละชนิดมาตั้งไว้จนเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วดำเนินการตามวิธีในข้อ 2

- ในสภาวะอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ

นำกล่องโฟมมาบรรจุอาหารครั้งละหนึ่งชนิดที่ต้มสุกและเย็นลงระดับอุณหภูมิห้อง แล้วนำทั้งกล่องโฟมเข้าไปอุ่นด้วยเตาไมโครเวฟ ขนาด 900 วัตต์ เปิดความร้อนสูงสุด นาน 1 นาที 3 นาที หรือ 6 นาที เมื่อครบเวลานำอาหารแต่ละชนิดมาตั้งไว้จนเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วดำเนินการตามวิธีในข้อ 2

สภาวะเครื่อง GC-FID ที่ใช้ในการวิเคราะห์ SM คือ Oven temperature 40°C hold 5 min. แล้วปรับขึ้น 10 °C/min. ถึง 110 °C, Detector temperature 220 °C Injector temperature 115 °C, Carrier gas: He, flow 3.7 ml/min, Column PH- Innowax 30 m. × 0.25 mm. ID: 0.32 mm.

การวิเคราะห์ปริมาณสไตรีนออกไซด์ (SO) ในกล่องโฟม

เนื่องจากความจำกัดของความไวของเครื่องมือวิเคราะห์ การหาปริมาณ SO ที่มีในกล่องโฟมจึงวิเคราะห์ครั้งละ 3 กล่องแล้วหารด้วย 3 เพื่อให้ได้ปริมาณ SO ต่อกล่อง ดังนี้ นำกล่องโฟมมาครั้งละ 3 กล่อง (ทำซ้ำ 6 ครั้ง) ตัดกล่องโฟมเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ใน flask ขนาด 250 ml เติมสาร Dichloromethane 30 ml คนให้กล่องโฟมละลายหมดเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย จากนั้นเติม Methanol 15 ml เพื่อตกตะกอนสารที่ไม่ละลาย นำสารละลายใสมากรองผ่านกระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45 μm แล้วนำไปตรวจด้วยเครื่อง GC-FID คำนวณหาปริมาณ SO โดยนำ Peak height ที่ได้จาก Chromatogram แทนค่าในสมการจากกราฟ standard curve ของสารละลายมาตรฐาน SO

สภาวะเครื่อง GC-FID ที่ใช้ในการวิเคราะห์ SO คือ Oven temperature 40 °C hold 5 min. แล้วปรับขึ้น 10 °C/min. ถึง 220 °C hold 1 min, Detector temperature 250 °C, Injector temperature 200 °C, Carrier gas He, flow 3.7 ml/min, Column PH-Innowax 30 m. × 0.25 mm. ID: 0.32 mm.

วิธีการหาปริมาณ SO ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารหรือเครื่องปรุงอาหาร

ทั้งนี้เนื่องจากความจำกัดของเครื่องมือในการวิเคราะห์ ปริมาณ SO ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารและเครื่องปรุงอาหาร จึงใช้การคำนวณโดยใช้สัดส่วนที่ได้จากการเคลื่อนย้ายของ SM เข้าสู่อาหารและเครื่องปรุงอาหาร โดยใช้สมมุติฐานว่า SO และ SM มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกันจึงน่าจะมีพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารใกล้เคียงกัน (Philo *et al.*, 1997)

วิธีการประเมินความเสี่ยง

งานวิจัยนี้กำหนดให้ การบริโภคอาหารบรรจุกล่องโฟม คือ คนละ 1 กล่องต่อมื้อต่อวัน และเป็นการบริโภคเป็นประจำต่อเนื่อง

ปริมาณการบริโภคอาหารต่อมื้อ = อาหารหลัก 1 ชนิด (ข้าวสวยหรือบะหมี่) + ผัก (ผักบุ้ง) + เนื้อสัตว์ (เนื้อไก่+หนังไก่) + เครื่องปรุง (ทั้ง 6 ชนิด) + น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ชนิดละ 1 หน่วยบริโภค

ปริมาณรับสัมผัส SM หรือ SO จากการบริโภคอาหารในกล่องโฟมคำนวณจากปริมาณที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารและเครื่องปรุงแต่ละชนิดตามปริมาณการบริโภคต่อวันต่อคน แล้วคำนวณเป็นปริมาณรับสัมผัส SM หรือ SO ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวคนต่อวัน โดยอนุมานน้ำหนักร่างกายคนไทยเป็น 60 กิโลกรัม

การประเมินความเสี่ยงในสถานการณ์ที่ดีที่สุด (best case scenario) ในการวิจัยนี้ หมายถึงกำหนดให้ผู้บริโภคกินอาหารหลัก 1 ชนิด (กำหนดเป็นบะหมี่ที่บรรจุในสภาวะอุณหภูมิห้องเนื่องจากมีปริมาณ SM และ SO ต่อหน่วยบริโภคน้อยกว่าข้าวสวย) + ผัก(ผักบุ้ง) + เนื้อสัตว์(เนื้อไก่+หนังไก่) + เครื่องปรุง(ทั้ง 6 ชนิด)+น้ำมันปรุงอาหาร(กำหนดเป็นน้ำมันพืชเนื่องจากมีปริมาณ SM และ SO ต่อหน่วยบริโภคน้อยกว่าน้ำมันสัตว์) ที่บรรจุในกล่องโฟมขณะที่อาหารและเครื่องปรุงอยู่ในสภาวะอุณหภูมิห้องเนื่องจากมี SM หรือ SO ที่ตรวจพบในปริมาณน้อยกว่าขณะบรรจุอยู่ในสภาวะอุณหภูมิร้อน

การประเมินความเสี่ยงในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (worst case scenario) กำหนดให้ผู้บริโภคกินอาหารหลัก 1 ชนิด (กำหนดเป็นบะหมี่ที่บรรจุในสภาวะร้อนเนื่องจากมีปริมาณ SM และ SO ต่อหน่วยบริโภคมากกว่าข้าวสวยที่บรรจุในสภาวะร้อน) + ผัก(ผักบุ้ง) + เนื้อสัตว์ (เนื้อไก่+หนังไก่)+เครื่องปรุง (ทั้ง 6 ชนิด)+น้ำมันสัตว์ ที่บรรจุในกล่องโฟมขณะที่อาหารและเครื่องปรุงอยู่ในสภาวะร้อนซึ่งมี SM หรือ SO ที่ตรวจพบในปริมาณมาก

1. กรณีการประเมินความเสี่ยงจาก SM

เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้แสดงให้เห็นว่า SM มีฤทธิ์ก่อมะเร็งจึงไม่สามารถแสดงค่าความแรงในการก่อมะเร็งได้ ในที่นี้จึงประเมินความเสี่ยงเฉพาะกรณีการก่อพิษแบบ Threshold toxicity คือ Margin of safety (MOS) หรือ hazard quotient (HQ)

$$= \frac{\text{Daily exposure dose}}{\text{Reference Dose (RfD)}}$$

RfD = 0.2 mg / kg-day (U.S. EPA., 1994)

RfD = 90,000 μg/ person-day (American Chemical Council, 2007) หรือ 1.5 mg/kg-day เมื่อกำหนดน้ำหนักตัวคนไทยเป็น 60 กิโลกรัม

2. กรณีการประเมินความเสี่ยงจาก SO

เนื่องจาก IARC (1987) ได้จัด SO อยู่ในกลุ่ม 2A (อาจก่อมะเร็งในมนุษย์) และไม่สามารถหาค่า RfDได้ ในที่นี้จึงประเมินความเสี่ยงเฉพาะกรณีการก่อมะเร็งหรือการก่อพิษแบบ Non-threshold toxicity คือ ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต

= Cancer slope factor (ความแรงในการก่อมะเร็ง) × Daily exposure dose

Oral cancer slope factor = 0.16 $(\text{mg/ kg-day})^{-1}$ หรือ 0.00016 $(\text{mcg/ kg-day})^{-1}$ (OEHHA, 2009)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การเปรียบเทียบข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยหรือการแสดงผลต่างของข้อมูลโดยใช้ตารางและกราฟ การเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยต่าง ๆ ในการนำ SM ให้เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงและอาหาร ใช้การวิเคราะห์แบบ t - test กำหนดค่า $p < 0.05$ จึงถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ การคำนวณช่วงเชื่อมั่น 95% ของปริมาณ SM และ SO ที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารและเครื่องปรุงใช้ $\text{mean} \pm t\ (sd/\sqrt{n})$

ผลการวิจัย

ปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมลงสู่เครื่องปรุงอาหารและอาหาร ที่บรรจุในสภาวะอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิร้อน ระยะเวลาการสัมผัสกับอาหารที่ 10, 24 และ 48 ชั่วโมง สภาวะการเก็บรักษาในตู้เย็นและตู้แช่แข็ง การอุ่นอาหารด้วยไมโครเวฟนาน 1, 3 และ 6 นาที แสดงโดยภาพที่ 1-10

เมื่อนำปริมาณ SM และ SO ที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารและเครื่องปรุงมาคำนวณความเสี่ยงพบว่าปริมาณรับสัมผัสที่ครอบคลุมช่วงเชื่อมั่น 95% คือ

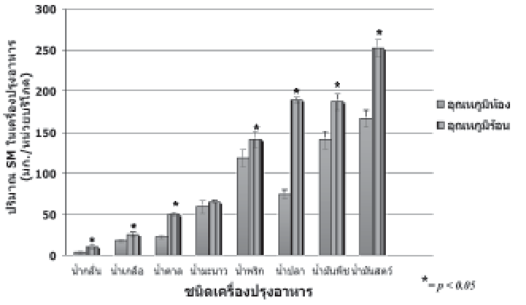
SM = 10.21-24.84 มก/กก.-วัน

SO = 0.011-0.040 มคก/กก.-วัน

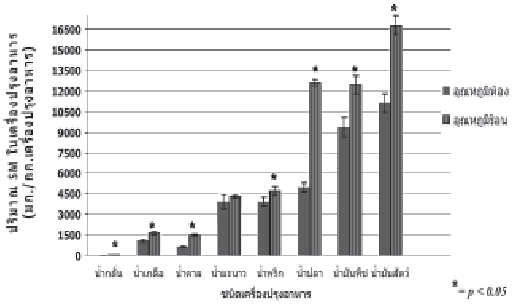
ดังนั้น ค่า Margin of safety (MOS) ของ SM จึงเป็น 51.0 - 124.2 (เมื่อใช้ RfD 0.2 mg/kg-day, U.S.EPA 1994) หรือ 6.8 - 16.6 (เมื่อใช้ RfD 1.5 mg/kg-day, American Chemical Council, 2007)

ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิตจาก SO อยู่ระหว่าง 1.7×10^{-6} - 6.4×10^{-6}

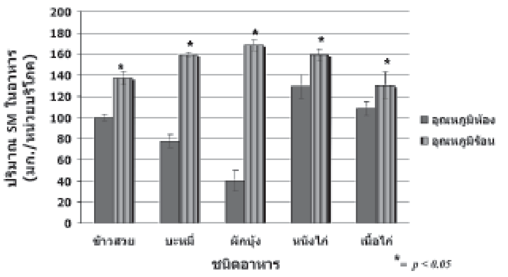
ดังแสดงในตารางที่ 3



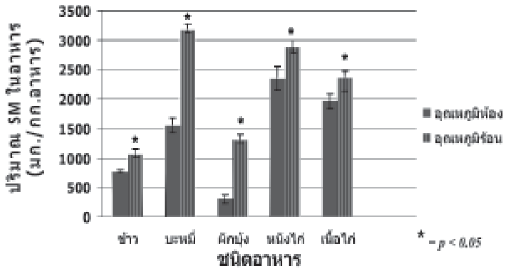
ภาพที่ 1 ปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภคเครื่องปรุงที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงอาหารชนิดต่าง ๆ ที่ขณะบรรจุเครื่องปรุงมีสภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะอุณหภูมิร้อน



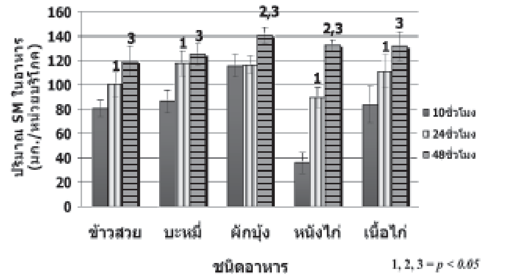
ภาพที่ 2 ปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมเครื่องปรุงที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงอาหารชนิดต่าง ๆ ที่ขณะบรรจุเครื่องปรุงมีสภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะอุณหภูมิร้อน



ภาพที่ 3 ปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภคอาหารที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารชนิดต่าง ๆ ที่ขณะบรรจุอาหารมีสภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะ อุณหภูมิร้อน



ภาพที่ 4 ปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมอาหาร ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารชนิด ต่าง ๆ ที่ขณะบรรจุอาหารมีสภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะ อุณหภูมิร้อน

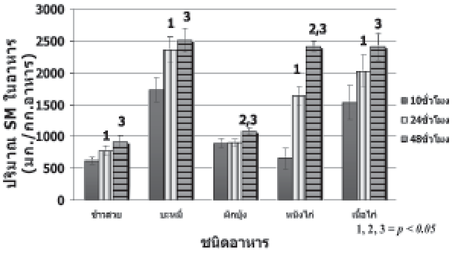


ภาพที่ 5 ปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภคอาหารที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่กล่องโฟมในตู้เย็น 10, 24 และ 48 ชั่วโมง

1 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 24 ชั่วโมง,

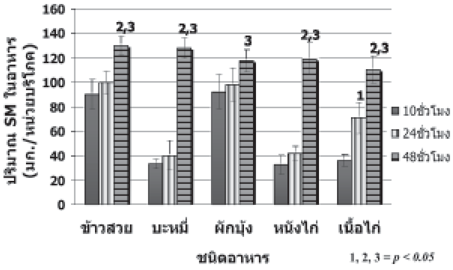
2 หมายถึง เปรียบเทียบ 24 กับ 48 ชั่วโมง,

3 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 48 ชั่วโมง



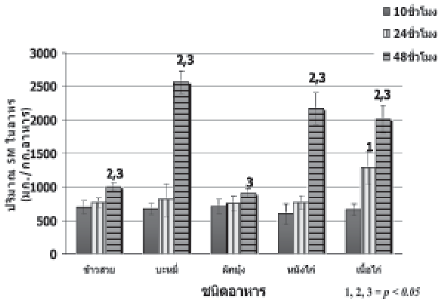
ภาพที่ 6 ปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมอาหาร ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่กล่องโฟมในตู้เย็น 10, 24 และ 48 ชั่วโมง

1 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 24 ชั่วโมง,
2 หมายถึง เปรียบเทียบ 24 กับ 48 ชั่วโมง,
3 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 48 ชั่วโมง



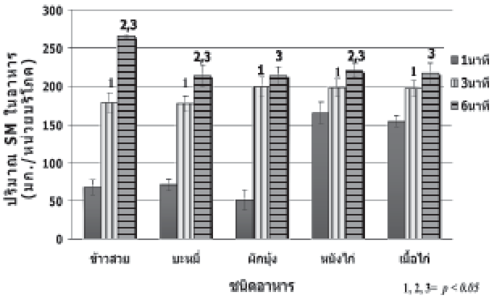
ภาพที่ 7 ปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภคอาหารที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่กล่องโฟมในตู้แช่แข็ง 10, 24 และ 48 ชั่วโมง

1 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 24 ชั่วโมง,
2 หมายถึง เปรียบเทียบ 24 กับ 48 ชั่วโมง,
3 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 48 ชั่วโมง



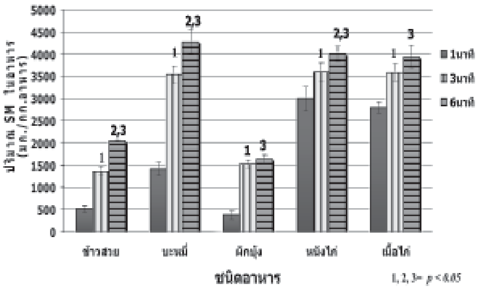
ภาพที่ 8 ปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมอาหารที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่กล่องโฟมในตู้แช่แข็ง 10, 24 และ 48 ชั่วโมง

1 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 24 ชั่วโมง,
2 หมายถึง เปรียบเทียบ 24 กับ 48 ชั่วโมง,
3 หมายถึง เปรียบเทียบ 10 กับ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 9 ปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภคอาหารที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะอุ่นในเตาไมโครเวฟ 1, 3 และ 6 นาที

1 หมายถึง เปรียบเทียบ 1 กับ 3 นาที
2 หมายถึง เปรียบเทียบ 3 กับ 6 นาที
3 หมายถึง เปรียบเทียบ 1 กับ 6 นาที



ภาพที่ 10 ปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมอาหารที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะอุ่นในเตาไมโครเวฟ 1, 3 และ 6 นาที

1 หมายถึง เปรียบเทียบ 1 กับ 3 นาที
2 หมายถึง เปรียบเทียบ 3 กับ 6 นาที
3 หมายถึง เปรียบเทียบ 1 กับ 6 นาที

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณสาร SM และ SO ที่ได้รับสัมผัสจากกล่องโฟมต่อวัน

อาหาร + เครื่องปรุง ชนิดละ 1 หน่วยบริโภค	ปริมาณ SM ที่ได้รับจากอาหารที่บรรจุกล่องโฟมต่อวัน (mg/kgBW-day)	ปริมาณ SO ที่ได้รับจากอาหารที่บรรจุกล่องโฟมต่อวัน (μg/kgBW-day)
สถานการณ์เลวร้ายสุด (worst case)	24.84	0.0397
สถานการณ์ดีสุด (best case)	10.21	0.0109
ความเสี่ยง	Margin of safety 51 - 124 หรือ 6.8 - 16.6	Lifetime cancer risk 1.7×10^{-6} - 6.4×10^{-6}

การอภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า เครื่องปรุงอาหารชนิดน้ำมันสัตว์ น้ำมันพืช น้ำปลา น้ำพริก น้ำมะนาว น้ำตาลและน้ำเกลือมีการเคลื่อนย้าย SM จากกล่องโฟมมากกว่าน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยน้ำมันสัตว์มีความสามารถในการนำ SM จากกล่องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงอาหารได้มากที่สุด ซึ่งตรงกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่าอาหารที่มีความเป็นกรด เค็ม หวาน เผ็ด มัน จะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมากกว่าอาหารที่ไม่มีระดับความเป็นกรด เค็ม หวาน เผ็ด มัน ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเนื่องจากในเครื่องปรุงอาหารชนิดต่าง ๆ ของไทยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ มะนาว น้ำปลา น้ำตาล น้ำพริก น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ล้วนมีส่วนประกอบของอินทรียสารไฮโดรคาร์บอน เช่น กรดอะซิติกในน้ำมะนาว ซูโครสในน้ำตาล เนื้อพริกในน้ำพริก ไขมันพืชในน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ในน้ำมันสัตว์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับ SM ที่มีในกล่องโฟม จึงสามารถละลายหรือสกัด SM ออกมาจากกล่องโฟม ได้มากกว่าน้ำกลั่น

จากผลการทดลองในสภาวะแช่ตู้เย็นและตู้แช่แข็งพบว่าอาหารชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 48 ชั่วโมง มีการเคลื่อนย้ายสาร SM เข้าสู่อาหารมากกว่าที่ 10 และ 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งตรงกับจากสมมุติฐานที่ระบุว่าอาหารที่มีระยะเวลาการสัมผัสกับกล่องโฟมนานกว่าจะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณมากกว่า และอาหารทุกชนิดมีแนวโน้มพบปริมาณ SM จากการเก็บรักษาในตู้เย็นมากกว่าที่ตู้แช่แข็ง ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ระบุว่าอาหารที่เก็บรักษาในตู้เย็นจะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณมากกว่าอาหารที่เก็บรักษาในตู้แช่แข็ง คล้ายกับผลการวิจัยของ Lozano *et al.* (2007) ที่พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณสไตรีนในเนยตามระยะเวลาการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นมากกว่าการเก็บในตู้แช่แข็ง เหตุที่พบดังนี้อธิบายได้ว่าระยะเวลาการสัมผัสของอาหารกับกล่องโฟมที่นานขึ้นย่อมเป็นโอกาสให้ SM ละลายออกจากกล่องโฟมได้มากขึ้นเนื่องจากอาหารมีส่วนประกอบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับ SM และอาหารในตู้แช่แข็งมีอุณหภูมิต่ำกว่าในตู้เย็นจึงมีพลังงานของการเคลื่อนที่ของ SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารน้อยกว่า

จากผลการทดลองที่พบว่าเครื่องปรุงอาหารและอาหารชนิดต่าง ๆ ที่สภาวะอุณหภูมิร้อนมีแนวโน้มที่จะทำให้ SM เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมากกว่าที่สภาวะอุณหภูมิห้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ก็อธิบายได้ว่าสารที่สภาวะอุณหภูมิสูงมีพลังงานในการเคลื่อนที่มากกว่า

บะหมี่มีความสามารถในการสกัด SM ออกมาได้มากกว่าข้าวสวยเมื่อพิจารณาต่อกิโลกรัมน้ำหนักอาหาร เนื่องจากส่วนประกอบของบะหมี่เป็นแป้งเกือบทั้งหมด แต่ข้าวสวยมีเส้นใยอาหารและส่วนประกอบอื่นที่ไม่เอื้อต่อการสกัด SM ออกจากกล่องโฟมด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณการบริโภคต่อหน่วยน้อยกว่าข้าว จึงพบว่าบะหมี่ที่อุณหภูมิห้องทำให้ SM ออกมาต่อหน่วยบริโภคน้อยกว่าข้าวสวย แต่เมื่อบะหมี่มีอุณหภูมิร้อนจะยิ่งละลาย SM ออกมาได้มากกว่าข้าวสวยยิ่งขึ้น

จากผลการทดลองการอุ่นในไมโครเวฟพบว่าเมื่อระยะเวลาการอุ่นนานขึ้นปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องเข้าสู่อาหารจะมีเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาการอุ่นในเตาไมโครเวฟ 6 นาทีมีการเคลื่อนย้ายสาร SM เข้าสู่อาหารมากกว่าระยะเวลาการอุ่นที่ 1 และ 3 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอธิบายได้ว่าระยะเวลาของการอุ่นอาหารด้วยเตาไมโครเวฟยิ่งนานขึ้น ทำให้อาหารร้อนขึ้นจึงทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของ SMจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารยิ่งมีมากขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Melski *et al.* (2003) ที่พบว่าการอุ่นซ้ำในไมโครเวฟทำให้การเคลื่อนย้ายสารระเหยจากถ้วย polystyrene มีการเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

จากผลการประเมินความเสี่ยงในสถานการณ์ที่ดีที่สุดที่บริโภคเพียงวันละ 1 กล่องและกำหนดให้ปริมาณสาร SM และ SO ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณน้อยเนื่องจากขณะที่บรรจุกล่องโฟมอาหารอยู่ในสภาวะอุณหภูมิห้องและคำนวณความเสี่ยงโดยใช้ปริมาณสารที่ช่วงเชื่อมั่นขอบล่าง (lower 95% CI) นอกจากนี้ยังเลือกอาหารหลัก (บะหมี่) และเครื่องปรุงน้ำมัน(น้ำมันพืช)ซึ่งให้ค่า SM และ SO ต่ำกว่า กระนั้นโอกาสได้รับอันตรายจาก SM ก็ยังมีค่าเกินค่าที่กำหนดว่าปลอดภัยในการบริโภคต่อวันถึงอย่างน้อย 6..8 เท่า โดยอ้างอิงจาก American Chemical Council (2007) และมีความเสี่ยงที่จะเกิดมะเร็งจาก SO เป็น 1.7 ต่อ ล้าน และในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุดที่ปริมาณสาร SM และ SO ที่ตรวจพบมีปริมาณมากเนื่องจากขณะที่บรรจุกล่องโฟม อาหารอยู่ในสภาวะอุณหภูมิร้อนและใช้ปริมาณสารที่ช่วงเชื่อมั่นขอบบน (upper 95% CI) ในการคำนวณก็จะมีโอกาสได้รับอันตรายจาก SM มากขึ้นไปอีกเนื่องจากปริมาณที่ตรวจพบมีค่าเกินค่าที่กำหนดว่าปลอดภัยในการบริโภคต่อวันถึง อย่างน้อย 16 เท่า และความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งจาก SO เป็น 6.4 ต่อล้าน ซึ่งนับว่าค่อนข้างสูง เนื่องจากเกณฑ์การยอมรับจากการจัดการความเสี่ยงโดย U.S. EPA คือ 1 ใน ล้าน ถึง 1 ใน หมื่น (U.S. EPA, 2005) นอกจากนี้ ปริมาณ SO ที่ตรวจพบนั้นเป็น SO ที่มีอยู่แล้วในกล่องโฟมจึงมีปริมาณน้อย แต่สาร SO นั้นเป็นสารที่เกิดจากเมตาบอลิสมในร่างกายของสาร SM ด้วย ดังนั้นสาร SM ที่ได้รับจากกล่องโฟมเมื่อเข้าไปในร่างกายแล้วบางส่วนก็อาจจะเปลี่ยนเป็น SO ได้ ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามหากผู้บริโภคไม่ได้บริโภคเครื่องปรุงครบทั้ง 8 ชนิดในครั้งเดียวกันหรือบริโภคอาหารชนิดอื่นที่สกัด SM ออกมาได้น้อยกว่าชนิดที่ทดลองหรือหากภาชนะโฟมมีคุณภาพที่มีปริมาณ SM หรือ SO น้อยกว่า หรือขณะบรรจุอาหารมีอุณหภูมิไม่สูงเท่าที่ทดลอง ก็จะมีโอกาสรับสัมผัสสารได้ในปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่คำนวณได้ในงานวิจัยนี้ ทำให้ความเสี่ยงอาจน้อยกว่านี้ได้

สรุปผลการวิจัย

เมื่ออุณหภูมิของอาหารสูงขึ้น สภาวะการเก็บรักษานานขึ้น ระยะเวลาการอุ่นโดยไมโครเวฟนานขึ้นจะเกิดการเคลื่อนย้ายของ SM เข้าสู่อาหารได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งการรับประทานอาหารที่บรรจุกล่องโฟมเป็นประจำ นอกจากจะมีความเสี่ยงแบบมีระดับกั้นของปริมาณสารที่ก่อผล หรือ threshold toxicity แล้ว ยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งหรือ non-threshold toxicity อีกด้วย ทางที่ดีจึงควรหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่บรรจุในกล่องโฟมเท่าที่ทำได้โดยเฉพาะการบรรจุขณะที่อาหารมีอุณหภูมิร้อน และไม่ควรนำกล่องโฟมเข้าอุ่นในไมโครเวฟโดยตรง

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้เครื่องมือที่มีความไวในการวิเคราะห์สารที่ดีขึ้นที่ทำให้สามารถวิเคราะห์สารได้ในปริมาณต่ำ ๆ และสามารถวิเคราะห์ SO ในอาหารหรือเครื่องปรุงโดยตรงได้ จะทำให้การประเมินความเสี่ยงมีความแม่นยำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2541. ฉลากโภชนาการ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.

อมร วงศ์รักษ์พานิช และ กาญจนา วิวัฒน์เจริญ. 2532. สไตรีนโมโนเมอร์ในภาชนะบรรจุหุ้มห่อและสัมผัสอาหาร. กองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 31(2): 93-102.

American Chemistry Council. 2007. Plastics foodservice packaging group (PFPG). Safety of polystyrene foodservice products. retrieved December 3, 2009 from http:/ /www.americanchemistry.com/s_plastics/ sec_pfpg.asp?CID=2302&DID=10016.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 1987. In U.S. Environmental Protection Agency. 2000. Technology transfer network. Air toxics web sing. Styrene oxide. Hazard summary-created in April 1992; revised in January 2000. retrieved December 11, 2009 from http://www.epa.gov/airtoxics/hlthef/ styreneo.html.

Lickly, TD., Lehr, KM., and Welsh, GC. 1995. Migration of styrene from polystyrene foam food-contact articles. Food and Chemical Toxicology 33: 475-481.

Lozano, PR., Miracle, ER., Krause, AJ., Drake, M., and Cadwallader, KR. 2007. Effect of cold storage and packaging material on the major aroma components of sweet cream butter. Agricultural and Food Chemical 55: 7840-7846.

Melski, K., Jan, Z., and Hieronim, K. 2003. Model study on intensified migration of volatile substances from food contacting plastic materials during repeated microwaving. Food science and technology 6(2): 44-51.

Office of Environment Health Hazard (OEHHA). 2009. OEHHA cancer potency values as of July 21. retrieved May 15, 2008, from http://oehha.ca.gov/risk/pdf/pdf/ tcdb072109 cas.pdf.

Philo, MR., Fordham, AP., Damant, AP., and Castle, L. Measurement of Styrene Oxide in Polystyrenes, Estimation of Migration to Foods, and Reaction Kinetics and Products in Food Simulants. Food and Chemical Toxicology 35:821-826, 1997.

Tawfik, MS., and Huyghebaert, A. 1998. Polystyrene cups and containers : styrene migration. Food additives and contaminants 15(5): 592-599.

US. Environmental Protection Agency (US.EPA). 1994. Pollution prevention and toxics. retrieved December 10, 2008, from http:// www.epa. gov/chemfact/styre-sd.pdf.

US. Environmental Protection Agency (US.EPA). 2005, March. Guidelines for carcinogen risk assessment. retrieved October 31, 2009, from http:// cfpub.epa.gov/ncea/ cfm/ recordisplay. cfm? deid =116283.