

## ความเสี่ยงจากการบริโภคอาหารบรรจุกล่องโฟมโพลีสไตรีน

### Risk from Consuming Food from Polystyrene Foam Package

ชุมภาพร รดเสีดา (Chumaporn rodseeda)\* กรรณิการ์ ฉัตรสันติประภา (Kannikar chatsantiprapa)\*\*

#### บทคัดย่อ

เพื่อประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการนำภาชนะบรรจุอาหารชนิดโฟมโพลีสไตรีนมาใช้บรรจุอาหาร นักวิจัยจึงศึกษาปริมาณสไตรีน โมโนเมอร์และสไตรีนออกไซด์ที่เคลื่อนย้ายออกจากภาชนะบรรจุอาหารในสถานการณ์ที่แตกต่างกันในเครื่องปรุงอาหาร 8 ชนิดและอาหาร 5 ชนิดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID แล้วคำนวณระดับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นทั้งชนิดความเสี่ยงที่มีระดับกั้นของสารที่ก่อพิษ (threshold toxicity) และชนิดความเสี่ยงแบบไม่มีระดับกั้นของปริมาณสารที่ก่อพิษ (non-threshold toxicity) และพบว่าค่า margin of safety จาก สไตรีนโมโนเมอร์อยู่ระหว่าง 58.05 ถึง 289.15 (อ้างอิงค่าปลอดภัย = 0.2 mg/kg-day, U.S.EPA 1994) ซึ่งมีค่าสูงมากและความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากสไตรีนออกไซด์อยู่ระหว่าง  $2.40 \times 10^{-6}$  ถึง  $1.22 \times 10^{-5}$  ซึ่งเป็นความเสี่ยงค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงโอกาสเกิดอันตราย ประชาชนจึงสมควรหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารบรรจุกล่องโฟมเท่าที่จะสามารถหลีกเลี่ยงได้

#### 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 58.05 to 289.15 (using the reference dose 0.2 mg/kg-day, U.S.EPA, 1994) in threshold toxicity assessment. The lifetime cancer risk from styrene oxide migration was found between  $2.40 \times 10^{-6}$  to  $1.22 \times 10^{-5}$  in non-threshold toxicity assessment. These risks were in high levels. Therefore, to avoid unwanted risks, public should be warned to avoid consuming foods in polystyrene packages.

**คำสำคัญ :** กล่องโฟม สไตรีนโมโนเมอร์ การประเมินความเสี่ยง

**Key Words :** Foam Package, styrene monomer, risk assessment

\*มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาพิษวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพิษวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารชนิดโพลีโพลีสไตรีนมาใช้กันอย่างกว้างขวางมีหลากหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ได้ง่ายให้ความสะดวกตามความต้องการและราคาเหมาะสม ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ โดยเฉพาะอาหารปรุงสำเร็จรูป อาหารพร้อมปรุงที่ขายอยู่ทั่วไปตามห้างสรรพสินค้า และอาหารกึ่งสำเร็จรูปซึ่งเมื่อนำมาบรรจุอาหารในสภาวะต่างๆกัน เช่น อุณหภูมิของอาหาร ระยะเวลาสัมผัสกับกล่องโพลี (Lickly et al., 1995) ความเป็นกรดของอาหาร ปริมาณน้ำมันหรือไขมันในอาหาร (Tawfik and Huyghebaert, 1998) สภาวะการเก็บรักษา (Lozano et al., 2007) และการนำกล่องโพลีที่บรรจุอาหารเข้าอุ่นในเตาไมโครเวฟ (Melski et al., 2003) พบการเคลื่อนย้ายของสไตรีนโมโนเมอร์ซึ่งเป็นวัตถุพิษในการผลิตพลาสติกโพลีสไตรีนเข้าสู่อาหารที่บรรจุอยู่ได้ ในประเทศไทยรายงานการศึกษาของ อมร และ กาญจนา (2532) ซึ่งนำตัวอย่างภาชนะบรรจุ หุ้มห่อ และสัมผัสอาหารชนิดต่างๆ จำนวน 115 ตัวอย่าง มาตรวจ พบปริมาณสไตรีนโมโนเมอร์ในภาชนะบรรจุอยู่ในช่วง 40.0 - 7,118.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเนื่องจากอาหารของไทยมีความหลากหลายในรูปแบบของการประกอบอาหาร และเครื่องปรุงอาหารมากกว่าที่มีรายงานจากการศึกษาในต่างประเทศ นักวิจัยจึงต้องการศึกษาปริมาณสไตรีนโมโนเมอร์และสไตรีนออกไซด์ที่เคลื่อนย้ายออกจากภาชนะบรรจุอาหารในสถานการณ์ที่แตกต่างกันสำหรับการบริโภคอาหารของคนไทยเพื่อประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากรูปแบบการบรรจุอาหารด้วยกล่องโพลีโพลีสไตรีน อันจะนำไปสู่ความตระหนักในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดต่อสุขภาพของผู้บริโภคอาหารในระยะยาวได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

### วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อประเมินความเสี่ยงของผู้บริโภคจากการเคลื่อนย้ายของสารสไตรีนโมโนเมอร์จากภาชนะบรรจุอาหารชนิดโพลีโพลีสไตรีนเข้าสู่อาหาร

### วัตถุประสงค์เฉพาะ

เพื่อศึกษาปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารสไตรีนโมโนเมอร์จากกล่องโพลีเข้าสู่อาหารเมื่อ

1. อาหารที่สัมผัสกล่องโพลีมีระดับความเป็นกรด ความเค็ม ความเผ็ด ความหวาน น้ำมันหรือไขมันต่างกัน
2. อาหารสัมผัสกับกล่องโพลีด้วยระยะเวลาการเก็บรักษานานต่างกัน
3. อาหารที่สัมผัสกล่องโพลีมีอุณหภูมิต่างกัน
4. อาหารที่บรรจุในกล่องโพลีถูกเก็บรักษาในตู้เย็นและแช่ตู้แช่แข็งที่ระยะเวลาแตกต่างกัน
5. นำกล่องโพลีที่บรรจุอาหารเข้าอุ่นในเตาไมโครเวฟด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ กำหนดเครื่องปรุง 8 ชนิด และอาหารที่เป็นตัวอย่างการทดลอง 5 ชนิด ดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 1 แสดงเครื่องปรุง 8 ชนิด ที่ใช้วิจัย

เครื่องปรุงรส (วิธีเตรียม)	ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภค*
น้ำมะนาว (บีบน้ำมะนาวออกจากผลโดยตรง)	15 มิลลิลิตร
น้ำปลา (ตราปลาหมึกเทาจากขวดโดยตรง)	15 มิลลิลิตร
น้ำเชื่อม (น้ำตาล 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร)	30 มิลลิลิตร
น้ำเกลือ (เกลือ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร)	15 มิลลิลิตร
น้ำพริก (ซังพริกขี้หนูจินดาที่ปั่นแล้ว 15 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร)	15 มิลลิลิตร
น้ำมันพืช (น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ)	15 มิลลิลิตร

เครื่องปรุงรส (วิธีเตรียม) ต่อ	ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภค*
น้ำมันสัตว์ (น้ำมันหมูมาเจียว)	15 มิลลิลิตร
กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น)	200 มิลลิลิตร

\* เป็นค่าปริมาณอาหารโดยน้ำหนักหรือปริมาตรของการรับประทานแต่ละครั้ง (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

**ตารางที่ 2** แสดงอาหาร 5 ชนิด ที่ใช้วิจัย

ชนิดอาหาร (วิธีเตรียม**)	ปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภค*
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปลวกสุก (บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรสต้มยำกุ้ง ตรา माम่า)	50 กรัม
ผักบุงลวกสุก (ผักบุงจีน)	130 กรัม
เนื้อไก่ต้มสุก (เนื้อไก่ที่เอากระดูก เอ็น และหนังออกหมด)	55 กรัม
หนังไก่ต้มสุก (หนังไก่ที่ไม่มีเนื้อติดแต่มีไขมันติดอยู่เล็กน้อย)	55 กรัม
ข้าวสวย (ข้าวหอมมะลิ)	130 กรัม

\* เป็นค่าปริมาณอาหารโดยน้ำหนักหรือปริมาตรของการรับประทานแต่ละครั้ง (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

\*\* อาหารที่นำมาทดลองทั้งหมดทำให้สุกก่อนแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

**อุปกรณ์**

**กล่องโฟมบรรจุอาหาร**

กล่องโฟมบรรจุอาหารชนิดฝาปิดแบบบานพับกันจิบที่ผลิตจากพลาสติกโพลีสไตรีนซื้อจากร้านค้าในตลาดสดบางลำพู ขอนแก่น ผลิตจากบริษัท เที. แพ็ค ออฟฟู๊ดส์ จำกัด ตรา A-912 ขนาดกว้าง×ยาว×สูง = 13.3 × 18.5 × 6 เซนติเมตร น้ำหนัก  $4.98 \pm 0.03$  g (ชั่งทุกกล่องก่อนบรรจุอาหารและเครื่องปรุงรสในกล่องโฟม)

**อุปกรณ์และสารเคมี ประกอบด้วย**

- กระดาษกรองชนิดไนลอน (บริษัท Whatman) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.45 \mu\text{m}$  สำหรับใช้กรองสารละลายหลังจากละลายกล่องโฟม

- กระบอกฉีดยา (syringe) สำหรับฉีดสารละลายผ่านกระดาษกรองชนิดไนลอนหลังจากละลายกล่องโฟม

- เครื่อง GC Detector FID รุ่น HP-6890 series ของ Agilent Technologies ใช้ column packing ชนิด PH - Innowax  $30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}$ . 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  $5000 \mu\text{g}/\text{ml}$

- สารมาตรฐาน Styrene oxide 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

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

ในการทดลองทำ 3 ซ้ำทุกชนิด

เนื่องจากความจำกัดของความไวของเครื่องมือวิเคราะห์ การหาปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารหรือเครื่องปรุงอาหารจึงทำได้โดยทางอ้อม ดังนี้

ปริมาณ SM ในอาหารหรือเครื่องปรุงอาหาร = ปริมาณ SM ที่มีในกล่องโฟมเปล่านั้นก่อนบรรจุอาหารหรือเครื่องปรุง - ปริมาณ SM ที่มีในกล่องโฟมหลังบรรจุอาหารหรือเครื่องปรุง

**1. วิธีการวิเคราะห์ SM ที่มีในกล่องโฟม**

นำกล่องโฟมโพลีสไตรีนทั้งกล่องมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ใน flask ขนาด 250 ml เติมน้ำ Dichloromethane 10 ml คนขึ้นกล่องโฟมให้ละลายจนหมด จากนั้นเติม Methanol 5 ml เพื่อตกตะกอนโพลีเมอร์และสารที่ไม่ละลายออกจากสารละลายแล้วนำสารละลายมากรองโดยใช้แรงดันจากกระบอกฉีดยาให้สารละลายไหลผ่าน

กระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45  $\mu\text{m}$  นำสารละลาย ตัวอย่างที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ SM ด้วยเครื่อง GC-FID คำนวณหาปริมาณ SM โดยใช้ Peak height ของ Chromatogram แทนค่าในสมการจากกราฟ calibration curve ของสารละลายมาตรฐาน SM

## 2. การเตรียมตัวอย่าง

นำกล่องโฟมเปล่ามาครั้งละ 1 กล่อง มาบรรจุ เครื่องปรุงอาหารหรืออาหารชนิดละหนึ่งหน่วยบริโภค (ครั้งละหนึ่งชนิด) เอียงกล่องโฟมวนไปมาบนพื้นโต๊ะ ในแนวระนาบให้เครื่องปรุงหรืออาหารสัมผัสทั่วผิวพื้น กล่องโฟม 3 รอบ ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที เอียงวนแบบเดิมอีก 3 รอบ แล้วเทเครื่องปรุงอาหารหรืออาหารทิ้งพร้อมกับ ใช้ช้อนกวาดเครื่องปรุงหรืออาหารที่เหลือทิ้งไป แล้ว วิเคราะห์หาปริมาณ SM ในกล่องโฟมตามวิธีในข้อ 1

## 3. การทดลองในสภาวะต่างๆ

- ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

นำเครื่องปรุงอาหารหรืออาหารที่มีความเข้มข้นระดับอุณหภูมิห้องมาบรรจุกล่องโฟม ตามวิธีในข้อ 2

- ในสภาวะร้อน

กรณีเครื่องปรุงอาหารนำเครื่องปรุงอาหารใส่ บีกเกอร์ปิดฝาด้วยกระดาษฟิวส์แล้วนำไปอุ่นด้วย เต้าไมโครเวฟขนาด 900 วัตต์ ใช้ความร้อนสูงสุดเป็นเวลา 1 นาที ก่อนนำมาเทใส่กล่องโฟม นำกล่องโฟมที่ บรรจุเครื่องปรุงอาหารมาวิเคราะห์ ตามวิธีในข้อ 2

กรณีอาหาร นำอาหารที่เพิ่งสุกออกจากเตา บรรจุในกล่องโฟม แล้วดำเนินการตามวิธีในข้อ 2

- ในสภาวะแช่ตู้เย็น

นำกล่องโฟมมาบรรจุอาหารครั้งละหนึ่งชนิดที่ ต้มสุกและเย็นลงระดับอุณหภูมิห้องแล้วนำเข้า ไปแช่ ในตู้เย็น ( $6 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ) ตั้งทิ้งไว้ 10 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง หรือ 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำอาหารแต่ละชนิดมาตั้ง ไว้จนเท่าอุณหภูมิห้องแล้วดำเนินการตามขั้นตอนในข้อ 2

- ในสภาวะแช่ตู้แช่แข็ง

ทำเช่นเดียวกับในสภาวะในสภาวะแช่ตู้เย็น แต่นำเข้าแช่ในตู้แช่แข็ง ( $-20^\circ\text{C}$ ) ตั้งทิ้งไว้ 10 ชั่วโมง

24 ชั่วโมง หรือ 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำอาหารแต่ละ ชนิดมาตั้งไว้จนเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วดำเนินการ ตามวิธีในข้อ 2

- ในสภาวะอุ่นด้วยเต้าไมโครเวฟ

นำกล่องโฟมมาบรรจุอาหารครั้งละหนึ่งชนิด ที่ต้มสุกและเย็นลงระดับอุณหภูมิห้อง แล้วนำทั้งกล่อง โฟมเข้าไปอุ่นด้วยเต้าไมโครเวฟ ขนาด 900 วัตต์ เปิด ความร้อนสูงสุด นาน 1 นาที 3 นาที หรือ 6 นาที เมื่อ ครบเวลานำอาหารแต่ละชนิดมาตั้งไว้จนเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วดำเนินการตามวิธีในข้อ 2

สภาวะเครื่อง GC-FID HP-6890 series ที่ใช้ใน การวิเคราะห์ SM มีดังนี้

Oven temperature  $40^\circ\text{C}$  hold 5 min. แล้ว ปรับขึ้น  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ . ถึง  $110^\circ\text{C}$ , Detector temperature  $220^\circ\text{C}$

Injector temperature  $115^\circ\text{C}$ , Carrier gas: He, flow 3.7 ml/min, Column PH-Innowax 30m $\times$ 0.25mm. ID: 0.32 mm.

## วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารไตรีนออกไซด์ (SO) ในกล่องโฟม

เนื่องจากความจำกัดของความไวของเครื่องมือ วิเคราะห์ การหาปริมาณ SO ในกล่องโฟมจึงวิเคราะห์ ครั้งละ 3 กล่องแล้วหารด้วย 3 เพื่อให้ได้ปริมาณ SO ต่อ กล่อง ดังนี้ นำกล่องโฟมมาครั้งละ 3 กล่อง (ทำซ้ำ 6 ครั้ง ทั้งหมด) ตัดกล่องโฟมเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ใน flask ขนาด 250 ml เติมสาร Dichloromethane 30 ml คนให้ กล่องโฟมละลายหมดเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย จากนั้นเติม Methanol 15 ml เพื่อตกตะกอนโพลีเมอร์ ออกจากสารละลาย นำสารละลายใสมากรองผ่าน กระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาด 0.45  $\mu\text{m}$  นำสารละลาย ตัวอย่างไปตรวจด้วยเครื่อง GC-FID คำนวณหาปริมาณ SO โดยนำ Peak height ที่ได้จาก Chromatogram แทน ค่าในสมการจากกราฟ standard curve ของสารละลาย มาตรฐาน SO ที่ทำได้

สภาวะเครื่อง GC-FID HP-6890 series ที่ใช้ในการวิเคราะห์ SO มีดังนี้

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

ปริมาณ SO ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารและเครื่องปรุงอาหาร คำนวณโดยใช้สัดส่วนที่ได้จากการเคลื่อนย้ายของ SM โดยใช้สมมติฐานว่า SO และ SM มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกันจึงน่าจะมีพฤติกรรมเคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากความจำกัดของเครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณ SO

### วิธีการประเมินความเสี่ยง

งานวิจัยนี้กำหนดให้

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

ปริมาณรับสัมผัส SM หรือ SO จากอาหารต่อมื้อ = [(conc.<sub>1</sub> × exposure dose<sub>1</sub>) + (conc.<sub>2</sub> × exposure dose<sub>2</sub>) + ...] / body weight

Conc. = ความเข้มข้นของ SM หรือ SO ที่ตรวจวัดได้ในอาหารหรือเครื่องปรุงอาหาร, ค่าอนุมาณ น้ำหนักร่างกาย 70 กิโลกรัม

การประเมินความเสี่ยงในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (best case scenario) ในการวิจัยนี้ หมายถึง กำหนดให้ผู้บริโภคกินอาหาร 1 ชนิด (ข้าวสวย) + ผัก(ผักบุ้ง) + เนื้อสัตว์(เนื้อไก่+หนังไก่) + เครื่องปรุง(ทั้ง 6 ชนิด) + น้ำมันพืช ที่บรรจุในกล่องโฟมขณะที่อาหารและเครื่องปรุงอยู่

ในสภาวะอุณหภูมิห้องซึ่งมี SM หรือ SO ในปริมาณน้อยที่สุดที่ตรวจพบ รวมทั้งผู้บริโภค บริโภคอาหารใส่กล่องโฟมเพียง 1 กล่อง/วัน

การประเมินความเสี่ยงในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (worst case scenario) กำหนดให้ผู้บริโภคกินอาหาร 1 ชนิด (บะหมี่) + ผัก(ผักบุ้ง) + เนื้อสัตว์(เนื้อไก่+หนังไก่)+เครื่องปรุง(ทั้ง6ชนิด)+น้ำมันสัตว์ ที่บรรจุในกล่องโฟมขณะที่อาหารและเครื่องปรุงอยู่ในสภาวะอุณหภูมิร้อนซึ่งมี SM หรือ SO ในปริมาณมาก รวมทั้งผู้บริโภค บริโภคอาหารใส่กล่องโฟม 3 กล่อง/วัน

#### 1. กรณีการประเมินความเสี่ยงจาก SM

เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า SM ไม่มีฤทธิ์ก่อมะเร็งจึงไม่สามารถแสดงค่า ความแรงในการก่อมะเร็งได้ ในที่นี้จึงประเมินความเสี่ยง เฉพาะกรณีการก่อพิษแบบ Threshold toxicity คือ

Margin of safety (MOS) หรือ hazard quotient (HQ)

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

Reference Dose (RfD)

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

RfD = 90,000 µg/ kg-day หรือ 1.2857 mg/kg-day

(American Chemical Council, 2007)

#### 2. กรณีการประเมินความเสี่ยงจาก SO

เนื่องจาก IARC (1987) ได้จัด SO อยู่ในกลุ่ม 2A (อาจก่อมะเร็งในมนุษย์) ไม่สามารถหาค่า RfD ได้ ในที่นี้จึงประเมินความเสี่ยงเฉพาะกรณีการก่อมะเร็งหรือการก่อพิษแบบ Non-threshold toxicity คือ ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต

$$= \text{cancer slope factor (ความแรงในการก่อมะเร็ง)}$$

$$\times \text{exposure dose}$$

Oral cancer slope factor = 0.16 (mg/ kg-day)<sup>-1</sup>

(OEHHA, 2009)

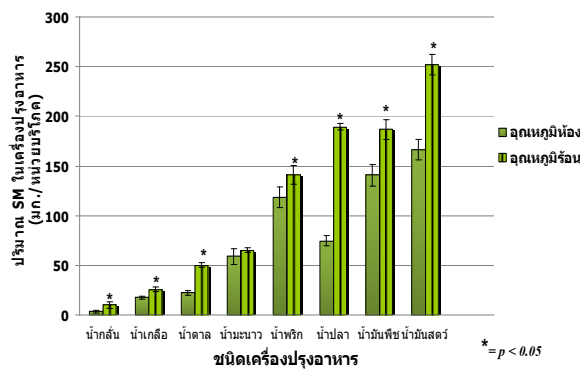
### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การเปรียบเทียบข้อมูล โดยใช้ค่าเฉลี่ยหรือการแสดงผลต่างของข้อมูล โดยใช้

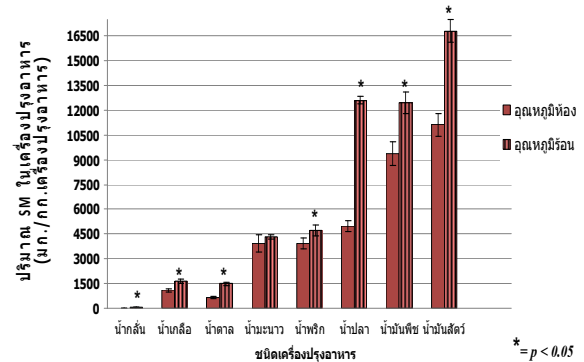
ตารางและกราฟ การเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยต่างๆ ในการนำ SM ให้เคลื่อนย้ายจากถ้องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงและอาหาร ใช้ การวิเคราะห์แบบ t – test กำหนดค่า  $p < 0.05$  จึงถือว่ามีความสำคัญทางสถิติ

**ผลการวิจัย**

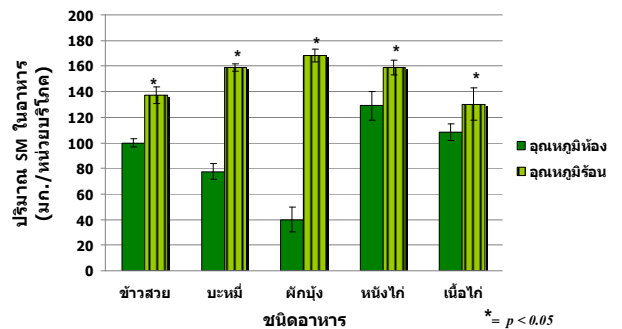
ปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายจากถ้องโฟมลงสู่เครื่องปรุงอาหารในสภาวะต่างกัน คือ เครื่องปรุงอาหารและอาหาร ที่อุณหภูมิห้องและร้อน ระยะเวลาการสัมผัสกับอาหาร (10, 24 และ 48 ชั่วโมง) สภาวะการเก็บรักษา(ตู้เย็นและตู้แช่แข็ง) การอุ่นอาหารด้วยไมโครเวฟ (1, 3 และ 6 นาที) แสดงปริมาณต่อหน่วยปริมาตรและปริมาณต่อกรัมของอาหารหรือเครื่องปรุงโดยภาพที่ 1-10



ภาพที่ 1 ผลของปริมาณ SM ต่อหน่วยปริมาตร ที่เคลื่อนย้ายจากถ้องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงอาหารชนิดต่างๆ ที่สภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะอุณหภูมิร้อนและการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะอุณหภูมิห้องกับสภาวะอุณหภูมิร้อน

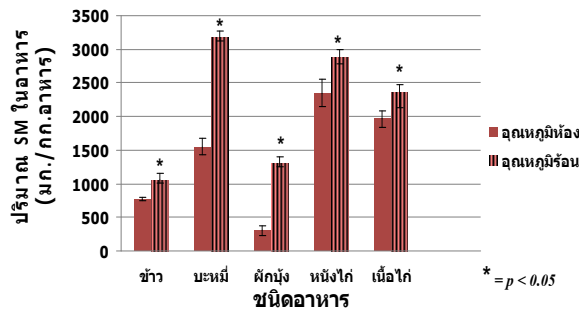


ภาพที่ 2 ผลของปริมาณ SM ต่อกรัมเครื่องปรุงที่เคลื่อนย้ายจากถ้องโฟมเข้าสู่เครื่องปรุงอาหารชนิดต่างๆ ที่สภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะอุณหภูมิร้อนและการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะอุณหภูมิห้องกับสภาวะอุณหภูมิร้อน

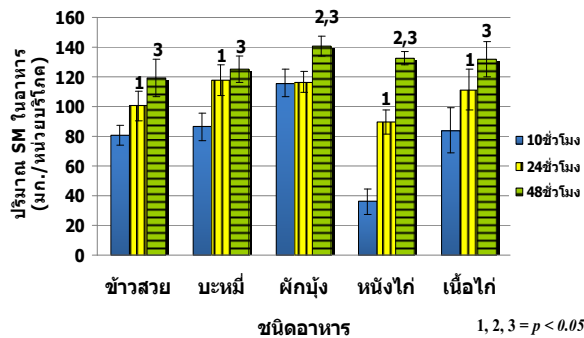


ภาพที่ 3 ผลของปริมาณ SM ต่อหน่วยปริมาตร ที่เคลื่อนย้ายจากถ้องโฟมเข้าสู่อาหารชนิดต่างๆ ที่สภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะ อุณหภูมิร้อน และการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะอุณหภูมิห้องกับสภาวะอุณหภูมิร้อน

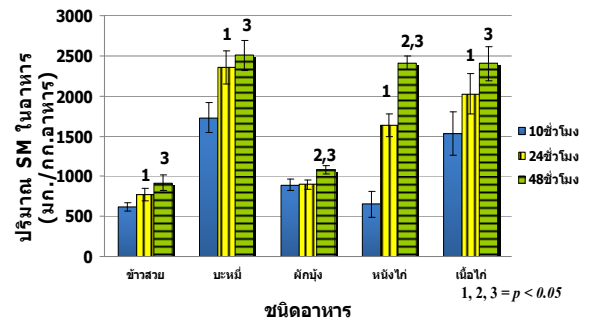




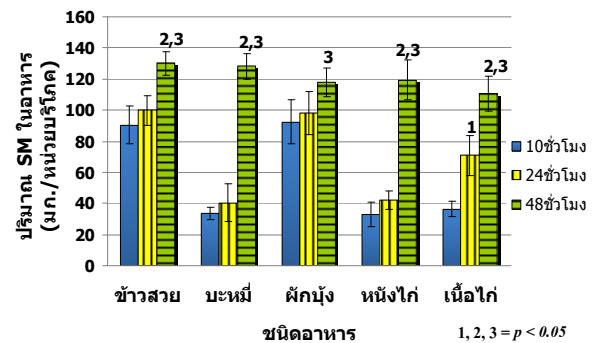
ภาพที่ 4 ผลของปริมาณ SM ต่อกลีโคกรัมอาหาร ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารชนิดต่างๆ ที่สภาวะอดหิวห้องและสภาวะ อดหิวร้อน และการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะอดหิวห้องกับสภาวะอดหิวร้อน



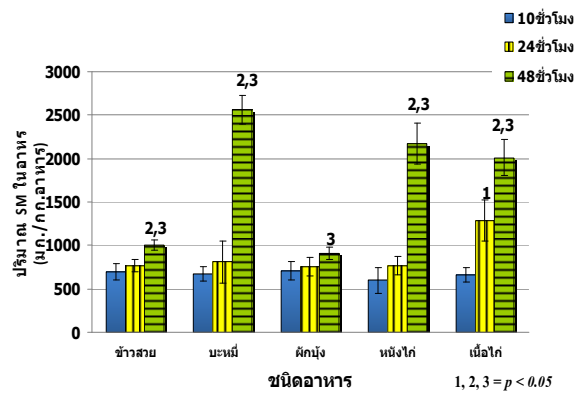
ภาพที่ 5 ผลของปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภค ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่ตู้เย็น 10, 24 และ 48 ชั่วโมง โดย 1 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 24 ชั่วโมง, 2 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง, 3 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 48 ชั่วโมง



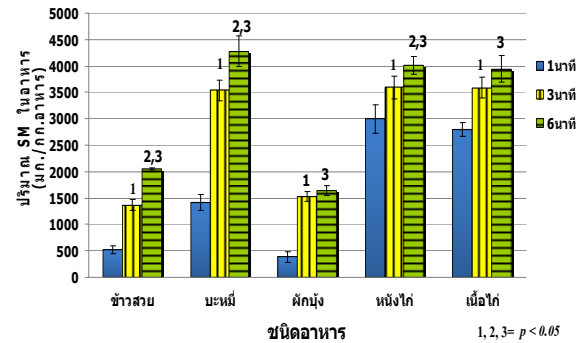
ภาพที่ 6 ผลของปริมาณ SM ต่อกลีโคกรัมอาหาร ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่ตู้เย็น 10, 24 และ 48 ชั่วโมง โดย 1 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 24 ชั่วโมง, 2 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง, 3 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 48 ชั่วโมง



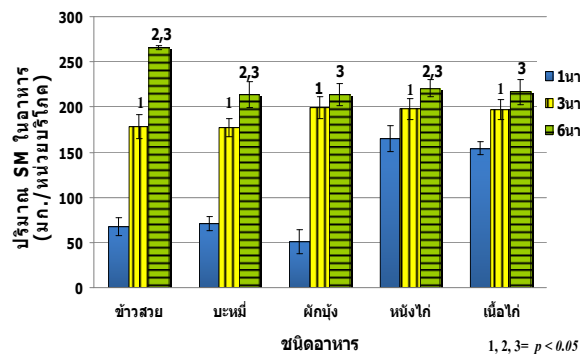
ภาพที่ 7 ผลของปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภค ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสภาวะแช่ตู้แช่แข็ง 10, 24 และ 48 ชั่วโมง โดย 1 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 24 ชั่วโมง, 2 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง, 3 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 8 ผลของปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมอาหาร ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสถานะแช่ตู้แช่แข็ง 10, 24 และ 48 ชั่วโมง โดย 1 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 24 ชั่วโมง, 2 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง, 3 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 กับ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 10 ผลของปริมาณ SM ต่อกิโลกรัมอาหาร ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสถานะอุ่นในเตาไมโครเวฟ 1, 3 และ 6 นาที 1 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการอุ่นที่ 1 กับ 3 นาที 2 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการอุ่นที่ 3 กับ 6 นาที 3 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการอุ่นที่ 1 กับ 6 นาที ตารางที่ 3 แสดงปริมาณสาร SM และ SO ที่ได้รับสัมผัสจากกล่องโฟมต่อวัน



ภาพที่ 9 ผลของปริมาณ SM ต่อหน่วยบริโภค ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารในสถานะอุ่นในเตาไมโครเวฟ 1, 3 และ 6 นาที 1 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการอุ่นที่ 1 กับ 3 นาที 2 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการอุ่นที่ 3 กับ 6 นาที 3 หมายถึง เปรียบเทียบระยะเวลาการอุ่นที่ 1 กับ 6 นาที

อาหาร + เครื่องปรุงชนิดละ 1 หน่วยบริโภค	ปริมาณ SM ที่ได้รับ จากอาหารที่บรรจุกล่องโฟมต่อวัน (mg/kgBW-day)	ปริมาณ SO ที่ได้รับ จากอาหารที่บรรจุกล่องโฟมต่อวัน (µg/kgBW-day)
สถานการณ์เลวร้ายสุด (worst case)	57.83	0.076
สถานการณ์ดีสุด (best case)	11.61	0.015

เมื่อนำมาคำนวณความเสี่ยงพบว่า ค่า Margin of safety (MOS) ของ SM อยู่ระหว่าง 58.05 - 289.15 (RfD = 0.2 mg/kg-day, U.S.EPA 1994) หรือ 9.03 - 44.98 (RfD = 1.2857 mg/kg-day, American Chemical Council, 2007) และค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในตลอดช่วงชีวิตจาก SO หากผู้บริโภคบริโภคอาหารที่บรรจุกล่องโฟมเป็นประจำอยู่ระหว่าง  $2.40 \times 10^{-6}$  -  $1.22 \times 10^{-5}$



## การอภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่า เครื่องปรุงอาหารชนิดน้ำมันสัตว์ น้ำมันพืช น้ำปลา น้ำพริก น้ำมะนาว น้ำตาลและน้ำเกลือมีการเคลื่อนย้าย SM มากกว่าน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) 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 ล้วนมีส่วนประกอบของสารไฮโดรคาร์บอน เช่น กรดอะซิติกในน้ำมะนาว น้ำตาลซูโครสในน้ำตาล เนื้อพริกในน้ำพริก ไขมันพืชในน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ในน้ำมันสัตว์ ซึ่งเป็นอินทรีย์สาร เช่นเดียวกับ SM ในกล่องโฟม จึงสามารถละลาย SM ออกมาจากกล่องโฟมได้มากกว่าน้ำกลั่น

จากผลการทดลองในสภาวะแช่ตู้เย็นและในสภาวะแช่ตู้แช่แข็งพบว่าข้าวสวย บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ลวกสุก ผักบั้งลวกสุก หนังกุ้งต้มสุก และเนื้อไก่ต้มสุก ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 48 ชั่วโมง มีการเคลื่อนย้ายสาร SM เข้าสู่อาหารมากกว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 10 และ 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งตรงกับจากสมมุติฐานที่ระบุว่าอาหารที่มีระยะเวลาการสัมผัสกับกล่องโฟมนานกว่าจะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณมากกว่าอาหารที่มีระยะเวลาสัมผัสกล่องโฟมสั้นกว่า และอาหารทุกชนิดมีแนวโน้มพบปริมาณ SM จากการเก็บรักษาในตู้เย็นมากกว่าตู้แช่แข็ง ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ระบุว่าอาหารที่เก็บรักษาในตู้เย็นจะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณมากกว่าอาหารที่เก็บรักษาในตู้แช่แข็ง และการเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้นการ

เคลื่อนย้ายของสาร SM เข้าสู่อาหารก็จะยิ่งมากขึ้น คล้ายกับการวิจัยของ Lozano et al. (2007) พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณสไตรีนในเนยตามระยะเวลาการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นมากกว่าการเก็บในตู้แช่แข็ง เหตุที่พบดังนี้อธิบายได้ว่าระยะเวลาการสัมผัสของอาหารกับกล่องโฟมที่นานขึ้นย่อมเป็นโอกาสให้ SM ละลายออกจากกล่องโฟมได้มากขึ้น โดยอาหารซึ่งมีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนประเภทเดียวกับ SM และเหตุที่การแช่ในตู้แช่แข็งทำให้ SM เคลื่อนย้ายออกจากกล่องโฟมได้น้อยกว่าก็เนื่องจากในสภาวะตู้แช่แข็งที่มีความเย็นมากกว่า (อุณหภูมิต่ำกว่า) สารต่าง ๆ จะมิลังงานของการเคลื่อนที่ที่น้อยกว่า

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องปรุงอาหารและอาหารชนิดต่าง ๆ ที่สภาวะอุณหภูมิร้อนมีแนวโน้มที่จะทำให้ SM เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมากกว่าที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ โดยน้ำกลั่น น้ำเกลือ น้ำตาล น้ำพริก น้ำปลา น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ข้าวสวย ผักบั้งลวกสุก บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ลวกสุก หนังกุ้งต้มสุก และเนื้อไก่ต้มสุกที่สภาวะอุณหภูมิร้อนมีการเคลื่อนย้ายสาร SM เข้าสู่เครื่องปรุงอาหารและอาหารมากกว่าที่สภาวะอุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัยที่ระบุว่าอาหารที่ขณะนำมาบรรจุอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณมากกว่าอาหารที่ขณะนำมาบรรจุมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเนื่องจากที่เครื่องปรุงและอาหารในสภาวะอุณหภูมิสูง สารเคมีมีพลังงานในการเคลื่อนที่มากกว่าที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนย้ายของ SM ออกจากกล่องโฟมได้มากกว่า

จากผลการทดลองการอุ่นในไมโครเวฟพบว่าเมื่อระยะเวลาการอุ่นนานขึ้นปริมาณ SM ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องเข้าสู่อาหารจะมีเพิ่มขึ้น โดย ข้าวสวย บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ลวกสุก หนังกุ้งต้มสุก เนื้อไก่ต้มสุก และ ผักบั้งลวกสุกที่ระยะเวลาการอุ่นในเตาไมโครเวฟ 6 นาทีที่มีการเคลื่อนย้ายสาร SM เข้าสู่อาหารมากกว่าระยะเวลาการอุ่นที่ 1 และ 3 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งตรงกับสมมุติฐานที่ระบุว่า การอุ่นอาหารในกล่องโฟมด้วยเตาไมโครเวฟจะทำให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสาร SM จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณมากกว่าอาหารที่ไม่อุ่นด้วยเตาไมโครเวฟและระยะเวลาของการอุ่นอาหารด้วยเตาไมโครเวฟยิ่งนานขึ้น ปริมาณการเคลื่อนย้ายของสารสไตรีนโมโนเมอร์จากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารก็จะยิ่งมีมากขึ้น ผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Melski et al. (2003) พบว่าการอุ่นซ้ำในไมโครเวฟมีการเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของการเคลื่อนย้ายสารระเหยจากถ้วย polystyrene ทั้งนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับสมมุติฐานที่กล่าวไว้ข้างบนว่า ในสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการอุ่นด้วยไมโครเวฟนานขึ้น สารเคมีจะมีพลังงานในการเคลื่อนที่มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนย้ายของ SM ออกจากกล่องโฟมได้มากกว่า

จากผลการประเมินความเสี่ยงในสถานการณ์ที่ tồiที่สุดที่บริโภคเพียงวันละ 1 กล่องและปริมาณสาร SM และ SO ที่เคลื่อนย้ายจากกล่องโฟมเข้าสู่อาหารมีปริมาณน้อยเนื่องจากขณะที่บรรจุกล่องโฟมอาหารอยู่ในสภาวะอุณหภูมิห้องและเลือกอาหารหลักเป็นข้าว น้ำมันที่ใช้ประกอบอาหารเป็นน้ำมันพืชซึ่งให้ค่า SM และ SO ต่ำกว่าเบะหมี่และน้ำมันสัตว์ โอกาสได้รับอันตรายจาก SM ก็ยังมีมากเนื่องจากปริมาณที่ตรวจพบมีค่าเกินค่าที่กำหนดว่าปลอดภัยในการบริโภคต่อวันถึง 58 เท่า (58.05 เท่า) แม้ใช้ค่าที่คำนวณได้จาก American Chemical Council (2007) ก็ยังพบค่าเกินที่กำหนดว่าปลอดภัยในการบริโภคต่อวันและมีความเสี่ยงที่จะเกิดมะเร็งจาก SO เป็น 2.40 คนต่อ 1 ล้านคนและในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุดที่บริโภคอาหารที่บรรจุกล่องโฟม 3 มื้อต่อวันและปริมาณสาร SM และ SO ที่ตรวจพบมีปริมาณมากเนื่องจากขณะที่บรรจุกล่องโฟมอาหารอยู่ในสภาวะอุณหภูมิร้อนก็จะมีโอกาสได้รับอันตรายจาก SM มากขึ้นไปอีกเนื่องจากปริมาณที่ตรวจพบมีค่าเกินค่าที่กำหนดว่าปลอดภัยในการบริโภคต่อวันถึง 289 เท่าและความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งจาก SO เป็น 1.22 คนต่อ 1 แสนคน ซึ่งความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการบริโภค

อาหารบรรจุกล่องโฟมนับว่าสูงมากเกินกว่าจะยอมรับได้ เนื่องจากเกณฑ์การยอมรับโดย U.S. EPA คือ 1 ในล้าน ถึง 1 ในหมื่น (U.S. EPA, 2005) นอกจากนี้ปริมาณ SO ที่ตรวจพบนั้นเป็น SO ที่มีอยู่ในกล่องโฟมจึงมีปริมาณน้อย แต่สาร SO นั้นเป็นสารที่เกิดจากเมตาบอลิซึมของสาร SM ในร่างกายด้วย ดังนั้นสาร SM ที่ได้รับจากกล่องโฟมเมื่อเข้าไปในร่างกายแล้วก็จะเปลี่ยนเป็น SO ได้ ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม หากผู้บริโภคไม่ได้บริโภคเครื่องปรุงครบทั้ง 8 ชนิดในครั้งเดียวกันหรือบริโภคอาหารชนิดอื่นแตกต่างจากการทดลองหรือหากนำอาหารบรรจุภาชนะโฟมที่ผลิตจากบริษัทที่แตกต่างจากการทดลองโดยหากอาหารที่บริโภคมีความสามารถในการนำสาร SM ออกมาได้เล็กน้อยกว่าก็จะมีโอกาสรับสัมผัสสารได้ในปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่คำนวณได้ ความเสี่ยงก็อาจน้อยลง

### สรุปผลการวิจัย

เมื่ออุณหภูมิของอาหารสูงขึ้น สภาวะการเก็บรักษานานขึ้น ระยะเวลาการอุ่นโดยไมโครเวฟนานขึ้น จะเกิดการเคลื่อนย้ายของ SM เข้าสู่อาหารได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งการรับประทานอาหารที่บรรจุกล่องโฟมเป็นประจำ นอกจากจะมีความเสี่ยงแบบ threshold toxicity แล้ว ยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งหรือแบบ non-threshold toxicity อีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้เครื่องมือที่มีความไวในการวิเคราะห์สารที่เพิ่มขึ้นที่ทำให้สามารถวิเคราะห์สารได้ในปริมาณต่ำ ๆ และหากย่อยสลายกล่องเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับอาหารจะทำให้การประเมินความเสี่ยงมีความแม่นยำมากขึ้นเนื่องจากวิเคราะห์สารได้ถูกต้องตรงกับความเป็นจริงมากขึ้น
2. ควรมีการทดลองจริงเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายสาร SO ในกล่องโฟมเข้าสู่อาหาร และอาจ

ศึกษาถึงปริมาณ SO ที่มีโอกาสเกิดจริงจาก SM ที่ได้รับ  
จากอาหารเพื่อเป็นการประเมินความเสี่ยงได้ผลที่  
ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2541. ฉลากโภชนาการ

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182.

กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

อมร วงศ์รักษ์พานิช และ กาญจนา วิวัฒน์เจริญ. 2532.

สไตรีนโมโนเมอร์ในภาชนะบรรจุหุ้มห่อและ

สัมผัสอาหาร. 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\\_pfpfg.asp?CID=2302&DID=10016](http://www.americanchemistry.com/s_plastics/sec_pfpfg.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, T.D., Lehr, K.M. and Welsh, G.C. 1995.

Migration of styrene from polystyrene foam

food-contact articles. Food and chemical

toxicology 33: 475-481.

Lozano, P.R., Miracle, E.R., Krause, A.J., Drake, M.  
and Cadwallader, K.R. 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 (OEHHHA).

2009. OEHHHA cancer potency values as of

July 21. retrieved May 15, 2008, from

[http://oehha.ca.gov/risk/pdf/pdf/tcdb072109  
cas.pdf](http://oehha.ca.gov/risk/pdf/pdf/tcdb072109cas.pdf).

Tawfik, M.S. 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/](http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=116283)

recordisplay.cfm?deid=116283.