วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.1) January – April 2021 บทความวิจัย

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารทาเลตในของเล่นสำหรับเด็ก

Health Risk Assessment of Phthalates in Children's Toys

ธิวาริ โอภิธากร และ คัมภีร์ พ่วงทอง*

Thiwari Ophithakorn and Khamphe Phoungthong*

คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University

Received : 19 January 2020

Revised : 4 May 2020

Accepted : 20 May 2020

บทคัดย่อ

การสำรวจปริมาณสารทาเลตปนเปื้อนในของเล่นสำหรับเด็ก ช่วงอายุ 0 - 3 ปี ในเขตเทศบาลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทำการสำรวจของเล่น 3 ประเภท คือ 1) จุกนมหลอก 2) ยางกัด และ 3) ของเล่นทั่วไป (ใช้ปากสัมผัส) จำนวนรวม 40 ตัวอย่าง สำรวจและเก็บตัวอย่าง ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม ปี 2561 โดยทำการสกัดสารทาเลตจากตัวอย่างโดยวิธี Sonication ด้วย Tetrahydrofuran ที่เวลา 1 ชั่วโมง และตรวจวัดปริมาณด้วยเครื่อง Gas Chromatograph-Tandem Mass Spectrophotometer (GC-MS/MS) การตรวจวัดพบการปนเปื้อนของสาร Dibutyl phthalate (DBP) ในช่วง 0.01 - 20 ng/mL (38% ของจำนวนตัวอย่าง) และ Di-(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP) ในช่วง 500 - 1,000 ng/mL (48% ของจำนวนตัวอย่าง) การประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP และ DEHP ในกรณีสัมผัสทางการกลืนกิน ในเด็ก 1) ช่วงอายุ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน 2) ช่วงอายุ 12 เดือนถึงน้อยกว่า 24 เดือน และ 3) ช่วงอายุ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน แบ่งตามกลุ่มเด็กเพศชาย และกลุ่มเด็กเพศหญิง พบว่า Hazard quotient (HQ) และ Hazard index (HI) ที่ประเมินได้มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกประเภทของเล่น และมีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกกลุ่มอายุและเพศ โดยยังคงอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสามารถตรวจพบสารทาเลตกลุ่มอื่นที่อาจเป็นอันตรายร่วมด้วย ได้แก่ Dimethyl phthalate (DMP) และ Diethyl phthalate (DEP) ดังนั้นจึงควรสนับสนุนให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมกันพิจารณาการบังคับควบคุมอันตรายในของเล่นเด็กโดยปราศจากสารทาเลตเพื่อคุณภาพชีวิตของเด็กไทยในอนาคต

คำสำคัญ : สารทาเลต ; สาร DEHP ; ของเล่นสำหรับเด็ก ; อำเภอหาดใหญ่ ; จังหวัดสงขลา

Abstract

The amounts of phthalates impurities in children's toys age 0 - 3 years in Hat Yai Municipality, Hat Yai District, Songkhla Province were explored. Three types of toys were investigated, including 1) pacifiers 2) teethers and 3) general toys (play with mouth). Forty samples were surveyed and collected during the period from August to December 2018. The phthalates from the samples were extracted by sonication method with tetrahydrofuran for 1 hour, and their amounts were measured with the Gas Chromatograph-Tandem Mass Spectrophotometer (GC-MS / MS). The contamination of DBP was detected in the range of 0.01 - 20 ng / mL (38% of samples) and DEHP was detected in the range of 500 - 1,000 ng / mL (48% of samples). Risk assessment of DBP and DEHP exposure in case of ingestion in children 1) between the ages of 3 months to less than 12 months 2) between the ages of 12 months to less than 24 months and 3) between the age of 24 months to less than 36 months and divided by male child group and female child group. Result of this study found that Hazard quotient and Hazard index assessed are less than 1 in all types of toys and less than 1 in all age groups and gender and still at a level that is not harmful to health. In addition to other groups of potentially harmful phthalates was detected, including Dimethyl phthalate (DMP) and Diethyl phthalate (DEP), therefore the relevant agencies should encourage to consider the control of dangers in children's toys without phthalates for the quality of life of Thai children in the future.

Keywords : phthalates ; DEHP ; children's toys ; Hatyai ; Songkhla

***Corresponding author. E-mail** : khamphe.p@psu.ac.th

บทนำ

สารทาเลตเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิตของเล่น (Ionas *et al.,* 2014) แต่เนื่องจากความเป็นพิษต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคภูมิแพ้และหอบหืดในเด็ก (Ionas *et al.,* 2014) มีผลกระทบต่อตับ ไต เป็นพิษต่อระบบการสืบพันธุ์ (Huang *et al.,* 2011; Zou & Cai, 2013; Ionas *et al.,* 2014; Al-Natsheh *et al.,* 2015) ทำลายระบบฮอร์โมนเพศ (Al-Natsheh *et al.,* 2015) ฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของเด็ก (Zou & Cai, 2013) ทำลายระบบภูมิคุ้มกัน มีผลกระทบต่อการก่อลูกวิรูปหรือเกิดความพิการแต่กำเนิด (Huang *et al.,* 2011) และการสัมผัสสารอันตรายในวัยเด็กอาจส่งผลกระทบระยะยาวไปจนกระทั่งเข้าสู่วัยผู้ใหญ่ได้ด้วยเช่นกัน (U.S.EPA, 2008) จึงมีการควบคุมและห้ามมิให้มีการผลิตหรือนำเข้าของเล่นเด็กที่มีสารทาเลตเกินมาตรฐานในหลายประเทศ (Heudorf *et al.*, 2007; Ionas *et al.,* 2014; Al-Natsheh *et al.,* 2015; Friso *et al.,* 2015) ปัจจุบันการผลิตและจำหน่ายของเล่นในประเทศไทยยังไม่มีการควบคุมปริมาณการปนเปื้อนสารทาเลตในผลิตภัณฑ์ (Sriyothai, 2016) และในปี 2556 - 2557 ที่ผ่านมา ได้มีการสำรวจพบการปนเปื้อนสารทาเลตในของเล่นเด็กที่มีจำหน่ายในประเทศไทย มีค่าสารทาเลตปนเปื้อนเกิน 0.1% โดยน้ำหนัก มากถึง 31% โดยเป็นสารทาเลตชนิด DEHP สูงสุด ประมาณ 36% โดยน้ำหนัก ซึ่งยังคงไม่ผ่านมาตรฐานตามกฎหมายควบคุมของเล่นของสหรัฐอเมริกาภายใต้พระราชบัญญัติปรับปรุงความปลอดภัยของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ หรือ Consumer product safety improvement act 2008 (CPSIA 2008) (Sriyothai, 2016)

ดังนั้นการสำรวจปริมาณสารทาเลตปนเปื้อนในของเล่นเด็กและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารทาเลตในของเล่นในเด็ก โดยเฉพาะกลุ่มเด็กอายุ 0 - 3 ปี ซึ่งมีพฤติกรรมการใช้ปากและมีโอกาสสัมผัสสารทาเลตทางการกลืนกินเป็นสำคัญ เป็นองค์ความรู้ให้เกิดความตระหนักถึงภัยคุกคามจากสารทาเลตที่อาจเกิดได้ในเด็กไทย และส่งเสริมผลักดันให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้จัดทำมาตรฐานการควบคุมการปนเปื้อนสารทาเลตในของเล่นเด็กในประเทศไทยในอนาคต

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสำรวจข้อมูล

ทำการลงพื้นที่สำรวจแหล่งจำหน่ายของเล่น และคัดเลือกแหล่งจำหน่ายกลุ่มตัวอย่าง ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง

2. การสุ่มเก็บตัวอย่างของเล่นสำหรับเด็ก

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของเล่นในช่วงเวลาที่ศึกษา แบบ Cross-sectional Study โดยเป็นของเล่นกลุ่มจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป (ที่ใช้ปากสัมผัส)

3. การเตรียมตัวอย่างเพื่อการสกัด

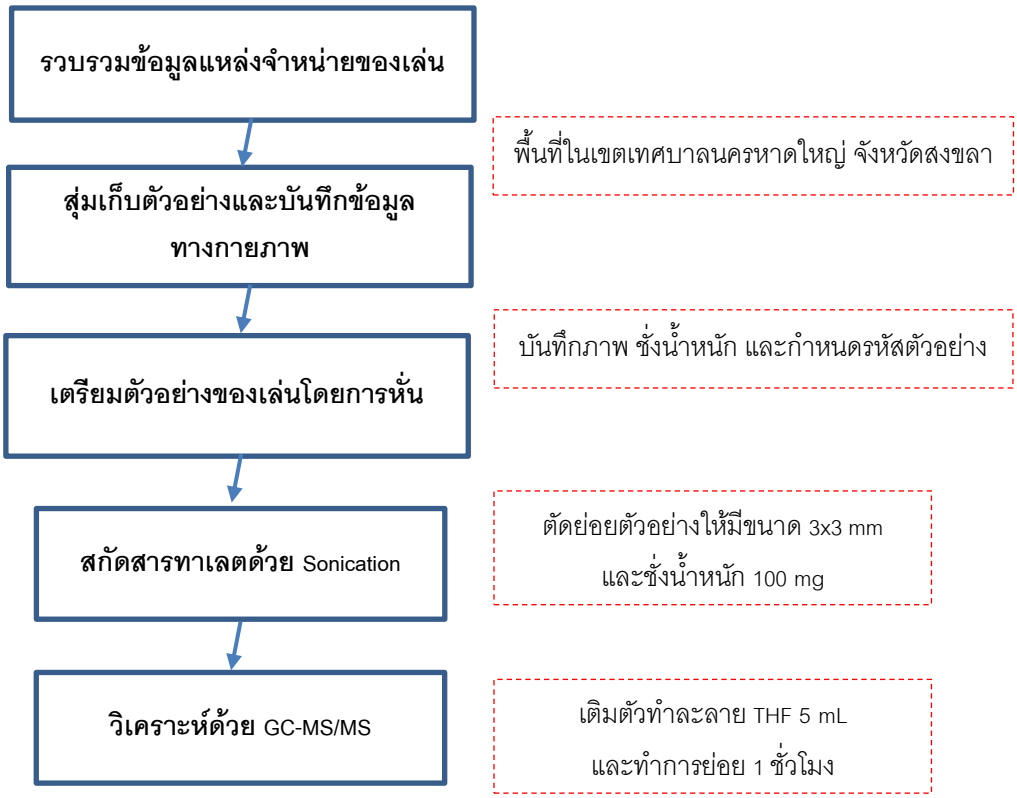
การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารทาเลต โดยตัดแบ่งชิ้นส่วนตัวอย่างและหั่นย่อยให้ได้ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างที่หั่นแล้ว 100 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง (Zou & Cai, 2013)

4. การสกัดสารทาเลต

การสกัดสารทาเลตในตัวอย่าง ทำด้วยวิธี Sonication โดยสกัดด้วย THF 5 mL ใน Ultrasonic bath 1 ชั่วโมง เติม Ethanol 10 mL เขย่า และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 5 นาที กรองด้วย PTFE filter ขนาด 0.22 µm เก็บตัวอย่างในขวดแก้ว ดูดตัวอย่าง 200 µL ใส่ขวด Vial เติม Benzyl benzoate (BB) 100 µL และ Cyclohexane 700 µL นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารทาเลต (Sriyothai & Suwan, 2012)

5. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (GC-MS/MS)

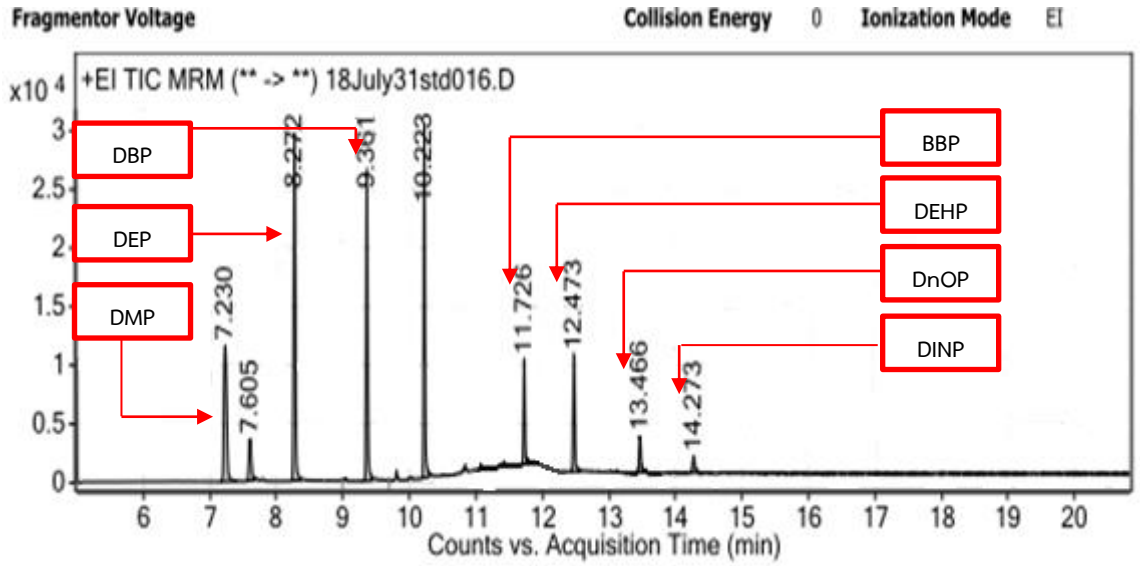
โปรแกรมอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารทาเลต 6 ชนิด ได้แก่ Butyl benzyl phthalate (BBP) Dibutyl phthalate (DBP) Di-(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP) Di-isodecyl phthalate (DIDP) Di-isononyl phthalate (DINP) และ Di-n-octyl- phthalate (DnOP) ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph-Tandem Mass Spectrophotometer, 7890 B GC-7000D MS, Agilent, USA ใช้เทคนิคในการทดสอบแบบ Gas Chromatography -Electron Ionization/Tandem Mass Spectrometry (GC-EI/MS/MS) โดยการฉีดสารประกอบทาเลตที่ความเข้มข้น 100 ppb อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100°C คงที่ 2 นาที เพิ่มขึ้น 20°C ต่อนาที ถึง 190°C คงที่ 1 นาที เพิ่มขึ้น 30°C ต่อนาที ถึง 290°C คงที่ 10 นาที อุณหภูมิช่องฉีดสาร 250°C อุณหภูมิดีเทคเตอร์ 325°C (Pinsrithong & Bunkoed, 2018) โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ผลการวิจัย

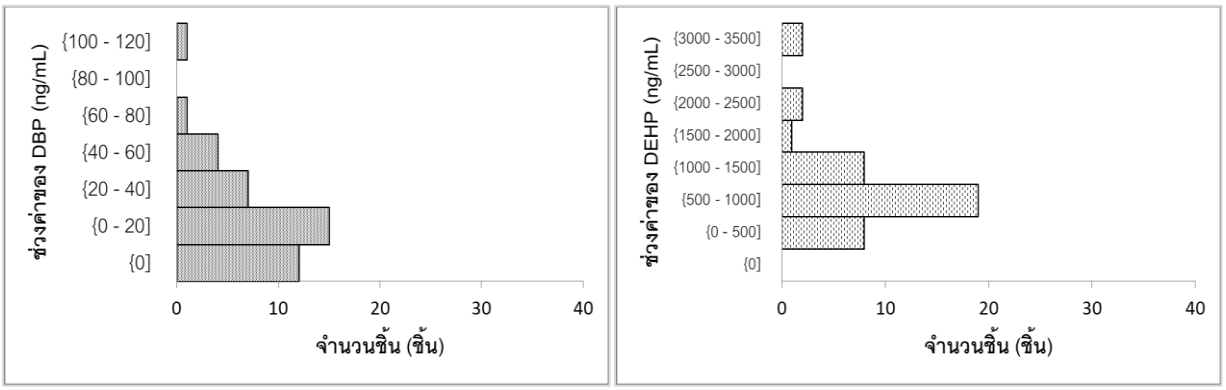
ในการวิเคราะห์ปริมาณของสารทาเลตด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ สามารถแสดงโครมาโตแกรมของสารทาเลตที่ความเข้มข้น 100 ppb ได้ดังภาพที่ 2



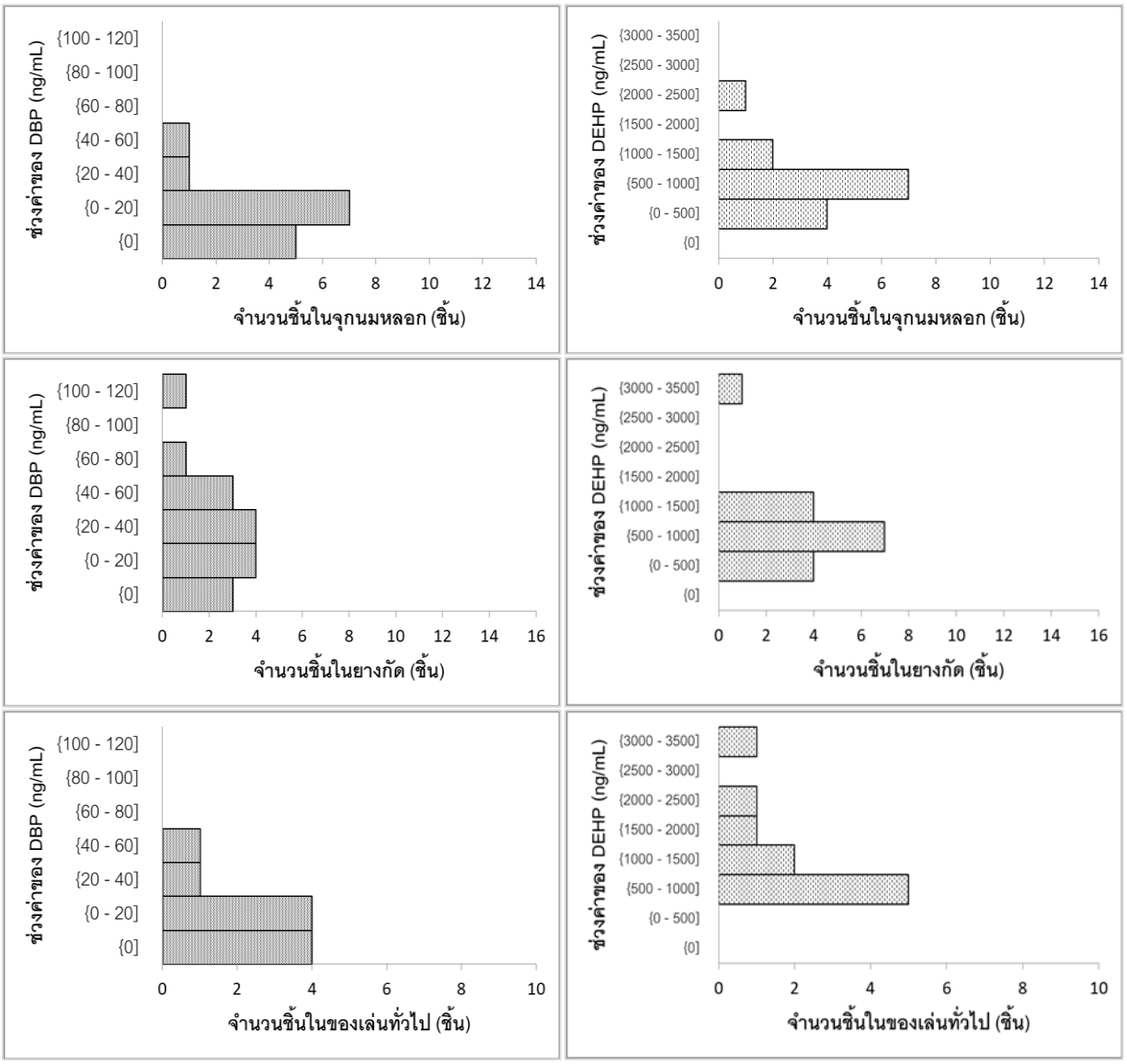
ภาพที่ 2 โครมาโตแกรมสารทาเลตที่ความเข้มข้น 100 ppb

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารทาเลต 6 ชนิด ได้แก่ BBP DBP DEHP DIDP DINP และ DnOP ตามมาตรฐานของเล่นของเขตการค้าเสรียุโรป (EEA) และตามกฎหมายควบคุมของเล่นของสหรัฐอเมริกาภายใต้ Consumer product safety improvement act 2008 (CPSIA 2008) ในตัวอย่างของเล่นจากการสำรวจตัวอย่างในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป พบว่ามีการปนเปื้อนของ DEHP และ DBP โดยปริมาณของ DEHP ที่ตรวจพบมีความถี่สูงสุด อยู่ในช่วง 500 - 1,000 ng/mL และปริมาณของ DBP ที่ตรวจพบมีความถี่สูงสุด อยู่ในช่วง 0.01 - 20 ng/mL สำหรับสารประกอบ BBP DIDP DINP และ DnOP ไม่พบการปนเปื้อนในตัวอย่างทดสอบ แสดงดังภาพที่ 3 ในจุกนมหลอกสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสูงสุดของ DBP และ DEHP เท่ากับ 41.80 และ 2,175.70 ng/mL ตามลำดับ ในตัวอย่างยางกัดสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสูงสุดของ DBP และ DEHP เท่ากับ 100.20 และ 3,328.20 ng/mL ตามลำดับ และในตัวอย่างของเล่นทั่วไปสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสูงสุดของ DBP และ DEHP เท่ากับ 34.30 และ 3,337.70 ng/mL ตามลำดับ โดย DEHP มีการปนเปื้อนปริมาณสูงสุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 3,328.20 ng/mL และพบความถี่สูงสุดในช่วง 500 - 1000 ng/mL ในจุกนมหลอก จำนวน 7 ชิ้น ยางกัด จำนวน 7 ชิ้น และของเล่นทั่วไป จำนวน 5 ชิ้น และ DBP มีการปนเปื้อนปริมาณสูงสุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 100.20 ng/mL และพบความถี่สูงสุดในช่วง 0.01 - 20 ng/mL ในจุกนมหลอก จำนวน 7 ชิ้น ยางกัด จำนวน 4 ชิ้น และของเล่นทั่วไป จำนวน 4 ชิ้นแสดงดังภาพที่ 4

ผลการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสทางปากสารทาเลต 2 ชนิด คือ DBP และ DEHP ที่ตรวจพบจาก 6 ชนิด ที่ควบคุมตามมาตรฐาน EEA และ CPSIA 2008 โดยทำการประเมินตามสมการทำนายการสัมผัสทางปาก ตามสมการ 1 (Asante-Duah, 2002) โดยมีค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและแหล่งที่มาตามตารางที่ 1 และค่าที่ได้จากการแปลงหน่วยเพื่อใช้คำนวณตามตารางที่ 2 พบว่าผลการคำนวณค่าความเสี่ยงการสัมผัส DBP จากจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ในเด็กอายุ 1) ตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน 2) ตั้งแต่ 12 เดือนถึงน้อยกว่า 24 เดือน และ 3) ตั้งแต่ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน โดยใช้เกณฑ์น้ำหนักแบ่งเป็นกลุ่มเด็กเพศชาย และกลุ่มเด็กเพศหญิง โดยมีค่าความเสี่ยงต่ำสุด 8.4451×10^{-16} $mgkg^{-1}d^{-1}$ สำหรับยางกัดในกลุ่มเด็กผู้หญิง อายุตั้งแต่ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน และมีความเสี่ยงสูงสุด 2.3189×10^{-12} $mgkg^{-1}d^{-1}$ สำหรับจุกนมหลอกในกลุ่มเด็กผู้หญิง อายุตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน และผลการคำนวณค่าความเสี่ยงการสัมผัส DEHP จากจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ในเด็กอายุ 1) ตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน 2) ตั้งแต่ 12 เดือนถึงน้อยกว่า 24 เดือน และ 3) ตั้งแต่ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน โดยใช้เกณฑ์น้ำหนักแบ่งเป็นกลุ่มเด็กเพศชาย และกลุ่มเด็กเพศหญิง โดยมีค่าความเสี่ยงต่ำสุด 6.5873×10^{-14} $mgkg^{-1}d^{-1}$ ในยางกัดในกลุ่มเด็กผู้หญิง อายุตั้งแต่ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน และมีความเสี่ยงสูงสุด 9.2448×10^{-11} $mgkg^{-1}d$ ในจุกนมหลอกในกลุ่มเด็กผู้หญิง อายุตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า12 เดือน



ภาพที่ 3 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ DBP และ DEHP ตามช่วงความเข้มข้น (ng/mL)



ภาพที่ 4 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ DBP และ DEHP ในจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป

$$ING_s = \frac{C_s \times SIR \times CF \times FI \times ABS_f \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

INGs = การรับประทานเข้าไป ($mgkg^{-1}d^{-1}$)
Cs = ความเข้มข้นสารเคมีในของที่กินเข้าไป ($mgkg^{-1}$)
SIR = อัตราของที่กลืนกินเข้าไป (mgd^{-1})
CF = ปัจจัยการเปลี่ยนสรูป 10^{-6} $kgmg^{-1}$
FI = เศษส่วนที่รับเข้าไปจากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อน (ไม่มีหน่วย)
ABS_f = ชีวประสิทธิผลหรือปัจจัยการดูดซึมในทางเดินอาหาร (%)
EF = ความถี่การสัมผัส (dy^{-1})
ED = ช่วงเวลาการสัมผัส (y)
BW = น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาสัมผัส (kg)
AT = ระยะเวลาเฉลี่ยที่สัมผัส (d)
= ED x 365 dy^{-1} สำหรับการสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็ง

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง

สัญลักษณ์	ค่าที่ได้จากการทดลองและทบทวนวรรณกรรม			แหล่งที่มา
C_s ($ngmL^{-1}$)	DBP	จุกนมหลอก	2.90 – 41.80	การตรวจวัด
		ยางกัด	2.50 – 100.20	การตรวจวัด
		ของเล่นทั่วไป	2.10 – 34.30	การตรวจวัด
	DEHP	จุกนมหลอก	220.10 – 2,175.70	การตรวจวัด
		ยางกัด	214.80 – 3,328.20	การตรวจวัด
		ของเล่นทั่วไป	850.50 – 3,337.70	การตรวจวัด
SIR ($\mu gmin^{-1}$)	DBP	0.53 – 0.65		Al-Natsheh et al (2015)
	DEHP	0.48 – 0.50		Al-Natsheh et al (2015)
CF ($kgmg^{-1}$)	10^{-6}			Asante-Duah (2002)
FI	1			Asante-Duah, (2002)
ABS_f	0.25			University of Minnesota (2016)
EF ($minhr^{-1}$)	จุกนมหลอก	3 ถึง < 12 เดือน	3.4	U.S.EPA (2008)
		12 ถึง < 24 เดือน	2.6	U.S.EPA (2008)
		24 ถึง < 36 เดือน	1.8	U.S.EPA (2008)
	ยางกัด	3 ถึง < 12 เดือน	0.3	U.S.EPA (2008)
		12 ถึง < 24 เดือน	0.2	U.S.EPA (2008)
		24 ถึง < 36 เดือน	0.1	U.S.EPA (2008)
	ของเล่นทั่วไป	3 ถึง < 12 เดือน	1.8	U.S.EPA (2008)
		12 ถึง < 24 เดือน	0.6	U.S.EPA (2008)
		24 ถึง < 36 เดือน	0.2	U.S.EPA (2008)

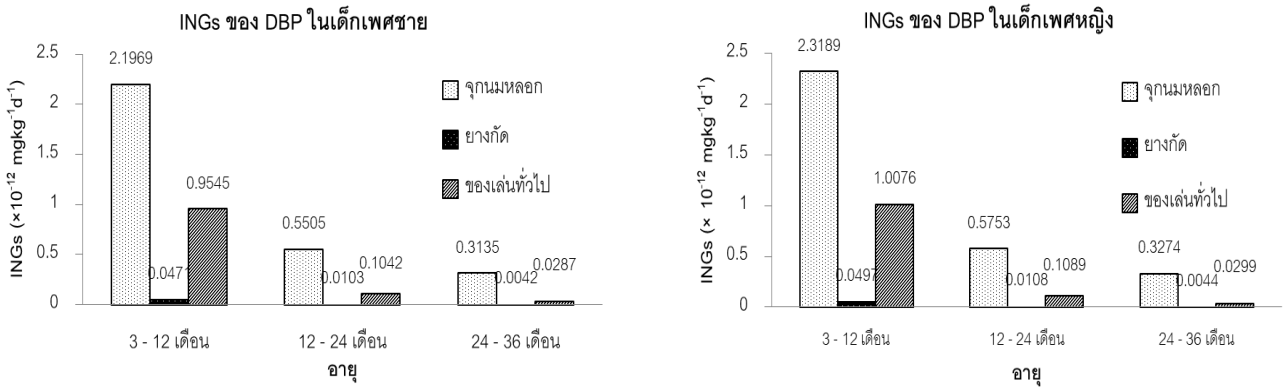
ตารางที่ 1 (ต่อ) ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง

สัญลักษณ์	ค่าที่ได้จากการทดลองและทบทวนวรรณกรรม			แหล่งที่มา
ED (y)	0 ถึง <1 เดือน	0.083		U.S.EPA (2008)
	1 ถึง <3 เดือน	0.167		U.S.EPA (2008)
	3 ถึง <6 เดือน	0.25		U.S.EPA (2008)
	6 ถึง <12 ปี	0.5		U.S.EPA (2008)
	1 ถึง <2 ปี	1		U.S.EPA (2008)
	2 ถึง <3 ปี	1		U.S.EPA (2008)
BW (kg)	0 ถึง <1 เดือน	ชาย	4.9	U.S.EPA (2008)
		หญิง	4.6	U.S.EPA (2008)
	1 ถึง <3 เดือน	ชาย	6.0	U.S.EPA (2008)
		หญิง	5.7	U.S.EPA (2008)
	3 ถึง <6 เดือน	ชาย	7.6	U.S.EPA (2008)
		หญิง	7.2	U.S.EPA (2008)
	6 ถึง <12 ปี	ชาย	9.4	U.S.EPA (2008)
		หญิง	9.0	U.S.EPA (2008)
	1 ถึง <2 ปี	ชาย	11.6	U.S.EPA (2008)
		หญิง	11.1	U.S.EPA (2008)
	2 ถึง <3 ปี	ชาย	14.1	U.S.EPA (2008)
		หญิง	13.5	U.S.EPA (2008)
AT (d)	0 ถึง <1 เดือน	0.083 × 365		U.S.EPA (2008)
	1 ถึง <3 เดือน	0.167 × 365		U.S.EPA (2008)
	3 ถึง <6 เดือน	0.25 × 365		U.S.EPA (2008)
	6 ถึง <12 ปี	0.5 × 365		U.S.EPA (2008)
	1 ถึง <2 ปี	1 × 365		U.S.EPA (2008)
	2 ถึง <3 ปี	1 × 365		U.S.EPA (2008)

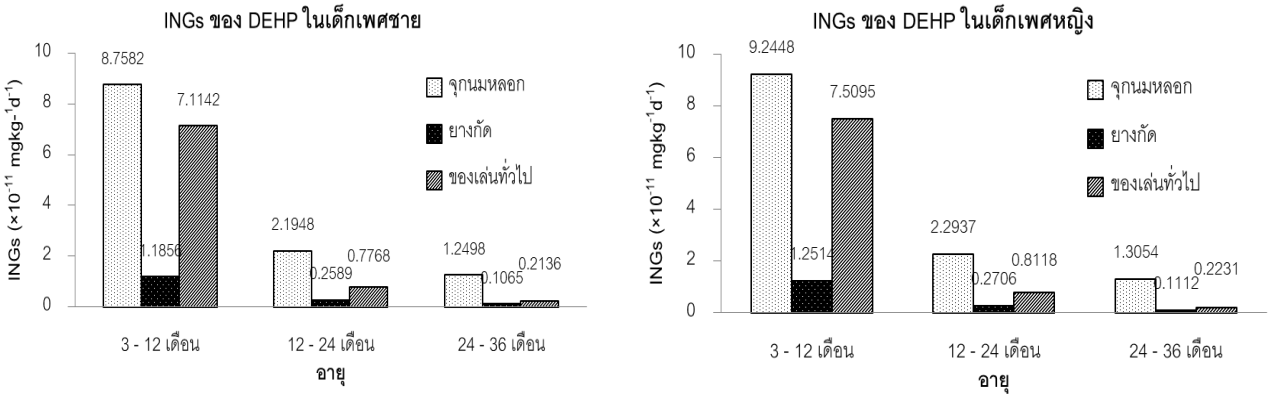
ตารางที่ 2 ค่าที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยง

สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้ในการคำนวณ			
C_s ($mgkg^{-1}$)	DBP	จุกนมหลอก	0.0000435 – 0.0006270	
		ยางกัด	0.0000375 – 0.0001502	
		ของเล่นทั่วไป	0.0000315 – 0.0005145	
	DEHP	จุกนมหลอก	0.0033013 – 0.0326339	
		ยางกัด	0.0032218 – 0.0499205	
		ของเล่นทั่วไป	0.0127569 – 0.0500630	
SIR (mgd^{-1})	DBP	0.76 – 0.94		
	DEHP	0.69 – 0.72		
CF ($kgmg^{-1}$)	10^{-6}			
FI	1			
ABS_f	0.25			
EF (dy^{-1})	จุกนมหลอก	3 ถึง < 12 เดือน	20.68	
		12 ถึง < 24 เดือน	15.82	
		24 ถึง < 36 เดือน	10.95	
	ยางกัด	3 ถึง < 12 เดือน	1.83	
		12 ถึง < 24 เดือน	1.22	
		24 ถึง < 36 เดือน	0.61	
	ของเล่นทั่วไป	3 ถึง < 12 เดือน	10.95	
		12 ถึง < 24 เดือน	3.65	
		24 ถึง < 36 เดือน	1.22	
ED (y)	3 ถึง < 12 เดือน	0.25 – 0.5		
	12 ถึง < 24 เดือน	1		
	24 ถึง < 36 เดือน	1		
BW (kg)	3 ถึง < 12 เดือน	ชาย	7.6 - 9.4	
		หญิง	7.2 - 9.0	
	12 ถึง < 24 เดือน	ชาย	11.6	
		หญิง	11.1	
	24 ถึง < 36 เดือน	ชาย	14.1	
		หญิง	13.5	
AT (d)	3 ถึง < 12 เดือน	91.25 - 182.5		
	12 ถึง < 24 เดือน	365		
	24 ถึง < 36 เดือน	365		

การประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP ในของเล่นทุกชนิดในกลุ่มเด็กเพศชาย พบว่ากลุ่มเด็กผู้ชาย อายุตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน มีความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP ในจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ได้มากกว่าช่วงอายุอื่น และมีค่าความเสี่ยงสูงสุด 2.1969×10^{-12} $mgkg^{-1}d^{-1}$ และการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP ในของเล่นทุกชนิดในกลุ่มเด็กเพศหญิงพบว่ากลุ่มเด็กผู้หญิง อายุตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน มีความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP ในจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ได้มากกว่าช่วงอายุอื่น และมีค่าความเสี่ยงสูงสุด 2.3189×10^{-12} $mgkg^{-1}d^{-1}$ ดังภาพที่ 5 การประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร DEHP ในของเล่นทุกชนิดในกลุ่มเด็กเพศชาย พบว่ากลุ่มเด็กผู้ชาย อายุตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน มีความเสี่ยงการสัมผัสสาร DEHP ในจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ได้มากกว่าช่วงอายุอื่น และมีค่าความเสี่ยงสูงสุด 8.752×10^{-11} $mgkg^{-1}d^{-1}$ และการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร DEHP ในของเล่นทุกชนิดในกลุ่มเด็กเพศหญิงพบว่ากลุ่มเด็กผู้หญิง อายุตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน มีความเสี่ยงการสัมผัสสาร DEHP ในจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ได้มากกว่าช่วงอายุอื่น และมีค่าความเสี่ยงสูงสุด 9.24478×10^{-11} $mgkg^{-1}d^{-1}$ ดังภาพที่ 6 ในการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP และ DEHP ในของเล่นแต่ละชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเด็กเพศชายและกลุ่มเด็กเพศหญิง พบว่าเด็กผู้หญิงมีความเสี่ยงการสัมผัสสาร DBP และ DEHP มากกว่าเด็กผู้ชายเมื่อเปรียบเทียบกันในทุกช่วงอายุและทุกชนิดของเล่น



ภาพที่ 5 ING_s ของ DBP ในเด็กเพศชายและหญิง



ภาพที่ 6 ING_s ของ DEHP ในเด็กเพศชายและหญิง

การคำนวณค่า Hazard quotient ในกรณีสัมผัสทางการกลืนกินสารทาเลต DBP หรือ DEHP เพียงชนิดเดียว โดยใช้สมการที่ 2 และ Hazard index ในกรณีสัมผัสทางการกลืนกินสารทาเลตทั้งสองชนิด โดยใช้สมการที่ 3 กรณีเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง (Asante-Duah, 2002)

กรณีสัมผัสสารชนิดเดียว

$$HQ = \frac{ADI}{RfD} \qquad (2)$$

เมื่อ HQ = Hazard quotient
I = ปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ
RfD = Reference dose

กรณีสัมผัสสารหลายชนิด

$$HI = \sum HQ_i \qquad (3)$$

เมื่อ HI = Hazard index
$\sum HQ_i$ = ผลรวมของค่า Hazard quotient ของสารไม่ก่อมะเร็งชนิดที่ 1 ถึง i

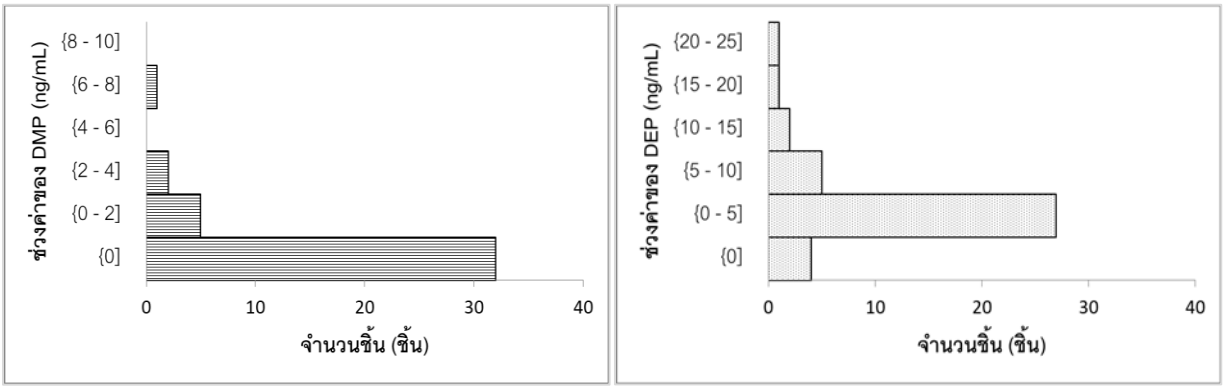
ผลการคำนวณค่า Hazard quotient (HQ) และ Hazard index (HI) ของ DBP และ DEHP จากจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป โดยทำการคำนวณ Hazard quotient ในกรณีสัมผัสทางการกลืนกินสารทาเลตชนิดเดียว โดยอาจรับสัมผัสสาร DBP หรือ DEHP อย่างใดอย่างหนึ่ง ในเด็กอายุ 1) ตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน 2) ตั้งแต่ 12 เดือนถึงน้อยกว่า 24 เดือน และ 3) ตั้งแต่ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน โดยใช้เกณฑ์น้ำหนักแบ่งเป็นกลุ่มเด็กเพศชาย และกลุ่มเด็กเพศหญิง และใช้ค่า Reference dose (RfD) ของ DBP มีค่าเท่ากับ 0.1 และ DEHP มีค่าเท่ากับ 0.02 และใช้ค่าปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ (I) แทนด้วยค่า INGs ของ DBP และ DEHP นั้น พบว่าค่า Hazard quotient ที่ประเมินได้มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกประเภทของเล่นทั้งจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป รวมทั้งมีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกกลุ่มอายุและเพศ และในการคำนวณค่า Hazard index ในกรณีสัมผัสทางการกลืนกินสารทาเลตทั้งสองชนิด ได้แก่ DBP และ DEHP ในการสัมผัสจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป ในเด็กอายุ 1) ตั้งแต่ 3 เดือนถึงน้อยกว่า 12 เดือน 2) ตั้งแต่ 12 เดือนถึงน้อยกว่า 24 เดือน และ 3) ตั้งแต่ 24 เดือนถึงน้อยกว่า 36 เดือน โดยใช้เกณฑ์น้ำหนักแบ่งเป็นกลุ่มเด็กเพศชาย และกลุ่มเด็กเพศหญิง พบว่า Hazard index ที่ประเมินได้มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกประเภทของเล่นทั้งจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป รวมทั้งมีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกกลุ่มอายุและเพศเช่นเดียวกัน ดังนั้นจุกนมหลอก ยางกัด หรือของเล่นทั่วไปจากตัวอย่างที่ทำการสำรวจในรอบนี้ยังไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ทั้งในกรณีสัมผัสทางการกลืนกิน DBP หรือ DEHP อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงชนิดเดียว หรือกรณีสัมผัสทางการกลืนกิน DBP หรือ DEHP ทั้งสองชนิด ในทุกกลุ่มอายุและเพศของเด็ก

วิจารณ์ผลการวิจัย

การพิจารณามาตรฐานของการปนเปื้อนสารทาเลตตามมาตรฐาน EEA โดยกำหนดว่าการตรวจพบสารทาเลตเพียงตัวใดตัวหนึ่งคือไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และพิจารณาตามกฎหมายควบคุมของ CPSIA 2008 คือกำหนดห้ามมี DEHP DBP BBP เกิน 0.1% w/w ในของเล่นและผลิตภัณฑ์ดูแลเด็ก และ DINP DIDP DnOP เกิน 0.1% w/w ในของเล่นที่สามารถนำเข้าปากได้หรือผลิตภัณฑ์ดูแลเด็ก ในการศึกษานี้พบว่าตัวอย่างที่นำมาศึกษาทุกชิ้นมีบรรจุภัณฑ์ที่แสดงเครื่องหมายมาตรฐาน เช่น มอก.1025-2539 มอก.685-2540 มาตรฐาน CE สัญลักษณ์ Tested According to tested according to international standards หรือ BPA free โดยยังคงสามารถตรวจพบการปนเปื้อนของสาร DEHP ในทุกชิ้นตัวอย่าง สาร DBP ในบางตัวอย่าง และตรวจพบสารทาเลตอื่น ๆ นอกเหนือจากสารทาเลต 6 ชนิด ตามมาตรฐาน EEA และ CPSIA 2008 ได้แก่ DMP ปริมาณสูงสุดที่ตรวจวัดได้ 6.80 ng/mL และ DEP ปริมาณสูงสุดที่ตรวจวัดได้ 24.60 ng/mL ร่วมด้วยในบางตัวอย่าง โดยมีจำนวนที่ตรวจพบในช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ ดังภาพที่ 7 โดยเปรียบเทียบจากรายงานการประเมินปริมาณสารทาเลตในของเล่นพลาสติกในประเทศไทยที่ผ่านมา พบว่าในปี 2556 - 2557 ได้มีการตรวจพบสารทาเลตในของเล่นสำหรับเด็กเกิน 0.1% โดยน้ำหนักมากถึง 31% และมีสารทาเลตชนิด DEHP สูงที่สุดถึง 36% โดยน้ำหนัก (Sriyothai, 2016) และในปี 2561 - 2563 ได้มีการตรวจพบสารทาเลตโดยเฉพาะสาร DEHP ปนเปื้อนมากที่สุดจากสารทาเลต 5 ชนิด ได้แก่ DBP BBP DEHP DINP และ DnOP ในของเล่นกลุ่มบอลยาง เป็ดยาง หุ่นรูปคนหรือสัตว์ที่ทำจากพลาสติกมากที่สุด โดยมีค่าเกิน 0.1% โดยน้ำหนัก (0.1376 - 10.91% w/w) และไม่ผ่านมาตรฐาน CPSIA ถึง 11% จากตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่าง (Yaeed *et al*., 2020) แนวทางในงานวิจัยต่อไปจึงควรสำรวจกลุ่มตัวอย่างของเล่น รวมไปถึงของใช้ประจำวันอื่น ๆ สำหรับเด็กที่ผลิตจากพลาสติกให้

ครอบคลุมกว้างขวางมากยิ่งขึ้นด้วย เนื่องจากของเล่นแม้จะถูกพัฒนาขึ้นด้วยมาตรฐานการผลิตเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่เฉพาะสำหรับเด็กก็ตามแต่ก็อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กอันเนื่องมาจากสารเคมีอันตรายด้วยเช่นกัน (Ionas *et al.,* 2014; Friso *et al.,* 2015) และตรวจพบแล้วว่าของเล่นเด็กที่ทำจากพลาสติกบางกลุ่มมีสารทาเลตปนเปื้อนซึ่งส่งผลกระทบและเป็นภัยซ่อนเร้นที่คุกคามสุขภาพของเด็กได้

นอกจากนี้สารทาเลตโดยส่วนใหญ่ตามที่คณะกรรมการขององค์การนานาชาติด้านการวิจัยมะเร็ง (International agency of research on cancer, IARC) กำหนดไว้นั้น สาร DBP ถูกจัดไว้ในกลุ่ม IARC Group 2A คือ สารเคมีที่มีความน่าจะเป็นหรืออาจจะเป็นสารก่อมะเร็งในคน และสาร DEHP ถูกจัดไว้ในกลุ่ม IARC Group 2B คือ สารเคมีที่มีความเป็นไปได้ว่าก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงควรสนับสนุนให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมกันพิจารณาการบังคับควบคุมอันตรายในของเล่นเด็กโดยปราศจากสารทาเลตเพื่อคุณภาพชีวิตของเด็กไทยในอนาคต



ภาพที่ 7 จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบ DMP และ DEP ตามช่วงความเข้มข้น (ng/mL)

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสารทาเลต 6 ชนิด ตามมาตรฐาน EEA และ CPSIA 2008 ในตัวอย่างจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป จำนวน 40 ชิ้น พบสาร DEHP และ DBP โดย DEHP มีการปนเปื้อนในทุกตัวอย่าง และมีค่าสูงสุดที่วิเคราะห์ได้ 3,328.20 ng/mL โดยตรวจพบมากที่สุด ในช่วง 500 – 1,000 ng/mL (48% ของตัวอย่างทั้งหมด) และ DBP มีค่าสูงสุดที่วิเคราะห์ได้ 100.20 ng/mL ในช่วง 0.01 – 20 ng/mL (38% ของตัวอย่างทั้งหมด) ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี จากการสัมผัสทางปาก มีผลประเมินค่า HQ และ HI น้อยกว่า 1 ในทุกกรณี ในทุกประเภทของเล่นทั้งจุกนมหลอก ยางกัด และของเล่นทั่วไป กลุ่มอายุและเพศ โดยยังไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพในกลุ่มผู้ใช้ในรอบการสำรวจนี้ และสามารถตรวจพบสารทาเลตกลุ่มอื่นนอกเหนือจาก 6 ชนิดที่มีกำหนดตามมาตรฐาน EEA และ CPSIA 2008 ที่อาจเป็นอันตรายร่วมด้วย ได้แก่ DMP และ DEP

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัย จากแหล่งทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ประจำปี 2560 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและให้ข้อมูลจนงานวิจัยสำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Al-Natsheh, M., Alawi, M., Fayyad, M. and Tarawneh, I. (2015). Simultaneous GC-MS determination of eight phthalates in total and migrated portions of plasticized polymeric toys and children articles. *Journal of Chromatography B, 985*, 103-109.

Asante-Duah, K. (2002). Public health risk assessment for human exposure to chemicals. London: Kluwer academic publishers.

Friso, V. R., Silva, J. C. R. P., Landim, P. C. & Paschoarelli, L. C. (2015). Ergonomic analysis of visual and tactile information of materials used in the manufacture of toys. *Procedia Manufacturing, 3*, 6161-6168.

Heudorf, U., Mersch-Sundermann, V. & Angerer, J. (2007). Phthalates: Toxicology and exposure. International *Journal of Hygiene and Environmental Health, 210*, 623-634.

Huang, L., Liu, Z., Yi, L., Liu, C. & Yang, D. (2011). Determination of the banned phthalates in PVC plastic of toys by the soxhelt extraction-gas chromatography/mass spectrometry method. *International Journal of Chemistry, 3*(2), 169-172.

Ionas, A. C., Dirtu, A. C., Anthonissen, T., Neels, H. & Covaci, A. (2014). Downsides of the recycling process: Harmful organic chemicals in children's toys. *Environmental International, 65*, 54-62.

Pinsrithong, S. & Bunkoed, O. (2018). Hierarchical porous nanostructured polypyrrole-coated hydrogel beads containing reduced graphene oxide and magnetite nanoparticles for extraction of phthalates in bottled drinks. *Journal of Chromatography A, 1570*, 19-27.

Sriyothai, W. & Suwan, D. (2012). Method for determination of phthalate contents in PVC plastic toys using gas chromatography/mass spectrometry. *Bulletin of Applied Sciences, 1*(1), 23-29. (in Thai)

Sriyothai, W. (2016). *Phthalate hazardous substances in plastics.* (pp. 16-17). Department of science service, Ministry of science and Technology (in Thai)

University of Minnesota. *(*2016*)*. Absorption, distribution, and metabolism. Phthalates, Fall semester 2003, Pubh 5103: Exposure to environmental hazards. Retrieved June 14, 2016, from http://enhs.umn.edu/current/5103/phth/references.html

U.S.EPA. (2008). *Child-specific exposure factors handbook*. Washington, DC 20460: National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development.

Yaeed, S., Meraman, M. & Ophithakorn, T.(2020). A survey of phthalates contamination in children's toys. *Burapha Science Journal*. *25*(2), 536-544. (in Thai)

Zou, Y. & Cai, M. (2013). Determination of phthalate concentration in toys and children's products, Gas Chromatography /Mass Spectrometry, *Agilent Technologies.* Retrieved Janualy 10, 2020, from https://www.agilent.com/cs/library /applications/5990-4863EN.pdf.