



การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก
RISK ASSESSMENT OF HEAVY METAL EXPOSURE FROM CHILDREN'S TOYS



อริษา ชุ่มชื่น

การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักในของเด็ก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร

คณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

RISK ASSESSMENT OF HEAVY METAL EXPOSURE FROM CHILDREN'S TOYS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Environmental Technology & Resources Management)

Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก

ของ

อริชา ชุ่มชื่น

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์จิตร์ชัย เอกปัญญากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ฝืนนิล)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรินทน์ งามนิยม)

ชื่อเรื่อง	การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก
ผู้วิจัย	อริษา ชุ่มชื่น
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิษชากร จารุศิริ

ปัจจุบันมีการพบของเล่นเด็กที่ไม่ผ่านการรับรองมาตรฐานวางจำหน่ายทั่วไป ซึ่งมักจะผลิตจากวัสดุหรือสีที่มีองค์ประกอบเป็นโลหะหนัก โดยอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเด็กเมื่อได้รับสัมผัสในระยะยาว งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก ทำการศึกษาโดยเก็บของเล่นสำหรับเด็กวัย 2-9 ปี จำนวน 13 ชนิด วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซีลีเนียม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ 3 เทคนิค ได้แก่ เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี (XRF) อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (AAS) และ อินดักทีฟลีคัพเฟิล-พลาสมาอะตอมิซิชันสเปกโทรสโกปี (ICP-OES) ทำการวิเคราะห์แต่ละเทคนิคตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.685-2562) ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักตามแนวทางของสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์ แต่ตรวจพบความเข้มข้นของแคดเมียมสูงในตัวอย่างที่เป็นดินเบาและดินน้ำมัน อยู่ที่ 38.79 ± 0.03 และ 38.72 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบว่าตัวอย่างสีน้ำมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมและแบเรียมสูงที่สุด อยู่ที่ 0.79 ± 0.01 และ 0.75 ± 0.24 ตามลำดับ เมื่อนำมาประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักเพื่อหาความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กอายุ 2-9 ปี พบว่าค่าดัชนีอันตรายน้อยกว่า 1 จึงถือว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในตัวอย่างของเล่นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามแนวทางของ U.S. EPA อย่างไรก็ตาม ผู้ปกครองควรพิจารณาเลือกของเล่นเด็กที่มีมาตรฐาน เพื่อลดความเสี่ยงในการรับสัมผัสโลหะหนักที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว

คำสำคัญ: โลหะหนัก ของเล่นเด็ก การประเมินการรับสัมผัส ค่าดัชนีอันตราย

Title	RISK ASSESSMENT OF HEAVY METAL EXPOSURE FROM CHILDREN'S TOYS
Author	ATHICHA CHUMCHUEN
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Advisor	Witchakorn Charusiri

Currently, the widespread availability of uncertified children's toys that do not meet safety standards, which are often manufactured from materials or paints containing heavy metals, poses a potential long-term health risk to children upon exposure, and they are still commonly found in the market. This study aimed to analyse the concentrations of heavy metals in uncertified children's toys and assess the health risk associated with exposure to these heavy metals. Thirteen types of toys, designed for children aged 2 to 9 years, were collected and examined. The concentrations of eight heavy metals, namely arsenic (As), lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), chromium (Cr), barium (Ba), antimony (Sb), and selenium (Se) were determined using three quantitative analytical techniques: X-ray Fluorescence Spectroscopy (XRF), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Each sample was analysed in quadruplicate in accordance with Thai Industrial Standard (TIS 685-2562). The results were compared with reference standards, and a health risk assessment was conducted following the guidelines of the United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Most heavy metals were found at concentrations below the instrument detection limits. However, high concentrations of cadmium were detected in soft clay samples and modeling clay showed the highest concentration of chromium and barium, at 38.79 ± 0.03 mg/kg and 38.72 ± 0.01 mg/kg, respectively. Watercolour paint samples showed the highest concentrations of chromium and barium, at 0.79 ± 0.01 mg/kg and 0.75 ± 0.24 mg/kg, respectively. Upon assessing the exposure to these heavy metals to determine the health risk for children aged 2-9 years, the calculated Hazard Index (HI) was less than 1. It therefore indicated that the concentrations of heavy metals in the analysed toy samples were generally within safe thresholds as defined by the U.S. EPA. Nevertheless, it is strongly recommended that parents select certified children's toys to minimize potential long-term exposure to heavy metals, which may adversely affect children's health.

Keywords: Heavy metals, Children's toys, Exposure assessment, Hazard index

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษาสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย ซึ่งล้วนเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิษชากร จารุศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้แก่ผู้วิจัย ด้วยความกรุณา ในการให้คำแนะนำ วางแผนการดำเนินงาน ให้แนวคิด ช่วยเหลือ และสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้การดำเนินงานและปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร ที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ ซึ่งมีคุณค่าในการนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน การอำนวยความสะดวก ตลอดจนการติดตามและดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นายแพทย์จักรชัย เอกปัญญาสกุล คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่กรุณาให้ข้อชี้แนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งเกี่ยวกับขอบเขตของงานวิจัยและให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ Portable X-Ray Fluorescence (pXRF) ซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้มีความสมบูรณ์และครบถ้วน ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ และคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้กรุณาเชื้อเพื่อสถานที่ และอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งขอขอบพระคุณคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งในด้านอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล อันเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่นและสำเร็จลุล่วงด้วยดี สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อน และผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ได้ให้การอบรมเลี้ยงดู สนับสนุน ดูแลเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญให้ผู้วิจัยมีความอดทน และสามารถฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ ไปได้ด้วยดี

อริษา ชุ่มชื่น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
ขอบเขตของงานวิจัย	4
กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
นิยามคำศัพท์เฉพาะ	5
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 โลหะหนัก.....	9
2.2 ความเป็นพิษของโลหะหนัก	14
2.3 การรับสารพิษเข้าสู่ร่างกาย	18
2.3.1 เส้นทางการรับสัมผัสโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย	18

2.3.2 การกระจายตัวของสาร (Distribution)	20
2.3.3 การขจัดสารออกจากร่างกาย (Excretion).....	21
2.4 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ	21
2.4.1. การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย (Hazard identification).....	21
2.4.2. การประเมินการรับสัมผัส (Exposure assessment).....	23
2.4.3. การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity assessment)	26
2.4.4. การประเมินลักษณะความเสี่ยง (Risk assessment)	28
2.5 ความสนใจในสีและรูปร่างรูปทรงของเด็ก	30
2.5.1. ความสนใจในรูปร่างรูปทรงของเด็ก	30
2.5.2 ความสนใจในสีของเด็ก	30
2.6 การเลือกของเล่นที่เหมาะสมตามวัยของเด็ก	31
2.7 มาตรการความปลอดภัยสำหรับเด็ก	32
2.7.1 เครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในประเทศไทย	33
2.7.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับเด็กในประเทศไทย	35
2.8 รูปแบบการปนเปื้อนโลหะหนักในของเล่น	37
2.9 วิธีทดสอบและวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่น	38
2.10 มาตรฐานโลหะหนักในของเล่น	41
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	49
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	49
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	49
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	52
3.3.1 การเลือกตัวอย่าง	52

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง	54
3.3.3 การย่อยตัวอย่าง	55
3.3.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	56
3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในของเล่น.....	57
3.3.6 การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย.....	58
3.3.7 การประเมินการสัมผัส.....	59
3.3.8 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	61
3.3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	61
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	62
4.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก.....	62
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน	63
4.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก	73
4.4 ผลการประเมินการสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม	74
4.5 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ.....	79
บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	85
5.1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ของสีและรูปร่างของของเล่นกับความเสี่ยงจากโลหะหนัก.....	85
5.1.2 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรอง มาตรฐาน.....	86
5.1.3 การศึกษาผลการประเมินการสัมผัสโลหะหนักในของเล่น.....	89
5.1.4 การศึกษาผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปี	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม	93

ภาคผนวก ก อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์	97
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการดำเนินงาน	99



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนัก	18
ตาราง 2 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการกิน.....	24
ตาราง 3 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการหายใจ	25
ตาราง 4 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางผิวหนัง	26
ตาราง 5 ค่า Reference dose และ Slope factor ของโลหะหนัก	28
ตาราง 6 ระดับความเสี่ยงตามค่าประเมิน Hazard quotient (HQ)	29
ตาราง 7 รูปแบบการปนเปื้อนโลหะหนักในของเล่น.....	37
ตาราง 8 การแก้ไขค่าวิเคราะห์ (Analytical correction).....	41
ตาราง 9 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสี สารเคลือบ วัสดุขีดเขียน พลาสติก กระดาษและกระดาษแข็ง ตาม มอก.685-2540	42
ตาราง 10 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากดินปั้น ตาม มอก.685-2540	42
ตาราง 11 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสีน้ำสำหรับเด็ก (finger paint) ตาม มอก. 685-2540.....	43
ตาราง 12 รายละเอียดของตัวอย่างของเล่นที่นำมาศึกษา	53
ตาราง 13 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	56
ตาราง 14 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES	57
ตาราง 15 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในของเล่นเด็ก	58

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย	5
ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดของการประเมินความเสี่ยง.....	21
ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเคมีที่ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง	27
ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเคมีก่อมะเร็งกับการตอบสนองของร่างกาย	27
ภาพประกอบ 5 เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไป	33
ภาพประกอบ 6 เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ	34
ภาพประกอบ 7 เครื่องหมายมาตรฐานบังคับสำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นสำหรับเด็ก	35
ภาพประกอบ 8 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์การเรืองแสงเอกซเรย์แบบกระจายพลังงาน	51
ภาพประกอบ 9 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์	51
ภาพประกอบ 10 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์การปล่อยแสงโดยพลาสมาเหนี่ยวนำ	52
ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างของเล่นที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....	53
ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างของเล่น.....	56

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคที่เราใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ของเล่น เสื้อผ้า พลาสติก และเครื่องใช้ในบ้าน อาจมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน และอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอันเนื่องมาจากการกระบวนการผลิตที่ไม่ปลอดภัยหรือการใช้วัตถุดิบคุณภาพต่ำ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มีราคาถูกที่อาจมีการเติมแต่งสารโลหะหนักในกระบวนการผลิตสี สารเคลือบเงา สารที่ทำให้พลาสติกอ่อนนุ่ม และสารเคมีที่ทำให้พลาสติกเกิดการพองตัว เนื่องจากโลหะหนักมีคุณสมบัติทางเคมีที่ช่วยให้สีติดทนนาน ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูมีสีสันสดใส สามารถป้องกันการเกิดเชื้อรา และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน อีกสาเหตุสำคัญคือการหมุนเวียนสินค้าในท้องตลาด ซึ่งผู้ผลิตมักจะใช้วัสดุรีไซเคิลในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ สาเหตุนี้อาจทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากผลิตภัณฑ์เดิม ส่งผลให้ผู้บริโภคมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับโลหะหนักเหล่านี้ในระหว่างการใช้งานได้ สำหรับของเล่นที่ไม่ได้มาตรฐานก็เป็นหนึ่งในสินค้าที่พบได้ทั่วไปตามท้องตลาดทั่วไป โดยส่วนใหญ่จะถูกนำเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทยจากผู้ผลิตในต่างประเทศ ซึ่งผู้ผลิตเหล่านั้นอาจใช้วัสดุ ส่วนประกอบต่างๆ และสี ที่ปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณสูงมาใช้ในการผลิตของเล่น ซึ่งโลหะหนักปริมาณสูงในของเล่นราคาถูกเหล่านี้อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ มีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนของสารพิษในกลุ่มโลหะหนัก (Potentially Toxic Elements, PTEs) ที่มีแนวโน้มเป็นอันตรายต่อสุขภาพในสินค้าสำหรับเด็ก ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม และอาจเกิดขึ้นในประเทศอื่นๆ ในเอเชียกลาง (Akimzhanova et al., 2020) อีกทั้งยังมีรายงานว่าของเล่นเด็กที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไปมักมีการปนเปื้อนโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของเด็ก (Gul et al., 2022) นอกจากนี้ยังมีการตรวจพบตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ในของเล่นเด็กราคาถูกที่ผลิตในจีนและถูกวางจำหน่ายในประเทศไนจีเรีย (Igweze et al., 2020) และตรวจพบตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล โครเมียม แคดเมียม และทองแดง ในของเล่นและของใช้สำหรับเด็กที่จำหน่ายในตรินิแดดและโตเบโก (Mohammed, 2020) จากรายงานดังกล่าว การปนเปื้อนของโลหะหนักในของเล่นถือเป็นประเด็นที่น่ากังวล เนื่องจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่ปนเปื้อนในวัสดุอุปโภคบริโภค หรือการปนเปื้อนในอาหารน้ำดื่ม ย่อมส่งผลเสียต่อสุขภาพและการพัฒนาการของเด็กได้ อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคบางส่วนยังไม่ให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของสินค้าเท่าที่ควร ผู้ปกครองจำนวนมากขาดความรู้และความเข้าใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานและมีความปลอดภัยสำหรับเด็ก โดยเฉพาะในของ

เล่นที่ไม่ได้มาตรฐานและมีโอกาสปนเปื้อนจากโลหะหนักต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิตของเล่น จึงอาจเป็นช่องทางในการรับสัมผัสสารพิษต่างๆ นั้นเข้าสู่ร่างกายของเด็ก ในขณะที่เด็กเล็กก็ยังไม่มีความสามารถในการตัดสินใจด้วยตนเอง จึงอาจทำให้เด็กเล็กมีโอกาสเสี่ยงที่จะสัมผัสกับโลหะหนักจากของเล่นราคาถูกที่มีสีสังสดใด ซึ่งผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคที่นำเข้าจากต่างประเทศหลายรายการอาจมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน และอาจถูกลักลอบนำเข้ามาในประเทศไทยโดยไม่ได้มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ซึ่งเป็นช่องทางที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อคุณภาพสินค้า ส่งผลให้ผู้บริโภคมีโอกาสได้รับสัมผัสโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยไม่รู้ตัว ความเสี่ยงจะยิ่งมากขึ้นในกลุ่มสินค้าราคาถูก ซึ่งการปนเปื้อนของสารโลหะหนักจากการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาท การพัฒนาของเด็ก และสุขภาพโดยรวม

ของเล่นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาทักษะและพฤติกรรมของเด็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวัยเด็กเล็กและก่อนวัยเรียน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เด็กเริ่มสำรวจสิ่งแวดล้อมรอบตัวและเรียนรู้ผ่านการเล่น ของเล่นไม่เพียงแต่เป็นเครื่องมือในการสร้างความบันเทิงให้กับเด็กเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ การเรียนรู้ และทักษะทางสังคมอย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีการผลิตของเล่นออกมาจำหน่ายหลากหลายรูปแบบ ซึ่งของเล่นส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีสีสันดึงดูด เนื่องจากเด็กก่อนวัยเรียนมักจะมีแนวโน้มที่จะสนใจสีสังสดใด เพราะสามารถดึงดูดความสนใจและกระตุ้นความอยากรู้อยากเห็นของเด็ก มีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าบริบทต่างๆ ในชีวิตประจำวันและเพศสามารถส่งผลต่อความชอบสีของเด็ก โดยเฉพาะความชอบสีของวัตถุและสิ่งของต่างๆ เด็กเล็กมักจะมีสีที่ชอบตั้งแต่อายุน้อย เช่น สีแดง สีชมพู สีน้ำเงิน สีม่วง และสีเหลือง เมื่อพิจารณาปัจจัยเกี่ยวกับเพศร่วมด้วย พบว่าเด็กผู้หญิงมักจะชื่นชอบสีชมพูมากกว่าสีอื่นๆ เช่น สีแดง สีม่วง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ในขณะที่เด็กผู้ชายจะชื่นชอบสีน้ำเงินมากที่สุด ตามด้วยสีแดง สีเขียว และสีส้ม สำหรับสีที่เด็กไม่ชอบมากที่สุด ได้แก่ สีดำ สีน้ำตาล สีเขียว และสีส้มอ่อน สามารถสรุปได้ว่าโดยทั่วไปแล้ว เด็กๆ มักจะชื่นชอบสีสดใดและสีอ่อน และไม่ชอบสีที่ดูมืดและหมอง เช่น สีดำ สีน้ำตาล และสีเทา (Özcan & Tunceli, 2023) นอกจากนี้เรื่องของสี เด็กเล็กยังมีความชอบที่แตกต่างกันในเรื่องของรูปร่างและรูปทรงของสิ่งของต่างๆ มีงานวิจัยที่บ่งชี้ว่าเด็กเล็กมักจะชอบสิ่งของที่นุ่ม และมีลักษณะเป็นรูปธรรม ไม่ซับซ้อน (Artemova et al., 2023) อย่างไรก็ตาม ความปลอดภัยของของเล่นเป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากของเล่นราคาถูกและไม่มีคุณภาพอาจมีส่วนประกอบหรือสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของเด็กได้ โดยเฉพาะเมื่อเด็กมีพฤติกรรมอม กัด หรือเอาสิ่งของเข้าปากโดยตรง หรือบางครั้งเด็กอาจใช้มือสัมผัสสิ่งของแล้วนำ

มือเข้าปากหรือนำมือที่ไม่ได้ทำความสะอาดมาหยิบอาหารเข้าปาก พฤติกรรมของเด็กเล็กสามารถเพิ่มความเสี่ยงในการรับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายได้ ซึ่งการได้รับโลหะหนักเข้าไปในร่างกายจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โลหะหนักอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ มีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาที่ผิดปกติล่าช้า โดยเฉพาะความบกพร่องทางสติปัญญา (ดลวี แวแยง และ สุภาภรณ์ ยิ้มเที่ยง, 2021) ระดับสติปัญญาต่ำ ระบบประสาทเกิดความผิดปกติ ป่วยเป็นโรคโลหิตจาง และอาจก่อให้เกิดมะเร็ง (ธีรนาถ สุวรรณเรือง, 2019) ดังนั้น การเลือกของเล่นที่ปลอดภัยจึงเป็นสิ่งที่ผู้ปกครองและผู้ผลิตต้องคำนึงถึง

สำหรับในประเทศไทย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ถือเป็นเกณฑ์สำคัญที่ใช้กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ มอก. จะช่วยรับประกันว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรับรองนั้นได้รับการตรวจสอบและทดสอบคุณภาพตามมาตรฐาน ในของเล่นเด็กได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.685-2562 ซึ่งกำหนดทั้งเรื่องของวัสดุที่ใช้ สี และสารเคมีที่อาจเป็นอันตราย เช่น โลหะหนักและวิธีการทดสอบเพื่อให้ผู้ใช้งานผลิตภัณฑ์ของเล่นเหล่านั้นได้ทราบถึงความปลอดภัยและมั่นใจว่าของเล่นนั้นมีมาตรฐานเป็นไปตามที่กำหนด จึงเป็นวิธีที่จะช่วยปกป้องเด็กจากความเสี่ยงด้านสุขภาพ และเป็นการสนับสนุนการเล่นอย่างปลอดภัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการตรวจหาปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยมักเป็นของเล่นที่ทำจากวัสดุและสีที่มีคุณภาพต่ำหาซื้อได้ทั่วไปและมีราคาถูก เนื่องจากของเล่นเหล่านี้จะใช้สีที่ไม่ได้มาตรฐาน ในกระบวนการผลิตของเล่นอาจมีการเติมสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นโลหะหนัก และอาจมีปริมาณมากเพียงพอที่จะเป็นอันตรายแก่สุขภาพของเด็กทั้งการเจ็บป่วยเฉียบพลัน การเจ็บป่วยเรื้อรัง กระทั่งการก่อเกิดมะเร็งในร่างกาย อย่างไรก็ตามของเล่นเด็กที่ไม่ได้มาตรฐานและหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด อาจทำมีโอกาสที่เด็กจะรับสัมผัสสารพิษที่เป็นโลหะหนักจากของเล่นเข้าสู่ร่างกายของเด็กได้ ใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา (portable X-ray fluorescence) เทคนิคอะตอมมิกแอดซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี (atomic adsorption spectrometry) และ เทคนิคอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมา-ออปติคัลอีมิสชัน สเปกโตรเมตรี (inductive couple plasma-optical emission spectrometry) ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักจากตัวอย่างของเล่นที่มีสี ส้น ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่มีสี ส้น โดยประเมินความเสี่ยงการสัมผัส ค่าดัชนีอันตรายสำหรับการสัมผัสของสารไม่ก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็งตามแนวทางของสำนักงานรักษาสีสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ผลจากการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำมาตรการเฝ้าระวังและควบคุมกระบวนการผลิตของเล่นเด็กให้ได้มาตรฐานความปลอดภัย

ควบคุมการนำเข้าของเล่นเด็กที่ไม่ได้มาตรฐานเพื่อลดความเสี่ยงในการสัมผัสโลหะหนักที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

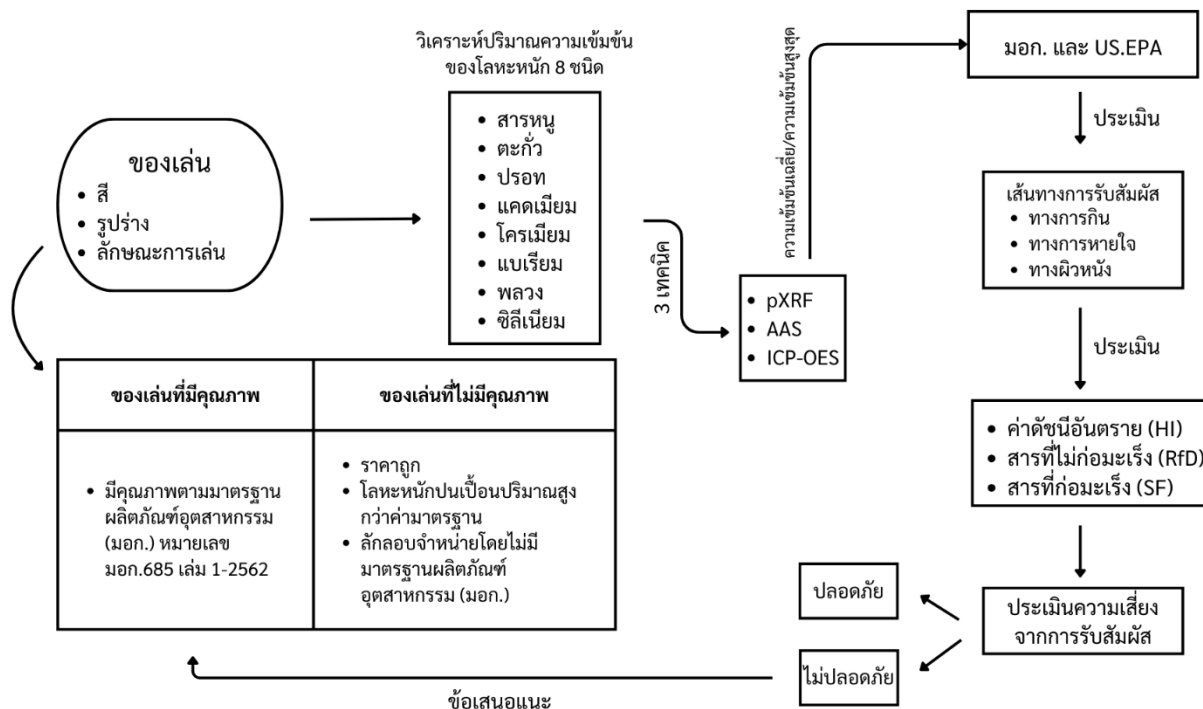
ในการศึกษารั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1. ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 8 ชนิดที่ปนเปื้อนในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) เทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) และ เทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)
2. ระบุความเป็นอันตราย ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยเน้นที่ของเล่นราคาถูกและไม่มีเครื่องหมายการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) การตรวจวิเคราะห์ใช้เทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) เทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) และ เทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) เพื่อนำค่าความเข้มข้นของโลหะหนักมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดโดย มอก. พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสโลหะหนักในเด็กอายุ 2-9 ปี จากการสัมผัสกับของเล่นที่มี สี รูปร่าง และลักษณะการเล่นที่แตกต่างกัน ค่าดัชนีอันตรายสำหรับการสัมผัสของสารไม่ก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็งตามแนวทางของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)
2. ทราบถึงชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อนโดยระบุความเป็นอันตราย และความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักทั้งที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่เป็นสารก่อมะเร็งจากของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1. ของเล่นเด็ก หมายถึง สิ่งของที่เกิดจากวัสดุต่างๆ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้เด็กสามารถจับต้องและเล่นได้อย่างปลอดภัย มีบทบาทสำคัญในการสร้างความสนุกสนานและเพลิดเพลินให้กับเด็ก อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมพัฒนาการตามช่วงวัย ช่วยให้เด็กได้ฝึกทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ และพัฒนาทักษะการเรียนรู้ต่างๆ

2. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หมายถึง ข้อกำหนดทางวิชาการที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ผลิตในการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด ดังนั้นสินค้าที่มีตรา มอก. คือสินค้าที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยในการอุปโภค บริโภค มีประสิทธิภาพในการใช้งาน และมีคุณภาพสมราคา

3. ของเล่นที่ไม่มีคุณภาพ หมายถึง ของเล่นที่ผลิตขึ้นโดยขาดมาตรฐานความปลอดภัย ซึ่งอาจเกิดจากการใช้วัสดุที่ไม่ปลอดภัย เช่น การใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย วัสดุรีไซเคิลที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก หรือกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ของเล่นเหล่านี้อาจไม่ผ่านการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมาตรฐานความปลอดภัยสากล ทำให้เสี่ยงต่อการแตกหักง่ายต่อการชำรุดหรือมีส่วนประกอบที่อาจทำให้เกิดกลิ่นหรือบาดเจ็บ

4. ของเล่นราคาถูก หมายถึง ของเล่นที่มีราคาจำหน่ายต่ำกว่ามาตรฐานหรือของเล่นที่ผลิตขึ้นโดยใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งอาจใช้วัสดุที่มีคุณภาพต่ำหรือวัสดุรีไซเคิล รวมถึงกระบวนการผลิตที่ไม่ปลอดภัยและไม่ได้รับการตรวจสอบมาตรฐานอย่างเพียงพอ

5. การระบุความเป็นอันตราย (Hazard Identification) หมายถึง การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดหรือพื้นที่การปนเปื้อนเพื่อตรวจสอบชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อน และระบุว่ามีโอกาสที่จะเกิดอันตรายแบบใด การคัดกรอง และจัดลำดับความเป็นอันตรายของวัสดุหรือสารอันตราย

6. การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) หมายถึง การประเมินปริมาณและความเข้มข้นของสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายผ่านช่องทางต่างๆ ได้แก่ การรับประทานเข้าทางปาก การหายใจเข้าสู่ร่างกาย และการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัง โดยจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย ความถี่ในการรับสัมผัส ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส และน้ำหนักของประชากรที่ได้รับสัมผัส เป็นต้น

7. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการที่ใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงจากเหตุการณ์ต่างๆ ที่มีโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงและความรุนแรงของผลกระทบ เช่น ความเสี่ยงจากการสัมผัสสารปนเปื้อนที่เป็นสาเหตุให้ก่อมะเร็งและไม่เป็นสาเหตุให้ก่อมะเร็ง เป็นต้น

8. เทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) หมายถึง เทคนิคการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่าง โดยไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทดสอบชิ้นงานที่เป็นของแข็งของเหลว หรือเป็นผงได้ในระดับหน่วยการวัดเป็นร้อยละ และให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว

9. เทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) หมายถึง เทคนิคที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในสารตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมเป็นสารละลายแล้ว สามารถวิเคราะห์หาธาตุปริมาณน้อยๆ ได้ในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) การวิเคราะห์อาศัยหลักการโดยการให้ความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดอะตอมอิสระของธาตุในสถานะที่เป็นแก๊ส และตรวจวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวของธาตุ ซึ่งค่าความเข้มของคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนไปจะแปรผันตามปริมาณของธาตุในตัวอย่าง

10. เทคนิค inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES) หมายถึง เทคนิคทดสอบหาปริมาณธาตุที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถนำมาใช้เพื่อหาปริมาณโลหะในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตรวจวัดได้ในระดับความเข้มข้นมิลลิกรัมต่อลิตร และบางธาตุอาจถึงไมโครกรัมต่อลิตร มีช่วงการตรวจวัดกว้าง อีกทั้งสามารถทดสอบได้หลายธาตุในคราวเดียวกัน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. จำแนกชนิดของเล่นที่ไม่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.685-2562) จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยพิจารณาจากสี รูปร่าง และลักษณะการใช้งานของเด็ก

2. วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซีลีเนียม โดยใช้เทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) เทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) และเทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

3. ระบุความเป็นอันตรายโดยการตรวจสอบชนิดและปริมาณของโลหะที่ปนเปื้อน โดยระบุว่ามีโอกาสจะเกิดอันตรายแบบใด และจัดลำดับความเป็นอันตรายของโลหะหนัก เพื่อให้สามารถประมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีโอกาสสัมผัสกับเด็กในช่วงอายุ 2 – 9 ปี

4. คำนวณปริมาณโลหะหนักที่เข้าสู่ร่างกายผ่านเส้นทางการกิน การสัมผัสทางผิวหนัง และการหายใจ โดยประเมินจากความถี่และระยะเวลาที่สัมผัส

5. ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กในช่วงอายุ 2 - 9 ปี จากการรับสัมผัสโลหะหนักทั้งที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่เป็นสารก่อมะเร็งที่ปนเปื้อนในของเล่นที่ไม่มีมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ดำเนินการตามกรอบแนวคิดของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US.EPA)

6. ประเมินความเป็นพิษ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหรือความเข้มข้นของโลหะหนักที่อาจได้รับและการตอบสนองต่อความเป็นพิษสำหรับความเป็นอันตรายแบบเรื้อรังของสารไม่ก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็ง

7. ประเมินความเสี่ยงของโลหะที่เข้าสู่ร่างกาย โดยใช้ข้อมูลระดับปริมาณและความเข้มข้นของโลหะหนักที่เข้าสู่ร่างกายและค่า reference dose (RfD) สำหรับการรับสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็ง หรือ ค่า slope factor (SF) เพื่อกำหนดปริมาณของความเป็นอันตราย กำหนดว่าระดับความเสี่ยงเพื่อกำหนดค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ของการรับสัมผัสโลหะหนัก

8. การวิจัยเรื่องนี้นำทฤษฎีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยของการเล่นที่มีต่อการพัฒนาการของเด็กในช่วงวัยต่างๆ เพื่อระบุถึง ลักษณะ รูปร่าง ช่วงวัยของเด็ก และประมาณการช่วงเวลาการรับสัมผัส และนำตัวอย่างของเล่นมาวิเคราะห์การประเมินการรับสัมผัส และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ตามกรอบแนวคิดสำนักงานควบคุมมลพิษแห่งรัฐบาลสหรัฐอเมริกา โดยไม่ได้ทำการวิจัยในมนุษย์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญของความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสโลหะหนัก ทั้งในส่วนที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่เป็นสารก่อมะเร็ง จากของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ในประเทศไทย จึงได้ทำการค้นคว้างานวิจัย บทความวิชาการ รวมถึงรวบรวมทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า หรือมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ซึ่งมีเลขอะตอมตั้งแต่ 23-92 ในคาบที่ 4-7 ไม่สามารถสลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติได้ มีความเสถียรสูง ทำให้สามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน โลหะหนักมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของโลหะหนัก คือ สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ตกตะกอนหรือเป็นอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำได้ (สยามเคมี, 2566)

โลหะหนักเป็นวัตถุอันตรายที่ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ในด้านอุตสาหกรรม มักจะใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย เป็นต้น ถูกใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ยทางการเกษตร ขณะเดียวกันทางการแพทย์ก็มีการใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาอุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องสำอาง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในชีวิตประจำวัน มนุษย์มีความเสี่ยงที่จะรับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งโลหะหนักบางชนิดสามารถส่งผลดีหรือผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณที่ได้รับ สำหรับโลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd) ถือว่าเป็นสารพิษอันตรายที่ถูกจัดอยู่ในบัญชีดำ (Black List) เนื่องจากมีความเป็นพิษร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งพิษของโลหะหนักสามารถส่งผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกายได้อย่างรุนแรง การสะสมของโลหะหนักในเนื้อเยื่อ เช่น ตับ ไต และสมอง สามารถทำลายการทำงานของอวัยวะต่างๆ ทำลายระบบประสาท ทำให้กระดูกเปราะ เป็นต้น หากได้รับสารโลหะหนักในปริมาณน้อยแต่เป็นระยะเวลานานอาจทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

ในอุตสาหกรรมของเล่น โลหะหนักถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในของเล่นราคาถูกที่ผลิตจากวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน โลหะหนักหลายชนิดมักถูกใช้ในสี สารเคลือบ พลาสติก และวัสดุอื่นๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันสดใส

และติดทนนาน อย่างไรก็ตาม ตามมาตรฐานการผลิตของเล่น ได้มีการกำหนดข้อบังคับเกี่ยวกับโลหะหนักอยู่ทั้งหมด 8 ชนิดที่พบได้ในของเล่น ได้แก่ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb)ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) พลวง (Sb) และซีลีเนียม (Se) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540)

2.1.1 สารหนู (As)

สารหนู (Arsenic) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ As เลขอะตอม 33 มวลอะตอม 74.922 amu เป็นธาตุกึ่งโลหะ อยู่ในกลุ่มที่ 15 มีสถานะออกซิเดชันได้ 4 สถานะ ได้แก่ -3 , 0 , $+3$ และ $+5$ สามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งกับโลหะและอโลหะ สารประกอบสารหนูมีอยู่ 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ สารประกอบสารหนูอนินทรีย์ สารประกอบสารหนูอินทรีย์ และก๊าซอาร์ซีน สารประกอบอาร์ซีนอนอินทรีย์ ได้แก่ อาร์ซีนิกไตรออกไซด์ โซเดียมอาร์เซไนต์ และอาร์ซีนิกไตรคลอไรด์ เป็นสารประกอบไตรวาเลนต์ที่พบมากที่สุด ส่วนอาร์ซีนิกเพนทอกไซด์ กรดอาร์ซีนิก และอาร์เซเนต (เช่น อาร์เซเนตตะกั่วและแคลเซียมอาร์เซเนต) เป็นสารประกอบเพนตาวาเลนต์ที่พบมากที่สุด สารประกอบอาร์ซีนอนอินทรีย์ทั่วไป ได้แก่ กรดอาร์ซานิก กรดเมทิลอาร์ซีนิก กรดไดเมทิลอาร์ซีนิก (กรดคาโคไดลิก) และอาร์ซีนobetaine สารหนูอนินทรีย์ถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาว โรคสะเก็ดเงิน และโรคหอบหืดเรื้อรัง ส่วนสารหนูอินทรีย์ถูกนำมาใช้ในยาปฏิชีวนะเพื่อรักษาโรคสไปโรจิตและโรคโปรโตซัว สารหนูอนินทรีย์เป็นส่วนประกอบสำคัญของสารหนูทองแดงโครเมต ซึ่งเป็นสารกันเชื้อราที่ใช้ในการผลิตไม้ ในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิกจะใช้เป็นสารที่ให้สีแดง สำหรับอุตสาหกรรมเกษตรกรรม สารหนูถูกนำมาใช้ในหลายๆ ด้าน เช่น ยาฆ่าแมลง สารกำจัดวัชพืช สารกำจัดแมลง สารดูดความชื้นในผ้าย สารกำจัดใบไม้ และสารฆ่าเชื้อในดิน และยังใช้ในการผลิตโลหะผสมโดยเฉพาะตะกั่วและทองแดง ใช้ในการผลิตเม็ดสี ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพลูไฟ สารป้องกันการเกาะติดในสี สารเภสัชกรรม สีย้อมและสบู เซรามิก โลหะผสม เช่น ตะกั่วบัดกรีและหม้อน้ำในรถยนต์ เป็นต้น (International Agency for Research on Cancer, 2012)

2.1.2 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่ว (Lead) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Pb เลขอะตอม 82 มวลอะตอม 207.2 amu เป็นธาตุโลหะหลังทรานซิชัน อยู่ในกลุ่มที่ 14 ตามข้อมูลจากสถาบันอาหารระบุว่าตะกั่วเป็นโลหะอ่อน สีเทาเงิน หรือแกมน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส สำหรับตะกั่วที่ใช้ในการเชื่อมบัดกรีซึ่งมีการผสมกับดีบุกจะทำให้จุดหลอมเหลวลดลงเหลือ 200 องศาเซลเซียส สารตะกั่วพบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ โดยเฉลี่ยในหินจะมีตะกั่วอยู่ 13 มิลลิกรัมต่อหิน 1 กิโลกรัม (สถาบันอาหาร, มปป.) การปนเปื้อนของตะกั่วในธรรมชาติมักพบได้จากการที่ตะกั่วสามารถดูดซับบนผิวดินและของแข็งได้ดีกว่าการละลายน้ำ จึงแพร่กระจายได้น้อยกว่าในน้ำและดินเมื่อ

ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แร่ตะกั่วเป็นแร่ที่เกิดขึ้นกระจายอยู่ในทุกพื้นที่ทั่วโลก แร่ตะกั่วที่สำคัญมากที่สุดคือแร่ตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) หรือเรียกว่า Galena รองลงมาจะเป็นแร่ตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO₃) หรือเรียกว่า Cerussite ตะกั่วมีคุณสมบัติเด่นคือ มีหลอมเหลวต่ำ มีความหนาแน่นสูง มีความอ่อนตัวสูงทำให้สามารถดัดแปลงรูปทรงได้ง่าย ความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ทำให้ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรง มีคุณสมบัติหล่อลื่น และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี การใช้ประโยชน์โลหะตะกั่วส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมทำแบตเตอรี่รถยนต์ ใช้เป็นสารประกอบตะกั่วสำหรับผสมทำสี ใช้ทำลูกกระสุนและยุทธภัณฑ์ ใช้ทำฉากกันเพื่อป้องกันรังสีต่างๆ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีเบตา รังสีแกมมา เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นธาตุผสมกับโลหะทองแดงและเหล็ก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงหรือตัด เป็นต้น (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2551)

2.1.3 พรอท (Hg)

พรอท (Mercury) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Hg เลขอะตอม 80 มวลอะตอม 200.59 amu เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน อยู่ในกลุ่มที่ 12 คุณสมบัติของพรอทคือมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีสีเงินวาว สามารถกลิ้งไหลได้ มีจุดเดือดที่ 357 องศาเซลเซียส และจุดเยือกแข็งที่ -38.9 องศาเซลเซียส สารพรอทตามธรรมชาติมีสามรูปแบบ ได้แก่ สารประกอบพรอทอินทรีย์ (organic mercury) เกิดจากการรวมตัวของสารพรอทกับธาตุคาร์บอนและธาตุอื่นๆ เช่น methylmercury โลหะพรอท (metallic mercury) เป็นโลหะพรอทที่บริสุทธิ์ สีเงินวาว สถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ไม่สามารถละลายน้ำได้ สามารถระเหยอย่างช้าๆ กลายเป็นไอ และสารประกอบพรอทอนินทรีย์ (inorganic mercury) หรือเกลือพรอท พบได้ตามธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น mercury oxide (HgO), mercury chloride (Hg₂Cl₂) มักอยู่ในรูปผลึกหรือผง ซึ่งสามารถกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง และละลายน้ำได้ สารพรอทถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ สารพรอทช่วยทำให้การทำงานของงานยาวนานขึ้นจึงนำใช้ผลิตหลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งหลอดไฟฟ้าที่ผลิตจากพรอทเรียก mercury lamp ใช้ทำแบตเตอรี่ mercury battery ใช้พรอทเป็นขั้ว cathode ทำให้มีอายุใช้งานยาวนานขึ้น ทนทาน และขนาดเล็ก นิยมมาใช้ในการอุปกรณ์การแพทย์ กล้องถ่ายภาพ นาฬิกา เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการใช้ประกอบในยารักษาโรค เช่น ยาขับปัสสาวะ ยาฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และยาระบาย เป็นต้น (พิริยา สุธีรภูมิ, 2562) เนื่องจากพรอทมีความเป็นพิษและสามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน ปัจจุบันจึงมีการลดการใช้สารพรอทในอุตสาหกรรมต่างๆ ลงอย่างมาก เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2.1.4 แคดเมียม (Cd)

แคดเมียม (Cadmium) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Cd เลขอะตอม 48 มวลอะตอม 112.41 amu เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน อยู่ในกลุ่มที่ 12 มักพบในรูปที่มีเลขออกซิเดชัน 2+ แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดโค้งได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อน พบปนอยู่กับแร่ธาตุอื่นๆ เช่น แร่สังกะสี แร่ตะกั่ว หรือทองแดง โดยในการทำเหมืองสังกะสี (กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2567) นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (HCl) ทำให้มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันเมื่อรับเข้าสู่ร่างกายโดยการกิน ในปัจจุบันมีการนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ฉาบ หรือเคลือบผิวโลหะเพื่อให้เกิดความเงางาม ทนทาน ช่วยเพิ่มความคงตัวให้พลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี (Polyvinyl Chloride หรือ PVC) ใช้ในการผลิตสีสำหรับสิ่งปลูกสร้าง และแบตเตอรี่ขนาดเล็ก เป็นต้น (องค์การพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ, 2567) นอกจากนี้ยังถูกใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม ใช้ในโรงงานผลิตแบตเตอรี่ เหมืองแร่ สังกะสี ตะกั่ว ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นสารทำให้พลาสติกมีความเสถียร เป็นต้น

2.1.5 โครเมียม (Cr)

โครเมียม (Chromium) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Cr เลขอะตอม 24 มวลอะตอม 51.996 amu เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน อยู่ในกลุ่มที่ 6 โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่ม แบ่งตามประจุได้แก่ กลุ่มประจุ 0 2 3 และ 6 ซึ่งกลุ่มประจุ 3 เรียกว่า ไตรวาเลนต์โครเมียม (Trivalent chromium, Cr(III)) และกลุ่มประจุ 6 เรียกว่าเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Hexavalent chromium, Cr(VI)) จะเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญ ทั้งในด้านการนำมาใช้ประโยชน์และเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์ ไตรวาเลนต์โครเมียมเป็นโครเมียมที่พบได้ในอาหาร น้ำดื่ม และสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ เป็นธาตุที่จำเป็นและมีบทบาทสำคัญในการทำงานของฮอร์โมนอินซูลิน ส่วนเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ถือเป็นสารอันตราย หากร่างกายได้รับเฮกซะวาเลนต์โครเมียมสะสมเป็นเวลานานทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ โครเมียมเป็นวัตถุพิษในกระบวนการผลิตสินค้า (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, 2563) ซึ่งสามารถใช้ทำเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) ใช้เคลือบโลหะและพลาสติก เช่น เหล็กและเหล็กกล้า เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเคลือบหรือชุบโลหะเรียกว่า electroplating โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน และปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอื่นๆ ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิต refractory brick ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและมักใช้ในเตาหลอมและเตาเผา นอกจากนี้ กระบวนการ electroplating ยังมีการนำโครเมียมไปใช้ในงานวิจัยทางนิวเคลียร์

และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิสูง เนื่องจากวัสดุที่เคลือบด้วยโครเมียมสามารถทนต่อสภาวะที่รุนแรงได้ดี และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง

2.1.6 แบเรียม (Ba)

แบเรียม (Barium) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Ba เลขอะตอม 56 มวลอะตอม 137.33 amu เป็นธาตุโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท อยู่ในกลุ่มที่ 2 มีคุณสมบัติเด่น คือ มีลักษณะเป็นโลหะสีเงินอ่อนและนุ่ม สามารถหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิสูงมาก แบเรียมไม่พบในรูปแบบบริสุทธิ์ในธรรมชาติ เนื่องจากมันไวต่อปฏิกิริยากับอากาศ ออกไซด์ของแบเรียมที่เรียกว่า แบไรตา (Baryta) เป็นสารประกอบที่มีความสำคัญในหลายด้าน และแบเรียมสามารถพบได้ในธรรมชาติในรูปแบบของแร่แบไรต์ (Barite) ซึ่งเป็นแร่หลักที่มีธาตุแบเรียมอยู่ แบเรียมมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน คาร์บอน และออกซิเจน เพื่อสร้างสารประกอบที่มีประโยชน์หลายประเภท สารประกอบแบเรียมมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ โดยเฉพาะในการผลิตโคลนเจาะ ซึ่งช่วยให้กระบวนการเจาะหินดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำให้หัวเจาะหล่อลื่นและลดแรงเสียดทาน นอกจากนี้ โคลนเจาะยังถูกใช้ในการผลิตสี อิฐ เซรามิก แก้ว และยาง แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) เป็นสารประกอบแบเรียมที่มีการใช้งานทางการแพทย์ โดยแพทย์มักใช้ในการทำการทดสอบทางการแพทย์ เช่น การถ่ายภาพเอกซเรย์ทางเดินอาหาร เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นในระหว่างการตรวจวินิจฉัย เป็นต้น (National Institutes of Health, 2024)

2.1.7 พลวง (Sb)

พลวง (Antimony) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Sb เลขอะตอม 51 มวลอะตอม 121.76 amu เป็นธาตุกึ่งโลหะ อยู่ในกลุ่มที่ 15 คุณสมบัติของพลวง มี 4 อัญญรูป พลวงที่สีฟ้าจะเป็นโลหะที่มีความเสถียรส่วนพลวงที่มีสีเหลืองและดำจะเป็นอโลหะที่ไม่เสถียร ลักษณะทางกายภาพเป็นมันเงา แข็ง สีขาวเงิน เปราะหักง่าย หรืออาจพบในรูปแบบเป็นผงสีดำเทา พลวงมักถูกใช้เป็นส่วนผสมของโลหะหรือวัสดุอื่นๆ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานและกันไฟได้ การใช้พลวงอาจพบในรูปแบบพลวงบริสุทธิ์ (Metallic antimony) หรือสารประกอบหลายแบบ เช่น แอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony trioxide) แอนติโมนีเพนทอกไซด์ (Antimony pentoxide) แอนติโมนีไตรซัลไฟด์ (Antimony trisulfide) และแอนติโมนีเพนตะซัลไฟด์ (Antimony pentasulfide) เป็นต้น (หนังสือพิษวิทยาอาชีพ, 2561) สินแร่พลวงเป็นแหล่งสำคัญในการถลุงเอาโลหะพลวงไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม เช่น การผสมกับตะกั่วเพื่อผลิตตัวพิมพ์หนังสือ การผลิตทองเหลืองหล่อรูปปั้น โลหะ ทำสีทาบ้าน บรรจุในกระสุน ใช้เป็นส่วนประกอบในสารทำหัวไม้ขีดไฟ ทำตะกั่วแบตเตอรี่ ฟิล์มสายโทรศัพท์ และสายไฟขนาดใหญ่ พลวงยังมีบทบาทในการผลิตหลอดบีบจารบี หมึกพิมพ์โรเนียว และพลาสติกเหลวต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้ทำควันทันตียมและให้สีในแก้ว

รวมถึงใช้ในกระบวนการมยาง อีกทั้งยังใช้ผลิตลูกปืน (bearing) เพื่อป้องกันการเสียดสีในเครื่องจักรกล ส่วนทางการแพทย์เกลือของพลวงถูกนำมาใช้ในยาหลายชนิดเพื่อป้องกันเชื้อโรค (กรมทรัพยากรธรณี)

2.1.8 ซีลีเนียม (Se)

ซีลีเนียม (Selenium) เป็นธาตุเคมีมีสัญลักษณ์ Se เลขอะตอม 34 มวลอะตอม 78.971 amu เป็นธาตุอโลหะ อยู่ในกลุ่มที่ 16 ข้อมูลจาก Royal Society of Chemistry ระบุว่า ซีลีเนียมอยู่ในสองรูปแบบหลัก คือ รูปแบบโลหะสีเงินและผงสีแดง โดยซีลีเนียมมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในการใช้งานในหลากหลายอุตสาหกรรม ในธรรมชาติจะปรากฏอยู่หลายสถานภาพที่มีเสถียรภาพสูงจะมีลักษณะคล้ายโลหะสีเทา มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี คุณสมบัติพิเศษของซีลีเนียมจึงทำหน้าที่เป็นโฟโตวอลตาอิก (สามารถแปลงแสงเป็นไฟฟ้า) และโฟโตคอนดักเตอร์ (ความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่อได้รับแสงมากขึ้น) ซึ่งทำให้ซีลีเนียมมีบทบาทสำคัญในเทคโนโลยีต่างๆ เช่น โฟโตเซลล์ เซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ เป็นต้นนอกจากนี้ ซีลีเนียมยังสามารถแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ ซึ่งทำให้มันเป็นที่นิยมในการใช้งานในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าอีกด้วย การใช้งานหลักของซีลีเนียมคือการใช้เป็นสารเติมแต่งในกระจก โดยสารประกอบซีลีเนียมบางชนิดสามารถทำให้กระจกเปลี่ยนสี ในขณะที่บางชนิดสามารถให้สีแดงเข้มได้ นอกจากนี้ ซีลีเนียมยังใช้เพื่อลดการส่งผ่านแสงแดดในกระจกสถาปัตยกรรม ทำให้กระจกมีสีบรอนซ์ที่ช่วยลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ซีลีเนียมยังใช้ทำเม็ดสีสำหรับเซรามิก สีทาและพลาสติก ซึ่งช่วยเพิ่มความทนทานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.2 ความเป็นพิษของโลหะหนัก

ความเป็นพิษของโลหะหนักเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งโลหะหนักสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านหลายเส้นทาง อีกทั้งสารโลหะหนักเหล่านี้มีคุณสมบัติในการสะสมในร่างกาย ซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว สำหรับความเป็นพิษของโลหะหนักที่มักจะพบในของเล่นมีดังนี้

1. สารหนู (As) สารหนูในรูปแบบอนินทรีย์ถือเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมาก ในขณะที่สารหนูในรูปแบบอินทรีย์มีพิษน้อยกว่าและไม่เป็นอันตรายมากเท่า รูปแบบอนินทรีย์ ผลกระทบเฉียบพลันจากการได้รับพิษจากสารหนูอาจรวมถึงอาการอาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย ชาบริเวณปลายแขนปลายขา เป็นตะคริว และอาจเสียชีวิตในกรณีที่ร้ายแรง ส่วนผลกระทบระยะยาวสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีผิวหนัง มีรอยโรคบนผิวหนัง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง ซึ่งสำนักงานวิจัยมะเร็งนานาชาติ (IARC) ได้จัดให้สารหนูและ

สารประกอบของสารหนูเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ นอกจากนี้ สารหนูยังส่งผลกระทบต่อพัฒนาการทางสติปัญญา ความจำ โรคเบาหวาน ปัญหาทางเดินหายใจ และโรคหัวใจ (องค์การอนามัยโลก, 2565)

2. ตะกั่ว (Pb) การสัมผัสสารตะกั่วส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเด็ก เนื่องจากเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ตะกั่วจะแพร่กระจายไปยังอวัยวะสำคัญ เช่น สมอง ไต ตับ และกระดูก ตะกั่วจะถูกสะสมอยู่ในฟันและกระดูก ซึ่งจะสะสมขึ้นเรื่อยๆ ตะกั่วที่สะสมอยู่ในกระดูกอาจถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดระหว่างตั้งครรภ์และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ เด็กที่ขาดสารอาหาร เช่น แคลเซียมหรือธาตุเหล็ก จะเสี่ยงต่อการดูดซึมตะกั่วมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมองและระบบประสาท เช่น ทำให้เกิดโคม่า ชัก หรือเสียชีวิตได้ ตะกั่วสามารถส่งผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมองของเด็กอย่างถาวร ส่งผลให้ระดับสติปัญญา (IQ) ลดลง พฤติกรรมเปลี่ยนไป เช่น มีสมาธิสั้นลง มีพฤติกรรมต่อต้านสังคมมากขึ้น และมีผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาต่ำลง การสัมผัสตะกั่วยังส่งผลให้เกิดภาวะโลหิตจาง ความดันโลหิตสูง ไตวาย และเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ ในปัจจุบันยังไม่มีระดับความเข้มข้นของตะกั่วในเลือดที่ถือว่าปลอดภัย แม้ความเข้มข้นของตะกั่วในเลือดต่ำเพียง 3.5 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ก็ยังสัมพันธ์กับปัญหาด้านสติปัญญา พฤติกรรม และการเรียนรู้ในเด็กได้ (องค์การอนามัยโลก, 2567)

3. ปรอท (Hg) ปรอทเป็นสารพิษที่ส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย การสูดดมไอระเหยของปรอทอาจทำให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาท ระบบย่อยอาหาร ระบบภูมิคุ้มกัน ปอด ไต และในบางกรณีอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต เกลืออินทรีย์ของปรอทเป็นสารก่อก่อนที่อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายผิวหนัง ดวงตา และระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งยังอาจส่งผลกระทบต่อไตหากบริโภคเข้าไป ผู้ที่สัมผัสกับปรอทอาจเกิดความผิดปกติทางระบบประสาทและพฤติกรรม เช่น การสั่น นอนไม่หลับ สูญเสียความจำ มีผลต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ปวดศีรษะ และการรับรู้ที่ผิดปกติ เป็นต้น นอกจากนี้ การสูดดมสารปรอทในปริมาณ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือมากกว่านั้นเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดอาการพิษทางระบบประสาทส่วนกลางได้ มีรายงานการพบผลกระทบต่อไต ตั้งแต่โปรตีนในปัสสาวะเพิ่มขึ้นไปจนถึงภาวะไตวาย (องค์การอนามัยโลก, 2560)

4. แคดเมียม (Cd) ไตเป็นอวัยวะที่สำคัญที่สุดที่ได้รับผลกระทบจากการสัมผัสแคดเมียมระยะยาว โดยแคดเมียมจะสะสมอยู่ในไตและมีครึ่งชีวิตทางชีวภาพในมนุษย์นานถึง 10-35 ปี การสะสมของแคดเมียมนี้อาจนำไปสู่ความผิดปกติของท่อไต ทำให้มีการขับโปรตีนที่มีโมเลกุลต่ำออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น ความผิดปกติของท่อไตอาจไม่สามารถกลับคืนได้ และจะพัฒนาไปสู่ภาวะไตเสื่อมอย่างรุนแรง การรับแคดเมียมในปริมาณสูงสามารถทำให้เกิดความ

ผิดปกติในการเผาผลาญแคลเซียม นำไปสู่การเกิดโรคนี้ในไตและส่งผลกระทบต่อกระดูก เช่น โรคกระดูกอ่อน (Osteomalacia) และโรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) การสัมผัสไอแคดเมียมออกไซด์ในปริมาณสูงผ่านการสูดดมสามารถทำให้เกิดปอดอักเสบเฉียบพลันและปอดบวมน้ำ ซึ่งอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ การสัมผัสในระดับสูงเป็นเวลานานในการทำงานจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปอด โดยเฉพาะโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง การสัมผัสแคดเมียมและสารประกอบของแคดเมียม เช่น ไอระเหยของแคดเมียม สามารถก่อให้เกิดมะเร็งปอดได้ นอกจากนี้แคดเมียมยังอาจทำให้เกิดมะเร็งไตและต่อมลูกหมาก และถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่มที่ 1 โดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (องค์การอนามัยโลก, 2562)

5. โครเมียม (Cr) โครเมียมมีหลายรูปแบบ และแต่ละแบบมีผลต่อสุขภาพแตกต่างกัน โดยโครเมียม (VI) ถือเป็นสารอันตราย ต่อสุขภาพ ในขณะที่โครเมียม (III) เป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการ เนื่องจากจำเป็นต่อการเผาผลาญโปรตีน ไขมัน และน้ำตาล อย่างไรก็ตาม หากมีโครเมียม (III) ในปริมาณมากเกินไป ก็อาจมีอันตรายต่อสุขภาพเช่นกัน สำหรับอันตรายจากการสัมผัสทางเดินหายใจ คือ การหายใจรับโครเมียมเข้าไปในระดับที่สูงสามารถทำให้เกิดปัญหาทางเดินหายใจ หรือทำลายจมูกและปอด นอกจากนี้ การทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีโครเมียม (VI) ยังมีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปอดอีกด้วยสำหรับการสัมผัสผิวหนังอาจทำให้เกิดแผลและสูญเสียผิวหนัง และสำหรับการรับประทานโครเมียมในปริมาณมากเกินไปสามารถทำให้เกิดโลหิตจาง หรือทำลายกระเพาะอาหารและลำไส้ และยังสามารถเกิดเนื้องอกในกระเพาะอาหารได้ (หน่วยงานบริการสุขภาพแห่งรัฐเท็กซัส : DSHS)

6. แบเรียม (Ba) ผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารประกอบแบเรียมมีความแตกต่างกันตามประเภทของสารประกอบที่มีอยู่ โดยสารที่ละลายในน้ำหรือกระเพาะอาหารได้ดีจะมีความเสี่ยงสูงกว่า โดยที่สารประกอบที่ไม่ละลายในน้ำก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพเพียงเล็กน้อย ส่วนสารประกอบที่ละลายในน้ำสามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้ หากบริโภคในปริมาณมากอาจทำให้เกิดอาการร้ายแรง เช่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ อัมพาต หรืออาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ อาการที่เกิดจากการสัมผัสแบเรียม ได้แก่ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย หายใจลำบาก อาการชาบริเวณใบหน้า อาการบวมในลำไส้ น้ำหนักตัวลดลง และอาจเกิดความเสียหายต่อไตเมื่อได้รับสารเป็นระยะเวลานาน ตามรายงานจากกระทรวงสาธารณสุขและบริการมนุษย์ (DHHS) และองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) แบเรียมไม่ได้ถูกจำแนกตามความก่อมะเร็ง ในขณะที่เดียวกัน EPA (Environmental Protection Agency) ได้ระบุว่าแบเรียมไม่น่าจะก่อมะเร็งในมนุษย์จากการกลืนกิน และยังไม่มียังข้อมูลเพียงพอที่จะยืนยันว่าแบเรียมสามารถทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์จากการสูดดมได้ (สำนักงานทะเบียนสารพิษและโรค : ATSDR, 2563)

7. พลวง (Sb) พลวงมีผลดีต่อสุขภาพเมื่อใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์ แต่อาจทำให้เกิดผลข้างเคียง เช่น ปัญหาหัวใจ คลื่นไส้ อาเจียน และอาการปวดกล้ามเนื้อและข้อต่อ เป็นต้น สำหรับการหายใจเอาพลวงเข้าไปอาจทำให้เกิดปัญหาที่หัวใจและปอด ปวดท้อง ท้องเสีย อาเจียน และแผลในกระเพาะอาหาร ส่วนการกลืนพลวงในปริมาณมากสามารถทำให้เกิดอาการ อาเจียนได้ กระทรวงสาธารณสุขและบริการมนุษย์ (HHS) และองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) ระบุว่าแอนติโมนีไตรออกไซด์มีความน่าจะเป็นที่จะเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ นอกจากนี้ การทดลองในสัตว์พบว่าพลวงยังทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนังและตา สร้างความเสียหายของ ปอดและหัวใจ รวมถึงความเสียหายของตับ ลดระดับน้ำตาลในเลือด และผลกระทบต่อการพัฒนา ที่ทำให้การเจริญเติบโตลดลง (สำนักงานทะเบียนสารพิษและโรค : ATSDR, 2562)

8. ซีลีเนียม (Se) สารประกอบซีลีเนียมอาจก่อให้เกิดอันตรายหากได้รับในปริมาณที่ มากเกินไปในแต่ละวัน โดยเฉพาะผู้ที่สัมผัสกับซีลีเนียมในอากาศที่มีความเข้มข้นสูงกว่าระดับที่ กฎหมายกำหนด อาจพบอาการวิงเวียน อ่อนล้า และระคายเคืองต่อเยื่อเมือก ในกรณีที่รุนแรงอาจ เกิดการสะสมของของเหลวในปอด (ปอดบวมน้ำ) และหลอดลมอักเสบรุนแรง รวมถึงการทำให้ผม เปราะและเล็บผิดปกติได้ หากอยู่ในสถานะที่รุนแรงมากขึ้น อาจมีอาการสูญเสียความรู้สึกและการ ควบคุมแขนและขาได้ องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) ได้ระบุว่าซีลีเนียมและ สารประกอบซีลีเนียมไม่สามารถจำแนกได้ตามความสามารถในการก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ อย่างไรก็ตาม สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (EPA) ระบุว่า ซีลีเนียมซัลไฟด์ (selenium sulfide) น่าจะเป็น เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (สำนักงานทะเบียนสารพิษและโรค : ATSDR, 2557)

โลหะหนัก เป็นสารที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรมและการผลิต แต่การสัมผัสโลหะ หนักที่เกินค่ามาตรฐานอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรงทั้งในมนุษย์และ สิ่งแวดล้อม การสะสมของโลหะหนักในร่างกายสามารถทำให้เกิดโรคเรื้อรังและปัญหาทางสุขภาพ หลายประการ เช่น การทำลายระบบประสาท ระบบไต ระบบทางเดินหายใจ และระบบภูมิคุ้มกัน เป็นต้น เด็กและสตรีมีครรภ์เป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง เนื่องจากโลหะหนักสามารถรบกวน พัฒนาการทางสมองและร่างกายของทารกและเด็กได้ ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพจากโลหะหนักที่ ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค แสดงดังตารางที่ 1

ตาราง 1 แสดงผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนัก

โลหะหนัก	ผลกระทบต่อสุขภาพ
สารหนู (As)	ปัญหาด้านผิวหนัง ความเสี่ยงต่อมะเร็ง ผลกระทบต่อระบบประสาท
ตะกั่ว (Pb)	ปัญหาด้านการเรียนรู้ การพัฒนาความล่าช้า ปัญหาด้านพฤติกรรม
ปรอท (Hg)	ปัญหาทางการได้ยิน ทางกรมมองเห็น พัฒนาการทางสมอง
แคดเมียม (Cd)	ปัญหาเกี่ยวกับไต โรคกระดูก ปัญหาเกี่ยวกับพัฒนาการของเด็ก
โครเมียม (Cr)	ปัญหาด้านการหายใจ ผลกระทบต่อผิวหนัง ความเสี่ยงต่อมะเร็ง
แบเรียม (Ba)	ระบบย่อยอาหาร ความดันโลหิต
พลวง (Sb)	ความดันโลหิตสูง ผลกระทบต่อระบบหัวใจ
ซีลีเนียม (Se)	ปัญหาเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกัน ส่งผลต่อการทำงานของกระดูก

ที่มา : The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)

2.3 การรับสารพิษเข้าสู่ร่างกาย

การเข้าสู่ร่างกายของโลหะหนัก สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 เส้นทาง ได้แก่ การรับประทานผ่านระบบทางเดินอาหาร การสูดดมผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และจากการสัมผัสและดูดซึมเข้าสู่ทางผิวหนังและเนื้อเยื่อ (Watts, 1998) ความเสี่ยงในการรับโลหะหนักของเด็กเล็ก ได้แก่ การสัมผัสสะสมในแต่ละวัน เช่น การเล่นซ้ำๆ ซึ่งเป็นพฤติกรรมตามธรรมชาติของเด็กที่มักจะหยิบจับของเล่นเดิมมาเล่นหลายครั้งในแต่ละวัน ซึ่งของเล่นบางชิ้นอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในสีหรือวัสดุที่ผลิต เมื่อเด็กนำของเล่นเข้าปาก อม หรือกัดบ่อยครั้ง ทำให้โลหะหนักที่ปนเปื้อนค่อย ๆ สะสมเข้าสู่ร่างกายผ่านน้ำลายและระบบทางเดินอาหาร การรับโลหะหนักจากพฤติกรรมการกัดหรืออมของเล่นเช่นนี้สามารถเกิดขึ้นเป็นประจำโดยที่เด็กไม่รู้ตัว ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดพิษเรื้อรังและผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

2.3.1 เส้นทางการรับสัมผัสโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย

1. การรับประทานผ่านระบบทางเดินอาหาร

เป็นช่องทางหนึ่งที่โลหะหนักสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้มากที่สุด ซึ่งมักเกิดจากการรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำ หรือสัมผัสของทางปากที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเข้าไป ระบบทางเดินอาหารเป็นระบบที่มีความซับซ้อนและประกอบด้วยเนื้อเยื่อ อวัยวะ เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเบส (pH) และมีการทำงานของสารคัดหลั่งหลายประเภท

เช่น น้ำลาย น้ำย่อย น้ำดี เป็นต้น ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาในการย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารและสารเคมีไปยังอวัยวะเป้าหมาย เมื่อร่างกายได้รับสารพิษผ่านทางระบบอาหาร สารพิษบางชนิดอาจถูกขับออก หรือ ทำลายในระบบทางเดินอาหาร เช่น อาเจียน หรือการเปลี่ยนสารพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลงก่อนที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายบริเวณกระเพาะอาหาร และลำไส้ (Watts, 1998)

เด็กเล็กมักมีพฤติกรรมที่เรียกว่า oral exploration หรือการสำรวจสิ่งของด้วยการนำเข้าปาก เช่น การกัดหรือเคี้ยวของเล่น (Tulve et al., 2002) ซึ่งทำให้โลหะหนักที่อาจปนเปื้อนอยู่ในสีหรือเนื้อวัสดุของของเล่นสามารถหลุดเข้าสู่ร่างกายผ่านน้ำลายและถูกกลืนเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร จากนั้นโลหะหนักจะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดและลำเลียงไปยังอวัยวะสำคัญ เช่น สมอง ตับ ไต และกระดูก เป็นต้น เมื่อโลหะหนักสะสมเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดพิษเรื้อรัง ส่งผลต่อระบบประสาท พัฒนาการทางสมอง ระบบทางเดินอาหาร ระบบตับและไต รวมถึงกระดูก เป็นต้น

2. การดูดซึมผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

ในระบบทางเดินหายใจจะเริ่มตั้งแต่การผ่านสารพิษเข้าสู่ร่างกายทางปากหรือจมูก ผ่านหลอดลม เข้าสู่ปอดไปยังเนื้อเยื่อ จะมีเส้นเลือดจำนวนมากภายในปอดซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตในร่างกาย ดังนั้นเมื่อสารพิษเข้าสู่ร่างกายจะถูกกรองด้วยขนจมูกและสารคัดหลั่งในจมูกหรือปาก โดยสารพิษที่มีกลิ่นหรือมีรสจะทำให้ร่างกายสามารถตอบสนองได้ทันทีถ้าทราบว่าเป็นกลิ่นของสารอันตราย และอยู่ในระดับที่สามารถจะรับกลิ่นได้หรือเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ร่างกายก็จะสามารถตอบสนองต่อการรับสารพิษผ่านระบบทางเดินหายใจได้ทันทีเช่นกัน (Watts, 1998) นอกจากนี้สารพิษที่อยู่ในระดับที่จะสามารถรับกลิ่นได้ต่ำและไม่ก่อให้เกิดอาการตอบสนองที่จู่รับสารพิษระบบการรับรู้ด้วยกลิ่นจะไม่มีประโยชน์แต่จะใช้ระบบการป้องกัน เช่น ขนจมูก และสารคัดหลั่งในโพรงจมูกจะเป็นระบบป้องกันฝุ่นละออง และหากระบบป้องกันนี้ไม่ได้ผลก่อให้เกิดการระคายเคืองในทางเดินหายใจ ร่างกายก็จะสามารถตอบสนองต่อการรับสารพิษจำพวกฝุ่น คาร์บอน น้ำมูกไหล จาม เป็นต้น แต่ในกรณีที่เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถผ่านระบบป้องกันเข้าสู่หลอดลม ทางเดินหายใจ และเข้าสู่ถุงลมทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อภายในถุงลม ในขณะที่สารพิษที่เป็นไอระเหย จะมีสารคัดหลั่งในโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนต้นที่ตอบสนองต่อการรับสารพิษผ่านระบบทางเดินหายใจ แต่สารระเหยนี้จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและไปสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตได้ง่ายและกระจายไปยังเนื้อเยื่อต่างๆภายในร่างกาย (Watts, 1998)

การสูดดมโลหะหนักมักเกิดจากการหายใจเอาฝุ่นหรืออนุภาคที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากของเล่นที่มีสีเคลือบหลุดลอกหรือวัสดุเสื่อมสภาพ เมื่อสูดดมเข้าไป อนุภาคโลหะจะผ่านจมูกและปากเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดผ่านเนื้อเยื่อในปอด จากนั้นแพร่กระจายไปยังอวัยวะต่าง ๆ เช่น สมอง ตับ ไต และกระดูก เมื่อโลหะหนักสะสมในร่างกาย อาจก่อให้เกิดพิษเรื้อรัง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ อาจทำให้เกิดการอักเสบและความเสียหายของปอด รวมถึงผลกระทบต่อระบบประสาท ตับ และไต

3. การสัมผัสและดูดซึมเข้าสู่ทางผิวหนังและเนื้อเยื่อ

โลหะที่ซึมเข้าสู่ผิวหนังมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับช่องทาง 2 อย่างข้างต้น ชั้นผิวหนังเป็นชั้นเนื้อเยื่อผิวนอกสุดที่มีความสำคัญในการปกป้องสารพิษที่เมื่อร่างกายสัมผัสสารพิษและจะยังไม่สามารถแพร่ซึมผ่านชั้นผิวหนังไปยังชั้นเนื้อเยื่อที่อยู่ภายในจนถึงระบบหมุนเวียนโลหิตได้ ผิวหนังเป็นชั้นปกป้องเนื้อเยื่อและระบบอวัยวะที่สำคัญในร่างกาย ชั้นผิวหนังประกอบด้วย ผิวหนังชั้นนอกเป็นเนื้อเยื่อที่มีความหนาแน่นที่เชื่อมเข้ากับผิวหนังชั้นในและเนื้อเยื่ออื่นๆ รวมทั้งชั้นผิวหนังที่อยู่ลึกลงไปซึ่งมีอวัยวะที่สำคัญ รวมถึงเนื้อเยื่อที่มีการเชื่อมต่อกับต่อมเหงื่อ ระบบหมุนเวียนโลหิต เส้นประสาทที่มีความสำคัญ และเมื่อสารพิษเข้าสู่ร่างกายผ่านทางผิวหนังจะมีเกราะที่แสดงให้เห็นทราบว่าเป็นสารพิษ เช่น มีอาการ คัน แสบ บวม เป็นผื่นแพ้ เป็นต้น (Watts, 1998)

การสัมผัสโลหะหนักผ่านผิวหนังมักเกิดขึ้นเมื่อเด็กจับหรือสัมผัสของเล่นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น สีหรือพื้นผิววัสดุที่มีสารเคลือบ โลหะบางชนิดสามารถซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยตรงผ่านผิวหนัง โดยเฉพาะบริเวณที่บอบบางหรือมีบาดแผล ซึ่งในเด็ก ผิวหนังบางกว่าผู้ใหญ่ ทำให้การดูดซึมง่ายขึ้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการซึมผ่าน ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก ลักษณะผิวหนัง และระยะเวลาสัมผัส เมื่อโลหะหนักซึมเข้าสู่ร่างกาย อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ เช่น อาการแพ้ การระคายเคืองเรื้อรัง การอักเสบ หรือในกรณีสะสมเป็นเวลานานอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งผิวหนัง

2.3.2 การกระจายตัวของสาร (Distribution)

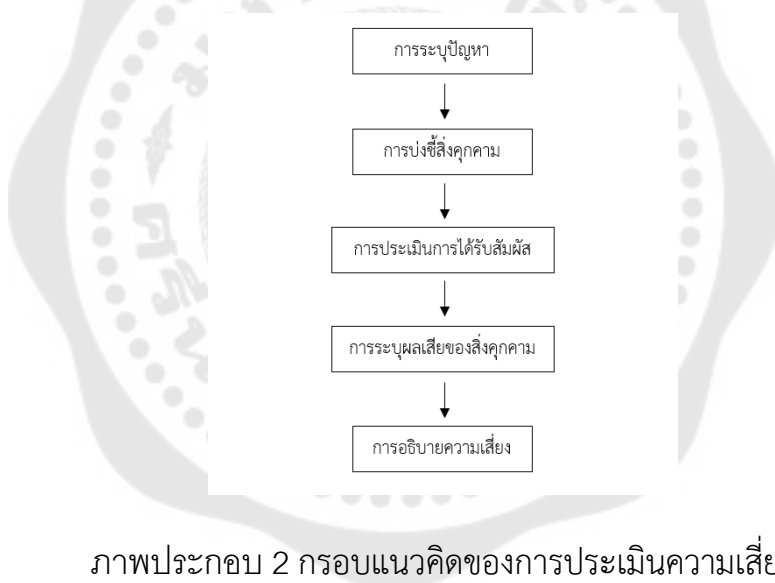
สารทำละลายอินทรีย์เมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านทางกระแสโลหิตจะเข้าสู่ตับ หลังจากนั้นตับจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสาร (Biotransformation) โดยตับจะมีหน้าที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารทำละลายอินทรีย์ให้เป็นสารเมตาโบไลต์ (Metabolites) ที่ละลายในน้ำได้ดีโดยตัวกลางเมตาโบไลต์ (Intermediate Metabolites) จะละลายอยู่ในเลือด ส่วนเมตาโบไลต์ตัวสุดท้าย (Terminate Metabolites) ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารนั้นจะถูกขจัดออกทางเหงื่อและปัสสาวะ (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2549)

2.3.3 การขจัดสารออกจากร่างกาย (Excretion)

สารทำลายอินทรีย์จะถูกขจัดออกจากร่างกายได้ทั้งทางลมหายใจซึ่งออกมาในรูปของไอระเหยของสาร และถูกขจัดออกทางปัสสาวะและเหงื่อในรูปของสารเมตาบอไลต์ที่ละลายในน้ำ (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2549)

2.4 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Assessment : HRA) หมายถึง การประมาณค่าความเป็นไปได้ หรือโอกาสที่คนซึ่งสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งคุกคามต่อสุขภาพ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมกัน จะแสดงผลกระทบด้านสุขภาพจากการได้รับอยู่ในระดับใด ซึ่งจะประเมินความเสี่ยงโดยใช้ค่า Reference dose (RfD) และ Slope factor (SF)



ที่มา : ปรับปรุงจาก กรมควบคุมโรค, 2552

ในปี ค.ศ. 1983 องค์การ National Research Council แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดกระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.4.1. การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย (Hazard identification)

เป็นขั้นตอนการศึกษาการปนเปื้อนที่แหล่งกำเนิดอย่างละเอียด เพื่อระบุถึงความเป็นอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ปนเปื้อนด้วยของเสียอันตรายและกากอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อน

ของสารพิษหลายชนิด โดยจำเป็นต้องศึกษาชนิดของสารพิษที่ปนเปื้อนและความเข้มข้นของสารพิษที่ปนเปื้อน ทำการคัดกรองโดยพิจารณาจากระดับปริมาณความเข้มข้นและความเป็นพิษของสารพิษ สำหรับการคำนวณค่า chemical score (R') ของสารพิษแต่ละชนิด ในกรณีที่มีสารพิษมีการตอบสนองความเป็นพิษจากเส้นทางการรับเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ให้ใช้ค่าการตอบสนองความเป็นพิษสูงสุด

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) จากสมการ

$$R' = \frac{C_{\max}}{Rfd}$$

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จากสมการ

$$R' = C_{\max} \times SF$$

คำนวณค่า chemicals score ทั้งหมดในแต่ละตัวกลาง จากสมการ

$$R' = R'_{1j} + R'_{2j} + \dots + R'_{ij}$$

เมื่อ	R'_{ij}	คือ	chemical score ของสารปนเปื้อน i ในตัวกลาง j
	R'_j	คือ	chemical score ทั้งหมดในตัวกลาง j
	$C_{\max}$	คือ	ความเข้มข้นสูงสุด
	RfD	คือ	reference dose หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	SF	คือ	slope factor หน่วยกิโลกรัมต่อวันต่อมิลลิกรัม

ในการวินิจฉัยความเสี่ยงอันตรายจะมีการระบุอันตรายโดยแยกประเภทของพิษออกเป็น 3 ชนิด

1.1 พิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) เกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับสารในปริมาณสูงในช่วงระยะเวลาสั้น (ภายใน 24 ชั่วโมง) และส่งผลให้เกิดอาการพิษทันทีหรือภายในระยะเวลาไม่นานหลังจากได้รับสารผลกระทบอาจรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิต เช่น การสูดดมไอสารพิษ หรือการรับประทานโลหะหนักในปริมาณมาก ซึ่งสามารถก่อให้เกิดการเสียชีวิตได้หากได้รับในปริมาณสูงมาก

1.2 พิษกึ่งเรื้อรัง (Subchronic Toxicity) เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารในปริมาณน้อยหรือปานกลางในระยะเวลาสั้นกว่า 1 เดือน แต่ไม่เกิน 3 เดือน พิษกึ่งเรื้อรังเกิดขึ้นเมื่อมีการสะสมสารพิษในร่างกายที่เพิ่มขึ้นทีละน้อยจนถึงระดับที่เริ่มส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ เช่น ไต หรือตับ โดยไม่แสดงอาการรุนแรงทันที อาการอาจประกอบด้วย ความผิดปกติในระบบการกรองของไต การทำงานของตับ และการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของทางประสาท

1.3 พิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity) เกิดขึ้นจากการสัมผัสสารปริมาณเล็กน้อย ต่อเนื่องเป็นเวลานาน (เกิน 3 เดือนหรือตลอดชีวิต) ซึ่งสารพิษสะสมอยู่ในร่างกายอย่างต่อเนื่อง และส่งผลกระทบต่อระบบอวัยวะต่าง ๆ ในระยะยาว ผลกระทบมักสะสมไปสู่โรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง ความผิดปกติทางระบบประสาท การสูญเสียการทำงานของไต ตับ และอวัยวะอื่น ๆ ที่ได้รับผลกระทบจากสารพิษสะสม เป็นต้น

2.4.2. การประเมินการรับสัมผัส (Exposure assessment)

เป็นการประเมินความเข้มข้นของสารพิษที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งจะพิจารณาจาก ปัจจัยต่าง ๆ เช่น วิธีการรับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายจะมีทั้งการกิน การหายใจ และการสัมผัสจากการ ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัง ความเข้มข้นของสารที่เข้าสู่ร่างกาย ความถี่ในการรับสัมผัส ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส และน้ำหนักของประชากรที่ได้รับสัมผัส เป็นต้น สำนักงานปกป้อง สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใช้ข้อมูลการสัมผัสที่คำนวณตามเวลาและน้ำหนักตัว โดย คำนวณเป็นสมการที่ใช้เพื่อประมาณการปริมาณที่ได้รับสารพิษ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร 3 กลุ่ม ได้แก่

1. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสารปนเปื้อน คือ ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน
2. ตัวแปรของประชากรที่สัมผัส คือ อัตราการสัมผัส ความถี่ของการสัมผัส ระยะเวลาการสัมผัส และน้ำหนักตัว
3. ตัวแปรที่ใช้ในการประเมิน คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่สัมผัส

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางการรับประทาน โดยใช้สูตร

$$I_{\text{oral}} = \frac{C_{\text{oral}} \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ I คือ ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทาน หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

- C_{oral} คือ ความเข้มข้นของสารเคมี หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
- IR คือ อัตราการรับเข้าทางการสัมผัสทางปาก
- FI คือ สัดส่วนการสัมผัสของเล่นที่ปนเปื้อนทางปากทั้งหมด
- EF คือ ความถี่ของการรับสัมผัส หน่วยวันต่อปี
- ED คือ ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
- BW คือ น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
- AT คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

ตาราง 2 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการกิน

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
I	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการ รับประทาน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
C	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
IR	อัตราการรับเข้าทางการสัมผัสทางการ รับประทาน	0.0002 กิโลกรัมต่อวัน
FI	สัดส่วนของสารปนเปื้อนที่ถูกกลืนเข้าสู่ ร่างกายเมื่อสัมผัสกับสารปนเปื้อน	สำหรับเด็ก เท่ากับ 0.4 สำหรับผู้ใหญ่ เท่ากับ 0.1
EF	จำนวนครั้งที่สัมผัสกับสารปนเปื้อนใน ช่วงเวลาหนึ่ง	365 วันต่อปี
ED	ระยะเวลาของการรับสัมผัส	70 ปี ใช้สำหรับสารก่อมะเร็ง 30 ปี ใช้สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง
BW	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้สัมผัส	ผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม เด็กช่วงอายุ 2-9 ปี 21.9 กิโลกรัม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี	สำหรับสารก่อมะเร็ง = 70×365 วันต่อปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = ED×365 วันต่อปี

ที่มา : Watts, 1998

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางการหายใจ โดยใช้สูตร

$$I_{inh} = \frac{C_{inh} \times CR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ I คือ ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ หน่วยมิลลิกรัมต่อ
กิโลกรัมต่อวัน

C_{inh} คือ ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

CR คือ อัตราการหายใจ หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ET คือ เวลาในการสัมผัส หน่วยชั่วโมงต่อวัน

ED คือ ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี

BW คือ น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม

AT คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

ตาราง 3 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการหายใจ

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
I	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการ รับประทาน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
C	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
CR	อัตราการหายใจ	ผู้ใหญ่ 0.83 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เด็กช่วงอายุ 2-6 ปี 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ET	เวลาในการสัมผัส	เวลาที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ปนเปื้อน
EF	ความถี่ของการรับสัมผัส	จำนวนวันที่ปฏิบัติงาน
ED	ระยะเวลาของการรับสัมผัส	70 ปี ใช้สำหรับสารก่อมะเร็ง 30 ปี ใช้สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง
BW	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้สัมผัส	ผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม เด็กช่วงอายุ 2-9 ปี 21.9 กิโลกรัม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี	สำหรับสารก่อมะเร็ง = 70×365 วันต่อปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = $ED \times 365$ วันต่อปี

ที่มา : Watts, 1998

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางผิวหนัง โดยใช้สูตร

$$I_{\text{der}} = \frac{C_{\text{der}} \times SA \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

เมื่อ I คือ ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการดูดซึมทางผิวหนัง
หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

C_{der} คือ ความเข้มข้นของสารเคมีที่สัมผัสทางผิวหนัง หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

SA คือ พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัสกับสารเคมี หน่วยตารางเซนติเมตร

ABS คือ ค่าการดูดซับสารเคมีทางผิวหนัง

EF คือ ความถี่ของการรับสัมผัส หน่วยวันต่อปี

ED คือ ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี

CF คือ conversion factor

BW คือ น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม

AT คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

ตาราง 4 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางผิวหนัง

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
I	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการ รับประทาน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
C	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
SA	พื้นที่ผิวหนังสัมผัสกับสารเคมี	ผู้ใหญ่ ชาย 19400 หญิง 16900 ตารางเซนติเมตร เด็ก 3-6 ปี ชาย 7280 หญิง 7110 ตารางเซนติเมตร
ET	เวลาในการสัมผัส	แล้วแต่กรณี
EF	ความถี่ของการรับสัมผัส	แล้วแต่กรณี
ED	ระยะเวลาของการรับสัมผัส	70 ปี ใช้สำหรับสารก่อมะเร็ง 30 ปี ใช้สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง
BW	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้สัมผัส	ผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม เด็กช่วงอายุ 2-9 ปี 21.9 กิโลกรัม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี	สำหรับสารก่อมะเร็ง = 70×365 วันต่อปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = $ED \times 365$ วันต่อปี

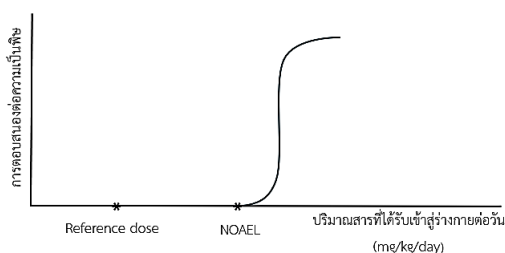
ที่มา : Watts, 1998

2.4.3. การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity assessment)

การประเมินความเป็นพิษสามารถจำแนกตามลักษณะของความเป็นพิษได้ 2 ประเภท คือ สำหรับความเป็นอันตรายเรื้อรังแบบไม่ก่อมะเร็งและความเป็นอันตรายเรื้อรังแบบก่อมะเร็ง ซึ่งการประเมินความเป็นพิษจะใช้ค่า reference dose และ slope factor ตามลำดับ

2.4.3.1 ความเป็นพิษของสารไม่ก่อมะเร็ง

ค่าความเป็นพิษของสารเคมีชนิดที่ไม่เป็นสาเหตุของมะเร็งแสดงในรูปของค่า Threshold หากมนุษย์สัมผัสเกินกว่าค่านี้ก็จะส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ ค่า Threshold เรียกว่า reference dose ซึ่งเป็นค่าที่ร่างกายรับสารเคมีเข้าไปต่อวัน ถ้าร่างกายรับสารเคมีเข้าไปโดยไม่เกินค่าดังกล่าวนี้ก็จะไม่เกิดโทษต่อร่างกาย ค่า RfD ของสารเคมีแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป และเป็นค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้สำหรับอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกาย ตัวอย่างเช่น ระบบประสาท ระบบหัวใจ เป็นต้น (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2551)



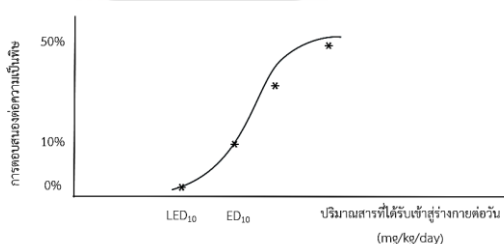
ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเคมีที่ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง

ที่มา : ปรับปรุงจาก กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2551

2.4.3.2 ความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง

ค่าความเป็นพิษของสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็งอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเคมีกับการตอบสนองของร่างกาย (dose-response relationships) ค่าความชันของกราฟจะแสดงให้เห็นถึงพิษของสารเคมีที่มีแนวโน้มทำให้เกิดมะเร็ง เรียกว่า ค่า slope factor (SF) หมายถึงค่าขอบเขตจำกัดบน (Upper Confidence Limit) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของความชันบนกราฟ ซึ่งมีหน่วยเป็นขนาดของสารเคมีที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นต้น (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2551)

ในกรณีที่ข้อมูลมีเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและการก่อให้กำเนิดมะเร็งเป็นแบบ non – linear จะกำหนดจุดมาตรฐานในการอนุมานผล (Standard point of departure for extrapolation) ที่เรียกว่าค่า LED_{10} ซึ่งเท่ากับค่าล่างที่ 95% confidence limit ของขนาด (dose) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น 10% โดยส่วนใหญ่ LED_{10} จะเป็นค่าเดียวกับ NOAEL



ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเคมีก่อมะเร็งกับการตอบสนองของร่างกาย

ที่มา : ปรับปรุงจาก กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2551

ตาราง 5 ค่า Reference dose และ Slope factor ของโลหะหนัก

โลหะหนัก	ทางการกิน (oral)		ทางการหายใจ (inhalation)		ทางผิวหนัง (dermal)	
	RfD	SF	RfD	SF	RfD	SF
	mg/kg-day	kg-day/mg	mg/kg-day	kg-day/mg	mg/kg-day	Kg-day/mg
As	3.0×10^{-4}	1.5	-	50	1.23×10^{-4}	3.66
Cd	5.0×10^{-4}	-	pending	6.1	1.0×10^{-5}	-
Cr	3.0×10^{-3}	-	pending	41	6.0×10^{-5}	-
Ba	2.0×10^{-1}	-	-	-	1.4×10^{-2}	-
Hg	3.0×10^{-4}	none	-	-	2.1×10^{-5}	-
Pb	3.5×10^{-3}	-	-	-	5.25×10^{-4}	-
Ni	2.0×10^{-2}	-	-	-	5.4×10^{-3}	-
Zn	0.3	-	-	-	6×10^{-2}	-
Mn	0.14	-	1.14×10^{-4}	-	1.84×10^{-3}	-
Se	5.0×10^{-3}	none	-	-	2.2×10^{-3}	-

none หมายถึง ไม่มีการกำหนดค่า เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอหรือไม่ได้ประเมินค่า

pending หมายถึง อยู่ระหว่างการพิจารณา

ที่มา : Watts, 1998, US.EPA, 2011 และ US.EPA, 2003

2.4.4. การประเมินลักษณะความเสี่ยง (Risk assessment)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการประเมินความเสี่ยง เพื่อหาค่าดัชนีความเสี่ยงจากการสัมผัสสารปนเปื้อนที่เป็นสาเหตุให้ก่อมะเร็งและไม่เป็นสาเหตุให้ก่อมะเร็ง หาค่าดัชนีความเสี่ยงได้ดังนี้

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) โดยใช้สูตร

$$HI = \frac{I}{RfD}$$

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง (carcinogen) โดยใช้สูตร

$$R_c = I \times SF$$

เมื่อ HI คือ ค่าดัชนีอันตราย
I คือ ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายในเส้นทางต่างๆ หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

RfD	คือ	reference dose หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
Rc	คือ	ความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง
SF	คือ	slope factor หน่วยกิโลกรัมต่อวันต่อมิลลิกรัม

สำหรับความเสี่ยงจากสารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง สามารถใช้ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ผลรวมของ Hazard quotient (HQ) ของสารเคมีทั้งหมดที่แต่ละบุคคลสัมผัส เป็นปริมาณของสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายในเส้นทางต่างๆ ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ต่อค่า reference dose ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน โดยทั่วไปค่าดัชนีอันตรายจะกำหนดให้มีค่าที่อยู่ในระดับยอมรับได้ ให้มีค่าน้อยกว่า 1 หมายถึง เป็นค่าที่ผู้ที่ได้รับสารพิษอาจจะไม่แสดงการตอบสนองต่อสารพิษในเชิงลบ

ตาราง 6 ระดับความเสี่ยงตามค่าประเมิน Hazard quotient (HQ)

ค่า HQ	ระดับความเสี่ยง
< 0.1	ไม่มีดัชนีความเสี่ยง
0.1-1.0	ความเสี่ยงต่ำ
1.1-10	ความเสี่ยงปานกลาง
> 10	ความเสี่ยงสูง

ที่มา : ปรับปรุงจาก กรมควบคุมโรค, 2552

สำหรับความเสี่ยงจากสารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบก่อมะเร็ง สามารถใช้ค่าความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk : Rc) ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสสารพิษที่เป็นสาเหตุของการก่อให้เกิดมะเร็ง โดยค่าที่ยอมรับได้กำหนดให้อยู่ระหว่าง 10^{-4} ถึง 10^{-6}

2.5 ความสนใจในสีและรูปร่างรูปทรงของเด็ก

เด็กมักจะแสดงความสนใจในสิ่งต่าง ๆ รอบตัว โดยเฉพาะในเรื่องของสีและรูปร่างรูปทรง ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการพัฒนาความสามารถในการรับรู้และการเรียนรู้ ความสนใจในสีและรูปร่างไม่เพียงแต่สะท้อนถึงความชอบส่วนบุคคล แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นจินตนาการและการสร้างสรรค์ของเด็ก การเลือกของเล่นที่มีสีสันสดใสและรูปทรงที่น่าสนใจจึงสามารถช่วยส่งเสริมพัฒนาการทางอารมณ์และสังคมของเด็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.1 ความสนใจในรูปร่างรูปทรงของเด็ก

ของเล่นเป็นวัตถุที่เด็กเลือกตามความชอบและความสามารถในการรับรู้ทางประสาทสัมผัสของตนเอง เด็กๆ มักจะแสดงความสนใจในของเล่นประเภทต่างๆ โดยเฉพาะของเล่นที่มีลักษณะเป็นรูปร่างรูปทรง (Figurative toys) และของเล่นรูปร่างรูปทรงที่สามารถโต้ตอบได้ (Figurative-interactive toys) เนื่องจากของเล่นประเภทนี้สามารถดึงดูดความสนใจของเด็กได้ดี และมีคุณสมบัติที่ช่วยกระตุ้นความสนใจและพัฒนาทักษะต่างๆ ของเด็ก

ซึ่งจากการศึกษาพฤติกรรมความสนใจในรูปร่างรูปทรงของเด็กของ Artemova, 2023 ได้อธิบายคุณลักษณะของของเล่นที่เด็กสนใจ ดังนี้

1. ของเล่นที่มีเสียง: ของเล่นที่มีเสียงสัตว์ รถยนต์ หรือรถแทรกเตอร์
2. ของเล่นที่มีดนตรีประกอบ: ของเล่นที่มีดนตรีประกอบช่วยกระตุ้นให้เด็กฟังและเลียนแบบ เช่น ของเล่นเปียโน เป็นต้น
3. ของเล่นที่มีสีสันและความสว่าง: สีของของเล่นมีบทบาทสำคัญในการดึงดูดความสนใจของเด็ก โดยสีที่สดใสจะช่วยให้เด็กสนใจตามด้วยขนาด รูปร่าง หรือลวดลายของของเล่น เช่น รถตำรวจ สัตว์ ตุ๊กตา เป็นต้น
4. ของเล่นที่มีการเคลื่อนไหว: ของเล่นที่มีการเคลื่อนไหวรวมถึงของเล่นที่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวได้ เช่น รถยนต์ เฮลิคอปเตอร์ ลูกกลิ้ง รถเข็นตุ๊กตา และลูกบอล เป็นต้น ซึ่งช่วยกระตุ้นให้เด็กสนใจและมีส่วนร่วมมากขึ้น
5. ของเล่นที่มีการใช้งานหลากหลาย: ของเล่นที่สามารถเปลี่ยนรูปแบบหรือมีฟังก์ชันหลากหลาย เช่น ของเล่นหุ่นยนต์ เป็นต้น ซึ่งช่วยให้เด็กได้ใช้จินตนาการและสร้างสรรค์

2.5.2 ความสนใจในสีของเด็ก

ความชอบสีของเด็กเล็กไม่ได้มีแค่การเลือกสีตามความชอบส่วนตัวเท่านั้น แต่ยังมีอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมรอบตัวอีกด้วย ตัวอย่างเช่น เด็กๆ มักชอบสีของวัตถุในธรรมชาติอย่างต้นไม้ ซึ่งมีสีเขียวและสีน้ำตาล โดยความชอบเหล่านี้เชื่อมโยงกับการที่เด็กจินตนาการถึงฤดูกาล เช่น ฤดูใบไม้ผลิหรือฤดูร้อนที่มีสีสันสดใสของดอกไม้ เช่น ชมพู แดง ขาว เป็นต้น ซึ่งทำให้สีเหล่านี้

เป็นที่นิยมในเด็ก ทั้งนี้แนวคิดนี้ได้บ่งชี้ว่าความชอบสีของเด็กมักมีความสัมพันธ์กับเพศ โดยเด็กผู้หญิงมักจะชอบสีสดใส เช่น สีชมพู สีเหลือง และสีฟ้า เป็นต้น ในขณะที่เด็กผู้ชายจะชอบสีที่เข้มกว่า เช่น สีน้ำเงิน สีแดง และสีเขียว เป็นต้น ความชอบสีเหล่านี้ยังส่งผลต่อการเลือกสีของสิ่งของในชีวิตประจำวัน เช่น เสื้อผ้า ของเล่น และเครื่องใช้ต่างๆ เป็นต้น ความชอบและไม่ชอบของเด็กที่มีต่อสีต่าง ๆ มักสะท้อนถึงความรู้สึกและการรับรู้ของพวกเขาต่อสิ่งแวดล้อมรอบตัว ซึ่งสีที่เด็กไม่ชอบมักเป็นสีที่ให้ความรู้สึกหม่นหมองหรือไม่ดึงดูดใจ นอกจากนี้ สีที่เด็กในช่วงวัย 48-84 เดือนไม่ชอบมากที่สุด ได้แก่ สีดำ สีน้ำตาล สีเขียว และสีส้มอ่อน เนื่องจากสีเหล่านี้มักให้ความรู้สึกที่บึ้งไม่สดใส และไม่กระตุ้นความสนใจของเด็ก สียังอาจเชื่อมโยงกับสิ่งที่เด็กเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น สีดำและสีน้ำตาลที่อาจทำให้รู้สึกถึงความมืดหรือความหม่นหมอง ขณะที่สีเขียวและสีส้มอ่อนอาจไม่ให้ความรู้สึกสดใสและอบอุ่นเท่ากับสีอื่นๆ เป็นต้น สุดท้ายความชอบสีของเด็กอาจมีผลต่อการรับรู้ ต่อวัตถุและสิ่งต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นของเล่น เสื้อผ้า หรือธรรมชาติรอบตัว ซึ่งจะพัฒนาขึ้นตามการเติบโตและสภาพแวดล้อมของเด็ก (Özcan & Tunceli., 2023)

2.6 การเลือกของเล่นที่เหมาะสมตามวัยของเด็ก

ของเล่นเป็นสิ่งของที่สร้างขึ้นมาจากวัสดุต่างๆที่มีการออกแบบให้สามารถจับต้องได้อย่างปลอดภัย ซึ่งช่วยให้เด็กเกิดความสุขเพลิดเพลิน อีกทั้งการเล่นของเล่นยังช่วยเสริมสร้างพัฒนาการของเด็กแต่ละช่วงวัย และช่วยให้เด็กได้ฝึกทักษะในการคิดสร้างสรรค์ อย่างไรก็ตาม ของเล่นสำหรับเด็กควรมีความปลอดภัยและเหมาะสมกับพัฒนาการตามวัยของเด็ก (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2552) ดังนั้นการเลือกของเล่นสำหรับเด็กควรมีวิธีเลือกดังนี้

วัยแรกเกิดถึง 1 ปี เป็นวัยของการเริ่มเรียนรู้และเริ่มมีพัฒนาการทักษะต่างๆ ดังนั้นของเล่นต้องกระตุ้นให้มีการพัฒนาการสัมผัสที่ดีขึ้นทั้งการมองเห็น การได้ยินเสียง และการสัมผัสด้วยมือ เช่น ของเล่นที่มีรูปทรง ของเล่นเขย่ามือ หนังสือภาพที่มีความหนาหนา ทนทาน ตีกลิ้งได้ เป็นต้น

อายุมากกว่า 1 ปี – 3 ปี เด็กในวัยนี้เริ่มมีพัฒนาการของอวัยวะส่วนต่างๆมากขึ้น รวมทั้งทักษะของการใช้อวัยวะ เด็กวัยนี้จึงสนุกสนานชอบเคลื่อนไหว ปีนป่าย ดังนั้นของเล่นต้องมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ของเล่นที่มีหลายๆ ชิ้นในชุดเดียวกัน หรือของเล่นที่มีความเคลื่อนไหวได้ เช่น ลูกบอลของเล่นเป่าลม รถล้อเล็กๆ ที่ไม่สูงจนเกินไป ของเล่นเลียนแบบที่สามารถหมุนรอบตัวเองหรือเคลื่อนไหวได้ ชุดครัว ชุดเครื่องมือช่าง ชุดหม้อจำลอง ของเล่นที่ลากจูงได้ รถนั่งสำหรับเข็นและลากจูง การเล่นในบ่อทรายด้วยอุปกรณ์และถังที่มีน้ำหนักเบาและทนทานต่อการดึงและการกระแทก

อายุมากกว่า 3 ปี – 5 ปี เด็กในวัยนี้นอกจากจะสนุกสนานชอบวิ่ง ปีนป่ายแล้วยังมีพฤติกรรมเลียนแบบผู้ใหญ่ จึงใช้จินตนาการกับของเล่นได้ดี ของเล่นจึงควรมีทั้งของเล่นสำหรับการปีนป่าย และของเล่นที่เป็นของจำลองจากชีวิตจริง เช่น รถยนต์จำลองต่างๆ ตุ๊กตาจำลอง เหมือนคนที่มีเสื้อผ้าจำลอง ตุ๊กตาสัตว์จำลอง เช่น ตุ๊กตาวัว ตุ๊กตารูปสัตว์ต่างๆ ชุดละคร บ้านจำลอง โทรศัพท์จำลอง เป็นต้น นอกจากนี้เด็กในวัยนี้จะมีการพัฒนาทักษะความจำต่างๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการพัฒนาของสมองและระบบประสาทที่ดี ของเล่นจึงควรมีเกมแบบง่ายๆ ที่เริ่มมีตัวเลขไม่ซับซ้อน และของเล่นที่ช่วยเสริมฝึกวิธีคิด เช่น เกมต่อภาพ เกมภาพปริศนา ภาพระบายสี อุปกรณ์ศิลปะเพื่อฝึกการปั้นรูปต่างๆ เช่น ดินน้ำมัน เป็นต้น

อายุมากกว่า 5 ปี - 9 ปี เด็กในวัยนี้เป็นวัยเรียนเบื้องต้น จะมีความคิดเป็นของตัวเองสูงขึ้น เริ่มเข้าสังคมมากขึ้น อยากรู้ อยากเห็นเรื่องราวรอบตัว ของเล่นจึงควรมีลักษณะส่งเสริมความคิด อารมณ์และทักษะต่างๆ เช่น อุปกรณ์ทดลองทางวิทยาศาสตร์ เกมปริศนา หมากรุก หมากระดาน เกมภาพต่อจิ๊กซอว์ อุปกรณ์ศิลปะ สีเทียน สีน้ำ ดินน้ำมัน เป็นต้นนอกจากนี้เด็กวัยนี้จะมีความคล่องแคล่วสูง ควรเริ่มฝึกขี่จักรยาน 2 ล้อ สเก็ตล้อ อุปกรณ์กีฬา วิดีโอเกมส์ เกมคอมพิวเตอร์ต่างๆ

อายุมากกว่า 9 ปี - 12 ปี เด็กในวัยนี้เริ่มพัฒนาเข้าสู่วัยรุ่น จึงมีความเป็นตัวของตัวเองสูงขึ้น จะเลือกทำและเลือกเล่นเฉพาะที่ตัวเองสนใจ ดังนั้นของเล่นที่เหมาะสมสำหรับวัยนี้ควรเป็นเกมที่ท้าทายความคิด เช่น การต่อชิ้นส่วนของเล่นขนาดเล็ก เกมกระดานต่างๆ วิดีโอเกมส์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้วัยนี้มักสนใจการเล่นกีฬา มีของเล่นตามแฟชั่น มีของเล่นสะสม มีการละเล่นเป็นหมู่คณะอีกด้วย

อายุ 12 ปีขึ้นไป เด็กในวัยนี้จะมีความสนใจใกล้เคียงผู้ใหญ่ เริ่มสนใจเกี่ยวกับของเล่นที่มีความคิดซับซ้อนมากขึ้น เช่น เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ วิดีโอเกมส์ การสะสมของเล่น เช่น สะสมตุ๊กตา สะสมรถยนต์คันเล็ก เป็นต้น นอกจากนี้เด็กยังสนใจการเล่นกีฬาต่างๆ ดังนั้นควรระวังของเล่นที่มีความคล้ายคลึงกับอาวุธจริง เช่น ปืน มีด ดาบ ลูกดอก ระเบิด พลุ ดอกไม้ไฟ เป็นต้น

2.7 มาตรการความปลอดภัยสำหรับเด็ก

มาตรการความปลอดภัยสำหรับเด็กในประเทศไทยจะมีหน่วยงานภาครัฐในการกำกับดูแลและกำหนดมาตรการความปลอดภัย ซึ่งก็คือสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และสำนักคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค (สคบ.) ซึ่งของเล่นสำหรับเด็กที่วางจำหน่ายในประเทศไทยจำเป็นต้องมีการรับรองมาตรฐานเพื่อความปลอดภัยและคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันที่มีการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศที่อาจไม่มีมาตรฐานที่เหมาะสม การได้รับเครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคว่าของเล่นนั้นได้ผ่านการตรวจสอบและมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่กำหนด

2.7.1 เครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในประเทศไทย

เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไป คือ เครื่องหมายที่ สมอ. ให้กับผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ เพื่อเป็นการรับรองว่า มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ในประเภทนั้นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร วัสดุสำนักงาน เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น โดยผู้ผลิตสามารถยื่นขอการรับรองคุณภาพนี้ได้ตามความสมัครใจ เพื่อเป็นหลักประกัน และเครื่องหมายยืนยันให้กับผู้บริโภคว่า ผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีคุณภาพเหมาะสมกับราคา และมีความปลอดภัยต่อการใช้ รวมถึงเป็นแนวทางให้ผู้ผลิตในการพัฒนาและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ซึ่งในการศึกษานี้มุ่งเน้นที่มาตรฐานความปลอดภัยในของเล่นเด็ก ดังนั้นสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้มีลักษณะ ดังนี้

1. เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไป



ภาพประกอบ 4 เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไป

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เครื่องหมายรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ สมอ. กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์นั้นไว้ ซึ่งผู้ผลิตสามารถยื่นขอการรับรองคุณภาพโดยสมัครใจเพื่อการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานและหลักประกันให้กับผู้บริโภคหรือผู้ซื้อผลิตภัณฑ์นั้นที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยคุ้มค่า

"เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไป" เป็นเครื่องหมายรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ สมอ. กำหนด มาตรฐานของผลิตภัณฑ์นั้นไว้แล้ว ซึ่งผู้ผลิต(ในประเทศไทย) สามารถยื่นขอการรับรองคุณภาพโดยสมัครใจ (มาตรฐานทั่วไป) เพื่อการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานและหลักประกันให้กับผู้บริโภคหรือผู้ซื้อว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพ มีความปลอดภัย คุ้มค่า สมราคา เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารวัสดุก่อสร้าง วัสดุสำนักงาน เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

2. เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ



ภาพประกอบ 5 เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เครื่องหมายที่แสดงบนผลิตภัณฑ์ที่มีกฎหมาย กำหนดให้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ผู้ประกอบการที่จะต้องผลิต นำเข้า และจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐานเท่านั้น เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภคและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่เศรษฐกิจในประเทศ

"เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ" เป็นเครื่องหมายรับรองผลิตภัณฑ์ ที่กฎหมายกำหนดให้ ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน และใช้ทั้งกับผู้ผลิตทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและป้องกันความเสียหาย โดยกฎหมายบังคับผู้ผลิต ผู้นำเข้าและผู้จำหน่ายต้องผลิต นำเข้า และจำหน่ายแต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตาม มาตรฐานแล้วเท่านั้น ซึ่งจะต้องมีเครื่องหมายมาตรฐานบังคับ ติดแสดงไว้ทุกหน่วยเพื่อ แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้น ได้ผ่านการตรวจสอบรับรองแล้วตามกฎหมาย เช่น สายไฟฟ้า บัลลัสต์ ผงซักฟอก ท่อพีวีซี ผลิตภัณฑ์ เหล็ก ถังดับเพลิง ของเล่นเด็ก หมวกกันน็อค เป็นต้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นสำหรับเด็ก เป็นการบ่งบอกการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของวัสดุที่ใช้ ดังนั้นของเล่นจะต้องมีการติดฉลากที่ชัดเจนและครอบคลุม ซึ่งประกอบด้วย คำเตือน และวิธีการเล่นอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ของเล่น ฉลากคำเตือนควรระบุถึงความเสี่ยงหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้น เช่น อันตรายจากชิ้นส่วนเล็กๆ ที่อาจทำให้เด็กสำลักหรือการใช้ของเล่นในลักษณะที่ผิดวิธี ขณะที่ วิธีการเล่นจะต้องอธิบายขั้นตอนการใช้งานที่ถูกต้อง เพื่อให้เด็กและผู้ปกครองเข้าใจวิธีการเล่นที่ปลอดภัย การติดฉลากจะช่วยให้เกิดการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับอายุของเด็ก

สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นสำหรับเด็กจะต้องเป็นเครื่องหมายมาตรฐานบังคับ และมีหมายเลข มอก. กำกับตามกฎหมาย สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นสำหรับเด็กที่ใช้ในปัจจุบัน คือ มอก.685-2562



มอก. 685-2562

ภาพประกอบ 6 เครื่องหมายมาตรฐานบังคับสำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นสำหรับเด็ก

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.7.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับของเล่นในไทย

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2280 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของเล่น เล่ม 1 (แก้ไขครั้งที่ 1) ลงวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2540 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของเล่น : เฉพาะด้านความปลอดภัย เล่ม 1 ข้อกำหนด มาตรฐานเลขที่ มอก. 685 เล่ม 1-2562 ขึ้นใหม่ ซึ่งเป็นเล่มหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของเล่น: เฉพาะด้านความปลอดภัย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2564) ซึ่งมีทั้งหมด 2 เล่ม คือ (1) เล่ม 1 ข้อกำหนด และ (2) เล่ม 2 วิธีทดสอบและวิธีวิเคราะห์ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบและวิเคราะห์ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ผลิตของเล่นสำหรับเด็กได้และที่ห้ามใช้ผลิตของเล่นสำหรับเด็ก

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดวัสดุที่ใช้ผลิตของเล่นสำหรับเด็กพร้อมข้อกำหนด และได้กำหนดวัสดุที่ห้ามใช้ผลิตของเล่นสำหรับเด็ก (สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, 2552) ดังนี้

1.1 วัสดุที่ใช้ผลิตของเล่นสำหรับเด็ก

ต้องเป็นวัสดุใหม่หรือเป็นเศษวัสดุใหม่ที่ได้จากระบวนการทำผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน เช่น เศษพลาสติกจากการทำชิ้นงาน เศษเส้นใยสิ่งทอ เศษผ้า และต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายหรือสิ่งอื่นใดในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

1.1.1 พลาสติก ต้องทำจากเรซิน ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน หรือทำจากเศษพลาสติกที่เหลือ จากการทำชิ้นงานอื่นแต่ไม่เคยใช้งานมาก่อนและปราศจากสารเคมีหรือวัตถุใดใดที่เป็นอันตรายหรือสิ่งอื่นใดในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ สำหรับวัตถุเจือปน เช่น ผงสี ตัวคงสภาพ ที่ใช้ผสมเพื่อประโยชน์ในการทำ ต้องไม่มากจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือทำให้เกิดผลเสียต่อการใช้งาน

1.1.2 ไม้ ต้องปราศจากราหรือรอยที่เกิดจากการทำลายของปลวกหรือแมลงอื่นๆ และ ต้องไม่อบหรืออัดด้วยสารรักษาเนื้อไม้ที่อาจเป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

1.1.3 แก้ว ห้ามใช้แก้วทำของเล่นสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี ยกเว้น ลูกแก้วในของเล่นที่เขย่าให้เกิดเสียง ให้ใช้แก้วทำของเล่นสำหรับเด็กอายุตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไปได้ โดยเฉพาะส่วนที่จำเป็นในการใช้งาน เช่น กล้องส่องทางไกล และต้องหนาไม่น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร

1.1.4 วัสดุอัดใส่ ต้องปราศจากเศษวัสดุหรือชิ้นวัตถุใดใดๆ ที่แข็ง แหลมคม หรืออื่นๆที่อาจเป็นอันตรายต่อเด็ก ต้องไม่มีรา แมลง ชิ้นส่วนของแมลง มูลสัตว์ หรือตัวอ่อนของแมลง วัสดุอัดใส่ที่มีลักษณะเป็นเม็ด (granule) ขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ต้องหุ้มห่อ 2 ชั้น ก่อนทำเป็นของเล่น

1.1.5 สิ่งทอ ต้องเป็นชนิดที่มีการติดไฟต่ำ เปลวไฟที่เกิดขึ้นต้องดับได้เองภายในเวลา 5 วินาที หรือบริเวณที่เกิดการลุกไหม้เป็นเวลา 5 วินาที ต้องมีความยาวน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร

1.1.6 เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวที่ใช้ร่วมกับของเล่น ภายในของ เล่นหรือแยกอยู่ต่างหากต้องมีคำเตือนไว้ที่ฉลาก

1.2 วัสดุที่ห้ามใช้ผลิตของเล่นสำหรับเด็ก

1.2.1 วัสดุที่มีการขยายตัวเพิ่มขนาดผิดปกติเมื่อสัมผัสน้ำ

1.2.2 เซลลูโลสยัดหรือวัสดุอื่นที่มีสมบัติการติดไฟเหมือนเซลลูโลสยัด ยกเว้นที่เป็นส่วนผสมในสี กาว วารนิช ลูกเทเบิลเทนนิส หรือลูกบอลที่ใช้สำหรับเล่นกีฬาในลักษณะเดียวกัน

1.2.3 วัสดุที่ผิวหน้าวาบไฟได้ (flash effects) เมื่อใกล้เปลวไฟ

1.2.4 ของแข็งไวไฟ

1.2.5 ก๊าซหรือเจลที่ติดไฟได้และของเหลวไวไฟ

1.2.6 สารที่เกิดความร้อนหรือติดไฟได้เองที่อุณหภูมิห้อง

1.2.7 สารที่เกิดก๊าซที่ติดไฟได้เมื่อสัมผัสน้ำหรือความชื้นในอากาศ

1.2.8 แก้ว เฉพาะกรณีของเล่นสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี กรณีของเล่นสำหรับเด็กอายุ 3 ปีขึ้นไปให้ใช้แก้วได้เฉพาะที่ทำเป็นลูกแก้วหรือส่วนที่จำเป็นในการใช้งานของของเล่น

1.2.9 น้ำยาหรือสารเคมีใช้อาบหรืออัดเพื่อรักษาเนื้อไม้ที่เป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมว่าด้วยวัตถุอันตราย

ของเล่นทั่วไปตามท้องตลาดมักไม่มีมาตรฐานความปลอดภัยที่เพียงพอ ซึ่งเป็นปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและสุขภาพของเด็กอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ของเล่นเด็กที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไปมักมีการปนเปื้อนโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของเด็ก (Gul et al., 2022) เด็กเล็กอาจได้รับสัมผัสทางปากกับโลหะหนักที่เป็นสารเติมแต่งในของเล่นพลาสติกที่มีราคาต่ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะสมในร่างกายหรือการก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพในระยะยาว

2.8 รูปแบบการปนเปื้อนโลหะหนักในของเล่น

การปนเปื้อนของโลหะหนักในของเล่นเด็กสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายแหล่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต การเคลือบผิว และวัสดุที่ใช้ในการทำของเล่น โลหะหนักที่มักจะปนเปื้อนในของเล่นเด็กจะมีหลักๆอยู่ 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู ตะกั่วปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซีลีเนียม ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ อาจมีการปนเปื้อนในของเล่นในปริมาณสูง และอาจทำให้เด็กได้รับการสัมผัสโลหะหนักจากการนำของเล่นเข้าปาก หรือใช้มือสัมผัสของเล่นแล้วนำมือเข้าปากได้ โดยรายละเอียดการปนเปื้อนในของเล่นสามารถจำแนกได้ตามแต่ละโลหะหนักดังตารางที่ 7

ตาราง 7 รูปแบบการปนเปื้อนโลหะหนักในของเล่น

โลหะหนัก	การปนเปื้อนในของเล่น
สารหนู (As)	สารย้อมสี สีเคลือบ
ตะกั่ว (Pb)	สี สีเคลือบ ชิ้นส่วนพลาสติก ชิ้นส่วนโลหะ
ปรอท (Hg)	สารเคลือบเงา ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
แคดเมียม (Cd)	สี สารเคลือบ ชิ้นส่วนพลาสติก ชิ้นส่วนโลหะ
โครเมียม (Cr)	สีเคลือบ หมึกพิมพ์ ชิ้นส่วนชุบโลหะ
แบเรียม (Ba)	สี สารเคลือบเงา แก้ว เซรามิก
พลวง (Sb)	สารเคลือบ ชิ้นส่วนสิ่งทอ สารหน่วงไฟในพลาสติก
ซีลีเนียม (Se)	สารเคลือบแก้ว ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: Joint Research Centre: Institute for Reference et al., 2012

2.9 วิธีทดสอบและวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 685-2562 เล่ม 2 ได้กำหนดวิธีการทดสอบ และข้อกำหนดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในของเล่น เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยและความสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดสำหรับผู้บริโภค

2.9.1 การเลือกส่วนที่ใช้ทดสอบ

ในการทดสอบของเล่นต้องใช้ส่วนที่สัมผัสกับผู้เล่น โดยชิ้นส่วนที่ใช้ทดสอบต้องมาจากวัสดุชนิดเดียวกันและมีสีเดียวกันจากของเล่นชิ้นเดียวกันเท่านั้น ไม่สามารถนำชิ้นส่วนจากของเล่นหลายชิ้นมารวมกันได้ หากชิ้นส่วนที่ทดสอบมีวัสดุหรือสีที่ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ทางกายภาพ สามารถใช้ชิ้นส่วนที่มีวัสดุหลากหลายชนิดหรือหลายสีในการทดสอบได้ ทั้งนี้หากชิ้นส่วนที่ใช้ทดสอบมีน้ำหนักน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม ไม่ต้องทำการทดสอบ

2.9.2 การเตรียมและสกัดส่วนที่ใช้ในการทดสอบ

1. สี สารเคลือบ วาร์นิช แล็กเกอร์ หมึกพิมพ์ พอลิเมอร์ และสารเคลือบอื่น

ขูดสารเคลือบออกจากตัวอย่างของเล่นและบดให้ละเอียดให้ได้มวลไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มิลลิเมตร (sieve mesh) ผสมส่วนที่ใช้ทดสอบกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.7 โมลต่อลิตร จำนวน 50 เท่าของมวลส่วนที่ใช้ทดสอบ หากส่วนที่ใช้ทดสอบมีน้ำหนัก 10 มิลลิกรัม ถึง 100 มิลลิกรัม ให้ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.7 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าของผสม 1 นาที และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้มีค่าระหว่าง 1.0 – 1.5 เขย่าของผสมต่อเนื่อง นาน 1 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองของแข็งออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรอง ทั้งนี้หากเก็บสารละลายนานกว่า 1 วัน ก่อนการวิเคราะห์ต้องปรับให้เสถียรโดยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นประมาณ 1 โมลต่อลิตร

2. วัสดุพอลิเมอร์ วัสดุอื่นที่คล้ายพอลิเมอร์ และวัสดุลามิเนต

ตัดส่วนที่ใช้ทดสอบจากของเล่น โดยตัดส่วนที่บางที่สุดให้ได้มวลไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม ชิ้นทดสอบต้องไม่ถูกบีบอัดและมีขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร หากตัวอย่างของเล่นประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ควรตัดส่วนที่ใช้ทดสอบแยกตามชนิดของวัสดุ โดยแต่ละชนิดต้องมีมวลไม่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม สำหรับวิธีการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบจะดำเนินการโดยใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 1

3. กระดาษ และกระดาษแข็ง

ตัดส่วนที่ใช้ทดสอบจากกระดาษหรือกระดาษแข็งให้ได้มวลไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม หากตัวอย่างของเล่นประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดควรตัดส่วนที่ใช้ทดสอบแยกตามชนิด

ของวัสดุ โดยแต่ละชนิดต้องมีมวลไม่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม หรือมากกว่า กรณีที่กระดาษหรือกระดาษแข็งที่นำมาทดสอบเคลือบด้วยสี วาร์นิช แล็กเกอร์ หมึกพิมพ์ กาว และวัสดุเคลือบอื่นๆ ต้องนำไปทดสอบทั้งชิ้นโดยไม่แยกสารเคลือบออกจากตัวกระดาษหรือกระดาษแข็ง จากนั้นทำให้เปียกโดยนำไปแช่น้ำปริมาณ 25 เท่าของมวลส่วนที่ใช้ทดสอบเพื่อให้ได้ของผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.14 โมลต่อลิตร ปริมาณ 25 เท่าของมวลส่วนที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับวิธีการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบที่เหลือจะดำเนินการโดยใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 1

4. สิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยเทียม และเส้นใยสังเคราะห์

ตัดสิ่งทอส่วนที่ใช้ทดสอบจากของเล่นให้ได้มวลไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม ชิ้นทดสอบต้องไม่ถูกบีบอัดและมีขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร กรณีที่ตัวอย่างของเล่นประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดหรือมีหลายสีให้ตัดส่วนที่ใช้ทดสอบจากวัสดุต่างชนิดกันหรือหลายสีให้ได้มวลไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม สำหรับวิธีการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบจะดำเนินการโดยใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 1

5. วัสดุที่ทำจากแก้ว เซรามิก และโลหะ

ของเล่นและส่วนประกอบที่ไม่มีวัสดุทำจากแก้ว เซรามิก หรือโลหะในส่วนที่สัมผัสไม่ได้ ไม่จำเป็นต้องสกัดเพื่อหาปริมาณธาตุ อย่างไรก็ตาม หากของเล่นหรือส่วนประกอบเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กที่ทำจากแก้ว เซรามิก หรือโลหะ และสามารถสัมผัสได้ (ยกเว้นตะกั่วที่ใช้ในวงจรไฟฟ้า) จะต้องขูดสารเคลือบออกก่อน แล้วจึงนำไปสกัดโดยเติมน้ำละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.7 โมลต่อลิตร ให้ท่วมพอดี แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองของแข็งออกจากสารละลายด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ทั้งนี้หากเก็บสารละลายนานกว่า 1 วัน ก่อนการวิเคราะห์ต้องปรับให้เสถียรโดยการเติมน้ำละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นประมาณ 1 โมลต่อลิตร

6. ไม้ แผ่นไฟเบอร์ กระดาษ และหนัง

แยกส่วนที่ใช้ทดสอบจากของเล่นจำนวนไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม เตรียมตัวอย่างโดยเลือกใช้วิธีปฏิบัติตามข้อ 2 ข้อ 3 ข้อ 4 หรือ ข้อ 5 ตามความเหมาะสม หากตัวอย่างของเล่นประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ควรตัดส่วนที่ใช้ทดสอบแยกตามชนิดของวัสดุ โดยแต่ละชนิดต้องมีมวลไม่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม สำหรับวิธีการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบจะดำเนินการโดยเลือกใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 1 ข้อ 3 หรือ ข้อ 5 ตามความเหมาะสม

7. วัสดุที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ขีดเขียน สี รวมถึง ฟิงเกอร์เพนท์ วาร์นิช แล็กเกอร์ ผงเคลือบ และวัสดุอื่นที่คล้ายกันที่เป็นของแข็งหรือของเหลว

การเตรียมส่วนที่ใช้ทดสอบสำหรับวัสดุที่เป็นของแข็งให้แยกส่วนที่ใช้ทดสอบจากของเล่นจำนวนไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม โดยตัดส่วนที่ใช้ทดสอบเป็นชิ้นเล็กๆให้มีขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร โดยไม่ต้องบีบอัด หากวัสดุที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยจาระบี น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกัน ให้แยกสารโดยกระดาดแข็งโดยสกัดด้วยสารละลายนอร์มัลเฮปเทน ส่วนการเตรียมส่วนที่ใช้ทดสอบสำหรับวัสดุที่เป็นของเหลวให้แยกส่วนที่ใช้ทดสอบจากของเล่นจำนวนไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม อาจใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการแยกส่วนที่ใช้ทดสอบ กรณีที่อย่างของเล่นที่นำมาทดสอบมีวัสดุให้แยกส่วนที่ใช้ในการทดสอบจากวัสดุต่างชนิดกันเพื่อเป็นตัวแทนวัสดุนั้น โดยต้องมีมวลชนิดละไม่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม หรือมากกว่า หากวัสดุที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยจาระบี น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกัน ให้แยกสารโดยกระดาดแข็ง โดยสกัดด้วยสารละลายนอร์มัลเฮปเทน

การสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบสำหรับตัวอย่างที่ไม่มีจาระบี น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกันเป็นส่วนประกอบ ให้ผสมส่วนที่ใช้ทดสอบกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.7 โมลต่อลิตร จำนวน 50 เท่าของมวลส่วนที่ใช้ทดสอบ หากส่วนที่ใช้ทดสอบมีน้ำหนัก 10 มิลลิกรัม ถึง 100 มิลลิกรัม ให้ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกปริมาณ 5 มิลลิลิตร สำหรับวิธีการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบที่เหลือจะดำเนินการโดยใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 1

การสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบสำหรับตัวอย่างที่มีจาระบี น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกันเป็นส่วนประกอบ ให้นำส่วนที่เหลืออยู่บนกระดาดแข็งมาทำให้ยุ่ยด้วยน้ำกลั่น ปริมาณ 25 เท่าของมวลเดิมของส่วนที่นำมาทดสอบ เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.14 โมลต่อลิตร ปริมาณ 25 เท่าของมวลเดิมของส่วนที่นำมาทดสอบ สำหรับวิธีการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบที่เหลือจะดำเนินการโดยใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 1

8. วัสดุที่มีลักษณะยืดหยุ่น ดินปั้น และเจล

แยกส่วนที่ใช้ทดสอบจากของเล่นจำนวนไม่น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม โดยทำให้ดินปั้นหรือวัสดุที่ยืดหยุ่นเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร กรณีที่อย่างของเล่นที่นำมาทดสอบมีวัสดุให้แยกส่วนที่ใช้ในการทดสอบจากวัสดุต่างชนิดกัน หากวัสดุที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยจาระบี น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกัน ให้แยกสารโดยกระดาดแข็ง โดยสกัดด้วยสารละลายนอร์มัลเฮปเทน สำหรับการสกัดส่วนที่ใช้ทดสอบสำหรับตัวอย่างที่มีและไม่มีจาระบี น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายกันเป็นส่วนประกอบ จะดำเนินการโดยใช้วิธีการเดียวกันกับที่ระบุไว้ในข้อ 7

2.9.3 การปรับผลการทดสอบ

เมื่อได้ผลการทดสอบแล้วต้องนำผลการทดสอบมาปรับค่าเพื่อความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ที่กำหนด ซึ่งการปรับผลการทดสอบทำโดยการหักลบจากค่าแก้ไขดังตาราง 8

ตาราง 8 การแก้ไขค่าวิเคราะห์ (Analytical correction)

ธาตุ	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Pb	Hg	Se
ค่าแก้ไขการวิเคราะห์ (%)	60	60	30	30	30	30	50	60

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

การปรับค่าแก้ไขค่าวิเคราะห์สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ปริมาณธาตุ (mg/kg)} - \frac{\text{ปริมาณธาตุ (mg/kg)} \times \text{ค่าแก้ไขการวิเคราะห์ (\%)}}{100}$$

สำหรับขีดจำกัดในการตรวจหาของวิธีวิเคราะห์คิดเป็น 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ blank value ที่วัดได้จากการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ทำของเล่น สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสิ่งที่สกัดได้จากของเล่นและส่วนประกอบของของเล่น วิธีที่มีขีดจำกัดสูงสุด 1/10 ของเกณฑ์ตามที่ มอก. 685 เล่ม 1 กำหนด ถือว่าเพียงพอ

2.10 มาตรฐานโลหะหนักในของเล่น

สำหรับข้อกำหนดความปลอดภัยด้านเคมีที่กล่าวถึงปริมาณโลหะหนักในของเล่นต้องมีปริมาณไม่เกินตามที่มาตรฐาน มอก.685-2540 กำหนดเกณฑ์ที่กำหนดสูงสุดสำหรับปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสี สารเคลือบ วัสดุขึ้นเขียน พลาสติก กระดาษและกระดาษแข็ง และปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากฟองเกอร์เพนต์และดินปั้น แสดงดังตารางที่ 9,10 และ 11

ตาราง 9 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสี สารเคลือบ วัสดุซีดเขียน พลาสติก กระดาษและกระดาษแข็ง ตาม มอก.685-2540

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พลวง (Sb)	60
สารหนู (As)	25
แบเรียม (Ba)	1000
แคดเมียม (Cd)	75
โครเมียม (Cr)	60
ตะกั่ว (Pb)	90
ปรอท (Hg)	60
ซีลีเนียม (Se)	500

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540

ตาราง 10 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากดินปั้น ตาม มอก.685-2540

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พลวง (Sb)	60
สารหนู (As)	25
แบเรียม (Ba)	250
แคดเมียม (Cd)	50
โครเมียม (Cr)	25
ตะกั่ว (Pb)	90
ปรอท (Hg)	25
ซีลีเนียม (Se)	500

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540

ตาราง 11 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสีน้ำสำหรับเด็ก (finger paint) ตาม มอก. 685-2540

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พลวง (Sb)	10
สารหนู (As)	10
แบเรียม (Ba)	350
แคดเมียม (Cd)	15
โครเมียม (Cr)	25
ตะกั่ว (Pb)	25
ปรอท (Hg)	10
ซีลีเนียม (Se)	50

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kamil Jurowski (2023) ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในเครื่องประดับราคาถูกสำหรับผู้ใหญ่ 106 ตัวอย่าง ที่ซื้อจากแพลตฟอร์มอีคอมเมิร์ซในประเทศจีนระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2022 ถึงมีนาคม 2023 และทำวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Niton XL3t GOLDD+ XRF spectrometer จาก Thermo Fisher Scientific, Billerica, MA, USA ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์แบบพกพาที่ใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) ส่วนประกอบแต่ละส่วนของเครื่องประดับจะถูกวัดด้วย pXRF ในบริเวณที่สัมผัสผิวหนังโดยตรง ดำเนินการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ในระยะเวลา 60 วินาที โดยการใช้โหมดแบตช์ (batch mode) ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างเครื่องประดับหลายชิ้นได้พร้อมกัน โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ผลจากการศึกษาพบตะกั่วในเครื่องประดับ 23 ชิ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1,525.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งร้อยละ 70 ของตัวอย่างเกินระดับที่อนุญาตของสหภาพยุโรป ที่กำหนดไว้ที่ 500 ไมโครกรัมต่อกรัม และตามข้อบังคับในจีน ที่กำหนดไว้ที่ 1,000 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับแคดเมียมพบในเครื่องประดับ 54 ชิ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1,192.77 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งทั้งหมดเกิน

ระดับที่อนุญาต ที่กำหนดไว้ที่ 100 ไมโครกรัมต่อกรัม และตามข้อบังคับในจีน ที่กำหนดไว้ที่ 100 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับปรอทพบในเครื่องประดับร้อยละ 90 โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2,946.25 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับปรอทไม่มีการกำหนดระดับที่อนุญาตของสหภาพยุโรป แต่ตามข้อบังคับในจีน กำหนดไว้ที่ 1,000 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยสรุป เครื่องประดับราคาถูกที่ซื้อจากแพลตฟอร์มอีคอมเมิร์ซในประเทศจีนส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเกินระดับที่อนุญาตทั้งของสหภาพยุโรปและข้อบังคับของจีน การสัมผัสกับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในระยะยาวอาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง นอกจากนี้ การกำจัดเครื่องประดับดังกล่าวอย่างไม่ถูกต้องอาจทำให้โลหะพิษปนเปื้อนแหล่งดินและน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนั้น การตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักในเครื่องประดับ รวมถึงแหล่งที่มาของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต จึงเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบและปรับปรุงกฎระเบียบและนโยบายที่มีช่องโหว่ และป้องกันผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

Sargsyan et al. (2024) ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วในผลิตภัณฑ์ต่างๆ 11 ประเภท ได้แก่ เครื่องใช้ในครัวที่ทำจากเซรามิก เครื่องใช้ในครัวที่ทำจากโลหะ เครื่องใช้ในครัวที่ทำจากพลาสติก เครื่องสำอาง ของเล่น สีที่ใช้ทาบนพื้นผิวขนาดใหญ่ สีที่ใช้สำหรับศิลปะและงานฝีมือ เครื่องเทศ ขนมหวาน อาหารแห้งที่เป็นวัตถุดิบหลัก และยาสมุนไพร ตัวอย่างทั้งหมดถูกคัดเลือกจากตลาด ศูนย์การค้า ห้างสรรพสินค้า และร้านค้า ทั้งหมด 5,007 ตัวอย่างจาก 25 ประเทศทั้งที่มีรายได้ต่ำและปานกลาง และวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Portable X-Ray Fluorescent (pXRF) เป็นหลัก ผลจากการศึกษาพบว่าภาชนะใส่อาหารที่ทำจากโลหะมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 51 จาก 520 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่พบในหม้อและกระทะ สำหรับภาชนะเซรามิกมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 45 จาก 308 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตัวอย่างภาชนะใส่อาหารพลาสติกมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 12 จาก 364 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตัวอย่างสีสำหรับพื้นผิวขนาดใหญ่มีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 41 จาก 437 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตัวอย่างสีสำหรับงานฝีมือและงานศิลปะมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 11 จาก 70 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตัวอย่างสีที่ไม่ได้จำแนกประเภท พบว่าร้อยละ 47 จาก 102 ตัวอย่างมีปริมาณตะกั่วเกิน 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับของเล่นพบระดับตะกั่วสูงเกินระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร้อยละ 13 จาก 781 ตัวอย่าง ซึ่งของเล่นที่พบสารตะกั่วส่วนใหญ่ทำ

มาจากพลาสติกและมีสีหรือสารเคลือบอยู่ด้วย สำหรับเครื่องสำอางมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 12 จาก 812 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบความเข้มข้นของสารตะกั่วในอายไลเนอร์สูงที่สุด สำหรับเครื่องเทศมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดร้อยละ 2 จาก 1,084 ตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าระดับที่อ้างอิงไว้ที่ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสำหรับยาสมุนไพร ร้อยละ 4 ของหวาน ร้อยละ 3 และอาหารแห้ง ร้อยละ 1 มีค่าเกินระดับอ้างอิงไว้ โดยสรุปพบว่า ผลกระทบที่อุปโภคบริโภคจำนวนมากใน 25 ประเทศมีสารตะกั่วเกินเกณฑ์ที่กำหนด โดยเฉพาะในภาชนะใส่อาหารที่เป็นโลหะและเซรามิก ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปกป้องผู้บริโภคจากการสัมผัสตะกั่วจากภาชนะอาหาร ในกรณีของสี พบว่าสีที่ซื้อใหม่จากตลาดยังคงมีสารตะกั่วเกินระดับที่อ้างอิงไว้ ซึ่งหมายความว่าสีที่มีส่วนผสมของตะกั่วยังคงมีจำหน่ายและใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบังคับใช้กฎหมายหรือระเบียบข้อบังคับเกี่ยวกับสีที่มีสารตะกั่วมากขึ้น นอกจากนี้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญกับการตรวจสอบแหล่งที่มาของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ราคาถูกจากประเทศที่มีรายได้ต่ำและปานกลาง เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้บริโภคสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

Chen et al. (2022) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงเป็นสารก่อมะเร็งและไม่เป็นสารก่อมะเร็งจากความเข้มข้นของโลหะหนักในเสื้อผ้าเด็กก่อนวัยเรียน ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างจาก 7 ประเทศในทวีปเอเชีย ได้แก่ จีน เกาหลี อินเดีย อินโดนีเซีย กัมพูชา บังคลาเทศ และฟิลิปปินส์ นำมาวัดความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม โคบอลต์ สังกะสี โครเมียม สารหนู ทองแดง และนิกเกิล ด้วยเทคนิค inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) และนำความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้มาประเมินการรับสัมผัสทางผิวหนังเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ผลการศึกษาพบว่า การตรวจหาความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในเสื้อผ้า 6 ประเภท พบว่าความเข้มข้นของทองแดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในตัวอย่างเสื้อผ้าตามประเภทของผ้ามีการพบโคบอลต์เพิ่มขึ้นในผ้าฝ้ายอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำมาประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักต่อความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งจะวิเคราะห์โลหะหนักประเภทสารหนูและแคดเมียมเท่านั้น ซึ่งเสื้อแขนยาวจะมีความเสี่ยงการรับสัมผัสต่อการเกิดมะเร็งมากที่สุด โดยความเสี่ยงในการก่อมะเร็งจากสารหนู อยู่ในช่วง 1.60×10^{-10} ถึง 5.25×10^{-7} และแคดเมียม อยู่ในช่วง 1.35×10^{-11} ถึง 9.91×10^{-9} ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามแนวทางของสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา สรุปได้ว่าการปนเปื้อนโลหะหนักในเสื้อผ้าที่มีสีส้น โดยเฉพาะเสื้อผ้าของเด็กก่อนวัยเรียน อาจเกิดจากการใช้สารโลหะหนักบางชนิดในขั้นตอนการผลิตเม็ดสีสำหรับสีย้อมสิ่งทอ ทำให้เสื้อผ้าอาจเป็นแหล่งที่มาของการสัมผัสโลหะหนักทาง

ผิวหนังได้ ดังนั้น การพัฒนามาตรการป้องกันการปนเปื้อนของโลหะหนักในเสื้อผ้าเด็กจึงเป็นสิ่งสำคัญ

Gul et al. (2023) ได้ทำการศึกษาการประเมินระดับของโลหะพิษ 7 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล สังกะสี ทองแดง โคบอลต์ และเหล็ก ในเครื่องประดับสำหรับเด็กที่ซื้อจากร้านค้าออนไลน์ในประเทศปากีสถาน จำนวน 42 ตัวอย่าง ซึ่งทำจากวัสดุหลากหลายประเภท ได้แก่ โลหะ ไม้ สิ่งทอ ยาง พลาสติก และพลาสติกเคลือบสี ในการเตรียมตัวอย่างได้ทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริก 10 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 2 มิลลิลิตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค atomic absorption spectrophotometer (AAS) จากการศึกษาพบความเข้มข้นของโลหะทั้ง 7 ชนิดในตัวอย่างเครื่องประดับสำหรับเด็กในปริมาณที่สูง โดยร้อยละ 74 ของตัวอย่างทั้งหมดมีการปนเปื้อนของตะกั่วและแคดเมียม เครื่องประดับพลาสติกเคลือบสีมีความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุด ในขณะที่เครื่องประดับที่เป็นโลหะมีความเข้มข้นของแคดเมียมสูงสุด ซึ่งเกินขีดจำกัดตามกฎหมายระเบียบของสหรัฐอเมริกา สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ยังพบตะกั่ว แคดเมียม โคบอลต์ และทองแดงในระดับที่เกินขีดจำกัดตามกฎหมายระเบียบของสหภาพยุโรป สรุปได้ว่าเครื่องประดับสำหรับเด็กเหล่านี้ยังคงมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในระดับที่เกินขีดจำกัด ซึ่งอาจเกิดจากการขาดกฎระเบียบที่เข้มงวดในการควบคุมสารเคมีในผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก หากไม่ได้รับการตรวจสอบและแก้ไขจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาจทำให้เด็กมีโอกาสได้รับสารปนเปื้อนจากเครื่องประดับเหล่านี้และเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพในอนาคต

Gul et al. (2022) ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนัก 7 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ในของเล่นพลาสติกราคาถูกที่ออกแบบสำหรับเด็กเล็กอายุระหว่าง 3 ถึง 5 ปี ของเล่นเหล่านี้เป็นที่นิยมในกลุ่มครอบครัวที่มีรายได้น้อย โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 44 ตัวอย่างจากตลาดท้องถิ่นในเมืองการาจี ประเทศปากีสถาน ตัวอย่างของเล่นถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มของเล่นพลาสติก (DCT) จำนวน 23 ชิ้น และกลุ่มของเล่นพลาสติกที่มีสีส่นหรือเคลือบสาร (DPCT) จำนวน 21 ชิ้น ตัวอย่างเหล่านี้ถูกตัดและบดเป็นผงก่อนที่จะชั่งน้ำหนักประมาณ 1.0 กรัม และย่อยด้วยกรดไนตริกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จากนั้นเจือจางให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค atomic absorption spectrophotometry (AAS) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้งสองกลุ่มมีการปนเปื้อนของตะกั่วและแคดเมียมในปริมาณสูง โดยพบว่าของเล่นกลุ่ม DCT มีระดับตะกั่วและแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยของสหภาพยุโรป ขณะที่กลุ่ม DPCT มีการปนเปื้อนตะกั่วและแคดเมียมในระดับที่เกินมาตรฐานความปลอดภัยของสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา แคนาดา และสำนักมาตรฐานสินค้า

อินเดีย นอกจากนี้ ยังพบการปนเปื้อนของสังกะสี นิกเกิล คอปเปอร์ และแมงกานีสในปริมาณเล็กน้อย สรุปได้ว่า ของเล่นพลาสติกราคาถูกที่หาซื้อได้ง่ายในตลาดท้องถิ่นมีความเสี่ยงสูงในการปนเปื้อนโลหะหนัก อันเป็นผลจากการขาดกฎระเบียบและข้อบังคับในการจำหน่ายสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งของเล่นเหล่านี้อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของเด็กอย่างร้ายแรง

Yazdanfar et al. (2022) ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู แบเรียม พลวง แคดเมียม โครเมียม โปรท ตะกั่ว และซีลีเนียม ในของเล่นเด็กราคาถูกจำนวน 150 ตัวอย่าง ที่ได้จาก 8 จังหวัดใหญ่ในประเทศอิหร่าน ตัวอย่างถูกย่อยด้วยกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สำหรับการวัดความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่ว วัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) ขณะที่ความเข้มข้นของซีลีเนียม สารหนู และโปรท วัดด้วยเครื่อง hydrogenesis atomic absorption spectrophotometer (HG-AAS) ผลจากการศึกษาพบ สารหนู แบเรียม แคดเมียม โครเมียม โปรท ตะกั่ว พลวง และ ซีลีเนียม อยู่ในช่วง 0-0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0.3-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0-3.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0.04-4.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0-0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0.22-11.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0-1.2 และ 0.03-1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยพบความเข้มข้นของตะกั่วในของเล่นทุกจังหวัด มีปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ 11.7 ± 7.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบปริมาณความเข้มข้นของโปรทในของเล่นเพียงจังหวัดเดียวเท่านั้น โดยมีปริมาณโปรทอยู่ที่ 0.03 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิดที่ตรวจพบจะยังอยู่ในเกณฑ์ที่อนุญาตตามมาตรฐานของประเทศอิหร่านและสหภาพยุโรป แต่ก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กจากการสัมผัสของเล่นพลาสติกเหล่านี้

Peng et al. (2024) ศึกษาความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือด (Blood Lead Level : BLL) ของเด็กเล็กกับการปนเปื้อนของสารตะกั่วในของเล่น โดยเก็บตัวอย่างเลือดในเด็กอายุต่ำกว่า 7 ปี จำนวน 2,249 คน ที่อาศัยอยู่ที่เซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน และเก็บตัวอย่างของเล่นจากซูเปอร์มาร์เก็ตและร้านขายของเล่นชั้นนำ 6 แห่งในเซี่ยงไฮ้ โดยทำการเก็บตัวอย่างของเล่นทั้งหมด 288 ชิ้น ซึ่งทำจากพลาสติก ฝ้ายดัดไส้ วัสดุไม้ และโลหะ วัดความเข้มข้นของตะกั่วในของเล่นด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence (XRF) แบบพกพา (Thermo Fisher Scientific, Niton XL3t GOLDD+) แต่ละตัวอย่างถูกวิเคราะห์ด้วยการวัด 3 นาที ผลการศึกษาพบว่าเด็กร้อยละ 83.28 มักจะเล่นกับของเล่นที่เป็นพลาสติก โดยที่เด็กร้อยละ 10.05 มีพฤติกรรมกัดของเล่นมากกว่าสองครั้งต่อสัปดาห์ สำหรับความเข้มข้นของตะกั่วตรวจพบในของเล่นพลาสติกสูงสุดที่ 624.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยที่ร้อยละ 3.90 เกินเกณฑ์ควบคุมตะกั่วรวมของสหรัฐอเมริกาที่

กำหนดไว้ที่ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และร้อยละ 1.30 เกินมาตรฐานจีนที่กำหนดไว้ที่ 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือด ของเด็กเล็กกับการปนเปื้อนของสารตะกั่วในของเล่น พบว่าเด็กที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงซูเปอร์มาร์เก็ตและร้านขายของเล่นมีอัตราระดับสารตะกั่วในเลือดสูงกว่า สรุปได้ว่าของเล่นพลาสติกมีปริมาณตะกั่วสูงกว่าของเล่นที่ทำจากวัสดุอื่น ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญสำหรับการเพิ่มขึ้นของระดับสารตะกั่วในเลือดในเด็กเล็ก ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเพิ่มกฎระเบียบที่เข้มงวดมากขึ้นเกี่ยวกับการจำหน่ายของเล่นในพื้นที่ที่มีสถานะทางเศรษฐกิจต่ำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกับตะกั่วในเด็กเล็ก

Mukhi et al. (2024) ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ สารหนู วาเนเดียม โปรท และแคดเมียม ในตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อาหารรวม 11 ตัวอย่างและวัสดุบรรจุภัณฑ์ยา 2 ตัวอย่างที่ได้รับซื้อจากตลาดท้องถิ่น ตัวอย่างที่ใช้ประกอบด้วย กระป๋องอะลูมิเนียม ถังกันรั่ว กระดาษแข็ง เตตราแพ็ก เซลโลเฟน กระดาษทิชชู ซอง ถังอะลูมิเนียมและกล่อง ถังพลาสติกและภาชนะพลาสติก รวมถึงบรรจุภัณฑ์ยาชนิดผงและฝาปิดบรรจุภัณฑ์ยา ทำความสะอาดตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งด้วยเตาอบลมร้อน ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างแต่ละชิ้นให้ได้ 10 กรัม ย่อยด้วยเครื่องย่อยไมโครเวฟ ในระยะเวลา 34 ถึง 210 นาที ตามชนิดของตัวอย่าง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเทคนิค inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) ผลการศึกษาพบโลหะหนักทั้ง 13 ตัวอย่าง โดยที่สารหนูและโปรทเป็นโลหะหนักที่พบบ่อยที่สุดส่วนแคดเมียมและวาเนเดียมเป็นโลหะหนักที่พบน้อยที่สุด ระดับความเข้มข้นของวาเนเดียมอยู่ในช่วง 0.29 – 40.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารหนูอยู่ในช่วง 1.7 – 236.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โปรทอยู่ในช่วง 1.53 – 546 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียมอยู่ในช่วง 2.2 – 337 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดพบสารหนู โปรท และแคดเมียมมีค่าเกินขีดจำกัดที่อนุญาต ส่วนวาเนเดียมพบว่ามีเพียง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ กระดาษทิชชู ซอง และเซลโลเฟน ที่อยู่ในขีดจำกัดที่อนุญาต สรุปได้ว่าสารหนู วาเนเดียม โปรท และแคดเมียมถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารและบรรจุภัณฑ์ยา ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นควรมีแนวทางการกำกับดูแลที่เข้มงวดและตรวจสอบวัสดุบรรจุภัณฑ์อย่างเข้มงวดในทุกขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกวัตถุดิบ การจัดเก็บ และการผลิต จนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักจากของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) พร้อมทั้งประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสวัสดุสารโลหะหนักทั้งที่เป็นสารไม่ก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็ง โดยใช้ 3 เทคนิค ได้แก่ portable X-ray fluorescence (pXRF), atomic absorption spectrometry (AAS) และ inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบแม่นยำมากยิ่งขึ้น

3.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) จำนวน 13 ชิ้น ประกอบไปด้วย ของเล่น 10 ชิ้น และสีเทียน สีไม้ และสีน้ำรวม 3 ชิ้น
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (v/v)
3. สารละลายมาตรฐานสารหนู (As)
4. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb)
5. สารละลายมาตรฐานปรอท (Hg)
6. สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd)
7. สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr)
8. สารละลายมาตรฐานแบเรียม (Ba)
9. สารละลายมาตรฐานพลวง (Sb)
10. สารละลายมาตรฐานซีลีเนียม (Se)
11. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)

3. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา (portable X-ray fluorescence spectrometer: pXRF) อาศัยหลักการปลดปล่อยรังสีเอกซ์จากอะตอมเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานสูง ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะมีลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละธาตุ ทำให้สามารถระบุชนิดและปริมาณของธาตุในตัวอย่างไม่ได้ (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน องค์การมหาชน)



ภาพประกอบ 7 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา

4. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (atomic absorption spectrometer: AAS) รุ่น Agilent 280FS AA อาศัยหลักการโดยการให้ความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดอะตอมอิสระของธาตุในสถานะที่เป็นแก๊ส แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวของธาตุ ซึ่งค่าความเข้มของคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนไปจะแปรผันตามปริมาณของธาตุในตัวอย่างไม่ได้ (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)



ภาพประกอบ 8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

5. เครื่องสเปกโทรมิเตอร์การปล่อยแสงโดยพลาสมาเหนี่ยวนำ (inductively coupled plasma - optical emission spectrometer: ICP-OES) รุ่น PlasmaQuant 9100 Series อาศัยหลักการของการปล่อยแสงจากอะตอมและไอออนของธาตุที่ถูกกระตุ้นด้วยพลังงานจากพลาสมา เมื่ออะตอมกลับสู่สถานะพลังงานต่ำ จะปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุ (ศูนย์เครื่องมือและทดสอบวิเคราะห์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)



ภาพประกอบ 9 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์การปล่อยแสงโดยพลาสมาเหนี่ยวนำ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเลือกตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยสุ่มเก็บของเล่นจำนวน 13 ตัวอย่างจากร้านค้าทั่วไปที่เด็กสามารถเข้าถึงได้ง่าย ตัวอย่างที่นำมาศึกษาประกอบด้วยของเล่น รวมถึงสีน้ำ สีเทียน และสีไม้ ซึ่งไม่มีเครื่องหมายรับรองคุณภาพ โดยคัดเลือกจากลักษณะของสีและรูปร่างที่คาดว่าเป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจของเด็กอายุระหว่าง 2–9 ปี ทั้งนี้อ้างอิงจากการศึกษาของ Artemova (2023) ซึ่งระบุว่าเด็กในช่วงปฐมวัยมีแนวโน้มสนใจวัตถุที่มีสีสันสดใสและรูปร่างที่จดจำได้ง่าย เช่น รูปทรงกลม สีเหลี่ยม หรือรูปสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้ทฤษฎีของ Özcan และ Tunceli (2023) ยังชี้ให้เห็นว่าสีหลัก เช่น สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน เป็นสีที่ดึงดูดความสนใจของเด็กมากที่สุด ภาพประกอบพร้อมรายละเอียดของตัวอย่างของเล่นที่นำมาศึกษาแสดงไว้ดังตาราง โดยแสดงข้อมูลเกี่ยวกับ สี รูปร่าง และลักษณะการเล่นซึ่งสัมพันธ์กับพฤติกรรมการสัมผัสของเด็ก



ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างของเล่นที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตาราง 12 รายละเอียดของตัวอย่างของเล่นที่นำมาศึกษา

ตัวอย่าง	ประเภทของเล่น	รูปทรง	สี	วัสดุ	ลักษณะการเล่น
T1	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	เรียวยาว	น้ำเงิน	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T2	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	จำลองจาก สัตว์	แดง	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T3	ของเล่น ที่让孩子ได้ออกแรง	กลม	ส้ม	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T4	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	คล้ายปืน	เขียว	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T5	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	จำลองจาก ยานพาหนะ	ส้ม,ดำ	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T6	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	จำลองจาก ยานพาหนะ	เขียว,ดำ	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T7	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	เรียวยาว	เหลือง ,ม่วง	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ
T8	ของเล่น ที่เลียนแบบของจริง	จำลองจาก ยานพาหนะ	เหลือง, ชมพู,ดำ	พลาสติก	จับถือ สัมผัสด้วยมือ

ตาราง 12 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ประเภทของเล่น	รูปทรง	สี	วัสดุ	ลักษณะการเล่น
T9	ของเล่น ส่งเสริมจินตนาการ	ก้อน สี่เหลี่ยม	แดง	พาราฟิน, ไขมัน สังเคราะห์, แป้ง	บีบ คลึง บั่น
T10	ของเล่น ส่งเสริมจินตนาการ	ก้อน สี่เหลี่ยม	ชมพู	พอลิเมอร์, โฟม	บีบ คลึง บั่น
T11	ของเล่น ส่งเสริมจินตนาการ	แท่งเรียว	น้ำเงิน	ไม้, เม็ดสี	ขีดเขียน
T12	ของเล่น ส่งเสริมจินตนาการ	แท่งกลม เรียว	เหลือง	ซีเมนต์, เม็ดสี	ขีดเขียน
T13	ของเล่น ส่งเสริมจินตนาการ	ก้อนกลม	แดง	เม็ดสี, สารยึด เกาะ	ระบายสี อาจสัมผัสสีโดยตรง

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

การศึกษานี้จะดำเนินการเตรียมตัวอย่างตามวิธีทดสอบที่ระบุในมาตรฐาน มอก. 685 เล่ม 2 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบของเล่นเด็กที่อาจมีสารอันตรายปนเปื้อน โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานดังกล่าว ทั้งนี้หากพบว่ามีวิธีการใดจากแหล่งอื่นที่เหมาะสมและสามารถปรับใช้ได้ จะนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีที่ระบุใน มอก. 685 เล่ม 2

การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างที่มีสีและสารเคลือบ

1. ล้างทำความสะอาดตัวอย่างของเล่นทั้งหมดด้วยน้ำปราศจากไอออน
2. ทำการขูดสีและสารเคลือบออกจากตัวอย่างของเล่นด้วยใบมีดที่สะอาด และบดให้ละเอียดจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มิลลิเมตร
3. ชั่งตัวอย่างของเล่นด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยเก็บตัวอย่าง 1 กรัมต่อหลอด รวมเป็น 4 หลอด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ซ้ำสำหรับแต่ละชิ้น บันทึกน้ำหนักตัวอย่างและเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิปกติ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ซีดเขียน สี รวมถึง ฟิงเกอร์เพนท์ วาร์นิช แล็กเกอร์ ผงเคลือบ และวัสดุอื่นที่คล้ายกันที่เป็นของแข็งหรือของเหลว

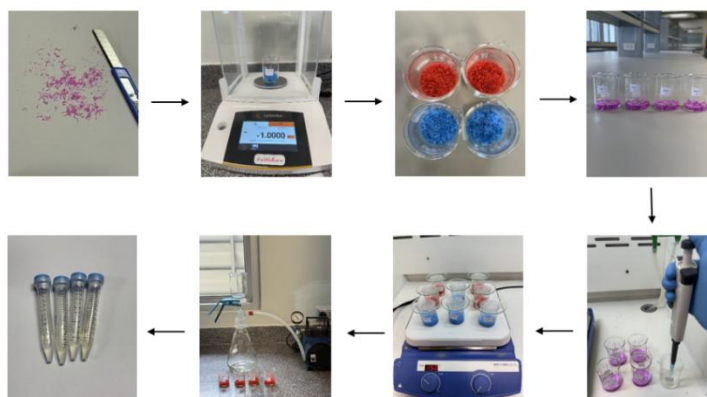
1. ล้างทำความสะอาดตัวอย่างของเล่นทั้งหมดด้วยน้ำปราศจากไอออน
2. ตัดส่วนที่ใช้ทดสอบเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยใบมีดที่สะอาด ให้มีขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร โดยไม่ต้องบีบอัด
3. ชั่งตัวอย่างของเล่นด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยเก็บตัวอย่าง 1 กรัมต่อหลอด รวมเป็น 4 หลอด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ซ้ำสำหรับแต่ละชิ้น บันทึกน้ำหนักตัวอย่างและเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิปกติ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะยืดหยุ่น ดินปั้น และเจล

1. ทำให้ดินปั้นหรือวัสดุที่ยืดหยุ่นเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร
2. ชั่งตัวอย่างของเล่นด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยเก็บตัวอย่าง 1 กรัมต่อหลอด รวมเป็น 4 หลอด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ซ้ำสำหรับแต่ละชิ้น บันทึกน้ำหนักตัวอย่างและเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิปกติ

3.3.3 การย่อยตัวอย่าง

1. นำสุ่มชุดตัวอย่างจากของเล่น 1 ชิ้น จำนวน 4 ตำแหน่ง ด้วยใบมีดเหล็กกล้าไร้สนิม โดยแต่ละตำแหน่งถือเป็น 1 ตัวอย่าง
2. นำตัวอย่างที่ชุดได้แต่ละตำแหน่งมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยชั่งน้ำหนักแต่ละตัวอย่างประมาณ 1.0000 ± 0.0002 กรัม
3. ใส่ตัวอย่างแต่ละตำแหน่งลงในบีกเกอร์แยกกัน รวมทั้งหมด 4 บีกเกอร์ (ตัวอย่างละ 1 บีกเกอร์)
4. เติมน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์
5. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (v/v) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์
6. นำไปให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิประมาณ 100–150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. เมื่อครบเวลาการย่อยแล้วนำสารละลายตัวอย่างพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง
8. กรองสารละลายด้วยชุดกรองสารละลาย (Filtering Apparatus) โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 แยกของแข็งออกจากสารละลาย
9. เก็บสารละลายตัวอย่างในหลอดพอลิเอทิลีนจนถึงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างของเล่น

3.3.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานโดยใช้สารมาตรฐาน 1,000 ppm ของสารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซิลิเนียม โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสูงสุดสำหรับโลหะหนักแต่ละชนิด จากนั้นทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐาน คำนวณจากสูตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

โดยที่	C_1	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น
	C_2	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายเจือจางที่ต้องการเตรียม
	V_1	คือ	ปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น
	V_2	คือ	ปริมาตรของสารละลายเจือจางที่ต้องการเตรียม

การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) แสดงดังตารางที่ 13

ตาราง 13 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS

Element	Blank	Standard 1	Standard 2	Standard 3
As	0	0.5	1	2
Pb	0	1	3	5
Hg	0	-	-	-

ตาราง 13 (ต่อ)

Element	Blank	Standard 1	Standard 2	Standard 3
Cd	0	1	3	5
Cr	0	-	-	-
Ba	0	2	5	10
Sb	0	-	-	-
Se	0	1	3	5

การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) แสดงดังตารางที่ 14

ตาราง 14 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES

Element	Blank	Standard 1	Standard 2	Standard 3
As	0	-	-	-
Pb	0	1	3	5
Hg	0	-	-	-
Cd	0	1	3	5
Cr	0	1	3	5
Ba	0	1	3	5
Sb	0	-	-	-
Se	0	-	-	-

3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในของเล่น

1. วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก จำนวน 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซีลีเนียม ซึ่งเป็นโลหะหนักที่ถูกรับได้บ่อยในกระบวนการผลิตของเล่น โดยใช้วิธีการวิเคราะห์โลหะหนัก 3 เทคนิค ได้แก่ portable X-ray fluorescence (pXRF) atomic absorption spectrometry (AAS) และ inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในของเล่นเด็กจากทั้งสามเทคนิค เพื่อให้ได้ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ตาราง 15 วิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในของเล่นเด็ก

โลหะหนัก	วิธีการวิเคราะห์
สารหนู (As)	pXRF AAS และ ICP-OES
ตะกั่ว (Pb)	pXRF AAS และ ICP-OES
ปรอท (Hg)	pXRF AAS และ ICP-OES
แคดเมียม (Cd)	pXRF AAS และ ICP-OES
โครเมียม (Cr)	pXRF AAS และ ICP-OES
แบเรียม (Ba)	pXRF AAS และ ICP-OES
พลวง (Sb)	pXRF AAS และ ICP-OES
ซีลีเนียม (Se)	pXRF AAS และ ICP-OES

pXRF = portable X-ray fluorescence

AAS = atomic absorption spectrometry

ICP-OES = inductively coupled plasma optical emission spectrometry

2. สร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของ โลหะหนักทั้ง 8 ชนิด โดยให้มีค่า R^2 ไม่ต่ำกว่า 0.95

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างทั้งหมด 4 ขั้ว และหาค่าเฉลี่ย

4. คำนวณหาปริมาณของโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด เทียบกับน้ำหนักตัวอย่างของเล่นให้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5. วิเคราะห์ Blank โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% (v/v) แทนสารละลายตัวอย่าง

3.3.6 การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย

การวินิจฉัยความเสี่ยงเป็นการศึกษาชนิดของสารพิษที่ปนเปื้อนและความเข้มข้นของสารพิษที่ปนเปื้อน โดยพิจารณาจากระดับปริมาณความเข้มข้นและความเป็นพิษของสารพิษ เพื่อคำนวณปัจจัยเสี่ยงของสารพิษแต่ละชนิด

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) จากสมการ

$$R' = \frac{C_{\max}}{Rfd}$$

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จากสมการ

$$R' = C_{\max} \times SF$$

คำนวณค่า chemicals score ทั้งหมดในแต่ละตัวกลาง จากสมการ

$$R' = R'_{1j} + R'_{2j} + \dots + R'_{ij}$$

เมื่อ	R'_{ij}	คือ	chemical score ของสารปนเปื้อน i ในตัวกลาง j
	R'_j	คือ	chemical score ทั้งหมดในตัวกลาง j
	C_{max}	คือ	ความเข้มข้นสูงสุด
	RfD	คือ	reference dose หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	SF	คือ	slope factor หน่วยกิโลกรัมต่อวันต่อมิลลิกรัม

3.3.7 การประเมินการรับสัมผัส

การประเมินการรับสัมผัสจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆในการรับสัมผัส เช่น ความถี่ในการรับสัมผัส ระยะเวลาการสัมผัส น้ำหนักตัวของผู้รับสัมผัส เป็นต้น ซึ่งในการศึกษานี้ผู้วิจัยทำการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะหนักในเด็กที่มีช่วงอายุ 2-9 ปี คำนวณค่าการรับสัมผัสในแต่ละเส้นทางเพื่อเปรียบเทียบว่าเส้นทางใดมีค่าการรับสัมผัสสูงสุด ซึ่งบ่งชี้ถึงเส้นทางที่มีความเสี่ยงมากที่สุด โดยทำการประเมินตามแนวทางการประเมินการรับสัมผัสกับโลหะหนักที่อ้างอิงจากสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางปาก โดยใช้สูตร

$$I_{oral} = \frac{C_{oral} \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ	I	คือ	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการสัมผัสทางปาก หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	C	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมี หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	IR	คือ	อัตราการรับเข้าทางการสัมผัสทางปาก
	FI	คือ	สัดส่วนการสัมผัสของเล่นที่ปนเปื้อนทางปากทั้งหมด
	EF	คือ	ความถี่ของการรับสัมผัส หน่วยวันต่อปี
	ED	คือ	ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
	BW	คือ	น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
	AT	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางการหายใจ โดยใช้สูตร

$$I_{inh} = \frac{C_{inh} \times CR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ	I	คือ	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	C_{inh}	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	CR	คือ	อัตราการหายใจ หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
	ET	คือ	เวลาในการสัมผัส หน่วยชั่วโมงต่อวัน
	ED	คือ	ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
	BW	คือ	น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
	AT	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางผิวหนัง โดยใช้สูตร

$$I_{der} = \frac{C_{der} \times SA \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

เมื่อ	I	คือ	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการดูดซึมทางผิวหนัง หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	C_{der}	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมีที่สัมผัสทางผิวหนัง หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	SA	คือ	พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัสกับสารเคมี หน่วยตารางเซนติเมตร
	ABS	คือ	ค่าการดูดซับสารเคมีทางผิวหนัง
	EF	คือ	ความถี่ของการรับสัมผัส หน่วยวันต่อปี
	ED	คือ	ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
	CF	คือ	conversion factor
	BW	คือ	น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
	AT	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

3.3.8 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

สำหรับการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสัมผัสโลหะหนักทางปาก โดยประเมินความเสี่ยงจากสารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (non-carcinogen) และประเมินความเสี่ยงจากสารเคมีที่เป็นอันตรายเรื้อรังแบบก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen)

โดยทั่วไปค่าดัชนีอันตรายจะกำหนดให้มีค่าที่อยู่ในระดับยอมรับได้โดยมีค่าน้อยกว่า 1 หมายถึง เป็นค่าที่ผู้ที่รับสารพิษอาจจะไม่แสดงการตอบสนองต่อสารพิษในเชิงลบเมื่อ HI มีค่าน้อยกว่า 1

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง โดยใช้สูตร

$$HI = \frac{I}{RfD}$$

โดยทั่วไปค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสสารพิษที่เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งกำหนดให้มีค่าที่ยอมรับได้อยู่ระหว่าง 10^{-4} - 10^{-6}

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง โดยใช้สูตร

$$R_c = I \times SF$$

เมื่อ	HI	คือ	ค่าดัชนีอันตราย
	I	คือ	ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายในเส้นทางต่างๆ หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	RfD	คือ	reference dose หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	Rc	คือ	ความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง
	SF	คือ	slope factor หน่วยกิโลกรัมต่อวันต่อมิลลิกรัม

3.3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้น โดยหาค่าเฉลี่ย ค่ากลาง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ของข้อมูลปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ในของเล่นเด็ก ได้แก่ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb)ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) พลวง (Sb) และซีลีเนียม (Se) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่พบในของเล่นเด็กที่มีสีส้น โดยมีการใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่ากัน ซึ่งการวิเคราะห์นี้ถูกตั้งระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และใช้วิธีการของ Turkey เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มสุดท้ายทำ F-test โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติของผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 เทคนิค

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซีลีเนียม ที่ปนเปื้อนในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยใช้เทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) เทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) และ เทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) เพื่อนำค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดโดย มอก. และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสโลหะหนักในเด็กอายุ 2-9 ปี จากการสัมผัสกับของเล่นที่มีสี วัสดุ และลักษณะการเล่นที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งระบุค่าดัชนีอันตรายสำหรับการสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็ง โดยประเมินตามแนวทางของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

4.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

การวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และซีลีเนียม (Se) ดำเนินการโดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectrometry (AAS) เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ สมการเส้นตรง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และช่วงความเข้มข้นที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้

ตาราง 16 ปริมาณสารละลายมาตรฐานโดยใช้เทคนิค AAS

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1	2	3
สารหนู	0.500	1.000	2.000
แคดเมียม	1.000	3.000	5.000
ตะกั่ว	1.000	3.000	5.000
แบเรียม	2.000	5.000	10.000
โครเมียม	1.000	3.000	5.000
พลวง	-	-	-
ปรอท	0.500	1.000	2.000
ซีลีเนียม	1.000	3.000	5.000

ตาราง 17 ปริมาณสารละลายมาตรฐานโดยใช้เทคนิค ICP-OES

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	1	2	3
สารหนู	0.500	1.000	1.500
แคดเมียม	1.000	3.000	5.000
ตะกั่ว	1.000	3.000	5.000
แบเรียม	1.000	3.000	5.000
โครเมียม	1.000	3.000	5.000
พลวง	-	-	-
ปรอท	0.500	1.000	1.5.000
ซีลีเนียม	1.000	3.000	5.000

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน

ในการศึกษาี้ ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง และซีลีเนียม ที่ปนเปื้อนในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยใช้เทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) เทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) และ เทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ซึ่งรายละเอียดของผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

ตาราง 18 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF)

ตัวอย่าง ของเล่น	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
มาตรฐาน	25	90	(60)*	(75)*	(60)*	(1000)*	60	500
มอก.685			(25)**	(50)**	(25)**	(250)**		
มาตรฐาน	25	90	60	75	60	1000	60	500
ASTM								

ตาราง 18 (ต่อ)

ตัวอย่าง ของเล่น	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
มาตรฐาน	(47)*	(23)*	(94)*	(17)*	(460)*	(18750)*	(560)*	(460)*
EN71-3	(3.8)** (0.9)***	(2.0)** (0.5)***	(7.5)** (1.9)***	(1.3)** (0.3)***	(37.5)** (9.4)***	(1500)** (375)***	(45)** (11.3)***	(37.5)** (9.4)***
มาตรฐาน GB6673	25	90	(60)* (25)**	(75)* (50)**	(60)* (25)**	1000 (250)**	60	500
T1	n.d.	0.13 ± 0.25	n.d.	0.10 ± 0.13	0.02 ± 0.02	n.d.	n.d.	n.d.
T2	n.d.	0.58 ± 0.46	n.d.	n.d.	0.05 ± 0.01	n.d.	n.d.	n.d.
T3	n.d.	0.39 ± 0.27	n.d.	0.05 ± 0.10	0.03 ± 0.03	n.d.	n.d.	n.d.
T4	n.d.	0.83 ± 0.41	n.d.	n.d.	0.02 ± 0.00	n.d.	n.d.	n.d.
T5	n.d.	0.01 ± 0.01	n.d.	0.33 ± 0.40	0.02 ± 0.01	n.d.	n.d.	n.d.
T6	n.d.	0.24 ± 0.33	n.d.	0.27 ± 0.34	0.01 ± 0.01	n.d.	n.d.	n.d.
T7	n.d.	n.d.	n.d.	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.03	n.d.	n.d.	n.d.
T8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.01 ± 0.02	n.d.	n.d.	n.d.
T9	n.d.	n.d.	n.d.	13.34 ± 1.68	0.44 ± 0.15	n.d.	n.d.	n.d.
T10	n.d.	n.d.	n.d.	34.48 ± 1.23	0.67 ± 0.02	n.d.	n.d.	n.d.
T11	n.d.	3.11 ± 0.37	n.d.	3.43 ± 0.17	0.02 ± 0.01	n.d.	n.d.	n.d.
T12	n.d.	n.d.	n.d.	0.37 ± 0.30	0.32 ± 0.08	n.d.	n.d.	n.d.
T13	n.d.	n.d.	n.d.	9.29 ± 2.36	0.72 ± 0.19	n.d.	n.d.	n.d.
F	n.d.	42.74	n.d.	18.95	53.90	n.d.	n.d.	n.d.
p-value	n.d.	<.001	n.d.	<.001	<.001	n.d.	n.d.	n.d.

(*) = ค่ามาตรฐานสำหรับของเล่นทั่วไป (**) = ค่ามาตรฐานสำหรับดินปืน

(***) = ค่ามาตรฐานสำหรับสีน้ำ

n.d. = not detected หมายถึง พบในปริมาณต่ำกว่าที่เครื่องจะตรวจวัดได้

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค portable X-ray fluorescence (pXRF) พบว่าตัวอย่างของเล่น 7 ชิ้นมีค่าความเข้มข้นสูงสุดของตะกั่ว ดังนี้ ตัวอย่าง T1 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.13 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T2 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.58 ± 0.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T3 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.39 ± 0.27

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.83 ± 0.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.01 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T6 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.24 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่าง T11 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 3.11 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับค่าความเข้มข้นสูงสุดของโครเมียมพบในตัวอย่างทั้งหมด โดยที่ตัวอย่าง T1 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.02 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T2 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.05 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T3 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.03 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.02 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.02 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T6 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.01 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T7 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.02 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.01 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.44 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.67 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T11 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.02 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T12 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.32 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่าง T13 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.72 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับค่าความเข้มข้นสูงสุดของแคดเมียมพบในตัวอย่าง 10 ขึ้น ดังนั้น ตัวอย่าง T1 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.10 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T3 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.05 ± 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.33 ± 0.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T6 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.27 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T7 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.01 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 13.34 ± 1.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 34.48 ± 1.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T11 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 3.43 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T12 มีค่าความเข้มข้นสูงสุด 0.37 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่าง T13 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 9.29 ± 2.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นพบว่าตัวอย่าง T11 ซึ่งเป็นสีเทียนมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุด ตัวอย่าง T10 ซึ่งเป็นดินเบามีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมและโครเมียมสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบกับค่าที่กำหนดในมาตรฐานต่าง ๆ ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.685-2562 ของประเทศไทย มาตรฐาน ASTM F963-17 ของสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน EN 71-3-2019 ของสหภาพยุโรป และ มาตรฐาน GB 6675-2003 ของประเทศจีน พบว่าตัวอย่างของเล่น 3 ชิ้น ได้แก่

ดินน้ำมัน ดินเผา และสีน้ำ มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินค่ามาตรฐาน EN 71-3:2019 ของสหภาพยุโรปที่กำหนดไว้ที่ 1.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับดินปั้น และ 1.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับสีน้ำ สำหรับตัวอย่างอื่น ๆ ที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของแต่ละประเทศกำหนด

ตาราง 19 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS)

ตัวอย่าง ของเล่น	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
มาตรฐาน มอก.	25	90	(60)* (25)**	(75)* (50)**	(60)* (25)**	(1000)* (250)**	60	500
มาตรฐาน ASTM	25	90	60	75	60	1000	60	500
มาตรฐาน EN71-3	(47)* (3.8)** (0.9)***	(23)* (2.0)** (0.5)***	(94)* (7.5)** (1.9)***	(17)* (1.3)** (0.3)***	(460)* (37.5)** (9.4)***	(18750)* (1500)** (375)***	(560)* (45)** (11.3)***	(460)* (37.5)** (9.4)***
มาตรฐาน GB6673	25	90	(60)* (25)**	(75)* (50)**	(60)* (25)**	1000 250	60	500
T1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T3	n.d.	0.88 ± 0.03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T4	n.d.	1.04 ± 0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T8	n.d.	0.81 ± 0.00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T10	n.d.	5.64 ± 0.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F	n.d.	144.19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

ตาราง 19 (ต่อ)

ตัวอย่าง ของเล่น	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
p-value	n.d.	<.001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

(*) = ค่ามาตรฐานสำหรับของเล่นทั่วไป (**) = ค่ามาตรฐานสำหรับดินปืน

(***) = ค่ามาตรฐานสำหรับสีน้ำ

n.d. = not detected หมายถึง พบในปริมาณต่ำกว่าที่เครื่องจะตรวจวัดได้

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค atomic absorption spectrometry (AAS) พบว่า พบว่าตัวอย่างของเล่น 4 ชิ้นมีค่าความเข้มข้นสูงสุดของตะกั่ว ดังนี้ ตัวอย่าง T3 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.88 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 1.04 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.81 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 5.64 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นพบว่าตัวอย่าง T10 ซึ่งเป็นดินเบามีค่าความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบกับค่าที่กำหนดในมาตรฐานต่าง ๆ ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 685-2562 ของประเทศไทย มาตรฐาน ASTM F963-17 ของสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน EN 71-3:2019 ของสหภาพยุโรป และ มาตรฐาน GB 6675-2003 ของประเทศจีน พบว่าตัวอย่างของเล่น 1 ชิ้น ได้แก่ ดินเบา มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินค่ามาตรฐาน EN 71-3:2019 ของสหภาพยุโรปที่กำหนดไว้ที่ 1.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับดินปืน สำหรับตัวอย่างอื่น ๆ ที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักอยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐานของแต่ละประเทศกำหนด เหตุผลที่พบสารตะกั่วในดินเบามากที่สุด อาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตที่มักมีการเติมสารช่วยให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่น นุ่ม และคงรูปได้ดี ซึ่งในโรงงานขนาดเล็กหรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีมาตรฐานรับรอง อาจมีการใช้สารประกอบที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะในของเล่นราคาถูก นอกจากนี้ ดินเบามักมีการแต่งสีให้สดใส เพื่อดึงดูดความสนใจของเด็ก ซึ่งสีบางชนิดอาจมีสารประกอบตะกั่วผสมอยู่เพื่อเพิ่มความสดและความคงทนของสี

ตาราง 20 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค inductively coupled plasma optical emission
spectrometry (ICP-OES)

ตัวอย่าง ของเล่น	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
มาตรฐาน มอก.	25	90	(60)* (25)**	(75)* (50)**	(60)* (25)**	(1000)* (250)**	60	500
มาตรฐาน ASTM	25	90	60	75	60	1000	60	500
มาตรฐาน EN71-3	(47)* (3.8)** (0.9)***	(23)* (2.0)** (0.5)***	(94)* (7.5)** (1.9)***	(17)* (1.3)** (0.3)***	(460)* (37.5)** (9.4)***	(18750)* (1500)** (375)***	(560)* (45)** (11.3)***	(460)* (37.5)** (9.4)***
มาตรฐาน GB6673	25	90	(60)* (25)**	(75)* (50)**	(60)* (25)**	1000 250	60	500
T1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T4	n.d.	0.15 ± 0.01	n.d.	0.39 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.09 ± 0.00	n.d.	n.d.
T5	n.d.	0.18 ± 0.02	n.d.	0.39 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.08 ± 0.00	n.d.	n.d.
T6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T8	n.d.	0.18 ± 0.01	n.d.	0.39 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.08 ± 0.00	n.d.	n.d.
T9	n.d.	0.96 ± 0.16	n.d.	38.72 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.34 ± 0.06	n.d.	n.d.
T10	n.d.	0.63 ± 0.04	n.d.	38.79 ± 0.03	0.29 ± 0.01	0.28 ± 0.03	n.d.	n.d.
T11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T13	n.d.	0.17 ± 0.01	n.d.	3.88 ± 0.00	0.79 ± 0.01	0.75 ± 0.24	n.d.	n.d.
F	n.d.	55.87	n.d.	>9999	8065.22	351.35	n.d.	n.d.
p-value	n.d.	<.001	n.d.	<.001	<.001	<.001	n.d.	n.d.

(*) = ค่ามาตรฐานสำหรับของเล่นทั่วไป (**) = ค่ามาตรฐานสำหรับดินปืน

(***) = ค่ามาตรฐานสำหรับสีน้ำ

n.d. = not detected หมายถึง พบในปริมาณต่ำกว่าที่เครื่องจะตรวจวัดได้

ตารางที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ด้วยเทคนิค inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) พบว่าตัวอย่างของเล่น 6 ชิ้นมีค่าความเข้มข้นสูงสุดของตะกั่ว ดังนี้ ตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.15 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.18 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.18 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.96 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.63 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ตัวอย่าง T13 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.17 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับค่าความเข้มข้นสูงสุดของโครเมียม พบว่าตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.08 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.08 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.08 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.19 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.29 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่าง T13 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.79 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับค่าความเข้มข้นสูงสุดของแบเรียม พบว่าตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.09 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.08 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.08 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.34 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.28 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่าง T13 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.75 ± 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับค่าความเข้มข้นสูงสุดของแคดเมียมพบตัวอย่าง T4 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.39 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T5 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.39 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.39 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T9 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 38.72 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่าง T10 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 38.79 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตัวอย่าง T13 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 3.88 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นพบว่าตัวอย่าง T9 ซึ่งเป็นดินน้ำมันมีค่าความเข้มข้นของตะกั่วสูงที่สุด ตัวอย่าง T10 ซึ่งเป็นดินเบา มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมสูงที่สุด และพบว่าตัวอย่าง T13 ซึ่งเป็นสีน้ำมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมและแบเรียมสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบกับค่าที่กำหนดในมาตรฐานต่าง ๆ ได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 685-2562 ของประเทศไทย มาตรฐาน ASTM F963-17 ของ

ตาราง 21 (ต่อ)

ตัวอย่าง	เทคนิค	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
		As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
T13	pXRF	n.d.	n.d.	n.d.	9.29 ± 2.36	0.72 ± 0.19	n.d.	n.d.	n.d.
	AAS	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ICP-OES	n.d.	0.17 ± 0.01	n.d.	3.88 ± 0.00	0.75 ± 0.24	0.75 ± 0.24	n.d.	n.d.

n.d. = not detected หมายถึง พบในปริมาณต่ำกว่าที่เครื่องจะตรวจวัดได้

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างของเล่นเด็กใช้เทคนิคการวิเคราะห์สามวิธี ได้แก่ Portable X-ray fluorescence (pXRF), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) และ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน การเปรียบเทียบผลจากแต่ละเทคนิคจึงสำคัญต่อการประเมินความสอดคล้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลไม่ครบถ้วนในทุกโลหะหนักสำหรับทุกเทคนิค ทำให้การวิเคราะห์เปรียบเทียบจำกัดเฉพาะโลหะหนักหลัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb), แคดเมียม (Cd) และโครเมียม (Cr) ซึ่งมีข้อมูลเพียงพอ ผลการวิเคราะห์สำหรับโลหะหนักแสดงรายละเอียดดังนี้

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างของเล่นเด็ก

	โลหะหนัก	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Between Groups	Pb	0.413	2	0.207	2.704	0.079
	Cd	294.573	1	294.573	1.115	0.299
	Cr	0.05	1	0.05	0.571	0.454
Within Groups	Pb	3.132	41	0.076		
	Cd	7924.546	30	264.152		
	Cr	4.024	46	0.087		
Total	Pb	3.545	43			
	Cd	8219.119	31			
	Cr	4.074	47			

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วระหว่าง 3 เทคนิค ได้แก่ pXRF AAS และ ICP-OES พบว่าค่าเฉลี่ยของเทคนิค pXRF เท่ากับ 0.41 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าเทคนิค AAS ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเทคนิค ICP-OES ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบ ANOVA แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างเทคนิคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้ค่า F เท่ากับ 2.704 และ p-value เท่ากับ 0.079 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบหลายกลุ่มด้วยวิธี Tukey HSD ก็พบว่าไม่มีคู่เทคนิคใดแตกต่างกันอย่างชัดเจนเช่นกัน ($p > 0.05$) ซึ่งสะท้อนว่า แม้ค่าเฉลี่ยของแต่ละเทคนิคจะมีความแตกต่างเล็กน้อย แต่โดยรวมแล้วผลการวัดความเข้มข้นของตะกั่วจากทั้งสามเทคนิคยังคงสอดคล้องกันในเชิงสถิติ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) ระหว่างเทคนิค pXRF และ ICP-OES ซึ่งมีเพียงสองกลุ่ม จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบหลายกลุ่ม พบว่าค่าเฉลี่ยของเทคนิค pXRF เท่ากับ 14.36 ± 13.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ ICP-OES มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.43 ± 18.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แม้ค่าเฉลี่ยของทั้งสองเทคนิคจะต่างกัน แต่ผลการทดสอบ ANOVA พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า F เท่ากับ 1.115 และ p-value เท่ากับ 0.299 ผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของความแปรปรวนพบว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียม (Cr) ระหว่างเทคนิค pXRF และ ICP-OES ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม พบว่าเทคนิค pXRF มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ 0.31 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนเทคนิค ICP-OES มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 ± 0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แม้ว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองเทคนิคจะแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ผลการทดสอบ ANOVA แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า F เท่ากับ 0.571 และ p-value เท่ากับ 0.454 อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก

ในการศึกษานี้ ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนักจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) แบเรียม (Ba) พลวง (Sb) และซีลีเนียม (Se) โดยโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางพิษวิทยาที่แตกต่างกัน และบางชนิดจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งตามเกณฑ์ของ International Agency for Research on Cancer (IARC)

ตาราง 23 การจำแนกโลหะหนัก 8 ชนิดตามลักษณะความเป็นพิษของสารไม่ก่อมะเร็งและสารก่อมะเร็ง

โลหะหนัก	ลักษณะความเป็นพิษ
สารหนู	สารก่อมะเร็ง
ตะกั่ว	สารไม่ก่อมะเร็ง
ปรอท	สารไม่ก่อมะเร็ง
แคดเมียม	สารก่อมะเร็ง
โครเมียม	สารไม่ก่อมะเร็ง
แบเรียม	สารไม่ก่อมะเร็ง
พลวง	สารไม่ก่อมะเร็ง

ที่มา : Watts, 1998

4.4 ผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พบว่ามีปริมาณโลหะหนักในระดับที่ตรวจวัดได้ ข้อมูลความเข้มข้นดังกล่าวได้นำมาประเมินการรับสัมผัสของเด็กผ่าน 3 ช่องทางหลัก ได้แก่ การรับสัมผัสทางการรับประทาน การหายใจ และการดูดซึมทางผิวหนัง โดยอ้างอิงค่าปัจจัยการสัมผัสตามแนวทางของ U.S.EPA

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจากการรับสัมผัสทางการรับประทาน

จากสูตร

$$I_{\text{oral}} = \frac{C_{\text{oral}} \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

ตาราง 24 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการรับประทาน

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
I	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทาน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
C	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
IR	อัตราการรับเข้าทางการสัมผัสทางการรับประทาน	0.0002 กิโลกรัมต่อวัน
FI	สัดส่วนของสารปนเปื้อนที่ถูกกลืนเข้าสู่ร่างกายเมื่อสัมผัสกับสารปนเปื้อน	สำหรับเด็ก เท่ากับ 0.4 สำหรับผู้ใหญ่ เท่ากับ 0.1
EF	จำนวนครั้งที่สัมผัสกับสารปนเปื้อนในช่วงเวลาหนึ่ง	365 วันต่อปี
ED	ระยะเวลาของการรับสัมผัส	70 ปี ใช้สำหรับสารก่อมะเร็ง 30 ปี ใช้สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง
BW	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้สัมผัส	ผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม เด็กช่วงอายุ 2-9 ปี 21.9 กิโลกรัม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี	สำหรับสารก่อมะเร็ง = 70×365 วันต่อปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = $ED \times 365$ วันต่อปี

ที่มา : Watts, 1998

ตาราง 25 การประเมินการรับสัมผัสทางการรับประทาน

ตัวอย่าง	การรับสัมผัสทางการรับประทาน							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
T1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T4	n.a.	5.63E-07	n.a.	1.42E-06	2.89E-07	3.13E-07	n.a.	n.a.
T5	n.a.	6.39E-07	n.a.	1.41E-06	2.93E-07	2.73E-07	n.a.	n.a.
T6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T8	n.a.	6.63E-07	n.a.	1.41E-06	2.90E-07	2.72E-07	n.a.	n.a.

ตาราง 25 (ต่อ)

ตัวอย่าง	การรับสัมผัสทางการรับประทาน							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
T9	n.a.	3.51E-06	n.a.	1.41E-04	6.95E-07	1.23E-06	n.a.	n.a.
T10	n.a.	2.28E-06	n.a.	1.42E-04	1.08E-06	1.02E-06	n.a.	n.a.
T11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T13	n.a.	6.23E-07	n.a.	1.41E-05	2.92E-06	2.72E-06	n.a.	n.a.

n.a. = not applicable หมายถึง ไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจากการรับสัมผัสทางการหายใจ

จากสูตร

$$I_{inh} = \frac{C_{inh} \times CR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

ตาราง 26 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการหายใจ

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
I	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการ รับประทาน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
C	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
CR	อัตราการหายใจ	ผู้ใหญ่ 0.83 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เด็กช่วงอายุ 2-6 ปี 0.25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ET	เวลาในการสัมผัส	เวลาที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ปนเปื้อน
EF	ความถี่ของการรับสัมผัส	จำนวนวันที่ปฏิบัติงาน
ED	ระยะเวลาของการรับสัมผัส	70 ปี ใช้สำหรับสารก่อมะเร็ง 30 ปี ใช้สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง
BW	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้สัมผัส	ผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม เด็กช่วงอายุ 2-9 ปี 21.9 กิโลกรัม

ตาราง 26 (ต่อ)

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี	สำหรับสารก่อมะเร็ง = 70×365 วันต่อปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = ED×365 วันต่อปี

ที่มา : Watts, 1998

ตาราง 27 การประเมินการรับสัมผัสทางการหายใจ

ตัวอย่าง	การรับสัมผัสทางการหายใจ							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
T1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T4	n.a.	1.76E-03	n.a.	4.42E-03	9.04E-04	9.77E-04	n.a.	n.a.
T5	n.a.	1.99E-03	n.a.	4.42E-03	9.15E-04	8.53E-04	n.a.	n.a.
T6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T8	n.a.	2.07E-03	n.a.	4.42E-03	9.07E-04	8.51E-04	n.a.	n.a.
T9	n.a.	1.10E-02	n.a.	4.42E-01	2.17E-03	3.83E-03	n.a.	n.a.
T10	n.a.	7.13E-03	n.a.	4.43E-01	3.38E-03	3.19E-03	n.a.	n.a.
T11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T13	n.a.	1.9E-03	n.a.	4.42E-02	9.13E-03	8.50E-03	n.a.	n.a.

n.a. = not applicable หมายถึง ไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้

การประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจากการรับสัมผัสทางการดูดซึมทางผิวหนัง

จากสูตร

$$I_{der} = \frac{C_{der} \times SA \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

ตาราง 28 ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษทางการดูดซึมทางผิวหนัง

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าแนะนำ
I	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการ รับประทาน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)
C	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน	ค่าจากการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
SA	พื้นที่ผิวหนังสัมผัสกับสารเคมี	ผู้ใหญ่ ชาย 19400 หญิง 16900 ตารางเซนติเมตร เด็ก 3-6 ปี ชาย 7280 หญิง 7110 ตารางเซนติเมตร
ET	เวลาในการสัมผัส	1 ชั่วโมง
EF	ความถี่ของการรับสัมผัส	365 วัน
ED	ระยะเวลาของการรับสัมผัส	70 ปี ใช้สำหรับสารก่อมะเร็ง 30 ปี ใช้สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง
BW	น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้สัมผัส	ผู้ใหญ่ 70 กิโลกรัม เด็กช่วงอายุ 2-9 ปี 21.9 กิโลกรัม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี	สำหรับสารก่อมะเร็ง = 70×365 วันต่อปี สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = $ED \times 365$ วันต่อปี

ที่มา : Watts, 1998

ตาราง 29 การประเมินการรับสัมผัสทางการดูดซึมทางผิวหนัง

ตัวอย่าง	การรับสัมผัสทางการดูดซึมทางผิวหนัง							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
T1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T4	n.a.	3.66E-05	n.a.	9.20E-05	1.88E-05	2.03E-05	n.a.	n.a.
T5	n.a.	4.15E-05	n.a.	9.19E-05	1.90E-05	1.77E-05	n.a.	n.a.
T6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T8	n.a.	4.31E-05	n.a.	9.19E-05	1.89E-05	1.77E-05	n.a.	n.a.
T9	n.a.	2.28E-04	n.a.	9.19E-03	4.52E-05	7.97E-05	n.a.	n.a.
T10	n.a.	1.48E-04	n.a.	9.20E-03	7.03E-05	6.63E-05	n.a.	n.a.

ตาราง 29 (ต่อ)

ตัวอย่าง	การรับสัมผัสทางการดูดซึมทางผิวหนัง							
	As	Pb	Hg	Cd	Cr	Ba	Sb	Se
T11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
T13	n.a.	4.05E-05	n.a.	9.19E-04	1.89E-04	1.77E-04	n.a.	n.a.

n.a. = not applicable หมายถึง ไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้

4.5 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

จากผลการประเมินการรับสัมผัสทั้ง 3 ช่องทาง ได้แก่ การรับสัมผัสทางการรับประทาน การหายใจ และการดูดซึมผ่านทางผิวหนัง พบว่าปัจจัยการรับสัมผัสทางการรับประทานมีแนวโน้มที่จะทำให้เด็กได้รับสารเข้าสู่ร่างกายมากกว่าและอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงที่สูงกว่า เนื่องจากเด็กมีโอกาสสัมผัสสารผ่านช่องทางนี้บ่อยครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสทางการรับประทานเป็นช่องทางหลัก

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) โดยใช้สูตร

$$HI = \frac{I}{RfD}$$

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง (carcinogen) โดยใช้สูตร

$$R_c = I \times SF$$

ตาราง 30 การประเมินความเสี่ยงของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปี จากการรับสัมผัสตะกั่วจากของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผ่านการสัมผัสทางการรับประทาน

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T1	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI)	not applicable
	ความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
T2	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI)	not applicable
	ความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
T3	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI)	not applicable
	ความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
T4	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI)	1.6E-04
	ความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 30 (ต่อ)

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T5	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.8E-04 ไม่มีความเสี่ยง
T6	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T7	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T8	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.9E-04 ไม่มีความเสี่ยง
T9	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.00E-04 ไม่มีความเสี่ยง
T10	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	6.5E-04 ไม่มีความเสี่ยง
T11	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T12	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T13	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.8E-04 ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 31 การประเมินความเสี่ยงของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปี จากการสัมผัสโครเมียมจากของเล่น
เด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผ่านการสัมผัสทางการรับประทาน

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T1	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T2	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T3	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 31 (ต่อ)

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T4	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	9.6E-05 ไม่มีความเสี่ยง
T5	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	9.8E-05 ไม่มีความเสี่ยง
T6	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T7	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T8	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	9.7E-05 ไม่มีความเสี่ยง
T9	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.3E-04 ไม่มีความเสี่ยง
T10	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	3.6E-04 ไม่มีความเสี่ยง
T11	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T12	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T13	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	0.7E-04 ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 32 การประเมินความเสี่ยงของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปี จากการรับสัมผัสแบบเรื้อรังจากของเล่น
เด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผ่านการสัมผัสทางการรับประทาน

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T1	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T2	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 32 (ต่อ)

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T3	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T4	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.6E-06 ไม่มีความเสี่ยง
T5	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.4E-06 ไม่มีความเสี่ยง
T6	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T7	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T8	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.4E-06 ไม่มีความเสี่ยง
T9	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	6.1E-06 ไม่มีความเสี่ยง
T10	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	5.1E-06 ไม่มีความเสี่ยง
T11	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T12	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T13	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	1.4E-05 ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 33 การประเมินความเสี่ยงของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปี จากการรับสัมผัสแคดเมียมจากของเล่น
เด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผ่านการสัมผัสทางการรับประทาน

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T1	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 33 (ต่อ)

ตัวอย่างของเล่น	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
T2	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T3	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T4	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.8E-03 ไม่มีความเสี่ยง
T5	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.8E-03 ไม่มีความเสี่ยง
T6	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T7	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T8	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.8E-03 ไม่มีความเสี่ยง
T9	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.8E-01 ไม่มีความเสี่ยง
T10	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.8E-01 ไม่มีความเสี่ยง
T11	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T12	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	not applicable ไม่มีความเสี่ยง
T13	ค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index : HI) ความเสี่ยงจากการสัมผัส	2.8E-02 ไม่มีความเสี่ยง

จากการศึกษาพบว่า เด็กอายุ 2-9 ปีที่ได้รับสัมผัสสารตะกั่ว โครเมียม แบเรียม และ แคดเมียมจากของเล่นที่ไม่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐาน ผ่านช่องทางการรับประทาน โดย วิเคราะห์ของเล่นจำนวน 6 ชิ้น พบว่าค่าดัชนีอันตราย (HI) ของทุกตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า 1 จึง สามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสโลหะหนัก

ผ่านช่องทางการรับประทานในระยะสั้น นอกจากนี้ ในตารางผลการประเมินความเสี่ยง พบว่ามีบางค่าแสดงเป็น n.a. (not applicable) ซึ่งหมายถึงไม่สามารถประเมินค่าได้ เนื่องจากไม่พบความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดนั้นในตัวอย่าง (n.d. – not detected) ตามผลวิเคราะห์จากเครื่องมือ จึงไม่มีข้อมูลสำหรับนำมาคำนวณค่าการสัมผัสหรือความเสี่ยงได้ อย่างไรก็ตามควรมีการเฝ้าระวังการสะสมของโลหะหนักที่อาจเกิดขึ้นได้จากการสัมผัสในระยะยาว เนื่องจากการได้รับโลหะหนักอย่างต่อเนื่องแม้ในปริมาณน้อยก็อาจนำไปสู่การสะสมในร่างกายจนถึงระดับที่เป็นอันตรายได้ ซึ่งอาการที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและระยะเวลาการสัมผัส เช่น พัฒนาการล่าช้า การเจริญเติบโตผิดปกติ หรือส่งผลต่อระบบประสาทในเด็ก เป็นต้น ดังนั้นการเลือกของเล่นที่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐานและปลอดภัยต่อเด็กจึงเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงการส่งเสริมให้ผู้ปกครองและผู้ผลิตตระหนักถึงความสำคัญของความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพในระยะยาว



บทที่ 5

สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยเฉพาะของเล่นราคาถูกและไม่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐาน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสี รูปร่าง และลักษณะการออกแบบของของเล่นซึ่งมีผลต่อความสนใจของเด็กอายุระหว่าง 2-9 ปี กับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบ รวมถึงประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านทางการรับประทาน การหายใจ และการสัมผัสทางผิวหนัง

5.1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ของสีและรูปร่างของของเล่นกับความเสี่ยงจากโลหะหนัก

จากแนวคิดของ Artemova (2023) และ Özcan & Tunceli (2023) ชี้ให้เห็นว่าความชอบในสีและรูปร่างมีผลโดยตรงต่อความสนใจและพฤติกรรมการเล่นของเด็ก โดยเด็กผู้หญิงมักชอบสีอ่อนและสดใส เช่น สีชมพู สีเหลือง และสีฟ้า เป็นต้น ขณะที่เด็กผู้ชายมักชอบสีเข้ม เช่น สีน้ำเงิน สีแดง และสีเขียว เป็นต้น ซึ่งความชอบในสีเหล่านี้ส่งผลต่อการเลือกของเล่นอย่างชัดเจน เนื่องจากสีสามารถกระตุ้นการรับรู้ทางสายตาและอารมณ์ของเด็ก นอกจากนี้ความชอบในรูปร่างก็มีบทบาทสำคัญ เนื่องจากเด็กมักชอบของเล่นที่มีรูปทรงคล้ายสิ่งของที่พบเห็นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน ซึ่งช่วยกระตุ้นจินตนาการและส่งเสริมพัฒนาการทางสังคมของเด็ก การเลือกของเล่นตามความชอบเหล่านี้ทำให้เด็กมีแนวโน้มเล่นซ้ำๆ หรือเล่นเป็นระยะเวลานาน จึงอาจเพิ่มความถี่ในการรับสัมผัสและเพิ่มโอกาสในการได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายได้ ทั้งนี้ของเล่นราคาถูกที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต อาจใช้วัตถุดิบที่มีเมทัลหรือสารเคมีที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เพื่อเพิ่มความคงทนและความเงางามของสี ซึ่งหากไม่มีการรับรองมาตรฐานที่เข้มงวดอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในของเล่นที่เด็กใช้โดยตรง โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาพฤติกรรมตามธรรมชาติของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปีที่มักมีการอม กัด หรือหยิบของเล่นเข้าปาก ซึ่งเพิ่มโอกาสในการรับสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นสีและรูปร่างของของเล่นจึงไม่เพียงแต่มีบทบาทต่อพฤติกรรมการเล่นของเด็ก แต่ยังเป็นปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงในการได้รับสารโลหะหนักจากของเล่นที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานอีกด้วย

5.1.2 การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐาน

จากการศึกษาพบความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างของเล่นเด็กที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ถึงแม้ว่าจะพบปริมาณโลหะหนักในระดับต่ำ หรืออยู่ในช่วงที่ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 685-2562 ของประเทศไทย มาตรฐาน ASTM F963-17 ของสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน EN 71-3:2019 ของสหภาพยุโรป และ มาตรฐาน GB 6675-2003 ของประเทศจีน ซึ่งสาเหตุของการปนเปื้อนโลหะหนักในของเล่นราคาถูกที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานหรือการใช้วัตถุดิบคุณภาพต่ำ โดยเฉพาะการเติมโลหะหนักลงในขั้นตอนการผลิต เช่น การผสมในสี สารเคลือบเงา สารทำให้พลาสติกอ่อนนุ่ม หรือสารที่ทำให้พลาสติกพองตัว เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักเหล่านี้มักถูกนำมาใช้เพราะมีคุณสมบัติที่ช่วยให้สีติดทนนาน เงามาม ทนต่อเชื้อรา และการกัดกร่อน อีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญคือการใช้วัสดุรีไซเคิลในการผลิตของเล่น ซึ่งอาจมีโลหะหนักตกค้างจากผลิตภัณฑ์เดิมและปนเปื้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งของเล่นที่ไม่มีเครื่องหมาย มอก. เหล่านี้มักพบได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยมากเป็นของนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งอาจไม่มีการควบคุมคุณภาพหรือเลือกใช้วัตถุดิบที่ปลอดภัย ส่งผลให้มีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนโลหะหนักในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ผลการศึกษาครั้งนี้จึงเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการควบคุมคุณภาพของเล่นเด็กอย่างเข้มงวดทั้งในด้านวัตถุดิบและกระบวนการผลิต โดยเฉพาะของเล่นราคาถูกที่ไม่มีการรับรองคุณภาพ ถึงแม้ว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบอาจอยู่ในระดับต่ำ แต่ก็อาจสะสมในร่างกายเด็กได้เมื่อมีการสัมผัสซ้ำบ่อยครั้ง และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว

จากผลการศึกษาพบว่าดินบ้านมีแคดเมียมสูงถึงประมาณ 38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แม้จะยังไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดโดยไทย สหรัฐอเมริกา และจีน แต่กลับเกินเกณฑ์ของสหภาพยุโรปซึ่งกำหนดไว้อย่างเข้มงวดเพื่อป้องกันผลกระทบระยะยาว ทั้งนี้ การตรวจพบแคดเมียมในดินบ้านมีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากการเติมสารประกอบแคดเมียมเพื่อใช้เป็นเม็ดสี ช่วยให้สีของดินบ้านมีความสดใส หรือใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อช่วยให้เนื้อดินบ้านคงตัว ไม่ขึ้นรา และมีอายุการใช้งานนานขึ้น ซึ่งหากกระบวนการผลิตใช้วัตถุดิบราคาถูกหรือควบคุมคุณภาพไม่เข้มงวดก็อาจทำให้มีสารตกค้างเกินมาตรฐานของบางประเทศได้ ของเล่นประเภทนี้จึงอาจเป็นแหล่งรับสัมผัสแคดเมียมสำคัญของเด็ก เนื่องจากเด็กมักมีพฤติกรรมสัมผัสดินบ้านโดยตรงและอาจเผลอนำเข้าปาก ทำให้แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายทั้งทางการกินและการสัมผัส หากได้รับและสะสมต่อเนื่องจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อไต กระดูก ระบบทางเดินหายใจ และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้

ในระยะยาว แคลเซียมเป็นโลหะหนักที่ร่างกายขับออกได้ยากและสามารถคงอยู่ได้นานหลายสิบปี โดยมีไตเป็นอวัยวะหลักที่ได้รับผลกระทบ การสะสมในระดับต่ำแต่ต่อเนื่องอาจเพิ่มโอกาสเกิด ความผิดปกติของไต ความผิดปกติของกระดูก ระบบทางเดินหายใจ และยังมีข้อมูลยืนยันว่า แคลเซียมเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ด้วย ดังนั้น แม้ปริมาณที่พบจะยังอยู่ในเกณฑ์ของหลาย ประเทศ แต่หากพิจารณาตามหลักพิษวิทยาและศักยภาพการสะสม จะเห็นได้ว่าการสัมผัส แคลเซียมจากของเล่นประเภทดินปั้นอาจมีความเสี่ยงเชิงเรื้อรัง โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่ควรได้รับการควบคุมและเฝ้าระวังอย่างเหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพในระยะยาว

สำหรับตะกั่วในตัวอย่างดินปั้นมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1–5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างที่พบค่ามากที่สุดก็เป็นดินปั้นเช่นเดียวกัน สาเหตุที่พบตะกั่วในดินปั้นอาจเกิดจากการใช้สารประกอบตะกั่วเป็นส่วนผสมในเม็ดสีหรือสารเติมแต่งบางประเภท เพื่อให้สีมีความ สดใส ติดทน และช่วยเพิ่มคุณสมบัติบางอย่างของเนื้อดินปั้น แต่หากกระบวนการผลิตไม่ได้ ควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวดหรือใช้วัตถุดิบราคาถูกก็อาจมีสารตกค้างเกินมาตรฐานได้เช่นกัน ของเล่นประเภทนี้จึงอาจเป็นแหล่งรับสัมผัสตะกั่วที่สำคัญ โดยเฉพาะในเด็กที่มีพฤติกรรมสัมผัส โดยตรงและเผลอนำเข้าปาก ทำให้ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายทั้งทางการกินและการสัมผัสโดยตรง การได้รับตะกั่วส่งผลกระทบต่อสุขภาพเด็ก เนื่องจากเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ตะกั่วจะแพร่กระจาย ไปยังอวัยวะสำคัญ เช่น สมอง ไต ตับ และกระดูก ตะกั่วจะสะสมในฟันและกระดูกได้ยาวนาน ซึ่ง ตะกั่วที่สะสมอยู่ในกระดูกอาจถูกปลดปล่อยกลับเข้าสู่กระแสเลือดระหว่างตั้งครรภ์และก่ ออันตรายต่อทารกในครรภ์ได้อีกด้วย เด็กที่ขาดสารอาหารจำพวกแคลเซียมหรือธาตุเหล็กจะมีความเสี่ยงในการดูดซึมตะกั่วสูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมองและระบบประสาท เช่น ทำให้เกิดโคม่า ชัก หรืออาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ ตะกั่วยังส่งผลต่อพัฒนาการทางสมองของเด็ก อย่างถาวร ทำให้ระดับสติปัญญา (IQ) ลดลง พฤติกรรมเปลี่ยนแปลง เช่น มีสมาธิสั้น พฤติกรรม ต่อต้านสังคมเพิ่มขึ้น และผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาลดลง นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดภาวะโลหิต ภาวะ ความดันโลหิตสูง ไตวาย และเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ ปัจจุบันยังไม่มีระดับความเข้มข้นของ ตะกั่วในเลือดที่ถือว่าปลอดภัย แม้ความเข้มข้นในเลือดต่ำเพียง 3.5 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ก็ยัง สัมพันธ์กับปัญหาด้านสติปัญญา พฤติกรรม และการเรียนรู้ในเด็กได้ (องค์การอนามัยโลก, 2567) ดังนั้น แม้ค่าที่พบในดินปั้นจะไม่สูงเมื่อเทียบกับมาตรฐานบางประเทศ แต่ด้วยศักยภาพในการ สะสมและความเปราะบางทางสุขภาพของเด็ก กลุ่มของเล่นประเภทนี้จึงควรได้รับการควบคุมและ เฝ้าระวังอย่างรัดกุม เพื่อป้องกันผลกระทบต่อพัฒนาการของเด็กในระยะยาว

สำหรับโครเมียมในตัวอย่างสีน้ำมีค่าความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 0.799 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แม้ปริมาณที่พบจะอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น แต่การตรวจพบ

โครเมียมในของเล่นประเภทสีน้ำก็ยังคงเป็นประเด็นที่ควรเฝ้าระวัง เนื่องจากโครเมียมเป็นวัตถุพิษที่มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสินค้า เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม การชุบเคลือบโลหะ พลาสติก และอาจใช้เป็นส่วนประกอบในสีหรือเม็ดสีของของเล่นเพื่อให้สีสดและติดทนนาน โดยทั่วไป ของเล่นมักใช้โครเมียมในรูปแบบไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr(III)) ซึ่งพบได้ตามธรรมชาติและถือเป็นธาตุอาหารจำเป็นต่อร่างกาย มีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินและกระบวนการเผาผลาญโปรตีน ไขมัน และน้ำตาล อย่างไรก็ตาม หากได้รับ Cr(III) ในปริมาณมากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เช่น ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจหรือระบบย่อยอาหาร ส่วนเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Cr(VI)) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่า อาจปนเปื้อนได้หากกระบวนการผลิตไม่ได้มาตรฐาน โดย Cr(VI) จัดเป็นสารอันตรายและสารก่อมะเร็งในมนุษย์ การได้รับสะสมต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ทำให้เกิดแผลหรือสูญเสียเนื้อเยื่อ การสูดดมในปริมาณมากอาจทำลายระบบทางเดินหายใจและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอดได้ ส่วนการรับประทานในปริมาณมากอาจทำให้เกิดโลหิตจางหรือทำลายกระเพาะอาหารและลำไส้ได้ แม้ค่าที่พบในสีน้ำจะอยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพการสะสมและความรุนแรงของผลกระทบ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการปนเปื้อน Cr(VI) จึงควรมีการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบและเฝ้าระวังการใช้สารประกอบโครเมียมในของเล่นอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กและผู้ใช้ในระยะยาว

สำหรับแบเรียมในตัวอย่างสีน้ำมีค่าความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 0.745 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แม้ค่าที่ตรวจพบจะไม่สูงมาก แต่การพบแบเรียมในของเล่นประเภทสีน้ำก็ยังคงเป็นประเด็นที่ควรให้ความสนใจ เนื่องจากแบเรียมจัดเป็นธาตุโลหะแอลคาไลน์เอิร์ทที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยสารประกอบแบเรียมมักถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ โดยเฉพาะในการผลิตโคลนเจาะเพื่อช่วยหล่อลื่นหัวเจาะ ลดแรงเสียดทาน และควบคุมแรงดัน นอกจากนี้ โคลนเจาะยังถูกนำไปใช้ผลิตสี อิฐ เซรามิก แก้ว และยาง ส่วนแบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) ยังถูกนำมาใช้ทางการแพทย์เป็นสารทึบรังสีสำหรับการตรวจระบบทางเดินอาหาร สำหรับในของเล่น การตรวจพบแบเรียมในสีน้ำอาจมาจากการใช้สารประกอบแบเรียมในเม็ดสีหรือสารเติมแต่งเพื่อปรับคุณสมบัติของสีให้มีความสด ติดทน และกระจายตัวได้ดี อย่างไรก็ตาม การสัมผัสสารประกอบแบเรียมอาจมีความเสี่ยงต่อสุขภาพแตกต่างกันตามประเภทของสารประกอบ โดยสารประกอบที่ละลายในน้ำหรือในระบบย่อยอาหารได้ง่ายจะมีอันตรายมากกว่า หากเด็กได้รับสารประกอบแบเรียมที่ละลายน้ำได้ในปริมาณมากอาจทำให้เกิดอาการรุนแรง เช่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ อัมพาต หรืออาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ อาการอื่น ๆ อาจได้แก่ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย หายใจลำบาก อาการชาบริเวณใบหน้า บวมในลำไส้ น้ำหนักตัวลดลง และอาจเกิดความเสียหายต่อไตหากได้รับในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ตามรายงานของกระทรวงสาธารณสุขและบริการมนุษย์

(DHHS) และองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) แบริยมไม่ได้ถูกจัดเป็นสารก่อมะเร็ง ในขณะที่ยังไม่มีข้อมูลยืนยันเพียงพอว่าการสูดดมแบริยมจะทำให้เกิดมะเร็งได้ ดังนั้น แม้ค่าที่พบในสื่อน้ำจะอยู่ในระดับต่ำและสารประกอบส่วนใหญ่ที่ใช้ในสีมักเป็นชนิดที่ไม่ละลายน้ำ แต่ก็ยังควรมีการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบและกระบวนการผลิตอย่างรัดกุม เพื่อป้องกันไม่ให้เด็กได้รับสารประกอบแบริยมที่เป็นอันตรายในปริมาณที่เกินค่าที่ปลอดภัย

จากผลการศึกษาพบว่าในตัวอย่างของเล่นมีการตรวจพบโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม และแบริยม อยู่ในช่วงความเข้มข้นประมาณ 0.075–38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยส่วนใหญ่พบว่าของเล่นประเภทดินปั้นมักมีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักสูงกว่าของเล่นประเภทอื่น สะท้อนถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ผลิตอาจเติมสารประกอบโลหะหนักเพื่อปรับคุณสมบัติของเนื้อดินปั้น เช่น ช่วยให้สีสดใส เนื้อสัมผัสคงตัว หรือยืดอายุการใช้งาน แม้โลหะหนักบางชนิดอาจอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของบางประเทศ แต่เมื่อพิจารณาตามหลักพิษวิทยาแล้ว โลหะหนักส่วนใหญ่มีศักยภาพก่ออันตรายได้ทั้งทางเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่มีพฤติกรรมสัมผัสโดยตรงและอาจนำเข้าปากได้ง่าย ความเสี่ยงต่อสุขภาพที่สำคัญ ได้แก่ การสะสมในไต กระดูก ระบบประสาท การทำงานผิดปกติของสมองและอวัยวะสำคัญ รวมถึงความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในระยะยาว ดังนั้น แม้ปริมาณที่พบส่วนหนึ่งจะยังไม่เกินมาตรฐานในหลายประเทศ แต่หากพิจารณาศักยภาพการสะสมและความเปราะบางทางสรีรวิทยาของเด็กแล้ว ของเล่นที่ไม่มี การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบและกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสมยังคงเป็นประเด็นที่ควรได้รับการเฝ้าระวัง ควบคุม และสร้างความตระหนักให้แก่ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และผู้ปกครอง เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว

5.1.3 การศึกษาผลการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักในของเล่น

จากการศึกษาได้พิจารณาช่องทางการรับสัมผัสโลหะหนักจากของเล่นเด็กผ่านทั้ง 3 ช่องทาง ได้แก่ การรับสัมผัสผ่านการรับประทาน การหายใจ และการดูดซึมผ่านผิวหนัง โดยแต่ละช่องทางล้วนมีโอกาสที่เด็กจะได้รับสารโลหะหนักเข้าสู่ร่างกาย แต่เมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมตามธรรมชาติของเด็กวัย 2–9 ปี ซึ่งมักมีนิสัยชอบนำของเล่นเข้าปาก อม หรือกัดเล่น จึงทำให้ช่องทางการรับสัมผัสผ่านการรับประทานเป็นช่องทางที่มีโอกาสสูงที่สุดที่โลหะหนักจะเข้าสู่ร่างกาย และสะสมจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว การศึกษานี้จึงเลือกใช้ข้อมูลจาก ช่องทางการรับประทานเป็นหลัก ซึ่งจากการประเมินการรับสัมผัสทางการรับประทาน พบว่าค่าการประเมินการรับสัมผัสสารโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างของเล่นที่ไม่มีการรับรองมาตรฐานยังคงอยู่ในระดับที่ไม่เกินเกณฑ์ความปลอดภัยที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ของเล่นประเภทดินน้ำมันและดินปั้น

ยังคงแสดงค่าความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในระดับที่ควรเฝ้าระวัง เนื่องจากของเล่นประเภทนี้มักมีสีสัณฐานและลักษณะสัมผัสที่ดึงดูดใจ เด็กจึงมีแนวโน้มเล่นซ้ำบ่อยครั้งหรืออาจนำเข้าปากได้ ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสโลหะหนักโดยไม่รู้ตัว ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yazdanfar et al. (2022) ที่ระบุว่า แม้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในตัวอย่างของเล่นทั้งหมดจะไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด แต่ยังคงมีความจำเป็นต้องควบคุมและเฝ้าระวังความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสโลหะหนักจากของเล่น ดังนั้น แม้ผลการประเมินในงานวิจัยนี้จะไม่พบค่าการรับสัมผัสที่เกินเกณฑ์ความปลอดภัย แต่ก็ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการส่งเสริมมาตรฐานความปลอดภัยของของเล่นเด็กที่วางจำหน่ายในร้านค้าทั่วไป โดยเฉพาะในกลุ่มของเล่นที่ไม่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐาน ซึ่งอาจเปิดโอกาสให้ของเล่นที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักเข้าสู่ท้องตลาด และเพิ่มความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสของเด็กในระยะยาวได้

5.1.4 การศึกษาผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กช่วงอายุ 2-9 ปี

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กอายุ 2-9 ปี จากการได้รับสารโลหะหนักที่ปนเปื้อนในของเล่นที่ไม่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐาน ผลการศึกษาคำดัชนีอันตรายจากตัวอย่างของเล่นจำนวน 13 ชิ้น พบว่าค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index: HI) อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กจากการสัมผัสของเล่นเหล่านี้มีแนวโน้มอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งการที่ค่า HI ต่ำกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงเรื้อรังจากการได้รับโลหะหนักยังไม่อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพสำหรับทั้งสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งและสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากเด็กเป็นกลุ่มเปราะบางทางสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กอายุ 2-9 ปี ถึงแม้ว่าการรับสัมผัสในระดับต่ำก็อาจสะสมในร่างกายได้เมื่อเกิดการสะสมในปริมาณที่มากเกินไปเป็นระยะเวลานานก็อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอาการเจ็บป่วยหรือปัญหาด้านสุขภาพในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในเด็กอายุ 2-9 ปี จากการสัมผัสโลหะหนักในของเล่นเด็ก ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก ตลอดจนแนวทางในการเลือกซื้อของเล่นที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดความเสี่ยงจากการสัมผัสโลหะหนักผ่านของเล่นเด็ก ดังนี้

1. การเลือกใช้เครื่องมือวิเคราะห์ควรพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการตรวจวัดลักษณะของตัวอย่าง และความพร้อมของเครื่องมือ โดยจากผลการศึกษาพบว่า pXRF เหมาะ

สำหรับการตรวจวัดเบื้องต้นภาคสนาม และการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมากในเวลาจำกัด เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว สำหรับ AAS เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก แต่มีข้อจำกัดด้านความไวในการตรวจจับ จึงอาจไม่สามารถตรวจพบโลหะหนักในตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำได้ ขณะที่ ICP-OES เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ต้องการความไวและความละเอียดสูง เนื่องจากสามารถตรวจวัดโลหะหนักในระดับความเข้มข้นต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือวิเคราะห์ควรสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้

2. จากผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการย่อยตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงขอเสนอแนะให้งานวิจัยในอนาคตหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พิจารณาใช้วิธีการย่อยตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การย่อยด้วยวิธี solid phase extraction และวิธี Microwave digestion เป็นต้น เพื่อให้กระบวนการย่อยตัวอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจวัดได้มีความถูกต้องและแม่นยำ สามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

3. จากผลการศึกษาพบว่าของเล่นเด็กบางรายการที่วางจำหน่ายทั่วไป โดยเฉพาะของเล่นราคาถูกที่ไม่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) อาจมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนัก ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเพิ่มบทบาทในการกำกับดูแลอย่างใกล้ชิด โดยเพิ่มความถี่ในการสุ่มตรวจสอบสินค้าของเล่นในร้านค้าทั้งในเขตเมืองและชุมชนท้องถิ่น เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้าที่วางจำหน่ายมีความปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ ควรกำหนดมาตรการเชิงรุก เช่น การให้ความรู้แก่ผู้ประกอบการร้านค้าเกี่ยวกับความสำคัญของการจำหน่ายสินค้าที่ได้มาตรฐาน และส่งเสริมให้จำหน่ายเฉพาะสินค้าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งควรมีมาตรการให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนักในของเล่นตั้งแต่กระบวนการนำเข้าและการผลิต เพื่อป้องกันไม่ให้ของเล่นที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยเข้าสู่ตลาด ลดโอกาสที่เด็กจะได้รับสารปนเปื้อน และลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพิษวิทยาของโลหะหนักแต่ละชนิด เพื่อให้ทราบกลไกการก่อพิษและขีดจำกัดการรับสารของร่างกายอย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการ

กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนักในของเล่นเด็กให้มีความเหมาะสม ครอบคลุม และสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

5. ผู้ปกครองควรพิจารณาเลือกของเล่นที่ผ่านการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หรือมีฉลากแสดงข้อมูลผู้ผลิต แหล่งที่มา และรายละเอียดวัสดุที่ใช้อย่างชัดเจน เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงจากการได้รับสารอันตราย โดยเฉพาะโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนอยู่ในของเล่นที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กในระยะยาว นอกจากนี้ผู้ปกครองควรสังเกตและระมัดระวังพฤติกรรมการเล่นของเด็ก โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กเล็กที่มีแนวโน้มจะนำของเล่นเข้าปาก หรือสัมผัสกับของเล่นเป็นเวลานาน เนื่องจากพฤติกรรมดังกล่าวอาจเพิ่มโอกาสในการรับสารปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายผ่านทางกรกิน การสัมผัส หรือการหายใจ ผู้ปกครองควรแนะนำและส่งเสริมให้เด็กเล่นของเล่นอย่างถูกวิธี รวมถึงทำความสะอาดของเล่นเป็นประจำ และหลีกเลี่ยงของเล่นที่มีสีสดฉูดฉาดหรือมีกลิ่นฉุนผิดปกติ ซึ่งอาจแสดงถึงการใช่วัสดุที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานความปลอดภัย

บรรณานุกรม

- Akimzhanova, Z., Guney, M., Kismelyeva, S., Zhakiyenova, A., & Yagofarova, A. (2020). Contamination by eleven harmful elements in children's jewelry and toys from Central Asian market. *Environmental Science and Pollution Research*, 27. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08631-5>
- Chen, H., Chai, M., Cheng, J., Wang, Y., & Tang, Z. (2022). Occurrence and health implications of heavy metals in preschool children's clothing manufactured in four Asian regions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 245, 114121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114121>
- Gul, A., Gul, D.-e.-S., & Mohiuddin, S. (2023). Metals as toxicants in event-based expedited production of children's jewelry. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(29), 73964-73973. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27620-y>
- Gul, D.-e.-S., Gul, A., Tanoli, A. K., Ahmed, T., & Mirza, M. A. (2022). Contamination by hazardous elements in low-priced children's plastic toys bought on the local markets of Karachi, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(34), 51964-51975. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19362-0>
- Igweze, Z. N., Ekhaton, O. C., & Orisakwe, O. E. (2020). A pediatric health risk assessment of children's toys imported from China into Nigeria. *Heliyon*, 6(4), e03732. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03732>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol*, 7(2), 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Joint Research Centre: Institute for Reference, M., Measurements, Cordeiro, F., D. B., Emteborg, H., Robouch, P., Baer, I., Charoud-Got, J., & Kortsen, B. (2012). IMEP-34 – Heavy metals in toys according to EN 71-3:1994 – Interlaboratory comparison report. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2787/63387>
- Jurowski, K. (2023). The toxicological assessment of hazardous elements (Pb, Cd and Hg) in low-cost jewelry for adults from Chinese E-commerce platforms: In situ analysis by portable X-ray fluorescence measurement. *Journal of Hazardous*

Materials, 460, 132167.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132167>

Mukhi, S., M. S., R., Ajay Manjrekar, P., Iyyaswami, R., & H., S. (2024). Assessment of Arsenic, Vanadium, Mercury, and Cadmium in Food and Drug Packaging [version 3; peer review: 2 approved, 1 not approved]. *F1000Research*, 11(648). <https://doi.org/10.12688/f1000research.121473.3>

Peng, J., Gao, Z., Xu, J., Lin, Y., Specht, A. J., Chen, S., Nie, L. H., Huang, L., & Yan, C. (2024). Concurrent Assessment on Blood Lead in Young Children and Toy Lead in Shanghai. *Exposure and Health*, 16(3), 633-642. <https://doi.org/10.1007/s12403-023-00582-9>

Sargsyan, A., Nash, E., Binkhorst, G., Forsyth, J. E., Jones, B., Sanchez Ibarra, G., Berg, S., McCartor, A., Fuller, R., & Bose-O'Reilly, S. (2024). Rapid Market Screening to assess lead concentrations in consumer products across 25 low- and middle-income countries. *Sci Rep*, 14(1), 9713. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59519-0>

Tulve, N., Suggs, J., McCurdy, T., Cohen Hubal, E., & Moya, J. (2002). Frequency of mouthing behavior in young children. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 12, 259-264. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500225>

Tunçeli, H. İ., & Ferah Özcan, A. (2023). The Color Liking and Object Color Preferences of 48-84 Month-old Children According to the Gender [48-84 Aylık Çocukların Cinsiyete Göre Renk Beğenileri ve Nesne Renk Tercihleri]. *Eğitim Kuram ve Uygulama Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 163-178.

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ekud/issue/79743/1337342>

United States Environmental Protection Agency. (2011). Exposure factors handbook (EPA/600/R-09/052F). U.S. Environmental Protection Agency

Watts, R. J. (1998). *Hazardous Wastes: Sources, Pathways, Receptors*. John Wiley & Sons.

Yazdanfar, N., Vakili Saatloo, N., & Sadighara, P. (2022). Contamination of potentially toxic metals in children's toys marketed in Iran. *Environ Sci Pollut Res Int*, 29(45), 68441-68446. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20720-1>

กรมควบคุมมลพิษ. (2561). โลหะหนัก : ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก <https://epo13.pcd.go.th/th/news/detail/9211>

กองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2567). แนวทางการเฝ้าระวังสุขภาพผู้สัมผัสแคดเมียม (Cadmium: Cd) สำหรับสถานประกอบกิจการ. สืบค้นจาก <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1555720240414120256.pdf>

ดลรวี แวแยง, สุภาภรณ์ ยิ้มเที่ยง. (2021). การสัมผัสสารตะกั่วและผลกระทบต่อสุขภาพหญิงตั้งครรภ์และเด็ก. *วารสารแพทยนาวิ*, 48(3).

ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2020). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ*, 13(1), 76-82.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของเล่น: เฉพาะด้านความปลอดภัย เล่ม 1 ข้อกำหนด (มอก. 685 เล่ม 1-2562). กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของเล่น: เฉพาะด้านความปลอดภัย เล่ม 2 วิธีการทดสอบ (มอก. 685 เล่ม 2-2562). กระทรวงอุตสาหกรรม.



ภาคผนวก ก
อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์

1. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1.1 ตัวอย่างของเล่น
- 1.2 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (v/v)
- 1.3 สารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก
- 1.4 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

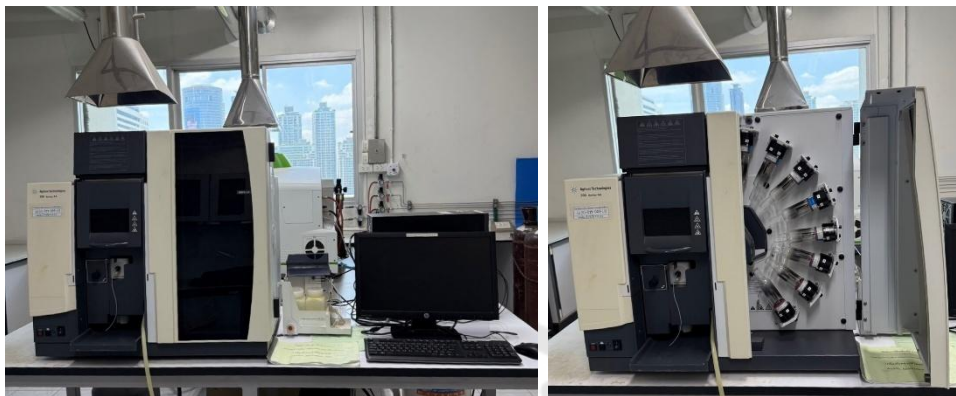
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2.2 เครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
- 2.3 ชุดกรองสารละลาย (Filtering Apparatus)
- 2.4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา (portable X-ray fluorescence spectrometer: pXRF) รุ่น TrueX Handheld XRF



ภาพประกอบ ก.1 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา

2.5 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (atomic absorption spectrometer: AAS) รุ่น Agilent 280FS AA



ภาพประกอบ ก.2 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

2.6 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์การปล่อยแสงโดยพลาสมาเหนี่ยวนำ (inductively coupled plasma - optical emission spectrometer: ICP-OES) รุ่น PlasmaQuant 9100 Series



ภาพประกอบ ก.3 เครื่องสเปกโทรมิเตอร์การปล่อยแสงโดยพลาสมาเหนี่ยวนำ

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างตามวิธีทดสอบที่ระบุในมาตรฐาน มอก. 685 เล่ม 2 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบของเล่นเด็กที่อาจมีสารอันตรายปนเปื้อน ดังนี้

1.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างที่มีสีและสารเคลือบ

1.1.1 ล้างทำความสะอาดตัวอย่างของเล่นทั้งหมดด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.1.2 ทำการขูดสีและสารเคลือบออกจากตัวอย่างของเล่นด้วยใบมีดที่สะอาด และบดให้ละเอียดจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มิลลิเมตร

1.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ขีดเขียน สี รวมถึง ฟิงเกอร์เพนท์ วาร์นิช แล็กเกอร์ ผงเคลือบ และวัสดุอื่นที่คล้ายกันที่เป็นของแข็งหรือของเหลว

1.2.1 ล้างทำความสะอาดตัวอย่างของเล่นทั้งหมดด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.2.2 ตัดส่วนที่ใช้ทดสอบเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยใบมีดที่สะอาด ให้มีขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร โดยไม่ต้องบีบอัด

1.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะยืดหยุ่น ดินปั้น และเจล

1.3.1 ทำให้ดินปั้นหรือวัสดุที่ยืดหยุ่นเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร

2. ขั้นตอนการย่อยตัวอย่าง

1. นำส้อมขูดตัวอย่างจากของเล่น 1 ชิ้น จำนวน 4 ตำแหน่ง ด้วยใบมีดเหล็กกล้าไร้สนิม โดยแต่ละตำแหน่งถือเป็น 1 ตัวอย่าง

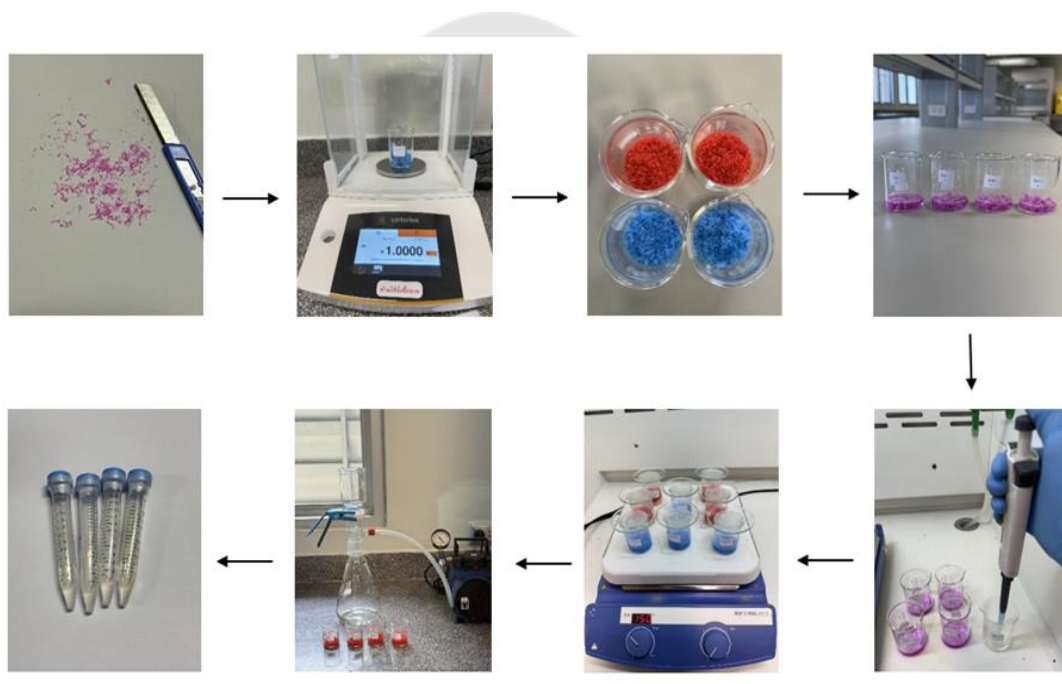
2. นำตัวอย่างที่ขูดได้แต่ละตำแหน่งมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยชั่งน้ำหนักแต่ละตัวอย่างประมาณ 1.0000 ± 0.0002 กรัม

3. ใส่ตัวอย่างแต่ละตำแหน่งลงในปิកเกอร์แยกกัน รวมทั้งหมด 4 ปิកเกอร์ (ตัวอย่างละ 1 ปิកเกอร์)

4. เติมน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงในแต่ละปิกเกอร์

5. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (v/v) 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละปิกเกอร์

6. นำไปให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิประมาณ 100–150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. เมื่อครบเวลาการย่อยแล้วนำสารละลายตัวอย่างพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง
8. กรองสารละลายด้วยชุดกรองสารละลาย (Filtering Apparatus) โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 แยกของแข็งออกจากสารละลาย
9. เก็บสารละลายตัวอย่างในหลอดพอลิเอทิลีนจนถึงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก



ภาพประกอบ ข.1 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างของเล่น

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสูงสุดสำหรับโลหะหนักแต่ละชนิด จากนั้นทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

4. การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสโลหะหนัก

4.1 การวินิจฉัยความเสี่ยงอันตราย

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) จากสมการ

$$R' = \frac{C_{\max}}{Rfd}$$

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จากสมการ

$$R' = C_{\max} \times SF$$

คำนวณค่า chemicals score ทั้งหมดในแต่ละตัวกลาง จากสมการ

$$R' = R'_{1j} + R'_{2j} + \dots + R'_{ij}$$

เมื่อ	R'_{ij}	คือ	chemical score ของสารปนเปื้อน i ในตัวกลาง j
	R'_j	คือ	chemical score ทั้งหมดในตัวกลาง j
	$C_{\max}$	คือ	ความเข้มข้นสูงสุด
	RfD	คือ	reference dose หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	SF	คือ	slope factor หน่วยกิโลกรัมต่อวันต่อมิลลิกรัม

4.2 การประเมินการสัมผัส

ทำการประเมินตามแนวทางการประเมินการสัมผัสกับโลหะหนักที่อ้างอิงจากสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางปาก โดยใช้สูตร

$$I_{\text{oral}} = \frac{C_{\text{oral}} \times IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ	I	คือ	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการสัมผัสทางปาก หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	C	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมี หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	IR	คือ	อัตราการรับเข้าทางการสัมผัสทางปาก
	FI	คือ	สัดส่วนการสัมผัสของเล่นที่ปนเปื้อนทางปากทั้งหมด

EF	คือ	ความถี่ของการรับสัมผัส หน่วยวันต่อปี
ED	คือ	ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
BW	คือ	น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
AT	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางการหายใจ โดยใช้สูตร

$$I_{inh} = \frac{C_{inh} \times CR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

เมื่อ	I	คือ	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	C _{inh}	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	CR	คือ	อัตราการหายใจ หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
	ET	คือ	เวลาในการสัมผัส หน่วยชั่วโมงต่อวัน
	ED	คือ	ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
	BW	คือ	น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
	AT	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

การประมาณค่าสารที่จะเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสทางผิวหนัง โดยใช้สูตร

$$I_{der} = \frac{C_{der} \times SA \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

เมื่อ	I	คือ	ปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการดูดซึมทางผิวหนัง หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	C _{der}	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมีที่สัมผัสทางผิวหนัง หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร
	SA	คือ	พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัสกับสารเคมี หน่วยตารางเซนติเมตร
	ABS	คือ	ค่าการดูดซับสารเคมีทางผิวหนัง
	EF	คือ	ความถี่ของการรับสัมผัส หน่วยวันต่อปี

ED	คือ	ระยะเวลาของการรับสัมผัส หน่วยปี
CF	คือ	conversion factor
BW	คือ	น้ำหนักร่างกายของผู้ที่สัมผัส หน่วยกิโลกรัม
AT	คือ	ระยะเวลาเฉลี่ยของการรับสารเคมี หน่วยวัน

4.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

โดยทั่วไปค่าดัชนีอันตรายจะกำหนดให้มีค่าที่อยู่ในระดับยอมรับได้โดยมีค่าน้อยกว่า 1 หมายถึง เป็นค่าที่ผู้รับสารพิษอาจจะไม่แสดงการตอบสนองต่อสารพิษในเชิงลบเมื่อ HI มีค่าน้อยกว่า 1

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง โดยใช้สูตร

$$HI = \frac{I}{RfD}$$

โดยทั่วไปค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสสารพิษที่เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งกำหนดให้มีค่าที่ยอมรับได้อยู่ระหว่าง 10^{-4} - 10^{-6}

การคำนวณหาค่าคะแนนสำหรับสารก่อมะเร็ง โดยใช้สูตร

$$R_c = I \times SF$$

เมื่อ	HI	คือ	ค่าดัชนีอันตราย
	I	คือ	ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายในเส้นทางต่างๆ หน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	RfD	คือ	reference dose หน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
	Rc	คือ	ความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง
	SF	คือ	slope factor หน่วยกิโลกรัมต่อวันต่อมิลลิกรัม

ภาคผนวก ค
มาตรฐานโลหะหนักในของเล่น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 685-2540) กำหนดค่าปริมาณสูงสุดของโลหะหนักที่สามารถสกัดได้จากสารละลายของสี สารเคลือบ วัสดุขีดเขียน พลาสติก กระดาษและกระดาษแข็ง รวมถึงฟองเกอร์เพนต์และดินปั้น ดังนี้

ตาราง ค.1 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสี สารเคลือบ วัสดุขีดเขียน พลาสติก กระดาษและกระดาษแข็ง ตาม มอก.685-2540

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พลวง (Sb)	60
สารหนู (As)	25
แบเรียม (Ba)	1000
แคดเมียม (Cd)	75
โครเมียม (Cr)	60
ตะกั่ว (Pb)	90
ปรอท (Hg)	60
ซีลีเนียม (Se)	500

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540

ตาราง ค.2 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากดินปั้น ตาม มอก.685-2540

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พลวง (Sb)	60
สารหนู (As)	25
แบเรียม (Ba)	250
แคดเมียม (Cd)	50

ตาราง ค.2 (ต่อ)

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
โครเมียม (Cr)	25
ตะกั่ว (Pb)	90
ปรอท (Hg)	25
ซีลีเนียม (Se)	500

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540

ตาราง ค.3 ปริมาณโลหะหนักในสารละลายที่สกัดได้จากสีน้ำสำหรับเด็ก (finger paint) ตาม มอก.685-2540

โลหะหนัก	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พลวง (Sb)	10
สารหนู (As)	10
แบเรียม (Ba)	350
แคดเมียม (Cd)	15
โครเมียม (Cr)	25
ตะกั่ว (Pb)	25
ปรอท (Hg)	10
ซีลีเนียม (Se)	50

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540