

어린이용품에 함유된 휘발성유기화합물의 비발암 위해성평가

김정곤 · 서정관[†] · 김탁수 · 박건호*

국립환경과학원, *(주) 네오엔비즈 환경안전연구소

Risk Assessment for Non-Cancer Effects of Volatile Organic Compounds in Children's Products

Jungkon Kim, Jung-Kwan Seo[†], Taksoo Kim, and Gun-Ho Park*

National Institute of Environmental Research

*Institute of Environmental Protection and Safety, NeoEnBiz Co. Seoul, Korea

ABSTRACT

Background: This study was conducted to assess health risks in regard to exposure by children to volatile organic compounds (VOCs) in children's products.

Methods: Ten VOCs were measured by head-space gas chromatography in children's products, including toys, oil pastels, sign pens, furniture, ball pools, and playmats. We estimated the average daily dose (ADD) via inhalation during the use of these children's products and calculated hazard quotient (HQ) by dividing ADD by reference dose of VOCs.

Results: Among the measured VOCs, five compounds were identified in children's products: benzene, ethylbenzene, styrene, toluene, and xylene. The detection rates of VOCs in toys, ball pools, furniture, playmats, sign pens, and oil pastels were 85%, 100%, 100%, 30%, 100%, and 60%, respectively. The maximum levels of VOCs were 0.18 mg benzene/kg in toys, 5.92 mg toluene/kg in playmats, 10.37 mg ethylbenzene/kg in ball pools, 24.85 mg xylene/kg in toys, and 118.29 mg styrene/kg in ball pools. From exposure levels of VOCs in the children's products HQs were calculated within a range of 5.71×10^{-10} to 4.77×10^{-4} . The HQ of xylene was the highest for children aged 0-6 playing on the playmats. However, the HQ via inhalation exposure to VOCs in individual products did not exceed 1.00.

Conclusion: Based on the results, it was concluded that the use of these children's products do not pose health risks to children.

Keywords: Children's products, Volatile organic compounds, Risk assessment, Inhalation exposure

I. 서 론

산업의 발달은 인간에게 물질적 풍요와 생활의 편리함을 제공하였지만, 이와 더불어 환경오염과 환경성 질환을 유발하였다. 환경성 질환은 유해화학물질, 수질오염, 대기오염, 환경오염사고, 석면 등의 환경

유해인자에 의해 기인한다.¹⁾ 최근 제품 및 포장지에서 암 발생과 생식능 저하 등의 환경성 질환을 초래할 수 있는 유해인자가 검출됨에 따라 제품 안전성에 대한 사회적 관심이 증대되고 있다.²⁾

어린이는 신체기관이 아직 발달 중에 있어 외인물 질에 대한 대사능력이 어른에 비해 낮고, 물건을 빠

[†]Corresponding author: Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, 440-170, Korea, Tel: 032-560-7179, E-mail: jkseo@me.go.kr

Received: 21 April 2014, Revised: 28 May 2014, Accepted: 1 June 2014

Table 1. Categorization of children's products and number of samples analyzed

Product category	Products	No. of products (No. of sample)	No. of products containing VOCs (Detection rate, %)
Toys	Toy	20 (131)	17 (85)
	Ball pool	5 (58)	5 (100)
Furniture	Chair and desk	5 (19)	5 (100)
	Play mat	10 (44)	3 (30)
Stationary	Sign pen	5 (60)	5 (100)
	Oil pastel	5 (96)	3 (60)
Total		50 (408)	38 (76)

는 등의 행동학적 특이성으로 인해 환경유해인자에 취약한 대표적인 오염 민감집단이다.³⁾ 환경유해인자로 인해 발생하는 대표적인 환경성 질환인 아토피 피부염의 아동 및 청소년 유병률이 1995년 3.8%에서 2010년에는 11.2%로 증가⁴⁾한 것은 환경유해인자에 대한 어린이의 지속적인 노출을 반증하고 있다. 그러나 그 동안 환경유해인자에 대한 관리는 주로 성인을 기준으로 이루어져 왔기 때문에 어린이가 활동하는 시설과 어린이용품에 대해서는 상대적으로 관리정책이 미흡했던 것이 사실이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 정부는 10여년 전부터 어린이에 대한 유해인자의 관리를 강화해 오고 있으며, 그 일환으로 어린이 건강을 위협하는 유해요인을 함유한 어린이용품에 대한 위해성평가를 수행하고 있다.

휘발성유기화합물(VOCs, volatile organic compounds)은 대표적인 실내오염물질이며 전기·전자·금속 제품, 페인트, 플라스틱, 가구, 건축자재 및 마감재 등 다양한 오염원으로부터 방출된다. 뿐만 아니라 VOCs는 완구류, 문구류 및 교육자료 등 어린이용품에도 함유되어 있다.²⁾ 실내공간에서 장시간 사용되는 어린이용품의 사용 특성상 흡입경로를 통해 지속적으로 노출될 가능성이 크므로 어린이의 건강위해가 우려된다.⁵⁾

본 연구는 어린이용품에 함유된 VOCs의 흡입경로를 통한 어린이 노출량 및 용품별 기여도를 산정하고 그로 인한 비발암 위해성을 평가하기 위한 목적으로 수행되었다.

II. 연구 방법

1. 평가대상 어린이용품 및 물질 선정

평가대상 어린이용품은 국내 기존 선행연구 결과⁶⁻⁹⁾와 사회적 이슈가 된 바 있는 제품의 조사를 통해 장난감, 생활용품 그리고 문구 등의 3가지 제품군을 선정하였다(Table 1). 또한, 각 제품군을 그 분류군을 대표할 수 있는 2가지 제품을 포함하도록 하였다. 즉, 장난감류에는 장난감(플라스틱, 목재, 코팅 제품 등)과 볼풀, 생활용품류에는 책걸상과 놀이매트 그리고 문구류에는 사인펜과 크레파스가 포함되었다. 분석된 제품의 수는 50개였지만, 날개로 구성된 제품이 포함되어 실제 분석시료는 408개였다. 평가대상인 50개 제품에는 품질경영 및 공산품안전관리법에 의거하여 인증된 제품이 26개 그리고 비인증 제품이 24개였으며, 국내 및 국외 그리고 원산지가 불분명한 제품이 각각 27개, 19개 그리고 4개 포함되어 있었다. 대상제품은 인터넷몰을 통해 주문하거나 대형유통업체를 직접 방문하여 구입하였다.

조사대상물질은 어린이용도 환경유해인자 135종 중 VOCs 농도 분석방법이 정립된 벤젠, 클로로포름, 에틸벤젠, 브로모디클로로메탄, 브로모포름, 디브로모클로로메탄, 디클로로메탄, 톨루엔, 자일렌, 스티렌 등 10종을 선정하였다. 그러나 실제 함유량 분석에서는 벤젠, 에틸벤젠, 스티렌, 톨루엔, 자일렌만 검출되어 최종적으로 이들 물질을 대상으로 위해성평가를 수행하였다.

2. VOCs 분석방법

어린이용품의 VOCs 함유량 분석은 헤드스페이스 Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)를 이용한 방법^{10,11)}에 따라 수행되었다. 분석순서는 먼저 시료의 두께가 1 mm 이내 그리고 면적이 0.5 cm × 0.5 cm가 되도록 시편을 채취한 후 10 mg에서 300 mg

Table 2. Toxicity reference values for chemicals tested

Chemicals	Endpoint	RfC ⁽¹⁸⁾ (mg/m ³)	Derived RfD (mg/kg/day)
Benzene	Decreased lymphocyte count	3.00×10 ⁻²	4.00×10 ⁻³
Ethylbenzene	Liver and kidney toxicity	1.00	2.86×10 ⁻¹
Styrene	Red blood cell and liver effects	1.00	2.86×10 ⁻¹
Toluene	Increased kidney weight	5.00	1.43
Xylene	Decreased body weight, increased mortality	1.00×10 ⁻¹	2.86×10 ⁻²

Note. Abbreviation: RfC=Reference concentration via inhalation exposure; RfD=Reference dose

을 내부표준물질과 함께 헤드스페이스 용기에 넣고 90 에서 45분간 가열하였다. 유리용기내의 상층부에 존재하는 기체를 GC-MS에 도입하여 분석하였다. 대상 VOCs의 정량한계는 벤젠, 브로모디클로로메탄, 브로모포름, 클로로포름, 디브로모클로로메탄, 에틸벤젠, 디클로로메탄, 스티렌, 톨루엔, m,p-자일렌, o-자일렌 순서로 0.0093 mg/kg, 0.0147 mg/kg, 0.0227 mg/kg, 0.0069 mg/kg, 0.0450 mg/kg, 0.0468 mg/kg, 0.0240 mg/kg, 0.0473 mg/kg, 0.5339 mg/kg, 0.0499 mg/kg, 0.0542 mg/kg 이었으며, 정량한계 이하로 검출된 시료는 노출평가에서 제외되었다.

3. 건강위해성평가

1) 어린이제품에 함유된 VOCs의 용량-반응 자료
 어린이제품에 함유된 것으로 확인된 벤젠, 에틸벤젠, 스티렌, 톨루엔, 자일렌에 대한 비발암 독성참고치(RfD, Reference dose)는 US EPA의 Integrated Risk Information System (IRIS)에서 제시한 흡입독성참고치로부터 도출하였다. RfD는 VOCs의 흡입독성참고치에 미국 일반성인의 호흡률(20 mg/m³)과 체중(70 kg)을 반영하여 환산하였으며, 물질별 RfD는 Table 2에 제시하였다.

2) 노출평가

제품에서 방출되어 흡입경로로 노출되는 VOCs에 대한 인체 노출량(ADD; Average daily dose)은 어린이 호흡공간의 오염농도(concentration in breathing zone), 호흡률(inhalation rate), 제품 사용시간(daily time spent of children's products), 체중(body weight) 등을 고려하여 다음의 식으로 산출하였다.¹²⁾

$$C_{inh} = \frac{Q_{prod} \times Fc_{prod}}{V_{room}}$$

$$ADD = \frac{C_{inh} \times IH_{air} \times t}{BW \times 1000}$$

Where

- C_{inh}: concentration in inhaled air μg/m³
- Q_{prod}: quantity of product used in the g room
- Fc_{prod}: weight fraction of the substance μg/g in the product
- V_{room}: Room volume m³
- ADD: average daily doses mg/kg-day
- IH_{air}: inhalation rate m³/h
- t: daily time use of children's products h/day
- BW: body weight kg

노출량 산정에 필요한 노출계수 중 체중과 제품 사용시간과 그리고 실내공간은 인터넷 설문조사를 통해 확보하였다(Table 3). 조사는 0세-12세 어린이의 부모가 대신 설문조사를 수행하는 방식으로 진행되었다. 피조사자는 각 설문문항에 대해 해당 수치를 직접 입력하고 사용시간에 관한 설문문항은 시, 분, 초 단위로 기입하도록 하였다. 연령대는 국내 어린이의 생활패턴을 고려하여 0세-6세의 미취학아동과 7세-12세의 취학아동으로 구분하였다. 대상자는 수도권에 거주하는 어린이 650명으로 각 연령별로 50명씩 할당했으며, 각 연령 구간별 성비는 동일하다. 호흡률의 경우, 국내에서 조사된 호흡률 자료가 없어 US EPA의 자료¹³⁾를 참고로 하여 연령군별 평균값을 산출한 후 활용하였다. 제품에서 방출된 VOCs는 빠르게 확산되고 실내공기와 완전히 혼합되기 때문에 실내환기가 흡입노출에 있어 중요한 요인이 될 수 있으나 본 연구에서는 관련 노출계수의 부제고 고려되지 않았다.

Table 3. Exposure factors for estimation of VOCs exposure by use of children's products

Exposure factors	Symbol	Age (years)		Source
		0-6	7-12	
Body weight (kg)	BW	16.0	34.8	This study
Daily time use of children's products (h/day)	Toy	1.2	1.0	This study
	Ball pool	0.7	1.1	
	Chair and desk	1.6	1.9	
	Play mat	2.8	1.0	
	Sign pen	0.9	0.7	
	Oil pastel	1.2	0.9	
Room volume (m ³)	V _{room}	53.9	46.2	This study
Inhalation rate (m ³ /day)	IH _{air}	8.7	12.5	¹³⁾

Values in the table represent mean (standard deviation) of exposure factors except for volume of breathing zone and inhalation rate.

ADD 산출시 제품에 함유된 VOCs 농도분포로부터 평균값(CTE, control tendency exposure)과 보수적인 평가를 위해 95백분위수값(RME, reasonable maximum exposure)을 적용하였다. 분석값의 빈도가 적을 경우에는(n<3) 단일 혹은 높은 값을 CTE 노출량 산출에 사용하였으며 RME 노출량은 산출하지 않았다.

3) 위해도 결정

어린이용품의 사용으로 인한 VOCs의 위해도를 설명하는 위해지수(HQ; hazard quotient)는 ADD를 RfD로 나누어 산출하였고, HQ가 1을 초과할 경우 위해하다고 판정하였다.

III. 결 과

1. 어린이용품에 함유된 VOCs 분석

조사대상 제품 내 VOCs 함유량 분석 결과는 Fig. 1과 같으며, 분석된 10종의 VOCs 중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌만 검출되었다. 또한, 6가지 제품군에 포함된 50개 제품 중에서 총 38개에서 VOCs가 함유되어 있는 것으로 나타났다(Table 1). 조사대상 제품 중 완구의 경우 제품의 수가 20개 중 17개로 검출빈도가 가장 높았으나, 볼풀과 사인펜의 경우 조사된 5개 제품 모두에서 VOCs가 검출되어 검출률을 가장 높았다. 검출된 제품 중 장난감과 책걸상, 사인펜의 경우, 비인증 제품이

80% 이상 차지하였다. 원산지로 제품군을 분류할 경우, 검출된 17개 장난감 중에서 국내, 국외 및 원산지 불분명인 제품은 각각 5개, 11개, 1개였다. 조사된 볼풀과 가구에서는 각 제품군별로 국내 제품이 2개 그리고 국외제품이 3개인 것으로 나타났다. 놀이매트 10개 제품 중 3개에서 VOCs가 검출되었고 모두 원산지가 불분명한 제품이었다. 반면, 조사된 5개 제품 모두에서 VOCs가 검출된 사인펜은 모두 국내제품이었다. 크레파스는 5개 제품 중 3개에서 VOCs가 검출되었고, 그 중에서 1개 제품은 국내 그리고 2개 제품은 국외에서 생산된 것이었다.

조사된 제품군 중 완구 1종에서 벤젠이 0.18 mg/kg 검출되었다. 에틸벤젠, 스티렌, 톨루엔, 자일렌의 경우, 전체 제품군에서 검출되었으며 그 범위가 각각 0.08 mg/kg - 10.37 mg/kg, 0.08 mg/kg - 118.29 mg/kg, 0.06 mg/kg - 5.92 mg/kg, 0.06 mg/kg - 24.85 mg/kg으로 상당히 넓은 것으로 나타났다. 제품군별로 비교해 볼 때, 완구의 VOCs 검출 수준이 비교적 높았다. 또한, 완구의 스티렌 평균 농도는 41.73 mg/kg ± 31.74 mg/kg으로 조사된 제품군 중 가장 높았다. 볼풀의 경우 검출된 3종의 제품 중 1종에서 118.29 mg/kg이 검출되었다.

2. 건강위해성평가

어린이용품 사용으로 인한 VOCs 노출을 연령별로 구분하여 분석한 결과, 놀이매트에서 방출된 톨루엔과 에틸벤젠 그리고 자일렌에 대한 미취학아동

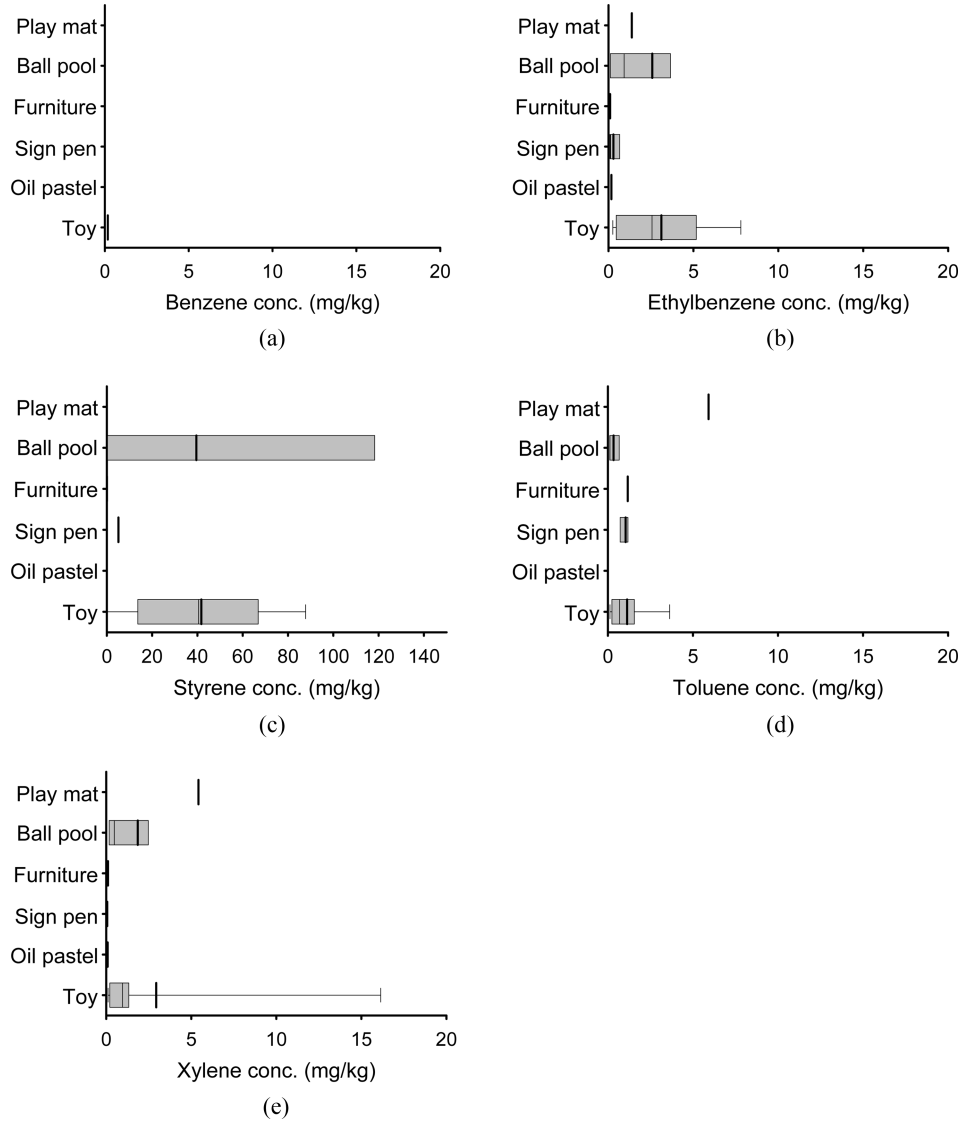


Fig. 1. Box plot indicating the levels of (a) benzene, (b) ethylbenzene, (c) styrene, (d) toluene, and (e) xylene that were contained in children’s products. The lines inside the box represent the median, the bold lines are the mean, the bottom and top of the box are the first and third quartiles of the distribution, and the lines extending laterally from the boxes indicate the variability outside the upper and lower quartiles.

(0세-6세)의 평균 노출량이 취학아동(7세-12세)보다 각각 3.9배, 3.9배 그리고 3.5배 높았다(Table 4).

어린이용품에 함유된 VOCs의 CTE와 RME 값을 적용하여 산정한 결과, HQ가 5.71×10^{-10} 에서 4.77×10^{-4} 의 범위로 모든 연령층에서 1 이하였으며, 따라서 위해 우려가 없는 것으로 나타났다(Table 4). 놀이매트

에 함유된 자일렌의 저연령층(0세-6세)에 대한 HQ가 4.77×10^{-4} 으로 가장 높았다. 어린이용품별로 VOCs의 위해도에 대한 기여율을 조사한 결과, 장난감은 벤젠의 위해도에 대한 기여율이 100%였으며, 볼펜과 놀이매트가 나머지 VOCs에 대한 위해도 기여가 높은 편이었다(Fig. 2).

Table 4. Results of exposure assessment and characterization of non-cancer risk on the chemicals in children's products

Chemicals	Products	Age (years)	ADD (mg/kg-day)		Hazard quotient	
			CTE	RME	CTE	RME
Benzene	Toy	0-6	6.65×10^{-9}	-	1.66×10^{-6}	-
		7-12	3.94×10^{-9}	-	9.85×10^{-7}	-
Ethylbenzene	Toy	0-6	2.21×10^{-7}	7.00×10^{-7}	7.71×10^{-7}	2.45×10^{-6}
		7-12	1.31×10^{-7}	4.14×10^{-7}	4.57×10^{-7}	1.45×10^{-6}
	Oil pastel	0-6	2.76×10^{-10}	-	9.65×10^{-10}	-
		7-12	1.63×10^{-10}	-	5.71×10^{-10}	-
	Sign pen	0-6	1.01×10^{-9}	2.16×10^{-9}	3.53×10^{-9}	7.56×10^{-9}
		7-12	5.56×10^{-10}	1.19×10^{-9}	1.94×10^{-9}	4.17×10^{-9}
	Chair & Desk	0-6	3.02×10^{-8}	-	1.06×10^{-7}	-
		7-12	2.56×10^{-8}	-	8.94×10^{-8}	-
	Ball pool	0-6	1.27×10^{-6}	4.25×10^{-6}	4.45×10^{-6}	1.49×10^{-5}
		7-12	1.28×10^{-6}	4.46×10^{-6}	4.49×10^{-6}	1.56×10^{-5}
	Play mat	0-6	2.51×10^{-6}	-	8.79×10^{-6}	-
		7-12	6.38×10^{-7}	-	2.23×10^{-6}	-
Styrene	Toy	0-6	3.70×10^{-6}	9.57×10^{-6}	1.29×10^{-5}	3.35×10^{-5}
		7-12	2.19×10^{-6}	5.66×10^{-6}	7.66×10^{-6}	1.98×10^{-5}
	Sign pen	0-6	9.29×10^{-8}	2.33×10^{-7}	3.25×10^{-7}	8.16×10^{-7}
		7-12	7.84×10^{-8}	1.97×10^{-7}	2.74×10^{-7}	6.88×10^{-7}
	Chair & Desk	0-6	9.96×10^{-7}	3.64×10^{-6}	3.48×10^{-6}	1.27×10^{-5}
		7-12	6.13×10^{-7}	2.15×10^{-6}	2.14×10^{-6}	7.52×10^{-6}
	Ball pool	0-6	8.93×10^{-6}	2.40×10^{-5}	3.12×10^{-5}	8.38×10^{-5}
		7-12	9.99×10^{-6}	2.68×10^{-5}	3.49×10^{-5}	9.37×10^{-5}
Toluene	Toy	0-6	8.42×10^{-8}	2.41×10^{-7}	5.89×10^{-8}	1.68×10^{-7}
		7-12	5.01×10^{-8}	1.42×10^{-7}	3.50×10^{-8}	9.95×10^{-8}
	Sign pen	0-6	3.82×10^{-9}	7.40×10^{-9}	2.67×10^{-9}	5.18×10^{-9}
		7-12	2.11×10^{-9}	4.09×10^{-9}	1.48×10^{-9}	2.86×10^{-9}
	Chair & Desk	0-6	2.28×10^{-6}	-	1.59×10^{-6}	-
		7-12	1.92×10^{-6}	-	1.34×10^{-6}	-
	Ball pool	0-6	1.74×10^{-7}	3.75×10^{-7}	1.22×10^{-7}	2.63×10^{-7}
		7-12	1.95×10^{-7}	4.19×10^{-7}	1.36×10^{-7}	2.93×10^{-7}
	Play mat	0-6	4.41×10^{-5}	-	3.08×10^{-5}	-
		7-12	1.12×10^{-5}	-	7.83×10^{-6}	-
Xylene	Toy	0-6	6.95×10^{-8}	1.87×10^{-7}	2.43×10^{-6}	6.53×10^{-6}
		7-12	4.12×10^{-8}	1.11×10^{-7}	1.44×10^{-6}	3.87×10^{-6}
	Oil pastel	0-6	5.72×10^{-8}	1.67×10^{-7}	2.00×10^{-6}	5.82×10^{-6}
		7-12	4.98×10^{-8}	1.44×10^{-7}	1.74×10^{-6}	5.04×10^{-6}
	Sign pen	0-6	2.09×10^{-10}	-	7.30×10^{-9}	-
		7-12	1.15×10^{-10}	-	4.03×10^{-9}	-
	Chair & Desk	0-6	1.04×10^{-7}	2.39×10^{-7}	3.64×10^{-6}	8.36×10^{-6}
		7-12	8.71×10^{-8}	2.02×10^{-7}	3.05×10^{-6}	7.06×10^{-6}
	Ball pool	0-6	9.16×10^{-7}	3.48×10^{-6}	3.20×10^{-5}	1.22×10^{-4}
		7-12	1.02×10^{-6}	3.89×10^{-6}	3.58×10^{-5}	1.36×10^{-4}
	Play mat	0-6	2.88×10^{-6}	1.36×10^{-5}	1.01×10^{-4}	4.77×10^{-4}
		7-12	8.32×10^{-7}	3.81×10^{-6}	2.91×10^{-5}	1.33×10^{-4}

Note. Abbreviation: ADD=average daily dose; CTE=central tendency exposure; RME=reasonable maximum exposure.

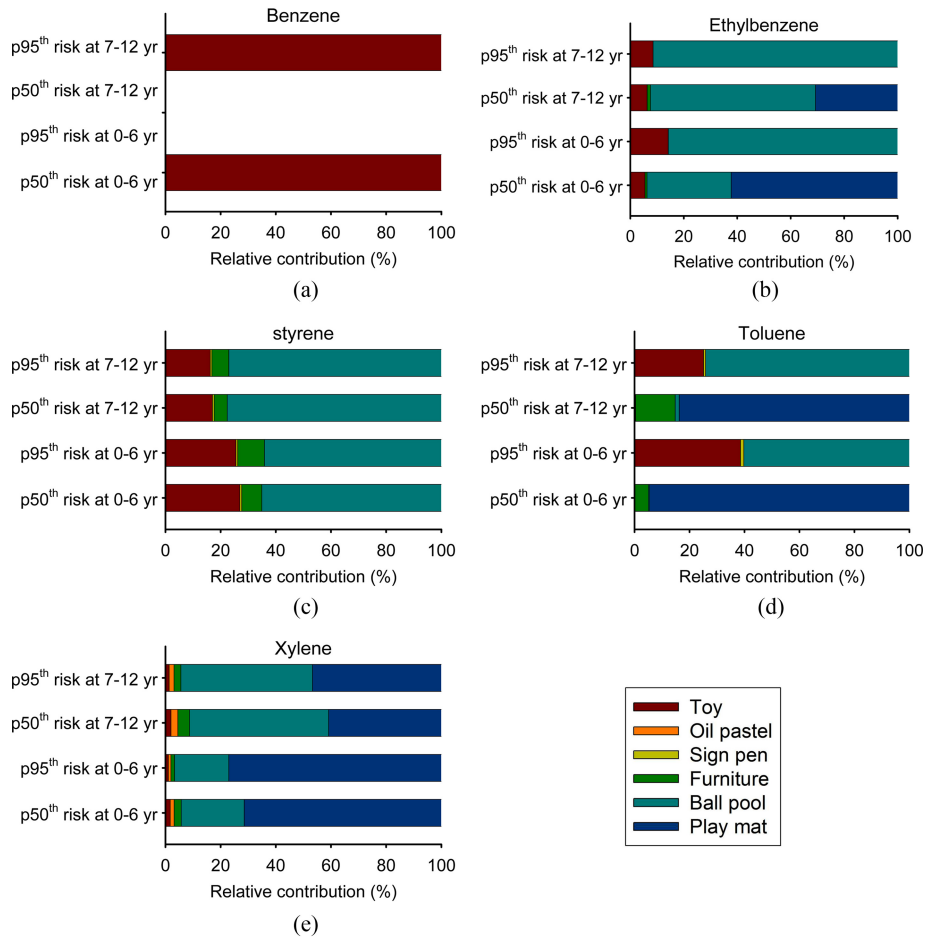


Fig. 2. Contribution of children's products to the health risk of VOCs for children.

IV. 고 찰

조사된 어린이용품의 76 %에서 VOCs가 검출되었으며, 장난감과 책걸상, 사인펜의 경우, 비인증 제품의 80 % 이상에서 VOCs가 검출되었다. 또한, 원산지 제품군을 분류할 경우, 국내 제품에 비해 국외 제품과 원산지가 불분명한 제품에서 검출된 수가 더 많아 비인증 제품과 국외 제품에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

분석된 10종의 VOCs 중에서 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌이 검출되었다. 벤젠은 발암, 기형아 출산, 성장발육 지연 및 골수에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.¹⁴⁾ 나머지 VOCs는 눈, 호흡기, 피부 등의 점막 자극과 신경행동기능 저하 및 유전

독성의 위험을 내포하고 있다.^{5,15)} 본 조사에서는 어린이용품에 함유된 VOCs가 어린이에게 위해하지 않은 것으로 나타났으나, 이들 VOCs는 대표적인 실내 공기 오염물질이며 건축자재 및 마감재와 가구, 도서, 학습도구 등 다양한 배출원에서 기인하므로 실내에서 대부분의 시간을 보내는 어린이의 경우, 어린이용품뿐만 아니라 다양한 실내공간 배출원에서 기인한 VOCs에 가중 노출될 수 있으므로 건강 위해를 배제할 수는 없다.

어린이용품 사용으로 인한 VOCs 노출을 연령별로 구분하여 분석한 결과, 놀이매트에서 방출된 톨루엔과 에틸벤젠 그리고 스티렌에 대한 미취학아동(0세-6세)의 노출량이 취학아동(7세-12세)보다 노출수준이 높았다. 이러한 결과는 미취학아동이 취학아

동에 비해 놀이매트를 사용하는 시간이 2.8배 많기 때문이다(Table 3). 놀이매트는 어린이용품 중 전체 어린이 연령층에서 오랫동안 사용하는 용품 중 하나이며, 어린 연령층일수록 사용시간이 증가하는 경향성이 있다.¹⁶⁾ 이러한 어린이의 시간활동 양상과 놀이매트에서 주로 눕거나 앉아서 활동하는 행동특성을 고려한다면, 저연령층 중 영유아가 놀이매트에서 활동함으로써 노출되는 VOCs의 위해도는 본 연구에서 도출된 결과보다 더 높을 것으로 예상된다. 놀이매트는 실내 안전사고 방지 및 아파트 층간 소음 저감 등 긍정적 측면이 있지만, 석유제품으로부터 생산되는 제조 특성상 VOCs의 배출은 필연적이므로 어린이의 놀이매트 사용에 대한 다각적인 평가가 필요하다라고 판단된다.

본 연구에서는 대상 어린이의 연령을 취학 여부로 계층화함으로써, 연령에 따라 노출계수의 차이가 확연한 저연령층 어린이의 노출평가에서 불확실성이 증대되는 결과를 초래하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 흡입노출에서 주요한 요인으로 작용하는 호흡률의 경우, 미국 환경청에서 어린이 연령대별로 해당 호흡률을 제공하므로¹⁷⁾ 본 연구에 해당 노출계수를 적용한다면 평가의 불확실성을 줄이는 효과를 기대할 수 있을 것이다. 더 나아가 어린이용품의 위해성을 보다 정확히 평가하기 위해서는 국내 어린이의 생활패턴과 시간활동도를 고려하여 연령을 층화할 수 있는 방법이 개발되어야 하며, 이와 연계된 노출계수 역시 확보되어야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 어린이용품에 함유된 VOCs의 흡입으로 인한 비발암 위해성을 평가하기 위해 수행되었으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 조사된 제품의 76%에서 VOCs가 검출되었으며 비인공 제품과 국외 제품 및 원산지가 불분명한 제품에서 검출빈도가 높아 이들 제품에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 둘째, 장난감, 볼펜, 책걸상, 놀이매트, 사인펜, 크레파스 등 각 제품군의 VOCs 함유량 분포에서 평균값과 95백분위수에서 도출된 저연령군과 고연령군에 대한 HQ값이 1을 초과하지 않아 본 연구에서 평가된 어린이용품은 위해하지 않은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 국립환경과학원 박사후연구과정 지원사업에 의해 이루어진 것임

References

1. Cho IH, Ju HJ, Kwon GH. The impact analysis of air pollutants on increasing environmental disease - Focusing on allergic rhinitis and asthma in Seoul metropolitan city. *Seoul Studies*. 2013; 6: 97-114.
2. Environmental Health Portal. Available: www.envhealth.go.kr [accessed 21 April 2014].
3. Jung K. The policy direction on environment diseases and environmental risk of children health. *Health Welfare Policy Forum*. 2009; 152: 100-111.
4. So E, Yeo J. Relationship between health status and life styles and atopic dermatitis in adolescents. *J Korean Acad Child Health Nurs*. 2012; 18: 143-149.
5. Lee C, Lee J, Chung U, Sohn H, Moon D, Chun J, et al. Neuroendocrine effects in occupational solvents exposure. *Kor J Occup Med*. 1995; 7: 362-374.
6. National Institute of Environmental Research. Exposure and risk assessment of hazardous substances in child-products (IV): inhalation exposure. Incheon: National Institute of Environmental Research Press; 2010.
7. National Institute of Environmental Research. Exposure and risk assessment of hazardous substances in child-products (III): dermal exposure. Incheon: National Institute of Environmental Research Press; 2009.
8. National Institute of Environmental Research. Exposure and risk assessment of hazardous substances in child-products (II): oral exposure. Incheon: National Institute of Environmental Research Press; 2008.
9. National Institute of Environmental Research. Exposure and risk assessment of hazardous substances in child-products (I): oral exposure. Incheon: National Institute of Environmental Research Press; 2007.
10. European Committee for Standardization. Safety of toys. Part 11. Organic chemical compounds. Methods of analysis. CEN Press; 2005.
11. National Institute of Environmental Research. Operating guidance and application of test method for exposure assessment of heavy metals and volatile organic compounds in child-products. Incheon: National Institute of Environmental Research Press;

- 2013.
12. European Chemicals Bureau. Technical guidance document on risk assessment. Richmond: European Chemicals Bureau Press; 2003.
 13. US Environmental Protection Agency. Exposure factors handbook. US Environmental Protection Agency; 2011.
 14. Bahadar H, Mostafalou S, Abdollahi M. Current understandings and perspectives on non-cancer health effects of benzene: A global concern. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2014; 276(2): 83-94.
 15. Linz D, de Garmo P, Morton W, Wiens A, Coull B, Maricle R. Organic solvent-induced encephalopathy in industrial painters. *J Occup Med.* 1986; 28: 119-125.
 16. Kim J, Seo J, Kim T, Park G. Survey of exposure factors for risk assessment of hazardous materials in child-specific products. *J Environ Health Sci.* 2014; 40(1): 17-26.
 17. US Environmental Protection Agency. Child-specific exposure factors handbook. US Environmental Protection Agency; 2008.
 18. National Institute for Public Health and the Environment. Availavle: <http://rivm.nl/> [accessed 21 April 2014].