

ORIGINAL ARTICLE

자일렌과 에틸벤젠에 대한 매체통합위해성평가 연구

서정관* · 김탁수 · 김필제

국립환경과학원

Aggregate Risk Assessment on Xylene and Ethylbenzene

Jung-Kwan Seo*, Taksoo Kim, Pilje Kim

National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

Abstract

The aggregate risk assessment on xylene and ethylbenzene was carried out according to the guidance established newly in 2010 with the purpose of providing information for risk management. In human exposure assessment, the results indicated that lower ages were exposed more and that, in the interior space at home, the highest level of human exposure occurred via inhalation. At outdoor spaces, exposures via inhalation and drinking were less than 1%. In human health risk characterization, xylene showed HI(Hazard Index) < 1 in all ages. When reasonable maximum exposure(RME) was applied, HI for young children was 0.64. The HI of ethylbenzene was also below 1(0.02~0.04) in all ages, indicating no potential risk. From this study, it is considered that xylene need to be continuous monitoring with interest because this substance may be more sensitive on young age group. In addition, to reduce the uncertainty of the risk assessment, the korean exposure factors on young age group such as infant, children had to be established as soon as possible.

Key words : Xylene, Ethylbenzene, Human exposure, Exposure via inhalation, Risk assessment

1. 서론

국내 화학물질 유통량은 '98년 175.4백만톤이었으나 '02년 287.4백만톤 그리고 '06년도에는 417.9백만톤이 국내에 유통되는 등 매년 지속적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다(Ministry of Environment, 2011). 이러한 통계치는 국민들이 생활하고 있는 공간 내에 건강을 위협하는 잠재적인 환경유해인자 또한 함께 증가하고 있음을 의미한다. 한편 사회적으로는 건강과 지속가능성을 함께 고려하는 생활양식인 로하스(LOHAS)와 웰빙 개념이 빠르게 정착됨에 따라 국민

들 또한 생활속에서 체감할 수 있는 환경질 진단 및 개선을 적극적으로 요구하고 있다. 생활공간내 유해화학물질에 대한 위해우려를 불식시키기 위해서는 유해물질의 환경 중 거동양상과 실제적으로 인체에 어느정도 노출되는 정도를 사전에 평가하는 것이 중요하다. 이러한 관점에서 유해화학물질로부터 국민 건강을 보호하기 위한 사전예방적 정책수단으로서 위해성평가 기법은 유용하게 활용될 수 있다.

일반적으로 화학물질은 일상생활을 영위하는 개인을 대상으로 다양한 매체를 통하여 주로 흡입, 경구, 경

Received 20 September, 2012; Revised 7 November, 2012;

Accepted 28 January, 2013

*Corresponding author: Jung-kwan Seo, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

Phone: +82-032-560-7179

E-mail: jkseo2001@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

피 경로로 인체에 노출된다. 자연환경매체는 대기, 수질, 토양, 지하수 등을 의미하며, 생활환경매체는 인간 생활과 직접적으로 연관되어 있는 거주지 주변 실내외 공기, 식품 및 거주지 주변 토양, 마시는 물, 집 먼지 등이 이에 해당한다. 따라서 유해화학물질에 대한 인체 노출평가를 위해서는 평가대상물질의 다매체, 다경로 노출특성을 반영하여 노출가능한 모든 매체와 노출경로를 포괄하여 총 노출량을 평가할 필요가 있다(NIER, 2011). 그러나 그동안 국내에서 수행된 위해성평가의 경우 대부분 단일 자연환경매체 혹은 작업장, 주택실내 등 국소생활환경공간에 국한되어 수행된 경우가 많았다(Kim 등, 2007). 이러한 경우 유해화학물질의 다매체 거동 특성을 고려하지 않았기 때문에 다양한 매체들로 인한 인체 건강영향을 통합적으로 평가할 수 없다는 단점이 있다. 반면에 매체통합 위해성평가는 매체별 및 경로별 상대노출기여도 산정을 통하여 주요 관리대상 확인 등 위해관리대책 수립에 효과적으로 활용할 수 있다.

본 연구는 2010년 환경부에서 제정한 ‘매체통합위해성평가 지침’(Ministry of Environment, 2010)에 근거하여 자일렌과 에틸벤젠에 대한 매체통합위해성평가를 수행하였다. 이 두 물질은 국가유해대기측정항목에 포함되어 전국 지역별 자료 획득이 용이할 뿐 아니라 국내 화학물질 취급량 및 배출량이 많아 국민들이 일상생활 가운데 노출확률이 높은 물질에 속한다. 또한 휘발성 유기화합물은 대기오염물질로 여러 가지 급성 및 만성영향으로 호흡기 자극 등을 일으키는 물질로 알려져 있다(ATSDR, 2007; 2010).

따라서 본 연구의 목적은 대표적인 생활공감 유해물질인 자일렌과 에틸벤젠에 대한 매체통합위해성 평가를 수행하여 수용체 중심의 위해대책 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 대상물질은 휘발성유기합물 중 자일렌과 에틸벤젠에 대해 ‘환경유해인자의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침’(Ministry of Environment, 2010)에 따라 매체통합 위해성평가를 수행하였다. 인체위해성평가는 크게 자료수집, 유해성확인, 용량-반응평가, 노출평가, 위해도 결정 5단계로 수행하였다.

인체위해성평가를 위한 노출계수는 우선적으로 한국노출계수핸드북(Jang 등, 2007) 자료를 사용하였고 국내계수가 없을 경우 미국 환경보호청에서 제시한 노출계수를 활용하였다(US EPA, 2008; 2011a)(Table 1). 연령별 주요활동공간별 생활시간양상은 2009년 통계청 자료를 주로 활용하였다(Statistics Korea, 2009). 노출수준자료는 대표성과 정확한 노출수준을 확보하기 위해서 국가측정망자료 및 국가기관에서 수행된 노출실태조사 자료를 우선적으로 검토하였다. 수집된 모든 자료에 대해서는 지침에 의거하여 결손분석과 신뢰도 평가를 수행하였다.

자일렌과 에틸벤젠의 인체독성참고치 결정은 직접 용량-반응평가를 수행하지 않고 U.S. EPA IRIS(Integrated Risk Information System)에 게재된 독성참고치를 활용하였다. 자일렌의 경구 독성참고치(RfD)는 0.2 mg/kg·day이었으며 흡입독성참고치(RfC)값은 0.1 mg/m³이었다. 그리고 에틸벤젠의 경구독성참고값(RfD)은 0.1 mg/kg·day이었으며 흡입독성참고치(RfC)값은 1.0 mg/m³이었다(US EPA, 2011b).

인체노출량 산정은 일반적인 노출수준을 파악하기 위한 중심경향적 노출량 산출(CTE, Central Tendency Exposure)방법과 보수적인 접근법인 합리적 최대노출량 산출(RME, Reasonable Maximum Exposure)방법을 사용하였다.

위해도 결정은 시나리오에 따른 각각의 매체, 활동공

Table 1. Exposure factors for different age-groups

	Young children (3-7 year)	Children (8-13 year)	Teenager (14-19 year)	Adult (20 year >)
Body weight (kg)	18.99	37.83	58	62.8
Ingestion rate of water (L/day)	0.6	0.8	1.3	1.5
Inhalation rate (m ³ /day)	10.1	12	16.3	12.65~22.6

Reference : US EPA(2008; 2011b), Jang 등(2007).

Table 2. Summary of exposure model & algorithm

Exposure Route	Algorithm	Parameter
Inhalation	$ADD(mg/kg/day) = \frac{CA \times IR_{inh} \times ET \times EF \times ED \times ABS_{air-inh}}{BW \times AT \times 1000 \times 60 \times 24}$	ADD: average daily doses (mg/kg-day)
		CA: chemical concentration in air ($\mu g/m^3$)
Oral	$ADD(mg/kg/day) = \frac{CW \times IR_w \times EF \times ED}{BW \times AT}$	IR _{inh} : Inhalation rate (m ³ /day)
		ET: exposure time (min/day)
		EF: exposure frequency (days/year)
		ED: exposure duration (years)
		BW: body weight (kg)
		AT: average time (days)
		ABS _{air-inhal} : absorption rate(0.6)
		ADD: average daily doses (mg/kg-day)
		CW: chemical concentration in water (mg/L)
		IR _w : ingestion rate of water (L/day)
		EF: exposure frequency (days/year)
		ED: exposure duration (years)
		BW: body weight (kg)
		AT: average time (days)

Reference: US EPA(1989)

간, 집단별 일일평균노출량을 CTE와 RME로 구분하여 흡입 및 경구 노출알고리즘에 따라 산출하였고 (Table 2), 이것을 비발암 독성참고치로 나누어 최종적으로 유해지수를 산출하였다. 각각의 매체에 대해 산출된 유해지수를 합하여 매체통합 위해도도를 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 노출시나리오

인체노출시나리오는 외국의 사례 및 물질자체의 특

성을 반영하여 흡입경로 중심으로 수립하였으며, 미취학아동부터 성인까지 4개 연령군으로 분류하여 민감계층의 특성이 위해성평가에 반영될 수 있도록 하였다(VCCEP, 2005). 다른 노출경로로는 지하수와 상수도 등 음용수 섭취를 노출시나리오에 포함하였다 (Table 3). 샤워에 의한 경피 노출과 음식물 섭취(주로 포장지) 경로는 극히 미량만이 인체에 노출되므로 본 노출시나리오에서 제외하였다.

3.2. 노출평가

자일렌과 에틸벤젠의 노출평가를 수행하기 위해서

Table 3. Summary of exposure scenarios

Exposure Route	Pollutants sources	Young children (3-7 yr)	Children (8-13 yr)	Teenager (14-19 yr)	Adult (20 yr>)	
Inhalation	Outdoor	Road-side		○	○	○
		Non road- side	○	○	○	○
	Indoor	Home	○	○	○	○
		Childcare facility	○			
		School		○	○	
		Academy		○	○	
		Restaurant				○
		Office				○
		Car				○
		Bus			○	○
		Subway			○	○
		Parking lots				○
	Bar				○	
	Movie theater			○	○	
Oral	Water	Tap water	○	○	○	○

수집된 활동공간별 모니터링 자료를 분석한 결과 실외보다 실내공간에서 평균농도가 높았으며, 특히 주점, 영화관, 승용차 실내에서의 평균농도가 높은 것으로 나타났다. 자일렌의 경우 도로변 등 실외 공간은 평균 $3.23 \sim 3.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나, 실내 활동공간은 평균 $12.5 \sim 124.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위를 보여주었다. 실내 활동공간별로는 승용차>주점>영화관>학원>집안 순으로 평균농도가 높았다. 에틸벤젠은 도로변 등 실외공간이 평균 $1.38 \sim 1.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, 실내 활동공간은 평균 $5.10 \sim 24.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타내었다. 실내활동공간별로는 승용차>주점>영화관>집안>학원 순으로 평균농도가 높았다(Table 4).

자일렌에 대한 연령별 인체노출량은 연령이 낮을수록 노출량이 많았으며, 활동공간별로는 집안 실내공간에서 호흡을 통해 가장 많은 양이 인체에 노출되는 것으로 나타났다. 집밖 실외 공간에서의 호흡 및 음용수 섭취를 통한 노출기여도는 1%미만으로 나타났다(Table 5).

연령별로 구분된 집단노출평가결과는 미취학아동 집단에서 RME(Reasonable Maximum Exposure)값 적용시 총노출량이 $0.0109 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 로 가장 많은 노출량을 보여주었으며, 성인이 $0.0051 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 로 연령별 집단 중에서 가장 적은 노출량을 보여주었다. 그 외 취학아동은 $0.0073 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$, 그리고 청소년은 $0.0058 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 의 노출량 분포를 나타내었다. 연령별로 CTE(Central Tendency Exposure)값 적용시에도 미취학아동($0.0056 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$), 취학아동($0.0037 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$), 청소년($0.0028 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$), 성인($0.0027 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$) 순서의 노출량 분포를 나타내었다.

활동공간별로 자일렌이 인체에 가장 많이 노출되는 곳은 집안 실내공간이었으며 연령집단별로 총 노출량의 71%~80%(CTE 적용시 60%~66%)범위를 차지하였다. 집안 실내를 제외하고 자일렌에 많이 노출되는 장소들로는 학교, 보육시설, 학원, 사무실 그리고 승용차 등이었다. 학교의 경우 청소년 연령층은 총 노출량의 19%(CTE 적용시 22%)를 차지하였고 초등학생에 해당하는 취학아동연령층은 총 노출량의 약 11%(CTE 적용시 12%)를 차지하는 것으로 나타났다. 보육시설은 미취학아동 연령층에서 총노출량의 19%(CTE 적용시 34%)를 차지하였다. 학원은 청소년 및

취학아동연령층에서 6~7%(CTE 적용시 11~12%)의 노출기여도를 나타내었다. 성인이 주로 생활하는 공간인 사무실의 경우 총 노출량의 10%(CTE 적용시 15%)의 노출 기여도를 보여주었다. 교통수단으로 주로 활용하는 승용차의 경우 성인은 총 노출량의 10%(CTE 적용시 19%)를 나타내었고 취학아동은 8%(CTE 적용시 12%)를 보여주었다. 이러한 결과는 성인과 취학아동이 승용차에서 머무르는 시간이 다른 장소에 비해 상대적으로 매우 짧은 점을 고려할 때 향후 승용차 실내공기질에 대한 보다 정밀한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

도로변과 운동장, 놀이터 등 실외에서 공기 호흡을 통한 자일렌 노출기여도는 모든 연령층에서 0.2~0.5%(CTE 적용시 0.4~0.7%)의 범위를 나타내어 노출기여도가 매우 작게 나타났다. 상수도 등 음용수 섭취시에도 모든 연령층에서 0.1%(CTE 적용시 0.2~0.3%)의 극히 작은 노출기여도를 보여주었다(Table 6).

에틸벤젠 노출량 평가결과 자일렌과 마찬가지로 연령이 낮을수록 노출량이 많았으며, 활동공간별로는 집안 실내공간에서 호흡을 통해 가장 많은 양이 인체에 노출되는 것으로 나타났다. 집밖 실외 공간에서의 호흡 및 음용수 섭취를 통한 노출기여도는 1% 미만으로 나타났다.

연령별로 구분된 집단노출평가결과는 미취학아동 집단에서 RME(Reasonable Maximum Exposure)값 적용시 총노출량이 $0.0064 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 로 가장 많은 노출량을 보여주었으며, 성인이 $0.0029 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 로 연령별 집단 중에서 가장 적은 노출량을 보여주었다. 그 외 취학아동은 $0.0040 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$, 그리고 청소년은 $0.0032 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 의 노출량 분포를 나타내었다. 연령별로 CTE(Central Tendency Exposure)값 적용시에도 미취학아동($0.0029 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$), 취학아동($0.0018 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$), 청소년($0.0014 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$), 성인($0.0013 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$) 순서의 노출량 분포를 나타내었다.

활동공간별로 에틸벤젠이 인체에 가장 많이 노출되는 곳은 집안 실내공간이었으며 연령집단별로 총 노출량의 81%~86%(CTE 적용시 69%~74%)범위를 차지하였다. 집안 실내를 제외하고 에틸벤젠에 많이 노출되는 장소들로는 학교, 보육시설, 학원, 사무실 그리고 승용차 등이었다. 학교의 경우 청소년 연령층

은 총 노출량의 약 11%(CTE 적용시 16%)를 차지하였고 초등학생에 해당하는 취학아동연령층은 총 노출량의 약 6%(CTE 적용시 9%)를 차지하는 것으로 나타났다. 보육시설은 미취학아동 연령층에서 총노출량의 14%(CTE 적용시 28%)를 차지하였다. 학원은 청소년 및 취학아동연령층에서 5~6%(CTE 적용시 10~11%)의 노출기여도를 나타내었다. 성인이 주로 생활하는 공간인 사무실의 경우 총 노출량의 8%(CTE 적용시 15%)의 노출 기여도를 보여주었다. 교통수단으로 주로 활용하는 승용차의 경우 성인은 총 노출량의 4%(CTE 적용시 8%)를 나타내었고 취학아동은

0%(CTE 적용시 5%)를 보여주었다.

도로변과 운동장, 놀이터 등 실외에서 공기 호흡을 통한 에틸벤젠 노출기여도는 모든 연령층에서 0.2~0.3%(CTE 적용시 0.4~0.7%)의 범위를 나타내어 노출기여도가 매우 작게 나타났다. 상수도 등 음용수를 섭취시에도 모든 연령층에서 0.1~0.2%(CTE 적용시 0.3~0.5%)의 극히 작은 노출기여도를 보여주었다.

본 연구결과 실내공간에서의 인체노출량이 실외보다는 높게 나타났는데 이러한 경향은 다른 연구결과에서도 동일하게 나타나고 있다. Back과 Kim(1998)은 대도시를 대상으로 실내외 공기질을 조사한 결과

Table 4. Concentration of xylene and ethylbenzene in the air and water (unit : Air $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Water mg/L)

Pollutants sources		N	Mean	S.D	Min.	95% UCL	Max.	Reference		
Air	Outdoor	Non Road-side	Xyl-	876	3.41	7.03	0.00	3.80	NIER (2007;2008;2009a)	
			Eth-	876	1.38	2.18	0.00	1.50		19.00
		Road-side	Xyl-	131	3.23	3.35	0.00	3.71		17.28
			Eth-	131	1.62	1.61	0.00	1.85		7.88
	Home	Xyl-	770	19.27	15.89	0.00	45.41	1692.70	NIER (2009b;2010)	
		Eth-	770	10.72	10.71	0.00	28.34	465.40		
	Childcare facility	Xyl-	200	15.30	10.50	0.00	16.53	54.00	NIER (2006)	
		Eth-	200	6.50	4.60	0.00	7.04	24.60		
	School	Xyl-	87	15.81	7.08	0.00	27.46	98.70	Kim <i>et al.</i> (2007) Jeon <i>et al.</i> (2010) Jung <i>et al.</i> (2007)	
		Eth-	114	5.49	2.16	0.40	9.05	27.80		
	Academy	Xyl-	70	20.00	21.10	0.30	24.20	255.00		
		Eth-	70	8.40	7.60	0.90	9.91	57.00		
	Restaurant	Xyl-	70	13.70	13.10	0.50	16.31	281.50	Ministry of Environment(2005)	
		Eth-	70	9.20	8.00	0.00	10.79	61.30		
	Indoor	Office	Xyl-	86	18.70	21.90	0.70	22.62	416.40	
			Eth-	86	8.50	9.70	0.00	10.24	126.70	
	Bar	Xyl-	30	36.30	28.80	0.50	45.22	225.30		
		Eth-	30	18.20	16.80	1.40	23.41	54.80		
	Movie theater	Xyl-	70	34.60	37.40	0.00	42.05	124.30		
		Eth-	70	14.80	14.70	0.00	17.73	56.90		
Car	Xyl-	53	124.80	117.80	-	151.84	-	Jo <i>et al.</i> (1999)		
	Eth-	53	24.80	18.90	-	29.14	-			
Bus	Xyl-	31	12.50	8.70	2.80	15.15	40.50	Ministry of Environment(2006)		
	Eth-	31	5.10	2.70	0.90	5.92	10.10			
Subway	Xyl-	114	14.90	11.40	0.10	16.67	68.20			
	Eth-	114	7.40	6.30	0.01	8.38	36.30			
Indoor parking lot	Xyl-	48	19.70	16.12	-	23.60	-	Ha <i>et al.</i> (2008)		
	Eth-	48	5.75	5.59	-	7.10	-			
Water Tap water	Tap water	Xyl-	ND	ND	ND	ND	ND	Seoul city(2009)		
		Eth-	ND	ND	ND	ND	ND	Daejeon city(2009) Incheon city(2009)		

대부분의 항목이 실외보다 실내지점에서 더 높은 농도로 나타났음을 보고하였고, Kim 등(2007)은 근로자를 대상으로 한 개인노출 및 국소환경에서의 VOCs 노출기여도를 추정한 결과 실내환경이 총 노출에서 주요한 국소환경이며 직장실내와 주택실내의 측정으

로 개인노출을 예측할 수 있음을 제시하였다. 일반적으로 실내에서의 노출량이 높게 나타나는 원인은 실내에서의 거주자의 수와 활동상태, 환기조건, 가스를 사용한 요리, 흡연, 청소 그리고 유기용제 사용 등과 밀접한 관련이 있다. 특히 겨울철 에너지 절약을 위해

Table 5. The estimated risk corresponding to the fixed-foint(CTE, RME) on xylene and ethylbenzene

Exposure routes	Sources		RME (mg/kg-day)			
			Young children (3-7 yr)	Children (8-13 yr)	Teenager (14-19 yr)	Adult (20 > yr)
Inhalation	Air	Outdoor	Xyl- 3.6E-05	2.1E-05	1.4E-05	2.4E-05
			Eth- 1.3E-05	8.6E-06	5.7E-06	9.1E-06
	Indoor	Xyl-	0.0108	0.0073	0.0058	0.0053
		Eth-	0.0028	0.0017	0.0014	0.0012
Oral	Water	Drinking	Xyl- 9.5E-06	6.3E-06	6.7E-06	7.2E-06
			Eth- 9.5E-06	6.3E-06	6.7E-06	7.2E-06
Total exposure		Xyl-	0.0109	0.0073	0.0058	0.0051
		Eth-	0.0064	0.0040	0.0032	0.0029

Exposure routes	Sources		CTE (mg/kg-day)			
			Young children (3-7 yr)	Children (8-13 yr)	Teenager (14-19 yr)	Adult (20 > yr)
Inhalation	Air	Outdoor	Xyl- 3.1E-05	1.9E-05	1.2E-05	2.1E-05
			Eth- 1.4E-05	9.7E-06	6.4E-06	1.0E-05
	Indoor	Xyl-	0.0056	0.0037	0.0028	0.0027
		Eth-	0.0063	0.0040	0.0032	0.0028
Oral	Water	Drinking	Xyl- 9.5E-06	6.3E-06	6.7E-06	7.2E-06
			Eth- 9.5E-06	6.3E-06	6.7E-06	7.2E-06
Total exposure		Xyl-	0.0056	0.0037	0.0028	0.0027
		Eth-	0.0064	0.0040	0.0032	0.0028

Table 6. Contribution(%) of various micro-environments for xylene and ethylbenzene exposure

		Young children (3-7 yr)	Children (8-13 yr)	Teenager (14-19 yr)	Adult (20 > yr)
Home	Xyl-	80.7(65.7)	73.9(62.4)	71.2(61.2)	75.8(59.6)
	Eth-	85.9(71.4)	84.7(73.7)	80.9(69.3)	83.8(69.9)
Childcare facility	Xyl-	18.9(33.6)	0.0	0.0	0.0
	Eth-	13.8(27.9)	0.0	0.0	0.0
School	Xyl-	0.0	10.5(12.1)	19(22.2)	0.0
	Eth-	0.0	6.4(8.9)	11.4(15.7)	0.0
Academy	Xyl-	0.0	6.8(11.2)	7.3(12.3)	0.0
	Eth-	0.0	5.1(10.0)	5.5(10.5)	0.0
Office	Xyl-	0.0	0.0	0.0	10.0(15.4)
	Eth-	0.0	0.0	0.0	8.0(14.7)
Car	Xyl-	0.0	7.6(12.4)	0.0	10.4(19.3)
	Eth-	0.0	0.0(5.2)	0.0	4.3(8.1)
Outdoor	Xyl-	0.3(0.5)	0.3(0.5)	0.2(0.4)	0.5(0.7)
	Eth-	0.2(0.5)	0.2(0.5)	0.2(0.4)	0.3(0.7)

* Brackets indicates the percentage values when apply the CTE

환기를 제한할 경우 실내 공기질 악화에 영향을 미칠 수 있다(Back과 Kim, 1998). 또한 실내환경에서의 휘발성유기화합물질 농도를 높이는 주요 발생원은 생활용품, 페인트, 가구, 의복, 건축자재 및 연소재료 등 매우 다양한 것으로 보고되고 있다(Maroni 등, 1995).

연령별로 자일렌과 에틸벤젠이 인체에 노출되는 총량은 연령이 낮을수록 노출량이 증가하였는데, 이것은 연령별로 실내공간에서의 노출빈도 및 평균체중과 밀접한 관련이 있는 것으로 여겨진다. 연령이 어린 미취학아동의 경우 성인에 비해 하루 중 실외 활동보다는 실내에 머무르는 시간이 상대적으로 길며, 평균체중도 성인에 비해 3배 이상 적기 때문이다.

3.3. 위험도 결정

자일렌에 대한 인체위해도를 결정하기 위해 CTE와 RME 값에 대해 얻어진 노출량을 가지고 유해지수를 산정한 결과 모든 연령층에서 유해지수가 1이하로 나타나 위해우려가 없는 것으로 나타났다 (Table 7).

CTE 값이 적용된 경우에는 4개 연령층의 유해지수 값이 0.16~0.33 범위로 모두 1 이하였으며 미취학연령층이 0.33으로 가장 높았고 성인 연령층이 0.16으로

가장 낮았다. RME 값이 적용된 경우에는 유해지수가 연령층별로 0.32~0.64의 범위를 나타내었고 미취학연령층이 0.64를 나타내었다.

에틸벤젠에 대한 인체위해도를 결정하기 위해 CTE와 RME 값 각각에 대해 얻어진 노출량을 가지고 유해지수를 산정한 결과 모든 연령층에서 유해지수가 1이하로 나타나 위해우려가 없는 것으로 나타났다. CTE 값이 적용된 경우에는 4개 연령층의 유해지수 값이 0.01~0.02 범위로 모두 기준치인 1 이하보다 크게 작았다. RME 값이 적용된 경우에도 유해지수가 연령층별로 0.02~0.04의 범위로 유해지수값이 매우 작게 나타났다.

산출된 인체위해도는 두 물질 모두 모든 연령층에서 유해지수 1이하로서 위해우려가 없거나 영향이 미미한 것으로 나타났다. 다만 자일렌의 경우 높은 노출수준(Reasonable Maximum Exposure)을 적용할 경우 미취학 연령층에서 유해지수 0.64로 상대적으로 높은 경향을 나타내었다. 국내에서 수행된 자일렌 및 에틸벤젠에 대한 위해성평가 결과는 대부분 사무실, 학교, 주택 등 국소환경별로 독립적으로 수행된 결과이므로

Table 7. Hazardous index of xylene and ethylbenzene for age-specific & multi-environmental media exposure

Exposure Routes	Sources		RME			
			Young children (3-7 yr)	Children (8-13 yr)	Teenager (14-19 yr)	Adult (20 > yr)
Inhalation	Air	Outdoor	Xyl- 0.002	0.001	0.000	0.001
		Eth- 8.3E-05	5.7E-05	3.8E-05	5.8E-05	
	Indoor	Xyl- 0.638	0.432	0.342	0.316	
		Eth- 0.037	0.023	0.019	0.017	
Oral	Water	Drinking	Xyl- 0.000	0.000	0.000	0.000
		Eth- 5.5E-05	3.7E-05	3.9E-05	4.2E-05	
Total Hazard Index(HI)			Xyl- 0.64	0.43	0.34	0.32
			Eth- 0.04	0.02	0.02	0.02

Exposure Routes	Sources		CTE			
			Young children (3-7 yr)	Children (8-13 yr)	Teenager (14-19 yr)	Adult (20 > yr)
Inhalation	Air	Outdoor	Xyl- 0.001	0.001	0.000	0.001
		Eth- 7.7E-05	5.0E-05	3.3E-05	5.3E-05	
	Indoor	Xyl- 0.332	0.217	0.168	0.160	
		Eth- 0.017	0.010	0.008	0.008	
Oral	Water	Drinking	Xyl- 0.000	0.000	0.000	0.000
		Eth- 5.5E-05	3.7E-05	3.9E-05	4.2E-05	
Total Hazard Index(HI)			Xyl- 0.33	0.22	0.17	0.16
			Eth- 0.02	0.01	0.01	0.01

본 연구결과와 직접적인 비교는 어렵지만 간접적인 비교자료로 활용가능 할 것이다. Lee 등(2004)은 사무실 실내공기질에 대한 위해성평가 결과 자일렌은 RME 값을 적용할 경우 0.24~0.26의 유해지수 값을 나타내었고, 에틸벤젠은 0.023~0.025의 유해지수 값을 보고하였다. 그리고 Koh 등(2009)은 서울지역 27개 유아교육시설을 대상으로 실내공기유해오염물질에 대해 위해성평가를 수행한 결과 자일렌과 에틸벤젠이 모두 0.01 이하의 유해지수 값을 나타내었다. 그러나 Jung 등(2007)은 4년 이상된 공동주택 15가구에 대한 자일렌 노출평가를 수행한 결과 유해지수 값이 0.88~1.25(RME 적용) 범위로서 여성 집단에서는 유해지수 1을 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구와 Jung 등(2007)의 연구결과는 어린이, 여성 등 민감계층의 경우 자일렌에 대한 지속적인 추가 모니터링 및 관심이 필요함을 시사해 준다. 비록 적용된 노출계수와 시간활동양상자료의 불확실성 및 최악의 상황 가정 등으로 인해 위해성평가 결과가 과대평가될 가능성이 존재한다. 그러나 자일렌이 '09년 국내 취급량이 연간 13,787천톤으로 우리나라 전체 화학물질취급량의 10.2%로 가장 많은 양을 차지하고 있고, 환경 중 배출량 역시 36.4%를 차지하여 화학물질 중 가장 많은 양이 환경 중으로 배출되고 있다는 점을 고려해 볼 때 앞으로 지속적인 감시가 필요한 물질로 판단된다.

현행 지침에 규정된 외국 노출계수 인용에 대해서는 보다 구체적이고, 통일된 적용방안 등 보완책이 필요하며, 영유아를 포함한 어린이 중심의 한국인 노출계수 추가확보가 시급히 필요할 것으로 판단되었다. 위해성평가에 활용되는 노출계수의 경우 환경부지침 제9조 7항에 의하면 국내노출계수 자료가 없을 경우 외국의 자료를 이용할 수 있도록 되어있다(Ministry of Environment, 2010). 그러나 연구자마다 달리 사용할 경우 동일한 노출량 자료에 대해서 위해성평가 결과가 달라질 수도 있기 때문에 이에 대한 보완이 필요하다. 또한 현재 국내노출계수 자료는 20세 이상 성인 중심으로 되어 있어, 민감계층인 미취학아동, 취학아동 등 어린이 연령층의 위해도 결정에 있어서 평가결과의 불확실도를 높이는 요인으로 작용하므로 한국형 노출계수 확보가 필요할 것으로 사료되었다.

5. 결론

자일렌과 에틸벤젠에 대한 위해대책 마련을 위한 기초자료 제공 목적으로 2010년 제정된 위해성평가지침'(Ministry of Environment, 2010)에 근거하여 매체 통합위해성 평가를 수행하였다.

위해성평가 결과 인체노출량은 두 물질 모두에서 연령이 낮을수록 노출량이 증가하였으며, 활동공간별로는 집안 실내공간에서 호흡을 통해 가장 많은 양이 인체에 노출되는 것으로 나타났다. 집밖 실외에서의 호흡 및 음용수 섭취를 통한 노출기여도는 1%미만으로 낮게 나타났다.

산출된 인체위해도는 두 물질 모두 모든 연령층에서 유해지수 1이하로서 위해우려가 없거나 영향이 미미한 것으로 나타났다. 다만 자일렌의 경우 높은 노출수준(Reasonable Maximum Exposure)을 적용할 경우 미취학 연령층에서 유해지수 0.64로 상대적으로 높은 경향을 나타내었다. 따라서 자일렌의 경우 어린이 등 민감계층을 대상으로 지속적인 추가 모니터링 및 감시가 필요한 물질로 사료되었다. 또한 위해성평가결과의 불확실성을 줄이기 위해서는 현행 지침에 규정된 외국 노출계수 인용에 대해서는 보다 구체적이고, 통일된 적용방안 등 보완책이 필요하며, 어린이대상 한국인 노출계수 확보가 시급히 필요할 것으로 판단되었다.

참고 문헌

- ATSDR, 2007, Toxicological profile for xylene.
- ATSDR, 2010, Toxicological profile for ethylbenzene.
- Back, S. O., Kim, Y. S., 1998, Characterization of air quality in various types of indoor environments in urban areas: focusing on homes, offices, and restaurants, J. KAPRA., 14(4), 343-360.
- Chung, M. H., Jung, S. M., Kim, M. Y., Kim, G. W., Park, J. C., 2007, A field survey of indoor air environment of schools, Korean journal of air-conditioning and refrigeration engineering., 19(12), 865-873.
- Daejeon metropolitan waterworks authority, 2009, Consumer confidence report.
- Ha, D. H., Pyun, M. K., Lee, B. W., Kim, J. H., Kim, S. T., 2008, A study on the concentration levels of

- VOCs at the underground parking lots in Daejeon, Journal of Korean society for indoor environment., 5(1), 1-11.
- Jang, J. H., Jo, S. N., Kim, S. Y., Kim, S. J., Jeong, H. G., 2007, Korean exposure factors handbook.
- Jeon, J. M., Jeong, M. H., Lee, H. S., Kang, B. W., 2010, Characteristics of indoor hazardous pollutants in classroom of schools, Journal of Korean society for indoor environment., 7(1), 47-61.
- Jo, W. K., Park, K. H., 1999, Commuter exposure to volatile organic compounds under different driving conditions, Atmos. Env., 33, 409-417.
- Jung, S. W., Yang, W. H., Son, B. S., 2007, Health risk assessment by potential exposure of NO₂ and VOCs in apartments., Kor. J. Env. Hlth., 33(4), 242-249.
- Kim, Y. D., 2007, Measurement of classroom air quality in large cities in summer, Journal of the Korean solar energy society., 27(1), 63-74.
- Kim, Y. H., Yang, W. H., Son, B. S., 2007, Estimation of total exposure to benzene, toluene and xylene by microenvironmental measurements for iron mill workers, Kor. J. Env. Hlth., 33(5), 359-364.
- Koh, Y. J., Kim, S. D., Park, S. Y., Jang, S. K., 2009, Childrens' health risk assessment on indoor hazardous air pollutants of preschool facility, J. Env. Hlth. Sci., 35(2), 78-85.
- Lee, C.M., Kim, Y. S., No, Y. M., Kim, J. C., Jeon, H. J., LEE, S. D., 2004, Health risk assessment of exposure to indoor air pollutants in office building, J Korean Soc Occup Environ Hyg., 14(3), 251-263.
- Maroni, M., Seifert, B., Lindvall, T(Eds.), 1995, Indoor Air Quality comprehensive reference book. Elsevier, Amsterdam.
- Ministry of Environment, 2005, A Survey of non regulated public and small scaled facilities(I).
- Ministry of Environment, 2006, A study on management plans of indoor air quality by transport.
- Ministry of Environment, 2010, The guideline of procedures and methods for risk assessment (Regulation No.415, Ministry of Environment).
- Ministry of Environment, 2011, Environmental health Master plans on environmental health(2011-2020).
- NIER, 2006, Measurement-method establishment and characterization of indoor air quality in Daycare centers, publication No. 2006-47-829.
- NIER, 2007, Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- NIER, 2008, Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- NIER, 2009a, Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- NIER, 2009b, A Study on Management of Major Indoor Air Pollutants by House Type in Korea(I): Indoor Air Pollution and Health Effects in Residential Apartment.
- NIER, 2010, A Study on Management of Major Indoor Air Pollutants by House Type in Korea(II): Indoor air pollutants and health effects in residential detached and multiplex/terraced house, publication No. 2010-34-1209.
- NIER, 2011, The principle and methods of exposure assessment for chemical risk assessment.
- Statistics Korea, 2009, Time-use survey, <http://survey.go.kr/lifestyle>.
- Seoul Metropolitan Government, 2009, Consumer Confidence Report.
- US EPA, 1989, Risk assessment guidance for superfund volume I-Human health evaluation manual(Part A)
- US EPA, 2008, Child-specific exposure factors handbook.
- US EPA, 2011a, Exposure Factors Handbook : 2011 edition.
- US EPA, 2011b, <http://www.epa.gov/iris>.
- VCCEP, 2005, Voluntary Children's Chemical Evaluation Program(VCCEP) Tier 1 Pilot Submission(Xylene category). American Chemistry Council Benzene, Toluene, Xylenes VCCEP Consortium.
- Waterworks Headquarters Incheon Metropolitan City, 2009, Consumer confidence report.