

국내 어린이 위해성평가를 위한 노출계수 연구

윤효정* · 서정관*[†] · 김탁수* · 김주현* · 조아름* · 이병우*

· 임현우* · 이대엽* · 김필제* · 최경희* · 양원호**

*국립환경과학원 환경건강연구부

**대구가톨릭대학교 산업보건학과

Development of Korean Exposure Factors for Children in Korea

Hyojung Yoon*, Jungkwan Seo[†], Taksoo Kim*, Joohyun Kim*, Areum Jo*, Byeongwoo Lee*,
Hyunwoo Lim*, Daeyeop Lee*, Pilje Kim*, Kyunghee Choi*, and Wonho Yang**

*Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

**Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

ABSTRACT

Objectives: Children may be more exposed to certain environmental contaminants because they react with greater sensitivity and have different food intakes and breathing rate per unit of body weight compared to adults. The aim of this study was to determine general exposure factors such as skin surface area, period and frequency of exposure, and others among Korean children aged ≤ 18 years old. This study was carried out as the first of its kind in Korea.

Methods: We developed 23 recommended exposure factors for Korean children aged 0 to 18 years by reclassifying raw data from the National Health and Nutrition Examination Survey and the National Statistical Information Service, as well as through investigation by experiments in the absence of related data.

Results: Reflecting the activity patterns of about 9,000 children, the daily inhalation rates for long-term exposure ranged from 9.49 m³/day for children from birth to <2 years to 14.98 m³/day for children aged 16 to <18 years. The research found that Korean children spent an average of 22.21 hours indoors, 0.67 hours outdoors, and 1.12 hours in-transit every day. Young children (≤ 2 years old) spent approximately 34 more minutes outdoors on weekends than they did on weekdays.

Conclusion: Various physiological variables in the human body reflect characteristics of children that can directly influence risk exposure. Therefore, the identification of general exposure factors based on Korean children is required for appropriate risk assessment.

Key words: Children, environmental contaminants, exposure factors, risk assessment

I. 서 론

어린이는 흡수, 배설, 대사 등 생리학적으로나 행동학적으로 성인과는 다르기 때문에 성인과는 다른 노출양상을 나타낼 수 있으며¹⁾ 성인에 비해 어린이

의 단위 체중당 호흡률, 식품 및 음용수 섭취량이 더 높기 때문에 환경오염물질에 더 많이 노출될 수 있다. 어린 아이들의 경우는 토양, 바닥먼지, 장난감과 같은 물건을 빨거나 접촉하면서 농약에 더 노출 되는 것으로 알려져 있다.²⁾ 또한 최근 연구결과에

[†]Corresponding author: Department of Risk Assessment, National Institute of Environmental Research, Hwanggyeong-ro 42, seo-gu, Incheon, 22689, Republic of Korea, Tel: 82-32-560-7179, E-mail: jkse02001@korea.kr.

Received: 05 June 2017, Revised: 14 June 2017, Accepted: 15 June 2017

따르면 어린이, 초기 청소년 단계에서의 유해인자 노출이 신경발달이나 신경행동학적 손상을 유발하는 것으로 조사되었다.^{3),4)}

이미 미국 환경청(EPA)에서는 여러 곳에 산재해 있는 어린이 노출계수 자료를 종합하여 핸드북을 만드는 작업을 수행하였다.⁵⁾ 국내에서도 성인 대상으로 노출계수 핸드북을 2007년에 출판하였지만,⁶⁾ 특히 어린이와 같이 민감한 집단의 노출평가와 관련된 다양한 인자들에 대한 필요성이 제기되었다. 그 동안 대부분 노출계수의 기본값(default value)을 적용하거나 미국 등 외국의 노출계수 값을 적용하여 위해도 평가시 과소 또는 과대평가 가능성을 나타내었다. 또한 신뢰성 있는 위해도 평가나 각종 환경관련 국가기준 마련을 위해서는 우리나라 전체를 대표하는 노출계수를 사용하는 것이 필요하다.⁷⁾

따라서 본 연구의 목적은 국내 어린이들의 특성 및 행동양상 등을 파악하여 노출평가에 필요한 요인들에 대한 대푯값(권고값)을 제시하고자 한다. 이 연구는 국내에서 처음으로 수행된 연구결과이며, 이것을 통해 어린이 대상 노출평가를 좀더 정확하게 수행하여, 환경규제, 기준, 정책 등을 올바르게 확립할 수 있도록 위해성평가 기반을 마련하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

노출계수는 미국의 환경보호청의 어린이 노출계수 핸드북(Child-Specific Exposure Factors Handbook)을 참고로 하여 0세에서 18세 사이의 한국 어린이를 대상으로 노출평가에 적합한 일반 노출계수를 선정하였다. 생리학적 노출계수(체중, 체표면적), 호흡률, 식품 및 음용수 섭취량(곡류, 육류, 어패류, 채소류, 과일류, 가공식품류 등), 시간활동 양상(장소별 소요시간, 물건이나 손 빠는 횟수 및 지속시간 등) 총 4개의 카테고리에 대한 권고값 및 대푯값을 산출하였으며 다양한 노출평가에 활용될 수 있도록 백분위수를 함께 제시하였다.

어린이에 대한 연령기준은 만 13세(환경부 환경보건법), 만 18세 미만(보건복지부의 아동복지법) 등으로 법령마다 차이가 있다.^{8,9)} 또한 국제적으로 아동법규에 따라 18세 미만의 어린이로 정의하고

있어,¹⁰⁾ 본 연구에서 영·유아는 만 2세 미만, 미취학아동은 만2부터 만 6세까지, 초등학생은 만7세부터 만 12세, 중·고등학생은 만 13세부터 만 18세 이하로 시간활동 양상이 비슷한 군집(similar time-activity groups)으로 분류하였으며, 필요시 연령군집을 세분화하여 노출계수별로 권고값을 산출하였다.

통계처리는 one-way analysis of variance (ANOVA) 분석을 수행하였으며, 유의성이 인정된 경우 Turkey test를 사용하여 다중비교를 실시하였다. 또한 회귀분석은 호흡률과 체중과의 관계를 분석하기 위해 수행하였다. 모든 데이터는 SPSS 18.0 software를 사용하였다. 본 연구는 대구가톨릭대학교 병원에서 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인(MDCR-13-019-RES-001-R)을 받아 수행되었다.

1. 생리학적 노출계수

보통 일일평균노출량(Average Daily Dose, ADD)은 특정 연령군의 평균체중을 이용하여 환경유해인자가 호흡, 피부 등을 통해 노출되는 양을 산출한다.¹¹⁾ 특히 어린이는 연령이 증가할수록 체중의 변화폭이 크므로, 국내 어린이들에게 적합한 권고값을 사용해야 한다. 어린이의 체중(5,241명)은 국민건강영양조사 2011~2013년 자료를 활용하였고¹²⁾ 12개월 미만 영아의 체중은 산업자원부 기술표준원에서 수행한 한국인 인체치수조사(Size Korea)의 5차 자료(406명, 2003~2004년)를 이용하였다.¹³⁾

체표면적(Body Surface Area, BSA)은 피부에 노출되는 화학물질의 노출량 산정에 필요한 주요 노출계수이다. 체표면적을 실측하는 방법은 많은 시간과 인력이 소요되기 때문에 일정 규모의 인구집단을 대상으로 직접 측정한 후에 체표면적을 예측하는 회귀식이 제안되어 왔다.^{14,15)} 본 연구에서는 8세~18세 어린이 59명의 실측자료를 이용하여 도출된 회귀방정식¹⁶⁾과 0~7세의 경우에는 미국 어린이 노출계수 핸드북의 사용한 회귀식을 활용하였다.⁵⁾ 모든 모델식은 체중(W)과 신장(H)를 이용하여 연령별로 체표면적에 대한 권고값을 산출하였다.

$$(1) 0\text{세}\sim 7\text{세}: BSA (\text{cm}^2) = 239.0 \times W^{0.517} \times H^{0.417}$$

$$(2) 8\text{세}\sim 18\text{세}: BSA (\text{cm}^2) = 391.5 \times W^{0.50} \times H^{0.34}$$

2. 호흡률

본 연구에서는 총 262명을 대상으로 미취학군집, 초등학생 군집, 중·고등학교 군집으로 나누어 체중, 심박동수, 호흡량을 측정하였다. 호흡량은 안정시(resting, 의자에 앉은 휴식상태), 걷기(walking, 2-3 km/h 속도), 빠르게 걷는 상태(running, 3-4 km/h 속도)에서 산소섭취량, 대사량, 환기량 등을 가스분석기(Quark b2, COSMED, Italy)로 각 단계별로 5-10분 동안 측정하였다. 하루 일과 중의 활동양상을 행동 수준별로 나눈 다음, 단위시간당 측정된 호흡량(단기호흡량, m^3/hr)을 적용하여 일일호흡량(장기호흡량, m^3/day)로 산출하였다. 만 5세부터 실측하였으며 4세 이하 연령군은 호흡률과 체중과의 상관성 분석을 통해 회귀식을 도출하여 같은 방식으로 단기 및 장기호흡량을 추정하였다.

3. 식품 및 음용수 섭취량

국민건강영양조사는 한국인의 식품 및 영양섭취 상태를 반영하는 가장 대표적인 조사이다. 본 연구에서는 국민건강영양조사에 참여한 조사 대상자 중 18세 이하 어린이 및 청소년(7,988명)을 분석 대상으로 하였다.¹²⁾ 대상자들이 섭취한 식품 목록을 추출하여 곡류, 채소류, 과일류, 육류, 어패류, 해조류 등 14개 식품군으로 재분류 하였다. 식품의 조리형태에 따른 수분보정을 위해 각 식품군별로 음식 혹은/또는 원재료로 섭취량 산출기준을 통일하였다.

4. 비식이적 섭취 행위

어린이의 주요활동 공간인 가정에서 손(hand-to-mouth)이나 장난감, 이불 등 물건(object-to-mouth)이 입에 접촉하는 행위를 조사하고자 설문 및 비디오 촬영을 실시하였다. 서울 및 수도권, 광주광역시, 대구광역시를 조사 지역으로 선정하였고 표본추출 틀은 행정안전부의 2014년의 주민등록인구 통계 자료를 활용하였다. 연령군집은 1-2세와 3-6세로 나누어 결과를 분석하였으며 전체 어린이 대상자들 중 실제 비식이적 섭취 행위를 한 어린이들(doer)을 다시 재분류하여 권고값을 산출하였다. 총 279명을 대상으로 손 또는 물건 빨기 행동의 빈도(contacts/hr), 접촉시간(min/contacts), 및 지속시간(min/hr)을 조사하였으며 어린이들이 접촉하는 물

건 중에서 노리게 접촉지는 행위대상에서 제외되었다. 어린이가 가정에서 편안하게 휴식을 취하고 자유롭게 활동할 때를 30분 동안 촬영한 것을 1시간 단위로 환산하여 기록지에 작성하고 판독자간의 오류를 줄이기 위해 교차검증을 수행하였다. 또한 촬영 시 어린이의 심리적 안정을 위하여 부모님 중 한 명을 반드시 함께 있도록 하였다.

5. 시간활동 양상

시간활동양상(time-activity pattern)을 조사하기 위해 9세 이하의 어린이 2,080명에 대해 설문조사를 실시하였다. 시간활동일지는 통계청의 자료를 일부 수정하고 생활습관, 질병력, 주택 주변환경 등과 관련된 항목을 추가하였다. 조사 대상은 전국단위 제곱근 비례배분에 따른 표본 추출에 의해 성별, 연령별, 주거 지역별, 주중/주말, 계절 변화에 따라 시간활동변화를 파악하였다. 또한 통계청에서 실시한 2009년 생활시간조사 자료를 이용하여 10세부터 18세 이하의 어린이 및 청소년(6,892명)의 성별, 연령별, 주중/주말에 따른 실내·외 거주시간, 이동 소요시간 등의 시간활동을 분석하였다.¹⁷⁾

III. 결 과

1. 생리학적 노출계수

체중은 국민건강영양조사(2011~2013)와 인체치수조사 사업(2003~2004년) 자료를 이용하여 총 5,647명의 어린이를 12개월 미만의 영아를 4개의 연령군집으로 세분화하고, 유아(1-2세), 미취학아동(3-6세), 초등학교 저학년(7-9세), 초등학교 고학년(10-12세), 중학생(13-15세), 고등학생(16-18세)으로 나누어 총 10개의 연령군집에 대한 산출평균 및 백분위수로 제시하였다. 남아와 여아에 대한 체중은 유의적인 차이가 없어 성별 구분 없이 권고값을 산출하였다(Table 1). 생후 1년 미만의 영아는 평균적으로 10 kg 미만이었으며 미취학어린이는 19.1 kg, 초등학교 저학년 30.2 kg, 초등학교 고학년 43.1 kg, 중학생은 56.3 kg, 고등학생은 61.4 kg으로 각각 조사되었다.

체표면적은 8세 이상의 국내 어린이를 대상으로 실측된 회귀방정식과 7세 이하의 어린이는 미국 노출계수 핸드북에서 사용한 회귀방정식을 이용하여

Table 1. Recommended values and statistics for body weight by age group

Age group	Body weight (kg)						
	Mean*	SD	5th	25th	50th	75th	95th
0-<3 M	5.6	1.03	3.7	4.9	5.6	6.2	7.3
3-<6 M	7.5	1.02	5.7	6.8	7.6	8.1	8.9
6-<9 M	8.7	1.07	7.1	7.9	8.6	9.3	10.2
9-<12 M	9.7	1.11	7.9	8.9	9.6	10.3	11.4
1-2 Y	12.2	2.03	9.1	10.7	12.2	13.5	15.3
3-6 Y	19.1	4.34	13.8	16	18.2	21.2	26.7
7-9 Y	30.2	7.51	21.1	24.7	28.6	33.7	44.7
10-12 Y	43.1	10.17	29	35.4	42	48.7	61.9
13-15 Y	56.3	12.13	40.9	47.9	54.1	62.1	79.5
16-18 Y	61.4	12.32	45	52.7	59.3	68.1	83.4

M, month; Y, year; SD, standard deviation.
* Arithmetic mean.

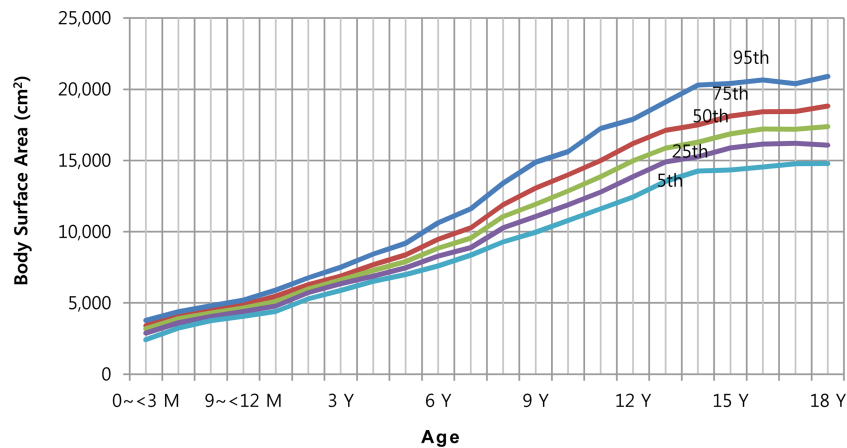


Fig. 1. Estimates of body surface area (cm²) based on body weight and height according to age

산출하였고, 그 결과를 Fig. 1에 제시하였다. 생후 3개월 미만의 영아는 1세에 비해 약 61.8%로 체표면적이 기하급수적으로 증가하다가 연령이 증가할수록 증감폭은 점차 감소하였다. 국내 어린이 체중과 신장의 권고값을 대입하여 체표면적을 추정한 결과, 연령이 증가할수록 체표면적 또한 증가하는 결과가 나타났다.

2. 호흡률

호흡률의 측정은 실측조사가 가능한 5세부터 실시한 결과 시간당 호흡률은 연령이 증가하고 운동

강도가 커질수록 남녀 모두 유의한 양의 상관성을 보였다. 운동 강도별 남자 어린이의 호흡률이 여아보다 유의한 수준으로 높게 산출되었다(Fig. 2). 0-4세 미만의 단기호흡률을 추정하기 위해 5세 이상의 호흡률 측정 결과와 몸무게와의 상관성 분석을 통해 회귀식을 산출하였다.¹⁸⁾ 또한 일일 호흡률은 시간활동 양상결과와 단기호흡량을 적용하여 Table 2에 유아(0-2세), 미취학아동(3-6세), 초등학교 저학년(7-9세), 초등학교 고학년(10-12세), 중학생(13-15세), 고등학생(16-18세)으로 나누어 산출평균, 백분위수로 제시하였다. 연령군집별 일일 호흡률은 9.49-

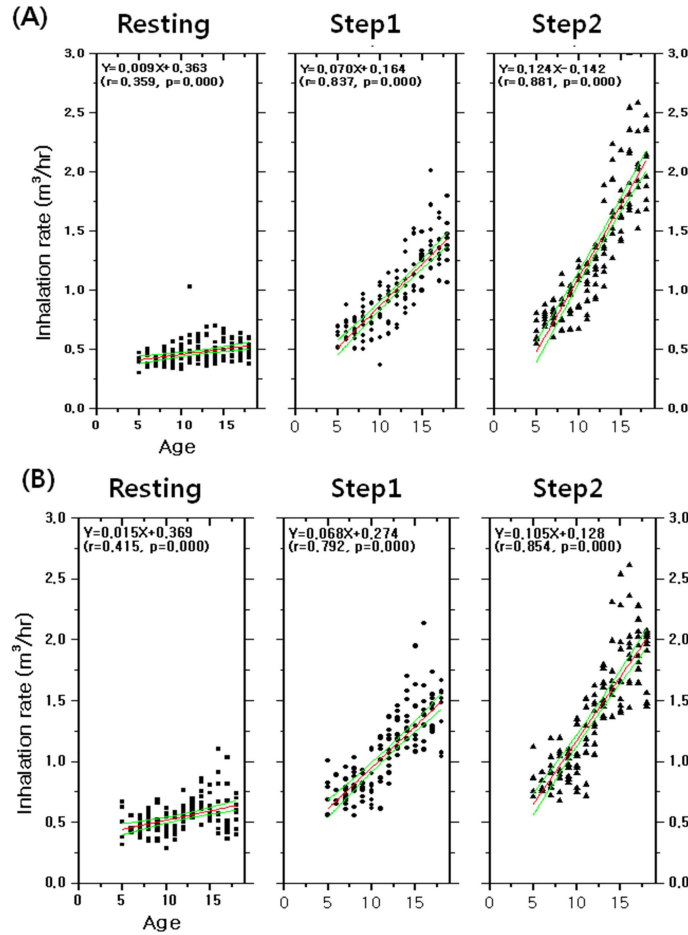


Fig. 2. Association between inhalation rate and age for males (A) and female (B), stratified by three activity levels (resting, walking, running). Resting defined as sitting; step 1 (walking) at speed level 2~3 km/h; step 2 (running) at speed level 3~4 km/h.

14.98 m³/day의 범위로 조사되었으며 연령이 증가할수록 일일 호흡률은 증가하였다.

3. 식품 및 음용수 섭취량

연령군별 식품종류별 섭취량과 섭취율은 Table 3에 제시하였다. 식품군의 섭취량은 곡류>유제품류>채소류>과일류>음료>육류의 순으로 조사되었으며, 하루 800 mL의 순수한 물을 섭취하고 있는 것으로 나타났다. 여성이 남성에 비해 과일류, 해조류 섭취량, 반대로 남성이 육류 섭취량이 더 많았으며, 혼합 가공식품류의 경우 연령대가 증가할수록 높아지는 양상이 관찰되었다. 또한 2세 이하(N=1,419명)의

모유 섭취율은 88.4%로 그 중 완전모유는 29.7%, 혼합수유는 58.7%, 조제분유 섭취율은 70.2%로 조사되었다. 1세의 조제분유 섭취량은 2.18 g/kg-day, 1세부터 3세의 어린이는 생우유를 15.95 g/kg-day으로 섭취하는 것으로 나타났다.

4. 물건 및 손 빠는 행위

성인과 비교해볼 때 어린 아이들은 물건이나 손가락을 입으로 가져가는 행동특성 때문에 유해물질에 노출될 가능성이 더 높다. 본 연구에서 영유아(0-2세) 및 미취학아동(3-6세) 군집으로 나누어 가정에서의 비식이적 섭취행위(mouthing behavior)

Table 2. Descriptive statistics for daily average in inhalation rate (m³/day)

Age group (years)	Mean*	S.D.	Percentiles			
			25th	50 th	75th	95th
0-2	9.49	0.41	9.17	9.36	9.89	10.20
3-6	10.39	0.81	9.69	10.27	10.87	12.02
7-9	10.93	0.84	10.19	11.12	11.56	12.19
10-12	12.74	1.05	11.97	12.82	13.37	14.46
13-15	14.39	1.85	12.62	14.7	15.89	17.13
16-18	14.98	1.92	13.36	14.68	16.20	18.37

SD, standard deviation.

* Arithmetic mean.

Table 3. Average daily intake (g/kg-day) and consumption rate of major food by age group

Food groups	Age group (N)	1-2 Y (976)	3-6 Y (1,921)	7-12 Y (3,159)	13-18 Y (1,932)	Total (7,988)
Grain products	Mean	23.47	20.84	16.43	11.44	16.18
	Rate (%) [*]	99.6	100.0	100.0	99.9	99.9
Vegetables	Mean	7.82	7.85	6.69	5.43	6.58
	Rate (%)	97.8	99.5	99.8	99.6	99.5
Fruit products	Mean	10.91	8.02	4.19	1.97	4.77
	Rate (%)	72.3	69.9	64.8	51.4	63.7
Meat products	Mean	1.94	2.33	2.25	1.99	2.14
	Rate (%)	73.7	84.7	88.0	87.0	85.2
Egg products	Mean	1.70	1.54	0.90	0.57	0.98
	Rate (%)	61.3	73.0	70.4	64.8	68.6
Fish & shellfish	Mean	1.70	1.65	1.24	0.88	1.24
	Rate (%)	73.2	86.9	84.5	78.0	82.1
Seaweeds	Mean	1.32	1.37	0.79	0.41	0.82
	Rate (%)	63.5	74.4	63.8	56.7	64.6
Dairy products	Mean	21.56	13.54	6.30	2.88	7.90
	Rate (%)	87.2	83.1	75.2	61.6	75.3
Beverages	Mean	4.18	2.96	2.19	2.73	2.71
	Rate (%)	33.1	37.0	41.4	46.8	40.6
Sugar products	Mean	0.26	0.34	0.25	0.16	0.24
	Rate (%)	63.9	81.9	82.5	78.6	79.1
Fabricated foods	Mean	0.17	0.21	0.25	0.29	0.25
	Rate (%)	4.6	6.0	7.9	9.9	7.5
Drinking water	Mean [†]	411.33	601.07	838.47	974.42	797.87
	Rate (%)	99.7	99.9	99.8	99.6	99.8

^{*} Consumption rate[†] mL/day

Table 4. Mouthing Activity of Korean children aged 0-6 years

Parameters	Age group (years)	N	Respondents (%)	Doers Only*		
				Frequency (Contacts/hour)	Time (min/Contact)	Duration (min/hour)
Hand-to-mouth	0-2	105	57.14	3.92±4.09	1.53±2.39	6.00
	3-6	173	17.92	1.94±1.09	0.97±1.17	1.88
Object-to-mouth	0-2	106	52.83	4.36±5.65	1.93±3.98	8.41
	3-6	173	20.81	1.69±1.17	0.77±1.08	1.30

* Only data for individuals that put things in their mouth > 0 time

Table 5. Recommended values (hours) for activity factors by weekday and weekend

Time	Age group (years)	Indoor			Total indoors	Outdoors	In-transit
		Home	School/ childcare	Other locations			
Weekdays	0-2	18.35	4.01	0.52	22.88	0.45	0.66
	3-6	16.14	5.91	0.63	22.68	0.53	0.78
	7-9	16.02	5.37	1.15	22.54	0.60	0.87
	10-12	13.68		8.4	22.08	0.59	1.33
	13-15	11.94		10.07	22.01	0.57	1.42
	16-18	10.47		11.25	21.72	0.72	1.55
Weekends	0-2	20.64	0.04	1.43	22.11	1.01	0.88
	3-6	19.70	0.11	1.99	21.80	1.15	1.05
	7-9	19.74	0.28	1.90	21.92	1.10	0.99
	10-12	18.11		3.74	21.85	0.85	1.31
	13-15	18.13		3.97	22.10	0.65	1.25
	16-18	16.44		5.40	21.84	0.67	1.50

를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 영유아와 미취학아동 군집의 손/물건 빠는 행위의 응답률은 각각 53~57%와 18~21%의 범위로 조사되었으며, 저연령군에서 높은 빈도와 지속시간이 긴 것으로 나타났다.

5. 시간활동양상

0-9세 어린이의 시간활동 양상 설문조사와 10-18세 어린이는 통계청의 생활시간조사 결과를 통해 성, 연령, 주중, 주말, 계절에 따른 시간활동 양상을 파악하였다. 성별에 대한 유의한 차이가 없어 연령, 주중/주말로 나누어 권고값을 산출하였다(Table 5). 남아 및 여아에 대한 유의한 차이가 없었으며, 연령이 증가할수록 평일과 주말에 주택실내에 머무르는 시간이 감소하고 학교, 학원과 같은 기타 실내에서 보내는 시간이 증가하였다. 주말의 경우 초등 저학

년 이하(9세 이하)의 어린이들이 실외활동으로 다른 군집에 비해 많은 시간을 보내는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 2013년부터 2015년까지 국내의 18세 이하의 어린이 대상으로 총 4개의 카테고리(생리학적 노출계수, 호흡률, 식품 및 음용수 섭취량, 시간활동 양상)에 대한 평균값, 표준편차, 백분위수 등의 통계값을 제시하였다.

어린이용품 함유 유해인자에 대한 위해성평가는 제품을 사용하는 연령, 체중, 체표면적, 어린이의 행동 특성을 고려하여 노출 시나리오를 파악하여 수행하여야 한다.¹⁹⁾ 이는 체중에 따라 호흡률, 피부 체표면적 등이 차이가 있어 동일한 양의 화학물질을 흡수하더라도 체내 농도가 달라질 수 있기 때문이다.

국가마다 연령군집이 달라 전 연령에 대한 체중 비교는 어려웠으나, 본 연구를 통해 국내 16-18세의 체중 평균값은 61.4 kg(남자 66.6 kg, 여자 56.1 kg)으로 조사되었다. 이것은 동일 연령대의 남녀 각각 75.0 kg, 61.9 kg으로 조사된 호주의 경우보다 낮은 값이다.²⁰⁾ 동일한 화학물질에 대한 평균 노출량이 해당 연령의 평균 몸무게로 표준화하여 계산하기 때문에 호주 등의 서구 선진국의 값을 사용할 시 노출량은 과소 평가될 소지가 있다.

호흡률은 호흡기를 통해 유입되는 유해물질의 노출량을 평가할 때 필요한 계수로, 5~6세의 경우 우리나라가 평균 10.8 m³/day로 조사되었으며, 유럽의 경우에는 4~6세의 호흡률은 11 m³/day로 우리나라와 비슷한 수준이었다.²¹⁾ 일본은 9.9 m³/day, 미국은 12.16 m³/day로 나타났다.^{22,23)} 나라마다 가스분석기, 신진대사량 등 호흡률의 측정방법이 달라, 이런 차이가 발생한 원인 중 하나라고 판단된다.

식품섭취량의 경우 곡류, 해조류, 채소류, 견과류 등이 포함된 14개 식품군으로 분류하여 한국 어린이의 식사 특성을 반영하여 조사하였다. 미국 1~2세의 일일 섭취량은 곡류 6.4g g/kg-day, 과일류 6.2 g/kg-day, 육류 4.1 g/kg-day로⁵⁾ 우리나라 어린이들이 곡류와 과일류 섭취량이 각각 3.7배, 1.8배 높고, 육류 섭취량은 절반 수준인 것으로 나타났다.

어린이들의 손과 물건 빨기 행동 양상은 2세 이하에서 손 빨기는 1시간당 3.9회, 물건 빨기는 4.4회로 나타났다. 또한 물건 빠는 지속시간은 시간당 8.5분 정도로 조사되었으며 이는 Greene (2002)의 연구 결과인 약 8.9 min/hr(7.3~10.5 min/hr)과 유사하게 나타났다.²⁴⁾ 본 연구는 기억에 의존한 설문조사 방법으로부터 발생할 수 있는 불확실성을 최소화하고자 촬영을 병행하여 수행하였으며 국외 자료와 비교해 볼 때 표본수도 비교적 큰 편이다. 그러나 일과 중 30분 동안 1회 촬영에 의한 것으로 재현성이 검증되지 않은 한계점이 있을 수 있다.

평일 기준으로 국내 어린이 3~6세와 7~9세의 실외에서 머무르는 시간은 각각 0.53과 0.60시간이었으나, 통계청 2004년 생활시간조사 결과를 분석한 10세 이상의 한국인은 1.26시간을 실외환경에서 보내는 것으로 조사되었다.²⁵⁾ 미국의 3-10세 어린이는 1.99 시간이고⁵⁾ 캐나다의 10세 이하의 어린이는 1.67 시간으로²⁶⁾ 바깥 활동시간이 국외의 비해 약 30%

수준에 불과한 것으로 나타났다. 이들 국가에 비해 우리나라 어린이가 상대적으로 실내에서 머무는 시간이 많았으므로 어린이의 주요 활동공간 등인 가정, 유치원, 학교 등 실내 공기질의 관리가 중요한 것으로 판단된다.

본 연구에서 적정성 및 신뢰성 검증을 통해 마련된 국내 어린이 노출계수는 환경유해인자의 노출량을 추정할 수 있는 가장 기초적이고 필수적인 자료로 활용될 수 있다. 앞으로 토양, 먼지 섭취량 관련 노출계수의 추가적인 확보와 노출계수 측정방법을 개선하는 등의 주기적인 관리가 필요하다.

V. 결 론

어린이(만 18세 이하) 대상으로 위해성평가에 필수 요소인 노출계수를 마련하고자, 국민건강영양조사 및 통계청 등의 기존 자료와 호흡률 실제측정, 시간활동 조사를 위해 설문지 등을 통해 국내 어린이에 적합한 노출계수를 마련하고자 수행되었다.

본 연구의 약 5,600명의 체중/체표면적, 약 8,000명의 식품 섭취량, 약 9,000명의 시간활동양상 결과는 인구집단의 대표성, 표본 크기, 자료의 최신성 측면에서 현재 활용할 수 있는 자료들 중 가장 신뢰성이 높다고 할 수 있다. 또한 기존의 연구에서는 심박동수 및 신진대사량 등의 간접측정법을 통해 호흡률을 추정하였으나, 가스분석기와 트레이드밀(treadmill)를 이용하여 실측한 본 연구결과는 측정오차를 현저히 줄일 수 있다는 점에서 매우 큰 강점을 가지고 있다. 그러나 어린 아이의 주요 노출경로 중 하나인 mouthing의 권고값은 개인노출의 접근성, 비용적인 측면에서 제약이 있어, 조사지역의 확대, 측정방법의 개선(재현성 검증)하는 등의 추가연구가 필요하다.

본 연구는 국내 어린이 노출계수를 구축하기 위해 처음으로 수행되었으며, 외국의 노출계수 핸드북과 비교해도 자료의 최신성, 대표성 및 신뢰성 등이 높아 위해성평가 및 환경보건 분야의 다양한 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 총 23개의 노출계수에 대한 산출방법, 권고값 등을 자세히 수록한 ‘어린이 노출계수 핸드북’은 국립환경과학원 환경정보도서관(<http://libray.nier.go.kr>)에서 다운받을 수 있다.

References

1. US EPA. Office of Research and Development strategy for research on risks to children. Office of Research and Development, Science Council Review Draft, Washington, DC. 1997
2. Eskenazi B, Bradman A, Castrióna R. Exposure of children to organophosphate pesticides and their potential adverse health effects. *Environ Health Perspect.* 1999; 107: 409-419.
3. Leslie London, Cheryl Beseler, Maryse F. Bouchard, David C. Bellinger, Claudio Colosio, Philippe Grandjean, et al. Neurobehavioral and neurodevelopmental effects of pesticide exposures. *NeuroToxicology.* 2012; 33: 887-896.
4. Monica K. Silver, Jie Shao, Minjian Chen, Yankai Xia, Betsy Lozoff, John D. Meeker. Distribution and Predictors of Pesticides in the Umbilical Cord Blood of Chinese Newborns. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2016; 13(1): 94.
5. US EPA. Child-specific exposure factors handbook. EPA/600/R-06/096F. 2008
6. Jang JY, Jo SN, Kim SJ, Yoon MJ, Cheong HK, Kim S, et al. Development and application of Korean exposure factors. Seoul: Ministry of Environment press. 2007. p. 3-224.
7. Jang JY, Jo SN, Jo SN, Kim SY, Myung HN. Overview of the Development of the Korean Exposure Factors Handbook. *J Prev Med Public Health.* 2014; 47: 1-6.
8. Environmental health Act, Ministry of Environment. Article 2 paragraph 7(Act No. 13893, 27. Jan, 2016)
9. Child welfare Act, Ministry of Health and Welfare. Article 3 paragraph 1 (Act No. 12361, 28. Jan, 2014)
10. UNICEF UK. Convention on the rights of the child. Available from <https://www.unicef.org.uk> [accessed 30 November 2015].
11. Ministry of environment Public notice. Scope and methods for risk assessment of environmentally hazardous factors (No. 415, 10 may, 2010)
12. Ministry of Health and Welfare. Korea National Health and Nutrition examination survey data. Available from <https://knhanes.cdc.go.kr/Knhanes/index.do> [accessed 30 November 2015].
13. Ministry of Trade, Industry and Energy. 5th Body measurement project report. Available from <https://Sizekorea.knhanes.cdc.go.kr/Knhanes/index.do> [accessed 30 November 2015].
14. Du Bois D, and Du Bois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Nutrition.* 1916; 5(5): 303.
15. Gehan E, George GL. Estimation of human body surface area from height and weight. *Cancer Chemother Rep.* 1970; 54(4): 225-235.
16. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Investigation of body surface area measurement for safety management. Seoul; 2008. p. 67-77.
17. National Statistical Office. Time Use Survey 2009. Available from: <http://kostat.go.kr/survey/lifestyle/lhdl/1/2/index.board?bmode=read&bSeq=&aSeq=151449&pageNo=1&rowNum=10&navCount=10¤tPage=&sTarget=title&sTxt=> (Korean) [accessed 30 November 2015].
18. National Institute of Environmental Research. Study on the exposure factors of Korean children. 2013
19. Jungkon Kim, Jung-Kwan Seo, Taksoo Kim, Gun-Ho Park, Survey of Exposure Factors for Risk Assessment of Hazardous Materials in Child-Specific Products. *J Environ Health Sci.* 2014; 40(1): 17-26.
20. Australian Department of Health. Australian exposure factor guidance handbook. 2012
21. Technical university of Denmark. Existing default values and recommendations for exposure assessment – A Nordic exposure group project 2011
22. Kawahara J, Tanaka S, Tanaka C, Aoki Y, Yonemoto J. Daily inhalation rate and time-activity/location pattern in Japanese preschool children. *Risk Analysis.* 2012; 32(9): 1595-1604.
23. Arcus-Arth A, Blaisdell RJ. Statistical distributions of daily breathing rates for narrow age groups of infants and children. *Risk Anal.* 2007; 27(1): 97-110.
24. Greene MA. Mouthing times for children from the observational study. U.S. Consumer Product Safety Commission, Bethesda, MD. 2002
25. Wonho Yang, Kiyoung Lee, Kyung Hwa Park, Chungsik Yoon, Bu Soon Son, Jun Min Jeon, et al. Microenvironmental time activity patterns of weekday and weekend on Korean, *Korean society for indoor environment.* 2009; 6(4): 267-274.
26. Leech JA, Nelson WC, Burnett RT, Aaron S, Rizenne ME. It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns. *J of Exposure Science and Environmental Epidemiology.* 2002; 12: 427-432.