

## Monte-Carlo 모의실험을 통한 부분 인구집단별 이산화질소와 오존의 노출 및 위해성 평가

박진현\* · 류현수\* · 양소영\*\* · 박윤경\* · 허정\* · 김은채\* · 최영태\* · 조만수\* · 양원호\*†  
\*대구가톨릭대학교 산업보건학과, \*\*경북대학교 에너지공학부

### Exposure and Risk Assessment of Nitrogen Dioxide and Ozone for Sub-population Groups using Monte-Carlo Simulations

Jinhyeon Park, Hyeonsu Ryu\*, So Young Yang\*\*, Yunkyung Park\*, Jung Heo\*, Eunchoe Kim\*, Youngtae Choe\*, Mansu Cho\*, and Wonho Yang\*†

\*Department of Occupational Health, Daegu Catholic University, Gyeongbuk, Korea  
\*\*School of Energy Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

#### ABSTRACT

**Objectives:** Although the risk assessments for nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) have been extensively studied, most of the existing risk assessments were limited mainly to indoor environments such as workplaces, schools, and multi-use facilities. Therefore, integrated risk assessment is needed to consider exposure in all microenvironments, including outdoors. The purpose of this study was to assess the differences in risk among sub-population groups according to time-activity patterns and reported concentrations, as well as the lifetime risk of Koreans.

**Methods:** In this study, we estimated time-weighted average exposure concentrations of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> for preschool children, students, housewives, workers, and seniors using residential time and indoor concentrations (house, school or workplace, other), outdoors, and transport by meta-analysis method. The risk for NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> were assessed by hazard quotient using reference concentrations 30 and 60 ppb, respectively. The risk assessments were conducted through 1,000,000 Monte-Carlo simulations for probabilistic analysis.

**Results:** Preschool children, students, housewives, workers, and seniors spent 91.9, 86.0, 79.8, 82.2, and 77.3% of their day in a house, school, or workplace, respectively. The risk assessment for the lifetime of a housewife and a worker showed that 33.8 and 28.4% of hazard quotients of NO<sub>2</sub> exceed 1, respectively, and more than 99% of hazard quotient of O<sub>3</sub> were less than 1.

**Conclusions:** The risk of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> by sub-population group and for the lifetime of housewives and workers were assessed. The risk for NO<sub>2</sub> was higher than for O<sub>3</sub> and showed a different risk by sub-population group. Both NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> showed a higher risk for housewives than for workers. This study can be used as a basis for lifetime exposure and risk assessment for NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>.

**Keywords:** Air pollutant, meta-analysis, Monte-Carlo analysis, exposure assessment, Risk assessment

#### I. 서론

이산화질소(nitrogen dioxides, NO<sub>2</sub>)는 독성이 있는

적갈색의 기체로 흡입 시 호흡기 등에 영향을 일으키는 공기오염물질이다.<sup>1)</sup> NO<sub>2</sub>의 발생은 주로 공기의 질소 또는 연료 중에 함유된 질소(fuel NO<sub>x</sub>)와

†Corresponding author: Department of Occupational Health, Daegu Catholic University, Gyeongsan, Korea, Tel: +8253-850-3739, E-mail: whyang@cu.ac.kr

Received: 09, March, 2019 Revised: 21, March, 2019 Accepted: 28, March, 2019

산소가 연소 등과 같은 열적반응에 의해 결합하여 발생하는 열적 질소산화물(thermal NO<sub>x</sub>)이 대표적이다. 때문에 대기오염물질 중에는 차량의 배기가스뿐만 아니라 난로 및 조리시의 연소 등과 실내 연소로 인한 질소 산화물이 함유되어 있다.<sup>2)</sup> 일반 가정에서 취사용 연소기구, 흡연, 난방 연료(나무, 석탄, 기름, 가스 등)의 연소시 발생하며, 지하상가의 경우 각 점포 내에서 사용하는 가스 및 석유 곤로 등이 NO<sub>2</sub>의 발생원이 될 수 있다. 또한 지하철 역이나 지하도의 경우는 역내의 점포에서 방출시킬 수 있는 주방연료의 연소가 NO<sub>2</sub>의 발생원이 된다.<sup>3)</sup> 이와 같이 NO<sub>2</sub>는 일상생활에서 흔하게 발생하는 대기오염물질 중 하나이며, 실내·외에서 모두 쉽게 노출될 수 있기 때문에 인체에 대한 위해성이 클 수 있다.

주택 실내에서의 NO<sub>2</sub> 노출은 천식의 증세를 악화시키거나,<sup>4)</sup> 폐 하부의 기능을 약화시킬 수 있다는 연구결과가 있으며,<sup>5-7)</sup> Xinhua 등(2019)은 NO<sub>2</sub>에 대한 노출은 조산을 유발할 수 있다는 연구 결과를 발표하였다.<sup>8)</sup> 많은 역학연구에서 실내의 NO<sub>2</sub>는 비록 저농도 일지라도 반복하여 장기간 노출시에는 폐기능의 감소와 특히 소아들에게는 기관지염, 천식 및 폐질환 등의 호흡기 질환 발생율이 높다고 하였지만, 이런 결과는 일정하게 나타나지 않았다. 비슷하게 실외 대기의 NO<sub>2</sub>도 호흡기 질병이나 폐질환 영향에 일정한 결과를 보이지 않았다.<sup>9)</sup>

오존(Ozone, O<sub>3</sub>)은 희미한 푸른색을 띠고 있는 기체로서 2 ppb 이하에서는 독특하고 상쾌한 향이 나지만 더 높은 농도에서는 매우 자극적인 냄새가 난다.<sup>10)</sup> 성층권에서는 오존층을 형성하여 지구대기의 보호 역할을 하지만, 지표면에서는 생성되는 고농도 O<sub>3</sub>는 인체와 재산상에 영향을 주어 대기오염물질로 규정하고 있다. O<sub>3</sub>의 노출 경로는 주로 호흡기에 의한 흡입과 눈 및 피부 등의 접촉에 의해 이루어지며, O<sub>3</sub>는 매우 반응성이 높은 물질이기 때문에 눈, 목과 기도를 자극하고, 인체의 방어기전을 저해하는 것으로 알려져 있다. 임상증상으로는 기침, 두통, 천식, 알레르기성 질환을 유발하고 낮은 농도에서도 가슴통증, 기침, 메스꺼움, 인후자극, 충혈과 같은 다양한 건강문제를 야기시킬 수 있기 때문에 주의해야 할 필요가 있다.<sup>11,12)</sup>

O<sub>3</sub>는 자연적으로도 생성되며, 자연적으로 생성될 수 있는 O<sub>3</sub>의 농도는 대략 10~20 ppb 정도인 것으

로 알려져 있다.<sup>13)</sup> O<sub>3</sub>는 살균과 악취제거 등에 사용되기도 하며, O<sub>3</sub>는 실내 발생은 사무실에서 사용하는 복사기, 레이저프린트기, 공기청정기 등 사무용 기구에서 주로 발생한다. 하지만 실내에 발생요인이 있을지라도 실내 O<sub>3</sub>는 주로 실외 O<sub>3</sub>의 유입으로 비롯된 것으로 보고되고 있다.<sup>14)</sup>

사람은 대부분의 시간을 실내에서 보내기 때문에,<sup>15)</sup> 이러한 대기오염물질에 대한 위해성 평가는 주로 실내에 국한되어 있다.<sup>16)</sup> 그러나 대기오염물질에 대한 위해성을 평가할 때는 실외를 포함한 모든 국소환경에서의 노출을 고려한 통합 위해성 평가가 필요하다.<sup>17)</sup> 또한 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>는 대기환경기준 물질로 분류되어 있어 일반 환경에서의 노출평가 연구가 많이 보고되었으나, 일반환경에서는 유해인자에 대한 노출 인구가 많아 많은 사람을 대상으로 한 위해성 평가는 비교적 적은 편이다.

본 연구에서는 대기환경기준에서 제시하는 대기오염물질 중, 비발암성 대기오염물질에 대한 노출에 따른 건강영향을 알아보려 하였다. 발암성 물질인 벤젠과 단일물질이 아닌 혼합물인 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>, 최근 노출 연구 보고사례가 적은 아황산가스와 납, 일산화탄소를 제외한 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>를 대상 물질로 선정하였다. 실내발생원이 있고, 상대적으로 반응성이 낮은 NO<sub>2</sub>와 실내 발생원이 없고 반응성이 상대적으로 높은 O<sub>3</sub>의 특성에 따른 노출 및 위해성 평가를 진행하였다. 지난 10년 동안의 실내의 환경에서 측정된 농도를 고찰 및 시간활동 양상이 유사할 것으로 추측되는 집단에 적용하여 노출분포 및 위해성 평가를 하였으며, 부분 인구집단의 시간활동 양상에 따른 노출 및 위해성의 차이와, 사람의 전 생애에 걸친 노출 및 위해성을 평가하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 인구집단별 노출 평가

본 연구에서는 시간활동 양상이 유사한 집단으로 가정되는 미취학 아동, 학생, 전업주부, 직장인(사무직 근로자), 노년층 총 5개의 부분 인구집단을 대상으로 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>에 대한 노출 및 위해성 평가를 실시하였다. 이때 미취학 아동은 만 3~6세, 학생은 만 7~18세, 전업주부는 만 19세 이상 여성, 직장인은 만 19~64세 성인, 노년층은 만 65세 이상으로 정의하였다.

각 인구집단이 머무르는 국소환경을 집, 학교 또는 직장, 실외, 이동수단, 기타 실내의 5개의 국소환경으로 구분하였으며, 인구집단의 특성에 따라 방문하는 국소환경을 구분하여 노출 시나리오를 구상하였다. 학교 또는 직장은 어린이집 및 보육시설(미취학 아동), 학교(학생), 직장(직장인)으로, 기타 실내에는 식당(음식점, 카페), 주점, 쇼펍몰, 문화시설, 체력단련실, 의료기관, 학원, 노인복지시설의 세부 국소환경으로 나누어 각 인구집단에 해당하는 국소환경의 농도를 산출하였다(Table 1).

각 국소환경의 농도는 메타분석을 통해 각 국소환경에서의 실측 데이터를 산출하였다. Dbpia, ScienceDirect, Google Scholar와 같은 학술검색 엔진에서 air pollutants, risk assessment, exposure assessment 등과 같은 주요어(key words)를 사용하여 2018년 12월 21일까지 최근 10년간의 대기 중 농도에 대하여 문헌고찰을 실시하였으며 각 국소환경에서 측정된 표본의 수와 농도를 이용하여 가중 산술 평균(weighted arithmetic mean) 농도를 계산하였다. 또한 최근 10년 이내 조사된 문헌이 없는 경우에는 해당 국소환경에서 가장 최신 자료를 1개 이상 인용하였다. 문헌검색 결과, 중복되는 문헌을 제외하고 총 53개의 문헌이 도출되었으며, 실측한 연구가 아닌 리뷰 논문이나 학술대회 초록, 환경 시료 측정(environmental sampling)이 아닌 개인 시료 측정(personal sampling) 등의 조건에 부합하지 않는 문헌 15개를 제외하고 38개의 문헌을 대상으로 하였다. NO<sub>2</sub>는 총 24개의 문헌에서 129개의 국소환경에 대한 총 6,359개의 농도 값을 구하였으며,<sup>18-41)</sup> O<sub>3</sub>는 19개의 문헌에서 1,820개의 농도를 산출하였다.<sup>37-55)</sup>

각 국소환경에서의 재실시간은 통계청의 생활시간 조사 자료를 기반으로 한 기존의 시간활동 양상을 평가한 문헌을 참고하였으며,<sup>28,56-59)</sup> 각 국소환경별 재실시간에 따른 시간 가중 평균(time-weighted average) 농도를 적용하였다.<sup>60)</sup>

**2. 건강 위해성 평가**

본 연구에서는 비발암물질인 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>에 대하여 기준농도(reference concentration, RfC)를 이용한 위해성평가를 실시하였다. 비발암물질의 위해성 평가는 노출 농도를 RfC로 나눈 유해지수(hazard quotient)로 평가할 수 있으며(식 1), 유해지수가 1을 초과할 경우 인체에 유해한 건강영향을 일으킬 수 있는 수준으로 판단하여 평가할 수 있다.<sup>61)</sup>

$$\text{Hazard quotient} = \frac{\text{Exposure concentration (ppb)}}{\text{Reference concentration (ppb)}} \quad (1)$$

이때, RfC는 대기환경 기준의 가장 낮은 농도를 적용하였다. NO<sub>2</sub>는 연간 평균치인 30 ppb를 적용하였으며 O<sub>3</sub>는 8시간 평균치인 60 ppb를 적용하였다.<sup>62)</sup>

추가적으로, 5개의 부분 인구집단에 3세 미만의 영유아를 추가하여 사람의 전 생애에 대한 노출 및 위해성 평가를 진행하고자 하였다. 영유아는 집에서만 시간을 보낸다고 가정하여 집에서의 농도를 노출 농도로 적용하였고, 따라서 노출 평가는 진행하지 않았으며, 노출 농도는 평생 동안 같은 농도에 노출된다고 가정하였다. 전 생애 평가는 전업 주부 및 직장인의 2가지의 생애를 가정하였다. 사람이 태어나만 18세까지는 동일하게 영유아, 미취학 아동, 학생의 생애를 거치고, 만 19세부터 64세까지 전업주부

**Table 1.** Exposure scenario by sub-population groups

Population group	Indoor													Out-door	Trans-port
	School or workplaces						Others								
	House	Work-place	School	Daycare center	Restau-rant, cafe	Bar	Mall	Cultural facility	Gym	Medical Center	Private educa-tional institute	Senior citizen center			
Preschool child	√			√				√			√		√	√	
Student	√		√					√			√		√	√	
Housewife	√				√	√	√	√	√	√			√	√	
Worker	√	√			√	√	√	√	√	√			√	√	
The old	√				√			√		√		√	√	√	

와 직장인의 생애를 보내며, 만 65세 이후로는 노년층의 생애를 보낸다고 가정하였다. 만 65세 이후인 노년층의 노출 기간은 2018년 기준 여성의 기대수명인 85.7년과 남성의 기대수명인 82.7년을 각각 전업주부 생애와 직장인 생애에 적용하였다.<sup>63)</sup>

또한 @Risk (Palisade Co., USA) 소프트웨어를 사용하여 확률 분포를 이용한 Monte-Carlo 모의실험을 통하여 확률론적 위해성 평가를 실시하였다. 공기오염물질의 농도는 대수정규분포를 적용하였으며 국소환경별 재실시간은 정규분포를 적용하였고, 각 1,000,000번의 모의실험을 통해 분석하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 인구집단별 노출 평가

시간활동 양상의 문헌고찰을 통해 조사한 인구집단에 따른 국소환경에서의 재실시간을 Table 2에 나타내었다. 가장 많이 머무는 국소환경은 집이었으며, 집에서 보내는 시간은 전업주부가 19.15±3.31 hr로 가장 높았고, 노년층이 18.55±3.71 hr, 미취학 아동이 16.14±2.57 hr, 학생이 12.83±2.36 hr, 직장인이 11.67±1.88 hr로 나타났다. 학교 또는 직장의 경우 직장인은 직장에서 8.06±5.12 hr, 학생은 학교에서 7.82±2.36 hr, 미취학 아동은 어린이집 및 보육시설에서 5.91±2.67 hr를 보낸 것으로 나타났다. 실외에서 보낸 시간은 노년층이 2.44±1.73 hr, 전업주부가 1.25±0.50 hr, 직장인은 0.95±1.08 hr, 학생 0.80±0.62 hr, 미취학 아동 0.53±1.13 hr였다. 이동수단에서 보낸 시간은 직장인, 학생, 노년층, 전업주부, 미취학 아동 순으로 각각 1.49±1.09, 1.37±0.74, 1.36±1.00, 1.29±1.27, 1.04±1.10 hr로 나타났다. 기타 실내에서

보낸 시간은 전업주부가 2.42±2.4 hr, 노년층이 2.09±1.56 hr, 학생 1.80±1.70 hr, 직장인 1.28±1.20 hr, 미취학 아동이 0.63±1.15 hr로 나타났다.

메타분석을 통해 가중 산술 평균을 적용한 각 국소환경의 농도를 Table 3에 나타내었다. NO<sub>2</sub>의 농도는 집에서 26.39±11.16 ppb, 어린이집 및 보육시설에서 26.66±13.00 ppb, 학교에서 16.74±62.29 ppb, 직장에서 24.93±10.45 ppb로 나타났다. 실외는 34.14±13.49 ppb, 이동수단은 40.09±22.39 ppb로 나타났으며, 기타실내는 미취학 아동 및 학생이 24.82±10.30 ppb, 전업주부와 직장인이 39.63±32.19, 27.05±12.22 ppb로 나타났다. O<sub>3</sub>의 농도는 집에서 24.98±10.49 ppb로 나타났으며, 어린이집 및 보육시설에서 4.09±7.47 ppb, 학교에서 16.00±36.06 ppb, 직장에서 14.36±5.79 ppb로 나타났다. 실외에서는 39.30±10.44 ppb, 이동수단에서는 8.89±6.89 ppb로 나타났으며, 기타실내는 미취학 아동 및 학생이 20.33±12.09 ppb, 전업주부와 직장인이 14.22±10.49, 14.04±10.03 ppb로 나타났다.

#### 2. 건강 위해성 평가

NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>의 인구집단 및 전업주부, 직장인의 전 생애 위해성 평가 결과를 Table 4에 나타내었다. NO<sub>2</sub>의 평균 유해지수는 전업주부가 0.965, 노년층이 0.949, 미취학 아동이 0.915, 직장인이 0.906, 학생은 0.828로 나타났으며, 전업주부 생애는 0.937, 직장인 생애는 0.903으로 나타났다. NO<sub>2</sub>의 위해성 평가 결과 나타난 인구집단별 확률 분포를 Fig. 1에, 전업주부와 직장인의 전 생애 노출 확률 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 확률 분포상으로는 전업주부 39.6%, 노년층 37.4%, 미취학 아동 34.0%, 직장인 34.1%,

**Table 2.** The time spent in each microenvironment by sub-population groups (hr)

Population group	Indoor						Outdoor		Transport		Reference
	House		School or workplace		Others		Mean	S.D	Mean	S.D	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D					
Preschool child	16.14	2.57	5.91	2.67	0.63	1.15	0.53	1.13	1.04	1.10	NIER, 2016
Student	12.83	2.36	7.82	2.36	1.80	1.70	0.80	0.62	1.37	0.74	Ryu et al., 2018
Housewife	19.15	3.31	?	?	2.42	2.42	1.25	0.5	1.29	1.27	Lee et al., 2014
Worker	11.67	1.88	8.06	5.12	1.28	1.20	0.95	1.08	1.49	1.09	Yang et al., 2012
The old	18.55	3.71	?	?	2.09	1.56	2.44	1.73	1.36	1.00	NIER, 2017

**Table 3.** The concentrations of air pollutants in each microenvironment according to sub-population groups using meta-analysis

Air pollutants	Population group	Indoor						Outdoor		Transport	
		House		School or workplace		Others		Mean	S.D	Mean	S.D
		Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D				
Nitrogen dioxide (ppb)	Preschool child	26.39	11.16	26.66	13.00	24.82	10.30	34.14	13.49	40.09	22.40
	Student	26.39	11.16	16.74	62.29	24.82	10.30	34.14	13.49	40.09	22.40
	Housewife	26.39	11.16	-	-	39.63	32.19	34.14	13.49	40.09	22.40
	Worker	26.39	11.16	24.93	10.45	39.63	32.19	34.14	13.49	40.09	22.40
	The old	26.39	11.16	-	-	27.05	12.22	34.14	13.49	40.09	22.40
Ozone (ppb)	Preschool child	24.98	10.49	4.09	7.47	20.33	12.09	39.30	10.44	8.89	6.89
	Student	24.98	10.49	16.00	36.06	20.33	12.09	39.30	10.44	8.89	6.89
	Housewife	24.98	10.49	-	-	14.22	10.49	39.30	10.44	8.89	6.89
	Worker	24.98	10.49	14.36	5.79	14.22	10.49	39.30	10.44	8.89	6.89
	The old	24.98	10.49	-	-	14.04	10.03	39.30	10.44	8.89	6.89

**Table 4.** Hazard quotients of nitrogen dioxide and ozone

Air pollutants	Population group	Fixed point mean	Monte-Carlo simulation							
			Mean	Percentile						
				5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Nitrogen dioxide	Preschool child	0.915	0.915	0.470	0.544	0.685	0.869	1.094	1.342	1.517
	Student	0.828	0.828	0.381	0.439	0.553	0.713	0.931	1.230	1.520
	Housewife	0.966	0.966	0.454	0.537	0.692	0.903	1.169	1.473	1.693
	Worker	0.905	0.905	0.440	0.524	0.675	0.867	1.093	1.335	1.502
	The old	0.950	0.950	0.484	0.559	0.702	0.894	1.135	1.407	1.603
	Housewife-lifetime	0.937	0.937	0.610	0.666	0.769	0.903	1.065	1.245	1.375
	Worker-lifetime	0.903	0.903	0.597	0.654	0.754	0.879	1.023	1.177	1.283
Ozone	Preschool child	0.327	0.327	0.150	0.178	0.231	0.304	0.396	0.643	0.580
	Student	0.365	0.365	0.168	0.194	0.246	0.321	0.423	0.503	0.680
	Housewife	0.398	0.398	0.199	0.229	0.287	0.370	0.477	0.559	0.694
	Worker	0.331	0.331	0.166	0.195	0.248	0.316	0.397	0.602	0.545
	The old	0.417	0.417	0.205	0.239	0.304	0.391	0.501	0.484	0.718
	Housewife-lifetime	0.395	0.395	0.263	0.285	0.326	0.381	0.448	0.461	0.575
	Worker-lifetime	0.357	0.357	0.242	0.263	0.301	0.348	0.403	0.627	0.501

학생의 19.9%의 유해지수가 1을 초과하였으며, 전업주부 생애는 33.8%, 직장인 생애는 28.4%의 유해지수가 1을 초과한 것으로 나타났다. O<sub>3</sub>의 평균 유해지수는 노년층이 0.417로 가장 높았고, 전업주부가 0.398, 학생이 0.365, 직장인 0.331, 미취학 아동이 0.327로 나타났으며, 전업주부 생애는 0.395, 직

장인 생애는 0.357로 나타났다. O<sub>3</sub>에 대한 위해성 평가 결과 인구집단별 및 전생애 노출 확률 분포를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 확률 분포상으로는 학생의 1.4%의 유해지수가 1을 초과하였으며, 학생을 제외한 모든 인구집단과 전 생애 평가에서 99% 이상의 유해지수가 1 미만으로 나타났다.

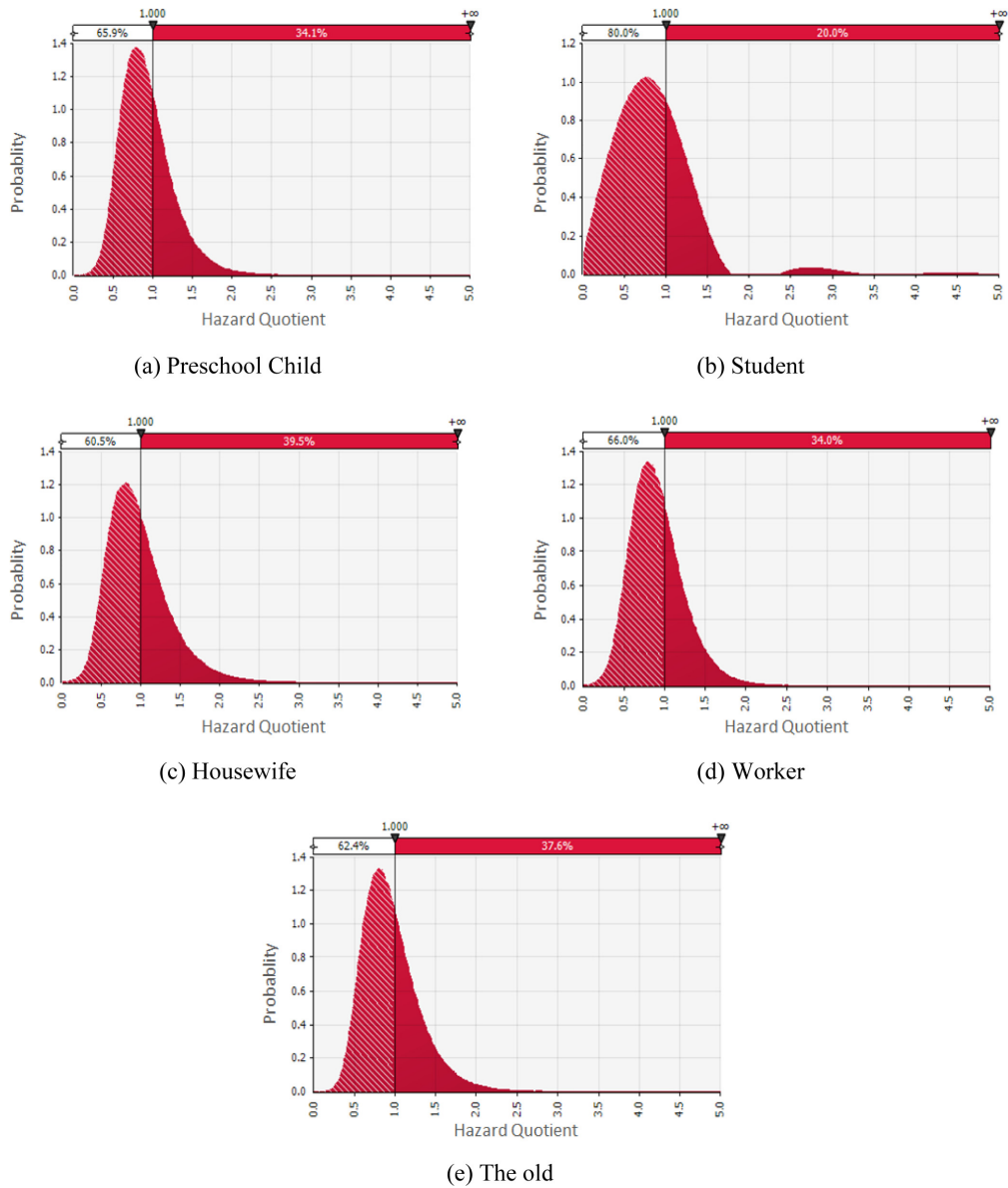


Fig. 1. The probability distribution of hazard quotient of nitrogen dioxide by sub-population group.

#### IV. 고 찰

집에서 가장 많은 시간을 보내는 인구집단은 전업주부였으며(19.15 hr), 그 다음 노년층으로(18.55 hr) 나타났다. 전업주부는 집이 주거뿐만 아니라 가사를 하는 공간이며 전업주부와 노년층은 어린이집 또는 학교, 직장과 같이 통학 또는 통근하는 국소환경이

없기 때문에 집에서의 유해인자 노출에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 집 및 학교 또는 직장에서 보내는 시간은 미취학 아동은 하루의 91.9%, 학생은 86.0%, 전업주부 79.8%, 직장인 82.2%, 노년층은 77.3%를 보낸 것으로 나타나 공기오염물질의 노출에 대한 기여가 클 것으로 판단된다. 실외에서 보내는 시간이 가장 많은 인구집단은 노년층으로 나타

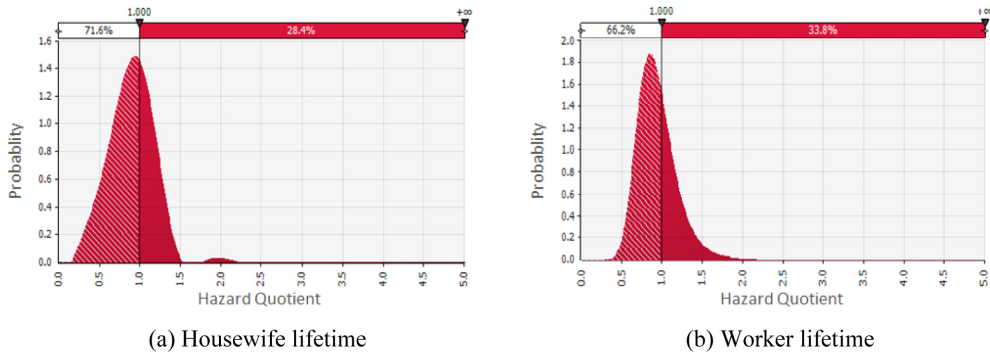


Fig. 2. The probability distribution of hazard quotient of nitrogen dioxide for lifetime exposure.

났는데, 이것은 노년층이 공원 등에서 여가 시간을 보내기 때문인 것으로 추측할 수 있다.<sup>59)</sup> 미취학 아동은 실내에서 보내는 시간이 가장 많은 것으로 나타나, 실내에서의 유해인자 노출에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

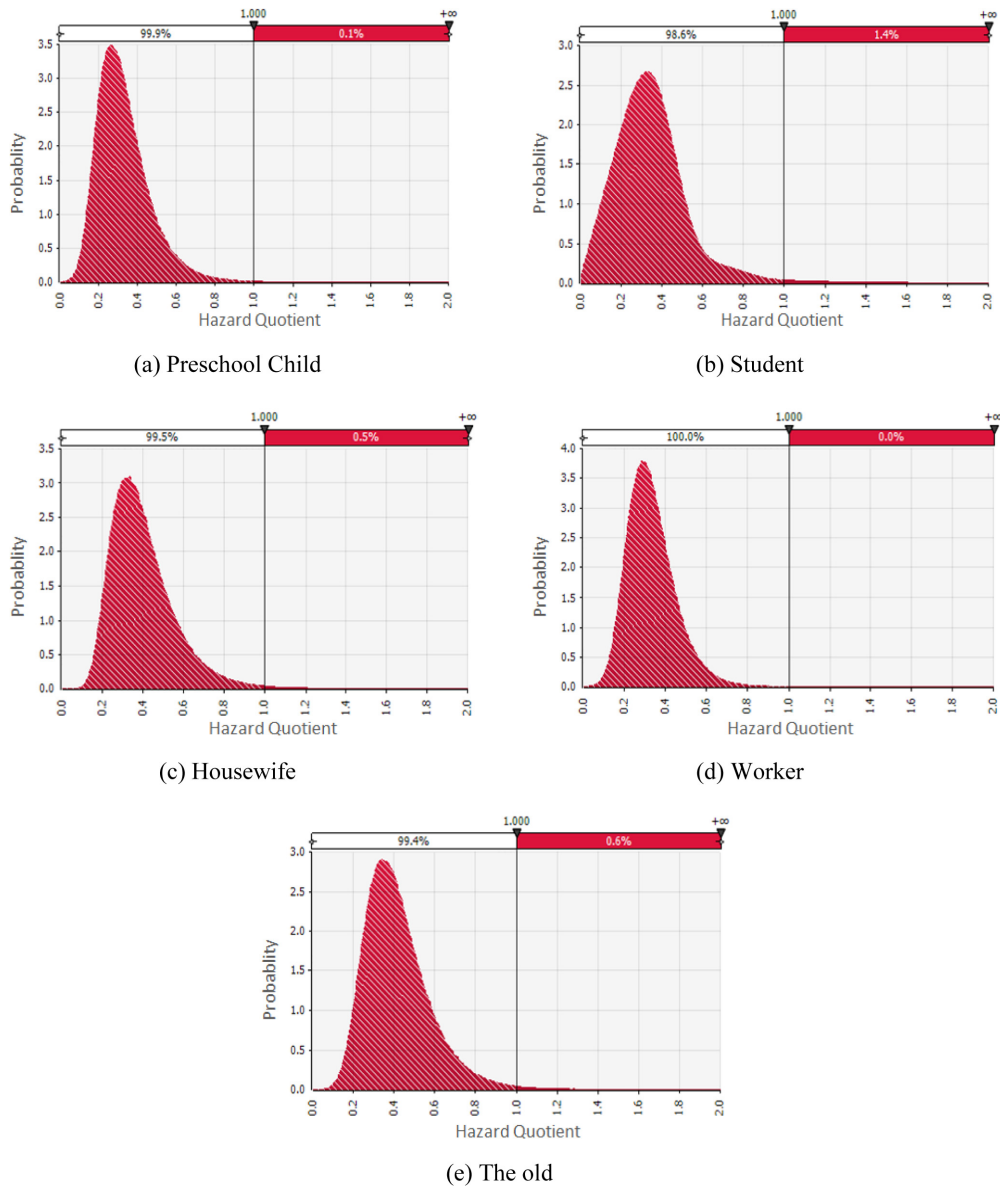
각 국소환경의 NO<sub>2</sub> 농도 고찰 결과, 이동수단에서의 NO<sub>2</sub> 농도가 높게 나타났다. 이 원인은 NO<sub>2</sub>가 주로 자동차 배기가스에 의해 발생하기 때문인 것으로 판단된다.<sup>2)</sup> 문헌 중 NO<sub>2</sub> 농도가 가장 높았던 국소환경은 이경빈 등(2014)이 지하철 전동차 내부에서 측정된 값으로, 110 ppb로 측정되었다. 이경빈 등(2014)은 연구 결과, 기존연구와 유사하게 지하철 외부 농도보다 높게 관측되어 지하철 전동차 내부 또는 지하 터널 등에 NO<sub>2</sub> 발생원이 있을 것으로 판단하고 발생원의 파악과 대책이 시급하다고 판단하였다.<sup>30)</sup> 그러나 일반적으로, 지하철 전동차 내부에서는 NO<sub>2</sub> 발생원이 없으므로, 측정 농도에 대한 정확성 검증이 필요할 것으로 판단된다. 또한 직장인과 전업주부의 기타 실내의 NO<sub>2</sub> 농도가 높게 나타났다. 이것은 직장인과 전업주부의 기타실내에 식당이 포함된 것이 원인으로 판단된다. Shuai 등(2013)이 식당에서 측정된 NO<sub>2</sub>의 농도는 74.43 ppb로,<sup>32)</sup> 식당에는 조리를 통해 NO<sub>2</sub>가 발생하기 때문인 것으로 추측된다.

O<sub>3</sub>는 실외에서 39.30 ppb로 가장 높게 나타났으며 실내의 O<sub>3</sub> 농도는 4.09~24.98 ppb로 실내 및 실외비가 0.10~0.64 ppb로 나타났다. O<sub>3</sub>의 실내 및 실외비(indoor to outdoor ratio, I/O ratio)는 약 0.4이며,<sup>64)</sup> Blondeau 등(2005)에 의하면 학교에서 측정된 O<sub>3</sub>의 농도비가 0.08~0.45 ppb 정도로 나타났다.<sup>65)</sup> 이것은

O<sub>3</sub>는 일반 실내환경에서는 발생원이 거의 없고,<sup>64)</sup> 반응성이 높아 대기 중의 O<sub>3</sub>는 실내로 유입 시 표면 반응(surface reaction)에 의해서 실내 쇼파, 벽지 등과 반응하여 농도가 감소하는 경향을 보이기 때문이다.<sup>66)</sup> 따라서 O<sub>3</sub>에 대한 건강 악영향은 주로 실외에서 입을 가능성이 높다고 할 수 있다.

NO<sub>2</sub>에 대한 위해성 평가 결과, 유해지수가 1을 초과한 비율이 전업주부가 39.6%로 가장 높게 나타났다. 이것은 기타 실내의 농도가 39.63 ppb로 가장 높게 나타났으며, 기타 실내에서 보낸 시간도 2.42 hr로 가장 높게 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 다음으로 노년층(37.4%), 미취학 아동(34.0%), 직장인(34.1%), 학생(19.9%)의 순서로 위해성이 높게 평가되었다. 직장인을 제외하고 집 재실 시간이 높은 순서와 동일한 순서로 나타났으며, 기타실내와 실외에서 보내는 시간이 많은 전업주부와 노년층의 위해성이 높게 평가되었다. 따라서 주택 실내의 NO<sub>2</sub> 농도가 NO<sub>2</sub> 노출에 기여하는 바가 크다고 판단할 수 있다. 또한 전업주부는 가스렌지를 사용하기 때문에 사용 등으로 인하여 NO<sub>2</sub>의 발생원에 가까이 위치하기 때문에 주택 실내 공기 중 농도보다 NO<sub>2</sub>에 대한 노출이 높을 수 있다. 학생의 유해지수가 낮게 나타난 것은 학교에서의 NO<sub>2</sub>의 발생원이 거의 없어,<sup>21)</sup> 학교에서의 NO<sub>2</sub> 농도가 가장 16.74 ppb로 낮게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

O<sub>3</sub>에 대한 위해성 평가 결과, 노년층의 평균 유해지수가 가장 높게 나타난 것은 실외에서 보내는 시간이 가장 높기 때문인 것으로 판단된다. Zhong(2017) 등은 지구온난화 등 기후변화에 의해 광화학적 반응으로 발생하는 대기 중 O<sub>3</sub> 농도가 증가하고 있으며,



**Fig. 3.** The probability distribution of hazard quotient of ozone by sub-population group.

이로 인해 O<sub>3</sub>에 대한 사람의 노출이 증가할 수 있음을 제시하였다.<sup>67)</sup> 또한 사무실에서는 프린터 및 복사기와 같은 실내 발생원이 있으므로,<sup>68-70)</sup> 이러한 발생원과 사람의 위치가 가까울 경우 실내 공기 중 농도보다 높게 노출될 수 있다는 점을 고려하여야 한다. 그러나 모든 인구집단에서 99% 이상의 유해지수가 1 미만으로 나타나 인체에 대한 건강 악영향

의 우려는 적은 것으로 나타났다. 이것은 O<sub>3</sub>의 농도가 실내는 4.09~24.98 ppb, 실외는 39.30 ppb로 사람이 대부분의 시간을 보내는 실내에서의 O<sub>3</sub> 농도가 낮아 O<sub>3</sub>에 대한 실제 노출 수준이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

O<sub>3</sub>와 NO<sub>2</sub>에 대한 전 생애 위해성 평가 결과, 공통적으로 직장인의 생애보다 전업주부 생애의 위해



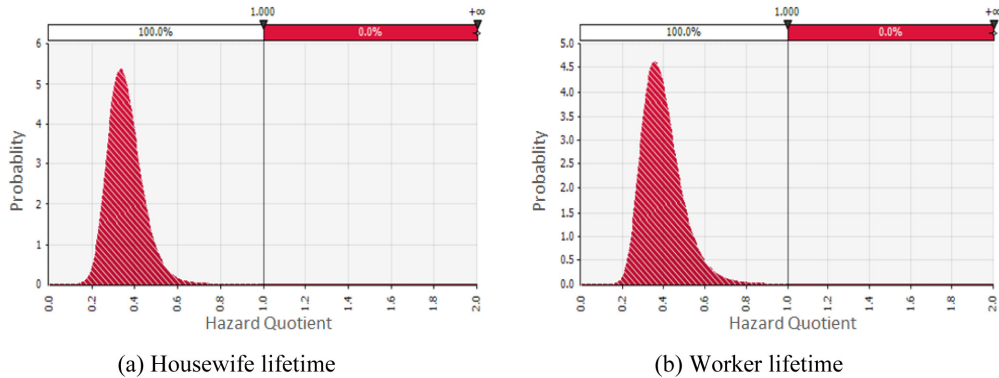


Fig. 4. The probability distribution of hazard quotient of ozone for lifetime exposure.

성이 높게 나타났다. 전업주부는 직장인보다 여성의 비율이 높고, 임신부 등 취약계층이 포함되어 있기 때문에 전업주부에 대한 위해성 관리가 필요할 것으로 판단된다.

각 인구집단을 연령에 따라 구분하였기 때문에 전업주부 및 직장인에 대한 전 생애 노출 평가 시 다른 부분 인구집단이 고려되지 않았다는 점과, 전업주부와 직장인의 연령이 동일하게 만 19~64세까지로 가정되었다는 점, 각 인구집단별 노출기간이 기대 수명 차이에 의한 노년층을 제외하고 동일하다는 점 등의 한계가 있었다. 그러나 학교를 졸업하고 전업주부 또는 직장인이 되기 전의 대학생 등과 같은 부분 인구집단은 시간활동이 같을 것으로 가정할 수 없기 때문에 다른 부분 인구집단을 고려하기 어려운 점, 노인복지법에서 만 65세 이상을 노인으로 규정하고 있어,<sup>71)</sup> 제도적 변화로 인해 남녀 모두 만 65세를 기점으로 시간활동 양상은 달라질 것으로 판단되는 점을 고려하였을 때, 본 연구에서의 연령과 기대수명에 따른 인구집단 분류는 타당하다고 생각한다.

NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 농도에 대한 우리나라의 실측 데이터를 이용하여 노출평가를 실시하기 위해 우리나라에서 지난 10년간 발표된 연구 결과에 대한 메타분석을 통해 각 국소환경에서의 농도를 조사하였다. 또한 통계청의 생활시간조사 자료를 기반으로 한 시간활동양상 연구 결과를 이용하여 하루 중 TWA 노출 농도를 산출하였다. 따라서 본 연구에서 조사된 인구집단별 노출 농도는 각 우리나라 인구집단에 대한 대표성이 있다고 할 수 있다.

노출은 국소환경에서의 노출 농도와 노출 시간의

함수로 나타낼 수 있다(exposure=concentration×time). 노출 농도뿐만 아니라 노출 시간도 노출을 결정짓는 요소이기 때문에 공기오염물질에 대한 노출 평가 시에는 시간활동 양상 등을 통한 노출 시간 공기오염물질에 대한 노출을 낮추기 위해서는 농도가 높은 국소환경뿐만 아니라 노출 시간이 많은 국소환경을 관리할 필요가 있다.

일반적인 위해성 평가는 실측 자료를 바탕으로 얻어진 하나의 평균값, 즉 단일 값으로 평가된다. 이러한 평가는 평생 동안 평균 농도로 동일하게 노출된다고 가정된다는 한계가 있다.<sup>16)</sup> 그러나 본 연구에서는 확률 분포를 이용하여 Monte-Carlo 모의실험을 통해 위해성에 대한 확률론적인 평가를 하였다 는 의의가 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 기존 연구에 대한 문헌고찰을 통하여 미취학 아동, 학생, 전업주부, 직장인, 노년층을 대상으로 NO<sub>2</sub> 및 O<sub>3</sub>에 대한 노출 및 위해성 평가를 실시하였다. 국소환경의 농도에 대한 메타분석 결과 NO<sub>2</sub>는 주로 이동수단에서, O<sub>3</sub>는 실외에서 노출됨을 알 수 있다. 또한 부분 인구집단에 따라 위해성에 차이가 있음을 확인할 수 있었으며, O<sub>3</sub>는 NO<sub>2</sub>에 비해 위해성이 낮은 것으로 판단되었다. NO<sub>2</sub>에 대한 위해성은 전업주부가 가장 높게 나타났으며, 노년층, 미취학 아동, 직장인, 학생 순으로 나타났다. O<sub>3</sub>에 대한 위해성은 모든 인구집단에서 1% 미만으로 나타났다. NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 모두 직장인보다 전업주부

에서 위해성이 높게 나타나 전업주부에 대한 위해성 관리가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 시간활동 양상에 따른 각 국소환경에서의 노출 및 위해성 평가를 실시하여, 공기오염물질에 대한 전 생애 통합 노출 및 위해성평가를 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생활공감환경보건기술사업의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호: 2018001350001).

## References

1. The National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0454.html> [accessed 7 March 2019].
2. Yang W, Kho Y, Han I, Lee C, Zong M, Chung M, Use of Nitrogen Dioxide as Exposure Marker of Passive Smoking for Non-smoking Service-workers at Restaurants. *Korean Journal of Sanitation*. 2000; 15(3): 1-7.
3. Jung S, Yang W, Son B. Health Risk Assessment by Potential Exposure of NO<sub>2</sub> and VOCs in Apartments. *Korean Journal of Environmental Health*. 2007; 33(4): 242-249.
4. Belanger K, Holford R, Gent F, Hill E, Kezik M, Leaderer P. Household levels of nitrogen dioxide and pediatric asthma severity. *Epidemiology*. 2013; 24(2): 320.
5. O'Connor G, Neas L, Vaughn B, Kattan M, Mitchell H, Crain E, et al. Acute respiratory health effects of air pollution on children with asthma in US inner cities. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2008; 121(5): 1133-1139.
6. Belanger K, Gent J, Triche E, Bracken M, Leaderer B. Association of indoor nitrogen dioxide exposure with respiratory symptoms in children with asthma. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2006; 173(3): 297-303.
7. Moseler M, Hendel-Kramer A, Karmaus W, Forster J, Weiss K, Urbanek R, et al. Effect of moderate NO<sub>2</sub> air pollution on the lung function of children with asthmatic symptoms. *Environmental Research*. 1994; 67(2): 109-124.
8. Ji X, Meng X, Liu C, Chen R, Ge Y, Kan L, et al. Nitrogen dioxide air pollution and preterm birth in Shanghai, China. *Environmental Research*. 2019; 169, 79-85.
9. World Health Organization. Environmental Health Criteria 188, Nitrogen Oxides (Second Edition). World Health Organization. 1997.
10. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices with 7th Edition Documentation. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2015.
11. Choi J, Park J, Kim I, Kwak Y. A Study on the Regulation and Means of Compliance for Ozone Concentration in the Cabin. *Journal of Korean Society for Aviation and Aeronautics*. 2003; 11(2): 79-92.
12. Kim J, Lim J. Cluster Analysis with Air pollutants and Meteorological Factors in Seoul. *Journal of Korean Data & Information Science Society*. 2003; 14(4): 773-787.
13. Hwangbo Y. Evaluation on the Level of Indoor Air Pollutants at Public Facilities and Development of Surveillance System on Indoor Air Pollutant. Ministry of Health and Welfare. 2008.
14. Charles J. Ozone in indoor environments: concentration and chemistry, *Indoor Air*. 2000; 10: 269-288.
15. Yang W, Lee K, Park K, Yoon C, Son B, Jeon J, et al., Microenvironmental time activity patterns of weekday and weekend on Korean. *Journal of Korean Society for Indoor Environment*. 2009; 6(4): 267-274.
16. Lim Y. Health risk assessment of indoor pollutants. *Journal of Korean Environmental Engineers*. 2007; 29(5): 502-511.
17. World Health Organization. Integrated Risk Assessment. [https://www.who.int/ipcs/methods/risk\\_assessment/en/](https://www.who.int/ipcs/methods/risk_assessment/en/). [accessed 7 March 2019].
18. Choi J, Park H, Oh Y, An J, Pa J, Kim K, et al. Reality analysis and evaluation according to indoor air quality management law of multi-use facilities, *Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment*. 2017; 44(4): 175-181.
19. Im S. Exposure Assessment of Benzene, Toluene, and NO<sub>2</sub> in the Residential indoor and Outdoor to Compare Industrial Complex Area with Country Area, [dissertation]. [Gyeongsan]: Daegu Catholic University; 2009.
20. Jeon Y, Yang W, Cho T, Son B. Personal Exposure

- Level of Nitrogen Dioxide in an Industrial Area. *Korean Society of Environmental Health*. 2009; 35(1): 11-20.
21. Jung S, Yang W, Son B. A Study of Development of Evaluation on Source Strengths and Deposition Constants of NO<sub>2</sub> for Modeling in Indoor Air Quality. *Korean Society for Indoor Environment*. 2010; 7(4): 254-262.
  22. Kim H, Kim S, Lee K, Jung S, Cho J. A Survey on the Indoor Air Quality of Some Schools in Goyang City. *Journal of Korea Society of Environmental Administration*. 2009; 15(2): 85-90.
  23. Kim Y, Park C, Kim S, Shin H, Lee S, Lee J, et al. Distribution Characteristics of Nitrogen Dioxide and Nitrous Acid Concentration in Residence Indoors. *Korean Society for Indoor Environment*. 2013; 10(2): 83-98.
  24. Kim Y. Measurement of Classroom Air Quality in large cities in summer. *The Korean Solar Energy Society*. 2007; 27(1): 63-74.
  25. Kwon E. Seasonal Assessment and Estimation of Personal Exposure by Using of Time Activity Pattern, [dissertation]. [Gyeongsan]: Daegu Catholic University; 2010.
  26. Lee C, Lee B, Kim Y, Lee J, Oh I, Sim C. Indoor Air Quality in Elementary School Children's Homes in Ulsan: Comparison between Groups with and without Allergic Rhinitis. *Korean Society for Atmospheric Environment*. 2012; 28(4): 365-373.
  27. Lee C, Lee B, Kim Y, Lee J, Oh I. Analysis of Indoor Air Pollutants from Elementary School Classrooms with Different Environment in Ulsan, Korea. *Korean Society for Atmospheric Environment*. 2011; 27(1): 97-116.
  28. Lee H, Lee S, Lee B, Heo J, Kim S, Yang W. Estimation of personal exposure to air pollutants for housewives using time activity pattern and evaluating air quality of micro-environments, *Journal of Odor and Indoor Environment*. 2014; 13(3): 159-167.
  29. Lee H, Park J, Yang W. Contributions of Outdoor Air and Sources on Residential Indoor Air Quality. *Korean Society for Indoor Environment*. 2009; 6(4): 259-266.
  30. Lee K, Kim J, Bae S, Kim S. Research Study on Indoor Air Quality (IAQ) inside of the Subway Cabin in Seoul Metropolitan City. *Korean Society for Atmospheric Environment*. 2014; 30(2): 175-187.
  31. Shin H, Park W, Kim B, Ji K, Kim K. Indoor Air Quality and Human Health Risk Assessment for Un-regulated Small-sized Sensitive Population Facilities. *Korean Journal of Environmental Health*. 2018; 44(4): 397-407.
  32. Shuai J, Yang W, Ahn H, Kim S, Lee S, Yoon S. Contribution of indoor and outdoor nitrogen dioxide to indoor air quality of wayside shops. *Journal of UOEH*. 2013; 35(2): 137-145.
  33. Woo B, Kim B, Yang W. Validity of Nitrogen Dioxide Measurement Periods in Indoor and Outdoor Microenvironments. *Korean Society for Indoor Environment*. 2011; 8(4): 287-295.
  34. Woo B, Lee H, Ahn H, Jung S, Hwang M, Park C, et al. Perceived Air Quality Assessment of Occupants According to Indoor Air Quality. *Journal of Environmental Science International*. 2011; 20(1): 61-69.
  35. Yang W, Kim D, Hong G, Kim S, Ahn H. Contribution of Workplace and House Indoors for Personal Nitrogen Dioxide Exposure in Office Workers According to Season, *Journal Korean Society of Occupational and environmental hygiene*. 2012; 22(2): 128-133.
  36. Yang W, Kwon E, Kim M. Contribution of Outdoor Air and Indoor Source on Nitrogen Dioxide Concentration in Apartments. *Korean Society for Indoor Environment*. 2009; 6(1): 48-55.
  37. Im J. Characteristics of Indoor and Outdoor Air Quality in the elementary School, Ulsan, [dissertation]. [Ulsan]: University of Ulsan; 2011.
  38. Jung D. Health risk assessment of exposure to indoor air pollutants of office workers in buildings, [dissertation]. [Daegu]: Daegu Catholic University; 2017.
  39. Jung J, Seo B, Ju D, Park M, Son B, Phee Y. Assessment of the Indoor Air Quality at Schools in Ulsan. *Korean Journal of Environmental Health Sciences*. 2010; 36(6): 472-479.
  40. Namgung H, Song J, Kim S, Kim H, Kwon S. Characteristics of indoor air quality in the over-ground and underground railway stations. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2016; 17(5):
  41. Park S. Characteristics of Indoor Air Quality in the Public Facilities, [dissertation]. [Ulsan]: University of Ulsan; 2011.
  42. An S, Kim M, Kim O, Lee Y, Na C, Lee C, et al. A Survey on the Indoor Air Quality of Some School Classroom in Gyeongbuk area, *Journal of Odor and Indoor Environment*. 2006; 3(4): 367-375.
  43. Choi I. A Study of Indoor Air Quality in Various Types of Public Facilities in Seoul, [dissertation].

- [Seoul]: University of Seoul; 2011.
44. Jo S, Cho S, Im J, Hong S, Lee J, Yang W. A study of concentrations of ozone in Gwangyang area. *Journal of Korean Society for Indoor Environment*. 2011; 8(3): 199-210.
  45. Kang G. A Study on Characterization in Indoor Air Quality, [dissertation]. [Gyeongnam]: Jinju Industrial University; 2006.
  46. Kim D. Characteristics of Indoor Air Quality among Elementary Schools in Gyeonggi-do: Focused on Suwon, Ansan and Hwasung City, [dissertation]. [Seoul]: Hanyang university; 2013.
  47. Kim G. A study on measurement of classroom air quality of elementary, middle and high schools, [dissertation]. [Seoul]: Chung-Ang University; 2010.
  48. Kim S. A study on Indoor Air pollution Characterization and Management. Ministry of Environment. 2002.
  49. Kim Y, Roh Y, Lee C, Kim K, Kim J, Jeon H, et al. A Study of Excess Ratio for Guideline of Indoor Air Pollutants in Classroom of Kindergartens, *Journal of Odor and Indoor Environment*. 2007; 4(1), 14-22.
  50. Korean Centers for Disease Control & Prevention. Indoor air quality and health effects in public facilities. Center for Disease Prevention, Chronic Disease Prevention. 2008.
  51. Lee C, Lee B, Oh I, Oh J, Sim C, Kim Y. Indoor Air Quality in Elementary school Children's Homes in Ulsan, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2012; 28(4): 365-373.
  52. Lee J, Jung M, Choi K. A Study of Ozone Variations in a Semiconductor Fabrication Facility and Office Related to the Ozone Concentration in the Outdoor Air, *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*. 2016; 26(2): 188-197.
  53. Roh Y, Kim J, Lee C, Kim Y, Ha M, Kwon H, et al. A Survey of Distribution for Indoor Air Pollutants in Classrooms of Some Elementary Schools, *Journal of Odor and Indoor Environment*. 2007; 4(4): 204-213.
  54. Roh Y, Lee C, Kim Y, Kim S, Kim C, Kim H, et al. Extension Possibility of Indoor Air Standards in Office Building by Health Risk Assessment, *Journal Korean Society of Occupational and environmental hygiene*. 2006; 16(1): 54-67.
  55. Ryu I. A Study Characteristic on Indoor Air Quality and Health Risk Assessment in Multi-use Facilities, [dissertation]. [Busan]: Pukyong National University; 2010.
  56. Ryu H, Yoon H, Eom I, Park J, Kim S, Cho M, et al. Time-activity Pattern Assessment for Korean Students, *Journal of Environmental Health Society*. 2018; 44(2): 143-152.
  57. National Institute of Environmental Research. Korean exposure factors handbook for children Child-specific exposure factors handbook. Environmental Health Research Department, Risk Assessment Division. 2016.
  58. Lee H, Woo B, Hwang M, Park C, Yu S, Yang W. Assessment of Time Activity Pattern for Workers, *Journal Korean Society of Occupational and environmental hygiene*. 2010; 20(2): 102-110.
  59. National Institute of Environmental Reseach. Study on the Improvement of Exposure Factors of Korean Adults on Risk Assessment (II). 2017.
  60. Moschandreas DJ, Watson J, D'Abreton P, Scire J, Zhu T, Klein W, et al. Chapter three: methodology of exposure modeling. *Chemosphere*. 2002; 49(9): 923-946.
  61. U.S. Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I. Human Health Evaluation Manual, *Office of Emergency and Remedial Response*. 1989; 540: 1-89.
  62. Ministry of Environment. Atmosphere Environmental Standard. 2019.
  63. National Institute of Environmental Reseach. Study on the Improvement of Exposure Factors of Korean Adults on Risk Assessment (III). 2018.
  64. Chao C. Comparison between indoor and outdoor air contaminant levels in residential buildings from passive sampler study, *Building and Environment*. 2001; 36: 999-1007.
  65. Blondeau P, Iordache V, Poupard O, Genin D, Allard F. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. *Indoor Air*. 2015; 15(1): 2-12.
  66. Wang H, Morrison G. Ozone-surface reactions in five homes: surface reaction probabilities, aldehyde yields, and trends. *Indoor Air*. 2010; 20(3): 224-234.
  67. Zhong L, Lee C, Haghghat F. Indoor Ozone and climate change. *Sustainable Cities and Society*. 2017; 28: 466-472.
  68. Destailats H, Maddalena R, Singer B, Hodgson A, McKone T. Indoor pollutants emitted by office equipment: a review of reported data and information needs. *Atmos. Environ*. 2008; 42: 1371-1388.
  69. Lee C, Hsu D. Measurements of fine and ultrafine particles formation in photocopy centers in Taiwan. *Atmos. Environ*. 2007; 41: 6598-6609.
  70. Singh P, Kumar A, Singh D, Punia M, Kumar K,

Jain K. An assessment of ozone levels, UV radiation and their occupational health hazard estimation during photocopying operation. *J. Hazard. Mater.* 2014; 275: 55-62.

71. Ministry of Health and Welfare. Welfare of the Aged Act. 2019.

**<저자정보>**

박진현(대학원생), 류현수(연구원), 양소영(교수), 박윤경(대학원생), 허 정(대학원생), 김은채(대학원생), 최영태(대학원생), 조만수(교수), 양원호(교수)