

## PHMG (polyhexamethylene guanidine) 흡입독성참고치 산출을 통한 가습기살균제 노출등급 분류 및 특성

김은채\* · 류현수\* · 박진현\* · 최영태\* · 허정\* · 이슬아\*\* ·  
조은경\*\* · 최윤형\*\* · 조만수\* · 양원호\*†

\*대구가톨릭대학교 산업보건학과, \*\*가천대학교 의과대학 예방의학교실

### Classification and Characterization of Exposure Rating in Humidifier Disinfectants through Calculation of PHMG Reference Concentration

Eunchae Kim\*, Hyeonsu Ryu\*, Jinhyeon Park\*, Youngtae Choe\*, Jung Heo\*, Seula Lee\*\*,  
Eun-Kyung Jo\*\*, Yoon-Hyeong Choi\*\*, Mansu Cho\*, and Wonho Yang\*†

\*Department of Occupational Health, Daegu Catholic University

\*\*Department of Preventive Medicine, Gachon University of College of Medicine

#### ABSTRACT

**Objectives:** The Korean Ministry of Environment has identified cases of people suspected of suffering lung disease potentially caused by polyhexamethylene guanidine (PHMG) used in humidifier disinfectants (HDs). Exposure assessment for the HDs was conducted using a questionnaire during face-to-face interview. The main purposes of this study were to develop a methodology to effectively classify levels of exposure to HDs based on a questionnaire.

**Methods:** We first identified the overall participants' exposure characteristics by HD exposure levels; Second, we selected misclassified subjects and investigated characteristics of overestimated and underestimated subjects, focusing on exposure cases to PHMG-containing HDs. An inhalation reference concentration (RfC) for PHMG was produced on the basis of inhalation toxicity values. We made a cross-tabulation of the exposure classes (Exposure classes 1-to-4) by clinical classes based on the RfC. When the value of the exposure class minus the clinical class was 0 or 1, we assumed these were true values. When the value was  $\geq 2$  and  $\leq -2$ , we assigned these cases to the overestimation group and underestimation group, respectively.

**Results:** The overestimated group may have already recovered and responded excessively due to psychological anxiety or in order to receive compensation. On the other hand, relatively high mortality rates and surrogate responses for those under 10 years of age may have resulted in inaccurate exposure assessment for underestimated groups. For the characteristics of exposure, it was shown that for the underestimated group, the exposure was relatively weaker than the overestimated group, even though a high overall clinical rating was determined.

**Conclusions:** This study may suggest ways to reduce bias and overcome the limitations of current HD exposure assessment.

**Key words:** Humidifier disinfectant, exposure assessment, past exposure, questionnaire, misclassification

†Corresponding author: Department of Occupational Health, Daegu Catholic University, Hayang-ro 13-13, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38430, Rep. of Korea, Tel: +82-53-850-3739, E-mail: whyang@cu.ac.kr  
Received: 28 May 2020, Revised: 12 June 2020, Accepted: 17 June 2020

## I. 서 론

겨울철 건조한 기후로 인해 발생할 수 있는 호흡기 질환 예방을 위해 가습기를 사용하여 실내습도를 유지할 수 있다. 가습기가 공급하는 수증기는 코와 목의 건조함과 자극을 줄여준다.<sup>1)</sup> 하지만 가습기 속의 물은 세균과 곰팡이가 자라기 쉬운 환경을 조성하여<sup>2)</sup> 청소 상태가 소홀해질 경우에는 가습기에서 발생하는 유해 물질에 노출되어 잠재적인 위해가 가능하다. 이것은 폐로 직접 들어가 인체 건강에 위협을 초래할 수 있다.<sup>3)</sup> 생활화학제품 기업들은 가습기 청소의 불편함을 해소할 수 있으며 인체에 무해하다는 광고로 홍보하여 많은 가정에서 안심하고 가습기 살균제를 사용하였다. 가습기살균제는 1994년 제품이 출시된 이후부터 2011년 위해성이 밝혀지기까지 보고된 제품의 수는 약 37종으로 파악된다.<sup>4)</sup>

미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 가습기 세척에 세정제나 살균제를 사용했다면 세척 후 수돗물로 여러 번 행귀 화학물질이 공기 중으로 퍼지지 않도록 권고하였다.<sup>5)</sup> 하지만 우리나라에서는 가습기 물통에 살균제를 주입하여 방안에 분무가 될 수 있게 사용하였다. 가습기살균제의 주요 성분은 폴리헥사메틸렌 구아니딘(polyhexamethylene guanidine, PHMG), 염화에톡시에틸 구아니딘(Oligo(2-) ethoxyethoxyethyl guanidine chloride, PGH), 클로로메틸이소티아졸리논(chloromethylisothiazolinone, CMIT)와 메틸이소티아졸리논(methylisothiazolinone, MIT) 이었다.<sup>6)</sup> 가습기살균제의 주요 성분들은 폐질환, 간질성 폐 질환, 천식 등의 건강피해가 발생한 것으로 확인되었으며, 가습기 살균제로 인한 인명피해 또한 역학조사와 동물흡입 실험보고서를 통해 증명되었다.<sup>7)</sup>

가습기살균제에 의한 피해 신청자는 2020년 5월 기준으로 6,771명이며 현재에도 지속적으로 피해접수를 신청받고 있다(<https://www.healthrelief.or.kr/home/content/stats01/view.do>).<sup>8)</sup> 가습기살균제 사용에 따른 피해인정은 환경노출, 임상, 조직병리, 영상의학 등의 조사 및 판정 결과를 토대로 임상의사와 보건학 전문가로 구성된 위원회의 심의를 거쳐 종합판정등급을 내리고 있다. 가습기살균제 노출조사는 피해신청자와 직접 대면인터뷰를 통해 조사를 진행하였고, 피해신청자가 사망한 경우 피해 당시 상황을

가장 잘 알고 있는 가족, 보호자 등 대리인을 통해 조사가 진행되었다.<sup>7)</sup>

가습기살균제 사건 이후 가습기살균제 주요성분에 대한 동물실험이 진행되어 독성정보와 건강영향에 대한 많은 연구가 진행되었다. 가습기살균제 자료 현황을 조사하여 인체 유해성에 대한 기본 개념을 정리하고 급성 및 만성 독성자료를 이용하여 환경노출 기준을 설정하고 설문지를 이용한 노출변수 항목들을 통해 노출량을 추정하여 피해보상에 대한 과학적 근거 마련이 필요한 실정이다. Ryu 등(2019)은 가습기살균제와 폐질환의 인과관계 규명을 위하여 종합판정등급의 비율을 기반으로 노출을 등급화하여 과대 및 과소 추정 그룹을 도출하고, 이를 통해 환경노출평가의 오분류 원인을 분석하였다.<sup>9)</sup>

가습기살균제 노출 피해자들의 피해구제 등을 위하여 노출평가의 정확성을 향상시키기 위한 다각적인 측면에서의 접근이 필요하다. 이에 본 연구에서는 독성학적 관점에서 가습기살균제 성분인 PHMG의 흡입독성참고치(Reference Concentration, RfC) 값을 산출하여, 그 값을 기준으로 노출농도를 등급화하고 종합판정등급과 비교하여 과대 및 과소 추정 그룹을 도출하고자 하였다. 또한, 도출된 집단에 대한 특성을 파악하여 설문지를 이용한 과거 노출평가의 한계점을 극복할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 가습기살균제 환경노출 설문조사

가습기살균제와 폐질환의 인과관계 규명을 위한 설문지를 이용하여 환경노출 조사가 실시되었으며, 설문지에는 신청자의 신상정보와 사용한 가습기살균제 제품, 성분, 사용특성 및 건강 영향과 같은 노출특성에 대한 항목조사와 사용공간에 대한 면적, 도면, 분무 방향 및 가습기와 호흡기 사이의 거리 등의 사용 당시의 진술과 사용한 제품에 대한 객관적인 증거자료를 수집하였다.

조사에 참여한 피해신청자는 2018년 5월 기준으로 5,253명(1차 361명, 2차 169명, 3차 669명, 4차 4,054명)이었다. 본 연구에서는 전체 피해신청자 중 PHMG가 함유된 제품을 사용하였고, 노출 수준을 계산할 수 있는 노출농도, 누적 노출 시간과 관련 문항을 모두 응답한 3,445명을 대상으로 하였다. 본

연구는 대구가톨릭대학교의 IRB승인(IRB No. CUIRB-2016-011)을 취득한 후 승인에 따른 표준 절차에 의해 진행되었다.

## 2. 흡입독성참고치(RfC) 산출

PHMG의 무영향관찰용량(No Observed Adverse Effect Level, NOAEL)은 환경부 국립환경과학원에서 화학물질정보시스템을 통해 제공하고 있는 관리정보 요약서(유독물질 번호: 2012-1-643)의 평가내용을 통해 확인하였다.<sup>10)</sup> 불확실성 계수(Uncertainty Factor, UF) 등의 평가계수(Assessment Factor, AF)는 미국 EPA와 유럽연합의 유럽화학물질청(European Chemicals Agency, ECHA)의 자료를 통해 RfC를 산출하였다.<sup>11,12)</sup>

## 3. 노출농도 및 노출등급 분류

가습기살균제에 대한 노출을 평가하기 위해 환경노출 설문지의 사용시간, 사용빈도, 사용된 가습기살균제의 양, 실내 체적 등의 항목을 이용하여 실내농도 및 노출농도를 계산하였다. 사용한 가습기살균제 제품의 PHMG 농도는 질병관리본부의 결과보고서를 인용하였다.<sup>13)</sup> 또한 실내 가습기살균제 사용중 환기율을 고려하기 위해 시간당 공기 교환 횟수(Air Change per Hour, ACH)는 0.5 ACH를 적용하였다.<sup>14,15)</sup>

가습기살균제 피해자들의 노출과 건강영향간의 용량-반응 관계를 분석하기 위해 가습기살균제 성분 및 농도, 사용량, 사용시간, 빈도, 체적을 이용하여 피해 당시 공기 중 노출농도, 누적시간, 노출수준을 산출하였다. 공기 중 가습기 살균제 노출농도는 하루 평균 사용량(mL)/24 hr×제품의 살균제 농도( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )를 사용공간의 체적( $\text{m}^3$ )×환기량( $\text{m}^3/\text{hr}$ )으로 나누어 계산하였으며, 누적 노출 시간은 가습기살균제 사용기간(years)×년간 사용한 일수(days/year)×하루 사용시간(hr/day)으로 계산하였다. 노출농도는 가습기살균제의 공기 중 노출농도와 누적 노출 시간을 곱하여 평균 사용시간으로 나누어 계산하였다(식 (1)).<sup>11)</sup>

$$EC = \frac{CA \times ET \times EF \times ED}{AT} \quad (1)$$

여기서,

EC=exposure concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

CA=concentration in air ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),

={product concentration of disinfectant ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )× average daily use (mL)/24 hr}÷{volume of use space ( $\text{m}^3$ )×ventilation rate ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )}

ET=exposure time (hr/day)

EF=exposure frequency (days/year)

ED=exposure duration (years)

AT=averaging time (period over which exposure is averaged-days)

노출농도를 산출한 후 RfC를 기준으로 노출수준 분류 등급을 적용하여 class 1 (노출기준의 10% 미만), class 2 (노출기준의 10% 이상 50% 미만), class 3 (노출기준의 50% 이상 100% 미만), class 4 (노출기준 100% 초과)로 구분하였다.<sup>16)</sup> 이 등급을 이용하여 종합판정등급과 비교 평가하였다. 노출등급과 종합판정등급 교차표에서 등급간 차이가 0 또는 1일 때를 참값으로 가정하였으며, 등급간 차이가  $\geq 2$ 와  $-2 \leq$ 일 경우 고노출로 평가되었지만 종합판정등급이 낮은 피해자, 저노출로 평가되었지만 종합판정등급이 높은 피해자로 판별하여 그 원인을 분석하였다.

## 4. 통계분석

설문을 통해 구축된 인구학적 특성 및 노출특성의 빈도분석과 기술통계 결과를 제시하였다. 종합판정등급과 노출농도와의 연관성을 알아보기 위해 카이제곱(chi-square) 검정을 실시하고, 유의수준이 0.05 미만일 경우( $p < 0.05$ ) 유의하다고 판단하였다. 모든 통계적 검정은 SPSS ver. 19(IBM Company, USA)를 사용하였다.

## III. 연구 결과

### 1. 흡입독성참고치(RfC) 산출

PHMG의 NOAEL 값은 환경부 NIER의 유독물질 성상과 독성 및 관리정보 요약서<sup>9)</sup>의 Rats를 이용한 28일 흡입독성 시험결과인  $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$  이하 자료를 이용하였다. PHMG의 비발암성물질 RfC 값 산출의 결과는 Table 1과 같다. 미국의 EPA, 유럽연합의 ECHA에서 제공하는 양-반응 평가의 정량적 보정과 평가계수의 보정 절차를 적용하여 산출된 PHMG의 흡입 RfC값은 각각 0.143,  $0.172 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 따라

**Table 1.** Inhalation reference concentration value for PHMG on the basis of toxicity and assessment factors

Process	Correction factors		Calculation of RfC	
	US EPA	EU ECHA		
POD (Point of departure)	NOAEL (inhalation)	NOAEL, LOAEL	NOAEL, LOAEL	NOAEL=150 µg/m <sup>3</sup> (Rat, inhalation, 6 hr, 5 day, 4 week)
Step 1: Quantitative correction	Adjustment	(hr)/24×(day)/7	(hr)/24×(day)/7	0.179 (6/12×5/7)
	Equivalent	Eth=0.14 TB=1.4 PU=1.6 Whole body=1 Particle=1	Eth=0.14 TB=1.4 PU=1.6 Whole body=1 Particle=1	1.6
	Total correction	Adj. × Equ.	Adj. × Equ.	0.286
Step 2: Uncertainty correction	UF1 (Interspecies)	3	2.5	US EPA: 3 EU ECHA: 2.5
	UF2 (Interspecies)	10	10	10
	UF3 (Duration)	≥4 week: 10 ≥13 week: 3 ≥6 week: 1	≥4 week: 10 ≥13 week: 3 ≥6 week: 1	10
	UF4 (Severity)	NOAEL: 1 LOAEL: 10	NOAEL: 1 LOAEL: 5	1
	Modifying factor	1	1	1
	Total uncertainty	UFs×MF	UFs×MF	US EPA: 300 EU ECHA: 250
Total uncertainty/total correction			US EPA: 1,048.95 EU ECHA: 874.13	
Reference concentration (RfC, µg/m <sup>3</sup> )			US EPA: 0.143 EU ECHA: 0.172	

\*NOAEL: No observed adverse effect level, LOAEL: Lowest observed adverse effect level, UF: Uncertainty factor, Adjustment: Dosimetric adjustment factors for gases having high activity and high water solubility, Equivalent: Adverse effects exhibits in the extrathoracic region (Eth), tracheobronchial region (TB), pulmonary region (PU)

서 RfC는 위해 관점에서 평가계수를 적용하여 산출된 0.143 µg/m<sup>3</sup>의 근사치인 0.15 µg/m<sup>3</sup>로 결정하였다.

## 2. 노출농도에 따른 노출등급 분류

PHMG에 대한 NOAEL 값의 시작점(Point of Departure, POD)은 Rats를 이용한 28일 흡입독성 시험결과와 150 µg/m<sup>3</sup>을 노출기준으로 등급화하였다 (Table 2). 그 결과 노출기준을 초과하는 피해자(class 4)는 47명으로 1.4%로 가장 적었으며, 노출농도 값이 노출기준의 10% 미만인 피해자(class 1)은 1,972명으로 57.2%로 가장 많았다.

## 3. 노출등급화에 따른 종합판정등급 연관성

노출수준과 종합판정등급의 비교에서 노출 수준이 고노출로 평가되었지만 임상증상은 낮은 집단과 노출 수준이 저노출로 평가되었지만 임상증상은 높은 집단에 대해 인구학적 특성 및 가슴기살균제 노출특성을 분석하여 Table 4에 나타내었다. 종합판정등급과 노출등급은 유의한 연관성을 나타내지 않았다.

고노출로 평가되었지만 증상은 낮은 집단 (overestimated group) 161명에 대한 결과에서 여성이 84명으로 남성보다 7명 많았다. 피해 발생 당시의 나이는 10세 미만이 35.4%로 가장 높은 비율을

**Table 2.** Classification and distribution of exposure rating according to exposure concentration

Exposure rating	N	Exposure concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
		Mean	SD	GM
Class 1 <15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,972	6.95	4.15	5.05
15 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq$ Class 2 <75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,288	30.75	14.66	27.84
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \leq$ Class 3 <150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	138	101.34	21.01	99.33
Class 4 >150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	47	259.31	137.65	234.35

차지하였고, 10대가 1.9%로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 현재 흡연자는 6명, 과거 흡연자는 29명, 비흡연자는 125명으로 나타났다. 생존여부는 생존자가 119명, 사망자가 42명이며, 직업을 가지고 있는 피해신청자는 56명, 직업이 없는 피해신청자는 99명이었다. 분무량 세기는 최저 3명, 약 2명, 중 62명, 강 88명으로 나타났고, 가슴기와 호흡기의 거리는 0.5 m 미만에서 63명, 0.5 m 이상 1 m 미만에서 53명, 1 m 이상 2 m 미만에서 39명, 2 m 이상이 3명으로 나타났다. 가슴기 방향은 호흡기방향이 116명, 다른 방향에서 43명으로 나타났다.

저노출로 평가되었지만 증상은 높은 집단 (underestimated group) 294명에 대한 결과를 보았을 때, 이 집단은 여성이 163명으로 남성보다 32명 많았다. 피해 발생 당시의 나이는 10세 미만이 54.4%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 30대가 25.5%로 두번째로 높은 비율을 차지하였으며, 70대 이상이 0.7%로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 현재 흡연자는 0명, 과거 흡연자는 15명, 비흡연자는 275명으로 나타났다. 생존여부는 생존자가 172명 사망자가 122명이며, 직업을 가지고 있는 피해신청자는 67명, 직업이 없는 피해신청자는 145명이었다. 분무량 세기는 최저 17명, 약 32명, 중 158명, 강 79명으로 나타났고, 가슴기와 호흡기의 거리는 0.5 m 미만에서

41명, 0.5 m 이상 1 m 미만에서 99명, 1 m 이상 2 m 미만에서 106명, 2 m 이상이 47명으로 나타났다.

노출수준에서 다소 불확실하다고 판단되는 등급을 제외한 집단(true-assumed group) 2,990명에 대한 결과를 보았을 때, 이 집단은 남성이 1,547명으로 여성보다 106명 많았다. 피해 발생 당시의 나이는 10세 미만이 28.7%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 30대가 18.6%로 높은 비율을 차지하였으며, 10대가 2.6%로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 현재 흡연자는 120명, 과거 흡연자는 571명, 비흡연자는 2,284명으로 나타났다. 생존여부는 생존자가 2,483명, 사망자가 507명이며, 직업을 가지고 있는 피해신청자는 1,260명, 직업이 없는 피해신청자는 1,575명이었다. 분무량 세기는 최저 35명, 약 215명, 중 1,585명, 강 1,095명으로 나타났고, 가슴기와 호흡기의 거리는 0.5 m 미만에서 829명, 0.5 m 이상 1 m 미만에서 1,168명, 1 m 이상 2 m 미만에서 762명, 2 m 이상이 224명으로 나타났다. 가슴기 방향은 호흡기방향이 2,035명, 다른 방향에서 905명으로 나타났다.

#### IV. 고 찰

본 연구에서는 PHMG에 대한 흡입 RfC 값을 산

**Table 3.** Cross tabulation between exposure and clinical classes

Exposure Rating	Clinical Rating				Total	p-value
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4		
Class 1	1,646	125	94	107	1,972	0.26
Class 2	1,067	69	59	93	1,288	
Class 3	117	11	2	8	138	
Class 4	40	4	2	1	47	
Total	2,870	209	157	209	3,445	

\*  $\equiv$  Overestimated group,  $\text{—}$  Underestimated group

**Table 4.** Comparison of demographic characteristics and usage of humidifier disinfectants in underestimated and overestimated groups

Variables		Overestimated group		Underestimated group		Others (true-assumed group)	
		N	%	N	%	N	%
Sex	Male	77	47.8	131	44.6	1,547	51.7
	Female	84	52.2	163	55.4	1,441	48.2
	Unknown	0	0	0	0	2	0.1
Age at damage	<10	57	35.4	160	54.4	859	28.7
	10s	3	1.9	4	1.4	79	2.6
	20s	18	11.2	12	4.1	210	7.0
	30s	22	13.7	75	25.5	555	18.6
	40s	12	7.5	11	3.7	306	10.2
	50s	19	11.8	10	3.4	325	10.9
	60s	13	8.1	10	3.4	292	9.8
	≥70	8	5.0	2	0.7	174	5.8
Smoking status	Current smoker	6	3.7	0	0	120	4.0
	Former smoker	29	18.0	15	5.1	571	19.1
	Never smoker	125	77.6	275	93.5	2,284	76.4
	Unknown	1	0.6	4	1.4	15	0.5
Survival status	Survival	119	73.9	172	58.5	2,483	83.0
	Death	42	26.1	122	41.5	507	17.0
Job status	Employed	56	34.8	67	22.8	1,260	42.1
	Unemployed	99	61.5	145	49.3	1,575	52.7
	Unknown	6	3.7	82	27.9	155	5.2
Sprayed amount	Least	3	1.9	17	5.8	35	1.2
	Slightly	2	1.2	32	10.9	215	7.2
	Moderate	62	38.5	158	53.7	1,585	53.0
	Strong	88	54.7	79	26.9	1,095	36.6
	Unknown	6	3.7	8	2.7	60	2.0
Distance between humidifier and respiratory system	<0.5 m	63	39.1	41	13.9	829	27.7
	0.5 m~1 m	53	32.9	99	33.7	1,168	39.1
	1 m~2 m	39	24.2	106	36.1	762	25.5
	>2 m	3	1.9	47	16.0	224	7.5
	Unknown	3	1.9	1	0.3	7	0.2
Spraying direction	To breathing zone	116	72.0	141	48.0	2,035	68.1
	To others	43	26.7	136	46.3	905	30.3
	Unknown	2	1.2	17	5.8	50	1.7

출하여 노출기준을 제안하고 가습기살균제 피해신청자의 노출등급에 대한 오분류의 원인을 분석하였다. 가습기살균제에 대한 노출과 질환은 원인적 연관성

을 나타내고 있기 때문에 현재 대부분의 피해 진단이 질환의 임상판정에 근거하고 있다. 가습기살균제 피해자들의 진상규명을 도출하기 위해 설문지를 통

한 노출평가 자료의 중요성이 증대되었지만 설문지를 이용한 노출결과와 건강영향의 연관성을 직접적으로 확인할 수 없는 경우가 있으며, 이것은 설문지를 이용한 과거 노출을 평가하는 것이 기억오류(recall bias)의 한계점을 갖고 있기 때문이다.

최근 국내외적으로 화학물질에 대한 노출기준을 제정하기 위해 NOAEL, LOAEL 등의 독성학적 건강유해성 평가 결과를 이용한 용량-반응 평가와 RfC 값을 산출하여 그 결과를 권고 노출기준으로 제시하려는 연구가 많이 진행되고 있다.<sup>17-19)</sup> 따라서 본 연구는 PHMG에 대한 노출기준(RfC)을 산출하여 가슴기살균제 피해자의 노출등급을 분류하고 사용특성과 비교하였다. PHMG의 반복 흡입노출로 인한 표적 장기는 폐, 후두, 비강 및 기관으로 보고되고 있으며, NOAEL는 Rats 암수 각각 0.15 mg/m<sup>3</sup> 이하로 확인되었다.<sup>10)</sup> 흡입독성참고치 산출방법은 상대적으로 높은 평가계수를 적용한 미국 EPA의 지침을 이용하였다. 설문문항을 통해 산출된 노출농도 값의 99.4%가 산출된 RfC (150 µg/m<sup>3</sup>)을 초과하여, 피해 신청자 대부분이 PHMG 노출에 따른 건강영향 가능성을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 노출등급 분류를 위해서 PHMG에 대한 NOAEL 값을 POD로 적용하였다.

인구학적 특성을 살펴보면 공통적으로 피해 발생 나이 분포가 10세 미만 연령대와 30대 연령대가 많은 것으로 나타났다. 이것은 2006년에서 2011년에 상당수의 임신부와 아이들에게서 원인불명의 폐 손상, 사망 등이 집단적으로 발생하면서 역학조사가 실시되어 중증폐렴 임신부 환자의 입원이 증가하고 있다는 조사요청이 이루어지면서 가슴기살균제 참사로 알려지게 된 임신부와 아이들이 해당하는 연령대와 유사한 것으로 확인되었다.<sup>20)</sup> 또한, 가슴기살균제 조사대상자 중 임신부 노출 피해자가 339명, 태아노출 피해자가 439명으로 확인되었다. 민감군의 경우 일반인들보다 노출에 민감하기 때문에 더 적은 양의 유해물질에 노출되어도 상대적으로 더 심각한 위해 영향을 나타낼 수 있으므로 노출에 따른 질병 발생률이 연령에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 감수성을 증가시키는 잠재적 원인으로는 나이, 성별, 기존 질병, 유전적 질병소인, 부적절한 영양, 스트레스 등을 들 수 있다.<sup>21)</sup>

현재 및 과거 흡연자의 비율이 과대평가된 집단

(overestimated group)에서는 21.7%, 과소평가된 집단(underestimated group)에서는 5.1%로 과대평가된 집단에서의 현재 및 과거 흡연자의 비율이 높았다. 과대평가된 집단에서 흡연자들의 평균 연령은 30.38세 이었으며, 85.72%가 남성으로 나타났다. 일반적으로 질병의 발생률은 여성이 남성에 비해 더 높게 나타날 수 있으며,<sup>22,23)</sup> 건강하지 못한 사람의 경우 흡연으로 인한 건강상의 위험 요소를 더 민감하게 인지하므로 흡연자의 비율이 높은 과대평가 집단에서 건강한 인구가 많다고 판단할 수 있다. 과대평가된 집단의 경우 고노출로 평가되었지만 사망자의 비율이 26.1%로 과소평가된 집단에 비해 15.4% 낮았다.

노출의 특성을 살펴보면 과소평가된 집단의 경우 높은 종합판정등급을 판정받았음에도 불구하고 분무량의 세기 중(53.7%), 호흡기와 가슴기 사이의 거리 1~2 m (36.1%), 호흡기방향으로 분무(48.0%)로 과대평가된 집단에 비해 노출이 적은 것으로 나타났다. 이것은 현재 수행되고 있는 가슴기살균제 노출평가 방법은 가슴기살균제 선행연구 사례를 통해 폐 손상 발생 위험을 나타내는 가슴기살균제 노출 변수에서 기준을 설정하고 환경노출 조사표의 가슴기살균제 사용 특성과 관련한 조사내용 중 살균제 과다 사용 특성을 나타내는 항목의 노출수준을 “예”와 “아니오”로 평가하였기 때문에 과소, 과대평가에 영향을 준 것으로 판단할 수 있다.<sup>19,23)</sup> 노출평가 및 노출등급은 기본적으로 노출농도에 근거해야 하지만, 현재까지 노출농도 이외에 기타 항목을 추가하여 노출등급을 분류함으로써 노출등급의 오분류(misclassification)가 존재함을 나타낸다고 할 수 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 환경노출 설문조사 대상자들의 과거노출에 대한 한계가 존재할 수 있는 집단을 도출하기 위한 방법으로 노출등급화를 통해 고노출로 평가되었으나 종합판정등급이 낮은 집단, 저노출로 평가되었으나 종합판정등급이 높은 집단을 도출하여 과거 기억오류의 원인을 분석하여 제시하였다. 가슴기살균제의 노출은 기본적으로 노출농도를 산출하여 건강영향과 연관성을 분석할 수 있지만, 과거 노출의 한계점을 분석하여야 한다. 본 연구에서 제시한 노출등급 분류 방법론은 PHMG의 독성값을 근거로

하였으며, 성별, 연령별, 사용특성 등의 요인이 가습기살균제의 노출을 과소 또는 과대평가한 것으로 판단되었다. 따라서 원인적 연관성이 확인된 가습기살균제의 경우, 노출등급의 불확실성을 줄이기 위하여 과소 또는 과대평가된 부분을 고려하고 분석할 필요가 있음을 나타낸다.

## 감사의 글

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

## References

- Mohan AK, Feigley CE, Macera CA. Humidifier use in the home environment and its effects on respiratory health. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 1998; 13: 782-787.
- Park S, Jeong I, Chang C, Lee Y. Colony counts by different disinfecting processes and operating time for humidifiers in an intensive care unit. *Journal of Korean Biological Nursing Science*. 2009; 11(1): 92-98.
- Daftary AS, Deterding RR. Inhalational lung injury associated with humidifier "white dust.". *Official Journal of the American Academy of Pediatrics*. 2011; 127: 509-512.
- Park DU, Lee S, Lim HK, Bae SY, Ryu SH, Ahn JJ. Review on safety and health information on humidifier disinfectant. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2017; 43(5): 349-359.
- U.S. EPA. Indoor air facts No. 8 use and care of home humidifiers. Office of Air and Radiation, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (402-F-91-101). 1991.
- Ryu SH, Park DU, Lee E, Park S, Lee SY, Jung S, et al. Humidifier disinfectant and use characteristics associated with lung injury in Korea. *Indoor Air*. 2019; 29: 735-747.
- Choi YH, Ryu H, Yoon J, Lee S, Kwak JH, Han BY, et al. Demographic characteristics and exposure assessment for applicants who have been injured by humidifier disinfectant-focusing on 4-1 and 4-2 applicants. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2018; 44: 301-314.
- KEITI. Statistical data. Available at <https://www.healthrelief.or.kr/home/content/stats01/view.do> [accessed 12 may 2020].
- Ryu HS. Analysis of affecting factors of lung disease in the damaged applicants by usage of humidifier disinfectants, 2017-2019 [dissertation]. [Gyeongsan]: Daegu Catholic University; 2019.
- NIER. A safety study for management of the existing chemicals (I). National Institute of Environmental Research, Seoul, Korea. 2013.
- U.S. EPA. Risk assessment guidance for superfund volume I: Human health evaluation manual part F, Supplemental guidance for inhalation risk assessment. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, U.S. Environmental Protection Agency (540-R-070-002). 2009.
- ECHA. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. European Chemicals Agency. 2012.
- KCDC. Analytical results of the chemical components of various humidifier disinfectant brands from KCDC's parliamentary inspection. Department of epidemiology research, Korea Center for Disease Control and Prevention. Korea. 2011.
- U.S. EPA, Risk assessment of 3D Printers and 3D printed products. U.S. Environmental Protection Agency. 2017.
- Park JH, Ryu HS, Heo J, Cho MS, Yang WH. Estimation of ventilation rates in Korean homes using time-activity patterns and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2019; 45(1): 1-8.
- AIHA. A strategy for assessing and managing occupational exposures third edition. American Industrial Hygiene Association. 2006.
- Lim CH, Yang JS, Park SY. A harmonized method for dose-response risk assessment based on the hazard & risk evaluation of chemicals (HREC) according to the industrial safety and health act (ISHA). *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*. 2012; 22(3): 175-183.
- Lee KS, Lee HJ, Jo JH. The recommendation for the management levels in occupational safety and health act (OSHA) and additional enactment of occupational exposure limits (OELs) chemicals. Research Report of Occupational Safety and Health Research Institute (2015-OSHRI-1103). 2015. p. 1-6.
- Lee KS, Jo JH, Choi BK, Byeon SH, Lee HL. Recommendation of occupational exposure limit (ROEL) and legal control following acute hepatotoxicity incident due to HCFC-123. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental*



- Hygiene*. 2018; 8(1): 175-183.
20. Park D. A strategy for exposure assessment of humidifier disinfectant associated to health effects. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2018; 44(2): 107-114.
21. Jang DD, Yoon HS, Ryu HY, Kim HG, Min CS, Lee YJ, et al. Guidance for human exposure assessment. *National Institute of Toxicological Research*. 2007. p. 15-23.
22. Gorman BK, Read JG. Gender disparities in adult health: An examination of three measures of morbidity. *Journal of Health Socical Behavior*. 2006; 47: 95-110.
23. Read JG, Gorman BK. Gender and health inequality. *Annual Review of Sociology*. 2010; 36: 371-386.
24. Choi YH, Ryu HS, Yoon JG, Lee SL, Kwak JH, Han BY, et al. Demographic characteristics and exposure assessment for applicants who have been injured by humidifier disinfectant –focusing on 4-1 and 4-2 applicants. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2018; 44(4): 301-314.

<저자정보>

김은채(연구원), 류현수(연구원), 박진현(연구원), 최영태(연구원), 허정(연구원), 이슬아(연구원), 조은경(연구원), 최윤형(교수), 조만수(교수), 양원호(교수)