



Original Article

CMIT/MIT 가습기살균제 사용에 따른 피해구제 신청자의 노출등급 및 노출특성 분석

민기홍¹ , 신정현² , 조은경² , 이슬아² , 신지훈¹ , 김동준¹ , 우재민¹ , 최윤희³ , 양원호^{1*}

¹대구가톨릭대학교 보건안전학과, ²한국환경보건학회, ³고려대학교 보건환경융합과학부

Analysis of Exposure Characteristics and Exposure Rating of Participants with Injuries from CMIT/MIT Humidifier Disinfectants

Gihong Min¹, Junghyun Shin², Eun-Kyung Jo², Seula Lee², Jihun Shin¹, Dongjun Kim¹, Jaemin Woo¹, Yoon-Hyeong Choi³, and Wonho Yang^{1*}

¹Department of Health and Safety, Daegu Catholic University, ²Korea Society of Environment Health, ³School of Health and Environmental Science, Korea University

ABSTRACT

Background: The Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC) has identified cases of people suspected of suffering lung disease potentially caused by chloromethylisothiazolinone/methylisothiazolinone (CMIT/MIT) used in humidifier disinfectants (HDs). The Korean Ministry of Environment (MoE) epidemiological investigation and toxicity test study found that HDs caused health damage such as asthma and lung disease.

Objectives: The main purposes of this study were to classify the HD exposure rating and to analyze the exposure characteristics that affect exposure to CMIT/MIT HDs.

Methods: The exposure characteristics and socio-demographic characteristics of victim participants using CMIT/MIT HDs were investigated through questionnaires. An inhalation no observed adverse effect level (NOAEL) for CMIT/MIT was produced based on inhalation toxicity values. Exposure ratings (class 1~class 2) were cross-tabulated with clinical ratings (acceptable~unacceptable). A correlation analysis was conducted with the main exposure characteristics that affect the exposure concentration of CMIT/MIT HDs.

Results: The concentration in indoor air of CMIT/MIT was $8.75 \pm 25.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and the exposure concentration was $2.30 \pm 6.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The CMIT/MIT exposure rating of 67 participants with high exposures of not more than MOE 100 were evaluated as 14.5%, while the damage participants who matched the clinical rating made up 4.5%. The exposure concentration of CMIT/MIT showed a positive correlation with the daily usage amount and usage frequency, and a negative correlation with volume of the indoor environment.

Conclusions: A new exposure rating could be suggested and calculated based on the MOE, and the factors affecting the exposure concentration could be identified.

Key words: Humidifier disinfectant, margin of exposure, chloromethylisothiazolinone/methylisothiazolinone, exposure rating

Received June 13, 2023

Revised June 23, 2023

Accepted June 27, 2023

Highlights:

- Accurate evaluation is needed to identify the relevance of the health effects on humidifier disinfectant participants from CMIT/MIT HDs.
- In order to reduce the uncertainty between the exposure rating and the clinical rating, it is necessary to analyze the underestimated or overestimated group.
- New classification criteria such as unsupervised clustering and exposure pattern analysis should be established.

*Corresponding author:

Department of Health and Safety, Daegu Catholic University, 13-13 Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan 38430, Republic of Korea

Tel: +82-53-850-3739

Fax: +82-53-850-3736

E-mail: whyang@cu.ac.kr

1. 서론

우리나라에서 가습기는 건조한 실내공간에 수증기를 공급하

여 적절한 실내 습도를 유지하고, 호흡기 질환 예방의 목적으로 가습기를 사용하고 있다.^{1,2)} 그러나 가습기 청소 및 물을 자주 교체해주지 않으면 충전 수(水)에서 미생물이 증식하여 실내공



기로 방출될 수 있다.^{3,4)} 미생물 번식과 물 때 발생을 예방하기 위해서 다양한 생활화학제품 회사는 인체에 해가 없고 안전한 성분 사용을 강조하여 가습기 내부의 물에 첨가하는 가습기살균제(humidifier disinfectant) 사용을 권장하였다.^{5,6)}

2011년 독성이 밝혀지기 전까지 1994년부터 약 25종 이상의 가습기살균제 제품이 판매되었다.⁷⁾ 하지만 질병관리본부에서 가습기살균제 화학성분 분석 결과 이들 제품에서 위험성이 발견되었고, 2012년 2월 가습기살균제와 폐손상의 인과관계가 공식적으로 확인되었다.⁸⁾ 가습기살균제 제품 중 2020년 5월 기준 가습기살균제 관련 간질성 폐손상(humidifier disinfectant-associated lung injury, HDLI)의 주요 활성 성분(active substance)은 polyhexamethylene guanidine (PHMG, CAS No. 89697-78-9) Oligo(2-) ethoxyethoxyethyl guanidine chloride (PGH, CAS No. 374572-91-5), chloromethylisothiazolinone (CMIT, CAS No. 26172-55-4)와 methylisothiazolinone (MIT, CAS No. 2682-20-4)의 혼합 성분(CMIT/MIT)이다.⁹⁾ 가습기살균제의 주요 활성 성분들은 정부의 역학조사와 동물실험연구 결과 폐 손상, 천식, 간질성 폐질환 등의 건강피해를 발생시키는 것으로 밝혀졌다.^{10,11)}

가습기살균제 사용으로 인한 대규모의 건강피해가 발생하였고, 건강피해 신청 접수 사례가 2023년 5월 기준으로 7,843건에 이르고 있다.¹²⁾ 이 중 가습기살균제와 폐질환의 인과관계를 규명하기 위해서 환경노출, 조직병리, 영상의학, 임상 등 필요한 분야의 조사 및 판정 결과를 토대로 피해구제위원회의 심의를 거쳐 인정/불인정으로 판정하고 있다.¹³⁾ 가습기살균제 노출 피해 사건은 과거노출(past exposure)이기 때문에 개인시료 및 생물학적 모니터링은 불가능하여 직접적으로 평가하는 방법이 불가능하다.¹⁴⁾ 따라서 과거노출을 평가하기 위해 환경노출조사에 사용된 설문지의 조사항목과 노출 알고리즘을 이용한 모델링(modeling)을 이용하여 노출을 평가하는 것이 적합하다.¹⁵⁾

피해구제 신청자들이 가장 많이 사용한 가습기살균제 성분인 PHMG의 건강영향 연구는 많이 진행되어 있는 반면, 두 번째로 많이 사용한 성분인 CMIT/MIT의 건강영향 연구는 거의 되어 있지 않다. 따라서, CMIT/MIT를 사용한 피해구제 신청자들의 노출을 보다 심도있게 관찰할 필요가 있다. 이에 본 연

구는 노출한계(margin of exposure, MOE)를 기준으로 CMIT/MIT를 사용한 피해구제 신청자를 대상으로 노출 등급화를 시도하고, 설문지 결과를 이용하여 노출 농도에 영향을 주는 주요 노출 특성을 분석하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 가습기살균제 환경노출조사

이 연구의 대상자는 2023년 5월 기준으로 철회자를 제외하고 7,618명(1차 359명, 2차 169명, 3차 667명, 4차 5,462명, 5차 961명)이었다.¹²⁾ 그 중 CMIT/MIT를 단독으로 사용하였거나 다른 물질과 복수로 사용하였고, 노출 특성과 관련된 문항에 응답하여 노출농도를 산출할 수 있는 463명을 대상으로 진행하였다. 가습기살균제 환경노출조사 설문지에서 피해구제 신청자의 연령, 성별, 흡연력 등의 사회인구학적 특성과 가습기살균제 제품과 성분, 사용량, 체적, 사용시간과 같은 노출 특성으로 구성된 결과를 수집하여 활용하였다. 본 연구는 대구가톨릭대학교의 연구윤리심의위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인(No. CUIRB-2022-0046)을 취득한 후 승인에 따른 표준 절차에 따라 진행하였다.

2. 가습기살균제 활성물질에 대한 독성 정보

CMIT/MIT의 화학물질 정보는 국립환경과학원에서 제공하는 화학물질정보시스템을 이용하여 유독물질 성상과 독성 및 관리 정보 요약서(유독물질 번호: 2012-1-644)를 참고하였다.¹⁶⁾ 유럽화학물질관리청(European Chemical Agency, ECHA), 미국 환경보호청(Environment Protection Agency, EPA), 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health agency, KOSHA)의 자료를 참고하였고, 가습기살균제 사용으로 CMIT/MIT에 노출될 수 있는 노출 경로(exposure pathway)를 고려하여 흡입 노출 시 독성 값과 건강영향을 조사하였다.¹⁷⁻¹⁹⁾

3. 노출 농도 및 노출등급과 HDLI 임상등급 분류

Table 1은 463명의 피해구제 신청자가 사용한 CMIT/MIT의

Table 1. Disinfectant concentration of CMIT/MIT in the products abstracted from the report by the Special Committee for Examining the Cause of Tragedy caused by Humidifier Disinfectant (SCECTHD)²⁰⁾

Biocidal product categories	Active substance	Brand name	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)
Disinfectants	CMIT/MIT	GS hambakwusson gaseupgi sejongje	52.9
		Daiso sandokkaebi gaseupgi punisher	53.4
		SK yugong gaseupgi mate	82.8
		E-mart eplus gaseupgi salgyunje	84.9
		Aekyung homecleanic gaseupgi mate	150.0

제품별 농도는 GS 함박웃음 가습기세정제(52.9 µg/mL), 다이소 산도깨비 가습기 퍼니셔(53.4 µg/mL), 유공 가습기 메이트(82.8 µg/mL), 이마트 가습기살균제(84.9 µg/mL), 애경 홈크리닉 가습기메이트(150 µg/mL)이었다.²⁰⁾ CMIT/MIT의 공기 중 살균제 농도는 설문지의 노출 특성인 사용량, 살균제를 사용한 공간의 체적으로 산출하였다. 발생량(µg/hr)은 1회 살균제 사용량(mL)에 일일 사용시간(hr)을 나눈 후 제품 내 살균제 활성 성분의 농도(µg/mL)를 곱하여 계산하였다. 실내에서 가습기 사용 시 시간당 공기 교환 횟수는 Park 등(2019)²¹⁾의 연구를 참고하여 0.71 시간당 공기 교환 횟수(air change per hour, ACH)를 적용하였고, 주택의 실내공기질에서 정상상태(steady-state)를 가정하여 완전혼합(completely mixed condition)된 공간으로 가정하여 물질수지(mass-balance) 모델을 적용하였다. 감소상수(hr⁻¹)는 에어로졸(aerosol) 입경에 의해 결정되며 가습기를 통해 공기 중으로 방출되는 살균제는 초미세입자(ultrafine particle)에 해당되어 0.33 hr⁻¹을 적용하였다.²²⁾

$$CA = \frac{G}{V(I+K)} \quad (1)$$

여기서, CA=concentration in air (µg/m³), G=generation rate (µg/hr), V=volume of indoor environment (m³), I=air change per hour (hr⁻¹), and K=deposition constant (hr⁻¹)

CMIT/MIT에 대한 노출 농도는 공기 중 노출 농도(µg/m³)×흡수율×하루 중 노출시간(hr/day)×노출빈도(day/year)×노출기간(year)에 평균노출시간(hr)을 나누어 산출하였고, 흡수율은 신뢰성 있는 자료가 없어 100% 흡수된다고 가정하였다.²³⁾

$$EC = \frac{CA \times ABS \times ET \times EF \times ED}{AT} \quad (2)$$

여기서, EC=exposure concentration (µg/m³), CA= concentration

in air (µg/m³), ABS=absorption rate (fraction), ET=exposure time (hr/day), EF=exposure frequency (day/year), ED=exposure duration (year), and AT=averaging time (hr)

$$MOE = \frac{POD}{EC} \quad (3)$$

여기서, MOE=margin of exposure, POD=point of departure (µg/m³), EC=exposure concentration (µg/m³)

노출한계(margin of exposure, MOE)는 위해도를 설명하는 접근법으로 환경보건법의 위해성 평가 지침에 따라 MOE가 100 이하이면 위해가 있다고 판단하였다. 노출등급 분류는 MOE를 기준으로 등급화하여 100 초과는 저노출(class 1) 100 이하는 고노출(class 2)로 노출등급을 2단계로 분류하였다.¹⁴⁾ CMIT/MIT의 독성 값은 ECHA와 EPA 자료를 참고하여 Rats를 이용한 90일 흡입독성 시험결과 무영향용량(no observed effect level, NOEL)값과 KOSHA 보고서에서 제공하는 무영향 관찰용량(no observed adverse effect level, NOAEL)을 시작점(point of departure, POD)으로 적용하여 340 µg/m³로 선정하였다.¹⁷⁻¹⁹⁾ 노출수준 분류 등급을 적용하여 Class 1 (노출기준의 1% 미만), Class 2 (노출기준의 1% 이상)로 구분하였다. 또한, 피해구제위원회의 심의를 거쳐 인정된 HDLI의 임상등급은 불인정(Class 1), 인정(Class 2)으로 구분하였다.

4. 통계분석

노출 특성 및 등급은 빈도분석과 기술통계 결과로 제시하였고, 노출등급과 HDLI 임상등급의 연관성을 알아보기 위해 카이제곱(chi-square) 검정을 실시하였다. CMIT/MIT를 사용한 피해구제 신청자의 사회인구학적 및 노출 특성과 노출등급과 HDLI 임상등급으로 구분한 집단 간의 차이를 비교하기 위하여 Fisher의 정확검정(Fisher's exact test)을 실시하였고, 유의수

Table 2. Exposure factors for calculating the concentration of the using CMIT/MIT (N=463)

Variable	Mean±SD	Percentile			
		25th	50th	75th	95th
Volume of indoor environment (m ³)	39.54±95.34	23.31	30.23	37.91	67.46
Exposure time (hr)	12.86± 5.94	9.00	11.00	15.00	24.00
Daily usage amount (use/day)	17.79±27.89	10.00	10.00	20.00	30.25
Exposure frequency (day/year)	297.41±74.19	312.00	336.00	336.00	336.00
Exposure duration (year)	1.96±2.39	0.67	1.25	2.42	5.75
Averaging time (hr)	13,482.09±13,721.35	4,368.00	9,744.00	17,808.00	45,964.80
Concntration in indoor air (µg/m ³)	8.75±25.40	2.96	4.79	8.43	23.08
Exposure concentration (µg/m ³)	2.30±6.29	0.66	1.31	2.26	6.32

준이 0.05 미만일 경우($p < 0.05$) 통계적으로 유의하다고 판단하였다. 마지막으로 가습기살균제 노출 농도에 영향을 줄 수 있는 노출 특성과 가습기살균제 사용특성 간의 상관성을 확인하기 위해 Pearson 상관분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였다. 설문조사 결과 및 연구 결과의 통계적 검정은 SPSS ver. 19 (IBM Company, USA)를 사용하였다.

III. 결 과

1. 가습기살균제 노출계수

Table 2는 설문지를 이용하여 CMIT/MIT를 사용한 463명의 노출계수를 사용한 공간의 체적, 노출시간, 일일 사용량, 노출 빈도, 노출기간, 평균시간을 나타내었고, 공기 중 농도와 노출 농도는 노출 알고리즘에 적용하여 산출하였다. 사용한 공간의 체적은 $39.54 \pm 95.34 \text{ m}^3$, 노출시간은 $12.86 \pm 5.94 \text{ hr}$ 로 나타났다. 일일 살균제 사용량은 $17.79 \pm 27.89 \text{ use/day}$ 로 가습기에 1~3번 정도 넣고 사용하였고, 연간 노출 빈도는 $297.41 \pm 74.19 \text{ day/year}$ 이었다. CMIT/MIT에 노출되는 기간은 $1.96 \pm 2.39 \text{ year}$ 로 2년 이상이었고, 평균시간은 $13.482.09 \pm 13.721.35 \text{ hr}$ 로 나타났다. CMIT/MIT의 공기 중 농도는 $8.75 \pm 25.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 노출 농도는 $2.30 \pm 6.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

2. 노출 농도에 따른 노출등급화

CMIT/MIT에 대한 POD 값인 $340 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 노출기준으로 선정하여 등급화를 진행하였다. MOE가 100 초과일 경우 Class 1, MOE가 100 이하일 경우 Class 2로 분류하였다(Table 3). Class 1에 해당되는 피해구제 신청자는 396명으로 85.5%로 나타났고, 노출 농도는 $1.25 \pm 0.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. Class 2에 포함된 피해구제 신청자는 67명으로 14.5%로 노출 농도는 8.53

$\pm 15.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 Class 1보다 약 7배 높았다.

3. 노출등급 분류와 HDLI 임상등급 비교 평가

CMIT/MIT가 함유된 가습기살균제 사용자를 노출기준에 따라 고노출/저노출로 분류한 노출등급과 피해구제위원회의 심의를 거쳐 인정된 인정/불인정으로 판정된 HDLI 임상등급의 2×2 교차표를 제시하였다(Table 4). 저노출에 건강영향이 불인정된 피해구제 신청자는 380명, 고노출에 건강영향이 인정된 피해구제 신청자는 3명이었다. 저노출로 평가되었지만 건강영향이 인정된 피해구제 신청자는 16명, 고노출로 평가되었지만 건강영향이 불인정으로 판단된 피해구제 신청자는 64명으로 나타났다. 다른 교란변수가 통제되지 않은 단순 교차표에 있어 통계적인 유의성은 관찰되지 않았다($p = 0.746$).

CMIT/MIT를 사용한 피해구제 신청자 중 저노출에 건강영향이 인정된 고영향 집단(high impact group)의 피해구제 신청자 16명, 고노출에 건강영향이 불인정된 저영향 집단(low impact group)의 피해구제 신청자는 64명, 저노출에 건강영향이 불인정, 고노출에 건강영향이 인정된 그 외 집단(the other group) 피해구제 신청자는 383명이었다. Table 5와 Table 6은 고영향 집단, 저영향 집단과 그 외 집단을 사회인구학적 및 노출 특성에 대해 Fisher의 정확검정을 실시한 결과 교란변수의 영향과 항목별 미응답으로 인하여 통계적인 유의성은 관찰되지 않았다($p > 0.05$).

4. 노출조사 항목의 상관분석

CMIT/MIT 성분이 함유된 제품을 사용하여 HDLI 임상등급을 받은 463명 중 가습기 사용 특성 및 노출 특성과 관련된 항목에 응답한 438명에 대해 노출 농도와 관련이 있는 항목 간의 Pearson 상관분석을 실시하여 Table 7에 나타내었다. 노출

Table 3. Criteria for classifying exposure concentration of CMIT/MIT

Exposure rating	Exposure level ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MOE	N	Exposure concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
				Mean \pm SD	Percentile			
					25th	50th	75th	95th
Class 1	<3.4	>100	396	1.25 \pm 0.79	0.57	1.16	1.89	2.72
Class 2	\geq 3.4	\leq 100	67	8.53 \pm 15.06	4.39	5.00	7.46	16.78

Table 4. Cross-tabulation of exposure and clinical rating of CMIT/MIT

		Clinical rating		Total	p-value
		Class 1	Class 2		
Exposure rating	Class 1	380	16	396	0.746
	Class 2	64	3	67	
Total		444	19	463	

Table 5. Socio-demographic characteristics of the CMIT/MIT affected victims

Variable	Low impact group	High impact group	Others	Total	p-value
	N (%)				
Sex					1.000
Male	33 (51.6)	7 (43.7)	195 (50.9)	235 (100.0)	
Female	31 (48.4)	9 (56.3)	187 (48.8)	227 (100.0)	
Unknown	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.3)	1 (100.0)	
Affected age					1.000
<10s	18 (28.1)	9 (56.2)	119 (31.2)	146 (100.0)	
10s	3 (4.7)	1 (6.3)	12 (3.1)	16 (100.0)	
20s	8 (12.5)	2 (12.3)	30 (7.8)	40 (100.0)	
30s	7 (10.9)	1 (6.3)	65 (17.0)	73 (100.0)	
40s	6 (9.4)	0 (0.0)	40 (10.4)	46 (100.0)	
50s	6 (9.4)	1 (6.3)	45 (11.7)	52 (100.0)	
60s	10 (15.6)	1 (6.3)	36 (9.4)	47 (100.0)	
≥70s	2 (3.1)	0 (0.0)	18 (4.7)	20 (100.0)	
Unknown	4 (6.3)	1 (6.3)	18 (4.7)	23 (100.0)	
Smoking status					1.000
Never smoking	48 (75.0)	15 (93.8)	291 (76.0)	354 (100.0)	
Before smoking	14 (21.9)	1 (6.2)	78 (20.3)	93 (100.0)	
Current smoking	2 (3.1)	0 (0.0)	13 (3.4)	15 (100.0)	
Unknown	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.3)	1 (100.0)	
Pollution source around the house					1.000
Yes	0 (0.0)	0 (0.0)	14 (3.7)	14 (100.0)	
No	64 (100.0)	16 (100.0)	368 (96.0)	448 (100.0)	
Unknown	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.3)	1 (100.0)	
Maternal exposure					1.000
Yes	3 (4.7)	0 (0.0)	22 (5.7)	25 (100.0)	
No	61 (95.3)	16 (100.0)	361 (94.3)	438 (100.0)	
Fetal exposure					0.415
Yes	7 (10.9)	2 (12.5)	30 (7.8)	39 (100.0)	
No	57 (89.1)	14 (87.5)	353 (92.2)	424 (100.0)	
Academic background					1.000
≤Middle school	33 (51.6)	9 (56.2)	145 (37.9)	187 (100.0)	
High school	11 (17.2)	2 (12.5)	98 (25.6)	111 (100.0)	
≥College	20 (31.2)	2 (12.5)	120 (31.3)	142 (100.0)	
Unknown	0 (0.0)	3 (18.8)	20 (5.2)	23 (100.0)	
Job status					1.000
Unemployed	44 (68.7)	7 (43.8)	220 (57.4)	271 (100.0)	
Employed	17 (26.6)	2 (12.4)	142 (37.1)	161 (100.0)	
Unknown	3 (4.7)	7 (43.8)	21 (5.5)	31 (100.0)	
Total	64 (13.8)	16 (3.5)	383 (82.7)	463 (100.0)	

농도는 일일 사용량과 양의 상관성으로 나타났으며(p<0.01), 사용 빈도 또한 양의 상관성으로 나타났다(p<0.05). 노출 농도와 공간 체적은 음의 상관성으로 나타났다(p<0.05). 공간 체적

은 가습기 종류에 따라 양의 상관성으로 나타났으며(p<0.05), 호흡기와 가습기 사이의 거리에 따라 음의 상관성으로 나타났다(p<0.01). 일일 사용량은 가습기 분무방향과 양의 상관성으

Table 6. Exposure characteristics of the CMIT/MIT affected victims

Variable	Low impact group	High impact group	Others	Total	p-value
	N (%)				
Daily usage amount					1.000
<10 cc	0 (0.0)	0 (0.0)	15 (3.9)	15 (100.0)	
≥10 cc	64 (100.0)	16 (100.0)	368 (96.1)	448 (100.0)	
Daily usage time					1.000
<8 hr	5 (7.8)	0 (0.0)	50 (13.0)	55 (100.0)	
8~16 hr	34 (53.1)	12 (75.0)	258 (67.4)	304 (100.0)	
≥16 hr	25 (39.1)	4 (25.0)	75 (19.6)	104 (100.0)	
Usage frequency					1.000
3 days	0 (0.0)	2 (12.5)	20 (5.2)	22 (100.0)	
3~7 days	11 (17.2)	4 (25.0)	79 (20.6)	94 (100.0)	
≥7 days	53 (82.8)	10 (62.5)	284 (74.2)	347 (100.0)	
Hours of use during sleep					1.000
<4 hr	6 (9.4)	0 (0.0)	26 (6.8)	32 (100.0)	
4~8 hr	11 (17.2)	6 (37.5)	76 (19.8)	93 (100.0)	
≥8 hr	46 (71.9)	10 (62.5)	265 (69.2)	321 (100.0)	
Unknown	1 (1.5)	0 (0.0)	16 (4.2)	17 (100.0)	
Distance between humidifier and respiratory system					1.000
≥2 m	2 (3.1)	2 (12.4)	38 (9.9)	42 (100.0)	
1~2 m	11 (17.2)	11 (31.3)	104 (27.2)	126 (100.0)	
0.5~1 m	27 (42.2)	27 (25.0)	135 (35.2)	189 (100.0)	
<0.5 m	24 (37.5)	24 (31.3)	106 (27.7)	154 (100.0)	
Spraying direction					1.000
Opposite	8 (12.5)	0 (0.0)	29 (7.6)	37 (100.0)	
Body	7 (10.9)	5 (31.3)	93 (24.2)	105 (100.0)	
Breathing zone	48 (75.0)	10 (62.5)	255 (66.6)	313 (100.0)	
Unknown	1 (1.5)	1 (6.2)	6 (1.6)	8 (100.0)	
Type of humidifier					0.408
Combined	21 (32.8)	7 (43.8)	126 (32.9)	154 (100.0)	
Ultrasonic	21 (32.8)	6 (37.4)	139 (36.3)	166 (100.0)	
Others	22 (34.4)	3 (18.8)	118 (30.7)	143 (100.0)	
Brand of humidifier disinfectant					1.000
GS	1 (1.6)	0 (0.0)	5 (1.3)	6 (100.0)	
Asung	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.3)	1 (100.0)	
SK	1 (1.6)	0 (0.0)	27 (7.0)	28 (100.0)	
Emart	5 (7.8)	2 (12.5)	58 (15.1)	65 (100.0)	
Aekyung	57 (89.0)	14 (87.5)	292 (76.3)	363 (100.0)	
Total	64 (13.8)	16 (3.5)	383 (82.7)	463 (100.0)	

로 나타났으며($p<0.05$), 일일 사용시간은 사용 빈도, 취침 중 가습기 사용시간, 가습기 분무방향과 양의 상관성으로 나타났다($p<0.01$). 사용 빈도는 취침 중 가습기 사용시간과 양의 상관성으로 나타났고 ($p<0.01$), 취침 시 가습기 사용시간은 가습

기 분무방향과 양의 상관성으로 나타났다($p<0.01$). 가습기 분무방향은 호흡기와 가습기 사이의 거리에서는 양의 상관성으로 나타났으며($p<0.01$), 가습기 종류와는 음의 상관성으로 나타났다($p<0.05$).

Table 7. The Pearson correlation coefficient between exposure concentration and exposure characteristics

Parameter	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1)	1								
(2)	-0.148**	1							
(3)	0.923**	-0.061	1						
(4)	0.047	0.079	0.020	1					
(5)	0.105*	0.003	0.055	0.231**	1				
(6)	0.015	-0.010	0.033	0.391**	0.177*	1			
(7)	0.111	-0.050	0.101*	0.126**	0.065	0.141**	1		
(8)	0.040	-0.121*	0.037	-0.001	-0.026	0.068	0.321**	1	
(9)	-0.011	0.096*	0.000	-0.058	-0.003	0.024	-0.103*	-0.031	1

*p<0.05, **p<0.01, (1) Exposure concentration, (2) Volume of indoor environment, (3) Daily usage amount, (4) Daily usage time, (5) Usage frequency, (6) Hours of use during sleep, (7) Spraying direction, (8) Distance between humidifier and respiratory system, (9) Type of humidifier.

IV. 고 찰

본 연구는 지금까지 전체 피해구제 신청자 중 CMIT/MIT를 함유한 가습기살균제를 사용하였고, 노출등급과 HDLI 임상등급으로 구분할 수 있는 463명을 환경노출조사표를 기반으로 한 데이터를 사용하여 분석하였다. CMIT/MIT에 노출된 POD 값을 기준으로 MOE를 이용하여 2단계로 노출등급을 구분하였고, CMIT/MIT를 사용한 피해구제 신청자를 대상으로 사회인구학적 노출 특성과 관련된 항목들과 저·고영향 집단, 그 외 집단을 비교하여 영향요인을 분석 및 노출 농도에 영향을 줄 수 있는 설문항목을 선정하여 상관분석을 실시하였다.

CMIT/MIT를 사용한 피해구제 신청자의 노출 농도는 2.30 ± 6.29 µg/m³으로 POD 값인 340 µg/m³을 노출기준으로 선정하여 등급화하였을 때 67명이 MOE 100 이하로 노출에 따른 건강영향 가능성을 나타내었다. HDLI 임상등급(인정, 불인정)과 노출등급(고노출, 저노출)의 검정 결과 저노출로 평가되었지만 건강영향이 인정된 피해구제 신청자는 16명, 고노출로 평가되었지만 건강영향이 불인정으로 판단된 피해구제 신청자는 64명으로 교차표에 대한 검정은 유의하지 않았다(p=0.746). 노출등급과 HDLI 임상등급으로 구분하여 고영향 집단, 저영향 집단, 그 외 집단으로 구분하여 사회인구학적 노출 특성에 대해 Fisher의 정확검정결과 통계적으로 유의하지 않았다(p>0.05). 설문지를 이용한 간접적 노출평가방법에서 건강영향과 관련된 질문에 응답자가 본인의 의도와 관계없이 실제 사실과 다소 차이를 보이거나 객관적인 대답을 하지 않은 것으로 예상할 수 있다.²⁴⁾ 이는 교란변수의 영향으로 인해 관찰하지 못했을 가능성이 있으며, CMIT/MIT 노출자 수가 적어 통계적으로 의미 있는 분석이 되지 않을 가능성이 있다.²⁵⁾ 또한, PHMG 노출의 건강영향 특성과는 달리 CMIT/MIT의 건강영향은 노출이 높고 낮음의 접근이 아닌 다소 다른 접근이 필요할 가능성도 있다.

설문조사 항목 중 노출 특성과 관련된 항목의 상관분석 결과 노출 농도를 계산하는 식에 들어가는 노출계수를 제외하고, 취침 중 가습기 사용시간, 가습기 분무방향, 호흡기와 가습기 사이의 거리에서 양의 상관관계로 나타났고, 가습기 종류와는 음의 상관관계를 보였다. 일일 사용시간은 취침 중 가습기 사용시간, 가습기 분무방향과 양의 상관관계를 보였고, 일일 사용량은 취침 중 가습기 사용시간과 양의 상관관계를 보였다. 이를 통해 취침 중 가습기 사용시간, 가습기 분무방향, 호흡기와 가습기 사이의 거리와 같은 노출 특성은 노출 농도에 영향을 미치는 주요 변수임을 확인할 수 있다.⁵⁾ 또한, Min 등(2022)¹⁴⁾의 선행연구에서 PHMG를 사용한 피해구제 신청자의 폐질환 영향 요인 분석에서도 본 연구에서 결과와 유사하게 노출 특성과 관련된 변수들이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 정기교육과 수시교육 실시 및 조사원 시험을 통하여 숙련된 조사원이 피해구제 신청자와 직접 대면하는 조사방법(face-to-face interview)을 사용하여 진행하였고, 기억을 보조할 수 있는 시각화자료를 추가하여 측정 오류(measurement error)를 최소화하고자 하였다. 가습기 환경 노출 농도 계산법을 이용하여 CMIT/MIT가 함유된 가습기살균제 제품을 MOE를 기반으로 하여 노출등급화 후 HDLI 임상등급과 비교 분석 및 노출 농도에 영향을 주는 요인에 대하여 결과를 도출하였다. 가습기살균제 노출 피해 사건은 과거 노출(past exposure)로 직접적인 평가가 불가능한 제한점이 존재한다. 그러나 오랜시간이 지남에 따라 특정 생체지표(biomarker)가 존재하지 않아 설문지를 이용한 노출평가가 유일한 방안으로 자리잡고 있다. 또한, 민감군을 고려하여 새로운 독성 값 마련이 필요할 것으로 생각된다. 추후 연구에서는 군집화 및 노출 패턴 분석과 같은 노출확인 기준과 신규분류 기준을 마련하고, 노출 수준 분석에 기반한 기준에서 노출기간 정보를 반영한 신규분석 기준을 마련하여 가습기살균제 노출평가를 고도화할 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 환경노출 설문조사를 통해 CMIT/MIT를 사용한 463명의 노출계수를 산출하였고, MOE를 기준으로 새로운 노출등급을 산정하여 임상등급과 비교평가 및 노출 농도에 영향을 주는 노출 특성에 대해서 분석을 진행하였다. 노출 농도에 영향을 주는 노출 특성의 상관분석 결과 일일 사용량, 사용 빈도, 공간 체적은 노출 농도에 영향을 주는 주요 변수로 나타났다. 기존 실험연구들에서 CMIT/MIT 노출의 독성 가능성이 제시되었음에도 이번 연구에서는 관찰되지 않았다. 이는 실제 가능성이 있음에도, 적은 샘플 사이즈의 간단한 통계분석으로는 관찰되지 않았을 가능성을 배제할 수 없다. 또는 현재 분석한 변수의 특성이 CMIT/MIT의 노출을 설명하는 데에는 한계가 있어, 기존의 PHMG의 가습기살균제 노출로 인한 건강 영향 연구들과는 다른 노출 패러다임(paradigm)으로 접근이 필요할 것으로 보인다. 노출 특성 중 동일 공간에 있는 사람들이라도, 공간 내의 위치에 따라 개개인의 노출 정도와 민감도가 다양할 수 있으므로, 개별 노출 특성을 적용한 공간지표인 개인체적을 고려할 수 있는 방안을 함께 검토하여야 한다.

감사의 글

이 논문은 한국환경산업기술원의 ‘가습기살균제 피해구제 신청자 환경노출조사’ 자료를 이용하여 분석하였습니다. 데이터 관리 및 정제에 도움주신 정다영, 류지윤 선생님에게 감사의 말을 전합니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Hwang JH. Humidifier design study that does not require germicide - mainly with a structure and design. *J Digit Des*. 2013; 13(4): 569-578.
- Kim EC. Analysis of affecting factors of lung disease according to exposure and socio-demographic characteristics in the affected victims by usage of humidifier disinfectants [dissertation]. [Gyeongsan]: Daegu Catholic University; 2021.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Indoor air facts No. 8. Use and care of home humidifiers. Washington, D.C.: EPA; 1991.
- Bae NR. The effect of education and providing of environmental parameter on residents' management of indoor environment [dissertation]. [Seoul]: Yonsei University; 2006.
- Ryu H, Jo EK, Choi YH, Lee S, Yoon J, Kwak JH, et al. Analysis of

- affecting factors on exposure assessment errors and characteristics of applicants for damage by usage of humidifier disinfectants. *J Environ Health Sci*. 2019; 45(1): 71-81.
- Lee HL, Byeon SH, Lee KS. Recommendation of occupational exposure limit through occupational hazard assessment of PHMG-phosphate. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2019; 29(1): 13-20.
- Yoon J, Kang M, Jung J, Ju MJ, Jeong SH, Yang W, et al. Humidifier disinfectant consumption and humidifier disinfectant-associated lung injury in South Korea: a nationwide population-based study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(11): 6136.
- Kim P, Choi YH, Park YC, Park TH, Leem JH. It was possible to reduce the pain of the victims of humidifier disinfectant. *J Environ Health Sci*. 2022; 48(1): 1-8.
- Park DU, Kim J, Ryu SH, Park J, Kwon JH, Lee SY, et al. Review of health effects caused by chloromethylisothiazolinone (CMIT) and methylisothiazolinone (MIT) - focusing on humidifier disinfectant-associated lung injury (HDLI) -. *J Environ Health Sci*. 2020; 46(3): 312-323.
- Korean Society of Environmental Health and Toxicology. Establishing disease identification and standards criteria to expand the range of health hazards caused by the humidifier sterilizer. Incheon: National Institute of Environmental Research; 2017 Apr. Report No.: NIER-SP2016-429.
- Ministry of Environment. 2017 White paper of environment. Sejong: Ministry of Environment; 2017.
- Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI). Statistical data. Available: <https://www.healthrelief.or.kr/home/content/stats01/view.do> [accessed 6 June 2023].
- Lee S, Yoon J, Ock J, Jo EK, Ryu H, Yang W, et al. Individual exposure characteristics to humidifier disinfectant according to exposure classification groups - focusing on 4-1 and 4-2 applicants -. *J Environ Health Sci*. 2019; 45(4): 370-380.
- Min G, Shin J, Jo EK, Jeong D, Ryu J, Kim D, et al. Affecting factors of lung disease and classification of exposure rating of applicants for injuries from humidifier disinfectants. *J Environ Health Sci*. 2022; 48(6): 324-330.
- Kim S, Woo KH, Yoon SY, Lim HS, Yu SD, Kim GB, et al. Exposure assessment on sub-populations of the local community following a hydrofluoric acid accident. *J Environ Health Sci*. 2015; 41(1): 1-10.
- National Institute of Environmental Research. Toxic substance characterization and summary of toxicity and control information. Available: <https://ncis.nier.go.kr/mtr/mtrList.do> [accessed 6 June 2023].
- European Chemicals Agency. Reaction mass of 5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one and 2-methyl-2H-isothiazol-3-one. Available: <https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.136.387> [accessed 6 June 2023].
- U.S. Environmental Protection Agency. Reregistration eligibility decision (RED) methylisothiazolinone. EPA738-R-98-012. Available: <https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/3092.pdf> [accessed 20 June 2023].
- Occupational Safety and Health Research Institute. Research on hazard and risk assessment and technical feasibility assessment of chemical substances with additional establishment of exposure cri-

- teria. Incheon: OSHRI; 2017.
20. Special Committee for Examining the Cause of Tragedy caused by Humidifier Disinfectant (SCECTHD). Analysis of components of disinfectant contained in humidifier disinfectant products. Seoul: SCECTHD; 2020.
 21. Park J, Ryu H, Heo J, Cho M, Yang W. Estimation of ventilation rates in Korean homes using time-activity patterns and carbon dioxide (CO₂) concentration. *J Environ Health Sci.* 2019; 45(1): 1-8.
 22. Diapouli E, Chaloulakou A, Koutrakis P. Estimating the concentration of indoor particles of outdoor origin: a review. *J Air Waste Manag Assoc.* 2013; 63(10): 1113-1129.
 23. U.S. Environmental Protection Agency. Risk assessment guidance for superfund volume I: human health evaluation manual. (Part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment). EPA-540-R-070-002. Available: <https://archive.epa.gov/pesticides/rereg-istration/web/pdf/3092.pdf> [accessed 20 June 2023].
 24. Min GH. Exposure and health risk assessment of active substance for disinfection workers and general public according to spraying COVID-19 disinfecting biocides [dissertation]. [Gyeongsan]: Daegu Catholic University; 2023.
 25. Lee S, Kim JH, Choi YH, Kim S, Lee K, Park JB. A review of the literature using the Korean National Environmental Health Survey (cycle 1-3). *J Environ Health Sci.* 2021; 47(3): 227-244.

〈저자정보〉

민기홍(연구원), 신정현(연구원), 조은경(연구원), 이슬아(연구원), 신지훈(연구원), 김동준(연구원), 우재민(연구원), 최윤형(교수), 양원호(교수)