

## CMIT/MIT 함유 가습기 살균제 제품의 제조 및 판매기업 형사판결 1심 재판 판결문에 대한 과학적 고찰 (II) - 동물실험, 폐 손상 판정기준, 개인 인과

박동욱<sup>†\*</sup> · 조경이<sup>†\*\*</sup> · 김지원<sup>\*</sup> · 최상준<sup>\*\*\*</sup> · 이소연<sup>\*\*\*\*</sup>  
· 전형배<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 박태현<sup>\*\*\*\*\*</sup>

\*한국방송통신대학교 보건환경학과, \*\*서울대학교 보건대학원 환경보건학과,  
\*\*\*가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실,  
\*\*\*\*울산대학교 의과대학, 서울아산병원 소아청소년과, 가습기살균제보건센터,  
\*\*\*\*\*강원대학교 법학전문대학원

### A Scientific Critique of a Korean Court's Acquittal for Involuntary Manslaughter Related to 5-chloro-2-methylisothiazol-3(2H)-one/ 2-methylisothiazol-3(2H)-one (CMIT/MIT), a Humidifier Disinfectant (HD) Part II: Animal experiments, criteria for HD lung injury, and causality on individual levels

Dong-Uk Park<sup>†\*</sup>, Kyung Ehi Zoh<sup>†\*\*</sup>, Jiwon Kim<sup>\*</sup>, Sangjun Choi<sup>\*\*\*</sup>,  
So-yeon Lee<sup>\*\*\*\*</sup>, Hyoungbae Jun<sup>\*\*\*\*\*</sup>, and Taehyun Park<sup>\*\*\*\*\*</sup>

*\*Department of Environmental Health, Korea National Open University*

*\*\*Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University*

*\*\*\*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea*

*\*\*\*\*Department of Pediatrics, Humidifier Disinfectant Health Center, Asan Medical Center,  
University of Ulsan College of Medicine*

*\*\*\*\*\*Law School, Kangwon National University*

#### ABSTRACT

**Objectives:** In January 2021, the former heads of the manufacturer SK Chemical and the vendor Aekyung were acquitted for manufacturing and selling humidifier disinfectant (HD) containing 5-chloro-2-methylisothiazol-3(2H)-one/2-methylisothiazol-3(2H)-one (CMIT/MIT). In this article, we analyzed the rationale used in this judgement in the light of scientific consideration.

**Methods:** The sentencing document for the judgements was obtained from the Korea Supreme Court Service. In particular, the judgements made by the court related to the toxicological and individual association with HD perspectives were discussed based on scientific evidence.

**Results:** The ruling stated that the necessary conditions for causality between CMIT/MIT and such diseases were not met based on the fact that asthma and lung damage were not found in the inhalation exposure animal experiments. The judgment overlooked the inevitable limitations of using animal experiments for verifying

<sup>†</sup>These authors equally contributed to this work.

<sup>†</sup>**Corresponding author:** Department of Environmental Health, Korea National Open University, 86 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03087, Republic of Korea, Tel: +82-2-3668-4707, Fax: +82-2-741-4701, E-mail: pdw545@gmail.com  
Received: 7 May 2021, Revised: 18 June 2021, Accepted: 20 June 2021

health effects in humans, which are often inconsistent with the observations in animals. Among 11 government-affirmed lung injury cases with CMIT/MIT usage, three patients' humidifier disinfectant-associated lung injury (HDLI) pathology proved that CMIT/MIT could cause lung injury similar to that caused by PHMG and PGH. In addition, five children showed decreased lung function related to damage caused by humidifier disinfectant exposure.

**Conclusions:** We conclude that there is sufficient evidence supporting the assertion that HDs containing CMIT/MIT cause lung injuries, including asthma, contrary to the court's decision.

**Key words:** CMIT/MIT (5-chloro-2-methylisothiazol-3(2H)-one/2-methylisothiazol-3(2H)-one), humidifier disinfectant (HD), humidifier disinfectant-associated lung injury (HDLI), causality, uncertainty, court judgment

## I. 서 론

서울중앙지방법원 형사 23부는 2021년 1월 12일 클로로메틸이소티아졸리논(5-chloro-2-methylisothiazol-3(2H)-one, 이하 CMIT)과 메틸이소티아졸리논(2-methylisothiazol-3(2H)-one, 이하 MIT)을 살균제 성분으로 사용한 가습기 살균제 제품을 제조, 판매한 기업의 경영자 등 관계인에게 1심에서 무죄를 선고했다. 당시 재판부는 관련 제품의 사용과 폐질환 발생 및 악화에 '인과관계'를 입증할 만한 이화학적 특성과 노출 평가 및 독성학적, 역학적 증거가 형사사건의 '인과관계'를 따지기에 부족하다고 보았다. 이에 본 연구진은 1심 판결문에서 다뤄진 주요 논거 가운데 전자-수용성 물질의 폐 하부 진입 가능성과 노출량에 대한 학술적 고찰을 통해 범죄 사실 인정에 필요한 합리적 의심 이상의 근거가 있음을 지적한 바 있다.<sup>1)</sup> 전편에 이어 본 논문에서 동물실험(Sprague-Dawley 랫드 암수 각각 75마리 대상, 이하 동물실험이라 함), 폐 손상 판정 기준, 그리고 개별 폐 손상자의 건강피해에 대한 재판부의 주요 판결 내용을 고찰하고 그 문제점을 지적했다.

## II. 연구 방법

본 연구는 서울중앙지방법원 제23형사부 판결(사건번호: 2019고합142, 388(병합), 501(병합) 사건) 판결문의 인용 내용을 비평의 주요 대상으로 했다. 판결문은 우리나라 법원의 판결서 공식 인터넷 열람 사이트에서 2021년 1월 13일에 확보했다. 판결문 쪽 번호는 인터넷 출력물을 기준으로 했다. 재판부의 주요 판결 근거를 원문대로 인용하기 위해 박스 처리하고, 주요 고찰 대상 판결 내용을 1), 2), 3) 등으

로 구분하여 표식을 넣었으며, 박스 아래에 수식 계산과 문헌 자료 인용 및 설명, 고찰을 통해 각각의 내용을 반박했다. 한편, 본 논문에서는 기업과 피고인을 구분하지 않고 '기업'으로 통칭했다. 자세한 연구 방법은 이전 논문에서 설명했다.<sup>1)</sup>

## III. 결과 및 고찰

형법상 인과관계(causation)는 특정 행위로 인한 결과 발생을 인정할 수 있는 연관 관계를 의미한다.<sup>2)</sup> 재판부는 인과관계에 대한 판단에 있어 자연과학적 합법칙성을 요구했다. 즉, 제품 사용으로 인해 특정 질환(폐 섬유화와 천식)이 유도되거나 악화될 수 밖에 없음과, 이를 뒷받침할 정도로 충분한 양의 CMIT/MIT가 피해자의 호흡기 하기도까지 도달함을 과학적 자료로 제시해야만 연관 관계에 대한 '합법칙적 조건'<sup>3)</sup>이 성립한다고 본 것이다. 문제는 이 합법칙적 연관성의 규명 내용이 가습기 살균제에 함유된 CMIT/MIT의 노출과 건강영향에 대한 현존 과학 지식의 수준에 의존적이라는 점이다. 일반적으로 법적 인과관계(legal causation)는 다양한 과학적 자료, 정보, 지식 중 재판부가 어떤 것을 선택하고 인정하는지에 따라 결정된다. 따라서 본 논문에서는 1심 판결에서 재판부가 선택한 동물실험과 폐 손상 판정 기준 및 개인 인과관계에 대한 주요 판단을 고찰했다.

### 1. 동물실험

13주 동안의 흡입독성시험에서는 피해자들이 보인 폐 손상과 같은 독성이 관찰되지 않았지만, 기도 점적(호흡기에 직접 일정량을 떨어뜨리는) 실험에서 유사한 폐 손상 독성 소견이 발견되었다.<sup>4)</sup> 또한 흡입 동물실험 연구팀은 CMIT/MIT에 의한 독성학적 영

항이 조직병리학적으로는 관찰되지 않았지만 수컷 랫드에서 폐 섬유화 유발 가능성을 포함한 독성학적 영향의 가능성이 뚜렷했다고 주장했다.<sup>5)</sup> 연구팀은 기관지 폐 세척액 및 폐 조직에서 폐 염증과 폐 섬유화 지표들의 변화를 관찰했다. 그 결과, 기저질환 유발 모델 중 CMIT/MIT 흡입 노출 시 질환 악화 영향 평가에서 염증반응이 악화되어 폐 병변과 폐 섬유화 병변을 악화시킬 가능성을 확인했다. 그리고 급성 폐 염증 유발 모델에서 CMIT/MIT 노출 시 폐 출혈이 관찰되어 폐 병변을 악화시킬 가능성을 확인

했다. 그러나 재판부는 CMIT/MIT 함유 제품을 단독으로 사용한 피해자가 입은 폐 손상, 천식의 발생과 악화가 흡입독성시험에서 뚜렷하게 확인되지 않은 점을 들어 제품 사용과 피해자의 상해 또는 사망 사이에 인과성 요건이 충족되지 못했다고 판결했다. 이처럼 동물실험 결과에 대한 판단은 CMIT/MIT로 인한 건강피해를 두고 재판부와 전문가가 상당히 큰 차이를 보인 내용 중 하나다. 재판부가 동물실험 결과와 전문가의 진술을 종합해서 판단한 세 가지 내용을 고찰했다.

판결문 128쪽

(전략) 가습기 살균제의 사용으로 사망이나 상해의 결과가 사람에게 이미 발생했다는 사실을 전제로 이를 확인하고 보충하는 의미에서 실험을 했지만, 그 사실을 뒷받침할 만한 동물실험 결과가 별다르게 나오지 않았다는 점을 인정하는 취지이다. 아울러 위 진술들을 통하여 보면, 1) ① 가습기 살균제의 성분을 엄격히 구분하지 않고 CMIT/MIT 성분 가습기 살균제도 PHMG 성분 가습기 살균제와 마찬가지로 사망이나 상해의 결과가 발생했다고 전제한 상태에서 실험이 이루어졌다는 것이고, 2) ② 그 전제를 확인하고 보충하기 위하여 이루어진 동물실험은 본질적으로 가정에 부합하는 결과가 나와야 실험이 성공적이라는 평가를 받을 가능성이 높기 때문에 엄격한 조건하에 중립적인 결과를 도출하고자 하는 실험과는 달리 연구자의 편향이 개입될 여지가 있어 보인다. 그리고 3) ③ 동물실험에서 인과관계를 인정할 만한 결과가 나오지 않았다고 하더라도, 사람한테도 CMIT/MIT 성분 가습기 살균제 사용으로 인한 사망 혹은 상해의 결과가 발생하지 않았다고 단정할 수 없다는 결론은 형사소송의 인과관계 증명이라는 측면에서는 차용할 수 없는 견해다. (후략)

참고> 괄호 번호는 본 연구에서, 동그라미 번호는 판결문에서 부여했음

**1) CMIT/MIT의 독성 발생을 전제하고 연구설계를 했다는 판단**

어떤 물질의 독성 발현 여부 판단은 과학적으로 받아들일 수 있는 실험 조건에서 연구 대상의 반응성에 따라 이루어진다. 실험 대상 성분으로서의 CMIT/MIT는 흡입독성 의심 물질이며 이를 검증하기 위한 절차가 실험이기에, 어떤 전제를 설정하고 실험한다는 의미는 성립하지 않는다. 가습기 살균제의 주요 인체 노출 경로는 피부와 호흡기이며, 이는 물질의 성분과 관련이 없다. 가습기 살균제에 들어간 CMIT/MIT 등의 화학물질이 표적조직에 가역적, 비가역적 손상을 초래하는 요인은 물질 독성의 차이, 물질의 농도, 사용자의 생물학적 감수성 등 매우 다양하다. 화학물질이 흡입되면 호흡기관에 자극과 염증을 초래하는 것은 일반적인 반응이다. 한편, 상기도로 흡입된 화학물질이 하기도로 전달되면 가역적, 비가역적 건강영향이 초래될 수 있다는 점은 연구에서 다루어야 하는 기본적 가설이다. 따라서,

살균제 성분과 상관없이 동물실험을 통해 제품 사용자가 입은 천식, 폐 손상과 같은 독성이 관찰되는지 확인하고 보충하는 것은 당연한 과학적 활동이다. 그 성분이 공기 중으로 분사된 PHMG (polyhexamethylene guanidine), PGH (oligo(2-(2-ethoxy) ethoxyethyl guanidinium chloride), CMIT/MIT 중 어떤 것이어도 이는 동일하게 적용된다.

**2) 전제를 확인하고 보충하기 위해 이루어진 동물 실험은 연구자 편향이 개입될 여지가 있다는 판단**

재판부는 CMIT/MIT도 PHMG와 같은 폐질환을 일으킬 것이라는 전제하에 실험동물에 대한 흡입독성시험이 이루어졌다고 보았다. 1) 항에서 설명한 것처럼 과학적 연구가설을 재판부가 선입견에 의한 편향된 (biased) 연구설계로 오해한 것이다(판결문 128쪽). 가습기 살균제 폐질환(humidifier disinfectant-associated lung injury, HDLI)이 PHMG뿐 아니라 CMIT/MIT가 함유된 제품 단독 사용자에서도 발견되었다. 그렇다

면 동물실험에서 CMIT/MIT 노출로 인한 폐질환 독성이 있음을 연구기설로 삼는 것은 타당하다. 편향은 타당하지 못한 연구 방법을 선택하거나, 데이터를 임의로 취사선택하거나, 결과 해석을 의도적으로 왜곡하는 행위다. 피해자가 입은 천식, 폐 손상 등이 발생하는지 확인하는 동물실험은 국제적으로 공인된 가이드라인에 따라 수행되었다. 이 과정에서 사용된 실험 동물의 종류나 물질 투여 농도의 결정 방식, 실험 중 대상에게 나타난 독성 확인 방법은 모두 흡입독성시험에 통용되는 방식이다. 이 과정에서 편향이 개입될 여지는 낮다고 판단된다.

### 3) 동물실험에서 재연되지 않았던 인과관계 실험 결과가 사람에게도 적용된다고 단정할 수 없다는 연구진의 결론을 재판부가 불인정한 판단

형사재판에서의 ‘엄격한 인과관계’는 확실성의 정도와 관련 있다고 판단된다. 만약 인과관계 입증에 위해 동물실험 결과가 필수적 조건이라면, 동물실험 결과는 사람의 건강영향을 확실히 예측해야 한다. 그러나 동물실험 결과가 사람의 경우와 다르게 나타난 사례는 매우 많다. 본 연구진이 먼저 주목하는 것은 사람에게서 발견된 건강영향이 동물에서 나타나지 않은 사례이다. 이는 동물과 사람 간의 해부생리학적 구조, 기능, 대사 및 민감도의 차이 때문이다. 가령, 인간은 입과 코로 호흡할 수 있지만 쥐는 코로만 호흡한다. 호흡기 분지의 형태학적 구조(lung branching morphogenesis)가 다르기 때문이다.<sup>6)</sup> 따라서 같은 화학물질에 노출되어도 표적기관으로 화학물질이 도달하는 정도와 그 영향이 다르다.<sup>7)</sup> 또한 실험동물은 호흡기 내 세포 구성과 유전자 발현 정도가 사람과 다르다<sup>8)</sup>. 동물실험 연구 논문 76편, 221편을 각각 고찰한 두 편의 리뷰 논문에 따르면, 동물과 사람의 건강영향이 일치한 비율은 각각 37%<sup>9)</sup>와 50%<sup>10)</sup>에 불과했다.

동물실험과 사람의 실제 사용 결과 불일치 사례로 널리 알려진 것은 탈리도마이드 참사다. 동물실험에서 10개 계통(strain)의 쥐, 11종(species)의 토끼, 2종의 개, 3개 계통의 햄스터, 8종의 영장류를 대상으로 실험한 결과, 이 제품의 기형 독성이 발견되지 않았다. 그러나 이 동물실험을 토대로 탈리도마이드를 출시한 결과, 판매 금지 당시 기준 2만~3만 명의 팔다리 기형아가 태어나는 참사가 발생했다.<sup>11)</sup> 영국

에서 처방된 천식 치료제 이수프렐(Isuprel)도 쥐, 기니피그, 개, 원숭이 실험에서 치명적 독성이 관찰되지 않았지만 3,500명의 사망자가 발생했다.<sup>12)</sup> 비소는 사람의 피부, 폐 등 여러 조직에서 암을 일으키지만, 동물실험에서는 그런 영향이 관찰되지 않았다.<sup>13)</sup> 이와 반대의 사례도 있다. 코르티코스테로이드 부신피질 호르몬은 동물에 기형을 일으키지만, 사람에게는 그런 영향이 관찰되지 않았다.

동물실험에서 특정 물질과 건강영향의 인과성을 밝혀내지 못한 경우라 하더라도, 인간의 건강영향과 인과성이 있다 또는 없다고 단정할 수는 없다. 그러나 어떤 판단을 할 때 우선순위는 필요하다. 유럽연합과 세계보건기구-국제 암 연구소(International Agency for Research on Cancer)는 화학물질의 위험성을 평가하고 규제 기준을 정할 때 인체의 사례를 우선으로 살피되,<sup>13,14)</sup> 동물실험 결과를 병행 조건으로 삼지 않는다. 그 이유는 전술하였 듯이 동물실험 결과가 사람의 건강영향을 예측하는 데 있어 불확실성이 많기 때문이다. 부식성이 강한 화학물질인 CMIT/MIT를 사용하여 동물실험을 했을 때, 13주 동안 실험 대상 쥐가 죽지 않고 간질성 폐질환(interstitial pneumonia)과 같은 만성 독성이 나타날 수 있다면 적절한 동물실험 조건(투여량 등)을 정하는 것은 쉽지 않을 것으로 판단한다. 유럽화학물질청(European Chemicals Agency)은 CMIT/MIT 3:1 혼합물의 위험 분류와 라벨링에 대한 검토에서 이 물질을 흡입했을 때 치명적(fatal)이라고 경고했다.<sup>15)</sup>

결론적으로, CMIT/MIT가 함유된 가슴기 살균제 제품의 호흡기 위험은 분명하며, 이를 사용하고 폐손상 등 건강영향이 나타난 피해자들이 있다. 그럼에도, 몇 번의 동물실험에서 이러한 독성이 발견되지 않았다고 해서 인과관계가 증명되지 않았다는 재판부의 논리는 과학적으로 받아들이기 어렵다.

## 2. 가슴기 살균제 폐 손상(HDL) 판정

재판부는 가슴기 살균제 폐 손상 판정 기준이 CMIT/MIT 등 살균제 성분별로 달라야 하고, 피해 판정은 구제 차원에서 운영되어 형사사건의 인과관계에 그대로 적용할 수 없다고 판단했다. 재판부는 지난 10년 동안 이루어진 폐 손상 판정 기준, 판정 방법, 변화 등에 적용된 임상적, 과학적 근거를 모두 인정하지 않았다.

판결문 113~115쪽

(전략)

바) 소아 폐기능 로직의 도입

1) 3차 피해조사부터는 소아 폐기능 로직이 도입되어 소아에 대한 판정기준이 대폭 완화되었다. 즉 이 사건 원 인미상 폐질환의 증상이 나타나지 않는 소아라도 가습기 살균제를 사용하였다고 하고, 폐기능의 저하만 인정 되면 가습기 살균제 피해자로 인정해 주는 방식을 의미한다.

(중략)

가) 피해판정 기준 적용의 난점

가습기 살균제 폐질환 피해판정기준은 과거 PHMG 또는 PGH 성분 가습기 살균제 폐질환 피해자들에게서 파악된 환자군의 공통적인 병리, 영상, 임상 소견을 바탕으로 확립한 것이다. 그러므로 피해판정 절차 중 건강 영향평가는 결국 피해인정 신청자의 증상이 PHMG, PGH 노출에 따른 폐질환의 임상, 영상, 조직병리 소견에 어느 정도 부합하는가를 판정하는 절차인 셈이다. 2) 그간 CMIT/MIT 성분 가습기 살균제를 사용한 사람에게 폐질환이 나타날 가능성 혹은 나타날 경우 어떠한 양상의 폐질환이 나타나는지에 관하여 밝혀진 것은 없었다. 3) PHMG 또는 PGH 성분 가습기 살균제 폐질환 판정기준을 CMIT/MIT에 그대로 적용하는 것은 성분이 전혀 다른 화학물질로 인한 폐질환 판정 기준을 그대로 차용한 것으로서 기본적으로 문제점을 내포하고 있다.

(중략)

위와 같이 가습기 살균제 3) 피해인정 기준은 근본적으로 PHMG 성분 가습기 살균제 피해 사례로부터 도출 된 것으로 물질적 성질이 상당히 다른 이 사건 CMIT/MIT 성분 가습기 살균제에 그대로 적용하는 것이 적절 하지 않을 수 있고, 4) 그 피해인정 절차는 가습기 살균제 사용으로 인해 피해를 입은 사람들을 지원하기 위 해 국가가 피해구제 차원에서 그 인정기준을 순차적으로 완화해가면서 마련한 절차이다. 따라서 위와 같은 가 습기 살균제 폐질환 피해판정은 본질적으로 피해자 구제라는 목적을 달성하기 위해 보다 폭넓게 피해자를 인 정하는 방향으로 운영될 수 밖에 없었을 것이다. 그렇다면 4) 피해구제차원에서 마련된 피해인정 절차에서의 피해인정 결과를 엄격한 증명을 필요로 하는 형사사건에 그대로 적용해서 인과관계를 인정하기는 어렵다.

(후략)

### 1) 소아 폐 기능 로직의 도입이 구제 차원이었다 는 판단

재판부는 소아 폐 기능 로직(logic)의 도입은 영상 소견이 소실된 경우 등에 받게 될 피해 신청자의 불 이익을 해결해 주기 위한 구제 차원이었다고 했다. 그러나 소아 폐 기능 로직은 시간이 많이 지나 조 사 당시에는 영상으로 명확한 폐 손상 소견이 보이 지 않았지만 다른 질환이나 이유로 폐 기능의 감소를 설명할 수 없는 소아 사례에 한해 적용한 것으로 임상적, 과학적 근거에 바탕을 둔 것이었다. 소 아는 특별한 병변이나 질환이 있는 경우가 아니면 폐 기능 감소가 드물다. 특히, 폐 기능 지표 중 폐 활량(forced vital capacity, FVC)과 폐 확산능(diffusing capacity for carbon monoxide, DL<sub>CO</sub>) 감 소는 영상에서 관찰되는 병변이 없는 소아에서는 보 기 드물다. 그런데 소아에서 정상 폐 확산능 값에 대 한 정확한 기준이 없었기 때문에, 가습기 살균제 사 용군과 정상군의 폐 확산능을 비교했을 때 차이가 있 다는 연구 결과를 근거로 소아 폐 기능 로직을 설 정했다.<sup>16)</sup> 소아에서 폐 확산능에 대한 정확한 기준 수

치가 없었다는 것은 그만큼 소아에서 폐 확산능이 감 소하는 경우가 적었기 때문이라고 볼 수 있다. 다른 질환에 의한 폐 기능(폐활량, 폐 확산능) 감소라고 설 명하기 어려운 2단계(상당, probable) 4명의 사례가 CMIT/MIT 함유 제품 단독 사용자에게서 관찰되었 다. 이 사례 수가 재판부의 판단처럼 구제 차원이라 면 피해 인정 수는 너무 적지 않은가.

### 2) CMIT/MIT 함유 제품을 사용한 사람의 폐 손 상 양상에 대해서 밝혀진 것이 없다는 판단

CMIT/MIT 함유 제품만을 단독으로 사용한 어린 이 폐 손상자의 임상병리학적 소견들이 PHMG, PGH 함유 제품 사용자의 그것들과 유사하다는 결과는 이 미 여러 편의 논문으로 보고되었다.<sup>17-19)</sup> 이 연구 결 과들은 CMIT/MIT도 PHMG, PGH와 같이 호흡기 하부에 도달해서 유사한 방식으로 폐 손상을 일으켰 음을 방증한다. 특히, 수면 중 높은 수준으로 CMIT/ MIT를 흡입한 어린이에게서 심각한 말초 기도 기능 장애가 발견된 증례들이 있다.<sup>19)</sup> CMIT/MIT가 PHMG, PGH와 유사한 폐 손상을 일으키는 것을 확인할 수

있는 연구 결과다(이전 논문의 Table 4<sup>1)</sup>).

### 3) 폐 손상 판정 기준은 PHMG 또는 PGH 함유 제품을 사용한 폐 손상을 근거로 얻은 자료여서 화학적 성질이 다른 CMIT/MIT 함유 제품에 그대로 적용하는 것은 적절하지 않다는 판단

가습기 살균제 폐 손상 판정 기준의 시작은 PHMG 함유 제품 피해자로부터 관찰한 특이적 임상소견에 근거한 것이었다. 2013년 1차 조사 때 발견된 폐 손상 피해자는 모두 PHMG 함유 제품 단독 또는 다른 제품과 혼합(CMIT/MIT 제품 포함) 사용자였고, CMIT/MIT 함유 제품 단독 사용자는 없었기 때문이다. 2014년 2차 조사 때 처음으로 CMIT/MIT 단독 사용자 3명(1단계 2명, 2단계 1명)이 발견되었다.<sup>20)</sup> 당시 폐 손상에 대한 임상적 판정은 판정 대상자에게 사용한 제품에 대한 정보를 제공하지 않은 채 엄격한 임상적 기준에 따라 이루어졌다. 제품 성분 따른 편견을 방지하기 위해서였다. 위 2) 항에서 고찰한 것처럼 CMIT/MIT 함유 제품 단독 사용자는 증상은 물론 병리, 임상, 영상 소견이 PHMG와 PGH 가 일으킨 폐포 손상과 유사하다고 이미 보고된 바 있다.<sup>1,17,19)</sup> 화학물질 성분이 다르더라도 표적조직과 표적기관이 같은 사례는 매우 많다. 일례로 석면, 담배, 디젤 배출물, 포름알데하이드, 크롬, 비소 등 서로 다른 화학물질이 같은 표적조직에서 폐암을 일으킨다.

### 4) 가습기 살균제 폐질환(폐 손상) 판정은 피해자 구제 목적을 갖고 폭넓게 피해자로 인정하는 방향으로 이루어졌다는 판단

폐 손상 판정은 1차가 2013년부터 시작됐고, 2차(2014~2015년), 3차(2015~2017년), 4차(2017~2020년), 5차(2020년~현재)까지 특이한 임상소견에 따라 가습기 살균제와의 연관 수준이 확실(1단계, definite), 상당(2단계, probable), 가능(3단계, possible), 연관 불확실(4단계, indefinite)로 구분해서 이루어지고 있다. 폐 손상 판정은 주로 1차 때 개발한 기준과

직에 따라 이루어졌으며, 피해 사례와 연구 경험이 쌓임에 따라 일부 보완(소아 폐 기능 로직 적용)도 있었다. 이번 형사재판에서 언급된 폐 손상자 11명은 1차 때 1명(이의 신청 사례로 소급), 2차 때 3명, 3차 때 4명, 4차 때 3명으로 모두 엄격한 폐 손상 판정을 거친 사례다. 폐 손상 이외의 인정 질환인 태아 피해, 천식 등은 판정 단계 구분이 없다. 폐 손상 등 특정질환별 인정 기준을 포괄적 인과관계로 확대하고 간질성 폐질환, 폐렴 등을 피해 질환으로 인정(당시, 구체적)하기 시작한 시기는 2020년 3월(시행일: 2020년 9월 25일) “가습기 살균제 피해 구제를 위한 특별법” 개정 이후이다. 이때 과학적, 임상적 근거를 바탕으로 폐 손상은 ‘간질성 폐질환’으로 인정, 확대했으며, 아울러 폐렴 등이 피해질환으로 인정받았다. 그러나 위 11명의 피해자들은 개정 전에 엄격한 임상 기준에 따라 폐 손상을 인정받았다. 그리고 특별법 개정에 따른 확대 인정도 과학적, 임상적 근거를 바탕으로 시행되었다.

### 3. 폐 손상자 개인의 CMIT/MIT 함유 제품 사용과의 개별 인과관계

재판부는 폐 손상 피해자의 개인 인과를 판결하면서 환경 노출 조사의 신뢰성, 피해자의 응답 회상 오류, 피해자의 기저질환, 직업 노출, 임상 판정 단계 차이, 병리 조직 부족 등을 이유로 CMIT/MIT 함유 제품 사용과 개인 인과도 인정하지 않았다. 재판부는 1·2단계 판정을 받은 11명 폐 손상자 개개인을 대상으로 CMIT/MIT의 연관, 인과를 보지 않았다. 재판부는 “역학은 집단 현상으로서의 질병에 관한 원인을 조사하여 규명하는 것”이며 “어느 위험 인자와 어느 질병 사이에 역학적으로 상관관계가 있다고 인정된다 하더라도 그로부터 그 집단에 속한 개인이 걸린 질병의 원인이 무엇인지가 판명되는 것은 아니”라고 하면서(판결문 85~86쪽), 피해자 11명 각각의 폐 손상 사례와 CMIT/MIT 제품 사용 간의 인과를 평가하지 않았다.

판결문 115~116쪽

(전략) (11명) 1) 대부분 가습기 살균제를 사용한 때로부터 많은 시간이 지나 제품명을 제대로 기억하지 못하거나, 조사를 거듭하면서 사용한 제품명, 구입처, 구입 시기 혹은 사용 기간 관련 진술이 달라지기도 했다. 2) 환경노출조사의 경우, 영수증, 가습기 살균제 제품, 사진 등 객관적인 자료가 있으면 그 자체로 1등급으로 판정했을 뿐 물품이나 사진의 경우 입수경위나 실제 사용 여부까지 면밀히 확인한 것은 아니었고, 객관적 증거가 없더라도 진술의 일관성이 인정되면 노출 사실을 인정하는 방식으로 재량의 여지가 크게 운영되어 그 결과를 신뢰하기 어렵다. 3) 또한 짧게는 2~3년, 길게는 20여 년 전에 사용한 제품이나 기간에 대한 회상이어서 그 기억이 불분명하거나 오류가능성(이른바 recall bias)이 존재함에도 오로지 설문조사에만 의존하여 환경노출조사를 실시한 한계가 있고, 4) 환경노출조사 설문 방식이 4차로 갈수록 점차 객관식화, 단순화되어 진술의 일관성을 확인하기도 어렵다. (중략)

판결문 118쪽

(판결문 115~118쪽까지 개별 폐질환자의 인과에 대한 내용임; 중략)  
 위와 같이 5) 이 사건 단독사용(CMIT/MIT) 피해 인정자들의 구체적인 판정경위를 살펴보면 CMIT/MIT 가습기 살균제 사용과 이 사건 원인미상 폐질환 사이의 개별적 인과관계를 의심할 만한 사정들이 다수 존재한다. (후략)

**1) 피해자 진술 번복에 대한 판단**

재판부는 폐 손상 피해자 11명 중 진술을 번복한 사례를 구체적으로 지목하지 않았다. 조사에 따르면 이들이 제품의 사용 여부와 종류를 번복하거나 사용 시기를 크게 번복한 사례는 발견된 적이 없다. 그러나 재판부는 진술 번복한 피해 사례, 번복 내용을 구체적으로 나열하지 않고 일반화했다.

**2) 환경 노출 조사에서 재량의 여지가 많아 신뢰하기 어렵다는 판단**

재판부는 제품 용기, 사진, 영수증 등 객관적 자료에 대해서도 입수 경위나 실제 사용 확인 없이 진술 내용에 대한 재량으로 신뢰성이 떨어진다고 지적했는데, 받아들이기 어렵다. 환경 노출 조사에서는 폐 손상 피해자들이 사용한 제품, 사용 기간, 사용 시기, 사용 방법 등을 1~3시간여 면담을 통해서 다양하게 확인하고 검증했다. 사진, 용기, 영수증 등으로 제시된 객관적 사실은 응답의 신뢰성을 높이는 도구일 뿐, 이 정보만을 환경 노출 조사에서 1단계(확실, definite)의 절대적 기준으로 간주하지는 않았다. 환경 노출 수준 평가는 제품별 폐 손상 피해자(1·2단계)의 사용 특성과 나이 등을 분류하고 이들의 노출 사용 특성과 수준을 기준(reference)으로 피해 신고자의 노출 수준을 비교한 평가로, 3차 조사 때 처음 도입되었다.<sup>21)</sup> 그리고 이는 폐 손상 피해 판정과 관련 없이 노출 특성을 연구하고자 시도한 방

법이였다. 판결문의 표현 맥락은 객관적 사실이 있으면 폐 손상 1단계로 지정되었다는 오해를 불러일으킬 수 있다.

이미 여러 선행 논문에도 발표되었지만, 환경 노출 조사는 환경보건전문가가 직접 피해 신고자 가정을 방문해 구조화된 설문지로 면담하며 기록하고 추후 확인하는 절차를 거쳤다. 조사원의 개인적 판단의 차이가 존재하더라도 조사 결과, 응답을 왜곡할 정도는 아니다. 구조화된 설문지를 이용한 환경 노출 조사 기술은 건강영향조사, 역학, 사회과학 분야에서 널리 쓰이는 과학적 방법이다. 화학물질이 몸에 흡수된 양을 직접 알아낼 방법이 없기 때문이다. 미국 9·11 테러 복구 노동자,<sup>22,23)</sup> 고엽제 피해자의 질병 위험 규명도 모두 설문지를 이용했다. 가습기 살균제 제품 사용 특성 등 원인에 대한 조사는 이러한 방문 면담 조사 외에 더 객관적인 방법이 없다. 회상 오류 등을 최대한 줄이고 응답의 신뢰성을 확보하는 것은 조사자의 역량이며, 이를 달성하기 위해서 조사 전후 교육, 회의, 토론 등을 거쳤다. 제품의 사용 여부를 판단하는 데 손색이 없는 조사였다. 이렇게 수행된 연구 결과는 이미 여러 편의 국제 학술지에 엄격한 사독 절차를 거쳐 출간되었다.<sup>24-26)</sup> CMIT/MIT 함유 제품 단독 사용자 중 폐 손상 피해자로 인정받은 11명의 노출 특성은 이렇듯 신뢰성을 확보한 현장 조사를 통해 확인된 것이다. 그럼에도 재판부는 환경 노출 조사의 신뢰를 의심하며, 이

**Table 1.** HD\*\* use characteristics of 11 HDLI\* patients who only used HD containing CMIT/MIT

The level of association with the use of HD	Age at the diagnosis	Duration of HD exposure			Injured year	Clinical findings	Years until the investigation from diagnosis <sup>†</sup>	Other exposure*
		Start	Stop	Total (months)				
Definite	1 <sup>#</sup>	Feb. 2012	Apr. 2012	3	2012	Clinical course and imaging	2	None
	1 <sup>#</sup>	Feb. 2012	Apr. 2012	3	2012	Clinical course and imaging	2	None
	15	Mar. 2005	May. 2006	12	2006	Pathological findings <sup>§</sup>	10	None
	29 <sup>  </sup> #	Jan. 2003	Feb. 2005	10	2004	Pathological findings <sup>§</sup>	12	None
Probable	3	Sep. 2005	Jul. 2006	11	2006	Pathological findings <sup>§</sup>	8	Occupational
	3	Jan. 2006	Feb. 2007	6	2008	DL <sub>CO</sub> **	8	None
	3	Dec. 2009	Mar. 2010	4	2010	DL <sub>CO</sub>	5	None
	6	Dec. 2009	Mar. 2010	4	2010	DL <sub>CO</sub>	5	None
	1 <sup>  </sup>	Oct. 2005	Mar. 2006	5	2006	Clinical course and imaging	9	None
	6	May. 2009	Mar. 2011	16.5	2011	DL <sub>CO</sub>	2	None
	30	Nov. 2010	Jul. 2011	9	2011	Clinical course and imaging	5	None

\*HDLI: humidifier disinfectant-associated lung injury

<sup>†</sup>Years until diagnosis from stop using HDs containing CMIT/MIT (5-chloro-2-methylisothiazol-3(2H)-one/2-methylisothiazol-3(2H)-one)

<sup>‡</sup>Exposure to HDs other than those contained CMIT/MIT

<sup>§</sup>Deceased

<sup>||</sup>with HD containing CMIT/MIT residuals in the bottle

\*\*DL<sub>CO</sub>: Diffusing capacity for carbon monoxide

<sup>#</sup>Plaintiff

<sup>##</sup>HD: humidifier disinfectant



**Table 2.** Analysis for individual causation of the humidifier disinfectant associated lung injury (HDLI) patients (n=11)

The level of association with the use of HD*	Age at the diagnosis	Potential recall bias†	Lack of pathological evidence	Existing disease	Occupational exposure	HDLI based on DL <sub>CO</sub> ‡	Number of 'NO' against the court suspicion
Definite	1	No	Yes	Acute bronchiolitis	No	No	3
	1	No	Yes	Acute bronchiolitis	No	No	3
	2	Yes	No	None	No	No	4
	15	Yes	No	None	No	No	4
	29	No§	No	None	Yes	No	4
Probable	3	Yes	Yes	None	No	Yes	2
	3	No	Yes	None	No	Yes	3
	6	No	Yes	None	No	Yes	3
	1	No§	Yes	None	No	No	4
	6	No	Yes	None	No	Yes	3
	30	No	Yes	None	No	No	4
				Yes	None	No	4

\*HD: humidifier disinfectant

†Recall bias: Assumed possible recall bias after the original diagnosis of the lung injury (Table 1); >5 years=yes

‡DL<sub>CO</sub>: Diffusing capacity for carbon monoxide

§Corrected with classification error of HD brand

들의 CMIT/MIT 함유 제품 사용 특성과 폐 손상과의 개인적 인과에 대한 판단을 하지 않았다. 본 연구에서 폐 손상자의 CMIT/MIT 함유 제품 사용과의 개별 인과를 판단할 수 있도록 표로 정리했다 (Table 1과 Table 2).

### 3) 제품 사용 관련 기억의 오류와 피해자 진술의 신뢰도에 대한 판단

재판부는 CMIT/MIT 함유 제품 사용 기억을 중요하지 않은 일반적인 정보에 대한 기억 오류와 동일선상에 놓으며 피해자의 응답을 의심했다. 수개월 이상 매일 사용했던 제품으로 폐 손상과 사망 등 끔찍한 건강피해를 입은 경우, 제품 이름을 제대로 기억하지 못할 가능성은 매우 낮다. 특히 어린이 피해자인 경우 더욱 그렇다고 판단한다. 피해자 중 2명은 쓰다 남은 제품 용기를 가지고 있기 때문에 제품명 기억 오류 가능성은 없다.<sup>27)</sup> 또 회상 기간도 3명은 2년 이내, 7명은 5~10년, 나머지 1명은 12년으로 법원이 예들려 기술한 20년과 큰 차이가 있다. 제품이 처음 판매된 2002년에 건강피해를 진단 받았다고 하더라도 조사 당시까지 20년이 지난 피해자는 존재하지 않는다. 보상 기대로 인한 거짓 진술 또는 편향이라는 재판부 판단은 근거가 없다. PHMG 함유 제품에 비해 CMIT/MIT 함유 제품 사용자는 보상 등이 어려운 상황에도 불구하고 응답한 것으로, 거짓 진술을 의심할 요인은 없다. 더구나 CMIT/MIT 외 다른 화학물질이나 직업 노출이 없었던 소아들(11명 중 9명)에게 발생한 폐 손상은 CMIT/MIT 사용이 아니라면 다른 요인으로 설명하기 어렵다(Table 1과 Table 2).

### 4) 환경 노출 조사 차수에 따라 일관성이 없다는 판단

피해 조사가 4차로 갈수록 설문 내용이 알려져 제품 응답에 의도적 편향이 존재할 가능성은 배제할 수 없다. 하지만 본 형사판결과 관련된 피해자의 대부분(8명)은 2차, 3차 조사에서 확인되었다. 환경 노출 조사가 진행되며 설문지가 객관식화, 단순화되었다는 것도 사실이 아니다. 몇몇 항목에 일부 변경이 있었지만 전반적인 설문 내용과 조사 방법 등은 변하지 않았다.

### 5) 폐 손상자의 개별적 인과관계를 의심할 만한 사정들이 다수 존재한다는 판단

재판부도 CMIT/MIT 함유 제품 단독 사용으로 인한 폐 손상 피해 인정자 11명의 개별적 인과관계를 의심할 만한 사정을 언급했지만, 제품 사용과의 인과성의 근거로 인정하지 않았다. 그러면서도 11명 개별에 대한 인과관계를 판단하지 않았다. 재판부는 개별 인과관계를 의심하는 요인별(제품 기억 오류, 병리 조직에 의한 판정 아님, 직업 노출, 기저질환 있음, 폐 기능 로직에 의한 인정)로 11명 폐 손상자를 대입했다(Table 2). 그러나 1명(1단계, 폐 손상 당시 2세)은 재판부가 의심할 만한 사정 4가지가 없었다. 의심할 만한 사정 중 4가지 이상이 해당되지 않는 사례는 5명, 3가지 이상이 해당되지 않는 사례는 10명이었다.

11명 중 6살 이하 어린이들(8명)이 흡연, 화학물질, 직업 노출 요인으로 걸릴 수 있는 간질성 폐질환(폐 손상)을 입을 가능성은 매우 낮다. 대부분의 피해자들이 어린이들이고 특이한 임상 소견을 보인 폐 손상 병변과 폐 기능 감소가 관찰된 사실이 CMIT/MIT 함유 제품 사용과 개인 폐 손상과의 인과를 과학적으로 확실하게 증명한다. 그러나 재판부는 근거도 없이 폐 손상 원인 인자를 CMIT/MIT가 아닌 유전적 요인 등으로 돌려 개인을 탓했다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 흡입 동물실험을 이용한 천식과 폐 손상 독성 확인 결과, 천식과 폐 손상 판정 기준, 개인 인과 등에 대한 재판부의 주요 판결 내용을 고찰했다. 재판부가 흡입 동물실험에서 발견하지 못한 천식과 폐 손상 독성을 들어 엄격한 인과관계를 충족하지 못했다는 판결에 대해 쥐를 이용한 동물실험의 본질적 한계, 동물실험의 실패 사례 등을 들어 인과관계 구성의 필요조건으로 삼은 판단에 대해 반박했다. 또한 폐 손상자 11명 중 3명의 병리 조직과 영상에서 보인 가슴기 살균제 특이적 폐 손상 확인, 2명의 제품 용기에 의한 제품 확인, 그리고 흡연, 직업 노출 등 다른 이유로 설명하기 어려운 6세 미만 어린이 8명의 폐 손상과 폐 기능 감소 등을 들어

CMIT/MIT와의 개인 인과를 과학적으로 고찰했다.

재판부가 요구하는 엄격한 인과관계가 어느 정도의 과학적 확실성인지 알 수 없는 임의성이 있다고 판단한다. 이에 두 편의 논문을 통해 형사재판에서 차용한 엄격한 인과관계 충족 부족이라는 주요 판결 내용에 대해 과학적으로 고찰하고 반박했다. CMIT/MIT로 인한 건강피해 증거들을 두고 재판부는 형사 책임을 물을 정도의 충분한 증거가 아니라고 판결했고, 논문 저자들은 피해를 입증하는 데 손색이 없는 과학적 사실이라고 반박했다. 본 논문들이 재판부의 가치판단과 저자들의 판단 간의 차이를 줄일 수 있는 계기가 되기를 바란다.

### 감사의 글

이 논문은 2019년도 한국방송통신대학교의 지원을 받아 수행된 연구임.

### References

1. Park DU, Zoh KE, Kim J, Choi S, Kwon JH, Jun H, et al. Scientific critique of a Korean court's acquittal decision on involuntary manslaughter with 5-chloro-2-methylisothiazol-3(2H)-one(CMIT)/2-methylisothiazol-3(2H)-one(MIT), a humidifier disinfectant(HD): Part?. Material safety, exposure and delivery to target organ from an HD perspective. *J Environ Health Sci.* 2021; 47(2): 111-122.
2. Ha TY. Kausalitt und objektive Zurechnung des 17 KStGB - Eine Analyse der Rechtsprechung des koreanischen höchsten Gerichtshofs. *Dong-a Law Review.* 2013; 58: 287-372.
3. Won HW. Introduction of Criminal Law for the Jury: Office of Future Strategy & Vision, Supreme Prosecutors' Office Republic of Korea, 2008.
4. Korea Ministry of Environment. Development of toxicological index identifying causality between humidifier disinfectants and its' diseases [in Korean]. Chungcheongbuk-do, Korea: Korea Ministry of Environment; 2019.
5. Choi SJ, Choeng KH and Choen JH. Development of inhalation toxicity evaluation and attribution techniques for identifying humidifier disinfectants damage: Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2018.
6. The Cosmetic Ingredient Review (CIR). Amended Safety Assessment of Methylchloroisothiazolinone and Methylisothiazolinone as Used in Cosmetics. 2020. Available: <https://online.personalcarecouncil.org/ctfa-static/online/lists/cir-pdfs/FR787.pdf> [accessed in Jan, 2021].
7. Kolanjiyil AV, Kleinstreuer C, Kleinstreuer NC, Pham W and Sadikot RT. Mice-to-men comparison of inhaled drug-aerosol deposition and clearance. *Respiratory Physiology and Neurobiology.* 2019; 260: 82-94.
8. Travaglini KJ, Nabhan AN, Penland L, Sinha R, Gillich A, Sit RV, et al. A molecular cell atlas of the human lung from single-cell RNA sequencing. *Nature.* 2020; 587(7835): 619-625.
9. Hackam DG and Redelmeier DA. Translation of research evidence from animals to humans. *JAMA.* 2006; 296(14): 1727-1732.
10. Perel P, Roberts I, Sena E, Wheble P, Briscoe C, Sandercock P, et al. Comparison of treatment effects between animal experiments and clinical trials: systematic review. *BMJ.* 2007; 334(7586): 197.
11. Greek R, Pippus A and Hansen LA. The Nuremberg Code subverts human health and safety by requiring animal modeling. *BMC Medical Ethics.* 2012; 13(1): 1-17.
12. Wang JP, Qi L, Moore MR and Ng JC. A review of animal models for the study of arsenic carcinogenesis. *Toxicology Letters.* 2002; 133(1): 17-31.
13. US Environmental Protection Agency (EPA). 1994. Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentrations and Application of Inhalation Dosimetry. EPA/600/8-90-066F. Washington, D.C.: Office of Health and Environmental Assessment.
14. Guidance, FDA Draft. Estimating the safe starting dose in clinical trials for therapeutics in adult healthy volunteers, 2002.
15. ECHA. Committee for Risk Assessment RAC. Opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of Reaction mass of: 5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one [EC no. 247-500-7] and 2-methyl-2H-isothiazol-3-one [EC no. 220-239-6] (3:1); Reaction mass of: 5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one [EC no. 247-500-7] and 2-methyl-4-isothiazolin-3-one [EC no. 220-239-6] (3:1): European Chemicals Agency, 2016.
16. Cho HJ, Lee SY, Park D, Ryu SH, Yoon J, Jung S, et al. Early-life exposure to humidifier disinfectant determines the prognosis of lung function in children. *BMC Pulm Med.* 2019; 19(1): 261. [published Online First: 2019/12/25]
17. Lee SY, Park DU, Do KH, Jang SJ and Hong SJ. The Pathological Findings of Chloromethylisothi-

- azolinone and Methylisothiazolinone-associated Lung Injury. *J Korean Med Sci.* 2019; 34(14): e102. [published Online First: 2019/04/13]
18. Lee E, Son SK, Yoon J, Cho HJ, Yang SI, Jung S, et al. Two Cases of Chloromethylisothiazolinone and Methylisothiazolinone-associated Toxic Lung Injury. *J Korean Med Sci.* 2018; 33(16): e119.
  19. Cho HJ, Park DU, Yoon J, Lee E, Yang SI, Kim YH, et al. Effects of a mixture of chloromethylisothiazolinone and methylisothiazolinone on peripheral airway dysfunction in children. *PLOS ONE.* 2017; 12(4): e0176083.
  20. Park DU, Ryu SH, Lim HK, Kim SK, Choi YY, Ahn JJ, et al. Types of household humidifier disinfectant and associated risk of lung injury (HDLI) in South Korea. *Science of The Total Environment.* 2017; 596-597: 53-60.
  21. Park DU. A Strategy for Exposure Assessment of Humidifier Disinfectant associated to Health Effects. *J Environ Health Sci.* 2018; 44(2): 107-114.
  22. NYC, World Trade Center Registry Questionnaire. Available from: <https://www1.nyc.gov/assets/911health/downloads/pdf/wtc/wtc-questionnaire.pdf> [accessed in May, 2021].
  23. YUHS. Epidemiologic study on Veterans and Agent Orange: Ministry of Patriots and Veterans Affairs, 2006.
  24. 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.
  25. Park DU, Friesen MC, Roh HS, Choi YY, Ahn JJ, Lim HK, et al. Estimating retrospective exposure of household humidifier disinfectants. *Indoor Air.* 2015; 25(6): 631-640.
  26. Park DU, Choi YY, Ahn JJ, Lim HK, Kim SK, Roh HS, et al. Relationship between Exposure to Household Humidifier Disinfectants and Risk of Lung Injury: A Family-Based Study. *PLOS ONE.* 2015; 10(5): e0124610.
  27. Park DU, Park SK, Kim J, Park J, Ryu SH, Park JH, et al. Characteristics of Exposure to Chloromethylisothiazolinone (CMIT) and Methylisothiazolinone (MIT) among Humidifier Disinfectant-Associated Lung Injury (HDLI) Patients in South Korea. *Molecules.* 2020; 25(22): e5284.

<저자정보>

박동욱(교수), 조경이(박사수료), 김지원(조교), 최상준(교수), 이소연(교수), 전형배(교수), 박태현(교수)