



Original Article

작업환경실태조사 및 작업환경측정자료(2018~2022) 결과를 활용한  
우리나라 전자산업에서의 고위험물질 노출 특성  
-디클로로메탄, 트리클로로메탄, 수산화테트라메틸암모늄 중심으로-

황성호<sup>1</sup> ID, 함승현<sup>2</sup> ID, 김형렬<sup>3</sup> ID, 류현철<sup>4</sup> ID, 안진수<sup>5</sup> ID, 윤진하<sup>6</sup> ID, 윤충식<sup>1,7</sup> ID, 이나은<sup>8</sup> ID, 이상만<sup>9</sup> ID, 이재환<sup>10</sup> ID, 권세영<sup>11</sup> ID, 장재필<sup>11</sup> ID, 하권철<sup>12\*</sup> ID

<sup>1</sup>서울대학교 보건환경연구소, <sup>2</sup>가천대학교 의과대학, 가천대학교 길병원 직업환경의학과, <sup>3</sup>가톨릭대학교 서울성모병원 직업환경의학과, <sup>4</sup>일환경건강센터, <sup>5</sup>명지산업안전보건, <sup>6</sup>연세대학교 의과대학 예방의학교실, <sup>7</sup>서울대학교 보건대학원, <sup>8</sup>순천제일대학교 산업안전보건과, <sup>9</sup>IESH솔루션, <sup>10</sup>양산부산대병원, <sup>11</sup>안전보건공단, <sup>12</sup>창원대학교 생명보건학부

Characteristics of Exposure to High-Risk Substances in the Electronics Industry  
Using the Work Environment Survey and Work Environment Measurement Database  
(2018~2022) in South Korea  
-Dichloromethane, Trichloromethane, and Tetramethylammonium Hydroxide-

Sung Ho Hwang<sup>1</sup>, Seunhon Ham<sup>2</sup>, Hyoung-Ryoul Kim<sup>3</sup>, Hyun-chul Ryu<sup>4</sup>, Jinsoo An<sup>5</sup>, JinHa Yoon<sup>6</sup>, Chungsik Yoon<sup>1,7</sup>, Naeun Lee<sup>8</sup>, Sangman Lee<sup>9</sup>, Jaehwan Lee<sup>10</sup>, Se Young Kwon<sup>11</sup>, Jaepil Chang<sup>11</sup>, and Kwonchul Ha<sup>12\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Health and Environment, Seoul National University, <sup>2</sup>Department of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine, <sup>3</sup>Department of Occupational and Environmental Medicine, The Catholic University of Korea, <sup>4</sup>Center for Work Environment Health, <sup>5</sup>Myungji Occupational Safety & Health, <sup>6</sup>Department of Preventive Medicine, Yonsei University College of Medicine, <sup>7</sup>Graduate School of Public Health, Seoul National University, <sup>8</sup>Department of Occupational Safety and Health, Suncheon Jeil College, <sup>9</sup>IESH Solution, <sup>10</sup>Yangsan Pusan National University Hospital, <sup>11</sup>KOSHA, <sup>12</sup>Department of Biochemistry & Health Science, Changwon National University

ABSTRACT

**Background:** Social interest is increasing due to frequent accidents caused by chemicals in the electronics industry.

**Objectives:** The purpose of this study is to present a management plan by evaluating the exposure characteristics of dichloromethane (DCM), trichloromethane (TCM), and tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH), which are high-risk substances to which people may be exposed in the electronics industry in South Korea.

**Methods:** To investigate the handling companies and status of the hazardous chemicals DCM, TCM, and TMAH, the handling status of the three substances was classified based on electronics industry-related codes from the 2019 Work Environment Survey (Chemical Handling and Manufacturing) data with work environment measurement results for five years.

**Results:** DCM, TCM, and TMAH are commonly used as cleaning agents in the electronics industry. For DCM, it was found that all work environment measurement results from 2018 to 2021 but not 2022 exceeded the exposure standard.

**Conclusions:** Identifying the distribution channels of hazardous chemicals is an intervention point that can reduce exposure to hazardous chemicals. It requires management through tracking systems such as unique verification numbers at the import and manufacturing stages, and proper cultivation of and related support for handling chemicals by business managers.

**Key words:** Electronics industry, dichloromethane, trichloromethane, tetramethyl ammonium hydroxide

Received March 25, 2024

Revised May 23, 2024

Accepted May 24, 2024

Highlights:

- There is currently no study of the exposure characteristics of high-risk substances.
- High-risk substances, DCM, TCM, and TMAH, were commonly used as cleaning agents in the electronics industry.
- DCM found that all work environment measurement results from 2018 to 2021 except 2022 exceeded the exposure standard.
- Identifying the distribution channel of high-risk substances is an intervention point that can reduce exposure to high-risk substances.

\*Corresponding author:

Department of Biochemistry & Health Science, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Euichang-gu, Changwon 51140, Republic of Korea  
Tel: +82-55-213-3553  
Fax: +82-55-213-3550  
E-mail: kcha@changwon.ac.kr



## I. 서 론

전자산업은 오늘날 한국을 대표하는 산업이라고 해도 과언이 아니다. 하지만 2009년 이후 반도체 산업 중 반도체 웨이퍼 칩 가공과 칩 포장, LCD (Liquid Crystal Display) 공정 유해인자와 건강 위험 등에 대한 사회적 논란이 있었고,<sup>1)</sup> 급격한 공정 변화가 많은 전자산업 특성상 신규화학물질을 포함한 복합적인 유해 요인으로 인한 직업성 암, 화학물질 중독 등이 지속적으로 보고되고 있다.<sup>2,3)</sup>

고위험물질인 디클로로메탄(Dichloromethane, DCM)은 2009년 7월, 근로자 한 명이 축전지용 필름 제조사업장에서 야간근무 중 고농도의 DCM 증기에 급성 중독되어 사망하였다. 사고원인으로는 DCM 취급시 필요한 호흡용 보호구를 착용하지 않았고, 충분한 환기 부재 및 작업장에 설치된 국소배기 장치 성능의 미흡이 원인인 것으로 분석하였다.<sup>3)</sup> 2022년 전자제품 사업장에도 세척조 청소작업 중 근로자 1명이 세척조 내 잔류 DCM 급성중독되어 1명 사망하는 사고가 발생하였다.<sup>3)</sup> 재해원인으로 청소 작업시 송기마스크 미착용, 환기 미실시, 작업지휘 감독자 미배치가 있었다. 트리클로로메탄(Trichloromethane, TCM)은 2022년 2월, 경남지역의 금속부품 제조사 두 곳에서 세척제에 함유된 트리클로로메탄에 의한 급성중독(독성간염)이 발생하여 A기업에서 20명, B기업에서 13명 확인되었고, 2023년 3월, 경기 이천시 소재 전자제품 제조 공장에서 제품 가공 후 제품에 묻어있는 절삭유(가공 과정에서 공구를 냉각시키는 윤활유)를 TCM 성분 포함된 세척제로 닦아내는 작업을 수행한 작업자 7명이 급성중독으로 보고되었다.<sup>3)</sup> 사고 원인은 기존 세척제인 DCM이 환경규제물질로 지정됨에 따라, 대체물질 변경과정에서 더 독성이 강한 TCM으로 물질이 대체된 것이 주요한 원인으로 지적되었다.

수산화테트라메틸암모늄(Tetramethyl ammonium hydroxide, TMAH)은 2011년 12월, 한 사업장에서 파렛트 세척제 샘플을 현장에서 테스트하던 중 8.75% TMAH가 함유된 세척제가 작업자 몸에 묻어 약 17분 경과 후 샤워실에서 씻어내고 병원으로 후송되었으나 사망한 사례가 있었고, 2021년 1월, 배관해체 작업 중 배관 내 2.38% TMAH 용액이 잔류된 상태에서 가압 하에 작업 중 분출되어 2명이 사망하고 4명이 부상을 입었다.<sup>3)</sup> 이런 고위험물질들에 대한 사고는 간헐적으로 발생하지만 발생하게 되면 사망재해 사고로 이어지기 때문에 예방관리가 매우 중요하다.<sup>3)</sup>

DCM과 TCM, TMAH 물질은 전자산업을 포함하여, 반도체 제조업에서도 많은 화학물질들이 사용되고 있지만, 이러한 고위험 물질에 대한 파악 및 발생 가능한 위험을 예측하기 위한 역학적인 연구가 많이 진행되지 못하고 있다.<sup>4-7)</sup> 디스플레이 제조공정에서는 다양한 세부공정을 통해 LCD 패널을 가공하는 각각의 공정에서 유기용제, 금속, 가스, 무기산 등 많은 화학

물질을 사용하고 있고, LCD 패널 가공 장비에서는 정전기 제거, 세정, 노광, 경화 등을 위해 X-ray, UV 설비 등이 사용되고 있지만 아직까지 LCD 제조공정의 유해요인 특성에 대해 체계적으로 조사 연구된 사례가 보고된 바가 없다.<sup>8)</sup> 또한 작업환경 실태조사, 화학물질유통량조사, 작업환경측정, 특수검진 등을 통해서 부분적으로 전자산업에서 취급하는 화학물질을 파악해왔으나, 전국 차원에서의 노출 정도를 파악하고 이에 대한 평가를 못하고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 우리나라 전자산업에서 노출될 수 있는 고위험물질인 디클로로메탄(DCM), 트리클로로메탄(TCM), 수산화테트라메틸암모늄(TMAH)을 전국 작업환경실태조사 자료 및 작업환경측정자료(2018~2022)를 활용하여 물질에 대한 사용 실태 파악 및 노출 평가를 통해 관리방안을 제시하는 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 대상

전반적인 고위험물질인 DCM, TCM, TMAH에 대한 전반적인 사용실태를 파악하기 위해 산업안전보건공단에서 전달받은 작업환경실태조사 자료를 활용하였다. 작업환경실태조사는 1993년부터 매 5년 주기로 전국 제조업체의 작업환경실태를 조사하고 있는 자료로 지금까지 총 6차(1993년, 1999년, 2004년, 2009년, 2014년, 2019년)에 걸쳐 진행되었고 조사의 목적은 전국 사업장의 일반현황, 화학물질 취급현황, 위험 기계기구 및 설비 보유현황, 유해작업환경 현황 등을 정기적으로 조사하여 산업안전보건 정책 및 산업재해예방 계획수립 시 기초 자료로 활용함에 있다. 본 연구에서는 매 5년 주기로 작업환경실태조사를 하기 때문에 최근 조사된 자료인 2019년 자료를 활용하였다. 또한 본 연구에서 산업안전보건법의 작업환경측정제도에 따라 측정되어 보고된 산업안전보건공단 작업환경측정자료 5년(2018~2022년)간의 결과자료를 이용하였다. '2019년 작업환경실태조사' 자료와 '작업환경측정결과(2018~2022년)' 자료는 요청을 통해 안전보건공단 산하기관인 스마트안전보건기술원 연구과제 담당자로부터 메일로 전달을 받아 활용하였다.

### 2. 연구방법 및 자료분석

고위험물질인 DCM, TCM, TMAH에 대한 취급업체 및 현황을 조사하기 위해 '2019년 작업환경실태조사(화학물질 취급 및 제조)' 자료에서 전달받은 전자산업 관련코드(26xxx, 27xxx, 2011x, 2927x)를 활용하여 세 가지 물질들에 따른 취급현황을 구분하여 분류하였다. 분류방법은 관련코드(26xxx, 27xxx, 2011x, 2927x)에서 세 가지 물질들만 추출하였고, 추출된 자료에서 빠짐없이 추출되었는지 재확인 검증절차를 통

해 통계분석을 위한 자료를 확보하였다.

또한 한국산업안전보건법에 명시된 ‘작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련) (산업안전보건법시행규칙 [별표

21])’를 주로 측정한 작업환경측정자료(한국산업안전보건공단, 2018~2022)에서 세 가지 물질에 대한 노출기준 초과여부를 전자산업 관련 코드 26xxx을 활용하여 조사하였다. 5개년도

**Table 1.** General information on the work environment survey by using purpose with DCM, TCM, and TMAH

Purpose	DCM* (%)	TCM <sup>†</sup> (%)	TMAH <sup>‡</sup> (%)
Detergent/sterilizer, disinfectant	73 (39.5)	- <sup>§</sup>	5 (5.6)
Cleaning agent	59 (31.9)	1 (4.0)	7 (7.9)
Glue	7 (3.8)	2 (8.0)	-
Lubricant, cutting oil/additive	7 (3.8)	-	-
Solvent	4 (2.2)	3 (12.0)	-
Raw materials	4 (2.2)	-	2 (2.2)
Testing	4 (2.2)	-	-
Coating agent	3 (1.6)	-	-
Photographic development materials	-	-	11 (12.4)
Surface treatment agent	-	-	12 (13.5)
Electronics industrial materials (semiconductor)	-	-	12 (13.5)
Additive	-	-	3 (3.4)
Others (welding agents, pigments, catalysts, experiments, analysis, etc)	24 (13.0)	19 (76.0)	37 (41.6)
Total	185 (100)	25 (100)	89 (100)

\*Dichloromethane (CAS. No 75-09-2).

<sup>†</sup>Trichloromethane (CAS. No 67-66-3).

<sup>‡</sup>Tetramethyl ammonium hydroxide (CAS. No 75-59-2).

<sup>§</sup>None of data.

**Table 2.** Handling status of dichloromethane (DCM) by using purpose

Purpose	No. of companies (%)	Average daily handling time (hour)	Average monthly handling time (hour)	Average number of handlers (n)
		Mean±SD		
Detergent/sterilizer, disinfectant	73 (39.5)	3.4±3.2	14±8.2	5±7.7
Cleaning agent	59 (31.9)	2.1±2.6	14.5±7.5	3.8±2.8
Glue	7 (3.8)	3.2±4.2	10.3±9.5	3.7±2.1
Lubricant, cutting oil/additive	7 (3.8)	1.5±1.5	9.0±11.0	1.8±1.3
Solvent	4 (2.2)	1.2±1.1	7±1.4	7.5±9.2
Raw materials	4 (2.2)	4.2±0.1	19.8±2.8	6.5±0.7
Testing	4 (2.2)	2±0.1	3.3±6.3	2.5±1.4
Coating agent	3 (1.6)	0.8±0.4	11±12.7	8.5±9.2
Photographic development materials	- <sup>*</sup>	-	-	-
Surface treatment agent	-	-	-	-
Electronics industrial materials (semiconductor)	-	-	-	-
Additive	-	-	-	-
Others (welding agents, pigments, catalysts, experiments, analysis, etc)	24 (13.0)	-	-	-
Total	185 (100)			

\*None of data.

별로 작업환경측정 기준을 초과한 물질별로 추출하였고, 추출된 자료에서 초과된 DCM, TCM 물질이 없는지 확인하였다. 초과된 물질이 있는 경우, 초과 건수별로 구분하여 표로 나타내었다.

자료분석은 물질별로 용도, 취급업체수, 1일 평균 취급시간, 월평균 취급시간, 평균 취급자수로 구분하여 용도별로 차지하는 백분율(%)로 표기하여 기술통계 분석을 실시하였다. 여기서, 1일 평균 취급시간은 하루에 근무한 평균시간(hour)을 의미하고, 월평균 취급시간은 한달 동안의 근무시간에서 취급한 평균시간을 의미한다.

### III. 결 과

#### 1. 물질별 취급현황

2019년 기준으로 고위험물질을 취급하는 기관은 각 185개(DCM), 25개(TCM), 89개(TMAH) 업체로, 공통적으로 사용되는 취급 용도로는 세척제였고, 공통적이지는 않았지만 세제/살균, 소독제, 용매제 등으로도 사용되었다. TMAH의 경우 표면 처리제, 사진 현상 재료 등으로 사용되었다(Table 1). 2019년 기준으로 DCM을 가장 많이 사용한 용도는 세제/살균, 소독제로 전체 185개 업체에서 73개(39.5%) 업체가 사용하였다. 그 다음으로 많이 사용되는 용도가 세정제(31.9%), 접착제(3.8%), 윤활유/절삭유/첨가제(3.8%), 용매제(2.2%), 원자재/원료(2.2%), 시험연구용(2.2%), 코팅제(1.6%) 순이었다(Table

2). TCM을 가장 많이 사용한 용도는 기타가 전체 취급의 76.0%로 가장 많았고 개별 용도로는 용매제가 전체 25개 업체에서 3개(12.0%), 그 다음으로 접착제(8.0%), 세정제(4.0%) 순으로 나타났다. 취급하는 사용목적으로는 접착제와 용매제가 있었고, 하루 평균 취급시간은 접착제가 6시간, 용매제가 1.2시간이었다. 한달 평균 취급시간은 접착제가 16시간, 용매제가 8.3시간으로 접착제 취급시간이 더 많았다. TMAH를 가장 많이 사용한 용도도 기타가 전체 취급의 41.6%로 가장 많았고 개별 용도로는 표면 처리제와 전자공업재료가 전체 89개 업체에서 각각 12개(13.5%), 그 다음으로 사진현상재료(12.4%), 세정제(7.9%), 세제/살균소독제(5.6%), 첨가제(3.4%), 원자재/원료(2.2%) 순으로 나타났다(Table 3).

#### 2. 노출기준 초과여부

2018~2022년간의 작업환경측정결과를 바탕으로 노출기준이 초과한 물질은 DCM이었다(Table 4). DCM은 2022년을 제외하고 2018~2021년 작업환경측정결과와 낮은 비율이지만 2022년을 제외한 모든 년도에서 노출기준을 초과한 건수가 있었던 것에 비해 TCM은 모든 작업환경측정결과에서 노출기준이 초과하지 않은 것으로 나타났다. DCM에서 노출기준(50 ppm)이 초과된 공정 단위작업은 2018년 생산공정에서 초음파세척작업(88.3 ppm), 프레스성형 세척작업(84.1 ppm)이었고, 2019년 세척공정에서 세척작업(85.0 ppm, 51.1 ppm, 89.3 ppm), 2020년 세척공정에서 세척작업(82.8 ppm), 2021년 세

**Table 3.** Handling status of tetramethylammonium hydroxide (TMAH) by using purpose

Purpose	No. of companies (%)	Average daily handling time (hour)	Average monthly handling time (hour)	Average number of handlers (n)
		Mean±SD		
Detergent/sterilizer, disinfectant	5 (5.6)	4.8±5.8	14.8±6.7	21.8±27.9
Cleaning agent	7 (7.9)	3±3.5	20.9±2.7	14.9±12.7
Glue	*	-	-	-
Lubricant, cutting oil/additive	-	-	-	-
Solvent	-	-	-	-
Raw materials	2 (2.2)	8±0.4	22±2.8	19.5±13.4
Testing	-	-	-	-
Coating agent	-	-	-	-
Photographic development materials	11 (12.4)	4.0±3.7	18±2.9	5.1±0.7
Surface treatment agent	12 (13.5)	7.2±1.5	18.8±0.7	20±0.7
Electronics industrial materials (semiconductor)	12 (13.5)	6.0±3.9	19.6±0.0	9,576.8±0.4
Additive	3 (3.4)	8.0±0.0	91.0±16.3	24.0±0.0
Others (welding agents, pigments, catalysts, experiments, analysis, etc)	37 (41.6)	-	-	-
Total	89 (100)			

\*None of data.

**Table 4.** Result of work environment measurement with the number of exposure limits exceeded for 5 years

Year	No. of exposure limits exceeded	
	Dichloromethane* (No. of samples)	Trichloromethane <sup>†</sup> (No. of samples)
2018	2 (756)	0 (136)
2019	3 (779)	0 (117)
2020	1 (153)	0 (4)
2021	2 (664)	0 (159)
2022	0 (939)	0 (867)
Total	8 (3,291)	0 (1,283)

\*Time-weighted average for 8 hours (50 ppm).

<sup>†</sup>Time-weighted average for 8 hours (10 ppm).

척공정에서 세척작업(149.2 ppm, 164.7 ppm)이었다. 제공받은 자료를 통해 물질에 따른 취급공정을 분석한 결과, DCM을 많이 취급하는 공정은 세척공정이었고, TCM은 공정이 불분명하였지만 많이 나타난 공정으로는 개발분석 공정으로 나타났다.

#### IV. 고 찰

한국의 전자산업은 빠르게 발전하여 과학기술혁명을 이루었지만, 발전에 따라 사용하는 화학물질 증가 및 빠르게 변화하고 있는 생산 공정, 사용하는 물질의 변화에 따른 산업안전보건관리가 제대로 이루어지고 있지 않다.<sup>7)</sup> 이에 따라 본 연구에서는 빠르게 변화하는 전자산업 작업장에서 대두되고 있는 고위험 물질인 DCM, TCM, TMAH 물질들을 대상으로 전국 작업환경실태조사 자료 및 작업환경측정자료(2018~2022)를 활용하여 노출특성을 평가하였다.

본 연구의 결과에서 고위험 물질인 DCM, TCM, TMAH가 전자산업에서 공통적으로 사용되는 용도는 세척제로 확인되었다(Table 1~3).

정부의 고독성물질 취급 사업장 조사결과에 따르면<sup>9)</sup> 세척작업은 자동 및 반자동 형식의 초음파세척과 작업자가 수동으로 하는 담금(dipping)세척이 대부분을 차지하는 것으로 보고되었다. 세척공정은 제품의 품질과 가치를 향상시키고 피세척물 표면에 남아있는 각종 이물질(기름, 그리스, 먼지 등)을 물리적 또는 화학적 기전을 이용하여 제거시키기 위한 목적으로 우리나라에서 금속·기계, 전기·전자, 정밀기기 및 가공품, 표면처리 및 도금 분야에서 중요한 공정으로 여겨지고 있다.<sup>10)</sup> 전기 및 전자산업에서는 인쇄기판, 반도체 재료 및 부품, 전동기 부품, 금속 가공 부품에 세정작업이 포함된다.<sup>11)</sup>

이전 연구에서 보고된 자료에 따르면, 세척제 공급자와 사용자 간의 입장 차이도 확인하였다. 세척 화학물질을 공급하는 공급자의 입장에서는 법에 접촉하지 않는 범위에서 세척제를

판매하기 위해 세척 화학물질에 대한 정보를 잘 알고 있었던 반면, 세척제를 사용자는 세척제라는 것 외에는 화학물질에 대한 정보를 알지 못하는 것으로 나타나 이에 대한 인식을 가지는 것이 필요한 것으로 나타났다.<sup>9)</sup> 실제로 TCM은 2022년 2월 경남 지역의 두 사업장에서 할로젠 세척제로 인한 급성중독 사고 물질이다. 이 사고는 「중대재해처벌법」이 시행되던 시기여서 사회적 관심도 컸다. 왜냐하면 TCM은 클로로포름으로 잘 알려진 물질로서 할로젠 화합물 중에서도 급성적으로 간 손상을 발생시키는 독성물질이기 때문에, 실험용이나 연구용으로는 사용하지 않지만 세척제로 사용하는 것은 유럽이나 우리나라에서 사례가 없는 일이었기 때문이다.

또 다른 연구<sup>12)</sup>에 따르면 전자산업의 핵심분야라고 할 수 있는 반도체 및 디스플레이 산업에서의 취급되는 DCM, TCM, TMAH를 라인 및 공정별로 나누고 등급을 고위험물질(근로자에게 직업성 암 등 심각한 건강상의 장해를 일으킨다고 알려져 전자산업 내 도입 및 사용을 제한하여야 하는 물질), 유해물질(근로자에게 직업성 암 등 건강상의 장해를 일으킬 수 있어 전자산업 내 도입 및 사용 시 상당한 주의가 필요한 물질), 관리물질(고용노동부 등의 기관에서 인체 발암 가능 물질로 구분하고, GHS분류체계상 구분 2에 해당하는 물질), 일반물질(고위험물질, 유해물질에는 포함되지 않지만 근로자에게 건강상 유해한 물질로 전자산업사업장의 관리가 필요한 물질)로 구분하여 평가하였다. 여기서 고위험 물질은 TMAH가 대부분의 공정에서 취급되었다. DCM은 반도체 웨이퍼 가공라인에서 사용되었고 TCM은 반도체 및 디스플레이 산업에서는 취급된 보고가 없어 최근 반도체 및 디스플레이 산업 공정에서 사용되는지에 대한 조사가 필요하였다. TMAH는 고위험 물질로 분류되어 있어 취급에 대한 주의가 필요하고 작업환경측정 대상 물질에도 포함되어 있지 않아 측정 대상에 포함시켜 노출평가 및 관리가 필요한 것으로 나타났다.<sup>13)</sup>

DCM은 2022년을 제외하고 2018~2021년 작업환경측정결과 모두 노출기준을 초과한 것으로 나타났다(Table 4). DCM은 유럽 화학물질청(European Chemicals Agency, ECHA)의 GHS (Globally Harmonized System) 조화된 분류(harmonized classifications)에서 '발암성 구분2'로 분류되는 물질로 고용노동부와 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 DCM의 8시간 시간가중노출기준(Time Weighted Average, TWA)을 50 ppm으로 제한하고 있는 물질<sup>14)</sup>로 노출수준을 허용 가능한 수준으로 관리하기 위해서는 국소배기장치를 단순히 설치하고 가동하는 것에서 더 나아가 국소배기장치가 적절한 위치와 형식으로 설치되었는지 여부에 대한 판단과 성능 확인을 위한 제어풍속 평가가 반드시 병행되어야 할 것이다.<sup>15)</sup> 해외에서 보고된 연구에 따르면, 미국에서 페인트 제거제 사용으로 인한 DCM 중독 사망사고가 지속적으로 발생함에 따라 기존 규제 전략에 대

한 재평가가 필요하다는 연구가 있고,<sup>16)</sup> 동물을 대상으로 진행된 경구 및 흡입 노출 연구에서 DCM은 간독성이 관찰되었으며, 신경학적인 건강영향도 잠재적으로 확인되었다. 그 외에도 비호지킨 림프종 및 다발성 골수종과의 연관성에 대한 우려도 제기되었다.<sup>17)</sup> DCM은 산업분야에서 뿐만 아니라 학교의 학생과 교사들에게도 영향을 미치는 것으로 보고되었다. DCM이 함유된 아크릴 물감 제거제 사용으로 중독 사고 발생한 것으로 사고발생 장소인 미술실은 부적절한 국소 환기 장치가 부적절하였다. 사고의 주요 원인은 아크릴 물감 제거제 사용 과정에서 학생들이 DCM을 흡입한 것으로 밝혀졌다.<sup>18)</sup>

TMAH는 반도체, 디스플레이 제조 등 전자산업에서 포토공정의 현상액으로 주로 사용되는 물질로, 2.38%의 아주 낮은 농도의 TMAH라도 피부에 접촉될 경우 쉽게 흡수돼 호흡곤란 및 심장 마비를 일으키고 사망까지 이를 수 있게 하는 급성독성물질이다.<sup>19)</sup> 본 연구에서는 작업환경측정대상 물질이 아니어서 정확한 노출수준을 파악할 수 없었지만 전자산업에서 올바른 TMAH 취급을 위해서는 작업의 주체를 확립하고, 공정안전 자료의 최신화 및 비상조치 임무의 숙지 등과 더불어 대체물질의 검토, 적정 보호구 선정과 착용 등과 같은 관련 설비를 갖추는 것이 중요하다.<sup>19)</sup>

본 연구를 바탕으로 DCM, TCM, TMAH와 같은 고위험물질을 포함하여 위해성이 높은 화학물질을 관리하기 위한 다양한 방법들이 있겠지만 본 연구진들이 제시할 수 있는 방안은 다음과 같다. 첫째, 화학물질의 제조/수입 단계에서의 개입이다. 화학물질은 처음 수입 및 제조, 취급, 저장까지 환경부에서 '화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률(화평법)<sup>20)</sup>'에 따라 통제조사를 실시하기 때문에 환경부의 협조가 되지 않으면 사실상 유통정보를 확인할 방법이 없다. 환경부에서도 수입 및 제조되는 화학물질에 대한 정보를 영업비밀의 이유로 개별 화학물질에 대한 정보를 제공하지 않기 때문에 처음 단계부터 이러한 구조적인 문제가 해결되지 않으면 화학물질의 유통 경로 파악은 어렵다. 만약 환경부가 수입 및 제조되는 화학물질에 관한 유통구조를 파악한다고 한다면 '화학물질 고유확인번호 제도'를 도입하는 것이다. 이 제도는 국내에 수입 및 제조되는 화학물질에 대해 식별할 수 있는 고유확인번호를 부여하여 처음부터 마지막 단계까지 추적이 가능하게 하는 것으로 이미 식품과 같은 다른 유통관리 체계에서는 이미 사용 중에 있다.<sup>21)</sup> 2018년 환경부에서 시도했던 제도였지만 산업계의 반발로 무효화되었다. 제도를 실시했을 경우 화학물질로 인한 사고 발생 시 유통경로를 추적하여 그 원인을 찾을 수 있고, 해당 원료물질에 대한 정보를 신속하게 파악할 수 있다. 또한 화학물질 유통경로의 투명성과 거래 공정성을 높일 수 있고, 유해정보를 허위로 표시 및 제품명을 바꿔 유통되는 문제를 막을 수 있을 뿐만 아니라 사용자들에게 알권리를 제공할 수 있다. 둘째, 도·소매 단계에서의 개입이다. 도·소매 단계로 화학물질이 유입

되면 취급하는 대리점이 전국에 약 2만개 정도가 있기 때문에 일일이 찾아가서 취급하는 물질과 사용량 등을 추적하기는 어려움이 있다. 다만, 유통업체들이 화학물질 유해성에 대한 인식을 가지고 올바른 정보와 취급상의 주의 등의 필요한 정보를 사용자에게 줄 수 있도록 지속적인 안전보건 교육이 필요할 것이다. 셋째, 사용자 단계에서의 개입이다. ESG (Environmental, Social, Governance) 경영과 같이 경영자층 단위에서 취급 물질에 대한 안전보건 교육 강조 및 시설투자 지원을 강화할 때 협력업체까지 그 영향이 전달되어 어느 정도 화학물질 취급상의 주의가 이루어질 수 있을 것이다. 최근 기업경영에서 환경보전, 이해관계자 중시, 지배구조 개선 등을 목표로 하는 ESG 경영에 대한 관심이 커지고 있어 이를 활용한 기업의 자율적 안전보건시스템 확산을 위한 정책 실행이 가능하다.<sup>19)</sup> 사용자는 취급하는 화학물질 자체는 유해하고 인체독성이 있어 건강상 영향을 준다는 인식을 가지는 것이 중요하다. 취급업체 역시 사용자가 보다 안전하게 제품을 사용할 수 있도록 보호구 및 환기시설에 대한 관리체계를 갖춰야 할 것이다. 화학물질을 취급 후 폐기하는 단계는 법적으로 규정되어 정립된 가이드라인이 없어 취급업체마다 다 다르다. 일부 업체의 경우 사용한 화학물질을 재사용하는 경우도 있어 최종적인 폐기 및 관리에 대한 체계화된 국내 가이드라인 제공이 필요하다.

DCM, TCM은 주로 세척제로 많이 사용을 하고 있어 사용자 사고 예방을 위해서는 다음과 같은 인식 및 취급주의가 필요하다. 첫째, 세척제는 기본적으로 유해성이 강하므로 충분한 안전보건조치 후 사용해야 하고, 세척제 선정 시 유해성이 낮은 제품을 선정하는 단계를 거치는 과정이 필요하다. 또한 세척공정은 격리된 곳에서 해야 한다. 둘째, 산업안전보건기준에 관한 규칙(제 72조)에 따르면 '국소배기장치의 후드를 유해물질이 발생하는 곳마다 설치해야 하고, 유해인자의 발생형태와 비중, 작업방법 등을 고려하여 해당 물질의 발산원을 제어할 수 있는 구조로 설치해야 한다'고 명시되어 있기 때문에 명시된 기준을 지키는 것이 필요하다. 또한, 화학물질 노출을 최소화 할 수 있도록 작업자별로 방독마스크, 보호장갑 등을 지급하고 착용해야 하며, 세척소에서 발생하는 유해물질 제거에 충분한 성능을 갖춘 국소배기장치를 설치하고 가동시켜야 한다. TMAH는 전자산업(반도체, 디스플레이 제조산업)에서 포토공정(반도체 웨이퍼에 감광 성질을 가진 물질을 도포한후 마스크 패턴을 올려 놓고 자외선 등의 빛을 쬐어 회로패턴을 형성하는 공정)의 현상액으로 주로 사용된다.<sup>15)</sup> TMAH를 직접 취급하거나 노출 위험이 있는 정비보수 작업은 안전모, 내화학 장화 및 장갑, 전면형 마스크 착용이 필수이다. 또한 저장탱크 등 밀폐공간 내 공기를 적정공기 상태로 만들고 유기하기 위해 작업 전과 작업 중에는 반드시 환기를 시켜야 하고, 만일 TMAH에 노출이 되었다면 노출 즉시 탈의 후 세척하고 최대한 빨리 의료기관에서 치료를 받아야 한다. TMAH는 고위험물질이고 지속적으로 사고가 발

생함에도 불구하고 현재 작업환경측정 대상물질에 포함되어 있지 않다. 따라서, TMAH에 대한 노출 및 사고예방을 위해 작업환경측정 대상으로 포함시키는 것이 필요하다.

본 연구는 우리나라 전자산업에서 노출될 수 있는 고위험 물질인 DCM, TCM, TMAH를 작업환경실태조사 자료 및 작업환경측정자료(2018~2022)를 활용하여 노출특성을 평가하였지만 두 가지 제한점이 있다. 첫째, 작업환경실태조사 자료를 활용할 시 전체 전자산업 관련 코드를 적용하지 못하고 주요한 코드 6가지만 적용하여 분석했기 때문에 본 연구의 결과가 전국의 전자산업에서 취급하는 고위험물질을 나타내지 못한다는 것이다. 둘째, 5년간의 작업환경측정자료가 5년 단위로 발표되는 관계로 현재시점의 결과를 반영하지 않는다는 것이다. 셋째, 작업환경측정 결과 자료(Table 4)에서 측정결과 자료가 적어 매년 단위로 끊어서 통계처리를 하지 못한 것이다. 넷째, 노출기준에서 단시간 노출기준(Short-term exposure limit) 자료가 아닌 8시간 가중평균치(Time-weighted average) 기준으로 나타내었기 때문에 급성중독과 물질노출간의 관련성을 설명 못한 것과, 노출기준을 초과한 농도값과 초과한 농도의 공정 또는 직무, 사용한 공장의 산업 등을 설명하지 못한 것이다. 마지막으로 제공된 자료가 비식별화 되어 물질별로 산업별, 시기별, 공정별, 직무별 등으로 구분하여 정밀통계 분석을 진행하지 못한 것과 작업환경측정결과 자료로 급성 중독사고에 대한 연관성을 추정하고 대변하기가 어렵다는 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 지금까지 다루지 못했던 고위험물질인 DCM, TCM, TMAH를 작업환경실태조사 자료 및 작업환경측정자료(2018~2022)를 접목하여 노출특성을 평가하여 취급현황에 대한 정보 및 관리방안을 제시했다는 점에서 의미가 있는 연구이다.

## V. 결 론

본 연구는 우리나라 전자산업에서 노출될 수 있는 고위험물질인 DCM, TCM, TMAH를 작업환경실태조사 자료 및 작업환경측정자료(2018~2022)를 활용하여 노출특성을 평가하여 관리방안을 제시한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고위험 물질 DCM, TCM, TMAH는 전자산업에서 공통적으로 세척제로 가장 많이 사용되었고, 작업환경측정결과에서 DCM이 노출기준을 초과하였다.
2. 고위험 물질의 유통경로를 파악하는 것이 고위험물질 노출을 줄일 수 있는 개입지점으로 이를 위해서는 수입 및 제조단계에서 고유확인번호와 같은 추적 체계를 통한 관리가 필요하였다. 그러기 위해서는 고용노동부와 환경부의 긴밀한 협의 체계가 필요하고 환경부 또한 이러한 시스템의 대한 필요성과 도입 의지가 요구된다.
3. 고위험물질의 유통업체 단계에서는 사업장 경영층의 취

급 화학물질에 대한 올바른 함양 및 관련 지원이 이루어질 때 하위 협력업체에도 취급물질에 대한 인식의 중요성이 전달되어 취급상의 사고는 감축할 수 있을 것으로 사료되었다.

## 감사의 글

본 연구는 2023년 스마트안전보건기술원의 위탁연구 용역사업(2023-786)의 지원을 받아 연구되었다.

## Conflict of Interest

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

## References

1. Park D, Yoon C. Suggestions to improve occupational hygiene activities based on the health problems of semiconductor workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2012; 22(1): 1-8.
2. Nakano M, Omae K, Tanaka A, Hirata M. Possibility of lung cancer risk in indium-exposed workers: an 11-year multicenter cohort study. *J Occup Health.* 2019; 61(3): 251-256.
3. Ha K, Kim H, Ryu H, Shim S, Ahn J, Yoon J, et al. Survey on safety and health of electronics industry and planning for establishment of strategic system. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency. Smart Occupational Safety and Health Technology Institute; 2023 Nov. Report No.: 2023-SOSHTI-786.
4. Jeon Y, Kwon H, Yang J, Yoon J, Kim J, Park Y, et al. A study on the policy plan for the prevention of critical disasters. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2021 Nov. Report No.: 2021-OSHRI-638.
5. Yoon C, Kim SW, Park D, Jung J, Choi S, Ha K, et al. Hazards in semiconductor industry. Seoul: Episteme; 2020.
6. Yoon C, Kim S, Park D, Choi Y, Jo J, Lee K. Chemical use and associated health concerns in the semiconductor manufacturing industry. *Saf Health Work.* 2020; 11(4): 500-508.
7. Son M, Paek D, Park MJ, Lee WK, Lim YH, Kim H, et al. Survey on the health management of electronics industry and preparation of measures to protect workers- centered semiconductor manufacturing. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2018 Nov. Report No.: 2018-OSHRI-823.
8. Kim K, Jeong E, Park S, Kim G, Lee K, Park H, et al. Characteristics of hazardous factors in LCD manufacturing process III. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2016 Nov. Report No.: 2016-OSHRI-770.
9. Choi Y, Kim S, Kim W, Cho J, Lee G, Choi H, et al. Investigation of the impact of changes in chemical regulations related to cleaning agents of metal products and preparation of improvement measures. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2022 Oct. Report No.: 2022-OSHRI-694.
10. Jeong K, Ahn Y, Kim H, Kim C, Kim D, Ahn Y, et al. Establish-

- ment of a health monitoring system and survey on the handling of cleaning agents such as 1,2-dichloropropane. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2017 Nov. Report No.: 2017-OSHRI-1058.
11. Lee S, Kim S, Zoh KE, Hwang YW, Lee KH, Chung KJ, et al. Development of an Occupational Safety and Health (OSH) guide for safely cleaning contaminated machinery, equipment, and parts used in the electronics manufacturing process. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2023; 33(4): 419-426.
  12. Occupational Safety & Health Future Technology Institute. Safety and health model for workers in the semiconductor and display industries. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2020.
  13. Ministry of Employment and Labor (MoEL). Public notice concerning exposure limits for chemicals and physical agents (MoEL Public Notice No. 2018-62). Sejong: Ministry of Employment and Labor; 2018.
  14. Jeong S, Bae G, Lee N. Comparative study of Korean workers' exposure to dichloromethane by process category between work environment monitoring program and ECETOC TRA. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2021; 31(4): 317-330.
  15. Ministry of Employment and Labor (MoEL), Korea Occupational Safety and Health Agency. Tetramethylammonium hydroxide (TMAH) handling guidebook for "prevention of death accidents of workers in electronics industry phenomenon". Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2021.
  16. Macisaac J, Harrison R, Krishnaswami J, McNary J, Suchard J, Boysen-Osborn M, et al. Fatalities due to dichloromethane in paint strippers: a continuing problem. *Am J Ind Med.* 2013; 56(8): 907-910.
  17. Schlosser PM, Bale AS, Gibbons CF, Wilkins A, Cooper GS. Human health effects of dichloromethane: key findings and scientific issues. *Environ Health Perspect.* 2015; 123(2): 114-119.
  18. Zheng X, Zhuang Y, Liang D, Wu N, Wei T, Kang A, et al. Dichloromethane-induced poisoning from acrylic paint cleaner - Shenzhen City, Guangdong Province, China, 2023. *China CDC Wkly.* 2023; 5(43): 966-969.
  19. Moon SG, Kim K. Regulatory policies of toxic chemical substances in Korea: examining Toxic Substances Registration and Evaluation Act. *Ewha Law J.* 2014; 19(2): 249-278.
  20. Food History Management System. Introduction of food history management system. Available: <https://www.tfood.go.kr/tfweb/nis/nis101Content.do> [accessed 13 March 2024].
  21. Park S, Lee H, Oh K, Shin Y, Shin J. A study on the spread of autonomous safety and health system through ESG management. Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency; 2022 Sep. Report No.: 2022-OSHRI-507.

#### 〈저자정보〉

황성호(교수), 함승현(교수), 김형렬(교수),  
 류현철(이사장), 안진수(대표), 윤진하(교수),  
 윤충식(교수), 이나은(교수), 이상만(대표),  
 이재환(팀장), 권세영(연구원), 장재필(센터장),  
 하권철(교수)