

한국 전자산업에서 작업환경측정을 통해 파악된 발암물질들 노출 특성과 발암물질관리 방안: 작업환경측정자료(2013-2017)를 중심으로

손미아 · 윤재원¹ · 황유성² · 박미진³ · 최민서 · 이미영⁴ · 백도명^{5*}

강원대학교 의과대학 · 의학전문대학원 예방의학교실, ¹서울대학교병원, ²강원대학교 의과대학 · 의학전문대학원
의료관리학교실, ³노동환경건강연구소, ⁴산업안전보건연구원, ⁵노동환경건강연구소, 국립암센터,

Exposure of Carcinogens in Electronics Industries and Strategy for Control of Carcinogens: Using Work Environment Measurement Database (2013-2017) in Korea

Mia Son · Jaewon Yun¹ · Yu Seoung Hwang² · Mijin Park³ · MinSeo Choi · Mi-Young Lee⁴ · Domyung Paek^{5*}

Department of Preventive Medicine, College of Medicine · School of Medicine, Kangwon National University

¹Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

²Department of Health Policy and Management, College of Medicine · School of Medicine, Kangwon National University

³Wonjin Institute for Occupational & Environmental Health, Seoul, Korea

⁴Occupational Safety and Health Research Institute

⁵Wonjin Institute for Occupational & Environmental Health, Green-Hospital, Seoul, Korea;

National Cancer Center, Goyang-si, Korea

ABSTRACT


Objectives: The objective of this study is to investigate exposure to occupational carcinogens in the nationwide electronics industries and to establish a strategy for control of occupational carcinogens in South Korea.


Methods: We evaluated occupational carcinogens as defined by International Agency for Research on Cancer (IARC) using a nationwide work environment measurement database on the electronics industry in South Korea measured between 2013 and 2017 in accordance with the Occupational Safety and Health Act.


Results: The number of occupational carcinogens found in the electronics industry in South Korea were: 20 for IARC Group 1, 14 for Group 2A, and 30 for Group 2B. The occupational carcinogens (Group 1) most frequently exposed were strong-inorganic-acid mists containing sulfuric acid (sulfuric acid), welding fumes, mineral oils (untreated or mildly treated), nickel compounds, silica dust, crystalline substances in the form of quartz or cristobalite, formaldehyde, arsenic and inorganic arsenic compounds, chromium (VI) compounds, trichloroethylene, cadmium and cadmium compounds, vinyl chloride, ethylene oxide, wood dust, beryllium and beryllium compounds, 1,3 butadiene, benzene, and others. Among them, the carcinogens (Group 1) exceeding the acceptable standard were trichloroethylene, formaldehyde, and ethylene oxide. The working environment measurement system as regulated by Occupational Safety and Health Act is not properly assessed and managed for occupational carcinogens in South Korea. A component analysis for all materials


*Corresponding author: Domyung Paek, Tel: 02-490-2275, 031-920-0891, E-mail: paekdm@snu.ac.kr
Wonjin Institute for Occupational & Environmental Health, Green-Hospital, Seoul, Korea; National Cancer Center, Goyang-si, Korea


Received: May 27, 2022, Revised: September 25, 2022, Accepted: December 10, 2022


 Mia Son <http://orcid.org/0000-0001-7943-532X>


 Yu Seoung Hwang <http://orcid.org/0000-0001-8934-3533>

 Mi-Young Lee <http://orcid.org/0000-0001-5576-3986>

 Domyung Paek <http://orcid.org/0000-0003-4510-6362>

 Jae-Won Yun <http://orcid.org/0000-0001-8020-7316>

 Mijin Park <http://orcid.org/0000-0003-2449-3965>

 MinSeo Choi <http://orcid.org/0000-0003-3168-3687>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

used should be set up to practically reduce occupational carcinogens. A ban on the use of occupational carcinogens and the development of alternative materials are needed. The occupational carcinogens below the acceptable standards should be carefully examined and a new standard for exposure needs to be established.

Conclusions: The Occupational Safety and Health Act should be improved to identify and monitor occupational carcinogens at work sites. A strategy for occupational safety and health systems should be provided to give direction to workers' needs and right to know.

Key words: Electronics industry, Occupational Safety and Health Act, work environment measurement system, workers' health and safety, occupational carcinogens

I. 서 론

암이 증가할수록 직업성암의 비중이 커지고 있으며, 직업성 발암물질의 중요성이 대두되고 있다. 유럽안전보건기구(European Agency for Safety & Health at Work)는 전 세계에서 전체 암사망의 약 9.6%가 직업성암에 의한 것으로 보고하고 있다(Takala, 2015). 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 2022년에 Group 1 발암물질 122개, Group 2A 발암물질 93개, Group 2B 발암물질 319개를 보고하고 있으며(IARC 2022), Loomis et al.(2018)은 국제암연구소의 Group 1 발암물질들 중에서 47개를 직업성발암물질로 제안하고 있다(Loomis et al., 2018).

이렇게 전세계 발암물질 중에서 직업적 발암물질의 중요성이 증대하는데 비해서 실제 산업별로 직업적 발암물질 노출연구가 많이 이루어지고 있지 못하다(Ledda, 2021). 직업성발암물질의 노출에 대한 연구가 전 세계적으로 차원에서 이루어지고 있지 못하고 있다. 특히 직업과 산업의 차원에서 국제암연구소 1군 발암물질과 같이 국제적 기준에서 중요한 발암물질들의 노출을 평가하기 위해 더 많은 연구가 필요하다.

전자산업의 경우, 반도체 제조업에서도 많은 발암물질이 사용되고 있지만, 발암물질에 대한 파악 및 발생 가능한 위험을 파악하기 위한 역학적인 연구가 많이 진행되지 못하고 있다(LaDou & Bailar, 2007; Yoon et al., 2020a, 2020b; Watterson & Ladou, 2013). 1970~1980년대에 미국, 유럽 등 반도체 초창기에 중요한 역할을 했던 반도체 제조 사업장들에서 인체에 대한 유해성이 크게 대두되자, 반도체제조과정에서 사용하는 유해물질 및 발암물질이 노동자들에게 미치는 영향에 대한 연구가 진행되기도 전에 반도체 제조기술이 한국, 대만, 아시아 지역으로 이동하였고, 지금까지도 반도체 제조업에서 발암물질에 대한 연구가 많이 진행

되지 못하고 있다(Yoon et al., 2012; Watterson & Ladou, 2013).

또한 최근 산업의 발달로 전자산업에서 기존에 알려진 발암물질 외에도 새롭게 발암물질들이 등장하고 있는데, 이러한 새롭게 부상하는 발암물질에 대해서 작업환경측정 및 관리에 고려하고 있지 못하고 있다. 몇가지 예를 들면, 전자산업 혹은 반도체 공정에서 보고되는 건강문제로서 인디움에 노출된 작업자의 폐암, 그리고 반도체 공정의 역학조사에서 지속적으로 보고되는 뇌암 등이 문제가 되는데(Nakano et al., 2019; Tsao et al., 2021), 폐암을 야기하는 인디움이나 뇌암을 야기할 수 있는 전자기파는 현재 작업환경측정대상에 포함되어 있지 않다.

한국의 경우, 작업환경실태조사, 화학물질유통량조사, 작업환경측정, 특수검진 등을 통해서 부분적으로 화학물질을 파악해왔으나, 전 국가적인 차원에서나 전 산업의 차원에서 국제적 기준에 따른 발암물질(예: 국제암연구소 1군 발암물질)의 노출 정도를 파악하고 이에 대한 평가를 하는 방법을 도입하지 못하고 있다.

그동안 한국에서 작업현장에서 한국산업안전보건법에 명시된 '작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])'를 측정해왔는데, 이들 '작업환경측정 대상 유해인자'들 중에서 발암물질들의 노출 특성에 대해 연구조사가 많이 이루어지지 못하고 있다. 특히 발암물질들의 노출 기준이 초과되는 작업 공정, 생산품 등에 대한 연구가 이루어지지 못하고 있다.

최근 연구들로 볼 때, 한국에서는 이미 반도체 제조업에서는 화학물질 사용 정도가 현재의 작업환경측정대상물질의 범위를 훨씬 넘어서고 있는 것으로 보인다. 한국에서 전자산업에 속하는 반도체 제조업의 경우만 보더라도, 두 개의 반도체 제조업에서 428,432개의 화학물질과 47개의 발암물질(Kim et al., 2018), 11개 반도체제조업에서 210개의 화학물질(Yoon et al.,

2020)이 보고되고 있어서 한국의 전체 산업, 또는 전자 산업이나 반도체 제조업을 총괄해서 화학물질 사용과 발암물질 노출에 대한 정보는 파악되지 못하고 있는 실정이다.

이렇게 볼 때, 한국에서 전 국가적인 차원에서 반도체 제조업을 포함하여 전자산업에서 부상하고 있는 화학물질들에서 발암물질을 파악해내고, 이 발암물질들에 대한 관리방안을 마련하는 것이 시급한 과제이다.

그러므로 이 연구의 목적은 한국산업안전보건법에서 규정하고 있는 작업환경측정제도를 통해 측정된 한국 전자산업 작업환경측정자료를 이용하여, 측정된 ‘작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련)(산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])’들 중에서 발암물질을 확인하고, 노출 기준을 초과하는 발암물질들의 노출 특성(작업 공정, 생산되는 생상품)을 분석하는 것이다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

이 연구는 한국의 산업안전보건법의 작업환경측정제도에 따라 측정되어 보고된 산업안전보건공단 K2B 작업환경측정자료(2013~2017년)를 이용하였다. 한국의 전자산업을 분류하기 위해 한국표준산업분류 중분류(10차 표준산업분류)를 이용해서 다음과 같이 분류해서 산업별 집단을 나누었다. 제10차 표준산업분류에서 전자산업을 분류하기 위해 대분류 C 제조업(10~34), 중분류 26 전자 부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 27 의료, 정밀, 광학 기기 및 시계 제조업, 28 전기장비 제조업, 소분류 261~266, 271~274, 282~289를 대상으로 하였다. 표준산업분류 소분류코드는 다음과 같다(Ministry of Government. Legislation National Law Information Center. 2022).

- 261: 반도체 제조업,
- 262: 전자 부품 제조업,
- 263: 컴퓨터 및 주변 장치 제조업,
- 264: 통신 및 방송장비 제조업,
- 265: 영상 및 음향기기 제조업,
- 266: 마그네틱 및 광학 매체 제조업,
- 271: 의료용 기기 제조업,
- 272: 측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀 기기 제조업; 광학 기기 제외,

- 273: 사진장비 및 광학 기기 제조업,
- 274: 시계 및 시계 부품 제조업,
- 281: 전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업,
- 282: 일차전지 및 축전지 제조업
- 283: 절연선 및 케이블 제조업,
- 284: 전구 및 조명장치 제조업,
- 285: 가정용 기기 제조업,
- 289: 기타 전기장비 제조업

2. 연구 방법

이 연구에서 발암물질 분류방법을 보면, 산업안전보건공단 작업환경측정자료에는 측정한 모든 물질들이 산업안전공단에서 자체적으로 사용하고 있는 ‘유해인자코드’를 중심으로 분류되어 있기 때문에 유해인자코드에 카스 번호(CAS No)를 연결하여 카스번호에 의해 국제암연구소의 발암물질목록(Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-131)을 이용하여 발암물질을 확인하였다 (IARC, 2022). 어떤 물질들은 그 물질의 세부적인 특징에 따라 여러 개의 유해인자코드로 세분화되어 있는 경우도 있었다(예: 산화규소). 그래서 이 연구에서는 한 개의 물질이 여러 개의 유해인자코드를 가지고 있는 점을 고려해서 물질들의 카스 번호가 있는 경우에는 카스 번호를 이용했고, 카스 번호가 없는 경우에는 따로 모아서 유해인자코드 다시 정렬한 후에 최종적으로 직접 눈으로 물질명을 확인해서 측정된 물질들의 발암성 여부를 확인했다. 국제암연구소에서 규정한 발암물질들 중에도 카스 번호가 없는 경우들이 있기 때문에(예: 용접흄 등), 이러한 물질들은 따로 유해인자코드, 유해인자명을 이용해서 발암물질을 확인했다.

이 연구는 한국산업안전보건법에 명시된 ‘작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련)(산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])’을 주로 측정한 작업환경측정자료(한국산업안전보건공단, 2013-2017)에서 발암성(IARC, Group 1, Group 2A, Group 2B)을 확인했고, “작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련)(산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])”중에서 국제암연구소가 규정하는 발암물질을 확인하여 실제 작업환경측정자료에서 이 “작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련)”중 발암물질을 확인하여 이 연구의 원시자료인 2013~2017 전자산업 작업환경측정자료에서 측정된 발

암물질과 비교하였다. 한국의 전자산업에서 2013-2017년까지 측정한 작업환경측정값들을 각 물질별로 측정건수, 노출된 작업장의 총 작업자수, 단위 사업장 작업자수, 작업장 개수 등을 구하였다. 이들 작업환경측정된 물질들 중에서 국제암연구소가 규정한 발암물질(IARC Group 1, Group 2A, Group 2B)이 어느 정도 포함되어 있으며, 이 발암물질들 중에 가장 측정된 빈도가 높은 발암물질들과 노출수준을 넘는 발암물질들을 파악하였다.

이 연구에서는 작업환경측정값인 측정치를 노출기준으로 나눈 값은 노출수준으로 정의하였고, 이 노출수준을 100% 초과하는 발암물질들, 노출기준의 10% 이상 노출을 보이는 발암물질들을 분류하여 이 발암물질들의 표준산업분류(소분류), 작업공정, 단위작업공정, 생상품 등을 파악하였다.

III. 결 과

1. 한국의 전자산업 작업환경측정결과: 전체 및 산업 소분류별 측정된 발암물질 갯수와 측정빈도

이 연구는 한국의 전자산업에서 5년간(2013~2017) 측정한 작업환경측정자료를 이용하여 전체 작업환경측정자료에서 국제암연구소 정의에 의한 발암물질의 종류를 파악하였다(Table 1).

한국의 산업안전보건법에서 규정하고 있는 '산업안전보건법 시행규칙 [별표 2]의 작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련)' 190개 중에서 국제암연구소에서 규정한 발암물질 개수가 총 64개 (IARC Group 1 20개, Group 2A 14개, Group 2B 30개)였다. 즉 국

제암연구소에서 규정한 Group 1 발암물질이 총 122개 인데 비교하여 '작업환경측정대상 유해인자' 190개 중에서 20개, Group 2A의 경우 93개에 비교하여 14개, Group 2B의 경우 319개에 비교하여 30개이었다 (Table 1, Supplementary Table 1).

산업안전보건법에 명시된 '산업안전보건법 시행규칙 [별표 2]의 작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련)'중에서 국제암연구소에서 규정한 Group 1 발암물질 20개에 대한 물질명은 1,2-디클로로프로판, 벤젠, 1,3-부타디엔, 트리클로로에틸렌, 펜타클로로페놀, 포름알데히드, 니켈 및 그 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 6가크롬 화합물, 황산, 산화에틸렌, 베릴륨 및 그 화합물, 비소 및 그 무기화합물, 염화비닐, 콜타르피치 휘발물, 금속가공유, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 목본진, 석면, 용접흙이다.

각 산업별 산업안전보건법 시행규칙 [별표 2]의 작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련)와 이 연구의 원시자료인 작업환경측정자료에서 발암물질 대상물질 개수를 비교해 볼 때, 각 산업별로 약 10개 정도 밖에 차이가 나지 않아서 대부분 전자산업 사업장에서는 한국산업안전보건법에서 규정한 작업환경측정대상물질을 중심으로 작업환경측정을 하고 있는 것이 확인되었다.

한국의 전자산업에서 2013~2017년 동안 작업환경측정이 된 국제암연구소 발암물질(IARC Group1, Group 2A, Group 2B)들의 발암물질 종류와 산업별 측정 건수를 보기 위해서 제10차 표준산업분류(소분류)로 집단화해서 각 전자산업 소분류 산업에서 측정된 발암물질과 발암물질 측정 빈도를 보면, Group 1 발암물

Table 1. The IARC Carcinogens in the substances measured in the working environment (2013-2017) in the Korean electronics industries

	IARC G1	IARC G2A	IARC G2B	IARC G3	No Carcinogens
No of carcinogens in the substances measured in the working environment (2013-2017) in the Korean electronics industries in this study	20	14	30	27	
Frequencies of substances measured in the working environment (2013-2017) in the Korean electronics industries in this study	99,473 (13.06)	10,099 (1.33)	67,416 (8.86)	153,988 (20.24)	429,674 (56.49)
No of carcinogens in the working environment measurement target substances(190) in the Occupational Safety and Health Act in Korea	20	15	30	29	
IARC carcinogens (2022)	122	93	319	501	

Table 2. The numbers frequencies the substances of the measured in the working environment (2013–2017) according to Standard industry classification (10th) in the Korean electronics industries in Korea

unit: No of measured (N, %)

KSIC	No carcinogens	IARC Group1	ARC Group 2A	ARC Group2B	ARC Group3	Total
261	97,965(64.62)	15,290(10.09)	726(0.48)	8,280(5.46)	29,330(19.35)	151,591(100)
262	184,967(57.23)	39,457(12.21)	5,064(1.57)	23,733(7.34)	69,999(21.66)	323,220(100)
263	3,043(64.01)	327(6.88)	72(1.51)	568(11.95)	744(15.65)	4,754(100)
264	13,810(52.88)	2,564(9.82)	186(0.71)	3,492(13.37)	6,063(23.22)	26,115(100)
265	25,024(68.26)	1,847(5.04)	579(1.58)	2,613(7.13)	6,597(18)	36,660(100)
266	1,303(55.8)	194(8.31)	118(5.05)	338(14.48)	382(16.36)	2,335(100)
271	1,303(55.8)	194(8.31)	118(5.05)	338(14.48)	382(16.36)	21,738(100)
272	10,507(48.33)	4,285(19.71)	561(2.58)	2,098(9.65)	4,287(19.72)	19,115(100)
273	8,301(43.43)	3,835(20.06)	159(0.83)	2,846(14.89)	3,974(20.79)	11,821(100)
274	7,826(66.2)	1,554(13.15)	91(0.77)	973(8.23)	1,377(11.65)	1,184(100)
281	628(53.04)	207(17.48)	22(1.86)	203(17.15)	124(10.47)	63,284(100)
282	29,826(47.13)	11,847(18.72)	746(1.18)	7,522(11.89)	13,343(21.08)	16,500(100)
283	7,524(45.6)	2,496(15.13)	534(3.24)	4,225(25.61)	1,721(10.43)	15,670(100)
284	9,478(60.49)	1,951(12.45)	110(0.7)	2,084(13.3)	2,047(13.06)	11,724(100)
285	5,489(46.82)	1,923(16.4)	118(1.01)	1,694(14.45)	2,500(21.32)	21,560(100)
289	9,525(44.18)	4,993(23.16)	360(1.67)	1,864(8.65)	4,818(22.35)	33,379(100)
Total	14,458(43.31)	6,703(20.08)	653(1.96)	4,883(14.63)	6,682(20.02)	760,650(100)

Korean Standard industry classification

261 semiconductor manufacturing

262 Electronic component manufacturing

263 computer and peripheral manufacturing

264 Communications and broadcasting equipment manufacturing

265 manufacturing of video and sound equipment

266 Magnetic and optical media manufacturing

271 Medical device manufacturing

272 Manufacture of measuring, testing, navigation, control and other precision instruments; excluding optical instruments

273 Photographic equipment and optical equipment manufacturing

274 watch and watch parts manufacturing

281 the manufacture of electric motors, generators and

282 electrical conversion, supply and control devices

283 primary battery and storage battery manufacturing

284 Insulation wire and cable manufacturing

285 manufacturing of light bulbs and lighting equipment home appliance manufacturing

289 other electrical equipment manufacturing

the entire electronics industry

질의 비중이 높은 제조업들을 기타 전기장비 제조업 (289), 사진장비 및 광학 기기 제조업(273), 측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀 기기 제조업(272), 일차전지 및 축전지 제조업(282), 절연선 및 케이블 제조업, (283), 시계 및 시계 부품 제조업(274), 전구 및 조명장치 제조업(284), 전자 부품 제조업(262), 반도체 제조업 (261) 등이다.

2. 한국 전자산업 작업환경측정자료(2013–2017)에서 파악된 국제암연구소 발암물질들의 특징: 측정빈도, 총 노동자수, 단위 노동자수, 사업장수

한국 전자산업에서 최근 5년(2013~2017년) 동안 측정된 작업환경측정제도에 의해서 측정된 모든 물질들 중에서 국제암연구소에서 규정한 Group 1 발암물질 20개를 보면, 1,2-디클로로프로판, 벤젠, 1,3-부타디

엔, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 니켈 및 그 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 6가크롬 화합물, 황산, 산화 에틸렌, 베릴륨 및 그 화합물, 비소 및 그 무기화합물, 염화비닐, 콜타르피치 휘발물, 금속가공유, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 목분진, 석면, 용접흄, 스트론튬염 크로메이트(strontium-90, fission products)로 총 20개이다(Table 3). 이 중에서 strontium-90(fission products)은 작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련) 190개에 속해 있지는 않지만, ‘작업환경측정자료(2013~2017)’에 속해있는 물질로 국제암연구소 Group 1 발암물질이다.

또한 전체 전자산업에서 작업측정된 물질 중에서 가장 많이 측정된 국제암연구소 Group 2A 발암물질은 14개로 가장 많이 측정된 빈도순으로 보면 코발트 및 그 무기화합물, 유리섬유, 안티몬 및 그 화합물, 디클로로메탄(이염화메틸렌), 스티렌, 디메틸포름아미드, 1,1,1-트리클로로에탄, 하이드라진, 실리콘카바이드, 테트라클로로에틸렌(퍼클로로에틸렌), 아크릴아미드, 아닐린과 그 동족체, 에피클로로하이드린, 2,3-에폭시-1-프로판

올(glycidol) 등이다.

가장 많이 측정된 국제암연구소 Group 2B 발암물질들은 30개로 납 및 그 무기화합물, 이산화 티타늄, 디에탄올아민, 니켈, 삼산화안티몬, 카본 블랙, 1-브로모프로판, 디에탄올아민, 톨루엔 디이소시아네이트, 1,4-디옥산 등이다. 한편, 작업환경측정이 된 IARC Group 2B 발암물질들 중에서 산업안전보건법에 규정된 작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련) 190개에 속하지 않은 물질들은 니트로벤젠, 나프탈렌, 카본블랙, 카테콜이다(Table 3).

이 연구에서 실제 작업장의 작업환경측정을 실시한 후에 획득한 자료인 ‘작업환경측정자료(2013~2017)’에서 국제암연구소 규정 발암물질들을 확인한 결과와 산업안전보건법 시행규칙 [별표 2]의 ‘작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련) 190개 목록에서 국제암연구소에서 규정한 발암물질들을 확인한 결과, 이 연구에서 분석한 ‘작업환경측정자료(2013~2017)’에서 측정된 물질들이 주로 산업안전보건법 시행규칙 [별표 2]의 작업환경측정대상 유해인자(제186조제1항 관련)를

Table 3. The IARC carcinogens in the substances measured in the working environment (2013~2017) in the electronics industries in Korea

IARC Classification Agent	CAS numbers	Frequencies measured	Total workers in the industries	The workers in the work process	The number of industries
Group 1					
1,2-Dichloropropane	78-87-5	6	72	6	3
1,3-Butadiene	106-99-0	153	340,208	587	22
Arsenic and inorganic arsenic compounds	7440-38-2	3,096	56,864,838	5,593	74
Asbestos (all forms, including actinolite, amosite, anthophyllite)	1332-21-4	6	306	26	2
Benzene	71-43-2	71	76,156	483	11
Beryllium and beryllium compounds	7440-41-7	237	1,086,644	112	17
Cadmium and cadmium compounds	7440-43-9	808	533,530	1,608	109
Chromium (VI) compounds	13530-65-9	3,073	226,740	9,745	527
Coal-tar pitch	65996-93-2	35	14,973	162	7
Ethylene oxide	7429-90-5	567	552,984	748	66
Formaldehyde	50-00-0	3,989	6,434,339	16,458	264
Mineral oils, untreated or mildly treated		16,946	9,898,402	81,034	2,001
Nickel compounds		11,843	11,336,582	47,073	1,192
Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite	4808-60-7	11,703	7671,491	27,851	719
Strong-inorganic-acid mists containing sulfuric acid (see Acid mist, strong inorganic)		29,504	135,721,909	108,124	2,942
Strontium-90 (see Fission products)		2	8,982	12	1
Trichloroethylene	79-01-06	2,887	275,709	5,789	557
Vinyl chloride	75-01-04	597	31,983	1,928	67
Welding fumes		20,449	16,443,023	65,776	1,439
Wood dust		420	93,601	1,221	79
Total		106,392	247,612,472	374,336	10,099

Table 3. Continued

IARC Classification Agent	CAS numbers	Frequencies measured	Total workers in the industries	The workers in the work process	The number of industries
Group 2A					
1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	345	164,639	2,665	62
Acrylamide	79-06-01	48	121,655	71	8
Aniline (see also Aniline hydrochloride)	62-53-3	36	61,802	45	7
Antimony trioxide, see Trivalent antimony (2A)	1309-64-4	2,008	1,381,214	14,567	215
Art glass containers and pressed ware (manufacture of)		2,932	7,266,032	13,818	225
Dichloromethane (Methylene chloride)	75-09-02	1,633	1,030,357	7,022	331
Epichlorohydrin	106-89-8	28	8,134	83	7
Glycidol	556-52-5	6	588	26	1
Hydrazine	302-01-2	218	1,770,347	721	18
N,N-Dimethylformamide	68-12-02	478	747,465	2,325	70
Silicon carbide whiskers	409-21-2	80	14,162	181	5
Styrene	100-42-5	455	214,489	1,618	89
Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)	127-18-4	51	102,077	69	7
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungsten carbide)	7440-48-4	3,783	8,122,775	19,809	295
Total		12,101	21,005,736	63,020	1,340
Group 2B					
1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5	3	510	3	1
1,2-Dichloroethane	107-06-2	13	4,564	41	4
1,4-Dioxane	123-91-1	347	9,661,436	561	16
1-Bromopropane	106-94-5	981	290,458	3,273	129
3,3'-Dimethoxybenzidine (ortho-Dianisidine)	119-90-4	4	294		1
Acetaldehyde	75-07-0	19	79,705	25	6
Acrylonitrile	107-13-1	87	54,715	401	16
Bitumens, occupational exposure to straight-run bitumens and their emissions during road paving		44	12,552	214	5
Carbon black	1333-86-4	1,342	3,396,487	4,127	117
Carbon tetrachloride	56-23-5	35	38,774	403	2
Catechol	120-80-9	8	61,552		1
Chloroform	67-66-3	108	159,271	234	21
Diethanolamine	111-42-2 67-66-3	9,876	46,599,890	40,984	688
Ethyl acrylate	140-88-5	8	1,962	20	2
Ethylbenzene	100-41-4	218	301,849	691	61
Isophorone	78-59-1	2	400		1
Lead	7439-92-1	28,256	12,093,512	117,048	2,633
Methyl isobutyl ketone	108-10-1	297	40,458	801	73
N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	1,180	6,763,908	15,754	53
Naphthalene	91-20-3	3	10,812	7	2
Nickel, metallic	7440-02-0	5,404	21,554,209	21,606	740
Nitrobenzene	98-95-3	16	45,768	28	5
Nitromethane	75-52-5	22	45,780	81	7
Propylene oxide	75-56-9	28	14,255	290	6
Pyridine	110-86-1	865	17,087,462	2,819	25
Tetrahydrofuran	109-99-9	168	423,720	388	40
Titanium dioxide	13463-67-7	14,736	24,623,980	61,451	1,467
Toluene 2,4 diisocyanate	584-84-9 26471-62-5	690	228,656	1,949	123
Vanadium pentoxide	1314-62-1	495	2,430,591	1,509	24
Vinyl acetate	108-05-4	149	310,913	1,124	34
Total		65,404	147,581,443	275,832	6,303

중심으로 작업환경측정이 되어 있었지만, 일부 몇 개의 발암물질이 추가로 작업환경측정되고 있는 것을 확인하였다(Table 3).

3. 한국 전자산업 작업환경측정자료(2013-2017)에서 파악된 국제암연구소 발암물질들 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들

이 연구는 한국 전자산업에서 최근 5년(2013~2017)년 동안 작업환경측정결과, 작업환경 측정된 국제암연구소 발암물질들 중에서 노출수준을 100% 초과하는 발암물질들의 CAS 번호, 표준산업분류, 생산품, 작업공정, 단위공정어름, 측정값, 노출기준, 노출수준을 정리하였다(Table 4).

한국 전자산업에서 측정된 작업환경측정된 국제암연구소 Group 1 발암물질 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들은 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 황산, 산화 에틸렌, 금속가공유, 규산 (석영, 크리스토팔라이트), 용접흙 등이 있다.

작업환경측정된 Group 1 발암물질들 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들의 공정을 보면, 트리클로로에틸렌의 경우, 주로 전자부품제조업(표준산업분류 (소) 262)과 의료기기제조업(표준산업분류 (소) 271) 공정의 세척라인에서 노출기준을 100% 초과하고 있다. 예를 들면, 통신부품, 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)부품, 전자부품 등의 공정의 세척라인에서 최대 측정값이 10~96.36 ppm까지 측정되고 있다 (TCE 노출기준: 10 ppm). 또한 플라스마 디스플레이 패널(plasma display panel, PDP) 케이스 도장 공정의 TCE 탈지 라인에서 96.36 ppm정도로 매우 높았다 (TCE 노출기준: 50 ppm*) (*참고: 한국에서 트리클로로에틸렌의 기준이 2016년 2월에 이미 50 ppm에서 10 ppm으로 조정되었지만, 이 논문에서 분석한 작업환경측정결과자료는 2013~2017년 자료이므로, 50 ppm과 10 ppm이 공존하고 있다. 결론적으로, 한국에서 TCE 노출기준을 10 ppm으로 보면 된다.). 반도체 부품의 표면실장기술(surface mount technology, SMT)라인의 경우에도 측정값이 기준치를 넘지는 않지만 거의 기준치에 가까운 값으로 높은 측정값을 보이고 있다.

포름알데히드의 경우 주로 전자부품제조업(표준산업분류(소) 262) 공정의 인쇄회로기판 생산과정에서 노출기준을 100% 초과하고 있다.

황산의 경우 전자부품제조업(표준산업분류(소) 262)의 연성회로기판(flexible printed circuit board, FPCB) 에칭 공정에서 노출기준을 100% 초과하고 있다.

산화 에틸렌의 경우, 의료용기기제조업(표준산업분류 (소) 271) 멸균공정에서 노출수준을 100% 초과하고 있다. 이 산화에틸렌의 측정값이 노출기준보다 훨씬 높아서 100%에서 1464.25%에 달하고 있다(예: 노출기준 0.8 ppm에 비해 11.72 ppm이 측정됨.).

또한 금속가공유의 경우에도 전자제품부품, 휴대전화 부품, 풍력발전기 등에서 측정값이 노출수준의 100%를 초과하고 있으며, 반도체정비부품가공 공장의 머시닝센터(machining center tool, MCT)공정의 경우에는 최대 측정값이 기준치를 넘지는 않으나 기준치에 근접하게 높다(기준치가 0.6 mg/m²에 비해 0.36 mg/m²).

규산 (석영, 크리스토팔라이트)의 경우 건설과정(보강토), 금속구조제품의 용접·사상공정에서 측정값이 기준 값보다 높다.

용접흙의 경우에는 용접/사상공정에서 노출기준을 100% 초과했다.

한국 전자산업에서 국제암연구소 2A 발암물질 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들은 디클로로메탄, 테트라클로로에틸렌(퍼클로로에틸렌), 코발트 및 그 무기화합물이다.

작업환경측정된 Group 2A 발암물질들 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들의 공정을 보면, 코발트 및 그 무기화합물의 경우, 마그네틱 및 광학 매체 제조업(표준산업분류(소) 266)에서 노출기준을 3~10배 이상 초과하고 있다.

또한 디클로로메탄과 1-브로모프로판이 전자부품제조업(표준산업분류(소) 262)의 세척 및 세정공정에서 노출기준을 100% 이상 초과하고 있다.

한국 전자산업에서 국제암연구소 2B 발암물질 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들은 납, N, N-디메틸아세트아미드, 1-브로모프로판, 클로로포름 등이다.

작업환경측정된 Group 2B 발암물질들 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들의 공정을 보면, 일차전지 및 축전지제조업(표준산업분류(소) 282)와 전자부품제조업 (표준산업분류(소) 262)에서 납 및 그 무기화합물의 측정치가 노출기준을 1~4배 이상 초과하고 있다.

전자부품제조업의 핸드폰 제조공정에서는 1-브로모

프로판이 세척작업에 사용되고 있으며, 나노멤브레인(nanomembrane) 작업에서는 N, N-디메틸아세트아미드의 노출이 기준을 초과하고 있다.

또한 클로로포름의 경우 구리 호일 적층판(copper foil laminate) 작업에서 노출기준을 초과하고 있다(Table 4).

Table 4. Occupational Carcinogen exceed 100% of the Exposure Criteria in the Korean electronic industry: Working environment measurement data, 2013–2017

IARC agent	CAS No	KSIC	Products	Working process	Site work process	Measured value	Occupational Exposure Limit (OEL)	Exposure compared to OEL (% of OEL)	Unit
IIARC Group1									
Trichloroethylene	1979-01-06	282	Electronic component capacitors	Cleaning	Cleaning TCE	57.277	50	114.55	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	PDP case painting	TCE skimming	TCE skimming	96.364	50	192.73	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Automotive parts, telecommunications parts	CNC machining and cleaning	CNC machining and cleaning	17.792	10	177.92	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Automotive parts, telecommunications parts	CNC machining and cleaning	CNC machining and cleaning	18.007	10	180.07	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	271	Implant material	cleaning(1F)	Cleaning TCE	27.883	10	278.83	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Manufacture of electronic components(etc.)	Assembling AL	DRYCON (Assembling AL)	13.699	8	171.24	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	264	Other communications equipment and components	Cleaning TCE	Cleaning	17.454	10	174.54	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Printer components, semiconductor components	Press/Washing	Press/Washing	8.645	8	108.06	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	271	Implant material	Cleaning(1F)	Cleaning TCE	16.013	10	160.13	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	271	Disposable syringe	Cleaning	Cleaning - Unit C	10.767	10	107.67	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	271	Disposable syringe	Cleaning	Cleaning - Unit C	14.289	10	142.89	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Communication component processing	Cleaning TCE	Cleaning TCE	16.653	10	166.53	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	271	Dental equipment manufacturing	post-processing room	cleaning TCE (post-processing room)	18.381	10	183.81	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Other than electronic components	Cleaning	Lathe processing	12.874	10	128.74	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Other than electronic components	Cleaning	Lathe processing	10.827	10	108.27	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Electronic components	Final inspection	Final inspection - Insert	9.390	8	117.38	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	271	Disposable syringe	Cleaning	Cleaning - Unit C	11.243	10	112.43	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Communication component processing	Cleaning TCE	Cleaning TCE	48.236	20	241.18	ppm
Trichloroethylene	1979-01-06	262	Communication component processing	Cleaning TCE	Cleaning TCE	33.661	25	134.64	ppm
Formaldehyde	50-00-0	262	PCB	Unit Chemical	Unit Chemical	0.660	0.33	200.12	ppm
Formaldehyde	50-00-0	262	PCB	Unit Chemical(1F)	Unit Chemical(1F)	0.415	0.33	125.70	ppm
Formaldehyde	50-00-0	262	FPCB	Etching(2F)	Etching(2F)	0.156	0.1333	117.03	mg/m ³
Ethylene oxide	75-21-8	271	Syringe	Sterilization room - Unit 1(1F)	Etc.	1.428	1	142.80	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices (injection set, intravascular tube catheter)	Sterilization	Sterilization	6.269	1	626.94	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	2.477	1	247.66	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	1.305	1	130.50	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Manufacture of other medical devices	EO gas sterilizer	Sterilization	1.046	1	104.60	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	2.740	1	274.02	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	2.821	1	282.09	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	1.394	1	139.39	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	2.909	1	290.87	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Dental needle	Sterilization	Sterilization	3.578	0.8	447.30	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Dental needle	Sterilization	Sterilization	11.714	0.8	1464.25	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	4.000	1	400.02	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Medical devices, medical equipment	Sterilization	Sterilization	2.486	1	248.57	ppm
		271	Dental needle	Sterilization	Sterilization	3.767	1	376.69	ppm
Ethylene oxide	75-21-8	271	Disposable syringe	Sterilization room	Sterilization room - Unit A/D	1.078	1	107.84	ppm

Table 4. Continued

IARC agent	CAS No	KSIC	Products	Working process	Site work process	Measured value	Occupational Exposure Limit (OEL)	Exposure compared to OEL (% of OEL)	Unit
Mineral Oils		262	Electronics components	Press	ProgressiveLine	1.011	0.8	126.32	mg/m ³
Mineral Oils		262	Mobile phone components	MCT Processing(1F)	MCT Processing	0.707	0.64	110.48	mg/m ³
Mineral Oils		281	Wind power generator	External internal diameter (grinding)	External internal diameter (grinding)	0.926	0.64	144.66	mg/m ³
Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite		281	Other transformers and components	Molding, grinding	Other processes	0.055	0.05	110.00	
Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite		289	Construction industry	Reinforced earth block construction	Other processes (Reinforced earth block construction)	0.128	0.0444	287.39	mg/m ³
Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite		289	Construction industry	Reinforced earth block construction	Other processes (Reinforced earth block construction)	0.520	0.0444	1171.85	mg/m ³
Welding Humes		289	Electric control panel, plant (injection molding machine)	Welding and Grinding	Welding and Grinding	13.886	5	277.71	mg/m ³
Welding Humes		289	Electrical panels and frames	Welding and Grinding	Welding and Grinding	10.719	5	214.38	mg/m ³
Welding Humes		289	Metal casting products, industrial electronic devices	Welding and Grinding	Welding and Grinding	14.370	5	287.39	mg/m ³
Welding Humes		289	Metal casting products, industrial electronic devices	Project Welding	Project Welding	7.781	5	155.62	mg/m ³
Welding Humes		289	Metal casting products, industrial electronic devices	Welding and Grinding	Welding and Grinding	15.741	5	314.81	mg/m ³
Welding Humes		289	Environmental equipment, industrial electronic equipment	Cutting/Welding	Cutting/Welding	7.472	5	149.43	mg/m ³
IIARC Group 2A									
Dichloromethane (Methylene chloride)	1975-09-02	262	Molds, electronic components	Skimming	Etc.	55.709	50	111.42	ppm
Dichloromethane (Methylene chloride)	1975-09-02	262	OPC drum	Cleaning	Cleaning organic solvents	57.908	50	115.82	ppm
Dichloromethane (Methylene chloride)	1975-09-02	285	Heat exchanger	Cleaning	Cleaning	72.135	50	144.27	ppm
Dichloromethane (Methylene chloride)	1975-09-02	262	Electronic components	Cleaning	Cleaning room	60.158	44.4444	135.36	ppm
Dichloromethane (Methylene chloride)	1975-09-02	262	Valve parts	Cleaning/Inspecting	Cleaning/Inspecting	75.488	50	150.98	ppm
Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)	127-18-4	262	Electronic components	Cleaning(PCE)	Cleaning(Other)	40.521	25	162.08	ppm
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO-QA	Quality Innovation Team(LCO QA)	0.027	0.02	135.00	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO Producing	Battery Material Production Team (LCO Producing)	0.119	0.02	592.50	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO Producing	Battery Material Production Team (LCO Producing)	0.068	0.02	340.00	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO Producing	Battery Material Production Team (LCO Producing)	0.092	0.02	460.50	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO Producing	Battery Material Production Team (LCO Producing)	0.130	0.02	649.50	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO Producing	Battery Material Production Team (LCO Producing)	0.265	0.02	1324.50	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	266	Functional film, printer toner, etc.	LCO Producing	Battery Material Production Team (LCO Producing)	0.378	0.02	1891.00	mg/m ³
Tungsten carbide with cobalt metal (see Cobalt metal with tungste	7440-48-4	282	Secondary battery material	Dissolution/Reaction	Dissolution/Reaction/Technology Lab	0.018	0.016	110.63	mg/m ³

Table 4. Continued

IARC agent	CAS No	KSIC	Products	Working process	Site work process	Measured value	Occupational Exposure Limit (OEL)	Exposure compared to OEL (% of OEL)	Unit
IARC Group 2B									
N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	262	Nanomembrane	Dissolution/ Radiation	Dissolution/Radiation	18.007	10	180.07	ppm
1-Bromopropane	106-94-5	262	Cell phone, electric vehicle battery parts	Cleaning room	Cleaning room	82.474	20	412.37	ppm
1-Bromopropane	106-94-5	262	Cell phone, electric vehicle battery parts	Cleaning room	Cleaning room	28.717	20	143.59	ppm
Chloroform	67-66-3	262	Copper foil laminate	Purified unit (cleaning room, purifying room)	OLED Production Team	10.632	10	106.32	ppm
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Flame powder manufacturing	Flame powder manufacturing	0.062	0.05	124.80	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Battery	Pole plate Release	Loading room	0.063	0.05	126.00	mg/m ³
Lead	7439-92-1	283	Insulated wires and sheath wires	Extrusion, melting	Other Support	0.095	0.04	237.50	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Unit 2 COS	Assembly board Part	0.057	0.04	141.75	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Unit 2 COS	Assembly board Part	0.070	0.04	174.25	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Unit 2 COS	Assembly board Part	0.044	0.04	109.25	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Casting(1 block)	Casting room	0.055	0.04	138.25	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Mixing(2F)	Mixing	0.062	0.04	155.75	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Mixing(2F)	Mixing	0.084	0.04	209.00	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Mixing(2F)	Mixing	0.124	0.04	310.25	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Mixing(2F)	Mixing	0.047	0.04	118.50	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Input Coating Unit 1	Coating	0.067	0.04	167.75	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Input Coating Unit 1	Coating	0.104	0.04	259.25	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Load Coating Unit 1	Coating	0.050	0.04	124.75	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Car battery	Load Coating Unit 3	Coating	0.070	0.04	173.75	mg/m ³
Lead	7439-92-1	282	Battery	Mixing room(2F)	Factory 1 (Mixing room)	0.044	0.04	111.00	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Mixer	Other Mixing(Mixer)	0.093	0.05	186.00	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Pole plate release, Ripening	Pole plate release, Ripening	0.055	0.05	109.40	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Stacker, short circuit inspection	Other Processing (Stacker, short circuit inspection)	0.106	0.05	212.80	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Stacker, short circuit inspection	Other Processing (Stacker, short circuit inspection)	0.140	0.05	279.20	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Other Welding (Polar group welding, connecting welding)	Other Welding (Polar group welding, connecting welding)	0.080	0.05	159.80	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Mixer	Other Mixing(Mixer)	0.209	0.05	417.80	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Pole plate release, Ripening	Pole plate release, Ripening	0.149	0.05	297.20	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Pole plate release, Ripening	Pole plate release, Ripening	0.390	0.05	779.40	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Stacker, short circuit inspection	Other Processing (Stacker)	0.062	0.05	123.40	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Strip	Other rolling (strip)	0.060	0.0471	127.60	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Strip	Other rolling (strip)	0.051	0.0471	108.70	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Mixer	Mixing ect.(Mixer)	0.110	0.05	220.20	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Performer and Lead Coating	Other Coating (Performer and Lead Coating)	0.081	0.05	161.40	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Performer and Lead Coating	Other Coating (Performer and Lead Coating)	0.094	0.05	188.80	mg/m ³

Table 4. Continued

IARC agent	CAS No	KSIC	Products	Working process	Site work process	Measured value	Occupational Exposure Limit (OEL)	Exposure compared to OEL (% of OEL)	Unit
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Pole plate release, Ripening	Pole plate release, Ripening	0.109	0.05	218.20	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Pole plate release, Ripening	Pole plate release, Ripening	0.101	0.05	201.20	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Stacker	Other Processing (Stacker)	0.054	0.05	107.00	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Mixer	Mixing ect.(Mixer)	0.077	0.0421	183.37	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Performer and Lead Coating	Other Coating (Performer and Lead Coating)	0.114	0.0421	270.55	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Performer and Lead Coating	Other Coating (Performer and Lead Coating)	0.137	0.0421	325.42	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Pole plate release, Ripening	Pole plate release, Ripening	0.058	0.0421	138.00	mg/m ³
Lead	7439-92-1	262	Lead-acid battery	Polar group welding	Other Welding (Polar group welding)	0.049	0.0421	115.20	mg/m ³

KSIC : Korean Standard Industry Classification
OEL (Occupational Exposure Limit): TLV-TWA

4. 한국 전자산업 작업환경측정자료(2013-2017)에서 파악된 국제암연구소 발암물질들 중에서 노출기준을 10% 초과하는 발암물질들

이 연구는 한국 전자산업(반도체 제조업 포함) 전체에서 IARC 1군 발암물질의 측정값이 노출기준의 100%를 초과하는 발암물질들을 제외하고, 노출기준의 10%를 초과하는 공정라인들과 유해인자들을 파악하였다(Supplementary Table 2).

우선 반도체 제조업(261) 공정에서 노출기준의 10%를 넘는 IARC Group1 발암물질들은 1,2-디클로로프로판, 벤젠, 1,3-부타디엔, 비소 및 그 무기화합물, 베릴륨 및 그 화합물, 6가크롬 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 콜타르피치 휘발물, 산화 에틸렌, 염화비닐, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 금속가공유, 니켈 및 그 화합물, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 황산, 목분진, 용접흄 등이다(Supplementary Table 2). 작업환경측정된 Group 1 발암물질들 중에서 노출기준을 10% 초과하는 발암물질들의 공정을 보면 아래 목록과 같다(Supplementary Table 2).

- 1,2-디클로로프로판의 경우, 기타 전기장비 제조업(289)에서 전기장비 제조공정의 세척작업
- 1,3-부타디엔의 경우, 가정용 기기 제조업(285)에서 가정용기기제조시 성형작업
- 비소 및 그 무기화합물의 경우, 반도체 제조업(261)에서

주입(implantation, IMP) 작업

- 벤젠의 경우 반도체제조업(261)에서 트랜지스터 집적회로(transistor integrated circuit), 전자 장치(electronic devices), sawing 작업 등이나 실험실; 측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀 기기 제조업; 광학기기 제외(271)에서 산업용제어장비, 자동차부품에서 통신 부품 작업; 베릴륨 및 그 화합물의 경우, 통신 및 방송장비 제조업(264)에서 소결, 성형작업
- 6가크롬 화합물의 경우, 기타 전기장비 제조업(289)에서 용접작업, 용접, 실리콘웨이퍼, 웨이퍼공정, 전기회로, 동판 등 작업; 카드뮴 및 그 화합물의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 용해작업; 콜타르피치 휘발물의 경우, 사진장비 및 광학 기기 제조업(273)이나 기타 전기장비 제조업(289)에서 광학렌즈의 수동적 움직임 보정(PMC), 연마, 연삭, 청소 코팅작업
- 산화 에틸렌의 경우, 의료용 기기 제조업(271)에서 치과용 바늘 소독작업; 염화비닐의 경우, 통신 및 방송장비 제조업(264), 전자 부품 제조업(262), 절연선 및 케이블 제조업(283)에서 압출, 표시작업
- 트리클로로에틸렌의 경우, 전자 부품 제조업(262)과 의료용 기기 제조업(271)에서 통신, 전자부품, 인쇄회로기판부품, 의료기기 부품 등에 세척공정라인
- 포름알데히드의 경우, 반도체 제조업(261)에서 반도체 집적회로, 트랜지스터, 전장 등의 공정에서 성형작업, 전자 부품 제조업(262)에서 인쇄회로기판 작업

- 금속가공유의 경우, 사진장비 및 광학 기기 제조업(273)과 전동기, 발전기 및 전기 변환 · 공급 · 제어 장치 제조업(281)에서 광학렌즈, 변압기 부품 가공작업, 전자 부품 제조업 (262)에서 컴퓨터 수치 제어(computer numerical control, CNC)가공, 통신 및 방송장비 제조업(264)에서 머시닝(machining, MCT) 작업
- 니켈 및 그 화합물의 경우, 전자 부품 제조업 (262)에서 전자부품 도금작업, 용접작업, 전동기, 발전기 및 전기 변환 · 공급 · 제어 장치 제조업(281)에서 용접작업, 반도체 제조업(261)에서 폴리실리콘 제조작업
- 규산(석영, 크리스토팔라이트)의 경우, 기타 전기장비 제조업(289)에서 용접작업, 의료용 기기 제조업(271)에서 주형제작, 전자 부품 제조업(262)에서 수소 용접작업, 전지핀, 다이오트트랜지스 작업, 반도체 장비용 접공정의 가스용접, 실리콘웨이퍼, 반도체 전자관 가스 용접 등 작업
- 황산의 경우, 반도체 제조업(261)에서 표면처리, 확산공정Diffusion작업, 전자 부품 제조업(262)에서 식각 작업. 표면처리, FAB(반도체 소자 작업), 가정용 기기 제조업(285)과 기타 전기장비 제조업(289)에서 양극처리(anodizing), 녹이는 작업(melting furnace)
- 목분진의 경우, 다양한 제조업에서 목재 가공작업
- 용접흡의 경우, 전자 부품 제조업 (262), 전동기, 발전기 및 전기 변환 · 공급 · 제어 장치 제조업(281), 측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀 기기 제조업(272)에서의 용접작업 등이 있다(Supplementary Table 2)

한국 전자산업(반도체 제조업 포함) 전체에서 국제암연구소 Group 2A 발암물질의 노출기준의 10%를 넘는 공정들과 유해인자들은 디클로로메탄(염화메틸렌), 1,1,1-트리클로로에탄, 스티렌, 아닐린과 그 동족체, 코발트 및 그 무기화합물, 유리섬유, 실리콘카바이드, 안티몬과 그 화합물 등이 있다.

- 디클로로메탄(염화메틸렌)의 경우, 전자 부품 제조업 (262)과 가정용 기기 제조업(285)에서 전자부품 세척 작업
- 1,1,1-트리클로로에탄의 경우, 전자 부품 제조업(262)과 의료용 기기 제조업(271)에서 전자부품 세척작업과 표면처리강제 작업
- 스티렌의 경우, 기타 전기장비 제조업(289)에서 전기절연체 성형작업

- 아닐린과 그 동족체의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 전자부품의 코팅, 충전, 세척작업
- 에피클로로하이드린의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 전자부품의 세척 및 전자관, 다이오트트랜지스터 및 전자부품 도색 작업
- 테트라클로로하이드린의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 전자부품의 세척 작업
- 하이dra진의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 대역폭 (Gain Band Width, GBW), 미디어 게이트 웨이 (Media GateWay(MGW) 작업
- 코발트 및 그 무기화합물의 경우, 전자 부품 제조업 (262)에서 기타 전자관 및 전자부품 혼합, 포장, 액체 도장 및 자기용 세라믹 제조 및 혼합 작업
- 유리섬유의 경우, 전자 부품 제조업(262), 측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀 기기 제조업; 광학 기기 제외 (272), 측정, 전동기, 발전기 및 전기 변환 · 공급 · 제어 장치 제조업(281), 전구 및 조명장치 제조업(284) 등의 제조업에서 프레임이나 제품 제작, 샌딩, 연마 가공 등의 작업, 인쇄회로기판 적층, 인쇄회로기판 프레스, 샌트블라스트 작업
- 실리콘카바이드의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 반도체, LCD 부품 연마작업
- 안티몬과 그 화합물의 경우, 전자부품제조업(262)에서 브레이크 패드, 전기절연물 배합 작업, 반도체 폴리머 생산, 브레이크 열성형 작업, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트인두납땜 등이 있다 (Supplementary Table 2)

한국 전자산업(반도체 제조업 포함) 전체에서 국제암연구소 Group 2B 발암물질 노출기준의 10%를 초과하는 발암물질을 보면, 니트로메탄, N,N-디메틸아세트아미드, 디에탄올아민, 1,4-디옥산, 메틸 이소부틸 케톤, 1-브로모프로판, 비닐아세테이트, 아세트알데히드, 아크릴로니트릴, 에틸벤젠, 테트라하이드로퓨란, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트, 1,1,1-트리클로로메탄, 납 및 그 무기화합물, 코발트 및 그 화합물, 니켈 금속, 이산화티타늄, 오산화 바나듐, 아스팔트, 카본블랙 등이다 (Supplementary Table 2). 한국 전자산업(반도체 제조업 포함) 전체에서 국제암연구소 Group 2B급 발암물질 노출기준의 10%를 넘는 공정과 유해인자를 보면 아래와 같다.

- 니트로메탄의 경우, 전동기, 발전기 및 전기 변환 · 공급 ·

- 제어 장치 제조업(281)에서 전자부품 조립, 검사 작업
- N,N-디메틸아세트아미드의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 나노멤브레인 용해, 방사 작업
- 디에탄올아민의 경우, 기타 전기장비 제조업(289)에서 전자부품 선반가공 작업
- 1,4-디옥산의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 OLED 실험실 업무
- 메틸 이소부틸 케톤(MIBK)의 경우, 전자 부품 제조업(262)에서 전자부품과 LED조명판 인쇄, 검사, 건조
- 1-브로모프로판의 경우, 전자부품 제조업(262)에서 전자부품(휴대폰, 전기자동차 배터리 부품, 카메라 부품 등) 세척, 세정작업
- 비닐 아세테이트의 경우, 전자부품 제조업(262)과 의료용 기기 제조업(271)에서 점착테이프 점착, 코브라배합, 의료용기구 코팅 등 작업
- 아세트알데히드의 경우, 반도체 제조업(261)에서 LED Chip 작업
- 아크릴로니트릴의 경우, 전자부품 제조업(262)에서 EMC/연구서비스 작업에서 batch 중합 실험실 작업
- 에틸벤젠의 경우, 절연선 및 케이블 제조업(283)에서 실리콘 전선 코팅 및 배합, 기타 전기장비 제조업(289)에서 전기판넬 절단, 밴딩, 세척 등 작업
- 테트라하이드로퓨란의 경우, 전자부품 제조업(262)에서 전자부품 사출, 성형 작업
- 톨루엔-2,4-디이소시아네이트의 경우 컴퓨터 및 주변장치 제조업(263)에서 금융사무기기 부품 주형 작업
- 1,1,1-트리클로로메탄의 경우, 전자부품 제조업(262)에서 동박적층판 세척, 정제, OLED 생산 작업
- 납 및 그 무기화합물의 경우, 일차전지 및 축전기 제조업(282)에서 자동차 배터리, 납 축전기 조립 및 용접작업, 납땀작업, 전자부품 제조업(262)에서 납땀, 납축전기 극판불출 및 숙성, 전자부품 납땀, 전장부품 및 인쇄회로기 납땀 작업, 전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업(281)에서 선박용 휴즈 납땀작업
- 니켈 금속의 경우, 기타 전기장비 제조업(289)에서 스퍼터링 타겟의 프레스 성형 작업
- 이산화티타늄의 경우, 전동기, 발전기 및 전기변환/공급/제어 장치제조업(281)에서 전기자동제어배전판에서 도장작업
- 오산화 바나듐의 경우, 전자부품 제조업(262)에서 자동차 부품 및 전자관의 [MLCC 1공장 1층]-컴포넌트양산 QA_G[배치검사]작업, 영상 및 음향기기 제조업(265)

- 에서 근거리무선통신(Near Field Communication) 혼합작업
- 아스팔트흙(bitumens, extracts of steam-refined and air-refined; steam-refine)의 경우, 절연선 및 케이블 제조업(283)에서 절연선 및 케이블 압출 작업
- 카본블랙의 경우, 전자제품 제조업(262)에서 필터 충전 작업, 랙(전자제품제조업(262)과 기타전기장비제조업(289)의 탄소제품 소성

IV. 고 찰

1. 한국 전자산업에서 작업환경측정으로 나타난 발암물질 현황과 발암물질관리방안

한국 전자산업에서 작업환경측정결과, 작업환경 측정된 물질들 중 국제암연구소 발암물질들 (Group 1, Group 2A, Group 2B)에 해당하는 발암물질들이 총 64개(Group 1 20개, Group 2A 14개, Group 2B 30개)이고, 이들 발암물질이 전체 측정건수의 약 23.25%에 해당하고, 또한 이들 발암물질 중에 대다수의 물질이 노출기준의 100%를 초과하고 있어서 시급하게 작업환경안전관리가 필요하다.

이 연구 결과, 2013~2017년 한국의 전자산업에서 작업환경측정된 발암물질중 국제암연구소 Group 1 발암물질로 가장 많이 측정된 사용되는 물질을 순서대로 보면, 황산, 용접흙, 금속가공유, 니켈 및 그 화합물, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 포르말데히드, 비소 및 그 무기화합물, 6가크롬 화합물, 트리클로로에틸렌, 카드뮴 및 그 화합물, 염화비닐, 산화에틸렌, 목분진, 베릴륨 및 그 화합물, 1,3-부타디엔, 벤젠, 콜타르피치 휘발물, 석면, 1,2-디클로로프로판, 스트론튬 크로메이트(strontium-90, fission products)로 총 20개이다.

이중에서 노출기준의 100%를 초과하는 발암물질, 즉 노출기준 값을 초과하는 발암물질들은 트리클로로에틸렌, 포르말데히드, 황산, 산화 에틸렌, 금속가공유, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 용접흙 등이다.

이들 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들은 한국의 전자산업에서 가장 많이 측정된 발암물질들이어서 가장 빈번하게 사용되고 있는 국제암연구소 Group 1 발암물질이 노출기준도 초과하고 있는 것을 보여주고 있다.

특히 트리클로로에틸렌의 경우 전자부품 제조업(262)에서 전자부품 제조과정중 세척작업에서 많이 사

용되고 있어서, 시급하게 트리클로로에틸렌 대체 물질 사용을 중단하고, 트리클로로에틸렌 대체물질을 사용하는 것이 필요하다. 한국에서 트리클로로에틸렌은 2013년에 약 2453개 사업장에서 사용하고 있으며, 트리클로로에틸렌 노출기준(TLV-TWA) 10ppm로 정했을 때, 초과율이 약 2.81%에 달하고 있다(Kim 2019). 한국에서는 트리클로로에틸렌의 노출기준을 TLV-TWA 50 ppm, TLV-STEL 200 ppm으로 규정되었다가, 2016년 2월 17일 이후 TLV-TWA 10 ppm, TLV-STEL 25 ppm로 강화하고 있지만, 초과율이 떨어지지 않고 있는 상황이다(Kim 2019). 트리클로로에틸렌은 2012년 국제암연구소에 의해서 Group 1 발암물질로 규정되었는데, 역학연구와 동물실험결과에 의해 트리클로로에틸렌이 신장암의 위험요인으로 ‘충분한 역학적인 증거(sufficient epidemiological evidence)’가 있다는 근거에 의해 규정되었다. 트리클로로에틸렌은 신장암 외에, 간암과 비호지킨림포마와도 제한된 증거(limited evidence)가 있다고 보고되고 있다(IARC, 2014)

Rusyn et al.(2014)은 국제암연구소(2014)가 트리클로로에틸렌을 Group 1 발암위험로 규정하는데 필요한 중요한 근거를 제시하고 있다. Rusyn et al.(2014)은 트리클로로에틸렌과 신장암과의 연관성은 인간에게 충분한 증거를 제시하고 있고, 간암에 대해서는 실험동물에서 충분한 증거가 있다고 보고하고 있다.

Lash et al.(2014)는 트리클로로에틸렌의 대사과정에 돌연변이로 알려진 반응이 일어나고 있는 것을 보여주면서 TCE의 복잡한 신진대사를 특징짓는 증거가 돌연변이 유발, 발암, 급성 및 만성 장기 특이적 독성을 포함한 부작용의 예측을 알려줄 수 있다고 보고하고 있다.

최근에 트리클로로에틸렌이 재생산기능에 부정적인 영향을 미치고, 유전체변이를 유발한다는 연구들이 있다.

Elkin et al.(2022)은 트리클로로에틸렌의 대사산물이 독성대사물로 생체변환되고 태반기능장애를 유발하여 부정적인 출산결과를 초래할수 있다고 보고했다. Elkin et al.(2022)은 트리클로로에틸렌의 대사산물이 세포생존가능성을 감소시키는 실험결과를 보고하였다.

포름알데히드의 경우 전자산업에서 반도체 및 전자부품 제조업에서 인쇄회로기판제조공정에서 사용되는데, 이 연구에서도 포름알데히드가 인쇄회로기판 제조 공정에서 많이사용되고 있었고, 이 과정에서 노출기준이 초과되고 있었다. 인쇄회로기판(Printed Circuit Board,

PCB) 제조공정에서 포름알데히드를 사용하는 공정을 보면, “PCB기판의 홀 표면 동도금을 위한 환원제로 포름알데히드를 처리하여 에폭시표면에 동금막을 형성하여 전기를 통하게”하기위해 포름알데히드를 사용하고 있다(KOSHA 2008). 반도체 제조업과 전자부품제조업이 발전할수록 포름알데히드의 사용이 증가하고 있다.

황산의 경우 전자산업, 특히 반도체 제조업이 발전하면서 사용이 증대하고 있는데, 황산은 반도체 공정에서 웨이퍼 세정용으로, 사용이 증대되고 있다. 한 예로 한국에서 2022년 5월 전남 여수 국가산업단지에 ‘반도체용 고순도 황산공장’ 착공식을 했다. “최근 세계적인 반도체산업 호황에 따라 반도체 공정에서 웨이퍼 세정용으로 사용되는 고순도 황산의 수요가 늘었다” Nongmin News. 2022.5.2.는 이유에서 황산공장 설립이 증대하고 있는 것이다.

금속가공유의 경우, 금속가공이 증가하면서 금속가공유의 사용이 증대하고 있다(Park et al., 2016). 특히 한국에서 ‘컴퓨터화 수치제어(Computerized Numerical Control, CNC)기능이 증대하면서, 반도체 제조업을 포함한 전자산업에서 컴퓨터 마이크로 프로세서를 내장한 수치 제어 공작 기계를 활용하여 정밀부품 대량생산이 증대하면서 금속가공유의 사용이 증대하고 있다.

금속가공유의 발암 기전을 보면, 수용성 가공유에 첨가되는 항부식제인 아질산염과 수용성 금속 가공유에서 미생물 번식을 제어하기위해 첨가되는 아민류가 공존시에 발암성물질인 니트로소아민류를 생성하면서 발암이 발생한다. 한국에서 아민류와 아질산염의 혼합제품인 W3종 금속가공유가 여전히 사용되고 있다. 특히 “N-nitrosodiethanolamine(NDELA)의 농도가 1~10 mg/L 이상되는 유해한 금속가공유”가 여전히 일부 유통되고 있는 것이 문제이다(Yang et al., 2006).

규산(Silica)의 경우 최근 전자산업을 비롯한 다양한 산업에서 사용량이 크게 증가하고 있다. 특히 규산은 반도체 및 태양전지의 주재료인 실리콘 웨이퍼(silicon wafer)에 많이 사용되고 있다(Choi, 2012). 특히 최근 반도체 산업에서 집적 회로 칩의 제조에 널리 사용되는 기술인 화학적 기계적 평탄화작업(chemical mechanical planarization CMP)공정은 공학적 입자, 화학 첨가제 및 화학 기계적으로 제거된 화학물을 포함하는 많은 양의 폐기물을 생성하여 문제가 되고 있다. 이 화학적 기계적 평탄화작업의 입자 연마제 중에 하나로 산화규소(SiO₂)가 사용되고 있다(Dumitrescu et al., 2018).

이 연구에서 작업환경측정자료를 분석한 결과, 작업

환경측정된 국제암연구소 발암물질의 대부분이 노출기준의 100%를 초과하지는 않더라도 노출기준의 10~99%까지 측정되는 경우가 많이 있어, 이들 노출기준의 바로 아래에서 측정되는 발암물질이 대해서도 인체에 축적되는 농도 등을 측정하여, 인체에 발암물질의 축적 농도를 파악하고 발암물질의 관리를 해야한다.

한국 전자산업에서 1군 발암물질의 측정값이 노출기준의 10%를 초과하는 발암물질들은 1,2-디클로로프로판, 벤젠, 1,3-부타디엔, 비소 및 그 무기화합물, 베릴륨 및 그 화합물, 6가크롬 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 콜타르피치 휘발물, 산화 에틸렌, 염화비닐, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 금속가공유, 니켈 및 그 화합물, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 황산, 목분진, 용접흄 등이다(Supplementary Table 2).

벤젠은 2013~2017년에 작업환경측정자료에서 반도체 제조업 등에서 미량(0.25~10 ppb) 측정이 되고 있는데, 이는 2008~2010년 사이에도 비슷한 양(0.31 ppb)이 측정된 적이 있어서 (Kim et al., 2011) 반도체 제조업에서 벤젠이 미량이지만 지속적으로 노출되고 있는 것을 보여주고 있다. 반도체 제조업에서 벤젠이 측정된 경우는 한국 외에 타이완에서도 반도체 주변 지역의 공기중 벤젠 농도가 0.7~1.7 ppb로 측정되었다 (Chiu et al., 2005). 벤젠은 백혈병 등 혈액암을 유발시키는 가장 강력한 발암물질로 알려졌기 때문에 사용 및 제조를 전면 금지해야한다.

이 연구 결과, 전체 전자산업에서 작업측정된 물질 중에서 국제암연구소 Group 2A 발암물질은 14개로 가장 많이 측정된 빈도순으로 보면 코발트 및 그 무기화합물, 유리섬유, 안티몬 및 그 화합물, 디클로로메탄(이염화메틸렌), 스티렌, 디메틸포름아미드, 1,1,1-트리클로로에탄, 하이드라진, 실리콘카바이드, 테트라클로로에틸렌(퍼클로로에틸렌), 아크릴아미드, 아닐린과 그 동족체, 에피클로로하이드린, 2,3-에폭시-1-프로판올(glycidol) 등이다. 이 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들은 디클로로메탄, 테트라클로로에틸렌(퍼클로로에틸렌), 코발트 및 그 무기화합물이다.

디클로로메탄의 경우 전자제품의 세척조 청소작업에서 노출기준을 훨씬 초과되고 있다. 디클로로메탄의 경우 발암물질이지만, 급성중독시 즉시 사망할 수 있다. 2022년 3월 인천소재 전자제품 분체도장 사업장에서 세척조 청소작업중 노동자 1명이 세척조내 잔류된 디클로로메탄에 급성중독되어 사망한 사례가 있다. 디클로

로메탄의 노출기준(TWA)이 50 ppm인데 비해 이 세척조 내부 농도는 3,468 ppm(즉시 건강에 영향을 미치는 농도:2,300 ppm)이었다(Ministry of Employment and Labor 2022).

유기염소화합물의 일종인 테트라클로로에틸렌은 트리클로로에틸렌과 유사하게 탈지력이 커서 유지제 세정용, 반도체 산업의 세정용으로 주로 산업용 용매로 사용되고 있는데, 노출기준을 초과하고 있는 것이다.

코발트는 전자 산업의 핵심인 리튬 이온 전지를 만드는 데도 사용되고 있다. 코발트의 상당량이 이러한 리튬 이온 전지의 양극(+극)을 만드는 데 사용되고 있다. 리튬 이온 전지는 컴퓨터, 전자 제품, 카메라 등의 생활용품 뿐 아니라, 하이브리드 자동차, 전기 자동차 등 미래 기술의 주 동력원으로 활용되고 있어(Dae Myung Chemical, 2022), 코발트에 대한 노출평가 및 건강영향평가가 이루어져야 할 것이다.

이 연구 결과, 전체 전자산업에서 가장 많이 측정된 국제암연구소 Group 2B 발암물질들은 30개로 납 및 그 무기화합물, 이산화 티타늄, 디에탄올아민, 니켈, 산화안티몬, 카본 블랙, 1-브로모프로판, 디에탄올아민, 톨루엔 디이소시아네이트, 1,4-디옥산 등이다. 이 중에서 노출기준을 100% 초과하는 발암물질들은 납, N, N-디메틸아세트아미드, 1-브로모프로판, 클로로포름 등이다.

한국에서 전자산업에서 납땜 납축전지 등 납에 노출이 많다는 것은 매우 잘 알려져있다. 한국에서 영세 전자산업들에서 납땜작업 등에 대한 산업안전보건관리가 필요하다(Labotoday News 2020.11.26.):

1-브로모프로판의 경우, 드라이클리닝, 증기 탈지, 전자 및 금속 클리닝 산업에서 일반적인 용제로 사용되고 있다. Ha et al.(2020)이 분석한 한국의 2014년 작업환경실태조사와 2017년 작업환경측정결과에는 한국 고용노동부 노출기준인 25 ppm을 초과하는 시료는 없다고 보고하고 있으나(Ha et al., 2020), 이 연구는 한국의 2013~2017년 작업환경측정결과 전체를 포괄하고 있어서 전자부품제조업에서 전자부품 세척작업에서 허용기준이 초과되고 있는 것을 보여주고 있다.

현재 한국의 전자산업에서 사용되고 있는 화학물질과 발암물질들의 개수는 이미 한국의 산업안전보건법에 규정된 “작업환경측정 대상 유해인자 (제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])”의 개수 (총 190개, 발암물질 20개)를 훨씬 넘고 있다.

전자산업에 속하는 반도체 제조업의 경우만 보더라도, 한국 2개 대표 반도체제조업에서 총 428, 432개의 화학물질(chemical products)이 사용되고 있고 그 중에서 47개와 28개가 발암물질로 분류가 되고 있다고 보고되었다 (Kim et al., 2018). 또한 한국의 주요 11개 반도체제조업에서 210개의 화학물질이 사용되고 있다고 보고되었다(Yoon et al., 2020). 그러나, 아직까지 한국의 전체 산업, 또는 전자산업이나 반도체 제조업을 총괄해서 화학물질 사용과 발암물질 노출조사나 위해도 조사가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

반도체 제조업의 화학물질 노출실태에서 더 문제가 되고 있는 것은 영업비밀물질이 30% 이상이 되어 이들 영업비밀물질들의 경우 물질의 성분도 알기 어려운 상황인 것이다. 반도체 업체는 다수의 화학물질을 사용하는 것으로 알려졌지만, 성분은 영업비밀로 보관돼 있어 정확한 화학물질에 대해서는 알려진 바가 거의 없다(Kim et al., 2018). Kim et al.(2018)의 경우, 화학물질(chemical products) 약 40%(A공장의 경우 43%, B공장의 경우 39%)가 영업비밀물질이었다. 특히 포토리토그래피(photolithography) 공정에 사용된 화학물질은 전체 화학물질의 21%(A), 26%(B)였으며, 이 중 97% 이상이 영업비밀 성분이 함유된 화학물질이었다(Kim et al., 2018). 반도체 제조업에서 영업비밀물질들이 40% 이상을 차지하고 있다는 의미는 사용되는 화학물질에 대한 발암성을 온전히 파악하기 어렵다는 것을 의미한다. Yoon et al.(2020)의 경우에는 모든 화학물질의 약 33%(16-36%)에서 영업비밀물질이었다. 이 영업비밀물질들의 대부분은 포토리토그래피(photolithography) 공정에서 사용되었다.

반도체제조업을 포함한 전자산업에서 사용되는 발암물질들은 인체에 암을 비롯한 심각한 건강장해를 유발한다고 보고되고 있다. Kim et al.(2013)은 반도체 생산에 따른 건강 유해성에 대한 역학적 고찰 결과, 비호지킨 림프종(NHL), 백혈병, 뇌종양, 유방암에 대한 과도한 위험이 관찰되었다고 보고하고 있다 (Kim et al., 2013). Park et al.(2019)은 한국 근로복지공단 (Korea Workers' Compensation and Welfare Service, KWCWS)에 청구한 총 55명의 암 또는 희귀질환 반도체 노동자들 중에서 백혈병(14명), 유방암(10)의 질환이 뇌암(6명), 재생불량성빈혈(6명), 비호지킨림프종(4명) 등을 보고하였다. Son et al.(2017)은 산업재해로 승인된 18명 중 16명의 사례는 모두 직업성 암으로 유방암

(3), 뇌암(3: 뇌의 역형성형 성상세포종, 악성뇌종양(교아세포종), 뇌종양), 폐암(3: 비소세포폐암, 상엽, 기관지 또는 폐의 왼쪽의 악성 신생물, 폐암), 급성골수성백혈병(2), 만성 골수 단핵구성 백혈병, 만성골수성, 백혈병, 악성림프종, 세포 림프종(부비동), 난소암)이다 (Son et al., 2018). Lin et al.(2013)은 1980년과 1994년 사이에 대만 8개 반도체 회사에 근무했던 남성 근로자들(6,834명) 중에서 임신 전 두 달 동안 고용된 남성 근로자의 자녀에서 선천성 이상(odds ratio: 3.26, 95% CI 1.12-9.44)과 심장 이상(OR: 4.15, 95% CI 1.08-15.95)으로 사망 위험이 증가했다고 보고했다.

Ladou & Bailer(2013)는 반도체 칩 제조에 많은 생식독성물질과 발암물질이 사용되고 있고, 우려스러운 연구결과가 보고됐지만, 발생 가능한 위험을 포괄적으로 정의하기 위한 광범위한 역학 연구는 이뤄지지 않고 있다고 우려하고 있다.

최근 전자산업에서는 화학물질의 사용이 증가함에 따라 새로운 화학물질이 등장하고 있어서 새롭게 등장하는 화학물질에 대한 위험노출평가 및 관리방안도 필요하다. 한 예로 전자산업에서 액정표시장치(liquid crystal displays, LCD)생산증가로 산화인듐 주석의 생산량이 증가하고 있는데, 이 인듐이 폐암 또는 폐질환과 관련이 있다는 보고들이 있다(Nakano et al., 2019; Tsao et al., 2020). Nakano et al.(2019)은 인듐(indium) 노출과 폐암과의 연관과의 가능성을 보고하였다(SIR: 1.89(95%CI 0.52-6.88)). Tsao et al(2020)은 산화알루미늄(aluminum oxide)으로 샌드블라스트(sandblasting)를 하여 ITO 박막(ITO thin-film) 생산 기계의 구성요소를 세척하는 샌드블라스터(sandblasters) 노동자들이 더 높은 인듐에 노출되고 있으며, 폐 기능과 HRCT 소견이 더 나쁘다는 것을 관찰하였다(Tsao et al., 2020).

전자산업에서 현재 사용되고 있는 모든 발암 물질 및 새로 등장하는 발암물질의 노출을 통제하기 위한 국가적인 노력이 이루어져야한다. 반도체 제조업을 포함하여 전자산업에서 사용이 증가하고 있는 화학물질에 대한 정보공개, 위험성평가, 발암물질관리 등을 위한 산업안전보건관리체계가 마련되어야 한다. 향후 이렇게 화학물질 사용과 발암물질 사용이 증대되는 점을 고려해서 국가적인 차원에서 발암물질의 현황을 파악하고, 위해도조사를 실시하여 발암물질 노출과 건강장해와의 관련성을 밝혀야 할 것이다.

2. 한국의 전자산업 작업환경측정자료(2013-2017)를 통해서 본 한국의 산업안전보건관리의 시사점과 한계 극복 방안

이 연구는 한국의 전자산업 작업환경측정자료(2013-2017)를 통해서 국제암기구(IARC) 발암물질과 허용기준을 넘는 발암물질들을 파악하여 시급하게 관리해야 할 부분을 파악한 것은 의의가 있다고 본다. 그러나, 한국의 작업환경측정자료(2013-2017)만을 분석자료로 사용했을 때, 한국의 산업안전보건법에 규정된 “작업환경 측정 대상 유해인자 (제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])”에 현시대에 사용중인 발암물질들을 포함하지 못하고 있는 한계점으로 인해 작업장 내에서 실질적인 산업안전보건관리에 큰 제한점이 발생할 수 있다.

이 연구결과 나타난 한국의 산업안전보건법에 의해 규정되는 작업환경측정제도의 한계들을 보면 첫째, 산업안전보건법에서 규정한 ‘작업환경측정 대상 유해인자 (제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])’가 국제적으로 공인된 발암물질(예: 국제암연구소 발암물질)이 거의 포함되지 못하고 있는 것이다. 현재 국제암연구소에서 규정한 Group 1 발암물질은 매년 그 숫자가 늘어나고 있는 추세인데 현재 한국의 산업안전보건법은 이러한 국제적인 흐름을 반영하지 못하고 있다. 한국 산업안전보건법의 작업환경측정대상물질이 190개로 현재 산업에서 사용하고 있는 화학물질들보다 그 수가 훨씬 적어서 산업을 빠른 발전 속도를 따라가지 못하고 있다. 특히 이 연구는 국제암연구소에서 규정하고 있는 발암물질이 2022년 현재 IARC Group 1 122개, 2A 93개, 2B 319개 인데, 한국의 작업환경측정대상물질은 그 수가 이에도 훨씬 미치지 못하는 190개이고 그 중에서 국제암연구소가 규정한 발암물질의 경우, IARC Group 1 20개, 2A 14개, 2B 30로 총 64개에 불과하기 때문에, 현재 작업환경측정 제도로는 산업에서 노출될 위험이 있는 새로운 발암물질들을 모두 포괄할 수 없어서, 발암물질에 대한 관리가 제대로 이루어지지 못할 가능성이 있음을 보여주고 있다.

지금까지 직업적 발암물질에 대한 논의를 보면, 국제암연구소의 Loomis et al.(2018)은 IARC에서 규정한 1군 발암물질 중에서 2004년에 28개였던 것이 2017년에는 47개로 증가했다고 보고했다(Loomis et al., 2018). Loomis et al.(2018)은 ‘미국에서 약 80000개

이상 화학물질이 등록되어 있지만 오로지 작은 부분(a small fraction)에서만 화학물질의 발암성이 평가되고 있다’고 보고한 Wilson & Schwarzman(2009)의 연구를 인용하면서 화학물질의 발암성평가가 중요함을 제안하고 있다.

CAREX는 유럽에서 발암물질에 노출된 노동자수를 추계한 자료인데, 이 CAREX는 1995년 IARC 발암물질을 기준으로 139개의 발암물질을 포함하고 있는데, 이는 국제암연구소(IARC, 1995)의 모든 Group 1과 Group 2A 발암물질과 일부 Group 2B 발암물질을 포함했다(Kauppinen et al., 1998; Kauppinen et al., 2000). CAREX에서는 1999년 당시 IARC 발암물질(Group 1, 2A, 2B) 중에서 유럽에서 가장 많이 사용되는 발암물질들을 발표했다.

영국에서는 Cherrie et al.(2007)이 CAREX 연구방법론을 이용하여 국제암연구소의 Group 1과 2A에 해당하는 발암물질을 64개 파악했고, 그 중에서 30개의 물질들에 대해 작업장에서 노출인구를 추계했다(Cherrie et al., 2007)

Siemiatycki et al.(2004)은 국제암연구소 Monographs 자료를 활용하여 28개의 Group 1(definite) 발암물질, 27개의 Group 2A(probable) 발암물질, 113개의 Group 2B(possible) 발암물질을 직업성 발암물질로 제안했다(Supplementary Table 3).

한국에서 고동희 등(Koh et al., 2021)도 CAREX 연구방법론을 이용하여 20개의 발암물질을 선정하여 작업장 노출인구를 추계했다(Koh et al., 2021).

본 연구에서는 지금까지 IARC Group 1 발암물질 122개 중에서 ‘직업’에 의해 노출되는 것으로 고려되고 있는 직업성 발암물질들(Loomis et al.(2018)은 47개, Cherrie et al.(2007)은 30개, Siemiatycki et al.(2004)은 28개, Kauppinen et al.(2000)은 38개를 제안)과 한국의 산업안전보건법에서 규정한 ‘작업환경 측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련)(산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])’ 190개 중에서 IARC Group 1 발암물질 20개를 비교하였다(Supplementary Table 3).

한국의 산업안전보건법에서 규정한 ‘작업환경 측정 대상 유해인자 (제186조제1항 관련)(산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])’에는 IARC에서 규정한 발암물질들, 특히 직업성 발암물질이 더 추가되어야 한다.

암의 원인을 규명하는 데 노동자들에 대한 연구가 중추적인 역할을 해왔다. 1971년부터 2017년까지 IARC

모노그래프에서 수집된 데이터는 인정된 직업성 발암물질의 수가 최근 수십 년 동안 점진적으로 증가했음을 보여주는 것이다. 이러한 발전은 특히 정량적 노출 평가와 과학 문헌 기반의 세계적인 성장 등 연구 품질의 발전에 의해 촉진되었을 수 있다(Loomis et al., 2018).

지금까지 주목할 만한 발전에도 불구하고, 일과 관련된 암의 원인에 대한 연구가 계속 필요하다. IARC에 의해 평가된 1000개 이상의 약제들 중 대다수에 대한 역학적 증거는 불충분하거나 완전히 부족하다. 또한 지리적 위치별로 노출 노동자수를 식별하고 위험 식별, 노출-반응 추정 및 위험 평가를 위한 기준으로 정량적 피폭 데이터를 생성할 필요가 있다(Loomis et al., 2018). 그러나 지금까지 역학적인 증거의 부족과 양적 노출자료의 부족으로, 대부분의 작업장에서 노출된 물질들의 발암 위험에 대한 연구가 많이 이루어지지 못하고 있다(Loomis et al., 2018).

새로운 직업적 발암물질을 파악하기 위해서, 현재 파악된 작업장 위험요인들로부터 위험을 완전히 이해하기 위해서, 작업장과 연관된 암의 하중을 줄이기 위해서 높은 질의 역학연구가 필요하다.

둘째, 한국의 실제 작업장에서 “작업환경측정”을 하고 있는 물질들은 190개 “작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])”이며, 이 범위 밖에 있는 물질들에 대해서는 그것이 발암물질이든 어떠한 위험한 화학물질이라도 공기 중에 노출농도를 측정하지 않다는 것을 의미한다. 전자산업, 특히 반도체 제조업의 경우, 현재 수백~수천 개의 화학물질을 사용하고 있다고 알려져 있는데, 한국의 산업안전보건법에서 규정된 “작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])”에 속해 있지 않은 물질들에 대해서 노출여부가 파악되지도 못하고 있는 실정이다. 대규모 공장에서는 자체적으로 몇가지 물질들을 더 추가로 측정하기도 할 수도 있을 것으로 추측되지만, 전반적으로 보아 반도체 제조업을 포함한 한국의 모든 산업에서는 “한국의 산업안전보건법에 규정된 작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])” 이외의 물질들에 대한 관리를 하고 있지 않는 것으로 확인되었다. 이 연구에서는 한국의 전자산업 사업체에서 어떠한 화학물질을 사용하든지에 관계없이, 한국의 산업안전보건법에서 규정된 작업환경측정 대상 유해인자 (제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙

[별표 21])’외에 다른 물질들에 대해서는 화학물질관리를 하고 있지 않다는 것을 보여주고 있다. 이는 한국의 전 산업에서 발암물질을 관리하는데 매우 큰 한계를 보여주는 것이다.

한국의 산업보건에서 가장 시급한 것은 “한국의 산업안전보건법에 규정된 작업환경측정 대상 유해인자(제186조제1항 관련) (산업안전보건법 시행규칙 [별표 21])”에 대한 점점 및 크게 사용이 증가하고 있는 새로운 물질들에 대해 ‘유해인자’ 목록에 포함시켜 발암물질 관리가 이루어져야 하는 것이다.

셋째, 작업환경측정결과와 노출기준을 넘는 발암물질에 대해서는 다른 화학물질관리보다는 엄격하게 관리하여 더 이상 사용을 금지하는 제도를 마련해야 할 것이다. 발암물질들 중에서 작업환경측정에서 100% 허용기준을 넘고 있는 발암물질들에 대해서는 장기적인 사용 중단 방안 및 대체물질 사용 방안을 마련해야 할 것이며 또한 허용기준보다 낮은 수치이지만 여전히 작업장에서 노출되고 있는 발암물질에 대해서도 대체물질 사용 방안을 만들어야 할 것이다.

3. 대안을 위하여

이 연구는 새로운 산업이 생겨나고 산업이 발달하게 됨에 따라 기존의 산업안전보건법에 의한 작업환경측정제도가 주기적이고 형식적인 측정을 중심이 아니라, 사업체에서 사용하는 모든 물질에 대해 성분 분석을 명확하게 하고, 위험물질에 대한 관리를 실질적으로 해야 할 것이다. 또한 발암물질의 경우에는 그 물질의 사용금지와 대체물질개발을 해야 하고, 실제 발암물질의 사용을 실제로 금지하고, 비발암물질로 대체해나가는 산업안전보건관리 예방대책을 세워 나가야 할 것이다. 또한 직업적 발암물질의 허용기준 이하의 농도에서도 발암물질의 경우 환경정책에 해당하는 허용기준으로 평가를 해야 하며, 허용농도 이하의 농도나 저 농도 노출에 대한 대책을 마련해야 한다. 또한 국가단위와 사업장 단위에서 작업현장에서 실제 필요한 위험 물질 파악 및 관리를 위한 산업안전보건관리모형을 만들어야 한다.

V. 결 론

이 연구는 한국의 전자산업에서 2013~2017년 동안 작업환경측정된 물질들 중에서 국제암연구소에 의해 발

암물질들(IARC Group 1, Group 2A, Group 2B)로 규정된 물질들의 노출 정도와 허용 기준을 넘는 발암물질들과 공정들을 파악했다.

한국의 전자산업에서 작업환경측정된 물질 중에서 국제암연구소 Group 1 발암물질은 20개, Group 2A는 14개, Group 2B는 30개였다.

작업환경측정된 발암물질 중 국제암연구소 Group 1으로 가장 많이 측정된 물질들을 순서대로 보면, 황산, 용접흙, 금속가공유, 니켈 및 그 화합물, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 포름알데히드, 비소 및 그 무기화합물, 6가크롬 화합물, 트리클로로에틸렌, 카드뮴 및 그 화합물, 염화비닐, 산화에틸렌, 목분진, 베릴륨 및 그 화합물, 1,3-부타디엔, 벤젠, 콜타르피치 휘발물, 석면, 1,2-디클로로프로판, 스트론튬 크로메이트(strontium-90, fission products)로 총 20개이다. 이 20개의 Group 1 발암물질 중에서 노출 기준의 100%를 초과하는 발암물질, 즉 노출 기준 값을 초과하는 발암물질들은 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 황산, 산화 에틸렌, 금속가공유, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 용접흙 등이다. 또한 한국 노출 기준의 10%를 초과하는 Group 1 발암물질들은 1,2-디클로로프로판, 벤젠, 1,3-부타디엔, 비소 및 그 무기화합물, 베릴륨 및 그 화합물, 6가크롬 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 콜타르피치 휘발물, 산화 에틸렌, 염화비닐, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드, 금속가공유, 니켈 및 그 화합물, 규산(석영, 크리스토팔라이트), 황산, 목분진, 용접흙 등이다.

작업환경측정된 발암물질 중 국제암연구소 Group 2A 발암물질들은 14개로 가장 많이 측정된 빈도순으로 보면 코발트 및 그 무기화합물, 유리섬유, 안티몬 및 그 화합물, 디클로로메탄(이염화메틸렌), 스티렌, 디메틸포름아미드, 1,1,1-트리클로로에탄, 하이드라진, 실리콘 카바이드, 테트라클로로에틸렌(퍼클로로에틸렌), 아크릴아미드, 아닐린과 그 동족체, 에피클로로하이드린, 2,3-에폭시-1-프로판올(glycidol) 등이다. 이 중에서 노출 기준을 100% 초과하는 Group 2A 발암물질들은 디클로로메탄, 테트라클로로에틸렌(퍼클로로에틸렌), 코발트 및 그 무기화합물이다. 또한 노출 기준의 10%를 이상 초과하는 Group 2A 발암물질들은 디클로로메탄(염화메틸렌), 1,1,1-트리클로로에탄, 스티렌, 아닐린과 그 동족체, 코발트 및 그 무기화합물, 유리섬유, 실리콘 카바이드, 안티몬과 그 화합물 등이다.

작업환경측정된 발암물질 중 국제암연구소 Group 2B 발암 물질들은 30개로 납 및 그 무기화합물, 이산화티타늄, 디에탄올아민, 니켈, 삼산화안티몬, 카본 블랙, 1-브로모프로판, 디에탄올아민, 톨루엔 디이소시아네이트, 1,4-디옥산 등이다. 이 중에서 노출 기준을 100% 초과하는 Group 2B 발암물질들은 납, N, N-디메틸아세트아미드, 1-브로모프로판, 클로로포름 등이다. 또한 노출 기준의 10%를 초과하는 Group 2B 발암물질들은 니트로메탄, N,N-디메틸아세트아미드, 디에탄올아민, 1,4-디옥산, 메틸 이소부틸 케톤, 1-브로모프로판, 비닐아세테이트, 아세트알데히드, 아크릴로니트릴, 에틸벤젠, 테트라하이드로퓨란, 톨루엔-2,4-디이소시아네이트, 1,1,1-트리클로로메탄, 납 및 그 무기화합물, 코발트 및 그 화합물, 니켈 금속, 이산화티타늄, 오산화 바나듐, 아스팔트, 카본블랙 등이다.

이 연구는 한국의 전자산업에서 5년간(2013~2017) 측정된 작업환경측정자료를 분석한 결과, 측정대상을 현재 산업안전보건법에 규정된 ‘작업환경측정대상물질’로만 제한하고 있어서, 국제암연구소 등 여러 기관이나 연구자들이 제안하는 직업성발암물질을 포괄하지 못하고 있다는 것을 보여주고 있다. 향후, 한국에서 전자산업 뿐 아니라 각 산업에서 발암물질의 노출을 평가하고 관리할 수 있도록 산업안전보건법의 작업환경측정제도를 개선해야 하며, 현 작업환경측정물질에 국한되고 있는 점을 극복하고 새로운 대안을 마련해야 한다.

감사의 글

전자산업의 보건관리실태조사 및 노동자보호방안 마련 -반도체 제조업 중심 연구에 참여하신 공동연구원분들께 감사드립니다. 이 연구조사를 위해 작업현장을 방문했을 때 따뜻하게 맞아주시고 설명해주신 한국 전자산업의 산업안전관리자, 보건관리자, 노동자들에게 깊은 감사를 드립니다.

이 연구는 2018년 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 학술용역 지원 사업에 의해 수행되었다. 또한 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이다(No. 2017R1D1A1B03035890). 또한 이 논문은 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(HI19C1320)을 밝힌다.

Acknowledgement

This research was funded by occupational safety and health research institute (OSHRI) of Korea occupational safety and health agency (KOSHA), 2018. This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2017 R1D1A1B03035890). This research was supported by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number : HI19C1320).

References

- Cherrie JW, Van Tongeren M, Semple S. Exposure to occupational carcinogens in great Britain. *Ann Occup Hyg* 2007;51(8):653-64. doi:10.1093/annhyg/mem049
- Chiu KH, Wu BZ, Chang CC, Sree U, Lo JG. Distribution of volatile organic compounds over a semiconductor industrial park in Taiwan. *Environ Sci Technol* 2005;39(4):973-83. doi:10.1021/es049110m
- Choi CH. Fabrication of high purity silica from diatomaceous earth and quantitative analysis of trace impurities. Hanyang University. Masters Thesis. 2012
- Dumitrescu E, Karunaratne DP, Babu SV, Wallace KN, Andreescu S. Interaction, transformation and toxicity assessment of particles and additives used in the semiconducting industry. *Chemosphere* 2018;192:178-185. doi: 10.1016/j.chemosphere
- Elkin ER, Su AL, Kilburn BA, Bakulski KM, Armant DR et al. Toxicity assessments of selected trichloroethylene and perchloroethylene metabolites in three in vitro human placental models. *Reprod Toxicol* 2022;109:109-120. doi:10.1016/j.reprotox
- Ha K, Kim SW, Phee YK, Lee N. Strengthening the occupational exposure limit for 1-bromopropane according to the results of epidemiological studies and exposure status. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2020;30(3):270-279. doi:10.15269/JKSOEH.2020.30.3.270
- Ministry of Government. Legislation National Law Information Center. 2022. <https://www.law.go.kr/IARC>
- IARC 2022. <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>
- Nongmin News. 2022.5.2. <https://www.nongmin.com/news/NEWS/ECO/FRM/355028/view>
- Ministry of Employment and Labor 2022. https://www.moel.go.kr/local/tongyeong/news/notice/noticeView.do?bbs_seq=20220301700
- Dae Myung Chemical. 2022. <http://www.daemyungchem.co.kr/shop/board/view.php?id=story&no=74>
- Labotoday News. 2020.11.26. <https://www.labortoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=167769>
- IARC. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-131. 2022. <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>
- IARC. Trichloroethylene, tetrachloroethylene, and some other chlorinated agents. Volume 106. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France. 2014. C:/Users/user/Downloads/mono106.pdf
- Kauppinen T, Toikkanen J, Pedersen D, Young R, Ahrens W et al. Occupational exposure to carcinogens in the European union. *Occup Environ Med* 2000;57(1):10-8. doi:10.1136/oem.57.1.10
- Kauppinen T, Toikkanen J, Pukkala E. From cross-tabulations to multipurpose exposure information systems: a new job-exposure matrix. *Am J Ind Med* 1998;33(4):409-17. doi:10.1002/(sici)1097-0274(199804)33:4<409::aid-ajim12>3.0.co;2-2
- Kim EA, Lee HE, Ryu HW, Park SH, Kang SK. Cases series of malignant lymphohematopoietic disorder in korean semiconductor industry. *Saf Health Work* 2011;2(2):122-34. doi:10.5491/SHAW
- Kim KY. Survey on annual excess trend for permissible exposure limit of trichloroethylene. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2019;29(1):21-26. doi:10.15269/JKSOEH.2019.29.1.21
- Kim S, Yoon C, Ham S, Park J, Kwon O et al. Chemical use in the semiconductor manufacturing industry. *Int J Occup Environ Health* 2018;24(3-4):109-118. doi:10.1080/10773525.2018.1519957
- Koh DH, Park JH, Lee SG, Kim HC, Choi S et al. Development of Korean carcinogen exposure: an initiative of the occupational carcinogen surveillance system in Korea. *Ann Work Expo Health* 2021;65(5):528-38. doi:10.1093/annweh/wxaa135
- Korean standard industrial classification(KSIC). National Statistical Office Notice(2017.07.01.). 2017. <https://>

- www.data.go.kr/data/15049591/fileData.do
- KOSHA. Formaldehyde. Report on the results of a survey on the distribution and use of chemicals. KOSHA report: 2008-00-000. 2008
- LaDou J, Bailar C. J. Cancer and reproductive risks in the semiconductor industry. *Int J Occup Environ Health* 2007;13(4):376-385. doi:10.1179/oeh.2007.13.4.376
- Ledda C. Epidemiological research on occupational and environmental carcinogens. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(5):2251. doi:10.3390/ijerph18052215
- Loomis D, Guha N, Hall AL, Straif K. Identifying occupational carcinogens: An update from the IARC monographs. *Occup Environ Med* 2018;75(8):593-603. doi:10.1136/oemed-2017-104944
- 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. doi:10.1002/1348-9585.12050
- Lash LH, Chiu WA, Guyton KZ, Rusyn I. Trichloroethylene biotransformation and its role in mutagenicity, carcinogenicity and target organ toxicity. *Mutat Res Rev Mutat Res* 2014;762:22-36. doi: 10.1016/j.mrrev.2014.04.003
- Lin CC, Wang JD, Hsieh GY, Chang YY, Chen PC. Increased risk of death with congenital anomalies in the offspring of male semiconductor workers. *Int J Occup Environ Health* 2008;14(2):112-116. doi:10.1179/oeh.2008.14.2.112
- 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. doi:10.1002/1348-9585.12050
- Park D, Choi S, Lee S, Koh DH, Kim HR et al. Occupational characteristics of semiconductor workers with cancer and rare diseases registered with a Workers' Compensation Program in Korea. *Safety and Health at Work* 2019;10(3):347-354. doi:10.1016/j.shaw.2019.03.003
- Park DW, Ko DH, Kwak HS, Kim SB, Lee KH et al. KOSHA. A survey on the use of hazardous substances and classification of hazardous substances according to the changes in metal processing technology. KOSHA 2016-KOSHA-777. 2016
- Rusyn I, Chiu WA, Lash LH, Kromhout H, Hansen J et al. Trichloroethylene: Mechanistic, epidemiologic and other supporting evidence of carcinogenic hazard. *Pharmacol Ther* 2014;141(1):55-68. doi: 10.1016/j.pharmthera.2013.08.004
- Siemiatycki J. Future Etiologic research in occupational cancer. *Environ Health Perspect* 1995;103(Suppl 8):209-15. doi:10.1289/ehp.95103s8209
- Siemiatycki J, Richardson L, Straif K, Latreille B, Lakhani R et al. Listing occupational carcinogens. *Environ Health Perspect* 2004;112(15):1447-59. doi:10.1289/ehp.7047
- Son M, Paek D, Park MJ, Lee WK, Lim YH et al. Survey on the health management of electronics industry and preparation of measures to protect workers-centered semiconductor manufacturing. Korea Occupational Safety and Health Agency. Occupational Safety and Health Research Institute, Research Report 2018 (2018-OSHRI-823)
- Sritharan J, Luo Y, Harris MA. Trends in participation rates in case-control studies of occupational risk factors 1991-2017. *Occup Environ Med* 2020;77(10):659-65. doi:10.1136/oemed-2019-106200
- Stayner LT, Collins JJ, Guo YL, Heederik D, Kogevinas M et al. Challenges and opportunities for occupational epidemiology in the twenty-first century. *Curr Environ Health Rep* 2017;4(3):319-24. doi:10.1007/s40572-017-0154-z
- Takala J. Eliminating occupational cancer. *Ind Health* 2015;53(4):307-9. doi: 10.2486/indhealth.53-307
- Tsao YC, Fan HY, Luo JJ, Case reports of indium lung disease in Taiwan, *Journal of the Formosan Medical Association* 2021;120(2) 893-898. doi:10.1016/j.jfma.2020.08.009
- Tsao YC, Fan HY, John Luo JC. Case reports of indium lung disease in Taiwan, *Journal of the Formosan Medical Association. J Formos Med Assoc* 2021;120(2):893-898. doi:10.1016/j.jfma.2020.08.009
- Yang JS, Lee JH, Choi SB, Kim UC, Kim YK, et al. 2006. A study on the exposure evaluation of carcinogenic substances by water-soluble metal processing additives-focusing on nitro compounds. KOSHA 2006-OSHRI-73-761. 2016
- Yoon C, Kim SW, Park D, Jung J, Choi S et al. Hazards in semiconductor industry. Korea National Open University Press, 2020. ISBN 978-89-2 0-03857-0 95510
- Yoon C, Kim S, Park D, Choi Y, Jo J et al. Chemical use and associated health concerns in the semiconductor manufacturing industry. *Saf Health Work* 2020;11(4):500-508. doi:10.1016/j.shaw.2020.04.005
- Watterson A, LaDou J. Health and safety executive inspection of U.K. semiconductor manufacturers. *Int J Occup Environ Health* 2003;9(4):392-396. doi:10.1179/oeh.2003.9.4.392

Wilson MP, Schwarzman MR. Toward a new U.S. chemicals policy: rebuilding the foundation to advance new science, green chemistry, and environmental health. Environ Health Perspect 2009; 117(8):1202-9. doi:10.1289/ehp.0800404

<저자정보>

손미아(교수), 윤재원(박사, 연구원), 황유성(박사과정, 연구원), 박미진(교수), 이미영(선임연구위원), 최민서(박사과정, 연구원), 백도명(교수)