

반도체 산업 노동자 암 발생 위험 논란과 과제

박동욱*

한국방송통신대학교 환경보건학과

Challenges and issues of cancer risk on workers in the semiconductor industry

Dong-Uk Park*

Department of Environmental Health, Korea National Open University

ABSTRACT

Objectives: The objectives of this study are to summary controversy over health risks among semiconductor workers, to review major cancer risk results conducted in semiconductor operation and to evaluate occupational health activities in Korea for controlling hazardous agents generated in semiconductor operations

Methods: Major occupational health issues that has been social controversies among semiconductor workers since 2007 were reviewed through an extensive literature, report and article review.

Results: Since a female semiconductor worker aged 22 died from leukemia in 2007, job-association of a number of former semiconductor workers with various types of cancer and rare diseases have been denied by the Korea Workers' Compensation and Welfare Service (KWCWS), but some of them were later awarded compensation as an occupational disease by the administrative court. Two epidemiologic cancer risk studies conducted in Korea found increased risks in leukemia and non-Hodgkin's lymphoma among semiconductor workers. Various legal occupational health activities taken in semiconductor industry were found to fail to assess a complex characteristics of semiconductor operations, such as drastic changes in chemical use, processes, and technology, multiple exposure. National compensation regulation also showed the limitation to evaluate job-association of semiconductor workers who had worked in semiconductor operation.

Conclusions: National legal measures should be taken to improve several occupational health activities and duties for protecting workers. In addition, the KWCWS program should be revised so that all workers who meet minimal job or environment associations can be compensated.

Key words: Semiconductor workers; Korea Workers' Compensation and Welfare Service (KWCWS), Fabrication

I. 서 론


우리나라에서 메모리 저장용 칩(memory chip)을 생산하는 반도체 산업은 1984년 무렵 삼성전자와 현 SK하이닉스에서 시작되었다. 반도체 회로 증착 밀도를 높이기 위한 기술의 개발로 실리콘 웨이퍼(이하 웨이퍼) 직경이 초창기 5인치에서 현재는 12인치(약 300 mm)로 커졌다. 2000년 후반부터 도입되기 시작한 12인치 웨이퍼 생산 공정은 노동자가 화학물질과 제품을 수동

으로 취급할 필요 없이 대부분 자동화로 운영되는 것이 일반적이다. 현재 반도체 산업 세계 선두 기업인 삼성전자와 SK하이닉스는 모두 12인치 웨이퍼 회로 증착 공정(circuited fabrication, 이하 fab 공정)을 자동화 공정으로 운영하고 있다. 그러나 그 이전의 수동 공정에서는 노동자가 화학물질 등 다양한 유해인자에 노출될 가능성이 크다.

2007년, 삼성전자 fab 공정에서 1년 6개월간 근무했던 황유미 씨(진단: 21세, 사망: 23세)가 백혈병에 걸려

*Corresponding author: Dong-Uk Park, Tel: 02-3668-4707, E-mail: pdw545@gmail.com
Department of Environmental Health, Korea National Open University, 86 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, Republic of Korea 03087

Received: September 6, 2019, Revised: September 18, 2019, Accepted: September 26, 2019

 Dong-Uk Park <http://orcid.org/0000-0003-3847-7392>

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.

사망하면서 반도체 공장의 건강위험이 사회에 처음 알려졌다. 백혈병 발생 위험과 직접적인 관련이 있는 벤젠, 엑스선에 대한 유의미한 노출이 없었다는 이유로 근로복지공단 업무상질병판정위원회(이하 질판위)에서는 이 사례를 산업재해 업무상 질병(이하 산재 직업병)으로 인정하지 않았다. 그러나 행정소송에서는 젊은 나이, 화학물질의 과다한 노출 등 포괄적 연관 요인을 들어 이 사례를 산재 직업병으로 인정함으로써 질판위의 판정을 뒤집었다(SHC, 2011). 이후 현재까지 반도체 공장 노동자들이 신고한 암, 희귀병 등 여러 사례들이 수집되면서 반도체 공정 환경과 건강위험과의 연관성 또는 인과 규명에 대한 논란이 사회문제화 되었다.

본 논문에서는 반도체 공장 노동자들에게 발생하는 질병의 직업적 위험과 해결 과정을 정리하였다. 구체적인 목적은 첫째, 반도체 공장 노동자들의 암 발생 위험을 고찰하고, 둘째, 그동안 반도체 공장의 건강위험 문제를 예방하고 해결하기 위한 고용노동부와 기업의 대응 방안들을 비교하며, 끝으로 반도체 공장의 건강위험에 대한 사회적 논란으로 본 산업보건 활동의 문제점과 과제를 제시하는 것이다.

II. 연구 범위 및 방법

1. 반도체 산업과 반도체 공정 정의

본 연구에서 언급한 반도체 산업은 통계청 한국표준산업분류에서 제조업(대분류, Sections, C) → 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업(중분류, Divisions, 26) → 전자 집적회로 제조업(세분류, Classes, 2611) → 전자 집적회로 제조업(세세분류, Sub-classes, 26110)에 해당된다(Table 1)(KOSTAT, 2007). 전자 집적회로 제조 공정은 실리콘 웨이퍼 위에 회로(circuit)를 증착

하여 집적(integrated)하는 fab 공정과 증착된 웨이퍼를 절단하여 전자제품의 메모리용 저장 장치를 만드는 패키지 조립 공정(package and assembly)을 포함한다. 보통 이 공정은 각각 개별 공장으로 분리되어 있는데, 반도체 공장에서는 fab 공정을 전(before) 공정으로, 패키지 조립 공정을 후(post) 공정으로 부르기도 한다. 자세한 공정 원리와 공정에서 사용하는 화학물질, 공정에서 발생하는 유해인자 등은 이미 여러 문헌에 보고되어 있다(Chelton et al., 1991; Cox, 1984; Hawkinson & Korpela, 1997; Park et al., 2011; Wald & Jones, 1987). 그러나 이 문헌들은 대부분 2000년대 이전의 공정을 연구한 것으로, 최근의 공정과 유해인자의 발생 특성을 반영하지 못할 수 있다. 특히 fab 공정은 급격한 기술 변화 및 자동화로 노동자의 노출 특성에 큰 차이가 있을 수 있다.

2. 문헌 고찰

반도체 산업 노동자의 암 발생과 사망 위험은 국내외 학술지에서 보고된 주요 결과에서 핵심 내용을 고찰하였다. 문헌 검색 시에는 Pubmed에서 “semiconductor”, “fab”, “clean room”, “cancer”, “reproductive toxicity” 등을 개별 또는 조합해서 관련 문헌을 검색한 후, 본 연구에 맞는 문헌을 고찰하였다. 단, 전자산업 공정, 유해인자 노출평가 방법 등은 제외하였다.

III. 결 과

1. 반도체 산업 시작과 건강위험 인지

반도체 산업은 공장 내에서 메모리와 비메모리 칩 생산을 포함하여 이러한 생산을 지원하는 화학물질 공급, 장비 설치 등 공장 외부의 협력 산업과도 관련된다. 그

Table 1. Standardized classification related to semiconductor industry by Ministry of Statistics

Standard code number	Name of industry
C (Sections)	Manufacture
26 (Divisions)	Manufacture of Electronic Components, Computer, Radio, Television and Communication Equipment and Apparatuses
261 (Groups)	Manufacture of Semiconductor
2611 (Classes)	Manufacture of Electronic Integrated Circuits
26110 (Sub-classes)	Manufacture of Electronic Integrated Circuits
2612	Manufacture of Diodes, Transistors and Similar Semi-conductor Devices
26120	Manufacture of Diodes, Transistors and Similar Semi-conductor Devices

러나 반도체 산업 부품 공급, 설비와 기계 정비 등의 협력 업체 산업은 이 분류를 따르지 않는 경우가 많다 (Son et al., 2018). 각각의 산업 분류는 서비스, 건설, 정비 등 일의 종류에 따라 다르다. 예를 들면 특정 반도체 공정의 부품을 정비하는 회사가 심지어 서비스업으로 분류되기도 한다. 이로 인해 국내외에서 보고된 연구 결과에서는 반도체 공장 외부 협력 업체의 노동자 건강 영향 평가가 제외되어 있다. 따라서 반도체 공정과 관련된 노동자의 건강위험을 모두 포괄하지 못하는 한계가 있다. 이러한 한계는 비단 반도체 산업에만 해당되는 것은 아니다.

메모리칩을 만드는 반도체 공정은 크게 3개 범주로 묶을 수 있다(Chelton et al., 1991; Cox, 1984; Hawkinson & Korpela, 1997; Park et al., 2019; Wald & Jones, 1987). 첫째, 반도체 실리콘 웨이퍼 생산, 둘째, 반도체인 웨이퍼에 전기 특성을 부여하여 반도체로 만드는 fab 공정, 마지막으로 전자제품용 칩(chip)으로 절단하고 포장하는 패키지 조립 공정이다. 모두 별도의 장소와 공장에서 운영되고, 공정 특성 및 유해인자는 다르다. 건강 유해인자는 수많은 화학물질 사용, 에너지 사용, 그리고 반도체 공정에만 있는 특수 환경이다. 여기서 특수 환경이란 제품의 먼지 오염을

방지하기 위한 클린룸(clean room), 방진복 착용, 양압(positive pressure), 공기 흐름, 낮은 농도의 복합 화학물질에 대한 지속적 노출, 서서 일하는 작업 등이다. 반도체 제조 공정별로 발생하는 주요 건강 유해인자를 정리하였다(Table 2). 이는 문헌 고찰을 통해 저자의 임의적 판단으로 평가한 것이다.

앞에서 언급했듯이 반도체 공장 건강위험은 2007년 fab 공장의 식각과 확산 공정에서 1년 6개월 가량 운전자로 일했던 황유미 씨가 급성골수성백혈병으로 사망하자 유족이 근로복지공단에 산업재해보상보험 유족급여(산재 직업병) 신청을 하면서 알려졌다. 젊은 나이에 개인적/유전적으로 두드러진 위험 요인이 없었는데도 질판위(구 자문의사협의회)는 이를 업무상 질병으로 인정하지 않았다. 다음 해 동일 혹은 유사 공정(식각, 확산, 증착, 금속 배선 등)에서 같은 일을 하다 같은 급성골수성백혈병으로 사망한 여성 노동자(당시 30세, fab 공정 약 11년 근무)의 유족이, 근로복지공단에 같은 질병으로 산재 직업병 신청을 했지만, 질판위(구 자문의사협의회)는 역시 이를 인정하지 않았다. 질판위의 판정은 산업안전보건연구원의 역학조사 평가위원회에서 백혈병의 확실한 원인 요인인 벤젠과 엑스선에 대한 노출이 없거나 낮고 반도체 산업에서 백혈병 발생이 높은 증거

Table 2. Summary of hazardous agents generated in semiconductor operation(Park et al., 2019)

Major operation*	Minor operation*	Major health hazards (reference)
Fabrication operation	Epitaxy and oxidation	Gases and silanes
	Photo masking & etching	Solvents, acids, alkalis, photoresist, developers, UV light
	Doping: diffusion and ion implantation	Gases, dopants, metals, X-ray, ELF-MF
	Deposition: chemical vapor deposition	Gases, dopants, ELF-MF
	Metallization	Dopants, metals, solvents
	Passivation	Silicon oxides and nitrides, aluminum oxide
Testing		Chemicals in case of analysis for quality control
Chip assembly operation	Wafer back grind/saw	Fused silica, TMAH
	Die attach/wire bonding	Epoxy resins
	Molding by epoxy	Epoxy resins
	Solder ball mounting	Chemicals from thermal decomposition of EMC, Flux
	Testing by hot & cold temperature	Chemicals from thermal decomposition of EMC, ELF-MF
Non-fabrication	Office	Supply chemical to fab clean room, Wastewater treatment etc.
	Non-office operation	Maintenance and operation of the facilities including scrubbers, wastewater treatment etc.

Abbreviations: UV, Ultraviolet; ELF-MF, extremely low frequency-magnetic field; TMAH, tetra methyl ammonium hydroxide; EMC, epoxy molding compound

* Name and classification of operation may vary among plants

Table 3. Decision on the association with job history of five blood-related cancer cases by administrative court in 2011

ID	Diagnosed age	Name of disease	Employment duration	Type of major operation	Task	Job	Compensation by KWCWS	Compensation by administrative court
A	21	Leukemia	Jun 2003 - Jun 2005	Fabrication	Diffusion/Etching	Operator	No	Yes
B	30	Leukemia	Jan 1995 - Jul 2006	Fabrication	Diffusion/Etching/ metallization	Operator	No	Yes
C	30	Leukemia	Jun 1997 - Oct 2004	Fabrication	CMP/Back-Lap	Engineer	No	No
D	36	Leukemia	Jan 1991 - Jan 1996	Chip packaging and assembly	Cutting	Operator	No	No
E	38	Non-Hodgkin lymphoma	May 1993 - Dec 1998	Chip packaging and assembly	Electroplating	Engineer	No	No

Abbreviations: KWCWS, Korea Workers' Compensation and Welfare Service; CLP, chip level package.

가 없다는 다수 위원의 판단에 따른 것이다(OSHRI, 2009; SHC, 2011). 그러나 이와 반대로 2011년 서울 행정법원은 이들이 업무를 수행하던 중 각종 유해 화학 물질에 지속적으로 노출되어 급성골수성백혈병이 발병 하였거나 적어도 이와 같은 노출이 발병 및 이로 인한 사망을 촉진한 원인이라고 추단되어 피해자의 업무 수행과 사망 사이에 상당한 인과관계가 있다고 판결하였다(SHC, 2011). 다른 반도체 노동자 3명의 사례는 업무 관련성이 낮은 것으로 판결하였다(Table 3). 2014년 서울고등법원의 항소심 판결도 1심과 같은 결론으로 확정되었다.

2007년부터 반도체 노동자의 건강과 인권지킴이 반올림(이하 반올림)은 반도체 공장 퇴직 또는 현직 노동자들이 걸린 백혈병을 포함한 여러 종류의 암과 희귀병 등이 반도체 환경 및 직무와 연관이 있다는 문제를 제기하였고, 이에 대한 과학적, 사회적 논쟁이 계속되었다. 2007년부터 시작된 삼성전자 반도체 노동자의 암 등 건강위험 원인 규명과 보상 등의 논란은 2018년까지 10여 년 동안 계속되었다. 그러다가 2018년 삼성전자와 반올림이 삼성 반도체 노동자의 암 등 주요 질병을 보상하기로 합의하면서 그동안의 논란은 일단 증재되었다. 그러나 건강위험의 과학적인 원인 규명과 더불어 향후 예방을 위한 조치와 방향 등의 과제는 아직 남아 있다.

2. 반올림 활동

반올림은 2007년 11월 반도체 백혈병 대책위원회 시민 조직으로 출발하였고, 반도체를 포함한 전자산업 노동자의 산업재해보상을 전문적으로 지원하였다. 반올림은 2008년 삼성전자 반도체 노동자 중 백혈병 환자 5명의

사례를 시작으로(Table 3) 2019년 6월까지 반도체를 포함한 전자산업 노동자 133명을 대리하여 산재보상을 신청했고, 이 중 총 54명(질판위 인정 36명, 행정법원 인정 18명)을 산업재해 직업병 피해자로 승인되게 했다. 이 피해자 54명 중 저자가 분류한 반도체 공장 노동자는 38명이다. 최근까지 반올림의 자세한 활동과 산재 신청 및 인정 현황은 <http://m.cafe.daum.net/samsunglabor/MHzN/457>에서 상세히 소개하고 있다.

3. 국내 반도체 위험성 평가

고용노동부는 반도체 공정 노동자의 백혈병 등 건강위험이 사회문제화된 2009년에 3개 반도체 회사 6개 공장(삼성전자 기흥 및 아산, SK하이닉스 반도체 이천 및 청주, 엠코테크놀로지 코리아 서울 및 광주 사업장)을 대상으로 외부 전문가를 통해 산업보건 위험성 평가를 수행하였다. 반도체 공장의 산업보건 수준은 총 6개 분야(산업의학, 노출평가, 신공정과 신기술, 산업 환기, 의사소통, 안전문화 경영)로 나누어 평가하였다(SNURND, 2009). 그 결과, 노출평가 분야에서는 포토 공정에서 사용한 PR(photoresist) 벌크 시료 4개 중 1개에서 벤젠 8.91ppm이 검출되었다고 기술했다. 이 정도의 농도는 공기 중으로 모두 증발한다고 해도 높은 농도를 형성할 가능성은 낮지만, 피부 흡수 및 과거 유의미한 노출은 의심할 수 있는 결과였다. 또한 생식독성 물질인 2-methoxy ethanol이 2개 시료에서 각각 128.47 ppm과 7.71 ppm 검출되었다. 이 반도체 위험성 평가 조사 결과는 법원의 반도체 노동자 산재 직업병 판결 등에서 자주 인용되었다(SHC, 2011). 한편, 미국에서는 1990년대 이미 PR 중 생식독성 물질인 EG(ethylene

glycol ether) 그룹과 이들의 아세테이트 그룹(2-ethoxy ethanol, 2-ethoxy ethyl acetate, 2-methoxyethanol acetate 등) 사용이 금지되었지만(Correa et al., 1996), 당시 국내 반도체 공정에서는 여전히 포함된 것을 확인하였다. 이는 당시 반도체 공정에 필요한 화학물질 제품을 공급받을 때 회사 내에는 발암물질 등 위험물질을 확인하는 규정, 절차 등이 없었기 때문으로 보인다.

4. 국내외 반도체 노동자의 암 등 건강위험 연구

지금까지 국내외에서 반도체(fab) 공장 노동자의 암 발생 및 사망 위험을 평가한 연구는 총 9편에 불과하다. 저자는 이 논문들을 고찰하여 암 위험의 특성과 노출평가 방법의 한계점을 정리하였고, 이를 근거로 반도체 암 위험 역학연구에서 유의한 연관성을 나타낸 암 종류를 정리하였다(Table 4)(Park, 2018). 그 결과, 일관되게 유의한 연관성을 보인 암 종류를 보고한 논문은 총 9편 중 2편에 불과한 것을 볼 수 있다. 이는 역학연구에서 사용한 과거 노출 추정 방법에서 노동자가 일했던 공정, 담당했던 직무와 작업 방법 등 정보의 누락 또는 부족으로 연구 대상자에 대한 노출 분류 오류(exposure misclassification)가 발생했기 때문이라고 추정하였다.

Sorahan et al. (1985)은 영국 반도체 웨이퍼 가공 공정에서 발생하는 암 위험을 처음으로 보고하였다. 이 연구에서는 1970~80년에 일했던 반도체 노동자 1,807명을 조사하여 3명에게서 흑색종을 발견했지만, 유의한 암 위험을 발견하지 못하였다(Sorahan et al., 1985). 이후 이 반도체 노동자들을 1992년까지 7년 동안 추적한 연구에서도 유의한 암 위험을 발견하지 못하였다(Sorahan et al., 1992). 2000년 이후 영국에서 2편(McElvenny et al., 2003; Nichols & Sorahan, 2005), 미국에서 3편(Beall et al., 2005; Bender et al., 2007; Boice Jr et al., 2010)의 연구 결과가 보고되었으나, 암 위험 부위와 연관성이 서로 일관되지 않았다. 일부 암 위험을 발견한 연구도 구체적인 공정, 직무, 유해인자 등의 구체적 원인을 드러내지 못하였는데, 이러한 한계는 노동자의 과거 직무 노출 정보의 부족으로 인한 연구 대상자 분류 오류 등에 기인할 수 있다.

국내에서는 2011년 Lee et al. (2011)의 연구에서 9개 fab 공장과 2개 칩 패키지 공장 노동자(암 발생 108,943명, 암 사망 113,443명)의 10년간(1998년~2007년) 암 사망과 발생 위험을 일반 인구와 비교하였다(Lee et al., 2011). 올해 산업안전보건연구원은 Lee et al. (2011)의

Table 4. List of cancers with significant findings in nine cancer risk epidemiologic studies conducted in semiconductor operations

Type of cancer	≥ "1" lower 95% CI*
Non-Hodgkin lymphoma	1
Brain	1
Melanoma	2
Ovarian	1
Rectum	2
Prostate	2
Pancreas	2
Breast	2
Lung	1
Thyroid	1
Stomach	1

Abbreviations: CI, confidence interval.

* Number in table indicates the number of articles (out of the total of nine) showing a significant association.

연구 대상자(암 발생 197,641명, 암 사망 200,997명)를 10년(2008년~2018년) 더 추적하고 일부 회사 반도체 노동자를 추가한 암 위험 결과를 발표하였다(OSHRI, 2019). 회사에서 제출한 노동자 직무 정보와 국민건강보험공단에서 구한 암 위험 정보를 분석해서 얻은 결과이다(Table 5). 두 연구에서 모두 악성림프종 중 하나인 비호지킨림프종(Non-Hodgkin's Lymphoma, NHL)이 유의하게 높은 결과를 보였다. 2019년도 연구에서는 이외에도 다양한 암에 대하여 연관성을 짐작할 만한 내용을 발표하였다. 그러나 암 위험을 증가시키는 구체적인 유해인자는 물론 공정과 직무 요인의 연관도 규명하지 못하였다. 공정이 연결되지 않은 운전자와 정비 작업자의 관련성은 구체적인 직무 요인이라고 볼 수 없기 때문이다.

최근 Park et al. (2019) 등이 반도체 노동자 중 암과 희귀병 산업재해 신청자 55명의 과거 직무 특성인 근무 시작 연도, 취급 웨이퍼 직경, 근무 시기, 근무 기간 등에 따른 분포를 분석하였다. 그 결과 55명 중 44%(n=24)가 혈액 관련 질병(백혈병, NHL, 재생불량성빈혈)을 신청하여 가장 많은 비중을 차지하였다. 산재 직업병 신청자(n=55) 중 76%(n=42) 그리고 혈액 관련 질환자(n=24) 중 79%(n=19)가 2000년 이전에 고용된 노동자들이었다. 이때는 웨이퍼 직경이 300 mm 이하였고, 제품과 화학물질 등을 수동으로 취급하는 시기

Table 5. Type of cancer associated with job profile among semiconductor workers evaluated in Korea (Lee et al., 2011; OSHRI, 2019)

Authors (year)	Number of plants	Significant cancer	Associated factors	OR(95% CI)
Lee et al. (2011)	9 wafer fab facilities & 2 fab packing facilities	Thyroid	Male semiconductor workers	SIR 2.11(1.49–2.89)
			Fab	SIR 1.77(1.08–2.74)
			Hire date (<1991), male	SIR 1.85(0.95–3.23)
			Hire date (1992–1997), male	SIR 2.78(1.70–4.30)
			Years worked(>10 year), male	SIR 2.30(1.46–3.46)
		Kidney	Male semiconductor workers	SIR 1.82(0.97–3.12)
			Female manufacturing workers	SIR 2.53(1.34–4.32)
			Female chip assembly operator	SIR 3.15(1.02–7.36)
			Hire date (>= 2004), female	SIR 5.28(1.09–15.44)
			Years worked(1–5 year), female	SIR 2.94(1.08–6.39)
OSHRI (2019)*	9 wafer fab facilities & 2 fab packing facilities	Leukemia	Female semiconductor workers	SIR 1.55(1.06–2.18)
			Female semiconductor workers	SMR 2.30(1.45–3.45)
			Female semiconductor workers(age, 20–24)	SIR 2.74(1.01–5.97)
			Female semiconductor workers	SMR 2.81(1.69–4.40)
			Female semiconductor workers	SIR 1.92(1.35–2.64)
		Non-Hodgkin lymphoma	Female semiconductor workers	SMR 3.68(1.84–6.59)
			Female operator	SIR 2.19(1.47–3.14)
			Female operator(age, 20–24)	SIR 3.33(1.52–6.33)
			Female assembly operator(age, 20–24)	SIR 4.24(1.38–9.90)
			Female assembly operator	SIR 2.23(1.18–3.81)
		Breast cancer	Male maintenance worker	SIR 6.95(1.43–20.30)
		Melanoma	Male operator	SIR 1.96(1.04–3.35)
			Male maintenance worker	SIR 2.75(1.01–6.00)
		Testis cancer	Female operator(age, 20–24)	SIR 5.10(1.05–14.91)
		Pancreatic cancer	Male fab worker	SIR 2.86(1.05–6.23)
Salivary gland tumor				

Abbreviations: OSHRI, Occupational Safety and Health Research Institute; NHL, non-Hodgkin lymphoma; SMR, standard mortality ratio; SRR, standard cancer registration ratio; SIR, standard cancer incidence ratio; OR, odd ratio.

* Association with office work were excluded, SMR and SIR with more significant results were selected among several comparison groups.

였다. 따라서 암 등 질병 위험이 직경 300 mm보다 작은 웨이퍼를 수동으로 취급하는 시기와 연관이 있었다고 추정하였다(Park et al., 2019).

국내 반도체 역학조사(Kim et al., 2011; OSHRI, 2019), Park et al. (2019)이 수행한 반도체 노동자 산재 직업병 신청 사례 분석 결과, 그리고 반올림이 공개한 산재 직업병 인정 사례 분석 결과(SHARPS, 2019)에 따르면, 반도체 노동자의 백혈병, NHL 등 혈액 관련 질병 발생이 일반인보다 통계적으로 유의하게 높았고

산재 신청자 중에서도 상대적으로 높은 비율을 차지한다. 국내 역학조사는 일부 대기업 공장의 원청 노동자를 연구 대상으로 삼았고 중소 규모의 반도체 공정은 물론 여러 사내의 하청 노동자를 포함하지 않았다. 일반적으로 건강위험 요인 노출수준은 중소 규모의 기업과 하청 노동자가 상대적으로 더 클 수 있다. 그 이유는 특히 반도체 중소규모의 fab 공정에서는 12인치 이하의 웨이퍼 증착 회로 공정에서 제품과 화학물질 등을 수동으로 취급하는 경우가 대부분이기 때문이다.

5. 반도체 회사의 대응

1) 삼성전자

2014년 10월, 삼성전자와 반올림, 가족대책위는 “반도체 등 사업장에서 발생한 백혈병 등 질환 질병과 관련한 문제 해결을 위한 조정위원회”(이하 조정위원회) 설립을 합의하였다. 이후 총 다섯 차례 조정을 통해 2015년 7월 최종 제안한 주요 내용은 1) 독립기구인 공익 법인 설립과 여기에 삼성전자가 1000억 원 기부, 2) 백혈병 등 림프조혈기계암, 희귀성 질환, 생식 질환 등 보상, 3) 독립적인 감시 기구인 옴부즈맨 위원회 구성 권고 등이었다. 그러나 삼성전자는 이 권고를 받아들이지 않았고 대신 2015년 9월에 회사 내 질병보상위원회를 운영하기 시작하였다. 지금까지 삼성전자가 선정한 지원 보상 대상 질병과 지원 규모 등은 알려지지 않았다.

2018년 11월, 삼성전자와 반올림은 반도체 공장 노동자 질병 지원 보상을 합의하였다. 언론에 알려진 주요 합의 내용은 1) 반도체 직무와 연관이 있는 것으로 의심되는 주요 암, 생식 질환, 자녀 질환 등에 대한 적절한 지원과 보상, 2) 대표이사의 공개 사과, 3) 반도체 직업병 예방을 위해 삼성전자가 500억 원을 조건 없는 출연 등이었다 (<http://www.fnnews.com/news/201811011707532814>).

이 합의에 따라 2018년 12월 외부 산업보건전문가 9인(산업위생 3명, 산업의학 3명, 시민 단체 1명, 변호사 2명)으로 “삼성 반도체·LCD 산업보건 지원 보상 위원회”가 구성되었고 현재 운영되고 있다. 이 위원회는 합의에서 결정한 지원 보상 대상 질병(암, 희귀병, 자녀 질환, 생식 질환 등)에 걸린 노동자를 대상으로 질병 중증도, 근무 기간, 생산 공정 노출(근무) 정도에 근거하여 개인별 지원 보상금을 지급하고 있다. 조정위원회가 권고한 지원 보상 제도는 개인별 보상액은 낮추되 피해 가능성이 있는 노동자를 최대한 포함하여 보상 범위를 확대하기 위한 것이다. 삼성전자가 출연한 500억 원은 안전보건공단에서 전자산업 노동자 질병 위험을 예방하기 위한 기금으로 사용하기로 합의하였다. 안전보건공단은 이를 추진할 가칭 “전자산업안전보건센터”를 설립하였다. 삼성전자는 2016년 1월부터 지금까지 외부 산업보건 전문가로 옴부즈맨 위원회를 구성하고 반도체 노동자 건강 보호를 위한 예방 등과 관련된 외부 전문가가 참여하는 여러 사업과 연구 등을 진행하고 있다.

2) SK하이닉스

한겨레 신문은 2014년 7월 28일부터 8월 11일까지 ‘또 하나의 비극, 하이닉스’의 보도를 통해 SK하이닉스 반도체(이하 SK) 노동자 건강위험을 제기했다. SK 이천 사업장에서 13년 동안 엔지니어로 근무하던 정○○ 씨가 2008년 비호지킨림프종(NHL)으로 사망한 사건을 비롯하여 최소한 17명이 림프조혈기계 질환으로 사망하였음을 확인하였다고 보도하였다(SWP, 2016). SK는 같은 해 10월 외부 산업보건전문가가 참여한 “에스케이(SK)하이닉스 산업보건 검증 위원회(외부 8인: 산업보건전문가 5인, 여성환경연대 2인, 변호사 1인, 내부 4인: 사측과 노측 각 2인)”를 구성하여 공장 노동자 건강 위험을 조사하고 대책을 마련하는 조치를 취하였다. 이 위원회는 연구를 통해 SK의 작업환경, 화학물질 관리, 노동자 질환, 직업병 의심 사례 등을 종합적으로 평가했고, 이를 기반으로 산업보건 시스템 개선 방안과 질병 보상 지원 체계를 제안하였다. 회사는 이를 모두 수용했고 실행에 옮겼다. 2016년부터 주요 질병군(암, 생식 질환, 자녀 질환)을 대상으로 최소한의 직무 연관을 판단하여 지원 보상 제도를 가동했고 지금까지 운영하고 있다. 지원 대상 질병, 직무 연관 조건, 대상 직무군 등은 여러 역학연구와 자체 연구에 근거하여 결정하였다. 이 제도에 따라 검증 위원회가 독립적으로 지원 보상 여부를 결정하고 있다.

6. 고용노동부

반도체 노동자 건강위험 논란에 대한 고용노동부의 주요 조치는 두 가지였다. 첫 대응은 위에서 정리한 2009년 “반도체 위험성 평가”를 주요 반도체 업체가 실시하도록 주선한 것이다(SNURND, 2009). 두 번째 대응은 2018년 8월 근로복지공단과 법원 판결을 통해 업무 관련성이 인정된 암 등 8개 질병(백혈병, 다발성경화증, 재생불량성빈혈, 난소암, 뇌종양, NHL, 유방암, 폐암)에 대해 업무 관련성 판단 과정을 간소화하여 이 질병에 걸린 반도체 노동자의 입증 부담을 덜고 신속히 산재 처리가 되도록 절차를 개선한 것이다(MOEL, 2018). 이는 최소한의 연관 직무 조건으로 반도체 공장에서 1년 이상 근무한 경우 자세한 직무연관조사(역학조사)를 거치지 않고 질판위에서 직접 판정하는 조치이다. 반도체 노동자가 걸린 특정 질병에 대해서 산재 질병 판정을 간소화하고 포괄적 직무 연관에 근거한 판정을 도입한 것은 이례적이다.

IV. 고 찰

반도체 공정에서 발생하는 유해인자의 발생과 노출 특성은 일반 제조업 공정과 다른 점이 많다. 첫째, 500여 종 이상의 화학물질과 에너지 등에 복합적으로 노출된다. 복합 화학물질은 물론 각종 전자파와의 복합 노출도 일어난다. 단순히 특정 유해인자 노출로 인한 특정 질병의 위험을 연관 짓는 접근으로는 한계가 있는 주요 이유다. 예를 들어, 반도체 노동자의 백혈병 등 혈액 관련 질병 발생 원인이 된다고 알려진 단일 인자인 벤젠, 엑스선 등에 대해 유의미한 과거 노출을 추정하는 것이 일치하지 않는 경우가 많다. 현재까지 알려진 과학과 의학에서 알지 못하는 다른 특정 요인의 개입 또는 복합 노출의 작용 등을 의심할 수 있지만, 지금까지 알려진 과학적 연구로 규명하는 것은 한계가 있다. 둘째, 반도체 공정 기술은 빠르게 변화하기 때문에 기계, 직무, 화학물질 사용 등의 변경, 대체, 소멸 등이 빈번하게 일어나지만, 그 기록이 남아 있지 않아 정보가 부족하다. 회사 규모에 따라 다르겠지만 가장 큰 변화는 화학물질과 중간 제품 등의 수동 취급 작업이 줄어들고 자동화가 늘어난다는 점이다. 이러한 반도체 공정 특성 변경은 건강위험과 직접적인 연관을 추정하는 데 결정적이지만 그 기록이 남아 있지 않는 경우가 많다. 과거 웨이퍼 직경이 작은 웨이퍼 제품(300 mm 이하)을 생산할 때는 화학물질, 중간 제품 등을 노동자가 직접 취급하고 심지어 정비까지 담당하는 것이 일반적이었지만 이에 대한 자세한 공정과 직무 기록은 없는 경우가 대부분이다. 따라서 암 등 만성 질병에 걸린 반도체 노동자가 과거에 화학물질과 중간 제품 등을 수동으로 취급함에 따른 변화를 추정할 수가 없다. 해외 역학연구에서도 연구 대상자의 과거 직무 정보의 부족으로 공정, 직무 등의 분류가 어려운 점을 지적하였다. 반도체 노동자의 특정 암 위험이 일반 인구보다 높다는 연관이 제시되어 있는 정도이다(Park, 2018). 이것이 반도체 노동자 암 위험 평가 역학연구에서 구체적인 인자로 특정 공정, 특정 직무, 특정 유해인자의 연관이나 인과를 밝혀내지 못한 주요 원인이라고 판단된다.

우리나라 역학조사에서만 반도체 공장 노동자의 혈액 관련 질병인 백혈병, NHL 등이 일반 인구보다 유의한 정도로 높게 나타났다. 2011년과 2019년 발표된 두 번의 연구 결과에서 NHL 위험은 일관된다(Table 5)(Lee et al., 2011; OSHRI, 2019). 이들 연구에서는 암 위험을 초래한 구체적인 공정이나 직무요인을 규명하지

못한 한계점이 있다. 반도체 공장 노동자의 암 등 건강 위험 연구 중 가장 어려운 내용은 연구 대상 노동자를 과거 유해인자 노출 특성에 따라 분류할 때 생기는 분류 오류이다(Park, 2018). 이러한 오류의 이유로는 공정 간 직무 간 구분의 어려움, 수많은 화학물질의 복합적 노출, 직무 변동, 공정 변화 등 반도체 산업 고유의 복합적 요인을 들 수 있다. 혈액 관련 질병 노동자의 공정 분포와 직무 이력을 보면 특정 공정이나 직무에 집중되지 않는다는 것을 알 수 있다. Park et al.(2019)은 반도체 노동자 중 산재 직업병 신청자 55명의 직무 특성을 분석한 연구에서 백혈병 사례자(n=14)가 fab 공정 10명(식각 1명, 임플란타 1명, 확산 2명, CMP 1명, 화학물질 분석 1명, 감독 1명 등)과 칩 조립 공정 4명(검사 1명, 오븐 1명, 본딩 1명, 절단 1명)으로 여러 공정에 분포되어 있는 것을 확인했다. 그런데 백혈병의 위험인자로 잘 알려진 벤젠, 엑스선 등과 공정 요인의 연관을 백혈병 사례자들의 공정과 직무에서 찾기가 힘들다. 특정 공정이나 단일 요인을 질병 원인이라고 볼 수 없는 이유라고 고찰했다.

2000년 후반부터 생산하기 시작한 300 mm 웨이퍼 자동 생산 공정에서 주로 일한 노동자의 잠재적 건강위험은 주로 장기간 낮은 수준의 복합적 유해인자 노출이라고 판단한다. 질병 발생 노출 기간, 추적 등에 한계가 많아 구체적인 연관이나 인과를 규명하기는 쉽지 않다. 국내 반도체 노동자의 코호트는 구축되어 있지 않고, 과거 노출을 추정하기 위한 직무와 공정 이력도 없기 때문이다. 2019년에 발표한 연구 대상 코호트를 계속 추적한다고 해도 이들의 직무 노출 분류는 회사에 의존하고 있어 분류 오류 등을 해결할 수 없다. 노출 위험이 더 큰 사내 및 사외 협력 업체 노동자를 포함시키는 것도 어렵다. 따라서 반도체 생산 공정에서 발생하는 암 등 건강위험을 평가하기가 쉽지 않다. 하지만 백혈병 등 혈액 관련 질병 발생의 위험이 있는 공정, 직무, 화학물질 등을 규명하지 못하였다 하더라도 위험을 예방하기 위한 대책은 필요하다. 먼저, 백혈병을 포함한 유의미한 수의 암 등 만성질환에 걸린 노동자들이 근무한 장소, 공정, 직무 등의 특성을 정성적, 질적 조사(qualitative study)를 통해 의심되는 직무 요인들을 추정하고, 이에 대한 노출을 최대한 억제하는 대책을 마련하는 것이 필요하다. 또한 반도체 공장에서 암 위험에 영향을 미치는 공정, 직무, 인자 등을 규명하기 위한 역학연구도 계속되어야 한다. 이때 그동안 수행되어 왔던 역학조사는 그

범위를 대기업 노동자 중심에서 중소 규모 회사를 포함한 노동자까지 확대해야 한다. 연구 대상자의 과거 노출은 표준화된 직무 분류 기준에 따라 일관성 있게 분류하고 이에 근거한 암 위험을 평가해야 한다.

2007년 이후 반도체 노동자 건강위험 논란이 진행되면서 질병 위험 요인 노출과 질병 예방 감시 그리고 질병 보상에서 한계점이 드러났다. 질병 예방 측면에서 보면, 노출 기준이 설정된 화학물질 등 일부 유해 요인의 독성에만 근거한 정량적 작업환경측정과 특수 건강검진제도는 과거 반도체 공정의 특성과 위험 요인을 예방하지 못한다. 회사는 법적 의무만을 수동적으로 따를 뿐, 질병 위험이 있는 반도체 공정, 직무 등에 대한 위험평가(risk assessment), 유해인자 관리(control), 직무 기록과 보관 등은 소홀히 하였다. 산업안전보건법에서는 산업, 공정, 직무 특성에 상관없이 유해인자 178종에 대해 6시간 이상 개인 시료(personal sample)에 의한 정량적 측정을 법적으로 강제하고 있다. 그러나 수많은 반도체 공정에서 짧은 시간 이루어지는 정비 작업 단시간 노출평가, 직독식 기구에 의한 노출평가, 전문가의 정성적 평가 활동은 법적으로 인정되지 않는 현실이다. 또한 개별 노동자가 담당한 공정과 직무의 특성과 이력, 화학물질 취급 빈도와 강도 등에 대한 정보는 질병의 직무 연관을 추정하는 데 매우 중요하고 결정적인데도, 이 정보의 기록과 보관 등은 법적 의무는 물론 권고 조치도 없다. 매년 정기적인 특수 건강검진에서도 백혈병 등 림프조혈기계암, 희귀병 등이 비가역적 상태가 되기까지 감시하지 못하였다. 노출수준과는 상관없이 단지 독성에 근거해서 설정한 188개 화학물질을 취급하거나 노출되는 노동자만 검진 대상이다. 작업환경측정과 특수 건강검진에 의한 산업보건활동 근거는 산재 직업병 판정에서도 직무 연관 규명에 실질적 도움이 되지 못하였다. 현재의 작업환경측정제도와 특수 건강검진제도는 과거 광산업과 일부 제조업 현장에서 먼지, 소음, 일부 화학물질 등의 노출과 건강영향 감시에 유용한 측면이 있었다. 그러나 급격하게 변화하고 새로 생기는 산업, 공정, 직무 등에 그대로 적용하는 것은 분명한 한계가 있는 것으로 판단한다.

산업재해보상보험법(이하 산재보상법)에서 개선해야 할 내용도 있다. 현재 산재보상법에는 대다수의 노동자가 업무상 질병 산재 신청을 하지 못하거나 해야 할 의지를 갖지 못하게 하는 구조가 있다. 반도체 노동자 개인의 직무 연관(역학)조사 시, 집단 역학조사에서 유의하게

규명된 암(IARC 암 등급) 위험을 초래한 유해인자 노출에 근거한 과학적 판단만을 수행함으로써 개별 노동자 인과성(반도체 공장 고용/젊은 나이 등) 평가는 상대적으로 소홀하였다. 역학적 인과관계는 일반적, 평균적 관련성의 정도를 나타낼 뿐, 개인의 구체적 관련성에 대한 입증은 별도로 요구된다(Lee, 2012). 원인 유해인자의 질병 위험 개연성의 평균 비율을 나타내는 역학적 연구 결과를 개인 질병 위험의 개연성을 평가하는 데 필요조건으로 쓸 수는 없다. 특히, 반도체 노동자 암 위험 역학 연구 사례는 충분하지 않고(Table 4), 연구 대상자의 과거 직무 정보의 부족 등으로 국내 반도체 노동자가 걸린 여러 암과 만성질환 위험의 직무 원인을 규명하는 데에는 한계가 있다. 무엇보다 개별 화학물질 노출과 건강위험만을 다룬 집단 역학조사 결과는 반도체 공정에서 발생하는 복합 화학물질과 전자파 노출 등의 특성을 반영하지 못한다. 집단 역학조사에서 밝혀지기 어려운 사례 수가 적은 암에 걸린 노동자는 산재 직업병으로 인정받기가 어렵다. 특히 희귀병은 역학연구가 거의 없어 직무 관련 산재 판정에서 대부분 기각되고 있다. 서울행정법원(2011년)은 반도체 노동자 백혈병 판결에서 개별 노동자 질병의 인과관계는 반드시 의학적, 자연과학적으로 명백히 입증해야 하는 것은 아니고, 노동자 취업 당시 건강 상태, 질병의 원인, 작업장에 발병 원인물질이 있었는지 여부, 근무 기간 등 제반 사정을 고려할 때 업무와 질병 또는 그에 따른 사망 사이에 상당한 인과관계가 있다고 추단되는 경우에도 입증이 있다고 보아야 한다고 했다(SHC, 2011). 산재 직업병 개별 인과관계 심사에서 화학물질 등 유해인자에 노출된 시기, 노출 정도, 발병 시기, 근무 이전 건강 상태, 가족력 등을 고려하여 질병이 전적으로 직무 외 다른 요인으로 인하여 발생 또는 악화되었다고 인정될 만한 사유가 없다면 직무 연관을 인정하지 않을 이유가 없다.

2017년 대법원은 삼성전자 LCD 희귀질환(다발성경화증) 판결문을 통해 '첨단산업 분야에서 유해 화학물질로 인한 질병에 대해 산업재해보상보험으로 근로자를 보호할 현실적, 규범적 이유가 있는 점, 산업재해보상보험제도의 목적과 기능 등을 종합적으로 고려할 때, 근로자에게 발병한 질병이 이른바 '희귀질환' 또는 첨단산업 현장에서 새롭게 발생하는 유형의 질환에 해당하고 그에 관한 연구 결과가 충분하지 않아 발병 원인으로 의심되는 요소들과 근로자의 질병 사이의 인과관계를 쉽사리 부정할 수 없다.'고 했다(SC, 2017). 특히 사업주의 협조

거부 또는 관련 행정청의 조사 거부나 지연 등으로 그 질환에 영향을 미칠 수 있는 작업환경상 유해요소들의 종류와 노출 정도를 구체적으로 특정할 수 없었다는 등의 특별한 사정이 인정된다면, 이는 상당한 인과관계를 인정하는 단계에서 노동자에게 유리한 간접사실로 고려할 수 있다고 했다. 나아가 작업환경에 여러 유해물질이나 유해 요소가 존재하는 경우 개별 유해 요인들이 특정 질환의 발병이나 악화에 복합적, 누적적으로 작용할 가능성을 간과해서는 안 된다고 하였다(SC, 2017).

대법원 판결 이후 고용노동부는 반도체 노동자 산업 재해 보상 사례를 근거로 8개 질병 사례는 자세한 역학 조사 없이 산재보상을 결정하는 조치를 취하였다. 반도체 노동자의 원인 인자 노출에 대한 입증 부담을 줄인 조치다. 그러나 반도체를 제외한 대부분의 노동자는 여전히 직업병으로 보상받기 위해서는 과거 유해인자에 대한 노출을 포함한 과학적 연관/인과를 스스로 증명해야 하는 어려움에 처해 있다. 현재의 산재보상법은 노동자의 질병에 대한 폭넓은 직무 연관을 결정하는 사회보장 역할을 담당하지 못하고 있다. 2016년부터 삼성전자/SK하이닉스/LG디스플레이의 3개 회사는 자체 노동자를 대상으로 실행한 연구를 통해 얻은 포괄적 공정과 직무 연관 사례가 있는 질병(암, 희귀병, 생식 질환, 자녀 질환 등)을 대상으로 보상 제도를 운영하고 있다. 그러나 회사의 질병 보상 제도는 어디까지나 일정 기간 동안 임시 대책이어야 한다. 고용노동부는 노동자라면 누구든지 업무상 질병 산재를 신청하고 직무 연관을 신속하고 공정하게 입증받아 산재 직업병으로 판정 받을 수 있도록 산재보상법 제도를 개선해야 한다. 2017년 질병 피해자 중 산재 직업병으로 인정받은 수는 만 명 당 4.41명(n=8,190)으로(MOEL, 2017), 같은 해 미국의 16.9명(난청, 호흡기질환, 피부질환, 중독 등 비치명적 질환 통계)(USBLS, 2019), 2016년 네덜란드의 19.1명(NCvB, 2016)보다 절대적으로 적다. 노동자가 노출된 질병 발생 위험과 근무 환경 및 직무 관련을 판단할 때 과학과 의학적 기준, 개인의 인과성은 물론 산재보상법의 사회보장 특성을 고려하는 것이 필요하다.

V. 결 론

지난 10여 년간 반도체 공장 노동자에게서 백혈병 등 여러 암과 희귀병이 산재 직업병으로 인정되었고, 백혈병과 NHL 등의 발생 위험은 일반 인구에 비해 유의한 정도

로 높게 나타났다. 반도체 노동자 건강위험 논란은 산업안전보건법에 따른 작업환경측정과 특수 건강검진의 한계점, 최소한의 법적 의무만 따르는 회사의 수동성, 과학적 확실성에만 근거한 산재 직업병 판정 등의 문제를 반성할 수 있는 기회였다. 반도체 회사들이 자체 지원 보상 제도를 운영하고 고용노동부가 8개 질병의 산재 입증 부담을 낮추기도 하였으나, 반도체 노동자 질병 예방과 원인 규명은 주요 과제로 남아 있다. 반도체 공장을 포함한 전자산업 노동자에게 높게 발생하는 암/희귀병 등에 대한 예방과 원인 규명은 회사/전문가/고용노동부가 해결해야 할 당면 과제다. 지난 경험을 바탕으로 반도체 공정의 건강위험에 대한 사회적 논쟁과 해결 과정을 분석하고 고찰해서 우리나라 산업보건 제도/기업과 전문가 활동의 틀을 전면적으로 개선하는 계기로 삼아야 한다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 한국방송통신대학교 지원을 받아 작성된 것으로 이에 감사를 드립니다.

References

- Beall C, Bender TJ, Cheng H, Herrick R, Kahn A, et al. Mortality among semiconductor and storage device-manufacturing workers. *J Occup Environ Med* 2005;47(10):996-1014
- Bender TJ, Beall C, Cheng H, Herrick RF, Kahn AR, et al. Cancer incidence among semiconductor and electronic storage device workers. *Occup Environ Med* 2007;64(1):30-36
- Boice Jr JD, Marano DE, Munro HM, Chadda BK, Signorello LB, et al. Cancer mortality among US workers employed in semiconductor wafer fabrication. *J Occup Environ Med* 2010;52(11):1082-1097
- Chelton C, Glowatz M, Mosovsky J. Chemical hazards in the semiconductor industry. *IEEE T Educ* 1991; 34(3):269-288
- Correa A, Gray RH, Cohen R, Rothman N, Shah F, et al. Ethylene glycol ethers and risks of spontaneous abortion and subfertility. *Am J Epidemiol* 1996; 143(7):707-717
- Cox RJD. LSI semiconductor manufacturing. New York: John Wiley and Sons Ltd.; 1984. p. 442-488
- Hawkinson TE, Korpela DB. Chemical hazards in semiconductor operations. *Semiconductor Safety Handbook: Safety and Health in the Semiconductor Industry*. New York: William Andrew; 1997. p. 163-179

- 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):122-134
- KOSTAT(Statistics Korea). Notice on the 9th Korean standard industrial classification. (No. 2017-13). Available from: <http://kostat.go.kr/> [last accessed 25 August, 2019]
- Lee HE, Kim EA, Park J, Kang SK. Cancer mortality and incidence in Korean semiconductor workers. *Saf Health Work* 2011;2(2):135-147
- Lee YG. Proving Causation by Epidemiologic Data in Toxic Torts. Lawyers Association. 2012; 670: 110-150.
- McElvenny DM, Darnton AJ, Hodgson JT, Clarke SD, Elliott RC, et al. Investigation of cancer incidence and mortality at a Scottish semiconductor manufacturing facility. *Occup Med* 2003;53(7):419-430
- MOEL(Ministry of Employment and Labor). Press release: Improvement on approval procedures of industrial accidents for semiconductor and display process workers (released on 6 August, 2018). Available from: http://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news_seq=9062 [last accessed 22 August, 2019]
- NCvB(Netherlands Center for Occupational Diseases). Statistics on Occupational Diseases 2016. Available from: <https://www.occupationaldiseases.nl/content/statistics-occupational-diseases-2016> [last accessed 3 September, 2019]
- Nichols L, Sorahan T. Cancer incidence and cancer mortality in a cohort of UK semiconductor workers, 1970-2002. *Occup Med* 2005;55(8):625-630
- OSHRI(Occupational Safety and Health Research Institute). Circular statement on the request for epidemiological survey (No. 715, 13 March 2009). 2009
- OSHRI(Occupational Safety and Health Research Institute). Epidemiological survey on the health conditions of semiconductor manufacturing workers - focusing on cancer diseases. Research report (No. 2019-OSHRI-271). 2019
- Ministry of Employment and Labor, Industrial Accident and Illness, 2017, NO 118006, Pub. NO 11-1490000-000022-10
- Park DU, 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. *Saf Health Work* 2019 (In Press)
- Park D. Review for Retrospective Exposure Assessment Methods Used in Epidemiologic Cancer Risk Studies of Semiconductor Workers: Limitations and Recommendations. *Saf Health Work* 2018;9(3):249-256
- Park D, Byun H, Choi S, Jeong J, Yoon C, et al. Review on potential risk factors in wafer fabrication process of semiconductor industry. *Ann Occup and Environ Med* 2011;23(3):333-342
- SHARPS(Supporters for the Health And Rights of People in the Semiconductor industry). Status of application for industrial accidents (From 1 June 2007 to 5 June 2019). Available from: <http://m.cafe.daum.net/samsunglabor/MHzN/457> [last accessed 25 August, 2019]
- SHC(Seoul High Court, 서울 고등법원). Judgement of the ninth administrative court (사건번호 No. 2011누23995 유족 급여 및 장의비 부지급 처분 취소 등). Cancellation of the disposal of the bereaved's benefits and funeral expenses, etc. Judged on 23 June, 2011 (사건번호 No. 2010구합1149). 2011
- SNURND(Research & Development Foundation of Seoul National University). Advisory on risk assessment of the semiconductor factories in Korea. 2009
- SC(Supreme Court, 대법원). Judgement of the Seoul high court (사건번호 No. 서울고등법원 2015. 10. 21. 선고 2014누7123 판결). Judged on 2017. 8. 29(사건번호 No. 2015두3867 요양불승인처분취소). 2017
- Son M, Paek D, Park M, LEE W, Lim Y, et al. The strategy of workers' health and safety in the semiconductor industries in Korea. Research report published by Occupational Safety and Health Research Institute (No. 2018-OSHRI-823). 2018:1-319
- Sorahan T, Pope D, McKiernan M. Cancer incidence and cancer mortality in a cohort of semiconductor workers: an update. *Brit J Ind Med* 1992;49(3):215-216
- Sorahan T, Waterhouse J, McKiernan M, Aston R. Cancer incidence and cancer mortality in a cohort of semiconductor workers. *Occup Environ Med* 1985; 42(8):546-550
- SWP(Subcommittee on White Paper Publication). The White Paper of SK Hynix Occupational Health Verification Committee(ISBN 971-11-958066-0-7, Additional Sign No, 93060). Seoul: Korean Women's Environmental Network; 2016. p. 1-245
- USBLS(United States Bureau of Labor Statistics). Injuries, Illnesses, and Fatalities - Industry injury and illness data. Available from: https://www.bls.gov/iif/oshsum.htm#17Summary_Tables [last accessed 3 September, 2019]
- Wald PH, Jones JR. Semiconductor manufacturing: an introduction to processes and hazards. *Am J Ind Med* 1987;11(2):203-221

<저자정보>

박동욱(교수)