

반도체 근로자 질병의 직무관련 논란으로 본 우리나라 산업위생 활동 개선방향

Suggestions to improve occupational hygiene activities based on the health problems of semiconductor workers

박동욱^{1*} · 윤충식²

Donguk Park* and Chungsik Yoon

¹한국방송통신대학교 환경보건학과, ²서울대학교 보건대학원 환경보건학과

¹Department of Environmental Health, Korea National Open University

²School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study is to review occupational hygiene activities, including work environment measurement as required by the industrial safety and health laws of Korea, and suggest improvements required to establish an effective exposure surveillance system.

Methods: The controversial limitations of exposure surveillance examining the work-association of several types of cancers in semiconductor workers were reviewed.

Results: The bulk of the exposure surveillance system was found to focus purely on work environment measurements without providing other important exposure surrogates, such as job title, operation, exposure duration, etc. The current work environment measurement system is limited in terms of the efficient assessment of the exposure status of workers due to a lack of exposure information.

Conclusion: The introduction of a national standard classification of occupations and job titles into the exposure and health effect surveillance system should be discussed in order to retrospectively assess exposure characteristics.

Key words : semiconductor industry, wafer fabrication, retrospective assessment

I. 서 론

국내외에서 반도체 근로자 역학조사 결과를 발표했지만 과거 직무관련 노출정보가 부족하여 암 위험과 사망의 직무관련성을 명백히 밝힐 수 없었던 것으로 판단된다(Boice et al., 2010; Lee et al., 2011). 우리나라에서는 지금까지 작업환경측정을 통해 특정한 시기의 특정한 공정에서의 유해인자 노출수준을 반복적으로 감시해 오고 있지만, 이 결과들이 실제 역학조사에서 제대로 활용된 적이 없었다. 이는 이미 타이어 제조 산업과 반도체 산업 역학조사에서 드러났듯이, 질병위험을 감시하는 데 필요한 직무, 공정 등 최소한의 과거 노출 수준을 대변하지 못하기 때문이다.

앞으로도 과거 유해인자에 대한 노출정보가 제대로 감시되지 않은 근무환경에서 일했던 근로자의 건강장해 사례는 계속 늘어날 것이고 이들에 대한 직무관련성 논란은 계속될 것으로 판단된다. 작업환경측정을 중심으로 한 현재 유해인자 노출감시체계로는 건강영향 예방은 물론 질병의 원인을 규명하거나 직무연관성을 판단하는 것이 어렵기 때문이다. 이러한 논란을 줄이기 위해서는 우리나라 산업보건활동체계를 건강영향 예방은 물론 직무관련성, 나아가서는 원인인자를 규명할 수 있는 노출감시 및 질병감시체계로 개선해야 할 것으로 판단된다.

여기에서는 우리나라 산업보건활동 중 유해인자 노출감시체계의 주요 한계점을 고찰하고 그에 따른

*Corresponding author: Donguk Park

서울 종로구 동숭동 169, 한국방송통신대학교 환경보건학과, Tel: 02-3668-4707,

Fax: 02-741-4701, E-mail: pdw545@gmail.com, Received: 2012. 2. 22., Revised: 2012. 3. 26., Accepted: 2012. 3. 27.

주요 개선방향을 제안하고자 한다. 유해인자 노출감시체계의 한계점은 국내외 반도체 근로자의 암 위험과 직무관련 역학연구결과 고찰을 통해서 정리했다.

II. 반도체 웨이퍼 가공 근로자 암 위험 역학조사 고찰

1. 역학연구에서 노출에 따른 근로자 분류(exposure classification)

직업 역학연구는 질병발생이나 사망이라는 의도하지 않은 결과(effect)를 직무요인이나 원인인자와 관련시키는 분석이다. 결과를 초래한 원인을 밝히는 과정에서는 연구대상자를 유해인자에 대한 노출특성에 따라 비슷한 근로자를 묶어서 분류하는 것이다. 분류한 그룹 안에서 대상자 간의 노출특성은 서로 비슷해야 하고, 다른 그룹과는 유의한 차이가 있어야 한다. 유해인자 노출에 대한 신뢰성 있는 정보가 많을수록 이러한 분류의 목적을 달성하기가 용이해진다. 근로자를 분류할 때 사용하는 노출정보는 근로자가 일했던 공정, 노출된 근무기간, 직무와 작업방법, 노출되었던 유해인자의 수준 등이다.

연구 대상자를 분류하는 데 가장 이상적인 변수는 유해인자의 노출수준이다. 특정 유해인자에 대한 구체적인 노출수준에 따라 근로자를 분류할 수 있기 때문이다. 신뢰할 수 있는 유해인자의 노출수준이 모니터링 되고 보관되어 있다면 질병발생과 사망 등의 결과를 초래한 구체적인 원인인자를 규명하는 것은 물론, 노출 양과 질병발생 간의 양-반응관계까지도 밝힐 수 있다. 그러나 사업주가 오랜 기간 동안 근로자 근무기간과 직무를 모두 대표할 수 있는 유해인자의 노출수준을 평가하고 그 결과를 보관하고 있는 경우는 극히 드물다. 이러한 이유 때문에 국내외 반도체 근로자 역학조사에서도 정량적인 노출평가 결과를 활용한 연구가 아직 없었다(McElvenny 등, 2003; Beall 등, 2005; Bender 등, 2007; Boice 등, 2010; Lee 등, 2011). 우리나라에도 웨이퍼 가공 공정에서 실시한 일부 유해인자에 대한 작업환경측정결과가 있지만, 대표성과 신뢰성의 한계 때문에 실제로 역학조사에 원인변수로 평가된 경우는 없었다(Lee 등, 2011).

유해인자에 대한 정량적인 측정결과는 없더라도 근로자가 수행한 직무, 작업방법, 공정 기록 등이 있

다면 이들이 질병발생이나 사망에 끼치는 영향을 규명하는 것은 시도할 수 있다. 즉, 일했던(노출되었던) 환경이나 직무에 따라 분류한 근로자 그룹의 암 위험률이나 사망률을 일반인의 경우와 비교하면 되기 때문이다. 하지만 오랜 기간 동안 근로자가 수행한 직무, 작업방법 등도 잘 기록된 경우가 드물어서 특정 질병위험이나 사망 등의 직무관련성을 규명하는 데도 어려움을 겪는 것이 대부분이다. 반도체 웨이퍼 가공 공정에서 근무했던 사업장, 노출기간(근무기간), 일부 공정 정보(사무 vs 현장 또는 fab vs non-fab 등) 등의 자료는 쉽게 구할 수 있지만 이것은 구체적인 직무관련성을 밝힐 수 있는 노출정보가 되지 못한다. 이러한 정보에 의해서 분류된 근로자 그룹은 서로 다른 공정이나 직무에서 일을 했던 근로자들로 섞여 있어 고유한 직무의 질병영향 또는 연관성을 밝힐 수 없기 때문이다.

2. 반도체 웨이퍼 가공 공정 근로자의 노출분류(평가) 어려움

다른 산업이나 공정에 비해 공정 변화가 빠른 반도체 산업에서는 특정 유해인자에 대한 정량적인 노출평가결과, 직무관련성을 밝힐 수 있는 노출정보 등이 체계적으로 기록된 경우가 드물고, 있다고 하더라도 노출의 대표성이나 신뢰성이 부족한 경우도 많다. 반도체웨이퍼가 가공공정근로자의 질병을 초래한 원인 유해인자의 추정이나 직무관련성을 규명하는 데는 다음과 같은 웨이퍼 가공 공정 특유의 어려움이 있다.

첫째, 복합적인 유해인자에 대한 노출 평가가 어렵기 때문이다. 웨이퍼 가공 공정 운전자는 정상적으로 운전할 때는 수많은 원료와 공정 부산물인 화학물질에 낮은 농도로 동시에 노출된다. 즉, 유기용제, 산과 알칼리, 가스 등에 동시에 노출되는 것이 일반적이다. 이러한 화학물질 중에는 인체에 비슷한 건강장해를 유발시키는 서로 다른 물질이 혼합되어 있다. 게다가 수 많은 화학물질에 노출되면서 동시에 인간 공학적 스트레스, 물리적인 유해인자 등에도 함께 노출될 수 있다. 그러나 아직까지 웨이퍼 가공 공정에서의 복합 노출에 대한 건강상의 영향을 규명하는 연구는 없다.

둘째, 공정 간 유해인자의 노출 구분이 어렵기 때문이다. 웨이퍼를 가공하는 공정(산화 → 포토 → 현

상 → 식각 → 이온 주입 → 박막 → 금속 증착)이 물리적으로 서로 가까이 위치하고 있어(박동욱 등, 2011) 공정에서 발생하는 특정 유해인자에 대한 노출의 영향범위를 구분하기가 쉽지 않다. 그래서 Hammond 등(1995)은 공정별 근로자의 노출을 분류할 때 확산, 금속 증착, 이온 주입, 박막, CVD 공정 근로자를 한 그룹으로 묶고, 포토와 식각을 또 다른 유사한 그룹으로 분류할 것을 권고한 바 있다. 그런데 이제까지의 모든 역학조사에서는 웨이퍼 가공 근로자를 공정 또는 공정과 직무의 조합에 따라 분류하지 않고 단지 직무(운전자, 감독자, 정비작업자 등)별로만 분류했다. 즉, 일하고 있는 공정과 직무를 조합하여 웨이퍼 가공 근로자를 분류한 시도는 없었다.

셋째, 웨이퍼 가공 공정의 변화에 따른 노출수준의 차이를 평가하기가 어렵기 때문이다. 공정 변화에 따라 노출수준의 차이뿐 아니라 취급하는 화학물질, 작업방법 등이 변하는 것은 당연하다. 웨이퍼 가공 공정 변화를 주도하는 요인은 웨이퍼 구경의 대형화이다. 문헌에 따르면 웨이퍼 구경은 1960년대 1.3~2.25인치부터 시작해서 1970~1980년 후반 2.25~5인치, 1990년대 5~8인치 그리고 1990년 대 후반에 이미 12 인치를 생산했다(Herrick 등, 2005). 구경의 크기가 커질 때 직무(작업)방법이 바뀌고 새로운 공정이 생긴다. 이에 따른 가장 큰 변화는 화학물질, 기계, 제품 취급 등이 수동에서 자동으로 변화하는 것이다. 당연히 운전자의 현재의 노출수준은 과거에 비해 낮다. 그러므로 반도체 웨이퍼 생산 시기에 따른 작업방법, 공정, 공학적인 시설 형태와 시설 등을 고려하지 않으면 과거 노출수준을 추정하기가 어렵다. 영국과 우리나라 역학연구에서는 연구대상자를 코호트 기간 동안 생산시기별로 구분하지 않아 생산시기에 따른 노출수준의 차이를 전혀 보정하지 못했다(Lee 등, 2011; McElvenny 등, 2003). 반면, 미국의 연구는 웨이퍼 가공 근로자를 생산시기별로 구분하여 분류했다. Beall 등(2007)은 1965년에서 1999년 사이에 일했던 IBM 근로자 126,836명을 3개의 생산시기(1965~1973년, 1974~1983년, 1984~1999년)별로 분류했다. 즉, 공장, 직무와 생산시기를 매트릭스로 조합하여 근로자의 암 위험과 사망률을 구했다. 이렇게 구분하여 연구한 결과, East Fishkill 회사에서 초창기(1965~1973년)에 일했던 근로자의 중추신경계 암 사망률(SMR=3.3, 95%CI=1.21-7.17)이 그들의 정비직무와 유의하게 관련되어

있음을 밝혔다.

넷째, 정비 작업자의 노출위험에 대해서는 거의 알려진 것이 없기 때문이다. 외국문헌에서도 정비작업은 다른 직무에 비해 노출위험이 높다고 잘 알려져 있지만(Stewart 등, 1985; Wald and Jones, 1987), 구체적으로 공정별 정비작업의 위험, 노출되었던 수준 등은 보고된 것이 없다. 박동욱 등(2010)은 이온주입 공정에서 보고된 비소에 대한 농도를 고찰해 본 결과, 정비작업자의 노출수준($7.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health) 권장 노출기준(Recommended Exposure Limit; $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 3배 이상 초과한 것으로 보고한 바 있다. 우리나라에서 정비작업자는 근무기간 동안 특정 공정에 고정적으로 배치되어 있어, 유해인자 노출이 공정과 깊은 관련이 있을 것으로 판단된다. 즉, 각 공정 별로 사용하는 화학물질이나 발생하는 부산물과 유해인자 등에 특이적으로 노출될 수 있다는 뜻이다. 따라서 역학조사에서는 정비작업자를 운전자와 별도로 분류해야 하고, 소속된 공정에 따라 추가로 분류하는 것도 고려해야 한다.

우리나라의 작업환경측정을 중심으로 한 유해인자 노출감시체계가 반도체 웨이퍼 가공 근로자 역학조사에 필요한 최소한의 노출정보를 감시하는데 적절하게 기여하고 있는지 평가해 볼 필요가 있다.

III. 산업위생 활동 문제점과 주요 개선방향 -유해인자 노출감시를 중심으로-

1. 반도체 산업 측면

우리나라 반도체 근로자에게서 발생되고 있는 여러 종류의 암을 일으키는 구체적인 원인인자를 알아내는 것은 매우 어려운 일이지만, 적어도 반도체 근로자의 암 발생과 직무관련성을 과학적으로 규명하는 것은 가능한 일이다. 웨이퍼 가공 공정이 시작된 시기부터 근로자가 일했던 공정, 취급했던 화학물질, 수행했던 직무 등 사실판단에 필요한 정보가 기록으로 남아 있다면 그 만큼 직무관련성을 판단하는 데 논란을 줄일 수 있다. 그러나 우리나라에서 작업환경측정을 중심으로 한 유해인자 노출감시체계에서는 반도체 공정 근로자가 일한 시기와 공정의 변화, 담당했던 직무, 생산시기의 구분 등에 대한 노출정보를 구할

수가 없다. 이러한 과거 노출정보를 사업주나 국가가 갖고 있지 않기 때문에 얼마든지 임의적인(주관적인) 해석이 이루어질 수도 있고 심한경우 사실이 왜곡될 수도 있다.

반도체 근로자에게 발생한 건강장애의 원인인자를 명확히 규명하기 위해서는 웨이퍼 생산이 시작된 1970년 후반 이후의 공정과 작업의 변화, 웨이퍼 구경의 변화, 공정 및 직무 기록 등이 필요하다. 이러한 정보들은 직무관련성 여부를 규명하는 데 필요한 최소한의 자료다. 반도체 근로자의 건강장애와 직무관련성에 대한 연구가 이루어진 바 있는 미국의 IBM 등과 같은 회사는 직무관련성을 규명하는데 필요한 과거 노출정보를 1963년부터 디지털로 보관하고 있다(Beall 등, 2005; Bender 등, 2007; Boice 등, 2010). 그러나 우리나라 반도체 회사가 보관하고 있는 과거 노출정보의 종류, 양, 수준(quality)에 대해서는 아직 보고된 자료가 없다. 따라서 이들 자료가 직무관련성을 밝히는데 유효한 자료가 될 수 있는지는 판단하기가 어렵다. Lee 등(2011)이 보고한 역학조사 결과로 추정해 볼 때, 반도체 근로자에 대한 과거 노출정보는 직무관련성을 규명할 수 있을 정도로 충분하지 못한 것으로 판단된다. 만약 반도체 회사에 이러한 기록이 없거나 부족하다면 근로자에 대한 설문조사, 참고문헌 등을 통해 과거 노출을 추정하는 노력을 기울여야 한다. 영국의 반도체 회사도 웨이퍼 가공 공정 근로자의 직무 등에 대한 기록이 없어 설문과 기록을 통해 이러한 정보에 대한 노출을 추정한 바 있다(Darnton 등, 2010).

그 동안 반도체 산업은 산업안전보건법에 따라 공정가동 때부터 주기적으로 유해인자 노출과 건강영향을 감시(surveillance)해 왔다. 노출감시 자료의 대부분은 1년 2회 이상 작업환경을 측정하여 평가한 결과이다. 이외에도 다양한 노출정보가 보관되어 있을 것으로 판단된다. 논란이 되고 있는 사업장을 포함한 다른 반도체 산업(특히 웨이퍼 가공 공정)을 대상으로 과거 유해인자에 대한 노출을 평가하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 우선 이들이 보유하고 있는 과거 노출정보의 종류, 수준 등을 조사하여 암 등 질병의 직무연관 여부를 평가하는데 활용될 수 있는지 판단해야 한다. 뿐만 아니라 이러한 노출감시 정보가 건강위험을 예방하고 보상을 결정하는데 얼마나 유용하게 활용될 수 있는지도 평가해야 한다. 만약 직무관련에 대한 평가 그리고 예방과 보상에 적절하게 활용되지 못하는 노

출정보라면 유해인자 노출을 신뢰할 수 있는 수준으로 감시할 수 있도록 노출정보의 종류, 관리방법 등을 바꾸는 것이 필요하다. 무엇보다 그 동안 반도체 근로자를 대상으로 수행한 우리나라 작업환경측정 등 유해인자 노출감시 활동이 질병에 대한 직무관련을 판단하는데 활용되지 못하는 사실이 직무와 관련이 없다고 해석하는 것을 경계해야 한다. 현재 반도체 산업에서 보유하고 있는 과거 노출정보가 직무관련을 판단하는데 활용되지 못하면 직무관련을 판단할 수 있는 과거 노출 정보의 확보나 추정 등과 같은 보다 전문적인 시도가 요구된다.

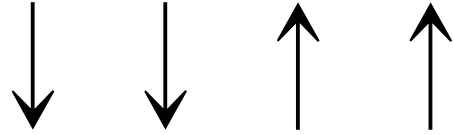
2. 유해인자 노출감시(작업환경) 측면

우리나라 산업안전보건법에 따른 주요 산업보건 활동은 작업환경측정과 건강진단이다. 작업환경측정은 유해인자에 대한 노출감시활동(exposure surveillance)이고, 건강진단은 질병감시 활동(health effect surveillance)이다. 즉, 유해인자 노출과 건강진단 감시활동을 통해서 근로자가 질병에 걸리지 않도록 철저히 예방하는 주요 산업보건활동이다. 또 질병에 걸릴 경우 그 원인과 노출수준을 따져서 적정한 보상도 결정할 수 있는 시스템으로 기여해야 한다. 근로자가 일하는 곳에서 유해인자 노출을 감시하는 변수로 활용할 것은 매우 많다. 산업, 직업, 직무, 일, 특정 공정이나 직무에서 일한 기간, 노출되는 화학물질, 유해인자에 대한 정성적인 노출여부<노출/비노출 또는 노출의 높고 낮음 등>, 유해인자에 대한 정량적인 외부 및 내부 노출자료 등이다. 이들 노출변수는 활용하는 기관, 목적 등에 따라 다르다. 획일적인 감시 변수로 활용하는 것은 피해야 한다. 우리나라에서 유해인자 노출감시는 매년 1-2회 특정한 날에 특정한 직무에서 정량적으로 측정하는 작업환경측정에 의존하고 있다. 노출감시변수로는 사용자 관점<사업주 또는 국가>, 건강영향 규명, 노출억제를 위한 개선, 비용 등을 고려하여 활용해야 한다(Table 1).

이론적으로 보면 작업환경측정이나 생물학적으로 모니터링과 같은 정량적인 인체 외부나 내부 노출량을 모니터링하여 노출수준을 감시하는 한편 질병발생의 원인인자뿐 아니라 양-반응관계도 규명할 수 있어야 한다. 그러나 사업주 입장에서 근로자가 노출되는 수준을 주기적으로 모니터링하고 그 결과를 계속 보관하는 것은 경제적으로 매우 부담되는 일이다. 기

Table 1. Characteristics and type of exposure surrogates for exposure surveillance system

노출변수	평가방법	양-반응관계	규명 원인-결과관계	규명	복합노출평가	비용<증가정도>	정보기록/보관	노출분류	오류	국가노출감시 변수 활용
산업	정성	불가능	가능	가능						
직업	정성	불가능	가능	가능						
일<직무>	정성	불가능	가능	가능						
개인시료 <외부노출>	정성/정량	가능	가능	가능						
생물학적 모니터링 <내부노출>	정성/정량	가능	가능	가능						



술적으로도 근로자가 근무하는 기간 동안 대표적인 노출량을 추정하고 평가하는 것은 무척 어려운 일이다.

유해인자 노출<작업환경측정> 및 건강영향<특수 건강진단>에 대한 감시활동이 직업병 예방에 기여한 정도는 정확히 알 수 없다. 그러나 이러한 감시활동이 근로자에게서 발생된 질병 등 건강영향의 직무관련 여부를 판단하여 보상을 결정하는 데는 유용하게 활용되는지는 판단할 수 있다. 우리나라에서는 대부분의 사업장에서 주기적으로 작업환경측정을 통해 근로자 외부 노출 수준을 평가하고 보관하고 있지만 그 결과가 근로자역학조사에서 직무관련성이나 원인인자를 규명하는데 활용된 적이 별로 없었다. 작업환경측정결과는 특정 시기의 특정 직무 노출만을 평가한 자료이므로 다른 시기에 발생한 특정 직무의 노출을 대표하지 못하기 때문이다. 또 유해인자임에는 틀림 없지만 현재의 기술로 측정하지 못하거나 측정할 수 없는 유해인자도 매우 많다. 무엇보다 근로자와 연계되지 않은 작업환경측정결과는 직무관련이나 질병의 원인을 규명하는데 극히 제한적일 수 밖에 없다. 다른 산업보건활동의 주요 결과물인 건강진단자료와 각종 행정적인 보고 자료 등도 근로자 또는 근로자 직무와 직접적으로 연계되지 않기 때문에 역학조사에서 직무관련성을 따지는 데 한계가 있을 수 밖에 없다(산업안전보건연구원, 2010).

질병위험과 사망의 직무관련성을 과학적으로 규명하는 데 필요한 기본자료는 근로자가 근무기간 동안 일했던 공정과 여기서 수행한 직무다. 이러한 기본 정보가 없다면 과거에 일했던 공정, 사라진 기계, 화학물질 등에 대한 노출 등을 추정할 수 없다. 과거의 구체적인 직무와 공정에 대한 정보가 없다면 과거 노출을 평가하고 분류하는 데 편견이나 오류가 일어날

수밖에 없고, 이로 인해 질병의 직무관련성에 대한 사실판단 논란은 끊이지 않을 것이다.

3 개선방향의 큰 틀

지금까지 사회적으로 논란이 되고 있는 반도체 산업의 제조 근로자에게서 발생된 만성 질병의 사례를 통해서, 주요 산업보건활동의 하나인 유해인자 노출 감시(작업환경측정)의 한계점이 드러났다. 이 방법만으로는 현재의 노출수준을 평가하는 것은 물론이고 질병의 원인 및 직무관련성을 밝히는 데도 한계가 있었기 때문이다. 산업안전보건법에 의한 작업환경 측정자료는 신뢰성 있게 모니터링 한다 해도 국가(고용노동부) 수준에서 감시할 수 있는 효율적인 노출 정보가 될 수 없고, 오히려 사업주가 특정 시기의 직무, 공정 등에서 노출되는 수준을 파악하고 감시하는 데 적합한 자료이다. 국가가 작업환경측정자료를 감시의 근거자료로 활용하기 때문에 사업주는 노출농도가 낮은 정상 시기의 노출결과만을 국가에 보고하게 되므로, 국가는 이를 실제 노출수준으로 간주하게 된다. 국가가 모든 사업장 모든 근로자의 노출수준을 감시하는 것이 가장 이상적이지만 현실적으로 불가능하다. 사업장 근로자의 노출수준을 정기적으로 보고 받는 나라는 없다. 근로자의 건강을 보호하기 위해 국가나 사업주는 역할에 맞는 노출감시변수, 방법, 수준을 사용해야 한다.

1) 사업장내: 표준직무를 활용한 유해인자 노출 감시

사업주의 의무는 사업주가 고용한 모든 근로자의 유해인자에 대한 노출정도를 평가하고 감시하여 질병 등 사고가 일어나지 않도록 최선을 다하는 것이다. 사업장내에서 유해인자 노출을 감시할 수 있는 변수

(방법)은 정량적인 측정자료와 정성적인 각종 노출 정보 등 다양하다. 우선 사업주는 근로자의 유해인자 노출정보를 체계적으로 기록하고 보관하는 최소한의 노출감시 시스템을 만들어야 한다. 예를 들면, 사업주는 적어도 근로자가 근무기간 동안 수행했던 직무나 노출되었던 공정 등을 기록하고 보관하는 것이다. 직무는 유사한 일을 하는 근로자 그룹으로 조직과 공정에 따라 분류(예를 들면 사무, 감독, 정비, 공정 운전, 용접 등)할 수 있다. 모든 근로자를 조직, 공정, 직무에 따라 유사한 그룹으로 묶어서 기록해 두면 된다. 국가에서는 필요한 경우 사업주에게 직무 등 표준 노출감시 정보를 국가로 등록하게 하면 이것이 훌륭한 국가감시체계가 된다. 사업주 입장에서 보면 직무 등 노출정보에 대한 기본적인 기록만으로도 노출감시와 위험성을 평가(risk assessment)할 수 있어 그 자체로도 충분히 노출평가가 된다. 사업장내 유해인자 노출 감시에 대한 자료와 기록은 나중에 질병이 발생되는 경우 직무관련성 여부를 객관적으로 규명하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 다음으로 사업주가 해야 할 일은 위험요소가 있는 특정 직무그룹을 대상으로 정량적인 노출평가(측정)를 주기적으로 실시하는 것이다. 예를 들면 유해인자의 노출 위험이 큰 직무(예: 정비 등)를 대상으로 구체적인 노출수준을 평가해 볼 수 있다. 특정 유해인자에 대한 정량적인 노출수준 자료는 질병의 구체적인 원인인자를 추정하는 데 활용될 수 있다. 현재의 작업환경 측정제도에 근로자의 직무 등 노출정보를 표준화해서 체계적으로 기록하는 시스템을 추가하는 방안을 제안하고 싶다(Figure 1).

2) 국가<고용노동부>: 표준직업을 활용한 유해인자 노출 감시

국가가 근로자의 유해인자에 대한 노출을 감시할 수 있는 변수는 표준산업(Standard of Industrial Classification, SIC), 표준직업(Standard of Occupational Classification, SOC), 표준직무 정도이다. 표준 산업별 혹은 표준 직업별 사망자 수, 질병자 수, 사고 수 등의 변화를 감시하여 특정 위험군을 밝히고 우선적으로 관리하는 것이 일반적이다. 국가 규모에서 개별 사업장을 일일이 감시하지는 못하지만 특정 위험 산업이나 직업 또는 직무별로 질병이나 건강위험을 감시할 수 있는 체계이다.



Figure 1. Hierarchy of exposure surrogates that can be used by nation and employer SOC=standard of occupational classification, SIC=standard of industrial classification

현재 고용노동부는 표준산업체계에 따라 사망, 사고, 질병발생을 감시하고 있다. 표준산업구조는 생산된 제품의 유사성에 따른 표준분류이므로 사고와 노출 위험의 유사성이 거의 없다. 서비스업을 예로 들면, 그 안에는 위험이 서로 다른 직업(예: 환경미화원, 소방관, 사무직, 커서비스 등)이 섞여 있어 특정 직업의 위험성이 가려지거나 희석된다. 표준산업체계로는 사고, 질병의 위험을 감시하고 원인을 찾는 것은 어려운 일이다.

비슷한 직무를 묶은 상위체계가 직업이다. 같은 직업에 속한 근로자의 유해인자 노출특성과 사고의 위험은 같은 산업에 속한 근로자에 비해 더 유사한 것은 당연하다. 동일한 직업(예: 용접, 도장, 간호사, 소방관, 청소미화원 등)을 가진 사람들은 비슷한 일을 하기 때문에 사고와 유해인자에 비슷하게 노출된다. 그러므로 국가는 표준직업체계를 통해서 직업이 사망, 사고, 질병 등에 끼치는 영향을 감시할 수 있고 직업별 위험의 크기도 알 수 있다.

표준직업분류체계는 오래 전부터 이미 다른 나라에서 일반적으로 활용하고 있는 국가감시변수로, 해마다 산업재해를 표준산업체계와 표준직업체계에 따라 비교하여 재해형태별로 위험 직업을 감시하고 있다. 미국 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)가 분석한 2005년 직업별 사망률은 “어부 및 어업관련 종사자” > “별목공” > 비행기 조종사 및 비행기 엔지니어 > 철골공 > 환경미화원 > 농부 등의 순이다. 사망자가 많은 직

업이 분명하게 들어난다(OSHA, 2005). 외국의 직업 보건분야에서 직업을 표준으로 분류해서 직업별 유해인자 노출, 사고 및 재해, 직업병, 사망 등을 감시하는 것은 일반적이다(Muldoon 등, 1987; Cherry 등, 2000; Kauppinen 등, 2007).

우리나라 산업보건활동에서는 표준직업분류체계를 활용한 적이 없다. 고용노동부는 근로자의 직업을 표준으로 분류하여 직업에 따른 사망, 사고, 암 위험 등을 감시하는 체계를 마련할 필요가 있다. 특정 사고가 일어날 위험성이 높은 직업을 알아내서 이를 집중 관리대상으로 삼을 수 있을 뿐만 아니라 직업이 질병발생과 사망에 끼치는 영향도 규명할 수 있기 때문이다.

IV. 결 론

우리나라 작업환경측정 및 특수건강진단 등 주요 산업보건활동에서 기록하고 평가했던 많은 유해인자 노출변수들이 반도체 근로자에게서 발생된 암 등 질병과 직무관련을 규명하는데 한계점이 있었다. 직업 과정에서 발생할 수 있는 유해인자와 직무 그리고 건강영향을 적절하게 감시하고 대책을 수립하기 위해서는 작업환경측정 중심의 산업위생활동을 개선해야 할 필요가 있다.

우리나라 산업보건활동을 질병 예방은 물론 직무 관련성, 나아가서는 원인인자를 규명할 수 있는 노출감시 및 질병감시체계로 개선해야 할 것으로 판단된다(Table 2). 우선 유해인자 노출감시시스템에서 고용노동부와 사업주의 역할 분담이 필요하다. 사업주는 모든 근로자의 노출위험을 최소한으로 감시할 수

있는 표준직무와 공정을 기록하고, 이를 근거로 정량적인 위험성을 평가(risk assessment)하는 시스템을 구축해야 한다. 즉, 현재의 작업환경 측정과 함께 직무 등 표준화된 노출정보를 체계적으로 기록하는 유해인자 노출감시시스템으로 개선하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 고용노동부는 직업별 위험의 크기를 감시하는 것은 물론 직업이 일반인의 사망과 질병에 미치는 영향 정도를 규명하기 위해서 표준직업체계를 도입하는 것을 고려하는 것이 필요하다.

References

- 박동욱, 변해정, 최상준, 정지연, 윤충식, 김치년, 하권철, 박두용. 반도체 웨이퍼 가공 공정 및 잠재적 유해인자에 대한 고찰, 대한 직업환경의학 회지, 2011; 23 (3): 333-342.
- 산업보건연구원. 박동욱 등; 산업보건예방 대책수립에 있어 직업분류 활용방안에 관한 연구. 2010. 보건분야-연구자료 연구원 2010-101-946.
- Beall C, Bender TJ, Cheng H, Herrick R, Kahn A, Matthews R, Sathiakumar N, Schymura M, Stewart J and Delzell E. Mortality among semiconductor and storage device-manufacturing workers. J Occup and Environ Med 2005; 47:996-1014.
- Bender TJ, Beall C, Cheng H, Herrick RF, Kahn AR, Matthews R, Sathiakumar N, Schymura MJ, Stewart JH and Delzell E. Cancer incidence among semiconductor and electronic storage device workers. Occup Environ Med 2007; 64: 30-36.
- Boiano JM, Hull RD. Development of a National Occupational Exposure Survey and Database Associated with NIOSH Hazard Surveillance Initiatives. Applied Occupational and Environmental Hygiene 2001; 16 (2): 128-134.
- Boice Jr JD, Marano DE, Munro HM, Chadda BK, Signorello LB, Tarone RE, Blot WJ and McLaughlin JK. Cancer mortality among US workers employed in semiconductor wafer fabrication. J Occup and Environ Med 2010; 52: 1082-1097.
- Cherry NM, Meyer JD, Holt DL, Chen Y, McDonald JC. Surveillance of Work-Related Diseases by Occupational Physicians in the UK: OPRA 1996-1999. Occupational Medicine 2000; 50 (7): 496-503.
- Darnton, AJ, Wilkinson S, Miller B, MacCalman L, Galea K, Shafrir A, Cherrie J, McElvenny D and Osman J. A further study of cancer among current and former workers at National Semiconductor (UK) Ltd, Greenock: results of an investigation by the Health and Safety Executive and Institute of Occupational Medicine United Kingdom, 2010.

Table 2. Suggestions to improve exposure surveillance system required by industrial safety and health law in Korea

내용	현재	개선방향
유해인자 노출 감시 <작업환경측정>	작업환경 측정중심	작업환경측정 + 노출정보기록 - 측정 - 정성적 노출정보<직무/직업/공정 등> 기록평가
감시대상	근로자 중심	측정과 기록을 통한 근로자, 근무, 일에 대한 감시
유해인자 노출 국가감시체계	부족 또는 없음	표준직업/직무 감시 체계
감시영역<범위>	사업장안	사업장 넘어 국민건강감시 영역까지

- HSE.
- Donguk Park, Yang H, Jeong J, Ha K, Choi S, Kim C, Yoon C, Park D & Paek D. A comprehensive review of arsenic levels in the semiconductor manufacturing industry. *Ann Occup Hyg* 2010; 54: 869-879.
- Hammond SK, Jines CJ, Hallock MF, Woskie SR, Abdollahzadeh S, Iden R, Anson E, Ramsey F and Schenker MB. Tiered exposure-assessment strategy in the semiconductor health study. *Amer J Ind Med* 1995; 28:661-680.
- Herrick RF, Stewart JH, Blicharz D, Beall C, Bender T, Cheng H, Matthews R, Sathiakumar N, Delzell E. Exposure assessment for retrospective follow-up studies of semiconductor-and storage device-manufacturing workers. *J Occup and Environ Med* 2005; 47: 983-995.
- Kauppinen T, Saalo A, Pukkala E, Virtanen S, Karjalainen A, Vuorela R. Evaluation of a national register on occupational exposure to carcinogens: effectiveness in the prevention of occupational cancer, and cancer risks among the exposed workers. *The Annals of Occupational Hygiene* 2007; 51 (5): 463-470.
- Lee HE, Kim EA, JS Park and SK Kang. Cancer mortality and incidence in Korean semiconductor workers. *Safety and Health Work* 2011; 2: 135-147
- McElvenny DM, Darnton AJ, Hodgson JT, Clarke SD, Elliott RC and Osman J. Investigation of cancer incidence and mortality at a Scottish semiconductor manufacturing facility. *Occup Med* 2003; 53: 419-430.
- Muldoon J, Wintermeyer L, Eure J, Fuortes L, Merchant J, Van Lier S, Richards T. Occupational disease surveillance data sources, 1985. *American Journal of Public Health* 1987; 77 (8): 1006.
- Stewart, J. and Elkington, K. "Electronics: Semiconductor manufacturing" in *Industrial hygiene aspects of plant operations* John Wiley and Sons Ltd. Pub, 1985. pp. 439-463.
- US Department of Labor (OSHA), Bureau of Labor Statistics, Current Population Survey, Census of Fatal Occupational Injuries, and US Department of Defense, 2005.