

04 issue

←
직업성 암 관련
주요 집단 역학조사

직업건강연구실 역학조사부
서회경 차장



주요 내용 요약



- ▶ **직업성 암에 대한 사회적 관심 증가로 코크스 제조사업장, 석유화학산업, 반도체 제조업의 직업성 암 발생 문제 제기**
- ▶ **산업안전보건연구원의 대규모 직업성 암 역학조사 수행**
 - » **코크스 제조사업장 등 제철산업의 역학조사**
 - 1999년 코크스오븐 작업자에 대한 작업환경조사 결과, 직업성 폐암 유발물질로 알려진 코크스오븐 배출물질(cokes oven emissions, COEs)의 노출수준이 높음을 확인하였고, 이후 공정자동화를 통해 노출수준 감소를 확인
 - COEs의 주요 발암성분인 다핵방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)는 코크스 제조업종뿐만 아니라 코크스를 연료로 사용하는 다양한 사업장에서 노동자가 노출될 수 있는 위험 확인
 - 우리나라 제철업 종사 노동자의 암 발생 위험의 경우*, 협력업체에서 모기업보다 폐암 2.3배, 림프조혈기계암 3.5배, 위암 1.7배로 발생률이 높게 나타남
 - » **여수·광양산단 역학조사**
 - 대정비 작업 중 작업환경 노출평가 결과, 벤젠, 1,3-부타디엔, 염화비닐의 노출기준 초과 확인
 - 여수산단 플랜트 건설노동자는 일반 인구에 비해 입술, 구강, 인두암의 사망 위험이 4.2배, 발생 위험이 3.2배 높았음
 - » **반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사(암 질환 중심)**
 - 반도체 제조공정 여성 노동자의 경우, 전체 노동자 대비 발생 위험은 백혈병 1.6배, 비호지킨림프종 1.9배 높았고, 사망 위험은 백혈병 2.3배, 비호지킨림프종 3.7배 높게 나타남
- ▶ **노동자 집단의 건강권 확보를 위한 대규모 역학조사**
 - » 반도체 코호트의 추적조사, 제철소 직업성 암 발생 역학조사 등 고위험 집단에 대한 역학조사 수행 예정

* 역학연구에서 발암위험도의 양적 표현방법에는 오즈비, (직접/간접)표준화발생비, 비교위험도 등의 여러 지표가 사용된다. 통상적으로 “비교집단 대비 노출집단의 질환 발병(사망) 위험도가 몇 배 높다.”로 해석된다.

서론

“사회적 이슈가 된 노동자의 직업성암”

2000년대 들어서 직업성 암에 대한 사회적 관심이 증가함에 따라 코크스 제조업, 석유화학산업 등에서 벤젠 노출에 의한 백혈병이나 림프종이 다수 발생한다는 문제가 제기되었다.^[1]

석유화학산업에서는 림프조혈기계암뿐만 아니라 석면노출에 의한 폐암의 위험성도 의심되는 상황이었다. 이에 따라, 코크스 제조사업장 등의 제철산업과 여수·광양 산업단지(이하 산단) 대정비 작업을 대상으로 역학조사를 실시하였고, 2008년부터 반도체 제조업의 백혈병 등 직업성 암에 대한 장기적인 조사를 시작하여 꾸준히 진행하고 있다.

직업성 암이나 만성질환의 집단발생을 조사하기 위해서는 발생률과 사망률을 표준화하는 작업이 필요하며, 일반국민과의 비교, 동일 사업장 내 부서 간 비교 등이 필요하였다. 이는 상당히 광범위한 자료의 수집과 시간이 소요되는 분석이 수반되므로 조사기간을 통상 1년 이상의 장기간으로 설정하여 수행되었다.

본론

1

코크스제조 사업장 등 제철산업의 역학조사

우리나라에서 코크스오븐 배출물질(cokes oven emissions, COEs)*이 직업성암 관련 이슈로 떠오른 것은 1999년 말에서 2000년 초반 무렵이다.

산업안전보건연구원은 1999년부터 직업성암 발생에 대한 조사를 위해 국내 대형제철소의 코크스오븐 작업자에 대한 작업환경평가를 실시한 바 있고^[2], 이와 관련된 직업성암 발생 사례가 보고되기도 하였다^[3].

1999년의 작업환경조사를 통해 COEs의 노출수준이 높음을 파악한 뒤, 2001년 코크스제조 사업장뿐만 아니라 코크스를 로의 원료로 사용하는 사업체를 포함하여 후속적인 작업환경평가를 실시하였다. 이후 산업안전보건연구원에서는 우리나라 코크스제조업 근로자들에서 실제 암 발생이 증가하였는지 코호트연구 방법론을 통해 연구 결과를 제시하였다^{[4][5]}.

* COEs란, 다핵방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)를 포함하고 있는 증기, 고형물질 또는 분진에 흡착된 상태로 존재하는 물질로서, COEs의 구성성분 중 PAHs는 암을 유발하는 주요성분으로 알려져 있음

역학조사 주요 결과

1 1999년의 작업환경 노출평가

“제철업.. 직업성 발암물질로 잘 알려진 COEs에 고농도로 노출 되는 업종”

코크스 제조공장의 협력업체에서 21년간 근무하였던 56세 남자 C씨에서 폐암이 발생하여, 산업안전보건연구원에서는 C씨가 근무하였던 제철소의 코크스오븐 관리업체를 대상으로 작업환경 평가를 실시하였다.

COEs와 PAHs의 노출수준을 평가한 결과, 코크스오븐 작업자들의 COEs 노출수준*은 기하평균 0.31 mg/m³(범위: 0.01~ 2.24 mg/m³)로, 휘발성 콜타르피치의 고용노동부 노출기준인 0.2 mg/m³과 비교해 보았을 때 전체 작업자 136명 중 45명(33.1%)이 노출기준³⁾을 초과하는 것으로 나타났다. 총 PAHs의 노출수준은 기하평균 0.034 mg/m³(범위: 0.016~0.096 mg/m³)로 고용노동부의 휘발성 콜타르피치 노출기준(0.2 mg/m³)을 초과하지 않았다. 그러나 30% 이상의 근로자에서 COEs의 노출수준이 높았다는 것으로 보아, 이 근로자들이 장기간 노출되어온 발암물질 노출 수준이 상당했을 것으로 추정되었다.

한편, 직무별 COEs 및 PAHs 노출수준은 다르게 나타났다. COEs 노출수준이 가장 높았던 작업은 탄화실 몰타르 스프레이 작업(기하평균 0.80 mg/m³, 범위: 0.01~0.86 mg/m³)이었다.

이어 로단 낙탄처리 작업(기하평균 0.69 mg/m³, 범위: 0.01~1.14 mg/m³), 도어 sealing 및 strip 조정(기하평균 0.36 mg/m³, 범위: 0.01~2.24 mg/m³)과 도어 청소작업, sole flue 연소방지 작업 순이었는데, 주로 코크스 로단에서 이루어지는 작업에서 COEs의 노출수준이 높았다. 직무별로 PAHs 노출이 가장 높은 작업은 장입 보조작업으로 PAHs의 노출수준은 0.043 mg/m³이었다.

2 2001년의 작업환경 노출평가

“공정자동화를 통한 COEs의 노출수준 감소 보여”

2001년 산업안전보건연구원은 코크스제조업 2개 업체를 재조사하고, 코크스를 로의 원료로 사용하는 2개 업체를 선정하여 COEs와 PAHs 노출수준을 평가하였다. 코크스제조업은 코크스로 공장의 현장작업자 각 30명을 선정하였고, 코크스 사용사업장은 전기로 내부의 환원제 및 열원 재료 사용하는 사업장 1개소 102명, 용해로의 열원으로 사용하는 사업장 1개소 20여명을 조사 대상으로 선정하여 작업환경평가를 실시하였다.

그 결과, 코크스제조 사업장의 COEs 노출수준은 기하평균 0.032 mg/m³ (범위: 0.014~0.096 mg/m³)로, 이전 조사결과에 비해 낮은 COEs 노출수준을 보였다. 코크스 제조 시 작업자들의 주요 업무별 COEs 노출수준은 노상작업(0.034mg/m³), 도어 sealing stripping(0.037mg/m³), 도어 보수

* 우리나라에서는 COEs 노출기준을 동일성분물질인 휘발성 콜타르피치의 노출기준으로 규정하고 있으며, COEs에 대한 별도의 노출기준은 없음

(0.033 mg/m³), 연소실 air flap size 조정(0.033 mg/m³), sole flue 연소방지작업(0.047 mg/m³), 급유, 급지(0.017 mg/m³), 도어 연와교체 및 재축조(0.040 mg/m³)로 나타났다. COEs 노출 수준이 상당히 낮아진 것은, 직업성암 발생이 문제시되어 조사 당시 코크스로의 주요 업무들이 2000년을 기점으로 대부분 자동화되었기 때문인 것으로 추정되었다.

코크스 제조업의 총 PAHs 노출수준은 기하평균 0.005 mg/m³, 범위 0.001~0.591 mg/m³으로, 이 역시 1999년의 노출수준에 비해서 상당히 낮은 수준으로 나타났다. 반면, 코크스 사용 사업장에서의 총 PAHs 노출수준은 기하평균 0.011 mg/m³, 범위 0.001~0.591 mg/m³으로 코크스 제조 사업장에 비해 다소 높은 수준을 보였다.

이는 코크스 사용 근로자 중에 탭핑작업자의 총 PAHs(기하평균 0.141 mg/m³, 범위 : 0.041~0.591 mg/m³)가 높았기 때문으로 판단되었다. 그런데, 코크스는 제조과정에서 장시간 유연탄 건류 시 PAHs를 포함한 가스 및 증기 성분들이 배출되기 때문에 생산된 코크스를 사용하는 사업장에서의 PAHs 노출수준은 코크스 사용에 기인한 것이라기보다 전기로에서 용해되는 철광석 및 각종 부원료들의 고온 용해과정에서 기인된 것으로 추정되었다. 탭핑작업자를 제외한 전기로 주변 작업자(반장, 조종, 정련 등)의 총 PAHs 노출수준은 코크스 제조 사업장의 총 PAHs 노출수준과 유사하거나 낮은 수준을 보였다. 일부 탭핑 작업자의 경우 휘발성 콜타르피치의 노출 기준(0.2 mg/m³)을 초과하였다.

“PAHs는 코크스 제조업중뿐만 아니라 코크스로의 연료로 사용하는 다양한 사업장에서 노동자가 노출될 수 있는 위험 확인”

3 국내 제철업 노동자 코호트의 발암 위험

산업안전보건연구원에서 우리나라 제철업 노동자 코호트를 구축하여 암발생 위험율을 제시한 것은 국내 최초의 제철업 코호트연구로, 당시까지 의문시되었던 직업성암 분야의 궁금증 일부를 해결하기 시작한 시도였다.

이 연구는 46,376명의 근로자들에 대해 1988년부터 2000년까지 추적 조사하여 표준화암 발생률을 조사하였는데, 14년간의 추적조사기간 동안 총 464례의 암 발생을 관찰하였다. 모든 암 발생에 대한 비교위험도는 0.87로 건강근로자효과*를 보여주었는데, 폐암의 경우 0.58, 위암의 경우 0.78, 간암은 0.83으로 일반인구보다 낮은 암 발생률을 보였다. 한편, 폐암의 경우, 협력업체의 폐암 발생률은 모기업보다 2.3배 높은 것으로 나타났으며, 림프조혈기계암은 3.46배, 위암은 1.66배 높았다.

이 연구를 통해 한국의 제철업 노동자에서 암초과 발생 위험이 존재한다고 추정하였고, 보다 정확한 연구를 위해서는 환자대조군 연구 등의 시도가 필요하다고 제언하였다.

* 건강근로자효과: 중병 및 만성 장애가 있는 사람은 일반적으로 고용에서 제외되거나 조기에 퇴사하기 때문에 근로자가 일반 인구보다 전체 사망률 등이 낮은 현상

2 여수광양산단 역학조사 - 대정비 작업의 노출평가를 중심으로^[7]

석유화학산업은 대표적인 장치산업으로 많은 건설노동자가 생산설비의 유지보수를 위해 일하고 있으며, 일용직 또는 협력업체 직원으로 발주처(석유화학공장)의 유지보수 업무를 하고 있지만 벤젠 등 유해물질 노출에 대한 조사는 제대로 이루어지지 않았다.

“석유화학산업에서 플랜트 건설 노동자의 대정비 작업에 대한 발암물질 노출평가와 암 발생 위험도 평가 수행”

2005년 플랜트 건설일용직 노동자에서 발생한 백혈병이 직업병으로 처음 인정되었고, 여수·광양산단 장치산업 설립 후 20년이 경과함에 따라 장기근속자 증가와 플랜트 건설일용직이 보건관리 미흡 등에 의한 직업병 발생 가능성이 제기되자 고용노동부 관할지청에서 역학조사를 요청하였고, 산업안전보건연구원에서는 석유화학공단의 일상적 작업환경이 아닌 대정비 작업과 같은 비정기적 작업에서 벤젠, 1,3-부타디엔, 염화비닐 등의 발암물질 노출평가 및 플랜트 건설 노동자와 대정비 작업 종사자들의 암 발생 위험평가를 목적으로 2006년 6월~2009년 12월까지 여수·광양산단 역학조사를 실시하였다.

역학조사 주요 결과

1 작업환경 노출평가

여수·광양산단 석유화학공장의 대정비 작업기간 중 조혈계 발암물질인 벤젠(Benzene) 및 1,3-부타디엔(1,3-Butadiene)과 간혈관육종을 일으키는 염화비닐(Vinyl chloride) 취급 사업장과 제철소 고로*해체 작업을 대상으로 유해물질 노출평가를 실시하였다.

석유화학산업에서 벤젠의 개인시료(TWA)는 931개 측정하였고, 이중 고용노동부 노출기준(1ppm)을 초과한 건은 71개 시료로 전체의 7.6%였다. 단시간노출 개인시료(STEL)는 459개 측정하였고, 57개(12.4%) 시료에서 고용노동부 노출기준(5 ppm)을 초과하는 것으로 확인되었다.

노출기준 초과 작업은 퍼지(purge)를 완전하게 실시하지 않은 배관에서 맹판(blind plate) 삽입작업, 반응기 개방 작업 등에서 발생하였다.

1,3-부타디엔의 개인시료(TWA)**는 전체 272개 시료 중 22개(8.1%) 시료에서 고용노동부 노출기준(2 ppm)을 초과하였고, 단시간노출 개인시료(STEL)***는 전체 146개 시료 중 24개(16.4%)에서 고용노동부 노출기준(10 ppm)을 초과하였다. 노출기준 초과 작업은 펌프 수리 중 용제로 세정하는 작업, 반응탑 등의 맨홀 뚜껑을 여는 작업 및 컨트롤 밸브(control valve) 교체 작업에서 발생하였다.

* 고로 : 제철소에서 쇳물을 생산할 수 있는 용광로
 ** TWA(Time-Weighted Average) : 8시간 노출기준
 *** STEL(Short-Term Exposure Limit) : 단시간 노출기준

염화비닐 개인시료(TWA)는 전체 85개를 측정하였고 5개(5.9%) 시료에서 고용노동부 노출기준(1 ppm)을 초과하였으며, 노출기준 초과 작업은 열교환기 맨홀 오픈, 현장순시 및 조치 작업에서 발생하였다. 단시간노출 개인시료(STEL)는 전체 36개 시료 중 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 노출기준 5 ppm(국내 노출기준 미설정)을 초과한 경우는 없었다.

제철산업 사업장(1개소) 고로개수공사*에 대하여 호흡성분진, 결정형 유리규산, 6가크롬화합물, 공기 중 석면 등을 평가한 결과 노출기준을 초과한 사례는 없었다.

2 건강영향평가

여수산단 발주처 노동자 약 10,000명, 광양산단 발주처 노동자 약 11,000명, 플랜트 건설노동자 약 22,000명의 전체 암 발생률 및 사망률을 1988년~2007년 동안 추적관찰하였고, 관찰인년**은 여수산단 발주처 노동자 129,756인년, 광양산단 발주처 노동자 163,952인년, 플랜트 건설노동자 100,300인년이였다.

노출집단에서의 암 발생위험을 평가하기 위하여 표준화발병(사망)비를 산출하여 비교하였다. 일반인구집단을 대조집단으로 비교한 경우 간접표준화발병(사망)비***를 이용하였고, 발주처 집단과 플랜트건설근로자 집단과 비교할 때는 직접표준화발병(사망)비****를 산출하여 비교하였다.

1) 일반인구집단과의 비교

여수·광양산단 발주처 노동자, 플랜트건설 노동자의 전체 암 발생률 및 사망률은 일반인구와 비교하여 통계적으로 유의하지 않거나 유의하게 낮았다. 백혈병 및 비호지킨림프종 등 림프조혈기계암의 표준화발병(사망)비는 일반인구와 비교하여 증가되는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

“여수산단 플랜트 건설노동자에서 입술, 구강, 인두암의 표준화사망비, 표준화발병비가 일반인구에 비해 높게 나타남”

여수산단 플랜트건설 노동자 집단에서는 입술, 구강, 인두암의 표준화사망비와 표준화발병비는 각각 4.21(95% 신뢰구간 1.39-7.17), 3.18(95% 신뢰구간 1.03-7.42)로 일반인구에 비해 통계적으로 유의하게 높았다. 입술, 구강, 인두암의 경우 현재까지 직업적 또는 비직업적 요인에 대한 연구가 적어 정확한 원인규명을 위해서는 추적관찰 및 상세 문헌검토가 필요하다.

* 고로개수공사: 제철소 고로의 장기간 조업으로 인해 노체 내부 벽돌 손상이 심해지면 조업 중단 후 고로 내부에 사용되고 있는 내화벽돌을 포함하여 노후한 부속 설비를 교체하는 작업

** 관찰인년: 각 개인에 대한 서로 다른 관찰기간의 합

*** 간접 표준화발병(사망)비= 표준집단의 성·연령 층화 발생률을 코호트 집단에 적용했을 때 기대되는 발생자 수 대비 실제로 코호트 집단에서 발생한 수의 비

**** 직접 표준화발병(사망)비= 표준집단의 발생률 대비 코호트 집단의 성·연령층과 발생률을 표준집단의 인구분포에 적용하였을 때 산출되는 표준화발병률의 비

표 1 플랜트 건설노동자 집단 암 발생(사망) 위험도 : 일반인구집단과의 비교*

건설 산업단지	표준화사망비(95%신뢰구간)	표준화발생비(95%신뢰구간)
여수 건설노동자	입술,구강,인두암 4.21(1.69-8.67) [※ 비호지킨림프종 1.24(0.15-4.47), 백혈병 1.46(0.39-2.78), 림프조혈계암 1.19(0.09-1.25)]	입술,구강,인두암 3.18(1.03-7.42) [※ 비호지킨림프종 1.83(0.38-5.34), 백혈병 2.71(0.56-7.91), 림프조혈계암 1.97 (0.72-4.29)]
광양 건설노동자	통계적으로 유의하게 증가한 암종 없음 [※ 백혈병 1.50 (0.04-8.38)]	통계적으로 유의하게 증가한 암종 없음 [※ 비호지킨림프종 1.54(0.04-8.58), 백혈병 4.50(0.54-16.26), 림프조혈계암 2.50 (0.52-7.31)]

2) 산업단지 발주처근로자 집단과의 비교

건설 근로자에서 비호지킨 림프종 과 백혈병의 위험도가 증가된 경향을 보이는데, 이는 건설 근로자가 대정비/일상보수 작업 중 벤젠 등 림프조혈계암 유발 물질에 노출되었기 때문일 가능성도 배제할 수 없다(표 2).

플랜트 건설노동자에서 산업단지 발주처 대비 폐암의 표준화사망비가 4.70(95% 신뢰구간 1.46-11.24), 발주처 사무직 대비 간암의 표준화사망비는 4.01(95% 신뢰구간 1.09-10.25)로 유의하게 높았다. 또한 위암의 표준화발생비도 1.46(95% 신뢰구간 1.02-2.01)로 높은 등 발주처 노동자보다 높은 소견을 보였는데, 이는 음주나 흡연 등 생활습관의 영향이 클 수 있기 때문에 업무관련성 평가를 위해서는 추가적인 검토가 필요하다.

표 2 플랜트 건설노동자 집단 암 발생(사망) 위험도 : 산단 발주처 근로자 집단과의 비교**

건설 산업단지	표준화사망비(95%신뢰구간)	표준화발생비(95%신뢰구간)
[비교집단 1] 여수산단 발주처 전체 근로자 집단		
여수 건설노동자	전체 암 1.46(1.05-1.98) [사무직과 비교, 전체 암 2.49(1.31-4.31), 간암 4.01(1.09-10.25)]	입술,구강,인두암 3.00(1.55-5.24), 비호지킨림프종 2.12(1.04-3.84), 백혈병 3.75(1.76-6.43), 림프조혈계암 2.66(1.66-4.06)
광양 건설노동자		입술,구강,인두암 2.29(1.06-4.32), 백혈병 3.26(1.55-6.03)
[비교집단 2] 광양산단(제철소) 발주처 전체 근로자 집단		
여수 건설노동자	전체 2.53(2.14-2.97), 전체 암 2.00(1.41-2.74), 폐암 4.70, (1.46-11.24)	입술,구강,인두암 3.78(1.91-6.70), 비호지킨림프종 3.60(3.38-10.97), 백혈병 6.39(3.38-10.97), 림프조혈계암 4.53(2.29-6.58)
광양 건설노동자	총 사망 2.39(2.02-2.82), 위암 2.58(1.09-5.14)	입술,구강,인두암 4.70(2.58-7.88), 위암 1.46(1.02-2.01), 백혈병 5.65(2.85-10.03), 림프조혈계암 2.74(1.58-4.42)

* 간접표준화법 **직접표준화법

3

반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사- 암 질환 중심^[8]

산업안전보건연구원에서는 반도체업종 집단 역학조사 필요성이 대두되면서 2007년~2008년 “반도체 제조공정 근로자 건강실태 역학조사”를 실시하였다. 그 결과 여성 오퍼레이터에서 비호지킨림프종 발생 위험비의 유의한 증가를 확인하였고, 백혈병은 통계적 유의성 없이 증가한 것을 확인한 바 있다.

하지만 동 역학조사의 짧은 추적기간과 건강근로자효과(healthy worker effect) 등 한계요인으로 인해 장기적 역학조사 필요성이 대두됨에 따라 2009년 1월부터 2019년 2월까지 10년 동안 암 질환 중심의 “반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사”를 실시하여 반도체 제조공정 노동자의 암 사망 및 암 발생 위험도를 확인하고자 했다.

“10년간의
반도체 제조공정
노동자 코호트
추적관찰”

역학조사 주요 결과

반도체 제조업 6개사의 9개 반도체 사업장 전·현직 노동자 201,057명을 대상으로, 발생코호트와 사망코호트를 별도로 구축하였으며, 총 관찰인년은 발생코호트 2,503,956 인년, 사망코호트는 2,717,160 인년이였다.

위험비 지표로는 간접표준화 방법으로 표준화발생비(standardized incidence ratio, SIR)와 표준화사망비(standardized mortality ratio, SMR)를 계산하였다.

표 3 분석대상 코호트의 인원수 및 관찰기간

자료 출처	발생코호트	사망코호트
관찰기간	1998년-2015년	1998년-2016년
대상자수	197,641명	200,997명
발생(사망) 수	3,442건	1,178건
관찰인년	2,503,956 인년	2,717,160 인년

1 암 사망 및 암 발생 위험도

여성 오퍼레이터의 경우 백혈병 발생이 높은 경향을 보였고, 사망 위험은 유의하게 높았다. 남성 장비엔지니어에서 통계적 유의성은 없으나 상대적으로 발생 위험비가 높았다. 비호지킨림프종은 여성 오퍼레이터(특히 20-24세 구간)에서 암 발생 및 사망이 유의하게 높게 나타났다. 비호지킨림프종과 백혈병이 주로 2010년 이전 입사자에서 발생하였는데, 이는 시기에 따른 공정자동화, 생산제품, 취급 원부자재 변화 등 작업환경의 영향이 변화했을 가능성을 보여주었다.

표 4 백혈병 및 비호지킨림프종의 표준화발생(사망)비

“반도체 제조공정 여성 노동자에서 혈액암의 발생 및 사망 위험비가 전체 노동자에 비해 유의하게 높게 나타남”

질환	직무 및 대상	발생, 사망		위험비	
백혈병	반도체 여성	발생	32	SIRg SIRw	1.19 (95%CI 0.82-1.68) 1.55 (95%CI 1.06-2.18)
	여성 오퍼레이터		22	SIRg SIRw	1.16 (95%CI 0.73-1.76) 1.59 (95%CI 0.99-2.40)
	여성 오퍼레이터(20-24세)		6	SIRg SIRw	1.16 (95%CI 0.43-2.53) 2.74 (95%CI 1.01-5.97)
	남성 장비엔지니어		7	SIRg SIRw	1.28 (95%CI 0.51-2.63) 1.51 (95%CI 0.61-3.11)
	반도체 여성	사망	23	SMRg SMRw	1.71 (95%CI 1.08-2.56) 2.30 (95%CI 1.45-3.45)
	여성 오퍼레이터		19	SMRg SMRw	2.00 (95%CI 1.21-3.13) 2.81 (95%CI 1.69-4.40)
비호지킨림프종	반도체 여성	발생	37	SIRg SIRw	1.71 (95%CI 1.20-2.36) 1.92 (95%CI 1.35-2.64)
	여성 오퍼레이터		29	SIRg SIRw	1.92 (95%CI 1.29-2.76) 2.19 (95%CI 1.47-3.14)
	여성 오퍼레이터(20-24세)		9	SIRg SIRw	2.53 (95%CI 1.16-4.80) 3.33 (95%CI 1.52-6.33)
	반도체 여성	사망	11	SMRg SMRw	2.52 (95%CI 1.26-4.51) 3.68 (95%CI 1.84-6.59)

※ SIR : 표준화발생비, SMR : 표준화사망비
 SIRg(일반국민 대조군의 SIR), SIRw(고용보험근로자 전체 대조군의 SIR)
 SMRg(일반국민 대조군의 SMR), SMRw(고용보험근로자 전체 대조군의 SMR)

갑상선암, 위암, 유방암, 뇌 및 중추신경계암, 신장암 등의 위험비가 증가하는 것을 보였으나, 이 중 갑상선암과 여성의 위암, 유방암은 건강검진 기회 증가와 관련이 높은 암종으로써 추적 관찰이 필요하다.

피부의 악성흑색종, 고환암, 췌장암, 주침샘암, 뼈·관절암, 부신암, 비인두암 등은 사례수가 충분하지 않아 직무에 의한 영향을 판단하기 어려우나, 일부 암종은 남성 장비엔지니어, 여성 오퍼레이터 등에서 발생비가 높게 나타나 추적관찰이 필요하였다.

2. **작업환경 관련자료 검토**

2013년-2017년 사업장별 작업환경측정결과 검토 및 사업장에서 취급했던 화학물질에 대한 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)를 제출받았으며, 국내외 관련 문헌을 검토하였다.

“반도체 코호트
에서 발암성
요인의 노출
수준은 낮았을
것으로 추정되나,
과거 정보의 부족
등으로 정확한
판단 어려움”

총 124,102건의 작업환경측정자료를 검토한 결과, 황산(강산 미스트), 산화규소(결정체), 산화에틸렌(Ethylene oxide), 비소, 벤젠, 포름알데히드(Formaldehyde) 등의 여러 발암성 화학물질을 취급하거나, 취급하지 않더라도 공정 중 부산물로 발생한 것으로 파악되었으며, 그 노출수준은 불검출 또는 노출기준의 10% 미만으로 낮은 것으로 평가되었다. 총 2,014개 제품의 MSDS 검토 결과에서도 산화규소(결정체), 산화에틸렌, 황산 등의 발암성 물질을 확인할 수 있었으나 영업비밀이 포함된 제품 비율의 전체 제품 중 40% 정도를 차지하고 있어 수집된 화학물질 정보가 충분히 제시되지 못하고 있었다.

1980년대에 취급하던 웨이퍼는 4인치였으나 2000년대 들어서는 12인치 크기의 웨이퍼를 취급하게 되는 등 시기별로 사업장에서 생산하는 제품의 크기가 커졌고, 웨이퍼 크기에 따라 초기에는 수작업이던 공정이 반자동, 자동화 및 무인화 공정으로 바뀌는 과정에서 노동자의 작업환경도 크게 변화하였을 것으로 판단된다.

현재까지의 조사로는 이 코호트에서 발생한 비호지킨림프종과 백혈병 발생 위험 증가의 정확한 원인을 규명하는 것은 불가능하나, 클린룸 안의 작업환경 중의 요인에 영향을 받았을 것으로 추정할 수 있다.

결론

그간 산업안전보건연구원에서 수행한 대규모 역학조사에서는 과학적인 원인규명을 통해 유해 물질과 질병 간의 인과관계가 있는 것으로 결론지었다.

1999년 제철업의 암 발생 사례를 관찰하고, 사업장의 COEs 노출수준을 조사하여 공정자동화를 통한 노출수준 감소를 평가할 수 있었다. 그러나 COEs의 주요 발암성분 중 하나인 PAHs는 코크스 제조업종뿐만 아니라 코크스를 로의 연료로 사용하는 다양한 사업장에서 노동자가 노출될 수 있으며, 노출수준이 제철업과 유사하거나 높을 수 있음을 발견하였고, 이러한 사업장에서 노동자의 PAHs 노출에 대한 위험이 존재함을 제시하였다.

“제철소 집단
학조사 계획
수립 등 대규모
역학조사 지속
수행 예정”

석유화학산업 대정비 작업 종사 노동자의 경우, 일부 작업에서 벤젠, 1,3-부타디엔에 노출기준 이상으로 노출되고 있는 것으로 나타났으나, 현재까지는 벤젠 등에 의한 관련 질병 위험도가 일반국민에 비해 유의하게 높은 결과는 없었다. 다만, 이들 노동자는 조혈기계 발암물질에 노출되고 있기 때문에 비록 통계적으로 유의하지 않더라도 향후 림프조혈계암 발생 위험이 높아질 가능성이 있으므로 작업환경관리 강화와 주의 깊은 추적관찰이 필요하다.

반도체 제조공정의 경우 여성 노동자에서 혈액암의 발생 및 사망 위험비가 전체 노동자에 비해 유의하게 높았으나, 명확한 화학적, 물리적 유해요인을 원인으로 규명해내지 못하였다. 다만 국내 반도체 제조업의 암발생 위험을 관리하고, 능동적 예방정책 수립을 위한 기초자료로 활용되고 있다.

산업안전보건연구원은 반도체 코호트 구축 및 운영을 지속하고 있으며, 최근 사회적 관심이 증가하고 있는 제철소의 직업성 암 발생에 대한 집단 역학조사 계획을 수립 중이다. 앞으로도 노동자의 건강권 확보를 위하여 항공교통산업, 건설업 등의 집단을 대상으로 대규모 역학조사를 지속해서 수행해나갈 예정이다.

참고문헌

- » [1] 산업안전보건연구원, 산업안전보건연구원 30년사, 2019
- » [2] 권은혜, 이용학, 오정룡 등. 코크스오븐 작업자들의 코크스오븐배출물 및 다핵방향족 탄화수소 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2000;10(2):53-67.
- » [3] 임현술, 최정근, 권은혜 등. 코크스오븐의 방출물에 노출된 근로자에서 발생한 폐암 증례. 대한산업의학회지 2002;14(1):97~106
- » [4] 산업안전보건연구원, 제철업 종사근로자코호트구축을 통한 질병 및 사망에 관한 연구 I, 2002
- » [5] Ahn YS, Park RM, Stayner L, Kang SK, Jang JK. Cancer morbidity in iron and steel workers in Korea. Am J Ind Med. 2006 Aug;49(8):647-57.
- » [6] 산업안전보건연구원, 여수-광양 산단 역학조사-대정비 작업의 노출평가를 중심으로, 2009
- » [7] Gordis L. 역학. 한국역학회. 4th edition. 2009
- » [8] 산업안전보건연구원, 반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사-암 질환 중심, 2019