



반도체 제조과정 노동자에 대한 건강실태 역학조사

암 질환 중심

2019-연구원-271

안전보건공단 직업건강실강연구실

김은아 · 이상길 · 서희경 · 전교연 · 박순우

조사 기간 : 2009년 1월 ~ 2019년 2월

핵심 단어 : 반도체 역학조사, 암발생사망 위험비

역학조사명 : 반도체 제조공정 노동자에 대한 건강실태 역학조사

- 암 질환 중심 -

1. 조사 배경

1) 추진 경과

- 2007년 반도체 사업장 노동자의 사망(백혈병)을 계기로 우리나라 반도체 노동자 림프 조혈기계암 사례조사 결과, 관련 발암요인 찾지 못함
- 동일공정 노동자 백혈병 추가 보고 후, 반도체 업종 집단 역학조사 필요성 대두, 「반도체 제조공정 노동자 건강실태 역학조사(2007년~2008년)」 실시
- 여성 오퍼레이터 비호지킨림프종 발생 위험비 유의한 증가
*백혈병 통계적 유의성 없이 증가
- 짧은 추적 기간, 건강노동자 효과 등의 한계 지적, 10년 더 추적 조사 계획 수립
- 연도별 진행 현황
 - 2008년: 조사대상 선정, 자료분석, 역학조사 수행
 - 2009년~2010년: 자료 수집 및 분석, 역학조사 중간 분석
 - 2015년: 인사자료 수집 및 암 위험도 분석, 역학조사 중간 결과 보고
 - 2016년: 비호지킨림프종 사례조사 수행
 - 2019년: 반도체 제조공정 노동자 건강실태 역학조사 장기추적 완료

2) 역학조사 개요

- 과제명: 반도체 제조공정 노동자에 대한 건강실태 역학조사, 암 질환 중심
- 조사기간: 2009년 1월 1일~2019년 2월 20일
- 조사팀: 김은아(조사책임자), 이상길, 서희경, 전교연, 박순우
- 목적: 반도체 제조공정 노동자의 암 사망 및 암 발생 위험도를 2008년 이후 10년간 더 추적하여 우리나라 반도체 제조공정 노동자의 코호트를 추적 관찰하고자 함

3) 방법 및 내용

- 조사대상: 반도체 협의회 회원사 중 반도체 소자 제조업 6개사의 9개 반도체 사업장 전 · 현직 노동자
- 앰코테크놀로지코리아 13,887명, 페어차일드코리아반도체 4,550명, 케이이씨(주) 9,586명, DB하이텍(주) 7,746명, SK하이닉스(주) 64,115명, 삼성전자(주) 101,173명으로 총 201,057명

• 조사방법

- 문헌 검토, 인사자료 수집, 직무 분류
- 암 등록, 암 사망 조회(국립암센터, 통계청) 추적기간(1998년~2015년, 2016년)
- 코호트 정의
 - 발생 코호트: 197,641명, 2,503,956 인년 추적, 3,442건 암 발생
 - 사망 코호트: 200,997명, 2,717,160 인년 추적, 1,178명 암 사망

자료 출처	발생 코호트	사망 코호트
관찰기간	1998~2015	1998~2016
대상자 수	197,641	200,997
발생(사망) 수	3,442	1,178
관찰인년	2,503,956	2,717,160

- 위험비 지표
 - 표준화 발생비(standardized incidence ratio, SIR)
 - 표준화 사망비(standardized mortality ratio, SMR)
- 비교군에 따른 위험비
 - 일반국민 비교-SIRg SMRg, 고용보험 가입 노동자 전체 비교-SIRw SMRw
 - 고용보험 가입 노동자 사무직-SIRo SMRo, 고용보험 가입 노동자 생산직-SIRb SMRb
- 암 발생 사례분석
 - 물질안전보건자료(MSDS) 및 작업환경측정결과(2013년~2017년) 검토

2. 주요 조사내용

1) 조사결과

- 백혈병: 주로 2010년 이전 입사자에서 발생, 여성 오퍼레이터에서 암 발생은 높은 경

향을 보였으며, 사망 위험은 유의하게 높았음. 남성 장비 엔지니어에서 통계적 유의성은 없으나 상대적으로 발생 위험비가 높았음

- 비호지킨림프종: 주로 2010년 이전 입사자에서 발생, 여성 오퍼레이터(특히 20~24세 구간)에서 암 발생 및 암 사망이 유의하게 높았음

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

1. SIRg(일반국민 대조군의 SIR)와 SIRw, SIRo, SIRb의 값이 크게 차이 나지 않는 경우는 SIRg만 제시하였고, 뚜렷한 차이가 있는 경우에만 함께 표에 제시하였음

- ① 대부분의 비호지킨림프종(총 94건), 백혈병(총 76건)은 2010년까지 입사자에서 발생, 2011년 이후 입사자의 발생은 백혈병 3명, 비호지킨림프종 2명으로 이는 시기에 따른 공정자동화, 생산 제품, 취급원부자재 변화 등 작업환경의 영향이 변화하였을 가능성을 보여주었음
- ② 설립연도가 오래된 사업장들에서 더 높은 위험을 보였는데, 그 외 다른 사업장의 경우도 관찰기간이 증가할 경우 위험이 높아질 가능성을 간과할 수 없었음

질환	사업장 및 직무	설립연도	위험비
백혈병	A사 반도체 여성	1980년대 초	SIRg 1.55(95%CI 1.00-2.40) SMRg 1.84(95%CI 1.01-3.09)
	B사 남성 장비엔지니어		SIRg 2.44(95%CI 0.90-5.32)
	B사 여성 ASSEMBLY 오퍼레이터		SIRg 2.26(95%CI 0.61-5.77)
비호지킨림프종	A사 반도체 여성	1970년대 말	SIRg 1.85(95%CI 1.11-2.88)
	D사 여성 노동자		SIRg 2.68(95%CI 1.08-5.52)

1. SIRg(일반국민 대조군의 SIR)와 SIRw, SIRo, SIRb의 값이 크게 차이 나지 않는 경우는 SIRg만 제시하였고, 뚜렷한 차이가 있는 경우에만 함께 표에 제시하였음

▶ 갑상선암, 위암, 유방암, 뇌 및 중추신경계암, 신장암 등의 위험비가 증가하는 것을 보였으나, 이 중 갑상선암과 여성의 위암, 유방암은 건강검진 기회의 증가와 관련이 높은 암종들로 추적관찰 필요

질환	직무 및 대상	발생, 사망	위험비
위암	비사무직 여성 (35~39세)	28	SIRg 1.63(95%CI 1.08-2.35)
	여성 오퍼레이터	57 21	SIRg 1.23(95%CI 0.93-1.59) SMRg 1.31(95%CI 0.81-2.00)
유방암	여성 ASSEMBLY 오퍼레이터	47	SIRg 1.29(95%CI 0.95-1.72)
	여성 ASSEMBLY (20~24세)	5	SIRg 3.45(95%CI 1.12-8.06) SIRw 4.24(95%CI 1.38-9.90)
	여성 ASSEMBLY	13	SMRg 2.23(95%CI 1.18-3.81)
뇌 및 중추 신경계암	생산직 남성	20	SIRg 1.31(95%CI 0.80-2.02)
	생산직 남성 (25~29세)	5	SIRg 1.92(95%CI 0.62-4.48)
	생산직 남성 (35~39세)	7	SIRg 1.98(95%CI 0.79-4.07)
	남성 오퍼레이터	3	SIRg 1.75(95%CI 0.36-5.12)
신장암	남성 장비엔지니어	5	SIRg 1.44(95%CI 0.47-3.36)
	비사무직 남성	40	SIRg 1.24(95%CI 0.88-1.68)
	비사무직 여성	14	SIRg 1.53(95%CI 0.84-2.57) SIRw 1.88(95%CI 1.03-3.16)
	여성 오퍼레이터	10	SIRg 1.53(95%CI 0.73-2.81) SIRw 1.94(95%CI 0.93-3.58)
	남성 장비엔지니어	7	SIRg 1.43(95%CI 0.57-2.94) SIRw 1.48(95%CI 0.59-3.05)
	남성(30~34세)	12	SIRg 1.82(95%CI 0.94-3.19) SIRw 1.91(95%CI 0.99-3.34)
갑상선암	여성(25~29세)	5	SIRg 2.03(95%CI 0.66-4.73) SIRw 3.40(95%CI 1.10-7.94)
	남성	610	SIRg 2.54(95%CI 2.34-2.75)
	여성	989	SIRg 1.14(95%CI 1.07-1.22)

1. SIRg(일반국민 대조군의 SIR)와 SIRw, SIRo, SIRb의 값이 크게 차이 나지 않는 경우는 SIRg만 제시하였고, 뚜렷한 차이가 있는 경우에만 함께 표에 제시하였음

- ① 대부분의 사업장에서 종합건강진단이 2010년 이후에 필수로 바뀌거나 선택 항목이 늘어나, 암종별로 건강검진 기회 증가 영향 감안 필요 있었음
- ② 위암, 유방암은 최근 발생비가 유의하게 높아지기 시작하여 건강검진 기회증가의 영향을 추정할 수 있는데, 20~30대 여성에서 상대적으로 발생비가 높았던 점 등을 고려할 때 추적관찰 필요
- ③ 신장암, 뇌 및 중추신경계암은 통계적으로 유의하게 증가하지는 않았으나, 여성 오퍼레이터, 남성 장비 엔지니어에서 SIRw가 비교적 높거나, 젊은 연령대인 30~34세 남성 및 25~29세 여성에서 높은 값을 보여, 관찰이 필요
 - ▶ 피부의 악성흑색종, 고환암, 췌장암, 주침샘암, 뼈관절암, 부신암, 비인두암 등은 사례수가 충분치 않아 직무에 의한 영향을 판단하기는 어려우나, 일부암종은 남성 장비엔지니어, 여성 오퍼레이터 등에서 발생비가 높게 나타나 추적관찰이 필요하였음

질환	직무 및 대상	발생	위험비
악성흑색종	남성 장비엔지니어	3	SIRg 6.95(95%CI 1.43-20.30)
고환암	생산직 남성	13	SIRg 1.44(95%CI 0.76-2.45) SIRo 1.96(95%CI 1.04-3.35)
	남성 장비엔지니어	6	SIRg 2.15(95%CI 0.79-4.69) SIRw 2.75(95%CI 1.01-6.00)
췌장암	여성 오퍼레이터	5	SIRg 3.56(95%CI 0.73-10.34) SIRo 5.10(95%CI 1.05-14.91)
주침샘암	FAB 남성	6	SIRg 2.27(95%CI 0.83-4.94) SIRb 2.86(95%CI 1.05-6.23)

1. SIRg(일반국민 대조군의 SIR)와 SIRw, SIRo, SIRb의 값이 크게 차이 나지 않는 경우는 SIRg만 제시하였고, 뚜렷한 차이가 있는 경우에만 함께 표에 제시하였음

- ① 췌장암은 여성 오퍼레이터에서 5건이 발생하였고 SIRo가 통계적으로 유의하였음
- ② 주침샘암은 FAB에 근무한 남성에서 6건 발생하였고, SIRb가 유의하게 높았는데, 직무에 대해서는 특별한 경향이 보이지 않았음
- ③ 부신암은 전체 남성에서 5건이 발생, 비인두암 사망은 장비엔지니어 남성에서 2건으로 사망비 및 발생비가 높았지만 사례 수가 적어서 판단하기 어려웠음
- ④ 뼈관절암은 남성에서 15건 발생하였고 비반도체, 사무직 등에서도 함께 높은 값을 보였으며, 악성종피종의 경우 남성 2건, 여성 3건 발생하였는데 잠재기간, 생존기간 고려시 반도체 사업장과 관련 판단 불가함

2) 고찰

▶ 반도체 코호트에서 발암성 요인의 노출 수준은 낮았을 것으로 추정되나, 과거 정보의 부족 등으로 인해 정확한 판단 어려움

① 2013년~2017년 사업장별 작업환경측정결과를 검토하고, 회사로부터 최근 2년 이내 취급했던 화학물질에 대한 물질안전보건자료(MSDS)를 제출받았으며, 국내외 관련 연구논문 등 작업환경정보를 검토하였음

② 총 124,102건의 작업환경측정자료를 검토한 결과, 황산(강산 미스트), 산화규소(결정체), 산화에틸렌, 비소, 벤젠, 포름알데히드 등의 여러 발암성 화학물질을 취급하거나, 취급하지 않았더라도 공정 중 부산물로 발생했을 것으로 보이는데, 그 노출 수준은 불검출 또는 노출기준의 10% 미만 정도로 낮았다고 평가됨

③ 총 2,014개 제품의 물질안전보건자료 검토 결과에서도 산화규소(결정체), 산화에틸렌, 황산 등의 발암성 물질을 확인할 수 있었으나, 영업 비밀이 포함된 제품 비율이 전체 제품 중 40%(805개) 정도를 차지하고 있어 수집된 화학물질 정보가 충분히 제시되지 못하고 있음

④ 또한 1980년대부터 입사했던 노동자들의 진술로 보아, 사고성 노출로 인한 간헐적 고노출 가능성을 간과하기는 어려움

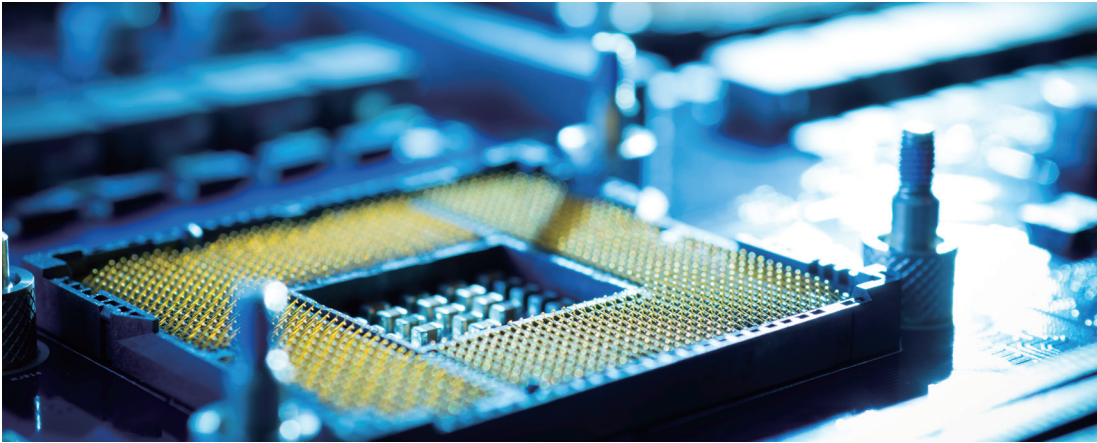
⑤ 1980년대 4인치 크기의 웨이퍼를 취급하기 시작하여 2000년대 12인치 웨이퍼까지 시기별로 사업장 생산제품의 크기가 커졌고, 웨이퍼 크기에 따라 초기 수작업에서 반자동, 자동화 및 무인화 공정으로 작업방법이 바뀌는 과정에서 노동자의 작업 환경도 크게 변화하였을 것으로 판단됨

▶ 암질환들의 원인은 현재 정확히 추정하기는 어려우나, 클린룸 내의 위험 요인이 관련되었을 가능성을 추정함

▶ 현재까지의 조사로는 이 코호트에서 발생한 비호지킨림프종과 백혈병 발생 위험 증가의 정확한 원인을 규명하는 것은 불가능하나, 클린룸 안의 작업환경 중의 요인에 영향을 받았을 가능성 추정

① 물리화학적 위험요인에 노출이 많은 직무인 여성 오퍼레이터와 남성 장비엔지니어에 주로 나타난 점, 일반 인구에서보다 젊은 연령에서 위험비가 높았던 점

② 제품의 종류가 다르고 수동 작업이 많았을 가능성이 있는 2010년 이전 입사자에서 주로



발생하였고, 설립연도가 오래된 사업장에서 주로 발생한 점

- ③ 이 조사에서 활용한 작업환경측정 보고서(2013년~2017년)는 1~2회/년에 측정된 것으로 실제 노출 상황을 파악하는 데 한계가 있고, 극저주파 자기장 및 방사선, 열분해산물 등과 같은 인자는 측정하지 않았고, 그 이전의 작업환경은 현재와 다르고 노출 수준이 높았을 가능성
- ④ 국내 반도체 제조업에 대한 다른 연구들에서도 유사한 암의 증가, 여성의 생식 기계 건강 영향이 보고된 점 등을 고려한다면, 특정할 수는 없지만 클린룸안의 작업환경 중의 요인에 영향을 받았을 가능성이 큼

▶ 그 밖에 현재 발암성이 알려지지 않은 요인들 또는 아직 규명되지 않은 복합적 효과가 암 발생에 영향을 주었을 가능성도 있어, 반도체 제조공정의 암 발생 위험의 영향 요인에 대해서는 아직 미지의 영역이 많을 것으로 생각됨

3. 결과 활용방안

1) 역학조사의 한계

- 과거 자료 수집 및 작업환경 정보의 제한
- 협력업체 작업자의 코호트 누락
- 직무 오분류 가능성, 비직업적 요인 조사 미비

- ① 코호트 구축에 사용된 자료는 1995년부터의 고용보험 등록 자료와 1998년부터의 인사 자료로, 입수할 수 있는 가장 과거의 자료를 수집하였음에도 불구하고 작업환경이 나뉘을 가능성이 있는 1980~1990년에 근무했던 인원에 대한 정보는 취득할 수 없었음
- ② 환경 노출에 대한 정보가 한정적이었으며, 사용 화학물질 리스트 및 작업환경측정 결과 등 발암 가능성을 확인하기 위하여 보조적으로 활용한 자료도 현재의 사용 화학물질로 제한되어 있음
- ③ 우리나라 반도체의 많은 사업장은 협력업체를 두고 있는데 이들이 이번 코호트에 누락되었으며, 특히 예방 정비 쪽에 종사하는 사내 협력업체 작업자와 이들의 노출이 누락되어 고위험 집단이 포함되지 않았음
- ④ 서브코호트의 분석은 직무기반으로 하였는데, 공정과 연계된 자료는 취득할 수 없었고, 직무의 분류도 대부분 현재의 직무에 기반하고 있어 오분류의 가능성이 있음
- ⑤ 암질환과 관련된 비 직업적 요인에 대한 조사가 불가능하여 감안하지 못하였음

2) 역학조사 결과 권고사항

· 반도체 사업장 내 보건관리 시스템 개선

- ① 입사 시기별 근무 현황, 장기근속자 건강실태 파악, 건강이상 상담 활성화 등을 포함한 사업장 내 보건관리 체계 정비
- ② 클린룸 출입 시간, 교대 근무 스케줄 관리
- ③ 화학물질 노출 기록 모니터링, 장기적 누적 보관

· 반도체 제조 사업장 관리

- ① 반도체 제조업 노동자의 질환은 한 사업장 단위에서는 연간 소수의 사례만 발생하며, 퇴직 후에 발생할 수도 있어 개별 사업장에서 발생 위험을 감지하는 것은 불가능함
- ② 반도체 제조업 노동자의 현황조사, 작업환경 관리방향 제시, 변화하는 환경에 대한 지속적인 실태조사, 데이터의 축적 및 분석, 예방연구 지원 등을 수행할 수 있는 지속가능한 관리 체계가 필요

· 반도체 제조업 종사자의 건강영향에 대한 지속적인 연구

- ① 일부 암종별 사례조사
- ② 암 외 질환에 대한 질병감시(국민건강보험공단 자료 연계)
- ③ 복합 유해요인 노출에 의한 건강 이상
- ④ 현재 관리 대상 이외의 화학적 물리적 요인의 노출 현황과 특성 🐼