요 약 문

조사기간 2009년 1월 ~ 2019년 2월

핵심단어 반도체 역학조사, 암발생사망 위험비

역학조사명 반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사 -암 질환 중심-

1. 조사배경

(1) 추진경과

○ 2007년 반도체 사업장 근로자의 사망(백혈병)으로 우리나라 반도체 근로자 림프조혈기계암 사례조사 결과, 관련 발암요인 찾지 못함

○ 동일공정 근로자 백혈병 추가 보고 후, 반도체업종 집단 역학조사 필요성 대두, 「반도체 제조공정 근로자 건강실태 역학조사(2007~2008)」 실시

- 여성오퍼레이터 비호지킨림프종 발생위험비 유의한 증가
  - * 백혈병 통계적 유의성 없이 증가

○ 짧은 추적 기간, 건강근로자 효과 등의 한계 지적, 10년 더 추적조사 계획

○ 연도별 진행현황

- 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 근로자 건강실태 역학조사 장기추적 완료

(2) 역학조사 개요

○ 과 제 명 : 반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사 -암 질환 중심-

○ 조사기간 : 2009. 1. 1. ~ 2019. 2. 20.

○ 조 사 팀 : 김은아(조사책임자), 이상길, 서희경, 전교연, 박순우

○ 목 적 : 반도체 제조공정 근로자의 암 사망 및 암 발생 위험도를 2008년 이후 10년간 더 추적하여 우리나라 반도체 제조공정 근로자의 코호트를 추적관찰 하고자 함

(3) 방법 및 내용

○ **조사대상** : 반도체협의회 회원사 중 반도체 소자 제조업 6개사의 9개 반도체 사업장 전·현직 근로자

- 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**

- 문헌검토, 인사자료 수집, 직무분류
- 암등록, 암사망 조회(국립암센터, 통계청) 추적기간(1998-2015/16)
- 코호트 정의
  - · 발생코호트 197,641명, 2,503,956 인년 추적, 3,442건 암 발생
  - · 사망코호트 200,997명, 2,717,160 인년 추적, 1,178명 암 사망

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

- 위험비 지표
  - · 표준화발생비 (standardized incidence ratio, SIR)
  - · 표준화사망비 (standardized mortality ratio, SMR)

  ※ 비교군에 따른 위험비;
  일반국민 비교-SIRg SMRg, 고용보험근로자 전체 비교-SIRw SMRw
  고용보험근로자 사무직-SIRo SMRo, 고용보험근로자 생산직-SIRb SMRb
- 암발생 사례분석
- 물질안전보건자료(MSDS) 및 작업환경측정결과(2013년∼2017년) 검토

2. 주요 조사내용

(1) 조사결과

▶ 백혈병 : 주로 2010년 이전 입사자에서 발생, 여성 오퍼레이터에서 암 발생은 높은 경향을 보였으며, 사망 위험은 유의하게 높았음. 남성 장비엔지니어에서 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)
비호지킨 림프종	A사 반도체 여성		SIRg 1.85 (95%CI 1.11-2.88)
	D사 여성 근로자	1970년대 말	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 암 종들로 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 SMRg	1.23 (95%CI 0.93-1.59) 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 SIRw	3.45 (95%CI 1.12-8.06) 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)
	남성 장비엔지니어	5	SIRg	1.44 (95%CI 0.47-3.36)
신장암	비사무직 남성	40	SIRg	1.24 (95%CI 0.88-1.68)
	비사무직 여성	14	SIRg SIRw	1.53 (95%CI 0.84-2.57) 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)
	여성(25-29세)	5	SIRg 2.03 (95%CI 0.66-4.73) SIRw 3.40 (95%CI 1.10-7.94)
갑상선암	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 기회증가 영향 감안 필요 있었음

② 위암, 유방암은 최근 발생비가 유의하게 높기 시작하여 건강검진 기회증가의 영향을 추정할 수 있는데, 20-30대 여성에서 상대적으로 발생비가 높았던 점 등을 고려할 때 추적관찰필요

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, 뼈.관절암, 부신암, 비인두암 등은 사례수가 충분치 않아** 직무에 의한 영향을 판단하기는 어려우나, **일부 암종은 남성장비엔지니어, 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, 악성중피종의 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 노출수준은 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, 영업비밀이 포함된 제품 비율이 전체 제품 중 40%(805개) 정도를 차지하고 있어 수집된 화학물질 정보가 충분히 제시되지 못하고 있음
④ 또한 1980년대부터 입사했던 근로자들의 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 근로자의 작업환경도 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 작업 환경 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 수동작업이 많았을 가능성이 있는 2010년 이전 입사자에서 주로 발생하였고, 설립연도가 오래된 사업장에서 주로 발생한 점,
③ 이 조사에서 활용한 작업환경측정보고서(2013~2017년도)는 1~2회/년에 측정된 것으로 실제 노출상황을 파악하는데 한계가 있고, 극저주파 자기장 및 방사선, 열분해산물 등과 같은 인자는 측정하지 않았고, 그 이전의 작업환경은 현재와 다르고 노출수준이 높았을 가능성,
④ 국내 반도체 제조업에 대한 다른 연구들에서도 유사한 암의 증가, 여성의 생식기계 건강영향이 보고된 점 등 을 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 암발생에 영향을 주었을 가능성도 있어, **반도체 제조공정의 암발생 위험의 영향요인에 대해서는 아직 미지의 영역이 많을 것**으로 생각됨

3. 결과 활용방안

(1) 역학조사의 한계

○ 과거자료 수집 및 작업환경 정보의 제한
○ 협력업체 작업자의 코호트 누락
○ 직무 오분류 가능성, 비직업적 요인 조사미비

① 코호트 구축에 사용된 자료는 1995년부터의 고용보험 등록자료와 1998년부터의 인사자료로, 입수할 수 있는 가장 과거의 자료를 수집하였음에도 불구하고 작업환경이 나빴을 가능성이 있는 1980-1990년에 근무했던 인원에 대한 정보는 취득할 수 없었음
② 환경노출에 대한 정보가 한정적이었으며, 사용 화학물질 리스트 및 작업환경측정

결과 등 발암가능성을 확인하기 위하여 보조적으로 활용한 자료도 현재의 사용 화학물질로 제한되어 있음

③ 우리나라 반도체의 많은 사업장은 협력업체를 두고 있는데 이들이 이번 코호트에 누락되었으며, 특히 예방정비 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 입사시기별 근무현황, 장기근속자 건강실태 파악, 건강이상 상담 활성화 등을 포함한 사업장 내 보건관리 체계 정비

② 클린룸 출입 시간, 교대근무 스케줄 관리

③ 화학물질 노출기록 모니터링, 장기적 누적 보관

○ 반도체 제조 사업장 관리

① 반도체 제조업 근로자의 질환은 한 사업장 단위에서는 연간 소수의 사례만 발생하며, 퇴직 후에 발생할 수도 있어 개별사업장에서 발생위험을 감지하는 것은 불가능함

② 반도체 제조업 근로자의 현황조사, 작업환경 관리방향제시, 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 복합유해요인 노출에 의한 건강이상

④ 현재 관리대상 이외의 화학적 물리적 요인의 노출 현황과 특성

4. 연락처

- 조사책임자 : 산업안전보건연구원 직업건강연구실 김은아
  - ▪ T) 052-703-0860
  - ▪ E-mail : toxneuro@kosha.or.kr