

## 클린룸의 인체영향

○ 노영만 | 한양대학교 환경 및 산업의학연구소 교수  
E-mail : ymroh@hanyang.ac.kr

클린룸은 산업의 발전과 함께 눈부시게 발전하여 클린룸 없이는 제품의 생산이 어렵고 반도체분야에서는 그 중요성이 매우 높다. 클린룸의 발전은 미국 공군의 정밀기기 분야에서 고장이 많이 생겨 제조공정의 클린화가 도입되었고, 그 효과가 확인되어 전자산업, 우주산업으로 진출에 크게 기여하게 되었다. 클린룸이 필요한 분야는 반도체 등 전자산업 및 정밀가공, 제약공업, 의료·병원, 식품공업의 4개 분야로 분류하고 있다. 클린룸의 발달을 가능하게 한 것은 고성능 HEPA필터의 개발이다. 특히 초 LSI의 제조 공정에서는  $0.1\mu\text{m}$  입자의 제어가 필요하여  $0.1\mu\text{m}$  입자를 99.97%(DOP) 이상 제진할 수



있는 HEPA 필터가 개발되었다. 동시에 고성능의 측정기기의 개발도 주목되어  $0.1\mu\text{m}$  입자를 측정할 수 있는 기기가 출현했다. 이러한 클린룸 설비가 여러 산업에서 아주 중요한 부분을 차지하고 있는데 반도체 산업의 경우 먼지 한 톨 함부로 침입하지 못하도록 철저하게 관리되는 '클린룸'에서 새하얀 방진복을 입고 작업하는 작업환경으로 비춰지는 모습 탓에 반도체 산업은 많은 사람들에게 유해한 작업환경과는 거리가 먼 '무공해 청정산업'으로 인식되고 있다. 그러나 실제 반도체 제조시설은 청정한 이미지와 달리 100여종의 각종 화학물질과 수십종의 유독물질이 사용되는 유해·위험작업장이고 화학물질과 함께 근무형태의 특수성으로 인해 작업으로 인한 스트레스와 생리적 변화등의 건강영향이 발생할 수 있는 분야라고 할 수 있다.

### 1. 입자상 물질과 화학물질

입자상 오염원은 거시적인 크기를 갖는 입자상 물질이다. 입자상 오염원은 제조 프로세스에 의하여 웨이퍼 및 제조 장치에 축적된 화학반응 생성물의 박리, 웨이퍼와 제조장치 사이, 사람 및 제조장치 등으로부터 클린룸 환경에 방출되는데 이와 같이 입자상 오염원은  $0.05\sim 10\mu\text{m}$ 의 범위를 갖게된다.

표 1. 동작에 의한 입자발생량(0.3 um 이상 입자 발생개수/분)

동 작	발 생 량
움직임 없음(기립, 착석)	100,000
가벼운 두,수,팔의 움직임(착석)	500,000
착석에서 기립하는 동작	1,000,000
보 3.2km/hr(느리게)	2,500,000
5.73.2km/hr(보통)	5,000,000
행 8.0km/hr(빠르게)	7,500,000
계단을 오르는 동작	10,000,000
도약 동기	15,000,000~ 30,000,000

입자상 물질들은 가스상물질에 비해 인체의 폐에 침착되기 쉽기 때문에 다른 공기중의 오염물질보다 인체 건강에 더 큰 악영향을 초래할 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 사람이 호흡할 때 직경이 10 um 이하인 미세입자들은 호흡기를 통하여 폐에 까지 도달하여 침착될 수 있는데 폐포에 미세먼지가 달라붙게 되면 염증을 유발하여 폐포손상, 탄력저하로 인해 만성호흡기 질환과 천식악화가 올 수 있다. 모세혈관에 미세먼지 독성물질이 유입되면 혈액의 점도가 증가 및 수축됨으로 인해 심혈관 질환, 고혈압환자에 악영향, 심장발작의 위험증가가 올 수 있다.

환경부가 2004년 여러 산업 부문에서 널리 사용되는 유해화학물질 218종을 대상으로 한 화학물질 배출량 조사에서 반도체 제조업이 포함된 '전자부품, 영상, 음향 및 통신장비제조업'은 모두 58종의 화학물질을 배출한 것으로 집계되었는데 이는 유해화학물질관리법의 적용을 받는 36개 업종 가운데 화학물 및 화학제품 제조업(208종)과 고무 및 플라스틱품 제조업(65종), 제1차 금속산업(60종)에 이어 네번째로 많은 것임을 알 수 있다.

클린룸내 가스상 오염원은 입자형태도 있지만, 원자, 분자, 이온과 같은 것으로 크기가 0.001~0.0001 $\mu$ m로 매우 작아 외관상 관찰이 어려운 것도 매우 많이 존재한다. 가스상 오염원은 무기성 물질인 산성, 염기성 물질과 도판트를 포함한 유기성물질로 크게 구분되고 이들 반도체 클린룸에서 가가 0.01~10, 2~100, 10~1000, ~1( $\mu$ g/ $m^3$ )의 농도를 가진다.

무기성 가스는 산성가스와 염기성가스로 나뉘게 되는데 HF, HCl, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> 및 PH<sub>3</sub> 등의 산성 무기가스들이 주요 오염원이다. 일반적으로 염화수소, 질소화합물, 황화합물은 클린룸보다 외기에서 많이 검출되며, 불화수소는 내기, 외기 모두 비교적 낮은 농도로 검출된다. 클린룸내 산성물질 성분으로는 불화수소(HF), 염화수소(HCl), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOX), 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)이 대부분 차지하고 있다.

표 2. 산성가스 오염물질 종류 및 인체영향

오염물질	인체영향
불화수소 (HF)	뼈의 괴양증식(Fluorosis), 간장, 신장 장애
염화수소(HCl)	호흡기계 자극, 피부 접촉시 염증
질소산화물(Nox)	기관지염, 폐기종, 폐암
황산화물(SOx)	시야감축, 폐렴, 천식, 폐기종

클린룸 공기중의 유기물은 다른 가스상 오염물질에 비해 고농도로 존재하나 충분한 현상파악과 대책이 강구되지 않고 있는 경우가 많다. 오염원은 벽제, 공정시 발생하는 가스, 외기 등의 시설물 오염원과 제조공정에 사용되는 화학약품, 작업원으로부터 주로 발생된다. 이들은 전자재, 실링재료, 페인트, 기타 플라스틱 재료로부터 유기물이 방출된다. 현재까지도 반도체 생산에 심각한 문제를 야기시키는 유기화합물은 약 20여가지 정도 알려져 있으며,

그 중 아민류(RNH<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>NH, R<sub>3</sub>N) 화합물들이 주요 대상이 된다.

표 3. 유기성 오염물의 배출원

오염물질 배출원	유기 화합물
HEPA/ULPA 필터	유기인산화합물 (Organo-phosphates)
타일, 페인트	디옥틸프탈레이트 (Diocetylphalate)
장갑, 오리링, 가스켓 필름 플라스틱제 패킹	플레이트(Phthalates)
마감제, 접착제	실리콘(Silicones)
포토 레지스트 케미칼	크레졸(Cresol)
포토레지스트 스트리퍼	N-methylpyrrolidone
고무 튜브, 프라스틱제	Hydrocarbons

클린룸에서의 인체영향은 표 4에 상세히 기술하였는데 주로 호흡기계의 영향이 가장 많고 중추신경계 영향, 구토, 어지러움, 눈 및 피부자극을 유발하고 암이 발생하는 물질이 있는 것으로 확인된 바 있다.

## 2. 생체주기의 변화

반도체 산업의 생산공정은 주로 1일 3교대제로

표 4. 클린룸의 유해물질의 인체영향

주요 공정	유독물질	유해성
세척/ 연마	불화수소	급성호흡부진 유발
	엔부틸 아세테이트(NBA)	호흡기·중추신경계 영향
사진/ 식각	테트라메틸 암모늄 하이드록사이드(TMAH)	호흡기 영향, 눈·피부 자극
	사불화메탄(CHF <sub>4</sub> )	유전자 변형, 중추신경계 영향
이온 주입/ 확산	포스핀(PH <sub>3</sub> )	중추신경계 장애
	알진(AsH <sub>3</sub> )	암발생
화학증착/ 세정	실란(SiH <sub>4</sub> )	피부·눈·점막자극
	육불화에탄(C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	호흡곤란, 구토, 어지러움
	사염화 티타늄(TiCl <sub>4</sub> )	피부·각막·점막 자극

교대근무가 이루어진다. 그리고 클린룸 공정의 특성 및 작업복 착용의 번거로움등으로 인해 클린룸의 출입이 수월하지 않아 생리적 현상의 리듬이 깨어지는 경우가 종종 발생하곤 한다.

이러한 관점에서 교대제가 어떻게 생체주기를 파괴하는가를 알아보기로 한다. 교대제로 인한 건강장해의 근원은 인체의 내부시계, 즉 24시간 생체주기가 파괴된다는데 있다. 밤교대 노동자들은 그들의 업무 스케줄에 체온과 수면을 완전히 적응시키지 못하며 교대 작업으로 인한 생리적 영향이 발생한다. 즉, 밤에 일하는 근로자는 그들의 24시간 주기가 밤 시간의 작업일정에 맞추어 야간에 작업을 하게된다. 야간근무 근로자의 경우, 주간근무 근로자들보다 수면동안 작동해야하는 부교감신경기능이 덜 작용됨으로써, 야간근무가 끝나고 낮에 수면을 취할 때 회복이 정상적으로 이루어지고 있지 못한다.

부교감신경은 정상적으로 수면시 최고로 증가하고, 활동이나 외부자극에 민감하게 반응시에 감소하는 것인데, 부교감신경이 덜 작동한다는 뜻은, 수면시 밤의 경우처럼 충분한 수면을 취하는 게 아니라, 무언가 외부자극에 예민하게 반응을 하면서 자고 있다는 뜻이다.

이는 야간근무 근로자들의 경우 야간작업이 인체

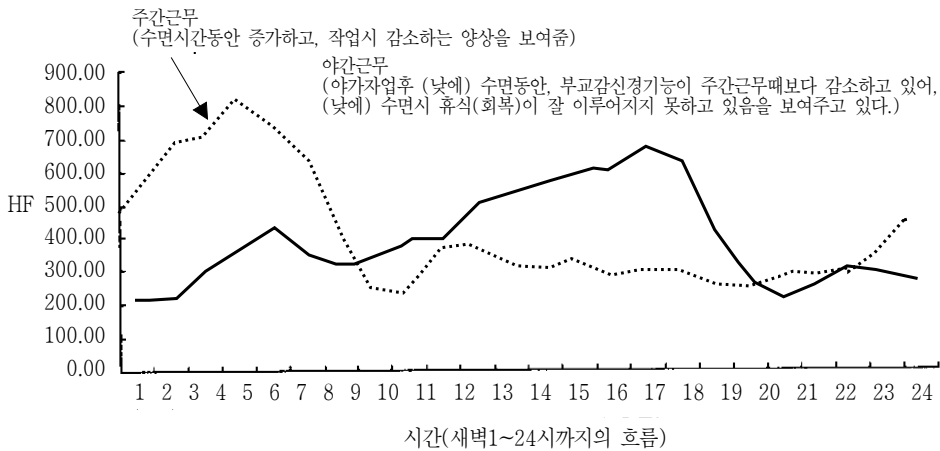


그림 2. 주야근무 교대기간동안 24시간 부교감신경기능의 추이(손미아, 2004)

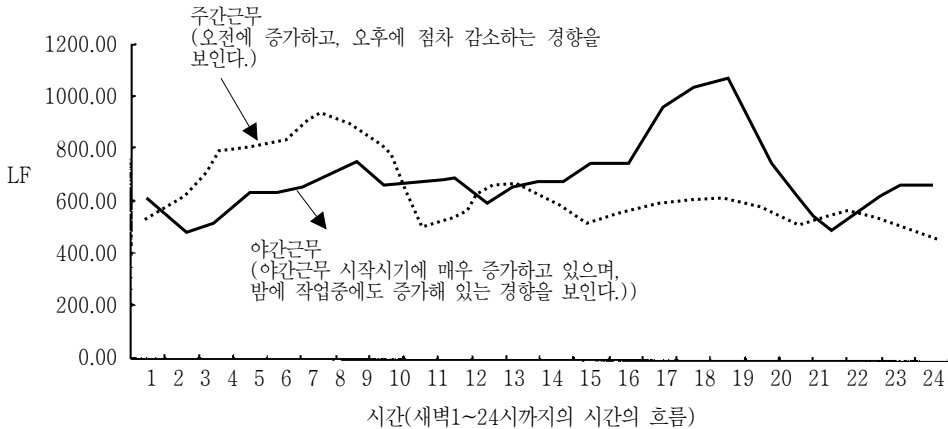


그림 3. 주야근무 교대기간동안 24시간 교감신경기능의 추이(손미아, 2004)

의 생체주기를 파괴함으로 인하여 업무가 끝나고 낮에 수면을 취할 때, 최소한의 노동력 재생산을 위한 회복이 이루어지지 못하고 있음을 보여주게 된다. 반대로 야간근무가 끝난 후, 낮에 수면을 취할 때, 부교감신경과 반대로 교감신경이 증가되고 있었다.

정상적으로 교감신경은 활동시나 외부자극에 민감하게 반응시에 증가하고 수면시에 최저상태가 되

는 것인데, 낮에 수면 중에 교감신경이 증가되어 있다는 뜻은 낮에 수면을 취하는 중에도 신체가 외부 자극에 민감하게 반응하며, 충분한 휴식을 취하지 못하는 상태를 의미하므로, 이는 역시 야간근무가 끝나고 낮에 충분한 휴식을 취하기 어려운 신체의 상황을 그대로 나타내 주고 있는 것이다.

교대제로 인한 장시간의 야간노동이 근로자 생체 주기의 파괴로 이어지고, 궁극적으로 건강을 해치

는 주요 요인이 되고 있음을 보여주고 있다.

결론적으로 반도체 산업에서는 입자상 물질, 산성가스, 유기성화합물을 사용되고 이로 인한 근로자의 화학물질 노출이 우려되고 있을 뿐 아니라 교대제로 인한 근로자의 생체주기의 파괴가 발생할 수도 있다.

특히 여성근로자의 경우 교대제로 인한 건강영향이 남성보다 심각할 수 있고 작업복의 불편함으로 인해 생리적 현상을 제때 해결하지 못해 이로 인한 건강영향이 나타날 수 있으므로 반도체 산업에서 발생할 수 있는 다양한 건강유해 요인을 파악하여 이를 해결할 수 있는 방향으로 근로자 건강보호 및 건강증진 프로그램이 수행되어야 할 것이다.

#### - 참고문헌 -

1. 김광영, 이웅선, 반도체 클린룸의 오염원의 정보, 한국정밀공학회지, 제19권, 제8호, 2002, 8.
2. 김광영, 클린룸내 화학적 오염원의 영향, 기계저널, 제40권, 제7호, pp. 55.
3. 김은규, 교대근무가 건강에 미치는 영향, 대한산업의학회지, 2002, 14(3).
4. 산업안전보건연구원, 여성근로자의 건강보호대책을 위한 연구, 2002.
5. 산업안전보건연구원, 여성근로자의 보건관리 지침, 2004.
6. 손미아, 교대제로 인한 생체주기 파괴 현상, 예방의학회지, 2004, 37(2).