

클린룸 공조 및 환경제어시스템

Clean Room Air Conditioning and Environmental Control System

오 명 도
M. D. Oh

생산기술연구원 기계기술 실용화센터



- 1956 년생
- HVAC & R 시스템, 2- ϕ 유동 및 열전달에 관심을 가지고 있음.

1. 서 론

현대는 과학산업, 첨단기술 산업의 시대로 그 첨단기술의 초정밀화, 고순도화, 고도화, 무균화 추세에 맞추어 첨단제품의 수율과 성능을 향상시키기 위하여 초정정 기술은 필수적인 핵심요소 기술이며 생산기본기술로 요구되고 있다.

클린룸의 역사는 19세기에 세균이 발견된 후 오염물질이 제거된 청정공간의 필요성이 인식되기 시작한 이래 20세기의 급속한 산업발달과 함께 청정공간에 대한 요구가 급증하면서 시작되었다. 특히 2차대전 중 항공기의 주요고장원인이 기계, 전자부품의 생산시 부품에 부착되는 분진에 의한 것임이 밝혀져 미국 국방성의 주도로 청정공간에 대한 연구가 수행되고 이 결과가 각 산업분야로 전파되면서 클린룸연구 및 활용이 활성화되었다. 더욱이 필터의 포집성능 향상과 함께 세균까지 제거할 수 있게 되어 생물용 클린룸이 1965년부터는 병원에 설치되기 시작하였으며 의학적 실험을 위한 무균생물의 배양에도 큰 진전을 보게 되었다. 산업용 클린룸은 반도체, 전자산업, 신소재, 우주공학, 의료, 제약산업 등을

중심으로 발전되어 왔는데 이와 같은 초정정 공간을 필요로 하는 산업이 발달하면서 초정정공간을 생성하고 유지하기 위한 클린룸 제작기술도 급속히 발전하여 왔다.

본 글에서는 이와 같은 클린룸기술의 국내외 발전동향 및 주요기술을 검토하여 국내 클린룸 산업에서의 공기조화 및 환경제어기술에 대한 일반적인 이해를 돕고 그 발전방향을 제시하고자 한다.

2. 클린룸 방식 및 시스템 설계

2.1 클린룸의 청정도

생산하는 제품의 품질향상과 신뢰성 확보를 위해서는 제조공정 중 제어해야 할 오염물질의 크기와 종류에 따라 클린룸의 청정도를 설정하여야 한다. 대기중 부유하는 오염입자의 크기가 $0.01 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 정도이므로 이러한 크기의 입자들을 주어진 작업공간에서 어느 규정치 이하로 제어하기 위하여 세계 여러나라는 표 1과 같이 나름대로의 기준을 사용하고 있으나 이 중에서 미국 연방정부에서 제정한 기준인 Federal Standard 209D가 세계적으로 통용되고 있다(그림 1 참조). 미국연방규

표 1 세계각국의 Clean Room 관련 Standards

Country	Document No.	Date of Last Rev.	Document Title
Australia	AS 1386	1989	Cleanrooms and Clean Workstations
Britain	BS 5295	1989	Environmental Cleanliness in Enclosed Spaces
France	AFNOR X44101	1981	Definition Cleanroom Levels
United States of America	209D	1988	Clean Room and Work Station Requirements, Controlled Environment
Germany	VDI2083:1,2 VDI2083:3	1990 1990	Cleanroom Engineering Contamination Control Measuring Technique
Japan	JIS B 9920	1989	Measuring Methods for Airborn Particles in Clean Room and Evaluating Methods for Air Cleanliness of Clean Room

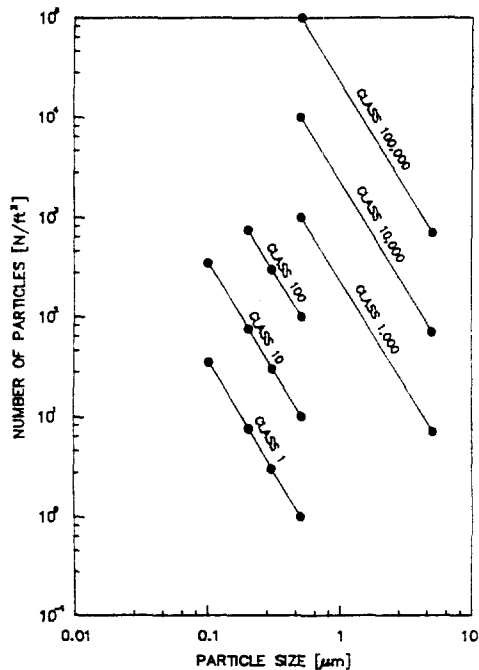


그림 1 미국연방규격 209 D의 Class 정의

격에 의하면 클린룸을 부유입자의 농도가 명시된 한계이내로 제어되는 실로 정의하고 있는데 다음과 같이 세가지 상태의 클린룸으로 분류하고 있다.

1) 설비상태의 클린룸(As-built clean room): 서로 연결되어 기능 가능한 모든 편의시설을 완전히 갖추고 운전준비가 되어 있지만 시설내에 아직 생산장비나 작업자가 없는 클린룸.

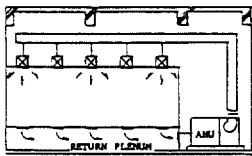
2) 비운전상태의 클린룸(At-rest clean room): 시설이 완전하고 생산장비가 설치되어 운전될 수 있지만 시설내에 작업자가 없는 클린룸.

3) 운전상태의 클린룸(Operational clean room): 시설의 정상운전상태에서 시설내에 작업자가 있어 정상적인 작업을 수행하고 있는 클린룸.

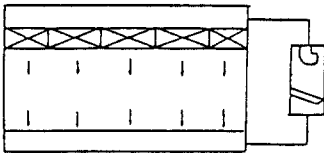
따라서 클린룸 수요자 및 공급자간의 계약에 있어서 청정도(class)를 따질 때에는 반드시 어떤 상태의 클린룸을 대상으로 하는지 명시해야만 할 것이다.

표 2 산업용 클린룸과 생물용 클린룸의 용도별 청정도(Class)

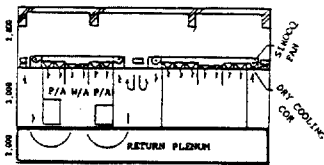
산업용클린룸	청 정 도	생물용클린룸	청 정 도
VLSI	1 ~ 10	무균수술실	~ 100
LSI, IC	~ 100	일반수술실	10,000~100,000
LSI, IC 조립식	000 ~ 10,000	회복실	~ 100
프린트기판제조	000 ~ 10,000	무균병실	10,000~100,000
컴팩트디스크	1,100 ~ 10,000	동물사육실	10,000~10,000
자기테이프	1,100 ~ 10,000	무균동물사육실	~ 100
자기디스크	100 ~ 100,000	미생물시험실	10,000~10,000
정밀차이로	100 ~ 10,000	주사약제조	10,000~10,000
레이저시험실	100 ~ 10,000	화장품제조	~ 100
정밀전기계기	100 ~ 10,000	우유충진	100~110,000



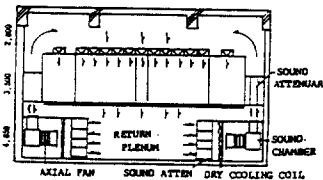
(a) 난류 방식



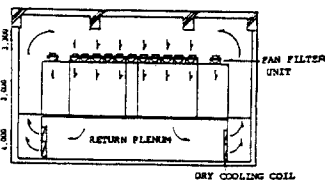
(b) V.L.F. 방식



(c) C.T.M. 방식



(d) OPEN BAY 방식



(e) F.F.U. 방식

그림 2 국내에 보급되어 있는 클린룸 방식

청정도의 설정에 있어서는 각 산업분야에서 공정중 입자의 크기와 생산수율에 대한 구체적인 데이터가 필요하지만 현재로서는 반도체 산업 등 일부산업을 제외하고 정량적인 데이터가 부족하므로 일반적으로 표 2와 같은 경험치가 사용되고 있다.

2.2 클린룸의 방식

클린룸의 방식은 크게 난류방식 클린룸(turbulent flow clean room)과 층류방식 클린룸(laminar flow clean room)으로 구분되며 층류방식은 다시 여러 형태의 클린룸방식으로 구분할 수 있다. 본 글에서는 국내에 보급되어 있는 클린룸을 반도체 산업을 중심으로 실내공기 유동제어방식에 따라 그림 2와 같이 5종으로 분류하여 설명하고자 한다.

(a)는 난류방식 클린룸으로 1970년대 후반의 초창기 클린룸에 적용된 것으로 일반공조의 취출구에 HEAP 필터(high efficiency particulate air filter)를 부착한 형태로 64 K DRAM 반도체 공장에 대부분 적용되었다. 표준적인 환기횟수는 20회/시간 정도이며 1,000~100,000정도가 얻어지는 클린룸이다.

(b)는 전면층류식으로 전역에 걸쳐 항상 일정한 청정도를 얻을 수 있다. 취출풍속은 0.3 m/sec, 전정높이는 2.4m로 하여도 환기횟수는 432회/시간이 되므로 가장 높은 청정도를 얻을 수 있으나 반면에 가장 에너지 소비율이 높은 방식이다.

(c)는 **clean tunnel module** 방식으로 생산 제조가 이루어지는 필요 최소한의 공간만을 고 청정도로 유지하기 때문에 에너지 및 공간의 절감에 유리하다. 이 방식은 256K DRAM 이 개발된 1980년도 중반경에 소개된 방식으로 장비교체에 따른 대응성은 타 방식에 비해 불리하다.

(d)는 **open bay** 방식으로 최근 대규모 VLSI 공장에 적용되고 있는 방식으로 에너지 절약 및 대응성을 동시에 해결할 수 있는 방식이다. fab 영역과 서비스영역을 판막으로 구획하여 필요에 따라 청정도를 변화시킬 수 있는 방식으로 1M 및 4M DRAM의 반도체 공장에 많이 적용되고 있다.

(e)는 팬필터유닛(**fan filter unit**) 방식으로 각 시스템의 장점을 합하여 개발된 것으로 팬설치공간 및 기타 부대시설의 설치공간이 절약되며 대응성도 뛰어나고 에너지 면에서도 우수한 시스템이다. 이 방식은 1990년도 초반에 국내에 소개된 시스템으로 다른 방식에 비해 특이한 점은 필터 상부측의 플레넘 압력이 fab 내부 보다 낮기 때문에 천정면의 필터를 제외한 부분에서 공기유출의 염려를 줄일 수 있다.

2.3 시스템 설계

최근 반도체의 고집적화, 고밀도화가 급속히 진행되고 그에 따라 클린룸에 대한 요구도 급속히 고도화 되고 있다. 또한 반도체 이외의 전산산업 분야에서도 **video disk**, **광 disk**, **CD disk**, **video tape**, **optical fiber** 등의 제조공정에서도 초청정의 클린룸이 요구되고 있다. 급속한 기술의 진보와 제품의 회전속도가 빨라짐에 따라 클린룸 건설공기의 단축이 불가피해졌고, 사업결정으로부터 설계, 시공, 시운전까지 12~13개월로 종료되는 극단적인 예도 나오고 있다. 이와 같은 추세와 함께 클린룸 준공 후의 제조라인 변화에 대한 가변성도 강력히 요구되고 있으며, 국제적인 개발경쟁의 격화, 원화절상 등으로 국제경쟁력이 저하됨에 따라 건설비의 원가절감 및 운전에너지 절감 등을 고려한 최적설계 기술개발의 필요성이 증

대되고 있다.

클린룸 설계시의 기본계획은 단순한 공기청정화 계획뿐 아니라 시설의 평면계획, 마감재, 시설의 유지관리, 물품의 반입, 반출, 사람의 출입 등 종합적인 면에서의 오염입자 방지계획을 세우지 않으면 안된다. 반도체 공장설계의 순서는 사업계획, 부지계획에서 출발하며 설계자는 설계를 위한 각종 기본자료를 조사해야 한다. 설계를 위해서 일반적으로 조사되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 실내의 요구 청정도
- 필요청정실의 크기
- 실내의 재실자수
- 작업조건 및 작업내용
- 실내 온습도 유지조건 및 편차범위 규정
- 생산비의 발열량, 배기량, 배기방식, 전기 사용량
- 유틸리티 요구사항
- 실내조명계획
- 클린룸 및 장비의 가동시간
- 기타 실내 발생열원 등

설계자는 이러한 기본자료와 사용자측으로부터의 특별한 요구조건을 신중히 고려하여 클린룸 기본계획(**basic scheme**)의 개념을 정립한다. 클린룸 계획시 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

1) 오염입자의 제어

- 기류분포의 균일화를 목표로 하는 공기 청정도 제어와 오염입자의 유입방지를 위한 실내압 제어
- 공정 중 사용되는 순수, 압축공기, 약물, 가스 등 유틸리티의 청정화

2) 제조라인의 변화에 따른 가변성

- 청정구역 및 구조의 변경에 따른 가변성
- 장비 및 유틸리티 변경에 따른 가변성

3) 제조환경의 고정도화

- 온도 및 습도제어
- 미진동제어
- 정전기 및 전자파제어

4) 원가절감

- 건설 단가의 절감 및 건설공사 기간의 최소화

- 에너지의 절약 관점에서의 공조시스템 설계

5) 안전대책

- 가스 및 약물의 감지, 차단, 피난 대책
- 화재시의 감지, 통보, 피난, 소화 대책
- 정전시의 대책
- 공장시의 예비기기의 운용 및 보수 대책
- 배기, 배수, 대기오염, 소음, 진동 등의 공해방지 대책

이러한 기본계획의 개념을 만족하는 클린룸을 완성시키기 위해서는 사용자, 설계자, 시공자, 제조장치 제작자가 일체가 되어 상호간의 사전검토, 협의 및 조정을 하는 것이 필수적이며, 각각의 단위기술의 집적만으로는 만족할 만한 초정정 클린룸을 만들 수 없다. 클린룸을 단순한 단위건물로 보지 말고 전체의 시스템으로 생각하여 시스템 전체를 정리하고 분석하는 총괄자가 필요하다. 그림 3은 클린룸 설계시의 기본계획에 고려될 항목들의 상호관계를 개념적으로 보여주고 있다.

공기청정화 계획시 급기처리의 클린룸에서는 의부로부터 분진이 들어오는 것을 방지해야 하며, 실내에서의 오염입자 발생을 최대한 억제해야 하고, 발생한 실내 오염입자는 실내기류를 타고 확산, 전파되지 않게 최대한 빠른 시간안에 클린룸 밖으로 배출하여 제거해야 한다. 또한 클린룸내에 기류가 재순환되거나 정체됨으로 인한 실내 오염입자의 퇴적방지가 중요하다. 어떠한 클린룸을 계획하더라도 물건, 사람, 기류의 움직임을 명확히 추정하여 어디로부터 어떤 상태의 오염이 발생하고 어떤 식으로 오염이 확산하는 가를 잘 분석하는 것이 필요하며 이를 위해서는 클린룸내에서 일어나는 작업공정을 잘 이해할 수 있는 지식을 갖지 않으면 안된다.

2.4 클린룸 설계조건

1) 온도

기준온도는 21~24℃ 정도이고 온도변화의 허용치는 256K DRAM공장의 경우 ±0.5℃,

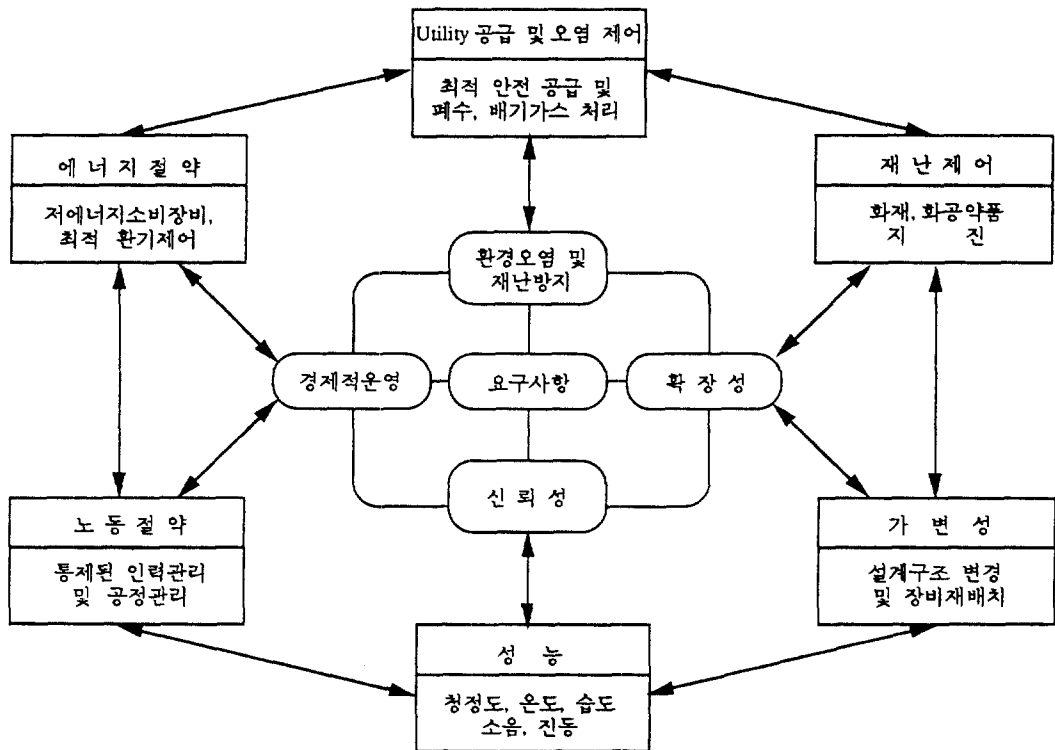


그림 3 클린룸의 일반적 기본설계 개념

1M, 4M DRAM공장의 경우는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이다. 어느 경우나 노광(photo) 공정에 대해서는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 정밀온도 제어가 요구되므로 별도로 thermal chamber를 설치하는 경우가 많다. 반도체공장은 외기부하가 크기 때문에 기준온도의 선택이 공장전체의 에너지 원가에 미치는 영향이 크다. 따라서, 그 선택에 있어서는 설계자, 사용자 모두 특별한 관심을 기울여야 한다. 동양권에서는 보통 23°C , 미국의 경우에는 22°C 가 일반적으로 채택되고 있다.

2) 습 도

1M DRAM 이하의 공장에는 45% R.H를 기준으로 $\pm 5\%$ 의 허용범위를, 4M DRAM공장의 경우 $\pm 3\%$ 의 정밀제어를 요하는 경우가 일반적이다. photoresist 공정 중 spin coater 부분이 도포성능의 향상을 위해 35% R.H 정도를 요하는 경우가 있으나, 이 경우에도 극소조정을 위한 thermal chamber를 사용한다. 실내 습도조건 역시 외기부하가 큰 반도체 공장에서 에너지 원가에 미치는 영향이 크므로 그 선정에 주의를 요한다.

3) 청 정 도

VLSI 공장의 공정영역에서의 공기 청정도는 입자의 수농도 뿐 아니라 제어는 입자의 크기를 동시에 고려대상으로 하여야 한다. 현재까지는 웨이퍼내에 그려넣는 회로선폭(line pattern dimension)의 1/10~1/5의 크기의 입자를 제어대상으로 하고 있기 때문에 4M DRAM 또는 16M DRAM까지는 $0.1\mu\text{m}$ 이 제어대상 입경이 될 전망이다. 그 이상의 집적도를 갖는 디바이스에 대해서는 초 고성능 필터의 개발과 측정방법이 열쇠가 될 것이다. MEGA DRAM공장의 경우에는 $0.1\mu\text{m}$ class 10이 공정영역의 청정도에 대한 설계조건으로 채택되고 있다.

4) 순환풍량

클린룸의 순환풍량은 일반적으로 청정도에 따른 기류속도에 의존하며 표3과 같이 시간당 환기회수로 나타낸다. 청정도 class 100 정도까지는 환기회수가 class 1,000 이상보다 크게 증가하지만 초정정 클린룸 class 10 또는 1에서는 순환풍량이 class 100 보다 크게 증가하지 않는다.

표 3 클린룸 class별 환기회수

청 정 도 등 급	환기회수(회/시간)
class 100	200 ~ 600
class 1,000	50 ~ 70
class 10,000	30 ~ 40
class 100,000	20 ~ 30

5) 취입외기량

일반적으로 창이 없는 공장인 경우 인체에 필요한 외기 취입량은 1인당 $35\text{m}^3/\text{h}$ 또는 $15\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 정도이나 클린룸의 경우 필요한 취입외기량은 대부분 생산기에서의 배기량 및 정압유지를 위한 잉여 공기량에 대한 충분한 데이터가 필요하다.

6) 실내 정압도

반도체 공장의 실내정압도는 건축자재의 강성, 문 개폐의 용이성 등을 고려하여 지역에 따라 $0.5\sim 2.0\text{mmAq}$ 정도가 설계조건으로 채택된다. plenum return 방식의 클린룸에 BAY방식의 layout을 갖는 super clean room의 경우 공정 및 작업영역은 $2.0\sim 2.5\text{mmAq}$, 서비스영역은 $1.0\sim 1.5\text{mmAq}$, re - turn plenum은 $0.2\sim 1.0\text{mmAq}$ 정도의 정압도가 설계조건으로 채택된다. 그러나, 실내정압도가 높을 수록 가압외기량이 많아져서 에너지 원가가 올라가게 되므로 필요이상의 정압도를 유지할 필요는 없고, 공사 완료 후 클린룸내 기류조정 시점에서 양호한 기류를 확보하기 위해 클린룸 전체의 정압도 기준을 최종적으로 고려한다.

7) 소 음

클린룸 공조계통은 일반공조에 비해 순환풍량이 대단히 많기 때문에 공조장치로부터 실내에 전달되는 소음의 규제에 특히 주의하지 않으면 안된다. 소음설계 조건이 낮을 경우에는 소음기 용량이 커지고 공기순환 동력비가 많이 들게 되지만, 소음설계 조건이 높을 경우에는 작업원의 청각장애를 일으켜 생산성을 저하시키는 결과가 된다. 이러한 상대성을 감안하고 실내 생산기로부터의 발생소음을 고려하여(생산장비 운전소음이 클 경우 공조장치의 소음규제가 무의미함) 보통 60dB(A) 전후가 설계조건으로 채택된다.

8) 진 동

반도체 공장의 미진동 규제치는 생산장비 특히 노광장비 제작자의 요구조건에 따라 결정된다. 따라서 submicron의 pattern dimension이 요구되는 mega grade의 VLSI 공장에서 건물 내외부로부터 전달되는 진동을 어떻게 차단할 것인가는 건축적으로 해결하여야 될 가장 커다란 문제이다.

① 진동 허용 한도

직접도	가속도	편진폭	측 정 범 위
256 K	1 GAL	2 μm	4-100 Hz When Analyzed by 1/3 Octave Band
1-4 M	1 GAL	1 μm	

② 대 응 책

- 거리 감쇄 활용(제조동과 용역동 별도 설치)
- 건물구조 분리로 별도 구조체 형성(expansion joint 설치)
- 부분적으로 강성을 키움(독립기초 설치)
- flexible 등의 방진재로 차단(배관, 덕트 장비 연결부)
- 요진 등 대책 장비에 제진대 부착(생산장비 제진대)

- 가진력이 있는 기기에 방진가대 부착 (펌프, 팬 방진가대)

그림 4는 가장 최근의 초청정 클린룸에서 제어되어야 환경항목의 목표치를 보여주고 있다.

3. 반도체 공정과 클린룸 환경제어

산업용 공조설비 및 클린룸의 설계자는 다른 공장의 경우도 마찬가지지만 특히 반도체 공장에 대해서는 그 제조공정과 제품의 흐름에 대한 충분한 지식을 가져야 한다. 본 장에서는 클린룸 설비 설계자가 설계를 진행하는데 있어서 꼭 필요하다고 생각되는 최소한의 제조공정에 대한 지식을 다루기로 한다.

반도체 제조공정은 크게 wafer fabrication과 assembly 그리고 test로 나눌 수 있는데 각 공정에 적용되는 클린룸 방식과 청정도에는 차이가 있다. wafer fabrication 공정은 소위 super clean room이라고 하는 초청정공간이 요구되지만 assembly, test 공정은 class 1,000~10,000 정도의 일반적인 난류형 클린룸이 된다. 본 장에서는 주로 fab 공정과 관련된 사항을 설명하기로 한다.

반도체 제조 process에 있어서의 청정화의 목적은 “wafer의 clean化”이다. 디바이스의 wafer process는 si wafer의 산화, 불순물 doping, 박막형성, Al전극배선 등의 공정의 반복인 것이며, 이들 공정간에 여러번씩 미세가공(photo & etching)이 가해져 디바이스가 형성된다(표 4 참조). 이 동안 wafer는 갖가지의 장치 중에서 처리되어 운반되며, 대기에 노출되고 나아가서 chemical 처리되는 등의 다종다양한 경로를 거쳐 제조되고 있는 것이다. 이 흐름간에서 “wafer의 오염”을 철저히 방지하는 것이 반도체 디바이스 제조에 있어서의 가장 중요하고 기본적인 것이 된다.

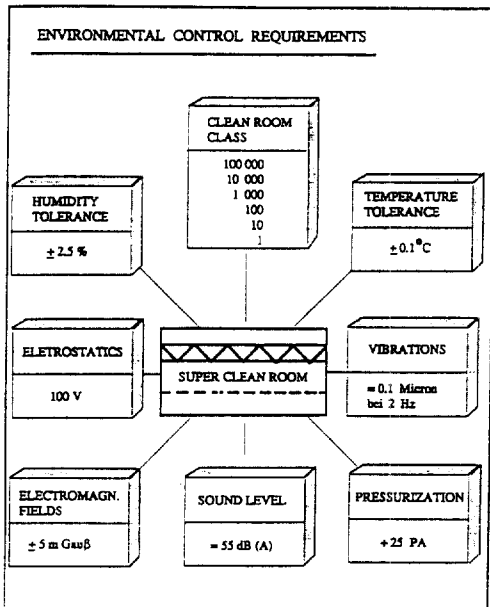


그림 4 슈퍼 클린룸에서의 환경제어 목표치

3.1 반도체 공정과 오염입자

Transistor로부터 IC (integrated circuit),

표 4 반도체 제조공정 및 공정설명

제 조 공 정	공 정 설 명
<p>WAFER 검사</p>	<p>Wafer unpacking 후 반입하여 비저항 측정 및 표면검사를 하는 과정</p>
<p>↓</p> <p>확산전 세정</p>	<p>다단세정 장치에서 HF, H₂SO₄ 등으로 산 세척후 D.I Water 로 Rince하는 과정</p>
<p>↓</p> <p>산 화</p>	<p>전기로서 수십매의 Wafer를 병렬로 설치, 1000°C정도의 고온에서 산소 가스를 흘려 Wafer표면에 SiO₂ 산화막을 형성한다.</p>
<p>↓</p>	<p>산화막이 녹아 생긴 창(Window)을 통해 불순물을 주입한다. 약 1000°C 정도의 Furnace내에서 불순물을 포함하는 Gas를 흘려 주입하거나 Ion Implanter에서 불순물을 이온상태로 해서 때려 주입한다.</p>
<p>←</p> <p>확산이온주입</p>	<p>다음 회로를 Wafer에 인화하기 위하여 Chemical Vapor Deposition에 의해 이온주입이 끝난 Wafer에 피복막을 입힌다.</p>
<p>↓</p>	<p>Spin 식 Water Jet Cleaner에서 세정 후 Bake Oven에서 건조</p>
<p>↓</p> <p>세정 BAKE</p>	<p>SiO₂ 산화막 위에 Photoresist라는 감광제를 도포한다. Spinner위에 Wafer를 놓고 위에서 감광제를 떨어뜨려 원심력에 의해 균일 두께로 도포한다. (PR SPIN COATER)</p>
<p>↓</p> <p>RESIST 도포</p>	<p>감광제가 도포된 Wafer 위에 회로도가 그려진 Mask를 설치하고 빛을 통과시켜 Wafer 위에 회로사진을 찍는다.</p>
<p>↓</p> <p>노 광</p>	<p>Developer 에서 현상하면 Mask에 새겨진 회로도 와 같은 Pattern이 Wafer 표면에 나타난다.</p>
<p>↓</p> <p>현 상</p>	<p>현상 후 In Line System에서 세정 건조</p>
<p>↓</p> <p>세정 BAKE</p>	<p>노광, 현상 상태 검사로 전용 Prober 사용</p>
<p>↓</p> <p>검 사</p>	<p>Wafer 를 불산등 용액에 담가 Photoresist와 그 하부의 산화막을 용해시켜 산화막에 구멍을 낸다.</p>
<p>↓</p> <p>ETCHING</p>	<p>강력한 용제로 Resist를 전부 제거하면 마스크에 그려진 회로도에 따라 산화막이 녹아 Silicon 모재가 보이는 창(Window)이 열리는 형태가 된다. 회로가 완성되면 알미늄 진공 증착법에 의해 배선을 한다.</p>
<p>↓</p> <p>RESIST 제거</p>	<p>표면 보호막으로 Cover하는 과정</p>
<p>↓</p> <p>Al 증착</p>	<p></p>
<p>↓</p> <p>표면보호</p>	<p></p>
<p>↓</p> <p>ASSEMBLY</p>	<p></p>

LSI (large scale integrated), VLSI (very large scale integrated) 발전되어온 반도체 디바이스는 30년이 채 안되는 동안에 ULSI (ultra large scale integrated)로 불리우는 최고집적도의 디바이스 개발 실용화 단계에 이르게 되었다. 반도체 디바이스가 높아짐에 따라서 반도체 공정 중 제어해야 할 입자

직경도 미소화의 일로를 걷고 있다(그림 5 참조). 일반적으로 반도체 칩 불량률을 초래하는 입자의 크기가 디바이스 회로 선폭 1/10 정도라는 개념이 현장에서 받아들여지고 있는데 이에 따라 4M, 16M DRAM의 양산을 위해서는 0.05 μm 크기의 입자제어 및 측정이 중요하게 되었다. 따라서 클린룸의 등급도 미국 연방규격 209D에서 정의하고 있는 0.5 μm 기준 클래스 개념에서 0.1 μm class 1, 10 등 제어입자 크기를 규정하여 표시하기도 한다. 이러한 미소크기의 입자를 제어하기 위해서는 종래의 건물개념의 클린룸에서 최종 wafer의 오염을 방지하기 위한 국소제어 개념이 도입되고 있으며 wafer 공정과 관련된 청정화 노력이 경주되고 있다. 이러한 관점에서 이제까지 클린룸이라 불리우던 하나의 단일화된 작업공간을 표 5와 같이 구분해 볼 수 있고, 이때 각 구역별로 설계를 최적화하기 위한 데이터가 중요하며 이것은 주로 열유체역학적인 현상의 고찰에서 얻어진다. 그림 6은 최근 반도체 class 1 fab에서의 wafer 표면에 영향을 주는 오염입자의 발생원을 나타내

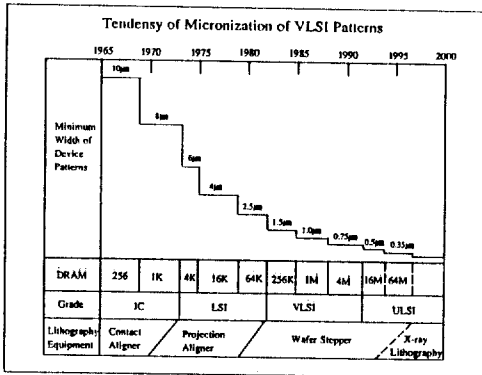


그림 5 VLSI 패턴의 미세화 추세

표 5 클린룸에서의 미세화 추세에 따른 국소오염 제어

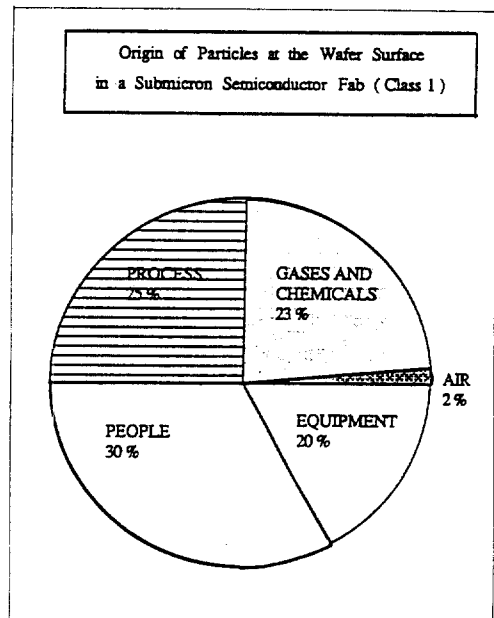
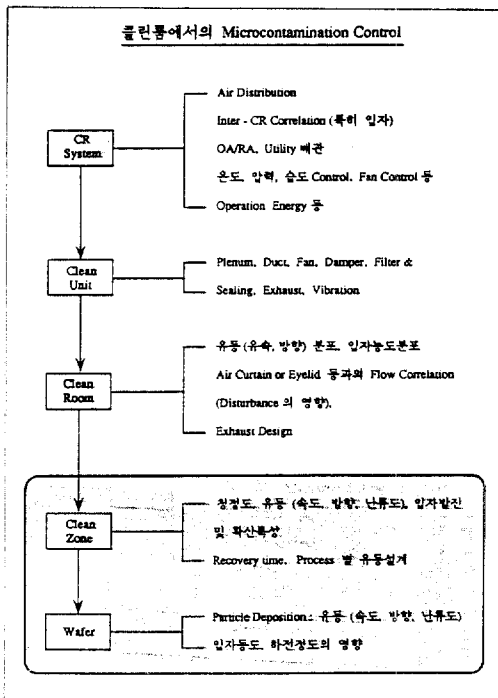


그림 6 반도체 Class 1 Fab에서의 오염입자 발생원

고 있다. 이 데이터에 의하면 현재의 첨단 클린룸에서의 오염입자 제어는 지금까지 전통적으로 중요시되어 왔던 클린룸 자체에 의한 영향은 크게 감소되고 오염제어의 대상도 공정에 관련된 장비, 유틸리티의 문제가 크게 부각되고 있다.

웨이퍼 공정과정 중 입자에 의한 피해는 크게 입자의 물리적 크기에 의한 것(**mechanical degradation**)과 입자의 화학적 성분에 의한 것(**chemical degradation**)으로 구분할 수 있다.

입자의 물리적 크기에 의한 피해는 미세화하고 있는 칩의 선폭과 다층화되고 있는 층의 두께에 동시에 영향을 주게 되어 **pattern masking**, **MOS device** 중 **gate**나 **capacitor oxide layer** ($0.01 \mu\text{m}$) 등에 문제를 야기한다. 이러한 형태의 입자오염은 특히 **photo-lithography**, **thin film deposition**, **thermal growth of film** 등에서 치명적인 영향을 주게 된다.

입자의 화학적 성분에 의한 피해는 **pattern**의 크기와는 본질적으로 무관하지만 화학적 성분에 의해서 칩 선폭의 1/10 크기의 입자라도 디바이스 결함에 치명적인 결함을 가져온다. 오늘날 대부분의 **MOS device**는 이러한 형태의 입자오염에 의한 것으로 특히 **gate oxide**는 **NaCl** 입자, **SiO₂** 입자 등에 의해 불량률을 초래하고 있다. 입자의 화학적 성분에 의한 결함은 회로의 저항변화, **diode leakage**, **junction leakage**, 기능의 열화현상 등을 초래한다. 따라서 입자의 화학성분이 입자의 크기보다 중요한 경우가 있다는 것을 유의하여야 한다. 또한 입자의 크기가 아주 작아 그 자체로는 영향을 주지 않더라도 **Si epitaxial film** 성장과 **anisotropic etching** 시에 작은 크기가 큰 크기로 성장하여 결함을 초래하기도 한다.

3.2 공정 및 유틸리티에서의 입자발생

최근에는 반도체 제조공정에서의 입자문제가 중요시됨에 따라 공정장비나 반도체 제조공정에 필요한 가스, 순수, 액체, 진공 등의

유틸리티 라인에서의 입자발생과 제어에 관한 많은 관심과 연구가 집중되고 있다. 그러나 아직은 반도체 공정장비 및 유틸리티 라인내 입자의 측정과 샘플링에 대해서는 데이터 축적이 많지않고 특히 분석을 위한 측정에 있어 샘플링 대상공간의 압력, 온도 등의 조건과 가스나 액체 자체의 유독성과 부식성 등이 문제가 있어 기존의 측정기 사용에 제한을 가져오므로 새로운 측정기술 개발이 연구되고 있다. 반도체 제조공정이나 유틸리티 라인내에서 발생하는 오염입자의 발생구조를 나열해 보면 다음과 같다.

1) 가스의 팽창

가스의 급팽창시 급격한 압력의 강하로 시스템내의 온도가 급강하하게 된다. 이때 강하온도가 이슬점(**dew point**) 이하로 내려가면 균일핵생성(**homogeneous nucleation**)에 의해서 수많은 입자들이 발생하게 된다. 이와 같

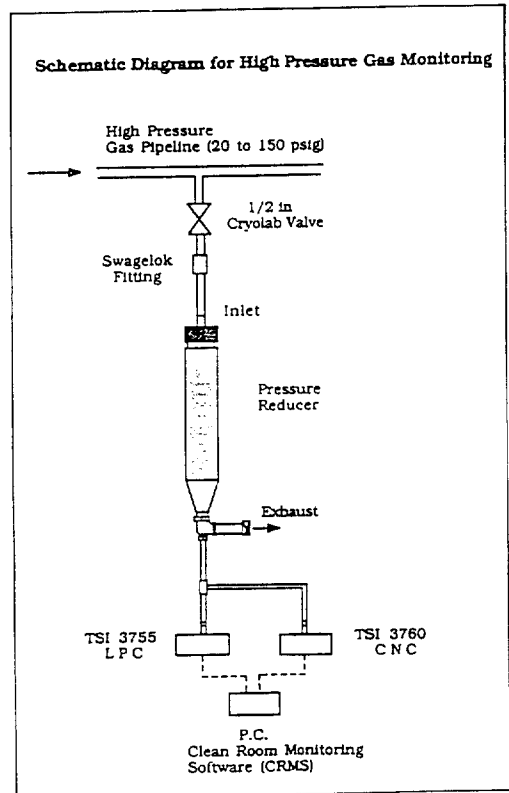


그림 7 고압가스 라인에서의 오염측정 방법

은 현상은 주로 공정장비내의 진공펌프 작동 순간시 많이 발생하며 slow pumping 기술을 사용하면 입자발생을 현저히 줄일 수 있다. 또한 고압가스 공급라인에서 대기압이나 저압으로 내릴 경우에도 온도의 급강하로 입자가 형성된다. 이와 동시에 shock wave 나 expansion wave 가 발생되는데 shock wave는 파이프나 밸브 물질을 침식시켜 입자발생의 원인이 되기도 하고 expansion wave 는 벽면에 이미 부착되어 있던 입자를 이탈시키는 역할을 하기도 한다(그림 7 참조).

2) 가스의 열 및 화학반응

반도체 공정에서는 sputtering, evaporation diffusion, oxidation, deposition 등의 열 및 화학공정이 반복되며 이때 유기가스나 불순물 등이 O₂, N₂ 등 특수공정가스와 반응하여 안정된 화합물을 형성함과 동시에 고체나 액체상의 입자를 형성한다. 한 예로 물분자나 산소는 금속류와 반응하여 금속화물을 형성하면서 많은 양의 입자를 발생시킨다. 1 ppm의 O₂가 Al 가스와 반응하면 0.1 μm 직경의 Al₂O₃ 입자를 약 4.2×10⁷ 개/ft³ 발생시킬 수 있다는 데이터도 있다. 또한 가스가 과립상 흡착기나 촉매를 지날 때 오염입자가 발생할 수 있다.

3) 부 식

배관의 이음새, 밴딩부분의 재질이 공정가스나 공정액체 등과 화학반응을 일으켜 부식되기도 하며 이렇게 부식된 물질은 유체의 유동, 진동, 혹은 내부응력이나 열응력에 의해 표면으로부터 쉽게 이탈되어 유동유체내로 이동되기도 한다.

4) 미 생 물

일반적으로 초순수 및 공정액체 내에서의 입자농도는 클린룸에 부유하는 입자농도보다 훨씬 높은 수치를 갖고 있다. 그 이유는 다음과 같이 액체유동장이 기체유동장에 비하여 입자에 미치는 영향이 다르기 때문이다.

- 액체내에서 입자의 벽면 부착력이 훨씬 낮다.
- 벽면에 부착된 입자에 대한 유체의 drag force 가 훨씬 크다.

- 액체내에서는 입자의 확산(diffusion)이 매우 작고 입자의 관성력이 유체의 점성 저항 증가로 감소되고 입자 filtering 효율이 떨어진다.

초순수내에서도 박테리아의 성장이 가능함으로 그 제어도 매우 중요하다. 이같은 박테리아의 제어를 위해 순수배관내의 물이 정체되는 영역을 없애고 오존, 과산화수소수, 또는 UV light 등으로 소독을 실시한다.

5) 배관내 재순환 영역(recirculation zone)

배관내 분지점, fitting 종류 등에 따라 유동의 재순환 영역이 형성되면 기존에 발생된 입자들이 이 영역에 trap 되어 상당한 시간이 경과한 후에도 유동변화에 따라 서서히 유출되어 오염을 일으킨다.

6) 기계적 마모

유틸리티나 공정장비 중에는 밸브류, fitting 류, 압력조절기, loading-unloading 장치, 기계적 구동부분 등이 많이 쓰이는데 이렇게 고체 사이의 마찰이 있을 때 오염입자가 발생한다.

7) 윤활유 발진

반도체 공장에 쓰이는 생산장비 중에는 콘베이어 등 이동장치, 베어링, 조인트 등 구동부분에서 마찰을 줄이기 위해서 윤활유를 사용하는 데 이러한 윤활유는 사용 중 마찰열 상승으로 주위보다 증기압이 높아져 증발되고 응축되어 입자를 발생시킨다. 따라서 최근에는 반도체 공장에서 사용되는 저발진윤활유에 대한 연구도 진행되고 있다.

4. 클린룸 공조 및 에너지 대책

최근 반도체의 집적도가 점점 더 높아짐에 따라 1989년 후반에는 제어대상 입경이 0.1 μm인 클래스 1의 클린룸이 건설되고 있으며 1990년대에는 0.05 μm를 대상으로 하는 초정 클린룸도 건설될 전망이다. 따라서 고성능필터의 높은 압력손실, 고도로 정교한 온도제어 및 많은 송풍량이 요구되고 더불어 초정 공간에 있어서 에너지 비용이 점점 더 높은 비중을 차지하게 되므로 효과적인 에너

지 운용방안이 클린룸에서 매우 중요하게 되었다.

4.1 클린룸 공조

클린룸 공조방식이 일반공조와 다른점을 클린룸의 대표적인 적용예인 반도체 공장의 경우를 들어 살펴보면 다음과 같다.

- 연간 냉방운전이 필요하다.
- 냉방부하의 70~80%가 장치의 발열부하 및 기기의 배기에 따른 취입외기부하에 소요된다.
- 냉방부하변동이 천천히 이루어진다.
- 송풍량이 냉방부하에 비례하여 많아진다.

이러한 특징으로 인해 클린룸은 전력 및 열 에너지의 사용량이 매우 크다. 예를들면 산업용 건물의 공조설비비에 비해 증류형 클린룸의 경우 10 배의 설비비가 필요한데, 산업용 건물의 공조환경 조성시간이 하루 10시간이라고 볼때 공기청정, 조명, 온습도 및 기류제어가 중요한 클린룸에서는 하루 24시간 운전시 연간 운전비는 당초 설비비의 1/3에 해당된

다. 클린룸에서의 공조방식은 설계조건인 청정도, 온습도제어 및 송풍량제어에 충분히 대응할 수 있게 선정되어야 한다. 그림 8은 이와 같은 목적을 달성하기 위한 대표적인 클린룸 공조시스템의 예를 보여주고 있다.

반도체 공장에서의 공조부하는 주로 냉방부하가 대부분을 차지하는 데 그 냉방부하는 사용하는 생산장비, 생산품목의 종류에 따라 차이가 있지만 부하의 특성은 비슷한 형태를 나타낸다. 표 6은 바닥면적 9,000 m², 연면적 11,200 m², 제조구역 클린룸 5,400 m²인 국내 S 반도체 공장의 부하분석표와 주요기기의 사양이다. 표 7은 일본에서의 클린룸 공조와 일반 사무실 공조의 냉방부하 내역을 비교한 것이다.

표에서 알 수 있듯이 반도체 공장에서의 냉방부하는 제조장치의 발열, 외기부하, 송풍동력의 3항으로 국내 S 공장의 경우 전냉방부하의 92.5% 되고 있고 일본의 경우는 89%가 되고 있다. 반도체 생산제품의 종류에 따라 제조장치의 발열과 외기부하의 순위가 바뀌기는 하지만 상기 3 항목이 전체 냉방부하의 90%

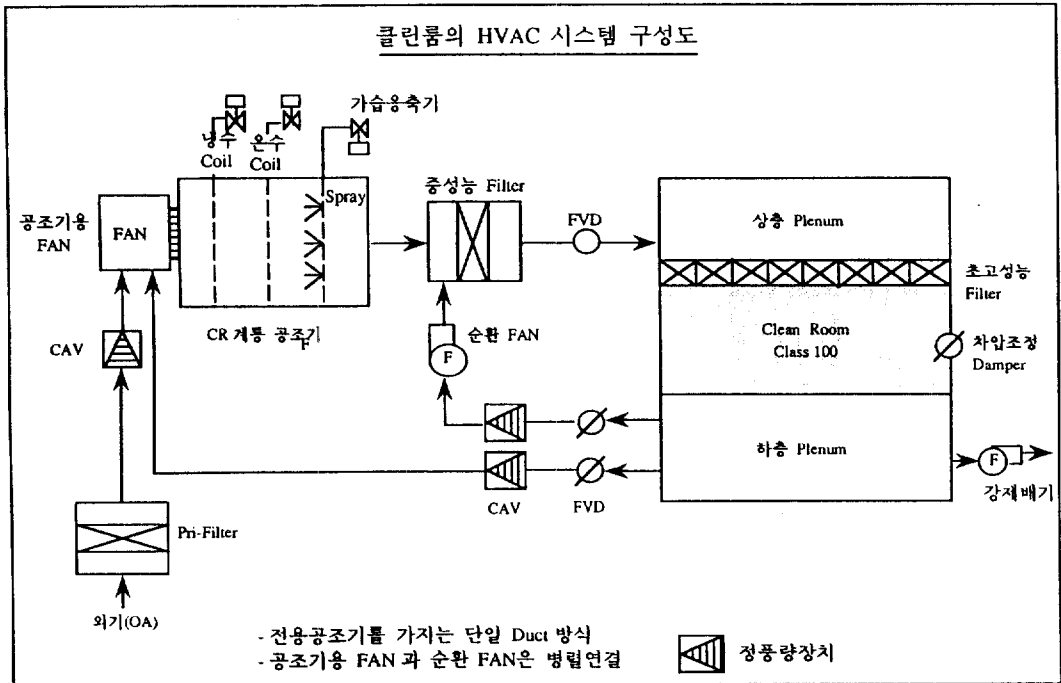


그림 8 클린룸에서의 전형적인 공조시스템 구성도

표 6 국내 S반도체 공장의 냉방부하 내역 및 장비용량

부 하 항 목	냉방부하 (kcal/h)	구성비 (%)
제 조 장 치 발 열	1,800,000	38.3
외 기 부 하	1,600,000	34.0
송 풍 동 력	950,000	20.2
조 명 부 하	200,000	4.3
전 열 부 하	130,000	2.8
작 업 자	20,000	0.4
합 계	4,700,000	100.0

< 주요장비 용량 >

냉 동 기	800 ton × 2대
보 일 러	4 ton/h × 2대
풍 량 (m ³ /h)	
공조 송풍량	380,000
청정공기 순환량	2,700,000
총 배기량	170,000
외기 도입량	180,000

Note : 1. 확산로, CVD 부하율은 0.3 으로 했음.
2. 냉방부하 현열비는

표 7 일본 반도체용 클린룸 공조와 일반사무실 공조의 냉방부하 내역 비교

	일반 사무실	반도체 공장용 클린룸
① 냉방부하밀도 (바닥면적당)	80 ~ 130 Kcal/h · m ²	600 ~ 800 Kcal/h · m ²
② 운 전 시 간	8 ~ 10 시간	24 시간
③ 냉방부하 (피크) 구성 비율		

A 외기부하
B 생산장비부하
C 팬 / 펌프 동력
D 구조체부하
E 조명인체부하
F 기 타

정도를 차지하는 경우가 보통이다. 제조장치의 발열을 계산하기 위해서는 설치되는 모든 장비의 power input, 냉각수량, 배기량 및 사용조건에 대한 정확한 데이터가 필요하고 이를 기준으로하여 각 장비의 부하를 계산하여 합산한다. 여기서 주의할 점은 power input 이 큰 장비(확산로, CVD 등 전기로)에서는 장비의 정격전력 소모량과 정상부하에는 큰 차이가 있으므로 장비의 특성과 사용조건을 정확히 파악하여 직정된 부하계수를 반영하지 않으면 냉동기, 보일러 등 열원장치의 용량선정이 실제와는 거리가 멀게된다.

4.2 에너지 대책

모든 생산설비에서 경제성의 제고는 설비 운전비용의 절감과 생산수율의 향상이라는 두 가지 측면에서 고려하여야 한다. 특히 다른 기계, 전자제품과는 달리 생산수율이 100%에서 크게 떨어지는 VLSI, ULSI의 제조에 있어서는 수율향상이 제 1의 목표가 되어왔다. 그러나 지난 수년간에 걸쳐 미국과 일본과의 반도체 과다경쟁으로 인하여 반도체칩의 가격이 급격히 하락함으로써 현재 범용칩의 경우 생산가격대비 손익분기점에 가까이 있으므로 작은 이익마진과 대량판매라는 관점에서 에너지

지절감이 점점 더 중요한 역할을 담당하게 되었다.

클린룸에서 에너지 소요항목은 운전동력, 외부취입공기량, 열부하 그리고 습도조절 등과 관련된다. 따라서 각 경우에 대해 효과적인 에너지 절감방안을 고려해 보기로 한다.

1) 운전동력의 절감

클린룸내의 공기순환을 위해 많은 에너지가 소모되는 데 송풍에 요구되는 전력은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{축동력(kW)} = \frac{\text{유량(Q)} \times \text{압력손실}(\Delta P)}{6.120 \times \text{효율}(\eta)}$$

Q : 송풍량 [m³/min]
ΔP: 압력손실 [mmAq]
η : 송풍기 효율 30~40%

따라서 윗식에서 운전동력 즉 송풍전력을 줄이는 방법은 크게 2가지가 있다.

① 유량(Q)의 절감

먼저 부하에 알맞는 유량의 설정이 중요하고 부분부하시는 회전수 제어를 한다. 클린룸의 풍량 곧 풍속의 감소는 클린룸내의 오염입자 제어의 관점에서 검토되어야 한다. VLSI 공장의 경우 공기의 유동속도는 0.3~0.5 m/s 정도로 유지하고 있는 데 클린룸내에서 요

구되는 청정도가 모든 작업영역에서 균등하지 않음을 감안하여 높은 청정도가 요구되는 영역은 상대적으로 고속속의 풍속으로 공기를 공급하고 그의 지역은 풍속을 낮게 함으로써 전체적인 운전비용을 절감할 수 있다. 표 8은 VLF, CTM, OPEN BAY 3 가지 방식의 클린룸의 풍량 및 소요전력을 비교한 것이다.

② 압력손실의 절감

클린룸내에서 유동의 압력손은 크게 4 가지로 구분할 수 있다. 유동의 바닥 격자면(grading floor)을 통과할 때의 손실, 회송경로내 손실, 필터유닛트내 유동혼합손실, 고성능 필터여재 통과손실로 나눌 수 있다. 바닥격자면을 통과하면서 발생하는 압력손실은 상대적으로 작은 양이라 무시할 수 있다.

회송경로에 의한 압력손실을 살펴보자. 그림 9는 순환공기로 회로경로가 다른 2가지 형태의 클린룸을 나타내고 있다. 그림 9(a)의 덕트회송 시스템은 종래 대부분의 클린룸에서 채택되는 방식으로 커다란 팬과 덕트를 이용해서 클린룸 공기를 회송하여 고성능 필터의 상부에 위치한 plenum에 이르게하는 구조를 하고 있다. plenum의 공기는 필터를 통과하면서 오염입자가 제어되어 클린룸내로 유입되어 발전오염입자와 내부발생열을 포함하여 바닥면을 통과 다시 덕트와 팬을 거쳐 plenum까지 이르는 한 주기를 형성한다. 공조장치는

표 8 VLF, CTM, OPEN BAY 방식의 클린룸 소요풍량 및 소요전력

시스템	전면수직층류형 (VLF)			Clean Tunnel Module			OPEN BAY					
풍 량	Class 10 76.8×0.45×60 2,074CMM			Class 10 30.72×0.45×60 830CMM 100 15.36×0.225×60 208CMM			Class 10 30.72×0.45×60 830CMM 100 15.36×0.225×60 208CMM 1,000 92.2m ³ 60회/H 92.2CMM					
	합계 2,074CMM			합계 1,038/12=87CMM			합계 1,130CMM					
전력/면적	계 통	송풍량 (CMM)	필요전압 (mmAq)	소비전력 (kW)	계 통	송풍량 (CMM)	필요전압 (mmAq)	소비전력 (kW)	계 통	송풍량 (CMM)	필요전압 (mmAq)	소비전력 (kW)
	순환계				순환계	87	25	1.5×12	순환계			
	공조기	2,100	120	75	공조기	230	120		공조기	1,130	120	45
	합 계			75	합 계				합 계			45
0.92 kW/m ²				0.38 kW/m ²				0.56 kW/m ²				

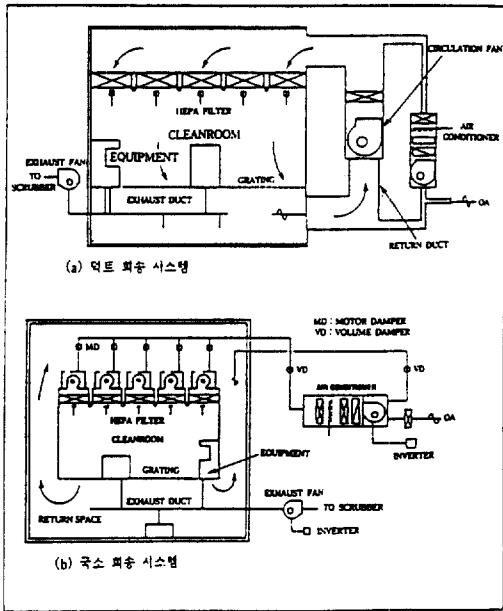


그림 9 클린룸의 공기회송 시스템

회송덕트 사이에 위치하고 클린룸내로는 회송공기와 취입외기가 섞인 후에 유입된다. 이 시스템의 장점은 상대적으로 초기비용이 저렴하다는 것과 팬을 통한 순환풍량의 조절이 용이하다는 점이다. 그러나 팬이 크고 덕트통과 풍량이 많아서 압력손실이 크다. 과도한 전력손실을 피하기 위해서는 덕트를 큰것으로 설치해서 덕트면에서의 평균풍속을 줄여야 하는데 이 경우 커다란 덕트를 설치할 공간이 요구된다.

또한 덕트통과 속도가 높으므로 진동 및 소음 문제를 야기하여 미세진동까지 차단해야 할 정밀가공 공정에서는 좋지못한 상황이 발생하기도 한다.

그림 9(b)는 국소회송 시스템으로 그 특징은 공기순환을 위해 큰 덕트와 팬을 부착된 필터 유닛트들을 통해서 청정공기가 회송되고 클린룸내로 유입된다. 이러한 국소회송 시스템을 운용했을 때 덕트로 인한 압력손실을 줄일 수 있어 종래 시스템에 비해 팬운전비를 1/3로 줄일 수 있다. 마지막으로 압력손실 중 필터에 의한 것을 살펴보자. 고성능필터에서는 압력손실이 전체시스템 압력손실의 대부분을 차

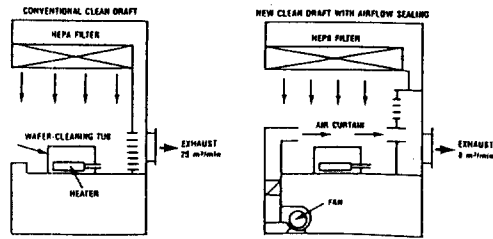


그림 10 Wet Station에서의 공기커튼의 사용

지하기 때문에 요구청정도 한도내에서 최저압손 필터의 선택이 소요전력 감소를 위해서 매우 중요하다.

2) 외기 취입량의 감소

외기 취입에 의한 가열냉각의 에너지가 난방에너지 전체 중에서 큰 비중을 차지하고 있는 점을 고려할 때 실내사람이나 공기의 오염도에 따라 최적의 외기량을 취입하여 부하를 경감시킬 수 있다. 일반적으로 인체에 필요한 외기취입량은 1인당 $35\text{ m}^3/\text{시간}$ 정도이나 클린룸에서 필요한 외기취입량은 다음과 같다.

$$\text{취입외기량} = \text{생산장비배기량} + \text{가압공기량}$$

취입외기량이 최소가 된다는 것은 클린룸으로부터 외부로 배출되는 공기량이 최소가 됨을 뜻한다. 또한 건축구조물의 틈으로부터의 누설유출량을 최소화시켜야 한다. 그림 10은 VLSI 제조공정 중 배출공기량이 가장 많은 wet station에서 공기커튼을 통하여 외부로의 배출량을 줄이는 예를 나타낸 것이다. 깨끗한 공기를 수평으로 분사시켜 형성한 공기커튼은 방출되는 화학증기를 제거하고 위로부터의 오염입자 침투를 막아주는 데 공기커튼이 없는 경우에 비해 불과 1/3가량의 배출량으로써 동일한 효과를 얻을 수 있다.

클린룸내 생산장비는 가능한 수냉식을 채택하여 청정공기로의 열배출을 최소화시켜야 한다. 온도가 높은 청정공기는 공조부하가 과다해지는 것을 피하기 위해 바깥으로 배출시켜야 하기 때문이다. 로터리 펌프나 타 기계장치로부터 불필요한 입자발생을 피해야 한다. 통

상 현대의 펌프는 3m³/min 이상의 배기를 필요로 한다. 이는 공냉식 펌프 대신 수냉식 진공펌프를 사용함으로써 피할 수 있다. 따라서 열과 입자가 동시에 발생할 때는 가장 기본적인 원칙으로 청정공기의 사용보다는 장치의 차원에서 해결하는 것이 바람직하다. 청정공기는 매우 비싸기 때문에 배출량을 줄일 때 상당한 운영비 절감을 가져올 수 있다.

3) 열부하의 감소

열부하에 의한 에너지소모를 감소시키는 방안으로 여러가지 방안이 있을 수 있다. 우선 외기냉방 활용을 들 수 있는데 이는 외기온도가 실내보다 낮은 경우인 경우 가장 기본적인 외기이용 방식으로 일반 가정으로부터 대규모 반도체공장에 이르기까지 폭넓게 사용되고 있다. 또한 겨울철에 냉각수에 의한 냉수공급이 있는데 냉각탑을 써서 냉각수를 일정한 온도 제어하며 공조기의 냉수코일에 통과시켜 냉방을 하므로 외기냉방처럼 실내환경을 오염시키지 않는다. 개방형 냉각탑을 쓰면 대기에 함유된 유해가스를 물이 흡수하므로 오래되면 공조기 코일을 부식시키거나 열전도율을 저하시키므로 특별히 수질관리가 필요하다. 반면 밀폐형 냉각탑을 사용하면 부식대책에는 좋으나 감열만으로 열교환을 하므로 열효율이 나쁘고 가격이 높아지는 결함이 있다.

그와 N₂ 가스의 증발잠열 이용, 장치의 수냉식에 의한 냉각비를 증대, 확산로의 냉각수에 의한 재열 혹은 난방실시, 지하수에 의한 외기에 냉 및 가습, 히트파이프에 의한 배기열회수, 히트펌프, double bundle 냉동기에 의한 재열, cogeneration system 사용 등이 있다.

4) 가습정도의 감소

가습용으로 사용되는 물이 비싸고, 가습시에 증발잠열에 의해 과다한 부하가 걸리기 때문에 가습량을 줄여서 원가절감효과를 얻을 수 있다. 통상 일반적인 클린룸환경은 약 40% RH ± 5%로 유지되어야 한다. 클린룸내에서 습도를 낮출 수 없는 이유는 정전기가 많아져 오염입자의 부착, 방전등의 문제가 발생하기 때문이다. 따라서 가습정도를 낮추어 운전비를 줄이기 위해서는 효과적인 정전기 대책을 마련

하여 저습도환경에서 발생하는 문제들을 방지하는 것이다. 이를 위해 공기이온화 장치나 전도성 물질의 사용 및 철저한 접지 등을 들 수 있는데 한 실험에서 후자의 두 방법만으로도 25% RH에서 정전기에 의한 전압을 50V 이하로 낮출 수 있다고 보고하고 있다.

이제까지 클린룸에서 공조와 에너지문제를 살펴보고 효과적인 방안을 고찰해 보았다. 표 9는 반도체용 클린룸의 에너지절감 항목을 요약한 것이고 이를 바탕으로 반도체 공장의 경우에 대해 도식화하여 나타낸 것이 그림 11이다. 클린룸 운용에서 에너지 비용이 차지하는 비중은 점점 더 커지는 추세이다. 이는 클린룸의 청정도가 더 고도화 되고 공조환경이 보다 더 정교하게 제어되어야 할 클린룸 기능의 변화와 더불어 가속될 전망이다. 따라서 클린룸 운용에서 에너지 절감문제는 클린룸 환경하에서 제작되는 상품의 가격경쟁력과 직결되

표 9 반도체 클린룸의 에너지 절감 대책

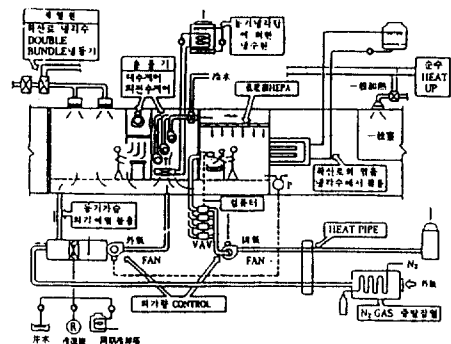
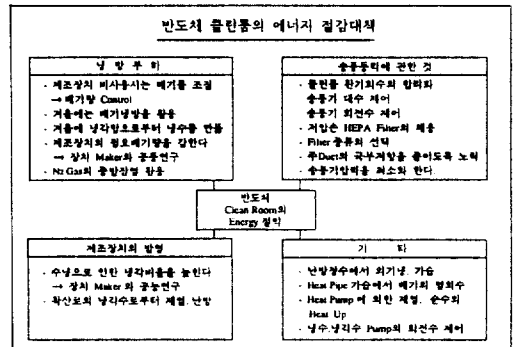


그림 11 반도체 공장에서의 에너지 절감 대책

는 것으로 총괄적 클린룸 설계에서 필수적 항목으로 그 중요성이 인식되고 있다.

5. 결 론

지금까지 살펴본 바와 같이 초청정 클린룸 기술이란 고도의 온도, 습도, 입자제어 기능 등을 갖춘 첨단 공조시스템으로 이 시스템은 초기의 단순한 밀폐공간인 청정 생산환경을 조성하고 청정도를 유지하는 기술만을 유지하는 협의의 개념이 아니라 클린룸에서 이루어지는 생산공정과 관련한 모든 내적요소까지 고려된 상황에서의 청정도 생성 및 유지기술을 포함하는 광의의 **total clean room system** 으로 그 개념이 확대되었다. 이러한 개념확장으로 인하여 점차 클린룸 자체보다는 국소 공정 공간에서 관련된 모든 부분의 **contamination control** 이 중요하게 부각되어 **clean tube** 방식, **SMIF (standard mechanical interface)** 시스템, **OASIS (open air SMIF isolation site)** 시스템 등이 제안되어 일부는 실용화되고 있다.

이와 같이 확장된 개념의 초청정기술을 확립하기 위해서는 입자거동 제어기술은 포함한 기초기술, 응용기술, 장치 및 시스템 기술개발 등의 체계적인 연구가 선행되어야 한다. 국소적인 오염입자 거동과 그에 대한 클린룸의 동적특성이 고려된 총체적인 클린룸 기술개발을 위해서는 초청정 기술연구진과 실제 초청정 클린룸 사용주인 반도체 회사 및 반도체회사 개발팀간의 긴밀한 협조와 공동연구가 요망된다. 이러한 공동연구를 통해서만이 실제 반도체 생산율을 향상시키고 차세대 반도체개발을 보장할 수 있는 초청정 클린룸 최적화 기술을 확립할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Technical Proceeding, SEMICON/Korea 89, Dec. 6-8, Seoul, Korea, 1989.
2. "유럽에서의 초청정기술 세미나", 한국과학기술연구원, 1990. 10. 30.
3. "클린룸의 시스템설계·시공 및 운용관리 세미나", 한국산업기술연구원, 1990. 6. 21 ~ 6. 23.
4. 오명도, 김석철, "[클린룸] 운용의 에너지 절약기술", 에너지관리 pp.41~50, 1990년 7월호
5. 오명도, 이춘식, "Class 1 초청정 클린룸 개발에 관한 연구(I)", 과학기술처보고서, N 563~3634-2, 1988.
6. 오명도 "Control Technology of Contamination Particles and Air Flow in Clean Room", Proceedings of Int. Sym. on Clean Room Technology & Contamination Control, pp.67-121, Seoul, Korea, Sept. 19-20, 1990.
7. U.S. Federal Standard 209D, "Clean Room and Work Station Requirements, Controlled Environments", June, 1988.
8. Bertil Larsson et al., "Modular Clean Rooms in the Electronic Industry", ABB Review 3/89, pp.29-34, March, 1989.
9. Randall Hughes, Bizhan Moslehi, and Egil Castel, "Experiences with an Open Area SMIF Isolation Site (OASIS)", Proceedings of Microcontamination Conference, pp.104-112, Oct. 1987.
10. D.L. Tollover, "Contamination Control: New Dimensions in VLSI Manufacturing", Solid State Technology, pp. 129-137, March 1984.
11. G. Guanwardena et al., "SMIF and Its Impact on Clean Room Automation", Proceedings of Microcontamination Conference, pp.55-62, Sept. 1985.
12. 안강호, "Utility 공정라인 내의 Particle 및 미량분순물 측정기술", Clean Room 기술세미나, pp.93~112. 한국공기청정연구조합, 1991. 6.
13. 전문가 초청 Clean Room 강연회(주제 : 일본에서 Clean Room의 최근 동향 및 설계·시공), 한양대학교 산업과학연구소, 1991. 5.

14. Proceedings of Institute of Environmental Sciences, 36th Annual Technical Mtg of IES., New Orleans, Louisiana, April 23-27, 1990.