# 초청정공간에서의 에너지 절약

## Saving Energy in Super Cleanroom

심 우 식
W. S. Shim
삼우종합건축사사무소
설비팀 실장

· 1960년생
· I.A.Q, 에너지절약 및 클린룸에 관심을 가지고 있다.

### 1. 머리말

정밀기계, 의약품 제조, 의료분야 등에서 이용하기 시작한 청정공간(이하 클린룸(Clean Room)이라 칭함)은 반도체 산업을 중심으로 급속히 발전하여 점차 고청정, 고기능, 대형화되고 있는 추세이며, 적용분야에 있어서도 전자 및 신소재 개발분야, 식품제조분야로 보급이 확대되고 있는 실정이다.

이와 같은 클린룸은 제품의 고정밀도 및 고신뢰도를 달성하기 위한 필수적인 시설로서, 제품의 생산 또는 그에 준하는 행위가 행하여지는 실내의 공기 환경조건을 엄격한 수준으로 제어·유지하기 위해 공조된 대량의 공기를 고성능 필터를 통하여 실내로 공급해야 되기 때문에 일반 건축물에 비해 상당히 많은 에너지를 소비하고 있어 그에 따른 에너지 절감이 중요한 과제로 대두되고 있다.

따라서 본 고에서는 최근까지 소개되고 있는 클린룸방식을 기류 및 순환방식으로 구분하여 각 방식의 특징을 살펴보고, 클린룸의 환경조건을 유지하기 위하여 요구되고 있는 공조시스템 및 부하의 특징과 국내의 클린룸 분야에서 적용되고 있는 에너지절약방법 등에 대하여 소개한다.

### 2. 클린룸의 정의

실내의 온습도, 청정도, 기류속도, 차압, 소음, 진동 등의 환경요인을 요구수준에 맞도록 제어·유지시키는 공간을 클린룸이라 하고 있으며, 이 클린룸은 사용목적에 따라 바이오클린룸과 공업용클린룸으로 크게 분류되는데, 바이오클린룸은 상기의 환경요인중 특히 미생물을, 공업용클린룸은 미립자의 제어를 주된 목적으로 하고 있다.

일반적으로 실내나 어떤 공간의 청정도레벨을 등급으로 나타내지만, 클린룸을 대상으로 한 경우가 많으며, 어떤 입경이상의 부유미립자농도를 이용해서 등급을 구별하고 있다. 통용되고 있는 미국연방 규격(Federal Standard)에서는 공기 1ft$^3$에 포함되어 있는 0.5㎛ 이상의 미립자수를 청정도 등급(Class)으로 표시하고 있다.

### 3. 클린룸 시스템의 분류와 특징

#### 3.1 기류방식에 의한 분류

1) 난류방식(Turbulent Flow Type)

그림 1에 나타낸 것처럼 일반적인 공조설비에 고성능필터를 설치하여 이를 통과한 청정공기가 실내에서 발생한 먼지와 희석되어 요구청정도를 얻는 방식으로 난류영역이 발생하게 되며, 실내공기의 배출은 천장, 벽, 바닥의 3가지 형태로 이루어지게 된다. 이 방식은 높은 청정도를 유지하는 것은 어려우며, 클라스 1,000~100,000 정도의 청정도에 적합하며, 환기횟수는 20~80회/h 정도이다.

2) 수직층류방식(Vertical Laminar Flow Type)

천장전면에 고성능필터를 설치하여 청정공기를 수직방향으로 흘려보내는 방식으로써 그 구성은 그림 2와 같다. 이 방식은 실내에서 발생한 먼지가 클린룸 하부로 신속히 배출되기 때문에 난류방식처럼 실내에서 발생된 먼지가 실내에 체류, 축적되는 시간이 매우 짧게 된다.

필터면에서의 기류속도는 0.25~0.5m/s 정도로 균등한 기류상태를 유지하기 때문에 미립자를 제거하는 데는 매우 유리하며, 클라스 100 이상의 높은 청정도를 유지할 수 있는 방식이다.

3) 수평층류방식(Horizontal Laminar Flow Type)

그림 3과 같이 벽면에 위치한 고성능 필터면으로부터 청정공기가 반대측 벽면으로 수평하게 흐르는 방식이다.

고성능필터 바로 하면에서는 클라스 100 정도의 높은 청정도를 얻을 수 있지만, 기류방향이 하류로 갈수록 상류에서 발생한 오염물의 영향을 받아 고농도로 되는 경우가 있기 때문에 최종필터의 기류속도는 0.45m/s 이상으로 유지하는 것이 바람직하다.

4) 병용방식(Turbulent & Laminar Flow Type)

높은 청정도를 요구하는 부분이 소규모일 경우, 주로 채택되는 방식으로 앞서 설명한 난류방식과 층류방식을 혼합한 형태로써 그 구성은 그림4와 같다.

고청정역에서는 클린벤취(Clean Bench)나 클린부스(Clean Booth)를 설치하여 국부적으로 고청정도를 얻는 것으로 층류영역에서는 클라스 100, 기타 난류영역에서는 클라스 1,000~100,000 정도를 유지할 수 있다.

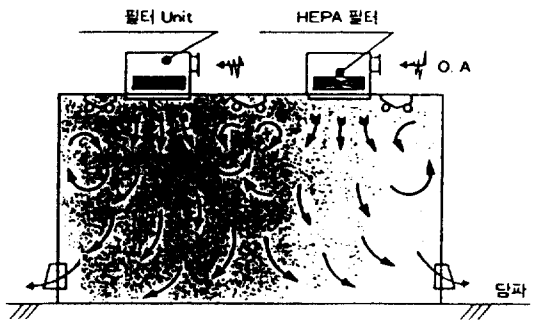


그림 1 난류 방식

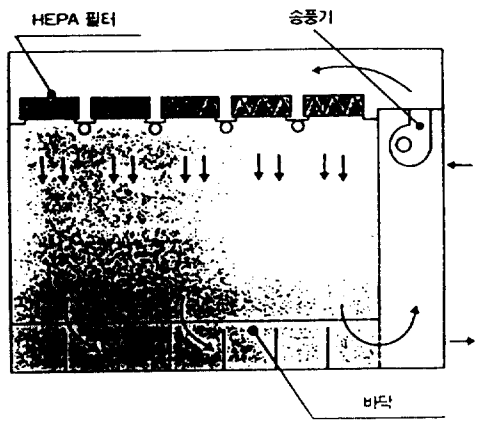


그림 2 수직층류 방식

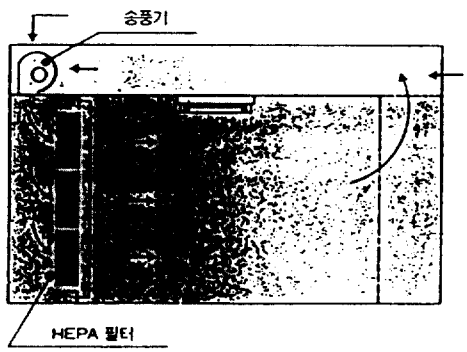


그림 3 수평층류 방식

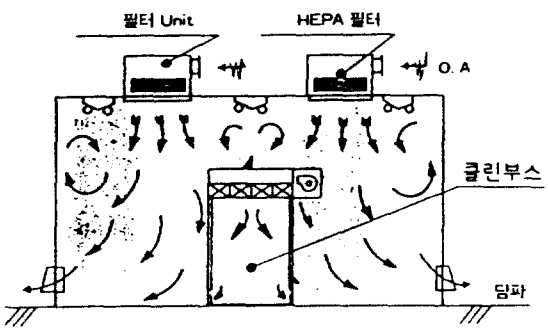


그림 4 병용 방식

### 3.2 순환방식에 의한 분류

최근 소개된 클린룸방식을 순환방식에 의해 구분하면 난류방식인 덕트방식을 시작으로 층류방식인 C.T.M., Open Axial Fan, F.F.U. 등으로 발전하여 왔으며, 각 방식의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

1) 덕트 방식(Duct System)

그림 5는 공기의 재순환을 덕트를 이용하는 방식으로 취출구에 고성능필터를 부착한 형태로 이 방식은 클라스 1,000~100,000 정도에 적용할 수 있으며 클린부스 및 클린벤취를 병용할 경우, 클라스 100 정도까지 가능하다.

공업용 클린룸에서는 64k DRAM(Dynamic Random Access Memory)의 반도체 공장이나 집적도가 높은 정밀산업분야 등에 이용되었으며, 바이오 클린룸에서는 병원의 수술실이나, 제약회사 및 식품공장, 화장품공장 등에 폭넓게 이용되고 있다.

2) C.T.M. 방식(Clean Tunnel Module System)

그림 6의 C.T.M. 방식은 팬 박스와 필터의 부착부분을 일정한 크기의 모듈로 구성하여 연속 배치한 형태이다. 이 방식은 256k DRAM이 개발된 1980년도 중반경에 국내에 소개된 것으로 온·습도를 각 유니트별로 제어할 수 있고 시공성이 우수하나 장비교체에 따른 대응성은 타 방식에 비해 분리하다.

3) Open Axial Fan 방식

일반적으로 그림 7의 Open Axial Fan 방식은 풍도부분인 리턴 플레넘에 대용량의 팬을 설치하여 풍량을 공급하며 드라이 냉각코일(Dry Cooling Coil)에 의해 온·습도를 일괄 제어하게 된다.

이 방식은 최근 초대규모 집적회로(Very Largy Scale Intergration : VLSI) 공장에 적용되고 있는 순환방식으로서 제조역(Process Area)과 서비스역(Service Area)을 간막이 등으로 구획하면 필요에 따라 청정도를 변화시킬 수 있어 에너지절약 및 대응성을 동시에 해결할 수 있다. 반도체 공장의 경우, 1M 및 4M DRAM 이상의 반도체 생산 클린룸에 많이 적용되고 있다.

4) F.F.U. 방식(Fan Filter Unit System)

그림 8은 F.F.U. 방식을 나타내는 것으로서 이 방식은 팬이 각 필터의 상부에 설치되어 있기 때문에 팬의 설치면적 및 기타 부대시설의 공간을 절약할 수 있는 이점이 있다. 또한 팬 상부측의 급기풍도(Supply Plenum)에는 음압이 형성되기 때문에 필터면이나 그밖의 부위에서 리크(Leak)의 염려를 줄일 수 있으며, 팬의 회전수를 제어함으로써 필터면에서의 취출속도를 조절할 수 있어 저청정도에서 고청정도까지의 복합적인 청정도를 얻을 수 있다. 특히, 설계변경시 유니트의 위치변경이 용이하기 때문에 대응성이 매우 우수한 방식이라 할 수 있다.

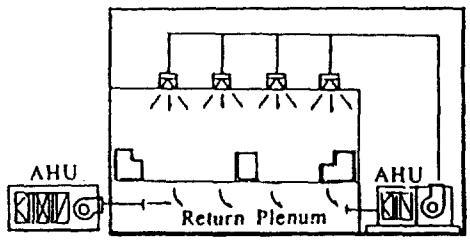


그림 5 덕트 방식

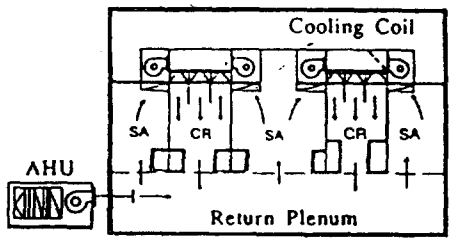


그림 6 C.T.M 방식

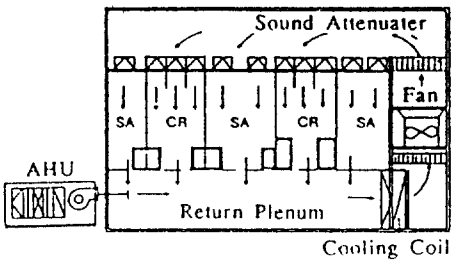


그림 7 Open Axial Fan 방식

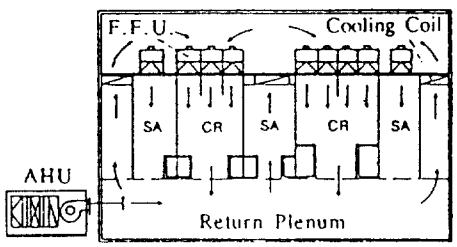


그림 8 F.F.U. 방식

## 4. 클린룸의 공조시스템

### 4.1 공조부하의 처리과정

클린룸내에서 설정 온·습도를 유지하기 위한 일반적인 공조시스템과 공기처리과정은 그림 9와 같으며, 공기처리과정을 여름철을 대상으로 습공기선도상에서 살펴보면 다음과 같다.

㉮ 외기공조기(이하 외조기라 칭함)에서는 생산장비에서의 배기량(⑦)과 가압 공기량에 해당하는 외기량(A)을 도입시켜 실내의 절대습도 조건(X)을 맞추기 위하여 냉각제습을 행한다.(A→B)

㉯ 실내의 온습도 조건(C)으로 취출된 공기는 실내 열부하(현열)를 함유(D)하여 순환공조기로 되돌아간다.(C→D)

㉰ 외조기에서 실내의 절대습도로 제어된 외기(B)와 클린룸내에서 재순환된 공기(D)가 순환공조기에서 혼합된다.(B+D→E)

㉱ 순환공조기에서 혼합된 공기(E)는 실내 온도조건에서 팬발열에 의한 온도상 승분(⑤)과 덕트손실(⑥)을 고려한 온도(F)까지 단열냉각을 한다.(E→F)

㉲ 순환공조기에서 취출된 공기(F)는 덕트상의 열손실과정을 거친 후에 실내의 온습도조건(C)으로 공급된다.(F→C)

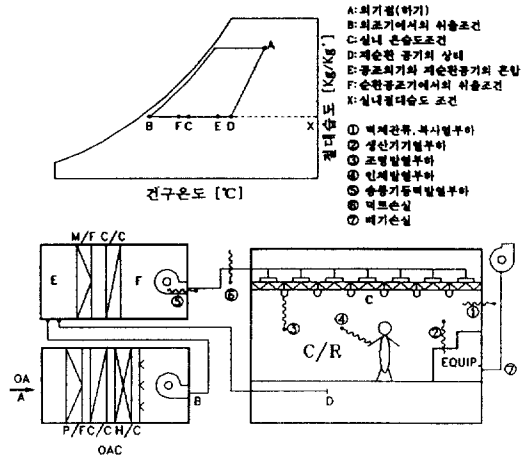


그림 9 클린룸의 공조시스템과 공기처리과정

### 4.2 공조부하특징

1) 공조부하의 구성

그림 10은 부하요인에 대한 구성비를 반도체공장의 세가지 공정별로 구분하여 나타낸 일례로써 냉방부하요인은 기기발열(냉각수 부하 포함), 외기, 팬 발열, 기타 부하로 구분할 수 있으며, 여기서 기타부하는 관류, 조명 및 인체부하를 포함하고 있다.

전반적으로 냉방부하는 외기부하, 기기발열, 팬 발열 순으로 전체의 90% 이상을 차지하고 있으며, 이중 외기부하는 청정도레벨이 높은 제조공정의 경우, 40% 이상의 높은 비중을 보이고 있어 이 항목에 대한 에너지 절약방안은 매우 효율적이라고 볼 수 있다. 한편, 일반건물에서 주된 부하요인인 관류, 조명, 인체부하는 20% 정도로 낮게 나타나 일반공조와 많은 차이를 보이고 있다.

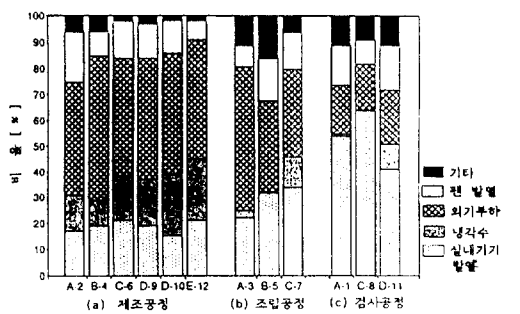


그림 10 반도체 공장에서의 부하구성

2) 외기처리 에너지

클린룸에서의 외기량은 생산장비에서의 배기량과 클린룸 내부를 양압으로 유지하기 위한 가압공기량의 합으로 이루어지게 된다.

특히, 반도체 제조공정에 있어서 사용되는 다량의 화학물질 등이 부산물로 배출되는 배기종류는 대체로 산, 알카리, 열, 유기 및 가연성배기 등이 있다. 이 배기량은 외기를 도입하여 처리하게 되는데 반도체 제조공정은 엄격한 온·습도를 유지하기 위하여 온·습도 조건에 따라 제습, 냉방, 재열, 가습, 난방 등의 조합된 과정이 이루어지기 때문에 이에 수반되는 에너지는 막대한 양이 되고 있다.

이러한 도입외기량은 표 1에 나타낸 바와 같이 일반사무소 건물의 경우 $4m^3/m^2 \cdot h$ 정도이나 LSI 제조용 클린룸은 약 $60m^3/m^2 \cdot h$로 사무소 건물의 15배에 해당하는 많은 외기가 도입되어 엄밀한 공조과정을 거치기 때문에 이에 소비되는 에너지양은 사무소 건물보다 상당히 많게 된다.

도입외기량에 포함되어 있는 가압 공기량은 클린룸의 체적, 문의 수와 구조, 벽의 틈새, 구조등에 따라 다르지만, 안정된 양압을 유지하기 위해서는 생산장비에 대한 배기량이 일정하게 유지되는 것이 바람직하다. 그러나 오늘날 에너지 절약이 강조됨에 따라 배기를 필요로 하지 않을 경우 그 양에 해당하는 외기량을 줄임으로써 전체로서는 필요최소한의 외기량을 유지하도록 노력하고 있다. 이와 같이 배기량의 변동에 대응하여 알맞은 외기량이 도입되도록 해야 할 것이다.

3) 제조장치에 소비되는 에너지

대량의 전력을 사용하는 제조장치의 발열은 공조부하의 측면에서 실내 발열부하로 작용하여 냉각코일에서 제거되어야 한다. 이외에도 순수, 가스, 화학약품, 폐수, 배기처리설비를 운전하기 위해서도 대량의 동력이 소비되고 있다.

4) 송풍동력 에너지

공조풍량은 일반건물의 경우 10회/h 미만의 환기횟수로 송풍되지만, 클린룸에서는 클라스 1,000일 때 50~60회/h, 클라스 1~100인 경우 400~600회/h 정도로 일반 건물보다 수십배 이상으로 송풍량이 필요하게 된다.

이러한 환기횟수(취출풍속)의 풍량은 클린룸내로 일정하게 공급되고 있으나, 에너지 절약적인 측면을 고려하여 클린룸내의 미립자량에 따라 급기량을 제어한다든지 비작업시 풍량을 감소시키는 등의 변풍량 제어가 필요할 것이다. 특히 전면층류 방식과 같이 클린룸의 천장 전면을 취출면으로 할 경우는 대규모의 순환풍량이 요구되기 때문에 가급적 필요최소한의 공간만을 클린화시킬 수 있는 방안도 함께 검토되어야 할 것이다.

최종적으로 건물전체에서 소비되는 에너지 소비량을 비교해 보면, 표 1에서와 같이 일반사무소 건물의 경우 400Mcal/$m^2 \cdot y$ 정도이나 LSI 제조용 클린룸의 경우는 10배에 이르는 4,000Mcal/$m^2 \cdot y$로 막대한 에너지를 소비하고 있다.

이와 같이 클린룸에서 많은 에너지를 사용하고 있다는 것은 그만큼 에너지를 절약할 수 있는 절감요소가 내포되어 있다고 볼 수 있다.

**표 1 사무실과 클린룸의 에너지소비 비교**

| 항 목 | 일반 사무소 | LSI 제조용 클린룸 |
|---|---|---|
| 실내 순환풍량 [$m^3/m^2 \cdot h$] | 15 | 900(층류형) |
| 연간 운전시간 [Hour] | 2500(9h×280일) | 8400(24h×350일) |
| 도입 외기량 [$m^3/m^2 \cdot h$] | 4 | 60 |
| 건물전체에너지 소비량[Mcal/$m^2 \cdot y$] | 400 | 4000 |

## 5. 클린룸에서의 에너지절약

### 5.1 기존 에너지 절약방법의 검토

1) 외기부하의 절감

외기부하는 앞에서 검토한 바와 같이 전체

클린룸 공조부하의 상당 부분을 차지하고 있어, 외기부하의 절감은 전체에너지를 절감하는데 크게 기여할 것이다. 이 외기부하의 절감에 있어 중요시 되고 있는 항목에 대하여 정리하면 다음과 같다.

① 배기계통

a. 배기량의 저감(생산장비의 최적배기량 설정)

b. 제조장치의 사용에 따른 배기풍량의 최적제어(인버터 등에 의한 제어)

② 급기계통

a. 실내압 일정 제어 시스템에 의한 외기풍량의 최적제어

b. 실내압의 최적설정

③ 배기의 폐열회수

2) 겨울철의 외기이용

반도체 제조공장은 제조장치의 발열로 인하여 연간 냉방운전을 필요로 한다. 따라서 겨울철의 저온외기를 이용한 냉방부하의 절감방안은 상당한 효과를 기대할 수 있다. 반도체 조립공정에서 죤(Zone) 공조기 사용시, 겨울철의 외기이용방안은 적극적으로 검토될 필요가 있다.

① 외기의 도입 방법

일반적으로 반도체 제조공정은 엄밀한 온습도를 요구하고 있어 클린룸내로 공급되는 모든 송풍공기는 공조기의 코일에 의해 일괄 제어되고 있다. 따라서 실내 발열의 냉각부하 일부를 외기로 처리하는 경우는 공조기 입구전에 리턴공기와 혼합하여 코일을 통과시키는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 충분한 크기의 혼합챔버가 필요하나 이러한 공간이 불가능한 경우 바닥하부의 유틸리티 공간에 외기덕트를 설치하여 재순환공기와 혼합시키는 방법도 생각할 수 있다. 그러나 이 방법을 사용할 경우는 외기의 분진처리에 주의해야 한다.

② 겨울철에 외기도입시 주의해야 할 사항

일괄 제어되는 반도체 프로세스구역이나 제어범위가 23±0.2℃, 45±5% 정도로 엄밀한 온습도 조건으로 요구되는 경우는 외기도입시 온도 및 습도의 제어범위내가 되도록 주의한다. 또한 외기도입덕트는 단열을 철저히 하여 결로를 방지한다.

3) 순환동력의 절감

팬의 송풍동력을 절감시키기 위해서는 순환풍량을 적정하게 설정하고 순환계의 저항을 적게함은 물론 송풍팬을 선정하는데 있어서도 충분한 검토가 필요하다.

반도체 제조공정은 그 집적도가 높아짐에 따라 초고청정 공간이 요구되고 있다. 따라서 그 순환방식에서도 층류형 방식이 일반적으로 채택되고 있는데 특히 프로세스구역에서의 취출풍속에 대한 적정 설계가 필요하다.

미연방규격(FED-209B)에 의하면 클라스 1을 유지하기 위해서는 0.45m/sec로 정의되고 있으나 실제적으로 0.35~0.4m/sec의 취출풍속으로도 고청정공간을 확보하는데는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

그러나 이러한 취출풍속을 낮추는 시도가 정착되기 위해서는 필터면에서의 취출풍속과 웨이퍼상에서의 오염관계를 규명할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 설계시 다소 풍량이 과다하게 설정되어 있다 하더라도 클린룸의 미립자량에 따른 팬의 피치제어, 회전수제어 등을 이용한 순환풍량의 적정제어가 이루어져야 할 것이다.

또한 클린룸은 순환계통상에서 필터, 코일 등에 의한 압력손실로 인하여 송풍동력의 증가를 초래하기 때문에 다음과 같은 각 요소에 대하여 충분한 검토가 이루어져야 할 것이다.

① 덕트 경로의 단순화

② 압력손실이 낮은 필터의 사용

③ 압력손실이 낮은 적정 소음기의 선정

④ 필터 및 코일의 통과풍속을 최적화

⑤ 코일 열수의 적정 산정

4) 제조장치에 관련된 절약방안

일반적으로 초청정공간인 반도체 공장에서 제조장치의 발열량은 전체공조부하의 15~20%가 되어, 열원 및 송풍동력의 선정에 크게 작용하는 요소가 된다.

① 기기본체의 발열량

생산장치에서의 발열량 산정은 과다설계가

되지 않도록 해야 한다. 발열부하율(Load Factor), 즉 부하율과 가동율의 선정은 설계자가 임의로 판단할 수 없기 때문에 장치를 운전하는 엔지니어 및 장비 제조회사와 협의한 후 설계자의 경험적인 면이 뒷받침되어 결정되는 것이 바람직할 것이다.

확산로에서의 발열부하율은 0.3~0.4 정도가 적용되고 있으며, 기타 발열이 적은 장비는 0.3 이내로 적용하는 것이 일반적이다. 확산로 등의 노체실은 온습도 및 청정도가 엄밀하지 않기 때문에 팬 코일, 수냉 팻케지 등으로 현열 처리를 행함으로써 주공조기의 용량을 감소시킬 수 있다. 또한 발열부는 서비스 구역과 같이 엄밀한 온습도 조건을 필요치 않는 장소에 가급적 설치하는 것이 바람직하다.

② 냉각수에 의한 냉각효과

제조장치에 전력사용이 많은 경우에는 그 장치에서의 발열에 의해 순환회수가 결정되어 송풍동력이 증대하게 된다. 제조장치가 클린룸내에 미치는 발열을 억제하기 위해서 장치의 수냉화를 도모하는 것은 반송동력의 절감을 위해 큰 의미를 갖게 된다. 발열량이 많은 제조장치에서는 냉각수가 필요로 하기 때문에 이에 대한 냉각효과를 고려해야 한다. 예를 들어 확산로, 몰드(Mould) 구역은 32℃→37℃ 냉각수가, 상압 CVD(Chemical Vapor Deposition), 건식 식각 공정(Dry Etching Process) 등은 20℃→25℃의 냉각수가 필요로 하고 있으며, 냉각수에 의한 제거열량은 유량과 Δt에 의해 계산된다.

장치에서의 회수열은 35~40℃의 냉각수로 회수되기 때문에 이 회수열을 사무실 부분의 난방이나 순수의 원수 가열등에 이용할 수 있다. 순수장치의 경우, R.O는 25℃에서 최대 효율을 갖기 때문에 원수의 가열이 필요하고 종래는 보일러에 의해 행해진 가열량을 이 회수열로 대체 가능할 수 있을 것이다.

③ 배기에 의한 냉각효과

확산로에서 전기로의 열배기는 50~60℃로 되어 실온과의 온도차 만큼의 냉각효과를 고려한다. 그러나 기타 산, 유기배기등은 23~26℃ 정도로 낮고 유해성이 있기 때문에 그다지 그 효과를 기대할 수 없다.

5) 기타

① 냉각탑에 의한 대기의 냉열원 이용(겨울철)

반도체 제조공장은 장치발열이 과대하여 겨울철에도 냉방을 필요로 하고 있다. 따라서 냉각탑으로 외부의 저온공기와 순환수를 열교환하여 냉각수를 생산함으로써 냉방 및 장비의 냉각수(Process Cooling Water)로 이용 가능할 것이다.

② 겨울철의 냉각수에 의한 온열원 회수

반도체 제조공장에서는 연중 냉방을 행하기 때문에 반드시 열방출이 따르고 그 열을 회수하여 제습기의 외기처리용 열원으로도 이용할 수 있을 것이다.

### 5.2 국내 클린룸의 에너지절약 실태

1) 열원시스템 및 열원기기

그림 11은 열원시스템에서 채택되고 있는 에너지절약방안을 나타낸 것으로 전체의 45% 정도가 지역냉난방방식을 이용하고 있어 고온의 열수요가 많은 것으로 판단된다.

그밖에 공업용클린룸에서는 배기 및 기타 폐열 등을 이용한 에너지절약방법이 약 30%의 채용율을 보이고 있다. 가장 낮은 채용율을 보이고 있는 축열방식은 5% 정도를 차지하고 있으나, 일반적으로 클린룸은 24시간 동안 연속운전을 행하기 때문에 심야전력을 이용한 빙축열방식 등은 경제성이 없을 것으로 판단되나 연속운전이 아닌 경우는 일부채용 여부를 검토할 필요는 있을 것으로 생각된다. 기타 이용되고 있는 에너지 절약시스템은 자동제어, 시간별 부하조절 등의 방법이 이용되고 있는 것으로 나타났다.

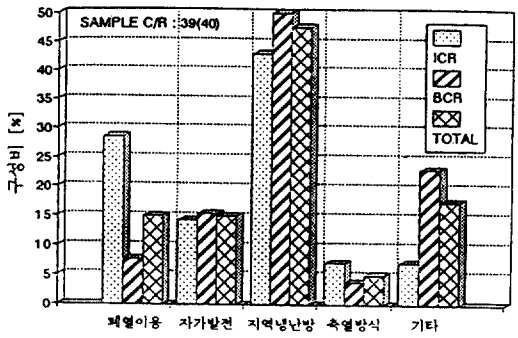


그림 11 열원시스템의 에너지 절약방안

열원기기의 에너지절약대책은 그림 12에서와 같이 에너지절약형 냉동기가 43%, 열회수형이 12%로 냉동기에 대해서만 55%의 높은 비중을 보이고 있어, 클린룸은 일반 건물에 비해 연간냉방부하가 5~20배 정도 크기 때문에 냉동기에 대한 에너지절약대책이 많이 채용되고 있는 것으로 판단된다. 최근에 많이 적용되고 있는 컴퓨터를 이용한 자동제어방법은 전체의 29% 정도이나 건축물의 설비가 점차 고도화, 자동화됨에 따라 자동제어를 통한 절약방안은 점차 확대될 것으로 생각된다.

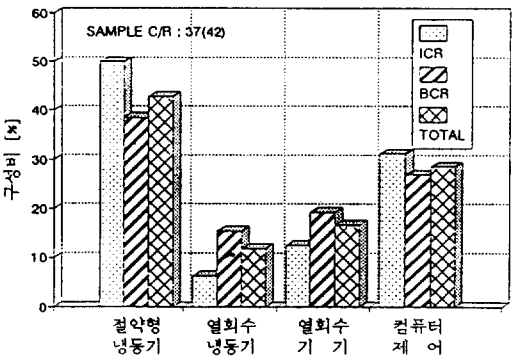


그림 12 열원기기의 에너지 절약대책

그림 13은 열원설비(Equipemnt), 공조기팬(Fan), 펌프류(Pump)의 감소운전방식을 나타낸 것으로 열원설비에 있어서는 용량제어가 가장 높게 나타나고 있으나, 전반적으로 대수제어의 방법이 폭넓게 이용되고 있는 것을 알 수 있다.

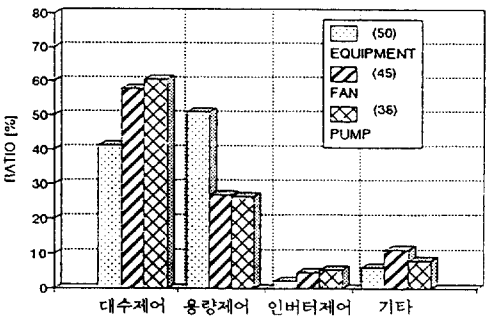


그림 13 열원설비 및 반송기기의 감소운전방식

2) 공기순환시스템

그림 14의 펌프 및 팬 등 반송용 기기에 대한 절약방법은 대수제어 및 폴챈지 등의 변유량제어가 가장 많이 사용되고 있으며, 고효율 팬 및 모터, 인버터사용 순으로 나타났다. 그러나 가변풍량을 채용하는 경우, 청정도 현황을 파악하여 팬의 풍량을 변화시켜야 하지만 청정도가 변화한 후에 팬의 회전수를 높여도 시간적 차이로 인하여 제품에 악영향을 미칠 가능성이 크기 때문에 이 시스템을 실행하기 위해서는 컨트롤 시스템의 소프트웨어가 가장 중요하다고 볼 수 있다.

그림 15와 같이 응답건물의 35%가 배기량 및 외기량의 변유량제어로 클린룸 내의 차압을 검출하여 실압유지에 필요한 외기량을 제어하는 방안을 가장 많이 채용하고 있다.

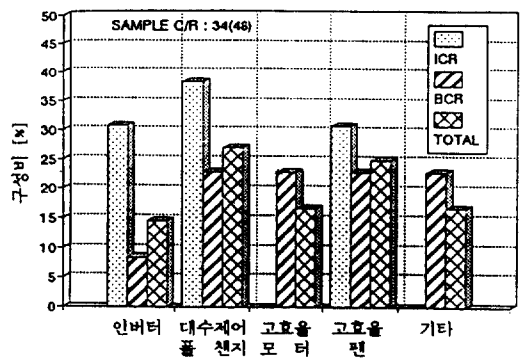


그림 14 반송용 기기의 에너지 절약방법

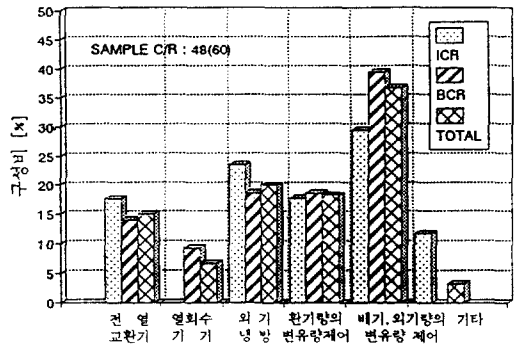


그림 15 환기 및 외기량의 에너지 절약대책

일반적으로 행해지는 것은 작업시에 설계풍량으로 운전하고 비작업시, 야간 및 휴일 등에는 저속운전을 행하는 경우가 많다. 클린룸내에는 국소배기를 필요로 하는 생산기기가 많으며, 이러한 기기들은 상시 전대수가 운전되는 경우가 적음에도 불구하고 전대수분의 배기량을 배출하여 이에 해당하는 외기를 냉각, 가열, 가습 등의 공조처리과정을 거쳐 클린룸내로 반입되기 때문에 많은 에너지의 손실을 초래하게 된다.

배기 및 외기량의 변유량제어, 환기량의 변유량제어와 앞서 설명한 반송용 기기 등에 대한 절약 방안을 함께 병행하여 살펴보면 송풍량을 절감하기 위한 일련의 노력이 많이 적용되고 있음을 알 수 있다. 클린룸은 실내발열부하가 크기 때문에 연간냉방부하가 발생하므로써 겨울철에 외기의 냉열원을 이용하는 외기냉방방식은 약 20%의 채택율을 보이고 있다.

그림 16은 휴일 및 비가동시의 에너지절약 운전방식을 나타낸 것으로 운전정지의 방법이 가장 많이 사용되고 있으며, 그밖의 방법에 있어서는 거의 비슷한 분포를 보이고 있다.

클린룸은 순환풍량이 크며, 필터류 및 덕트계통에서의 압력손실이 높기 때문에 이 부분에 대한 대책이 필요하다.

그림 17과 같이 대상 클린룸의 55%가 필터의 저압손화를 도모하고 있으며, 약 30%가 덕트계를 단순화시키기 위해 건축물의 구체를 공기순환의 챔버로 이용하고 있다. 이러한 구체챔버 이용은 클린룸 내에서의 압력손실저감은 물론 소음 및 진동을 감소시키는 데도 매우 유리할 것으로 판단된다.

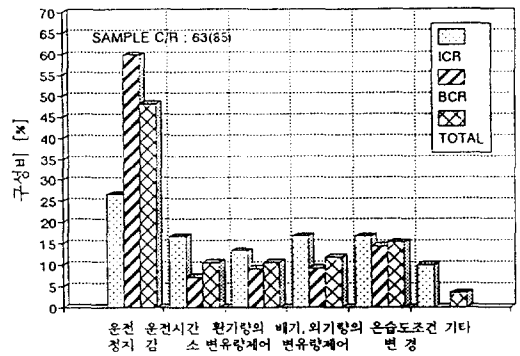


그림 16 휴일 및 비가동시의 에너지 절약대책

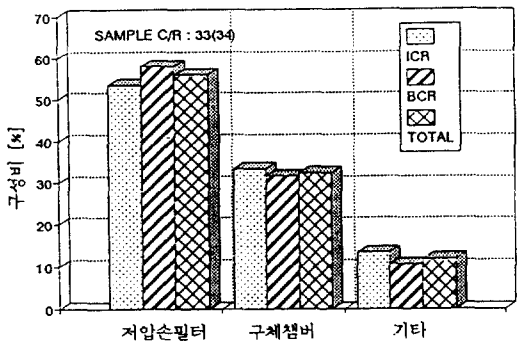


그림 17 압력손실의 절감대책

제품의 생산공정중 청정공간이 요구되는 공정이 소규모일 경우에는 그림 18과 같이 70% 이상이 클린벤취 및 부스형태를 많이 채택하고 있으며, 전면층류 방식에서도 청정공간을 축소하기 위해 터널형식으로 클린룸을 구성한다든지, 팬과 필터가 하나의 유니트로 형성되어 플렉시빌리티와 취출풍속을 자유롭게 조절할 수 있는 기능의 F.F.U.도 사용되고 있다.

일반적으로 전면층류형의 클린룸중에서 실제 고청정도를 요하는 공간을 제외한 통로나 메인테넌스영역이 상당부분이 되기 때문에 고청정역을 필요최소한으로 줄일 수 있는 여지

는 충분히 있다고 판단된다.

단, 이와같은 시스템을 실행할 경우는 고청정역과 준청정역간에 적정한 압력차를 형성시켜 역류가 발생치 않도록 충분한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

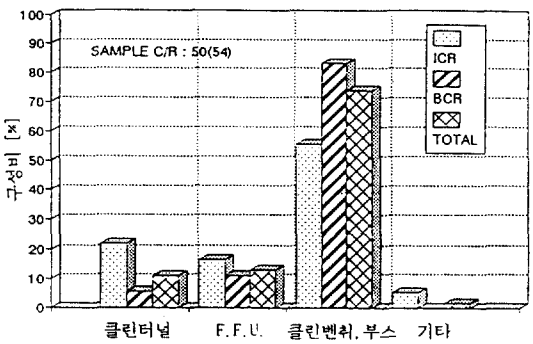


그림 18 청정공간의 축소화

에너지절약 실태를 파악하기 위하여 가동중인 64개 업체 74개 클린룸을 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 표 2와 같이 휴일 및 비가동시의 절약운전, 청정공간의 축소화, 환기 및 외기량의 변풍량제어, 조명설비의 절약운전, 에너지절약형의 열원장치 등이 주로 이용되고 있으며, 그밖의 방안은 거의 비슷한 수준을 보이고 있다.

표 2 클린룸 관련업계에서 실시중인 에너지절약대책

| 절약 항목 | 응답율[1](%) | 실시중인 절약방법 | 채용율[2](%) |
|---|---|---|---|
| 1. 휴일, 비가동시의 절약운전 | 85 | · 운전정지<br>· 변풍량 제어<br>· 온습도조건의 변경 | 48<br>22<br>15 |
| 2. 청정공간 축소 | 68 | · 클린벤취 및 부스사용 | 73 |
| 3. 환기 및 외기량 제어 | 65 | · 변유량제어<br>· 외기냉방 | 55<br>20 |
| 4. 조명설비 | 65 | · 비가동 및 비재실시 조도 감소<br>· 절약형 조명기구 | 65<br>32 |
| 5. 열원시스템 | 53 | · 지역냉난방<br>· 폐열이용<br>· 자가발전 | 47<br>15<br>15 |
| 6. 열원기기 | 50 | · 절약형 냉동기<br>· 자동제어 | 42<br>28 |
| 7. 압력손실 절감 | 45 | · 저압손필터의 사용<br>· 구체챔버 사용 | 55<br>32 |

주) 1. 조사대상 74개 클린룸에 대한 응답율
2. 각 절약항목의 전체응답수에 실시중인 각 절약방법의 채용율

## 6. 맺음말

이상과 같이 초정정공간인 클린룸에 있어서 소개되고 있는 에너지 절약방법과 국내의 실태 등에 대하여 개괄적으로 살펴본 결과, 클린룸내의 생산장비나 열원기기 등의 제조분야에서 검토되어야 할 절약방법이 상당 부분을 차지하고 있으며, 또한 이미 여러가지 절약방법이 적용검토되어 설계에 반영되고 있는 부분도 있으나 앞으로 설비설계의 측면에서 연구되어야 할 항목도 많은 부분이 있는 것으로 판단된다.

이러한 에너지 절약방법은 단독으로써 충분한 효과를 거둘 수도 있지만 여러가지 에너지 절약형 시스템을 갖춤으로써 이루어지는 절약효과는 더욱더 증대되리라 판단되므로 종합적이고도 지속적인 에너지 절약에 대한 연구검토가 뒷받침되어야 할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 심우식, 손장열, 김창수 : 반도체 공장(클린룸)의 공조부하특성에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제11권, 제1호, 1991. 4
2. 클린룸 기술개발 연구보고서(제1~4차년도), (주)삼우종합건축사사무소, 1990.2~1993.1
3. 鎌木正身 : 實踐LSI工場の清淨化技術, LSI工場クリーンルーム省エネルギー, サイエンスフォラム, p.168-199, 1985. 11
4. 日本機械工業會 : クリーンルームの省エネルギー化技術の調査研究報告書, 1990
5. Federal Standard No. 209E : Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Clean Zones, 1992. 9
6. Woo Sik Shim, Jang Yeul Sohn, Chang Soo Kim : The plan of energy conservation of air-conditioning system in semi-conductor manufacturing cleanrooms, 11th London ICCCS Symposium on Contamination Control, p.558, 1992. 9