

# Clean Room의 에너지 절약 시스템

이 춘 삼  
LG 엔지니어링 (주)  
산업설비사업부 / 부장

## 1. 머리말

현대의 산업분야 특히 첨단산업(제조)에서의 에너지 효율성이 높히 평가되어 지는것이 바로 그 사업의 경쟁력과 환경친화력에 지대한 영향을 주는 중요한 요소가 되어가고 있

으며, 특히 공업용 Clean Room은 전자 Device Maker 뿐만 아니라, 약품, 식품 등 광범위한 분야로 확대되어 오고 있다. 그래서, 반도체산업에 있어서는 집적도(集積度)의 향상, 웨이퍼의 대구경(大口經)화에 따라, 에너지소비량도 증가되는 경향으로 나타나고 있

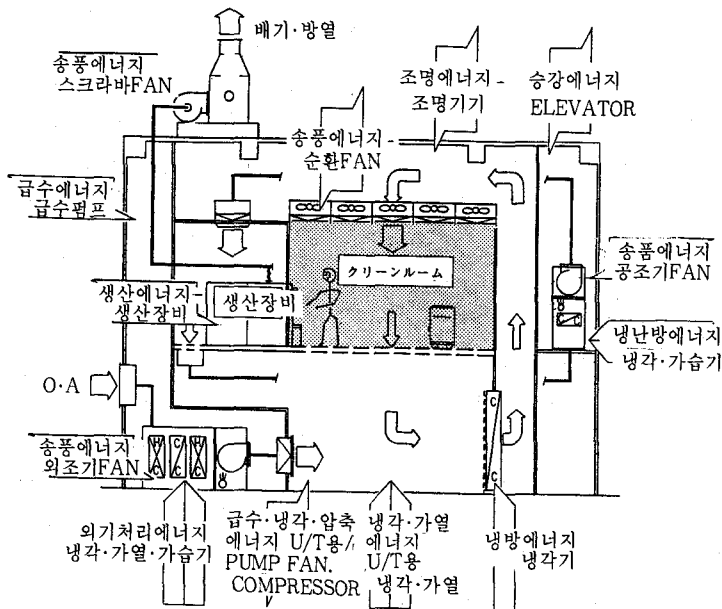


그림 1 에너지 흐름도

다. 한편, 최근의 시장환경은 매우 어렵고, 투자효율을 높이기 위하여 종래의 초기투자와 에너지 사용량을 근본으로 보고, 보다 가일층 에너지 절약 대책이 요구되고 있는 실정이다. 본고에서는 에너지사용량의 추이와 최근의 설계예를 소개하여, 최근의 에너지절약시스템에 대하여 기술한다. 과거의 에너지 절약시스템에 대하여는 본고에서는 생략하고, 최근에 일본에서 시행되었던 사례에 대하여 기술한 것으로 국내에서의 적용도 곧 검토 및 검증을 거쳐 이루어질 것으로 판단된다.

## 2. Energy 소비의 특징

일반적인 반도체 공장의 에너지 흐름을 그림 1에 나타낸다. 또한 전력소비량과 냉방부하의 비율을 그림 2, 그림 3에 나타낸다. 반도체 공장의 전력소비량은, 1.2-1.5KW/m<sup>2</sup>, 냉방부하는 0.3-0.4RT/m<sup>2</sup>h와 함께 매우 다량의 에너지를 소비하는 것으로 추정된다.

에너지 소비의 특징을 열거하면 그림 4와 같다.

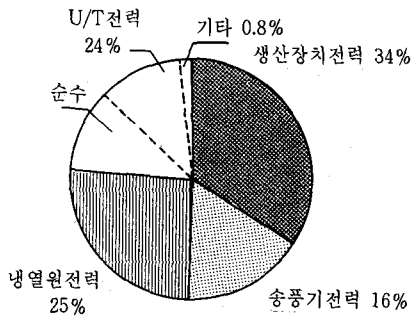


그림 2 반도체 공장의 전력소비량

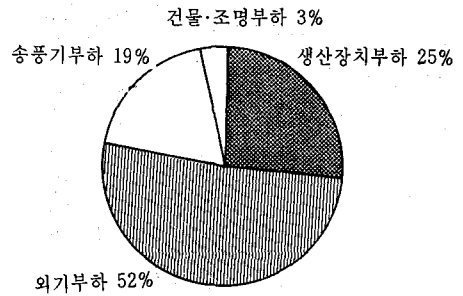


그림 3 반도체 공장의 냉방부하

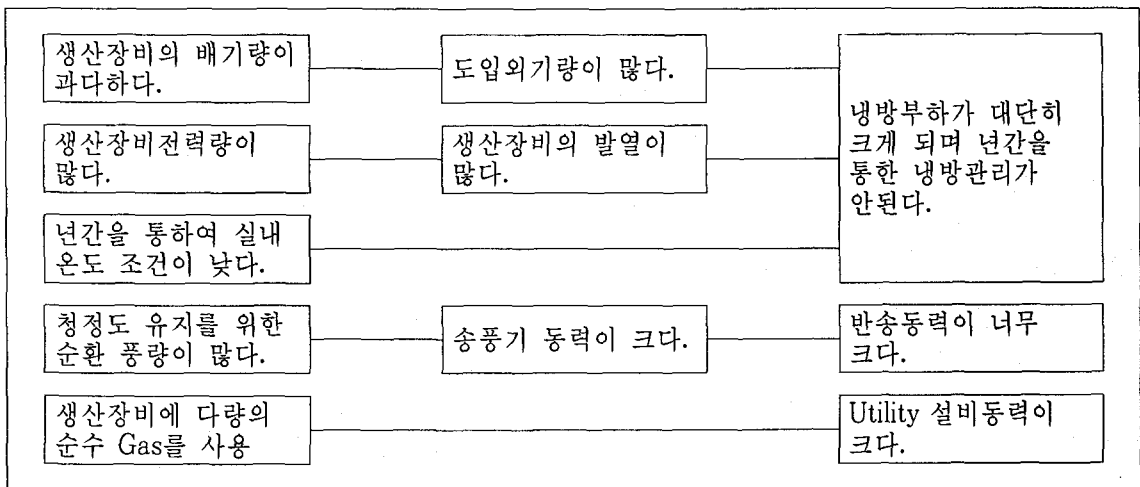


그림 4 에너지 소비의 특징

### 3. Energy 사용량의 추이

반도체 공장의 에너지 사용량은 집적도(集積度)가 4M DRAM, 16M DRAM으로 향상됨에 따라 증대되는 경향으로 가고 있다. 또한, 16M DRAM~64M DRAM에서는 6인치에서 8인치 웨이퍼로 대구경(大口徑)화가 계속적으로 계획되고 있다. 그 이상의 대형화도 예

상된다. 일본의 DRAM 반도체 공장 경우의 에너지 추이를 그림 5에 표시한다.

국내 반도체 공장의 경우도 일본과 크게 차이가 없을 것으로 추정되며, 아래기준은 1M DRAM을 100으로 기준한 것으로써 향후 64M DRAM, 256M DRAM, 1G DRAM으로의 공장 규모를 예상할때 비율을 감안하여 적절한 산정에 도움이 되었으면 한다.

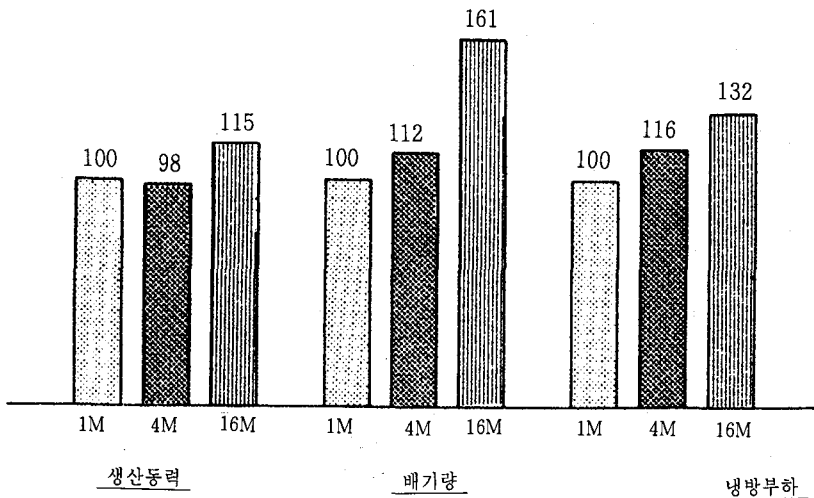


그림 5 Energy 사용량의 추이

### 4. Energy 절약 방법

Clean Room의 에너지 절약 방법으로 생각할 수 있는 항목을 그림 6에 표시한다.

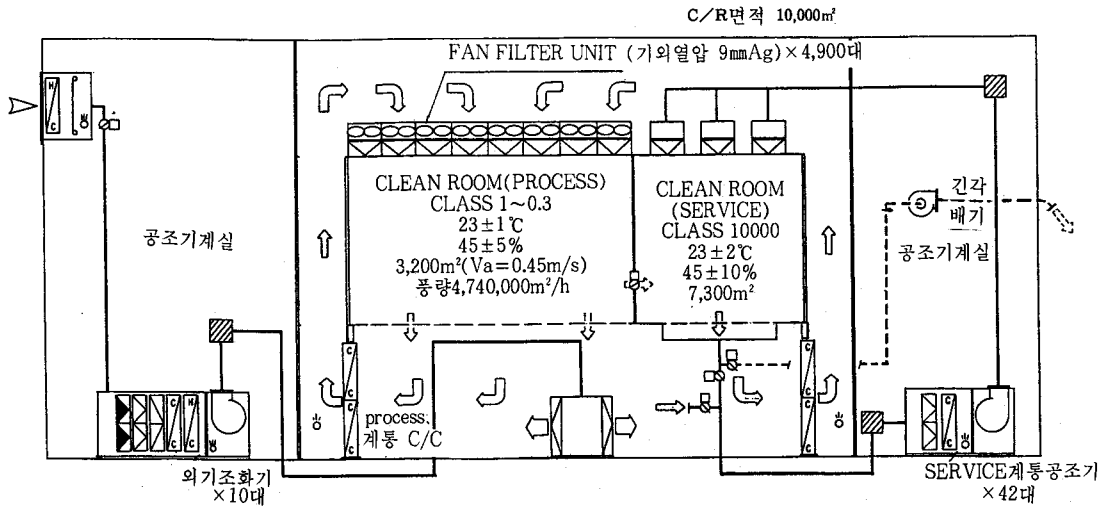
이러한 모든 각각의 항목이 검토되어, 각 공장의 실태에 맞추어 실시되어야 하며 최근의 동향과 실시예를 통하여 기술한다.

#### 4.1 최적설계조건

설계조건은 과거의 설계치를 그대로 사용하는 것이 아니고, 과거 실적치와 미래를 고려한 조건에 따라 항상 고쳐나가는 것이 필요하다. 특히 기존 생산라인을 운영중인 경우에 더욱 유리한 최적설계조건을 제시할 수 있다. 그것은 과거의 경험치를 토대로 예측이 가능하므로 항상 운전 조건에 필요하다고 생각되는 것은 모두 Data Base화 하는 것이 좋다.

◆ 최적설계조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 생산기기 부하율의 적정화(동시 부하율과 순간 부하율)</li> <li>○ 실내온습도 조건의 설정</li> <li>○ 생산기기 배기량의 설정</li> <li>○ 청정도 및 Downflow 풍속의 적정화</li> </ul>
◆ 고효율화	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 반송계통 동력의 효율증대                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환풍량의 축소</li> <li>- 순환시스템 압력손실의 축소</li> <li>- 펌프동력축소(온도차 시스템)</li> </ul> </li> <li>○ 효율의 개선                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 냉수출구 수온에 의한 냉동기기 효율의 개선</li> <li>- 가변풍량시스템(외기량제어)</li> </ul> </li> </ul>
◆ 자연에너지 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 외기냉방 시스템</li> <li>○ 동절기의 냉수제조시스템                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 냉각탑에 의한 Pre Cooling</li> <li>- 외기에 의한 예열회수</li> </ul> </li> </ul>
◆ 열회수	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 물의 재이용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순수회수</li> <li>- 배수회수</li> <li>- 증기 Drain 회수</li> </ul> </li> <li>○ 배기열회수                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 배기의 열회수 및 재이용</li> <li>- 장치냉각수의 이용</li> <li>- Gas 기화열의 이용</li> <li>- Co Generation 시스템의 배기열 이용</li> </ul> </li> </ul>
◆ Cost	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 경제적인 재질선정</li> <li>○ 배관, Utility Line의 단축화 System 구성</li> </ul>

그림 6 Clean Room의 에너지 절약 방법



기호	명 칭	효 율	기호	명 칭	효 율
	HEPA, ULPA FILTER	ULPA DOP99.999 (0.1μ) HEPA DOP99.97 (0.3μ)		PRE FILTER	—
	CHEMICAL FILTER	—		AUTO ROLL FILTER	AF180%
	활성탄·FILTER	—			
	중성능 FILTER	OAC NBS90% AC NBS30%			

그림 7 시스템 설계예(FFU 시스템)

	① 순환공조기방식	② 축류 FAN방식	③ FAN FILTER UNIT방식
FLOW그림			
	CLEAN ROOM(PROCESS) CLASS 1 23±1°C 45±5% 3,200m²(Va=0.45m/s)	CLEAN ROOM(PROCESS) CLASS 1 23±1°C 45±5% 3,200m²(Va=0.45m/s)	CLEAN ROOM(PROCESS) CLASS 1 23±1°C 45±5% 3,200m²(Va=0.45m/s)
조 건	<ul style="list-style-type: none"> <li>FAN 풍량 4,740,000m³/h</li> <li>FAN 정압 45mmAq</li> <li>FAN 효율 60%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FAN 풍량 4,740,000m³/h</li> <li>FAN 정압 55mmAq</li> <li>FAN 효율 75%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FAN 풍량 4,740,000m³/h</li> <li>FAN 정압 20mmAq</li> <li>FAN 효율 40%</li> </ul>
소비전력	970kW	1120kW	645kW

그림 8 순환송풍시스템 소비전력 비교

#### ◦ 실내온습도 조건

일반적으로 반도체 공장의 Clean Room의 온습도 조건으로는 23℃, 45% RH가 사용되고 있으며, 프로세스나 작업자를 위해서 문제가 될 수도 있지만 23℃에서 1℃ 설정치만 바뀌어도 에너지 절감효과는 매우 크다.

따라서, 온도설정에 대한 면밀한 분석과 결단이 필요하다. 이러한 부분은 앞에서 언급한 바와 같이 과거의 실적치가 향후 예측치와의 문제를 해결하는데 많은 검토대상중 가장 중요하며, 경제성 이외에 부가적인 부분의 효율도 높일 수 있기 때문이다.

국내에서는 경기, 중부지역에서의 온도 설정시 1℃ 정도의 온도 편차를 높이는 것도 검토해 볼만 하며, 경남지역에서의 온도설정은 면밀한 검토가 있어야 한다.

#### ◦ 생산기부하율

과거에는 약 30%로 전해지고 있지만, 그러나, 열배기, 냉각수 등에 따라 실제로는 실태에 맞는 부하율을 선정하는 것이 필요하다.

실제로 적정한 동시가동율을 선정하는 작업이 가장 먼저 이루어져야 한다. 이것은 전기 전력소모량의 산정의 중요한 변수로 작용하기 때문이다. 국내의 전력공급 여건으로 매우 중요한 사안이다.

#### ◦ 청정도와 Down Flow 풍속

과거에는 Clean Room의 청정도를 확보하기 위하여 Down Flow 풍속을 빠르게 하여 전체 순환풍량이 증대되는 경향이 있다. 그러나, 이러한 것들은 공정 Area에서 웨이퍼의 Dust 부착량을 측정할 Particle 관리 측면에서, 청정도와 풍속의 적정화를 꾀할 필요가 있다. 현재 반도체 산업에서의 Clean

Room 내에서의 풍속은 과거에 비해 상당히 저속화되어 가고 있으며, 반대로 Filter 풍량은 많아지고 있는 추세이다. 더불어 두께도 얇아져 가고 있다. Filter 자체의 가격 절감효과도 있지만 System 구성자체도 많은 변화를 주는 요소이므로 다풍량 저속 Filter의 개발 및 선정에 충실하여야 한다.

#### 4.2 고효율화

Clean Room 시스템 경우, 열원계통과 순환송풍계통의 반송동력 절감이나 효율을 개선하는 것은 상당한 에너지 효과가 크다 하겠다.

최근에 특히 순환송풍계통동력의 절감을 위하여, Clean Room 시스템으로 Fan Filter Unit(FFU)가 많이 채용되고 있다. FFU 시스템의 특징으로는 다음과 같은 것을 열거할 수 있다.

- 천정면을 Module화하여 FFU의 증설이 간단하여 Flexibility가 높다.

- 순환 Fan 계통의 압력손실이 적고, Fan, Motor의 고효율화에 따라 송풍동력을 더욱 절감시킬 수 있다.

- 천정 Chamber의 압력이 Clean Room보다 적기 때문에 천정면에는 Gasket 등의 간단한 Seal로 오염의 Clean Room 내로의 침입을 방지한다.

- FFU 1대의 진동이나 발생소음이 적다.

- FFU+Coil Unit 방식을 채용하면 공조기 면적을 줄일 수 있다.

- FFU 시스템의 기본적인 설계예를 그림 7에, 순환송풍시스템의 소비전력 비교를 그림 8에 표시하였다.

- 고장시 전체가 아닌 부분고장으로 Ma-

intenance의 효과를 높일 수 있다. 즉 생산 Line을 가동하면서 설비수리가 가능한 장점이 있다.

상기 FFU 시스템 외에 요근래에는 SMIF 시스템이 채용되는 경우가 많아지고 있다. SMIF 시스템의 약점은 반송설비 및 생산장비 운영중 고장이 발생하는 경우의 오염 및 회복에 대한 대책이 아직까지 완벽하다고 하기에는 여러가지 해결되어야 할 문제가 있다. 근래에는 많은 보안을 거쳐 생산라인에 큰 무리없이 운영되는 사례도 있다. 그러나, 국내여건에서는 운전자들의 무경험 또는 운전미경험으로 인한 두려움과 생소한 System에 대한 자신감이 결여되어 있는 부문도 고려하여야 할 것이다. 완벽한 System 숙지와 외국선진생산업체의 현장운영 기술 측면에서의 벤치마킹도 생각해 볼만하다 하겠다. 선진국에서는 Container System(1개의 공정이 1개의 Package속에 모든 필요한 장비 및 Utility까지 포함)을 개발중이라는 이야기도

들려오고 있는 현실로써 만약 Container System이 실용화된다면 현재와 같은 공장건물 규모의 약 1/2~1/4까지 축소가 가능할 것으로 예측해 볼 수 있다.

### 4.3 자연에너지의 이용

자연에너지를 이용한 열원의 에너지 절감 시스템으로서 냉각탑에 의한 Pre Cooling System이 있다. 일반적으로 축열조를 이용하는 시스템이 많으나, 그림 9에서는 입형온도성층탱크를 이용한 Precooling System의 예가 있다. Clean Room은 제조장치 발생열, 송풍동력의 발열에 의하여 동절기에도 냉각이 필요하다. 이때 필요한 냉수를 밀폐식 냉각탑과 입형 온도성층탱크로 조합시켜 시공한 예이다. 입형온도성층(立形溫度成層)탱크를 이용하는 특징으로 다음과 같은 것을 열거할 수 있다. 이 입형온도성층탱크를 이용한 예는 국내에는 현재 적용예가 없는 것으로 사료되나, 한번 검토하여야 할 항목이다.

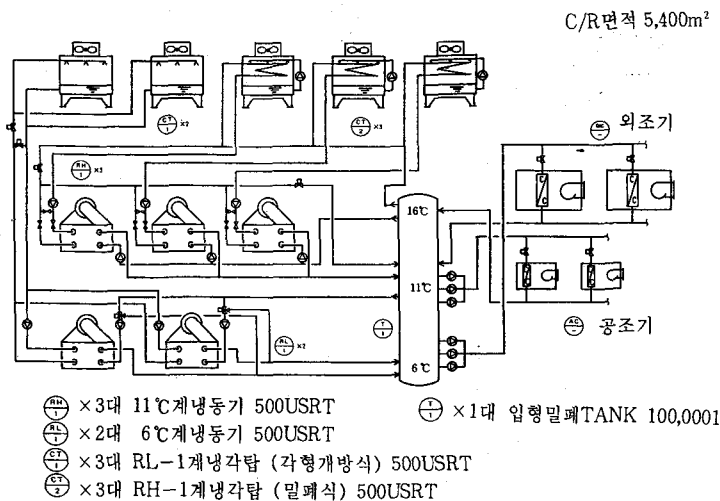


그림 9 Pre Cooling System

- 입형 Pistonflow 구조에 의해 탱크내의 물이 자연적으로 온도성층을 형성하게 된다.
- 밀폐식 배관시스템이 되기 때문에 펌프 동력의 최소화와 수질의 안정화가 가능하다.
- 냉동기의 적절한 운전 및 대수 제어가 용이하며 Flexible한 시스템 구성이 가능하다.

#### 4.4 열회수

열회수는 물의 재이용 및 폐열회수 시스템이 채용되어 왔으나, 그중 일부 예로써 Gas 기화열의 이용이 있다. 그것은 생산 Line에 대량으로 사용되는 액화질소의 증발기를 탱크에 집어 넣어 탱크내에서 고온냉수를 도입하는 것으로 기화열을 이용하여 저온냉수를 취출하는 시스템이다. 실제로 생산공장에서 운전상황을 파악하는 것으로 가능한 열회수 시스템을 검토하여 가는 것이 중요하다.

### 5. 향후의 Clean Room설계와 Energy 절약 System

지금부터 Clean Room은 다양한 요소기술을 결합시켜, 총합적인 Clean Technology로서의 확립이 중요하다 하겠다. 그래서 Clean Room 기술이 보다 고도화 되는 현상으로서 에너지 절감 시스템은 필요한 공간을 필요한 청정도로 확보하고 국소화하며 생산효율을 높이고 FA화 하는 것으로 그 요점을 잘 정리하면 그림 12와 같다.

#### 5.1 국소화(局所化)

국소화는 높은 청정도를 요구하는 Clean Room의 초기 Cost나 Running Cost의 절감에 필요한 조건이다. 그러므로, 에너지 절감을

위하여 국소화를 적극적으로 추진하는 것이 중요하다. 국소화에 관하여는 여러가지 연구가 행해지고 있으나, 아래와 같이 금후 해결하지 않으면 안되는 과제가 다수 있다.

- Flexibility
- 온습도 분포
- 다량배기장치 주변의 기류
- 상호 오염 방지
- 반송 오염

국소화의 기본개념을 도입한 시스템 예를 그림 13에, 보다 국소화를 추구하여 생각해 낸 시스템 예가 그림 14이다.

또한, 국소 Clean화의 시스템으로서 기밀성이 높은 Wafer 상자가 있는 SMIF Pod를 이용한 SMIF 시스템의 도입도 검토되어야 하겠다.

#### 5.2 FA화

최대의 발진원인 사람이 제조작업에 개입되어, 제조환경의 청정도와 작업의 안정도가 함께 방해되고 있다. 고품질, 고성능으로서의 무인화가 요구되며 Wafer 공정간 반송이나 Handling의 자동화를 포함한 장치간 반송시스템 등의 자동화가 추진되고 있는 현실이다.

FA화는 생산효율을 높여 에너지 절감측면에서는 불가피한 것으로 계속적으로 추진된다. 그러나, 동시에 고도로 복잡다양한 공정을 FA화하기 위한 과제를 아래와 같이 열거한다.

- ① Hard, Software의 관리운영체계의 확립
  - 생산장치와 Matching
  - 정보관리
  - 긴급대응



- ② Wafer의 대형화
  - 천정반송

- 바닥반송
- ③ 장치갱신 Cycle

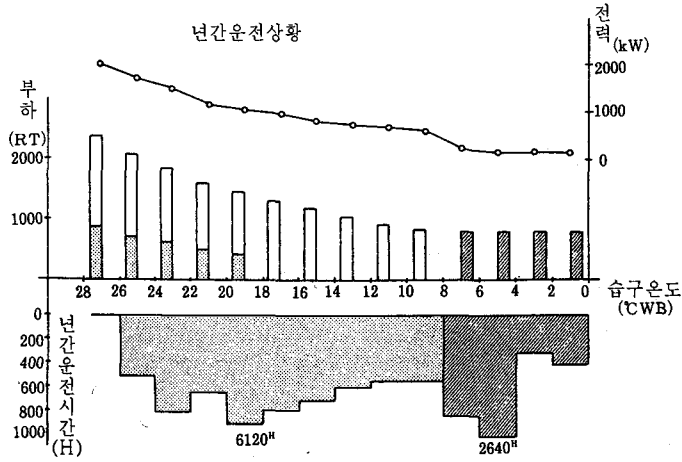


그림 10 년간 운전 상황

	① 냉수1계통(6/11℃) 방식	② 냉수2계통(6/11, 11/16℃) 방식	③ 냉수2계통÷FREE COOLING 방식
그림			
부하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2500USRT (500USRT : 터보 냉동기×5대)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고온 (11/16℃) 1500USRT (500USRT 터보 냉동기×3대)</li> <li>• 저온 ( 6/11℃) 1000USRT (500USRT 터보 냉동기×2대)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고온 (11/16℃) 1500USRT (500USRT 터보 냉동기×3대)</li> <li>※ 외기 8℃WB이외의 FREE COOLING 운전</li> <li>저온 (6/11℃) 1000USRT (500USRT 터보 냉동기×2대)</li> </ul>
운전비용	100	93	83

그림 11 Pre Cooling System Cost 비교

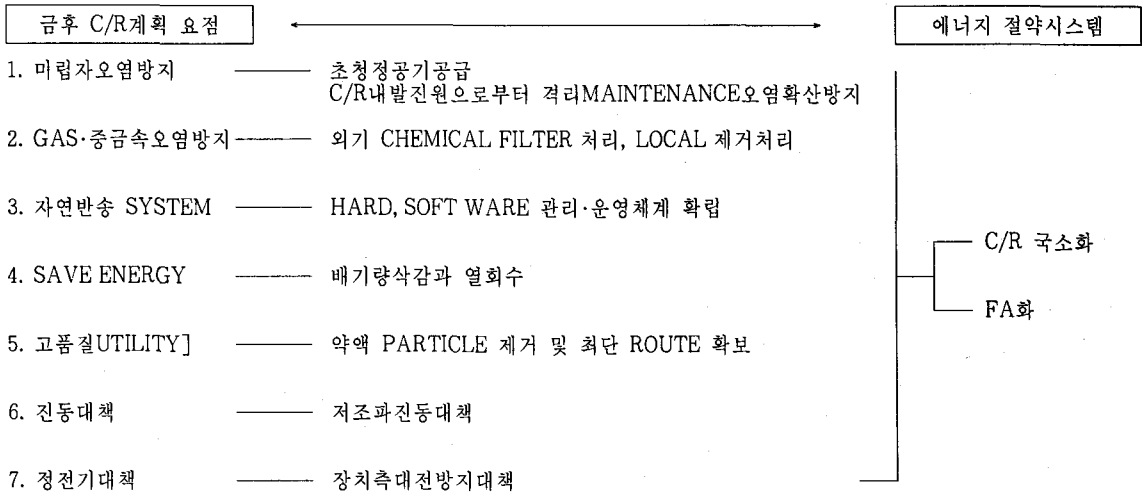


그림 12 현재 CIR 설계요점과 향후 에너지 절약시스템 전환과정

6. 맺음말

이상, LSI반도체공장 Clean Room의 에너지 소비와 에너지 절감 방법, 그리고 금후의 Clean Room 동향에 대하여 기술하였다.

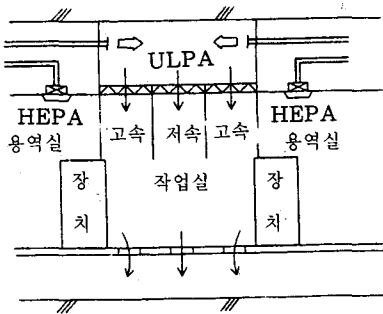
종합적으로 논하는 에너지 절감으로는  
 ① 총합적인 효율을 좋게

② 필요에 대한 제품의 비율

③ 생산효율을 높인다.

이다. 여기서, 밸런스를 위한 Total System의 채용에 따른 에너지 절감을 유도하는 것이 중요하다. 향후 그림 14에서와 같이 Compact 와 함께 Multifunction 시스템으로 발전될 것으로 판단된다.

CASE-1 :



CASE-2 :

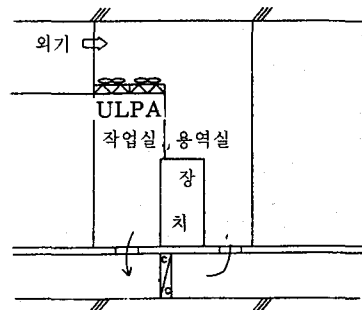


그림 13 Clean Room(1)

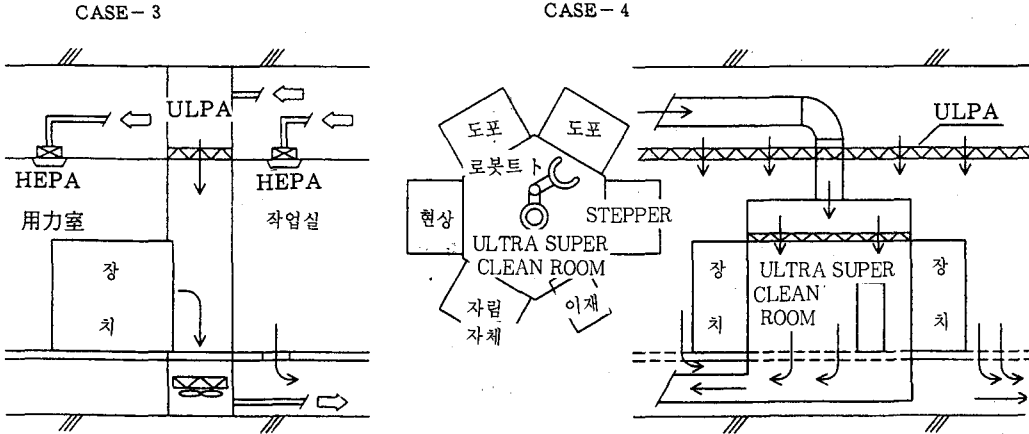


그림 14 Clean Room(2)

- 참고문헌 -

日本 Clean Technology 1997년 1월 Vol.7,

No.1 特集① Clean Room의 성에너지 설계  
 三樣工業(株) 秋元 勝 原稿 No. L08-05. 번  
 역 및 추가

**투고 환영**

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 “업계동정”란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.