클린룸의 에너지 절감 대책

이 상 인
삼우종합건축사사무소
H/T기술사

1. 반도체공장의 에너지절약 개요

1.1 에너지절약의 필요성

반도체공장은 다른 제조산업과는 달리 대량의 에너지가 소비되고 있다. 그 사용되는 에너지를 크게 분류하면 다음과 같다.

1) 외기처리 에너지

반도체 제조공정에 있어서 사용되는 다량의 산, 알카리, 화학약품 등의 부산물로 배출되는 배기종류는 개략 산, 알카리배기, 열배기, 유기 및 가연성배기 등이 있다.

이 배기량은 외기를 도입하여 처리하게 되는데 반도체 제조공정은 엄격한 온습도 유지관리가 요구되고 있다. 즉 외기의 온습도조건에 따라 제습, 냉방, 재열, 가습, 난방 등의 조합된 과정을 통해 막대한 에너지가 소비되고 있는 것이다.

2) 제조장치에 소비되는 에너지

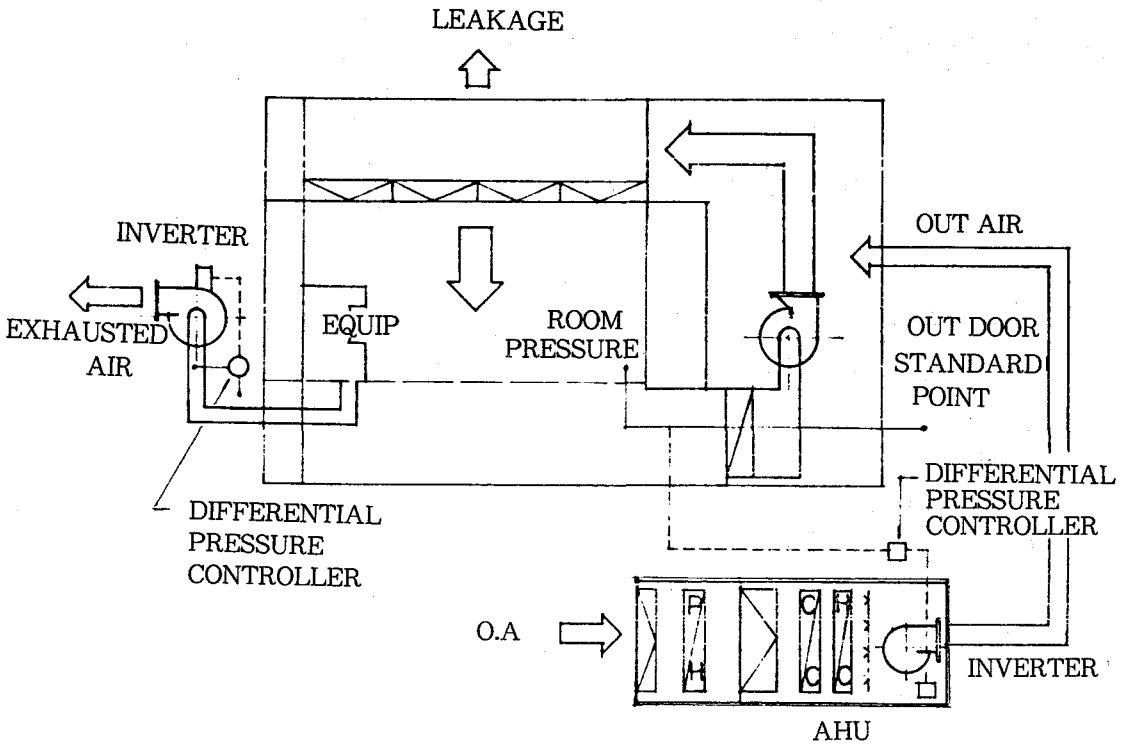
제조장치에 대량의 전력이 소비되고 있다. 이러한 전력은 공조부하의 측면에서는 실내발열부하로서 작용되어 Zone 공조기 또는 Dry Cooling Coil로 제거해야될 열량으로 되고 있다. 이외에도 순수, 가스, 화학약품, 폐수, 배기처리설비를 운전하기 위해서도 대량의 동력이 소비되고 있다. 공조의 예를들면 일반건물의 냉방부하는 공조면적당 100~120 kcal/㎡·h정도이나 반도체 제조공정은 1500 kcal/㎡·h을 상회하고 있다.

또한 공조풍량의 경우에도 일반건물은 7~10 회/h의 환기회수로 송풍되지만, 클린룸에서는 class 1000일때 50~60 회/h, class 100~1인 경우, 400~600회/h정도의 송풍량이 필요하게 된다. 따라서 이러한 막대한 소비에너지를 어떻게 절감할 것인가 하는 것이 제조원가측면 나아가서는 귀중한 자원 및 외화의 절약면에서도 중요하다 하겠다.

1.2 LSI 공장에 있어서의 공조부하특징

1) 기기발열이 크다.(전공조부하의 15%)
2) 반송동력부하가 크다.
   - 높은 환기회수로 인하여 순환팬의 동력이 크다.
   - 송풍팬의 동력증대로 송풍발열부하가 크다.

2. 에너지 절감방안



<그림 1> 클린룸의 공조 계통도

1) 배기덕트상에서의 압력 감지 및 배기량의 인버터 제어
2) 클린룸의 압력 감지 및 외기량의 인버터 제어
3) 탬퍼의 개도율 조정에 의한 후드를 통한 배기량의 감소
4) 클린룸의 에어리크량 감소

2.1 외기부하의 저감

2.1.1 개요

외기부하는 전체 클린룸 공조부하의 65% 이상을 차지하고 있어, 외기부하의 저감은 에너지 절감항목에 가장 효과가 크다고 하겠다. 외기부하량은 주로 생산장비의 배기량과 클린룸의 오염 방지에 필요한 가압풍량의 합으로 결정된다.

클린룸에서 배기계와 급기계의 Mode 는 그림 1과 같다.

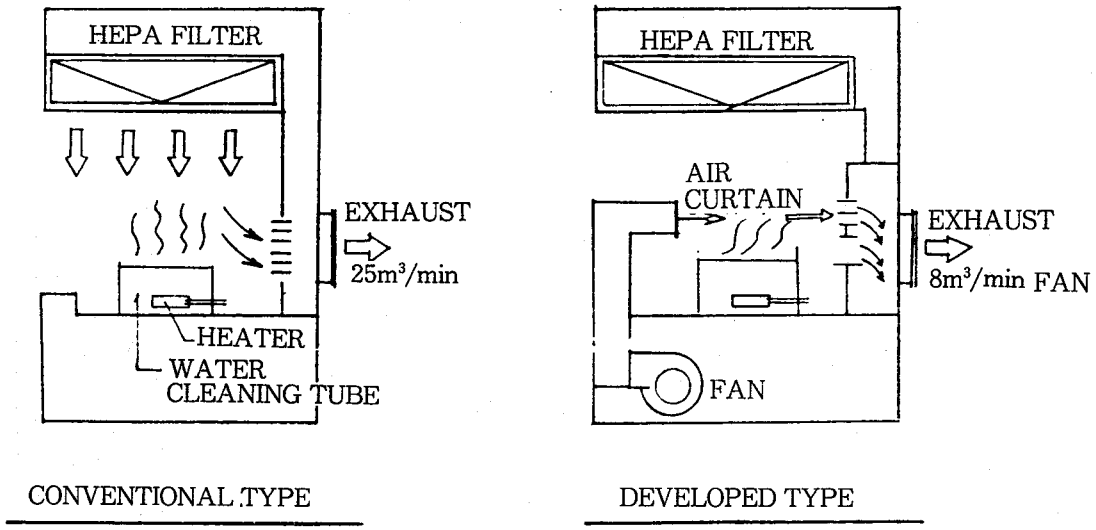
2.1.2 외기부하 저감의 체크 포인트

1) 배기계

① 배기량의 저감(생산장비의 최적배기량 설정)

② 제조장치의 사용상황에 대응한 배기풍량의 최적제어(인버터 등에 의한 제어), Wet Station에 대한 저배기 방식의 시스템을 소개하면 그림 2와 같다.

2) 급기계



<그림 2> 제조장비의 배기량 절감

<표 1> 각종 배기의 구성

종 류	구성비(%)	종 류	구성비(%)
ACID/ALKALI	35~45	FLAMMABLE	10 내외
ORGANIC	5~10	HEAT	10~20
ARSENIC	5 내외	GENERAL	10~20

① 실내압 일정 제어 시스템에 의한 외기풍량의 최적제어

② 실내압의 최적설정

3) 배기의 폐열회수(일반배기, 열배기 등)

2.1.3 외기부하의 저감방안

1) 열(Heat) 및 일반(General)배기의 폐열회수

반도체 공장에서의 배기종류와 구성비는 표 1과 같다.

표1의 배기중 이용가능한 배기는 열 및 일반배기로서 대략 전체 배기중 30% 내외를 차지하게 된다. 그 이용 방안으로 히트 파이프나 전열교환기를 사용한 폐열회수방법을 이용할 수 있으나, 전열교환기 사용시에는 배기 유해성분으로 인한 기기의 부식에 주의를 해야한다.

1) 열배기 및 일반배기의 직접이용

열배기 및 일반배기의 성분을 면밀히 검토하여 반도체 생산에 악영향을 미치지 않는

배기를 공조하여 클린룸내에 직접 이용하는 방안을 생각할 수 있다.

2) 동계의 외기이용

반도체 제조공장은 제조장치의 발열에 의해 연간 냉방운전을 필요로 한다. 따라서 동계의 저온외기를 이용한 냉동부하의 저감방안은 상당한 효과를 기대할 수 있다. 반도체 조립공정에서 Zone 공조기 사용시, 동계의 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 발열의 냉각을 외기로 처리하는 경우는 공조기 입구전에 리턴공기와 혼합하여 코일을 통과시키는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 충분한 크기의 혼합챔버가 필요하나 이러한 공간이 불가능한 경우 바닥하부의 유틸리티 공간에 외기 덕트를 설치하여 리턴공기와 혼합시키는 방법도 생각할 수 있다. 그러나 이 방법을 사용할 경우는 외기의 분진처리에 주의해야 한다.

② 동계에 외기도입시 주의해야 할 사항

Built－up－Unit 등에 의해 일괄제어되는 반도체 프로세스구역이나 제어 범위가 23±0.2℃, 45±5%정도로 엄밀한 온습도조건으로 요구되는 경우는 외기도입시 온도 및 습도의 제어 범위 내가 되도록 주의한다. 또한 외기도입 덕트는 단열을 철저히 하여 결로를 방지한다.

2.2 순환동력의 저감

2.2.1 클린룸의 송풍동력

클린룸의 순환 송풍동력은 다음식에서 구해진다.

$$W_h = \int_0^T \frac{Q \times H}{6120 \times \eta}$$

W_h : 전 력 량(Kw.hr)
T : 운전시간(hr)
Q : 순환풍량(m^3/hr)
H : 정 압(mmAq)
η : Fan의 효율

팬의 송풍동력을 저감시키기 위해서는 순환풍량을 적정하게 설정하고 (순환풍량 Q의 저감)순환계 저항을 적게하며 고효율 팬을 선정해야 할 것이다.

2.2.2 순환풍량(Q)의 적정선정

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

Fed 209에 의하면 Class 1을 유지하기 위해서는 0.45 m/sec로 정의되고 있는나 실제적으로 0.35～0.4 m/sec의 취출풍속으로는 고청정공간을 확보하는데는 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 그러나 이러한 취출풍속을 낮추는 시도가 발전·정착되기 위해서는 필터면에서의 취출풍속과 웨이퍼상에서의 오염관계를 규명할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 설계시 다소 풍량이 과다하게 설정되어 있다 하더라도 클린룸의 미립자량에 따른 Pitch Control 회전수 변환 등을 이용한 순환풍량의 제어가 이루어져야 할 것이다.

2.2.2 송풍계 저항의 저감

송풍계 저항을 저감하기 위해서는 송풍계를 구성하고 있는 각 요소에 대한 충분한 검토가 필요하다.

1) 덕트 경로의 단순화
2) 저압손 필터의 사용
3) 적정 소음기의 선정 (예) Muffler Type 과 Splitter Type 의 비교선정
4) 필터 및 코일의 통과풍속을 최적화
5) 코일 열수의 적정 산정

2.3 제조장치의 발열량과 발열부하율에 대한 에너지 절약

2.3.1 공조부하 계산용 제조장치 발열량 결정

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

따라서 부하율과 가동율을 고려한 실제의 발열량을 추정하는 것은 에너지 절약 및 건설비의 저감에 있어 중요하다 하겠다.

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.

일반적으로 확산로에서는 0.3~0.4정도가 적용되고, 기타 발열이 적은 장비는 0.3이내로 적용하는 것이 일반적이다.

2) 냉각수에 의한 냉각효과

발열량이 많은 제조장치에서는 냉각수가 필요로 하기 때문에 이에 대한 냉각효과를 고려해야 한다. 예를 들어 확산로, Mould구역은 32℃→37℃ 냉각수가, 상압 CVD, Dry-Etching 등은 20℃ → 25℃ 의 냉각수가 필요로 하고 있으며, 냉각수에 의한 제거열량은 유량과 △t에 의해 계산된다.

그림 3에 장치내열교환부의 저압손과 고효율화를 위해 냉각코일을 개선한 예를 소개한다.

3) 배기에 의한 효과

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

2.3.2 제조장치의 발열에 의한 에너지 절약

1) 제조장치의 발열에 대한 에너지 절약

제조장치에 전력사용이 많은 경우에는 그 장치에서의 발열에 의해 순환회수가 결정되어 송풍동력이 증대하게 된다. 제조장치가 클린룸내에 미치는 발열을 억제하기 위해서 장치의 수냉화를 도모하는 것은 반송동력의 저감을 위해 큰 의미를 갖는다.

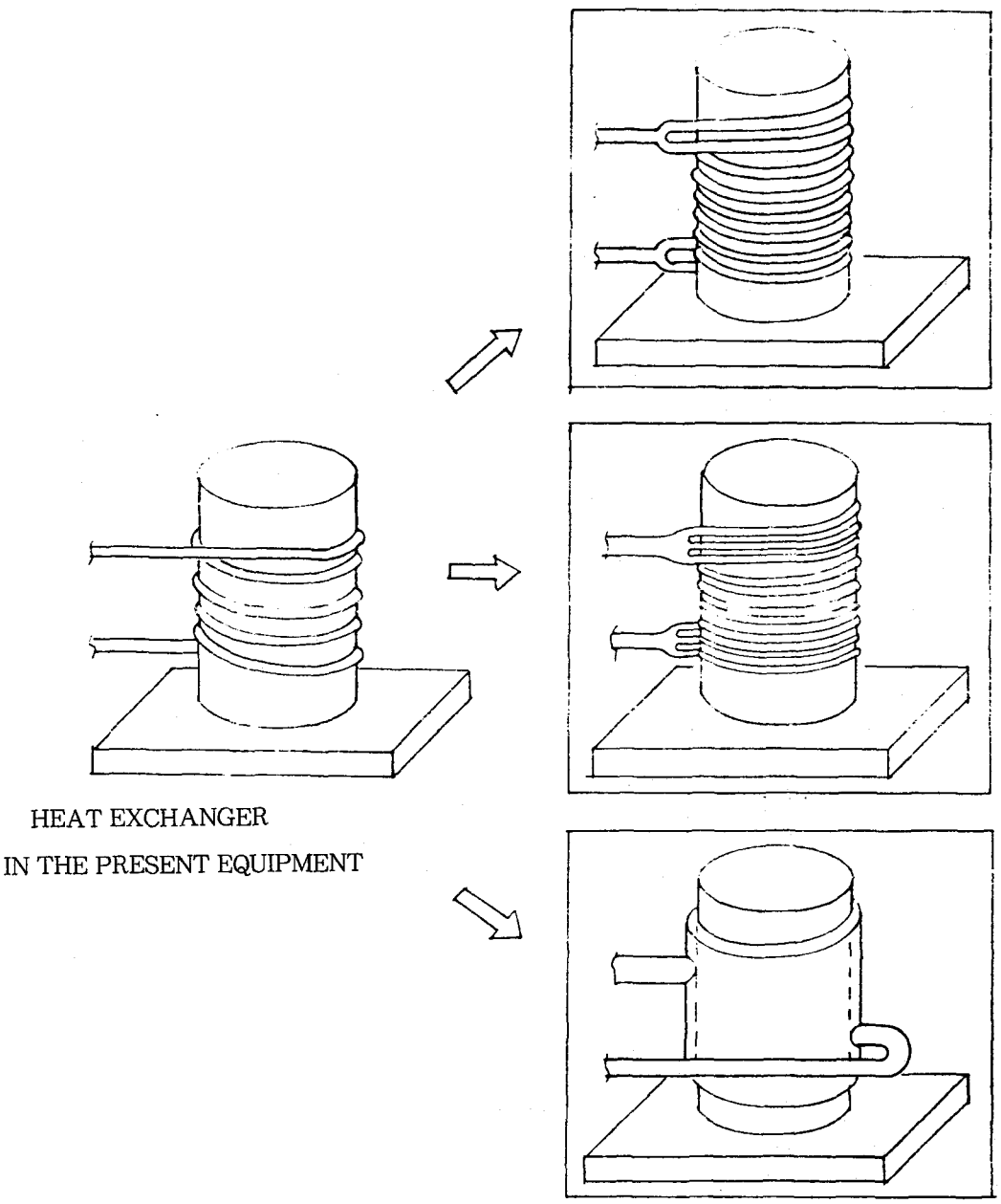
2) 발열부의 열처리

확산로의 노체실은 온습도 및 청정도가 엄밀하지 않기 때문에 팬 코일, 수냉 팩케지등으로 현열처리를 행하여 주공조기의 용량을 감소시킬 수 있다. 또한, 발열부는 서비스구역과 같이 엄밀한 온습도조건을 필요치 않는 장소에 설치하는 것이 바람직하다.

3) 장치냉각수의 회수열 이용

장치에서의 회수열과 배기에서의 회수열은 35~40℃의 냉각수로 회수되고 일반적으로 회수 시스템을 냉각탑, 개방식 수조 및 온도상승시의 냉수에 의한 Back - up 용 열교환기에 의해 구성된다.

회수열은 사무실 부분의 난방, 순수의 원수가열등에 이용할 수 있다. 냉각탑에 의한 냉각분을 순수장치에 사용하는 원수를 이용하



<그림 3> 장치내 열교환부의 저압손화와 고효율화

여 결과적으로 원수의 가열을 하는 것도 가능하다. 그 이유는 R.O가 25℃에서 최대 효율로 되기 때문에 원수의 가열이 필요하고 종래는 보일러에 의해 행해진 가열량을 줄일 수 있기 때문이다.

2.4 기타

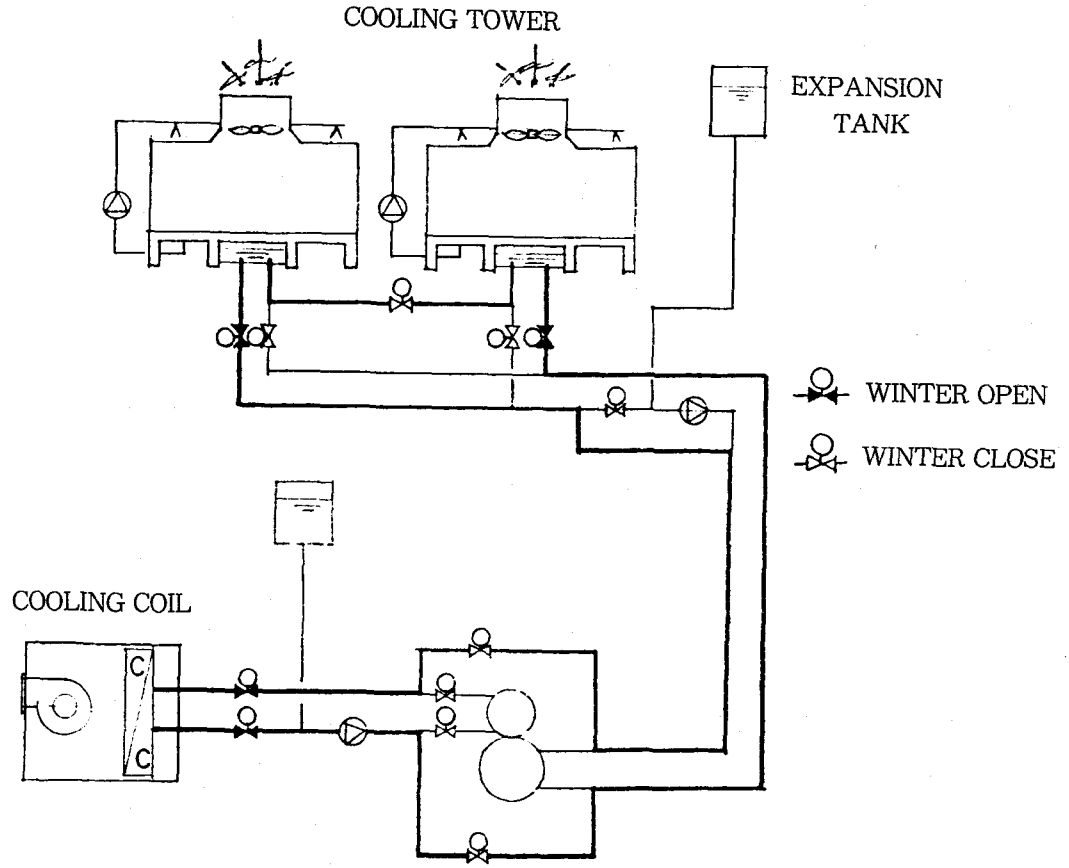
2.4.1 냉각탑에 의한 대기 냉열원 이용(동기)

반도체 제조공장은 전술한 바와같이 장치 발열이 과대하여 동계에도 냉방을 필요로 하고 있다. 따라서 냉각탑으로 외부의 저온공기와 순환수를 열교환하여 냉각수를 생산함으로써 냉방 및 Process Cooling Water 로 이용 가능하다.(그림 4 참조)

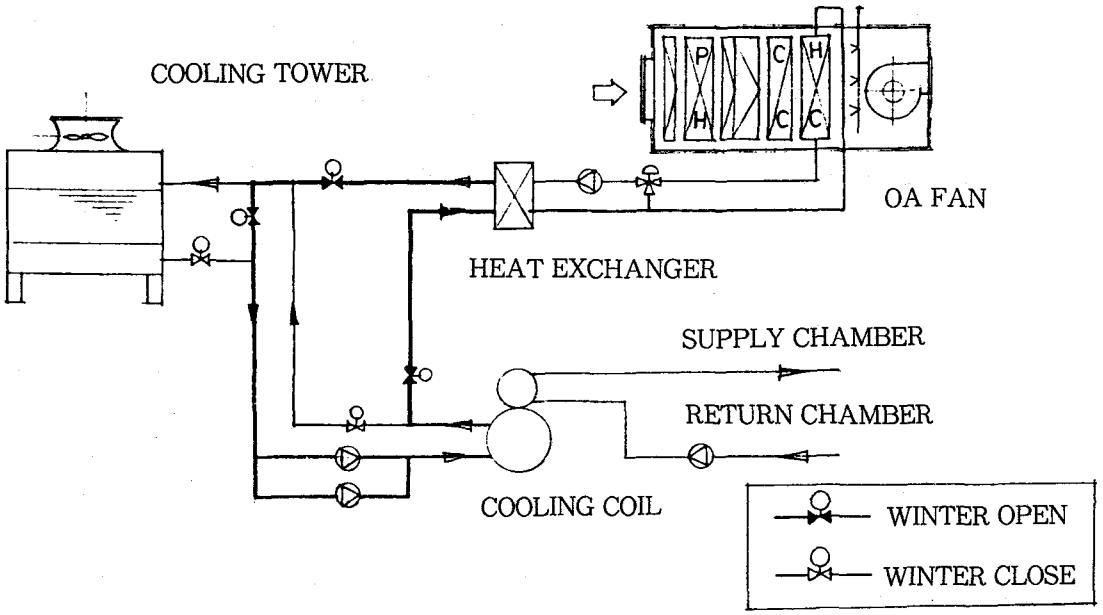
2.4.2 냉동기의 냉각수에 의한 온열원 회수

반도체 제조공장에서는 연중 냉방을 행하기 때문에 반드시 열방출이 따르고, 그 열을 회수하여 제습기의 외기처리용 열원으로 이용할 수 있다.(그림 5참조)

3. 결언



<그림 4> 냉각탑을 이용한 냉열원 시스템(동계)



<그림 5 > 냉동기의 콘덴서 폐열회수 시스템(동계)

반도체 클린룸은 생산장치의 발열이 과대하고 또한 배기량이 과다하므로 많은 에너지가 소모되고 있다. 많은 에너지를 사용한다는 것은 그만큼 절감요소를 내포하고 있다고 할 수가 있다.

따라서 공조설계 및 생산에 종사하는 엔지니어 등은 생산분야에 있어서 여러가지의 에너지절감 방안을 모색함으로써 생산되는 제조원가를 낮춤은 물론 그로 인한 국제 경쟁력 강화에 끊임없는 노력이 있어야 할 것이다.

- 참 고 문 헌-

1. 鈴木正身 : 實踐 LSI工場의 淸淨化 技術, LSI工場 クリーソルーム 省エネルギー
2. 服部信美 外 : 超 LSIウルトラ クリーン テクノロジーツソポジウム NO.9
3. 空氣調和衛生工學, 第20回 5次