

# 반도체 클린룸에서의 에너지절약 대책

양 성 철 | 삼성물산(주)건설부문 하이테크팀  
차장

E-Mail : sc7699.yang@samsung.com

## 1. 머리말

클린룸 시설은 대학교, 공공기관, 병원, 식품공장  
과 산업분야 등 매우 다양하다. 특히 산업분야에서  
는 자동차, 항공, 바이오산업, 제약, 전자산업(반도  
체, 액정공장(TFT-LCD), Disc Drive, 통신분야  
등)에서는 제품의 생산성 향상을 위해서 클린룸 설  
비가 비약적으로 거듭하고 있다. 그러나 이와 같은  
클린룸의 핵심요소 기술개발은 주로 제품의 수율  
향상을 위한 청정도 분야에 국한되어 왔다고 보아  
도 과언이 아닐 것이다. 현재의 공기청정기술은 각  
종 필터류 개발 등에 따라 상당히 발전되어 오염제

어상의 문제는 별로 없다고 생각되나 역으로 고청  
정도를 유지하기 위한 에너지 소비가 과대하게 되  
어 결과적으로 생산성을 저하시키는 요인으로 작용  
할 가능성이 상존하고 있다.

70년대 유가파동 이후 유가는 안정적으로 30달  
러 전후에서 큰 변화 없이 산업계를 발전시키는데  
지대한 역할을 하였으나 최근에는 50달러를 넘나들  
며 산업계 전반에 커다란 변수로 떠오르고 있으며  
일각에서는 인플레이션을 감안한다면 향후 유가는  
80달러 선을 육박할 수도 있다는 보도도 있으며 고  
유가의 시대가 도래하고 있음을 직시할 수 있다.

따라서 클린룸의 최적화설계를 위해서는 청정도

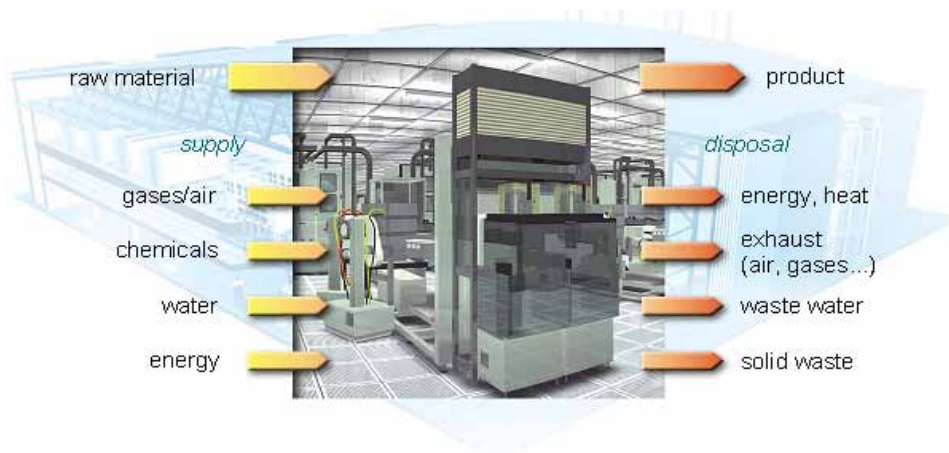


그림 1. 클린룸에서의 에너지 이동

표 1. 일반건물과 반도체공장 클린룸의 에너지소비 비교

항 목	일반 사무소	LSI 제조용 클린룸
실내 순환 풍량 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h]	15 	900 (층류형) 
연간 운전 시간 [hour]	2500 (9h× 280일) 	8400 (24h× 350일) 
도입 외기량 [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h]	4 	60 
연간 에너지 소비량 [Mcal/m <sup>2</sup> ·y]	330 	3200 

향상과 더불어 운전비용을 최소화시키기 위한 에너지 절약기법의 개발이 무엇보다 필요한 실정이다.

## 2. 클린룸에서의 에너지 사용특성

클린룸은 일반 건물에 비하여 대량의 전력 및 에너지를 사용하고 있다. 특히 클린룸은 대규모의 외기량, 실내부하를 담당하기 위한 공조설비가 많은 비중을 차지하고 있다. 일례로 청정도가 가장 높은 반도체 제조용 클린룸과 일반 사무실용 건물을 주요 부하요인별로 비교하면 표 1과 같다.

### 2.1 송풍동력

클린룸의 경우 실내 청정도의 향상이 주된 목적이므로 일반 사무실에 비해 환기회수가 월등히 많다. 이것을 실내 순환풍량 면에서 살펴보면 일반사무실 등에서는 15(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h) 이나 반도체 제조용 클린룸에서는 900(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h)로서 약 60배에 달하므로 그 만큼의 송풍동력이 사용되고 있다고 할 수 있다.

### 2.2 외기처리

반도체공장 등에서의 외기도입량은 배기량(산, 알칼리, 열, 유기, 가연성 및 일반배기)과 클린룸에

서의 Leak량 그리고 실내 양압을 유지키 위한 풍량의 합으로 결정되며 절대습도제어(노점제어)를 함으로 이에 수반되는 에너지는 막대하다고 할 수 있다. 이러한 외기도입량은 일반사무소의 4(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h)에 비하여 반도체 제조용 클린룸은 60(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h) 정도로 일반사무소의 15배에 달하고 있고 일정 온습도를 제어하고 있기 때문에 소비되는 에너지량은 훨씬 더 크다고 판단된다.

### 2.3 실내부하

반도체공장 내의 각종 제조장치에 의한 발열은 공조부하 측면에서 실내발생열로 작용하여 공조기의 냉각코일에서 제거되는 것이 일반적이다. 생산공정의 제품 및 종류에 따라 차이가 있을 수 있으나 최종적으로는 냉동기부하로 작용하게 된다. 또한 클린룸의 특성상 일반 건물에 비해 연간 운전시간이 길어서 일반건물의 3배에 이른다.(반도체공장의 경우 거의 연중무휴로 24시간 Full 가동하는 것이 일반적임)

이상과 같은 부하요인을 고려하여 반도체 공장과 일반건물의 바닥면적당 에너지소비량을 비교해 보면 약 10배 정도 반도체공장이 에너지를 많이 소비하고 있는 것을 알 수 있으며 이에 따른 에너지절약



그림 2. 클린룸 냉방부하 구성



그림 3. 클린룸 전력소비량

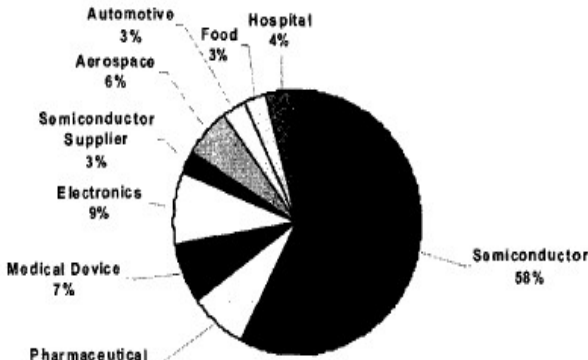


그림 4. 산업분야별 클린룸 면적비율

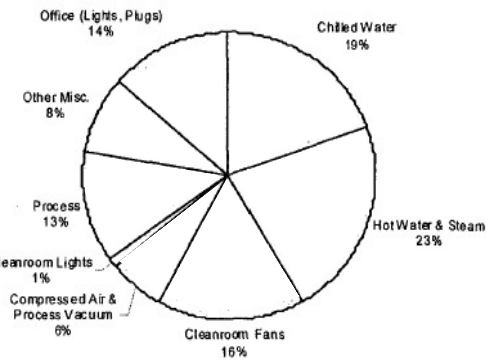


그림 5. 클린룸 에너지 사용비율

의 필요성은 무엇보다 중요하다고 생각된다.

### 3. 클린룸 에너지 벤치마킹 사례

이번 사례는 미국 캘리포니아에 있는 14개 클린룸의 에너지 사용실태를 조사한 것이다. 일반적으로 사용자나 운전자들은 클린룸에서의 에너지가 과대하게 소요된다는 것을 알고는 있지만 실제로는 자체의 클린룸 성능과 비교 분석할 수 있는 Data가

부족하여 에너지절약을 위해서 어느 부분에 초점을 맞추어야 하는지에 대해서 정확한 정보들을 갖지 못하고 있다. 여기에서 제시하는 Data를 참고로 설계기준에 대한 개념들을 파악할 수 있을 것 같다.

그림 4는 클린룸 면적을 기준으로 하여 산업분야에서의 클린룸 종류를 분류한 비율이다. 반도체를 비롯하여 전자공장이 67%로 주류를 이루고 제약, 의료분야가 18% 등을 차지하고 있다.

그림 5는 전자산업분야에서의 클린룸 제조공장

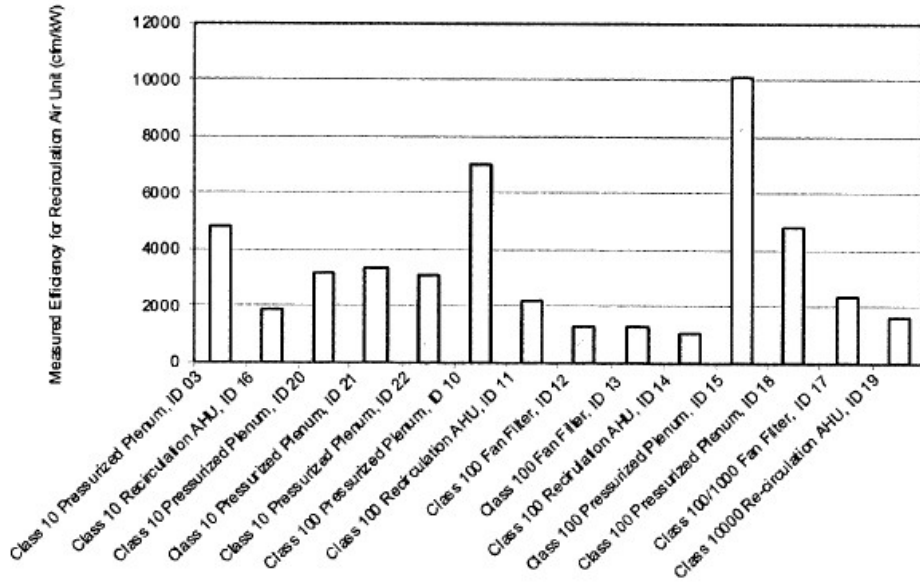


그림 6. 공조시스템별 에너지효율

의 에너지 사용량을 보여 주고 있다. 프로세스 제조 공장의 종류, 청정도 레벨의 차이 등에 따라 다소 차이가 있지만 보통 공조시스템이 전체 에너지 사용비용의 50%를 훨씬 넘고 있음을 알 수 있다. 공조환경을 유지시켜 주기 위한 냉난방열원, 막대한 재순환공기, 공정에 따라 다소 차이는 있지만 생산 Process에서 발생되는 대규모의 배기량과 그에 따른 외기처리 공기량이 에너지소비의 주요 Factor가 되고 있다.

이 보고서에서는 전통적으로 사용하는 직접적인 에너지 비교단위(예: W/ft<sup>2</sup>)가 상이한 클린룸 조건 등 다양한 종류의 산업분야에 대한 효율적인 비교 인자가 아니어서 CFM/kW 등의 새로운 비교인자를 개발, 사용하였다. 여기에 조사된 클린룸은 Class-10(ISO Class-4)가 5개, Class-100(ISO Class-5)가 7개, Class-100/1,000(ISO Class-5/6)가 1개, 그리고 Class-10,000(ISO Class-7)이 1개

로 조사되었다.

그림 6은 조사대상 14개 클린룸을 3가지 종류의 공조시스템으로 분류하여 각각에 대한 에너지 효율 비교를 보여 주고 있다. 대규모의 Recirculation AHU에 의한 방식, Pressurized Plenum 방식, 마지막으로 FFU 방식에 대해서 CFM/kW의 단위로 비교한 것이다. 이것은 순환풍량에 대한 효율을 직접적으로 비교하는데 유용한 단위이다.

여기에서 고청정도에 따른 순환풍량이 많아짐에 따라 에너지소비가 증가한다는 것은 당연하다. 그러나 시스템 Design 방식과 시스템 구성요소도 중요한 변수가 된다. 고청정도에 사용된 어떤 시스템은 저청정역의 클린룸보다 CFM/kW 단위로 더 효율적인 시스템도 있음을 알 수 있다. 벤치마킹 결과로 본다면 Open Plenum System이 Duct시스템보다 더 효율적임을 알 수 있다. 그러나 최근에는 국내를 중심으로 FFU의 성능향상이 기대 이상으로

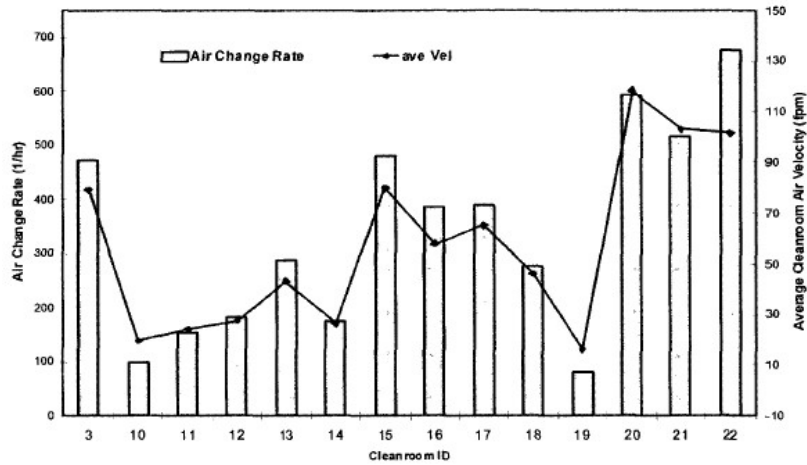


그림 7. 클린룸 환기횟수 및 면풍속

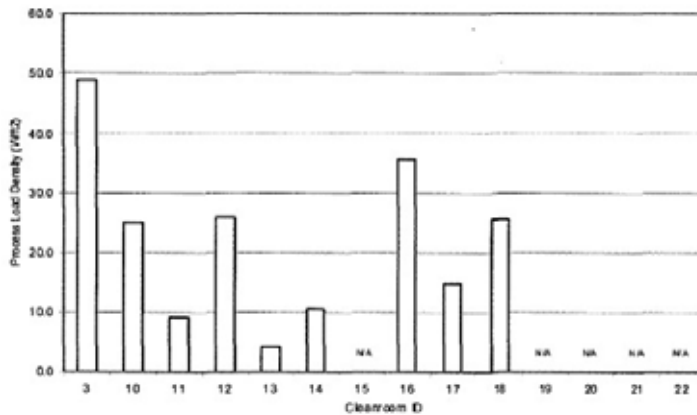


그림 8. Process 장비 Load 분포 비교

발전되어 FFU 방식의 동력 또한 크게 절감되었다.

그림 7은 클린룸 환기회수와 면풍속을 정리한 것이다. 환기회수가 사례별로 매우 다양함을 알 수 있으며 조사한 모든 사례에서 Contamination Control을 모두 만족하고 있다고 이 보고서는 제시하고 있다. Process 부하에 대한 불확실성, Future 확장성, 여유율 등에 따라 높은 사양으로 설계되는 경향이 많은 것이 사실이다. 이 결과는 필요한 클린

룸 환경조건을 만족시키기 위한 환기회수 설계기준 설정에 있어서 에너지 절감을 기할 수 있는 중요 요소가 있음을 보여 준다고 할 수 있다.

그림 8은 사례별 생산장비 부하를 조사한 것이다. Class-100(ISO Class-5) 클린룸에서는 38~248 Kcal/m<sup>2</sup>·hr 정도의 분포를 보이고 있으며 Class-10(ISO Class-4)의 클린룸에서는 344~468 Kcal/m<sup>2</sup>·hr 정도의 부하를 보이고 있다.

4. 클린룸에서의 에너지절약 방법

반도체 공장의 에너지 절약을 실행하기 위하여 우선 에너지 소비량의 변동요소가 클린룸 설비의

어디에 있고 주요한 절약방법이 무엇인지 밝혀낼 필요가 있다. 클린룸 에서의 에너지절약에 대한 주요내용은 표 2와 같다.

표 2. 클린룸 에너지 절약항목

No	구분	주요 절약방법	비 고
1	열부하의 절감	1) 실내온습도 조건의 최적화 2) 클린영역, 청정도클래스의 최적화 3) 생산장비 부하율, 가동률 파악 4) 휴일, 비가동시 조건 완화, 정지	
2	열회수시스템	1) 배기/배수의 열회수 2) 배기의 재이용 3) 냉동기, 보일러의 배열회수 4) 리턴에어의 재이용 5) 축열조 채용	
3	반송동력의 감소	1) 가변유량, 가변풍량, 대수제어 2) 클린룸 환기회수의 저감 3) Local 리턴방식채용 4) 저압송기기의 채용 5) 대온도차송수 시스템	
4	도입외기량 제어	1) 배기의 국소화, Re-Cycle화 2) 실내압력의 최적제어 3) 밸런스형 국소배기 시스템	
5	자연에너지 이용	1) 동기냉열원 냉각수 이용 2) 외기냉방시스템 채용	
6	비가동,저부하시 절약 운전	1) 운전정지 2) 변풍량방식 3) 조건완화 4) idle 운전시 저속/정지	
7	열원 System	1) 지역냉난방/자가발전	
8	조명 설비	1) 비가동시 및 비재실시 조도감소 2) 절약형 조명기구	
9	효율의 개선	1) 고효율기기의 채용 2) 역율개선 3) 고성능 FFU	
10	제어시스템의 개선	1) 과열과냉의 방지 2) 재열방지 및 폐열재이용 3) 열원시스템의 운전제어방식 개선	

#### 4.1 클린룸시스템

##### (1) 청정공간의 축소

클린룸 에너지 사용실태에서 본 바와 같이 클린룸에서의 순환풍량 및 이에 따른 에너지사용비용은 막대하다. 무엇보다 클린룸 면적이 건설비용 및 에너지비용에서 가장 큰 Key Factor이므로 가장 먼저 고려해야 할 요소이다.

##### (2) 국소청정화 시스템 도입

반도체 공장에서의 클린룸은 경제적인 요소와 맞물려 다양한 요구에 대응해 나가야 할 것이다. 따라서 종래의 수직층류형 클린룸에 AMHS (Automated Material Handling System)의 자동반송시스템을 이용하여 Mini-environment 또는 SMIF (Standard Mechanical InterFace) 시스템을 보다 발전시킨 Modular 국소청정방식이 적용되고 있다. 전체적으로 클린룸 환경이 Critical하지 않는 경우에는 Clean Bench나 Clean Booth를 이용하여 필요한 부분만 청정도를 향상시키는 방법들이 보편화되고 있다. 최근의 반도체공장에서도 국소청정화 시스템을 도입하여 청정도 조건을 완화하여 건설하

고 있는 상황이다.

##### (3) 청정도 클래스의 최적화

청정도 클래스는 생산장비의 제조환경, 수율향상, 오염방지, 최적환경 유지 등 여러 가지 환경요인에 의해 결정되지만 초기 설치시 많은 담당자들이 클린룸 환경설정에 있어서 초기투자비 및 운전유지비를 고려하는 측면 이외에 예기치 않는 불확실성, 안전한 제조환경 조성에 역점을 두고 있는 실정으로 어떤 부분들은 필요 이상으로 사양이 고급화 되는 예도 많은 것이 현실이다.

유사공장에 대한 벤치마킹과 기존 공장이 있는 경우 여러 가지 운전정보 및 비교분석 Data를 축적하여 최적화된 청정도 클래스 조건을 설정할 수 있을 것으로 기대된다.

각 Area에 대해서 적정한 청정도를 유지하는 것이 가능하면, Cost 절감과 에너지 소비절감이 이루어 질 수 있으므로 이에 대한 세밀한 검토가 항상 선행되어야 한다.

##### (4) 순환풍속 저감

클린룸 벤치마킹 사례에서 본 바와 같이 청정도

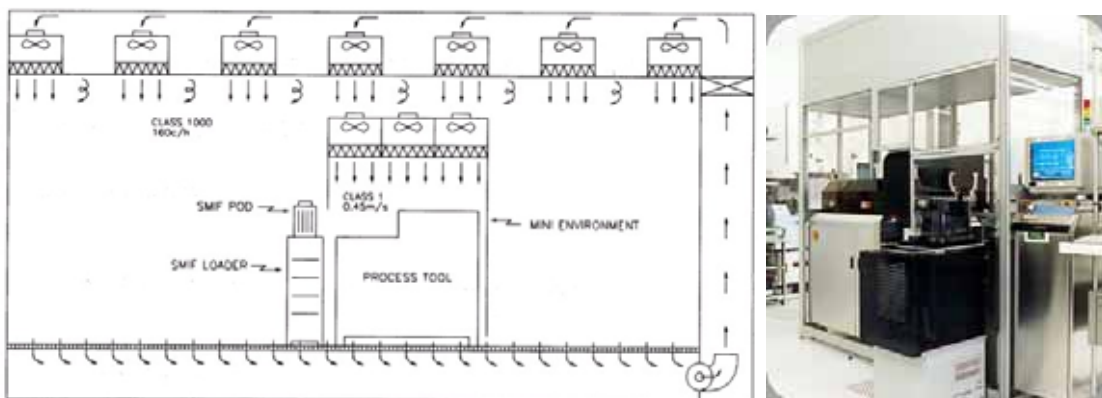


그림 9. Mini-environment

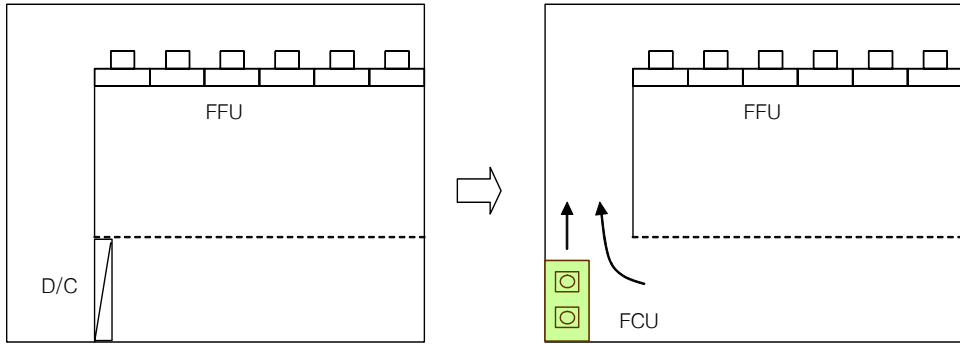


그림 10. Dry coil 방식과 FCU 방식

클래스를 만족시키면서 순환풍량을 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

(5) Dry Coil 대신 FCU 방식 채용

종래의 Dry coil 방식 대신 고효율 FCU를 채용하여 By-Pass 공기와 FCU를 통과한 공기를 Mixing 하여 공급하는 시스템으로 아래와 같은 특징이 있다.

- FCU를 사용시 7℃ 냉수를 사용 가능하고 대운도차 이용 가능(Dry Coil용 2차 냉수 순환 Pump가 필요 없다)
- Dry Coil을 설치하지 않음으로서 FFU의 기압을 줄일 수 있다.

- 전체 운전동력비가 작다
- Shaft 면적을 줄일 수 있다.
- 냉수배관 관경을 줄일 수 있고 반송동력도 절감 가능

(6) FFU 동력의 저감

클린룸 기술 발달과 더불어 FFU의 성능 또한 상당부분 개선되었다. Fan 효율을 비롯하여 DC 모터의 개발에 이르기까지 반도체 클린룸 에너지절감에 크게 기여하고 있으며 DC 모터 채용에 따른 본체 효율 상승은 그림 11과 표 3와 같다.

표 3. AC/DC Type FFU 비교

	DC Motor	AC Motor + 인버터	AC Motor
종합효율	58%	39%	45%
- 모터 효율	79%	59%	59%
- Fan 효율	73%	73%	77%
- 회로손실	(모터효율에 포함)	(9%)	-
입력전력량	77W(65)	114W(96)	119W(100)
운전점	22 CMM 125 Pa	22 CMM 125 Pa	24 CMM 136 Pa
(이론동력)	(44.9W)	(44.9W)	(53.3W)

[일본 S사 제품 실측자료]



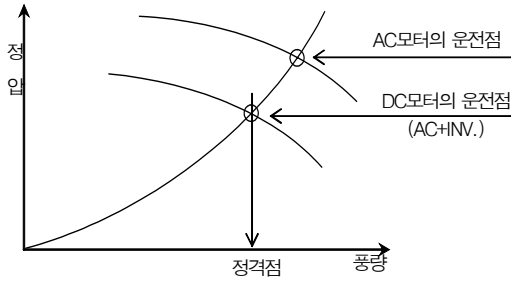


그림 11. AC 모터와 DC 모터 운전점 비교

(7) 고온냉동기 채용

프로세스 냉각수, Dry coil 등 저온이 필요치 않는 냉수계통은 COP가 높은 고온냉동기를 사용함으로써 효율을 향상시키고 운전동력비를 절감할 수 있다. 특히 여러 건물이 집중적으로 설치되는 단지의 경우는 고온냉수 계통을 분리하여 계획하는 설계 Concept이 필요하다.

① 저온/고온 냉동기 분리

고온으로 공급이 가능한 Dry Coil, 프로세스 냉각수 등은 별도로 냉동계통을 분리하여 성적계수 향상시킨다.

② 12℃ 냉동기 + 감습용 전용냉방장치 사용

외조기에는 감습 전용 냉방장치를 설치하고 주요 냉동기는 연간고온으로 운전하여 효율을 향상시킨다.(7℃ → 12℃ 운전할 경우 효율 10% 정도 향상)

(8) 겨울철 냉각탑 Free Cooling

겨울철에도 부하가 발생하는 클린룸 공조기, Dry Coil, 외조기 등에 냉각수를 이용한 냉각방식을 채용할 수 있다. 다만 겨울철에 운전되므로 냉각탑 주변에서의 동파사고에 주의하여야 한다. 순환유량 및 운전방식 등에 세밀한 검토가 필요하다.

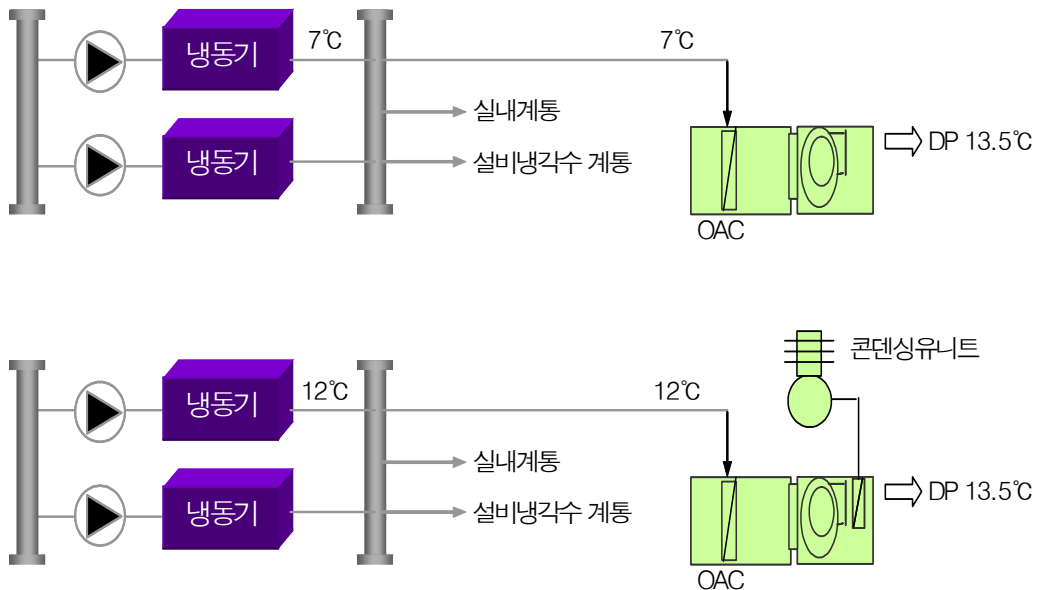


그림 12. 12℃ 냉동기 + 감습용 전용냉방장치 사용

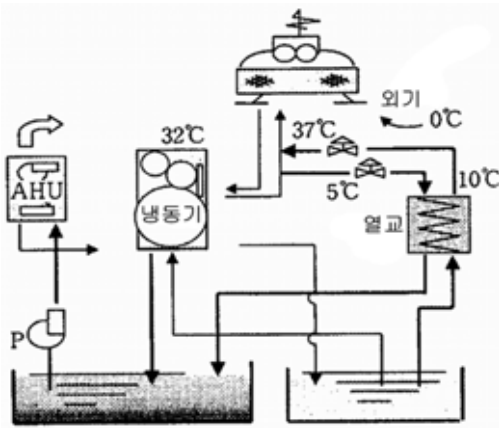


그림 13. 냉각탑 Free Cooling System

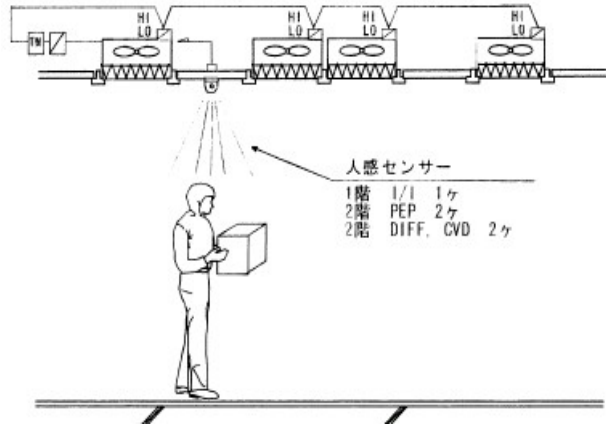


그림 14. 감지센서에 의한 FFU 저속운전

(9) FFU의 무부하시 Down 운전(공조시스템)

(10) 생산장비의 Idle 운전시 배기량 감소

배기량은 외기도입, 냉온열원, 관련반송설비 등에너지소비와 연관요소가 많으므로 생산장비의 Idle운전시 배기량의 축소나 정지가 가능하도록 사용자와 충분한 협의를 한다.

(11) 기타 클린룸에서의 에너지 절약

- ① 외조기 냉수코일 분할에 의한 냉수 대온도차
- ② 각 압력 계통별로 펌프를 분할 설치하여 불필요한 고압운전 회피
- ③ 에어와샤 순환량의 저감
  - 특수 엘리미네이터 사용과 실험데이터에 의한 순환수량 감소
- ④ Dry Coil 환수/프로세스 냉각수 이용 : 외조기의 예열 코일에 이용
- ⑤ 순수시스템에서의 RO 농축수의 재활용 : 세정수 등으로 활용

4.2 배기량의 저감, 재이용

배기량의 저감은 설계자에 의해 결정되기 보다는 제조공정의 특성에 따라 사용자에 의해 주어지는 경우가 대부분이다. 벤치마킹이나 유사사례들을 참고로 하여 판단하는 것이 합리적일 것이다. 클린룸에서의 배기종류는 일반, 열배기, 산/알칼리 배기, 유기배기, Toxic 배기 등이 있으며 일반, 열배기는 배기 Fan을 통하여 대기로 바로 방출되며 다른 배기들은 모두 처리시설을 설치하여 일정농도 이하로 처리된 후 대기로 방출되도록 되어 있다.

일반배기는 Process 특성상 일부 Dust, 습기 등이 포함되어 있으나 일반외기와 별 차이가 없을 정도로 오염되지 않으면서 실내온도와 거의 동일한 열용량을 가지고 있으므로 이 폐열을 이용하는 것이 가장 용이하다.

(1) Inverter 채용

생산장비의 미가동, Idle 운전 등에 따른 배기량을 저감시키기 위해 배기장치에 인버터를 채용하여 배기량을 저감시킨다. 배기량은 생산 프로세스에 따라 매우 다양하며 규모 또한 막대하다. 인버터에

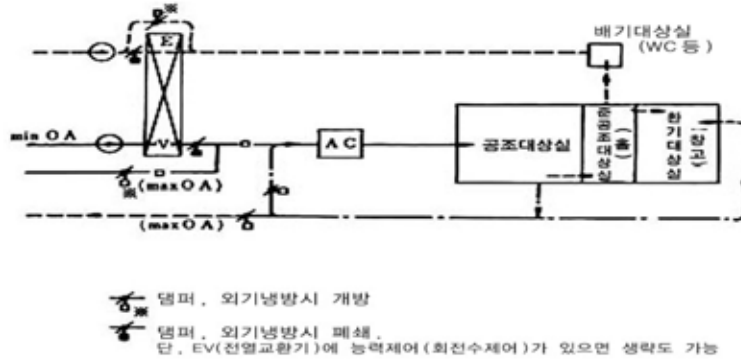


그림 15. 리턴에어 재이용의 기본 구성

대한 비용이 추가되므로 대수가 많을 경우 1~2대만 설치하여 저부하시 인버터가 설치된 장비를 가동하여 담당하고 Full 부하시에는 굳이 인버터 운전이 필요 없으므로 다른 장비는 인버터를 설치하지 않는 것으로 하여 초기설치비를 줄일 수 있다.

배기량을 줄이면 과급효과가 크다. 배기량을 저감시키면 이에 상응한 만큼 외기량을 줄일 수 있고 여기에 필요한 냉방, 난방열원의 절감 및 반송동력(공기, 물)에 이르기까지 에너지 절감 측면에서 매우 큰 Factor를 차지하고 있다.

## (2) 배기량의 재이용

프로세스의 일반배기를 직접적으로 전기실, 창고, 화장실 등에 활용하여 냉난방 효과를 거둘 수 있을 뿐 아니라 에너지 절약을 기할 수 있다. 그림 15는 공조 배기 재이용의 기본 패턴을 나타낸다. 재순환 공기는 공조실로부터 준공조실(복도, 홀 등)을 경유해서 환기실(창고 등)을 환기한 후, 공조기로 되돌아간다. 외기 도입량에 해당하는 양의 공기는 오염실, 준오염실(화장실, 탕비실, 흡연실 등)의 환기에 전량을 이용하고, 외부로 폐기하기 전에 전열교환기로 열교환 시킨다. 직렬로 접속되는 환기 계통실은 이 외에 거실→기계실·전기실→주차장 등

을 생각할 수 있다.

## (3) 일반배기 재활용

프로세스의 일반배기를 Filtering Unit(HEPA Filter)를 설치하여 클린룸에 그대로 재활용하는 방법이다. 외조기의 용량 축소, 냉동기 및 보일러 그리고 관련된 반송시설을 모두 축소가 가능하며 에너지 절약 효과가 매우 크다. 다만 일반배기이므로 오염의 불확실성이 적다고는 하지만 클린룸에 그대로 재활용하기 위해서는 배출되는 Point에서의 오염 여부를 재확인 할 필요가 있다.

## 4.3 열회수 시스템

### (1) 전열교환기에 의한 배기열회수

공조부하 중 30% 정도를 차지하는 외기도입에 따른 부하를 저감시키기 위하여, 공조 배기로부터 직접(공기 대 공기) 열 교환하여, 70% 전후의 열량을 회수한다. 전열(현열+잠열)교환, 현열 교환 두 종류가 있고, 그 효과는 습공기선도 상에서 그림 17과 같이 나타낸다. 효율은 통과 풍속, 풍량비(외기량/배기량)등에 따라 달라지고, 또한 풍량이 다른 경우에는 어느 측의 풍량을 기준으로 한 표현인 가

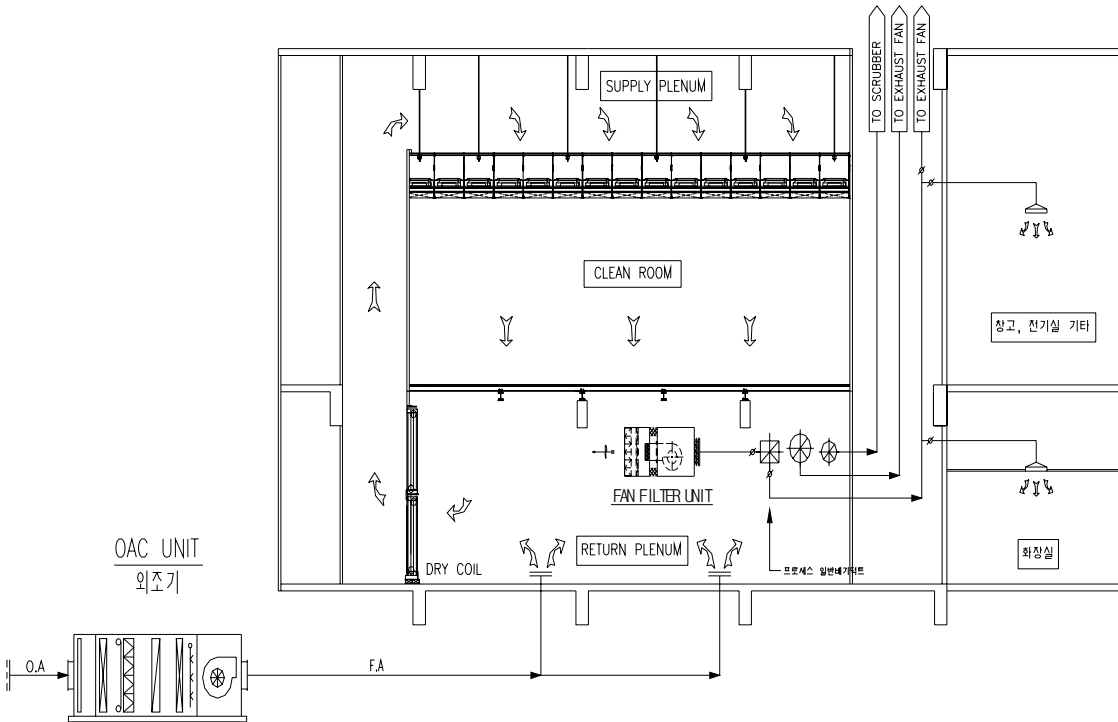


그림 16. 프로세스 일반배기 재활용

에 주의할 필요가 있다(예로서, 외기량/배기량=2일 때, 배기측의 엔탈피 기준으로 80%의 효율이어도, 외기 측의 엔탈피 기준으로는 40%의 열 회수율로

된다). 또한, 대부분의 지역에서는 여름의 외기부하는 잠열이 주체이므로, 현열 교환만으로 큰 효과를 얻기는 힘들다. 특별한 이유가 없는 한 전열교환기를 채용해야 할 것이다.

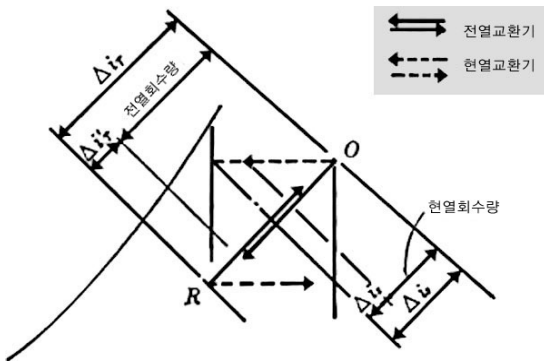


그림 17. 전열, 현열교환기의 효과

### (2) Dry Cooling Coil 열회수

클린룸 생산장비 부하를 담당하기 위해 클린룸 내부에 현열 부하용 Dry Coil이 설치되게 된다. 이 부하를 겨울철 외기처리공조기의 예열열원으로 사용하여 열량을 회수한다. 아래 계통도와 같이 Dry coil 환수부에 2차 Pump를 설치하여 외기처리 공조기의 예열코일에 강제적으로 순환시켜 겨울철 외기처리공조기의 예열코일의 부하를 담당하게 함으로써 냉동기 부하를 저감시킬 수 있다.

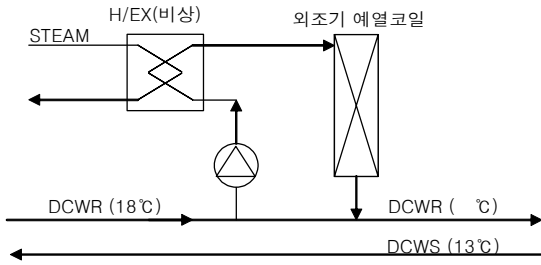
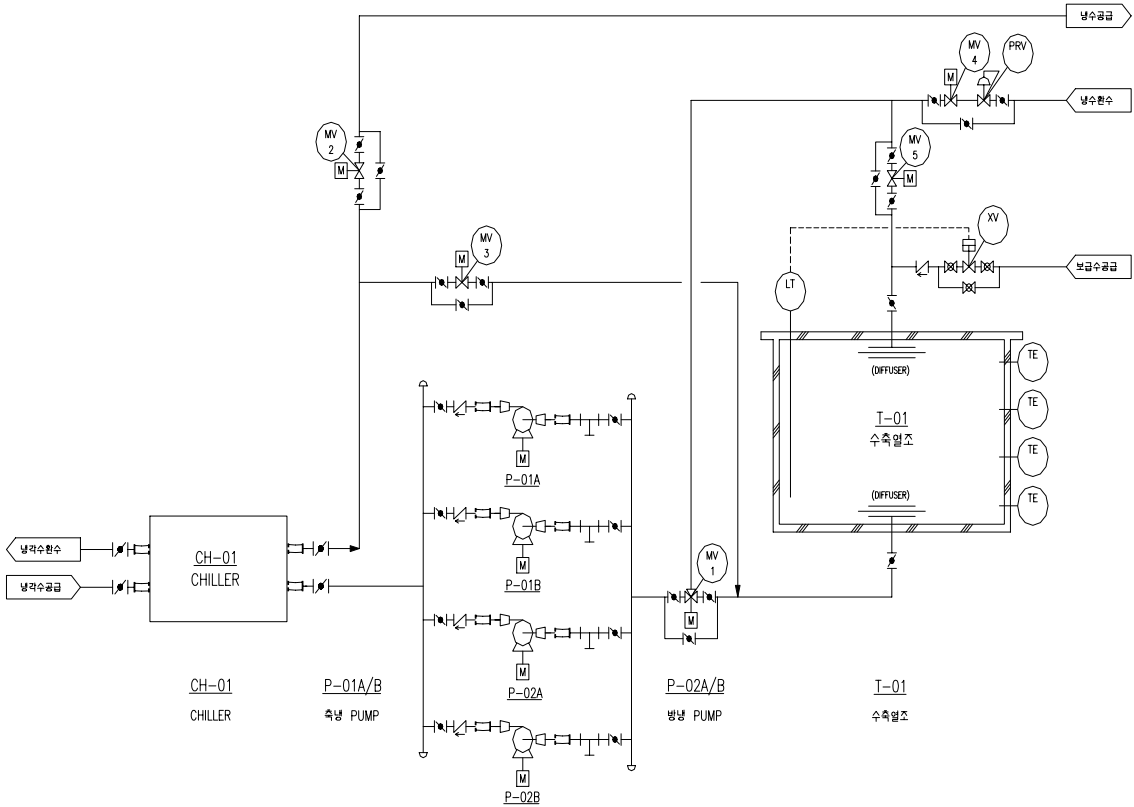


그림 18. Dry Cooling Coil의 열회수

(3) 수축열 방식

축열식 시스템은 심야전력을 이용하여 축열조에 냉열을 저장하였다가 주간 냉방시간에 이 냉열을 사용하는 시스템으로, 하절기 전력수요의 피크억제와 기저부하 증대를 통한 부하율 향상을 목적으로 보급되고 있다. 부분축열의 경우 주간부하의 일부를 야간에 가동하여 축냉하기 때문에 냉동기의 용량을 줄일 수 있고, 극심한 부하변동에도 축열분은



시스템 동작설명

운전모드	CHILLER	MV-1	MV-2	MV-3	MV-4	MV-5	축냉펌프	방냉펌프	비 고
축냉모드	운전	1-3 OPEN	CLOSE	OPEN	CLOSE	OPEN	ON	OFF	PM10시에서 AM08시까지 축냉운전
방냉모드	정지	MOD.	OPEN	CLOSE	OPEN	MOD.	OFF	ON	냉방시간대 축열조의 냉수를 순환하여 냉방에 사용
냉동기단독	운전	1-3 OPEN	OPEN	CLOSE	OPEN	CLOSE	OFF	ON	비상시 일반전력을 사용하여 일반전력으로 냉동기 가동하여 냉방

그림 19. 수축열 시스템 사례

로 각 부하에 대처하는 능력이 뛰어나 쾌적한 냉방이 가능하며, 연간 냉방시간이 길거나 냉방용량이 큰 건물의 경우에 더욱 유리하다. 클린룸의 경우는 24시간 연간운전이므로 축열시스템의 적용상 메리트가 크지 않으나 건축물의 개조를 통해서 수축열 시스템을 채용하는 예가 있다.

축열조에 낮은 온도로 저장되어 있는 열저장재의 현열변화를 이용하는 방식으로, 축열재로는 체적열용량과 비열이 크고, 부식성, 수명, 가격등 모든 면에서 우수한 물이 일반적으로 쓰이고 있다. 수축열 방식의 경우 축열온도가 0℃ 이상이므로 타 방식에 비해 높은 냉동기 COP를 갖고, 저온냉동기가 아닌 일반냉동기를 사용하므로 초기 투자비가 저렴하다. 수축열방식은 빙축열방식과 비교해 수배나 큰 축열조로 인하여 설치 부피가 커지는 단점이 있다. 수축열 방식의 경우 냉동기의 COP를 높이고, 부하측 효율을 높일 수 있도록 온도성능화를 극대화 시키는 것이 중요하다.

그림 19는 공장에 적용한 수축열시스템의 실제 사례에 대한 계통도이다.

#### 4.4 열부하의 절감

##### (1) 실내온습도 조건의 최적화

가장 효과적인 방법으로서 클린룸 설계 조건의 재검토가 있다. 방대한 풍량에 의해 형성되고 있는 반도체 공장에서는 청정도의 재검토에 의한 풍량의 삭감이나 온습도의 변경에 의한 냉각 부하의 저감이 에너지 절약에 크게 기여한다

##### (2) 필요최저한도의 외기도입

클린룸에서의 외기도입은 크게 배기량과 클린룸 양압을 유지시켜 주기 위한 풍량의 합으로 결정되며 배기량의 최소화와 적절한 양압을 유지하면서

운전함으로써 외기부하를 절감한다. 이에 대한 방법으로는

- ① 생산장비의 비가동시나 Idle 운전시 해당 배기구의 정지나 배기량 축소
- ② 배기 Fan의 인버터 운전
- ③ 배기구의 개선에 의한 과도한 배기 방지
- ④ 실내 압력을 모니터링하면서 적절한 양압 설정
- ⑤ 양압 Flow를 적절하게 계획하여 주변실의 공조로 활용

##### (3) 생산기기 부하율, 가동율, 실적치 파악

실제 운전되고 있는 공장에 대한 부하율, 가동율, 실적 운전 Data 들을 조사하거나 벤치마킹 등을 통하여 신뢰할 수 있는 운전 Data들을 취득하여 가장 효율적인 장비 Capacity를 결정하고 최고 효율점에서의 운전할 수 있는 장비선정을 통해서 운전비를 가장 Minimize하게 유지시킬 수가 있을 것이다.

(4) 구조의 단열성 향상, 덕트,파이프의 단열강화 열관류 손실의 저감, 결로에 의한 단열재 성능저하의 방지, 덕트에서의 공기 누설 방지 등에 의해 시스템 부하를 저감시켜 에너지 절약을 도모한다.

##### (5) 외기냉방시스템의 채용

중간기의 실내 냉방부하를 저온의 외기로 처리한다. 또한, 동기에도 열회수 후의 잉여열은 외기냉방으로 처리한다. 클린룸에서는 적용이 어렵지만 사무존 외에 일반프로세스는 외기냉방시스템 이용이 가능하다.

#### 4.5 반송동력의 저감

##### (1) 변유량, 변풍량방식의 채용

열부하, 에너지소비의 특성에서 알 수 있는 바와

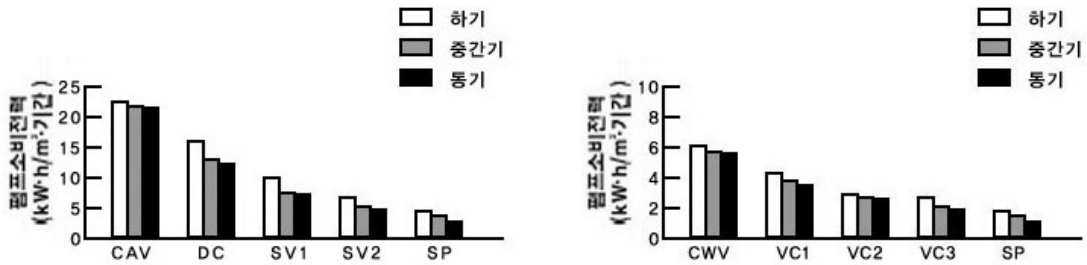


그림 20. 가변유량 제어의 에너지 절약 효과

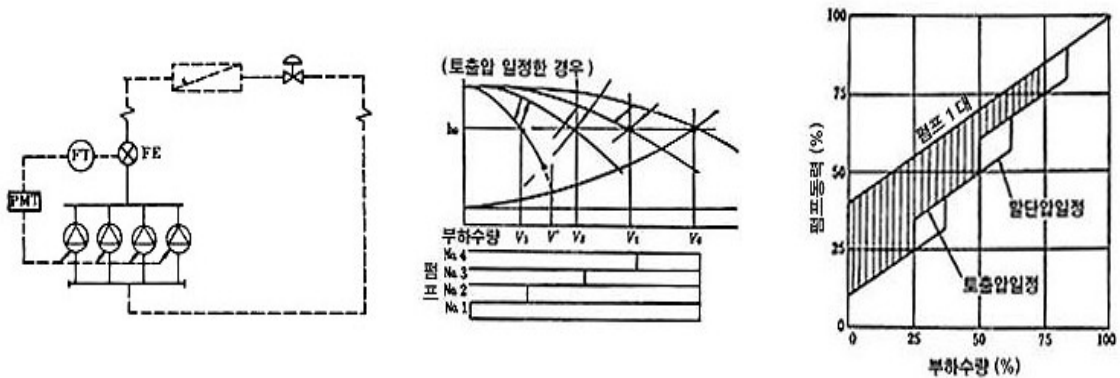


그림 21. 대수제어의 특성

같이, 시스템 효율에 대한 반송 에너지의 영향은 크다. Fan·Pump의 에너지 저감 원리는 유량의 감소, 압력 또는 양정의 감소, 효율의 향상 3가지이다. 유량의 감소는 큰 온도차의 채용과 가변유량 방식의 채용에 의해 달성된다. 양정의 감소는 비교적 대구경인 관경의 채용과 속도제어식 가변유량 제어의 채용에 의해 달성된다. 공조시스템에 변유량 시스템을 적용한 때의 Fan 및 Pump의 소비전력의 절감 상황을 비교한 실 예를 그림 20에 나타낸다. 이들 그림은 설정된 조건에 있어서의 Profile이므로 이점 유의한다. 특히, 부하 빈도분포의 패턴, VAV와 VWV의 조합의 유무, 압력(또는 양정) 설정위치 등에 의해 대폭 달라질 수 있으므로 주의한다.

## (2) 대수제어

기존 건물인 경우, 3방밸브의 바이패스측을 잠그고 2방밸브 변유량방식으로 하고, 펌프를 복수대 설치해 대수제어를 하는 방법이 가장 쉬운 적용방법이고, 에너지 절약 및 경제적 효과도 크다고 생각할 수 있다. 그림 21은 정속펌프 4대로 대수 제어한 경우의 운전특성을 나타낸다. 계산에 의하면, 이 경우의 동력 절감율은 69% 투자자본은 2년에 회수된다. 개조공사인 경우에는 관련 경비가 필요하며, 2배 정도로 생각하면 된다. 마찬가지로, 송풍계통에 대해서는 흡입Vane 또는 Scroll Damper에 의한 변유량화가 에너지 절약 효과는 그다지 크지 않지만, 가장 손쉬운 채용방식일 것이다.

(3) 대온도차(취출/흡입온도차, 냉수 대온도차) 공조 공기의 취출 온도차, 방열기, 냉온수 코일과 냉동기 증발기, 응축기의 수온차를 크게 하여 유량을 감소시켜 반송에너지의 저감을 도모한다.

$$W = VPt / 6,120\eta = \gamma VH / 6,120\eta$$

W : 동력(kW)  
 V : 유량(m<sup>3</sup>/min)  
 Pt : 전압(mmAq)  
 H : 양정(m)

펌프·Fan의 동력은  $W \propto V \cdot P$  이므로, 유량에 에너지 소비에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다. 그림 22는 펌프, 팬의 회전수에 대한 유량, 압력, 축동력을 그래프로 나타낸 것이다. 감소한 유량과 압력손실을 밸브·댐퍼에서 조절한다면 의미가 없기 때문에, 반드시 회전수로 제어하고, 필요한 경우에는 적절한 Fan·펌프로 교체해야만 한다

풍량을 줄이고 냉각코일의 열수를 증가시킬 경우에 코일증설에 의한 팬동력의 증가는 풍량감소에 의한 팬 동력의 감소와 비교하면 무시할 수 있을 만큼 적다.

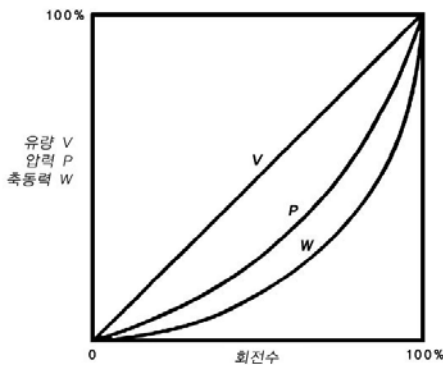


그림 22. 펌프·팬의 회전수에 대한 유량·압력·축동력

① 풍량의 저감

풍량의 저감은 공기 분포에 영향을 미친다. 처음부터 VAV방식인 경우에는 문제가 없지만, 예를 들어 수평방향 취출구인 경우와 하향 온풍취출인 경우에는 도달거리에 영향이 있으므로 주의해서 검토할 필요가 있다.

② 수량의 저감

그림 23에서 알 수 있듯이, 코일 입출구의 수온도차는 공기측과의 관계가 깊다. 또한, 냉동기 주변의 냉수 입출구 온도차도 통상의 5℃를 8℃ 정도까지 확대하는 것은 아무런 지장이 없는 경우가 대부분이므로 검토할 가치가 있다.

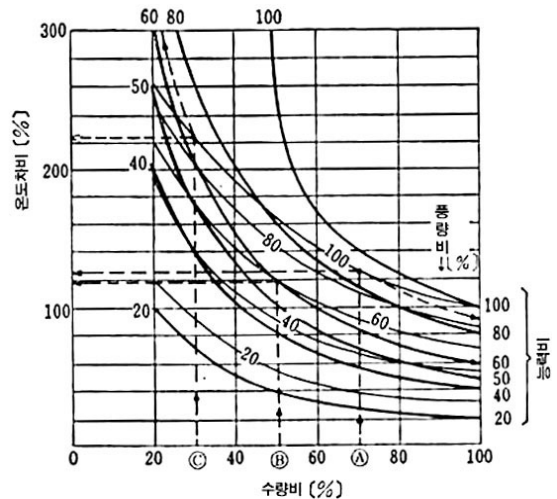


그림 23. 수량비에 대한 온도 차비 그래프

4.6 비가동, 저부하시 절약운전

클린룸 비가동시나 저부하시, 또는 생산장비의 Idle 운전시는 아래와 같은 운전방법을 채택하여 운전할 수 있다.



- ① 운전정지
- ② 변풍량방식
- ③ 조건완화
- ④ idle 운전시 배기량 감소

4.7 운송저항 절감

덕트의 변형, 구부림, 분기, 소음기 등의 부분을 저항계수가 작은 형상으로 제작해서, 압력손실을 적게 하여 Fan의 에너지소비를 절감한다. Fan의 소비전력은 풍량과 정압에 비례한다. 이 동력은 그 자체가 에너지 소비이기도 하지만 냉방시스템 부하로 되어 열원의 에너지 소비로 이어진다. Fan은 환기용도를 겸하므로 원칙적으로는 연간 운전이기 때문에 풍량과 압력의 저감은 에너지 절약에 큰 역할을 한다.

◆ 중점적으로 검토해야 할 포인트

- ① Fan과 토출부 : 소음과 분배를 겸해서 토출 플레넘이 설치되는 일이 많다. Fan과의 접속법, 크기에 따라 압력손실이 다르다.
- ② 엘보 : 밴드로 될 때는 Vane이 붙은 엘보로 개조한다.
- ③ 소음 엘보 : 엘보와 같은 모양이며, Vane으로서

- 소음 Vane(익형·구멍형·흡음재 충전)을 쓴다.
- ④ 분기부 : 각형 덕트에서는 분기 반경을 충분히 크게, 원형 덕트에서는 분기 각도를 가급적 적게 개수한다. 또한, 확대·축소부의 각도도 작게 한다.
- ⑤ 필요에 따라서 분기 측에 Vane 삽입, 삽입울의 변경, Split Damper 삽입 등에 의해, 계통 전체 압력 Balance를 개선한다.
- ⑥ 취출구 Chamber 및 VAV Unit 등을 가급적 압력손실이 적은 것으로 한다. VAV 유닛의 정풍량 특성도 필요 최소 정압을 구해 과대 압력손실을 피한다.
- ⑦ 보밀, 보관통, 벽관통부의 변형 각도를 적게 하고 동시에 Smooth한 원호를 쓴다.

4.8 효율증대

(1) 고효율 Fan·Pump 채용

효율이 좋은 Fan과 Pump를 채용하여 반송에너지의 절감을 도모한다. 동력 결정 요인 가운데서 효율  $\eta$ 은 실제로는 fan의 형식과 선정 방법에 따라 크게 다르다. 더우기, 경년적으로 변화하는 것도 있으므로, 낡은 설비는 과감히 교체하는 편이 좋다. 효율  $\eta$ 은 그림 24에 나타낸 바와 같이,  $\eta_m, \eta_c, \eta_i$  로

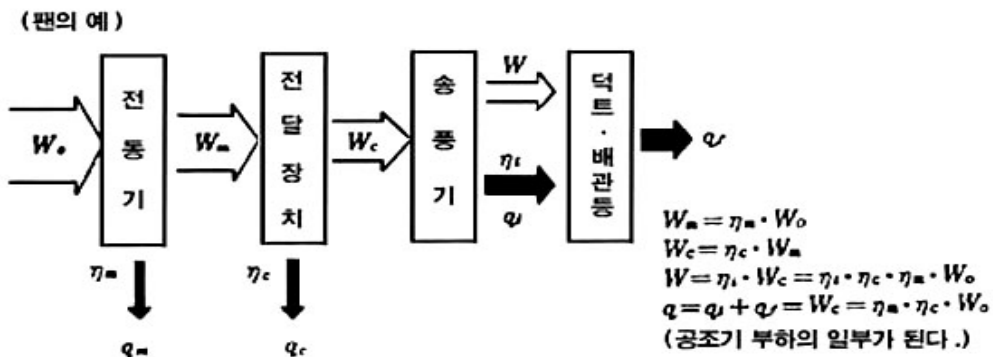


그림 24. 팬의 효율

나타낼 수 있다.  $\eta_c$  는 보수작업으로 개량할 수 있고,  $\eta_m$  은 속도제어 이외에 모터에 따른 차이는 적다. 결국 Fan · Pump의 기관 효율  $\eta_i$  가 가장 중요한 요인이다.

#### 4.9 제어시스템의 개선

##### (1) 재열의 증지

항습이 필요 없는 건물인 경우, 재열 과정을 중지해서 제습 재열용 에너지를 절감하고, 아울러 외기 냉방이 유효하게 작동되도록 한다. 클린룸의 경우 청정도 유지를 위한 환기회수 풍량이 커서 재열이 필연적으로 발생하는 경우가 많다.

- ① 항온항습실 등에서 습도제어가 필요한 경우에는 재열 코일은 그대로 살려 두고, 재열용열원으로서 냉동기의 냉각수를 이용하는 것을 고려한다.
- ② Return Air를 냉각코일 후단에 By-pass 시켜 재열열원 대신 리턴공기를 Mixing하여 공급하

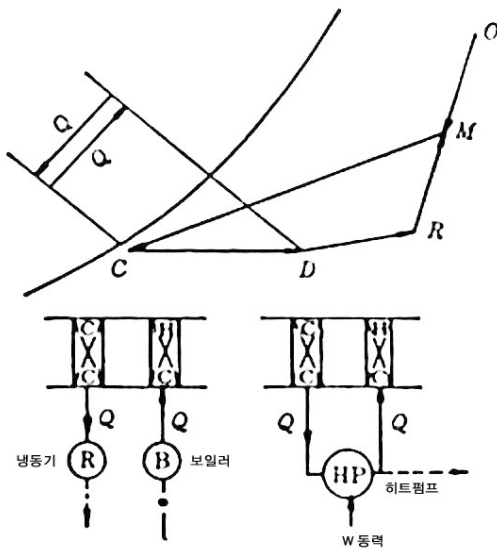


그림 25. 재열 손실의 열회수에 의한 경감

는 방식이 있으며 이 방식은 실내습도가 상승하는 경우가 있어 습도제어에 유의해야 한다.

- ③ 클린룸의 경우는 외기처리공조기를 도입하여 노점온도까지 처리 후 존-공조기로 공급해 준다.
- ④ 클린룸의 경우 구조체 열손실이 거의 없고 연중 부하가 일정할 경우 Room 온습도 Control에서 토출 온도 Control 방식으로 변경하여 제어하는 방식으로 고려해 볼 수 있다.

##### (2) 과열, 과냉의 방지

취출풍량과 분기댐퍼·분기 밸브 등을 조절하고, 자동제어인 경우에는 제어상태를 확인하고 설정온도를 조정하거나, 검출위치를 변화시켜 실의 과냉과열을 방지하여 에너지 절약을 도모한다.

##### ① 풍량의 조절

공조기의 조닝, 제어 존이 부적합하면, 반드시 실마다 과냉과열 혹은 냉난방 부족이 일어난다. 풍량조절은, 존 댐퍼의 조절, 취출구 shutter의 조절, Fan 토출 댐퍼의 조절의 순서로 한다. 취출구만 조절하면, 소음이 발생하므로 주의한다. 댐퍼 개도와 풍량은 비례하지 않으므로 저개도에서 민감한 것에 주의한다.

##### ② 수량조절

##### ③ 자동제어장치의 적절한 설정·보수

써머스탯류의 위치가 부적합한(기류의 사각, 출입구 근처) 경우에는 위치 변경을 한다. 또한, 시기에 따른 설정온도 역시 변경해 준다.

#### 5. 맺음말

반도체 공장에서의 에너지 절약 대책은 Facility에 관한 것과 생산 설비에 관한 에너지 절약으로 대별되어 검토 실시되어 왔다. Facility에 대해서는

주로, 전기 사용량의 절감을 타겟으로 공조 시스템, 공기 중의 불순물 이온 제거 시스템, 순수한 물 제조 시스템, 폐수 처리 시스템, 배기 처리 시스템 등에 대해 실행해 오고 있다. 그 결과적으로 전기 사용량의 절감을 큰 폭으로 달성하였다. 향후의 반도체 산업의 에너지 절약의 방향은 지구 온난화 방지를 목적으로 한 에너지 절약 대책으로 된다고 생각된다. 이 방향으로 진행하려면, 지구 온난화 영향 물질 전부의 저감이며, 에너지(전기, 중유 등의 연료 등)의 절감뿐만이 아니라 온난화 영향 물질의 모든 저감을 제조 프로세스, Facility 설비와의 매트릭스를 충분히 검토해 삭감해 가는 것이 새로운 반도체 산업의 에너지 절약 대책이 된다고 생각된다.

- 참고문헌 -

1. William F. Tschudi : Cleanroom energy benchmarking results, ASHRAE 2003.
2. 오명도 : 클린룸 기술(1), 한국공기청정협회 2003.
3. 田中 宣雄, “半導體工場における省エネルギー対策”, クリーンテクノロジー(클린테크놀로지), 2002. 9.,
4. 藪原 要治, 半導體デバイスメーカーにおける省エネルギー活動の概要“, クリーンテクノロジー(클린테크놀로지), 2002. 9.
5. 유경훈, 에어와셔를 이용한 가스상 오염물 제거 및 열회수 기술, 空氣清淨技術 2002. 3.
6. 임태빈, 클린룸에서의 에너지소비실태와 대책, 冷凍空調技術 1997. 6.

## 투고 환영

제간 『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.