

클린룸 설비의 에너지 절약 대책

유 경 훈 | 한국생산기술연구원 에어로졸·필터연구실
 수석연구원
 E-mail : khyoo@kitech.re.kr

1. 머리말

최근에 지구온난화 문제가 대두되면서 기업의 지구 환경에 대한 고려가 사회적 의무로서 넓게 인식되기 시작하고 있다. 특히 1997년의 교토의정서에 의한 지구온난화 방지로의 적극적인 대책인 이산화탄소와 같은 온실가스의 저감을 목적으로 에너지 사용량의 절감에 직면하고 있다. 2001년 7월 독일 본에서 열린 기후변화협약 제6차 당사국 총회 속개 회의에서는 2008~2012년 동안 선진 38개국의 평균 온실가스 배출량이 1990년 배출량의 94.8% 수준이 되도록 대폭 감축기로 합의하였고, 최근 기후변화협약 부속협정인 교토의정서 이행안 협상이 타결되었다.

당초 우리나라는 개도국 유보조항의 적용을 받아 규제 일정이 2018~2022년으로 상당기간 유예되어 있었으나, 국내총생산(GNP)이 세계 13위, 온실가스 배출량이 세계 10위(1999년 4.1억톤 배출)이며 경제협력개발기구(OECD) 회원국이라는 점을 고려한다면 2차 이행기간인 2013~2017년의 적용을 받을 수도 있는 상황에 처해있다. 한편, 배럴당 50달러가 넘는 고유가 사례가 출현하면서 향후 석유 파동뿐만 아니라 고유가 시대가 도래할 가능성도 배제할 수 없는 실정이다.

이러한 배경하에서 우리나라의 수출주력품목인

반도체, 액정산업 등의 첨단 전자산업에서는 대규모 클린룸을 가지는 공장이 많아서 에너지 절약 대책을 통한 에너지의 철저한 사용 합리화가 요구되고 있다. 반도체 산업은 그동안 고기능·고집적 다바이스 제품에 의해 공업제품의 저소비 전력화에 크게 공헌해 왔지만, 반면에 반도체 공장에 필요한 전력 등 1차 에너지를 다량으로 소비하는 에너지 다소비형 산업이라고 말할 수 있다.

따라서 지구 온난화 방지 대책으로서 반도체 공장에 있어서의 에너지 절약은 필요불가결한 사항이 되고 있다. 본 지면에서는 대규모 공장을 가지는 반도체 및 액정산업 등의 첨단 전자산업의 클린룸 설비를 중심으로 에너지 소비량 및 에너지 절약 기술을 중심으로 고찰해 본다.

2. 반도체 공장에 있어서의 에너지 절약 방안

2.1 에너지 소비량의 구성

그림 1은 반도체 공장의 에너지 소비 구성을 도시하고 있다. 이에 따르면 1차 에너지의 90%가 전력이며, 그 중 45%를 생산 설비가, 40%를 공조 설비가 각각 소비하고 있다. 반도체 공장에 있어서의 공조 설비에 대해서는 소비 에너지의 대부분이 클린룸을 유지하기 위해서 사용되고 있지만, 그 클린

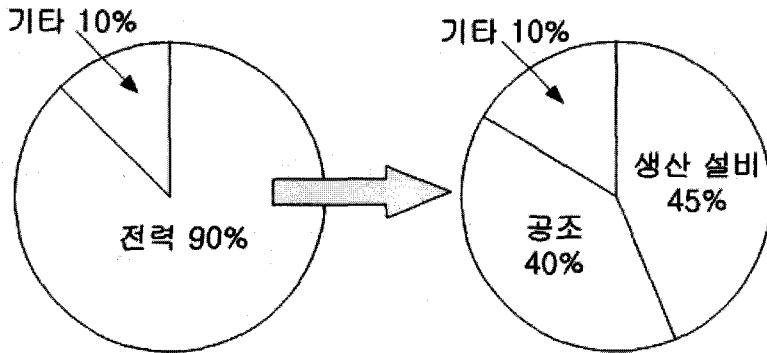


그림 1. 반도체 공장의 에너지 소비량의 분포

룸의 사양을 결정하는 주요소는 반도체 생산 장치 등의 생산 설비이다. 따라서 대규모 클린룸을 가지는 반도체 공장의 에너지 소비량은 생산 설비의 사양에 크게 좌우된다고 말할 수 있다.

클린룸 공조 설비의 에너지 소비량은 클린룸 단위면적당으로 환산했을 때 약 10년 전과 비교하면 상당한 에너지 절약을 반영하여 왔다. 이는 표 1에 도시한 바와 같이 반도체의 집적도 향상과 함께 클린룸 시스템의 개량이 이루어지고 있는 결과라고 생각된다.

클린룸 공조 설비의 에너지 소비량의 내역을 보면 공기 운송 동력의 절감, 특히 순환 공기 운송기기가 「축류 팬 → 원심 팬 → FFU」로 저소비 전력 기기로 변화한 것에 의한 클린룸 순환계통의 공기 운송 동력 절감이 에너지 절약에 크게 기여하였던 것으로 판단된다.

최근의 대규모 클린룸에서는 순환공기 운송기기로 FFU(Fan Filter Unit)를 채용하는 케이스가 많기 때문에 클린룸 단위면적당의 소비 에너지는 비교적 변화가 적다. 따라서 반도체 공장에서는 생산 설비의 사양에 의해 정해지는 소비 에너지가 총 소비량을 크게 좌우한다고 판단된다. 생산 설비의 사양 중에서 냉각 부하와 배기량이 공조 설비의 소

비 에너지에 가장 큰 영향을 주는 항목이다. 반도체 공장에 있어서의 에너지 절약을 생각하는 경우 생산 장치의 사양(장치 동력, 냉각 부하, 배기량, 유틸리티 사용량 등)을 결정할 단계에서 에너지 총량의 높낮이를 파악하는 것이 필요하다. 즉, 웨이퍼 처리 매수나 스루풋(throughput) 등으로부터 결정되는 생산 설비를 설계하는 단계에서 공조 설비 등의 에너지 절약을 검토하는 것이 가장 효과적인 에너지 절약 대책이라고 말할 수 있다.

전술한 바와 같이 반도체공장의 에너지 절약 방법으로는 생산 설비를 포함한 설계 단계에서 실시하는 것이 이상적이지만, 현재 가동하고 있는 클린룸에 대해서는 새로운 방법으로 에너지 절약을 고려해볼 필요가 있다. 공조 설비로부터 바라본 에너지 절약 기술을 그림 2에 나타낸다.

그림에서 공조 설비의 에너지 절약 기술의 순서를 생각해 보면, 그림 3과 같은 기본적인 클린룸 설계 순서와 유사한 흐름이 된다. 가장 효과적인 방법 으로서는 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.

표 1 반도체 공장의 클린룸 시스템 및 소비 에너지의 변화추이

집적도	클린룸 방식	클린룸 시스템	에너지 소비량과 공조열원설비의 구성
~ 64M DRAM	축류팬 중앙순환 방식		<p>유틸리티설비 0.40KW/m² 제조설비 3.54KW/m² 총합계 6.09KW/m²</p> <p>생산배기계 10% CR 순환계 26% 외조기 계통 7%</p>
64~256M DRAM	중앙순환+ FFU 국소순환 병용방식		<p>유틸리티 설비 0.41KW/m² 제조설비 4.58KW/m² 총합계 4.99KW/m²</p> <p>생산배기계 8% CR 순환계 17% 외조기 계통 11%</p>
256M DRAM	FFU 국소순환 방식		<p>유틸리티설비 0.41KW/m² 제조설비 4.03KW/m² 총합계 4.41KW/m²</p> <p>생산배기계 9% CR 순환계 8% 외조기 계통 10%</p>

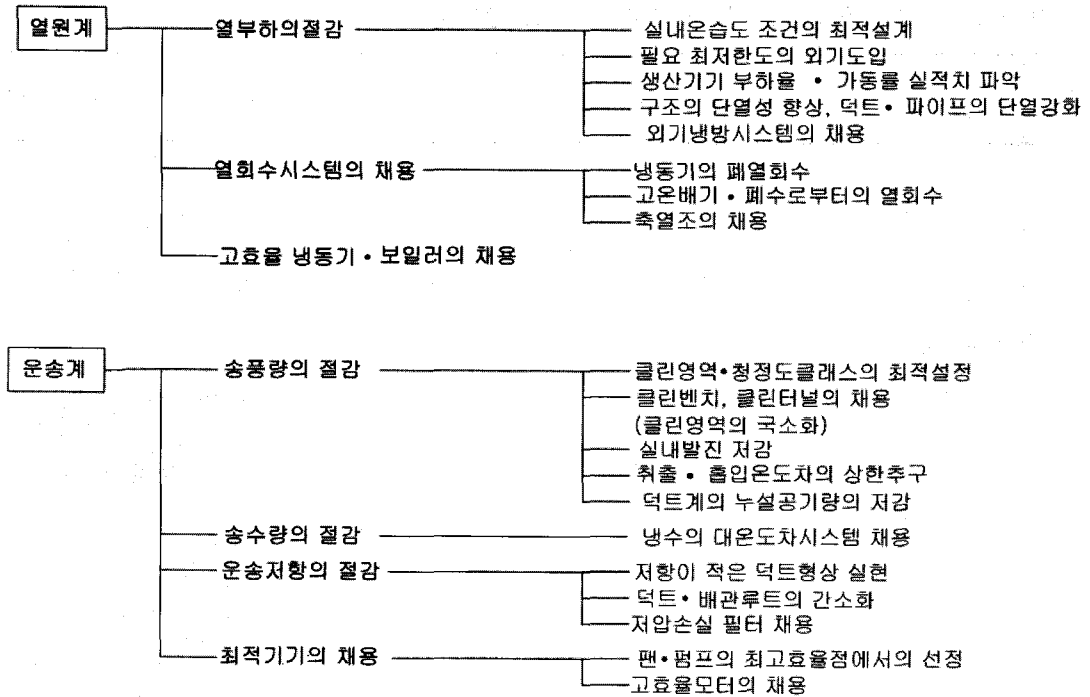


그림 2. 에너지절약 대상항목

다만, 청정도나 온습도로 결정한 조건을 다시 살펴보는 경우에 필요한 것은 프로세스로의 영향을 충분히 고려하는 것이다. 이 경우에 생산 설비 기술자와의 협의가 특히 필수적인 것이 된다.

다음으로는 결정할 수 있는 설계 조건에 근거해서 열원 시스템이나 공조 시스템을 재검토하는 것이다. 열회수 시스템이나 기기의 고효율화 등도 에너지 절약에는 빠뜨릴 수 없는 기술이다.

일례로서 채용 예를 많이 볼 수 있는 Free-cooling 시스템과 제너레이션(cogeneration) 시스템 등이 있다. 최종적인 순서로서는, 공조 설비의 운전 내용의 검토이다. 클린룸 운전 관리자의 경험과 생산 설비 기술자의 제휴에 의해 운전 모드나 온습도 설정의 재검토, 또한 메인テナンス 시기의 고려

에 의해 에너지 절약화를 실현할 수가 있다. 반도체 공장 등에 대해 이 기술들의 구체적인 전개로서 다음과 같은 활동을 실시할 수 있다.

- ① 설계 조건 재검토 : 시뮬레이션에 의한 제안
- ② 시스템 재검토 : 이니셜코스트(initial cost) (IC), 에너지 코스트(EC), 라이프 사이클 코스트(LCC) 등의 종합 평가에 의한 시스템 제안
- ③ 운용 재검토 : 온라인 데이터를 분석할 수 있는 에너지 관리 시스템의 개발

2.2 에너지 절약 방안

반도체 공장의 에너지 절약을 실행하기 위하여 우선 에너지 소비량의 변동요소가 클린룸 설비의 어디에 있고 또 무엇에 영향을 받는지 밝혀낼 필요

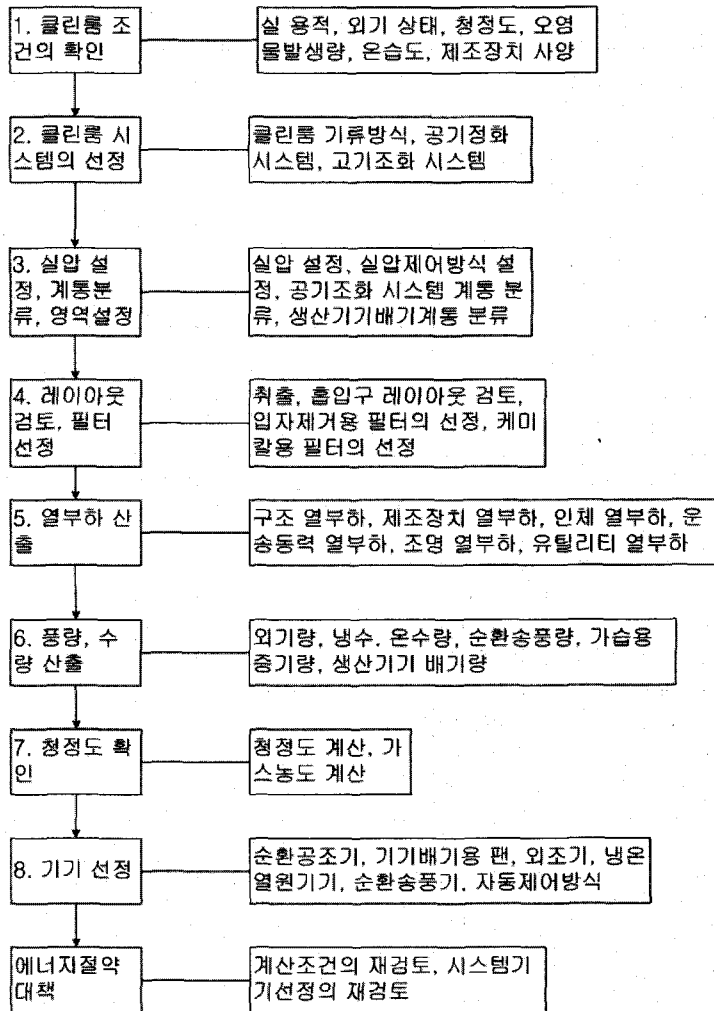


그림 3 클린룸 설계순서

가 있다. 클린룸 설비의 시스템 구성기기와 그 에너지 소비량 변동요소의 관계를 표 2에 나타낸다.

중축은 시스템을 구성하는 기기로서 크게 설비 명칭, 기기 명칭, 대표 방식의 세 가지로 분류했다. 클린룸 설비로서는 표 2의 항목 외에 造排水 설비, 전기 설비, 가스 설비, 藥液공급 설비 등이 있지만, 여

기에서는 에너지 소비량이 큰 공조 설비와 부대설비(냉각수, 배기, 압축 공기, 진공)를 대상으로 했다.

횡축은 에너지 소비량 변동요소로서 크게 부하 특성, 시스템 또는 구성기기의 특성, 시스템 특성에 의한 효과의 세 가지로 구분했다. 표에 표시된 기호의 의미는 예로서 冬期에 냉동기를 정지한 후 냉각

표 2 클린룸 설비의 시스템 구성기기와 에너지 소비량 변화요소

대분류	시스템 구성기기		에너지 소비량 변동요소																		
	중분류	소분류	부하특성					시스템 또는 구성기기의 특성					시스템 특성에 의한 효과								
			기상 조건	실내 조건	장치 부하	호출	온도	온도차 (유량)	온도차 (풍량)	압력 (저항)	정장도 (기류)	국소화	대수 제어	추열조	free cooling	변동량	외기 냉방	외기 최소	지열 교환기	연료수	
냉방열원 설비	냉동기	터보	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		흡수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	냉각탑	개방식	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		밀폐식	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
펌프	냉각수	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	1차냉수	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
냉방운송 설비	펌프	2차냉수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		외조기	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	송풍기	공조기	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		대형 순환팬	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
난방열원 설비	보일러	팬드라이코일유닛	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		팬필터유닛	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	수관	수관	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		爐筒煙管	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
펌프	貫流	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	급수(응축수)	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
난방운송 설비	펌프	진공급수	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		2차온수	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
급수설비	펌프	급수(陽水)	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		개방식	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
냉각수 설비	펌프	밀폐식	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		순환	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
배기 설비	scrubber	송풍기	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		펌프	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
압축공기 설비	진조기	공랭식	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		수랭식	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
진공설비	진공 펌프	냉동식	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		흡착식	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
진공설비	진공 펌프	스크류	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		루즈(roofs) 수봉	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

답에 의해 냉수를 제조하는 free cooling 시스템을 들어 설명하면 다음과 같다.

○ : 그 변동요소의 특성 또는 효과는 그 시스템 구성기기의 에너지 소비량을 변동시킨다. 예를 들면 free cooling의 효과는 터보 냉동기의 에너지 소비량을 저감한다.

△ : 그 변동요소의 특성 또는 효과는 다른 구성기기의 에너지 소비량이 변동하기 때문에 그 구성기기의 에너지 소비량도 변동한다. 예를 들면 free cooling의 효과로 터보 냉동기의 에너지 소비량이 저감하기 때문에 냉각수 또는 1차 냉수 펌프의 에너지 소비량도 저감한다.

□ : 그 변동요소의 특성 또는 효과는 그 구성기기의 에너지 소비량을 변동시키는 것에 의해서 다른 구성기기의 에너지 소비량을 변동시킨다. 예를 들면 free cooling의 효과는 밀폐식 냉각탑의 에너지 소비량을 증가시키는 것에 의해서 터보 냉동기의 에너지 소비량을 저감한다.

요컨대 ○은 주체기기, △는 그 부대기기, □는 ○ △이외의 에너지 절약 시스템 구성기기의 에너지 변동을 나타낸다.

(1) 부하 특성

에너지 소비량 변동요소는 우선 클린룸·부대설비 운전 시 부하 변동에 의한 것을 들 수 있다. 부하가 클 때에는 에너지 소비량이 커지고, 부하가 적을 때에는 에너지 소비량이 작아진다. 다만, 부하에 에너지 소비량이 추종하기 위해서는, 시스템 구성기기가 시스템용량 제어기능을 가지고 있는 것이 전체가 된다.

① 기상 조건

반도체 공장의 냉방 부하의 1/3, 난방 부하의 70~80%가 외기 부하이기 때문에 기상의 변동이

열원 설비의 에너지 소비량에 가장 큰 영향을 준다. 반도체 공장은 연간 냉방이기 때문에, 기상의 관점으로 부터 생각하면 입지 조건은 한랭지가 유리하다.

② 실내 조건

반도체 공장은 외벽+내벽의 더블스킨 구조로 창이 없는 것이 일반적이기 때문에 전달열에 의한 부하가 주는 영향은 적다. 따라서 실내 조건의 변경은 외기 부하가 주는 영향이 대부분이라고 생각해도 좋다. 반도체 공장은 실내의 이슬점 온도를 일정하게 제어하는 시스템이 많기 때문에, 온도 조건을 변경하는 것보다 습도 조건을 변경하는 편이 에너지 소비량에 큰 영향을 준다.

③ 제조장치 부하

반도체 공장의 제조 장치 부하는 연간을 통해 거의 일정하다고 생각하는 경우가 많지만, 제조 라인의 단계적 설치나 생산계획에 수반하는 부분운전에 의해 크게 변동한다. 따라서 부분 부하에 따르는 용량 제어 시스템을 채용하지 않으면, 제조 장치 부하의 변동은 에너지 소비량에 영향을 주지 않는다.

반대로, 예를 들면 실내의 온습도를 일정하게 하기 위해, 재열제어 시스템을 사용하고 있으면, 이중으로 에너지를 낭비하게 된다.

표 2의 외조기는 배기 풍량의 변동에 추종되는 용량 제어 시스템(실압 제어 등)의 채용에 의해 '○'으로 되어 공조기 등은 실내 현열 부하의 변동에 추종되는 용량 제어 시스템(변풍량 제어 등)의 채용에 의해 '○'로 된다.

(2) 시스템 또는 구성 기기의 특성

다음으로 클린룸 계획 시 시스템 또는 구성기기 자체의 특성 또는 성능에 의한 것을 들 수 있다. 즉 클린룸 계획 시 채용하는 시스템 및 구성기기에 의해서 반도체 공장의 에너지 소비량이 변동한다.

① 효율

구성기기의 에너지 소비 특성(효율)을 항상 배려해서 가장 에너지 소비량이 적은 메이커나 기기를 선정하는 것이 중요하다고 생각된다. 그러나 때때로 부하 특성을 충분히 파악하지 않고, 시스템 설계를 실시해서 모처럼의 고효율 기기를 저효율로 부분부하 운전시키는 경우가 많았다.

따라서 단지 고효율 기기를 선정하는 것이 아니라, 시스템과의 편성을 충분히 검토해서 구성기기를 가장 고효율로 운전시키는 것이 중요하다.

② 온도(이슬점)

냉수의 공급 온도는 냉동기의 성적계수에 관계해서 공급 온도를 변경하는 것에 의해서 에너지 소비량을 변동시킬 수 있다. 예를 들면 하기의 외기의 제습 처리에만 7℃ 냉수를 사용해서 실내의 열처리 는 12℃ 냉수로 설계하면 중간기와 동기의 냉수의 공급 온도는 12℃로 변경할 수 있다. 게다가 동기에 냉각탑에서 free cooling 하는 경우도, 공급 온도가 7℃ 보다 12℃로 하는 것이 운전 기간을 크게 연장할 수 있다.

표 2의 외조기, 공조기 등은 냉수의 공급 온도에 의해서 列數 또는 풍량이 증감하기 때문에 Δ로 했다.

③ 온도차(유량)

1차 운송 열량은 유량과 온도차를 곱한 것이기 때문에 온도차를 크게 하면, 유량을 작게 할 수 있다. 예를 들면 냉수 온도차를 5℃에서 10℃로 변경하면, 냉수량이 줄어들어 운송 설비의 에너지 소비량을 큰 폭으로 삭감할 수 있다.

게다가 냉동기의 성적 계수도 냉수 온도차가 5℃ 보다 10℃로 하는 것이 좋기 때문에 열원 설비의 에너지 소비량도 저감할 수 있다.

표에서 외조기, 공조기 등은 냉수 온도차에 의해서 列數가 증감하기 때문에 Δ로 했다.

④ 온도차(풍량)

1차 운송 열량과 같이 실내 현열량은 풍량과 온도차를 곱한 것이기때문에 온도차를 크게 하면 풍량을 작게 할 수 있어 운송 설비의 에너지 소비량을 저감 할 수 있다. 다만, 온도차를 크게 하면, 저운송풍을 하기 때문에 실내의 온도 분포나 공기의 혼합 방법을 충분히 고려해야 한다.

또, 고발열 기기가 많이 설치되어 있는 경우는 전산실과 같이 상승 기류로 하여 온도차를 크게 하는 것에 의해 운송 설비의 에너지 소비량을 저감할 수 있다.

⑤ 압력(저항)

운송 설비의 축동력은 유(풍)량과 압력을 곱한 것에 비례하기 때문에 압력을 낮게 하면 운송 설비의 에너지 소비량을 저감할 수 있다.

예를 들면 공기 순환 방식을 공조기와 덕트에 의한 센츄럴 시스템으로부터 팬 필터 유니트와 드라이코일에 의한 저압손실 시스템으로 변경하면 운송 설비의 에너지 소비량을 큰 폭으로 저감할 수 있다.

⑥ 청정도(기류)

청정도 클래스나 기류 형식은 풍량과 관계해서 그 변경에 의해 에너지 소비량을 변동시킬 수 있다.

예를 들면 같은 청정도 클래스에서도 기류 형식을 일방향 유형으로부터 비일방향 유형으로 변경하면 풍량이 반감되어 운송 설비의 에너지 소비량을 큰 폭으로 저감할 수 있다.

⑦ 국소화

전항에서 기술한 것처럼 청정도 클래스에 의해

에너지 소비량이 변동하기 때문에 고정정도 클래스의 영역을 국소화하는 것에 의해, 운송 설비의 에너지 소비량을 저감할 수 있다. 이것이 mini-environment 기술이다.

(3) 시스템 특성에 의한 효과

마지막으로 에너지 절약 시스템의 운전 효과에 의한 것을 들 수 있다. 즉 클린룸 계획 시에 채용한 에너지 절약 시스템의 운전 효과에 의해 반도체 공장의 에너지 소비량이 변동한다.

① 대수 제어

시스템 구성기기의 용량은 피크부하에서 결정되지만, 연간을 통해 보면 고부하 출현 회수는 작아서 장시간의 부분부하 운전을 실시하게 된다.

이에 맞게 기기의 운전 패턴이나 연간부하와 기기 특성 등을 충분히 검토해서 용량분할하고 최적의 대수 제어 시스템으로 운전하면 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

② 축열조

반도체 공장의 열부하 패턴은 부하의 하루 최대 최소비가 작고, 2차 측 공조는 24시간 운전하기 때문에 축열에 의한 에너지 절약 효과는 어렵다.

또한 축열조로부터의 열손실, 개방 시스템에 있어서의 펌프동력 증대, 빙축열의 경우 성적계수 저하 등 에너지 절약에 반하는 점을 들 수 있다.

그러나 free cooling이나 다른 열회수 시스템과 조합하는 것으로 반도체 공장의 중요 문제인 운전의 안전성과 공급의 안정성을 겸비한 에너지 절약 시스템을 구성하기 때문에 열원 설비를 '△'로 했다.

③ Free cooling

반도체 공장은 연간 냉방이기 때문에, 동기에 냉

각탑이나 외조기에 의한 free cooling 시스템을 채용하는 경우가 많다. 외기의 습구 온도 변동이 냉각탑의 출구 온도를 변동시키기 때문에 시스템의 변환을 부드럽게 할 수 있는 배려가 필요하다. 위험성이 있는 시스템은 운전기간도 짧아지고 에너지 절약 효과도 적게 된다.

④ 변류량

펌프의 대수 제어나 회전수 제어 등으로 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

⑤ 변동량

펌프와 같이 송풍기의 대수 제어나 회전수 제어 등에 의해서 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다. 다만 청정도의 유지 등을 위해 최저 풍량에 주의가 필요하다.

⑥ 외기냉방

에너지 절약의 관점에서 생각하면, 동기의 직접 외기냉방은 유리하지만, 청정도의 관점에서 보면, 동기도 필요 최소한의 외기를 도입하고 있다. 동기의 자연 에너지는 전항에서 기술한 free cooling 시스템 등에서 간접적으로 이용하는 경우가 많다.

⑦ 최소 외기

연간을 통해 필요 최소한의 외기를 도입하는 것에 의해서, 하기는 냉방 설비의 에너지 절약 효과를, 동기는 난방 설비의 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다. 표 2의 외조기, 공조기는 최소 외기 운전에 의해서 열원 설비의 에너지 소비량이 저감하기 때문에 '□'로 했다.

⑧ 전열교환기

반도체 공장의 배기는 제해 처리를 필요로 하기

때문에 전열교환기에 의한 배기의 열회수는 일반적으로 채용되어 있지 않다. 향후 크로스 오염이 해소되는 시스템이 개발되면 에너지 절약 효과를 기대할 수 있다.

⑨ 열회수

반도체공장내의 잉여열을 회수해서 가열이나 냉각을 필요로 하는 부대설비에 직접 또는 히트펌프 등에 의한 온도상승이나 축열을 실시해서 운송하여 이용한다. 예를 들면 냉동기의 배열, 순수, 원수의 냉열, 가스의 증발열 등을 회수하는 것에 의해서 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다. 다만 부대설비의 운전 패턴이나 부하 특성 등을 충분히 검토해 계획하지 않으면, 에너지 절약 시스템이 중복되어 운용할 수 없는 경우에 대한 주의가 필요하다.

3. 액정 공장에서의 에너지 절약 방안

LCD는 CRT에 비해 현격히 공간절약, 저소비 전력, 눈에 선명함 등의 액정 디스플레이만이 가능한 특징으로 인기를 끌고 있다. 그리고 저소비 전력이라는 것에 의해 CO₂ 삭감에도 공헌할 수 있어 환경을 생각하는 제품이라고 말할 수 있다.

그러나 LCD의 제조에 관련되는 에너지 소비량은 매우 많기 때문에 생산 설비의 간결화 및 에너지 절약의 시책이 요구된다.

3.1 에너지 소비량의 구성

(1) 에너지의 구성

- ① 건축 설비 : 급배수 위생, 사무실 전기, 공조, 방재 설비.
- ② 클린룸 : 공조, 전기, 클린룸 기기.
- ③ 受變電 : 수전, 변전, 배전.
- ④ 열원 설비 : 냉동기, 보일러, 냉각탑.

- ⑤ 造排水 설비 : 純水설비, 배수 처리, 물회수 설비.
- ⑥ 用力 설비 : 가스 공급 설비, 약품 공급 설비, 건조공기, 진공, 설비 냉각수, 진공청소.
- ⑦ 배가스 설비 : 除害 장치, scrubber, 유기 처리 장치. 현실
- ⑧ 생산 설비 : CVD, 스퍼터, 도포, 노광 장치, 현상 장치, 드라이 에퀴, 세정 장치, 검사 장치, 配向膜 인쇄, 러빙, 세정, 건조, 필 인쇄, 중합 장치, 소성, 액정 주입기, 封孔, 절단, 검사, 단자 접속, 實裝, 조립, 표시 검사.
- ⑨ 자동 운송 설비 : 메인 운송, 서브 운송, 자동 창고, 제어 시스템.
- ⑩ 감시 장치 : 시스템, 센서.

(2) 에너지 소비량의 특징

LCD 공장은 전체에너지 소비량 중에서 전기 소비 에너지가 전체의 약 60 %를 차지하고 있다. 그 중에서 생산 설비로부터의 발열 부하, 외기 부하, 생산 환경을 유지하기 위한 클린룸 팬 운송 동력, 냉방 부하, 부대 설비, 동력 설비의 전력 소비가 그림 4와 같이 약 45 % 정도로 크다.

또, 클린룸은 생산 설비로부터의 발열 부하를 처리하기 때문에 연관을 통해 냉방하는 시설이며, 냉

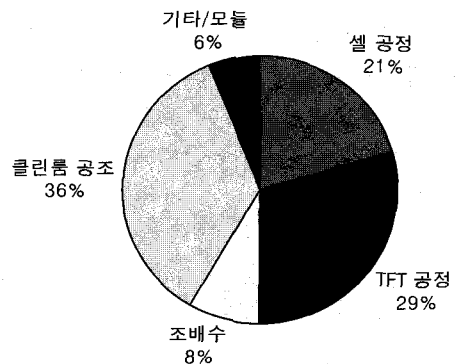


그림 4. 액정 공장의 전기 에너지 소비량 분포

동기에 관련되는 소비 에너지가 클린룸 전체 소비 에너지의 주요한 부분을 차지하고 있다. 에너지의 사용률에서는 클린룸의 사용률이 높지만, 이것은 생산 설비의 발열의 냉각에 사용되고 있기 때문에 에너지를 절약할 수 있는 생산 설비의 개발이 요구된다.

3.2 에너지 절약 방안

에너지 및 자원 절약 라인의 구축으로서 겨울이라도 냉방 모드로 연간 운전하는 클린룸에는 동계 외기 이용 냉수 순환, 송풍 운송 동력을 줄이는 팬 필터 유니트(FFU), 공조기 부하를 경감하기 위해 배기량의 극소화로서 국소 배기, 에너지 peak-cut 으로서의 빙축열, 물 사용료를 줄이기 위한 순수 회수율 향상 등을 도모하여 에너지 절약을 추진할 수가 있다.

종래부터 생산 설비 발열 부하, 배기에 동반되는 외기 처리의 부하, 공기 운송 동력 부하, 프로세스의 단축에 대해서는 주로 고려되어 왔지만, 향후도

이 4 항목에 대해서는 중요한 부하 저감 아이템으로서 개발·시스템 검토를 도모할 필요가 있다.

또, 신규 라인 구축에서는 생산 설비, 부대 설비 모두 각 기기 메이커의 에너지 절약이 도모되고 있기 때문에 종래 설비보다 낮은 효율로 동등의 능력을 낼 수 있는 양상으로 개발이 진행되어 왔다. 그리고 신규 라인 구축 시에 이러한 기기 및 에너지 절약 시스템 도입을 계획하지 않으면 나중에는 방대한 비용과 시간을 낭비하므로 반드시 검토를 해야 하는 것이다.

(1) 시스템 효율 개선

① 공조 방식

클린룸의 공조 방식에는 난류식, 수평 층류, 수직 층류, 터널식, spot 클린식, 클린 튜브식 등 여러 가지가 있지만, 유연성과 유지관리비를 고려해 선정할 필요가 있다.

현재는 대공간 FFU 방식이 주류가 되고 있지만,

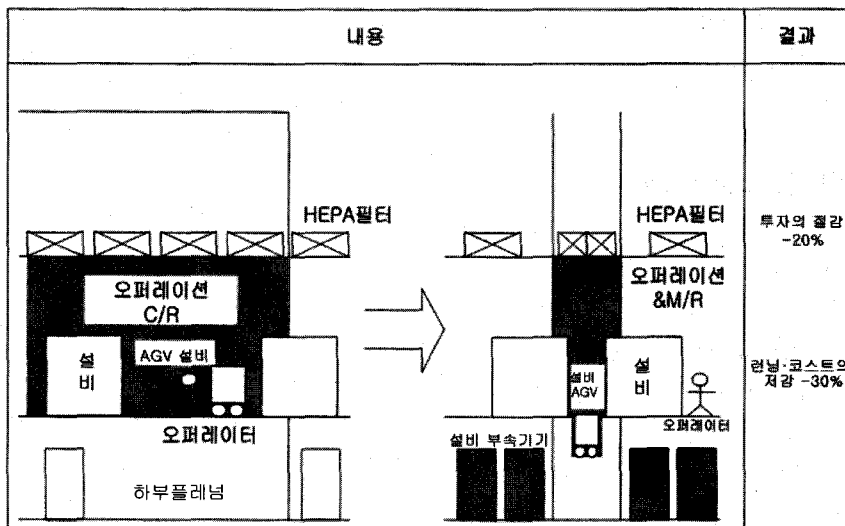


그림 5. 국소 클린화

종래의 AHU 방식보다 운송 동력이 매우 적게 이루어지고 있다. 필터와 팬의 적절한 선정으로 더욱 효율을 최대한으로 살릴 수 있으므로 충분히 검토가 필요하다.

또, FCU는 드라이 코일의 정압을 스스로 처리해서 클린룸으로의 공기 운송정압을 저감하는 것으로 더욱 FFU의 운송 동력을 삭감할 수 있다. 기기 개선에서는 AC 모터로부터 DC 모터로의 변경으로부터 가변이 가능하게 되어 한층 더 에너지 절약을 도모할 수 있다.

② 국소 클린

그림 5는 국소 클린화의 개념도이다. 클린룸은 유지관리가 방대하기 때문에 그림의 좌측에 도시된 종래의 대공간 방식으로부터 차세대는 국소 방식을 극한까지 진전시켜 국소 클린의 클린룸을 도모해서 면적 극소화를 실현할 필요가 있다.

이를 위해서는 생산 설비의 간결화가 필수 조건이며, 또, 마루밑(상하, 하부 플레넘) 공간을 유효하게 활용하기 위해 공조기, 생산 설비의 부속 등을 마루밑에 설치하거나 운송의 통로를 마련해서 다층으로 함으로써 생산에 사용하는 클린룸 면적의 절감을 도모하였다.

③ 코제너레이션(cogeneration)

전력회사로부터 전력을 공급받는 경우 공급원으로부터 소비측까지의 송전의 에너지 효율은 약 35%로, 65% 정도의 에너지 손실이 있다. 이것에 대해 코제너레이션(cogeneration) 시스템에서는 75~85%의 종합 에너지 효율을 얻을 수 있다. 이에 따라 종래에 비해 약 20% 정도의 에너지가 절약된다. 또, 그림 6과 같이 코제너레이션(cogeneration) 시스템으로부터 얻을 수 있는 증기를 이용해서 흡수식 냉동기와 조합하는 경우에 의해 더욱더 전력

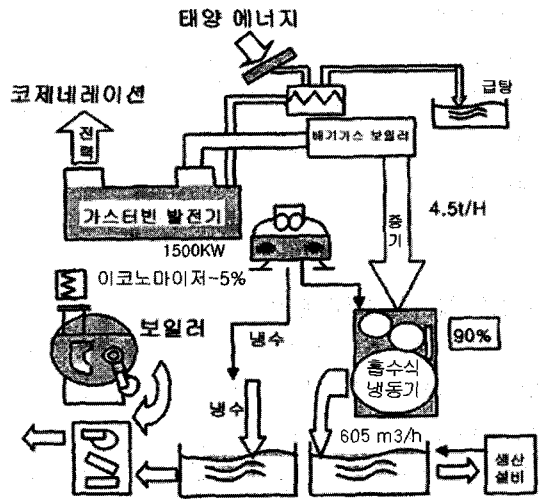


그림 6. 코제너레이션 시스템

의 절감을 도모할 수 있다.

④ 열원공조 방식

종래부터 반도체 산업 및 액정 제조 공장에서는 터보 냉동기가 주류로 도입되어 왔지만, 비 프레온화, 에너지 절약이 주장되는 동안 최근에 재부상된 흡수식 냉동기는 터보 냉동기에 비해 10% 정도의 전력으로 운전할 수 있어 약 90%의 전력 감소가 된다. 그러나 온실 효과 가스 삭감 측면에서 보면 증기를 이용하고 있기 때문에 종합 에너지로서의 효과의 검증이 필요하고, 전술한 코제너레이션 시스템과의 편성에 의해 에너지 절약을 도모할 필요가 있다.

⑤ 축열조

그림 7의 축열조는 저가 요금 설정시인 야간 전력을 사용하기 때문에 주간의 약 20%의 요금으로 사용할 수 있어 용력 경비 절감 및 peak-cut에는 유효하다. 하지만 에너지 절약을 생각하는데 있어

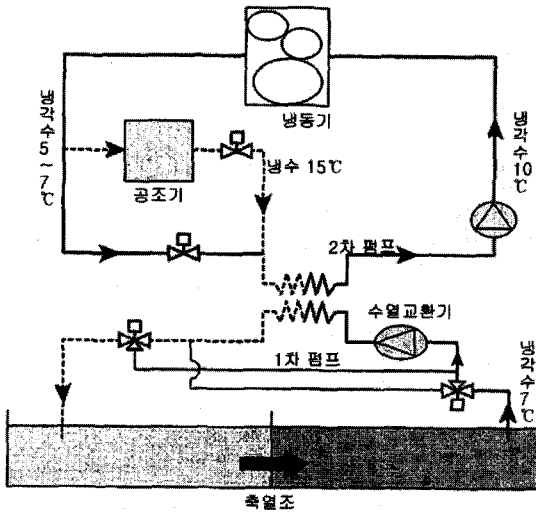


그림 7. 축열조

서는 에너지 손실도 커서 저축한 에너지를 충분히 활용할 수 없다. 그대로 사용하는 것은 에너지 절약에 직접 연결되지 않는다. 모처럼 저축한 에너지를 유효하게 사용하기 위해서는 수조내의 보온과 유효한 시스템의 검토가 필요하고, 수조를 저온부와 고온부로 명확하게 구분해 사용한다.

또, 최근에는 빙축열도 각광을 받고 있어 효율 향상을 더욱더 도모할 수 있다. 얼음을 이용해서 초저온수로 열교환을 실현하면, 소량의 물의 운송으로 해결되어 운송 에너지의 절감을 도모할 수 있다.

⑥ 순차적 확장형 초순수 장치 시스템

액정 제조를 위해서 필요로 하는 초순수를 제조하려면 미립자, 용존물질 등 물 속에 이온화된 불순물 제거를 위해 여과-RO-이온교환 수지-脫氣-가열-냉각-UV-UF-MF-펌프 등의 여러가지 설비의 조합으로 편성되고 있어 이것들을 운전하는데는 큰 동력이 필요하게 된다. 또, 이것들은 사용시점의 변동에 관계없이 상시 운전되고 있는 것이

상식으로 되어 있다.

이러한 종래의 플랜트형에서는 쓸모없는 에너지를 사용하므로, 막 처리 및 전기 재생식 탈이온을 주체로 한 유닛형의 편성에 의해 종래의 플랜트형의 초순수 장치를 간결화할 수 있다. 간결화한 소형 유닛은 필요한 만큼의 운전이 가능하기 때문에 사용시점의 변동에 연동한 공급을 할 수 있어 쓸모없는 운송이 불필요해진다.

여기서 주목해야 할 것은 이니셜 코스트 측면에서 소형의 편성에서는 대형의 스케일 메리트와 비교해서 고비용에 된다고 생각할 수 있다. 유닛화에서는 그림 8에 나타내는 것처럼 쓸모없는 부품은 생략해서 플랜트형에서는 할 수 없었던 균살을 제거한 시스템으로 코스트를 다운시킨 다음 에너지 절약을 추진하는 것이다. 이를 적용하면 초기 투자로 30% 절감, 설치 면적 60% 절감, 런닝코스트 10% 절감, 공사단축(공사 에너지 절감) 75% 절감을 실현한다. 이것은 종래의 플랜트형의 생각을 전환한 결과이며, 다른 부대설비에도 전개해야 한다.

(2) 운송 동력 절감

일반적으로 대형물보다 소형은 불리하지만, 현장 제작의 플랜트 고찰로부터 공장 생산의 유닛화에 의해 인건비의 절감을 도모할 수 있다. 그리고 공사중의 에너지 절감으로 연결된다.

① 공장 부대설비의 유닛화

공장에서는 주요 用力源은 관리상 한 곳에 모아지고 있는 것이 일반적으로 되어 있다. 이 batch 방식에서는 에너지 손실이 발생한다. 각 동력 설비를 유닛화하고 사용 지점에 인접 설치해서 생산 설비와 인라인을 도모하면 런닝 코스트도 삭감할 수 있어 에너지 절약을 도모할 수 있다.

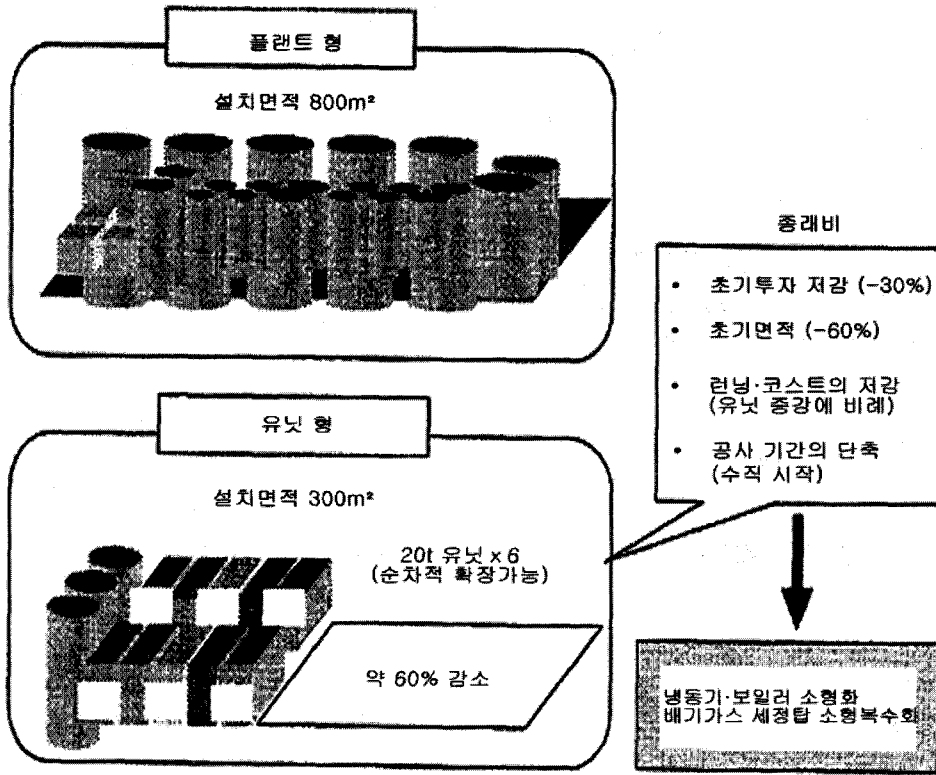


그림 8. 순차적 확장형 초순수장치 시스템

② 저압 RO

종래의 RO 막은 고압으로 압송하기 때문에 큰 동력을 필요로 한다. 최근에는 저압막, 더욱 초저압막의 개발이 진행되어 에너지 절약이 추구되어 기존 설비의 개조비를 투입해도 유리하다. 또, 막을 사용해 회수율을 향상시키는 것으로 환경 부하의 절감에도 공헌할 수 있다.

③ FFU 방식

최근에 있어서의 클린룸의 에너지 절약의 역사 중에서 FFU의 에너지절약 추진은 경이로운 것이다. 공조 시스템을 센츨 방식으로부터 팬필터 유

닛 방식으로, 그리고 국소 방식으로 발전시켜 왔다. 센츨 방식에서는 조닝의 컨트롤이나 섬세한 각 설비구역 마다의 풍량 조절이 적합하지 않을 뿐만 아니라 공기조화기로부터 클린룸까지를 덕트로 공기를 운송하고 있기 때문에 큰 운송 동력을 필요로 했다.

또, 덕트로부터의 공기 누설 등의 에너지 손실도 생긴다. 한편, 이니셜 코스트를 줄이기 위해 덕트 사이즈를 작게 하면 더욱 정압이 증가하여 에너지 손실을 일으키는 것이 된다. 팬 필터 유닛 방식은 센츨 방식에 비해 약 30~40%의 운송 동력이 절감된다. 그림 9는 FFU 방식을 보여주고 있다.

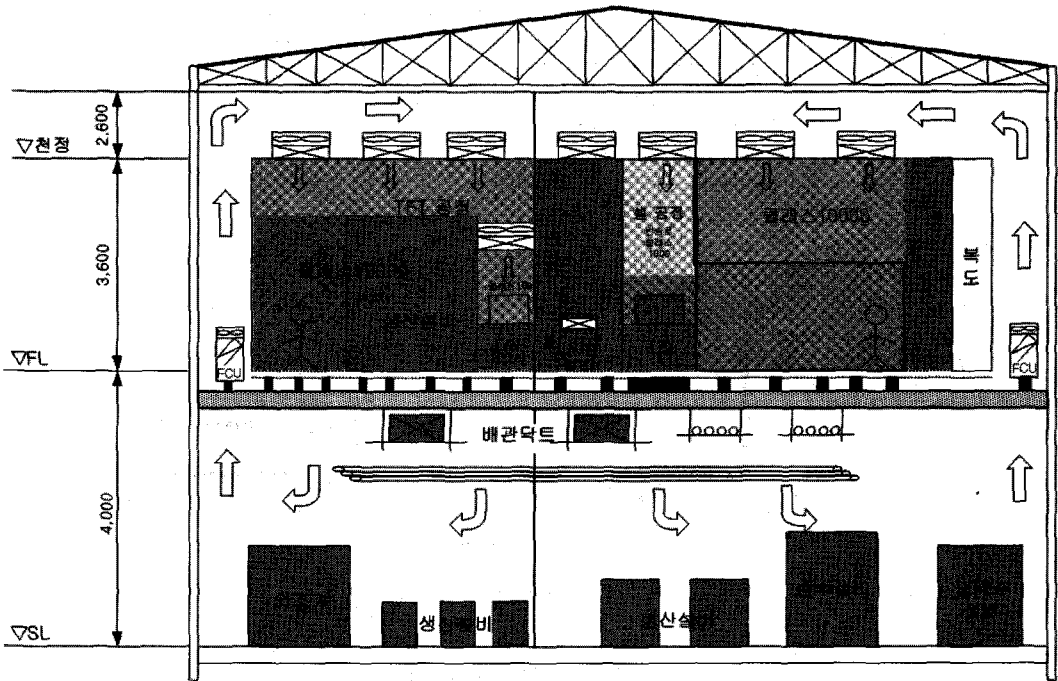


그림 9. FFU 방식

④ 냉각수 설비

종래의 渦卷(소용돌이) 펌프로부터 인버터 부착 주파수 프리 펌프로 변경하여 공간 절약, 저소음, 전력 절약을 실현할 수 있다. 이것은 직결 모터이기 때문에 저소음을 실현할 수 있고 소형이고 바닥 하부에 설치해서 사용지점 근처에 설치되어 결과적으로 에너지 절약이 된다.

또, 복수 설치하는 것에 의해 부하 변동에 맞춘 공급을 할 수가 있다.

(3) 배기량 삭감

① 외기 도입량 삭감

藥液 증기의 클린룸 안으로의 유출을 방지하기 위해 세정 장치 등에서는 대량의 배기를 실시하고

있다. 세정장치로부터의 배기량이 많으면 그 만큼 외기의 유입량도 증가해서 그 처리에 큰 에너지를 필요로 한다.

또, 세정장치의 배기를 단순히 감소시키는 것은 클린룸 안으로의 유출을 유도한다. 세정장치는 개구부를 최대한으로 줄여 챔버에서 셔터로 개폐하고, 열려 있을 때는 그림 10과 같이 에어 커튼으로 배기 덕트로 직접 push-pull 방식으로 배기한다. 이것에 의해 배기량은 반감할 수 있어 큰 에너지 절약이 된다.

② 유기 배기 처리

액정 공장에서는 대 풍량의 유기 배기 처리를 피할 수 없기 때문에 큰 에너지를 필요로 하고 있다. 이 VOC를 제올라이트로 선택, 흡착해서 고농도 소풍량으로 농축하고 연소나 회수 처리를 하는 기술

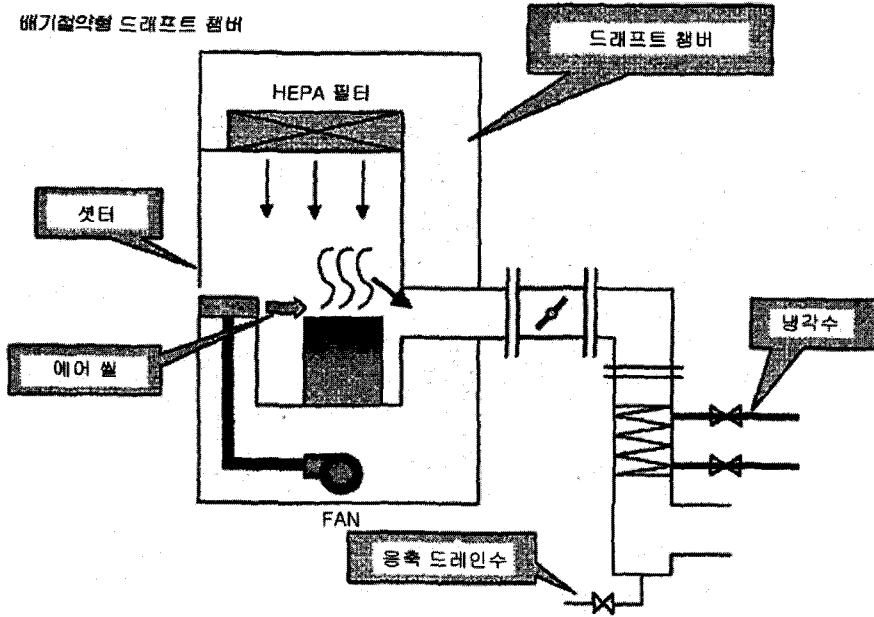


그림 10. 배기량 절감

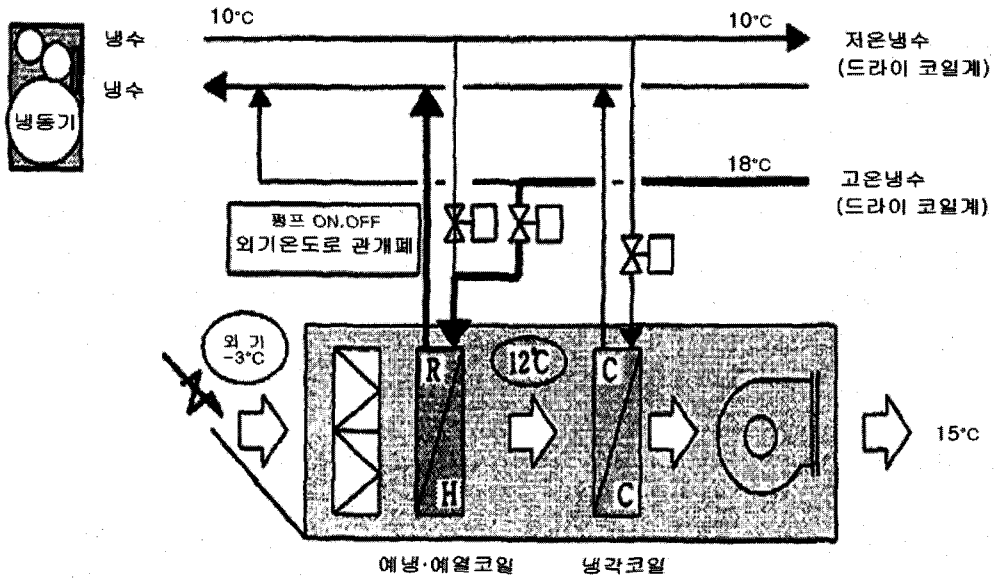


그림 11. 겨울철 외기냉방

이 최근 적용되고 있다. 이 기술에 의해 설비 투자, 런닝 코스트를 삭감할 수 있어 에너지 절약으로 연결된다.

(4) 열회수 이용

효율이 높은 배열 회수로서 열전달계수가 높은 재료의 선정 또는 향후의 연구로서 배열의 電氣화가 기대된다.

① 동계 동결 설비의 보온

동계 동결 방지에는 종래 전기 히터가 주로 사용되었다. 대부분이 상온을 유지하면 좋으며 높은 온도는 필요로 하지 않기 때문에, 증기환수 및 배열을 이용한다. 또 유기 배기 장치의 재생 탈착에 필요로 하게 되는 증기도 연소 장치로부터의 배열의 이용을 한다.

(5) 자연 에너지 이용

① 동계 외기 냉방

겨울에도 냉방 모드로 연간 운전하는 클린룸에서는 동계 외기 이용 냉수 순환으로서 외기 조화기에 코일을 설치해서 그림 11과 같이 순환 공기 조화기로부터의 리턴수를 외기 조화기에 마련한 열교환기로 통해 외기(냉기)를 통과시켜 리턴수의 온도를 내려 냉수를 제조한다. 이것에 의해 냉동기의 운전을 저감한다.

또, 기화열에 의해 발생한 따뜻해진 공기에 의해, 외기 공기 조화기의 예열 코일이 불필요해져서 증기 사용량의 저감을 도모할 수가 있다. 기상 관측 기온 데이터를 기본으로 외기의 이용 가능 기간을 상정하면 연간으로 절반정도로 에너지를 이용할 수 있다.

② 프리쿨링(free cooling)

프리쿨링 시스템은 그림 12에 도시된 바와 같이

동계의 기간 중에 냉동기를 정지하고 냉각탑에서 직접 냉수를 제조, 공급하는 것이다. 자연 에너지 이용 기술로서 넓게 적용되고 있는 시스템이며, 약 30 %의 냉동기 부하의 저감이 된다.

③ 태양 에너지

풍력, 지열, 수력, 태양 에너지 등의 자연 에너지 중에서도 태양 에너지는 실용화를 향해 기술의 진보가 급속히 진행되고 있다.

액정 공장에서는 건물은 창이 없기 때문에 항상 조명을 점등시키고 있다. 조명은 태양 에너지를 이용해서 人感 센서로 필요한 때에 점등시키는 경우로 한다. 또, 기기는 에너지 절약형을 선정한다.

(6) 운용 효율 개선

① 조명 전력 절감

공장의 복도나 클린룸(用力실·바닥 하부)은 항상 조명을 점등해 둘 필요는 없고 인감 센서로 인감을 감지해서 필요할 때만 점등시킨다. 또, 클린룸은 최근에 자동화, 완전 자동화에 따라 그만큼의 조도가 요구되지 않게 되어 지고 있다.

따라서 향후는 설계치의 재검토나 점등 패턴을 고려한 시스템이 필요하다.

② 부하 예측 제어 시스템

자원의 낭비를 없애기 위해 그림 12과 같이 에너지 소비량을 예측하고 변동에 맞추어 부대 장치를 운전해서 공급한다.

RGV의 에리어에서는 온도도 센서로 감지해서 냉수 유량을 조정하고 냉동기 운전이 피드백한다. 또, 파티클 카운터의 연동에 의해 FFU의 운전을 제어(100~200~300 회/h)해서 인터락에는 인감 센서로 감지하고, 클린룸의 풍량을 통상의 저풍량 운

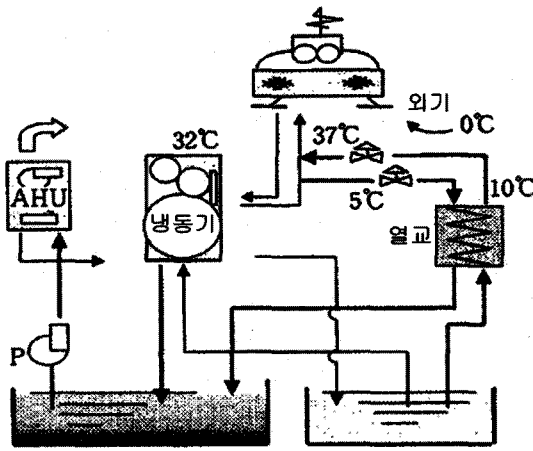


그림 12. 부하 예측 제어 시스템

전으로부터 고속 운전으로 전환하고 사람이 들어오지 않을 때에는 저풍량으로 한다.

③ 가변식 클린룸

클린룸은 약품, 식품, 의약품의 바이오 클린룸으로부터 발전해서 전자 산업의 64 kDRAM→256 M→64 G로 급속히 발전을 이루는 가운데 고도의 처리를 필요로 했다. 최근에는 지구 온난화 방지 등으로부터 이것을 재검토하는 분위기가 높아져서 시스템이 재검토되고 있다.

클린룸은 청정도를 유지하기 위해 환기 회수를 300회~500회로 상승시키고 운송용 팬을 설정해서 순환시키고 있다. 클린룸에 있어서 오염원은 외기, 생산 설비로부터의 발전, 약품, 部材로 여러 가지가 있지만 제일의 오염원은 사람이다. 즉 사람이 없으면 환기 회수는 저감될 수 있다. 최근 클린룸은 자동화가 진행되어 제품 라인 측에 무인 제조 라인을 구축하고 있다. 사람이 클린룸 입실하는 것은 생산 설비의 유지보수 때이다. 사람이 클린룸 입실했을 때에 인감 센서로 감지해서 FFU를 정규의 정압으로

되돌려서 청정도를 유지한다. 그 이외에는 저속으로 운전한다. 이것에 의해 약 30%의 운전 에너지의 에너지절약이 실현될 수 있다.

④ 폐수 처리 부하 저감

액정 공장에서는 박리제, BHF, PHC, 현상액(TMAH), 유기용제 등의 각종 공정 약품을 사용하고 있다. 이것을 처리하기 위해 응집, 고도처리, 분리, 중화 등을 실시하기 위해서 여러가지 약품을 사용하고 방류하고 있다.

이러한 에너지 절약은 원점으로 돌아가서 공정 약품을 사용하지 않는 프로세스 및 공정 단축의 개발이 이루어져야 한다. 그렇지만 그렇게 간단하게 행해지지 않는 것이 현실이다. 세정에 기능수를 사용하는 것에 의해 프로세스 약품을 절감할 수 있으면, 처리도 단순화되고 환경 부하 저감과 에너지 절약이 도모될 수 있다. 배출된 폐수는 분별 회수해서 처리 후 회수재이용율 90%를 계획하고 공정으로 되돌린다. 회수 곤란한 폐액, 배수는 향후 주목받을 폐수의 완전 처리로서 초임계수 등의 검토도 생각해볼 수 있다.

⑤ 인버터화

공장의 부대 인프라는 항상 안정공급이 요구되기 때문에 어느 정도의 여력을 가미한 설계를 하고 있다. 물이나 공기의 운송에 사용되는 펌프 및 팬의 모터 등의 여력 동력을 적정한 운전으로 하기 위해 주파수를 조정해 에너지 절약을 도모한다.

4. 맺음말

반도체 공장에 있어서의 지금까지의 에너지 절약은 공조 설비에 관련된 대책을 중점적으로 실시해 왔다고 말할 수 있다. 그러나 향후는 생산 설비에 관련된 대책도 강화할 필요가 있다고 생각한

다. 300 mm 웨이퍼의 도입이나 100 nm 디바이스 이후의 시대에는 생산 설비와 공조 설비의 제휴를 강하게 한 에너지 절약 대책이 바람직하다고 말할 수 있다. 한편, 반도체 공장이 정말로 에너지 절약 효과를 달성하고 있을까 하는 의문은 클린룸 및 부대설비가 운전 개시되고 결과가 나온다. 그러나 때때로 설계의도가 관리자에게 충분히 이해되지 않고, 또 제조 라인으로부터의 클레임을 두려워한 나머지 에너지 절약 시스템의 운전을 보류하는 등, 에너지를 낭비하는 운전 관리를 하기 쉽다. 따라서 반도체 공장의 에너지 절약을 진행시키기 위해서는 에너지 절약 시스템의 도입은 물론이지만, 운용 관리도 중요해진다. 에너지 절약 시스템이란 보물이 무용지물이 되지 않도록 적절한 계측계량 시스템을 도입하고, 공장의 에너지 소비 상태를 파악하면서 운전 관리할 수 있도록 하는 것은 에너지 절약 효과를 보다 크게 할 것이라고 판단된다.

일본의 경우 디바이스 메이커가 속한 (사)일본전자정보기술산업협회(JEITA; Japan Electronics & Information Technology Industries Association) (전신은 (사)일본전자기계공업회(EIAJ))에서는 지구 온난화 대책 특별위원회를 1998년에 발족시켜 그 목적의 하나로서 에너지 절약 활동을 들고 있다.

이 JEITA의 에너지 절약 working group에서는 일본 반도체 장치 제조업 협회(SEAJ)나 일본공기청정협회(JACA) 등과 협력하여 반도체 산업의 종합적인 에너지 절약 활동을 적극적으로 추진하고 있다. 우리의 경우 이와 같은 특별위원회는 현재 전무한 형편이므로 결성을 서두를 필요가 있다고 생각된다.

- 참고문헌 -

1. 柏瀬 芳昭, 2001, “クリーンルーム設備における省エネルギー”, クリーンテクノロジー(클린테크놀로지), 1월호, pp. 51~53.
2. 田中 宣雄, 2002, “半導体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), 9월호, pp. 16~22.
3. 野澤 英美, 2002, “半導体工場のエネルギー消費変動要素”, クリーンテクノロジー(클린테크놀로지), 9월호, pp. 22~26.
4. 木暮 健兒, 2001, “LCD工場ライン構築におけるエネルギー有効活用”, クリーンテクノロジー(클린테크놀로지), 4월호, pp. 12~21.
5. 藪原 要治, 2002, “半導体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), 9월호, pp. 1~3.