

# 클린룸 공조설비에서의 에너지절약 대책 (FFU 중심으로)

문 인 호 | (주)신성이엔지 기술연구소  
부장

E-Mail : moonih@shinsung.co.kr

## 1. 서 론

반도체, LCD 및 정밀제조분야에서 제품의 입자 및 화학오염 방지를 위해 널리 사용되고 있는 필수 설비로서 클린룸은, 제조 장비를 비롯하여 온습도 및 압력, 청정도를 유지하기 위하여 소비되는 에너지가 집약적이고 대량이기 때문에 일반 산업설비에 비하여 다소비에너지 설비로 분류된다. 특히 국내에서는 최근에 LCD 산업의 급속한 발달로 인하여 클린룸이 대형화되고 건설 수량 또한 많이 늘어나고 있는 추세이다. 따라서 반도체 및 LCD 제조용 클린룸에서의 에너지절약 대책은 교토의정서 발효로 발생한 온실가스 의무감축과 관련되며, 에너지를 거의 대부분 외국에 의존하는 우리나라로서는 매우 중요한 요소가 될 수밖에 없다.

현재 클린룸 시스템에서 운전되는 청정도 및 온습도 제어용 장비들은 에너지절약적인 개념까지는 도입하지 못하고 있는 실정이나, 향후 건설되는 클린룸이나 개보수 되는 클린룸은 이러한 에너지소비 개념의 도입이 적극적으로 검토되어야 할 시점이라고 판단된다. 클린룸에서 사용되는 시스템 구성기기의 에너지 소비량 변동은 부하특성, 기상조건, 실내조건, 제조장치 부하, 공급되는 공기의 온도차, 각종 방해물에 의한 압력차이와 유지되는 청정도에 따라 매우 다양하나 정상 조건에서의 운전 상태를

가정하고 검토한다. 본 고에서는 클린룸에서의 다양한 에너지 소비형태 중에서, 클린룸의 청정도 유지를 위해 설치되는 FFU(Fan Filter Unit)에 대하여 살펴보고, 온습도 유지용 공조설비와 관련하여 개략적으로 검토하고 에너지절약 대책을 제시하고자 한다.

## 2. FFU 시스템

국내에서의 반도체 제조용 클린룸 시스템이 본격적으로 발전한 것은 FFU가 개발되어 적용되기 시작한 1990년대 이후라고 할 수 있다. 그 이전까지의 클린룸은 시스템 쉘링(System Ceiling) 방식으로, 내부의 청정도를 유지하기 위하여 대형 축류 팬을 이용하여 청정 공기를 순환시키는 오픈 플레넘(Open Plenum) 방식과 천장에서 필터와 팬을 하나의 모듈로 제작하여 청정공기를 공급하는 클린 터널 모듈(CTM, Clean Tunnel Module) 방식이 주류를 이루었다. FFU 방식의 클린룸은 상대적으로 건물의 층고를 낮출 수 있어 건축비의 절감은 물론, FFU를 필요한 지역에만 간단하게 설치하는 방법으로 청정도 클래스 1을 유지할 수 있으므로, 특히 반도체 분야의 고청정도 유지용 클린룸을 건설하는데 많은 공헌을 하였다고 판단된다.

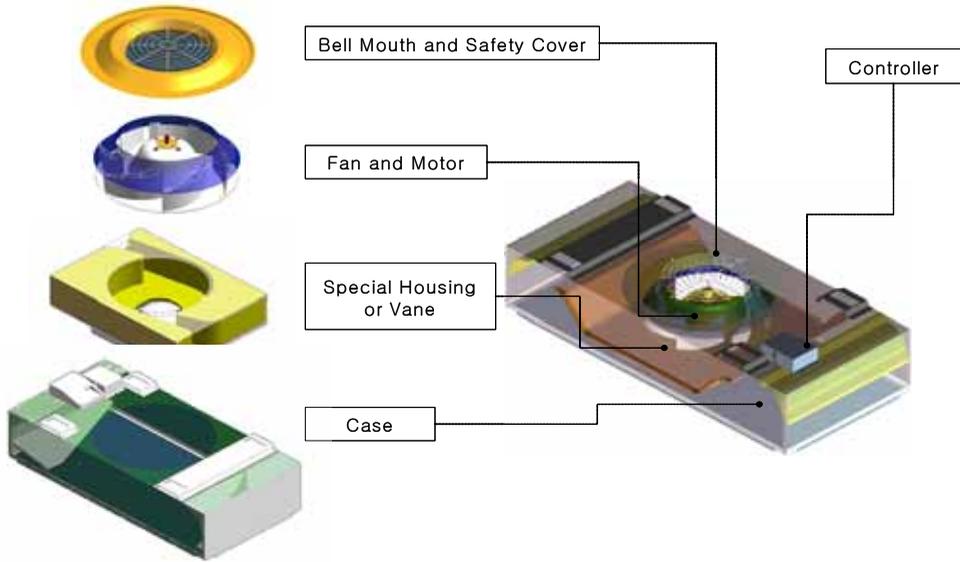


그림 1. FFU 구성 부품

아울러 초기의 FFU 방식은 대부분 단일 풍속으로만 운전되었으나, 최근에는 다양한 방식의 제어 개념을 도입하여 클린룸을 설치한 이후에도 풍속을 자유로이 변경할 수 있고, 저소음 저진동으로 운전할 수 있다는 장점 때문에 지금까지 많이 적용되고 있다.

FFU는 소형 팬과 모터가 하나의 케이스에 설치되어 제어기(Controller)에 의해 독립적으로 원하는 풍량을 처리할 수 있도록 구성된 것으로 그림 1과 같은 기본적인 부품으로 이루어져 있다.

FFU의 케이스 내/외부에 설치되는 부품들을 기준으로 살펴보면, 팬에 유입되는 공기의 흐름을 원활하게 하고 유동 저항을 최소화하기 위한 유선형의 벨마우스, 팬을 통해 확산되는 공기를 일정한 유로를 통하여 압력을 형성하면서 흐를 수 있도록 하는 하우징(Housing) 또는 베인(Vane), 이들을 통해 나오는 공기의 흐름을 케이스 내부에 골고루 분

포시키고 유동을 원활하게 하여 장비의 효율을 높이고 소음을 줄일 수 있도록 설치하는 코너 플레이트(Corner plate)가 있다.

그림 2에서는 FFU적용 클린룸 시스템에서 FFU가 실제 클린룸의 상부 천장 면적의 25% 범위



그림 2. FFU 설치 모습 (면적의 25%)



그림 3. FFU 설치 모습 (면적의 100%)

에서 설치된 모습이며, 그림 3은 천장 면적 100%에 FFU를 설치한 모습을 보여주고 있다.

### 3. FFU의 종류

클린룸에 사용되는 FFU의 종류는 다음에서 열거하는 것과 같이 여러 가지로 분류할 수 있다. 먼저, 사용되는 팬의 종류에 따라 분류하여 보면 다익형 팬(Multi Blade Fan, Sirocco Fan)을 적용한 FFU와 터보 팬(Turbo Fan)을 적용한 FFU로 분류할 수 있으나, 최근에는 팬 효율이 낮은 다익형 팬을 거의 사용하지 않는다. 여기에서는 사용되는

목적에 따라 FFU를 분류하여 보면 다음과 같다.

① 일반용 FFU : 반도체 제조용이나 LCD 제조용 클린룸에서 가장 일반적으로 사용되는 FFU로, 그림 4에 나타난 바와 같이 외형 크기는 1200 × 600 mm, 1200 × 1200 mm가 많이 적용되고 있으며, 적용되는 필터의 전면 통과풍속 기준으로 약 0.1~0.4m/s 범위이다.

② 다풍량 FFU : 일반용 FFU와 크기는 동일하며, 클린룸에서 주로 대풍량을 처리하기 위하여 사용되는 것으로 적용되는 필터의 전면 통과풍속 기준으로 약 0.7~1.0m/s 범위이다.

③ 슬림형 FFU : 클린룸 상부에서 천정 높이가 낮아 설치하기가 곤란할 경우에 적용하는 FFU로, 그림 5와 같이 일반용 FFU 보다 효율은 약간 떨어지나 처리 풍속은 동일한 상태에서 유니트의 높이가 약 100 mm 정도 낮다.

④ 일체형 FFU : 보급형으로 청정도가 상대적으로 낮은 지역에 설치하기 위하여 제작된 것으로, 그림 6과 같이 처리 풍속은 대부분 일반용과 동일하나 케이스를 금형으로 한번에 제작한 FFU이다.

⑤ 장비용 FFU : 반도체 제조용 장비 또는 이송장비의 국부적인 청정도를 유지하기 위하여 장비 상부에 설치하거나, 웨이퍼나 LCD용 글라스의 공정품들을 저장하는 창고 역할을 담당하는 스토커의



그림 4. 일반용 FFU



그림 5. 슬림형 FFU



그림 6. 일체형 FFU



그림 7. 장비용 FFU

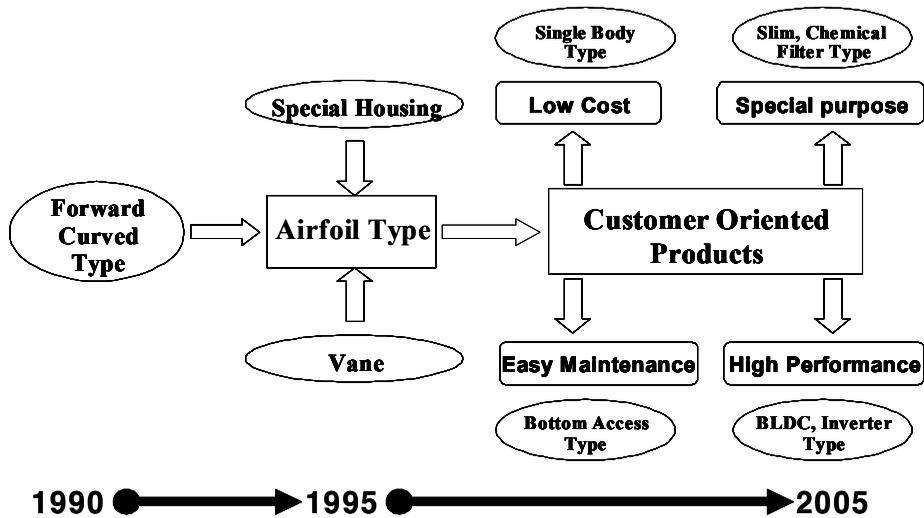


그림 8. FFU 변천사

내부 청정도를 유지하기 위하여 측면에 설치하는 것으로 상대적으로 높이가 매우 낮으며 기외정압이 없는 상태에서 적용되고, 필터의 전면 통과풍속 기준으로 약 0.1~0.4m/s 범위이다. 외형 형상은 그림 7에서 나타낸 바와 같으며, 적용되는 크기는 장비에 따라 다양하며 유닛 높이는 필터 포함하여 200 mm 이내이다.

마지막으로, FFU에 적용되는 모터 전원의 종류에 따라 분류하여 보면 AC 단상(1φ) FFU, AC 삼

상(3φ) FFU, BLDC FFU로 구분할 수 있다.

#### 4. FFU의 변화

FFU가 개발되어 반도체 제조용 클린룸에 처음 적용된 이래, 최근에는 LCD 제조용 클린룸은 물론 전기회로기판(PCB) 분야 및 제약회사 클린룸(Bio Clean Room)에 이르기까지 다양하게 적용되고 있다.

국내에서 개발된 FFU에 적용된 팬의 형상을 기준으로 살펴보면 그림 8과 같이 요약할 수 있다. 먼

표 1. FFU 사양의 변화

| 분야           | 항목 | FFU Size (mm) | 풍속 (m/s) | 기외정압 (mmAq) | 소비전력 (W) | 비고     |
|--------------|----|---------------|----------|-------------|----------|--------|
| 반도체 제조 클린룸   |    | 1200 × 600    | 0.40     | 9           | 150      | 단상표준형  |
|              |    | 1200 × 900    | 0.40     | 9           | 210      |        |
|              |    | 1200 × 1200   | 0.40     | 9           | 240      |        |
| LCD 제조분야 클린룸 |    | 1200 × 600    | 0.40     | 9           | 95       | 삼상표준형  |
|              |    | 1200 × 900    | 0.40     | 9           | 150      |        |
|              |    | 1200 × 1200   | 0.40     | 9           | 180      |        |
|              |    | 1500 × 1320   | 0.40     | 15          | 300      | (BLDC) |
| 기타 분야 클린룸    |    | 1200 × 600    | 0.40     | 5           | 135      | 단상보급형  |

\* 참고 : 반도체 제조, 기타분야 모터 전원 : 교류 단상(AC 1 $\phi$ )

LCD 제조 분야 모터 전원 : 교류 삼상(AC 3 $\phi$ ) 또는 BLDC

저 1990년대 처음 개발된 FFU는 다익형 팬을 적용하였으므로 상대적으로 효율이 낮고 소음과 진동이 발생하였으며, 소비전력이 300W 이상으로 매우 높았으며, 적용된 모터 또한 효율이 높지 않은 상태였다. 다익형 팬을 적용한 FFU의 효율은 약 30% 이하인 것으로 판단된다. 이후 1995년 들어오면서 점차 FFU를 적용한 시스템의 장점이 부각되기 시작하고 반도체 시장이 활성화됨에 따라 클린룸의 건설이 활발해지기 시작하였다. 따라서 FFU의 소비전력을 줄이기 위한 사용자들의 요구가 증가함에 따라 팬 블레이드 형상이 에어포일(Airfoil)형인 고효율 에어포일 터보팬을 개발하여 적용함으로써 FFU의 효율을 약 50%까지 높여, 약 20% 이상 소비전력 절감을 달성할 수 있었다. 그러나 2000년대에 들어오면서 평판 디스플레이(FPDs) 산업분야가 활성화되면서 클린룸의 수가 늘어나고 사용자들의 요구가 점점 다양해짐에 따라 이를 만족시키기 위하여 BLDC 모터를 적용함과 아울러, 특수 용도의 케미컬 필터를 설치하거나 케이스의 높이를 슬림화 시키는 등의 다양한 종류의 FFU가 나타나기 시작하였다.

특히 고효율 장수명의 BLDC 모터를 개발하여 적용한 FFU는 클린룸의 크기가 대형화되고 처리 풍량이 많은 LCD 제조용 클린룸 분야에 적용되어 고압력손실 조건에서의 진가를 발휘하고 있다. 아울러 BLDC FFU는 대형 클린룸에서 발생할 수 있는 특징인 천장의 위치별 압력이 달라져도 동일한 풍속을 모터의 회전수 변경만으로 실현이 가능하므로 대응력이 뛰어난 유용한 시스템이다. BLDC 모터를 적용한 FFU 시스템의 효율은 기존의 교류 삼상 모터(AC 3 $\phi$  Motor)를 적용한 FFU에 비하여 상대적으로 약 10% 이상 높으므로 시스템 효율도 증가된 상태이다.

반도체 제조용 클린룸에 적용되는 FFU는 대부분 1200 × 600 mm의 크기가 주종을 이루고 있으나, LCD분야 클린룸에 적용되는 FFU는 최근에 들어와서 초기 투자비 절감 차원으로 지속적으로 크기가 대형화되어 지금은 외형 크기가 1500 × 1320mm 까지 커지고 있다. 지금까지 국내 클린룸을 기준으로 설치되었던 FFU의 수량과 대표적인 크기에 대한 사양 변화의 일부를 표 1에 정리하였다. 이 사양은 관련되는 조건에 따라 다소 차이는 발생할 수 있

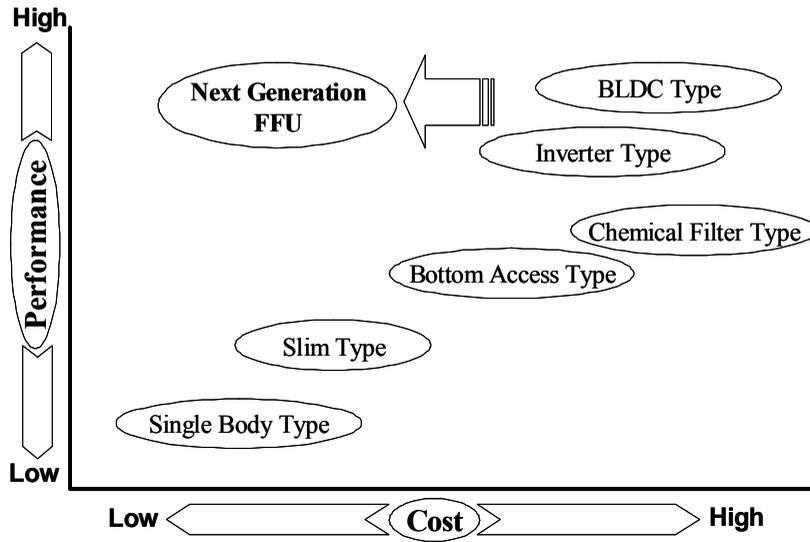


그림 9. Customer Oriented Products

으나 터보팬을 적용한 스페셜 하우징(Special Housing) 방식 기준이다.

### 5. FFU 시스템의 에너지절약 대책

그림 9에서 나타낸 바와 같이 지금까지 사용되어 오던 많은 종류의 FFU는 그 동안 사용자들의 지속적인 원가절감 요구와 클린룸 상부의 층고 감소에 따른 FFU의 슬림화 요구 및 사용에너지 절감을 위한 고효율화에 적절히 대응하기 위한 노력이 필요한 시기라고 판단된다. 따라서 차세대 FFU의 개발 방향은 원가 절감은 물론 장비의 효율을 높여 운전비를 절감하면서도 건축물의 층고를 낮추어 사용자들에게 유리한 고효율 슬림형 FFU를 개발하는 방향으로 변화되어야 한다고 판단된다.

향후 FFU를 이용하는 클린룸에서의 에너지 절약을 하기 위해서는 FFU 자체뿐만이 아니라 다양한 시스템적 사고를 필요로 한다. 이는 사용자들이

운전 에너지 절감에 대한 개념을 정립하고 적극적으로 도입하고자 하는 의지 또한 매우 중요한 인자임을 인식하여야 한다. 다음에는 FFU를 적용함에 있어서 운전 에너지를 절약할 수 있는 방법에 대하여 몇 가지 언급하고자 한다.

#### 5.1 FFU 효율 증가

지금까지 다양한 종류의 클린룸에 FFU가 개발되어 적용되는 동안 효율 상상을 위한 많은 노력들이 이루어져 왔다. 특히 FFU의 케이스에 공기 흐름의 최적설계 기법을 도입함은 물론, 소형 모터의 효율을 상승시키기 위한 노력과, 터보 팬의 최적 설계 기능을 도입하여 효율을 상승시켜왔다. 그러나 이러한 노력들은 지금까지 대부분 초기 투자비 상승이라는 이유 때문에 결실을 크게 이루지 못하고 있다. 향후 운전 에너지 절감을 위한 한 방법으로 압력손실이 낮은 저압손 필터의 적용과 함께 FFU 자체의 효율 상상을 위해서 고효율 3차원 팬을 개

발하여 적용하고, 소형 모터의 부품은 고품질의 재질을 사용하여 효율을 최대한으로 상승시킨 제품을 적용하여 시스템과 함께 제시할 필요가 있다.

### 5.2 레이아웃에 따른 풍량조절 기능

필요에 따라 구획이 나누어지는 클린룸의 경우, 사용하지 않는 영역의 FFU를 클린룸 내부의 유동이 문제가 되지 않는 범위 이내에서의 최소 풍량만을 공급할 수 있는 저속운전 모드로 변환하여 운전할 수 있도록 구성함으로써 에너지 절감을 달성할 수 있도록 하는 방법이다. 이 방법은 반도체 제조용 클린룸에서 국소청정방식인 Mini-Environment 또는 SMIF(Standard Mechanical Inter Face) 시스템이 적용될 경우 매우 우수한 성능을 발휘할 수 있다.

### 5.3 오염감시 기능

제조장비 또는 격리되어 내부 고청정도를 요구하는 자동이송 컨베이어, 인덱스(Index)와 같은 장비는 제조물이 이동하는 경로와 같은 중요한 부분에 입자오염 감시용 센서를 부착하여 FFU와 연동함으로써, 오염 농도에 따라 운전 모드를 다양하게 구성하여 간헐적으로 운전하는 방법이다. 이는 FFU를 센서의 동작여부에 따라 필요한 시간에는 청정도를 유지하기 위한 정상운전 모드에 선정하고, 제조물이 이동하지 않는 잔여 시간에는 장비 내부의 최소한의 청정도만을 유지할 수 있는 저속운전 모드로 운전이 됨으로써 운전 에너지를 절약하는 방법이다.

### 5.4 움직임 상태 감시 기능

클린룸 내부에는 점심시간이나 휴식시간에 이동하는 작업자들이 없으므로 발진원이 최소화된 상태이다. 이 상태를 감지하여 최소한의 풍량만을 공급

함으로써 운전비용을 절감할 수 있는 방법을 도입하여 운전에너지 절약을 얻을 수 있다. 이 시스템의 도입은 클린룸의 사용 목적이 다양하여 구역이 분리되어 있는 클린룸일수록 적용이 용이하고 효과가 크게 나타날 수 있다. 감지된 상태와 함께 외부 공조기와 연동하여 시스템을 변환 운전할 경우 에너지 절약의 폭을 늘릴 수 있다.

### 5.5 기타

스토커와 같은 대형 자동 저장 장비에서는 항상 카세트가 적재되어 있는 상태가 아니기 때문에 필요한 부분만의 청정도를 유지하면 된다. 그러나 현재는 카세트의 적재 여부와 관계없이 내부 청정도를 유지하기 위한 상부 FFU와 측면 FFU가 설치되어 동시에 운전되고 있는 경우가 있다. 따라서 카세트의 적재여부에 따라 운전상태 변화기능을 부여하여 운전에너지를 최소화할 필요가 있다. 이 때 주의해야 할 부분은 스토커 내부의 양압유지 기능이 저해되지 않는 범위 내에서의 조절이 필요하므로 최소한 상부 FFU는 양압 유지용으로 운전하는 방안을 검토해야 한다.

위에서 언급한 바와 같이 지금까지 검토된 사항 이외에도 클린룸 시스템 설계시에 FFU에 걸리는 압력손실을 최소화할 수 있도록 공기유동 시스템을 설계하고, 보다 효율적인 운전점에서 FFU 시스템이 구성될 수 있도록 함으로써 운전에너지 절약에 많은 도움이 될 수 있다고 판단된다.

## 6. 결론

지금까지 국내 클린룸에 청정도 및 온습도를 유지하기 위해 설치되는 장비들의 선정은 에너지측면에서의 효율성을 크게 제고하지 않은 상태였다. 따라서 본고에서는 향후 설치되는 FFU를 적용하는

클린룸을 이해하는데 도움이 되는 시스템에 대한 개략적인 기술과 함께 장비를 운전하면서 소비되는 에너지를 절약하기 위한 방법을 간단하게 언급하여 시스템 설계시에 도움이 될 수 있도록 하고자 하였다.

국내를 비롯한 외국에서도 마찬가지로 FFU 단품으로서는 많은 연구개발 노력 끝에 FFU 자체의 효율은 많이 상승하여 왔으나, 이를 적용하는 시스템의 에너지 절약적인 검토는 아직 많이 이루어지지 않은 상태이다. 전술한 바와 같이 FFU를 이용한 에너지절약 시스템은 FFU 자체의 성능향상 뿐만 아니라 시스템적으로도 유용하게 구성하여야 목적을 달성할 수 있으므로 초기 클린룸 설계단계에서 반영하는 것이 매우 중요하다. 아울러 FFU를 적용하는 시스템적 에너지 절약 방법들이 실제로 현장에 적용되어 실용화되어 결실을 맺기까지는 많은 노력들이 필요하며, 클린룸에서 실제로 FFU를 사용하는 경우, 초기 투자비 보다는 운전비용에 관심을 더욱 더 가져야 성공할 수 있다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김상민, 손장열, 김창수, 조창근, 1993, “클린룸에서의 필터의 압력손실이 송풍동력에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표회 강연 및 논문집, pp136~141.
2. 조상준, 2001, “차세대 300mm Wafer 반송 시스템”, 공기청정기술, Vol 12, pp. 40~59.
3. 오명도, 2001, “GIGA급 초청정 클린룸 기술”, 기계저널, 제 41권 제6호, pp.32~39.
4. 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(Clean Technology), 1월호, pp. 51~53.
5. 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(Clean Technology), 4월호, pp. 12~21.
6. 野口 茂, 2001, “省エネ型フアンフィルタユニット”, クリーンテクノロジー(Clean Technology), 6월호, pp. 54~55.
7. 藪原 要治, 2002, “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(Clean Technology), 9월호, pp. 1~3.
8. 田中 宣雄, 2002, “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(Clean Technology), 9월호, pp. 16~22.
9. 野澤 英美, 2002, “半導體工場のエネルギー消費變動要素”, クリーンテクノロジー(Clean Technology), 9월호, pp. 22~26.
10. 大下 繁之・神原 輝男, 2005, “半導體工場における空調設備省の省エネ対策”, クリーンテクノロジー(Clean Technology), 7월호, pp. 11~13.
11. 吉田 聰, 2005, “新型高效率フアンフィルタユニットの開発”, クリーンテクノロジー(Clean Technology), 7월호, pp. 32~34.