

반도체 클린룸용 에어와셔 외기공조시스템의 에너지소비량에 관한 실험적 연구

김 기 철, 김 형 태, 송 근 수, 유 경 훈[†], 손 승 우*, 신 대 건**, 박 덕 준***
한국생산기술연구원 나노오염제어연구실, *(주)성림피에스, **(주)대한피엔씨, *** (주)신성이엔지

An Experimental Study on Energy Consumption of Air Washer Outdoor Air Conditioning Systems for Semiconductor Manufacturing Clean Rooms

Ki-Cheol Kim, Hyung-Tae Kim, Gen-Soo Song, Kyung-Hoon Yoo[†],
Seung-Woo Son*, Dae-Kun Shin**, Dug-Jun Park***

*Nanoscale Contamination Control Laboratory, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH),
1271-18, Sa-1-dong, Sangnok-gu, Ansan-si 426-171, Korea*

**Sunglim PS Co., Seoul 153-802, Korea*

***Daehan PNC Co., Dangjin 343-827, Korea*

****Shinsung ENG Co., Seongnam 463-420, Korea*

(Received December 12, 2011; revision received January 16, 2012)

ABSTRACT: In recent large-scale semiconductor manufacturing clean rooms, the energy consumption of outdoor air conditioning systems to heat, humidify, cool and dehumidify incoming outdoor air represents about 45% of the total air conditioning load required to maintain a clean room environment. Therefore, the energy performance evaluation and analysis of outdoor air conditioning systems is useful for reducing the outdoor air conditioning load for a clean room. In the present study, an experiment was conducted to compare the energy consumption of outdoor air conditioning systems with a simple air washer, an exhaust air heat recovery type air washer and a DCC return water heat recovery type air washer. It was shown from the present lab-scale experiment with an outdoor air flow of 1,000 m³/h that the exhaust air heat recovery type and DCC return water heat recovery type air washer outdoor air conditioning systems were more energy-efficient for the summer and winter operations than the simple air washer outdoor air conditioning system and furthermore, the DCC return water heat recovery type one was the most energy-efficient in the winter operation.

Key words: Air washer outdoor air conditioning system(에어와셔 외기공조시스템), Clean room (클린룸), Outdoor air conditioning load(외기부하), Power consumption(소비전력량)

기 호 설 명

OA : Outdoor Air

SA : Supply Air

EA : Exhaust Air

DA : Dry Air

CR : Chiller Return Water

CS : Chiller Supply Water

L/G : 수공기비

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-8040-6437; fax: +82-31-8040-6420

E-mail address: khyoo@kitech.re.kr

1. 서 론

반도체, 디스플레이 등의 첨단 전자디바이스 제조용 대규모 클린룸은 정밀한 온·습도 제어가 요구되고 연간 계속적인 운전을 하기 때문에 많은 에너지를 소비하고 있다. 이 에너지소비량은 클린룸 면적의 증가와 반도체 집적기술의 고도화에 동반해서 그 절대량이 증가하는 추세에 있다.⁽¹⁾ 이러한 대규모 클린룸에서는 도입하는 외기량이 많아서 클린룸의 외기부하가 클린룸 공조에 소비되는 전체 에너지의 큰 부분을 차지한다.⁽²⁾ 따라서 반도체 클린룸용 외기공조시스템의 에너지소비에 대한 사용효율 증대 및 철저한 사용합리화가 요구되고 있다.⁽³⁾ 이러한 노력의 일환으로 반도체 클린룸용 외기공조시스템들의 에너지소비량을 비교분석하여 에너지효율적인 외기공조시스템을 선정하는 것은 에너지절약을 위한 유효한 대책이라고 판단된다. 또, 외기공조시스템의 부분별 에너지 소비구조를 파악하면 외기공조시스템의 에너지성능 개선에 도움이 되는 정보를 획득할 수 있다.

Yamamoto et al.,⁽¹⁾ Fujisawa et al.,^(4,5) Yeo and Yoo,⁽⁶⁾ Song et al.^(7,8)은 에너지절약의 관점에서 반도체 클린룸에서 배출되는 배기의 저온폐열을 회수할 수 있는 배기 열회수식 에어와셔 외기공조시스템의 소비에너지 절감에 대한 실험적, 이론적 연구결과들을 발표하였다. 이러한 연구들은 반도체 클린룸용 외기공조시스템에 널리 채택되고 있는 에어와셔를 이용하여 클린룸 배기로부터 저온폐열을 회수하는 기술을 보고하고 있다. 한편, Ebine et al.,⁽⁹⁾ Tsao et al.⁽¹⁰⁾은 반도체 클린룸의 드라이코일(dry cooling coil, DCC)에서 냉동기로 돌아가는 반환냉수의 저온폐열을 회수하여 동계의 가열부하를 절감할 수 있는 외기공조기술을 제안하였다. 그러나 이러한 드라이코일 반환냉수의 열회수 기술을 에어와셔 외기공조시스템에 적용하여 시스템 측면에서의 적용가능성 검토 및 열회수 성능평가를 위한 공조프로세스 및 에너지소비량에 대한 실험적 연구가 전무한 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 반도체 클린룸용 단순 에어와셔 외기공조시스템, 배기 열회수식 에어와셔 외기공조시스템, 반환냉수 열회수식 에어와셔 외기공조시스템의 공조프로세스 및 에너지소비량을 측정하고 비교하는 실험을 외기도입량 1,000 m³/h에 대해 우리나라 기흥지역의 외기조건을 대상으로 수행하였다.

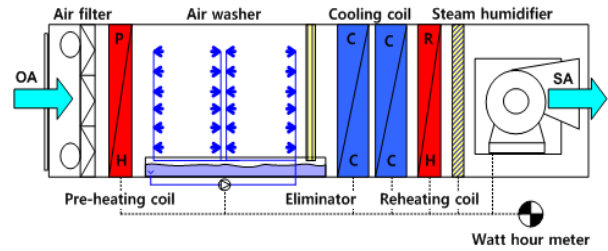


Fig. 1 Schematic diagram of an outdoor air conditioning system with a simple air washer.

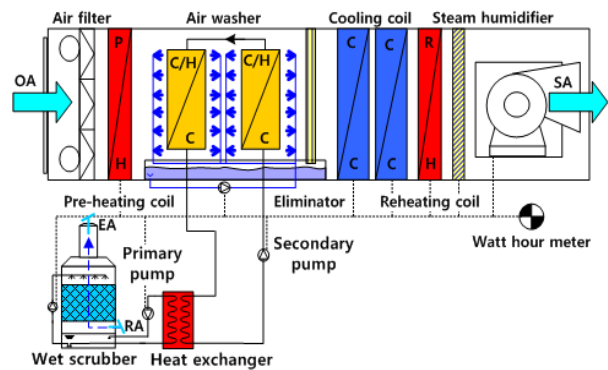


Fig. 2 Schematic diagram of an outdoor air conditioning system with an exhaust air heat recovery type air washer.

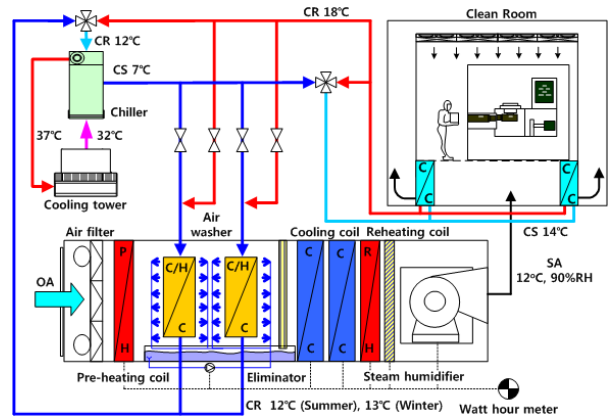


Fig. 3 Schematic diagram of an outdoor air conditioning system with a DCC return water heat recovery type air washer.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3은 각각 본 연구에서 제안하는 반도체 클린룸용 단순 에어와셔 외기공조시스템,

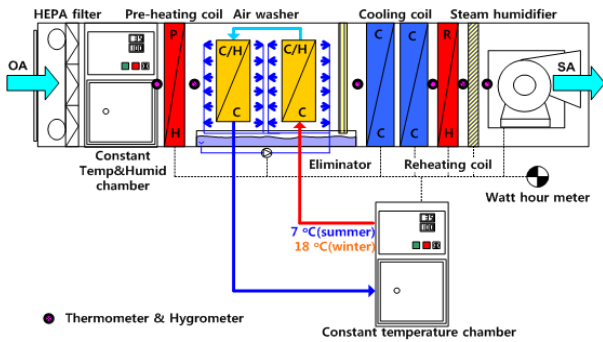


Fig. 4 Schematic diagram of the present experimental apparatus for the outdoor air conditioning system with a DCC return water heat recovery type air washer.

배기 열회수식 에어와셔 외기공조시스템, 반환냉수 열회수식 에어와셔 외기공조시스템의 개략도를 나타내고 있다. 본 연구의 단순 에어와셔 외기공조시스템은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 에어필터(Air filter), 예열코일(Pre-heating coil), 2단 에어와셔(Air washer), 엘리미네이터(Eliminator), 냉각코일(Cooling coil), 재열코일(Reheating coil), 증기가습기(Steam humidifier), 송풍기, 급기(SA)의 온·습도 조절용 건구온도 및 노점온도 센서들로 구성된다. 배기 열회수식 에어와셔 외기공조시스템은 Fig. 2에 도시된 바와 같이 단순 에어와셔 외기공조시스템에 중간열교환기(Heat exchanger), 중간열교환기 순환수용 1차 및 2차 펌프, 냉각/가열 겸용 열교환 코일(C/H C)이 추가로 편성된다. 이를 통해 세정집진기(Wet scrubber)의 클린룸 배기(EA)로부터 도입 외기(OA)로 열회수를 실시하게 된다.

반환냉수 열회수식 외기공조시스템은 Fig. 3에 도시된 바와 같이, 클린룸 내에서 발생한 반도체 제조장비의 발열을 드라이코일에서 흡수한 후 냉동기로 돌아가는 반환냉수를 외기의 가열가습원으로 이용하는 방식이다. 에어와셔와 조합된 열교환 코일(C/H C)에는 하계의 냉각제습을 위한 냉열원으로 냉동기로부터의 7°C의 냉수와 동계의 가열가습을 위한 온열원으로 드라이코일로부터의 18°C의 반환냉수가 선택적으로 공급된다. 본 방식에 의하면 동계의 경우 외기공조시스템으로 유입되는 외기의 가열가습부하에 대해 클린룸 실내에서 발생한 냉각부하가 그대로 가열원이 되고, 동시에 그 열량은 냉동기의 냉각부하 감소로 이어지기 때문에 에너지절약 효과는 2배가 된다. 반면에 하계의 경우 열교환 코일(C/H C)로 냉동기로부터의 7°C 냉수가 흐르게 되고 열회수

가 실시되지 않기 때문에 열교환 코일의 냉각부하는 단순히 냉동기의 냉각부하의 일부분에 해당된다.

이 반환냉수 열회수식 에어와셔 외기공조시스템에 대한 본 연구의 실험장치를 Fig. 4에 도시하였다. 하계 및 동계 실험을 모두 수행하기 위해 열교환 코일(C/H C)로 공급되는 동계의 18°C의 반환냉수와 하계의 7°C의 냉수의 열원을 항온조(Constant temperature chamber)로 대체하였다. 하계의 7°C 냉수를 만들기 위한 항온조의 냉각부하는 냉동기 부하의 일부가 되고, 반면에 동계의 18°C 반환냉수를 만들기 위한 항온조의 가열부하의 2배가 반환냉수 폐열회수에 의한 에너지절감량에 해당된다. 본 연구의 에너지소비량 측정에 있어 에너지소비량을 전력량으로 통합하기 위하여 모든 가열코일은 전기히터로, 증기가습기는 보일러대신 전극방식 증기가습기로 대체하였다. 반환냉수 열회수식 에어와셔 이외의 두 가지 에어와셔 외기공조시스템들에 대한 실험장치는 Song et al.⁽⁷⁾과 Kim et al.⁽¹¹⁾의 연구에 자세히 언급되어있다.

2.2 실험방법

본 연구에서 실험을 수행하기 위한 외기공조시스템의 실험조건들을 Table 1에 수록하였다. 외기량은 1000 m³/h로 설정하였고, 동계 및 하계의 외기조건은 우리나라 기흥지역의 지난 30년간의 기상조

Table 1 Experimental conditions for the present air washer outdoor air conditioning systems

| Air flow | 1000 m ³ /h |
|--|---|
| Outdoor air temperature and humidity | Winter : -18°C, 70.4%RH Summer : 38°C, 50%RH |
| Class of spraying water for air washer | City water |
| Flow of spraying water | 8 ℓ/min |
| Total number of nozzles in air washer | 48 |
| Water/air gravimetric ratio, L/G | 0.4 |
| Flow of water for air washer C/H coil | 40 ℓ/min |
| Supply air condition | 12°C, 90%RH |

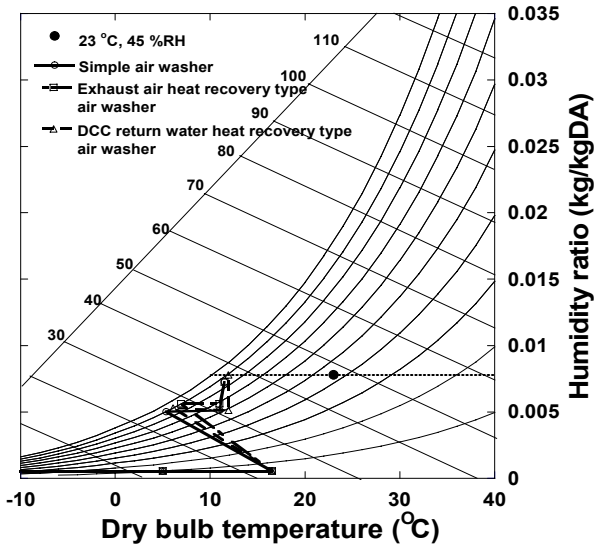


Fig. 5 Variation of the air conditioning process on psychrometric chart for the winter operation.

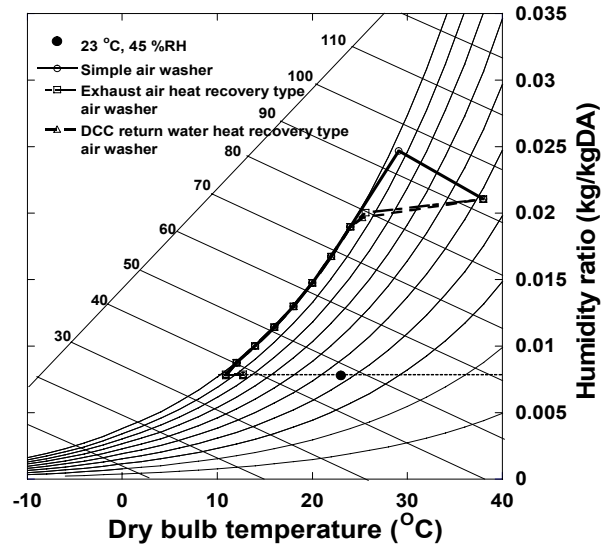


Fig. 6 Variation of the air conditioning process on psychrometric chart for the summer operation.

건 중에서 제일 극한의 엔탈피를 가지는 경우를 선정하였다. 에어와서는 수도수를 사용하였고, 수공기비(L/G)가 0.4가 되도록 분사노즐에서 총 8 l/min의 물을 분사하였다. 각 외기공조시스템들의 공조프로세스를 구하기 위해 실험장치의 향온향습기 하류, 예열히터 하류, 에어와서 하류, 냉각코일 하류, 재열코일 하류, 증기가습기 하류 위치에서의 공기의 온·습도를 각각 측정하였다. 모든 실험결과는 각 지점의 온·습도 값이 정상상태에 도달한 후 1시간 동안 측정된 데이터를 이용하여 산출되었다.

외기공조시스템의 에너지소비량은 Fig. 4에 도시한 전력량계를 이용하여 측정하였다. 다만 동계 실험의 경우, 실험의 편의를 위하여 향온향습기에서 나오는 외기조건을 -18°C, 70.4%RH로 생성하지 않고, 그 지점의 절대습도 0.0005404 kg/kgDA를 유지한 채 5°C, 10%RH의 출구 조건을 생성하는 것으로 하였다. 이는 일반적으로 혹한기에 외기공조시스템 최상류 예열코일의 동과방지 출구온도인 5°C를 기점으로 하기 위함이다. 따라서 본 연구에서는 각 외기공조시스템의 전력량계에서 측정된 에너지소비량은 예열코일에서 외기를 -18°C, 70.4%RH에서 5°C, 10%RH로 가열할 때 소비되는 에너지가 제외되어 산출된다. 하지만 이 부분은 각 외기공조시스템의 공조프로세스에서 서로 동일한 부분이기 때문에 에너지절감량의 산출에 아무런 문제가 발생하지 않는다. 그에 반해 하계 실험의 경우 향온향습기가 외기 조건 38°C, 50%RH를 생성하기 때문에 에너지소비량의

산출에 있어 전력량계에서 측정된 전력량이 외기공조시스템의 공조프로세스 전체의 소비전력량에 해당한다. 에너지절감량은 각 실험을 통해 측정된 3가지 외기공조시스템의 소비전력량 차이를 통해 산출하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 공조프로세스

Fig. 5는 동계 외기조건에서 단순 에어와서 및 배기 열회수식 에어와서, 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들의 공조프로세스에 대한 실험 결과를 나타내고 있다. 그림으로부터 외기공조시스템들은 모두 -18°C, 70.4%RH의 외기를 16.5°C, 4.7%RH까지 가열하고, 이로부터 각각의 가습 방식에 의한 공조프로세스를 실행하여 반도체 클린룸의 최적 절대습도로 알려진 수평점선으로 표시된 0.0078 kg/kgDA 상의 급기 조건인 12°C, 90%RH 근처의 11.8°C, 89%RH 상태에 도달시킨 후 클린룸으로 공급하고 있음을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 동계 실험의 경우 실험의 편의를 위하여 향온향습기 출구의 공기상태를 5°C, 10.1%RH로 동일하게 맞추었으므로 그림상의 5°C 이하의 공조프로세스 부분은 이해를 돕기 위하여 가상으로 그려져 있다. 각각의 외기공조시스템들은 외기와 급기의 상태는 동일하지만 공조프로세스가 서로 다르기 때문에, 외기와

급기의 엔탈피 차이에 의한 가열가습에 필요한 열량인 외기부하는 동일하지만 공조프로세스의 경로 차이에 의한 소비전력량이 다르게 될 것임을 짐작할 수 있다.

Fig. 6은 하계 외기조건에서 외기공조시스템들의 공조프로세스에 대한 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 각각의 공조프로세스의 포화습도선상의 6개 내부점들은 포화곡선 프로세스 표현을 위해 가상으로 삽입한 것이다. 그림으로부터 단순 에어와셔 외기공조시스템의 경우 38℃, 50%RH의 외기는 에어와셔의 수분무 가습에 의한 등엔탈피 단열가습 과정을 거친 후 냉각코일에 의해 반도체 클린룸의 최적 절대습도로 알려진 0.0078 kg/kgDA의 노점(dew point)온도 10.4℃ 근처인 9.9℃, 98%RH까지 냉각제습되었음을 알 수 있다. 그 후 재열코일에서 12.7℃, 86%RH의 급기(SA) 상태까지 가열되어 클린룸으로 공급되고 있다. 이에 반해 배기 열회수식 에어와셔 및 반환냉수 열회수식 에어와셔 외기공조시스템들

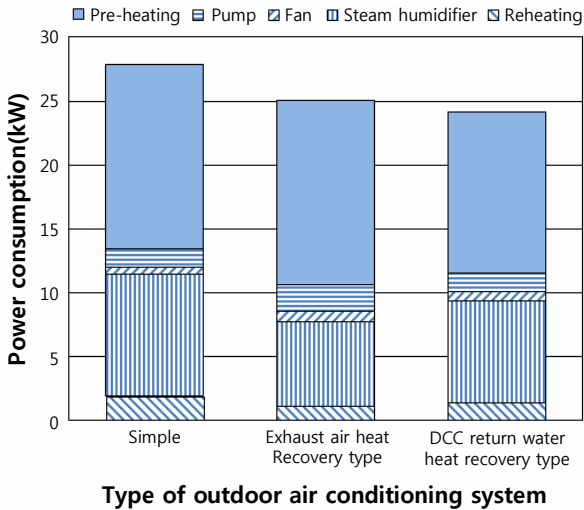
에서는 유입된 외기가 에어와셔에서의 수분무 과정을 거치지만, 동시에 열교환코일(C/H C)에 의한 냉각으로 인해 공기선도 상에서 냉각제습이 이루어지는 공조프로세스를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 38℃, 50%RH의 외기는 에어와셔부에서 열교환 코일에 의한 냉각 효과로 인해 수분무가습을 하였음에도 불구하고, 냉각제습이 되고 있다. 그 후 외기는 재열코일을 거치면서 급기 상태가 되어 클린룸으로 공급된다. 동계 실험과 마찬가지로, 각 외기공조시스템들의 급·배기 상태는 동일하지만 공조 프로세스의 경로가 서로 다르기 때문에, 외기부하는 동일하지만 이를 구현할 소비전력량은 다르게 될 것임을 예측할 수 있다.

3.2 소비전력량

Table 2는 Fig. 5와 Fig. 6의 공조 프로세스에 대한 단순 에어와셔, 배기 열회수식 에어와셔, 반환냉

Table 2 Summary of energy consumption

| Season, outdoor air condition | Category | Item | Simple air washer [kW] | Exhaust air heat recovery type air washer[kW] | DCC return water heat recovery type air washer[kW] |
|--|------------|------------------------------|------------------------|---|--|
| Winter -18℃, 70.4%RH (5℃, 10.1%RH) | Total | Power consumption | 27.85(18.28) | 25.03(15.46) | 24.16(14.59) |
| | | Reduced power | 0 | 2.82 | 3.69 |
| | Break-down | Pre-heating | 14.37(4.8) | 14.37(4.8) | 14.37(4.8) |
| | | Steam humidifier | 9.6 | 6.66 | 7.98 |
| | | Reheating | 1.9 | 1.1 | 1.4 |
| | | Fan | 0.51 | 0.83 | 0.74 |
| | | Air washer pump | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| | | Constant temperature chamber | 0 | 0 | -1.8 |
| | | Primary pump | 0 | 0.3 | 0 |
| | | Secondary pump | 0 | 0.3 | 0 |
| Summer 38℃, 50%RH | Total | Power consumption | 12.68 | 11.28 | 10.75 |
| | | Reduced power | 0 | 1.4 | 1.93 |
| | Break-down | Cooling coil | 10.13 | 7.82 | 3.2 |
| | | Reheating | 0.57 | 0.56 | 0.58 |
| | | Fan | 0.51 | 0.83 | 0.74 |
| | | Air washer pump | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| | | Constant temperature chamber | 0 | 0 | 4.76 |
| | | Primary pump | 0 | 0.3 | 0 |
| | | Secondary pump | 0 | 0.3 | 0 |

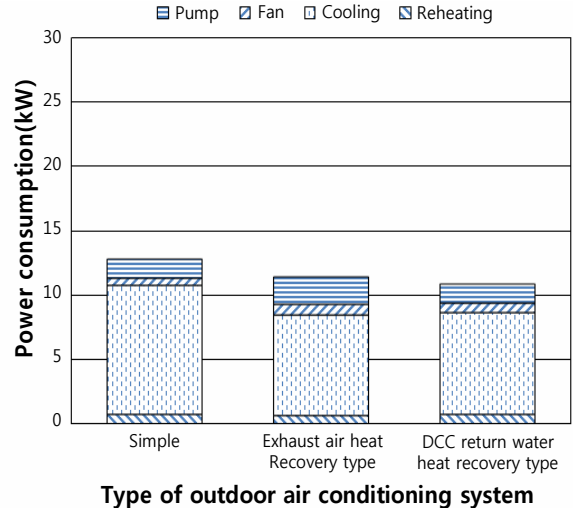


Type of outdoor air conditioning system

Fig. 7 Break-down of total energy consumption for the winter operation.

수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들의 총 소비 전력량과 부분별 소비전력량 실험결과들을 각각 나타내고 있다. 동계 실험에서 괄호 안의 값은 전술한 바와 같이 실험의 편의를 위하여 본 연구에서 실제로 수행한 외기 5℃, 10%RH의 조건에 대한 외기공조시스템의 소비전력량 측정값을 나타낸다. 괄호 밖의 값은 외기 조건이 -18℃, 70.4%RH일 경우의 소비전력량 환산값을 나타낸다. 즉, 외기를 -18℃, 70.4%RH에서 5℃, 10%RH까지 예열하기 위해 필요한 소비전력량을 괄호 안의 값에 더한 것이다. 이 예열구간의 소비전력량은 본 연구와 동일한 실험장치의 전기히터에 대한 Kim et al.⁽¹¹⁾의 가열부하당의 소비전력 1.24 kW/kW를 이용하여 9.57 kW를 얻었다. Fig. 7과 Fig. 8은 Table 2의 동계 및 하계 실험의 결과에 대한 부분별 소비전력량의 변화를 각각 도시하고 있다.

동계 실험의 경우 단순 에어와서 외기공조시스템이 27.85 kW의 가장 높은 총 소비전력량을 보여주었다. 배기 열회수식 에어와서 외기공조시스템의 총 소비전력량은 단순 에어와서 외기공조시스템에 비해 2.82 kW 만큼 절감되었음을 알 수 있다. 이는 배기 열회수식 에어와서 시스템이 세정집진기에서 배기의 폐열을 회수한 뒤, 에어와서부의 열교환 코일을 통하여 외기의 가열가습에 사용하였기 때문이다. 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템의 총 소비전력량은 단순 에어와서 외기공조시스템에 비해 3.69 kW 만큼 절감되어 가장 낮은 총 소비전력량을 보여주고 있다. 이는 반환냉수 열회수식 에



Type of outdoor air conditioning system

Fig. 8 Break-down of total energy consumption for the summer operation.

어와서 시스템이 클린룸 내에서 발생한 냉각부하를 회수하여 외기의 가열가습에 사용하고 동시에 그 열량은 냉동기의 부하감소로 이어졌기 때문이다. 한편, 배기 및 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들은 모두 에어와서부의 열교환 코일(C/H C)의 회수열량에 의한 외기의 가열로 인해 Fig. 5에 보이는 것처럼 단순 에어와서의 경우보다 수분무가습량이 다소 증가되었기 때문에 이로 인해 하류의 증기가습기의 소비전력량이 약간 감소되었음을 표로부터 확인할 수 있다.

하계 실험의 경우 동계 실험의 경우와 마찬가지로 단순 에어와서 외기공조시스템은 12.68 kW의 가장 높은 총 소비전력량을 보여주었다. 배기 열회수식 에어와서 외기공조시스템의 총 소비전력량은 단순 에어와서 외기공조시스템에 비해 1.4 kW 만큼 절감되었음을 알 수 있다. 이는 배기 열회수식 에어와서 시스템에 의해 회수된 냉열이 외기의 냉각에 사용되었기 때문이다. 한편 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템의 총 소비전력량은 단순 에어와서 외기공조시스템에 비해 1.93 kW 만큼 절감되었고, 가장 낮은 총 소비전력량을 보여주고 있다. 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템이 동계와는 달리 클린룸 실내에서 발생한 냉각부하를 회수할 수 없는 외기 조건임에도 불구하고, 총 소비전력량이 절감된 것을 알 수 있다. 원인을 분석하기 위해 부분별 소비전력량을 살펴보면 외기의 냉각제습에 사용된 소비전력량은 Cooling coil의 3.2 kW와 항온조의 4.76 kW이며, 합이 7.96 kW로

열회수 기능이 작동되지 않았음에도 불구하고 에너지가 절감된 것을 확인할 수 있다. 이는 에어와서부의 열교환 코일(C/H C)에 7°C의 냉수를 공급하는 항온조의 COP가 냉동기보다 높기 때문에 나타난 현상으로 본 연구의 실험장치에 특정된 것으로 일반적인 사실은 아닌 것으로 판단된다.

Fan 소비전력량은 단순 에어와서 외기공조시스템의 경우가 가장 낮다는 것을 확인할 수 있다. 배기 열회수식 에어와서 및 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템은 에어와서부에 추가로 설치된 열교환 코일(C/H C)로 인해 외기공조시스템 내부의 차압이 증가하여 소비전력량이 증가한 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 7과 Fig. 8에서 관찰할 수 있는 바와 같이 총 소비전력량에서 차지하는 비율은 가장 낮음을 알 수 있다. 따라서 열회수의 실시를 위하여 에어와서부에 삽입한 열교환코일에 의한 차압 증가로 야기된 Fan 소비전력의 상승보다 회수된 열량에 의한 이득이 더 압도적임을 알 수 있다.

Fig. 7로부터 동계에 가장 많은 전력을 사용하는 부분은 증기가습 부분이 아니라 Pre-heating 부분임을 그래프로부터 알 수 있다. 이는 본 연구의 모든 외기공조시스템에서 채용하고 있는 2단 에어와서에 의한 수분무가습이 기존의 증기가습을 상당부분 대체하여 외기공조시스템의 에너지 소비구조가 에너지절약적으로 변경된 것을 의미한다. 본 연구와 동일한 조건에 대한 Kim et al.⁽¹¹⁾의 증기가습 외기공조시스템의 총 소비전력량 33.24 kW과 비교하면, 본 연구의 모든 에어와서 외기공조시스템들의 총 소비전력량은 절감되었음을 알 수 있다. 따라서 증기가습부분을 수분무가습으로 대체할수록 에너지절약적인 외기공조시스템이 될 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 8로부터 하계에 가장 많은 전력을 사용하는 부분은 Cooling 부분이며, 총 소비전력량의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

연간으로 볼 때, 동계 조건에 대한 모든 외기공조시스템들의 총 소비전력량이 하계 조건의 경우에 비해 약 2.2배에 달하고 있음을 알 수 있다. 한편, 소비전력량을 계절별로 살펴보면 배기 열회수식 및 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들의 동계 조건에 대한 에너지절감량은 각각 2.82 kW, 3.69 kW이고 하계 조건에 대한 에너지절감량은 각각 1.4 kW, 1.93 kW이므로 각각 2.0배, 1.9배의 에너지절감량을 나타내고 있어 하계 조건보다는 동계 조건에서 큰 에너지절감량을 나타내고 있으나, 그 절감

비율은 동계 조건에서 각각 10.1, 13.2%, 하계 조건에서 각각 11.0, 15.2%로 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 추운 지역일수록 본 연구의 열회수식 에어와서 외기공조시스템들의 소비전력 절감량 자체는 상승하지만, 그에 동반된 총 소비전력량이 증가하기 때문에 그 절감 비율이 비슷해질 것임을 짐작할 수 있다. 한편, 본 연구의 배기 및 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들은 단순 에어와서 외기공조시스템에 비해 연간 에너지소비량을 절감할 수 있는 것으로 보인다. 특히 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템은 본 연구의 에어와서 외기공조시스템 중 가장 큰 폭의 에너지절감량을 보여주고 있어 가장 에너지절약적인 외기공조시스템임을 알 수 있다.

4. 결 론

반도체 클린룸용 단순 에어와서 및 배기 열회수식 에어와서, 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들을 제안하고 이 에어와서 외기공조시스템들에 대한 공조프로세스 및 에너지소비량을 구하기 위한 외기량 1,000 m³/h의 실험장치를 제작하였다. 이 실험장치를 통하여 우리나라 기흥지역의 동계 및 하계의 외기조건을 대상으로 공조프로세스 및 소비전력량 실험을 수행하고 그 실험결과를 바탕으로 다음과 같은 사항들이 관찰되었다.

(1) 배기 열회수식 및 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템들은 모두 동계 및 하계 조건의 경우 단순 에어와서 외기공조시스템에 비해 에너지 소비량이 절감되었다. 다만, 하계 조건의 경우 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템이 단순 에어와서의 경우보다 에너지소비량이 절감된 것은 본 연구에 사용된 항온조에 특정된 것으로 일반적인 사항은 아닌 것으로 보인다.

(2) 동계 조건의 경우 반환냉수 열회수식 에어와서 외기공조시스템이 가장 작은 에너지소비량을 보여주었다. 이는 반환냉수 열회수식 에어와서 시스템이 클린룸 내에서 발생한 냉각부하를 회수하여 외기의 가열가습에 사용하고 동시에 그 열량은 냉동기의 부하감소로 이어졌기 때문이다.

(3) 동계 조건의 경우 본 연구의 모든 에어와서 외기공조시스템에서 채용하고 있는 2단 에어와서에 의한 수분무가습이 기존의 증기가습을 상당부분 대체하여 Pre-heating 부분이 가장 높은 에너지소비

량을 차지함을 보여주었다. 이는 외기공조시스템의 에너지 소비구조가 에너지절약적으로 변경된 것임을 알 수 있었다.

(4) 동계 조건에 대한 모든 외기공조시스템의 총 소비전력량은 하계 조건의 경우에 비해 약 2.2배로 증가하였다. 한편, 본 연구의 모든 열회수식 열회수식 에어와셔 외기공조시스템들의 에너지절감량 자체는 하계 조건보다는 동계 조건에서 더 큰 값을 나타내고 있으나, 그 절감 비율은 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

(5) Fan 소비전력량의 경우 단순 에어와셔 외기공조시스템의 경우가 가장 낮다는 것을 알 수 있었다. 이는 열회수식 에어와셔의 경우 에어와셔부에 추가로 설치된 열교환 코일로 인한 차압 증가로 소비전력량이 증가한 것으로 판단된다. 그러나 총 소비전력량에서 차지하는 비율은 가장 낮음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 경기도가 주관하고 경기과학기술진흥원이 지원한 경기도기술개발사업 전략산업과제 “첨단전자산업을 위한 에너지 절약형 초청정클린룸 개발”과 중소기업청이 주관하고 중소기업기술정보진흥원이 지원한 제조현장 녹색화기술개발사업 “클린룸 제조환경을 위한 에너지 절약형 외기공조기술 개발”의 일환으로 수행되었으며 이에 대해 관계자 들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Yamamoto, H., Katsuki, T., Fujisawa, S., Yosa, K., Nishiwaki, S., Nabeshima, Y., and Oda, H., 2003, Removal of gaseous chemical contaminants as well as heat recovery by air washer(Part 3), Proceedings, the 21st Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, Tokyo, pp. 151-154 (in Japanese).
2. Yoo, K. H., 2007, Reduction of air conditioning energy in semiconductor/display manufacturing clean rooms, Air Cleaning Technology, KACA, Vol. 20, No. 4, pp. 1-18.
3. Hu, S. C., Wu, J. S., Chan, D. Y. L., Hsu, R. T. C., and Lee, J. C. C., 2008, Power consumption benchmark for a semiconductor cleanroom facility system, Energy and Buildings, Vol. 40, pp. 1765-1770.
4. Fujisawa, L., Moriya, M., Yosa, K., Ikuta, M., Yamamoto H., and Nabeshima, Y., 2001, Removal of chemical contaminants as well as heat recovery by air washer (part 1), Proceedings, the 19th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, Tokyo, pp. 166-168 (in Japanese).
5. Fujisawa, S., Moriya, M., Yosa, K., Nishiwaki, S., Yamamoto H., Katsuki, T., Nabeshima, Y., and Oda, H., 2002, Removal of gaseous chemical contaminants as well as heat recovery by air washer (Part 2), Proceedings, the 20th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, Tokyo, pp. 162-165 (in Japanese).
6. Yeo, K. H. and Yoo, K. H., 2006, An experiment on the characteristics of heat recovery, particle collection and gas removal in an air washer system for semiconductor clean rooms, Journal of Korean Society for Indoor Environment, Vol. 3, No. 2, pp. 131-140.
7. Song, G. S., Yoo, K. H., Kang, S. Y., and Son, S. W., 2009, An experimental study on energy reduction of an exhaust air heat recovery type outdoor air conditioning system for semiconductor manufacturing clean rooms, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 273-281.
8. Song, G. S., Kim, H. T., Yoo, K. H., Son, S. W., Shin, D. K., and Kim, Y. I., 2010, Numerical analysis on energy reduction of an exhaust-air-heat-recovery type air washer system for semiconductor manufacturing clean rooms, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 10, pp. 697-703.
9. Ebine, T., Yoshida, H., Nishikawa, M., and Taura, H., 2005, Precision humidity control system by wetted-element humidifier and the cost reduction effect-(Part 2) Study on the

- system which used low temperature water, Proceedings, the 23th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, Tokyo, pp. 190-193 (in Japanese).
10. Tsao, J.-M., Hu, S.-C., Xu, T., and Chan, D. Y. L., 2010, Capturing energy-saving opportunities in make-up air systems for clean-rooms of high-technology fabrication plant in subtropical climate, *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 2005-2013.
 11. Kim, H. T., Song, G. S., Kim, K. C., Yoo, K. H., Son, S. W., Shin, D. K., Park, D. J., and Kwon, O. M., 2011, Comparative study on energy consumption in steam-humidification-and water-spray-humidification-type outdoor air conditioning systems for semiconductor manufacturing clean rooms, *Transactions of the KSME B*, Vol. 35, No. 12, pp. 1249-1255.