대한설비공학회 2008 동계학술발표대회 논문집 pp. 446 ~ 451

08-W-076

분무수 온도 변화에 따른 에어와셔의 온습도 특성에 관한 실험적 연구

김태형*, 남승백, 하종필, 정재학, 조인수

(주)신성이엔지 기술연구소

The Study on the experimental of a characteristic of temperature and humidity of atomizing water temperature variation in Air Washer

Tae-Hyung Kim*, Seung-Baeg Nam, Jong-Pil Ha, Jae-Hak Jung, In-Soo Cho.

Institute of Technology, Shinsung ENG Co., LTD.

ABSTRACT : Air washer remove dust on the air and use for humidification. But the last should be applied to the semiconductor and FPD industry, air washer has focused on removing pollutants. In addition, air washer within the clean room remove the pollutants as well as use for humidification in Winter. However, there is no research in the country, and for research purposes, the evaluation was conducted by atomizing water temperature variation and L/G variation. Performance evaluation results are the same conditions as the entrance of air washers (23 ℃, 45%RH). Cooling effect is enhanced when atomizing water temperature is lower. The larger the performance of humidification to L/G lower the temperature increases.

1. 서 론

에어와셔는 주로 공기 중에 물을 분무하여 겨울철 가습부하를 담당하기 위한 목적으로 사용되는 시스템으로 적용되고 있으나, 공정 특성상 분진이 다량 발생하는 곳에서는 공기를 청정화 시키기 위한 수단으로 적용되기도 하며, 오염가스가 다량 발생하는 곳에서는 오염가스를 제거하기 위한 목적으로 사용되기도 한다.

최근 들어서는 반도체 및 FPD(Flat Panel Display) 산업 등의 초정밀을 요구하는 클린룸에 있어서 외기를 도입할 때 온습도 제어, 입자상 오염물질과 가스상 오염물질을 제거하는 목적으로 에어와셔가 설치된 외기처리용 공조기를 사용하는 경우가 많다.

공기 중의 가스상 오염물질을 제거하기 위한 수단으로 사용을 위한 연구는 지금까지 일본을 중심으로 활발히 이루어지고 있다.

Hitosh와 Noriaki는 엘리미네이터에 친수성 소재를 적용함으로써 기-액 접촉면적 향상과 분무액적보다 친수성 엘리미네이터의 가스 흡수능력이 3~7배 높아지며, 상대적으로 에어와셔의 길이를 짧게 할 수 있다고 보고 하였다[1].

K.Iijima, T.Kawashima 등은 엘리미네이터의 가스상 오염물질의 제거성능이 수질에 따라 어떠한 영향을 받는지에 대해 연구하였다[2].

일본의 Takasako사에서는 클린룸내 에너지 절약 목적의 일환으로 외조기에서는 최소한의 가습

* TEL : (031)788-9124 FAX : (031)788-9440

E-mail address: kth@shinsung.co.kr

* (주)신성이엔지 기술연구소

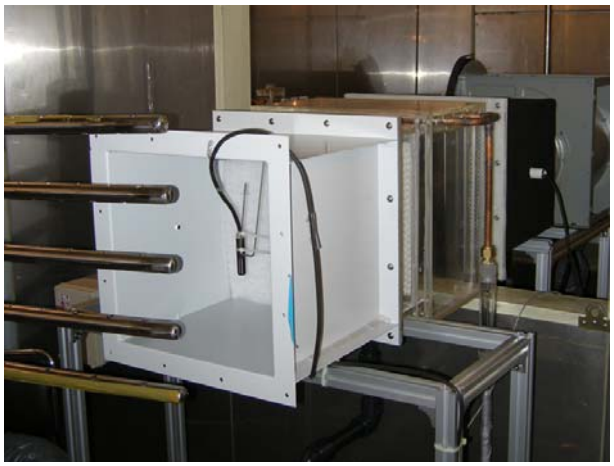

Fig. 1 Photograph of the experimental equipment

을 행하고 클린룸 내부에 설치된 에어와셔를 통해 부족분에 대한 가습과 가스상 오염물질 제거를 동시에 행할 수 있는 제품이 개발하였다[3].

클린룸내 발생하는 현열부하는 드라이코일로 처리하는 것이 일반적이다. 드라이코일로 공급되는 냉수를 제조하기 위해서는 냉동기 및 냉각탑 등 부대설비가 필요하며 다량의 에너지 소비가 이루어지게 된다. 하지만 현열부하 및 겨울철 잠열부하를 처리하는 동시에 클린룸내 발생되는 가스상 오염물질을 제거하는 시스템이 클린룸내 적용 가능하다면 최근의 화두인 에너지 절감이 가능한 시스템이라 할 수 있다.

하지만 이러한 연구는 일본에 국한되어 있고 국내에서는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 클린룸내에서 에어와셔의 온습도 제어성을 확인하기 위한 부분을 중점적으로 성능평가를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 구성

본 연구를 위해서 당사에서 개발된 엘리미네이터를 설치할 수 있는 풍동(Wind Tunnel)을 제작하였고, 엘리미네이터 상부에서 초순수(DI Water)를 분무할 수 있도록 노즐을 설치하였다. 또한 노즐의 유량을 측정하기 위해 질량유량계를 설치하여 분무유량의 정확한 측정이 용이하도록

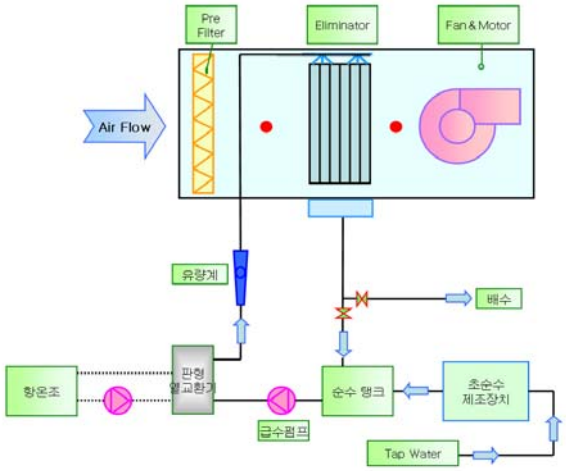

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental equipment

하였다. 초순수의 공급은 별도의 초순수 제조장치를 통해 공급하였으며, 공급수의 온도를 조절하기 위해 항온조에서 공급되는 냉수 혹은 온수와 판형열교환기에서 열교환하여 원하는 온도의 초순수를 공급할 수 있도록 하였다. 또한 신뢰성 있는 실험을 수행하기 위해 엘리미네이터로 유입되는 공기의 온습도를 일정하게 유지하기 위해 실험용 풍동을 항온항습챔버에 설치하여 실험을 진행하였다.

실험에서 사용된 풍동시스템은 크게 3개 파트로 구분되어 있으며 크기는 300(W) × 300(H) × 1,500(L)이다. 즉, 필터부, 엘리미네이터부, 팬&모터부로 구성된다.

Fig.1에 풍동시스템 사진을 나타내었다.

Fig.2에 실험장치의 개략도를 나타내었다. 도입된 외기는 프리필터를 거쳐 큰 사이즈의 입자상 오염물질을 제거한 후 엘리미네이터에서 분무되는 분무수와 접촉하여 열 및 물질전달이 이루어진다. 공급되어지는 순수는 제조과정은 다음과 같다. 초순수 제조장치에서 18.2MΩ/cm 전도도를 갖는 초순수를 제조하여 순수탱크로 공급한다. 펌프를 통해 판형열교환기를 거친 후 엘리미네이터용 노즐뱅크로 순환수가 공급되고 엘리미네이터에서 도입된 외기와 열 및 물질전달 후 드레인된다. 드레인된 물은 드레인펌프를 통해 80%는 순환수물통으로 보내어지고 20%는 배수된다. 20%를 배수 시키는 이유는 도입된 외기에 포함된 오염물질이 엘리미네이터에서 제거되면서 순

Table 1 Measuring Instruments

계측기	제조사	모델
Data Logger	Yokogawa	DC100+DS600
온습도계	Vaisala	HMP233
유량계	Oval	CN003C-SS-200R +MT9411

환수의 전도도 값을 상승시키고, 초순수를 공급하지 않고 연속운전하게 되면 염기성 가스인 NH_3에 의해 pH가 상승하게 되어 NH_3의 제거율이 저하되는 등의 문제가 발생하므로 공급되는 순수의 전도도 및 pH 조절을 위해 반드시 필요하다[4]. 본 연구에서는 비록 가스상 오염물질 측정에 대한 부분을 포함하지 않았지만, 향후 실제 제품에 적용시 위의 운전조건과 같아야 하므로 동일한 조건으로 실험을 수행하였다.

실험에 사용된 엘리미네이터는 클린룸내에 적용 할 수 있도록 당사에서 개발한 저차압형 엘리미네이터를 적용하였으며, 물에 충분히 젖을 수 있는 친수성 재료를 사용하여 제작하였다. 또한 엘리미네이터의 크기는 항온항습챔버에서 실험이 가능하도록 300(W)×300(H)×200(D) 크기의 엘리미네이터를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 엘리미네이터는 기존의 엘리미네이터를 업그레이드하여, 기존 제품대비 차압이 1/5로 줄어든 제품이다. 따라서 팬&모터 소비전력 절감과 더불어 동일한 가스상 오염물질 제거 효율로 소형화가 가능하므로 에너지 절감에 큰 장점이 있다.

2.2 실험방법

성능평가는 반도체 제조공장 클린룸내 실제 운전조건인 건구온도 23℃, 상대습도 45%을 기준으로 수행하였다. 엘리미네이터를 통과하는 전면풍속은 2.5m/s로 동일하게 유지하였다. 이때 액기비(L/G)는 0.03~0.15, 분무되는 분무수의 온도는 7℃~23℃로 변화시키며 엘리미네이터 출구의 온습도 영향성에 대해 성능평가를 수행하였다.

수분무를 통해 열 및 물질전달을 행하는 대표적인 시스템인 에어와셔 및 냉각탑에서 가장 중요한 액기비의 정의는 식(1)에 나타내었다. 액기비는 공기(가스)의 질량유량대비 물(액체)의 질량 유량의 비를 의미한다. 식과 같이 무차원함수이다.

Table 2 Operating condition for experiments

항 목	단 위	조 건	비 고
통과풍량	CMH	800	
입구공기 온도	℃	23	
입구공기 습도	%RH	45	
분무수 온도	℃	7~23	
분무수 전도도	MΩ/cm	0.1~0.3	
분무수 pH	-	6.5~7.0	
액기비(L/G)	-	0.03~0.15	

$$L/G = \frac{\text{액체의질량유량}}{\text{공기의질량유량}} \quad (1)$$

성능평가 전 항온항습챔버의 온도와 습도를 설정값(23℃, 45%RH)으로 유지시킨 후, 동시에 공급될 분무수의 온도 유지를 위해 항온조를 가동시킨 후 시운전을 시작하였다. 항온항습챔버의 온도와 습도가 및 모든 운전조건이 정상상태가 된 후 성능평가를 수행하였으며, 정상상태까지는 초기 운전부터 약 2시간이 소요되었다. 엘리미네이터 입출구의 온습도 및 유량 등의 데이터의 취득을 위해 데이터로거(Data Logger)에 일정시간 간격으로 저장하였다. 데이터 취득은 각 조건의 정상상태에서 약 10분간 측정한 후 평균하여 사용하였다.

사용된 계측기는 Table 1과 같다.

Table 2에 본 연구에서 수행된 실험조건을 나타내었다.

3. 실험결과

그림 3은 분무수 온도에 따른 에어와셔의 입출구 온도차를 나타낸 그래프이다. 일반적으로 공기는 에어와셔를 통과하게 되면 에어와셔 표면의 수분에 의한 증발잠열로 인해 주위 공기의 열을 빼앗게 되고 따라서 통과하는 공기의 온도는 떨어지게 된다. 동일한 액기비인 경우 분무수의 온도가 낮을수록 에어와셔 입출구의 온도차가 더욱 커짐을 알 수 있다. 이는 도입되는 공기의 온도

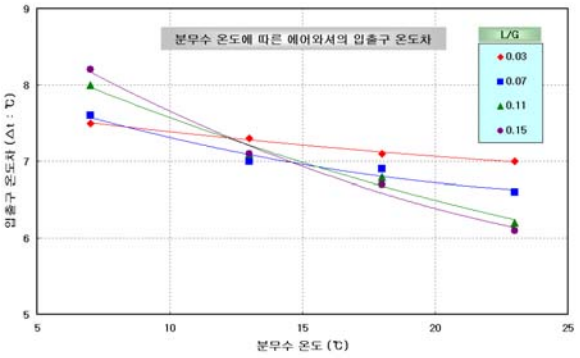

Fig. 3 Temperature difference of atomizing water temperature variation

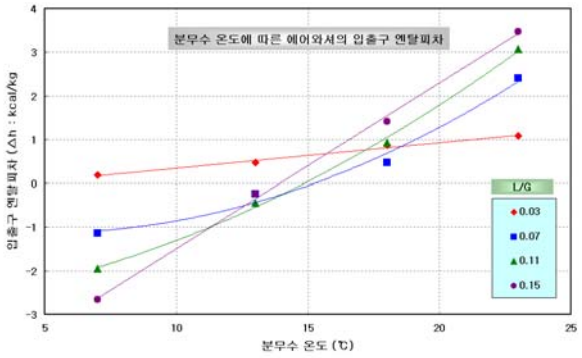

Fig. 4 Enthalpy difference of atomizing water temperature variation

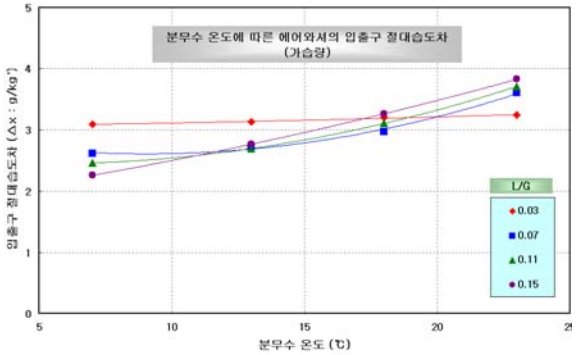

Fig. 5 Absolute humidity difference atomizing water temperature variation

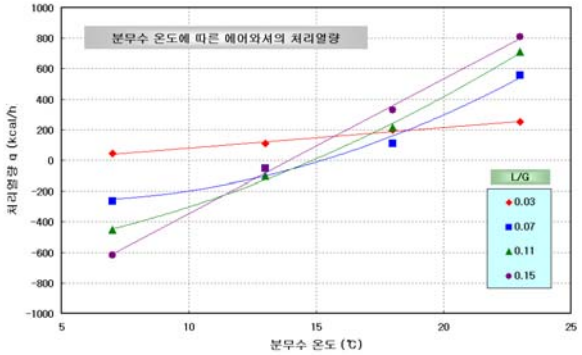

Fig. 6 Heating capacity of atomizing water temperature variation

와 분무수와의 온도차로 기인한 것으로 판단된다. 또한 액기비가 작을수록 에어와셔 통과 전후의 온도차의 기울기가 커짐을 보인다. 분무수의 온도가 낮은 경우 통과하는 공기와의 온도차에 의한 열교환 효과로 에어와셔 입출구 온도차가 커지는 것으로 판단되지만, 분무수의 온도가 증가하게 되면 액기비가 큰 경우보다 증발잠열이 작기 때문에 통과 공기의 열을 충분히 흡수하지 못함으로 인해 온도차가 작아지는 것으로 판단된다.

일반적으로 에어와셔의 입출구 공기상태는 단열포화선상에 놓이게 된다. 물론 액기비를 1.0 이상하는 경우는 습공기선도 상에서 분무수의 온도와 상응하는 공기 상태점과 입구공기 상태점을 직선으로 이은 선내에 존재한다. 하지만 본 연구에서는 분진제거 및 가습을 위해 사용되는 일반적인 에어와셔가 아닌 클린룸용 에어와셔로 액기비가 상대적으로 작다. 따라서 분무수량이 적기 때문에 에어와셔 입출구의 공기상태는 단열포화선상에 주로 놓이게 된다. 하지만 분무수온과 액기비에 따라 에어와셔 출구 공기상태점이 단열포화선상에 놓이지 않고 약간 상회하거나 하강하게 된다. 그림 4에 분무수 온도에 따른 에어와셔 입출구의 엔탈피차를 나타내었다. 그림에서 엔탈피차 “0”은 에어와셔 출구의 공기 상태가 단열포화선상에 놓인 것을 의미한다. 액기비가 0.03인 경우는 분무수온이 증가할수록 엔탈피차가 약간 증가하지만 단열포화선에 근접한 출구상태로 존재하게 된다. 반면, 액기비가 크고 분무수온이 낮은 경우는 에어와셔를 통과하면서 공기가 더욱 냉각됨을 알 수 있다. 반대로 분무수온이 높은 경우 이 현상이 역전되어 오히려 액기비가 클수록 가열되는 현상이 나타난다.

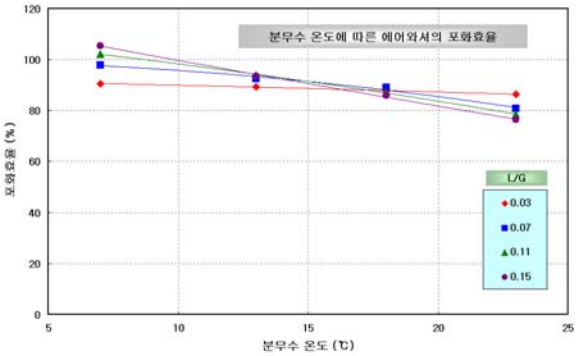

Fig. 7 Saturation efficiency difference of atomizing water temperature variation

그림 5는 분무수 온도에 따른 에어와셔의 입출구의 절대습도차를 나타낸 그래프이다. 절대습도차는 에어와셔를 통과한 공기의 가습량으로 표현할 수도 있다. 분무수의 온도가 낮은 경우보다 높은 경우 가습량이 증가하는 일반적인 경향을 보인다. 반면, 액기비가 0.03으로 극히 작은 경우는 분무수의 온도가 증가하여도 가습량이 거의 일정함을 보인다. 이는 분무되는 물의 양이 통과하는 공기의 양보다 극히 적어 분무수의 온도가 통과되는 공기에 거의 영향을 미치지 못함으로 인해 출구공기의 절대습도가 거의 일정하게 유지되는 것으로 판단된다. 하지만 액기비가 큰 경우 분무수 온도가 낮게 되면 냉각에 의한 효과로 인해 가습량이 적어지며, 반대로 분무수 온도가 증가하면 일반적인 온수가습형태로 전환되면서 가습량이 상대적으로 증가하는 것으로 보인다.

그림 6은 분무수 온도에 따른 에어와셔의 처리열량을 나타낸 그래프이다. 처리열량 “0”을 기준으로 (+)영역은 가열된 상태이고, (−)영역은 냉각된 상태이다. 분무수량이 많고 분무온도가 낮을 수록 냉각효과가 크며, 반대로 분무온도가 높은 경우는 가열의 효과가 크다. 이 그래프를 통해 본 연구의 목적인 클린룸내 에어와셔 적용성 여부를 판단해 볼 수 있다. 하지만 본 논문에서 수행된 연구결과로 클린룸내 현열부하용 드라이코일을 대체하기에는 부족하며, 향후 드라이코일 대체용으로 에어와셔를 적용하기 위해서는 절대습도의 변화가 없는 조건의 풍량, 분무수량 그리고 분무수의 온도를 찾는 것이 급선무라고 할 수 있다.

그림 7은 분무수 온도에 따른 에어와셔의 포화효율을 나타낸 그래프이다. 포화효율은 에어와셔에서 중요한 요소 중에 하나인 가습성능을 나타내는 지표로써 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$\eta = (t_1 - t_2)/(t_1 - t'_1) \qquad (2)$$

t_1 :입구공기 건구온도
t'_1:입구공기 습구온도
t_2 :출구공기 건구온도

즉, 포화효율이 높다는 것은 그 만큼 가습성능이 좋다는 것을 의미한다. 그래프에서 보는바와 같이 액기비가 0.03인 경우는 분무수 온도에 의한 영향이 거의 없이 약 90%로 일정한 반면, 액기비가 높을수록 분무수의 온도가 낮은 경우는 높은 포화효율을 갖고 분무수 온도가 높을 경우는 상대적으로 포화효율이 낮아진다. 분무수의 온도가 높은 경우 출구공기상태에도 영향을 미치게 되는데, 출구공기의 온도가 상승하게 된다. 즉, 출구공기 온도 상승으로 인해 가습량은 증대되지만 그만큼 그 공기의 상태에서 수분을 함유할 수 있는 함수율로 인해 상대적으로 포화효율이 낮아지는 것으로 판단된다.

3. 결 론

에어와셔로 분무되는 분무수 온도, 액기비를 변화시켜 성능평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 분무수의 온도가 낮을수록 에어와셔를 통과한 공기의 온도차는 커지며, 높을수록 온도차는 작아진다.
(2) 에어와셔 입구온도 23℃, 상대습도 45% 조건 일때 분무수온도가 15℃를 기준으로 낮으면 공기는 냉각되며, 높은 경우 가열된다.
(3) 가습성능 지표인 에어와셔 통과 전후의 포화효율은 액기비가 클수록 분무수온도가 낮을수록 증가한다.

참고문헌

1. I. Hitosh, O. Noriaki, 1999, "Effectiveness of hydrophilic eliminator installed in

air−washer", Clean technology, Vol. 37−4, pp. 308−314
2. K.Iijima, T.Kawashima, M. Hujii, T. Hasegawa and S. Yoshizaki, 1998, "Removal of chemical compounds from outside air by air washer(part 2) The influence of the quality of water on removal efficiency", Clean Technology science council, pp9−12
3. 高砂熱學工業, 2003. 7., "省エネ型ガス除去空調機[G−GET]" Clean Technology 製品紹介, pp87− 90.