

# 반도체 클린룸용 직접분무식 에어와셔 시스템의 성능평가실험

여 국 현, 유 경 훈<sup>†</sup>, 태 경 응<sup>\*</sup>

한국생산기술연구원 에어로졸·오염제어연구실, <sup>\*</sup>(주)대한피엔씨

## An Experiment on Performance Evaluation of a Direct Atomization Type Air Washer System for Semiconductor Clean Rooms

Kuk-Hyun Yeo, Kyung-Hoon Yoo<sup>†</sup>, Kyung-Eung Tae<sup>\*</sup>

Aerosol-Contamination Control Laboratory, KITECH, Cheonan-Si 330-825, Korea

<sup>\*</sup>Research & Department Center, Daehan PNC, Shihung-Si 429-450, Korea

**ABSTRACT:** In recent semiconductor manufacturing clean rooms, air washers are used to remove airborne gaseous contaminants such as NH<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub> and organic gases from outdoor air introduced into clean room. Meanwhile, there is a large quantity of exhaust air from clean room. It is desirable to recover heat from exhaust air and use it to reheat outdoor air. In the present study, an experiment was conducted to investigate the heat recovery and gas removal efficiencies of a direct atomization type heat recovery air washer.

**Key words:** Air washer(에어와셔), Heat recovery(열회수), Chemical contaminants(화학오염물), Direct atomization(직접분무)

### 기 호 설 명

- L/G : 액기비(물분무량/공기유량)
- $n_{gas}$  : 가스제거율(%)
- $C_{inlet}$  : 에어와셔의 입구의 가스농도(ppm)
- $C_{outlet}$  : 에어와셔의 출구의 가스농도(ppm)
- $Q_{air}$  : 공기측 열이동량(kW)
- $V$  : 에어와셔의 풍량(m<sup>3</sup>/h)
- $h_{OA}$  : 에어와셔 입구공기의 엔탈피(kJ/kg)
- $h_{SA}$  : 에어와셔 출구공기의 엔탈피(kJ/kg)

### 그리스 문자

- $\rho$  : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

### 1. 서 론

최근에 지구온난화 문제가 대두되면서 기업의 지구 환경에 대한 고려가 사회적 의무로서 넓게 인식되기 시작하고 있다. 특히 1997년의 교토의 정서에 의한 지구온난화 방지로의 적극적인 대책인 이산화탄소와 같은 온실가스의 저감을 목적으로 에너지 사용량의 절감에 직면하고 있다. 우리나라는 개도국 유보조항의 적용을 받아 규제 일정이 3차 이행기간인 2018~2022년으로 상당기간 유예되어 있었으나, 국내총생산(GDP)이 세계 10위(2002년 기준), 온실가스 배출량이 세계 9위(2002년 4.5155 억톤 배출)이며 경제협력개발기구(OECD) 회원국이라는 점을 고려한다면 2차 이행기간인 2013~2017년의 적용을 받을 수도 있는 상황에 처해있다. 반도체 공장이나 전자 부품 공장 등의 클린룸에 있어서는 외기를 도입할 때의 온습도 제어, 압력 유지나 외기 먼지 및 화학오염 물질을 제거하는 목적으로 에어와셔 방식의 외기 처리용 조화기를 사용하고 있는 경우가 많다. 이

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel.: +82-41-5898-354; fax: +82-41-5898-634

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

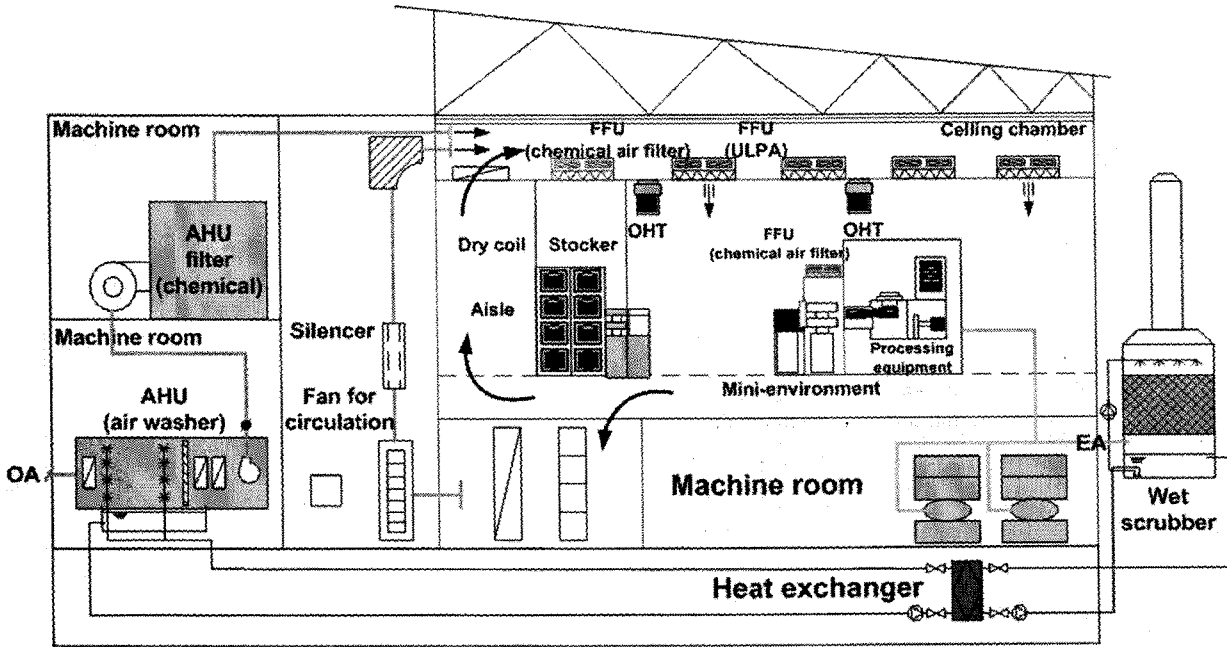


Fig. 1 Schematic diagram of the concept of heat recovery direct atomization type air washer system for semiconductor manufacturing clean room.

러한 클린룸의 경우 배기량이 막대하기 때문에 도입 외기량도 많아서 이에 동반되는 에너지 소

비량이 시설 전체 소비량에서 차지하는 비율이 매우 높다. 따라서, 공장의 배기로부터 열을 회수해서 도입 외기의 예열·예냉에 이용하는 것은 에너지 절약적 측면에서 상당히 유효한 기술이라고 판단된다.

본 연구에서는 반도체 생산 장비에서 발생된 고농도의 케미컬 가스성분을 포함하는 다량의 배기가스를 세정집진기(Wet scrubber)에서 제거한 후 배기에서 열 회수된 물을 열교환기(Heat exchanger)를 통하여 외기 공기조화기의 에어와서부에 직접 분무하였을 경우 열 회수 기본성능과 가스제거효율 성능에 대한 기초실험을 수행하였다.<sup>(1)</sup>

## 2. 시스템 개요

### 2.1 시스템 개요

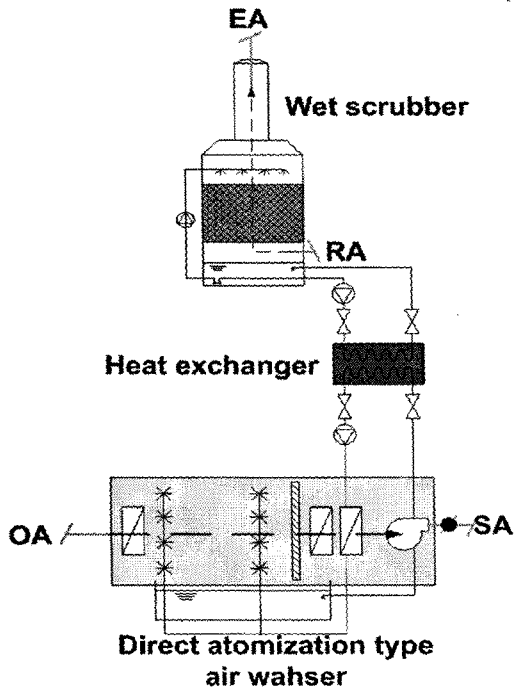


Fig. 2 Schematic diagram of a heat recovery direct atomization type air washer system configuration.

Fig. 1은 반도체 클린룸용 에어와서에 대한 전체적인 시스템 개략도이다. 클린룸 안에 생산기기가 있으며, 생산기에서 발생 되는 고농도 케미컬 가스는 세정집진기(Wet Scrubber)로 배출되며 세정집진기에서 회수된 열은 1차 열교환기를 통하여 외기에서 도입되는 에어와서부의 노즐부로

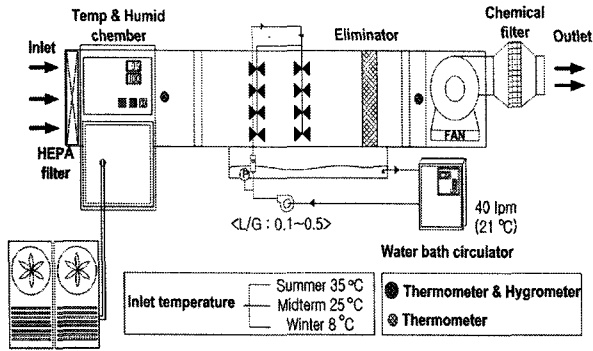


Fig. 3 Schematic diagram of the present experimental apparatus for heat recovery direct atomization type air washer.

직접 분무하여 열회수를 실시한다. 에어와셔를 통과한 외기는 하류에 있는 공조기를 통과하여 적정의 온습도 조건을 갖춘 청정한 공기가 되어 클린룸으로 도입된다. Fig. 2는 본 연구에서 사용된 에어와셔의 세부 계략도이다. 외기에서 도입되는 공기는 열교환기를 통한 분무로 인하여 예냉, 예열을 하여 열회수가 이루어지는 동시에 외기 중에 포함된 화학오염물질을 제거한다. 특히 겨울철의 열회수 효율은 에어와셔 물의 증발잠열에 의해 외기의 건구온도가 저하되어 열교환 되어진 분무수와 외기의 온도차가 확대되어 열교환 효율이 상승할 것으로 예상된다.<sup>(2)</sup>

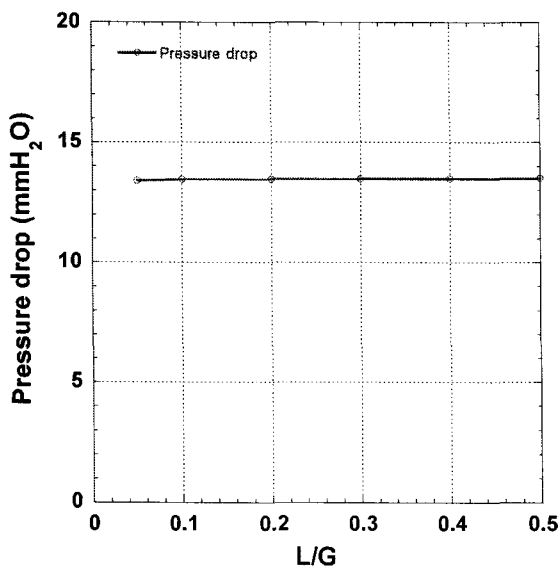


Fig. 4 Pressure drop across the direct atomization type air washer.

Table 1 Experimental condition of the present heat recovery by direct atomization type air washer

Air flow(G)	1000 CMH(m <sup>3</sup> /h)
Air temperature	winter 8 °C Midterm 25 °C Summer 35 °C
Spray water(L)	City water
Water temperature	21 °C
Flow of spray water	1~10 l/min
L/G	0.05~0.5

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

본 연구에서 사용된 Lab scale 실험 장치는 Fig. 3에 나타내고 있다. 노즐분무는 2뱅크 방식으로 분무하고 분무방향은 향류(Counter-current)와 동류(Co-current)로 양쪽으로 분사하였다. 실험 조건은 Table. 1에 나타나있다.

에어와셔의 입구공기속도는 2.5 m/s이고, 입구의 온도조건은 동기 8 °C, 중간기 25 °C, 하기 35 °C로 실험 하였다. 공기의 온도 및 습도는 2곳에서 측정하였다. 열교환기 순환수의 온도는 노즐 분무전과 후의 온도를 측정하였다. 측정 데이터는 Almemo사의 Universal data acquisition system

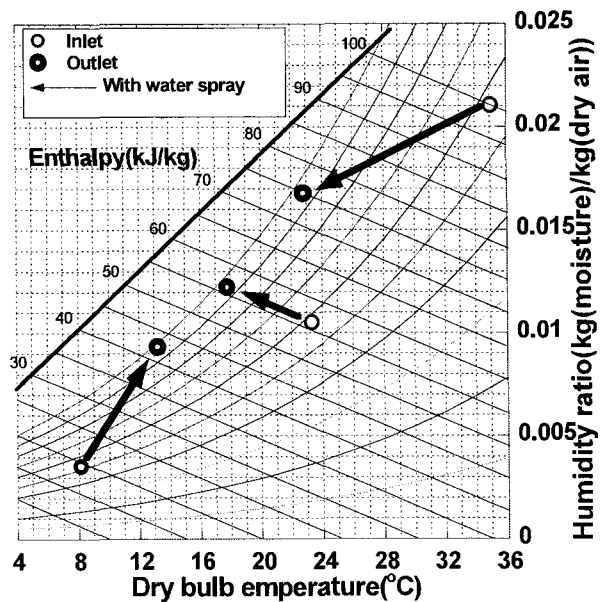


Fig. 5 Variations of air temperature and humidity through the air washer heat exchanger.

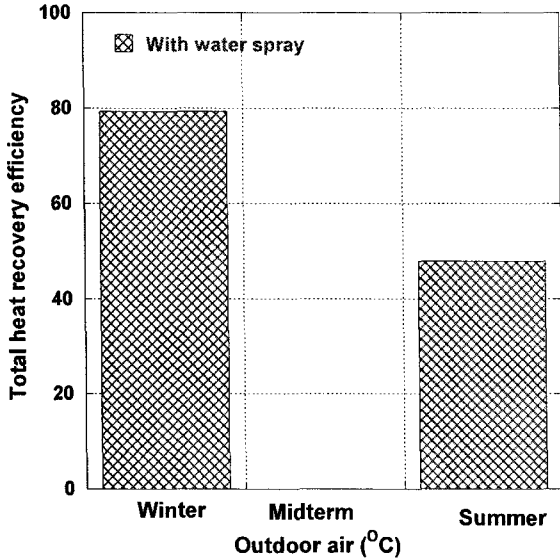


Fig. 6 Variations of total heat recovery efficiency with respect to outdoor air condition.

model 5990-2를 사용하여 실시간으로 측정하였다.

Fig. 4는 에어와서의 입구 출구의 차압을 물 분무 하였을 때와 에어와서 덕트 구조에 의한 압력손실은 보여주고 있다. 물 분무로 인한 압력감하는 매우 미미함을 알 수 있다.

### 3.2 실험방법

Fig. 3의 실험장치를 사용하여 에어와서의 열회수용 열교환기 코일의 외기의 변화에 따른 열회수량을 산출하였다. 이를 위하여 공기의 입구 조건은 실험장치의 상류에 공조기를 설치해서 건구 온도 35 °C(하기), 25 °C(중간기), 8 °C(동기)의 공기를 발생시켰다. 열교환기와 공기간의 열회수량  $Q_{air}$ 는 공기측의 온도 및 습도 상태를 실측해서 아래의 식에 의해 산출하였고 코일 통과수의 열이동량에 의한 확인을 실시하였다.

Table. 2 Air side and total heat recovery efficiency.

Inlet air temperature	with water spray	
	air side heat transfer(kW)	Total heat transfer(%)
Winter(8 °C)	7.67	79
Midterm(25 °C)	-	-
Summer(35 °C)	8.33	48

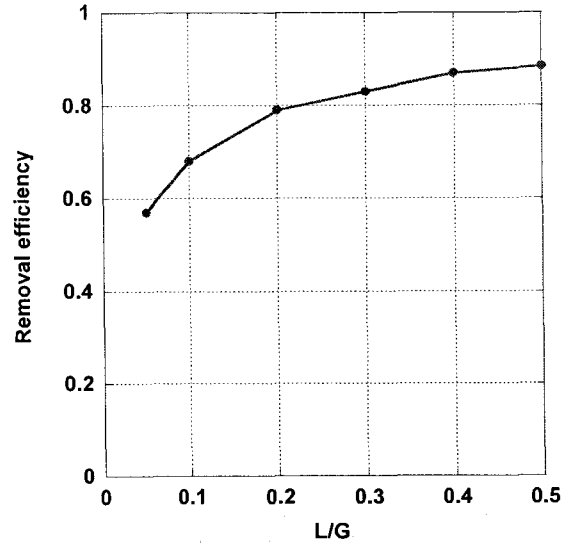


Fig. 7 Variation of NH<sub>3</sub> removal efficiency with respect to L/G.

$$Q_{air} = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{3600} V \rho \quad (1)$$

여기서,  $Q_{air}$ 는 공기측 열회수량[kW],  $h_{OA}$ 는 에어와서 입구공기의 엔탈피[kJ/kg],  $h_{SA}$ 는 에어와서 출구공기의 엔탈피[kJ/kg],  $V$ 는 에어와서 풍량[m<sup>3</sup>/h],  $\rho$ 는 공기 밀도[1.2 kg/m<sup>3</sup>]이다.

## 4. 실험결과 및 검토

### 4.1 전열회수효율 실험

동기, 중간기, 하기 조건에 따른 전열회수 효율은 Fig. 6와 같다.

전열회수효율  $\eta_{Total}$  [%]는 다음 식에 의한다.

$$\eta_{Total} = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{h_{OA} - h_{RA}} \times 100 \quad (2)$$

여기서,  $h_{RA}$ 는 클린룸의 배기공기의 엔탈피[kJ/kg]이다.

Table. 2는 식(2)에 의해 산출된 계산결과로 클린룸의 배기공기의 엔탈피  $h_{RA}$ 는 온도 23°C, 습도 RH 45%의 조건이며,  $h_{RA}$ 의 값은 48 kJ/kg으로 분석되었다. 하기의 경우 높은 전열회수효율을 확인 할 수 있었다.

## 4.2 액기비(L/G) 변화에 따른 가스제거율

가스제거율 실험은 가스 확산이 가장 활발한 여름철을 고려하여 하기조건인 입구 공기온도 35 °C에서 암모니아 가스(NH<sub>3</sub>)에 대해 수행하였다. 가스제거율  $\eta_{gas}$  [%]는 다음과 같이 산출하였다.<sup>(3)</sup>

$$\eta_{gas} = \frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \times 100 \quad (3)$$

Fig. 7은 불분무량과 처리공기량의 중량비인 L/G(액기비, 수공기비)에 대한 NH<sub>3</sub> 가스제거율 실험 결과를 보여주고 있다. L/G가 증가함에 따라 가스제거 성능이 조금씩 좋아짐을 알 수 있다. L/G가 0.25 이상이 되면 가스제거율이 80 %를 초과함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

처리공기유량 1,000 m<sup>3</sup>/h의 반도체 클린룸용 열회수식 에어와셔 실험장치를 제작하여 하기, 중간기, 동기의 열회수량과 가스제거율에 대한 성능평가실험을 수행하고 다음과 같은 사항들이 관찰되었다.

(1) 직접분문 실험을 기초로 한 공기로부터 물로의 열이동 특성의 파악에 의해 열회수 시스템의 성능에 대해 평가를 할 수 있다. 동기에는 건구온도와 열이동량을 증가하기 위하여 분무온도를 고온화, 하기에는 건구온도와 열이동량을 증가하기 위하여 분무온도의 저온화 하는 것이 높은 효율을 얻을 수 있다.

(2) 입구 공기가 8 °C인 동기 조건일 때 물을 분무하면 열회수량이 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 이는 물 분무를 실시했을 경우 물의 증

발 잠열에 의해 통과 공기의 건구온도가 저하하여 에어와셔 열교환 온도차가 확대되어서 열이동량이 크게 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 암모니아에 대한 가스제거율은 L/G가 높아질수록 증가함을 알 수 있었고 L/G가 0.25 이상이 되면 가스제거율이 80 %를 초과함을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부가 주관하고 에너지관리공단이 지원한 에너지자원기술개발사업 선행연구 과제 '열회수식 에어와셔 시스템 선행연구'의 일환으로 수행되었으며 이에 대해 관계자들께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Sunao. S., Hiroaki. T., Seijirou. Y. and Koji. S. (2002) (C-16)Heat recovery system for exhaust air by the water spray, Proc. of the 20th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, 260-262(in Japanese).
- (2) 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), Proc. of the 20th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, 162-165(in Japanese).
- (3) Yoo, K.-H., Roh, H.-H., Choi, E. and Kim, J.-K., 2003, An Experiment on the Particle Collection Characteristics in a Packed Wet Scrubber", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15 NO. 4, pp. 305-311.