

반도체 클린룸용 수증기 응축식 에어와셔 시스템의 성능평가

여 국 현, 박 상 태, 유 경 훈[†], 손 승 우*

한국생산기술연구원 에어로졸·오염제어연구실, *(주)성림피에스

An Experiment on Performance Evaluation of a Vapor Condensation Type Air Washer System for Semiconductor Clean Rooms

Kuk-Hyun Yeo, Sang-Tae Park, Kyung-Hoon Yoo, Seung-Woo Son

Aerosol and Filtration Technology Laboratory, KITECH Cheonan-Si 330-825, Korea

Research&Department Center, Sunghim PS Seoul-Si 153-783, Korea

ABSTRACT: In semiconductor manufacturing clean rooms, it becomes important to remove airborne molecular contaminants as well as particulate contaminant in outdoor air introduced into clean rooms. One suitable control technique for these chemical contaminants is air washing by water in an outdoor air handling unit. In order to enhance the removal efficiency of chemical contaminants the effect of adding a heating and humidifying process before an air washer was examined.

Key words: Air washer(에어와셔), Water vapor condensation(수증기 응축), Chemical contaminants(화학오염물), Direct contact heat exchanger(직접접촉 열교환기), Removal efficiency(제거효율)

기 호 설 명

L/G : 액기비(물분무량/공기유량)
n : 가스 제거율[%]
C_{inlet} : 에어와셔 입구의 가스농도[ppm]
C_{outlet} : 에어와셔 출구의 가스농도[ppm]

1. 서 론

최근, 반도체 공장 등의 클린룸 시스템에서는 공기중의 가스상 오염물(SO_x, NO_x, NH₃, 유기물)을 제어, 저감해서 제품의 yield가 저하하는 것을 방지하고 있다. 이러한 오염물은 건축내장재, 기계 및 자재, 도입외기 등으로부터 클린룸에 침입, 확산해 실내의 가스 농도를 상승시키고 있다.

오염물 중 SO_x, NO_x, NH₃ 가스성분은 도입외기에 많이 포함되어 이것들이 외기로부터 클린룸에 침입하는 것을 방지하기 위하여 외기처리 공조기에 가스상 오염물 제거필터(이하 케이컬 필

[†]Corresponding author

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

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

터)를 장착하고 있다. 또한 클린룸 내에서 발생하

본연구의 목적은 외기처리 수단으로 에어와셔

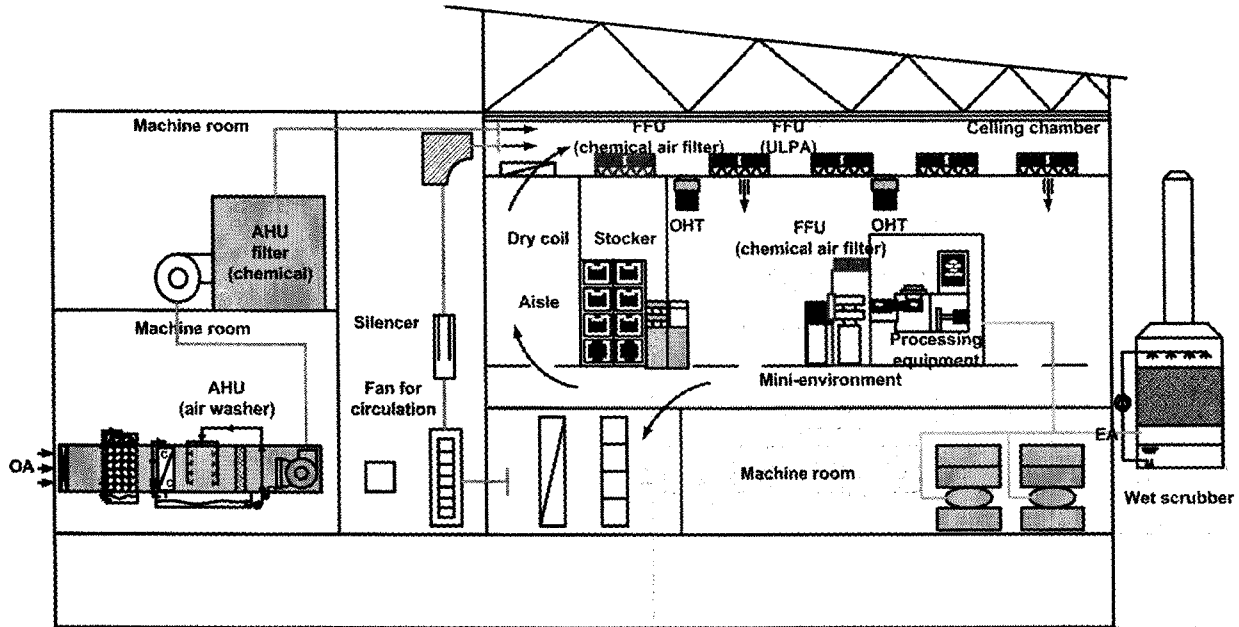


Fig. 1 Schematic diagram of the air washer system for semiconductor manufacturing clean room.

는 오염 가스 성분을 제거하기 위해, 클린룸내 순환 공조기에도 케미컬필터가 장착되어 실내 공기의 청정화를 실시하고 있다. 이러한 케미컬 필터는 고가이고 그 수명이 짧은 단점이 있다. 이 고가의 케미컬 필터의 대체용 시스템의 필요성이 대두되었고 해외에서는 이를 개선하기 위한 많은 연구가 행해지고다. 외기처리 공조기에는 Air washer를 설치해서 외기의 Gas 오염물을 제거하는 system이 고안되어 연구가 보고 되고 있다 (1) 또한, 생산 장치로부터 많은 양의 배기가 발생하는 반도체 공장 등은 공조의 외기부하가 크게 증가된다. 에너지 절약을 위해 배기열을 회수해서 도입외기의 예냉, 예열에 이용하는 형태의 에어와셔도 현재 활발히 연구중에 있다(2).

(air washer)를 설치하여 반도체나 전자제품 제조용 클린룸에서 문제가 되고 있는 가스상의 오염물질을 효과적으로 제거하는데 있어 선행연구(3)의 결과를 바탕으로 가스제거에 있어 그 효율을 향상시키고자 에어와셔(air washer)전단부에 가열가습을 위한 온수접촉 열교환기(Hot water contact heat exchanger)과 냉각응축을 동반하여 오염물질 제거와 동시에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 반도체 클린룸용 에어와셔에 대한 전체적인 시스템 개략도이다. 클린룸 안에 생산기기가 있으며, 에어와셔를 통과한 외기는 하류에 있는 공조기를 통과하여 적정의 온습도 조건을 갖춘 청정한 공기가 되어 클린룸으로 도입된다. 또한 생산기기에서 발생되는 고농도 케미컬 가스는 세정집진기(Wet Scrubber)로 배출된다.

또한 본 연구에 사용된 가스제거 실험장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구에 사용된

Table 1 Condition of apparatus.

Data acquisition system	ALMEMO-MA5990-2
Temperature sensor	Pt 100 ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)
Temp&Humid sensor	-20 to $+80^{\circ}\text{C}$ /5~98%RH 0 to 100% r.H.
Accuracy	$\pm 2\%$ r.H. at nominal temperature
Reproducibility	$< 1\%$ r.H at nominal temperature

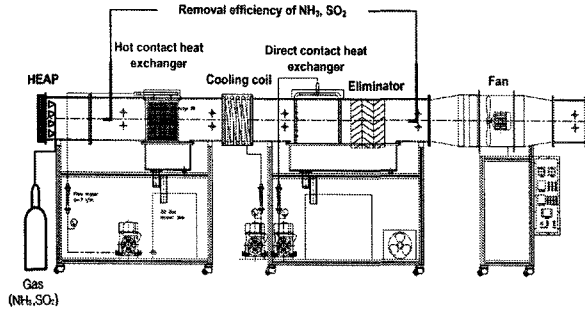


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

실험 장치는 크게 시험용 챔버와 가스 발생장치, 온수접촉 열교환기(Hot water contact heat exchanger), 냉각 코일, 에어와셔장치, 각종 센서류 및 계측시스템 등으로 구성된다. 온수접촉 열교환기는 일정한 온도의 온수를 공급하는 장치로서 외기를 통해 들어온 공기를 가열·가습하는 장치이며, 냉각코일과 에어와셔장치는 도입외기를 냉각 응축하는 장치로 사용된다. 또한, 챔버 내 유속을 2.5m/s로 유지시키기 위해 인버터가 장착된 터보팬을 사용하였다. 또한 본 실험에서 농도 측정용으로 사용된 가스택은 GV-100S형 기체채취기이며 검지관은 암모니아용으로 가스택의 No.3L(감지농도 1-30ppm), 이산화황용으로 가스택 No.5La(감지농도 2-30ppm)를 사용하였다. 가스택의 검지관식 기체 측정기는 검지관과 기체채취기로 구성되어 있으며 검지관은 일정내경의 유리관에 검지제를 밀도 있게 채워서, 그 양쪽을

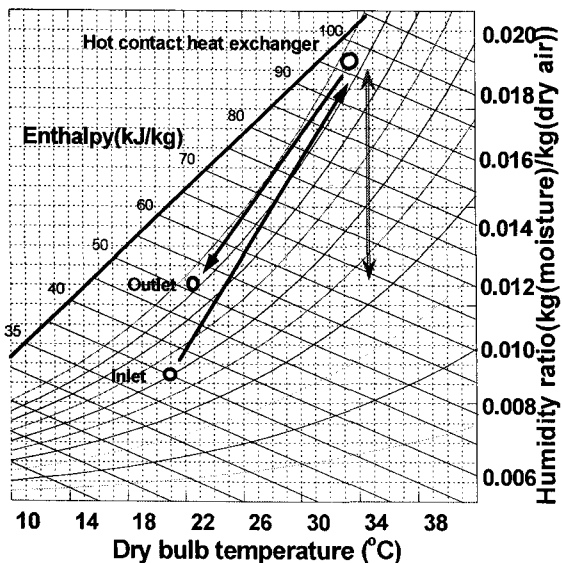


Fig. 3 Measurement of air condition. (Case 2)

Table 2 Condition of apparatus.

Air flow	1000 CMH
Temperature of hot water	40~80°C
Flow of hot water	10~20 l/min
Temperature of cold water	4~10°C
Flow of cold water	10~20 l/min
Spray water	City water
Temperature of spray water	4~10°C
Flow of spray water (L)	1.0~2.5l/min
Number of nozzle	48
L/G	0.15

봉하고, 그 표면에 농도눈금을 인쇄한 것이다. 기체 채취기는 일정용량의 실린더내부를 피스톤으로 감압시켜 흡입하는 기능을 가지고 있다. 이런 감압식 채취기는 초기의 흡입 속도는 빠르고 시간이 지날수록 점점 늦어지는 특성이 있으며 이러한 현상은 흐린 변색층이 없이 선명한 착색층을 실현한다. 기타 센서류와 기타장치는 Table.1에 나타내었다.

2.2 실험 방법

외기 입구, 온수접촉 열교환기 출구, 냉각코일 출구, 에어와셔 출구, 장치 출구의 온습도 상태를 측정하고, 대기압상태의 공기선도로부터 에어와

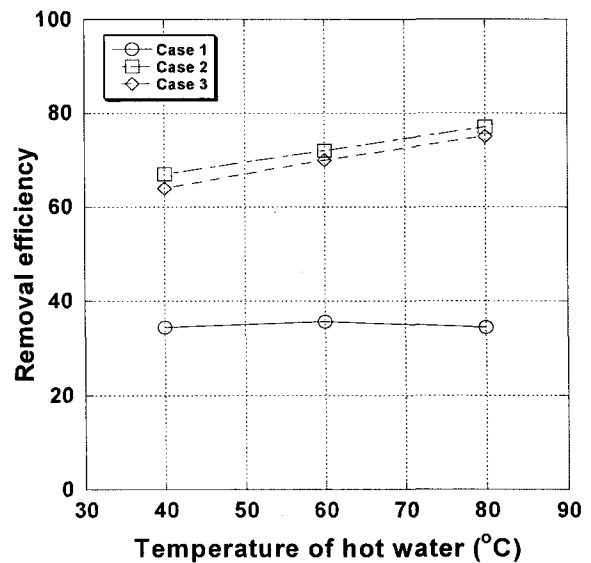


Fig. 4 Variation of NH_3 removal efficiency with respect to temperature of hot water contact heat exchanger.

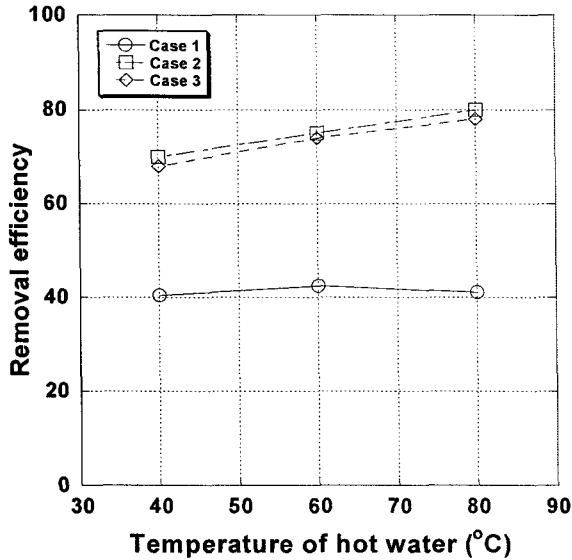


Fig. 5 Variation of SO₂ removal efficiency with respect to temperature of hot water contact heat exchanger

서에 수증기 응축을 병용한 제거효과에 대해 검토하였다. Table 2에 장치의 운전조건을 나타내었다. 암모니아와 이산화황 가스는 기체유량계를 거쳐 풍동내에 유입하게 하였으며 에어와서장치의 상류와 하류에서 농도를 측정하여 수증기 응축식 에어와서에 의한 암모니아와 이산화황의 제거효율을 계산하였다. 측정방법은 상류측, 하류측 농도를 3회 샘플링하여 그 농도의 평균치를 이용하여 제거율을 다음과 같이 구하였다.⁽⁴⁾

$$\eta = \frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, C_{inlet} 은 상류측 농도, C_{outlet} 은 하류측 농도를 나타낸다.

상·하류농도 측정 방법은 암모니아가스용 검지관인 No.3L, 5La의 양쪽 끝을 절단하고 기체채취기를 이용해서 일정용량(50ml, 100ml)의 시료 가스를 흡입하면, 암모니아가스 및 이산화황은 검지제와 즉각 반응을 일으켜 입구부터 색이 변한다. 흡입 후 약 45초 후면 피니쉬 인디케이터를 통해 100ml(또는 50ml)채취량이 흡입되었는지를 알 수 있고 그때의 변색층의 변색끝 부분 눈금에 의해 농도를 판단한다. 검지제는 실리카겔

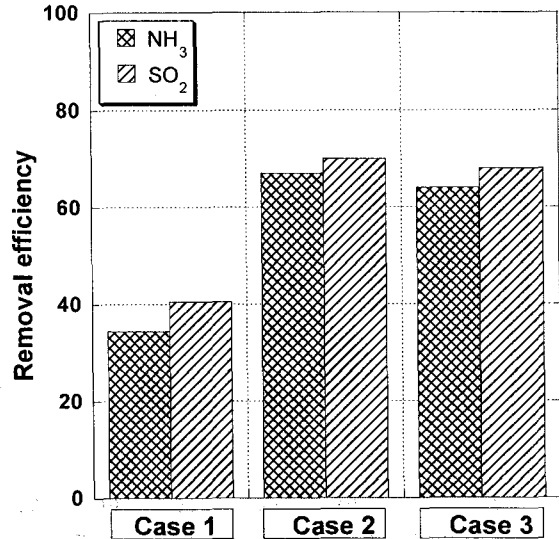


Fig. 6 Variation of gas removal efficiency with respect to temperature of hot water 40°C

이나 알루미나 등의 담체에 발색시약을 코팅한 것이므로 측정대상 가스에 대해 선택적으로 반응하는 한편 장기적으로도 안정한 것이 선택된다.

본 실험에서는 측정조건을 3가지로 구분하여 실험을 하였다. 첫째는 에어와서만을 단독으로 하여 그 제거 효율을 알아보았다(Case 1). 둘째는 에어와서와 가열가습장치 즉 온수 접촉 열교환기를 병행하여 실험하였다.(Case 2). 마지막 세 번째는 에어와서와 가열가습장치 그리고 냉각응축을 촉진시키는 냉각코일을 모두 가동하여 실험하였다.(Case 3)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도변화에 따른 가스제거율 실험

Fig.3은 직접접촉열교환기의 분사온도를 60°C로 공급 하였을 경우의 공기 상태량을 나타내고 있다. 외기의 공기가 공급된 후 Hot water contact heat exchanger를 통과한 후 고온다습한 공기상태량을 나타내고 있다. 여기에 노즐의 분무 온도를 4~7 °C로 분무하였을 경우 출구온도의 상태량을 나타내고 있다.

Fig. 4는 온도변화에 따른 암모니아의 제거효율을 나타낸 것이다. Case 1의 경우 에어와서만 물분무를 하였기 때문에 온수접촉 열교환기의 온

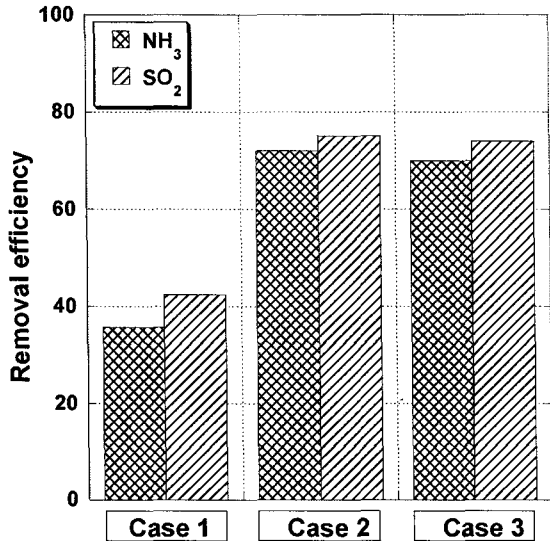


Fig. 7 Variation of gas removal efficiency with respect to temperature of hot water 60°C

도와는 무관한 일정한 제거효율을 나타내고 있다. 제거 효율이 낮게 나온 이유는 일반적으로 L/G를 0.3으로 하나 본 실험의 경우 0.15로 하여 그 효율이 낮게 나온 것으로 판단된다.

Case 2의 경우는 에어와서 분무 전에 온수 접촉 열교환기에서 가열된 온수를 분무를 실시한 것으로 그 온수의 온도가 증가하면서 제거효율 또한 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 엔탈피 차를 크게 하는 것이 제거율 향상으로 이어진다고 생각된다. 반면에 Case 3의 경우는 Case 2의 경우와 비슷한 제거 효율을 보이고 있으며 또한 온수가 증가 하면서 제거 효율이 증가하는 경향을 볼 수 있다.

Fig. 5는 이산화황의 제거효율을 나타내고 있다. 암모니아의 제거효율보다 약간 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 이는 물분무시 물입자의 특성과 관련이 있다고 판단된다. 그 특성은 끈적이며 강한 흡착력과 강한 용해능력이 있다. 유입되는 공기중에 함유되어 있는 미세먼지를 비롯하여 크고 작은 분진, 중금속 등등의 유해오염인자를 크고 작은 물방울 입자에 흡착, 포집, 낙수 그리고 제거하는 특성이 있다. 이런 반응 특성으로 미루어보아 암모니아보다 이산화황이 물 입자에 반응이 활발하여 그 제거효율이 큰 것으로 판단된다.

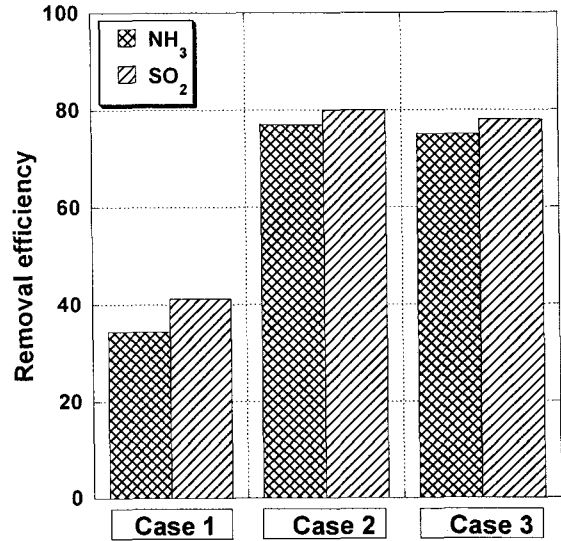


Fig. 8 Variation of gas removal efficiency with respect to temperature of hot water 80°C

3.2 실험조건에 따른 가스제거율 실험

Fig. 6,7,8은 에어와서 단독, 냉각코일, 그리고 온수 접촉 열교환기에 대한 실험조건에 따른 암모니아와 이산화황가스의 제거 효율을 나타낸 것이다. Case 1의 경우 효율이 조금 낮게 나오는 것을 확인 할 수 있다. 이는 앞서 언급 하였듯이 L/G를 낮게 하였기 때문으로 생각된다. L/G를 낮게 한 이유는 온수접촉열교환기와 냉각코일의 효과를 비교하기 위해서 낮게 하였다. Case 2의 경우 온수 접촉 열교환기에 의해 가열·가습 후, 에어와서의 냉각응축을 병용한 것으로 높은 제거율을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그에 반에 Case3의 경우 냉각응축의 축진을 고려하여 냉각코일은 설치한 것으로 그러한 효과를 보여주지 못하고 있다. 이것으로부터 에어와서에서 물과 접촉하여 포화상태 공기를 직접 냉각·응축하는 것이 냉각코일+에어와서의 2단계로 냉각·응축하는 것보다도 효과가 크다고 생각된다.

이상으로부터 다음과 같은 사항을 예측할 수 있다. 가열·가습에 의해 발생한 수증기를 보다 효과적으로 응축 제거하는 데는 냉각코일 등과 병용하지 않고 에어와서로 냉각·응축을 충분히 행하는 것이 더 효과적이라 판단된다. 그 방법으로는 첫째가 에어와서 수온을 저온화하여 엔탈피 차를 크게 하여 제거효율을 향상시킬 수 있다. 또 다

른 방법으로 선행 연구결과에서 알 수 있듯이 L/G의 증대하여 공기와 물의 접촉량을 크게 하여 제거효율을 향상시킬 수 있다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에 따라 다음과 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

(1) 수용성 물질인 NH₃과 SO₂에 대해서 온수 접촉 교환기에 의해 물의 온도를 증가 하면서 제거효율을 측정한 결과 각 Case별로 약간의 차이는 있으나 전반적으로 그 효율이 증가 하는 것을 확인 할 수 있었다.

(2) 에어와셔의 제거성능만으로도 오염제거 성능을 확인 할 수 있으나(L/G=0.15인 경우), 가열가습에 의한 수증기 응축을 병용하면, 제거 효과가 향상됨을 할 수 있었다.

(3) 에어와셔의 성능의 좌우될 경우, 가열가습을 에어와셔의 냉각응축 성능범위 내에서 사용할 것을 전제로 한다면, 계절 변동에 좌우 될 것 없이 엔탈피의 안정화 되어진 제거가 가능해진다. 논문 서술식으로 기술하거나 또는 각각을 나누어서 번호를 붙일수 있다. 번호를 붙일 때는 다음과 같다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 주관하고 에너지관리공단이 지원한 에너지자원기술개발사업 선행연구과제 '열회수식 에어와셔 시스템 선행연구'의 일

환으로 수행되었으며 이에 대해 관계자들에게 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Masataka. H., Tomomasa. I., Shigru. Y., and Shoji. I.(1997) Study on removal efficiency of chemical compounds in air by air washer and vapor condensation, Proc. of the 17th Annual Technical Meeting on Air Cleaning and Contamination Control, 5-8(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) 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).
- (4) 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.