

입자/가스상 오염물질 필터링 장치 개발에 관한 실험적 연구

김태형*, 남승백, 하종필, 문인호, 조인수

(주)신성이엔지 기술연구소

The Study on the experimental of a development of the filtering system for particle/gas phase contaminants

Tae-Hyung Kim*, Seung-Baeg Nam, Jong-Pil Ha, In-Ho Moon, In-Soo Cho.

Institute of Technology, Shinsung ENG Co., LTD.

ABSTRACT: In this study performance evaluation of filtering system were made on the clean air supply system to show it's ability to eliminate the air contaminants. The evaluation was conducted inside the 3,200CMH scale wind tunnel and under the same environment that is effected by yellow dust and similar particle and gas phase contaminants in semi-conductor and FPDs industries. (1) The result of experimental for particle contaminants, the particle removing efficiency was 40% on condition that the air velocity is 2.5m/s, L/G ratio : 0.05, electrified voltage : (+)5.8kV with electric charger and (-)3.5kV with eliminator. (2) The gas phase removing efficiency for NH₃ : 80%, SO_x : 70% and NO_x : 40% on condition that the air velocity is 2.5m/s, L/G ratio : 0.05.

1. 서 론

황사는 삼국시대 역사기록에서도 발견되는 아주 오래된 자연적인 기후현상으로 우리나라의 황사 발생일수가 매년 점차 증가하고 있으며 중금속이 포함된 미세먼지 농도도 크게 증가함에 따라 그 피해가 심각하다⁽¹⁾.

황사에 의한 피해는 인체뿐만 아니라 산업계 전반에 적지 않은 악영향을 끼치고 있다. 이 중 특히 반도체, FPD(Flat Panel Display)산업과 자동차 엔진, 정밀 전자부품 및 정밀기계 분야에서 불량률 증가와 생산성 감소 등 문제를 일으키고 있으며, 대기 중에 시정을 악화시켜 항공기의 이

착륙시 운항지연 및 결항사태를 초래하기도 한다.

황사의 피해는 황사자체의 피해와 더불어 중국의 산업화로 인한 각종 유해가스의 동반유입이 큰 문제를 일으키고 있다. 따라서 기업들은 피해를 최소화하기 위해 시설투자 및 공정개선 등 대책마련에 부심하고 있다. 미세먼지(0.1 μ m이하)로 인한 수율저하 방지를 위해 멤브레인 필터(Membrane Filter)등 고가의 필터 등을 적용하고 있으며, 황사와 동반한 유해가스의 피해를 최소화 하기 위해서 외기도입 공조기에는 케미컬필터의 사용이 강화되고 있다.

최근의 반도체 및 FPD 산업 분야에서는 미세선폭 관리를 요구하며, 생산설비와 제품의 수율

* TEL : (031)788-9307 FAX : (031)788-9440

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

* (주)신성이엔지 기술연구소



Fig. 1 Photograph of the experimental equipment

향상을 위해 입자상 오염물질은 물론 화학물질로 인한 가스상 오염물질 오염에 대한 대책마련에 부심하고 있는 실정이다⁽²⁾.

황사에 의한 피해는 황사가 발생하기 2일전부터 미세먼지가 도달하여 피해를 주는 경우가 있다고 알려져 있다. 하지만 황사에 의한 갑작스런 입자상 오염물질의 상승과 같은 자연환경 변화에는 대응방법이 매우 미비한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 반도체, FPD 산업 및 정밀제품 제조분야에서 황사와 같은 외부 환경에 의해 발생하는 입자(particle)상태나 가스(gas)상태의 오염물질로부터 발생하는 제품의 수율저하를 방지하기 위한 청정공기 공급시스템 개발을 목적으로 풍동시스템을 제작하여 입자/가스상 오염물질 제거에 대한 성능평가를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 구성

입자/가스상 오염물질 제거성능을 평가하기 위해 3,200CMH급 풍동시스템을 설계 제작하였다. 본 연구에 사용된 풍동은 각 부품의 위치변경이 용이하도록 설계하였고, 특히 주요 핵심부품인 엘리미네이터를 설치하는 덕트는 무정전 아크릴로 제작하여 가시화가 가능하도록 하였다. 전체 풍동은 7개 파트로 구분되어 있으며 크기는 640(W)×630(H)×5,400(L)이다. Fig.1에 풍동시스템 사진을 나타내었다.

Fig.2 는 실험장치의 개략도이다. 도입된 외기

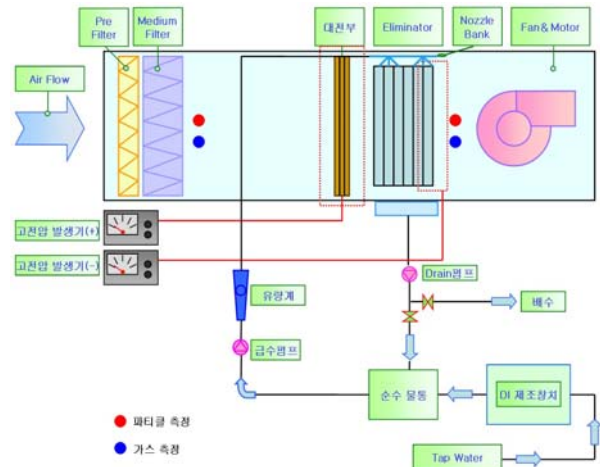


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental equipment

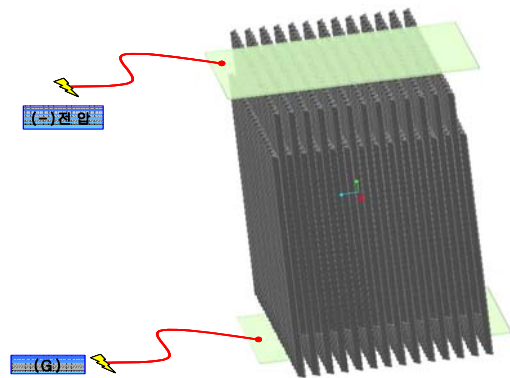


Fig. 3 Schematic diagram of the electrification to eliminator

는 프리필터와 중성필터에서 큰 사이즈의 입자상 오염물질을 제거한 후 대전부 및 엘리미네이터를 통과하면서 입자/가스상 오염물질이 제거되도록 구성하였다.

공급되어지는 순수는 초순수 제조장치에서 18.2MΩ/cm 전도도를 갖는 초순수를 제조하여 순환수통으로 공급한다. 펌프를 통해 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 순환수의 전도도값이 상승하게 되고 초순수를 공급하지 않고 연속운전하게 되면 염기성 가스인 NH₃에 의해 pH가 상승하게 되어 NH₃의 제거율이 저하되

Table 1 Operating condition for experiments

항 목	단 위	조 건	비 고
통과풍량	CMH	3,200	
입구공기 온도	℃	21~22	
입구공기 습도	%RH	65~70	
분무수 온도	℃	22~23	
분무수 전도도	MΩ/cm	0.1~0.3	
분무수 pH	-	6.5~7.0	
액기비(L/G)	-	0.05	

는 등의 문제가 발생하므로 공급되는 순수의 전도도 및 pH 조절을 위해 반드시 필요하다⁽³⁾.

본 연구에서는 기존의 전기집진방식인 대전⊕ 집진하는 방식을 응용하였다. 대전부는 기존의 공기청정기 등에서 사용하는 대전방식과 같지만 집진부는 엘리미네이터 자체에 (-)전하를 띄게 하는 방식을 채택하여 입자/가스상 오염물질을 엘리미네이터에서 동시에 제거할 수 있도록 하였다. 엘리미네이터에 (-)대전 방법에 대한 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 엘리미네이터 날개를 번갈아 가며 (-),(접지),(-),(접지) 설치하는 방법이다. 설치를 쉽게 하기 위해 엘리미네이터의 높이차를 두고 상부, 하부에 각각 STS판을 두어 STS판으로 (-),(접지) 결선이 용이하도록 하였다.

2.2 실험방법

성능평가는 반도체 제조공장 외조기 실제 운전 조건인 전면풍속 2.5m/s, 액기비(L/G) 0.05를 기준으로 수행하였다. 액기비의 정의는 식(1)에 나타내었으며, 액기비는 공기(가스)의 질량유량대비 물(액체)의 질량 유량의 비를 의미한다.

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

입자상 오염물질 제거율 측정을 위해 (+)대전부의 전압은 4.8~6.0kV, (-)집진부의 전압은 -2.0~-3.5kV 범위에서 수행하였다. 전압을 이 이상의 고전압으로 승압시키지 못한 이유는 다량의 오존(O₃)발생과 플라즈마 방전이 아닌

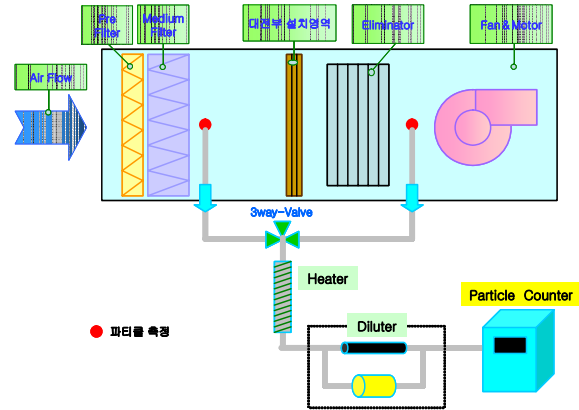


Fig. 4 Schematic diagram of the measurement of particle contaminants

아크방전이 발생하였기 때문이다. 아크방전은 고전압발생기와 각종 장비에 심각한 영향을 초래하게 된다.

가스상 오염물질의 제거성능은 액기비를 변화시키며 측정하였고 액기비의 범위는 0.03~0.07 범위에서 수행하였다. Table 1은 실험중 기본적인 입구 공기 온습도 및 분무수의 온도, 전도도 그리고 pH를 나타내었다.

2.3 입자/가스상 오염물질 측정방법

2.3.1 입자상 오염물질 측정방법

입자상 오염물질 측정방법은 본 연구에서 상당히 중요한 부분을 차지한다. 기존의 입자상 오염물질을 측정하는 파티클 카운터의 경우 측정 가능한 입자의 크기나 양이 제한적이어서 일반 대기중의 입자상 오염물질을 측정하기에는 부적절하다. 따라서 본 연구에서는 Diluter(희석기)를 설계 제작하여 입자상 오염물질 측정시 사용하였다. 희석기의 희석비는 1:200으로 인입되는 입자상 오염물질의 개수를 1/200으로 줄게하는 효과가 있다.

제거효율은 실험장치 전단의 입자상 오염물질 개수와 엘리미네이터 후단의 입자상 오염물질 개수의 비율로 계산된다. 특히 엘리미네이터 후단의 경우 상대습도 90% 이상 되므로 수분에 의한 데이터의 오차를 줄이기 위해 희석기 전단에 히터를 설치하여 수분의 영향을 최소화하였다. 또한 전후단 측정시 3-way 밸브를 설치하여 전후단 측정을 용이하게 하였으며, 외기에서 인입되는 입자상 오염물질의 개수는 주변의 다른 요

Table 2 Specification of a particle counter

제조사	Particle Measurement System (미국)	
모델명	LASAIR II	
주요 사양	유량	1 CFM (28.3 lpm)
	최소측정 입경	0.1 μm
	채널수	6채널 (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.5 μm)
	최대측정 농도	500,000/ft ³

인으로 인해 쉽게 변동되기 때문에 입자상 오염물질 측정시 전단 2회, 후단 2회 번갈아 총 10회를 측정한 뒤 평균하여 제거효율을 계산하였다. Fig.4에 입자상 오염물질 측정 개략도를 Table 2에 사용된 파티클 카운터의 사양을 나타내었다.

2.3.2 가스상 오염물질 측정방법

가스상 오염물질의 측정위치는 입자상 오염물질 개수를 측정하는 위치와 동일선상에 위치시켰으며 Fig.5는 가스상 오염물질 측정개략도이다. 순환수통의 순환수는 엘리미네이터 상부에 위치한 노즐뱅크를 통해 분무되며, 공기중의 가스상 오염물질인 NH₃, SO_x, NO_x 등은 엘리네이터에서 제거된다. 에어와셔의 가스 제거성능을 측정하기 위해 임핀저(Impinger)법을 사용하였다. 임핀저법을 이용한 가스분석은 1회 포집으로 여러 가지 이온분석이 가능하며, 최적의 조건에서는 99% 이상의 포집효율을 가질 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 임핀저 포집방법은 습식 샘플링 방법 중 대표적인 포집법으로 저농도에 대한 샘플링시 장시간의 샘플링을 통하여 가스를 농축함으로써 분석의 효율성을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

공기 중에 존재하는 산, 염기 가스는 수용성 성분으로 흡수용액(초순수, DI)을 넣은 임핀저에 Air pump를 연결하여 흡입하면 공기중의 수용성 성분이 용해된다. 가스상 오염물질을 포집한 흡수용액을 IC(이온크로마토그래피)로 분석하면 각 성분의 정성, 정량 분석이 가능하다. 분석 대상 물질은 이온교환수지에 포함된 분리칼럼의 리텐

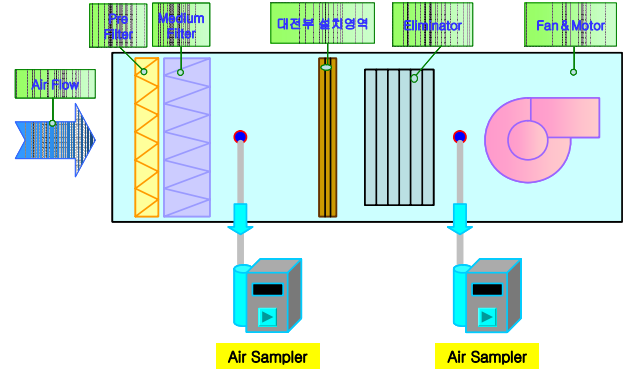


Fig. 5 Schematic diagram of the measurement of gas phase contaminants

Table 3 Specification of Ion Chromatography

항 목	규격 및 운전 조건	
	양이온	음이온
Model	DX 600	ICS 2000
펌 프	GS 50 Gradient Pump	Gradient Pump
검 출 기	CD25 Conductivity Detector	Conductivity Detector
컬 럼	IonPac CG12A, CS12A(4mm)	IonPac AG18, AS18(4mm)
서프레서	CSRS 2, Dionex, 100 mA	ASRS 2, Dionex, 120 mA
용 리 액	20 mM Methane Sulfonic Acid	KOH(Eluent generator)
시료주입량	500 μl	1000 μl
시료 주입	Auto ampler(AS40)	Auto sampler(AS40)
유 속	1 ml/min	1 ml/min

션타임(Retention time)의 차이에 따라 분리되며 전기 전도도 검출기에서 각 성분의 전도율을 검출한다. 정량은 표준용액으로부터 검량선을 작성하여 수행한다.

본 연구에서는 100ml 초순수에 2LPM의 유량으로 2시간의 샘플링을 통해 오염가스 분석을 수행하였다.

Table 3에 분석에 사용된 이온크로마토그래피의 사양을 나타내었다.

3. 실험결과

3.1 입자상 오염물질 평가 결과

Fig. 6은 전면풍속 2.5m/s에서 (+),(-) 전압

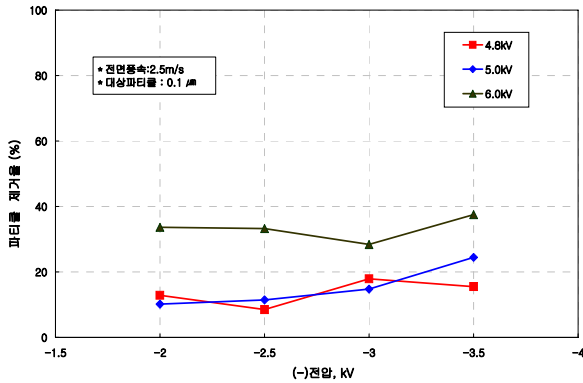


Fig. 6 Particle removal efficiency effected by voltage change (at 2.5m/s : the front velocity)

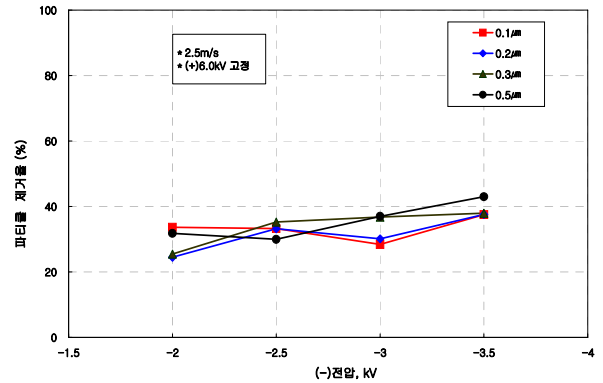


Fig. 8 Particle removal efficiency effected by the particle size

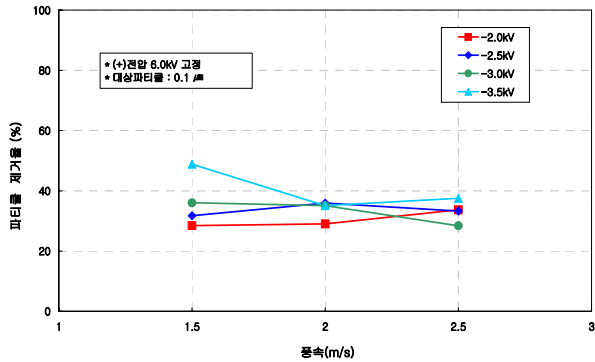


Fig. 7 Particle removal efficiency effected by the front velocity (at +6.0kV : the electrification part)

변화에 따른 0.1 μm 크기의 입자상 오염물질 제거 성능을 나타낸 그래프이다. (+)6.0kV, (-)3.5kV 일때 0.1 μm 크기의 입자상 오염물질 제거율은 약 39% 임을 알 수 있다. 즉, (+)대전부의 전압이 4.8kV에서 6.0kV로 증가할수록 입자상 오염물질의 제거성능은 약 25% 향상됨을 보이며, 엘리미네이터에 인가한 (-)전압 증가에 따른 입자상 오염물질 제거성능은 약간 상승하는 경향은 있지만 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 즉, 본 연구를 통해 입자상 오염물질 제거성능은 (+)대전에 의한 영향이 크며 제거효율 향상을 위해 (+)대전을 보다 효과적으로 해야 함을 알 수 있다.

Fig. 7은 (+)6.0kV일때 전면풍속 변화에 따른 입자상 오염물질 제거성능을 나타낸 그래프이다. (-)3.5kV, 1.5m/s 영역에서 50% 제거효율

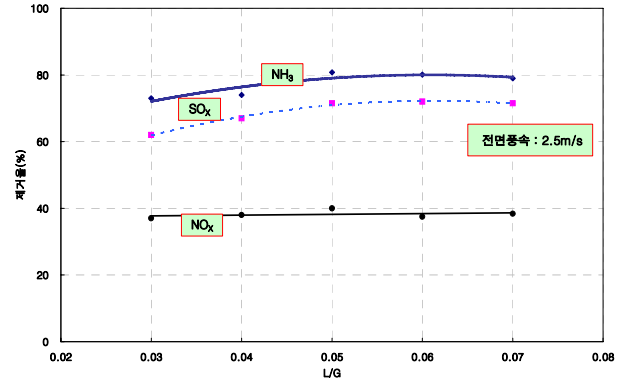


Fig. 9 Gas removal efficiency effected by the liquid to gas ratio(L/G)

을 보이지만 풍속에 따라 입자상 오염물질 제거 성능은 30~40% 내외로 큰 차이가 없다. 즉 입자상 오염물질 제거성능은 전면풍속의 영향을 크게 받지 않음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 전면풍속 2.5m/s 일때 입자상 오염물질 크기별 제거성능을 나타낸 그래프이다. 입자상 오염물질 크기에 따라 제거율은 10% 내외로 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 입자상 오염물질 사이즈에 따른 관성력보다 전자기력의 지배가 크기 때문으로 판단된다.

3.2 가스상 오염물질 평가 결과

Fig. 9는 액기비(L/G)에 따른 가스상 오염물질 제거 성능 그래프이다. 전면풍속 2.5m/s 일때의 결과로 NH₃와 SO_x는 액기비가 증가할수록 제거효율이 증가하나 액기비 0.05 이상인 경우에는

제거효율에 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 NH₃와 SO_x는 수용성 가스로 분무되는 물의 양에 따른 영향이며, 액기비 0.05 이상인 경우는 그 영향이 크지 않는 것으로 판단된다.

3. 결 론

외기중의 입자/가스상 오염물질 제거를 위한 풍동시스템 평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 입자상 오염물질 평가 결과, 전면풍속 2.5m/s, 액기비 0.05, 대전부 (+)5.8kV, 엘리미네이터에 (-)3.5kV 하전하였을 때 제거효율이 0.1 μ m 기준으로 약 40%이며, 입자상 오염물질 크기에 따른 제거성능 변화는 10% 내외로 큰 차이가 없음을 확인하였다.

(2) 가스상 오염물질 평가 결과, 전면풍속 2.5 m/s, 액기비 0.05일때 NH₃는 80%, SO_x는 70% 그리고 NO_x는 40%의 가스상 오염물질 제거성능을 나타내었다. 액기비 0.05 이상에서는 액기비 증가에 따른 제거효율의 증가가 크지 않음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 소방방재청 지원으로 수행하는 퇴적황사재해 피해평가 및 대응기술개발의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 안문수, 2003, “황사피해 저감대책” 방재연구 제5권 제1호 통권 17호 pp.23-30
2. 추장민, 정희성, 강광규, 유난미, 김미숙, 2003, “동북아 지역의 황사 피해 분석 및 피해저감을 위한 지역 협력방안 1” 한국환경정책평가연구원, pp.77
3. 박근우, 2004, “친수성 엘리미네이터를 이용한 에어와셔의 가스 제거 성능”, 신성이엔지 사내논문집 제7호, pp.53~63