

분무수 pH 변화에 따른 에어와셔의 가스제거 성능변화

남승백*, 하종필, 김태형, 문인호, 조인수

* (주)신성이엔지

Gas removal efficiency of air washer system according to pH of sprayed water

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

Institute of Technology, Shinsung ENG Co., LTD.

ABSTRACT: In this study, experiment was done to verify the relationship between sprayed water's pH and gas removal efficiency of the Air Washer system. The experiment was done with sprayed water's pH in between pH 4.7 to 7.7, and Ion Chromatography analysis was used to identify the system's gas removal efficiency. As a result, NH₃ is removal efficiency decreased under 50% above pH 7, and SO_x and NO_x removal efficiency decreased under pH 6. Through this research, the optimum pH operating condition of the Air Washer System was conformed to be in range between pH6 to pH6.5.

1. 서론

반도체 및 액정표시장치 분야 등의 제조 공장에 있어서 제품의 수율과 품질, 신뢰성 확보를 위해 제조 환경인 클린룸의 오염 제어가 중요한 과제이다. 오염 제어의 대상은 제품의 고집적화, 초미세화에 따라 분진뿐만 아니라 각종 가스상 오염에까지 확대된다.

가스상의 오염원으로는 외기에서 유입되는 것과 클린룸 내부의 오염원이 있다. 외기에 포함된 오염 성분은 대표적으로 NH₃, SO_x, NO_x 등을 들 수 있으며 이에 대한 제거 수단으로서는 공기 중에 물을 분무하여 가스를 제거하는 에어와셔와, 가스성분의 선택적인 흡착을 통해 제거하는 케미컬 필터가 있다. 에어와셔는 초기설치비는 고가인 반면 유지보

수가 용이하고 시간에 따른 가스제거 성능의 저하가 없어 최근 반도체용 클린룸의 외조기에 다수 적용되고 있다.

반도체용 클린룸에 사용되는 에어와셔는 대부분 순수(DI Water)를 사용하고 있으며, 에어와셔에 분무되는 순수는 비저항이 1~2 MΩ·cm, pH 5.5~7 정도에서 운전하고 있다. 에어와셔가 주로 제거 대상으로 하는 NH₃, SO_x, NO_x 등의 제거성은 분무수의 전기 전도도뿐만 아니라, pH에 따라서도 많은 영향을 받는다⁽¹⁾. 에어와셔는 주로 외기를 도입하는 외조기에 사용되고 있고 외기에 포함된 가스의 조성과 보충되는 순수의 비율에 따라 분무수의 pH가 다양하게 분포될 수 있다. 따라서 적용현장에 따라 에어와셔의 분무수 pH는 다양하게 분포되며, 이에 대한 가스제거 성능 데이터가 확보되어야 한다.

본 연구에서는 순수를 이용하는 에어와셔에 있어서 분무수의 pH에 따라 주요 대상가스인 NH₃, SO_x, NO_x의 가스제거 성능변화의 변화를 파악하여 설계의 기초데이터로 사용하고자 한다.

* TEL : (031)788-9303 FAX : (031)788-9440

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

* (주)신성이엔지 기술연구소

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 에어와셔 기초실험 장치의 개략도이다. 시스템은 필터부와 에어와셔 부, 팬부 그리고 분무수 공급 장치부로 구성되어 있다. 필터는 외조기에서 주로 사용하는 부품의 배열 순서를 따라 설치하였다. 흡입공기는 프리필터와 미디엄필터를 통과한 후 에어와셔부를 통과하게 된다. 분무형태는 엘리미네이터 상부에서 분무하는 상부분무형태를 이용하였다. 순수제조장치는 원수(시수)를 받아 18MQ·cm의 초순수를 생산하여 분무수저장탱크에 공급한다. 분무수저장탱크에 저장된 분무수는 순환펌프에 의해 엘리미네이터 상부에 공급된다. 이때 분무수공급을 엘리미네이터 상부에 고르게 하기 위해 분무면적이 직사각형 형태로 분무되도록 노즐을 개발하여 사용하였다.

가스 제거성능을 측정하기 위해 임핀저를 실험장치 공기 흡입구측과 엘리미네이터 후단의 하부 중앙, 즉, 엘리미네이터 바닥에서부터 수직으로 125mm위치(엘리미네이터를 상하단으로 나누었을 때 하단의 중간부 높이)에서 측정하였다. 그 이유는 상부분무 노즐로부터 분무된 순수가 엘리미네이터에 끌고루 전파되어 정상적인 효율을 나타내기 위해서는 일정구간을 지나야 하는데 수직으로 중간 위치, 즉 엘리미네이터 바닥에서 수직으로 250mm인 경우에는 엘리미네이터가 후반부(공기출구측)까지 충분히 젖지 않기 때문에 엘리미네이터가 후반부까지 충분히 젖는 하부의 중앙에서 샘플링(sampling)하였다.

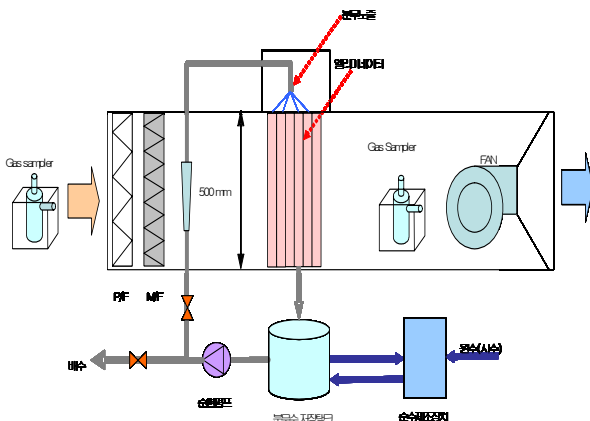


Fig. 1 Schematic diagram of Air-washer system

2.2 실험방법

실험은 Table 1과 같은 사양 및 조건으로 진행하였다. 본 실험은 실내에서 진행되었으며 각 가스의 유입농도는 NH₃ : 22~33ppb, SO_x : 0.2~2.8 ppb, NO_x : 5.0~15.9 ppb 범위이다. 이러한 가스 상의 농도는 인위적으로 조절하지 않은 실내 공기 중의 가스상 농도이다.

본 실험의 주요변수인 pH를 조절하기 위해서 분무수저장탱크에 황산용액을 일정량 범위에서 용해시켰다. 실험이 진행되는 공간은 기본적으로 NH₃의 공기 중 농도가 20ppb이상이었으나 SO_x와 NO_x의 농도는 상대적으로 낮아 실내 유입공기가 실험장치의 엘리미네이터에 의해서 분무수저장탱크로 녹아들어갈 때 분무수저장탱크의 pH를 7이상으로 높이려는 특성을 가지고 있어 본 실험에서는 pH를 낮추는 방법으로 황산용액을 일정농도로 용해시키는 방법을 사용하였다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 에어와셔 실험장치 사진이다.

임핀저에 샘플링된 가스는 IC 장비로 양이온과 음이온에 대해서 분석을 진행하였다.

Table 1 Operating condition for equipment

구 분	내 용
덕트 사이즈	320mm(W)x 500mm(H)x1550mm(L)
분무구간	390 mm
노즐 사양	개발제품
배 관	STS 304
엘리미네이터	319mm(L)x500mm(H)x 381mm(D)
풍 량	1,550 m ³ /h
풍 속	2.7 m/s
공기 입출구	22.4℃, 40.7% →
평균온습도	16℃, 89.4%
L/G(액기비)	0.05
분무수량	1.56 l/min
분무수 전도도	5.89 ~ 7.87 μS/cm
배수량	0.3 l/min
입구	NH ₃ 22~33 ppb
가스농도	SO _x 0.2~2.8 ppb
	NO _x 5.0~15.9 ppb
샘플링시간	1시간
분석장비	DX 600, ICS 2000



Fig. 2 Test facility for Air washer system

3. 분무수 pH에 따른 가스제거 성능

본 장에서는 에어와셔 실험에 있어서 분무수 pH 4.7~7.7의 범위에서 NH₃, SO_x, NO_x의 제거성능 실험결과를 정리하고, pH가 각 가스의 제거성능에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 또한 pH에 따른 각 가스의 제거성능이 변화하는 원인을 분석하고자 한다.

3.1 pH에 따른 NH₃의 제거성능 실험결과

Fig. 3에 분무수 pH에 따른 가스제거 성능을 NH₃, SO_x, NO_x에 대해서 나타내었다. NH₃의 경우 pH가 6이하인 경우에는 90% 이상의 효율을 지속적으로 나타내었으나, pH가 7.2에서는 제거효율이 50%로 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 에어와셔의 가스제거 메카니즘은 수용성 가스가 물에 흡수되는 과정으로 볼 수 있다. 이 때 가스의 제거효과는 분무수에 대한 대상가스의 이온해리도⁽¹⁾ 및 물질전달계수⁽⁴⁾와 관련되는 것으로 판단된다. 본 연구에서 분무수의 pH가 7이상이 되면 알칼리성을 띄기 때문에 알칼리성 가스인 NH₃의 분무수에 대한 이온해리도가 낮아져서 제거성능이 감소하는 결과로 나타난다. 이를 뒷받침하는 연구결과로서 Fig. 4의 pH에 따른 이온해리도의 계산결과⁽¹⁾를 들 수 있다. Fig. 4에서 NH₃의 이온해리도는 pH 6 근처에서는 100%이나 pH 6 이상에서는 급격히 낮아

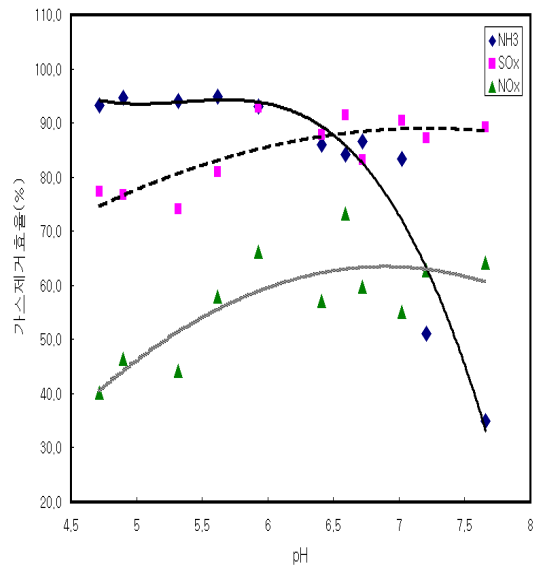


Fig. 3 Gas removal efficiency in accordance with pH

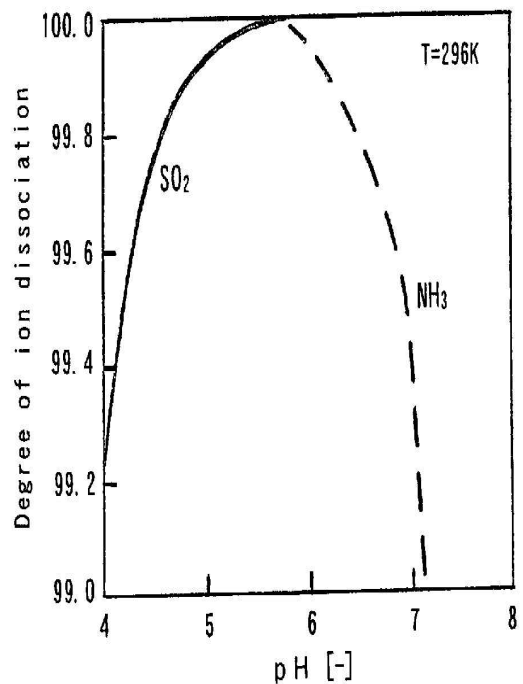


Fig. 4 Degree of ion dissociation of NH₃, SO_x

지고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 가스제거 성능이 대상가스의 물에 대한 이온해리도의 영향을 직접적으로 받는다는 것을 알 수 있다.

3.2 pH에 따른 SO_x의 제거성능 실험결과

산성가스인 SO_x의 제거효율은 NH₃와는 대칭적으로 나타난다. pH가 6이상에서는 80~90%의 제거성능을 나타내며, pH가 6이하이면 70~80% 범위로 제거성능이 낮아진다. NH₃와 비교하면 pH가 산성 쪽으로 이동함에 따라 가스제거 성능의 감소율이 낮음을 알 수 있다. 이는 Fig. 4에서 pH에 따른 SO_x의 이온해리도가 pH 6을 기준으로 pH 4까지 완만하게 떨어지는 것과 관계가 있다. 즉 pH에 대한 이온해리도의 감소율에 있어서, pH 6을 기준으로 pH가 증가하는 경우의 NH₃의 이온해리도 감소율보다 pH가 감소할 때의 SO_x의 이온해리도 감소율이 더 작아 SO_x의 제거효율이 pH 4.7인 경우에도 70% 이상의 결과를 나타내고 있다고 판단된다.

3.3 pH에 따른 NO_x의 제거성능 실험결과

역시 산성가스인 NO_x의 경우는 pH 6.5이상에서는 50~70%의 넓은 범위에서 가스제거율을 나타냈고, pH가 4.7까지 낮아지면 40%정도로 제거효율이 낮아지고 있다. 전체적인 가스제거효율은 NH₃와 SO_x보다 낮다. 다만 이 결과는 임핀저 법에 의한 것이다. 산성가스의 측정방법에 있어서 NO_x는 임핀저법과 화학발광법에 의한 NO_x계를 사용하는 방법이 있다. 화학발광법은 실시간으로 NO_x의 농도를 가스별로 측정할 수 있으며 NO_x의 전체량을 비교적 정확하게 측정하는 것으로 알려져 있다. 임핀저법은 산성가스에 대해서 사용하는 일반적인 방법이나 NO_x계를 사용하는 경우와 비교하면 대기 중 NO_x의 80~90%를 차지하는 NO₂에 대하여 전체 양 중의 10~30%만 포집하고 있는 것으로 발표되었다⁽⁵⁾. 이러한 결과를 토대로 볼 때 NO_x의 물에 대한 용해도 및 이온해리도가 NH₃와 SO_x에 비해서는 매우 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서 에어와셔에 있어서 NO_x의 제거성능이 NH₃와 SO_x의 제거성능보다 현저히 낮게 나타남을 알 수 있다.

3.4 최적의 가스제거 성능 확보를 위한 에어와셔 분무수의 pH 관리방안

에어와셔는 주로 반도체용 클린룸의 외조기(out door air conditioning unit)에 설치되며 주로 외기

에 포함되어 있는 수용성 가스를 제거한다. 클린룸용 에어와셔는 순수를 공급수로 사용하며 분무수의 약 20%를 시스템 외부로 배출시키고 10~15M Ω.cm정도의 2차순수를 다시 보충하는 시스템으로 구성하고 있다. 그러나 외기의 상황이 계절별로 변동하고 특히 외기 중에 알칼리성 가스보다는 산성 가스가 다량 포함되어 있어⁽⁶⁾ 에어와셔를 순환하는 물은 pH가 낮은 쪽으로 변화할 가능성이 높다. 따라서 이러한 경우에 대비하여 pH 변화에 따른 제거대상가스의 제거성능에 대한 기초자료를 확보할 필요성이 있는 것이다. 본 실험결과에 의하면 에어와셔에서 제거대상가스인 NH₃, SO_x, NO_x에 대하여 총괄제거효율을 높이기 위해서는 pH를 6~6.5의 범위에서 운전하는 것이 최적임을 도출해 내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 순수를 공급하는 에어와셔의 분무수 pH에 따른 NH₃, SO_x, NO_x의 제거성능을 실험을 통하여 구했다. 실험결과를 통하여 분석한 내용을 다음과 같이 정리하였다.

(1) NH₃ 제거효율에 있어서, 분무수의 pH 6.0 이하에서는 90%이상의 높은 제거효율을 지속적으로 나타내었으나, pH가 7.2 이상이 되면 제거효율이 50%이하로 급격히 낮아졌다. 이는 분무수의 알칼리화로 인하여 알칼리 가스인 NH₃에 대한 이온해리도가 pH 7을 기준으로 급격히 감소함에 기인한 것으로 판단된다.

(2) SO_x 제거효율에 있어서, 분무수의 pH 6.0 이상에서는 80~90%의 높은 제거효율을 지속적으로 나타내었으나, pH 6.0 이하에서는 70~80%로 낮아졌다. 이는 분무수의 산성화로 인하여 산성가스인 SO_x에 대한 이온해리도가 낮아졌기 때문으로 판단된다.

(3) 전술한 결과에서 pH 6.0을 기준으로 pH가 증가함에 따른 NH₃의 제거효율의 감소율이 pH가 감소함에 따른 SO_x의 제거효율 감소율보다 급격하게 나타났다. 이는 Fig. 4에서 pH 증가에 따른 NH₃의 이온해리도 감소율이 pH 감소에 따른 SO_x의 이온해리도 감소율보다 크기 때문으로 보인다.

(4) NO_x 제거효율에 있어서, pH 6.5 이상에서는 50~70%의 넓은 범위에서 가스제거효율을 나

타내었고, pH가 4.7까지 낮아지면 40%까지 감소하였다. 이는 분무수의 산성화로 인하여 산성가스인 NO_x에 대한 이온해리도가 낮아져서 나타난 결과로 판단된다. NO_x의 제거효율이 전 pH 범위에서 NH₃와 SO_x보다 낮은 것은 물에 대한 NO_x의 용해도가 NH₃와 SO_x에 비하여 낮기 때문으로 판단된다.

(5) 이상의 결과에 의하여, 순수를 분무수로 사용하는 에어와셔에 있어서, 제거대상가스인 NH₃, SO_x, NO_x의 제거효율을 최적으로 제어하기 위해서는 분무수의 pH를 6.0~6.5의 범위에서 조절해야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hitoshi Inaba, Noriaki Okamura, Atsushi Takahashi, "Effectiveness of hydrophilic eliminator installed in air-washer", 1999 일본 공기청정 37권 4호, pp.39~45
2. Takao Okada, Masanori Inoue, Hitoshi Inaba, "The present condition and subjects of air washer for clean room", 1999 일본공기청정 37권 3호, pp.56~59
3. Takahiro Watanabe, Teruhiko Fujii, Koichi Murata, Tutomu Wada, "Removal of chemical components in air by air washer", 1999 일본공기청정 학술대회, pp.1-4
4. 박근우, "친수성 엘리미네이터를 이용한 에어와셔의 가스제거 성능", 2004 신성이엔지 사내논문집 제7호, pp.53~63
5. 梶間 智明, "임핀저에 의한 NO_x 측정에 있어서 화학발광법과의 상관관계", 2005. 7 Clean Technology pp.80~83,
6. "클린룸 환경의 계획과 설계", 2000, 사단법인 일본공기청정협회, pp.36~37
7. "반도체 프로세스환경에 대한 화학오염과 그 대책", 1997, (주) REALIZE INC., pp 3~4.