

바 형태 정전기제거장치의 정전기제거성능 향상을 위한 연구 (2)

이동훈[†] · 최동수^{*} · 김상민^{*} · 박진철^{**}

부경대학교 안전공학과 · ^{*}부경대학교 대학원 안전공학과 · ^{**}(주)선재하이테크 기술연구소
(2014. 10. 8. 접수 / 2014. 11. 10. 수정 / 2014. 11. 11. 채택)

A Study on Improvement of the Performance of Pulsed AC Ion Bar (2)

Dong Hoon Lee[†] · Dong Soo Choi^{*} · Sang Min Kim^{*} · Jin Chul Park^{**}

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

^{*}Department of Safety Engineering, Graduate School, Pukyong National University

^{**}R&D Center, SunJe Hi-Tek. Co., Ltd.

(Received October 8, 2014 / Revised November 10, 2014 / Accepted November 11, 2014)

Abstract : In display such as LCD, LED, and AMOLED or semiconductor related industries are required to have static ionizer in order to produce reliable goods. The most general type of ionization is called, “corona discharge” that has a slight chances to generate unequal and unstable amount of each +/- ion to the target object. Then, the ionization performance will drastically decrease and end up with quality deterioration problem. continually “A study on the improvement of the performance of pulsed AC ion bar(1)”, we have studied consecutive study to improve the current issue via applying “partition wall” at air nozzle surrounding. The results were that the charge decay time and the ion balance was maintained the satisfied range that was within 5 second and ± 50 V for a 180 days period of time. In additions, the contamination status on the electrode surface was investigated for a 180 days. The little particles was deposited on the electrode surface.

Key Words : ion bar, ion balance, charge decay time, particle, partition wall, corona discharge, electrode

1. 서론

FPD(Flat Panel Display) 및 반도체 공정에서 정전기 방전 현상은 회로소자 및 액정패널의 파괴를 야기하여 생산수율에 막대한 영향을 미치고 있다. 또한 정전기로 인한 미세 먼지의 흡착으로 품질저하의 문제를 야기한다¹⁻²⁾.

현재 주로 사용되고 있는 정전기제거장치로는 코로나 방전을 이용한 이온바(Ion bar) 및 이온브로워(Ion blower)가 있다³⁾. 이는 코로나방전에 의해 이온을 발생시키고 압축 공기 또는 팬을 사용하여 이온화된 공기를 강제 대류시키는 방식이다. 이러한 과정에서 코로나방전에 의한 스파트링(sputtering) 현상으로 방전전극의 끝부분에는 직경 약 0.01 μm 이하의 미립자가 수 만개/ m^3 발생하여 부착되었다가 일부는 압축공기 또는 팬에 의한 강제 대류에 의해 떨어져 나가서 피대전체 표면에 부착되어 품질저

하의 문제를 야기한다⁴⁾.

또한 방전전극에 부착된 미세미립자에 의해 코로나 방전이 약화되어 초기에 비해 생성 + 이온과 - 이온의 수가 변하여 이온밸런스가 틀어지게 된다. 이를 해결하기 위하여 주기적으로 이온밸런스를 조정해 주어야 하는 불편함이 있다⁵⁾. 이에 대한 대책으로 연 X선을 이용한 정전기제거장치로서 정전기를 중화시키는 방법이 있으나, 연X선의 인체 유해성 문제로 주변을 적절한 차폐제로 반드시 차폐를 하여야 하는 단점이 있다⁶⁾.

2014년 6월 발표 된 “바 형태 정전기제거장치의 정전기제거성능 향상을 위한 연구(1)”⁷⁾에 이어 본 연구에서는 동일한 압력 또는 동일한 유량소모에서 토출되는 공기 에너지를 향상시키는 소켓구조를 설계하였다. 즉, 주변의 미립자가 방전전극에 적게 부착되도록 하여 코로나 방전강도를 일정하게 하여 장기간 이온밸런스를 유지하여 정전기제거성능을 향상시키는데 목적이 있다.

[†] Corresponding Author : Dong Hoon Lee, Tel: +82-51-629-6466, E-mail: lhoon@pknu.ac.kr

Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

2. 연구내용

코로나방전을 이용한 이온바는 압축유체(Clean dry air 또는 N₂)를 사용하는데, 주입된 유체가 토출되는 소켓의 구조에 따라 생성이온을 피대전체에 전달하는데 큰 영향을 준다. 이온바의 공기노즐에는 코로나방전을 일으키는 방전전극과 방전전극의 주변에 노즐을 설치하여 방전전극에서 생성된 이온(+,-)을 피대전체까지 전달하도록 되어 있다. 본 연구에서는 동일한 유량을 소모하는 경우 공기노즐의 구조에 따른 정전기제거성능 변화를 실험하였다. 이러한 이온바는 사용시간이 경과됨에 따라 방전전극의 표면에는 쿨롱력과 기류 변화에 의하여 주변의 미세먼지가 부착되어 코로나방전강도(전계강도)를 약화시켜 +, - 이온의 생성능력이 저하하여 정전기제거능력이 감소하는 단점이 있다. 방전전극 표면에 미세먼지가 부착하는 원인은 크게 2가지가 있다.

1) 방전전극에 인가된 수 kV 고전압과 주변 미세먼지 사이의 쿨롱력(Coulomb's Force)에 의하여 먼지가 부착한다.

2) 공기노즐을 통과하는 유체가 노즐 출구에서 분사되면서 발생하는 압력강화로 인해 주변의 먼지가 부착한다. (1)은 이온바를 통과하는 유체가 공기노즐에서 분사되며 발생하는 흐름을 나타내는 식이다.

$$Q=A_1V_1=A_2V_2 \quad (1)$$

여기서, Q 는 이온바를 통과하는 유량

A_1, A_2 는 입/출구의 단면적

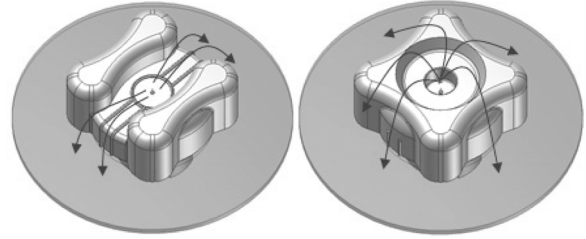
V_1, V_2 는 입/출구의 유체속도이다.

식(1)은 에너지 방정식으로 이온바에 주입된 유량은 이온바 내부의 어떤 위치에서도 동일함을 의미한다. 이온바로 유입된 유량은 공기노즐의 미소한 출구를 통해서 분사되는데 공기노즐의 출구단면적 A_2 는 입구단면적 A_1 에 비해 대단히 적어 공기노즐에서의 유체 속도는 증가하게 된다. 일반적으로 동일한 유량에서 유속이 증가할수록 압력은 낮아지게 된다. 이는 식(2)와 같이 베르누이(Bernoulli) 방정식으로 표시된다.

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \gamma z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \gamma z_2 \quad (2)$$

여기서 p : 압력, ρ : 밀도, V : 속도, γ : 비중량이다.

식(2)에서 알 수 있듯이 공기노즐 출구에서의 유압은 대기압 보다 낮아지게 된다. 압력은 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르므로 낮은 공기노즐 방향으로 기류가



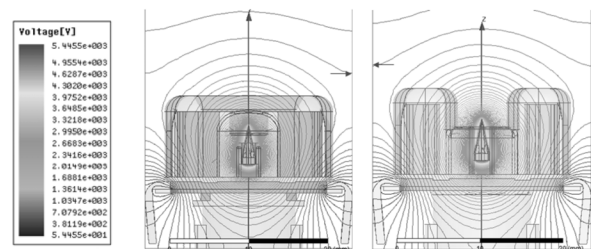
(a) In case of partition wall installed (b) In case of no partition wall

Fig. 1. The distributions of electric line of force in case of installation of partition wall at air nozzle surroundings.

발생하게 된다. 이때 기류와 함께 노즐의 외부에 있던 미세먼지도 함께 공기노즐로 이동하여 쿨롱력에 의하여 방전전극에 흡착된다. 이상의 2가지의 힘에 의하여 방전전극 방향으로 기류가 발생하여 주변의 먼지를 흡입하는 효과에 의해 방전전극 표면에 미세먼지가 부착된다. 본 연구에서는 공기노즐 출구에서의 압력강화로 인한 기류유입을 막아주는 격벽을 설치하여 미세먼지의 흐름을 차단함으로써 방전전극 표면오염을 저감시킬 수 있다고 생각한다.

Fig. 1은 공기노즐의 형상에 따른 전기력선 분포이다. 격벽을 설치 않은 공기노즐의 경우 방전전극으로부터의 전기력선은 방사상으로 분포되지만, 격벽이 설치된 공기노즐의 경우에는 격벽사이로 대부분의 전기력선이 분포될 것이라고 예상한다. 공기노즐의 최적화 설계를 위한 유체해석 프로그램(CFD-ACE, ESI-Group, 2009년, USA)와 전계해석 프로그램(Maxwell, ANSYS, 2012년, USA)을 통하여 검증하였다.

Fig. 2는 공기노즐의 주변에 격벽을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 전기력선 분포를 나타낸 것으로 맥스웰(Maxwell)의 해석 조건으로 인가 고전압은 10.5 kV이고, Ground level은 무한대로 설정하였다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 격벽이 설치된 경우가 설치하지 않은 경우에 비해서 방전전극 선단 주변에서 단위면적당 전



(a) In case of partition wall installed

(b) In case of no partition wall

Fig. 2. The distributions of electric line of force at air nozzle surroundings.

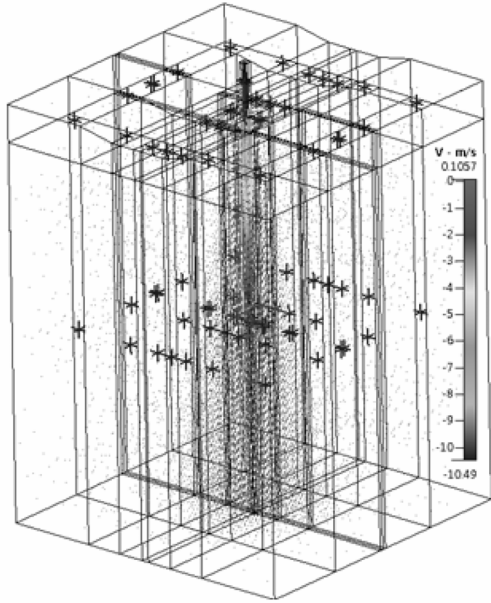


Fig. 3. Numerical simulation of wind-induced flow around air nozzle.

기력선 수의 분포가 비교적 균등함을 알 수 있다. 즉, 전기력선의 밀도인 전계강도가 평등함을 알 수 있다. 이는 방전전극의 선단에서의 코로나방전이 평등전계에 가까워져서 이온의 생성이 안정함을 보여준다.

Fig. 3은 공기노즐의 유체흐름의 해석을 한 것으로 유체 속도를 가시화한 것이다. Fig. 3에서 보듯이 공기노즐의 출구영역에서 유속이 다른 곳보다는 빠르다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 공기노즐 출구에서 유속으로 확대 가시화한 것이다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 격벽이 설치되지 않은 경우, 공기노즐의 출구 방향으로 기류가 형성되지만, 격벽이 있는 경우에는 공기노즐의 출구방향으로 기류가 형성되지 않음을 확인할 수 있다. 이는 노즐 방향으로 기류가 거의 없으므로 외부에서 노즐 쪽으로 이동하는 미세먼지의 양이 아주 적아지게 됨을 알 수 있다.

3. 실험 장치 및 방법

Fig. 5는 본 연구를 위한 실험장치 구성도이다. 사용된 정전기제거장치(SIB3RD, Sunje Hi-tek, Korea)의 인가 고전압은 직류와 교류의 특성을 모두 갖고 있는 펄스교류(Pulse AC 10.5 kV_{p-p}, 30 Hz)이고, 유입되는 공기는 청정공기(Clean dry air)를 사용하였다.

본 실험은 약 6개월 동안 실시되었으며, 일주일에 평균 3회, 수직방향으로 설치거리(300, 600 mm)에서

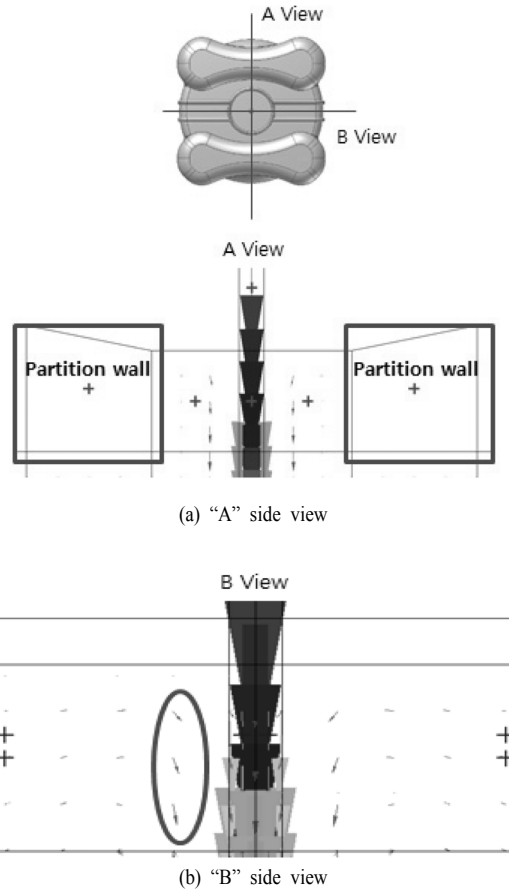


Fig. 4. Detailed numerical simulation of wind induced flow around air nozzle.

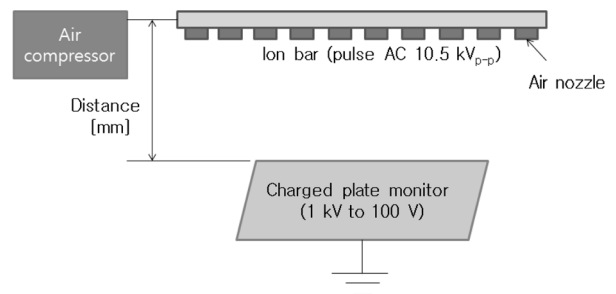


Fig. 5. Experimental diagram for measuring static elimination characteristics.

정전기제거성능을 나타내는 전하완화시간과 이온밸런스를 측정하였다. 피대전물체로는 모의대전체 (Charged Plate Monitor, Trek, Model 156A1, USA)를 사용하였으며, 이때 대전전위는 최대 ± 1 kV로 설정하였다. 본 실험은 환경변화에 따라 민감한 영향을 받기 때문에 온도·습도(온도 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $40\% \pm 2\%$)에서 모든 실험 및 측정을 하였으며, 재현성을 확인하기 위해 평균 3회 이상 측정하였다.

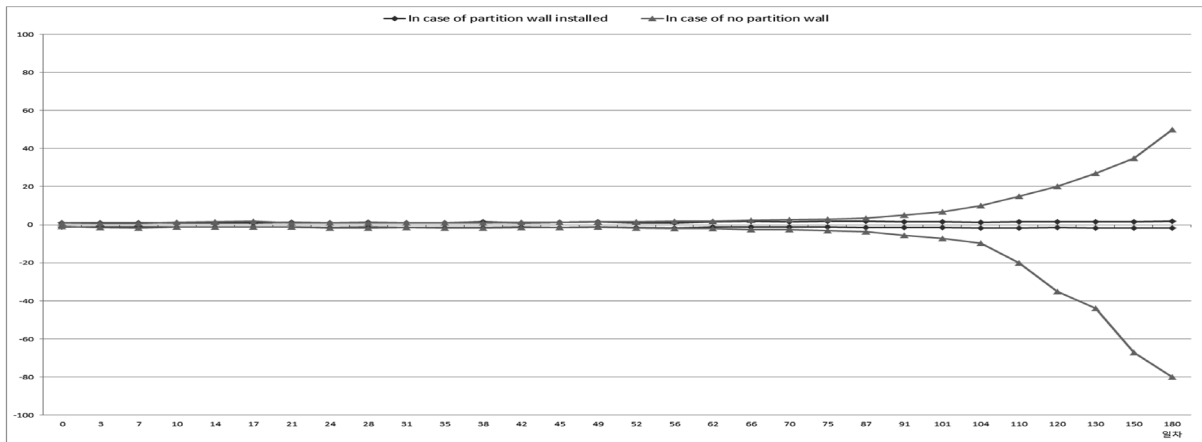
4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 6는 격벽을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에서 정전기제거성능인 전하완화시간(Decay time)과 이온밸런스를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에서 보듯이 설치거리 300 mm에서는 약 100 일이 지날 때부터 + 이온의 전하완화시간은 초기값을 벗어나서 서서히 증가하여 180일이 되면 50 s를 넘어섬을 알 수 있다. - 이온의 경우에는 +와 거의 유사하나, 증가의 속도가 보다 빠르게 진행하여 180 일이 되면 거의 80 s를 넘어선다. Fig. 6(b)는 설치거리 600 mm인 경우로 100일이 지날 때부터 + 이온의 전하완화시간은 초기값을 벗어나서 서서히 증가하여 180 일이 되면 100 s를 넘어선다. - 이온의 경우에는 +와 거의 유사하게 진행되어 180일이 되면 거의 100 s를 넘어선다. Fig. 6(c)(d)는 설치거리 300 mm와 600 mm에서의 이온밸런스를 측정한 것으로 설치거리 300 mm에서는 격벽을 설치하지 않은 경우는

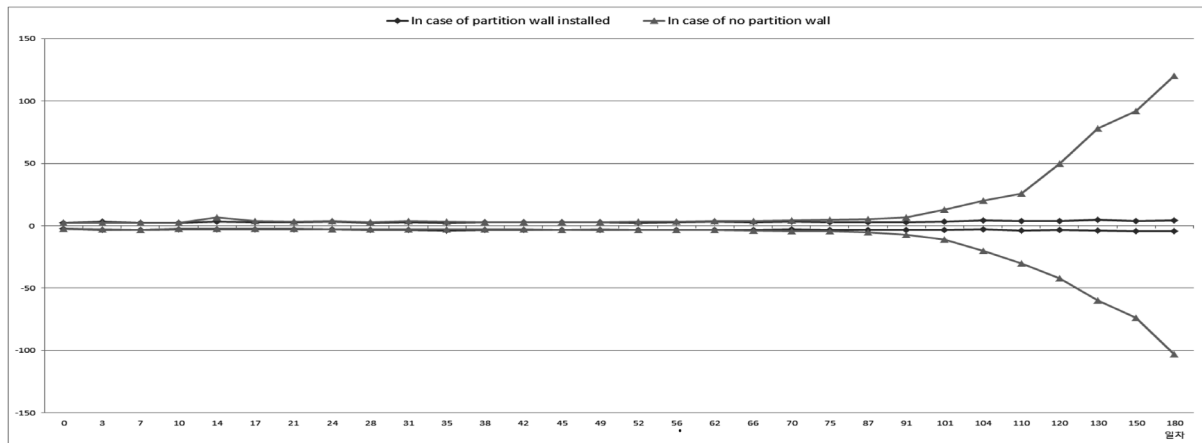
대략 50일이 경과한 후에는 ± 50 V를 초과한 후 급격히 증가하여 250 V 이상으로 증가하였으나, 격벽을 설치한 경우에는 거의 ± 50 V 이내에서 유지되었다.

설치거리 600 mm에서는 격벽을 설치하지 않은 경우는 대략 52일이 경과한 후에는 ± 50 V를 초과한 후 급격히 증가하여 250 V 이상으로 증가하였으나, 격벽을 설치한 경우에는 거의 ± 50 V 이내에서 유지됨을 알 수 있다. 이는 공기노즐 주변에 격벽을 설치함으로써 주변의 미세먼지가 공기노즐에 부착되는 양이 적으므로 코로나방전의 전계강도를 보다 장기간 유지할 수 있어 정전기제거성능이 유지될 수 있어 격벽의 효과가 있음을 알 수 있다.

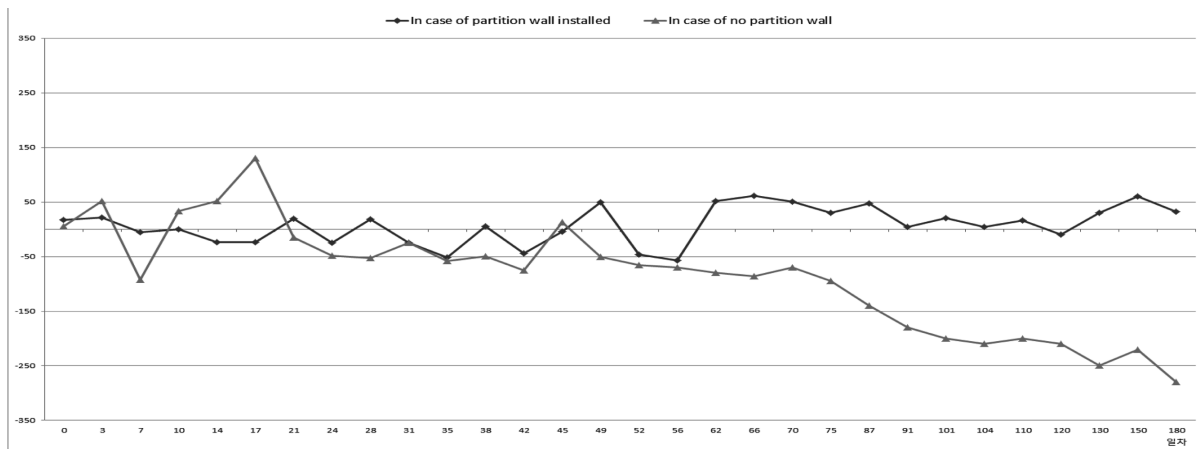
Fig. 7은 방전전극 표면의 오염정도를 경년변화에 따라 나타낸 사진이다. 사진에서 보듯이 격벽의 효과를 가시적으로 확인할 수 있다. 격벽을 설치한 경우는 180일이 경과되어도 방전전극의 선단에 미세먼지의 부착정도가 미미한 반면, 격벽을 설치하지 않은 경우는



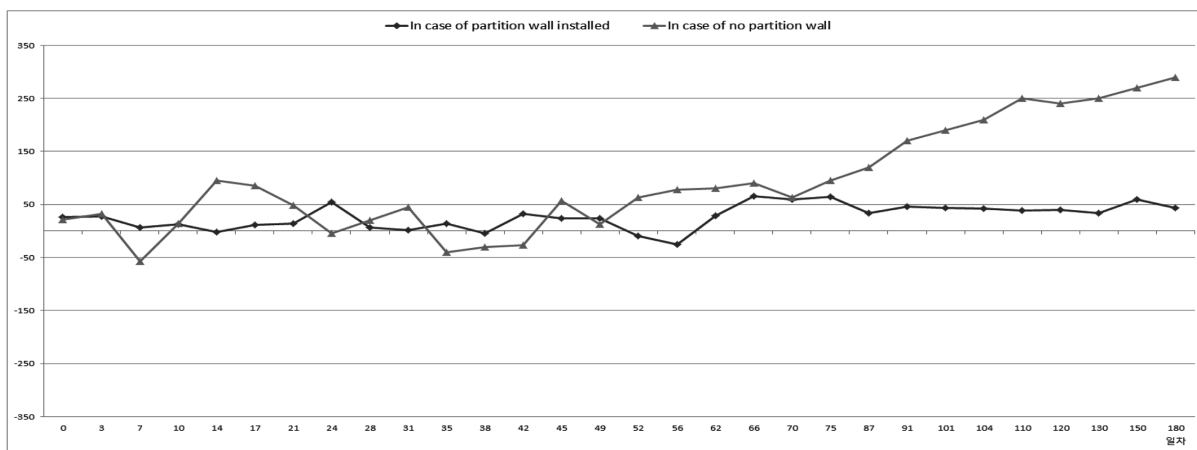
(a) Charge decay time as a function of elapsed time 300 mm distance (X: elapsed time, Y: second)



(b) Charge decay time as a function of elapsed time 600 mm distance (X: elapsed time, Y: second)



(c) Charge decay time as a function of elapsed time 300 mm distance (X: elapsed time, Y: second)



(d) Charge decay time as a function of elapsed time 600 mm distance (X: elapsed time, Y: second)

Fig. 6. Charge decay time and ion balance as a function of elapsed time.

Elapsed time Nozzle Type	Elapsed time										
	D	D+3	D+7	D+21	D+28	D+35	D+42	D+49	D+56	D+63	D+70
In case of no partition wall											
In case of partition wall installed											
Elapsed time Nozzle Type	Elapsed time										
	D+77	D+84	D+91	D+104	D+117	D+124	D+131	D+143	D+153	D+165	D+180
In case of no partition wall											
In case of partition wall installed											

Fig. 7. Contamination status on the electrode surface as a function elapsed time.

에는 20일 정도 경과할 시점부터 미세먼지가 부착되기 시작하여 시간이 경과 할수록 먼지의 양이 증가함을 알 수 있다. 이로 미루어 격벽을 설치함으로써 방전전극의 전계강도를 일정하게 유지할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

디스플레이 및 반도체 등을 생산하는 공정에서 정전기제거장치는 제품의 신뢰성을 위해 반드시 필요한 장치이다. 그러나 방전전극의 오염으로 성능이 저하하여 정기적으로 방전전극의 세정하여야만 성능을 유지할 수 있다. 본 연구에서는 공기노즐 주변에 격벽을 설치하여 방전전극 오염을 개선함으로써 정전기제거장치의 성능유지기간이 향상됨을 확인하였다. 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 코로나 방전을 사용하는 정전기 제거장치에서 소켓 형상 변화에 따른 성능을 확인하였다.
- 2) 설치거리에 따른 전하완화시간은 격벽을 설치한 경우에는 180 일이 경과되어도 거의 일정한 값을 유지하는 반면에 격벽을 설치하지 않은 경우는 90 일 정도 경과할 시점부터 증가하기 시작하여 50 s에서 100 s 이상을 초과했다.
- 3) 설치거리에 따른 이온밸런스는 50 일이 경과하는 시점부터 ± 50 V를 초과하기 시작하여 250 V 이상으로 증가했다.
- 4) 코로나방전의 전계강도의 정도를 가늠할 수 있는 경년변화에 따른 방전전극의 오염상태에서도 격벽의 효과가 뚜렷하게 나타났다. 격벽을 설치한 경우에는 180일이 경과하여도 미세먼지의 부착정도가 거의 일정하나, 격벽을 설치하지 않은 경우에는 20일 정도 경과 후부터 미세먼지의 부착정도가 증가하기 시작함을 알 수 있다.

감사의 글 : 이 논문은 2013학년도 부경대학교의 자율창의기술연구지원을 받아 수행된 연구임.(CD20130474)

References

- 1) K. Murray and V. Gross, "Ozone and Small Particle Production by Steady State DC Hood Ionization", EOS/ESD Symposium Proceeding, 1989.
- 2) J. Xianggang, K. Shigeo and T. Yuao, "Neutralization of the Charges Caused by ESD on Film Surfaces with AC Eliminator", T.IEE Japan, Vol.112-A, No.10, pp.855-860, 1992.
- 3) J. E. Vinson and J. J. Liou, "Electrostatic Discharge in Semiconductor Devices", Proc. IEEE, Vol.86, No.2, pp.399-418, 1998.
- 4) L. A. Avery, "A Review of Electrostatic Discharge Mechanisms and On-chip Protection Techniques to Ensure Device Reliability", J. of Electrostatics, Vol. 24, Issue 2, pp.111-130, 1990.
- 5) Y. Tabata, "Electrostatic Properties of Antistatic Cloth Woven Partly with Electrically Conductive Fibers", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol.24, Issue 2, pp. 245-249, 1988.
- 6) W. D. Greason, "Electrostatic Discharge: A Charge Driven Phenomenon", In Proc, EOS/ESD Symp., Vol.EOS-13, pp. 1-9, 1991.
- 7) D. H. Lee and D. S. Choi, "A Study on Improvement of the Performance of Pulsed AC Ion Bar (1)", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 29, No. 3, pp. 34-38, 2014.