

Field Control Type Electrostatic Charge Neutralizer

鄭石煥* ·李大熙** ·文在德*

(Suk-Hwan Chung · Dae-Hee-Taek Lee · Jae-Duk Moon)

Abstract - Methods and systems to remove static electricity are requested in the field of industry because the static electricity causes a flammable gas explosion or fire and a reduction of production rate in manufacturing semiconductor devices and so on.

This paper is a basic study about a new structure of electrode system to control the quantities of generated ions and to solve the problem of dust attachment to needle electrode. In addition, a new type field controlled electrostatic charge neutralizer was proposed, and it could control the electric field in the end of the needle electrode by controlling the voltage of the third electrode around the tip of the needle electrode. As a result, it was possible to control the quantities of generated ion by controlling the electric field in the needle electrode with the third electrode, which shows the possibilities to solve the nonequilibrium of generated ions in ac power source and the problem of the dust in the needle electrode.

Key Words : static electricity, neutralizer, third electrode, electric field, ion

1. 서 론

정전하는 서로 다른 두 물체의 접촉작용으로 발생되며, 정전유도, 방전, 분진의 흡착, 정전잡음 유발, 착화, 폭발등 산업현장에서의 장·해해 원인이 되고있다.[1-4] 특히 고집적 반도체소자의 제조공정에서는 정전기가 정전과피 및 분진의 부착등을 유발시켜 제품의 제조수율을 감소시키는 원인이 되고 있다.[5]

이와 같은 정전기의 제거대책으로는 대전체의 표면저항 감소를 위한 가습법, 대전방지제 도포 또는 방사선 조사에 의한 방법이 있다.[6] 그러나 이들 방법들은 적용상의 제약이 따르거나 방사선의 위험성등이 존재하기 때문에 사용할 수 있는 범위가 극히 제한된다. 따라서 많은 분야에서 정전기 제거방법으로 코로나 방전에 의한 정전하의 직접적인 중화방법이 사용되고 있다.[7] 그러나 정전하중화장치는 장시간의 방전으로 금속침전극 선단의 마모를 일으켜서 이온발생량이 변하게 되며, 금속분진을 발생시키기도 하여 고집적

반도체소자 제조시에 치명적인 장애를 주기도 한다.[8-9]

종래의 교류전원방식 정전하중화장치는 교류코로나 방전에 의해 발생하는 이온량의 효과적이고 정량적인 제어가 곤란하며, 인가전압의 극성에 따라 정전하중화장치로부터 발생하는 이온량의 불평형이 문제가 되기도 한다.[10] 정전하중화장치의 발생이온량을 정량적으로 제어하기 위한 방법으로 인가전원을 교류전원 대신에 고주파 펄스전원으로 하여 펄스주파수 및 펄스의 시비율을 변화시킴으로서 효과적인 이온량 제어가능성이 제안된 바 있다.^[11] 한편 침대 평판전극(통상 그물형 전극)의 2전극계 구조에서 침전극 주변에 원통형 제3전극을 설치하여 방전전류를 직접 제어하기 위한 방법이 연구된 바 있다.[12-13] 그러나 발생이온의 불평형 및 정량제어, 침전극에 부착하는 분진문제등을 동시에 해결할 수 있는 방법은 아직 발표된 바 없다.

본 논문은 방전침전극에의 구조적인 분진부착 방지 및 발생이온의 정량제어를 위한 기초연구로서, 통상의 침대 그물전극 구조의 정전하 중화장치에 3전극계 방전구조를 제안하여 연구하였으며, 침전극 선단의 전계를 제3전극의 인가전압으로 제어함으로써 발생이온량을 정량적으로 제어할 수 있게 됨은 물론 교류전원 사용시 야기되는 극성에 따른 발생이온 불평형 문제도 해결할 수 있고, 또한 구조적으로 침전극상의 분진부착 문제도 해결할 수 있는 가능성을 실험적으로 확인하였다.

* 正 會 員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 博士課程

** 正 會 員 : 釜山情報大學 電氣電子系列 教授 · 工博

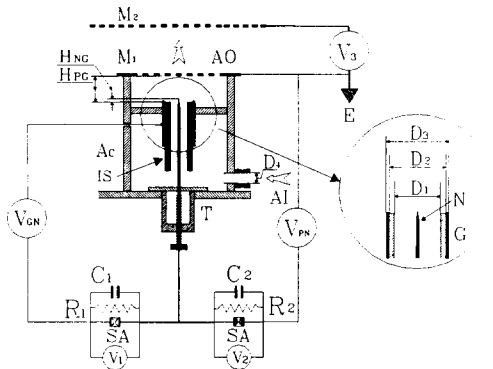
*** 正 會 員 : 慶北大 電子 · 電氣工學部 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 1月 25日

最終完了 : 1999年 5月 14日

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 제안된 3전극계 전계제어형 정전하중화장치와 전하량 측정장치의 개략도를 나타낸 것이다. 본 정전하중화장치는 통상의 방전침대 평판전극 구조의 방전침에 동축으로 둘러싸는 원통형 제3전극을 설정한 것이다. 200배 확대사진(Olympus BH2-UMA, Japan)으로 측정한 니켈 도금된 방전침 전극 선단의 곡률반경은 50 [μm]이며, 침 선단을 원통형 제3전극인 전계조절전극(황동판, 내경 8.0 mm, 외경 10.0 mm)의 중심선상에 설치하였다. 침전극의 높이(H_{NG})는 전계조절전극의 상부와 평행하게 설치하여 실험하였다. 평판전극은 발생한 이온의 통과를 용이하게 하기 위하여 20 [mesh]의 알루미늄(Al) 그물형으로 제작하여 사용하였다. 침전극과 그물형 전극사이의 간격(H_{MC})은 10.0 [mm]로 고정하여 실험하였다. 전하중화장치로부터 발생하는 이온량을 정량적으로 측정하기 위해 설계 제조된 이온포집전극(ion collecting electrode, M₂)은 가로 350[mm], 세로 300[mm]의 32 [mesh]철망을 4점으로 하여 도달이온을 전량 포집되게 하였다. 전원장치는 제3전극용 전계조절전원부(V_{GN})와 주방전전원부(V_{PN})로 구성되어있고, 상용 교류전압을 고전압트랜스로 승압하고 다이오드정류하여 각각 주방전전원(V_{PN}, ±15kV DC, ripple ±5%미만)과 제3전극용 전계조절전원(V_{GN}, ±3kV DC, ripple ±5%미만)으로 사용하였다.



- | | |
|---|---------------------------------|
| H _{PG} : height of plate to needle | Ac: acrylic plastic |
| H _{NG} : height of plate to 3rd electrode | G : 3rd electrode |
| V _{PN} : voltage of plate to needle | E : ground |
| V _{GN} : voltage of plate to 3rd electrode | N : needle |
| V ₁ : voltage of 3rd electrode | M ₁ : mesh electrode |
| V ₂ : voltage of 3rd electrode | M ₂ : ion collector |
| C : surge protect capacitance | SA: surge arrester |
| D ₁ : inner diameter of insulator | V ₃ : voltage of ion |
| D ₂ : inner diameter of 3rd electrode | T : teflon |
| D ₃ : outer diameter of 3rd electrode | IS : insulator |
| D ₄ : inner diameter of air in let | AI : air inlet |

그림 1. 전하중화장치 및 전하량 측정장치 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of proposed ionizer and charge measuring system.

포집되는 이온량을 측정하기 위해 입력 임피던스가 10[MΩ]인 축적형 오실로스코프(Tektronix, TDS360)로 이온포집전극의 전압(V₃)을 실효값으로 측정하였다. 그림 2는 본 실험의 이온포집전압(V₃)과 인가전압(V_{PN})의 전형적인 출력파형을 보여 준다. 이온포집전압에는 주방전으로부터의 방전노이즈가 중첩되어 나타나, 주방전전압이 직류이므로 이온포집전압도 직류이어야 하므로 직류전압값(실효값)으로하여 이온전류로 계산하

였다. 이온포집전극의 전압을 전류로 환산하면 이온포집전극에 도달하는 전하량 Δq를 식(1)로부터 계산할 수 있다.

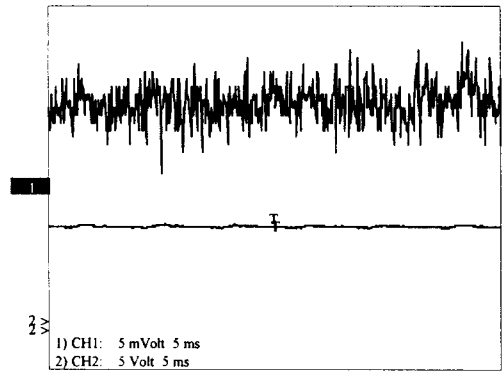


그림 2. 인가전압과 이온포집전압의 파형

Fig. 2. Typical wave forms of applied voltage, V_{PN}, and ion voltage, V₃.

$$\Delta q = \Delta i \Delta t = Ne \dots (1)$$

여기서 Δi는 이온전류, e는 1.609×10⁻¹⁹ [C], N은 이온의 총수를 나타낸다. 이때 발생하는 음 및 양이온의 전하량은 대기중 1기압 하에서는 공기입자의 평균자유행정(mean free path)이 크기 때문에 전자 한개 크기만의 이온이라고 가정하면 초당 포집되는 전자의 개수를 초당 발생하는 이온의 수로 볼 수 있게 된다. 그리고 Δt=1[sec] 이라고 가정하면 1[sec] 당 발생하는 이온의 수 N은 식 (2)로써 결정할 수 있으며, 본 연구에서의 이온수는 식 (2)에 의해 모두 계산하였다.

$$N = \frac{\Delta i}{e} \text{ [ea/sec]} \dots (2)$$

인가전압의 측정은 고전압 프로브(Tektronix, P6015A)를 사용하였으며, 방전전류는 정밀저항(manganic wire type, 1.000 [kΩ]±3%) 양단의 전압을 오실로스코프(Tektronix, TDS360)로 측정하여 전류로 환산하였다.

모든 실험은 외부 전자노이즈(electromagnetic noise)로부터 차폐하기 위하여 접지된 금속챔버(tin chamber)내부에 설치하여 수행하였다. 본 실험에서는 공기유량을 6 [LPM]으로 고정하였다. 온·습도는 실온 실습상태로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 침대 평판전극계의 침전극에 정의 전압을 인가하고 전계조절용 제3전극에 부의 바이어스전압(V_{GN})을 인가한 경우의 V_{GN} 크기에 따른 전류-전압특성을 나타낸 것으로, V_{GN}의 증가에 따라 방전개시 전압이 감소하는 경향을 나타낸다. 즉, 부의 V_{GN}이 0.0 ~2.5 [kV]로 증가함에 따라 방전개시 전압은 13.0 ~ 3.0 [kV]로 감소하였다. 이는 원통형 제3전극에 침과 반대극성의 전압이 인가되어 침전극에서 나오는 전기력선의 수가 상대적으로 많아져서 침 선단의 전계를 증가시키는 작용을 하기 때문으로 사료된다. 한편 부의 V_{GN}이 1.5 [kV] 이하일 때는 방전의 진전과정에서 전형적인 침대 평판전극계의 방전특성

과는 다르게 부성저항특성(negative resistance effect, $\Delta v/\Delta i = -\Delta r$)을 나타내었다. 이는 제3전극에 부의 V_{GN} 을 인가함으로써 주방전에 의해 생성된 양의 공간전하가 제3전극 방향으로 확산되어 침전극 선단의 곡률반경이 커지는 것과 같은 결과가 되기 때문으로 사료된다. 그러나 부의 V_{GN} 이 2.0 [kV] 이상이 되면 이미 침전극과 제3전극사이에 미약한 코로나가 발생되어 침대 평판전극계는 전형적인 불평등전계중의 코로나방전 특성을 나타내었다.

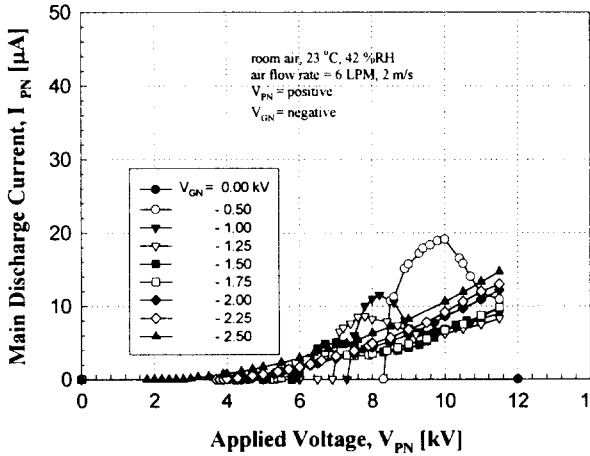


그림 3. 제3전극에 부극성전압이 인가된 정코로나 방전의 전류-전압 특성

Fig. 3. I-V characteristics of positive corona discharge with third electrode of negative bias voltage applied.

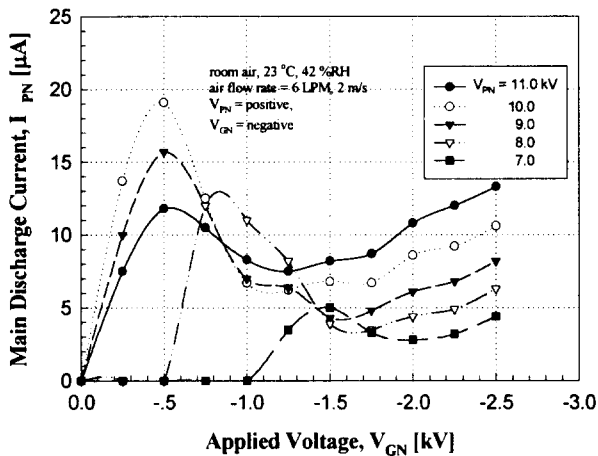


그림 4. 제3전극에 부극성 전압이 인가된 정코로나의 방전전류 조절 특성

Fig. 4. Current control characteristics of positive corona discharge as a function of negative bias voltage applied.

그림 4는 그림3의 결과로부터 V_{GN} 의 변화에 따른 주 방전전류-전압특성을 나타낸 것으로 V_{GN} 의 크기에 따라 방전개시 전압을 제어할 수 있음은 물론, 주 방전전류의 제어도 0 ~ 20 [μ A]까지 가변 가능함을 보여준다.

그림 5는 침대 평판전극계의 침전극에 부의 전압을 인가하

고 전계조절용 제3전극에 정의 바이어스전압을 인가한 경우의 V_{GN} 크기에 따른 전류-전압특성을 나타낸 것이다. 즉, V_{GN} 이 0.0 ~ 2.5 [kV]로 증가함에 따라 부코로나의 방전개시 전압은 11.0 [kV]에서 3.0 [kV]로 감소하고 방전전류는 11.0 [kV]일 경우 0 → 35 [μ A]로 증가하였다. 이는 침전극 선단의 전속밀도가 V_{GN} 에 의해 증가되어 V_{GN} 이 증가할수록 방전개시전압은 낮아지고 방전전류는 증가하는 것으로 사료된다. 한편, 이 경우에는 침대 평판전극계의 침전극에 정의 전압을 인가하고 전계조

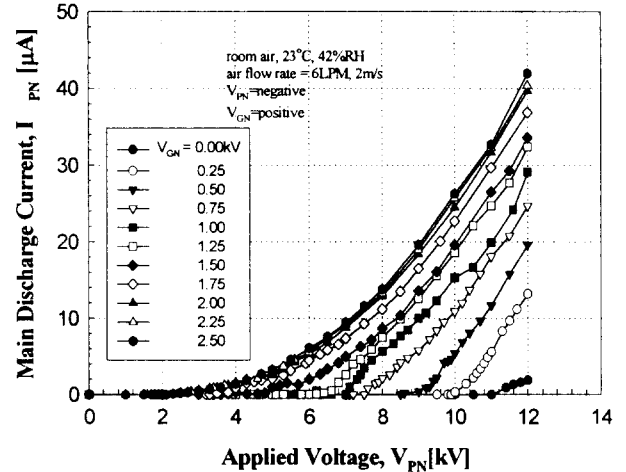


그림 5. 제3전극에 정극성전압이 인가된 부코로나 방전의 전류-전압 특성

Fig. 5. I-V characteristics of negative corona discharge with third electrode of positive bias voltage applied.

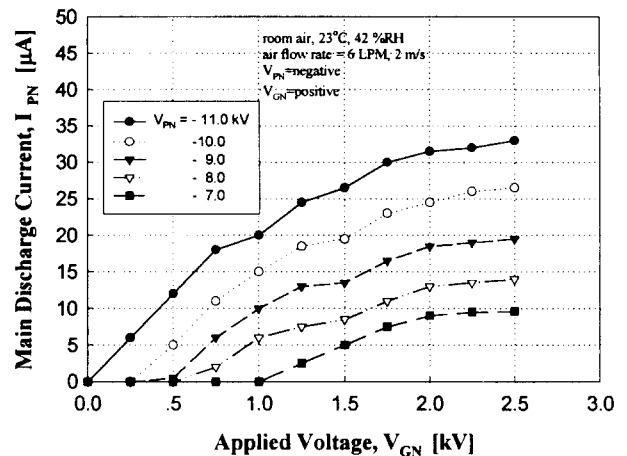


그림 6. 제3전극에 정극성 전압이 인가된 부코로나의 방전전류 조절 특성

Fig. 6. Current control characteristics of negative corona discharge as a function of positive bias voltage applied.

절용 제3전극에 부의 바이어스전압을 인가한 경우에 발생하는 부성저항효과는 나타나지 않고 전형적인 침대 평판전극계의 방전특성을 보여준다. 주 방전에 의해 생성된 전자는 이동도가 크기 때문에 침 주변에서의 공간전하형성이 어렵고, 평판전극

에서 생성된 양의 공간전하는 제3전극에 인가된 V_{GN} 에 의해 침전극 쪽으로 집중되는 효과 때문으로 사료된다. 그림 6은 그림 5의 결과로부터 V_{GN} 의 변화에 따른 주 방전전류-전압특성을 나타낸 것으로, 주 방전전압이 11 [kV]인 경우 V_{GN} 이 0.0 ~ 2.5 [kV]로 변화함에 따라 주 방전전류는 0 ~ 33 [μ A]까지 제어 가능함을 알 수 있다.

그림 7은 침대 평판전극계의 침전극에 정의 전압을 인가하고 전계조절용 제3전극에 부의 V_{GN} 을 인가한 경우의 V_{GN} 크기에 따른 발생이온-전압특성을 나타낸 것으로 이온이 발생하는 시점은 코로나방전 개시전압점이 되고, 따라서 부의 V_{GN} 이 0.0에서 2.5 [kV]로 증가함에 따라 이온발생개시 전압이 13.0 [kV]에서 3.0 [kV]까지 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 침대 평판전극계의 침전극에 정의 전압을 인가하고 전계조절용 제3전극

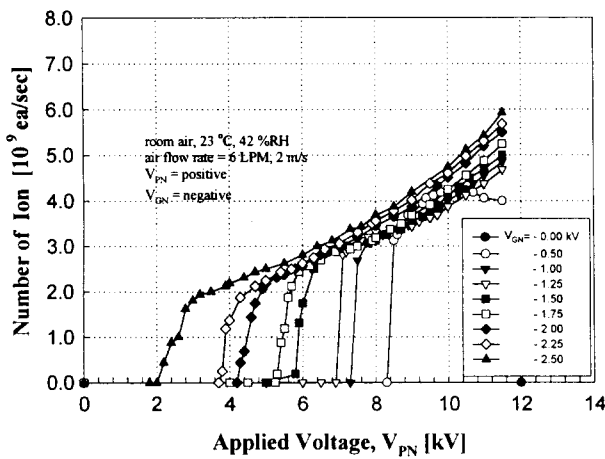


그림 7. 제3전극에 부극성전압이 인가된 정코로나 방전의 이온-전압 특성

Fig 7. Ion-V characteristics of positive corona discharge with third electrode of negative bias voltage applied.

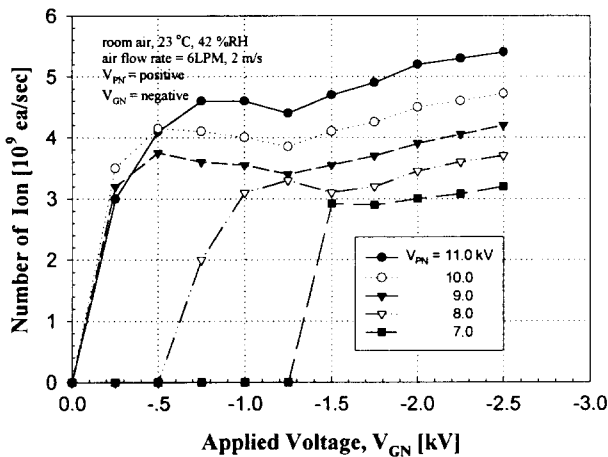


그림 8 제3전극에 부극성 전압이 인가된 정코로나의 이온 조절 특성

Fig. 8 Ion control characteristics of positive corona discharge as a function of negative bias voltage applied.

에 부의 V_{GN} 을 인가한 경우의 방전전류 특성에서와 같은 이유로 사료된다. 그림 8은 그림 7의 결과로부터 발생이온- V_{GN} 특성을 나타낸 것으로 V_{GN} 이 0.0에서 2.5 [kV]까지 변화함에 따라 발생이온량은 0에서 5.5×10^9 [개/초]까지 제어 가능 함을 알 수 있다. 한편, V_{GN} 이 증가함에 따라 처음에는 발생이온이 증가하다가 오히려 감소하는 부성특성이 나타난다. 이는 침대 평판전극계의 침전극에 정의 전압을 인가하고 전계조절용 제3전극에 부의 V_{GN} 을 인가한 경우의 방전전류에 대한 부성저항효과와 같은 이유로 사료된다. 또한 발생이온의 포화하는 특성을 나타내는데, 이는 V_{GN} 의 변화에 따라 주 방전공간의 코로나진전상태가 달라지기 때문에 이온의 이동공간이 차이나게 되어 최종적으로 외부로 유출되는 이온의 양이 달라지기 때문인 것으로 사료된다.

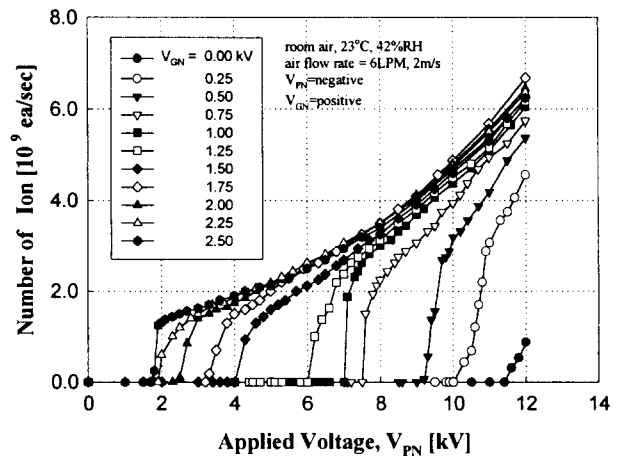


그림 9. 제3전극에 정극성전압이 인가된 부코로나 방전의 이온-전압 특성

Fig. 9 Ion-V characteristics of negative corona discharge with third electrode of positive bias voltage applied.

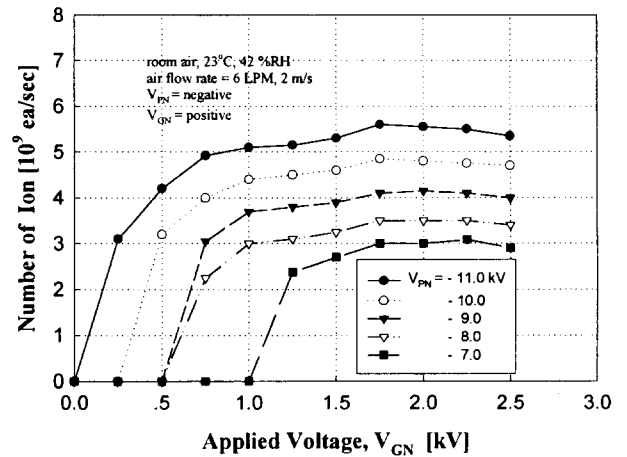


그림 10 제3전극에 정극성 전압이 인가된 부코로나의 이온 조절 특성

Fig. 10 Ion control characteristics of negative corona discharge as a function of positive bias voltage applied.

참 고 문 헌

그림 9는 침대 평판전극계의 침전극에 부의 전압을 인가하고 전계조절용 제3전극에 정의 바이어스전압을 인가한 경우의 V_{GN} 크기에 따른 발생이온-전압특성을 나타낸 것으로 V_{GN} 의 증가에 따라 이온발생개시전압은 감소한다. 즉, V_{GN} 이 0.0 에서 2.5 [kV]로 변화함에 따라 이온발생개시전압은 11.5 [kV]~ 1.9 [kV]로 감소되는 것을 알 수 있다. 그림 10은 그림 9의 결과로부터 V_{GN} 의 변화에 따른 발생이온-전압특성을 나타낸 것으로, V_{GN} 이 0.0 에서 2.5 [kV]까지 변화할 때 발생이온은 0 에서 5×10^9 [개/초] 까지 제어가능함을 알 수 있다. 한편, V_{GN} 의 증가에 따라 발생이온이 포화하는 특성은 역시 전하중화장치 출구의 풍속, 전극간격, 이온의 비행거리등에 따라 발생된 이온이 외부로 유출되기 위한 최적조건이 있기 때문인 것으로 사료된다.

이상과 같이 침대 평판전극의 2전극계 구조에 전계조절용 제3전극을 설치한 정전하중화장치에서는 제3전극에 인가하는 전원의 극성과 크기를 변화시킴으로 인해 발생이온량을 용이하게 조절할 수 있게 되었다. 또한 교류형 전하중화장치에서 발생할 수 있는 이온의 불평형 문제도 인가하는 V_{GN} 을 조절함으로써 해결할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 또한 정전하중화장치에 유입되는 공기는 방전침전극이 설치되어있는 원통형 제3전극 내부로만 유출되게 하였다. 따라서 본 정전하중화장치에 공급되는 공기를 사전에 제진필터등을 통하여 청정공기화 하여 공급하면 방전침전극의 공기중으로부터의 분진부착에 의한 정전하중화장치의 열화특성도 구조적으로 크게 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

침대 그물형의 종래형 정전하중화장치의 방전 침전극에의 분진부착 방지 및 발생하는 이온량의 정량제어를 위해 침전극 선단의 전계를 제어할 수 있도록 제3전극을 설정한 전계 제어형 정전하중화장치를 제안하고 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 침대 평판전극계의 침전극에 정의 전압을 인가하고 전계 조절용 제3전극에 부의 바이어스전압을 인가한 경우 바이어스 전압을 제어함에 따라 방전개시전압을 11 [kV]에서 3.0 [kV]까지 제어할 수 있었으며, 이때 발생하는 이온의 양은 0에서 5.5×10^9 [개/초]까지 제어할 수 있었다.
2. 침대 평판전극계의 침전극에 부의 전압을 인가하고 전계 조절용 제3전극에 정의 바이어스전압을 인가한 경우 바이어스 전압을 제어함에 따라 방전개시전압은 11.0 [kV]에서 3.0 [kV]까지 제어할 수 있게 되었으며 이때 발생하는 이온의 양은 0에서 5.0×10^9 [개/초]까지 제어가능 하였다.
3. 본 원통형 제3전극 구조는 이를 통해 공급되는 공기를 사전에 청정화하여 공급하면 방전침전극에는 분진의 부착문제가 최소화 될 수 있는 매우 효과적인 새로운 정전하중화장치 구조의 하나라고 사료된다.

본 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

- [1] 日本 靜電氣學會, “固体, 粉体の帯電”, 靜電氣ハンドブック, pp. 55~105, 1981.
- [2] 손병기, 문재덕, “고분자 고체유전물질의 수은과의 접촉대전”, 경북대 산업연구소보, vol. 3, pp. 84~89, 1975
- [3] 日本 靜電氣學會, “放電による着火爆發災害”, 靜電氣ハンドブック, pp. 731~777, 1981.
- [4] 日本 靜電氣學會, “靜電氣による力學現象”, 靜電氣ハンドブック, pp. 251~313, 1981.
- [5] H. Inaba, T. Ohmi, T.Okada, “Neutralization of static electricity by soft X-rays and vacuum UV radiation”, J. of Electrostatics, vol.33, pp.15~42, 1994.
- [6] 日本 靜電氣學會, “靜電氣の安全管理”, 靜電氣ハンドブック, pp. 797~862, 1981.
- [7] 増田閃一, “クリーンルームと靜電氣”, 第8回空氣清淨とコンタミネーションコントロール研究大會豫稿集, pp.201~203, 1989.
- [8]. 김정호, 문용승, “건물의 실내공기 청정용 분진중성화 및 응집장치의 기술적 원리”, 공기청정기술, 제 9권, 제 4호, pp.29~40, 1996.
- [9] 文在德, 鄭石煥, 卞鎬山, “펄스전압을 적용한 정전하중화장치에대한 기초연구” 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계 학술발표회 논문집, pp.180~183, 1997.
- [10] 岡田孝夫, “クリーンルームにおける空氣清淨度と粒子沈着”, 第7回エアゾル科學技術研究討論會豫稿集, pp.19~21, 1988.
- [11] 문재덕, 정석환, “펄스전압을 적용한 전하중화장치의 이온발생 특성”, 한국센서학회, 센서학회지 제7권 제2호, pp. 57~64, 1998.
- [12] 정석환, 공기중 침대 평판 전극간의 코로나방전 제어를 위한 기초연구, 경북대학교 대학원 석사학위논문, 1993.
- [13] Jae-Duk Moon, Suk-Hwan Chung, Kun-Taek Lee, “Control of Corona Characteristics a Third Electrode and Bias Voltage”, IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation, vol.1 No.4, pp.569~577, 1994

저 자 소 개



정 석 환(鄭石煥)

1965년 4월 3일생. 1991년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1995년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 053-950-5601 Fax : 950-6600

E-mail : z951204@rose0.kyungpook.ac.kr



이 대 희(李大熙)

1951년 1월 28일생. 1973년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 부산전문대 전기과 교수



문 재 덕(文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 물리교육과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979년~1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1982년~1983년 일본 Simon사 동경대 파견연구원. 1986년~1987년 캐나다 Western Ontario대 전기공학과 및 응용정전기연구센터 초청교수. 1983년 일본정전기학회 학술논문상. 1990년 ISESP Harry J. White Award. 1992년 대한전기학회 학술상 수상. 1996년 당학회 방전 및 고전압분과회 간사장. 현재 경북대 공대 전자전기공학부 교수