



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

압전소자를 이용한 이온수송관에
있어서 제전성능에 관한 연구



2007 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

曹基鉉

工學碩士 學位論文

압전소자를 이용한 이온수송관에
있어서 제전성능에 관한 연구

指導教授 李 東 勳

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2007 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

曹 基 鉉

이 論文을 曹基鉉의 工學碩士
學位論文으로 認准함

2007 年 2 月 23 日



主 審 工學博士 張 聖 祿 (印)

委 員 工學博士 崔 載 旭 (印)

委 員 工學博士 李 東 勳 (印)

- 목 차 -

1. 서 론

1-1. 연구 배경	1
2-2. 이론적 배경	4

2. LCD 제조공정의 정전기성 불량과 정전기제거장치의 특성

2-1. LCD 제조공정에서의 정전기성 불량	6
2-1-1. LCD 제조공정의 대표적 ESD 불량 문제	6
2-1-2. 배향막, 패턴전극의 ESD 파괴에 의한 결함 표시	7
2-1-3. LCD 구동용 IC, 능동소자의 ESD에 의한 점·선 결함	9
2-2. 정전기제거장치의 특성	11
2-2-1. 코로나 방전식 제전기의 발진특성	16
2-2-2. 연X선 조사식 제전기의 특징	19

3. 실험 장치 및 방법

3-1. 압전소자를 이용한 정전기제거장치의 개요	24
3-2. 압전소자를 이용한 정전기제거장치의 구성	28

4. 실험 결과 및 고찰	
4-1. 에어 방출량에 따른 이온화 특성	30
4-2. 발생 이온량에 따른 전하감쇄시간 특성	45
5. 결론	49
참 고 문 헌	50
Abstract	52



1. 서론

1-1. 연구의 필요성 및 목적

오늘날 FPD(Flat Panel Display) 및 반도체 제조에서는 현재 7세대에서 8세대, 9세대까지 유리 기판이 점차 대형화의 추세로 되어지며 생산 시스템의 혁신을 통한 생산성 향상과 불량률의 저감 그리고 보다 높은 성능이 요구되어지고 있다. 이러한 초대용량 집적회로(LSI) 또는 액정디스플레이(LCD) 등과 같은 전자 소자들의 제조 환경에서는 미립자 농도, 원자·분자 상의 불순물 농도, 미진동 정전기, 온습도 변화와 같은 환경 구성요소를 엄밀히 관리하지 않으면 안 된다. 특히 액정 제조공정은 항상 정전기와와의 전쟁이라 하여도 과언이 아니다. 최근 주류를 이루고 있는 박막 트랜지스터 구동방식(TFT-LCD)은 전기적으로 절연성이 우수한 유리기판 위에 전자회로가 형성된 복합, 다층 구조로 되어 있으며, 제조 공정은 마찰, 박리, 가열, 냉각 등 물리적, 기계적 힘이 기판에 부여되는 공정이 많아 정전기의 발생을 피하기 어렵다. 특히 액정 제조용의 클린룸에서의 정전기 장애는 정전기력에 의해 다음과 같은 장애를 일으킨다.

- 미립자 부착에 의한 품질 불량
- 정전기력에 의한 제조품 자신의 부착
- 전자 궤도 장애

클린룸에서 유동입자에 부착한 부착표면 전위의 영향에서 부(-)전압이 인가되어 실리콘웨이퍼의 부착 입자수를 비교 평가한 결과에서 웨이퍼의 대전위가 50[V] 부근에서는 입자부착은 없고, 300[V] 근처에서 확인이 되고 1800[V]에서는 급격한 증가를 나타낸다. 계수대상 입자직경 $0.5[\mu m]$ 이상에서는 브라운 확산에 의한 부착 속도는 $10^{-3}[cm/s]$ 이하이며 300[V]에서 대전된 웨이퍼에서는 부착속도 보다는 적다.¹⁻⁴⁾

상기에서 기술한 대로 이러한 정전기력에 의한 미립자 흡착에 대한 관리는 반도체보다 더 엄중히 다루어지고 있다.

이러한 제조공정에서 정전기를 위한 대책으로 코로나방전을 이용한 제전바(Ion bar)를 사용하고 있으나 고압 방전($7\sim 10[kV]$)에 의한 Spattering 현상으로 방전전극의 끝부분(330mm ~ 500mm)에 $0.01[\mu m]$ 이하의 금속 미립자가 엄청나게(수만개/ ft^3) 발하여 부착되었다가 강제 대류에 의해 반도체 및 LCD 패턴 주위에 부착되어 문제를 야기한다. 이에 대한 대책으로 연 X선(Soft X-Ray, 파장 $1.5[\text{\AA}]$)의 전리 작용을 이용한 정전기 제거 장치를 사용한다. 대 면적 제전의 용이성과 먼지로부터의 해방이라는 장점이 있지만, 연 X선의 인체 유해성 문제로 여러 가지의 차폐장치가 필요한 단점이 있다.⁵⁻⁸⁾

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 우선, 상용주파수 ($50\sim 60[Hz]$)를 사용하는 제전바 대신 압전소자를 이용한 고주파($71[kHz]$)

방식의 제진 방식을 선택하여 사용 칩 전극을 단일 전극으로 하였으며, 제진 범위를 확장하기 위하여 특수 노즐을 제작하여 미세 구멍을 통해 이온화된 공기가 방출하도록 고안하여 정전기 제거 성능에 관한 연구를 실행 하였다.



1-2. 이론적 배경

먼지오염의 경우로는 공기 중에 부유하는 대전된 먼지가 대전물체에 근접하게 되면 정전유도에 의하여 발생하는 유도전하에 의한 쿨롱의 힘 $F=q \times E$ (q : 입자의 전하, E : 입자에서의 전기)과 다이폴력 $F=p \times \nabla E$ (p : 입자의 쌍극자 모멘트, ∇ : 입자의 전기 내의 부품 각각에 가해지는 기울기)로 표현된다. 이러한 인력이 대전물체와 먼지를 서로 끌어당기는 작용으로 제품이 오염된다.

1987년 미네소타대학의 Liu 교수¹⁾에 의해 웨이퍼에의 미립자 부착은 정전기력에 의한 것이라는 것을 정량적으로 해석하였다. 이론적으로 정전기가 반도체 및 LCD의 생산수율에 중대한 영향을 미치는 것이 확인되었다. 그림1.은 Liu가 제안한 웨이퍼 표면에서의 미립자 부착 모델을 실험적으로 나타낸 것이다. 2인치 웨이퍼를 10cm/s 하강 기류에 수평으로 배치하였을 때, 분진입자와 웨이퍼가 동시가 대전되어 있지 않은 경우와 입자와 웨이퍼가 상호 반대 극성으로 대전되어 있지 않은 경우와 입자와 웨이퍼가 상호 반대 극성으로 대전되어 있는 경우에 대하여 실험한 것이다. 미립자의 웨이퍼 상에서의 분진 부착량은 일반적으로 다음 식 (1)로 나타낸다.

$$V_d = J/N \text{ -----(1)}$$

여기서,

J : 웨이퍼 상에 침착된 부유 입자 수 [$\text{개}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

N : 웨이퍼 주위의 부유입자의 평균농도 [$\text{개}/\text{m}^3$]

입자직경 d 가 $1\mu\text{m}$ 이상에서는 중력이 지배적이고, $0.5\mu\text{m}$ 이하 입자에 대하여서는 브라운 확산 또는 정전기력이 지배적이 된다. 입자 하전수 $n_p=0$ 개, 웨이퍼 대전전위 $V=0[\text{V}]$ 시에는 브라운 확산에 의한 미립자 침착속도를, $n_p=-1$ 개($e=-1.602 \times 10^{-19}\text{C}$), 웨이퍼 대전전위 $V=100 \sim 1000[\text{V}]$ 시에는 브라운 확산과 정전기력의 합에 의한 침착속도를 나타내고 있다. $0.5\mu\text{m}$ 이하 영역에서는 브라운 확산만이 침착속도에 비례하고, 정전기력에 의해 침착속도가 크게 증대한다는 것을 알 수 있다. 따라서 입경이 작을수록 미립자 침착속도는 크게 되고, 청정환경에 있어서 부유 분진의 입경이 적을수록 정전기력에 의한 미립자 오염이 발생함을 알 수 있다.

2. LCD 제조 공정의 정전기성 불량과 정전기제거장치의 특성

2-1. LCD 제조공정의 정전기성 불량

2-1-1. LCD 제조공정의 대표적 ESD 불량 문제

표1은 STN-LCD 제조공정에서 대표적 ESD 불량 문제에 대하여 발생 공정을 정리한 것이다.⁹⁾

표1. LCD 제조 공정별 정전기 의 유형과 위험도

불량현상	투명 전극 회로 형성	배향 막 형성	배향 처리	스페 이서 산포	절단	액정 주입	편광 판라 미네 이트	최종 조립
1. 배향막, 패턴전극 의 ESD 파괴에 의 한 점선 결함표시	◎	◎	◎	○	△	-	△	△
2. 정전기방전에 의 해 전극용융	-	-	-	-	-	○	◎	△
3. LCD구동용 IC, 능동소자의 ESD에 의한 동작불량	-	-	-	-	-	-	-	◎
4. 정전기방전에 따 른 전자 노이즈에 의한 제조장치의 오 작동	-	-	-	-	-	-	-	△

△: 약간위험

○: 위험

◎: 매우위험

2-1-2. 배향막, 패턴 전극의 ESD 파괴에 의한 점·선 결함표시

이 불량은 LCD 제조공정 전체에서 발생하기 쉽다. 전반공정에서는 가공 중의 대전과 가공후의 박리대전, 방송대전에서 불량이 발생하기 쉽다. 후반공정에서는 편광판공정, 즉 편광판 라미네이트, 편광판보호시트 박리가공에서 발생하기 쉽다.

사진1은 ESD에 의해 파괴된 부분과 점 결함을 표시한 사진이다.

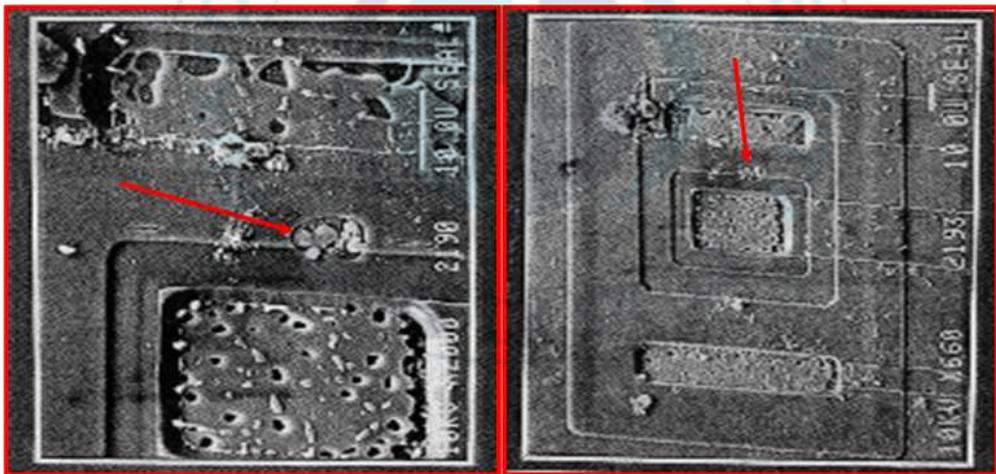


사진1. ESD에 의한 패턴 파괴

이 불량은 액정 주입 이후의 공정에서 주로 발생한다. 불량 메카니즘은 다음과 같다. 일반적으로 액정에는 이온성의 불순물이 존재하고 있다. 이것은 액정 자체가 가지고 있는 것, 접착제로부터 유입된 것, LCD 제조공정으로부터 혼입 등으로 생각할 수 있다. LCD 단자에서 정전기 방전이 발생하면 LCD 내부의 액정층양단에 있는 표시전극의 전위밸런스가 붕괴하여 표시 전극간에 직류 전위차가 발생한다. 표시 전극간은 고저항이기 때문에 직류전위차를 유지할 수 있어서 이온성 불순물은 전계에 의해 전극 양단으로 이동하여 전기 2중층을 형성하여 안정 상태로 된다. 그 후 구동전압을 인가하면 방전한 표시전극 라인의 액정층에 인가되어 실효전압이 변한다. 이렇게 하여 LCD 단자방전을 일으킨 표시전극은 용융을 일으키게 된다.

2-1-3. LCD 구동용 IC, 능동소자의 ESD에 의한 동작 불량

LCD 구동용 IC를 장착한 실장공정 이후에는 IC의 정전기과피에 의해 전체적으로 표시되지 않든가 또는 일부의 선이 표시되지 않는 불량이 발생한다. 특히 정전용량이 큰 LCD 패널과 구동용 IC가 접속되어 있을 때는 ESD에 의한 동작불량이 발생하기 쉽다.

정전기 방전 시에 발생한 전자 노이즈로 인한 제조장치의 오작동이 불량은 모든 공정에서 발생 할 가능성이 있지만, 일반적으로는 노이즈 대책으로서 전원에 노이즈 필터와 신호선의 정전 실드(Shield)가 일반적으로 실시되고 있는 경우가 많아 크게 문제되는 경우가 없다.

2-2. 정전기 제거장치의 특징

제전기의 종류는 제전에 필요한 이온의 생성방법에 따라 전압인가식 제전기, 방사선식 제전기 및 자기방전식 제전기 3종류로 구분할 수 있는데, 전압인가식 제전기는 그림1.과 같이 이온생성전극(針전극)과 접지전극에 고전압을 인가하여 코로나방전에 의해 전극주위의 기체가 전리되어 똑같은 양의 정이온과 부이온이 생성된다. 이때 대전물체가 부(-)로 대전되면 반대극성의 정이온이 대전물체로 정전흡인력이나 송풍기의 힘으로 이동하여 대전전하를 중화할 수 있다.¹⁰⁾

자기방전식제전기는 주로 부도체의 정전기 대전을 방지하는 것이지만 반드시 대전되어 있는 물체의 정전기를 완전히 제전하는 것은 아니고 장·재해가 발생하지 않을 정도까지 제전하는 것이다. 이는 대전물체가 갖는 전계에너지를 접지한 침상도체, 즉 도전성의 바늘모양이나 가는 선의 전극에 집중시켜 그 전계에 의하여 기체를 전리하여 제전에 필요한 이온을 얻는다. 따라서 이와 같이 접지된 침상도체가 에너지를 가지고 있지 않으므로 자기방전식 제전기라고 한다.¹¹⁾ 자기방전을 일으키는 작은 접지침상도체를 제전전극이라고 한다. 그림2와 같이 전원이 필요하지 않는 간단한 구조의 제전전극만으로 구성되어 있어 설치가 용이하고, 협소한 공간에서 사용하기가 편리하다. 또한 제전기가 점화원이 될 염려는 없으나 주위의 가연성 물질에 따라 착화할 수도 있고 설치거리, 설치각도

등의 설치방법에 따라 제전효율이 크게 달라지므로 설치 시에 세심한 주의가 요구되며, 제전능력도 피제전물체의 대전전위와 관계되어 대전전위가 낮으면 사용효과가 없을 수도 있다.

일반적으로 전압인가식 Ionizer는 이온의 발생형식에 따라 3가지로 구분된다.

- 교류전압인가식 제전기(AC type)
- 펄스전압인가식 제전기(Pulsed type)
- 직류전압인가식 제전기(DC type)

이들 제전기의 문제점을 종합하면 다음과 같이 열거할 수 있다.¹²⁾

① AC type은 50/60Hz의 주기로 정, 부의 이온이 발생하고, 이온은 기류 중에 혼합하면서 대전체에 도달하기 때문에 도달하기 전에 일정한 비율로 정 혹은 부의 이온이 재결합하기 쉽다. 대전체의 중화를 신속히 하기 위해서는 이온의 재결합비율을 낮추어야 한다. 또한 정, 부 이온의 발생량에는 큰 편차가 생겨 정이온의 발생량은 부 이온의 발생량의 10배 이상이 되고, 대전표면은 중화는 되지만 수십 V에서 200V 정도의 정전압으로 대전된 채로 남는다.

② Pulsed DC type에서는 정, 부이온의 발생주기를 길게 하면 좋지만 발생주기가 너무 길면 정, 부이온의 재결합율은 저하하지만, 정, 부이온이 장기간 발생하면서 교반하여 대전물체 표면에 도달하기 때문에 대전표면

의 전위는 정 또는 부를 반복해서 매끈한 감쇄를 얻을 수 없다.

③ DC type에서는 정 또는 부의 전극에 직류전압을 인가하기 때문에 이온풍이 생겨서 이온을 강하게 날려 보낼 수 있기 때문에 AC type보다 이온의 재결합이 높지 않다. 그러나 전극간의 간격이 가까우면 스파크가 생기고 너무 떨어지면 정, 부이온이 독립적으로 존재하는 영역, 즉 spot가 생긴다.



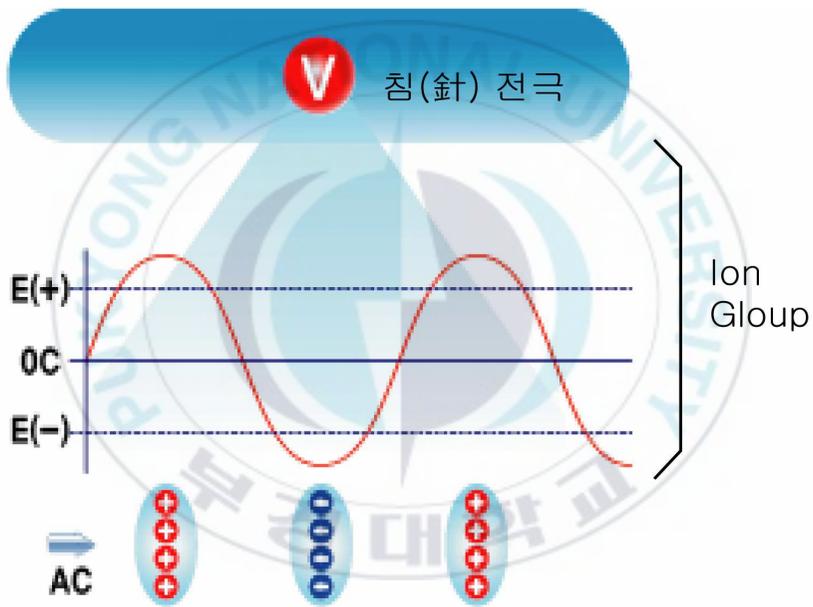


그림1. AC type 제전기의 이온 생성 원리

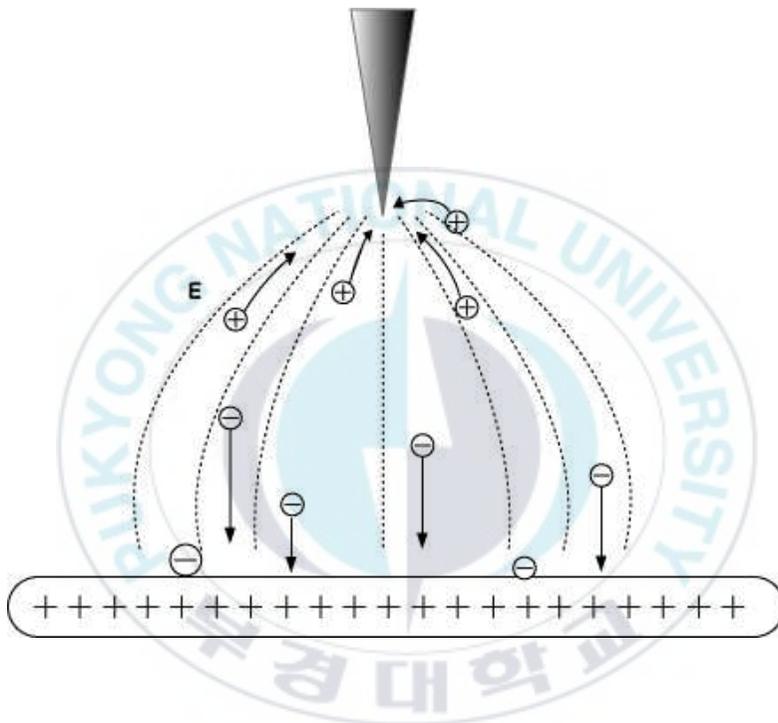


그림2. 자기방전식 제전기의 원리

2-2-1. 코로나 방전식 제전기의 발전특성

전압인가식 제전기의 코로나 방전전극으로부터의 분진생성기구는 현재까지 명확하지 않다. B.Y.H. Liu는 정 이온의 spattering에 의한 정극금속의 비산과 공기 중의 불순물의 기중에서의 화학반응에 의해 석출되는 물질의 퇴적과 재 비산이라고 보고하고 있다. M.Blitshteyn은 X선 분석을 통해서 전기력에 의해 전극상(SiO₂)에 포집된다고 보고하고 있다. R.P.Donvan은 정극의 부식은 화학반응을 수반하는 spattering이라고 보고하고 있다.¹³⁻¹⁵⁾

사진2.는 정전극 위에 부착, 퇴적된 물질이 Pearl chain현상과 백화 현상을 일으킨 전자현미경의 사진이고, 두께 1 μ m 정도의 나뭇가지 형태로 성장한 부착물이 관찰되었다. 이것을 방사선비대현상이라고 부르고 있다. 방전전극 주위에 형성된 불평등전계 중에 중성입자가 놓이면 Gradient force에 의해 전계가 강한 방향으로 집중되어 전극 위에 부착된다. 이러한 중성입자가 분극입자인 경우에 입자는 분극력에 의해 나뭇가지 형태로 성장한다. 나뭇가지의 끝부분(330mm ~ 500mm)의 입자는 분극하기 때문에, 이 입자가 성장점으로 되어 성장을 계속해서 퇴적한다.

이 끝부분(330mm ~ 500mm) 입자의 주요한 원소는 Si, Al이지만 화합물로서는 SiO₂, Al₂O₃로 추정된다. 이번의 분석에서는 (+)극과 (-)극에서 거의 같이 Si(76~88wt%), Al, Na, P, K, S 등의 원소가 분석되었다.



사진2. 텨 전극에 부착한 이물질의 전자현미경 관찰 모습

2-2-2. 연X선 조사식 제전기의 특징

연X선이란, 방사선의 일종이다. 물질투과성에 따라서 X선을 적정하게 구분할 때, 얇은 공기층에 의해서도 쉽게 흡수되는 투과성이 낮은 것을 연X선이라 하고 린트겐 등에 사용하는 투과성이 높은 것을 경X선이라 한다. 연X선의 에너지는 경X선에 비해 수십 분의 일 정도로 낮고, 직접 조사에 의한 영향은 훨씬 적다. 연X선과 경X선을 구분하면 표2.와 같다.

표2. 연X선과 경X선의 비교

구 분	파 장	에 너 지	용 도
연X선	수 Å~수백 Å	수Kev	분석용
경X선	0.01 Å~1 Å	수십~수백Kev	의료용, 공업용

전자기파에서 X선은 그 파장이 대략 $1 \times 10^{-9} \text{m}$ 에서 $6 \times 10^{-12} \text{m}$ 까지이고 주파수는 $3 \times 10^{17} \text{Hz}$ 에서 $5 \times 10^{19} \text{Hz}$ 까지이다. 여기서 연X선의 파장은 수 Å~수백 Å이고 경X선은 0.01 Å~1 Å이다. 그림5.는 연X선의 발생 원리를 나타내고 있으며, 사진4.는 연X선 조사식 제전기의 모습이다. 그림3.에서 보듯이 X선은 고속인 전자가 금속 Target에 충돌하면 발생하는 것이므로

X선 발생장치는 전자를 발생하는 필라멘트와 전자가 충돌하는 금속 Target이 들어있는 X선관구와 전자를 고속으로 가속시키는 고전압발생장치로 되어있다. 이 때 X선은 이 충돌한 점에서 발생하여 모든 방향으로 방사된다.¹⁶⁾

양극사이의 인가전압을 V 라고 하면, 충돌할 때의 전자의 운동에너지 E_k 는 다음 식(1)과 같이 표시된다.

$$E_k = eV = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

e : 전자전하 ($4.48 \times 10^{-10} \text{esu}$)

m : 전자질량 ($9.11 \times 10^{-28} \text{gm}$)

v : 전자속도

V : 양극간 전압

이 전자의 운동에너지는 Target과 충돌할 때 대부분이 열로 변하고 1% 이하의 에너지만이 X선으로 변한다. 이 때 X선 발생 효율 ε 은 다음 식 (2)로 표시된다.

$$\varepsilon = 1.1 \times 10^{-9} ZV \quad (2)$$

Z : Target 원소의 원자번호

따라서 X선 관에서 발생하는 최대 X선량은 Target 원소의 용접 및 열 전도도에 따라 달라진다.

연X선 제전기는 코로나 방전에 의해 이온을 발생시키는 종래의 제전기와는 달리, 빛에 의해서 가스분자를 직접 이온화해서 정전기를 중화·완화시키는 광조사 제전방식의 제전기이다. 연X선 제전기의 특징은 고농도의 이온 및 전자를 생성할 수 있기 때문에 상당히 단시간 내에서 제전이 가능하고 또한 잔류대전전위가 항상 0V라는 것과 대기압 상태의 불활성가스 분위기 중에서도 제전이 가능하다는 것이다. 연X선은 에너지가 높기 때문에 공기 분위기 중의 가스분자를 이온화 할 때 오존(O₃)은 생성되지 않고 산소분자는 신속히 O₂⁺+e⁻, O⁺+e⁻ 등의 이온으로 전리해 다른 가스분자 이온과 함께 제전에 기여한다. 그러나 기체의 광 흡수율은 빛의 파장이 짧아짐에 따라 저해된다.

그림.3은 연X선 조사식 제전기의 작동원리를 나타낸 것이다.

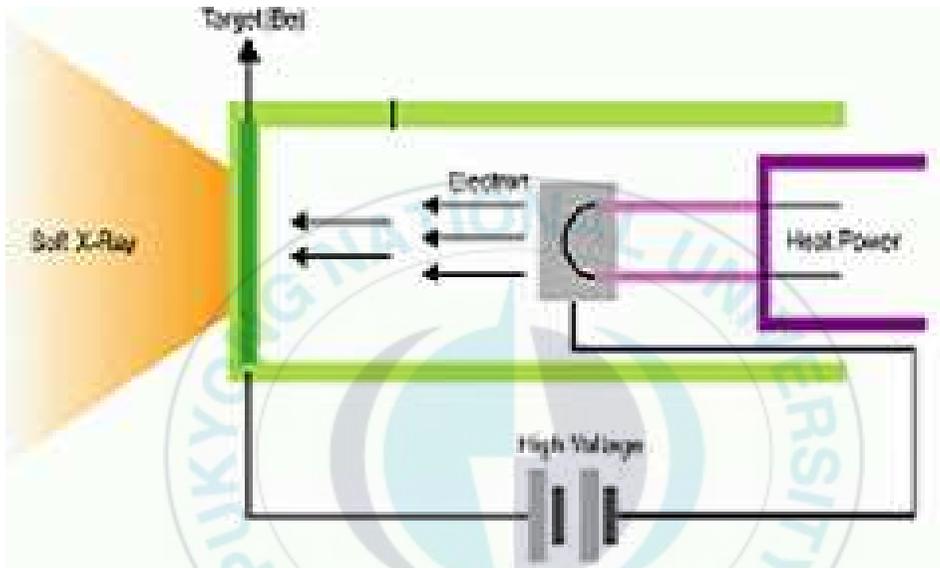


그림3. 연X선 조사식 제전기의 작동 원리

3. 실험 장치 및 방법

3-1. 압전소자를 이용한 정전기제거장치의 개요

본 실험에서 사용한 이온화 장치는 압전세라믹소자를 이용하였다. 압전 세라믹소자의 등가회로와 동적 행동에서 결합계수 k 를 측정하면, 압전세라믹소자판의 양면에 전극을 설치하며 이에 교류 전계를 더하여 주파수를 올리면, 세라믹의 방향에 의해 정해지는 기계적인 공진, 세라믹판의 어드미턴스의 절대치는 그림4.와 같이 변화한다. 그림5.는 압전 세라믹의 등가회로도이다.¹⁷⁾

그림6.에서와 같이 제전 방식은 압전세라믹소자를 이용한 고주파 제전 방식을 사용 하였다. 이러한 고주파 제전 방식은 적은 입력전압으로도 높은 출력 전압을 발생 시킬 수 있으며, 높은 주파수(약 71[kHz])의 AC 고전압이 인가됨으로 제전 전극 끝 침에 먼지 부착이 적고, 이온 생성량도 비교적 높아 적은 수의 방전 침으로도 높은 제전 능력을 가질 수 있다. 또한, 이온밸런스를 $\pm 20[V]$ 이내로 유지할 수 있는 장점을 가진다. 사진5.는 압전세라믹소자를 이용한 장치의 회로 구성 사진이며, 그림7.은 압전세라믹소자를 이용한 이온화 장치의 파형도 이다.

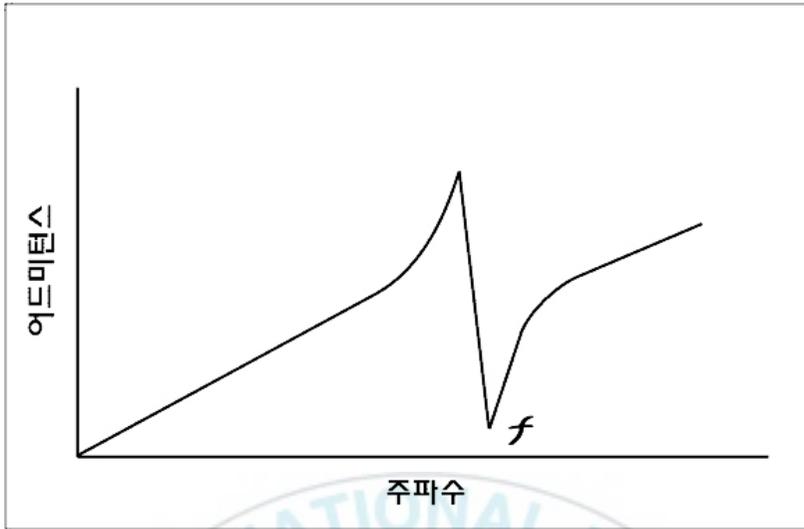


그림4. 압전세라믹소자의 고주파 특성 곡선

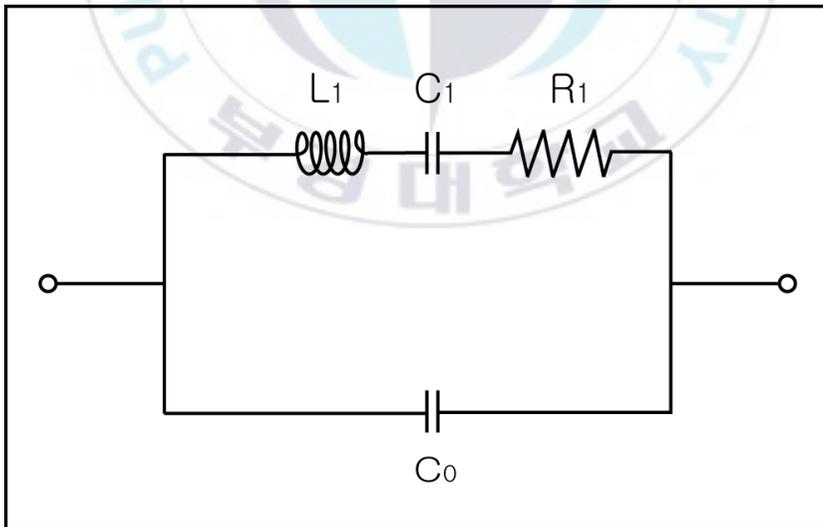


그림5. 압전세라믹소자의 회로도

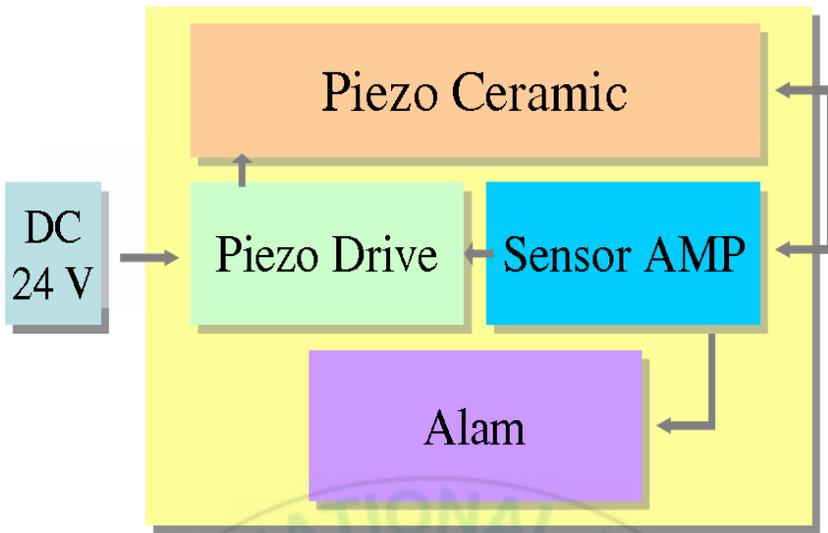


그림6. 압전세라믹소자방식 제전기의 내부회로도

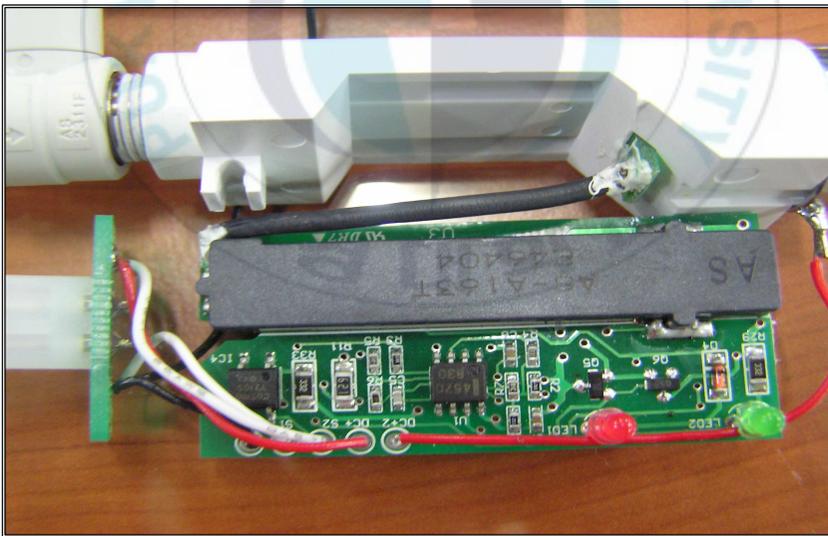


사진5. 압전세라믹소자방식 제전기의 회로 모습

Piezo Ceramic 소자를 이용한 고전압 고주파 발생

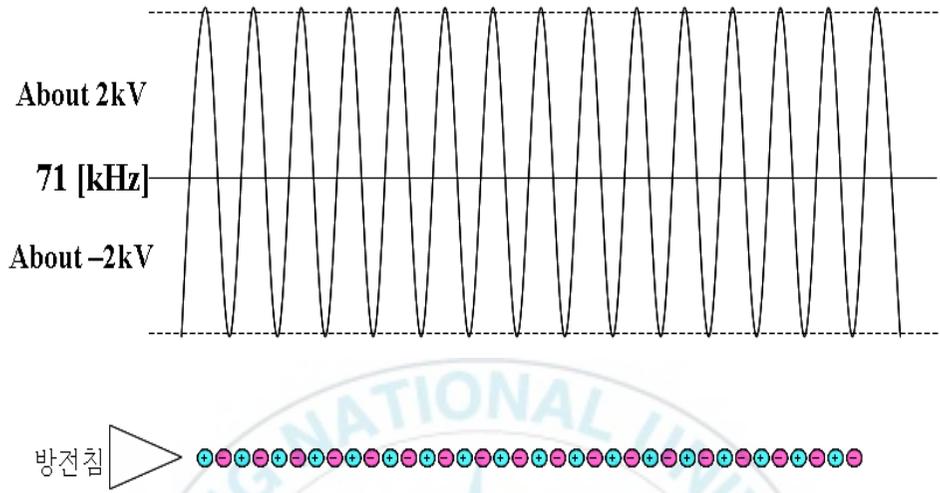


그림7. 압전세라믹소자 세라믹을 이용한 고전압 고주파 곡선

3-2. 이온 확산 장치의 구성

단일 전극을 사용하여 최대의 제진 범위를 확보하기 위하여 그림8.과 같은 노즐을 제작하였다. 본 실험에서 처음 구멍 간격 50mm에서 분출 공기 구멍의 크기를 $\varnothing 0.5$ 부터 시작하여 $\varnothing 2.0$ 까지 측정하였다. 실험 시 노즐을 전면 (0 mm ~ 165 mm), 중간면 (165 mm ~ 330 mm) 및 종단면 (330 mm ~ 500 mm)의 3구획으로 나누었으며 공기 압력과 공기 유량, 측정 거리를 변수로 하여 \pm Decay Time, Residual Voltage, \pm Peak Voltage, \pm Ion Current를 단계별로 측정하였다. 이 과정에서 그림8.과 같이 다양한 모습으로 구멍의 구조를 바꾸어 실험 하였으며, 또한 단일 전극을 사용하여 가능한 최대의 한계를 찾아내기 위해 노즐의 길이를 500[mm]에서부터 1000[mm]까지 변화시켜 실험을 진행하였다.

이온 전류가 전하 감쇄시간에 미치는 영향을 정량적으로 판단하기 위하여 모든 실험을 통해 얻어진 데이터를 통하여 이온 전류와 전하감쇄시간 사이의 특성에 대한 분석을 실시 하였다.

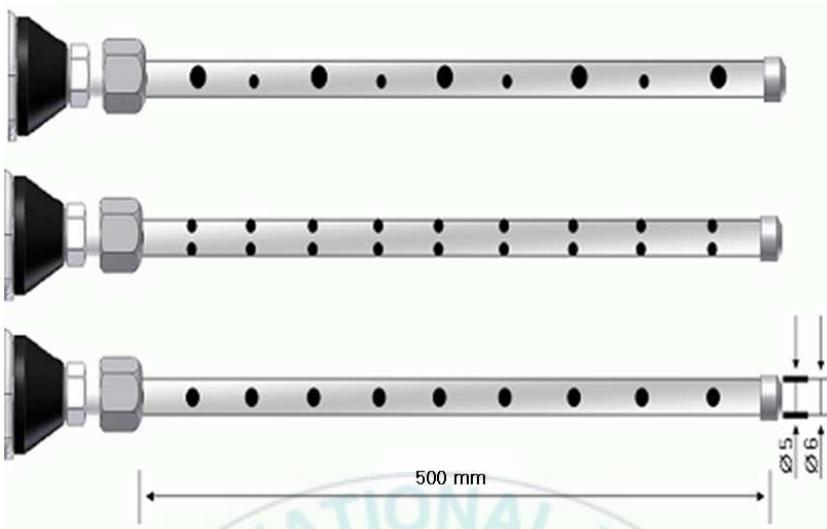


그림8. 이온확산 노즐

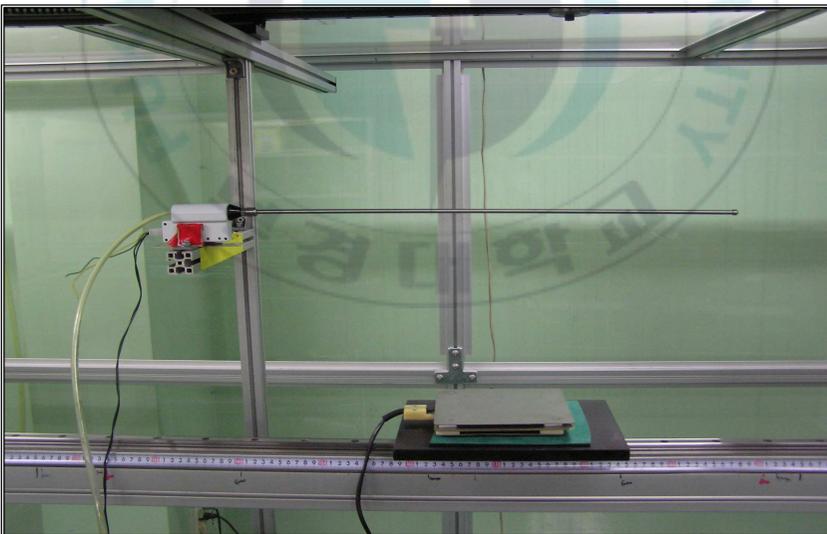


사진6. 압전세라믹소자 제전기를 이용한
이온화 특성 실험 장면

4. 실험 결과 및 고찰

4-1. 에어 방출량에 따른 이온화 특성

그림9. 및 그림10.은 압전세라믹소자를 이용한 고주파 방식의 이온화 장치를 사용하여 $\pm 1000V$ 로 대전된 물체가 $\pm 100V$ 까지의 전하감쇄시간 및 노즐을 통해 분출되는 양 및 음이온 전류를 나타낸 것이다. 노즐은 길이 500mm, 홀 간격 50mm, 직경 $\varnothing 1.2$ 로 제작 되었다.

그림10.에서 알 수 있듯이 500mm 노즐의 끝부분(330mm ~ 500mm)에서는 분출되는 이온 전류의 양이 5[nA]로 앞부분(0.0mm ~ 165mm)과 중간 부분(165mm ~ 330mm)에 비해 상당히 적어지는 것을 확인 할 수 있다. 또한 공기 분출 압력이 커짐에 따라 측정되는 이온 전류의 양 또한 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

그림9.는 공기 분출 압력이 커짐에 따라 이온의 이동도가 증가하여 전하 감쇄 시간이 짧아짐을 확인 할 수 있다. 그림10.에서 노즐의 끝부분(330mm ~ 500mm)으로 갈수록 이온 전류가 적어지는 것과 상관하여, 노즐의 끝부분(330mm ~ 500mm)에서는 전하 감쇄 시간이 노즐의 처음, 중간 부분(0.0mm ~ 330mm)에 비해 평균 4초가량 늦어지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 노즐의 끝부분(330mm ~ 500mm)으로 갈수록 \pm 이온이 원활히 분출되지 못하여 일부는 상호 중화된 것으로 여겨진다.

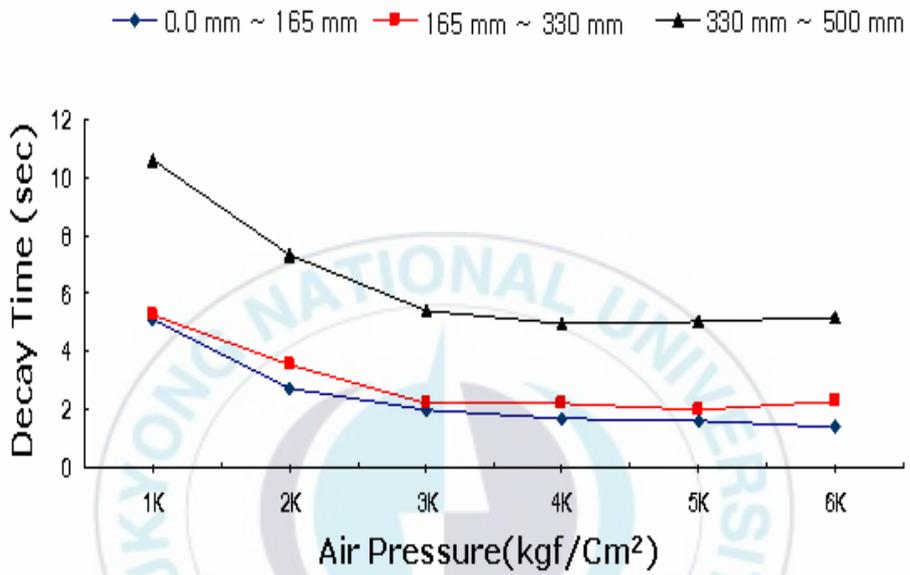


그림9. 에어압력에 따른 전하감쇄시간 곡선

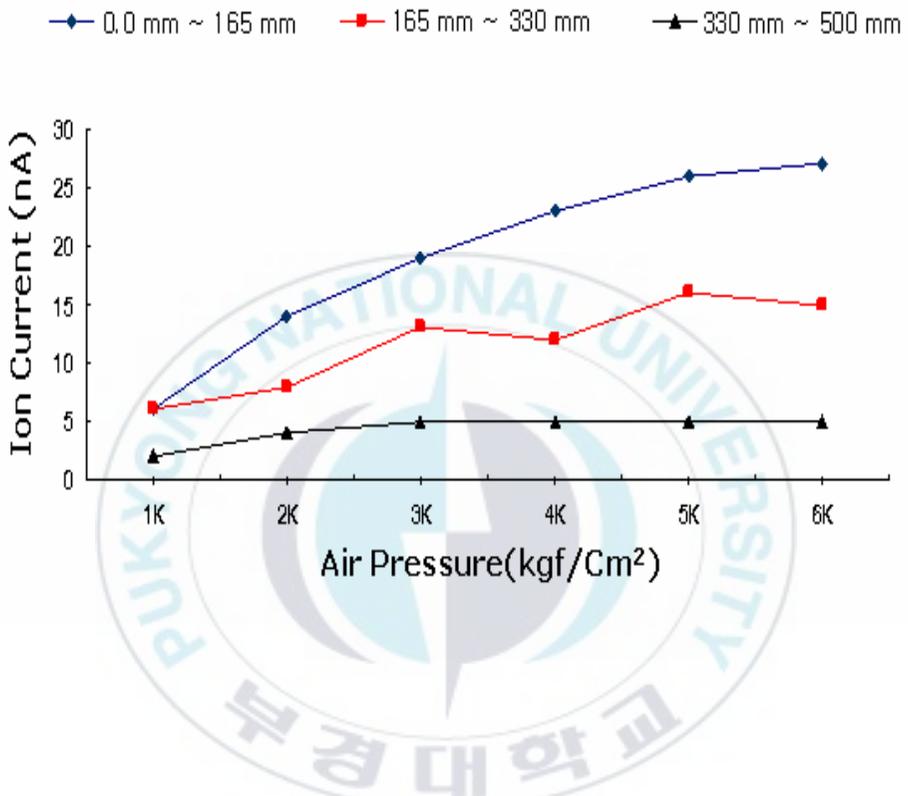


그림10. 에어압력에 따른 이온전류 곡선

그림11. 및 그림12.는 그림9. 및 그림10.에서 500mm 노즐의 끝부분 (330mm ~ 500mm)에서 급격히 전하감쇄특성이 저하하는 것을 고려하여 노즐 홀의 구조를 노즐 번호.1,2,3은 $\varnothing 1.2$ 로 두고 홀 번호.4,5,6은 $\varnothing 1.3$, Hole No.7,8,9는 $\varnothing 1.5$ 로 가공하였다.

그림11.에서 에어 홀을 점차적으로 늘린 결과, 그림12.에 비해 앞과 중간 부분(0.0mm ~ 330mm)은 Air 분출압력의 변화에 따라 전하감쇄 시간이 0.5~3초 가량 늦어짐을 볼 수 있다. 하지만 끝부분(330mm ~ 500mm)의 전하감쇄시간은 그림9.에 비해 1~2초 가량 짧아진 것을 확인 할 수 있다.

그림12.에서는 공기 압력 3kgf/cm^2 에서 비교하였을 때 그림10.에서 앞, 중간, 끝부분(0.0mm ~ 500mm)이 19[nA], 13[nA], 5[nA] 였을때에 비해 15[nA], 11[nA], 8[nA]로 역시 앞, 중간 부분(0.0mm ~ 330mm)은 이온 전류가 4[nA], 2[nA] 씩의 감소를 보였지만 끝부분(330mm ~ 500mm)은 3[nA]의 증가를 보였다.

상기의 그림9. 그림10. 그림11. 그림12를 통해 노즐 전 부분의 대전감쇄 능력을 균등히 하기 위해서는 공기 분출구를 단계적으로 넓혀가야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 하지만 전체적인 이온화 특성이 중간단계에서 맞춰진다는 점은 고려되어야 할 사항이다.

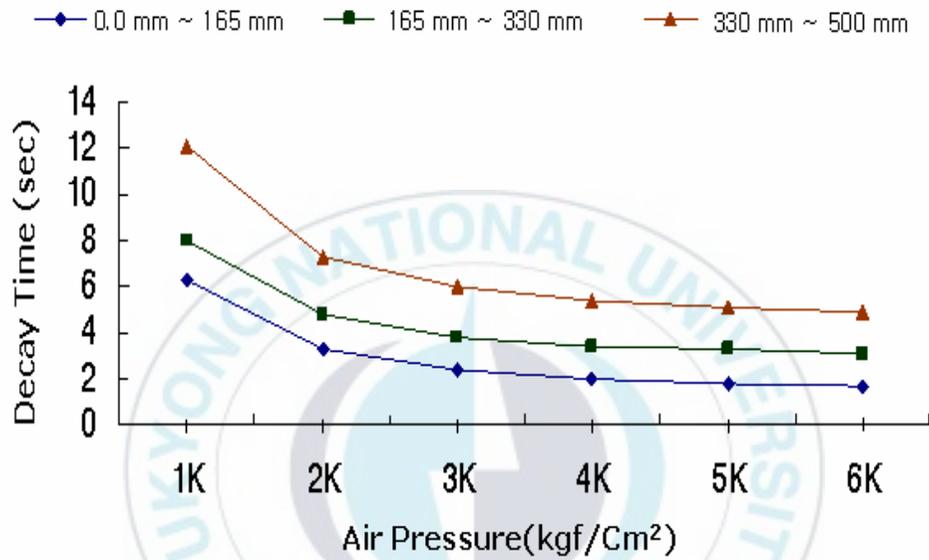


그림 11. 에어압력에 따른 전하감쇄시간 곡선

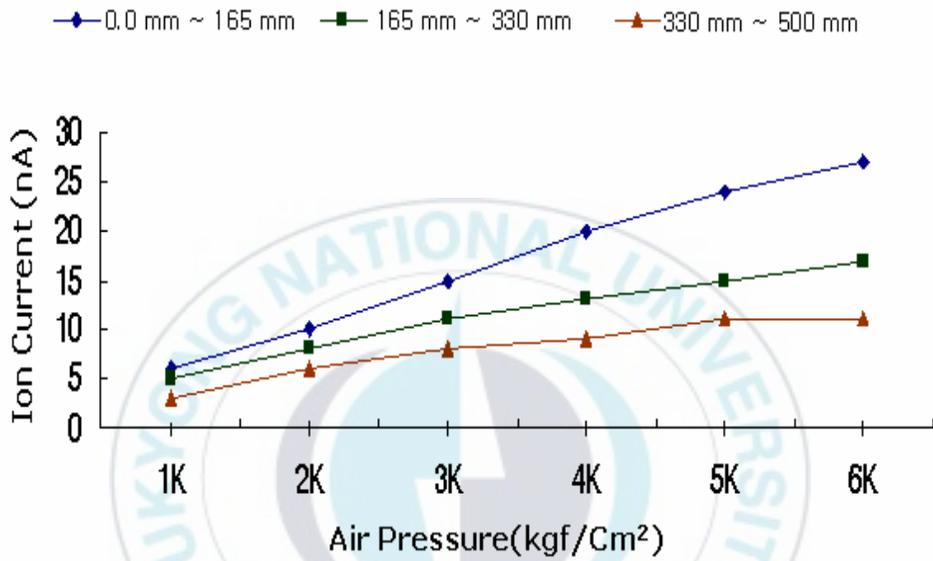


그림12. 에어압력에 따른 이온전류 곡선

그림13. 및 그림14.는 500mm 노즐의 공기 홀의 구조를 홀 간격 25mm로 하여 앞부분(0.0mm ~ 165mm)과 끝부분(330mm ~ 500mm)인 홀 번호 1~5, 12~16은 $\varnothing 1.5$ 로 하고 중간 부분(165mm ~ 330mm)인 홀 번호 6~11은 $\varnothing 1.2$ 로 구성하여 공기 압력의 변화에 따른 전하감쇄시간과 이온 전류를 측정하였다.

그림13.에서 공기 압력 $1\sim 2[\text{kgf/cm}^2]$ 에서는 충분한 공기 유량의 공급이 되지 않아 전하감쇄시간이 급격히 증가하지만 $3[\text{kgf/cm}^2]$ 이상의 실험 조건에서는 노즐의 앞, 중간, 끝의 전체에 있어서 상당히 균등한 전하감쇄 특성을 나타내는 것을 볼 수 있다.

그림14. 역시 그림13.에서와 같이 공기 압력 $1\sim 2[\text{kgf/cm}^2]$ 에서는 충분한 공기 유량의 공급이 되지 않아 $\pm 1\text{on}$ 이 효율적으로 방출되지 못하지만, $3[\text{kgf/cm}^2]$ 이상의 공기 조건에서는 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다.

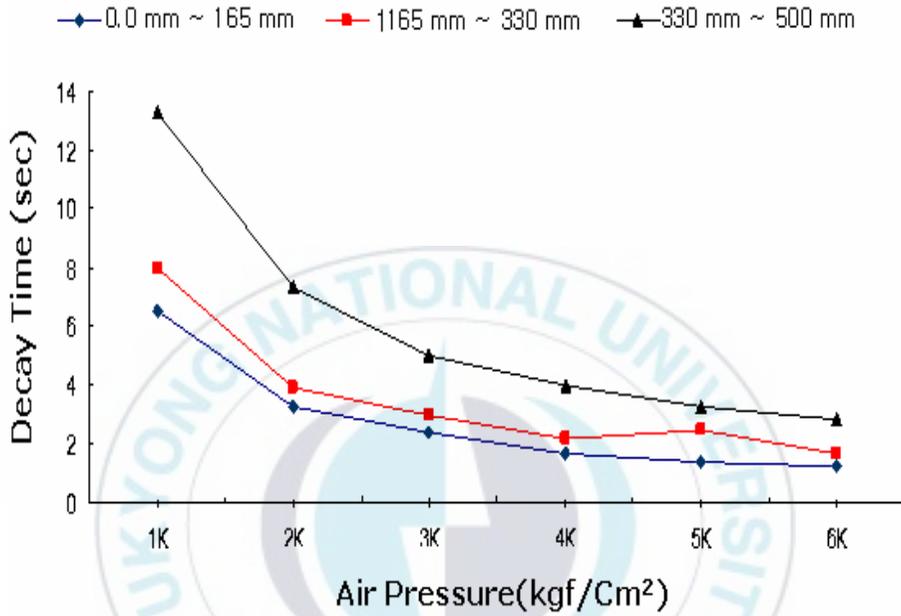


그림 13. 에어압력에 따른 전하감쇄시간 곡선

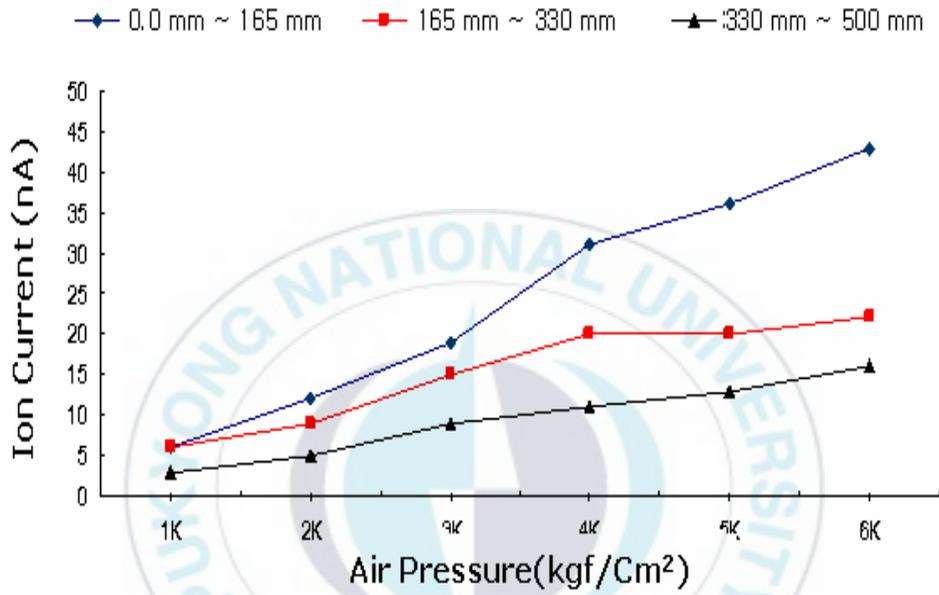


그림14. 에어압력에 따른 이온전류 곡선

그림15. 및 그림16.은 500mm 노즐, 홀 간격 25mm, 홀 직경 $\varnothing 1$ 쌍방향 배치로 구성하여 공기 압력의 변화에 따른 전하감쇄시간과 이온 전류를 측정하였다.

그림15.에서 $1\sim 2[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 의 공기 분출압력에서는 앞부분(0mm ~ 165mm) 8sec, 끝부분(330mm ~ 500mm) 14sec 까지 측정되었으며 $3[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 이상의 조건에서는 비교적 양호한 제진 성능을 보였다.

그림16.에서는 공기 압력의 변화에 따른 이온 전류의 비교적 일정한 변화를 볼 수 있다.

전하 감쇄시간과 이온 전류 발생량은 비교적 양호하였으나 공기구멍의 구조를 단계적으로 넓힌 형태, 또는 끝부분(330mm~500mm) 형태에 비해 끝부분(330mm~500mm)의 제진 성능이 현저히 떨어짐을 볼 수 있다.

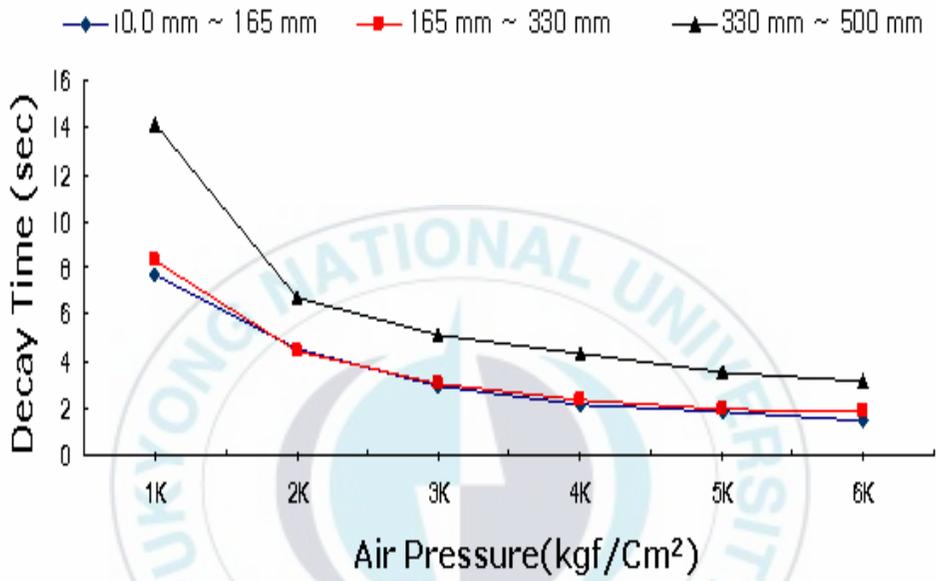


그림 15. 에어압력에 따른 전하감쇄시간 곡선

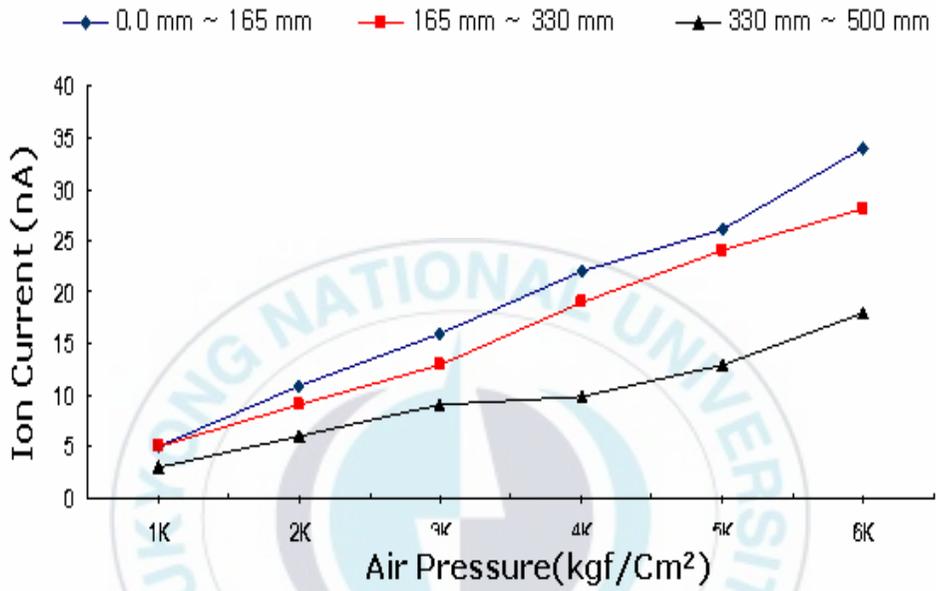


그림 16. 에어압력에 따른 이온전류 곡선

그림17. 및 그림18.은 500mm 노즐, 홀 간격50mm, 홀 직경 $\varnothing 1.5$ 를 양 끝을 막고 노즐 2개를 연결하여 1000mm로 측정하였다. 공기는 $1[\text{kgf}/\text{cm}^2] \sim 6[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 까지 조정하여 노즐의 양 끝에서 불어 넣어주는 방식을 취하였다.

그림17.에서 전하감쇄시간은 앞부분(0.0mm ~ 165mm)과 끝부분(330mm ~ 500mm)은 $1[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 에서 5.81[sec], 4.57[sec]가 측정되었고 $6[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 에서 1.38[sec], 1.09[sec]가 측정되었다. 중간 부분(165mm ~ 330mm)은 $1[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 와 $6[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ 에서 10.55[sec], 3.98[sec]로 측정되었다. 노즐 양 쪽 방향으로 공기를 인입 해주는 방식임으로 앞부분(0.0mm ~ 165mm)과 끝부분(330mm ~ 500mm)은 전하 감쇄시간이 비교적 짧게 나타났으며, 중간 부분(165mm ~ 330mm)은 상대적으로 전하 감쇄시간이 길게 나타났다.

그림18.에서 공기 압력의 변화에 따른 이온 전류의 비교적 일정한 변화를 볼 수 있다. 이 실험 결과 역시 그림17.에서 보여지는 것과 같이 앞부분(0.0mm ~ 165mm)과 끝부분(330mm ~ 500mm)은 발생 이온 량이 에어 분출 압력에 따라 직선적으로 증가하는 것을 볼 수 있으나 중간 부분(165mm ~ 330mm)은 앞부분(0.0mm ~ 165mm)과 끝부분(330mm ~ 500mm)에 비해 상대적으로 적은 량의 발생 이온 량을 측정 할 수 있었다.

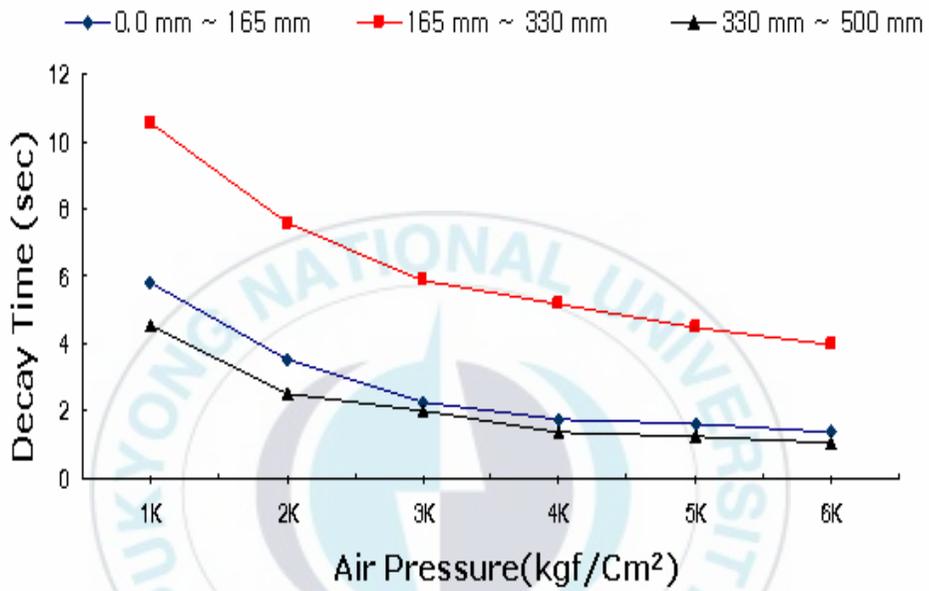


그림17. 에어압력에 따른 전하감쇄시간 곡선

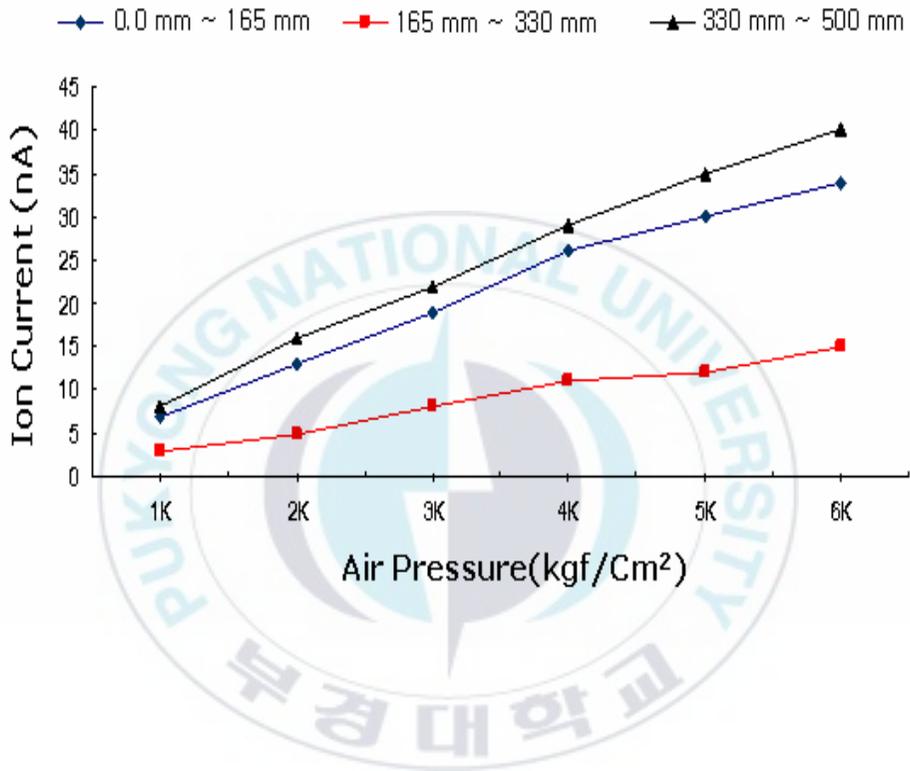


그림18. 에어압력에 따른 이온전류 곡선

4-2. 발생 이온량에 따른 전하감쇄시간 특성

위의 실험에서 알 수 있듯이 이온 전류의 양은 전하 감쇄시간에 직접적인 영향을 미친다. 즉, 이온 전류의 발생 정도에 따라 LCD 유리기판 및 반도체에 발생하는 정전기를 제거하는 능력이 결정되는 것이다.

여기서, 이러한 이온 전류가 전하 감쇄시간에 미치는 영향에 관하여 정량적인 판단이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 CPM(Charge Plate Monitor)에 \pm 이온의 양에 따라 $\pm 1000V$ 를 인가하여 $\pm 100V$ 까지 감쇄하는데에 소요되는 시간을 측정하였다.

우선, CPM의 $\pm 1000V$ 로 대전된 Plate를 $\pm 100V$ 까지 감쇄하는 시간을 $\pm I_{on}$ 양에 따라 계산해 보면, 대전된 플레이트 판에서 $\pm 1000V \sim \pm 100V$ 까지 감쇄하는데 필요한 전하량은

$$Q = CV$$

$$Q = 20pF \times (1000V - 100V) = 1.8 \times 10^{-8}C \dots\dots\dots ①$$

즉, 전자 1개의 에너지가 $1.602 \times 10^{-19}C$ 임으로 1.12×10^{11} 개의 전자가 필요하다. 발생 이온전류가 $2nA$ 일 때 1초당 발생하는 전하량을 계산하면

$$Q(t) = \int_{t_1}^{t_2} i dt = \int_0^1 i dt$$

$$= [i \cdot t]_0^1 = 2\text{nC} = 2.0 \times 10^{-9}\text{C} \dots\dots\dots\text{②}$$

위의 ①에서 대전판의 전압을 1000V에서 100V까지 낮추기 위해 필요한 전하량이 $1.8 \times 10^{-8}\text{C}$ 임으로 ①÷②를 하면 9초의 감쇄시간을 구할 수 있다. 발생 이온전류가 1nA일 때 1초당 발생하는 전하량을 계산하면

$$Q(t) = \int_{t_1}^{t_2} i dt = \int_0^1 i dt$$

$$= [i \cdot t]_0^1 = 1\text{nC} = 1.0 \times 10^{-9}\text{C} \dots\dots\dots\text{③}$$

위와 같은 방법으로 계산한 결과 18초의 이론 감쇄시간을 얻을 수 있었다. 실제 실험 결과에서 이온 전류 2[nA]에서의 전하감쇄시간이 9.51[sec] ~ 12.03[sec]이고 1[nA]에서 19.67[sec] ~ 30.94[nA} 볼 때 이론 값 보다 조금 더 걸림을 알 수 있다. 이는 발생 이온의 일부가 공기 중에서 중화 소멸 되거나 제3물질과의 결합 등에 의한다고 생각할 수 있다. 표3. 및 그림19.에는 이온전류에 따른 전하 감쇄시간의 특성을 나타내었다.

표3. 이온전류에 따른 전하감쇄시간 특성 비교

nA	이론값(sec)	실측값(sec)
1	18	20.35
2	9	10.61
3	6	8.83
4	4.5	7.31
5	3.6	4.96
6	3	5.08
7	2.57	4.57
8	2.25	3.57
9	2	2.36
10	1.8	2.21
11	1.64	2.26
12	1.5	2.24
13	1.38	2.22
14	1.29	2.71
15	1.2	2.3
16	1.13	2
17	1.06	1.95
18	1	1.89
19	0.95	1.99
20	0.9	1.92
21	0.86	1.9
22	0.82	1.87
23	0.78	1.7
24	0.75	1.76
25	0.72	1.71
26	0.69	1.6
27	0.67	1.43

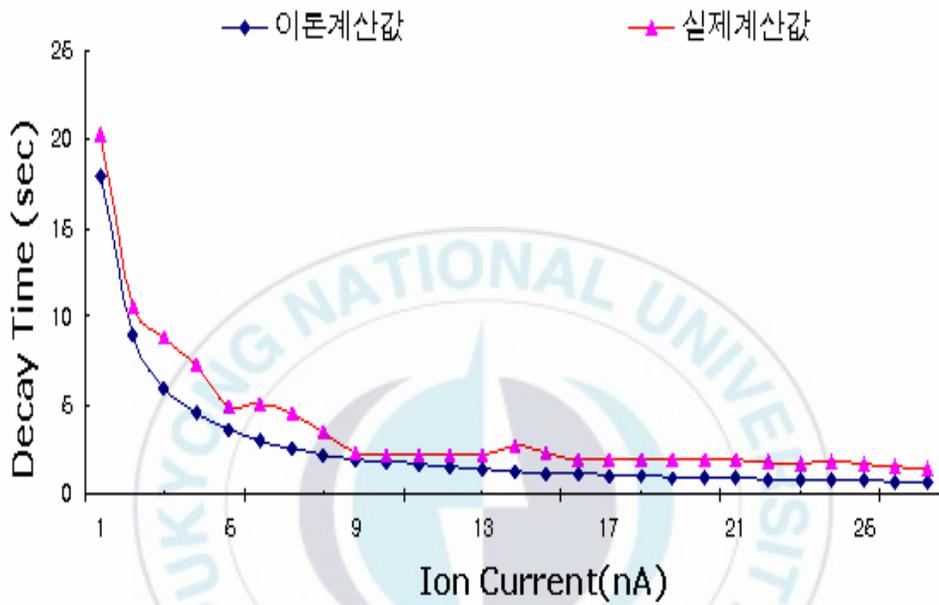


그림19. 이온전류에 따른 전하감쇄시간 비교 곡선

5. 결론

압전세라믹소자를 이용한 고주파 방식의 이온화 장치를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 공기 분출 압력의 증가에 따라 전하감쇄시간은 짧아지며, 원통형 노즐의 이온 확산 능력은 '1mm ~ 165mm > 165mm ~ 330mm > 330mm ~ 500mm'의 순서로 측정되었다.

2) 노즐의 전 부분을 통한 균일한 이온 확산을 유도하기 위해서 노즐 공기 구멍의 크기를 끝부분으로 갈수록 점차적으로 확장하여야 한다는 결론을 얻을 수 있었다.

3) 이온전류와 전하감쇄시간의 특성은 이온 전류의 양에 의해 결정되며 그 상관관계는 지수함수의 특성을 가진다.

4) 전하 감쇄시간을 5[sec] 이내로 하기 위해서는 이온전류의 실제 측정값을 7[nA] 이상으로 유지하여야 하며, 고속 제전을 위해서는 17[nA] 이상을 유지하여야 한다.

5) 이온 전류에 의한 전하감쇄시간 특성은 이론 계산 값보다 실제 측정 시 약 1 ~ 2[sec] 높게 나타났으며, 이는 발생이온의 일부가 이온 확산 시에 공기 중에서 중화 소멸되거나 제 3 물질과의 결합 등에 의한다고 생각되어진다.



참고문헌

- (1) B.Y.H.Liu, B.Fardi and K.H.Ahn ; Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES, May, p. 461, (1987)
- (2) 日本電子部品信頼性センター便 : イオナイザーの規格に関する動向調査研究報告書, R-5-ES-02 (1994)
- (3) higuchl, ; FPD製造において静電氣の利用と対策- 静電氣を利用した薄板ガラスの取り扱い, Clean technology(N272), pp 8~12, (2004)
- (4) Hitoshi ; LCD 제조에 의한 정전기대책, Clean technology (N272), pp 26~32, (2004)
- (5) A. H. Meitzler, H. M. B'ryan and H. F. Tiersten ; IEEE Trans Sonics and ultrasonics, SU-20, 233, (1973)
- (6) Murray, Vaughn Gross, ; Ozone and small Particle Production by Steadystate DC Hood Ionization, EOS/ESD symposium Proceeding (1989)
- (7) 阪田 ; 次世代クリーンルームの静電氣対策, RCJ 第2回 EOS / ESD シンポジウム予告集 (1992)
- (8) P.Bossard, Technologies, Inc., and T.Huffman and G.Nichols, Motorola,Inc. ; Room Ionization:Can it Significantly Reduce Particle Contamination?, 6.1, (1987)
- (9) 第10 ファインプロセステクノロジー・ジャパン 専門技術セミナーテキ

スト山本；トータル歩留まり管理技術の紹介および提案

(10) 江見 準；'88 クリーンテクノロジーシンポジウム、p.3-11, (1998)

(11) 이 동훈；電氣安全工學, 부경대학교출판부, pp 197-220 (1990)

(12) 朴守德；自己放電式除電器에 의한 帶電物體의 除電 및 放電特性, 부경대학교, 대학원 논문집 pp7-8 (1995)

(13) ESD Asso.；Standard for Protection of Electrostatic

Discharge Susceptible Items - Ionization, EOS/ESD

(14) ESD Association；for the Protection of Electrostatic Discharge Susceptible Items - Selection and Acceptance of Air Ionizers, ESD-ADV3.2-(1995)

(15) 이덕출, 이동훈, 정재희, 변종산, Y. Tabata；靜電氣의 基礎와 障·災害防止, 웅보출판사, pp90 (1994)

(16) 韓鳳熙；X線回折의 基礎, 동명사, pp55~57 (1983)

(17) B. Jaffe, W. R. Cook Jr and H. Jaffe；Piezoetric Ceramics, Academic Press., 30, (1971)

*A Study for Electrostatic Eliminating
Capability through the ion transportation
tube using Piezo element.*

Ki-Hyun, Jo

*Division of Safety Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

From the experiment using by high frequency corona discharged ionizer with the piezo , the following results were obtained ;

1. The higher the pressure of inlet air supplied into the ionizer is , the faster the decay time of static charge is . The electrostatic eliminating capability at the three parts on the ion transportation tube was ranked sequentially with 0 mm ~ 165 mm > 165 mm ~ 330 mm > 330 mm ~ 500 mm .

2. To get the ion quantity from the air nozzle on the tube , the hole diameter of nozzle should be enlarged gradually more and more.
3. The relative characteristic between the ion current and the electric charge decay time was set on the ion current , the relative equation was based on an exponential function.
4. The characteristic of static charge decay time of the measured to the ion current was 1 ~ 2 [sec] higher than the time of the calculated. The reason was that the generated ions were recombined with the other molecules and atoms.

