



工學博士 學位論文

# 코로나방전과 연X선을 이용한 정전기제거장치의 특성에 관한 연구



權承烈

工學博士 學位論文

# 코로나방전과 연X선을 이용한 정전기제거장치의 특성에 관한 연구



安全工學科

權 承 烈

# 權承烈의 工學博士 學位論文을 認准함

2010年 2月



1. 서 론
1. 1 연구의 필요성
1. 2 연구의 목적
2. 본 론
2. 1 연구 동향
2. 2 이론적 고찰
2. 2. 1 전리 현상
2. 2. 2 재결합
2. 2. 3 코로나방전
2. 3 정전기제거장치의 종류
2. 3. 1 코로나방전식17
2. 3. 2 연X선(soft X-ray) 조사식21
3. 실험 장치 및 방법 ~~~~~ 26
3. 1 30 Hz 펄스교류 코로나방전식
3. 2 압전소자를 이용한 코로나방전식
3. 3 연X선 조사식
3. 4 기류방출형 연X선 조사식
4. 결과 및 고찰

1 1 1	저하와하시가	벼히 트서		Q
4. 1. 1	깐이면퍼지신	24 7 0	J	J

4.	1.	2	이온전류 변화 특성 …		45
4.	1.	3	잔류정전전압 변화 특	성	50
4.	1.	4	방전전극에 부착된 미	세먼지 촬영5	55

4. 2 압전소자를 이용한 코로나방전식
4. 2. 1 전하완화시간 변화 특성
4. 2. 2 이온전류 변화 특성
4. 2. 3 잔류정전전압 변화 특성
4. 2. 4 방전전극에 부착된 미세먼지 촬영

4. 3 연X선 조사식	·· 73
4. 3. 1 전하완화시간 변화 특성	·· 73
4. 3. 2 이온전류 변화 특성	·· 76
4. 3. 3 잔류정전전압 변화 특성	·· 78
S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	
4. 4 기류방출형 연X선 조사식	·· 80
4. 4. 1 전하완화시간 변화 특성	·· 80
4. 4. 2 이온전류 변화 특성	·· 84
4. 4. 3 잔류정전전압 변화 특성	88

참고문헌	 96
Abstract	 100

# Table List

Table	1 Comparison of soft X-ray and hard X-ray	21
Table	2 Comparison characteristics of various ionizer	25
Table 3	3 Comparison table of charge decay time as a function of the	
	time elapsed ······	4
Table 4	4 Comparison table of charge decay time as a function of the	
	time elapsed	31



# Figure List

elapse of weeks(compressed air : 0.1 MPa). -----47

- Fig. 15 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa). ------48

- Fig. 20 The change characteristics of ion balance as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa). -----53

- Fig. 30 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.3 MPa). -----64

- Fig. 39 Photograph of particles deposited on discharge electrode (from 24th weeks to 39th weeks, compressed air : 0.3 MPa). .....72

- Fig. 58 Normal condition period of 4 types electrostatic eliminator. ........92

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 필요성

정전기는 전하의 공간적 이동이 적고, 이에 의한 자계의 효과가 전계에 비 해 무시할 수 있을 만큼 적은 전기라고 정의할 수 있다. 정전기 발생의 역사 는 고대 그리스의 타레스(Thales)가 호박을 모피에 마찰하였을 때 작은 먼지 등을 흡인하거나 반발시키는 힘이 발생하는 사실을 발견한 것을 그 기원으로 하고 있다. 그 이후에 정전기에 대한 연구가 거듭되면서 정전기 현상의 원인 이 규명되었으며, 산업사회의 고도화로 각종 석유화학공업 및 전자공업 등이 발달하면서 정전기는 하나의 장·재해 발생 원인으로서 그 심각성이 대두되고 있다.<sup>1)</sup>

특히 IT 산업을 선도하고 있는 분야인 FPD(flat panel dispaly) 및 반도체 산업의 경우 정전기 방전 및 정전기 역학현상에 의해 액정패널의 회로파괴 및 미세먼지의 흡착을 일으켜 생산수울 및 품질저하에 막대한 영향을 미치고 있 다.<sup>2,3)</sup> 이와 같이 산업전반에 있어서 중요한 문제점으로 지적되고 있는 정전기 를 해결하기 위해 도체의 경우는 접지를 실시하고 있으며, 부도체의 경우는 접지에 의해 정전기제거가 불가능하기 때문에 반대극성의 공기이온을 공급하 여 피대전물체의 표면을 중화하여 정전기를 제거하는 방법을 사용하고 있

- 1 -

다.<sup>4,5)</sup> 현재 주로 사용되고 있는 정전기제거장치로는 코로나방전을 이용한 이 온바(ion bar) 및 이온 브로어(ion blower) 등이 있다. 이는 코로나방전에 의해 이온을 생성시키고 이온화된 공기를 압축공기 및 송풍기를 사용하여 공기를 강제 대류시키는 방식이다. 이러한 코로나방전과정 중에 방전전극의 선단에서는 spattering 현상이 발생하며, 방전전극의 끝부분으로부터 0.01 血 이하의 금속 미립자가 1 ft<sup>3</sup> 당 수만개가 발생하여 압축공기 및 송풍기에 의한 강제 대류에 의 해 방전전극으로부터 떨어져 나가서 액정패널 표면에 부착되어 품질저하의 문제 를 일으킨다.<sup>6,7)</sup> 또한, 코로나방전에 의해 발생한 오존은 부식을 촉진하는 역할 을 하며, 생성된 ⊕ 이온과 ⊖ 이온은 사용 시간이 경과함에 따라 변하여 수시로 이온밸런스를 조정하여야 하는 불편함이 있다.<sup>8~11)</sup> 이에 대한 대책으로 연X선 (soft X-ray)의 공기전리 작용을 이용하여 공기를 이온화해서 피대전물체의 정 전기를 중화 또는 완화 시키는 방법이 있다.<sup>12,13)</sup> 연X선 조사식은 전혀 미세먼지 를 발생하지 않고 공기를 대류시킬 필요도 없기 때문에 FPD 및 반도체 제조공정 의 정전기제거에 적합하다. 연X선 조사식은 투과형 램프를 사용하기 때문에 연X 선의 방사각(140°)이 넓어서 큰 면적의 정전기제거에 유리한 장점이 있으나, 연X 선이 인체에 유해하기 때문에 반드시 차폐장치를 설치하여야 하는 단점이 있다. 따라서 현재 사용되어지고 있는 정전기제거장치의 수명과 성능 등에 관한 연구 가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

1. 2 연구의 목적

FPD 및 반도체 제조공정에 사용하는 효과적인 성능을 갖는 정전기제거장 치를 개발하기 위하여 다음과 같이 연구를 진행하였다.

- 30 Hz 펄스교류 코로나방전식 제거장치 및 압전소자를 이용한 코로나방전
   식 제거장치의 경년 변화에 따른 전하완화시간 및 잔류정전전압의 변화에 관한 연구
- 2) 30 Hz 펄스교류 및 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치의 경년 변 화에 따라서 방전전극의 표면에 부착된 미세먼지의 상태를 확인하기 위하 여 표면을 촬영하여 방전전극의 세정주기 및 교체주기의 제시
- 3) 연X선 조사식 및 기류방출형 연X선 조사식의 경년 변화에 따른 전하완화 시간 및 잔류정전전압의 변화에 관한 연구
- 4) 30 Hz 펄스교류 코로나방전식 제거장치, 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치, 연X선 조사식 및 기류방출형 연X선 조사식의 특성 연구 본 연구는 FPD 및 반도체산업에서 사용되고 있는 정전기제거장치를 보다 체 계적으로 관리할 수 있도록 하기 위한 설치 규정을 제정하는 자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 연구 동향

코로나방전에 대한 연구 동향은 공기중의 침-평판 전극간의 ⊕ 또는 ⊖ 코 로나 펄스에 의한 특성<sup>14~17)</sup>, 코로나방전에 미치는 온도의 영향<sup>18)</sup>, 펄스코로나 방전을 이용한 봉형 실린더 전극간의 오존발생 특성에 관한 연구<sup>19)</sup>, 코로나방 전특성에 미치는 운전변수의 영향<sup>20~23)</sup> 등과 같이 전기 환경적인 연구가 대부 분 이다.

최근 코로나방전을 이용한 정전기제거장치에 대한 연구는 정전기제거장치에 의한 공기전리의 기초연구나 먼지제거와 같이 정전기제거의 효과<sup>24)</sup>보다는 정

전기제거장치의 관리측면에 중점을 둔 연구가 주로 진행 되었다. 공기중 침-평판전극간의 코로나방전 제어연구로서는 코로나방전 활성도, 코 로나 개시전압 및 절연파괴전압을 조절하기 위하여 침-평판전극간의 방전침 선단부위에 원통형 제 3전극을 설치하여 방전특성을 연구하였다.<sup>25)</sup> 이와 같은 전극 구조에서의 등전위 분포를 유한요소법으로 검토했으며<sup>26)</sup>, 제 3전극의 유 무에 따른 방전 특성을 비교 검토 하였다.<sup>27)</sup> 제 3전극에 인가할 ⊕ 및 ⊖ 바 이어스전압의 최대값을 결정하기 위하여 평판전극을 접지한 상태에서 침과 원 통형 제 3전극간의 직류 전류-전압 특성을 조사하였다. 바이어스 전압의 최대

- 4 -

값 이하의 전압을 제 3전극에 인가하여, 침-평판전극간의 주 방전에 미치는 바이어스전압의 영향을 검토 하였다. 이와 같이 제 3전극을 접지하고 침 전극 의 높이를 조절하면 제 3전극의 침전단에서 방전전계에 미치는 영향에 의해 침 선단의 코로나 개시전압을 크게 증가시키거나 조절할 수 있음을 알 수 있 었다. 제 3전극에 ⊕의 바이어스전압이 인가되는 침-평판 전극간의 ⊖ 방전의 경우, 침-평판전극 간에 인가되는 직류전압의 증가에 따라 압류에서 글로우 코로나를 거치지 않고 이상코로나(abnormal corona)로 천이되어 바로 절연파 피로 진전되었다. 그리고 제 3전극에 인가되는 바이어스전극의 크기와 극성을 변화시킴으로서 코로나 개시전압과 코로나방전의 활성도(corona discharge activity)조절 및 방전의 발생과 소멸을 제어 할 수 있었다.<sup>28)</sup>

코로나방전을 이용한 이온풍의 특성분석 및 대류 열전달 향상에 관한 연구 로서는 방전 전극구조 및 실험변수를 통해 이온풍이 최대로 발생되는 최적의 조건을 도출하였다.<sup>29,30)</sup>

ot u

#### 2. 2 이론적 고찰

## 2. 2. 1 전리 현상

양자역학에 의하면 모든 전자는 고유한 에너지준위(energy level)값을 갖 고 있다.<sup>31)</sup> 원자 또는 분자내의 전자가 외부에서 에너지를 얻어 높은 에너 지준위로 바뀌는 것을 여기라 하고, 이에 필요한 에너지 값을 여기전압 (excitation potential)이라고 한다.

여기 전압보다 큰 에너지가 외부로부터 주어진다면 기저상태에 있는 핵외 전자가 원자핵의 속박으로부터 이탈해서 원자 또는 분자 밖으로 나오게 된 다. 이와 같이 핵외전자가 원자 또는 분자로부터 분리되어 자유전자가 되는 것을 전리라 한다. 원자 또는 분자를 전리시키는데 필요한 최소에너지를 전 리전압(ionization potential)이라 한다.

#### 1) 충돌전리

기체원자와 분자가 전자 또는 이온 등의 하전입자와 충돌하거나 중성분자 끼리 충돌해서 전리전압 이상의 에너지를 얻어 전리되는 것을 충돌전리라고 한다.<sup>31)</sup>

전자를 전계에 의해 가속해서 기체중을 이동할 때, 전자의 질량을  $m_e$ , 전 자의 이동속도를  $v_e$ 라고 하면, 전자의 운동에너지 W는 다음 식 (2. 1)으로 나타낼 수 있다.

- 6 -

이 값이 기체의 전리전압(eVi) 보다 크면 다음 식 (2. 2)과 같다.

 $\frac{1}{2}m_e v_e^2 \ge eV_i \quad ..... (2. 2)$ 

그러나 식 (2. 2)의 조건이 만족하더라도 충돌은 반드시 전리를 일으키는 것이 아니고 전리될 수 있는 전리확률로 나타난다. 전자가 1회 충돌할 때에 기체 원자 또는 분자가 전리되는 것을 전리확률(ionization probability)이라 고 한다. 즉, 전리확률 0.1은 100회의 충돌이 일어날 때 10회의 전리가 일 어나는 것을 의미한다. 충돌전리의 특수한 경우로 패닝효과(Penning's effect)라고 하는 것이 있다. 이것은 2 종류의 기체가 혼합해 있는 경우, 한 쪽 기체가 준안정상태에 있고, 이때 이 기체의 여기전압이 다른 쪽 기체의 전리전압보다도 높은 경우에는 충돌에 의해 다른 쪽 기체를 전리시킬 수 있 다. 이를 표현하면 식 (2. 3) 및 (2. 4)와 같다.

$$\begin{split} & \check{N}e & + & Ar \\ (V_m = 16.62) & (V_i = 15.76) \end{split} \rightarrow Ne & + & Ar^{+} & + & e & \cdots \cdots \cdots (2.3) \\ \end{split}$$

( ~)는 준안정상태를 나타내고, e는 전자가 방출되는 것을 나타낸다.

- 7 -

기체원자 또는 분자가 전리전압 이상의 에너지를 가진 광자를 흡수해서 전리되는 것을 광전리(photo ionization)라 한다. 즉 여기된 전자는 기저상 태로 되돌아갈 때 전자파를 방사하고 광자를 방출하지만, 반대로 어떤 진동 수를 갖는 광자를 원자에 주었을 때 광자에너지가 여기에너지보다 크면 광 자는 원자에 흡수되고 분자는 여기상태가 된다. 즉, 식 (2.5)와 같이 된다.



진공 중에서 광자의 주파수 v와 파장 A와의 관계는 식 (2.8)로 나타낼 수 있다.

 $c = \lambda \nu \quad (2. 8)$ 

식 (2. 8)을 식 (2. 7)에 대입하면, 식 (2. 9)로 나타낼 수 있다.

$$\lambda \leq \frac{hc}{e V_i} \qquad (2.9)$$

c는 진공중의 광속도로서 3×10<sup>8</sup> m/s이고, 이를 대입하면 식 (2.10)으로 된다.

전리전압이 높을수록 광자의 파장은 짧게 된다. 자외선파장의 영역은 4,000 ~ 10 Å 범위로 되어 있기 때문에 기저상태에서 기체가 전리하는데 가시광선으로는 불가능하지만 자외선으로는 가능하다. 또한 준안정준위를 가지는 기체에서는 식 (2. 9) 및 식 (2.10)의 파장보다 약간 긴 파장의 자외 선에 의해 여기 상태를 지나 전리가 발생하는 경우도 있다.<sup>31)</sup>

3) 방사선 및 우주선에 의한 전리
 방사선은 α선 (He<sup>++</sup>), β선 (전자선), γ선, 양자 (H<sup>+</sup>), 중양자 (H<sub>2</sub><sup>+</sup>), 자
 외선, 적외선 및 X선 등으로 되어 있다. α선은 MeV 정도, β 선은 KeV 또

는 MeV 정도의 높은 에너지를 가지며, γ선은 10 ~ 0.001 Å의 파장을 가 지는 높은 에너지의 광자이다. β선은 전계에서 가속된 전자와 마찬가지로

- 9 -

충돌전리를 하지만 에너지가 너무 크므로 최초의 전리확률은 높은 것은 아 니고, 기체 중을 진행할 때 감속하여 전리전압이 상승한다. α선이나 양자, 중양자는 질량이 크고 또한 고속으로 기체중을 직진하면서 전리한다. 우주 선은 높은 에너지의 양자나 중성자이고 우주를 통하여 지표상에 도달한 것 이며 투과력이 크고 기체를 전리한다.<sup>32,33)</sup>

지구상에는 방사선 물질이 존재하고 방사선에 의하여 항상 전리작용이 이루어지고 있으며, 우주선에 의해서도 전리되므로 대기중에는 ⊕ 이온과 ⊖ 이온이 항상 존재하는데, 이를 우존전자라 한다.



#### 2. 2. 2 재결합

⊕ 이온과 ⊖ 이온이 중화해서 각각 중성원자로 되돌아가는 것 또는 ⊕
 이온과 전자가 중화해서 중성원자로 되돌아가서 하전입자가 소멸되는 현상
 을 재결합이라고 한다.<sup>32)</sup>

#### 1) 전자와 ⊕ 이온의 재결합

전자와 ⊕ 이온의 재결합과정은 다음 식 (2.11)로 표현할 수 있다.

 $e + A^+ \rightarrow A + h\nu$  (2.11)

재결합할 때 전자의 여분에너지는 중성원자의 운동에너지로 되는 것이 아 니고 빛을 방출한다. 그 여분에너지는 재결합하기 전에 전자의 운동에너지 와 전리에너지의 합이 되어 다음 식 (2.12)로 나타낼 수 있다.

$$h\nu = \frac{1}{2}m_e v_e^2 + eV_i$$
 (2.12)

전자와 ⊕ 이온이 균일하게 분포하고 있는 전리공간에서 재결합에 의한 전자 또는 ⊕ 이온의 시간적 감소율  $\frac{dn_e}{dt}$ 와  $\frac{dn_+}{dt}$ 는 1 cm<sup>3</sup>당 n<sub>e</sub>, n+에 비례 하므로 다음 식 (2.13)으로 표현할 수 있다.

$$-\frac{dn_e}{dt} = -\frac{dn_+}{dt} = \sigma_e n_e n_+ \qquad (2.13)$$

여기서, o<sub>e</sub>를 전자-이온 재결합계수(recombination coefficient of ion and electron)라고 한다.

일반적으로 전자와 ⊕ 이온은 질량의 차이가 상당히 크므로 같은 온도에 서도 속도의 차는 상당히 크다. 그러므로 전자와 ⊕ 이온의 접촉시간이 짧 고 재결합의 확률이 적다.

2) ⊕ 이온과 ⊖ 이온의 재결합  
⊕ 이온과 ⊖ 이온의 재결합과정은 식 (2.14)로 표현 할 수 있다.  

$$A^- + B^+ = A + B$$
 (2.14)  
이는 전자부착에 의하여 ⊖ 이온을 쉽게 만드는 O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> 등의 기체  
에서 주로 일어난다. ⊕ 이온의 밀도를 n+, ⊖ 이온의 밀도를 n-라고 하고,  
단위 시간 및 단위체적당 소설되는 전하의 수는 각각 그 밀도의 곱에 비례  
하므로 다음 식 (2.15)와 같이 된다.

 $-\frac{dn_{+}}{dt} = -\frac{dn_{-}}{dt} = \sigma_{i}n_{+}n_{-} \quad (2.15)$ 

여기서, <sub>Gi</sub>를 이온-이온 재결합계수(coefficient of ion-ion recombination) 라고 한다.

- 12 -

○i는 중성기체의 온도, 기압 및 재결합하는 입자의 속도에 따라 변한다.
그런데 실제로는 A<sup>-</sup>, B<sup>+</sup>가 충돌하여 재결합하는 확률은 극히 적고 제 3의
입자의 충돌에 의한 재결합의 확률이 크다. 즉 다음 식 (2.16)으로 나타낼
수 있다.

 $A^{-} + B^{+} + C \rightarrow AB + C +$ *ĉ* $\arrow S \alphi \overline{A} \cdots (2.16)$ 

이때 방사되는 에너지는 입자의 운동에너지가 된다. 이 과정은 기압이 0.1~1,000 torr의 범위에서 일어난다. 만약 oe ≪ oi이면 전자와 ⊕ 이온의 재결합은 상당히 일어나기 어렵다는 것을 알 수가 있다. 따라서 ⊖ 기체를 포함하지 않는 전리기체 중에서는 방전공간 내에 있어서의 재결합, 즉 체적 재결합(volume recombination)은 일어나지 않고 확산에 의하여 기벽 등에 부착한 전자가 ⊕ 이온과 결합하는 이른바 표면재결합(surface recombination)이 발생한다.

ot u

평행평판 전극의 갭(gap)과 같이 정전계가 평등한 경우에는 자속방전의 조건이 성립하면 불꽃방전이 발생하였다. 그러나 갭사이의 정전계가 불평등 하여 국부적으로 전계가 강한 곳이 생기면 방전의 개시는 평등전계의 경우 와 다르다. 자속방전의 조절이 성립해도 곧 바로 불꽃방전으로 되지 않는다. Fig. 1은 전형적인 불평등전계를 나타낸 것이다. 즉, 전극의 크기에 비해서 갭의 길이가 현저히 긴 경우를 의미한다.

특히 Fig. 1에 의하면 침-평판갭(needle-to-plane gap)은 불평등전계의 전형적인 것이다.<sup>31)</sup> Fig. 1은 대기압 공기중에서 직류전압을 인가한 경우의 코로나방전의 형태로서 극성효과(polarity effect)가 현저하게 나타난다. Fig. 1의 (a)는 정극성 코로나이고, (b)는 부극성 코로나를 나타낸다. Fig. 1 에 의하면 암류(dark current)로부터 불꽃방전으로 도달하는 사이에 여러 종류의 자속방전이 안정적으로 존재한다. 이러한 방전을 코로나방전 또는 부분방전이라고 한다. 코로나방전은 자속방전이지만, 기체의 절연파괴는 침 선단과 같이 전계가 집중한 곳에서만 국부적으로 발생한다. 이러한 경우의 자속방전의 조건은 다음 식(2.17)로 나타낼 수 있다.

 $\int_{a}^{b} (\alpha - \eta) dx = k \quad ..... (2.17)$ 여기서  $\alpha$ 는 전자의 충돌 전리계수이고,  $\eta$ 는 전자의 부착계수이다. 또한 적분의 하한a는 전극표면의 위치이고, 상한b는 (α-η) = 0으로 되는 점이 다. k는 실험조건에 의해서 정해지지만 대기중에서는 대략 16 ~ 20의 범위 의 값이다. 식(2.17)은 Townsend의 조건식을 불평등 전계로 확대한 것이 다. Townsend의 불꽃방전조건을 나타내면 다음 식(2.18)로 나타낼 수 있 다.

여기서, *l*은 갭의 길이이고, γ는 이온이 전극에 충돌해서 2차 전자를 방출 하는 경우의 계수이다. 식(2.18)의 우변은 Paschen의 법칙에 의해서 상수로 취할 수 있으므로 다음 식(2.19)와 같이 표현할 수 있다.

 $\alpha l = K \tag{2.19}$ 

이 식을 Schumann의 조건이라고 한다. 식(2.19)는 불평등전계의 경우로 서 α가 장소에 따라 다르기 때문에, *l* 대신에 적분형식을 이용하여 다음 식 (2.20)과 같이 표현할 수 있다.

$$\int_{0}^{x} \alpha dx = K' \tag{2.20}$$

식(2.20)에서 전자부착을 고려하면 식(2.17)로 된다. 이는 공기, SF<sub>6</sub>을 함유 한 각종 기체의 파괴전압을 구하는데 유익하게 사용되고 있다.



Fig. 1 Corona discharge in the needle to plane electrode.

#### 2.3 정전기제거장치의 종류

#### 2. 3. 1 코로나방전식

코로나방전식 제거장치는 고전압을 인가한 끝이 날카로운 방전전극과 접지 전극에서 전리작용을 일으켜 이온전류를 만들어 내는 것이다. 전극주위의 공 기는 전리작용에 의해 음의 전압을 걸면 ⊖ 이온이 생성되고, 반대로 양의 전 압을 걸면 ⊕ 이온이 생성된다. 정전기제거장치는 공기 중에 포함되어 있는 질소성분의 분자전기량에 의해 N2<sup>+</sup> 또는 N2<sup>-</sup> 등으로 일시적으로 변화하여 공 기 중에 양 극성이 동일하게 존재하게 되는 것이다. 공기이온은 그 생성 단계 에서 방전전극의 형상과 예각도 및 방전전극에 걸리는 전압의 크기 및 파형에 의해서 발생 이온량이 변화한다. ⊕ 및 ⊖ 이온의 불균형이 되는 요인은 전극 침의 오염에 의한 것이다. 오염제어 및 그에 따른 유지보수는 정전기제거장치 의 성능 유지를 위하여 중요한 일이 된다.<sup>33,34)</sup>

코로나방전식 제거장치에는 전압인가방식에 따라 크게 5가지의 종류가 있 다. 즉, 1) 저주파 교류방식, 2) 직류방식, 3) 직류펄스방식, 4) 저주파 교류 펄스방식 및 5) 압전소자를 이용한 방식이 있다.

1) 저주파 교류(AC)방식

정전기제거장치의 기본이 되고 있는 방식으로 승압트랜스와 이온을 생성하는 방전전극, 발생한 이온을 효과적으로 대전물체에 확산시키는 송풍기 또는

- 17 -

공기노즐로 구성되어져 있다.

저주파 교류형 정전기제거장치는 ⊕ 및 ⊖ 이온의 발생이 교류 전압의 위상 에 따라 방전전극에서 교대로 생성된다. 출력이온의 극성은 1 초 동안에 50 회 또는 60 회로 주파수와 같은 극성변환을 하므로 이온생성의 시간이 비교 적 짧고 출력량이 상대적으로 적어지는 경우가 있다. 이를 위해 방전전극의 수를 늘이거나 전압의 크기를 높여야하는 문제가 있고, 극성의 변화가 빠르기 때문에 대전물체 표면정전기가 아주 작은 경우에는 효과가 있으나, 이온출력 조절을 자유롭게 할 수 없다는 것이 문제이다.

2) 직류(DC)방식

적류방식은 교류형 정전기제거장치에서 문제점으로 제시된 이온재결합의 문 제를 해결하기 위하여 이온 확산용 송풍기 또는 압축공기 노즐이 없으면 많은 이온을 대전물체로 보낼 수 없다는 단점을 보완한 것이다. ⊕ 이온 출력 방전 전극과 ⊖ 이온 출력 방전전극이 따로 있고, 각각의 방전전극에서는 ⊕ 이온 과 ⊖ 이온이 연속적으로 생성되어 제조공정내의 하장기류에 의해 멀리까지 이온을 공급할 수 있다. 그러나 발생된 이온의 양이 필요 이상으로 많아져서 오히려 대전물체의 역대전을 만들 가능성도 있다. 직류방식은 클린룸 등 하강 기류가 완비된 작업장에는 효과적이지만 클린룸 이외의 장소에서는 효과적이 지 못하다. 3) 직류 펄스(DC Pulse) 방식

직류맥류방식이라고도 불리고 있다. 교류방식과의 차이는 2 개의 방전전극 으로 구성되어 주파수조절에 의해 ⊕ 및 ⊖ 로 전환하여 방전전극에 일정한 주기의 전압을 인가하게 된다. 주요한 특징은 교류 방식과 같이 생성된 ⊕ 및 ⊖ 이온의 재결합이 저하하여 이온풍에 의한 이온의 확산을 만들 수 있다. 교 류형 정전기제거장치의 이온발생량과 비교하면 240 배나 높다. 직류펄스방식 에서는 이온의 확산이 용이하도록하기 위해서는 펄스주기를 0.2 ~ 2.75 sec 정도의 간격으로 설정한다.

4) 저주파 교류 펄스(AC Pulse) 방스

⊕ 이온과 ⊖ 이온을 균형적으로 유지시킬 수 있는 직류펄스형의 장점과 원 거리의 정전기를 제거시키는 데 유리한 직류형 정전기제거장치에서의 장점을 혼합한 형태이다. 저주파 교류 펄스형 정전기제거장치는 이온의 양을 증가시 키기 위하여 다수의 전극침을 가지고 있는 교류형과 비슷하며, 주파수는 일반 적으로 0.1 ~ 30 Hz 이다. 저주파 교류 펄스형 정전기제거장치의 특징은 ⊕ 또는 ⊖의 펄스 듀티비를 조절하여 ⊕ 이온과 ⊖ 이온발생 비율을 대전물체에 맞도록 조절할 수 있다. 장거리에서는 직류형 또는 직류펄스형처럼 저주파수 로 이온을 생성하여 정전기제거에 적절하게 변화하고, 단거리에서는 교류형과 같이 고속으로 이온을 생성하여 대전물체의 정전기제거에 유리하도록 할 수 있다. 5) 고주파 교류방식

고주파 교류방식의 정전기제거장치는 압전소자(piezo transformer)를 이용 하고 있다. 압전소자의 양면에 전극을 설치하여 여기에 고주파수의 교류 전계 를 가하면 압전소자의 방향에 의해 정해지는 기계적인 공진과, 압전소자의 어 드미턴스의 절대값은 주파수에 따라 변한다. 고주파 제전 방식은 낮은 입력전 압으로도 높은 출력전압을 발생시킬 수 있으며, 고주파수(약 72 kHz)의 교류 고전압이 방전전극에 인가됨으로 제전 전극의 선단에 먼지 부착이 적고, 이온 생성량도 비교적 높아 적은 수의 방전 침으로도 높은 이온생성 능력을 가질 수 있다. 또한, 이온밸런스를 ±30 V 이내로 유지할 수 있는 장점을 가진 다.<sup>35)</sup>



#### 2. 3. 2 연X선(soft X-ray) 조사식

연X선은 방사선으로서 물질투과성에 따라서 적정하게 구분하면 얇은 공기 층에 의해서도 쉽게 흡수되는 투과성이 낮은 것을 연X선이라 하고, 뢴트겐 등 에 사용하는 투과성이 높은 것을 경X선이라 한다. 연X선의 에너지는 경X선에 비해 수십분의 일 정도로 낮고, 직접 조사에 의한 영향은 훨씬 적다. 연X선과 경X선을 구분하면 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of soft X-ray and hard X-ray

구 분	파 장	에너지	용도
연X선	1 Å ~1000 Å	1~10 keV	분석용
경X선	0.01 Å ~1 Å	10~1000 keV	의료용, 공업용

Fig. 2는 연X선 발생기의 내부구조도를 나타내고 있다. Fig. 2에서 보듯이 연X선은 가속된 전자가 금속 타겟(Be)에 충돌하면 발생되는 것이므로, 연X선 발생기는 전자를 고속으로 가속시키는 고전압발생장치로 구성되어 있다.<sup>36)</sup> ⊕ 극에 인가되는 전압을 가속전압(target voltage)이라고 하면, 충돌할 때의 전 자의 운동에너지 E<sub>k</sub>는 다음의 식 (2.21)과 같이 표시된다.

$$E_k = eV = \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots \qquad (2.21)$$

여기서, e : 전자전하(-1.602×10<sup>-19</sup>C), m : 전자질량(9.109×10<sup>-31</sup>kg) V : 가속전압, v : 전자속도 이다. 전자의 운동에너지는 ⊕ 극과 충돌할 때 대부분 열로 변하고 1 % 이하의 에너지만이 연X선으로 발산한다. 이때 연X선 발생 효율 ε은 다음 식 (2.22)로 표시된다.

 $\varepsilon = 1.1 \times 10^{-9} ZV \quad \dots \qquad (2.22)$ 

여기서, Z : Target 원소의 원자번호 이다.

연X선 조사식은 코로나방전에 의해 이온을 발생시키는 코로나방전식 제거 장치와 달리 대전체 중화에 필요한 이온 및 전자를 대전체 주위의 가스분자 및 원자의 광자흡수에 의하여 이온을 생성하는 방식이다. 특히 연X선 조사식 의 특징은 고농도의 이온 및 전자를 생성할 수 있기 때문에 상당히 단시간 내 에서 정전기제거가 가능하고 또한 잔류정전전압을 거의 0 V까지 유지할 수 있고, 대기압 상태의 불활성가스 분위기 (N<sub>2</sub>, Ar) 중에서도 정전기제거가 가 능하다.

코로나방전식 제거장치에서는 이온의 이송을 위하여 별도의 송풍장치가 필 요하나 연X선 조사식은 무풍상태의 분위기 속에서도 제전할 수 있는 장점을 가지고 있다. 연X선 조사식은 에너지가 높은 빛(파장 1.3Å이하)이기 때문에 산소분자 또는 원자도 신속히 이온화할 수 있기 때문에 오존의 생성은 거의 없어, 산소분자는  $O_2^{t} + e^{t}$ ,  $O^{t} + e^{t}$ 로 전리한다. 공기중에 오존이 생성되면 오존에 의해 반도체웨이퍼의 산화, 플라스틱 물질의 열화, 특히 인체에의 영향

- 22 -

을 미친다. 오존은 산소 라디칼이 가장 생성하기 쉬운 진공자외선(6 ~ 수십 eV)의 조사 시에 많이 발생한다. 코로나방전시에는 이 에너지 영역의 빛의 발 생 및 전자의 생성이 많기 때문에 산소 라디칼이 발생하여 산소분자에 작용하 여 오존이 생성된다. 그러나 연X선의 경우에는 광자에너지가 수백~수천 eV로 높고, 광자를 흡수한 산소원자 또는 분자는 전부 이온화 에너지로 작용하여 오존생성원인 산소 라디칼을 거의 생성하지 않아 오존이 발생하지 않는다. Table 2는 각종 정전기제거장치의 주요 특성을 비교한 것이다.




- 24 -

Methode of Ion generation		Blazing electrode, period of change electrode, lamp life	Environment	Merits	Maintenance of electrode			
Corona discharge	Tungsten electrode Silicon	Yes (metal particles), Every few weeks Yes (Si particles),	Air stream condition in the atmospheric pressure	Low price Si particles	Need (Metal particles) Need			
	electrode Quartz electrode	Every few weeks No blazing, Change between tens week and a year		Semi- permanent	(Si particles) No need			
Photo- irradiation	Ultraviolet rays	No electrode, About 3,000hrs	Available to the inert gas and vacuum with no oxygen	Short decay time and no air steam	No need (Impurity control)			
	Soft X-ray	No electrode, About 8,000hrs	Impossible to use in the low pressure condition	Short decay time and no air steam	No need (Impurity control)			
A A A A A A A A A A A A A A A A A A A								

## Table 2 Comparison characteristics of various ionizer

## 3. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 30 Hz 펄스교류 코로나방전을 이용한 제거장치, 압전소자를 이용한 고주파수 코로나방전식 제거장치, 연X선 조사식 및 기류방출형 연X선 조사식 제거장치에 대한 특성을 분석하였다. 실험은 장기성능을 기준으로 하 였으며, 실험 기간은 각각의 실험 대상물의 최대 유효 제전성능까지 정전기제 거성능이 유효한 범위까지로 정하였다. 실험 장비, 실험 대상물 및 시간의 경 과에 따른 여러 가지 변수를 제어하기 위하여 다음과 같은 실험 조건을 설정 하였다.

1) 측정 거리의 설정

본 연구에서 실험한 모든 정전기제거장치는 수직 방향으로 측정거리를 각각 300, 600 및 900 mm로 정하여 실험을 진행하였다.

G

2) 압축공기의 설정

(1) 0.3 µm 이상의 미세먼지를 98% 포집 가능한 공기 필터를 장착한 압축
 공기를 사용하였다.

10

- (2) 실험에서 압축공기의 압력은 0.1 ~ 0.5 MPa를 적용하였다.
- (3) 유입되는 압축공기의 유량 변동을 제어하기 위해 공기 필터에 유량계를

설치하였으며, 압축공기 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa에 대한 유량을 주차 별 실험시에 동일한 유량을 기준으로 실험 하였다. Fig. 3은 본 연 구에 사용한 압축공기 필터 및 유량계의 모습을 나타낸 것이다.

- 3) 계측장치의 설정
  - (1) 전하완화시간을 측정하기 위하여 CPM(charged plate monitor 156A/1, USA)을 사용하였으며, 최대전압 ±1,000 V로 조정한 후 90 % 완화된 ±100 V까지 완화하는데 소요하는 시간을 측정하여 나타내었다.
  - (2) 이온전류를 측정하기 위하여 측정범위가 1 ~ 2,000 nA인 이온전류 계(ion meter, ICM-2, Japan)를 사용하였으며, 측정되는 이온전류는 약 10 초 동안의 평균값으로 정하였다. Fig. 4는 본 실험에서 사용한 CPM 및 이온전류계를 나타낸 것이다.
- 4) 장기성능 실험의 설정
   본 연구에서 실험한 모든 정전기제거장치는 40 주간으로 설정하였다.
- 5) 측정 환경의 설정
  - (1) Fig. 5는 실험 챔버를 나타낸 것이다. 모든 정전기제거장치의 장기적인 성능 평가를 위하여 동일한 실험 챔버에서 유지시켰으며, 환경 변

수를 제어하기 위하여 챔버내부는 온도조건(20 ~ 30°C), 상대습도(30 ~ 40 %)로 유지시켰다.

(2) 챔버 내부의 청정도를 일정하게 유지하기 위하여 헤파필터(HEPA filter)를 가동시켜 적정 청정도(class 100)를 유지시켰다.









Fig. 4 Charged plate monitor(CPM) & ion meter.



- 31 -

### 3. 1 30 Hz 펄스교류 코로나방전식

본 실험에서 사용한 30 Hz 펄스교류 코로나방전식 제거장치의 성능 특성을 파악하기 위하여 다음과 같이 정전기제거장치를 구성하여 실험하였다.

- 1) 정전기제거장치의 구성
  - (1) 방전전극은 텅스텐(W, 99.99 %) 재질을 사용하였다.
  - (2) 출력전압은 10.5 kV로 설정하였다.
  - (3) 출력전압의 주파수는 30 Hz로 설정하였다.
  - (4) 듀티비(duty ratio)는 이온 밸런스를 ± 30 V 이내로 유지할 수 있도록 설정하였으며 실험종결시 까지 동일 듀티비를 유지시켰다.
- 2) 압축공기의 설정
  압축공기 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa에 대하여 사용 유량을 30, 46,
  62, 78 및 94 ℓ/min로 고정하여 설정하였다.
- 3) 방전전극에 부착된 미세먼지 촬영
   방전전극에 부착된 미세 먼지는 정전기제거성능을 동작시킨 후 9 주
   동안 촬영하였다.

4) 실험 종료의 기준 설정

실험의 종료 시점은 정전기제거장치의 성능에 해당하는 전하완화시간 및 이 온전류의 초기값이 15% 이하로 저하되는 시점으로 정하였다.



### 3. 2 압전소자를 이용한 코로나방전식

본 실험에서 사용된 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치의 성능 특성 을 파악하기 위하여 다음과 같이 정전기제거장치를 구성하여 실험하였다.

- 1) 정전기제거장치의 구성
  - (1) 방전전극은 텅스텐(99.99 %) 재질을 사용하였다.
  - (2) 출력전압은 5 kV로 고정하여 실험하였다.
  - (2) 출력전압의 주파수는 72 kHz로 설정하였다.

4

- 2) 압축공기의 설정
  압축공기 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa에 대하여 사용 유량을 42, 64,
  88, 112 및 136 ℓ/min로 고정하여 설정하였다.
- 3) 방전전극에 부착된 미세먼지 촬영
   방전전극에 부착된 미세 먼지는 정전기제거성능을 동작시킨 후 39 주
   동안 촬영하였다.
- 4) 실험 종료의 기준 설정
   실험의 종료 시점은 정전기제거장치의 성능에 해당하는 전하완화시간 및 이

온전류의 초기값이 15% 이하로 저하되는 시점으로 정하였다.



3. 3 연X선 조사식

본 실험에서 사용한 연X선 조사식의 특성을 파악하기 위하여 다음과 같이 정전기제거장치를 구성하여 실험하였다.

- 1) 전자가속전압(anode voltage)은 10.5 keV로 고정하였다.
- E케트의 재질은 베릴륨(Be)의 표면에 텅스텐(W, 4µm)을 증착한 것을 사용하였다.



### 3. 4 기류방출형 연X선 조사식

기류방출형 연X선 조사식의 특성을 파악하기 위하여 다음과 같이 정전기제 거장치를 구성하여 실험하였다.

- 1) 정전기제거장치의 구성
  - (1) 전자가속전압을 10.5 keV로 고정하였다.

G

- (2) 타케트의 재질은 베릴륨(Be)의 표면에 텅스텐(W, 4µm)을 증착한 것을 사용하였다.
- 2) 압축공기의 설정
  - (1) 3 개의 공기노즐이 장착된 압축공기통을 연X선 정전기제거장치의 좌,
     우에 각 1 개씩 설치하였다. Fig. 6은 기류방출형 연X선 조사식 제거장
     치를 나타낸 것이다.
  - (2) 압축공기 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa에 대하여 사용 유량을 85,
    135, 175, 220 및 265 ℓ/min로 고정하여 설정하였다.



Fig. 6 Soft X-ray type electrostatic eliminator with compressed air.

N

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 30 Hz 펄스교류 코로나방전식

#### 4.1.1 전하완화시간 변화 특성

Fig. 7, 8, 9, 10 및 11은 30 Hz 펄스교류 코로나방전을 이용한 정전기제거장 치의 경년 변화에 따른 전하완화시간 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기 의 압력은 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa으로 설정하였다. 전하완화시간은 9주차부터 급격히 증가함을 미루어 볼 때 최대 8주까지는 정상상태로 지속되었 음을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

Fig. 7에 의하면 0.1 MPa의 압축공기를 사용하였을 경우, 측정거리 300 mm에 서는 최초 1.27 sec의 전하완화시간이 나타났으나, 8주가 경과한 시점에서의 전 하완화시간은 1.26 sec로 나타났다. 경년 변화에 따른 전하완화시간의 평균값은 1.26 sec로 초기의 전하완화시간과 흡사함을 확인 할 수 있었으나, 9주가 경과한 시점에는 1.76 sec로 1.4배의 증가현상이 나타났다. 측정거리 600 mm에서는 8 주 경과 후의 전하완화시간은 3.34 sec로 나타났으며, 8주간 동안의 전하완화시 간의 평균값은 3.37 sec로 나타났으며, 9주 경과 후의 전하완화시간의 경우 5.29 sec로 전하완화시간의 평균값에 비하여 1.57 배로 증가하였다. 측정거리 900 mm에서는 8주 경과 후의 전하완화시간은 6.46 sec, 8주간 동안의 평균 전하완

화시간의 평균값은 6.64 sec로 나타났고 9주 경과 후에는, 11.13 sec로 전하완 화시간의 평균값에 비하여 1.67 배의 전하완화시간이 증가 하였다.

Table 3은 30 Hz 펄스교류 코로나방전을 이용한 정전기제거장치의 측정거리 및 경년변화에 따른 전하완화시간을 비교한 표이다. Table 3에서 ①은 전하완화 시간의 초기값, ②는 8주 경과한 후의 전하완화시간, ③은 8주간 동안의 전하 완화시간의 평균값, ④는 9주 경과한 후의 전하완화시간, ⑤는 9주 경과한 후 의 전하완화시간과 8 주간 동안의 전하완화시간의 평균값과의 비율을 나타낸 것이다.





Fig. 7 The change characteristics of charge decay time as a function of



Fig. 8 The change characteristics of charge decay time as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 9 The change characteristics of charge decay time as a function of



Fig. 10 The change characteristics of charge decay time as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 11 The change characteristics of charge decay time as a function of



# Table 3 Comparison table of charge decay time as a function of

## the time elapsed

	Distance	1	2	3	4	5
	[mm]	[sec]	[sec]	[sec]	[sec]	[times]
0.1MPa	300	1.27	1.26	1.26	1.76	×1.40
	600	3.69	3.34	3.37	5.29	×1.57
	900	7.45	6.46	6.64	11.13	×1.68
0.2MPa	300	0.93	0.84	0.81	1.37	×1.69
	600	2.54	2.24	2.38	3.84	×1.61
	900	5.31	4.14	4.56	9.30	×2.04
0.3MPa	300	0.66	0.68	0.67	1.20	×1.79
	600	2.14	1.91	2.00	3.91	×1.96
	900	3.78	3.51	3.60	11.29	×3.14
0.4MPa	300	0.67	0.54	0.57	1.12	×1.96
	600	1.84	1.55	1.68	12.44	×7.40
	900	3.75	3.22	3.20	60over	$\times 18.75$ over
0.5MPa	300	0.66	0.47	0.50	1.11	×2.22
	600	1.87	1.44	1.55	60over	$\times 38.7$ lover
	900	3.59	2.90	2.91	60over	$\times 20.62$ over

Remark

- ①: Charge decay time on the first week
- 2: Charge decay time after 8th weeks
- ③: Average value of charge decay time from the first to 8th weeks
- : Charge decay time after 9th weeks
- (5): A rate of increase (compared (3) to (4))

### 4. 1. 2 이온전류 변화 특성

정전기제거장치에 있어서 전하완화시간은 방전전극의 선단에서 코로나방전에 의해 생성된 ⊕ 및 ⊖ 이온이 외부의 기류를 이용하여 피대전물체로 수송되고, 이때의 이온수송(transference of ions) 효율에 의하여 결정된다. 즉, 이는 피 대전물체에 도달된 ⊕ 및 ⊖ 이온의 시간적 변화율인 이온전류를 측정함으로 서 확인할 수 있다.

이를 표시하면 다음 식(4. 1)과 같이 나타낼 수 있다.

ΔI = dQ<sub>i</sub>/dt - dQ<sub>i</sub>/dt [A]
여기서. ΔI: 피대전물체에 도달한 이온전류
dQ<sub>i</sub>: 방전전극의 선단에서 생성된 이온량
dQ<sub>i</sub>: 생성된 이온이 공기중에서 전달되는 과정에서 재결합한 이온량
Fig. 12, 13, 14, 15 및 16은 30Hz 필스교류 코로나방전을 이용한 정전기제거
장치의 경년 변화에 따른 이온전류의 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기
의 압력은 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa으로 설정 하였다.

Fig. 12, 13, 14, 15 및 16에서 의하면 이온전류는 9주 경과 후부터 서서히 감 소하였다.

최대 감소폭을 나타낸 것은 측정거리 900 mm 거리에서 0.1 MPa의 압축공기 를 공급한 경우로서, 초기의 이온전류에 비해 1.6배 감소하였다. 이는 측정거리가

- 45 -

900 mm로 비교적 원거리로서 압축공기압 0.1 Mpa로서는 정전기제거장치에서 생성된 이온이 피대전물체까지 전달되기 전에 공기중에서 이온의 재결합이 가장 높았기 때문이라고 생각된다.





Fig. 12 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 13 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 14 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 15 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 16 The change characteristics of ion current as a function of the



### 4.1.3 잔류정전전압 변화 특성

Fig. 17, 18, 19, 20 및 21은 30 Hz 펄스교류 코로나방전을 이용한 정전기제 거장치의 경년 변화에 따른 잔류정전전압의 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압 축공기의 압력은 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa으로 설정하였다. 잔류정전 전압은 피대전물체의 대전된 정전기를 정전기제거장치로부터 생성된 이온에 의 해 완화하고 난 후의 피대전물체에 잔류된 정전전압으로서 다음 식(4. 2)와 같이 나타낼 수 있다.

 $\Delta V = V_0 - V_i \quad \dots \qquad (4. 2)$ 

여기서, *∆V*: 잔류정전전입

V<sub>0</sub>: 최초의 대전전압

즉, 잔류정전전압의 크기는 정전기제거장치로부터 완화에 필요한 ⊕ 및 ⊖ 이 온량에 의해 결정된다.

실험 초기에는 잔류정전전압을 모든 공기압력 및 측정거리에서 ±30 V 이내의 범위를 만족하도록 30 Hz 의 듀티비를 설정하였으며, 초기에 설정된 듀티비는 실험을 계속하는 동안 고정하였다. 이는 실제 FPD 및 반도체 제조공정에서는 코 로나방전식 제거장치를 초기에 설정한 후에는 듀티비를 변경해 주지 않고 사용하 기 때문에 실제 공정에서와 같은 현실성을 갖기 위해서이다.

Fig. 17, 18, 19, 20 및 21에 의하면 잔류정전전압은 사용기간에 따라서 서서

- 50 -

V<sub>i</sub>: 완화된 전압

히 증가하기 시작하여 9주 후에는 급격히 상승함을 알 수 있었다. 특히 압축공기 가 0.4 ~ 0.5 MPa인 경우 잔류정전전압이 100 V 이상 이므로 FPD 및 반도체 제 조공정의 정전기 관리 기준전압인 100 V를 초과하였다. 따라서 코로나방전식 제 거장치는 최대 8주 후 부터는 방전 전극을 세정 또는 교체해야 한다는 것을 알 수 있었다.





Fig. 17 The change characteristics of ion balance as a function of the



Fig. 18 The change characteristics of ion balance as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 19 The change characteristics of ion balance as a function of the



Fig. 20 The change characteristics of ion balance as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 21 The change characteristics of ion balance as a function of the



## 4.1.4 방전전극에 부착된 미세먼지 촬영

Fig. 22는 30 Hz 코로나방전을 이용한 정전기제거장치의 경년 변화에 따른 방 전전극에 부착된 미세먼지의 흡착상태를 촬영한 것이다. Fig. 22에 의하면 1주 경과 후부터 방전전극의 선단에 미세먼지가 흡착하기 시작하였고, 2주 후부터는 미세먼지의 흡착이 서서히 증가함을 알 수 있다. 9주 후에는 미세먼지는 방전전 극의 표면 뿐만 아니라, 주변까지도 흡착되었음을 알 수 있다. 방전전극에 미세먼 지가 흡착되기 시작하면, 전극선단의 전계강도도 서서히 약화되어, 즉, 코로나방 전이 약화되어 이온 발생량이 저하하기 시작한다. 따라서 이온 발생량의 저하는 전하완화시간 및 잔류정전전압의 증가를 동시에 야기하게 된다.





Fig. 22 Photograph of particles deposited on discharge electrode

(from the first to 9th weeks, compressed air : 0.3 MPa).

### 4.2 압전소자를 이용한 코로나방전식

### 4.2.1 전하완화시간 변화 특성

Fig. 23, 24, 25, 26 및 27은 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치의 경 년 변화에 따른 전하완화시간의 변화 특성을 나타낸 것이다. 이 때 압축공기의 압 력은 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa로 설정하였다. Fig. 23, 24, 25, 26 및 27에 의하면 39주 동안 전하완화시간의 변화 특성을 실험한 결과 39주 경과 후 에 전하완화시간특성이 급격히 증가함을 알 수 있었다. Fig. 23에 의하면 0.1 MPa의 압축공기를 사용하였을 경우, 측정거리 300 mm에서 최초 4.91 sec의 전 하완화시간이 나타났으나, 38주 경과 후에는 전하완화시간이 5.67 sec로 나타났 다. 38주차 동안의 평균 전하완화시간은 4.93 sec로 초기의 전하완화시간 특성 과 흡사함을 확인할 수 있었다. 39주가 경과한 시점에는 전하완화시간이 6.84 sec로 평균값에 비하여 전하완화시간의 1.39배로 증가하였다. 이를 미루어 볼 때 압전소자를 이용한 정전기제거장치는 최대 지속기간인 38주 이후에는 방전전극 을 세정해야 함을 알 수 있다. Table 4는 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거 장치의 측정거리 경년변화에 따른 전하완화시간을 비교한 표이다. Table 4에서 ①은 전하완화시간의 초기값, ②는 38주 경과한 후의 전하완화시간, ③은 38 주 경과한 후의 전하완화시간의 평균값, ④는 39주 경과한 후의 전하완화시간 및 ⑤는 39주 경과 후의 전하완화시간과 38주간 동안의 전하완화시간의 평균 값과의 비율을 나타낸 것이다.

- 57 -



Fig. 23 The change characteristics of charge decay time as a function of



Fig. 24 The change characteristics of charge decay time as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 25 The change characteristics of charge decay time as a function of



Fig. 26 The change characteristics of charge decay time as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).


Fig. 27 The change characteristics of charge decay time as a function of



# Table 4 Comparison table of charge decay time as a function of the time

## elapsed

	Distance	1	2	3	4	5
	[mm]	[sec]	[sec]	[sec]	[sec]	[times]
0.1MPa	300	4.91	5.67	4.94	6.84	×1.39
	600	8.13	6.58	7.51	9.41	×1.25
	900	13.87	11.91	12.66	15.71	×1.24
0.2MPa	300	2.6	2.52	2.77	4.88	×1.76
	600	4.56	3.45	4.35	5.29	×1.22
	900	7.7	6.04	17	10.01	×1.43
0.3MPa	300	1.93	1.46	1.89	3.04	×1.61
	600	3.62	3.8	3.05	5.11	×1.67
	900	5.79	3.97	4.9	8.98	×1.83
0.4MPa	300	1.44	1.22	1.39	3	×2.16
	600	2.62	2.03	2.4	5.1	×2.12
	900	3.83	3.82	3.81	7.74	×2.03
0.5MPa	300	1.24	0.93	1.09	2.73	×2.53
	600	2.37	1.61	1.85	4.97	×2.69
	900	4.7	2.52	3.19	6.58	×2.06
Remark						

#### Remark

- ①: Charge decay time on the first week
- 2: Charge decay time after 38th weeks
- ③: Average of charge decay time from the first to 38th weeks
- 4: Charge value decay time after 39th weeks
- (5: A rate of increase (compared (3) to (4))

#### 4.2.2 이온전류 변화 특성

압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치는 30 Hz 코로나방전을 이용한 정 전기제거장치와 같이 방전전극 선단에서 생성된 이온이 외부기류에 의해 대전물 체에 얼마나 많이 전달될 수 있느냐에 따라 전하완화시간이 결정된다. 즉, 피대전 물체의 표면에서의 ⊕ 및 ⊖ 이온변화량이 이온전류에 의해서 결정된다. 본 실 험에서는 측정거리 300 mm, 600 mm 및 900 mm 거리에서 이온전류를 측정하 여 경년 변화에 따른 이온 수송의 효율성을 확인할 수 있었다.

Fig. 28, 29, 30, 31 및 32는 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치의 경 년 변화에 따른 이온전류의 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기의 압력은 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa으로 설정하였다.

Fig. 28, 29, 30, 31 및 32에 의하면 39주 경과 후에 이온전류가 급격히 감소 함을 알 수 있었다. 이온전류가 가장 감소한 경우는 측정거리 900 mm, 0.1 MPa 의 압축공기를 주입하였을 경우로, 초기의 이온전류에 비해 4배가 감소하였다. 이는 측정거리가 900 mm로 비교적 원거리로서 압축공기압 0.1 MPa로서는 정전 기제거장치에서 생성된 이온이 피대전물체까지 전달되기 전에 공기중에서 이온 의 재결합이 가장 높았기 때문이라고 생각되며 30 Hz 코로나방전식 제거장치의 경우와 같은 결과가 나타났다.

따라서 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치는 38주 경과 후에는 반드시 방전전극을 세정하여야만 초기의 정전기제거성능을 유지 할 수 있다고 생각한다.

- 62 -



Fig. 28 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 29 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 30 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 31 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 32 The change characteristics of ion current as a function of the



## 4.2.3 잔류정전전압 변화 특성

Fig. 33, 34, 35, 36 및 37은 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치의 경 년 변화에 따른 잔류정전전압의 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기의 압 력을 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa으로 설정하였다.

Fig. 33, 34, 35, 36 및 37에 의하면 38주 동안은 잔류정전전압의 초기값인 ±30 V 이내의 범위에서 안정적인 변화가 나타남을 알 수 있다. 그러나 39주 경 과 후에는 급격히 상승하였다. 이는 39주 경과 후에 전하완화시간 및 잔류정전전 압이 증가한 이유는 방전전극의 선단에 부착된 미세 먼지에 의해 선단의 전계강 도가 저하하였기 때문이라고 생각된다. 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장 치의 방전전극의 세정 및 교체 주기는 38주라고 생각된다.





Fig. 33 The change characteristics of ion balance as a function of the



Fig. 34 The change characteristics of ion balance as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 35 The change characteristics of ion balance as a function of the



Fig. 36 The change characteristics of ion balance as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 37 The change characteristics of ion balance as a function of the



## 4.2.4 방전전극에 부착된 미세먼지 촬영

Fig. 38 및 39는 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치의 경년 변화에 따 른 방전전극의 선단 및 주변에 부착된 먼지의 상태를 촬영한 것이다. 38주 동안 에는 미세먼지가 방전전극의 선단에 아주 얇은 층을 이루면서 형성되어 있음을 알 수 있다. 이정도의 미세먼지 흡착으로는 방전전극 선단의 전계강도를 비교적 일정하게 유지 할 수 있어서 정전기제거성능의 변화가 적다고 생각된다.

39주 경과 후에는 방전전극 선단에 미세먼지의 흡착으로, 전계강도가 급격히 저하하여 전하완화시간, 이온전류 및 잔류정전전압의 정전기제거 성능을 유지할 수 없었다. 이러한 결과를 미루어 볼 때 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장 치는 방전전극의 세정 주기를 38주 경과 후에는 반드시 하여야 한다고 생각된다. 이는 압전소자를 이용한 고주파 방전의 경우 방전전극에 인가되는 주파수가 높아 서 전계의 방향이 매우 빠른 속도로 변화하여 방전전극 주변에 존재해있는 미세 먼지에 트래핑현상(trapping phenomena)이 발생하여 방전전극의 선단에서의

8 3

대학파



Fig. 38 Photograph of particles deposited on discharge electrode (from the first to 22th weeks, compressed air : 0.3 MPa).



Fig. 39 Photograph of particles deposited on discharge electrode

(from 24th weeks to 39th weeks, compressed air : 0.3 MPa).

저주파 및 고주파 코로나방전을 이용한 정전기제거장치의 문제점은 경년 변화 에 따라서 전하완화시간, 이온전류 및 잔류정전전압의 변화가 나타났다. 즉, 이는 방전전극의 선단에 흡착된 미세먼지가 전계강도를 저하시켰기 때문이라고 생각 된다. 따라서 방전전극이 없는 정전기제거장치인 연X선 조사식은 연X선의 작용 을 이용하기 때문에 코로나방전식 제거장치의 문제점을 해결 할 수 있다. 그러나 이는 인체로의 방사선 피폭에 대한 대책으로서 방사선원을 차폐해야 하는 문제점 을 갖고 있다.

## 4.3.1 전하완화시간 변화 특성

Fig. 40은 연X선 조사식의 경년 변화에 따른 전하완화시간의 변화 특성을 나타 낸 것이다. 본 실험에서 사용한 연X선 발생원의 사용 수명은 평균 8,000 시간 정 도이기 때문에 약 46주의 기간 동안 실험을 진행 하였다. Fig. 40에 의하면 30 Hz 코로나방전식 제거장치 및 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치에 비 해서 46주 동안 전하완화시간이 안정적으로 유지하였다.

46주 동안의 전하완화시간의 평균값은 측정거리 300 mm에서 0.46 sec, 측정 거리 600 mm에서 1.48 sec, 측정거리 900 mm에서 4.63sec로 나타났다. 전하 완화시간의 초기값인 측정거리 300 mm에서 0.44 sec, 측정거리 600 mm에서 1.5 sec, 측정거리 900 mm에서 4.5 sec와 비교하여 거의 동일한 성능이 나타났

- 73 -

다. 이를 미루어 볼 때 정전기제거성능을 46주 동안 일정하게 유지할 수 있다고 생각된다. Fig. 40에서 46주까지만 실험을 진행 한 것은 47주에서 연X선관의 수 명이 소진되었기 때문이다.





Fig. 40 The change characteristics of charge decay time as a function of



## 4.3.2 이온전류 변화 특성

Fig. 41은 연X선 조사식의 경년 변화에 따른 이온전류 변화 특성을 나타낸 것 이다. 이때 측정거리 300, 600 및 900 mm로 정하였다. 이온전류의 초기값은 측 정거리 300 mm에서는 125 nA로 나타났으며, 측정거리 600 mm 거리에서는 3 nA, 측정거리 900 mm에서는 12 nA로 나타났다. 46주 경과 후의 이온전류의 평 균값은 측정거리 300 mm에서는 122.9 nA, 측정거리 600 mm에서는 30.5 nA, 측정거리 900 mm에서는 12.1 nA로 나타났다. 이를 미루어 볼 때 46주 동안은 정전기제거성능을 항상 일정하게 유지한다는 것을 의미한다고 생각된다.





Fig. 41 The change characteristics of ion current as a function of the



## 4.3.3 잔류정전전압 변화 특성

연X선 조사식은 주위 공기의 광흡수에 의해 이온을 생성하기 때문에 이온을 수 송하기 위한 별도의 압축공기 및 송풍기가 필요하지 않는 장점을 가지고 있다.

Fig. 42는 연X선 조사식의 경년 변화에 따른 잔류정전전압변화 특성을 나타낸 것이다. Fig. 42에 의하면 경년 변화에 따른 잔류정전전압은 거의 일정하게 나타 났다. 이는 연X선은 빛이기 때문에 연X선이 조사되는 영역 내에서는 모든 공기의 분자 또는 원자가 이온화되어서 대전물체의 정전기를 제거하는데 필요한 이온이 충분하게 생성되기 때문에 ±2 V 이내로 안정적으로 유지하였다.





Fig. 42 The change characteristics of ion balance as a function of the



## 4.4 기류방출형 연X선 조사식

연X선 조사식 제거장치의 성능을 보다 향상시키기 위하여, 이온의 이동속도를 증가시킬 수 있도록 연X선 조사식 제거장치에 압축공기를 적용하였다.

#### 4.4.1 전하완화시간 변화 특성

Fig. 43, 44, 45, 46 및 47은 기류방출형 연X선 조사식 정전기제거장치의 경년변화에 따른 전하완화시간 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기의 압력은 각각 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 및 0.5 MPa로 정하였다. Fig. 43에 의하면 압축공기의 압력을 0.1 MPa(85 ℓ/min)로 하였을 때, 측정거리 300, 600 및 900 mm에서 전하완화시간의 초기값이 각각 0.33, 0.73 및 1.29 sec로 나타 났다. 이는 압축공기를 사용하지 않은 경우의 연X선 조사식 정전기제거장치에 비해 전하완화시간이 측정거리 300 mm에서 25 %, 측정거리 600 mm 거리 에서 51 %, 900 mm 거리에서 71 % 향상되었음을 알 수 있었다. 46주 동안 의 전하완화시간의 평균값은 측정거리 300 mm에서 0.36 sec, 측정거리 600 mm에서 0.78 sec, 측정거리 900 mm에서 1.54 sec로 나타났다. 이는 압축 공기를 사용하지 않은 연X선 조사식 정전기제거장치의 전하완화시간의 평균 값에 비해 각각 22 %, 47 % 및 67 % 단축되었다. 이는 압축공기를 사용함 으로서 생성된 이온의 이동속도를 향상시켜 대전물체의 정전기를 신속하게 제 거할 수 있었기 때문이라고 생각된다.



Fig. 43 The change characteristics of charge decay time as a function of



Fig. 44 The change characteristics of charge decay time as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 45 The change characteristics of charge decay time as a function of



Fig. 46 The change characteristics of charge decay time as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 47 The change characteristics of charge decay time as a function of



## 4.4.2 이온전류 변화 특성

Fig. 48, 49, 50, 51 및 52는 기류방출형 연X선 조사식 정전기제거장치의 경년 변화에 따른 이온전류 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기의 압력은 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa로 정하였다. Fig. 48, 49, 50, 51 및 52에 의하면 이온 전류는 압축공기를 사용한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해서 크게 증가함을 알 수 있었고, 또한 압축공기의 압력이 증가할수록 이온전류도 증가함을 알 수 있었 다. 이는 이온전류는 정전기제거성능을 결정하는 중요한 사항으로 이온전류가 클 수록 정전기제거를 신속하게 하기 때문이다.





Fig. 48 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 49 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 50 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 51 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 52 The change characteristics of ion current as a function of the



#### 4.4.3 잔류정전전압 변화 특성

Fig. 53, 54, 55, 56 및 57은 기류방출형 연X선 조사식 정전기제거장치의 경년 변화에 따른 잔류정전전압의 변화 특성을 나타낸 것이다. 이때 압축공기 의 압력은 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 및 0.5 MPa로 정하였다. Fig. 53, 54, 55, 56 및 57에 의하면 압축공기를 사용한 경우가 그렇지 않은 경우 모두 잔류정전전압 은 ±2 V 이내로 매우 안정적으로 유지됨을 알 수 있다.

본 연구의 가장 큰 목적은 정전기제거성능을 일정하게 유지할 수 있는 기간 을 제공하여 정전기제거장치의 방전전극 세정 및 교체 등의 주기를 결정하는 데 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 4가지 형태의 정전기제거장치의 경년 변화 에 따른 정전기제거특성 변화를 실험한 결과를 Fig. 58에 나타내었다.

Fig. 58에 의하면 정전기제거성능을 일정하게 유지할 수 있는 기간은 ① 30 Hz 코로나방전식 제거장치의 경우는 8주, ② 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거 장치의 경우는 38주, ③ 연X선 조사식의 경우 및 ④ 기류방출형 연X선 조사식의 경우는 46주로 나타났다.

이는 코로나방전을 이용한 정전기제거장치의 경우 방전전국의 선단에 주위공 간에 체류하고 있는 미세먼지가 방전전국 선단부에 부착되어 전하완화시간, 이온 전류 및 잔류정전전압을 상승시켰다. 그러나 연X선 조사식의 경우는 방사선에 의 하여 공기를 이온화하기 때문에 미세먼지의 흡착은 본질적으로 발생되지 않아서 오랜 기간 동안 정전기제거성능을 유지할 수 있었다.

- 88 -



Fig. 53 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 54 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.2 MPa).



Fig. 55 The change characteristics of ion current as a function of the



Fig. 56 The change characteristics of ion current as a function of the elapse of weeks(compressed air : 0.4 MPa).



Fig. 57 The change characteristics of ion current as a function of the





UNIL

1

ot u

**FH** 

Remark

- ①: 30 Hz pulse AC corona discharged type ionizer
- 2: Piezo(72 kHz) AC corona discharged type ionizer

0

- ③: Soft X-ray ionizer
- (4): Soft X-ray ionizer with compressed air

Fig. 58 Normal condition period of 4 types electrostatic eliminator.

47

## 5. 결 론

정전기제거장치의 90 % 이상을 점유하고 있는 코로나방전식 제거장치는 방전 전극의 선단에 미세한 먼지가 흡착됨으로 방전전극을 주기적으로 세정해야 하는 관리의 불편함이 있다. 본 연구에서는 코로나방전식 제거장치의 경년변화에 따른 정전기제거성능을 측정하여 방전전극의 세정주기에 관한 기초자료를 제시하였 다. 또한 연X선 조사식 제거장치에서 생성된 이온을 먼 거리까지 신속하게 이동 시키기 위하여 압축공기를 이용한 장치의 정전기제거특성에 대하여 연구한 결과 를 다음과 같이 요약하였다.

1) 30 Hz 코로나방전식 제거장치는 최초의 정전기제거성능인 전하완화시간,
 이온전류 및 잔류정전전압을 8주 동안은 유지할 수 있었으나, 9주 경과 후에는
 방전전극을 반드시 세정하여야만 최초의 성능으로 회복될 수 있음을 알 수 있었다.
 다.

2) 압전소자를 이용한 코로나방전식 제거장치는 최초의 정전기제거성능을 38
주 동안은 유지할 수 있었으나, 39주 경과 후에는 방전전극을 세정하여야만 최초
의 성능으로 회복될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 압전소자를 이용한 제거장치
는 방전전극의 세정주기가 30 Hz 코로나방전식 제거장치에 비해 상대적으로 길

- 93 -

기 때문에 FPD 및 반도체 제조공정에서의 활용도가 높을 것으로 생각된다.

3) 연X선 조사식 제거장치는 코로나방전식 제거장치에 비해 최초의 성능을 46
 주 동안은 유지하였다. 그러나 인체에 대한 방사선 피폭의 위험성이 있으므로 완
 벽한 차폐를 하여야 하는 단점이 있다.

4) 이온의 이동속도 및 도달거리를 증가시키기 위하여 연X선 조사식 제거장치
 에 압축공기를 이용하여 생성된 ⊕ 및 ⊖ 이온을 강제 대류시킴으로서 전하완
 화시간을 1.3 ~ 6.3 배 까지 증가시켰다.

5) 기류방출형 연X선조사식 제거장치는 정전기제거성능이 보다 향상되어 FPD
및 반도체 제조공정에서 정전기 발생전압이 높은 경우에 적합할 것으로 생각된
다. 특히 다음과 같은 공정에는 아주 유용하게 적용될 것이다.
(1) FPD공정: 크롬BM(black matrix) 또는 유기BM 성막공정, R/G/B 형성공 정, PI(polyimide) 코팅공정, 러빙공정, ODF(one drop filling)공정, 편광 판 부착

- (2) 반도체 공정: 세정공정, 산화확산 공정, P/R(photo resist) 도포공정, 노광공
  정, 감광제 막 제거 공정, 불순물 주입공정, 식각공정, 현상공정, 박막증착 공
  정, 조립공정
- (3) 기타 공정: 고속제전을 요하는 필름공정, 도장공정, 건조공정, PCB 기판제

- 94 -

조공정에서의 P/R(photo resist) Lamination공정과 노광공정, 분체공정에 서의 이송공정과 취급공정 등

이상의 연구결과와 관련하여 향후에 계속적으로 수행 되어야 할 연구 방향 은 코로나방전식 제거장치의 경우에는 방전전극의 세정주기를 90주 이상으로 유지할 수 있는 제거장치를 개발하고, 연X선 조사식 제거장치의 경우에는 인 체에 대한 방사선 피폭의 위험을 본질적으로 배재할 수 있는 장치의 개발이 필요할 것으로 예측된다.


## 참 고 문 헌

- Miura, Y. & Hokawa, J., "The electrochemical process in the molding of nonwoven structure, pp.685-690, 1979.
- 김해진, "압축공기 분사형 정전기제거장치의 공기 분출구의 형태 변화에 따른 제전특성 연구", 부경대학교 석사학위논문, 2008.
- 이지성, "공기청정 환경에서 사용되는 구형파 고전압 제전기의 장기 특성 변화에 간한 연구", 부경대학교 석사학위논문, 2008.
- 4) "정전기제어용 이오나이저의 평가방법에 대한 표준화연구 검토자료", 산업 자원부 기술 표준원, pp.224-236, 2005.
- H.Inaba, T.Ohmi, T.Yshida and T.Okada, "Neutralization of static electricity by soft X-rays and vacuum UV radiation", Journal of Electrostatics, Vol. 33, pp.15-42, 1994.
- 6) 김건석, "정체유동장에서 코로나 방전에 의해 대전된 입자의 부착특성 연 구", 한국과학기술원, 석사학위논문, 1995.
- 7) 정상현, "양코로나 방전을 수반하는 사각 관성 충돌기에서의 정전유동장및 입자부착", 한국과학기술원 박사학위논문, 1998.
- 8) Y. Kawase, H. Mishina, T. Asakura, "Velocity Measurements of Small Dust Particles in High Electric Field Using Laser Doppler Velocimeter", 電氣學會誌, Vol. 2, No. 3, pp.199-206, 1978.
- 9) 靜電氣學會誌, "電氣集塵特性", pp.1-2, 1997.
- Snyder Harlan , Wallash Albert, "Effect of Unbalanced Ionizers on Magnetoresistive Recording Heads", EOS/ESD Symposium, pp.412-415, 1997.
- 11) Murray Ken, Gross Vaughn, "Ozone and Small Particle Production

by Steady State DC Hood Ionization: An Evauation", EOS/ESD Symposium, pp.18-22, 1989.

- 12) 류상민, "軟X線 除電器의 開發 및 除電特性에 관한 研究", 부경대학교 대학원 석사학위논문, 1998.
- 13) 신진오, "LCD 제조공정에서의 정전기제거 대책에 관한 연구", 부경대학 교 석사학위논문, 2004.
- 14) Abdel-Salam M., Abdel Fattah A., and Tharwat-El -Mohandes M.,
  "Positive Corona Pulse Characteristics from two Interacting Needles in Air", Record of IEEE-IAS Annual Meeting, pp.1083-1089, 1981.
- 15) Thanh L.C., "Negative Corona in a Multiple Interacting Point-to-Plane Gap in Air", IEEE Trans on IAS, LA-21, 2, pp.518-522, 1985.
- 16) 李光錫, 金炳仁, "空氣中 針對平板 gap 負 corona 放電에 對한 研究 論文集", 朝鮮大學校 併設工業專門大學, 23輯, pp.37-46, 1990.
- 17) 박영구, 권순석, 강성화, 정수현, 류부형, 임기조, "침-평판 전극 구조에서 발생하는 기중 코로나 방전의 해석 기법", 산업안전학회지, 11권, 4호, pp.49-53, 1996.
- 18) 이능헌, "기중코로나 방전에 미치는 온도의 영향", 명지대학교 석사학위논 문, 1981.
- 19) 이근택, "펄스코로나 방전을 이용한 봉 대 실린더 전극간의 오존발생 특 성에 관한 연구", 경북대학교 석사학위논문, 1989.
- 20) 李泰龍, "정전기 방전에 의해서 발생하는 전압 파형의 특성", 인하대학교 석사학위논문, 2002.
- 21) 마지훈, "프루브 포켈스센서를 이용한 유·기중 코로나 방전의 전계변화
  측정 및 분석에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 2003.

- 22) 정재우, 최유리, 조무현, 남궁원, 목영선, "Effect of Operating Parameters on Corona Discharge Characteristics", 한국대기환경학회 지, 제16권, 제3호, pp.277-284, 2000.
- 23) 박재윤, 정장근, 김익균, "코로나 방전에 대한 자계의 영향", 조명·전기설 비학회논문지 15권 3호, pp.51-56, 2001.
- 24) Kenneth D. Murray, Vaughn P. Gross, Philip C. D., "Clean Corona Ionization", EOS/ESD Symposium, pp.36-40, 1990.
- 25) 鄭石煥, "空氣中 針對 平板電極間의 코로나放電 制御를 위한 基礎研究", 경북대학교 석사학위논문, 1994.
- 26) 곽영순,조정수,공명진, "전하중첩법을 응용한 접촉점 부근에서의 전계분포 해석, (The Elucidation of Electric Field Distribution of Contact Point by Applied the Charge Simulation Method), 학술대회 논문집 (전기/전자공학) 제1권, pp.703-705, 1987.
- 27) 기초전력공학공동연구소 [편], "유한요소법에 의한 전기기기의 전자계 해 석" 기초전력공학공동연구소, 2002.
- 28) 정용철, "코로나 방전형 정전기제거장치에서의 이온생성 최적화 조건에 관한 연구", 부경대학교 박사학위논문, 2008.
- 29) 足立宣良,川崎元之,"コロナ放電電界中のイオン風",日本靜電氣學會誌,2,3,pp.158-168,1978.
- 30) 이재일, "코로나 방전을 이용한 이온풍의 특성분석 및 대류 열전달 향상에 관한 연구", 부산대학교, 석사학위논문, 2005.
- 31) 大木正路, "高電壓工學", pp.22-77, 1989.
- 32)田春生,"放電·高電壓工學", 東明社, pp.22-56, 1989.
- 33) Okano Kazuo, Posadas Arnel, "Particle Generation of Ceramic Emitters for Cleanroom Air Ionizers", EOS/ESD Symposium, pp.287-291, 1997.

- 34) Noll Charles G., Lawless Philip A., "Comparison of Germanium and Silicon Needles as Emitter Electrodes for Air Ionizers", EOS/ESD Symposium, pp.195-204, 1997.
- 35) 조기현, "압전소자를 이용한 이온수송간에 있어서 제전성능에 관한 연 구", 부경대학교 석사학위논문, 2007.
- 36) 福田昭, "靜電氣官理用 のイオナイザ選擇と使い方ガ毒ガ樂かを決のる",
  NIKKEI Electronics, No.484, pp.275-283, 1989.



## A Study on Characteristics of Electrostatic Eliminator used Corona Discharge and Soft X-ray

## Kwon, Sung Yul

Department of Safety Engineering, The Graduate School, Pukyong National University

## Abstract

The corona discharged type ionizer has not kept the electrostatic elimination performance when many particles have been deposited on its electrode surface, so must clean the electrode surface within the suitable period. This study is for solving the problem of corona discharged type ionizer using the soft X-ray type ionizer. Moreover, for improving the electrostatic elimination performance, the compressed air has been adopted on the soft X-ray ionizer for transference of ions to far away.

The results are as following;

1) It appears that the electrostatic elimination performance of 30 Hz pulse AC corona discharged type ionizer has been rapidly lowered 9th weeks later. Therefore the surface of the electrode must be cleaned 9th weeks later.

CH OL N

2) It appears that the electrostatic elimination performance of piezo type

- 100 -

ionizer has been rapidly lowered 39th weeks later. Therefore the surface of the electrode must be cleaned 39th weeks later

3) In case of soft X-ray ionizer, the electrostatic elimination performances, such as charge decay time and ion Balance, have been maintained during the 46th weeks. But soft X-ray is radioactive ray, the surround environment must be covered by perfect shielding materials.

4) To improve the electrostatic elimination performance of soft X-ray, on which compressed air was used for increasing the ion transference to far away. So the charge decay time characteristics was increased till  $1.3 \sim 6.3$  times compare to the conventional soft X-ray ionizer, which was not used compressed air.

5) In case of soft X-ray ionizer used compressed air, it is useful for the following processes;

- LCD & Semiconductor process: Cr or organic BM layer process, R/G/B process(bake/development etc.), P/I coating process, rubbing process, ODF(one drop filling) process, Pol' attachment, P/R coating process.
- The other process: high-speed film process, electrostatic elimination in the painting process, drying process, P/R lamination process in the PCB manufacture, mote process etc.

Related to the above research, the following future research in succession should be performed.

- The development of corona discharged type ionizer having the cleaning cycle over 90th weeks.
- The development of soft X-ray ionizer intrinsically excluded from danger of radiation exposure to the human being.

