

KOSHA GUIDE

E - 130 - 2012

전압인가식 제전장치의 성능평가 및  
사용안전에 관한 기술지침

2012. 12.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 서울과학기술대학교 정재희 교수

○ 제·개정 경과

- 2012년 12월 전기안전분야 제정위원회 심의(제정)

○ 관련 규격 및 자료

- IEC 61340-4-7 Ed. 2.0 2011-04 (Electrostatics-Part 4-7: Standard test methodes for specific applications-Ionization)
- KS C IEC 61340-5-1 2010 (정전기 제5-1부: 정전기 현상에 대한 전자디바이스의 보호-일반 요구사항)
- 勞働省産業安全研究所 RIIS-TR-87-1 (靜電氣安全指針)
- KOSHA GUIDE E-89-2011 (정전기 재해예방에 관한 기술지침)
- KOSHA GUIDE E-113-2011 (정전기 위험성 평가 및 대책에 관한 기술지침)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제325조(정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건 기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 12월 27일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

## 전압인가식 제전장치의 성능평가 및 사용안전에 관한 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 인화성 가스·증기 또는 분진(이하 “인화성 가스 등”이라 한다.)으로 인한 화재·폭발위험이 있는 장소뿐만 아니라 비폭발위험장소에서 사용하는 전압인가식 제전장치의 성능평가 및 사용안전에 관하여 필요한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

### 2. 적용 범위

- (1) 이 지침은 대전된 전하를 중화시키기 위해 반대 극성의 이온을 제공하기 위하여 공기를 이온화시키는 이온 발생기(Ionizer; 이하 제전기라 한다.)에 적용한다.
- (2) 이 지침은 외부로부터 전압(교류, 직류)을 인가하는 전압인가식 제전기에 적용한다.

### 3. 용어의 정의

- (1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “인화성 액체(Flammable liquid)”라 함은 산업안전보건법 시행령 별표 10에서 정하는 바에 따라 표준압력(101.3 kPa)하에서 인화점이 60℃ 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 물질을 말한다.
- (나) “인화성 가스(Flammable gas)”라 함은 산업안전보건법 시행령 별표 10에서 정하는 바에 따라 인화한계 농도의 최저한도가 13 % 이하 또는 최고한도와 최저한도의 차가 12 % 이상인 것으로서 표준압력(101.3 kPa)하의 20℃에서

가스 상태인 물질을 말한다.

- (다) “본딩(Bonding)”이라 함은 둘 또는 그 이상의 도전성 물질이 같은 전위를 갖도록 도체로 접속하는 것을 말한다.
- (라) “정전기 방전(Electrostatic discharge)”이라 함은 가연성 혼합물을 점화시킬 수 있는 불꽃방전, 코로나방전, 브러시방전 등의 형태로 정전기가 방출되는 것을 말한다.
- (마) “대전방지(Antistatic)”라 함은 정전기 전하를 안전한 수준까지 방전시킨 상태를 말한다.
- (바) “정전기”라 함은 전계의 영향은 크나 자계의 영향이 상대적으로 미미한 전기 전하를 말한다.
- (사) “정전용량”이라 함은 측정되는 전하의 양으로, 전위차를 1 V 만큼 올리기 위해 특정 물체에 축적된 전하의 양을 말한다. 이 정전용량은 C/V 또는 단위 F(Farad)로 나타낸다.
- (아) “교류전압 인가식 제전기”라 함은 용량결합에 의해 방전전극에 교류전압을 인가하여 코로나 방전을 일으켜, 대전물체의 제전에 필요한 이온을 생성하는 정전기 제거장치를 말하며, 제전전극, 전원장치, 케이블 및 커넥터 등으로 구성된다.
- (자) “제전전극”이라 함은 제전기의 주요 구성부분으로, 대전물체와 마주 보고 설치되며, 제전을 위한 이온을 생성, 공급하는 전극장치를 말하며, 방전전극, 접지전극, 고전압 전극, 절연체, 지지체 등으로 구성된다.
- (차) “결합용량”이라 함은 방전전극의 링 부분과 고전압 전극사이로, 그 사이에 정전용량으로 전기적으로 결합하는 것을 말한다.
- (카) “방전전극”이라 함은 이온생성의 코로나 방전을 일으키는 침, 고전압 전극과의 용량결합을 위한 링 부분 등으로 되는 전극을 말한다.
- (타) “고전압 전극”이라 함은 전원장치의 2차측 고전압 단자와 케이블로 접속되어, 방전전극의 링 부분과의 용량결합에 의해 방전전극에 고전압을 인가하는 전극을 말한다.
- (파) “접지전극”이라 함은 방전전극과 쌍으로 구성하여 방전을 일으키도록 접지시킨 전극을 말한다.
- (하) “전원장치”라 함은 변압기를 주요부분으로 하며 제전전극에 고전압을 공급하기 위한 전원을 말한다.
- (거) “케이블”이라 함은 전원장치의 2차측과 제전전극을 연결하는 케이블을 말한

다.

(너) “커넥터”라 함은 전원장치와 케이블, 제전전극과 또는 케이블과 케이블을 접속하는 접속기구를 말한다.

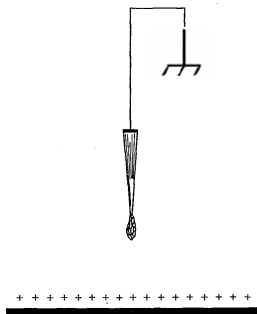
(더) “보호구역(Electrostatic protection area)”이라 함은 정전계나 정전기 방전으로 인한 위험정도가 허용 가능한 수준의 구역을 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 따른다.

#### 4. 방전 및 제전기의 구성

##### 4.1 코로나 방전

(1) 코로나 방전은 <그림 1>과 같이 날카로운 침이나 선모양의 물체에 축적된 전하에 의한 전류가 수  $\mu\text{A}$  정도인 바늘 모양의 방전을 일으키는 현상이다. 이 방전은 고전압의 도체 또는 대전된 표면 근처의 접지된 도체에서 발생하며, 희미한 발광을 수반한다.



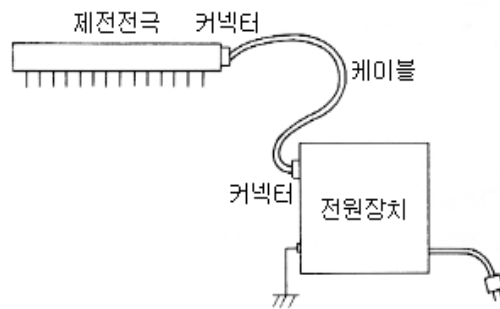
<그림 1> 코로나 방전

(2) 코로나 방전의 에너지는 매우 낮으나 방전이 보다 강렬할 경우, <그림 1>처럼 선행방전 스트리머가 포함된 브러시 방전이 발생한다. 이 방전은 불규칙한 실 모양의 빛과 함께 튀는 소리가 난다. 직경 1 mm 이하의 바늘모양에서 발생된 방전은 일반적으로 점화로 이어지지 않는으나 칼날모양에서의 방전은 최소점화에너지가 낮은 수소-공기 혼합물을 점화시킬 수 있다. 직경이 5 mm 이상이거나 손가락과 같은 반구 모양의 막대에서 발생한 브러시 방전은 가스-공기 또는 증기-공

기 혼합물을 점화시킬 수 있다.

## 4.2 전압인가식 제전기

- (1) 전압인가식 제전기는 <그림 2>처럼 제전기의 뿔촉한 전극에서 코로나가 발생되도록 고전압의 전원공급장치를 사용하는 것으로서, 대전 물체의 전하는 코로나에 의해 발생된 이온화 전하를 끌어당겨 중화된다. 고전압 전원공급장치를 사용하면 코로나 개시 전압 이하에서는 제어할 수 없던 자기방전식 제전기의 문제점이 해결된다.



<그림 2> 전압인가식 제전기의 구성

- (2) 전압인가식 제전기는 고전압을 인가하기 위해 전원공급장치를 사용한다. 교류전원이 전극에 공급되며, 단락사고가 발생하는 경우 대 전류를 제한하기 위해 전류제한장치를 설치한다. 그러므로 폭발위험장소에서 사용되는 전압인가식 제전기는 방폭인증 제품이어야 한다.

## 5. 제전기의 구조 및 재료 요건

### 5.1 제전전극

제전전극의 구조 및 재료는 다음 각 항목에 적합하여야 한다.

- (1) 제전전극은 취급 및 사용 중에 쉽게 변형되지 않는 구조이어야 한다.

- (2) 제전전극은 고압전원 접속용의 인출 케이블 또는 커넥터가 설치되어 있어야 한다. 단, 인출 케이블은 기계적으로 확실하게 부착하고, 또한, 전기적으로 확실하게 접속됨과 동시에 케이블 인출 부분이 제전전극을 관통하는 부분에는 기계적 보호 및 방전 방지용의 조치가 강구되어 있어야 한다.
- (3) 고전압 전극의 단말부에는 방전 방지용 조치가 강구되어 있어야 한다.
- (4) 제전전극의 절연체에 사용하는 절연물은 절연열화가 적은 재질이어야 한다.
- (5) 제전전극의 고전압 충전부분은 방전전극의 침을 제외하고는 절연물로 덮여져 있어야 한다.
- (6) 방전전극의 링 부분은 링 1개마다 1본의 침이 전기적으로 확실히 접속하고, 침이 용이하게 빠지지 않는 방법으로 고정되어 있어야 한다.
- (7) 방전전극은 전극상호간이 절연되고, 고전압 전극과 링 부분 사이에는 절연물이 채워져 있어야 한다.
- (8) 방전전극의 침은 내구성이 있어야 한다.
- (9) 방전전극의 침은 원칙적으로 등간격으로, 또한 모든 침이 접지전극과 등거리가 되도록 배열되어 있어야 한다.
- (10) 방전전극의 침은 침 끝을 가지런히 하고, 또한 선단이 접지전극보다 돌출되지 않도록 한다.
- (11) 접지전극은 케이블의 차폐용 편조선과 전기적으로 확실히 접속되어 있어야 한다.

## 5.2 전원장치

전원장치의 구조 및 재료는 다음의 각 항목에 적합하여야 한다.

- (1) 전원장치는 누설형 단상 변압기의 사용 등에 의해, 2차 전압 및 2차 단락 전류의 제한 특성을 갖는 것이어야 한다.
- (2) 전원장치의 변압기는 양질의 재료로 만들어지고, 튼튼한 구조이어야 한다.
- (3) 전원장치에는 혼촉방지판이 있는 변압기를 사용하여야 한다.
- (4) 전원장치의 변압기의 권선 및 철심은 절연성 수지로 몰드되어 있어야 한다. 또한, 몰드시키는 절연성 수지는 사용 중에 균열이 생기지 않고, 누출할 염려가 없는 것이어야 한다.
- (5) 전원장치의 1차 측은 퓨즈, 표시등 및 전원 스위치가 설치되어 있어야 한다.
- (6) 전원장치는 2차 전압의 출력 유무를 표시하는 기능을 가져야 한다.
- (7) 전원장치의 2차 측에는 제전전극 접지용의 인출 케이블 또는 커넥터가 설치되어 있을 것. 또한, 인출 케이블은 기계적으로 확실하게 부착시키고, 역시 전기적으로 확실하게 접속됨과 동시에, 케이블 인출부분이 전원장치의 외함을 관통하는 부분에는 기계적 보호 및 방전방지용의 조치가 강구되어 있어야 한다.
- (8) 전원장치의 외함은 금속제로 기계적으로 견고하여야 한다.
- (9) 전원장치의 외함은 접지선을 확실하게 접속시킬 수 있는 접지단자가 설치되어 있어야 한다. 또한, 전원장치의 외함은 케이블의 실드용 도선(편조선)과 전기적으로 확실히 접속되어 있어야 한다.

### 5.3 케이블

케이블의 구조 및 재료는 다음의 각 항목에 적합하여야 한다.

- (1) 케이블은 심선의 주위에 반 도전층을 갖는 실드 편조선이 붙어 있는 동축케이블 또는 이것과 동등 이상의 성능을 가져야 한다.



- (2) 케이블의 절연재료는 절연 열화가 적은 것이어야 한다.
- (3) 케이블은 충분한 기계적 강도를 갖는 것이어야 한다.
- (4) 케이블의 단말부에는 방전 방지용의 조치가 강구되어 있어야 한다.

## 5.4 커넥터

커넥터의 구조 및 재료는 다음의 각 항목에 적합하여야 한다.

- (1) 커넥터는 기계적으로 견고한 동축 구조의 금속제 커넥터이어야 한다.
- (2) 커넥터의 절연재료는 절연열화가 적은 것이어야 한다.
- (3) 커넥터는 상호간이 기계적 및 전기적으로 확실하게 접속할 수 있고, 또한, 용이하게 빠지지 않는 구조이어야 한다.
- (4) 커넥터는 케이블, 제전전극 또는 전원장치에 기계적으로 확실하게 부착되고, 또한 전기적으로 확실하게 접속되는 것이어야 한다.
- (5) 커넥터는 정체구조이거나 또는 커넥터의 보기 쉬운 위치에 「통전 중 접속·분리 금지」라고 명시한 주의명판이 부착되어 있어야 한다.

## 6. 제전기의 성능 평가

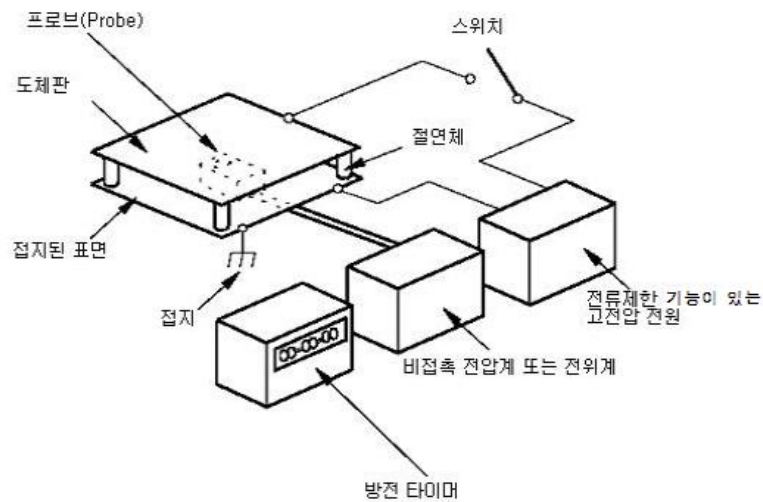
### 6.1 이온화 성능

- (1) 전압인가식 제전기의 공기 이온화 성능측정은 <그림 3>과 같이 대전판 모니터 (Charge plate monitor)로 구성된다.
- (2) 도체판은 전기적 접속을 하지 않은 상태로 시험장치에 장착한 경우에 최소 정전

용량이 15 pF를 확보하여야 하며, 그 크기는 150 mm×150 mm이어야 한다.

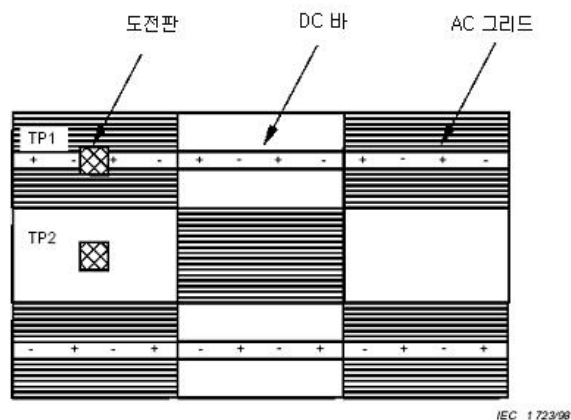
(3) 시험회로의 전체 정전용량은  $(20 \pm 2)$  pF이어야 한다.

(4) 모니터 장치의 응답시간은 대전판 전압을 정확하게 측정할 수 있도록 충분해야 한다.



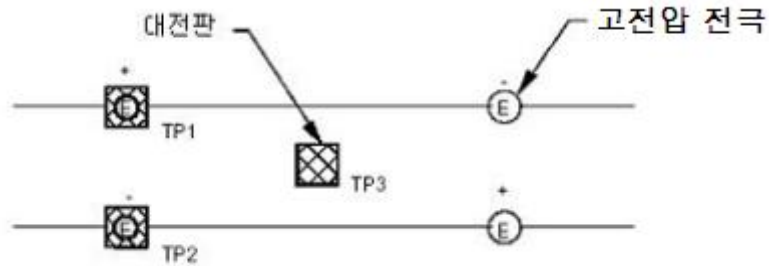
<그림 3> 대전판 모니터 구성도

(5) <그림 4>는 이온화 성능 측정을 위한 실내에서의 시험배치, 측정 위치 및 세부 사항의 예를 나타낸 것이다.



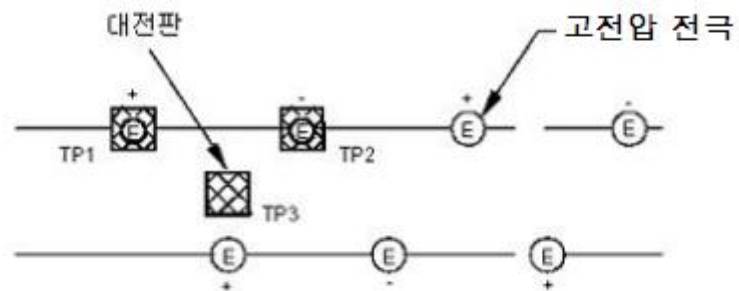
비고 : TP(시험위치)

<그림 4> 실내에 설치된 제전기의 성능시험 위치(교류 그리드 및 직류 바 시스템)



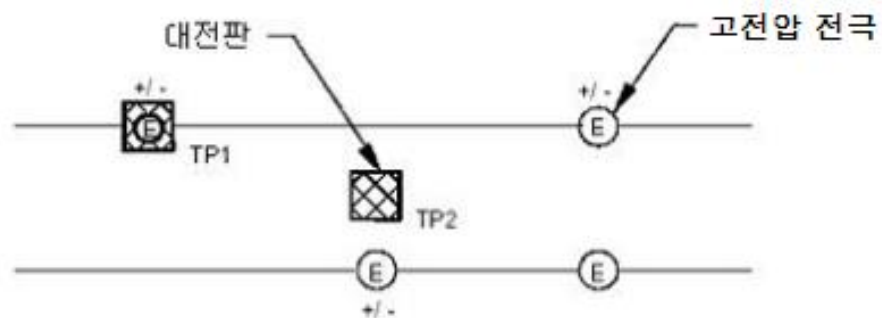
비고 : 세 지점의 측정위치가 필요함.

<그림 5> 실내에 설치된 제전기의 성능시험 위치(단 전극 고전압 시스템)



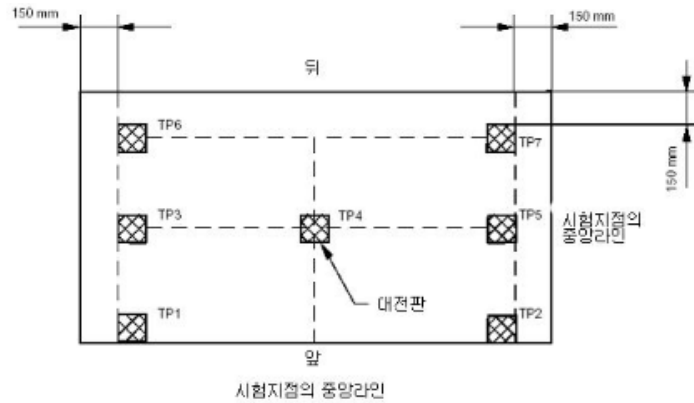
비고 : 세 지점의 측정위치가 필요함.

<그림 6> 실내에 설치된 제전기의 성능시험 위치(이중 직류 고전압 시스템)



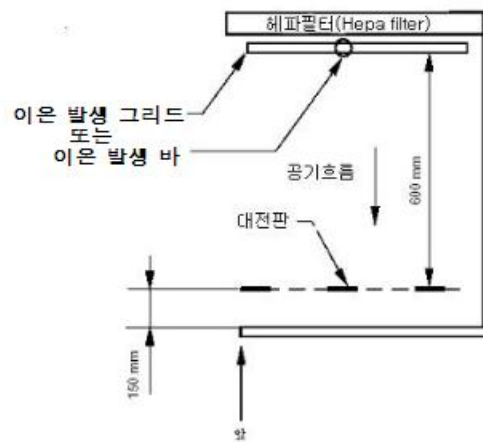
비고 : 두 지점의 측정위치가 필요함.

<그림 7> 실내에 설치된 제전기의 성능시험 위치(펄스 직류 고전압 시스템)



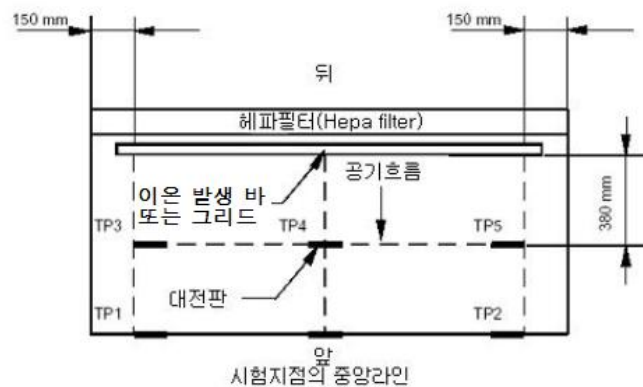
비고 일곱 지점의 측정위치가 필요함.

<그림 8> 수직 층류 후드에 설치된 제전기의 성능시험 위치(평면도)



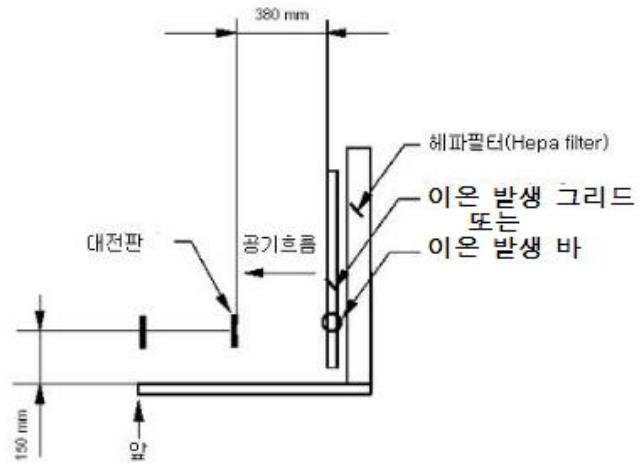
비고 : 두 지점의 측정위치가 필요함.

<그림 9> 수직 층류 후드에 설치된 제전기의 성능시험 위치(측면도)

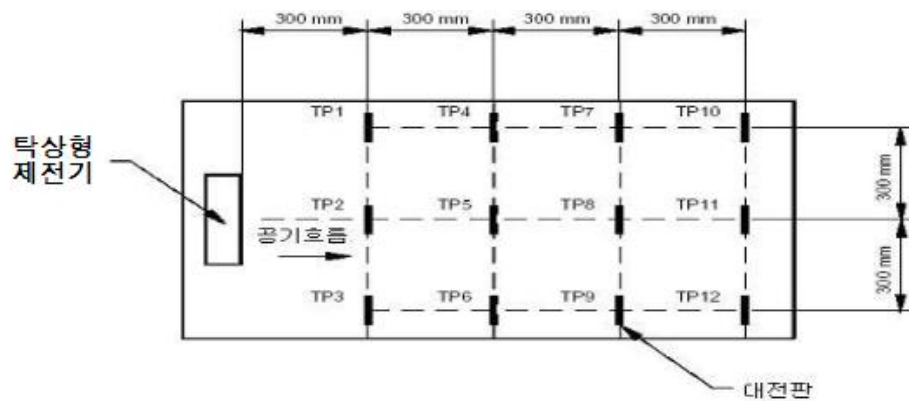


비고 : 다섯 지점의 측정위치가 필요함.

<그림 10> 수평 층류 후드에 설치된 제전기의 성능시험 위치(평면도)

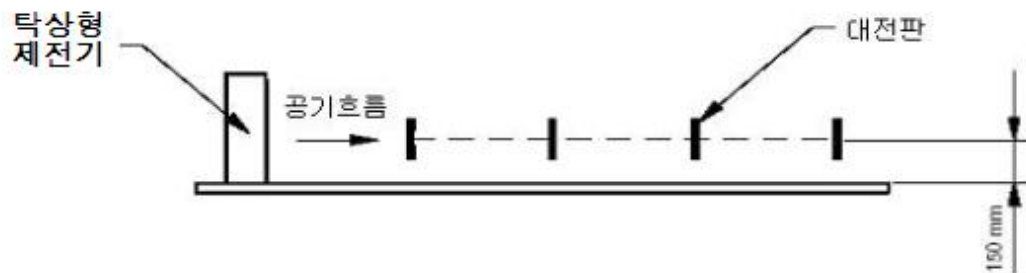


<그림 11> 수평 층류 후드에 설치된 제전기의 성능시험 위치(측면도)

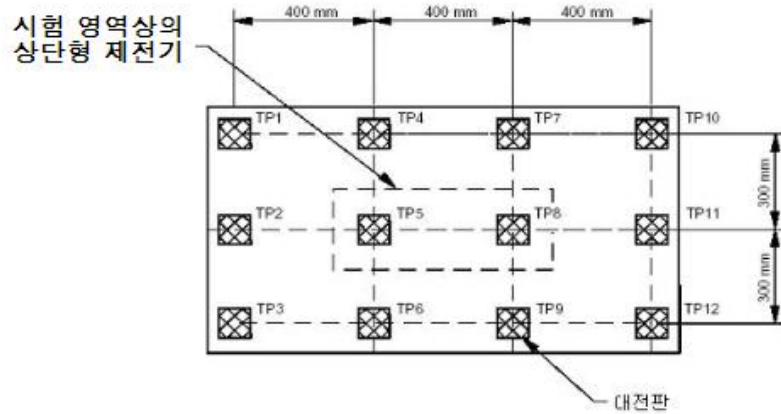


비고 : 열 두 지점의 측정 위치가 필요함.

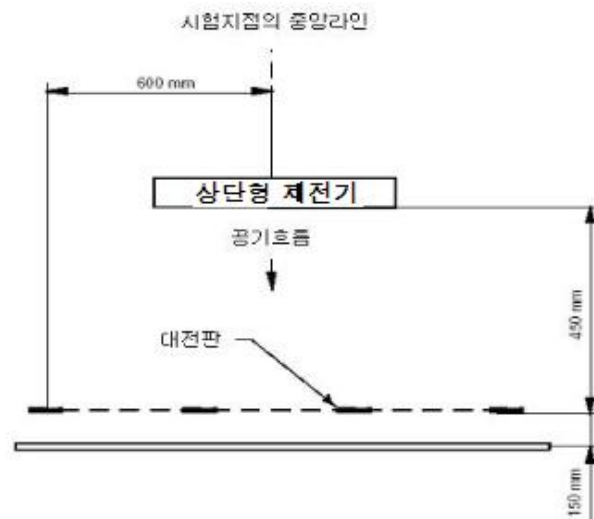
<그림 12> 수평 층류 후드에 설치된 제전기의 성능시험 위치(평면도)



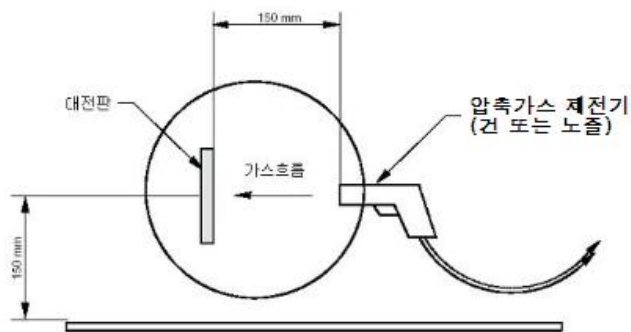
<그림 13> 탁상형 제전기의 성능시험 위치(측면도)



<그림 14> 상단형 제전기 성능시험 위치(평면도)



<그림 15> 상단형 제전기 성능시험 위치(측면도)



<그림 16> 압축가스 총(gun)형 제전기 또는 노즐형 제전기의 성능시험 위치(측면도)

## 6.2 도체판의 정전용량

- (1) 도체판의 정전용량을 측정하기 위하여 전원과 쿨롱미터가 필요하다. 판의 정전용량은 다음 식으로 결정한다.

$$C = Q/V$$

여기서  $Q$ 는 쿨롱단위로 판의 전하량

$V$ 는 보호구역 접지를 기준으로 한 판의 대전전압

$C$ 는 보호구역 접지를 기준으로 한 판의 정전용량이다.

- (2) 이미 알고 있는 전원전압을 판에 인가시켜서 대전전압  $V$ 를 측정하고 판의 전하량  $Q$ 는 쿨롱미터를 이용하여 측정한다. 위 식에서 나타낸 바와 같이 이들 두 개의 측정값을 통해 도전성판의 정전용량을 알 수 있다.
- (3) 정전용량이 20 pF( $\pm 10\%$ )의 범위에 있을 경우에는 전원전압으로 100 V를 사용하는 것이 편리하다. 20 pF의 정전용량을 갖는 도전성판에 100 V를 인가하면 판상에 2 nC의 전하가 대전된다.
- (4) 100  $\mu$ A의 전류제한값을 갖고  $\pm 2\%$ 로 측정되는 100 V $\pm 20\%$ 의 전원 장치와 적절한 눈금(전체 눈금이 최소한 3 nC)으로  $\pm 0.02$  nC의 분해능을 갖는 쿨롱미터 이상의 성능을 갖는 측정기로 측정한다.
- (5) 측정절차는 전원이 연결된 탐침자로 도전성판을 순간적으로 접촉하여 전압  $V$ 로 판을 대전시킨 후, 쿨롱미터가 연결된 탐침자로 도전성판을 접촉시켜 판상의 전하를 제거하고 전하 표시값을 기록하여, 평균값 및 표준편차를 측정하기 위해 10회의 시험을 반복한다. 표준편차는 0.5 pF 이하가 되도록 하는 것이 바람직하다.

## 7. 제전기의 안전한 사용

### 7.1 고전압에 대한 안전성

- (1) 침상전극에 있어서 코로나 방전개시 전압은 4 kV 정도이며, 실용장치는 이 이상의 전압을 채용하고 있기 때문에 고전압 장치의 범주에 든다. 방전침에 인체가 접촉하여도 이때의 방전전류가 수  $\mu\text{A} \sim 100 \mu\text{A}$  정도로 되기 때문에 전류제한 회로를 설치하여, 안전성을 배려하고 있으나, 장치 그 자체는 고전압 장치이기 때문에 안전에 충분한 주의를 기울여야 한다.
- (2) 보수 등으로 장치를 점검하는 경우에는 반드시 전원을 끄고 수행한다. 또한 접지하여야 할 개소는 완전하게 접지를 하여야 한다.

## 7.2 오존에 대한 안전성

- (1) 전압인가식 제전장치에서는 방전부에서 방전에 의해 정·부의 공기이온이 발생된다. 방전침의 코로나 방전부에서는 공기 중의 산소분자가 이온화되어 산소이온으로 됨과 동시에 각종 화학반응이 생겨 이온이 생성된다.
- (2) 이온은 강력한 산화제이기 때문에, 소량이라도 건강에 좋지 않으며, 고농도로 되면 신체에 해를 미치며, 환경상의 문제도 된다. 현재, 제전기에 대한 오존농도를 규정하고 있는 규격, 지침 등은 없으나 일반작업 환경 농도의 기준치를 초과하지 않도록 한다.
- (3) 오존의 작업환경농도의 기준치는 러시아를 포함하는 동구 여러 국가가 0.05 ppm으로 기준치를 설정하고 있으나, 일본, 미국, 유럽 등의 대부분의 나라에서는 0.1 ppm이 채택되고 있다.

## 7.3 방전침으로부터 발진(發塵)

- (1) 클린룸 내에서 제전장치를 사용하는 경우에는 방전침으로부터 발진의 문제가 있다. 발진은 2가지 현상으로, 하나는 코로나 방전에 따르는 방전침으로부터 그 소재가 방출된 스퍼터링(Sputtering) 현상이며, 또 다른 한 가지는 방전침의 선단에서의 전계집중에 의해 공기 중의 미량불순물이 응집·침착하여 이것이 불규칙적으로 비산하는 현상이다.



- (2) 스퍼터링의 대책으로는 방전침에 침식되기 어려운 소재를 사용하고 또한, 방전침을 도전성 석영그라스로 피복을 실시한다. 응집·침착의 대책으로는 방전침의 주변에 청정공기를 흘리는 방법을 고려할 수 있다.

#### 7.4 양·음 이온의 밸런스

- (1) 과거의 제전장치에서 양·음 이온의 밸런스는 수백 V 정도의 차이는 별로 문제가 되지 않았으나, 전자디바이스의 분야에서는 수십 V도 문제가 되기 때문에 제전장치에 대한 이온 밸런스의 요구가 더욱 엄격하게 되어, 각각의 기종으로 연구하여 양·음 이온의 밸런스 맞추고 있다.
- (2) 양·음 이온의 밸런스가 크게 달라지면, 대전전압이 증가하게 되어 자칫 제전능력의 상실에 따른 정전기 방전에 의한 화재·폭발을 일으킬 수 있으므로 양·음 이온의 밸런스에 대한 측정주기를 설정하여 관리할 필요가 있다.

#### 7.5 보수

- (1) 보수관리도 제전성능의 유지 및 고장방지를 위해 대단히 중요하다. 제전전극에서는 전계의 집중에 의해, 종이 가루, 실밥 그 외의 이물질이 방전침과 그 주변에 부착되어, 제전성능이 저하한다. 더욱이 오염이 심하게 되면 절연파괴가 일어나 제전전극의 소손을 불러올 염려가 있다. 그러므로 제전전극은 정기적으로 오염을 청소·제거할 필요가 있다.
- (2) 탁상형 제전전극장치의 연속운전 실험에 의하면, 제전성능은 교류방식에서는 5주 간에도 거의 저하 현상이 보이지 않으나, 직류방식에서는 저하 현상이 나타날 수 있으며, 이러한 현상은 방전침의 오염을 청소함으로써 상당히 완화할 수 있다.