

# 정전기(靜電氣) 대책

## 1. 정전기의 발생과 대전(帶電)

보통의 물체는 같은 양의 양전하와 음전하를 가지고 있어 전기적으로는 중성이지만, 2개의 서로 다른 물체가 접촉하면 그 경계면에서 전하의 이동이 생긴다. 이어서 이들 2개의 물체를 분리하면 각각의 물체에 같은 양의 과잉 양전하와 음전하 즉, 정전기가 발생한다 (그림 1).

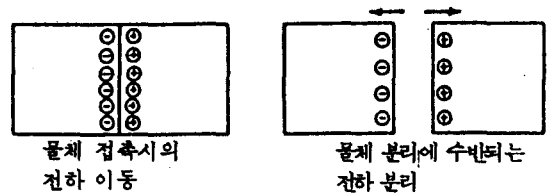


그림 1. 접촉·분리에 의한 정전기 발생



정전기는 고체·액체·기체인 모든 물체에 관계되어 2개의 물체의 접촉, 분리에 의하여 생기며, 그 예로는 물체의 마찰, 박리, 파괴, 충돌, 액체의 유동·분출 등을 들 수 있다. 그림 2에 그 예를 나타낸다.

2개의 물체를 마찰, 접촉시킨 경우에 양으로 대전하는 물체, 음으로 대전하는 물체로 나뉘어지는데, 이 조작을 몇개의 물체에 대하여 반복 시행하여 실험적으로 서열을 만든 것을 대전열(帶電列)이라고 말한다. 대전열중의 거리가 멀어지면 대전량은 많아지며, 대전열중의 거리가 가까운 것은 물체의 표면 상태나 측정 방법에 따라 서열이 달라지는 경우가 있다. 대전열의 예를 그림 3에 나타낸다.

발생한 정전기의 일부가 물체상에 축적

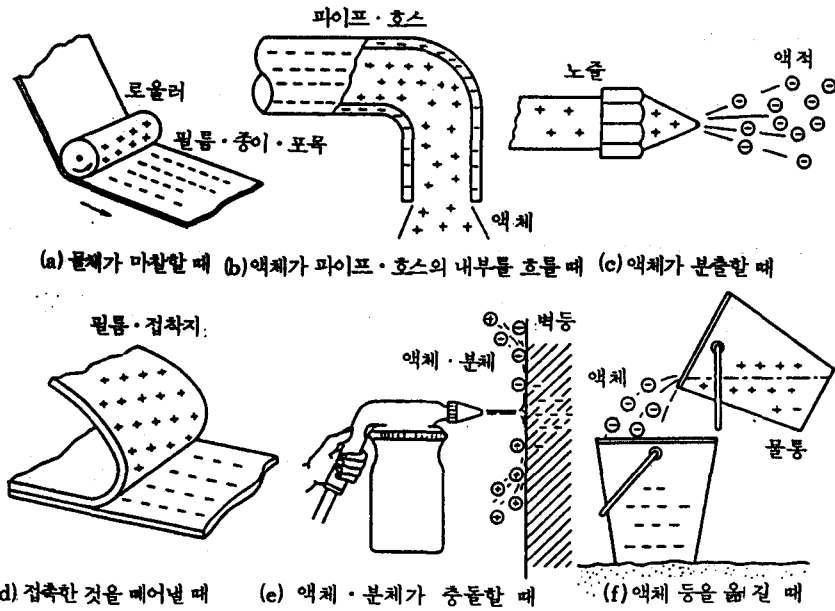


그림 2. 정전기 발생 과정의 예

하는 것을 대전이라고 말한다. 대전량은 대지(大地)로의 누설, 대기중의 방전, 반대 특성을 갖는 이온(ion)과의 결합 등에 의해 적어지게 된다.

대전하는 물체로는 절연물, 접지되어 있지 않은 도체 모두 가능하다. 일반적으로 누설 저항이  $10^6 \Omega$  이하의 물체나 체적 저항률이  $10^8 \Omega m$  또는 표면 저항률이  $10^{10} \Omega$  이하인 대지에 전기적으로 접속되어 있는 물체는 순간적으로 정전기가 소멸하므로 대전하지 않는 것처럼 보이게 된다.

## 2. 정전기에 의한 물리 현상

### 1) 정전기 방전(放電)

정전기의 전계(電界)에 의하여 가속된 전자의 충돌, 전리 작용에 기인된 기체의

절연 파괴이다. 공기의 경우에 그 절연 파괴 강도가 약  $30KV/cm$  이상이며 강한 전계가 국부적으로라도 형성되면 방전이 생긴다. 이때 에너지의 방출이 행해지는데, 그 대부분은 열로 되어 소비되지만 일부는 압력, 빛, 소리, 전자파로 변환된다.

방전은 주로 대전 물체와 접지된 도체간에 생기며, 그 발광(發光) 형태에 따라 불꽃 방전, 코로나 방전, 표면 방전으로 크게 나뉘어진다.

도체인 대전 물체와 접지 도체간의 방전은 일반적으로 강한 발광과 소리를 동반한 불꽃 방전이다. 이 경우에 대전 전하의 대부분이 방전하며, 그 에너지 밀도도 높으므로 가연성(可燃性)의 기체, 증기 뿐만 아니라 분체(粉體)를 인화시킬 수 있으

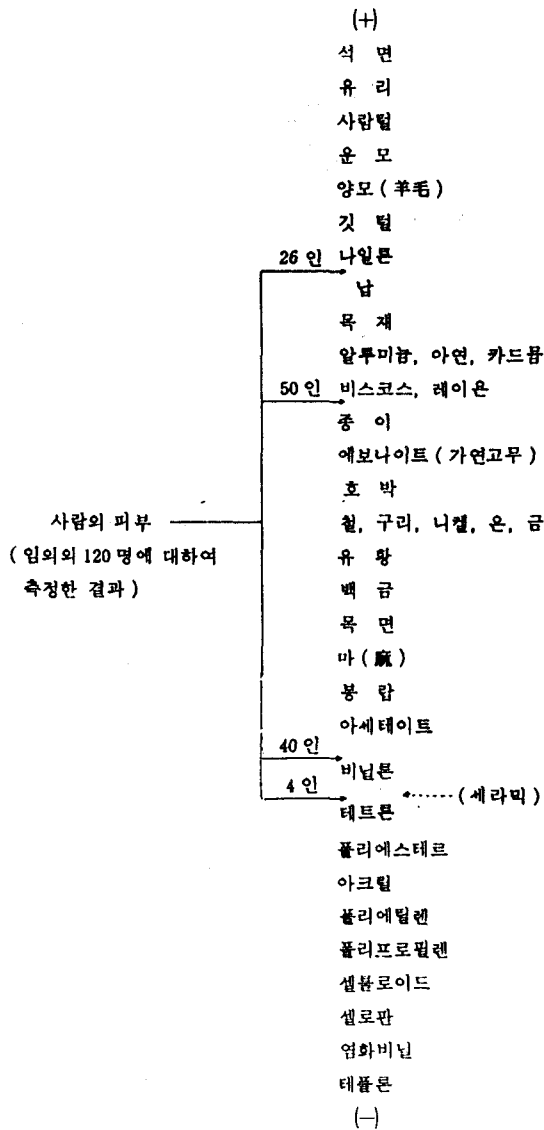


그림 3. 대전열의 예

며, 그 밖에 인체에 대한 전기적 충격이나 전자 기기, 부품의 파괴, 전자파에 의한 통신 장애 등의 방전 장애를 일으키기 쉽다.

한편, 절연물과 접지 도체간의 방전은 일반적으로 미약한 빛과 소리를 동반한 부분적인 파괴인 코로나 방전으로 된다. 이 방

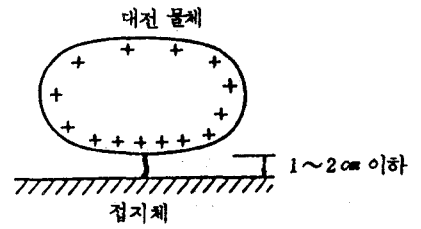


그림 4. 타원형의 불꽃 방전

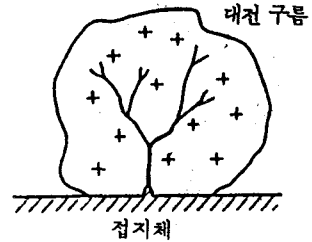


그림 5. 분출형의 불꽃 방전  
(벼락 모양의 불꽃 방전)

전은 대전 전하의 일부가 방출할 뿐인데, 그 방전 에너지는 대전 물체나 접지 도체의 형상, 저항률 등에 영향을 받는다. 대전 물체의 저항률이 작고, 대전 부분의 면적 및 접지 도체 등의 곡률 반경이 큰 만큼 방출 에너지가 크며, 대전 물체의 가장자리, 돌기 부분 또는 평평한 대전 물체가 가까이 있는 접지 도체의 돌기 부분에 생기기 쉽다. 방전 전극의 곡률 반경이 수 mm~수cm인 경우의 방전은 가연성 기체, 증기에 대해 인화력을 가지며, 또 방전 전위가 높아지면 불꽃 방전에 이르므로 주의할 필요가 있다.

두께 수 mm 이하인 방전 물체의 뒷면에 접지 도체가 수 mm 이하로 밀착하여 표면 전하 밀도가  $10^{-4} \text{ C/m}^2$  정도로 된 경우에 대전 물체의 표면에 접지 도체가 접근하면,

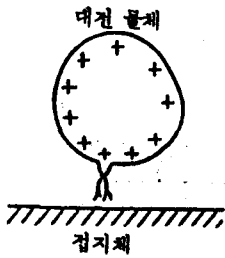


그림 6. 양의 코로나 방전

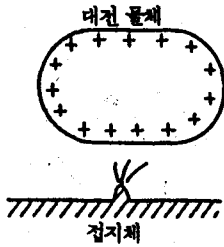


그림 7. 음의 코로나 방전

전위가 수백V 정도로 낮은 경우에도 강한 발광을 동반하는 표면 불꽃 방전이 생긴다. 그리고 이와 동시에 대전 물체 표면의 방전점을 향하여 주위의 표면 전하가 방전한다. 표면 불꽃 방전은 방전 에너지가 크므로 불꽃 방전과 마찬가지로 가연성의 기체·증기·분체의 인화원이 되며, 그 밖에 각종 방전 장애를 일으킨다. 또, 표면 방전의 방전길을 따라 static mark로 불리는 방전 흔적이 남으며, 이는 제품의 질저하의 원인이 된다.

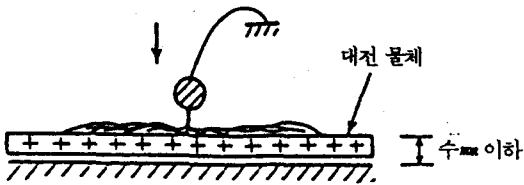


그림 8. 표면 방전의 발생

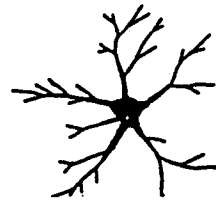


그림 9. 방전 흔적의 예 (static mark)

2) 역학 현상

앞에서 설명한 정전기 방전과 함께 중요한 정전기 현상의 하나이며, 대전 물체 상호간 혹은 대전 물체가 만드는 전기에 의하여 가까운 도체, 유전체(誘電體)의 표면에 나타나는 유도 전하, 분극 전하와 대전 물체간에 작용하는 쿨롱력(Coulomb force)에 의하여 반발력·흡수력이 생기는 현상이다.

이를 반발력, 흡수력은 전기의 변형에 의해 생기는 것인데, 전기의 최대값은 앞에서 설명한 방전 현상에 의하여 억제되므로, 대기중에서는 0.4gf/cm 정도 밖에 되지 않는다. 그렇지만 정전력은 물체의 표면에 작용하는 힘이므로, 용적에 비하여 표면적이 큰 물체, 예를 들면 미립자, 섬유, sheet 등의 경우에는 중력을 이겨내는 힘이 작용한다. 일반적으로 입자의 반경 혹은 sheet의 두께가 0.1mm 이하로 되면 정전력이 중력보다도 크게 된다.

3) 정전 유도

대전 물체에 의해 생기는 전기로 인하여 가까운 도체의 표면에 대전 물체와 극성이 다른 전하, 또 이것과 같은 양의 동일 극

성의 전하가 대전 물체로부터 이탈한 표면에 나타나는 현상이며, 대전 물체가 없어지면 전하의 중화가 생겨 비대전 상태로 되므로 말하자면, 외관상의 전하라고 할 수 있다.

다만 절연이 완전하지 않은 도체의 경우에는 대전 물체로부터 먼 쪽의 유도 전하의 일부가 대지 등에 누설하여 대전 물체가 없어진 후에도 그 누설 분량 만큼 반대 극성의 과잉 전하가 남는 대전 상태를 유지할 수 있다. 이 전하는 앞에서 설명한 정전기 방전, 역화 현상을 일으킬 수도 있다. 이것은 인체와 같은 이동 물체의 경우에 생기기 쉬우므로 주의할 필요가 있다.

### 3. 정전기에 의한 장애

#### 1) 생산 장애

생산 장애는 앞에서 설명한 정전기 방전에 의한 것과 역화 현상에 의한 것으로 크게 나뉜다.

정전기 방전에 의한 것의 대표적인 경우는 반도체 소자의 손상인데, MOS형 IC·LSI의 얇은 산화막이 방전 에너지에 의해 열적인 손상을 입을 수 있다.

이러한 손상은 직접적인 방전에 의해서 뿐만 아니라 대전된 인체, 물건의 리드선 등이 닿았을 때에 소자 내부에서 발생한 방전에 의해서도 생긴다. 일반적으로  $10^{-5}$  J의 방전 에너지 또는  $10^{-8}$  C 이상의 방전 전하가 있으면 소자는 손상을 받는다.

또, 방전할 때 주파수 대역이 넓은 전자파가 전자 기기의 잡음원으로 되어 반도체 회로에 불안정한 동작을 일으키며, 기기 손상 뿐만 아니라 2차 재해를 일으킬 위험성이 있다.

그 밖의 정전기 방전에 의한 생산 장애로는 정전 도장(靜電塗裝)에 있어서 표면 방전에 의한 static mark나 방전시의 발광에 의한 사진 필름의 감광, 콘덴서용 필름의 핀홀(pinhol) 등을 들 수 있다.

한편, 역화 현상에 의한 장애로 문제가 되는 것은 티끌의 부착이다. 특히 최근의 반도체 제조에서는  $0.1 \mu m$  이하의 미립자가 문제로 되고 있으므로, 더욱더 정전기 대책이 중요하게 된다.

그 밖의 역화적 장애로는 분체의 응집, 종이, 필름 등의 휘감김 등을 들 수 있다.

#### 2) 폭발·화재

폭발·화재는 가연성의 기체·증기·분체가 대기와 같은 곳에서 가연성 혼합물로서 존재할 때에 이 혼합물을 인화하는데 필요한 최소 에너지 이상의 에너지가 정전기 방전에 의해 방출된 경우에 생긴다.

상온·상압인 공기와 혼합된 경우에 최소 인화 에너지는 메탄·프로판·메탄올·벤젠·에테르 등의 경우  $0.2 \sim 0.3 mJ$ , 이류화(二硫化) 탄소·수소·아세틸렌·유화(硫化) 수소·에틸렌 등의 경우는 현저하게 낮아  $0.1 mJ$  이하로 된다. 또, 각종 분체의 최소 인화 에너지는  $10 \sim 30 mJ$  정

도의 것이 많다.

이것에 대한 정전기 방전의 방전 에너지는 0.1~1mJ 정도이거나 그것 이하이며, 모두 인화·폭발의 원인으로 될 수 있기 때문에 정전기 대책이 필요하다.

3) 전기적 충격

정전기 방전에 의해 사람이 전기적 쇼크를 받는 현상이며, 대전된 인체와 접지 도체간의 방전, 대전 물체와 인체간 어디에서도 생긴다. 통상의 감전에 비해 정전기에 의한 전기적 충격은 현저하게 약하고, 전기적 충격으로 인하여 죽지는 않지만 그 쇼크로

인하여 굴러 넘어지거나, 기계와의 접촉 또는 그 공포감으로 인한 스트레스에 의해 작업능률의 저하 등 2차적인 장애를 초래한다.

표 1에 인체의 대전 전위와 전기적 충격의 강도와의 관계를 나타냈는데, 고통을 수반하는 것은 방전 전하가  $2\sim 3 \times 10^{-7} C$  이상일때 생기므로 약 90 pF의 정전 용량을 갖는 인체는 약 3KV 이상으로 대전하였을때에 전기적 충격을 받게 된다. 또, 이때의 방전 에너지는 약 0.4mJ 이상으로 되므로, 가연성 혼합물의 인화원으로 될 가능성이 높은 것에도 충분히 주의를 기울일 필요가 있다.

표 1. 인체의 대전 전위와 전기적 충격의 강도와의 관계

인체대전 전위(KV)	전기적 충격의 강도
1	전혀 느껴지지 않는다.
2	손가락 바깥쪽에 느껴지지만 아프지 않다.
2.5	방전한 부분이 바늘에 닿은 느낌으로 움찔 놀라지만 아프지는 않다.
3	따끔한 통증을 느낀다. 바늘로 찔린 느낌을 받는다.
4	손가락에 미약한 통증을 느낀다. 바늘로 깊게 찔린 통증을 느낀다.
5	손바닥 또는 팔꿈치까지 전기적 충격을 아프게 느낀다.
6	손가락에 강한 통증을 느끼고, 전기적 충격을 받은 후 팔이 무겁게 느껴진다.
7	손가락, 손바닥에 강한 통증과 마비된 느낌을 받는다.
8	손바닥 또는 팔꿈치까지 마비된 느낌을 받는다.
9	손목에 강한 통증과 손이 마비되어 무거움을 느낀다.
10	손 전체에 통증과 전기가 흐른 느낌을 받는다.
11	손가락에 강한 마비와 손 전체에 강한 전기적 충격을 느낀다.
12	강한 전기적 충격으로 손 전체를 강타당한 느낌을 받는다.

(주) 인체의 정전 용량 90 pF

#### 4. 정전기 대책

정전기에 의한 장애를 방지하기 위한 기본적인 대책은 물체의 대전을 방지하는 것이다. 대전의 방지를 위한 방법으로는 1) 발생을 적게 한다, 2) 발생한 정전기를 누설시킨다, 3) 대전하고 있는 정전기를 중화하는 것의 3가지 방법이 기본적인 것이다.

##### 1) 정전기 발생을 적게 한다.

정전기 방지를 적게 하는 대책은 아직 그 발생 메카니즘 (mechanism)이 이론적으로 명확히 밝혀지지 않았으므로, 근본적으로 발생을 방지하는 것은 곤란하지만, 경험적으로 발생 요인이 해명되어 다음과 같은 대책이 실시되고 있다.

- ① 압력이나 속도를 작게 한다.
- ② 마찰의 빈도를 작게 한다.
- ③ 정전기를 발생하기 어려운 재료·형상의 물체를 사용한다. (대전열이 가까운 재료의 사용 등)

##### 2) 발생한 정전기의 누설 촉진

###### (i) 접 지

대전 방지에 있어서 내부 도체의 접지가 가장 기본적인 대책이다. 도체의 누설 저항을  $10^6 \Omega$  이하로만 하면 되므로 대지와 접지극간의 접지 저항을  $1 K\Omega$  정도로 하면 충분하다. 정전기 이외의 접지와 공용하는 것도 가능하지만, 피뢰침, 서지 (surge) 전압 등의 영향이 예상되는 경우에는 단독 접지극으로 해야 한다. 접지가 필요한 물체로

는 누설 저항이  $10 K\Omega$  이상이며, 또한 대전할 가능성이 있는 도체는 모두이지만, 누설 저항이  $10^6 \Omega$  이하인 인체나  $10^6 \Omega$  이하인 도체, 정전 용량이 작아 방전 시간이  $10^{-1}$  초 이하인 것은 필요하지 않을 수도 있다.

도전율이  $10^{-4} U/m$  이하인 물체도 도전율이 극단적으로 작아지면 대지에 접지된 도체와의 접촉에 의해 전류를 억제하는 경우가 있는데, 체적 저항률 및 표면 저항률에 따라서 그 효과는 크게 다르며, 도체와 접촉된 정전기를 누설시키는데 필요한 시간도 다르다. 표 2에 도전율에 의한 효과, 표 3에 방전 시간의 관계를 나타낸다.

###### (ii) 대전 방지제의 사용

절연체의 표면 흡습성을 높여 표면 저항률을 낮추기 위한 것이며, 절연물에 대한 표면 도포용, 살포용, 분사용, 침적용 등의 외부용과 문질러 바르는 것, 섞어 넣는 것 등의 내부용이 있다. 이것에 의해 표면 저항률이  $10^{12} \Omega$  이하로 감소하면 상당한 대전 방지 효과를 얻을 수 있지만, 대전 방지제는 표면 흡습 효과를 이용하고 있으므로 상대 습도가 50% 이하로 되면 효과는 작아지며, 30% 이하로 되면 반감하므로 주의할 필요가 있다.

###### (iii) 대전 방지 용품의 사용

도전성 물질인 금속, 탄소를 섞어 넣거나 도전성 물질 혹은 대전 방지제를 섞어 넣어 표면 가공하여 도전성을 부여한 고무,

표 2. 부도체의 대전성과 접지효과

체적저항률 [ $\Omega \cdot m$ ] 도 전 율 [ $V / m$ ]	$10^8$	$10^{10}$	$10^{12}$	$10^{14}$	
표면저항률 [ $\Omega$ ]	$10^{10}$	$10^{12}$	$10^{14}$	$10^{16}$	
누설저항 [ $\Omega$ ]	$10^6$	$10^8$	$10^{10}$	$10^{12}$	
접지된물체의 대전성	없 다	낮 다	중 간	높 다	아주 높다
접지에 의한 대전방지의가능성	가 능	발생이 작으면 가능	방전시간에 의해 가능	방전시간에 의해 일부가능	불 가능

(주) 도전율은 체적 저항률의 역수

표 3. 방전 시간의 지표

대전물체의 도 전 율 [ $V / m$ ]	방 전 시 간 (분)			
	대전물체의 용 적 [ $m^3$ ]			
	< 10	10 ~ 50	50 ~ 500	> 5000
< $10^{-16}$	10	15	120	240
$10^{-14} \sim 10^{-12}$	4	5	60	120
$10^{-12} \sim 10^{-8}$	2	3	10	30
> $10^{-8}$	1	1	1	2

플라스틱, 섬유 등이 사용된다. 일반적으로는 체적 저항률이  $10^8 \Omega m$  이하, 표면 저항률이  $10^{12} \Omega$  이하, 누설 저항이  $10^8 \Omega$  이하에 이르면 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

(iv) 가습 (可濕)

부도성 (不導性)의 가습에 의한 표면 저항률의 저하를 기대하는 방법이며, 상대습도의 목표는 65% 정도인데, 역으로 이슬

이 맺히는 것 (結露)에 의한 품질의 저하를 일으키는 것도 생각할 수 있다. 또, 흡습성이 없는 물체에는 효과가 없으며, 습기에 약한 물질에는 실시가 불가능하다.

3) 대전 전하의 중화

대전한 절연체에 대전 전하와 다른 극성의 이온을 분사하여 대전 전하를 중화하는 방법으로 제전기 (除電器)의 사용에 의해



행해진다.

방사선식 제전기로 크게 나눌 수 있으며, 용

제전기는 제전 이온의 발생 원리에 따라 도에 따라 선정된다.

전압 인가식 제전기, 자기 방전식 제전기,

표 4. 각종 제전기의 특징·용도

제전기의 종류·형	특 징	주 된 용 도
전압인가식 제전기		
표 준 형	제전능력이 크다 기종이 풍부	필름, 종이, 포목의 제전
노 즐 형	송풍 기능 보유	국소의 제전
플 랜 지 형	배관의 플랜지에 접속 가능하다. 송풍 기능 보유	배관내 유동 분체의 제전
관 형	handy type, 송풍 기능 보유	티끌의 제거, 국소의 제전
방 폭 형	인화원으로 되지 않는다. 고가, 설치가 복잡	용제 도포, 인쇄시의 제전
직 류 형	제전능력이 높지만 역대전할 우 려가 있다.	단일극성에 대전하는 필름, 종이, 포목의 제전
자기방전식 제전기	대전 전위가 높은 물체의 제전에 유효하지만, 수KV 이하에서는 제 전 되지 않는다. 취급이 간단하 고, 저렴하며 인화원으로 되기 어렵다.	필름, 종이, 포목, 플라스틱, 분체 등 모든 대전 물체의 제전
방사선식 제전기	인화원으로 되지 않는다. 방사선 방호가 필요하고 제전 능력도 작다.	탱크·교반 용기내의 가연성 물질의 제전

### 5. 인체의 대전 방지 대책

우리 인체는 도체이지만, 통상의 경우에는 절연 상태로 있으므로 대전한다. 대전된 인체로부터의 정전기 방전은 가연성의 기체·증기 등의 인화원으로 되며, 전기적 충격이나 생산 장애를 일으킬 확률이 매우 높

으므로 대전 방지 대책은 불가결한 것으로 되고 있다. 인체의 대전은 보행할 때 등에 인체 혹은 사람이 착용하고 있는 물건과의 마찰, 박리 등에 의하여 생기는 것 이외에 대전 물체와의 접촉, 대전 물체에 의한 방전, 정전 유도, 대기중의 대전 입자나 이온의

부착에 의하여 생긴다. 인체의 대전열, 의류의 재질과 상대 습도의 관계를 표에 나타냈다. 인체의 정전 용량은 100pF 정도이며 정전기 발생량도 적으므로, 누설 저항이

10<sup>8</sup> Ω 이하로 되면 대전은 문제가 되지 않는다. 이 값을 얻기 위한 여러가지 대책을 아래에 나타낸다.

표 5. 섬유유의 습도차에 의한 대전압의 차이 (KV)

상대습도	50 %	65 %	80 %
양 모	4.9	2.0	0.8
목 면	0.1	0	0
비스코스	4.7	1.6	0.5
아세테이트	6.0	3.5	3.3

표 6. 인체로의 대전예 (KV)  
(상대습도 15 ~ 36 %에서 측정)

	일반적인 값 ~ 최고값
수탄 (獸炭) 위	12 ~ 39
비닐타이어 (일반품)	4 ~ 13
비닐슬리퍼	2.5 ~ 30
안에 고무를 붙인 슬리퍼	1.5 ~ 10

표 7. 겂옷과 속옷의 조합에 의한 인체로의 대전예 (KV)

겂옷 \ 속옷	목 면	양 모	아크릴	폴리에스테르	나일론	비닐론 / 면
목면 (100 %)	1.2	0.9	11.7	14.7	1.5	1.8
비닐론 / 면 (55/45 %)	0.6	4.5	12.3	12.3	4.8	0.3
폴리에스테르 / 레이온 (65/35 %)	4.2	8.4	19.2	17.1	4.8	1.2
폴리에스테르 / 면 (65/35 %)	14.1	15.3	12.3	7.5	14.7	13.8

1) 대전 방지복

도전성 섬유를 넣은 것과 대전 방지제를 넣은 것으로 크게 나뉘는데, 코로나 방전을 이용하는 전자가 후자에 비해 저습도에 있어서 성능, 내구성이 우수하므로, 방전 장애를 받기 쉬운 반도체 제품을 취급하는 작업자용의 방진의 (防塵衣) 나 작업복으로는 한결같이 전자가 사용되고 있다.

2) 대전 방지 구두

인체에 대전한 전하의 누설을 촉진하도록 도전성을 높인 구두이며, JIS (일본 공업 규격)에 구조와 대전 방지 성능이 규정되어 있다(표 8). 뒤에 설명할 도전성의 바닥면 위가 아니면 효과가 없다. 또, 사용중에 구두 바닥의 절연성 물질의 부착에 의한 성능 저하를 생각할 수 있으므로 정기 점검을 할 필요가 있다.

표 8. 정전기 대전방지 구두의 성능  
(JIS T8103 - 1979)

종 류	기 호	정전구두로서의 성능 (1개당 전기저항 $R(\Omega)$ )	접지침 의유무	참 고
1종	정전안전구두 AS-1S	$1.0 \times 10^5 < R < 1.0 \times 10^8$	유	인화에너지가 0.1mJ 이상인 가연성 물질 또는 증기(메 탄, 프로판등)를 취급하는 경우
	정전작업구두 AS-1W		무	
2종	정전안전구두 AS-2S	$1.0 \times 10^5 < R < 1.0 \times 10^7$	유	인화 에너지가 0.1mJ 미만인 가연성 물질(수소, 아세틸렌 등)을 취급하는 경우
	정전작업구두 AS-2W		무	

### 3) 도전 바닥

도전 바닥으로는 금속판의 바닥, 건조하  
지 않은 콘크리트 바닥, 대전 방지 처리·  
가공을 한 바닥, 매트, 카펫, 도전성 도  
료를 칠한 바닥 등이 있다. 대전 방지 처리  
·가공을 한 바닥 재료에는 도전성인 테라  
조·모르타르·고무·염화 비닐 등이 있다.  
또, 도전성 매트에 대해서는 노동성 산업  
안전 연구소(일본)의 기술 지침에 구조

와 성능이 규정되어 있으며, 그 누설 저항  
은  $10^7 \Omega$  이하로 되어 있다.

### 4) 기 타

실내에 접지한 금속봉에 필요에 따라서  
맨손으로 접촉하는 방법이나 인체와 도전  
구두, 접지된 도체를 접촉하기 위한 가죽  
끈(strap)등을 사용하는 방법이 있다.



사진 1. 손목에 부착하는 가죽끈  
(wrist strap)

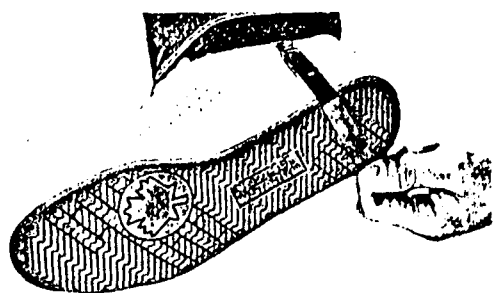


사진 2. 구두용 접지 가죽끈  
(ground strap)