

# 정전기 재해 방지

정재희  
(서울산업대학 교수·공박)

## 1. 머리말

산업 현장에서 마찰·박리·유동·분출·충돌·파괴 및 교반 등의 여러 과정을 통하여 발생하는 정전기는 방전할 경우 정전 에너지에 의하여 주변의 가연성 가스·증기 및 분자에 착화하여 화재 및 폭발을 발생시킨다.

그리고 이 정전기는 반도체 소자(IC 등)의 제조 및 조립 과정에서 반도체 소자에 직접 영향을 주어 P-N 접합층이나 SiO<sub>2</sub>층 혹은 Metal층을 파괴시키거나 성능 저하를 초래하여 수출 및 품질 저하를 가져오고, 반도체 소자가 포함된 자동화 설비 즉, 로봇트·전자 교환대·컴퓨터 제어 시스템 및 일반 PC Control 하는 자동화 설비에 오동작을 유발하여 사고 및 생산 장애 등을 유발한다.

정전기는 또한 반도체 제조 공정에서 Contamination을 유발하여 수율을 감소시키고, 철 등의 생산 속도를 화재 발생의 가능성 때문에 억제시켜 생산성을 저하시키는 등 다양한 장·재해를 유발하고 있어 여기에서는 이들 중 정전기 재해를 예방하는 대책에 관하여 설명하고자 한다.

## 2. 접지에 의한 도체의 대전 방지

### 가. 접지에 의한 대전 방지

접지는 물체에 발생한 정전기를 대지로 누설 또는 완화시켜 정전기의 축적이나 대전을 방지하기 위한 것이다. 이외에도 대전 물체의 근방이나 또는 그것과 접촉되어 있는 물체에 대전 물체로부터 정전 유도에 의한 정전기 발생을 방지하고, 대전 물체의 전위 상승을 억제하거나 정전기 방전을 억제하기 위한 것이다.

#### (1) 접지 및 본딩의 대상

(가) 접지의 대상이 되는 것은 금속 도체이다.

(나) 그러나 다음의 물체에 대해서는 그 표면에 금속 도체를 밀착시켜 이것을 접지 전극으로 하는 간접 접지 방법을 적용시킬 수 있다.

① 도전율이  $1 \times 10^{-6}$  [s/m] 이상인 도체 및 표면 고유저항이  $1 \times 10^9$  [Ω] 이하인 물체의 표면

② 도전율이  $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-10}$  [s/m]인 중간 영역의 도체 및 표면 고유저항이  $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{11}$  [Ω]인 물체의 표면.

본딩의 대상은 금속 도체 상호간 또는 대지에 대해서 전기적으로 절연되어 있는 2개 이상의 금

속이 접촉된 금속 도체이다. 여기서 본딩이란 2개 이상의 금속 도체를 전기적으로 접속하여 서로 같은 전위로 만드는 것을 말한다.

#### (2) 접지 및 본딩 저항

접지저항은 표준 환경 조건(기온 20℃, 상대습도 50%)에서  $1 \times 10^3$  [Ω] 미만이어야 하지만, 실제 설비에의 적용을 100 [Ω] 이하로 관리하고, 다른 목적의 접지와 공용한 경우는 그 접지저항만으로도 충분하다. 그리고 본딩 저항은 접지 저항값에 준한다.

### 나. 접지에 의한 대전 방지 효과

#### (1) 분체류의 대전 방지 효과

도전율이  $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-12}$  [s/m]인 분체류가 정지 또는 퇴적되어 있을 때에는 그 금속체의 판이나 용기를 접지하면 분체류의 대전을 간접적으로 방지할 수 있다. 단 이때는 정전기의 누설 시간이 필요하므로 정지 시간의 설정이 필요하다. 그러나 일반적으로 유동하거나 일정 공간 등에 부유해 있는 분체류는 접지에 의해서 대전을 방지할 수 없으므로 제전기를 사용하는 등의 다른 대책이 필요하다.

그리고 분체류의 도전율은 흡습 정도 및 체적 등에 따라 크게 변

〈표1〉 정치 시간 일람표

대전 물체의 도전율(s/m)	대전 물체의 용적(m <sup>3</sup> )			
	10 미만	10 이상 50 미만	50이상 5000 미만	5000 이상
10 <sup>-1</sup> 이상	1분	1분	1분	2분
10 <sup>-2</sup> 을 넘고 10 <sup>-4</sup> 이하	2분	3분	10분	30분
10 <sup>-4</sup> 이상 10 <sup>-13</sup> 이하	4분	5분	60분	120분
10 <sup>-14</sup> 을 넘는 것	10분	15분	120분	240분

〈표2〉 정치 시간 일람표(일반적 위험물)

탱크 로울리	5분
탱크차	15분
500kl 미만의 탱크	30분
500kl 이상의 탱크	60분
1,000kl 미만의 탱크	30분
1,000kl~5,000kl 미만의 탱크	60분
5000kl 이상의 탱크	120분

화하므로 접지를 하더라도 대전 방지의 효과가 있는지의 여부를 확인해야 한다.

(2) 액체류의 대전 방지 효과

도전율이  $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-12}$  [s/m]인 액체가 정지하고 있을 때에는 이것과 접촉되어 있는 금속 도체(금속제 용기 등)를 접지하여 정전기 대전을 방지할 수 있으나, 이 때는 정전기 누설에 시간이 걸리므로 정치 시간을 설정한 필요가 있다.

관내를 유동하거나 노즐로부터 분출되는 액체류는 그 도전율에 관계없이 접지에 의해 대전을 방지할 수 없으며, 도전율이  $10^{-12}$  [s/m]인 정지해 있는 액체에 대해서는 정치 시간을 설정하더라도 접지만으로 충분한 대전 방지 효과를 기대할 수는 없다.

(3) 정치 시간과 대전 방지 효과

대전 물체가 가연성 물질이면서 위험한 분위기를 조성하고 있거나 가능성이 있는 경우에는 다음 〈표1, 2〉의 정치 시간을 주어 정전기를 대지로 누설시켜 주는 것이 바람직하다.

(4) 배관내 액체의 유속 제한

불활성화할 수 없는 탱크, 탱크 로울리, 탱크차, 드럼통 등에 위험물을 주입하는 배관은 다음의 관내 유속이 되도록 설비하고 그 유속의 값 이하이어야 한다.

① 저항률이  $10^{10}(\Omega\text{cm})$  미만의 도전성 위험물의 배관 유속은 7(m/s) 이하로 할 것.

② 에틸, 이황화탄소 등과 같이 유동대전이 심하고 폭발 위험성이 높은 것은 배관내 유속을 1(m/s) 이하로 할 것.

③ 물이나 기체를 혼합한 비수용성 위험물은 배관내 유속을 1(m/s) 이하로 할 것.

④ 저항률  $10^{10}(\Omega\text{cm})$  이상인 위험물의 배관내 유속은 〈표3〉 값 이하로 할 것.

단 주입구가 액면 밑에 충분히 침하할 때까지의 배관내 유속은 1(m/s) 이하로 할 것.

(5) 정전 유도의 방지 효과

접지는 물체에 정전기가 발생하지 않아도 정전 유도에 의한 정전기 대전을 방지하는 데에도 유효

〈표3〉 관경과 유속 제한 값

관내경D		유속V [m/초]	v'	v'D
[inch]	[m]			
0.5	0.01	8	54	0.64
1	0.026	4.9	24	0.6
2	0.05	3.5	12.25	0.61
4	0.01	2.5	5.25	0.53
8	0.02	1.5	3.25	0.54
16	0.04	1.3	1.5	0.67
24	0.06	1.0	1.0	0.6

하다. 따라서 대전된 물체의 근방에서 정전 유도나 정전 분극을 받을 가능성이 있을 경우에는 다음과 같은 접지 방법에 의해 대전을 방지할 수 있다.

(가) 금속 도체는 직접 접지한다.

(나) 도전율이  $1 \times 10^{-10}$  [s/m]를 초과하는 금속 이외의 도체는 간접 접지한다.

(다) 도전율이  $1 \times 10^{-12}$  [s/m] 이하의 부도체는 표면을 금속망 등으로 덮고 이것을 직접 접지한다.

다. 인체의 접지

인체에 대전된 정전기를 누설시키기 위하여 인체를 접지하는 방법은 신발의 바닥 저항이  $10^5 \sim 10^6(\Omega)$ 인 정전기 대전 방지용 안전화(정전화)를 도전성 바닥 위에서 착용하거나 손목 등에 Wrist Strap을 착용하고 1[MΩ]의 저항을 통하여 접지하는 방법이 있다.

3. 부도체의 대전 방지와 차폐

부도체는 발생한 정전기가 다른 곳으로 이동하지 않기 때문에 대개는 부도체를 접지하거나 부도체에 접지체를 접촉시키는 것으로써 대전을 방지할 수가 없다.

따라서 최선의 대전 방지 대책으로서는 전하가 이동할 수 있도록 부도체의 도전율을 크게 하기 위한 대전 방지체를 사용한다.

부도체에 수분을 가하여 표면이나 주위의 습도를 높게 하는 방법도 있다.

또한 대전하기 쉬운 부도체는 가능하면 사용하지 않는 것이 좋으며 제전기에 의한 제전도 하나의 대전 방지책으로서 채택되어질 수 있다.

## 가. 부도체의 사용 제한

### (1) 금속 재료의 사용

다음에 열거하는 것은 가능하면 부도체가 아닌 금속 재료의 것을 사용하고 이것을 접지하거나 접지되어 있는 것과 본당한다.

(가) 마찰 등에 의해 정전기의 발생이 지속되는 부분이나 장치 등

(나) 정전기가 대전되어 있는 물체를 다량으로 취급하는 용기류 등

(다) 이동 또는 가반형의 장치 등

### (2) 도전성 재료의 사용

전술한 바와 같이 금속 재료를 사용할 수 없을 때에는 가능하면 도전성 재료를 사용하거나 대전 방지 처리를 한 것을 사용한다. 또 도전성 재료나 대전 방지 처리한 것을 작업복과 같이 신체에 착용하는 것을 제외하고는 필히 접지하거나 접지된 것과 본당한다.

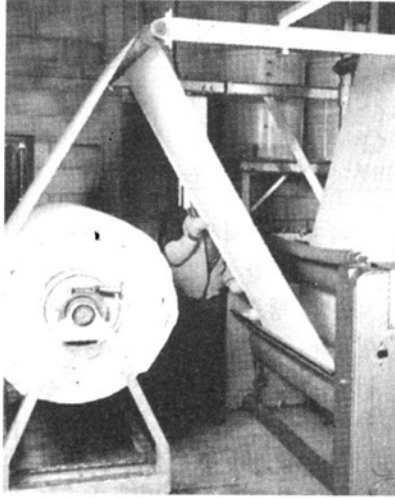
## 나. 대전 방지제의 사용에 의한 부도체의 도전성 향상

대전 방지제는 부도체의 대전 방지를 위해서 사용하는데, 이는 대상에 따라 수지용, 액체용, 종이류용, 섬유용 등 혹은, 사용법에 의해서는 도포용, 침투형 등 여러 가지가 있기 때문에 적절한 것을 선택해야 한다.

대전 방지제를 처리한 경우는 부도체의 도전율이  $10^{-12}$ (s/m) 이상 혹은, 표면 고유저항이  $10^{13}$  Ω 이하가 되도록 하고, 그 위에 접지를 하든가, 접지가 된 것과 본당을 해야 한다.

대전 방지제의 효과는 주위의 습도가 저하하면 반감하기 때문에 상대습도를 50% 이상이 되도록 유지하고, 정기적으로 점검해야 한다.

대전 방지제는 섬유나 수지의



표면에 흡습성과 이온성을 부여하여 도전성을 증가시키고 이것에 의하여 대전 방지를 도모하는 것이며 대전 방지제에 주로 많이 이용되는 물질은 계면활성제이다.

### (1) 대전 방지제의 종류

대전 방지제는 효과의 지속성에 따라 일시성 대전 방지제와 내구성 대전 방지제로 분류되며, 표면에 부착 또는 물질 내부에의 혼입 등 처리법에 따라 외부용과 내부용으로 분류된다.

### (가) 외부용 일시성 대전 방지제

외부용 일시성 대전 방지제로는 양이온계·비이온계·음이온계·영이온계 활성제로 다시 세분된다.

음이온계 활성제는 값이 싸고, 독성이 없으므로 섬유의 원사 등에 사용되며 특히 인산 에스테르계는 폴리에스터, 나일론, 아크릴 등의 섬유에 특히 효과가 있고, 황산 에스테르계는 비스코스, 비닐론 등에 효과가 있다. 또한 섬유에의 균일 부착성과 열안정성도 양호한 편이다.

양이온계 활성제는 대전 방지 성능이 뛰어난 반면, 비교적 고가

이고, 피부에 여러 가지 장애를 주며, 섬유에 사용할 때에는 염색이 곤란한 경우가 발생하기 때문에 주의가 요한다. 내열 성능에 있어서는 양이온계보다 떨어지나, 유연성에 있어서 뛰어나기 때문에 아크릴 섬유용으로 널리 사용되고 있다.

(나) 외부용 내구성 대전 방지제  
일시성 대전 방지제는 세탁이나 드라이 크리닝 등에 의해 그 효력이 상실되나 내구성 대전 방지제는 이러한 단점을 보완한 것으로 종류로는 아크릴 산유도체, 폴리 아크릴, 폴리 아미드 유도체, 폴리 에틸렌글리콜 등이 있다.

### 다. 기수에 의한 대전 방지

일반적으로 상대습도 70%를 전후해서 전기 저항치가 급격히 감소하는 것을 이용하여 작업 공정내에 물을 분무하는 방법. 증기를 분무하는 방법이나 증발법에 의하여 실내 습도를 70% 정도로 유지하여 정전기 대전을 억제하는 방법이다.

### 라. 도전성 재료에 의한 대전 방지

도전성 재료를 구조적으로 분류하면 분산계와 적층계로 되고, 이 용법에 의해 분류하면 누설에 의한 대전 방지와 공기층 방전에 의한 대전 방지로 나누어진다.

### (1) 분산계 도전 재료

대전 원리는 입자상·섬유상의 도전성 분산체가 상호 직접 접촉에 의하여 전류가 흐르는 경우와 도전성 분산체의 직접 접촉만이 아닌 절연 박막 간의 터널 효과에 의해서도 전류가 흐르는 두 가지가 있다.

(가) 카본 블랙 분산계

가격이 저렴하고 성능 및 가공성이 우수한 도전 재료가기 때문에 가장 광범위하게 사용되고 있으며 이것은 아세틸렌과 천연가스 및 기름 등의 유기 화합물을 고온으로 가열, 탄화함으로써 체적 고유저항  $10^{-1} \sim 10^8 (\Omega, \text{cm})$ 의 도전성이 얻어진다.

(나) 금속 분산계

가격이 저렴하고 성능 및 가공성이 우수한 도전재료이기 때문에 가장 광범위하게 사용되고 있으며 이것은 아세틸렌과 천연가스 및 기름 등의 유기 화합물을 고온으로 가열, 탄화함으로써 체적 고유저항이  $10^{-4} \sim 10^2 (\Omega, \text{cm})$ 로 비교적 낮으나 외력의 기계적 강도 면에서 외력의 저항에 약하고 또 금속 표면이 점차적으로 산화되어 입자간의 접촉저항이 증대되어 재료가 노화되는 결점이 있다.

(2) 적층계 도전 재료

플라스틱 코팅법은 표면을 에칭한 후에 Au, Pt, Pd, Ag 등의 귀금속 촉매액을 주어 화학 환원제를 포함한 무전해 코딩액중에 침투시키는 것으로 니켈, 은, 동 등의 무전해 코딩이 섬유대전에 일부 사용된다.

마. 도전성 섬유에 의한 대전 방지

대전된 물체의 가까이에 도전성이 있는 섬유를 접근시키면 코로나 방전이 일어나고, 이때에 공기가  $\oplus$  이온과  $\ominus$  이온으로 전리되어 반대 극상으로 대전된 정전기와 크롬 인력에 의하여 만나서 과부족 전하를 주고 받음으로써 정전기가 제거되는데, 이러한 제전원리를 이용하여 제전복 및 각종 섬유 제품의 대전 방지에 이용된다.

(1) 제전복

제전복은 가연성 혼합기(가연성 가스, 증발 분진)의 발생 우려가 있는 작업장에서 의복의 대전에 의한 착화를 방지하는 데 사용된다.

도전성 섬유의 지름은 통상 수십~수  $\mu\text{m}$ 까지이고, 이 지름에 대한 필수 방전 전하량은  $10^{-11} \sim 10^{-12}(\text{C})$ 의 극히 작은 양이다.

(2) 카펫

카펫에 도전성 섬유를 혼입하면 제전복에서와 같은 현상에 의해 대전되는 정전기가 현저히 감소한다.

4. 제전기에 의한 대전 방지

가. 제전기에 의한 대전 방지 일반

(1) 제전의 원리

제전의 원리는 제전기를 대전 물체 가까이에 설치하면 제전기에서 생성된 이온( $\oplus$  이온과  $\ominus$  이온) 중 대전 물체와 반대 극성의 이온이 대전 물체로 이동하여 대전 물체의 전하가 재결합 또는 중화되어 대전 물체의 정전기가 제전되어지는 것이다.

즉 제전의 원리는 제전기에 의해 발생한 이온의 이동, 다시 말하면 제전기와 대전 물체의 사이에 이온전류가 흐르는 것이며 이온전류가 크면 단시간내에 제전된다.

(2) 제전의 목적

제전의 목적은 주로 부도체의 정전기 대전을 방지하는 것으로 궁극적으로는 반드시 대전되어 있는 물체의 정전기를 완전히 제전하는 것이 아니고 방지하고자 하는 재·장해가 발생하지 않을 정도까지 제전하는 것이다.

(3) 제전의 목표치

제전의 목표치는 방지하려고 하는 재해나 장애의 정도, 제전하려고 하는 대상에 따라 일정하게 정해져 있지는 않지만 통상의 대전 상태(대전전위, 전하밀도 등)를 검토하여 이것을 기준으로 할 수 있다. 다음의 예는 하나의 데이터에 지나지 않지만, 목표치로 생각할 수 있다.

(가) 사업장에서 재해나 장애가 발생하지 않은 통상시의 대전 상태를 검토하여 정해진 대전 전위나 대전 전하밀도

(나) 최소 착화 에너지가 수십  $\mu\text{J}$ 인 가연성 물질의 착화 방지에 대해서는 대전 전위 1KV 이하

(다) 최소 착화 에너지가 수백  $\mu\text{J}$ 인 가연성 물질의 착화 방지에 대해서는 대전 전위 5KV 이하

(라) 전격 방지에 대해서는 대전 전위 10KV 이하

나. 각종 제전기의 개요

(1) 전압 인가식 제전기

전압 인가식 제전기는 금속체 침이나 세션 등을 전극으로 하는 제전 전극에 고전압을 인가하여 전극의 선단에 코로나 방전을 일으켜 제전에 필요한 이온을 발생시키는 것으로서 코로나 방전식 제전기라고도 부른다.

일반적으로 다른 제전기에 비해 제전 능력이 크므로 단시간에 제전할 수 있으며, 이동하는 대전 물체의 제전에 유효하다. 즉 대전 전하량, 발생 전하량이 큰 대전 물체의 제전에 유효하다. 하지만 설치 및 취급이 다른 제전기에 비해 복잡하다.

(2) 자기 방전식 제전기

자기 방전식 제전기는 접지된

도전성의 침상이나 세선상의 전극에 제전하고자 하는 물체의 상정전계를 모으고, 이 정전계에 의해 제전에 필요한 이온을 만드는 제전기로서, 전원을 사용하지 않으며, 간단한 구조의 제전 적극만으로 구성되어 있으므로 설치가 용이하고, 협소한 공간에서도 설치가 가능하다. 또한 전압 인가식 제전기처럼 제전기로 인한 착화원이 되는 경우가 적어서 안전성이 높다.

하지만 자기 방전식 제전기는 제전기의 설치 방법에 따라 제전 효율이 크게 변화하므로 설치하는데에는 세심한 주의가 필요하며, 제전 능력은 피제전물체의 대전 전위에 크게 영향을 받으므로 만일 대전 전위가 낮으면 제전을 할 수가 없다.

자기 방전식 제전기의 제전 전극은 스테인레스(5 $\mu$ m), 카본(7 $\mu$ m), 도전성 섬유(50 $\mu$ m) 등에 의해 제조되어 작은 코로나 방전을 일으켜 제전하는 방식으로 50KV 내외의 높은 대전을 제거하는 것이 특징이고, 2KV 내외의 대전 전압이 남는 것이 결점이다.

### (3) 방사선식 제전기의 개요

방사선식 제전기는 방사성 동위원소의 전리 작용에 의해 제전에 필요한 이온을 만들어내는 제전기로서 착화원으로 될 위험이 적은 제전기이지만 방사성 동위원소를 내장하고 있기 때문에 충분한 주의가 필요하며, 대전물(피제전물체)이 방사선의 영향을 받아 변화할 위험이 있는 한편, 제전 능력이 작기 때문에 제전에 시간을 요하며, 이동하는 대전 물체의 제전

에는 적합하지 않다.

### 다. 전압 인가식 제전기의 종류

전압 인가식 제전기에는 비방폭형, 방폭형, 송풍형(Blower), 노즐형, 플레지형 및 권총형 제전기 등이 있다.

### 라. 제전기의 설치

#### (1) 설치에 관한 일반 사항

(가) 제전기를 설치하기 전후의 전위를 측정하여 제전의 목표치를 만족하는 위치 또는 제전 효율이 90% 이상이 되는 위치(이때의 제전 효율은 설치전의 전위를 Vb, 설치후의 전위를 Va로 하였을 때  $\frac{|Vb| - |Va|}{|Vb|} \times 100\%$ 로 표시한다.)

(나) 제전기를 설치하기 전에 대전 물체의 전위를 측정하여 그 전위가 될 수 있는 한 높은 위치

(다) 정전기의 발생원에서 최대한 설치 거리 이상 떨어져 있으면서, 될 수 있는 한 발생원에 가까운 위치로서 일반적으로 정전기의 발생원에서 5~20cm 이상 떨어진 위치

제전기의 설치 위치는 원칙적으로 대전 물체 배면의 접지체 또는 다른 제전기가 설치되어 있는 위치, 정전기의 발생원, 제전기에 오물이 묻기 쉬운 장소는 피하고, 온도가 150℃, 상대습도가 80% 이상이 되는 환경은 피하는 것이 바람직하다.

#### (2) 전압 인가식 제전기의 설치

전압 인가식 제전기를 설치할 때에는 제전 전극, 고압 전원 및 고압 전선을 될 수 있는 한 하나로 생각하여 설치하고, 한번 설치한 후에 제전 전극을 추가한다든지 하는 설계 변경을 하지 않아야 하며, 한개의 고압 전원으로 다수

의 제전 전극을 작동시키는 것은 피하는 것이 바람직하다.

특히 전압 인가식 제전기에서는 제전 전극, 고압 전원의 접속 부분 또는 고압 전선의 분기 부분 등에서 고전압에 의한 고장이 발생하기 쉬우므로 그러한 접속 부분에는 특수 고압 커넥터 등을 사용하여 설치하는 것이 바람직하다.

한편 송풍형 제전기, 내압 방폭형 제전 전극 등을 설치할 때에는 이에 사용하여야 할 공기에 가연성 물질이나 먼지 등에 포함되지 않도록 하거나, 제거할 수 있는 조치를 강구하여야 한다.

#### (3) 자기 방전식 제전기의 설치

자기 방전식 제전기의 설치 위치는 '설치에 관한 일반 사항'에 준한다. 단, 자기 방전식 제전기의 설치 거리는 1~5cm를 표준으로 하지만 만일 역대전이 일어날 때에는 5cm 이상으로 하는 것이 좋다.

한편 자기 방전식 제전기는 다른 제전기에 비하여 설치, 교환의 빈도가 높기 때문에 설치를 용이한 방법으로 용이한 장소에 행한다.

#### (4) 방사선식 제전기의 설치

방사선식 제전기의 설치 위치도 '설치에 관한 일반 사항'에 준하며, 설치 거리는 제전기의 방사선원에  $\alpha$ 방사선원인 경우에는 1~2cm,  $\beta$ 방사선원인 경우에는 2~5cm를 표준으로 한다. 또한 방사선원에 기계, 작업작, 대전 물체 등이 접촉하지 않도록 설치하여야 하며 만일 접촉할 위험이 있는 경우에는 적절한 보호 장치나 차폐 장치 등을 설치하여야 한다.

