

# 정전기 방전에 의한 화재 · 폭발 방지

최광석 <일본후생노동성 관할 노동안전위생종합연구소 상석연구원>

최상원 <한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 연구위원>

## 1. 서 론

최근 산업현장에서는 고분자 재료 등의 절연체가 널리 사용되고 있다. 그 결과 정전기가 발생하기 쉬운 상태가 되어 다양한 재해나 장애가 발생하고 있다. 특히 가연성 물질이 존재하는 위험(방폭)장소에서 정전기는 폭발, 화재의 원인이 되기 때문에 작업자의 사망 사고이나 공장의 막대한 재산피해를 가져오는 경우도 있다. 본 해설에서는 산업 현장 관리자, 감독자가 알아 두어야 하는 정전기 재해방지에 관한 기초지식으로써 정전기 발생 현상, 정전기 방전, 정전기 재해 및 그 방지 대책 등에 대해서 알아보려고 한다.

## 2. 정전기 발생 현상

정전기는 일반적으로 사용되는 전기(동전기)와는 다르게 전하의 분포가 시간적으로 변화하지 않는 전기현상을 말한다. 두 물체 사이에 접촉, 마찰, 충돌, 박리 현상이 일어나면, 각각의 물체의 표면에 정전기가 발생한다. 물체가 접촉하면 접촉면을 사이에 두고 두 물체 사이에 전하가 이동하여, 전기이중층이 형성된다. 그 후 물체를 분리하면 전기이중층에서 전하의 분리가 발생하여 이동한 전하의 일부가 원래 물체로 돌아가지 못하기 때문에, 두 물체에는 같은 크기, 서

로 다른 극성의 정전기가 발생한다. 접촉·분리는 가장 기본적인 정전기의 발생 현상이다. 또한 정전기가 물체에 축적되는 것을 대전이라고 한다.

## 3. 정전기 방전

정전기 방전은 전계강도가 매질의 절연 파괴 전계 세기에 도달했을 때 일어나는 현상이다. 정전기 방전에는 여러 가지 형태가 있는데 그 특징을 이해하는 것은 장애 및 재해 방지대책을 세우는데 있어 중요하다. 주된 정전기 방전의 종류와 그 특징에 대해 알아보면 다음과 같다.

- 1) 코로나 방전(corona discharge) : 끝이 뾰족한 도전성 물체가 대전체에 접근한 경우 선단부에서만 발생하는 미약한 방전으로, 통상적으로 점화원으로 되지 않는다. 따라서 코로나 방전은 물체에 대전을 시켜 정전기력을 이용하는 장치, 또는 물체 표면의 전하를 제거하는 장치로써 산업현장에서 널리 사용되고 있다.
- 2) 브러시 방전(brush discharge) : 일반적으로 10kV 이상의 대전체에 곡률반경이 3~50mm의 접지도체가 10cm 정도까지 접근한 경우에 발생하는 방전이다. 등가 방전 에너지는 최대 4mJ 정도라고 보고된 바 있다[1]. 코로나 방

**특집 : 전기안전 및 전기화재**

전에 비해 방전에너지는 크며 가연성 가스의 점화원으로 되고, 착화되기 쉬운 분진의 점화원으로 될 가능성도 있다.

- 3) 벌크 표면 방전(bulk surface discharge) : 분체를 사일로에 연속 투입할 때, 사일로에 퇴적된 분체의 표면을 따라 간헐적으로 발생하는 방전이다. 방전 에너지는 수십 mJ 정도까지 도달할 수 있으므로 가연성 가스뿐만 아니라 충전물에 미분체가 포함된 경우는 점화 위험성이 크다.
- 4) 불꽃 방전(spark discharge) : 일반적으로 수 kV로 대전시킨 도체에 접지도체가 수 mm까지 접근한 경우에 발생한다. 대전체에 축적된 정전 에너지의 거의 대부분이 방전에 사용되므로 점화능력이 뛰어나고, 많은 종류의 가연성 가스·증기 및 일부의 가연성 분진의 점화원으로 될 수 있다.
- 5) 연면 방전(propagating brush discharge) : 접지된 도체판 위에 놓인 얇은 층 형태의 부도체의 대전량이 아주 높아졌을 때, 부도체의 표면을 따라 일어나는 방전이다. 실제로는 글라스라이닝을 실시한 화학반응 용기, 분체의 공기 수송에 사용되는 플라스틱 관의 내부에서 자주 발생한다. 방전에너지가 수십 mJ에 도달할 경우도 있으므로 가연성 가스·증기는 물론, 가연성 분진의 점화원으로 될 가능성도 있다.

**4. 정전기 방전에 의한 재해 및 전격**

실제로 정전기로 인해 재해가 많이 발생하는 산업 공정으로는 분체투입, 집진, 액체유동, 분출 등으로 나타났다(표 1 참조). 분체투입은 유연 벌크 용기/백(flexible bulk container/bag) 등을 사용하는 작업에서 대부분이 발생하고 있다. 주로 화학 반응 용기 등에 내재되어 있는 가연성 용제가 먼저 점화되나, 때

로는 분체만으로도 점화 되는 사고도 있었다. 집진에 있어서는 알루미늄, 마그네슘 등과 같은 금속 분체의 점화가 대부분이며, 필터의 청소, 분체회수 과정에서 많이 발생하고 있다. 액체유동의 경우는 설비의 접지 불량에 의한 사고가 많다. 분출의 경우 작업 부주의와 부식 등으로 인한 누출사고가 많다.

**표 1. 산업 공정별 정전기에 의한 화재·폭발**

공정	화재·폭발
분체 투입	유연벌크 용기, 유연벌크 백, 폴리 백, 종이 백, 화이버 드럼에 투입
집진	집진기, 집진용 배관, 필터 청소, 분진 회수
액체 유동	탱크로리, 절연성 용기, 호스를 사용한 액체주입, 금속 용기로부터 이동 주입, 지하 탱크 찌꺼기 배출, 원심 분리기
분출	가압 장치로부터 수소 분출, 순환 펌프의 배관으로부터 분출, 용제 회수 장치로부터의 배출
도장	정전 도장기의 세정 공정
기타	의류 건조, 유동 건조, 토너 제조 공정, 금속분쇄, 경금속 연마작업

**표 2. 인체의 대전 전위와 전기 자극의 관계(2)**

대전전위 (kV)	체감(전기 자극)의 세기
1.0	전혀 느끼지 못함
2.0	손끝으로 느껴지지만 아프지 않음
2.5	바늘에 닿는 듯한 느낌은 있지만 아프지 않음
3.0	바늘로 찔린 듯한 느낌으로, 조금 따끔함을 느낌
4.0	바늘로 깊이 찔린 듯한 느낌으로, 따끔함을 느낌
5.0	손바닥부터 팔뚝까지 통증을 느낌
6.0	손가락에 심한 통증을 느끼고, 상박이 무겁게 느껴짐
7.0	손가락, 손바닥에 강한 통증을 느끼고 저림
8.0	손바닥부터 팔뚝까지 저림
9.0	손목에 심한 통증을 느끼고, 손이 저리고 무겁게 느껴짐
10.0	손 전체에 통증과 함께 전기가 통하는 느낌을 받음
11.0	손가락이 심하게 저리고, 손 전체에 강한 전기 자극을 느낌
12.0	손 전체를 강타하는 듯한 느낌

한편 정전기 방전이 인체(작업자)에 대해 직접 영향을 미치는 것으로 전격 현상이 있다. 예를 들어, 인체의 대전 전위가 3kV 정도일 때 약간의 통증을 수반하는 전기 자극을 느끼게 된다. 이것은 정전기의 방전 에너지가 약 0.5mJ에 도달한 것과 같다. 표 2에 대전된 인체가 접지도체에 접촉하였을 때 느끼는 체감(전기 자극)을 나타냈다. 전격 현상은 순간적인 것이므로 사람의 목숨에 영향을 미칠 정도는 아니지만 그로 인한 넘어짐, 떨어짐 등 2차 재해로 인한 피해를 가져올 수 있다.

### 5. 정전기에 의한 화재 방지

정전기에 의한 재해를 방지하기 위해서는 도체와 부도체의 대전 관리가 중요하다. 먼저 도체의 경우, 접지되어 있지 않으면 점화성 정전기 방전이 발생할 위험성이 크다. 실제 정전기로 인한 화재·폭발의 약 70%가 접지 불량인 도체에서 발생되었다. 도체의 대전성은 일반적으로 누설저항의 크기와 상관관계가 있다. 일반적으로 누설저항이 1MΩ 이하이면 정전기 방전은 일어나지 않는다. 단 항상 안정된 접지효과를 얻기 위해서는 접지저항을 비교적 구현하기 쉬운 1000Ω 이하로 설정하는 것이 바람직하다. 또한 배관의 플랜지 부분에는 본딩을 통해 접지를 할 필요가 있다. 특히 필터 고정용 금속기구(사진 1 참조)의 접지·본딩이 되지 않은 경우가 있기 때문에 주의할 필요가 있다. 이동물체에 접지를 시킬 때는 접지선을 연결했다 분리했다 하는 경우가 많기 때문에 도전성 캐스터, 호스 등 대전방지용품에 의한 상시접지, 지정된 위치에 배치하면 자동적으로 접지되는 자동접지장치의 사용, 접지되어 있지 않으면 운전이 투입되지 않는 인터록 장치의 사용 등의 대책이 필요하다.

부도체(절연체)가 대전되면 그 크기에 따라 각종 정전기 재해가 발생할 수 있기 때문에 대전성을 파악하여 관리할 필요가 있다. 그 관리에 있어 중요한

것은 부도체의 대전성이 체적 저항률 또는 표면 저항률과 상관관계가 있다(표 3 참조). 체적 저항률이  $10^8 \Omega \cdot m$  이하, 또는 표면 저항률이  $10^{10} \Omega$  이하이면 정전기 재해는 통상적으로 문제가 되지 않는다.



사진 1. 필터 고정용 금속기구의 예

표 3. 부도체의 대전성의 지표(2)

대전성(대전 전위의 기준) (kV)	체적 저항률 ( $\Omega \cdot m$ )	표면 저항률의 지표 ( $\Omega$ )
거의 없음 (<0.1)	$10^8$ 이하	$10^{10}$ 이하
작 음 (0.1~1)	$10^8 \sim 10^{10}$	$10^{10} \sim 10^{12}$
보 통 (1~10)	$10^{10} \sim 10^{12}$	$10^{12} \sim 10^{14}$
큼 (>10)	$10^{12}$ 이상	$10^{14}$ 이상

표 4에 부도체로부터의 정전기 방전에 의한 점화를 방지하기 위한 대전량의 관리지표를 나타내었다. 현상에서는 취급하는 가연성 물질의 최소점화에너지(MIE; minimum ignition energy)를 확인한 후 대전 전위가 표 4의 값을 넘지 않도록 관리할 필요가 있다.

표 4. 부도체의 대전량의 관리지표(2)

가연성 물질의 MIE (mJ)	대전전위 (kV)
< 0.1	1이하
0.1 ~ 1	5이하
1 ~ 10	10이하
> 10	10이하

또한 부도체의 경우는 접지를 해도 대전방지의 효과가 거의 없으므로, 대전 방지대책으로써 제전기를 사용하면 효과를 볼 수 있다. 산업현장에서는 전압 인가식 제전기가 일반적으로 사용되고 있다. 최근 개발된 소형 방폭형 제전기(사진 2 참조)는 분체를 사일로에 투입할 때 발생하는 점화성 벌크표면방전(3절 참조)을 억제하기 위해 개발되었다.

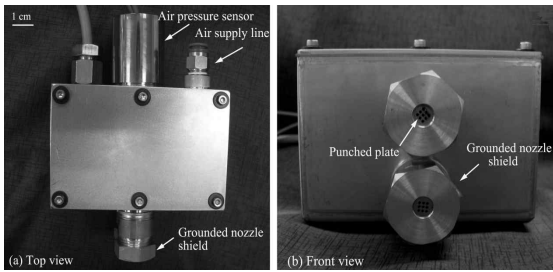
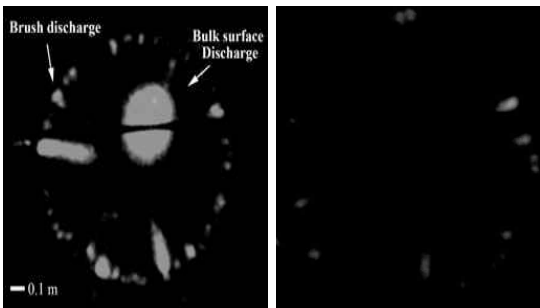


사진 2. 소형 방폭형 제전기(AC-type)(3)

실험 결과의 예를 사진 3의 (a), (b)에 나타내었다. 제전기 사용 전(사진 3 (a)), 분체의 투입에 의해 사일로 내부에 브러시 방전(사일로 측면), 벌크표면 방전(사일로 중앙부)이 발생하였다. 반면 사진 3 (b)과 같이 소형 방폭 구조 제전기의 사용에 의해 사이로 내부의 브러시 방전은 완전히 억제하지 못했지만, 점화성 벌크표면방전을 억제하는 데에는 효과가 있다고 판명되었다(3).



(a) 소형 방폭형 제전기 사용 전 (b) 소형 방폭형 제전기 사용 후

사진 3. 분체용 사일로 내부에서 발생하는 정전기 방전

## 6. 작업자에 의한 정전기 대전 방지

신발 등에 의해 절연상태가 된 작업자가 대전되면 정전기 재해의 원인이 될 수 있다. 실제로 대전된 작업자로부터 정전기 방전이 발생하여 폭발·화재가 발생한 사례가 다수 있다. 표 5는 작업자에 대한 누설저항의 관리지표를 나타낸 것이다. 여기서 누설저항이란 신발과 작업장 바닥과의 저항값을 합한 것을 말한다. 작업자의 정전기 대전 방지대책은 도체와 동일하게 접지가 기본이다. 구체적으로 손목 띠(wrist strap) 등을 사용한 인체의 접지, 정전기 방지용 작업복이나 정전기 방지용 작업화(대전방지화)의 착용, 정전기 방지용 바닥 등이 있다. 단 일부 현장에서는 생산관리의 이유로 대전방지화의 위에 신발 커버를 착용하는 경우도 있다. 이 때 신발 커버의 절연성이 높으면 작업자가 대전되어 불꽃 방전을 일으킬 가능성도 있으므로 주의가 필요하다.

표 5. 작업자의 누설저항의 관리지표(2)

작업 환경	누설저항 (Ω)	적용 작업
화재·폭발이 발생할 가능성이 있는 장소	$<1 \times 10^7$	MIE가 0.1mJ 미만의 가연성 물질을 취급하는 작업
	$<1 \times 10^8$	MIE가 0.1mJ 이상의 가연성 물질을 취급하는 작업
전격이 발생할 가능성이 있는 장소	$<1 \times 10^9$	분체 투입, 종이·필름 등을 감아올리는 작업
생산장해가 발생할 가능성이 있는 장소	$<1 \times 10^7$	반도체를 취급하는 작업
	$<1 \times 10^9$	품질불량, 제품의 더러워짐 등이 문제가 되는 작업

## 7. 결 론

본 해설에서는 정전기에 의한 재해방지를 위해 정

전기의 발생, 정전기방전, 정전기로 인한 재해, 정전기 방지 대책 등을 중심으로 소개했다. 산업현장에서 발생하는 정전기를 완벽하게 제거하거나 발생되지 않도록 하는 것은 경제적으로 큰 부담을 갖게 된다. 그러므로 정전기에 의한 장해·재해를 일으키지 않을 정도로 정전기를 항상 측정하거나 또는 모니터링에 의해 관리하는 것이 무엇보다 중요하다. 또한, 산업안전관리자, 작업자 등의 정전기 안전교육을 정기적으로 실시되어야 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] BSI, 50404-2003 "Electrostatics-code of practice for the avoidance of haards due to static electricity, p. 73. 2003.
- [2] 노동안전위생종합연구소, JNOSH-TR-No.42, "정전기안전지침", 2007.
- [3] Kwangseok CHOI et.al: Charge Reduction on Polypropylene Granules and Suppression of Incendiary Electrostatic Discharges by Using a Novel AC Electrostatic Ionizer, Journal of loss prevention in the process industries, Vol. 26. No.1, pp. 255-260(2013).

### ◇ 저 자 소 개 ◇



#### 최광석(崔光石)

1969년 9월 30일생. 1998년 서울과학기술대 안전공학과 졸업. 2003년 일본 국립 이바라키대학대학원 졸업(박사). 현재 일본노동안전위생종합연구소 전기안전연구그룹 상석연구원.

E-mail : choiks@s.jniosh.go.jp



#### 최상원(崔相源)

1959년 3월 5일생. 1999년 충북대학교 대학원 수료(박사). 현재 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 연구위원.

E-mail : swchoi@kosha.net