



전기재해예방

◆ 2009년도 12월달부터 연재된 내용입니다.

자료 _ 한국산업안전공단

● 모듈의 목적

본 모듈은 전기재해예방에 관한 정보를 제공한다.
각 장에서는 누전, 감전 및 전기로 인한 화재·폭발예방 등에 대한 내용들을 다루고자 한다.

● 학습목표

1. 누전에 의한 감전재해 예방대책을 이해할 수 있다.
2. 충전부 접촉에 의한 감전재해 예방대책을 이해할 수 있다.
3. 전기 아크로 인한 화재폭발 요인 및 예방대책을 이해할 수 있다.

전기 화재폭발 요인 및 예방대책

1. 전기화재

(1) 전기화재 발생원인

전기는 기본적으로 전선이 회로를 구성하여 흐르게 되는데, 전선에 너무 많은 양의 전류가 흐르거나, 전류가 전선 밖으로 흐르게 되면 화재 또는 감전 등의 사고를 발생 시킨다.

전류가 전선 밖으로 흐른다 함은, 누전 즉, 아크, 스파크를 말하는 것인데 이러한 전기에 의한 점화원을 구체적으로 열거하면 다음과 같다.

(2) 전기 점화원

① 과부하 전류

전선에 전류가 흐르면 줄열($H=I^2Rt$)이 발생되는데, 발생된 열이 충분히 방열되면 발화의 위험이 없으나, 열이 축적되어 상승하게 되면 점화원으로 작용할 수 있다. 이를 위해 각각의 전선은 그 전선의 특성 및 사용조건에 따라 안전하게 흘릴 수 있는 최대 전류가 결정되는데, 이를 전선의 허용전류라 하며, 이

전류를 초과하여 큰 전류가 흐르는 것을 과부하 전류라 한다.

즉, 허용전류를 초과하여 전류가 계속 흐르면 전선이 과열되어 피복이 열화될 우려가 있으며(전선의 피복이 합성수지인 경우에는 피복이 얇아져서 단락될 수 있음), 과전류가 더욱 심해지면 급격히 과열되어 일시에 발화되는 경우도 있다.

실험에 의하면 온도, 장소 등에 따라 현저히 차이가 있으나 일반적으로 비닐절연전선의 경우 2~3배의 과전류에서 피복이 변질·변형·탈락되고 5~6배 정도에서 전선이 과열된 후 응용된다고 한다.

② 단락(합선)

전선피복이 벗겨지거나 전기설비의 절연이 파괴되어 두 가닥의 전선이 직접 또는 낮은 저항으로 접촉되면 전류가 전선에 연결된 전기기기 쪽 보다는 저항이 적은 접촉부분으로 대규모의 사고전류 즉 단락전류가 흐르게 되는데 이러한 현상을 단락(Short, 합선)되었다고 하며, 사고전류에 의한 고열과 아크를 동반함으로써 점화원으로 작용하게 된다. 이러한 단락에는 다음과 같이 완전단락과 불완전단락으로 구분하여 설명할 수 있다.

가. 완전단락

두 가닥의 전선이 직접 접촉되어 완전한 합선이 일어나면 순간적으로 많은 열이 발생하여 합선지점을 용단시키게 되며, 이때의 단락전류는 수천 암페어가 된다.

이 경우 전원측에 적절한 용량의 퓨즈나 배선용차단기가 설치되어 있으면, 전선 등에 불이 붙기 전에 퓨즈나 배선용차단기가 신속하게 전류를 차단시킬 수 있으나, 미설치 시에는 화재·폭발로 연결될 수 있다.

나. 불완전단락

전선 상호간의 절연이 극도로 나빠지면 전선피복이나 절연물 표면이 서로 근접된 부위에 상당히 큰 전류가 흘러 발화되는 경우가 있는데 이는 처음 전선피복이 상한 곳에서 가벼운 단락사고로 아크가 발생하고 이 아크에 의해 절연피복이 탄화되어 점화원으로 작용한다.



완전 단락과 불완전 단락

③ 누전

넓은 의미의 누전이란 마치 수돗물이 누수 되듯 전류가 정상적인 경로를 통하지 않고 그 이외의 경로로 빠져나가는 현상을 총칭하며, 구체적으로는 전선의 피복 또는 전기기기의 절연물이 열화되거나 기계적인 손상 등으로 인해 전류가 금속체를 통하여 대지로 흘러나가는 현상을 의미한다.

일단 충전부와 대지 사이에 누전경로가 형성되면 그 누설전류로 인해 열이 발생하여 절연물이 국부적으로 파괴되며 이로 인해 누전상태는 점점 악화되고, 이는 더욱 누설 전류를 크게 하여 발열량을 누적시킴으로써 결국 점화원으로 작용하게 된다.

일반적으로 불이 붙기 좋은 조건하에서 발화까지 유발할 수 있는 누설전류의 최소치는 0.3~0.5[A]로 보고 있으나 보통은 주위의 여건에 따라 수.수십[A] 정도에서 발화하는 경우가 많으며, 소요시간 또한 수십 분에서 수개월 이상 걸리기도 한다.

누전의 위험성은 감전으로 인한 인체전격 뿐만 아니라 전기

화재로 빈번히 연결된다는 점이며 이를 위해 화재방지측면에서 누설전류의 한계치는 최대전류의 1/2,000을 넘지 못하도록 규정하고 있다.

④ 반단선

반단선이란 전선이 절연피복 내에서 끊어짐과 이어짐이 반복되는 상태, 또는 완전히 단선되지 않을 정도로 심선(또는 소선)의 일부가 남아있는 상태를 말하며, 코드에 반단선이 발생하게 되면 다음과 같은 현상이 발생하게 된다.

가. 코드가 움직일 때 마다 전기설비의 동작, 부동작이 반복된다. 부하상태에서 단선부분을 움직이면 내부에 아크가 발생되고 약한 음이 발생됨

나. 단선부분의 피복에 열이 발생하며, 이상한 냄새가 남
반단선은 대부분 코드에서 발생하는 물리적 단선이기 때문에 단선간격이 짧아 코드가 움직일 때 마다 끊어짐과 이어짐이 반복되며 이로 인한 아크가 연속적으로 발생하게 된다. 이러한 상태에서 장시간 사용시간이 지속되면 절연피복 내부에 탄화된 부분으로 전류가 흐르기 시작하여 결국 선간단락으로 진행되거나 1차 단선된 전선의 일부가 용착되어 코드가 국부적으로 과열되기도 한다.

⑤ 전기아크

개폐기로 전기회로를 개폐할 때나 퓨즈가 용단될 때에는 아크가 발생하게 되는데 특히 회로를 닫을 때보다는 끊을 때, 교류보다는 직류인 경우에 더욱 심하고 아크도 연속되기 쉽다. 이 경우 주위에 인화성 물질이나 가연성 가스 등으로 폭발발위기가 조 성된다면 점화원으로 작용하여 화재·폭발로 연결되게 된다.

⑥ 절연열화

배선 또는 기구의 절연체는 그 대부분이 유기질로 되어 있는데 일반적으로 유기질은 장시간 경과할 경우 열화되어 절연저항이 저하된다. 특히, 유기질 절연체는 공기의 유통이 불량한 곳에서 고온상태로 가열될 경우 탄화과정을 거쳐 도전성을 띠게 되며 여기에 전압이 걸리게 되면 전류로 인한 발열로 탄화현상이 더욱 촉진되게 되고 결국 유기질 자체가 타거나 인근 가연물에 착화되는데 이를 “절연열화에 의한 탄화현상”이라 한다.

⑦ 접촉부 과열

전선과 전선, 전선과 단자 또는 접속편 등의 도체에 있어서 접촉이 불완전한 상태로 전류가 흐르게 되면 접촉저항에 의하여 접촉부가 발열하게 되며 이는 점화원으로 작용할 수 있다.

구체적으로 이러한 국부적 발열부분(접촉부)은 열팽창 및 수축

이 반복되면서 전기적으로 아산화동(산화제1철)이 생성되고 이로 인해 발열부는 더욱 거칠어져 접촉저항이 급격히 증가하면서 적열상태에 이르게 되어 결국 주위의 절연물을 발화시키게 된다.

⑧ 정전기

정전기는 물질의 마찰에 의해 발생하는 것으로서 정전기의 크기 및 극성은 대전서열에 의해 결정된다. 정전기가 점화원으로 작용하는 경우는 화재·폭발 위험분위기에서의 정전기의 방전에 기인하며 발광의 형태 및 강도에 따라 일반적으로 코로나 방전, 브러시 방전(스트리머 방전), 불꽃 방전, 연면 방전 등으로 구분할 수 있다.

(3) 전기화재 예방대책

① 전기기기의 올바른 사용

모든 전기기기는 전압, 전류 등의 전기에 관한 정격이 있으며, 사용하는 방법이 각각 다르게 되어 있다.

가장 기본적인 것은 정격을 준수하여 적합한 전원에 연결하고 과부하가 발생되지 않도록 사용하는 것이며, 작동하는 방법도 제작회사에서 표시한 내용을 숙지하여 취급한다.

② 과전류 보호

전기기기를 사용하게 되면 노후로 인하여 열화되기 마련이며 예기치 못한 사고가 발생되기도 한다. 주기적으로 점검·보수하는 것이 필요하지만 한계가 있기 때문에 사고를 보호하기 위한 퓨즈, 차단기, 보호계전기 등의 보호장치가 전기기기에 따라 적절히 선정되어 설치되어야 한다.

전선의 경우에는 전선을 보호하기 위한 보호장치를 설치하는 것 이외에 선의 허용전류 기준에 따른 전류정격을 준수해야 하며, 나아가 전선이 연결되는 단자의 온도 정격에 따라 전선에 전류를 흐르게 하는 것이 필요하다.

③ 전기기계기구의 방폭화

인화성 물질을 취급하는 장소는 폭발위험장소로 구분하여, 구분도를 작성 관리하여야 한다.

폭발위험장소는 0종, 1종, 2종으로 구분되며 이에 적합한 방폭구조 전기기계기구를 아래와 같이 사용해야 한다.

④ 일상·정기점검 강화

전기기계기구는 사용함에 따라 여러 가지 요인에 의하여 열화 또는 고장이 발생하게 된다. 따라서 매일 주기적으로 이상 유무를 점검하여 화재·폭발 요인의 사전제거가 필수적이다.

⑤ 적절한 안전설계 및 공사

화재·폭발의 요인 중 정전에 의한 점화원을 효과적으로 관

리하는 방안이 있지만 무엇보다도 전기기계·설비의 설계 및 공사단계에서 충분한 용량의 기기 및 배선을 선정하여 설치하되 안전규정에 따라 공사가 이루어져야 그 수명과 안전성이 확보될 수 있다. 따라서 설계단계에서의 안전과 올바른 공사가 병행 되어야 한다.

【표 3-1】 폭발위험장소별 방폭구조 전기기계기구

| 위험장소 | 방폭구조 전기기계기구 |
|------|---|
| 0종 | 본질안전 방폭 구조(ia) |
| 1종 | 본질안전 방폭구조 (ia, ib) |
| | 내압 방폭구조 (d) |
| | 압력 방폭구조 (p) |
| | 충전 방폭구조 (q) |
| | 유입 방폭구조 (o) |
| | 안전층 방폭구조 (e) 몰드 방폭구조 (m) |
| 2종 | 본질안전 방폭구조 (ia, ib) |
| | 내압 방폭구조 (d) |
| | 압력 방폭구조 (p) |
| | 충전 방폭구조 (q) |
| | 유입 방폭구조 (o) |
| | 안전층 방폭구조 (e) 몰드 방폭구조 (m) 비점화 방폭구조 (n) |

2. 정전기

(1) 정전기 이론

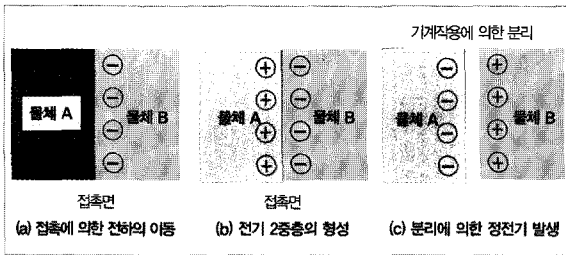
물질 내부에는 그 물질을 구성하는 입자 사이를 자유롭게 이동하는 자유전자와 그 입자들 사이에서 전기적인 힘에 의하여 구속되어 있는 구속전자가 있다. 이러한 물질에 마찰 등의 변화를 주게 되면 자유전자가 이동됨으로써 전기적으로 중성인 물질이 +, -로 극성을 띠게 된다. 즉 자유전자를 방출한 물질은 + 극성으로, 자유전자를 입수한 물질은, - 극성으로 분리됨으로써 정전기가 발생하는 것이다.

전자 하나의 전하량은 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 으로 아주 작지만 상대적으로 전자의 개수가 많음으로 인하여 물질에 조금만 변화를 주어도 수천V의 정전기가 발생된다.

(2) 정전기 발생

① 발생 메커니즘

일반적으로 정전기는 고체는 물론이고 액체와 기체에서도 발생한다. [그림 3-1]과 같이 서로 다른 두 물체가 접촉되었다 분리될 때 두 물체의 표면에 정전기가 발생하는데 접촉면에서의 전기 이중층의 형성과 전기 이중층의 분리에 의한 전위상승 및 분리된 전하소멸의 3단계로 나누어지며, 대전현상은 이 3단계 과정이 연속적으로 일어날 때 발생한다.



【그림 3-1】 접촉·분리에 의한 정전기 발생

② 정전기 발생에 영향을 주는 요인

가. 물체의 특성

〈표 3-2〉의 대전서열의 예시에 나타난 것처럼 접촉·분리하는 두 가지 물체의 종류 및 조합에 의해 발생하는 정전기의 크기 및 극성이 영향을 받는다.

나. 물체의 표면상태

정전기의 발생현상은 표면 또는 경계면에서의 현상이므로, 물체의 표면상태가 정전기의 발생에 크게 영향을 미친다. 일반적으로 표면이 거칠 때와 수분, 오염, 산화물 등이 표면에 존재할 때 정전기의 발생이 증가한다.

다. 물체의 이력

물체의 정전기 발생 또는 대전 이력은 물체표면에 물성변화, 대전 상태 등에 따라 정전기의 발생이 영향을 받는다. 일반적으로 첫 회 및 초기에서 발생이 크고, 대전의 반복 및 지속에 의해 발생이 작아진다.

라. 접촉면적 및 압력

접촉면적은 정전기의 발생범위에 관계되기 때문에, 접촉면적이 크면 클수록 정전기의 발생이 증가한다. 접촉압력도 크면 정전기의 발생이 증가한다.

마. 분리속도

접촉 후에 물체가 분리되는 속도는 전하분리에 부여되는 에너지에 관계되기 때문에, 분리속도가 크면 정전기의 발생이 증가한다.

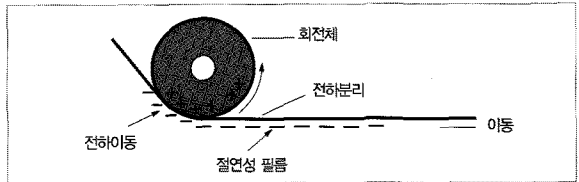
정전기 현상에서 오는 대전의 +, -를 조사하여 보면 접촉, 분리하는 상태 물질의 종류에 따라 양전하나 음전하가 발생된다. 이들 물질을 나열하여 보면 〈표 3-2〉과 같으며, 이를 대전계열(Triboelectricity series)이라 한다.

(3) 정전기 발생 종류

① 마찰대전

마찰대전은 [그림 3-2]와 같이 물체가 마찰을 일으킬 때, 마찰에 의해서 접촉전위가 이동하며, 전하분리에 의해 정전기가

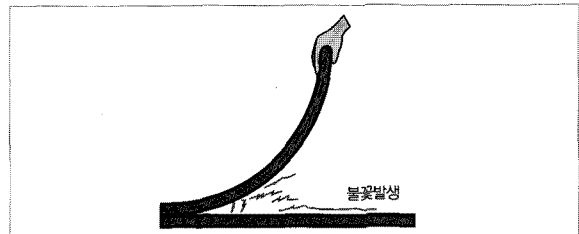
발생하는 현상을 말한다.



【그림 3-2】 마찰대전

② 박리대전

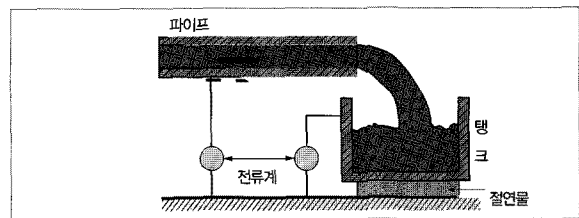
박리대전은 [그림 3-3]과 같이 물체가 박리되었을 때 전하분리가 일어나서 정전기가 발생하는 현상을 말한다.



【그림 3-3】 박리대전

③ 유도대전

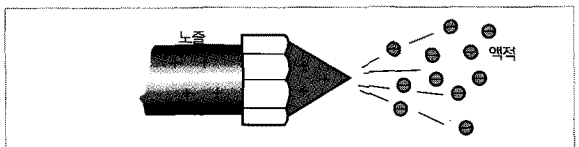
유도대전은 [그림 3-4]와 같이 액체류가 파이프를 통해서 이동할 때 정전기가 발생하는 현상을 말한다.



【그림 3-4】 유도대전

④ 분출대전

분출대전은 [그림 3-5]와 같이 분체류, 기체류, 액체류 등이 단면적이 작은 관 등을 통해서 분출할 때 발생하는 현상을 말한다.



【그림 3-5】 분출대전

⑤ 그 외의 정전기 대전현상으로 진동대전(교반대전), 충돌대전, 파괴대전, 유도대전 및 비발대전 등이 있다.

(4) 정전기 대전을 줄이는 방법

① 접촉면 줄이기

정전기 대전은 표면현상이기 때문에 분리되는 고체의 접촉면을 감소시키면 대전전하의 양은 감소한다. 그 하나의 예로 분리공정에서 대상물질의 표면을 줄이기 위해 물러의 표면을 약간 거칠게 할 필요가 있다.

② 분리속도의 영향

정전기 재해의 위험성을 피하기 위한 안전측면의 관점에서 물체의 분리속도를 가능한 한 낮추는 것이다. 분리 속도가 대략 1 m/s 이하일 때는 물체의 표면저항이 100 GΩ 이하면 되나, 고속 공정기구(예: 가동 중인 신문 운전기에서의 종이)는 보다 낮은 저항값을 가져야 한다.

③ 유전(절연)계수

정전기 대전의 발생은 제일 먼저 대전물질의 전자 일함수에 따라 좌우된다. 그러므로 정전기 대전경향을 줄이는 확실한 방법은 가능한 전자 일함수가 서로 차이가 나지 않는 물질을 선택하는 것이다. 낮은 유전계수를 가진 물질들은 음극으로 대전되는 반면, 높은 유전계수를 가진 물질들은 양극으로 대전된다는 것이다. 즉, <표 3-2>에서 서로 멀리 떨어져 있는 물질 간에 분리될 때 많은 정전기를 발생하고, 가까이 있는 물질들은 서로 분리될 때 적은 양의 정전기를 발생시킨다.

④ 표면 저항률의 감소

정전기 대전을 감소시킬 수 있는 유일한 가능성은 전기저항을 감소시키는 것이다. 비도전성 물체의 분리과정에서 발생된 전하들은 관련물체의 표면저항률에 따라 소산되기 때문이다. 물체의 저항에 따라 일부 전하는 지면과의 접지체를 경유하여 대지로 흘러 들어가 소멸된다. 표면저항률 다음으로 체적저항률이 정전기 대전에 영향을 미치게 된다.

⑤ 공기 중 습도의 영향

표면저항은 공기 중 습도에 따라 크게 달라진다. 즉, 습도는 시험조건과 설비의 운전조건이 크게 달라지는 경우 중요한 요인으로 작용한다. 공기 중 습도의 일부가 절연체에 의해 흡수되어 절연체의 정전기적 특성에 영향을 준다.

(5) 물질의 특성

① 대전서열

정전기가 축적되는 것을 대전이라 하는데 물질의 특성에 따라 대전되는 극성이 다음과 같이 나타난다. 서열이 떨어질수록 두 물질의 마찰시 발생하는 전하는 크게 된다.

그러나 주위환경, 물질의 표면상태에 따라 대전서열대로 안 되는 경우가 있다.

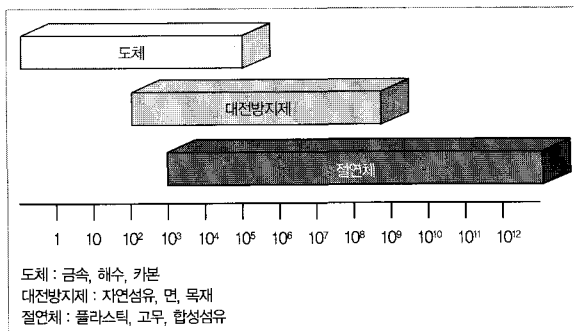
【표 3-2】 대전서열

| 금속 | 섬유 | 천연물질 | 합성수지 |
|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|
| (+) | (+) | (+) | (+) |
| | | 아스베스트 인모, 모피 유리 운모 | |
| | 양모 나일론 레이온 | | |
| 납 | 견 목면 마 | 면 | |
| | 유리섬유 아세테이트 | 목재 사람 피부 | |
| 아연 알루미늄 | | 종이 | |
| 크롬 | | | 에보나이트 |
| 철 동 니켈 금 | | 고무 | |
| 백금 | 비닐론 | | |
| | 폴리에스테르 아크릴 | | 폴리에틸렌 |
| | 폴리염화비닐 | 셀룰로이드 셀로판 | 염화비닐 폴리 테트라플로로 에틸렌 |
| (-) | (-) | (-) | (-) |

표의 대전계열 중 두개의 물질을 마찰 또는 분리할 때, 위쪽의 물질이 정극성(+)으로 대전하고, 아래쪽의 물질이 부극성(-)으로 대전한다. 이 대전량은 대전계열의 위치가 멀리 떨어질수록 커진다.

② 물질의 전기적 특성

물질의 대전현상은 전하가 방출되는 정도에 따라 좌우된다. 축적된 전하가 천천히 방출되면 대전물질이 높은 전압을 유지하게 되고 반면에 전하를 급속히 방출하면 큰 방전전류를 야기



【그림 3-6】 물질의 저항 분류[Ωm]

하게 된다.

물질을 전하의 방출 측면으로 분리하면, 절연체, 대전방지제, 도체로 분리할 수 있다.

(6) 정전기 방전

정전기는 물질의 마찰에 의해 발생하는 것으로서 정전기의 크기 및 극성은 대전서열에 의해 결정된다. 정전기가 점화원으로 작용하는 경우는 화재·폭발 위험분위기에서의 정전기의 방전에 기인하며 발광의 형태 및 강도에 따라 일반적으로 코로나 방전, 브러시 방전(스트리머 방전), 불꽃 방전, 연면 방전 등으로 구분할 수 있다.

① 코로나 방전

가는 도전체(직경이 5mm이하)가 고전위로 축적되거나 접지 도체가 고전계 영역에 있을 때 발생하는 방전현상을 말하며, 미약한 발광과 소리를 낸다. 이 방전은 대전물체에 저장된 에너지의 크기에 관계없이 방전에너지가 적기 때문에 대부분의 가스나 증기를 점화시키지 않는다.

② 브러시 방전(스트리머 방전)

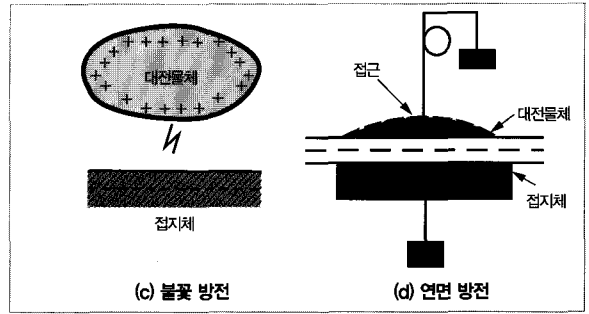
폭발반경이 큰 도체(직경 10mm이상)와 절연물질(고체, 기체) 또는 저도전율의 액체 사이에서 대전량이 많을 때 발생하며 일종의 코로나 방전이나 방전에너지가 4[mJ]까지 될 수 있으므로 폭발분위기 접촉시 화재·폭발을 일으킬 수 있다.

③ 불꽃 방전

불꽃 방전은 표면전하 밀도가 아주 높게 축적되어 분극화된 절연판 또는 도체가 대전 되었을 때 접지된 도체사이에서 발생하며 강한 발광과 파괴음을 수반하여 폭발분위기 접촉 시 화재·폭발을 일으킬 수 있다.

④ 연면 방전

연면 방전은 드럼이나 사일로(Silo) 내의 분진이 높은 전하를 갖고 있는 경우, 크게 대전된 얇은 층상의 대전된 부도체의 뒷면에 접지체가 근접해 있을 경우 대전체 표면에서 발생하는 방전을 말하며 불꽃 방전과 마찬가지로 폭발분위기 접촉 시 화재·폭발을 일으킬 수 있다.



【그림 3-7】 정전기 방전의 종류

(7) 정전기 방지 대책

① 접지 및 본딩

도전성 물체는 직접 접지 하거나 접지된 타 물체에 본딩 시켜 정전기를 완화 시킬 수 있다. 땅위에 세워진 큰 저장 탱크, 지하매설 배관 등은 전력설비 접지를 이용하여 아주 낮은 저항으로 접지해야하는데, 인체 또는 이동형 물체는 10 Ω으로 접지해야한다.

② 가습

장마철과 같이 주위에 습기가 많을 경우 대전된 물체는 지속적으로 전하를 대기로 방출하게 되어 정전기가 문제되지 않는다.

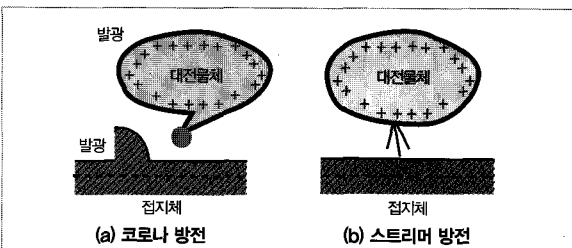
상대습도 50% 이상이면 물질은 충분한 양의 수분이 함유된 상태로 평형이 이루어지고 정전기의 축적을 방지하는데 충분한 도전성을 갖게 된다. 반대로 30% 이하이면 물체가 건조되어 양질의 절연체가 될 수 있고 따라서 정전기가 축적되기 쉽다.

③ 도전성 증가

정전기는 절연체에 축적되기 쉬우므로, 물질의 도전성을 증가시킴으로서 정전기를 완화할 수 있다. 플라스틱 PVC와 같은 절연체는 접지하여도 효과가 없으므로 카본 블랙 등을 첨가하여 도전성을 향상 시키는 방법이 있으며 액체연료인 경우 도전성 첨가제가 사용되고 있다.

④ 이온화

대전된 물체의 주위 공기를 +, - 로 이온화 시키면 대전된 전하가 + 일 경우 공기의 - 와 결합하고, 반대로 전하가 - 일 경우는 주위 공기의 +와 결합함으로써 정전기가 완화된다.



다음호에 계속 ◆◆