

靜電氣에 의한 火災와 그 방지책

李 基 琬 / 전주지부 기사

1. 서 언

전기는 유류, 가스등과 더불어 중요한 에너지 원으로써 경제의 성장과 국민소득의 향상에 따라서 그 사용은 날로 증가하고 있는데 잘못 사용하면 인간이 제어할수 없는 전기화재등 재해를 일으키게 된다. 특히 최근과 같이 사용 전압이 높아지고 전류가 커서 대전력을 사용하는 기계에 대하여 전기화재 발생의 위험성은 매우 높은 것이다.

특히 지금까지 우리나라의 화재 발생 원인으로 전기로 인한것이 으뜸을 차지하고 있는데 본고에서는 전기화재중 정전기에 의한 화재 발생 원인과 대책을 살펴 봄으로써 방재기술 업무 향상에 조금이라도 도움이 되었으면 한다.

2. 靜電氣의 현상

정전기를 하나의 학문으로 연구하기 시작한 것은 영국의 대학자이자 의사 이기도 했던 「길버트」라고 전해지고 있다. 정전기는 마찰전기라고도 불리우며 두종류 이상의 물질이 접촉한 후 서로 떨어질때 발생되며 정전기에 의한 전압은 1,000~10,000V 정도 되므로 정전기의 스파크에 의하여 가연성 가스, 인화성 액체, 분진 등이 있는곳에서는 착화가 용이하다.

가. 帶電(electrification)

물체에 발생한 과잉電荷가 물체에 축적되는

것을 말하며, 발생한 전하중에서 소멸되지 않고 남은 전하가 대전한다. 이때 발생한 정전기량은 액체의 전기 저항치와 밀접한 관계가 있는데 <표1>은 높은 저항치를 갖는 대표적인 위험물을 나타낸 것이다.

<표1> 정전기 대전이 현저한 대표적인 위험물

인화성 액체	고유저항(Ω)	인화성 액체	고유저항(Ω)
항공기연료	1.5×10^{15}	옥탄	1.9×10^{13}
디젤유	1.8×10^{12}	솔벤트·내프터	9.2×10^{13}
석유	2.7×10^{13}	Toluene	2.5×10^{13}
미네랄·스피리트	2.6×10^{13}	키실렌	2.8×10^{10}
벤젠 (90010)	1.6×10^{13}		

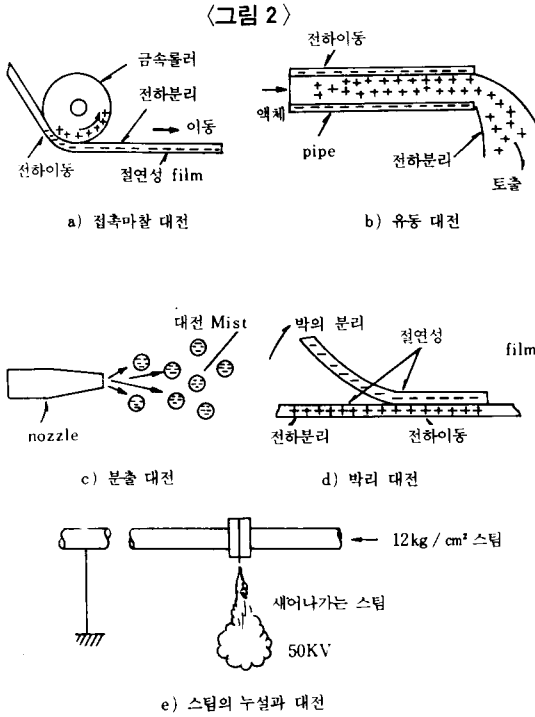
모든 물질은 일반적으로 정과부의 등량의 전하를 갖게 되는데 두 물질을 마찰한 경우 플러스, 마이너스의 정전기를 발생한다. <그림1>은 고분자물질을 서로 마찰할 때 대전의 정, 부를 조사한 대전서열의 예인데 상위의 하위의 물질을 마찰하면 상위의 것이 정, 하위의 것이 부로 대전하고 서열이 떨어져 있는 정도, 접촉전위차가 크면 정전기가 발생하기 쉽다. 정전기에 의

<그림1> 대전서열

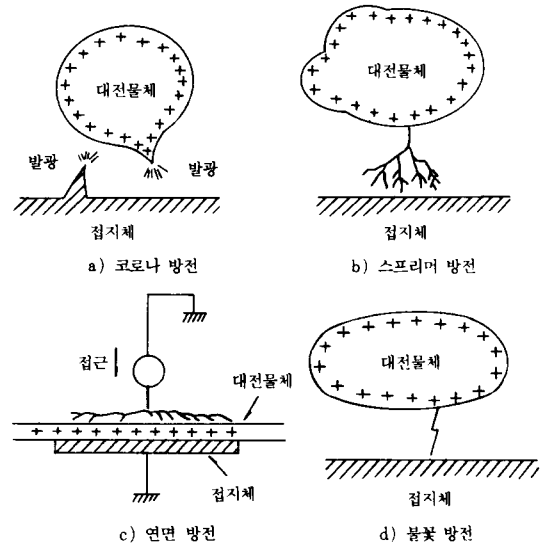
+											-
	나	양	명		종	금	폴리	셀	테		
	일			숨			리스	로	프		
	른	털	주		이	속	틸렌	판	론		

한 대전에는 고체의 마찰에 의한 대전, 액체의 유동에 의한 대전, 분출 가스의 대전, 분체의 대전으로 크게 나눌수 있다.

정전기가 발생할때의 발생 電界는 물질의 誘電率, 습도, 온도등에 따라 결정되는데 대전량이 크면 그때 발생하는 스파이크도 커지므로 이에 의해 발화 된다. <그림2>는 각종 대전의 각종 대전의 예 이다.



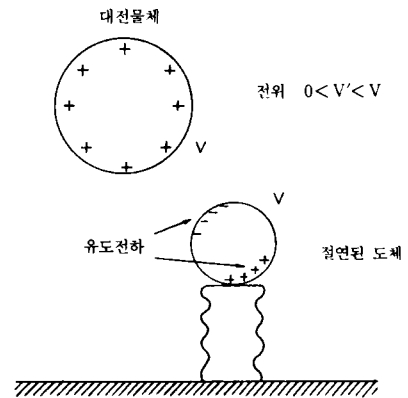
전 물체에 축적되어 있는 정전기의 방전에너지는 $W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2(J)$ 인데 물체간의 접촉면의 거리가 가까운 경우는 그 정전용량은 대단히 커지고 전압이 높아지게 되는데 공기중의 방전에는 적어도 350~400V 이상의 전압이 필요하며 저전압의 대전은 위험성이 적은 편이다. <그림3>은 여러가지 방전의 예를 나타낸 것이다.



<그림3> a) 코로나방전 b) 스트리머방전
c) 연면방전 d) 불꽃방전

다. 靜電誘導(static induction)

<그림4>와 같이 대전물체 가까이에 절연된 도체가 있으면 절연된 도체의 표면상에서 전하의 이동이 생기게 되는데 이 현상을 정전유도라 하



<그림 4> 정전유도의 예

나. 放電(electric discharge)

대전물체에 축적되어 있는 정전기의 에너지에 의해서 대전물체 근방 공간에 있는 물질이 전이 되는 현상을 말하며, 다른 물체와의 사이에 방전로가 형성된 경우는 전하의 이동이 자유롭지 않기 때문에 전전하를 한꺼번에 방전할수는 없고 표면 일부가 방전 하게 되는데 이때의 경우는 에너지가 거의 없게 된다. 물체의 대전량이 많아지면 부근 공기중의 정전계 강도도 높아지게 되는데 이때 정전기의 방전이 발생하며 방전 에너지가 커지면 가연성 물질의 착화등 정전기에 의한 재해나 장애의 원인이 된다. 도체의 대

며 정전유도 현상에 의해 대전물체 부근에 도체가 있으면 불꽃 방전이 발생하여 이것이 착화원이 되어 화재가 발생하기도 한다.

라. 최소 발화 에너지

방전 에너지가 물질의 최소 발화 에너지 상태에 이르면 쉽게 발화하게 되는데 金屬電極間에 발생하는 방전이 가연성 분위기에 있는 가스를 발화 시키는데에 필요한 에너지는 가연물의 종류, 가연물의 농도에 따라서 다르게 되는데 보통은 완전연소 부근에서 가장 낮게 된다. 농도가 그 점보다 높게 되면 발화 에너지는 급격하게 상승한다. 정전기에 의한 방전 에너지는 고체가 연물을 발화시킬 정도로 크지는 않지만 폭발한 계내의 가연성 가스, 인화성 액체, 증기가 최소 발화 에너지에 이르면 발화된다. <表2>는 최소 발화 에너지의 예를 나타낸 것이다.

<표2> 가연성가스의 최소 발화 에너지의 예.

가연성가스	농도(%)	최소발화에너지(ml)
이 황 화 탄 소	6.52	0.015
수 소	29.2	0.019
산 화 에 틸 렌	7.72	0.105
메 타 놀	12.24	0.22
프 로 판	4.02	0.31
아 세 톤	4.97	1.15
톨 루 엔	2.27	2.5

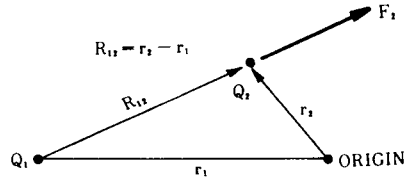
마. 力學現象(mechanics phenomenon)

미세한 입자, 필름이나 시트와 같이 중량에 대하여 표면적의 비가 큰 물체가 대전되면 쿨롱력의 영향이 나타나는데 진공 또는 자유공간내에서 그 크기에 비하여 충분히 멀리 떨어져 있는 두개의 작은 물체사이에 작용하는 힘은 각각의 물체가 가지고 있는 전하량들에 비례하고 거리의 제곱에 반비례하게 되는데 식으로 표시하면

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{R^2} [N]$$

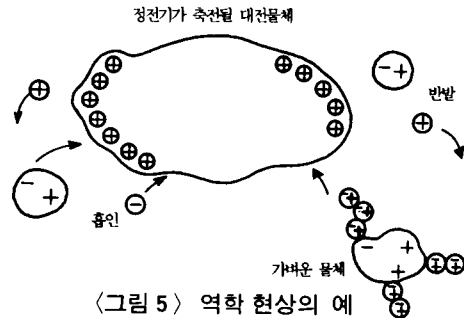
여기서 $K = \frac{1}{4\pi}$, R : 물체사이의 거리(m), Q : 물체들이 갖는 정 또는 부의 전하량(C)

이것을 벡터 형식으로 표시하면 두 전하 사이에 작용하는 힘은 두 전하의 부호가 같으면 반발력, 반대 일때는 흡인력이 작용할수 있음을



Q_1, Q_2 의 부호가 같으면 Q_2 에 작용하는 힘 F_2 의 방향은 벡터 R_{12} 의 방향과 같게 된다.

<그림5>는 정전기에 의한 역학현상이 대전물체 주위에 나타난 예를 도시한 것이다.



<그림 5> 역학 현상의 예

3. 정전기에 의한 공정별 발화위험

가. 塗料제조 공정

도료 제조시 가연성물질들이 혼합, 정제, 분리 등의 제반 공정을 거치는 과정에서 용제의 취급량도 많고 용제 마찰을 많이 주는 작업이기 때문에 정전기가 통상적으로 발생하는데 염료 산 작업이 끝난후 잔류 솔벤트를 제거하기 위해 공장을 재가동하는 경우에 정전기가 발생하는 경우가 있다. 특히 Batch System에서 도료 생산을 위한 원료 주입시 여러가지 장비(호스등)가 사용되는데 이 경우 사용 장비가 도체류이면 작업장내에 정전기가 발생되어 스파크로 인한 화재가 발생할 수 있다.

나. 고무제품제조 공정

고무제품제조 공정에서 가장 화재위험이 높은 공정이 호인공정인데 고무를 제조를 위한 용제로 M.E.K., xylene, 고무취발유등 휘발성이 있는 인화성물질을 사용하기 때문에 고무품을 도

포하는 호인기(spreader)나 Dipping machine에서는 고무 로울등의 마찰에 의해 정전기가 축적하여 용제증기에 인화 화재가 발생할 위험이 있다. 특히 마감공정은 그라인더로 표면을 연마할때 나오는 분말고무가 마찰에 의해 열과 정전기가 발생하여 대전하기 때문에 퇴적하여 방치하면 발화할 위험성이 있다.

다. 플라스틱제조 공정

플라스틱은 전기 비전도체이므로 정전기가 대전될때에는 그 위험성이 특히 높는데 스프레이건(spray gun)에 의한 도장의 경우 정전기가 발생하기 쉬우며 플라스틱 제품에 문자나 모양을 인쇄하는 작업에는 인화성 용제(신나등)가 많이 사용되어 PVC시이트등에 인쇄하는 경우 대전현상을 일으켜 정전기에 의한 스파이크가 점화원으로 되어 화재가 발생할 위험이 있다.

라. 인쇄 공정

운전 중 인쇄기로 부터 발생하는 정전기는 인쇄되는 재료와 로울러(roller)의 壓力의 강약에 크게 영향을 받는데 인쇄기, 코우터, 래미네이터 등의 조작중에 정전기에 의한 스파이크가 인쇄잉크나 용제류의 인화성증기에 인화되어 폭발화재를 일으킬 위험이 있다. 특히 그라비아 인쇄기는 고속도로 회전하기 때문에 정전기가 발생하기 쉽다.

마. 제지 공정

제지공정에서 가장 화재위험성이 높은 곳은 dryer 부분인데 100~130°C의 스팀 건조로 종이의 건조도가 높고 dry와 후드 내부는 지분류, 손지가 퇴적하기 쉬운데 마감 공정에서는 제품, 재단, 부스러기등의 가연물이 다량으로 존재하고 매우 출화하기 쉬운 상태에 있게 된다. 특히 켈린더(광택기)는 복수의 로울에 종이 통과하기 때문에 마찰에 의해 정전기가 발생하기 쉽다.

바. 섬유제조 공정

천연섬유 또는 화학섬유의 대부분은 정도의 차이는 있으나 연소하기 쉽고 한번 착화되면 대량의 연, 독가스를 발생하게 되는데 특히 작업중에는 분진상태의 섬유 부스러기가 다량 발생

하고 기계나 보 위에 퇴적되어 극히 착화되기 쉬운 상태가 된다. 섬유제조 공장에서 가장 화재위험도가 큰 공정은 혼다면 공정인데 원인은 원면에 들어있는 쇠붙이가 고속 회전체와의 마찰에 의하여 또는 기계사이(Beater와 Grid bar 사이등)에 과잉의 솜이 끼여 통과되지 않고 마찰에 의해 정전기가 발생 발화되는 경우가 있다.

사. 석유화학제조 공정

석유화학제조 공장에서 주로 취급하는 유류 또는 탄화수소는 대부분 착화나 발화 온도가 낮고 발열량이 큰데, 파이프 라인으로 유류를 탱크에 주입하는 경우 파이프중에서 전하의 분리가 생겨 이물질과의 혼합으로 주위 대전체와 방전현상을 일으켜 전기스파크를 발생시킨다. 또한 탱크 로울러에 급유할 때 유가 파이프와의 마찰에 의해 대전되어 정전기를 발생시킨다. 일반적으로 액체전하의 발생량은 액체의 중별, 유속, 전하분리면의 성질, 온도, 수분등 여러 요인에 의해 좌우되는데 연유, 경유, 가솔린등은 고유저항이 $10^{12} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 에 제일 발생하기 쉽다.

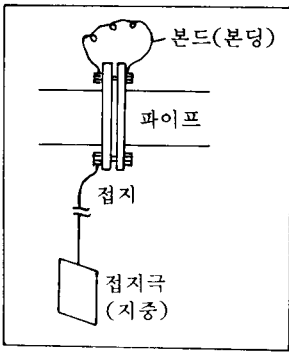
4. 정전기 방지 대책

정전기에 의한 재해를 예방하기 위해서는 무엇보다도 정전기가 발생하지 않도록 하든가 또는 발생 하여도 위험한 양이 되지 않도록 발생량을 최대한 억제하여 장해를 일으키지 않는 범위내로 적게 하여야 하는데 그 구체적인 예를 살펴 본다.

가. 본딩(Bonding)과 접지.

본딩이란 금속물체간, 예를들면 배관의 프렌지와 레일의 접촉 부분에서 절연 상태로 되어 있는 경우 이 사이를 도전으로 결합하여 양자의 전위차를 없애고 방전을 방지하기 위해 실시하며, 접지는 물체에 발생한 정전기를 대지로 누설시켜 물체에 정전기가 축적되는 것을 방지하기 위해서 실시하는데, 정전기 방지 대책 가운데에서도 가장 기본적인 대책이다. 본딩만으로는 정전기 대책이 되지 못하기 때문에 본딩을 실시할때에는 반드시 접지를 동시에 실시하는게

좋다. 대전 방지를 위한 접지용의 접지극으로서
는 배전선의 접지단자나 지중에 매설된 수도관,
철골등을 이용할 수 있다. 접지선은 충격이나
부식에 의해서 단선될 우려가 없는 충분한 굵기
의 것이 필요하며 접지저항도 가급적 낮은 것이
좋다. 정전기 대책으로서의 접지는 접지용구를
바르게 사용하여 확실히 접지하는 것이 중요하
며 불안정한 접지는 때때로 재해를 일으키는 원
인이 된다. 정전기 발생을 방지하기 위해서 가
연성액체를 넣는 금속제의 탱크, 용기, 탑조류,
배관류는 물론 금속제의 각종 장치류등에 접지
를 실시하는데 <그림6>은 접지와 본딩의 실시
예이다.



<그림6> 접지와 본딩

나. 可燃性 霧團氣의 不活性化

가연성 분위기를 제거함으로써 정전기를 방지
하는 방법인데 이것은 질소, 탄산가스와 같은
불활성가스를 이용하여 공기를 치환시키는 것으
로 이때 공기를 완전히 불활성 가스로 치환할
필요는 없고 치환 후에 산소농도를 한계
산소농도보다 낮게 하기만 하면 되는 것이다.
예로서 정전기에 의해 혼합가스 폭발 또는 분진
폭발의 우려가 있는 제조장치 및 사일로, 탱크
로울러, 탱크차등에 위험물을 주입하는 경우 사
전에 질소 봉입으로 불활성화 하는 것을 들수
있다.

다. 加 濕

종이, 섬유제품등은 주위공기의 상대습도와
평형된 수분을 갖는데 일반적으로 상대습도도 60

~70% 이상이 되면 정전기의 축적을 방지할 수
있다. 이것은 습도가 높으면 물체의 표면에 극
히 얇은 수막이 생기고 이것이 공기중의 CO₂가
녹아 전이되고 이를 통해 정전기가 누설하는 것
으로 생각할 수 있다.

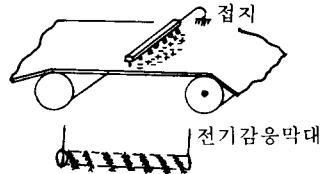
이 방법은 정전기 발생 개소가 실온이상으로
더워진 경우나 유의 표면의 정전하에 대하여는
효과가 적다.

라. 除電에 의한 帶電 防止

제전은 물체에 발생 또는 대전하여 있는 정전
기를 안전하게 제거하는 것으로 주로 정전기상
의 부도체를 대상으로 한 대전 방지 대책이며,
일반적으로 제전기가 사용되고 있다. 제전한다
는 것은 물체의 전 대전전하를 완전히 중화시키
는 것이 아니고, 정전기에 의한 재해가 발생하
지 않을 정도까지 중화시키는 것이다. 예를들면,
벤젠중에 올레인산 마그네슘등의 금속분을 넣으
면 고유저항이 낮아지는데 이처럼 인화성액체에
제전제를 사용함으로써 재해를 방지할 수 있다.

마. 靜電誘導에 의한 이온화법

공기중에 이온을 만들어 대전체 표면의 전하
를 중화시켜 공기중에 방전시키는 것을 이용한
것이다. <그림7>은 誘導中和裝置를 나타낸 예인
데 이 장치는 제일 간단하고 경제적이지만 침
선단의 電位傾度가 이온화에 필요한 임계치에
달할 때까지는 아무런 작용도 하지 못하는 결점
이 있다.



<그림7> 유도중화 장치

바. 電導性 賦與

電氣抵抗이 높은 물질 대신에 전도성이 있는
물질을 사용하는 것으로 액체의 전도성을 증가
시키면 전하의 누설을 촉진 시키며 정전기를 방
지할 수 있는데 가죽 또는 고무 벨트의 내면에

카본 블랙을 주성분으로 하는 전도성 도료를 칠하거나 페인트, 신나등에 오레인산마그네슘등을 소량 첨가하면 전도성을 높일수 있다. 화학공장, 화약공장등의 바닥재료로 전도성의 고무를 사용하여 인체의 대전을 막는다.

사. 마찰을 적게하는 방법

보통 마찰이 정전기를 제일 많이 발생하게 하는데 벨트와 휠과의 슬립을 않도록 마찰계수가 큰 벨트를 사용하거나, 마찰되는 두가지 물질을 대전서열이 가까운 것으로 선택하거나, 두가지 물질 모두를 도전성 물질로 하는 방법이 있다.

아. 靜電遮蔽

접지된 도체로 대전물체를 덮거나 둘러싸는 방법인데 대전물체의 전위를 내려 방전이 용이하게 발생하지 않도록 하므로써 대전물체 근방에 있는 물체에의 정전유도를 방지하고 정전기장해의 원인이 되는 역학현상의 발생을 방지하는 효과가 있다.

자. 靜置時間

탱크로울리, 탱크차등에 위험물을 주입하여 용기내의 유동이 정지하여 정전기 방전이 발생하지 않을 정도까지 경치시간을 두는 것을 말하

는데 직접접지 또는 간접접지 되어 있는 대전물체의 도전율이 클수록 대전 방지에 효과가 크다.

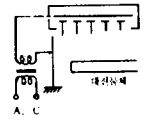
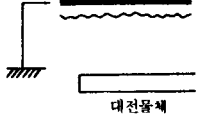
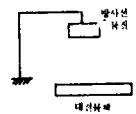
5. 結 言

지금까지 정전기에 의한 화재 발생 원인과 예방대책에 관하여 기술하였는데 정전기에 의한 화재는 다른 전기화재와는 달리 어떤 물적증거도 남기지 않으며 순간적으로 일어나는 사고가 많기 때문에 설비 설치시 주의를 요하며 관리면에서도 항상 소홀함이 없어야 하겠으며 정전기가 발생할 가능성이 있는 장소에는 수시로 정전기 측정기로 측정하여 대책을 세우는 것도 정전기에 의한 화재를 방지하는 한 방법이라 하겠다. 앞으로 정전기에 의한 화재 방지 측면에서 끊임 없는 연구가 필요할 것으로 본다. *

〈參考文獻〉

1. 電氣術語辭典(省安堂)
2. 防災理論과 實務(韓國火災保險協會)
3. Static Electricity(NFPA)
4. 靜電氣 핸드북(日本靜電氣學會)
5. 靜電氣による災害と防止對策(노동성 산업안전 연구소, 日本)
6. 靜電氣災害防止對策(日本, 田昌泰辛 著)

● 미니정보
각종 제전기(除電器) 비교표

방 법	원 리	기 구	특 징	사 용 예
전압인가식 제 전기	고전압을 가해 방전을 일으켜 그때 발생한 이온에 의해 제전한다.		- 낮은전위까지 제전할 수 있다. - 송풍기를 부착하는 방식 등 기종이 풍부하다.	- 필름, 종이, 섬유 등 표면대전물의 제전 - 유동하는 분체 등 체적 대전물체의 제전
자기방전식 제 전기	대전물체의 정전기 에너지를 이용하여 이온을만 들고 이것으로 제전한다.		- 대전전위가 높은 물체의 제전에 효과가 크다. - 설치가 간단하다.	- 필름, 종이, 섬유 등 표면대전물체의 제전
방사선식 제 전기	방사선의 전리 작용으로 발생한 이온에 의해 제전 한다.		- 착화원이 되지 않은 안전한 제전기이다.	- 탱크에 저장한 가연성 액체 등의 제전