

가연성 액체의 정전기 방지대책

정재회

(서울산업대학교 안전공학과 교수)

1. 정전기 대전에 의한 화재·폭발 위험의 진단

가. 진단의 척도

화재·폭발은 대전물체로부터 발생한 정전 에너지의 방전이 가연성 물질의 최소 착화 에너지 이상될 때 착화하여 발생된다. 따라서 안전진단의 척도는 방전 에너지에 있으나 방전이 발생하기 전에는 알 수 없다. 그러므로 안전진단에서는 방전 에너지 대신에 어쩔수 없이 대전물체에 축적되어 있는 정전 에너지를 척도로 한다. 이것은 대전물체로부터 방전이 발생하고, 축적된 에너지가 모두 방전시 소비되고 있다고 하는 것이 기본이다.

예를 들면, 대전물체에 축적된 정전 에너지 W 는 다음과 같다. (<그림 1> 참조).

$$W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}QV(J)$$

C: 정전 용량(F)

V: 대전 전위(V)

Q: 대전 전하량(C)

위에서 설명한 안전진단 방법은 한편으로는 타당하고 유익하

나 다음과 같은 이유 때문에 주의가 필요하고, 실용적으로 충분치는 못하다.

(1)대전물체의 정전 에너지에 의한 착화 가능성을 위의 방법에 의해 평가하려면, 대전물체가 금속이나 인체와 같은 도전성인 경우에 한정된다.

(2)정전기는 변동하기 쉬운 불안정한 현상이기 때문에 측정할 때의 전위보다도 큰 전위가 되는 것도 있다. 따라서 위의 방법에 의해 도전성 물체의 안전진단을 하는 경우 측정 전위의 수배의 전위에 의한 에너지를 추정하지 않으면 진단을 잘못하는 경우도 있다.

(3)부도체에 축적된 에너지는 위의 방법에 의해 구할 수 없다. 따라서 안전진단의 척도는 반드시 에너지에 의하는 것이 아니므로, 화재·폭발이 발생하지 않는 상태의 전위·전하량 등을 기준으로 상대적으로 판단하는 것도 좋다.

예를 들면 부도체의 화재·폭발 기준은 다음 사항을 기준으로 평가한다.

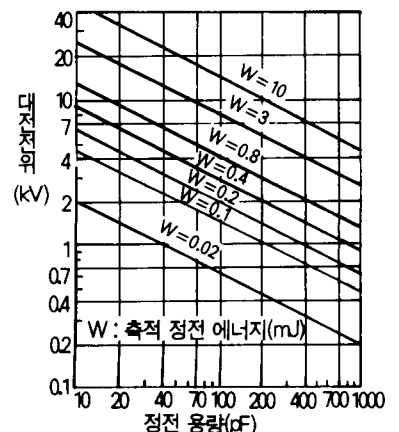
①최소 착화 에너지가 수십 μ J인 가연성 물질에 대해서는

대전 전위가 약 1(KV) 이상이거나 대전 전하밀도가 약 1×10^{-7} (C/m²) 이상인 대전 상태

②최소 착화 에너지가 수백 μ J인 가연성 물질에 대해서는 대전 전위가 약 5(KV) 이상이거나 대전 전하밀도가 약 1×10^{-6} (C/m²) 이상인 대전 상태

③대전하고 있는 물체에 인체가 접근했을 때 전격을 느끼는 정도의 대전 상태

④대전하고 있는 물체에 직경 30(mm) 이상의 접지된 금속구를 접근시켰을 때 파괴음 및 발광을 동반하는 방전을 발생시키는 대전 상태



(그림 1) 대전 물체에 축적되는 정전 에너지

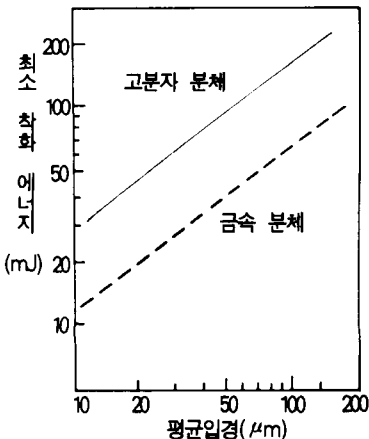
이상으로 부터 정전기에 의한 화재·폭발의 진단은 도전성 물체 또는 부도체의 어느 것에 대해서도 측정결과에 의해서 판단하며, 측정결과에 대해서는 여유를 갖고 평가할 필요가 있다. 또한, 재해가 발생하지 않는 정상시의 대전상태를 측정하고 그것을 참고하여 진단하는 것도 중요하다.

〈표 1〉 화재·폭발 방지를 위한 부도체의 대전 목표

가연성 물질의 최소 착화 에너지(mJ)	대전 전위 (KV)	표면 전하밀도(μC/m)
0.1 이하	10 이하	1.0 이하
0.1~1.0	5.0 이하	3.0 이하
1.0~10	10 이하	7.0 이하
10 이상	10 이하	10 이하

〈표 2〉 정전 용량의 크기

구 체 예	정전용량(FF)
작은 금속물체 (국자, 노즐)	10~20
0.05m ² 이하의 소용기 (버킷)	10~100
0.25~0.5m ² 의 용기(드럼)	50~300
작업자	100~200
일반적인 시설(반용 용기)	200~3000



〈그림 2〉 분체의 크기와 착화 에너지의 목표

더구나 화재·폭발을 방지하기 위한 안전진단의 목표는 개개의 가연성 물질에 따라 다르므로, 참고적으로 안전진단에 있어서의 첫째 목표를 〈표 1〉, 〈표 2〉 및 〈그림 2〉에 나타냈다.

나. 대전 전위 측정의 유의사항
대전 전위의 측정을 안전진단의 첫째로, 간단한 전위측정에서 전위 또는 전계를 연속적으로 측정하는 감시장치도 공급되고 있다.

그리고 이 전위 V(V)는 물체에 대전되어 있는 정전기의 본질적인 물리량이다.

$$V = \frac{q}{C}$$

q(C/m): 단위면적당 전하량

C(F/m²): 단위면적당 정전용량

예를 들면, 인체의 전위를 측정할 때, 인체에 대전되어 있는 전하량은 같지만, 자세나 의복 등에 의해 정전용량이 변화하기 때문에 전위도 정전용량에 의해 수배의 변화가 이루어진다. 이것은 대전된 플라스틱 등의 부도체의 경우도 같으며 〈그림 3〉에 나타낸 바와 같이 측정대상의 극(極) 근방에 접지체가 있으면 측정기의 정전용량이 크기 때문에, 전위는 낮은 값으로 측정되고, 대전량이 작으면 잘못 판단하는 경우도 있다.

안전진단의 목적은 가능한한 높은 전위에 있는 부분을 측정하여 판단하는 것이 온당하다.

다음에 전위 측정을 비접촉식 전위계를 이용하여 측정하는 경우 특히 유의해야 할 사항을 제시한다.

(1) 측정결과가 산발되어 있

면, 측정정도 보다도 최대전위의 검출에 중점을 두고 측정한다.

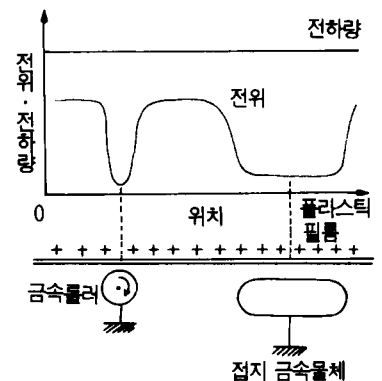
(2) 작은 대전물체(한변 또는 직경이 10cm 정도 이하의 물체), 또는 형상이 복잡한 대전물체의 전위는 절대치를 측정할 수 없는 경우도 있기 때문에 측정치를 교정한다.

(3) 대전한 부도체의 전위는 일정하지 않기 때문에 1개소의 전위로는 안되고, 각부의 전위를 측정한다.

(4) 피측정 물체의 주변에 가능한한 접지체 또는 금속물체가 존재하지 않는 조건, 또 그것과 떨어진 위치에서 측정한다.

(5) 가연성 물질이 존재하는 환경에서 측정할 때는, 측정기를 사용함에 의해 또는 측정에 의해 위험한 방전이 발생하는 경우가 있기 때문에 충분한 주의가 필요하다.

(6) 가연성 물질이 존재하는 환경에서 측정하는 경우는 측정거리가 가능한 큰 측정기를 사용하는 것이 좋다.



〈그림 3〉 정전 용량에 의한 전위의 변화

2. 가연성 액체의 정전기 대전 방지대책

정전기 면에서의 대책은 ①정전기 발생 억제 ②전하 완화의 촉진 및 축적의 방지 ③전압 상승의 억제 및 방전 발생의 방지가 그 기본이 된다. 강구하는 구체적인 대책이라고 하는 관점에서 그것을 정리·열거한 것은 다음과 같다.

- ① 정전기 발생의 억제
- ② 인체대전의 방지
- ③ 도전성 향상에 의한 대전방지
- ④ 제전기에 의한 제전
- ⑤ 전하완화까지의 시간 확보
- ⑥ 도체의 접지·분당
- ⑦ 정전차폐

정전기 발생을 억제·방지하기 위해서는 석유류 이송 속도의 제한처럼, 취급속도를 저하시키는 것이 유효한 경우가 많다. 충전시의 가연성 액체의 대전을 억제하기 위해서는 주입관의 선단을 탱크 아래까지 미치게 하는 등 버말이 발생하지 않는 상황에서 충전하는 것도 정전기 발생을 방지하는 효과를 기대할 수 있다.

충전 개시 직후는 탱크 내부에서의 버말발생, 배관 도중에 공기나 불순물의 혼입에 의해 정전기 발생을 특히 증대하는 요인이 종종 존재하기 때문에, 안정한 상태로 이행하기까지의 초기 단계에서의 충전속도를 제어할 필요가 있다. 초기 유속로서는 배관내 유속 1m/s 이하의 값이 기준으로 추천되고 있다. 정상상태로 이행한 후에도 정전기 발생을 억제하기 위해서

공기의 혼입, 수분의 혼입, 서로 다른 액체의 혼입, 버말의 발생 등의 방지에 노력을 기울일 필요가 있다.

배관내에서의 대전을 막기 위해서는 직경이 큰 관을 사용하는 것도 유효하다. 같은 유량에서는 배관을 크게 하면 발생량을 작게 할 수 있다. 용기에의 충전시 유속에 대해서는 정전기 발생량 자체에 불확정인 부분이 있기 때문에 대체로 정해진 경우는 할 수 없지만, 구서독화학공업직업보협회의 '정전기 대전에 따른 착화 위험의 방지 지침(1980)'에서 제시된 용기의 크기, 충전 액체의 도전율에서 다음 식으로 유속 제한치를 구하는 방법이 제안되었고, 일본산업안전연구소의 정전기 안전지침에서도 추천값으로 채용되고 있다.

$$V_d < 0.25(L\sigma)^{0.5}$$

V: 관내유속

d: 배관직경

L: 탱크내의 대표길이

σ : 액체의 도전율

이 식은 독일연방물리공학연구소(PTB)의 Kramer와 Schon이 행한 일련의 실험규모 장치를 이용한 연구로 시도된 것이다.

이 제한 유속식의 적용가능 조건은 ①기름내 수분혼입 등이 없다, ②휠터 등의 대전량이 많은 기기류와 인수탱크와의 사이에는 충분히 길은 거리의 배관이 있는 것, ③탱크 규모가 2.9m < L < 7.2m 정도 등이다.

탱크 내부의 돌기물에 대해서도 특정조건물 이외는 존재하지 않는다는 조건이 필요하고, 다양

한 돌기물이 존재하는 조건에서의 제한 유속치로서는, 조금더 작은 값이 제안되고 있다. 따라서, 정전기 대전량이 많아진다고 할 수 있고, 스프레이 로딩이나 적재 초기단계에서는 이 제한유속의 계산식은 적용할 수 없다. 배관도중에 휠터 등 정전기의 발생을 증가시키는 부분이 있는 경우에는 그 하류에 충분한 길이의 직관부분을 붙여 발생한 전하를 완화시키는 경우가 추천되고 있다. 이 부분의 배관경을 크게 해 두면, 유속이 저하하고 체재시간이 연장되어 완화의 효과를 기대할 수 있다.

이 유속 제한치와 같이 정전기 발생량을 안전한 레벨에 머물게 하는 조건이 정량적으로 부여할 수 있는 경우가 대책을 세우는 것에는 필요하지만, 유감스럽게도 다른 정전기 발생에 관하여 이런 정량적인 지표는 얻을 수가 없다.

작업자 대전방지는 정전기 대책에서도 가장 효과를 기대할 수 있는 대책 중의 하나이다. 대전방지가 가능한 제전복을 착용하고, 작업중의 정전기 발생을 억제하고, 작업에 앞서서 어스바에 닿아 인체에 축적된 정전기를 제거하는 경우 등이 중요하지만 그것만이 아니라, 정전화의 착용과 바닥면의 도전성을 확보하는 것에 의해서 인체에 접지 상태를 유지하고, 인체의 전하를 누설시켜 주는 등의 방법이 대책으로 유효하다.

충전 작업 종료후의 샘플링 작업과 검척작업은 과거의 사고 사례를 보아도 화재 등의 계기

가 되고 있는 경우가 많다. 가능하면 채취기의 투입으로 인한 샘플링이나 검척봉으로의 검척은 피하고 있다. 그것이 불가능한 경우에는 최소한 작업자의 대전방지와 충전 작업후의 정치시간의 확보가 필요하다. 또한, 게이지 웰 등을 설치, 정전 차폐를 활용하는 것이 유효하다. 또, 충전후에 액체의 전하가 감소하기까지의 정치시간을 둘 때 주의할 점은 큰 탱크에서의 전하의 감쇠가 매우 완만한 경우에 있는 것, 아울러 충전된 액체가 혼합물인 경우에는 침강 대전에 의해 충전 종료후에 전하가 소실하기까지 보다 장시간을 요하는 경우 등이다.

접지·분당은 가장 자주 채용되어지는 정전기 대책의 하나이다. 가연성 액체의 소분류와 이환작업도 재해로 이어지는 작업이다. 특히, 플라스틱 용기와 금속제 로드의 조합과 같이 마찰로 쉽게 대전하는 물질과 비접지상태가 되기 쉬운 도체의 조

(표 3) 가스, 증기의 착화위험성

물 질 명	폭발한계 (vol%)		인화점 [°C]	최소 착화 에너지[mJ]
	하한계	상한계		
메 탄	5.0	15.0	-187	0.28
에 탄	3.0	15.5	-130	0.25
프 로 판	2.1	9.5	-104	0.25
n - 부 탄	1.5	8.5	-72	0.24
n - 헥 산	1.1	7.5	-26	0.20
벤 젠	1.2	8.0	-11	0.019
수 소	4.0	75.6	-	0.019
아 세 틸 렌	1.5	82	-	0.009
이 유 화 탄 소	1.0	60	-30	0.14
메 탄 올	5.5	44	11	

합에는 주의를 요한다. 작업자를 포함하여, 도체는 접지상태로 유지되고 있는 것을 보증할 필요가 있다.

또한, 접지 분당에 관해서 주의를 환기하고 싶은 점은 접지나 분당의 목적은 도체 사이의 전위차를 없애고, 가연성 증기 등에 대한 착화능력이 높은 도체간의 방전발생을 막기 위한 것이다. 접지가 단속적인 경우에는 오히려, 위험해질 것에 충분히 유의할 필요가 있다

(표 4) 분체의 착화위험성

물 질 명	폭발하한 계 농도 [g/m ³]	최소착화 에너지 [mJ]
알 루 미 늬	30	10
유 황	35	15
석 탄	200	120
에 폭 시 수 지	20	9
합 성 고 무	30	30
폴 리 에 틸 렌	20	10
폴 리 프로 필 렌	20	25
밀 가 루	40	40
사 탕	35	30
나 부	20	20



“FILK”란

우수 방화·안전 관련 제품에 대해서 방재시험연구소가 품질을 인증하는 마크입니다.

한국화재보험협회 부설

방재시험연구소

경기도 여주군 가남면 심석리 69-1

전화 : (0337)83-9861~4 Fax : (0337)82-3527