

## 2. 석유화학 공업에서 정전기재해방지대책

### 1) 서 론

석유화학산업은 주 원료를 납사로 부터 시작하여 최종 제품으로는 합성수지, 합성고무, 공업약품에 이르기까지 취급하는 물질거의가 고저항물질 가연성물질로 정전기에 의한 착화 폭발사고가 발생할 조건이 많은 산업의 하나이다.

정전기에 의한 사고가 발생하는데는 다음 3 가지 조건이 동시에 성립되어야한다.

- ① 정전기발생
- ② 착화능력을 갖인 위험한 방전의 발생
- ③ 폭발성가스 증기가 공기와의 비율이 폭발한계 내에 존재할것.

따라서 정전기에 의한 착화 폭발사고를 방지하기위한 대책을 강구하는데는 보통 3 가지 측면에서 검토를 행한다. 여하한 상황하에서도 이 3 가지 조건중에 1 가지이상을 제거하는것이 필요하다.

다음은 석유화학공장에서 행하는 정전기사고방지를 위한 기본대책 및 과거에 발생한 정전기가 원인이었다고 추정되는 사고예를 열거하고 그 사고의 개요, 추정원인 유효하다고 판단되는 대책을 기술한다.

### 2) 정전기재해방지의 기본대책

#### ① 배관이송시 유속제한

석유계 탄화수소등의 절연성액체를 배관을 통하여 유동시킬때 액체에 강력한 대전이 발생한다. 액체의 이송에 따라 발생하는 전하량은 대략 유속의 제곱 및 배관직경에 비례한다. 따라서 탄화수소액체의 이송에 대해서는 유속을 제한할 필요가 있다.

##### (a) 구체적인 예-1

주입파이프가 탱크밑부분에 달하지 않는 경우는 주입구가 액면하에 다달을 때 까지는 3휘트/초(0.9m/sec)이하가 바람직하고, 이 이후 및 주입파이프가 탱크저면부까지 달하는 경우에는 15 내지 20휘트/초(4.5m/sec)까지 증가시켜도 좋다.

##### (b) 구체적인 예-2

광유제품 예를 들면 케로신 젯트연료, 세탁용벤젠등의 경우에는 용기에 주입하기위한 배관중에는 극한치  $V_{\text{제곱}} \times d = 0.64$  입방 m / 제곱 sec 를 초과시키지 않도록 하는것이 바람직하다. (유속  $V = \text{m/s}$ , 파이프직경  $d = \text{m}$ ) 에테르의 경우는 12mm까지의 직경에 대하여 최고 1내지 1.5m/s 이하로 하는것이 바람직하다. 직경이 커짐에 따른 유속은 이에 따라 대폭 감소시킬 필요가 있다. 에스테르, 고급케톤 및 고급알콜의 경우는 최고유속 9내지 10m/s 이하로 하면 안전하다는 것이 현장에서 확인되었다. 어떤장치가 상시일정목적만으로 사용되는 경우(예를 들면 대형탱크주유설비) 이러한 시스템의 안정성이 그 액체에 관한 오랜경험에서 실증되었다면, 주출관(注出管) 부근에서 위의 속도제한 이상의 속도를 취해도 좋다.

##### (c) 완화구간

배관전장에 따라 유속제한이 불가능한 경우에는 배관도중(탱크인입의 경우에는 인입구부근)에 완화구간(진정용 배관이라고도 함)을 설치하여 액체의 대전량을 감소시킬수 있다. 완화구

간의 최소구간길이는 다음식에 의해 구한다.

$$l = 3 \text{ 내지 } 4 \times V$$

여기서  $l$  = 완화구간장(m)

$\tau$  = 이송액체의 완화시간(초)

$$\tau = \epsilon_0 \times \epsilon_r \times \rho$$

$\epsilon_0$  : 진공의 유전율

( $8.854 \times 10$ 의 마이너스 14승 F/cm)

$\epsilon_r$  : 이송액체의 비유전율

$\rho$  : 이송액체의 고유저항치(옴 × cm)

$V$  : 완화구간내의 평균유속(m/s)

완화구간내의 배관직경을  $d$ (m)로 하면

$$l = < 5 \times d \text{로 하는 것이 바람직하다.}$$

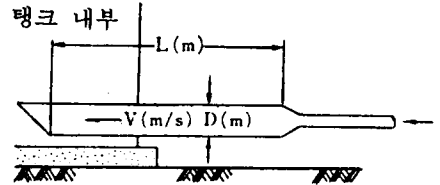


그림 1. 완화구간(정전기억제용 보관의 예)

## ② 정치시간

대전된 절연성액체가 시간적으로 완화되는 과정은 대략 액체의 유전율과 도전율에서 정하는 시정수에 의해 결정되는 지수함수곡선으로 나타낼수 있다. 따라서 주입, 교반등의 정전기발생을 수반하는 작업을 행한후 샘플링, 검척, 하역작업등의 대전원액체가 공기와 접촉하는 상태에서 작업을 행하는 경우는 어느정도 정치시간을 둘 필요가 있다. 실제로 대형탱크에서 정전기 감쇄시간의 측정에는 시정수의 10배에서 경우에 따라 100배이상의 시간을 요하는 사례가 있다. 정치시간에 대하여는 각 회사에서 각각 수치를 정하고 있는데 그 한예는 다음과 같다.

정치시간 예

설비 고유저항	지 상 탱 크			탱 크 차	선박, 소형탱크
	1,000ℓ 이하	5,000ℓ 이하	5,000ℓ 초과		
$10^{18} \Omega \text{cm}$	15 분	30 분	60 분	15 분	15 분
$10^{16} \Omega \text{cm}$					

고유저항이 10에 15승 옴cm를 초과하는 액체에 대해서는 특히 긴 정치시간이 필요하다.

## ③ 플랜트 장치, 부품의 부분도체의 본딩(bonding), 접지실시

상호절연된 도체사이의 방전은 순간에 전 정전에너지가 방전로를 통하여 방전되므로 아주 위험하다. 따라서 전체 도전성장치부분은 상호본딩 또는 대지로의 접지를 행할 필요가 있다. 접지(본딩)의 저항치가 1M옴이하이면 정전기적으로 접지된 것으로 본다. 실제로는 상설장치에 있어서 플랜트내 요소요소(예를 들면 기기단위)에 접지를 실시하면 부품마다의 본딩은 볼트등으로 각 부품이 기계적으로 접속되어 있다면 별도의 본딩은 필요하지 않다. 단, 알미늄과 같이 표면에 절연성 산화피막을 형성하는 재질을 사용하는 경우는 주의할 필요가 있다. 또한 샘플링, 검척기구, 드럼통과 같이 이동하며 사용하는 것은 리드선에 의해 확실하게 접지시킬 필요가 있다.

## ④ 도전화(導電化)에 의한 대전(帶電)제거, 억제

절연성물질의 대전에 의한 위험성은 고유저항 또는 표면저항에 의해 평가할수 있다. 일반적으로 고유저항이 10,000M옴cm이하의 액체, 표면저항이 1,000M옴이하의 고체에 대하여는 정전기 재해가 발생할 위험이 적다. 따라서 물질을 도전화 하는것에 의해 대전을 억제 제거할수 있다. 아래 그림 2에 각종 석유제품의 고유저항과 비유전율의 분포를 표시한다. 또한 구체적인 대책을 열거하면 다음과 같다.

### (a) 대전방지제의 첨가

절연성물질의 대부분은 대전방지제의 첨가에 의해 고유저항, 표면저항을 충분히 저하시킬수 있다.

(b) 습도의 증대

상대습도를 약 65%까지 증대시킴에 따라 대부분의 절연성고체의 표면저항은 충분히 감소한다. 공조에 의한 습도조절, 증기유출에 의한 국부적 습윤화가 효과적이다. 예를 들면 겨울철 실내에는 물을 뿌리는 정도로도 충분한 정전기 방지대책이 된다.

(c) 공기의 이온화

착화원이 되지않을 정도의 방전을 발생시켜 이 방전에 의해 공기를 이온화하여 절연성고체표면의 전하를 증가시키는 방법이 있다.

이온화 장치로는 자기(自己)방전을 이용한 침단(針端)이온화기, 외부전원을 사용한 고전압이온화기가 있다. 또는 방전을 발생시키지 않으면서 공기를 이온화시키는 방사선물질이 있으며 이러한 종류의 이온화기에는 폴로늄210을 사용한 것이 있다.

⑤ 위험한분위기의 생성방지

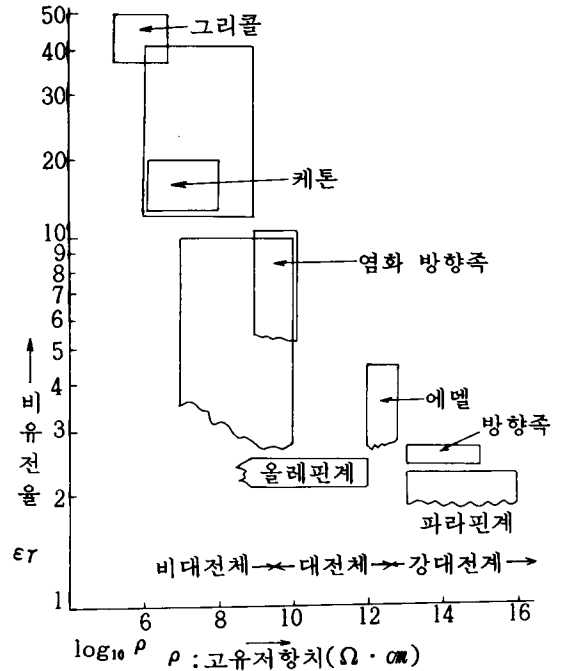
①에서 ④까지의 대책이 곤란하거나 그 효과가 충분치 않다고 판단되는 경우에는 착화 폭발할 우려가 있는 위험분위기 생성을 방지시킬 필요가 있다.

(a) 효과적인 급배기에 의해 착화 폭발할 우려가 있는 혼합물이 위험한 농도에 이르는 것을 방지한다.

(b) 인화점이 낮은 가연성액체를 저장하는 고정지붕식 탱크의 기상(氣上)부분을 불활성가스로 치환한다.

floating roof식 탱크에 대하여도 탱크가 빈상태 또는 액체가 지붕에 닿할 때까지 상태에서는 기상부(氣上部)가 존재하므로 같은 주의가 필요하다.

그림 2 탄화수소의 고유저항치. 비유전율의 분포



3) 정전기에 의한 사고예와 그 대책

① 탱크 샘플링시 착화사고

(a) 사고개요

방향족계 액체저장탱크 (500kl, 높이 15m, 직경 7.68m)의 위에서 지붕 중앙부의 샘플링 홀(직경 25cm)에서 샘플링 작업을 하던중 돌연 불길이 솟았다.

(b) 기상조건

서풍 7.5m/sec, 기온 7.5도 섭씨, 습도 52.5%

(c) 추정원인

액체의 주입속도는 정상적이었고 샘플링 작업개시전의 정치시간도 주입완료후 1시간 걸렸음에도 불구하고 정전기에 의한 착화사고가 발생한 점은 이 사고의 특수성이라 할수 있다. 정전기에 의한 방

전착화원인과 그 기구는 탱크내의 어느위치에서 방전착화가 발생된가에 의해 양상이 다르다. 아래 두 가지 사례에 대하여 추정하면

(사례 1)

탱크내의 액면과 샘플링 용기사이에 불꽃방전에 의한착화. (이 경우 탱크내의 액체가 아직 상당량이 대전되었던 것으로 가정한다.)

(가) 겨울철 외기온도(7.5도 섭씨)가 낮아짐으로써 유온도 저하하고 해당액체의 고유저항이 일반적인 수치( $4.3 \times 10$ 의 13승옴 $\text{cm}$ )보다도 2내지 3배 높지않았는가 추정된다. 이 경우 정치시간이 일반적으로 생각되는 시간(15내지 30분 이상) 보다도 상당히 길어 1시간정도의 정치시간이라면 아직 상당량의 전하가 남아있는것으로 추정된다.

(주 1) 고유저항이  $4.3 \times 10$ 의 13승옴 $\text{cm}$ , 비유전율이 2.0이라면 이 액체의 완화시간은 7.6초이다. 따라서 고유저항이  $4.3 \times 10$ 의 15승에서  $4.3 \times 10$ 의 16승옴 $\text{cm}$ 이면 완화시간은 12.7에서 127분이 된다.

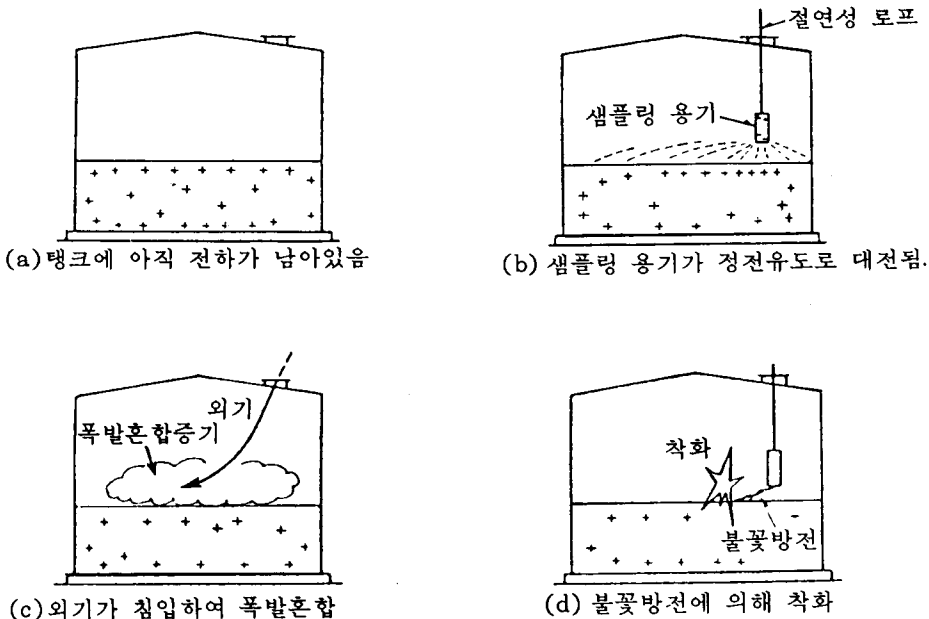
(주 2) 액체의 고유저항은 습도의 영향은 거의 없고 온도에 의해 영향을 받는다.

(나) 샘플리용 로프는 목면제를 사용했다. 목면은 일반적으로 도전성을 갖는다고 보지만 본건같이 극히 건조한 상태(습도 32.5%)에서는 절연성으로 되며 이에 달려있는 도체용기는 대지에서 절연되고 대전된 액체에 접근 됨에 따라 정전유도를 받아 도체용기는 대전된다. 이에 의해 샘플링 용기와 액면사이에서 불꽃방전이 발생하고 착화폭발된것이 아닌가 판단된다. 그러나 이경우 샘플링 용기가 대지에 접지되었다고 해도 액체가 아직 강력히 대전되었다면 방전착화 위험성이있다.

(다) 샘플링 작업은 2회 반복되고 2번째 작업시에 사고가 발생한것은 1번째에 탱크중에 들어있던 찬공기가 기상저부(氣上低部)에 다달아 액체증기의 농도가 폭발범위내에 있었던것으로 판단된다.

그림 3 (a), (b), (c), (d)참조

그림 3. 사고발생기구



(사례 2)

샘플링용 홀이 옛지와 샘플링용기 사이에 불꽃방전에 의한 착화  
 탱크내 액체의 전하가 1시간 정치시간 사이에 충분히 완화되었음  
 에도 샘플링 작업을 행함에 의해 용기자체가 대전되고 샘플링 작업중에  
 대전된 액체가 용기중에 남아있기 때문에 용기가 유도대전된 것이다. 이  
 와 같이 조가(吊架)로프에 의해 절연된 도체용기가 대전된체 샘플링용  
 홀을 통과할때 홀의 옛지에 용기가 접근되어 그 순간에 불꽃방전이 발  
 생하여 착화 폭발한 것으로 판단된다.(그림 4참조)

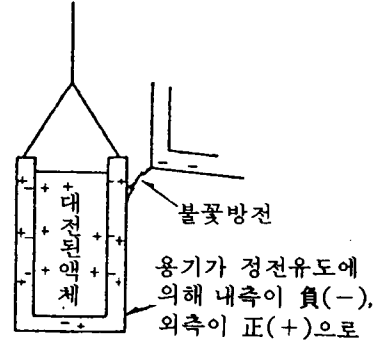


그림 4. 유도대전된 용기와 샘플링홀의 옛지사이의 방전

(d) 대책

탱크위에서의 샘플링(검척도 같다)작업은 한번 사고가 발생하면 탱크의 전면적인 화재, 폭발을 유발하고 높은 장소에서 작업하는 작업원에 대해서도 극히 위험한 상태가 되므로 이러한 작업은 가능한 피하고 다른 방법을 강구하여야 한다. 부득이한 경우에는 다음과 같은 대책이 필요하다.

(가) 정치시간은 이상상태를 고려하여 충분한 시간으로 할것.

(나) 샘플링용기(검척봉)는 확실히 접지할것. 이경우 용기와 도체, 조가로프를 절연체조합으로 하면않된다. 그 이유는 전술한 바와 같이 샘플링작업에 의해 대전된 도체용기가 탱크개구부의 옛지등에 근접할때 불꽃방전을 일으킬 우려가 있기 때문이다. 이와 같이 도체간에 방전이 발생하면 특히 위험하다. 또한 이경우 용기를 절연체로하면 안된다. 그 이유는 샘플링작업을 행할경우(특히 반복작업을 행할 경우)탱크중의 액체와 접촉, 분리를 반복 행함에 따라 절연성용기의 표면에 전하가 축적됨으로 용기가 강력히 대전되어 용기외면으로 연면방전(沿面放電), 용기와 탱크개구부의 옛지등과 사이에 후래쉬코로나방전, 또는 불꽃방전을 일으킬우려가 있다.

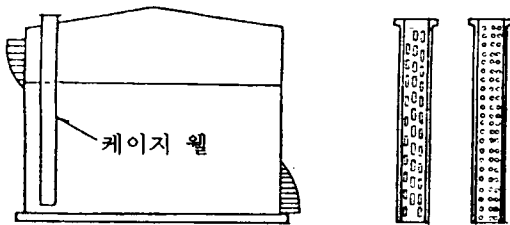
(다) 케이지 웰(cage well)의 설치

그림 5와같은 케이지 웰을 샘플링 구멍에 설치함으로써 케이지 웰내의 전계강도를 억제할수있어 (가)의 정치시간을 대폭 줄일수 있다.

(라) 주입방법의 개선

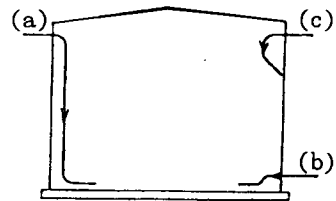
절연성액체를 탱크에 주입할때 탱크 아래부분에서의 충돌을 피하기 위하여 주입파이프를 그림 6과 같이 하는것이 바람직하다. 그림의 (a), (b), (c)순으로 효과가 크다.

그림 5. 케이지 웰(cage well)의 예



(a)탱크에 설치된 케이지 웰 (b) 케이지 웰의 개공 (開孔)상태.

그림 6. 탱크로의 주입방법



② 라인샘플링도중의 수용기중에서 착화

(a) 사고개요

파이프라인에서 프로세스액(방향족으로 고유저항  $2 \times 10$ 의 14 승옴 $\Omega$ )을 채취하던도중 도전성수용기(보통의 금속제페케지)안에서 채취액에 착화됐다. 수용기에는 절연성손잡이(목재)가 달려있고 이것을 채취용 노즐에 걸어 샘플링작업을 행하였다.(그림 7참조)

(b) 추정원인

액체의 채취작업시에 채취노즐에서 케이지, 수용기의 벽 또는 밑부분에서 충돌, 후래쉬, 마찰등에 의해 채취액이 대전되고 이에의해 절연성손잡이에 절연된 도체용기가 정전유도를 일으켜 대전되고 이것과 채취노즐등의 다른접지된 도체부분과의 사이에서 불꽃방전이 발생하여 채취용기분근에 폭발혼합 증기를 형성했던 액체에 착화되었던것으로 추정된다. 본사고의 포인트는 도체용기가 손잡이에 의해 절연된것이 아닌가 판단된다. 또한 이작업은 정치시간을 돌수가 없다는 점에서 특징이 있다. 본건과 유사한 케이스로는 절연성용기에 프로세스액을 통과시켰을 때 용기내에서 착화된 예가 있다. 이것은 통과액이 절연성용기의 벽 또는 밑부분에서 충돌등을 하는것에 의해 액체 및 용기가 강력히 대전되어 용기벽면에서 연면방전 또는 액체 또는 용기와 다른도체부분과의 사이에 불꽃방전내지 후래쉬코로나방전이 발생하여 착화된것으로 판단된다.

(c) 대책

(가) 수용기를 도체로 하고 그 크기를 직경 20cm정도이하로서 주변의 다른도체부분과 확실히 본딩을 행하던가 또는 대지와 접지를 행한다. 부득이하어 유리병을 사용하는 경우에는 가능한 한 작은것을 사용한다.

(나) 채취작업에 있어서는 채취용노즐을 가능한 한 좁게하고 유출속도를 줄여서 액체를 수용기 벽에 단도록 조심히 흘려 액체의 급격한 충돌이나 스프래쉬를 피하여야 한다.

(다) 채취액 이외의 가연성가스 증기분위기가 존재하는 중에서는 라인샘플링을 피하여야 한다.

③ 대형회전기의 운활유탱크내에서의 착화

(a) 사고개요

가연성가스압축기의 축수부나 실(seal)부를 순환하고있는 운활유계통의 운활유탱크내에서 착화가 발생되어 밴드배관에서 연기가 솟았다. 운활유탱크 기상부에는 질소가스에 의해 치환이 되어있었다.

(b) 추정원인

운활유는 위험물 제 4류 제 4석유류로서 그 인화점은 200도(섭씨)이상이다. 따라서 본 탱크의 기상부에 운활유증기에 의한 폭발혼합가스가 형성되어있었던것으로 생각된다. 여기서 주 기기(器機)에의한 압축된 가스가 운활유중에 혼합되어 탱크에 침입하여 기상부에 그 증기(가스)에 의한 폭발혼합가스가 형성되었던것으로 판단된다. 이러한 사고를 예측하여 질소가스에 의한 치환을 행하였지만 충분하지않았고 밴드용배관에서 공기가 역류되었던것으로 추정된다. 정전기의 발생, 방전에 대하여는 운활유가 축수부의 습도, 배관에서의 유동등에 의해 대전되고 탱크로 되돌아갈때 스프래쉬가 생겨 방전이 발생된것으로 판단된다.

(c) 대책

(가) 질소가스에의한 치환시스템을 강화한다.

(나) 운활유탱크의 순환부분에 운활유의 스프래쉬주입을 피하기위하여 액용(液用)가이드관을 설치한다.

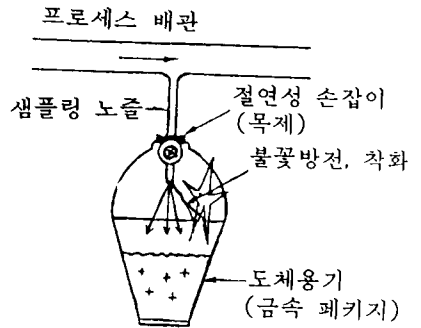


그림 7. 라인샘플링 도중의 착화 예

④ 분체(粉體)유량계부분의 방전착화의 예

(a) 사고개요

그림 8에 사고가 발생한 설비개요를 표시한다. 분체는 3층에서 1.8m의 낙차로 낙하되고 중 3층의 분체유량계내의 그림 9와같이 접지된 스텐레스강판상에 부착된 두께 1mm의 테프론판상에 비스듬하게 설치된것에의해 분체의 유량이 측정된다. 이 분체유량을 1시간정도 사용하고 전면의 창을 열고 검출용 테프론판의 표면을 청소했다. (스텐레스제의 주걱 사용에의한 마찰이 있었다.)분체는 흘러들어가고 있으나 질소가스는 밸브가 잠겨 막혀있었다.

그림 8. 사고발생설비의 개요

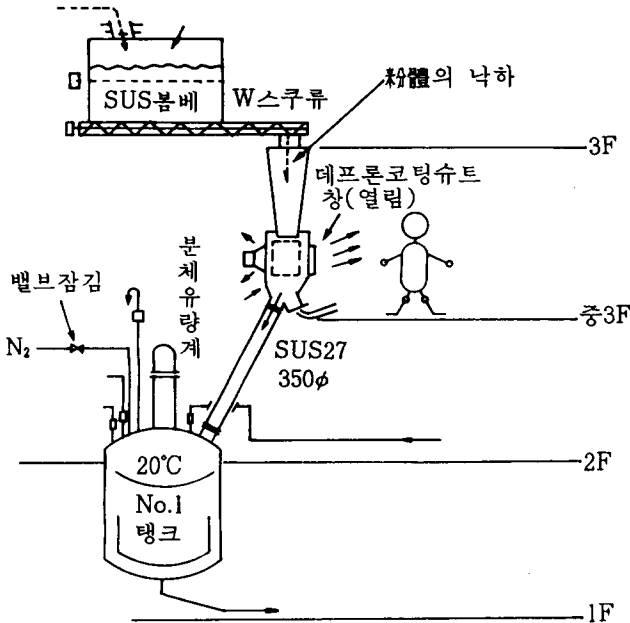
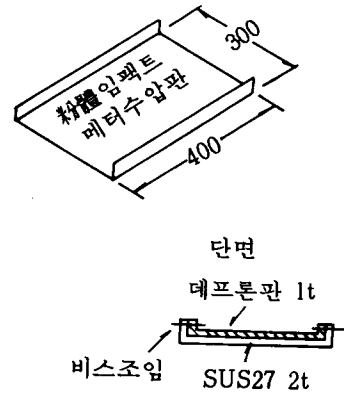


그림 9. 분체유량계 임팩트 미터 수압판(受壓板)



청소를 끝내고 창을 다시 부착하려고 창틀을 잡고 창에 접근할때 유량계 부근에서 착화되었다.

(b) 추정원인

전면이 창이 열렸기때문에 대기에 개방되어 있었다. 질소가스가 잠겨 있었던점과 토루에이 하부에서 폭발혼합범위가 되었다. 정전기이외의 원인은 발견되지 않았고 정전기에의한 사고인 경우 제일 가능성이 높은 케이스로는 분체가 고절연성의 테프론판(고유저항 10의 18승음 $\Omega$ )에 충돌하므로써 테프론면이 강력히 대전되어 연면방전을 일으켜 착화된것으로 판단된다.

연면방전의 발생조건으로는 첫째 접지된 도체위에 얇은층(8mm미만)을 형성한 대전가능물체가 존재하고 이것이 대전된경우, 둘째 표면전하밀도가 적어도 대략  $2.5 \times 10^{-18}$ 승c/cm되는 경우로 말할수 있다. 또한 가연성가스중에서 어스된 도체표면에 덮혀있는 절연성물체의 표면에서 연면방전에의한 착화발생의 조건으로는 정전기적으로 접지된 도체대상물의 표면(예, 탱크 벽면)이 절연물로 코팅된것 일때는 그 층의 두께가 2mm(폭발등급 1)내지 0.5mm(폭발등급 2) 내지 0.2mm(폭발등급 3)이면 착위험성은 없다고 할수있다. 본 사고의 경우는 대상가연물의 폭발등급은 1이고 테프론의 두께는 1mm이지만 표면전하가  $2.5 \times 10^{-18}$ 의 마이너스 8승 쿨롱/cm 이상인 경우는 두께에 관계없이 위험한 방전이 발생한다고 보아야 한다. 즉 본 사고의 경우 분체와 테프론판과의 충돌 마찰에의해 테프론판이 대전되고 축적된 표면전하는 자기(磁氣)정전유도에의해 테프론표면과 스텐레스판과의 경계면에 생긴 반대부호의 전하와 강력하게 결합되고 테프론표면의 전하가 따라서 증가하여 연면방전을 일으킨것으로 추정된다.

(c) 대책

(가) 데프론판의 대전을 방지하기 위하여 그라파이트를 섞은 데프론판으로 바꾼다. 그라파이트가 섞인 데프론의 고유저항은 10의 6승(즉정치)

(나) 계통내의 질소가스에 의한 치환시스템을 강화한다.

(다) 가동중에 폭발혼합증기가 발생하지 않도록 분해작업을 하지 않는다.

#### 4) 결 론

정전기의 발생, 소멸(완화, 방전)의 기구에 대하여는 아직 충분히 해명되지 않는 부분이있고 이와같은 사고를 방지하기 위한 대책에 대해서도 정연하게 기준화된것은 아직까지 미흡하다. 그러나 과거의 경험을 살리고 지득한 범위내에서 가능한 범위의 안전대책을 실행하는것이 중요하다.