

## 配管의 靜電氣 對策

李 莊 煥\*

### 1. 序論

最近 危險物을 注入하거나 運搬 또는 流動시킬 때에, 혹은 特殊可燃物 貯藏所에서 原因 모를 爆發事故가 頻頻하게 發生하고 있다. 이러한 爆發事故들은 모두 靜電氣가 發火源이 될 수 있는 可能性을 보여 주고 있는 본보기라 할 수 있는 것이다.

靜電氣現象이 認識되기 시작한 것은 古代 그리스 時代까지 거슬러 올라가지만, 最近까지도 障害를 完全히 除去하는 方法을 찾지 못하고 있다. 그것은 靜電氣現象에 影響을 미치는 原因이 溫度, 壓力, 濕度, 特性, 表面狀態, 幾何學的 形狀, 操作條件 등 대단히 複雜한 것으로서 靜電氣發生의 Mechanism이 充分히 解明되지 않은데에 起因하는 것이라 할 수 있다.

이러한 狀態下에서 플랜트 建設이나 操業에 있어서는 法規를 遵守하여야 하는 것은 當然한 것이지만 그것만 가지고서 災害를 防止시킬 수 있는 것은 아니다.

本稿는 主로 流動에 의한 帶電現象과 安全作業을 除外하고, 다만 技術的인 觀點에서 對策을 記術한 것이다.

### 2. 靜電氣에 의한 發火 프로세스

火災나 爆發을 誘發시키는 要因은 可燃性 霧圍氣와 發火源이라 할 수 있다. 可燃性 가스, 可燃性 液體의 蒸氣, dust, mist 등의 可燃物이 空氣中에서 各各 特定의 可燃性 霧圍氣를 表示하는 濃度範

圍에 達하였을 때 그 可燃性 霧圍氣에 充分한 Energy를 주는 發火源, 卽, 靜電氣에 의한 불꽃 放電이 發生하게 되고 可燃性에 發火하게 되는 것이다.

靜電氣에 의한 發火 프로세스(Process)는

- (1) 電荷의 發生
- (2) 電荷의 蓄積
- (3) 放電
- (4) 發火

로 나누어 考察할 수 있을 것이다.

電荷는 ① 流動 ② 噴出 ③ 衝突 ④ 沈降 ⑤ 接觸, 剝離 ⑥ 傳導 ⑦ 誘導 등에 의해서 發生한다.

液體가 流動할 때 파이프, 펌프, 필터, 호스, 호스카플링 등과 液體와의 사이에 電荷가 分離하여 異種等量의 電荷가 發生한다. 노즐이나 플랜지의 틈새로 液體나 蒸氣가 噴出할 때, 또는, 탱크의 탱크 클리닝(cleaning)할 때에 건 클린(gun clean)에서 放出하는 高壓洗淨水가 탱크壁과 衝突하는 것과 같이 液滴이 分裂할 때에도 電荷가 發生한다.

탱크 內에 注入된 기름(油) 중에 包含되어 있는 水分이 沈降할 때에도 電荷가 發生한다. 또, 기름(油) 중에 있는 샘플링(Sampling) 筒을 帶電油面에 接觸시키게 되면 帶電流面에서의 誘導에 의하여 電荷가 發生하게도 된다.

發生한 電荷는 ① 絕緣導體 ② 電氣抵抗率이 큰 液體 ③ 固體의 絕緣物 ④ 空間 등에 蓄積된다. 靜電氣에 있어서는 導體와 大地와의 사이에  $10^9\Omega$  이상의 抵抗値가 작게 되면 그 導體에는 電荷가 發生하기도 하고, 직접 漏洩하기도 하여 問題가 되

\* 正會員, 現代海上火災 保險(株) 危險管理部長

지 않는다. 그러나 抵抗値가 높은 絶緣狀態에 있으면 發生하는 電荷量이 많이 蓄積되고 危險 레벨에까지도 到達하게 된다.

예를 들면, 고무로 된 바닥에서 구두를 신은 사람, 고무 호스에 附着한 노즐, 綿로우프에 동여맨 샘플링(Sampling) 筒 등은 絶緣導體가 될 수 있는 것이다.

탱크 內的 油面이 高電位가 되는 경우가 있으나 어떤 原因에 의해서 發生한 電荷가 電氣抵抗率이 큰 液體에 蓄積되는 例도 있다. 또, 로우프, 벨트, 호스 등에 電荷가 發生할 때에는 그 自體가 絶緣物이 되어 電荷는 漏洩하기 어렵게 된다.

그런데, 空氣는 良好한 絶緣體이지만, 大氣中에 帶電된 mist나 dust가 浮遊하게 되면 空間電位는 減少하지 않게 된다. 이러한 蓄積過程의 差異에 따라서는 放電過程도 다르게 된다.

絶緣狀態에 있는 導體에 電荷가 蓄積하여 이것과 接地體間에 불꽃 放電을 일으키는 放出 Energy(E)는 다음 式에서 보이는 帶電量이 放出하게 된다.

$$E = \frac{1}{2} \cdot CV^2$$

C : 電極間의 靜電容量

V : 電極間의 電位差

한편 帶電한 液體表面과 탱크 內壁의 突起物間에 불꽃 放電이 생기는 경우에, 放出 Energy는 液體의 帶電量의 一部이다.

불꽃 放電이 發生하는 限界는 電極의 形狀에 의해서 決定되는 電界分布 및 가스의 壓力과 電極間隔의 積으로 決定된다. 大氣壓下의 空氣中에서 電界가 平等일 때에는 金屬電極間의 電壓이 350(V) 以上에서 불꽃 放電이 일어난다. 電極徑(γ)가 12mm 以上이면 實用上으로는 平等電界로 볼 수 있고 絶緣破壞電界強度(Ee)는 30KV/cm라고 보아도 좋다. 大氣壓下에서의 핵산 空氣系는 γ가 5cm 以上에서 發火性 放電이 생긴다. 따라서 γ가 12mm ≥ γ ≥ 5mm에서는 Ee · r = 35KV가 된다. 또, 탱크 內的 蒸氣層에 걸리는 最高電位가 35KV 以下일 때에는 탱크 內에 어떠한 電極이 存在하더라도 發火性 放電은 일어나지 않는다.

金屬電極間에 發生하는 放電이 可燃性 霧圍氣

에 있는 가스를 發火시키는 데에 必要한 Energy는 可燃物의 種類에 따라서 다르다. 發火 Energy는 可燃物의 濃度에 따라 다르게 되며 보통은 完全燃燒 濃度附近에서 가장 낮게 된다. 濃度가 그點보다 높게되면 發火 Energy는 急激하게 上昇한다. 最少 發火 Energy의 例를 第1表에 表示한다. 一般 石油類는 0.25m Joule로 보면 좋을 것이다. 또 2개의 金屬電極에서 그 한 電極片을 달린 罐子에는 乾燥한 경우의 2.5배가 되며, 帶電한 液面과 接地金屬의 電極 사이에 일어나는 放電에 있어서는 液面의 電位가 50KV 以上일 때 發火하는 것이며 그 때의 Energy는 0.5m Joule 以上이 必要하다. 靜電氣에 의한 災害는 以上에서 본 바와 같이, 複雜한 Process을 거쳐서 發生하는 것으로서 이를 防止하기 위하여는 Process의 한 過程을 除去시키는 過程이 있어야 함을 理解하게 될 것이다.

第1表 可燃性 가스의 最少發火 Energy

| 可燃性 가스   | 濃度(%) | 最少發火 Energy(m Joule) |
|----------|-------|----------------------|
| 二黃化炭素    | 6.52  | 0.015                |
| 水素       | 29.2  | 0.019                |
| 酸化 에틸렌   | 7.72  | 0.105                |
| 1.3-브타디엔 | 3.67  | 0.17                 |
| 메타놀      | 12.24 | 0.22                 |
| 메탄       | 8.5   | 0.28                 |
| 프로판      | 4.02  | 0.31                 |
| n-부탄     | 3.42  | 0.38                 |
| 메틸에틸케톤   | 3.67  | 0.53                 |
| 벤젠       | 2.71  | 0.55                 |
| 암모니아     | 4.97  | 0.77                 |
| 아세톤      | 4.97  | 1.15                 |
| 이소옥탄     | 1.65  | 1.35                 |
| 톨루엔      | 2.27  | 2.5                  |

### 3. 液體의 流動에 의한 帶電

#### 3-1 靜電氣의 發生

石油類를 파이프로 輸送하는 경우에 石油類가 파이프, 펌프, 필터 등을 通過하게 되면 파이프의 內壁 등에 있는 固體와 液體는 各各 異種等量의 電荷를 띠게 된다. 液體가 흐름에 따라 液體中에 있는 電荷가 運搬되는데, 이 現象을 流動帶電이라 하며, 이 때 電荷가 흐름에 따라서 發生하는 電流

를 流動電流이라고 한다. 一般의으로 파이프類는 接地시킴으로써 固體에 發生한 電荷를 大地로 放流시킨다. 反對로 파이프 등이 大地와 絕緣狀態에 있게 되면 電荷는 파이프에 蓄積하게 된다.

한편 帶電된 液體를 탱크 등에 넣게 되면 탱크 壁중에서 電荷의 分離가 일어난다. 그래서 탱크 內壁에는 液體와 異種等量의 電荷가 誘導되고 탱크 外壁에는 同符號의 電荷가 誘導되는 것이다.

靜電氣의 發生速度는 液體의 流速, 傳導度, 固體의 表面狀態, 接觸面積 등에 依存한다. 또, 파이프나 호스에 있어서는 길이에도 依存하는 것이다.

3-2 流動電流와 流速, 管徑, 管의 길이와의 關係

이들 關係式을 導出하려면, 먼저 流體와 固體間에 存在하는 電氣二重層은 管徑에 比하여 얇으며, 亂流가 흐르는 경우의 電氣二重層의 두께로 層流境界層보다도 얇은 것으로서, 流動電流는 管의 길이와 無關係한 것으로 假定하면 다음 式이 導出된다.

$$IS = \begin{cases} -8 v n \epsilon \epsilon_0 \zeta \dots\dots\dots \text{層流} (2.1 \times 10^3 < Re) \\ -0.040 Re^{3/4} v n \epsilon \epsilon_0 \zeta \dots\dots\dots \text{亂流} (2.1 \times 10^3 < Re < 10^5) \end{cases}$$

- 여기서  $IS$  : 流動電流
- $v$  : 平均流速
- $\epsilon$  : 比誘電率
- $\epsilon_0$  : 眞空中의 誘電率
- $\zeta$  : 電氣二重層間의 電位差
- $Re$ : Reynolds 數 ( $Re = \rho v d / \eta$ )
- $\rho$  : 流體密度
- $d$  : 管徑
- $\eta$  : 粘性係數

따라서 流動電流는 層流에서는 平均流速에 比例하고, 亂流에서는 管徑의  $\frac{3}{4}$ 乘에 比例하며 平均流速의  $\frac{7}{4}$ 乘에 比例하는 것이 된다. 한편 實驗에 의하면 亂流에서는 流動電流는 流速의 1.5~2.0乘에 比例하는 것이 明白하다.

다음에 管의 길이가 流動電流에 미치는 影響을 考察해 보자. 配管의 길이를  $x$ 라 하면 流動電流  $I_{(x)}$ 는 管壁에서 發生하는 電流密度  $I_a$ 와 液體로부터 管壁에 흐르는 漏洩電流  $I_w$ 을 考慮하여 (1)式과 같이 表示할 수 있다.

$$I_{(x)} = I_{\infty} [1 - \exp(-x/x_e)] \tag{1}$$

여기서  $I_{\infty}$ 는 무한히 긴 管에 걸리는 流動電流로서 管의 半徑을  $\gamma$ , 平均流速을  $v$ , 緩和時間을  $\tau$ (最初의 電荷量이  $1/e$ 로 減少하는 데 要하는 時間으로서 液體의 誘電率  $\epsilon$ 과 電氣抵抗率  $\rho$ 의 積으로 表示된다)라 하면 (2)式도 같이 된다.

$$I_{\infty} = 2\pi\gamma v \tau I_a \tag{2}$$

$x_e$ 는 緩和 길이로서 (3)式으로 表示된다.

$$x_e = v \tau \tag{3}$$

그런데, 一般的으로 液體가 管에 流入될 때에는 다음의 助走距離  $L_0$ 에 흐르는 동안에 있어서의 速度分布는 一定하다.

$$\text{層流의 경우 } L_0 = 0.13\gamma R_e \tag{4a}$$

$$\text{亂流의 경우 } L_0 = (50 \sim 80)\gamma \tag{4b}$$

따라서  $L_0$ 는 다음에 이어지는 配管에서 發生하는 流動電流는 (1)式으로 表示되는 것이다. (1)式을 圖示하면 第1圖과 같이 되며, 管의 길이가 길게 되면 發生하는 流動電流는 一定值에 近似하게 된다. 一定值에 近似한 速度는 緩和 길이에 의하여 決定된다.

管의 길이가 緩和 길이보다 짧을 경우에는 漏洩電流가 無視되며 (5)式에 表示한 바와 같이 流動電流는 管의 길이에 比例한다.

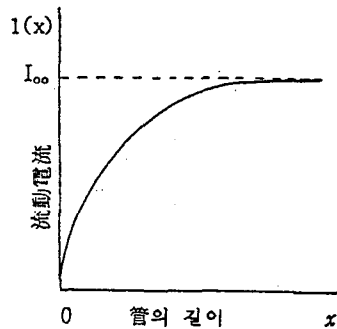
$$I_{(x)} = 2\pi\gamma x I_a \tag{5}$$

管의 길이가 緩和 길이보다 긴 경우에는 (6)式에 表示한 바와 같이 流動電流는 管의 길이에 無關係하게 된다.

$$I_{(x)} = 2\pi\gamma x I_a \tag{6}$$

第1表 各種液體의 般減時間

| 液體       | 電氣 抵抗率( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) | 半減時間(sec)            |
|----------|------------------------------------|----------------------|
| 高精製 炭化水素 | $10^{17}$                          | 12,00                |
| 高沸點 物    | $10^{16} \sim 10^{13}$             | 1.200~1.2            |
| 重油 類     | $10^{11} \sim 10^9$                | 0.012~0.00012        |
| 蒸溜 水     | $10^4$                             | $4.8 \times 10^{-8}$ |



第1圖 管的 길이와 流動電流의 關係

### 3-3 靜電氣의 蓄積과 漏洩

配管 등은 一般的으로 接地狀態에 있다. 電荷가 發生하는 配管의 抵抗이 大地에 對하여  $10^6 \Omega$  以下 일 때에는 配管에 發生한 電荷는 곧바로 大地로 漏洩하게 될 것이다. 그러기 때문에 配管 등의 金屬導體에 있어서 靜電氣가 發生하는 場所와 大地와의 抵抗値가  $10^6 \Omega$  以下가 되면 導體部에 發生한 靜電氣가 爆發의 原因이 되는 일은 없을 것이다. 그런데  $10^6 \Omega$  以上の 抵抗値를 갖는 場所에서는 發生한 靜電氣가 漏洩하는 데에 要하는 時間이 無視되지 않는다. 그러나 漏洩하는 電荷量보다 發生하는 電荷量 쪽이 많으면 그 場所에서 帶電하는 일이 있게 된다.

한편 液體에 發生한 電荷는 理論的으로는 液體의 電氣抵抗率(電導度の 逆數)에 의해서 決定되는 速度로 漏洩하게 된다.

電荷量이 初期의  $\frac{1}{2}$ 이 되는 데까지 걸리는 時間을 半減時間( $\tau_{\frac{1}{2}}$ )라 하며 各種液體의 電氣抵抗率과의 關係는 第2表와 같다. 이 半減時間과 緩和時間( $\tau$ ) 과는 다음과 같은 關係가 있다.

$$\tau_{\frac{1}{2}} = 0.69\tau$$

電氣抵抗率이 작은 液體는 電導率이 높기 때문에 分離된 電荷가 直接 再結合함으로써 靜電氣가 蓄積하지 않게 된다. 지금까지 實施한 液體의 流動에 關한 帶電實驗에 의하면, 電氣抵抗率이  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  以上인 液體는 帶電하기 쉬우며  $10^9 \Omega$

$\cdot \text{cm}$  以下인 液體는 帶電이 어렵다고 말할 수 있다.

한편 電氣抵抗率이  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  以上되면 自由電子가 적어서 電荷의 分離는 일어나기 어렵다. 반대로 帶電이 어렵다고 하는 報告도 있다. 또, 電氣抵抗率이 높은 것은 한번 帶電하면 漏洩이 어렵게 된다는 것이 明白해지고 있다.

配管에서 發生한 電荷가 탱크에 注入될 때의 流動電流을  $I_0$ 라 하면 탱크 內에 蓄積되는 電荷量  $Q$ 는 다음과 같다.

$$Q = \tau I_0$$

時刻  $t=0$ 일 때의 탱크 內의 液體 中の 全電荷를  $Q_0$ 라 하면 時刻  $t$ 에서의 全電荷  $Qt$ 은 다음과 같이 表示된다.

$$Qt = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

이와 같이 탱크 內의 帶電液體로부터 電荷가 漏洩하는 速度는 液體의 性質에만 依存하는 것이다. 實際로는 탱크 內의 液體의 漏洩은 液體의 움직임을 考慮하지 않으면 안 되기 때문에 複雜하게 된다. 그런데 3-2節에서 記述한 緩和길이를 3次元으로 擴張하여 緩和容積  $V_e$  ( $V_e = \tau G$  : 流量)라 하는 概念을 導入하여 해석한 報告도 있으나 今後에 더욱 檢討할 必要가 있다.

### 4. 氣體 또는 粉體의 流動에 의한 帶電

氣體는 管內를 流動하여도 거의 帶電하는 일이 없다. 그러나 氣體에 dust 나 mist를 含有하고 있을 때에는 顯著하게 帶電하게 된다. 乾燥한 粉體를 파이프나 호스를 통하여 氣體와 함께 壓送 또는 吸引하여 輸送할 때에는 粉體는 管壁에 衝突하면서 急速하게 흐르기 때문에 파이프 또는 호스는

高電壓으로 帶電하며 同時に 粉體도 帶電하게 된다.

帶電된 粉體가 백 필터(bag filter) 등으로 集積될 때에는 필터가 高電位로 帶電하여 粉體爆發을 일으키는 경우가 있다.

粉體輸送에 대한 帶電特性을 벤치스케일 實驗裝置로 試驗하여 보면 벤드 部分에서는 帶電이 顯著하게 되지만 사이클론(Cyclone)에서는 反對로 粉體가 갖고 있는 電荷를 漏洩시키는 傾向이 있는 것으로 알려졌다.

粉體의 流動에 의한 帶電에 있어서는 研究가 많지 않기 때문에 今後에 研究가 要望된다.

### 5. 液體의 噴出에 의한 帶電

노즐로부터 液體가 噴出할 때 벤젠과 같이 電氣抵抗率이 큰 液體는 容易하게 帶電하지만, 메타놀과 같이 電氣抵抗率이 작은 液體에서도 그 蒸氣壓을 高壓으로 하여 그 壓力下에서 노즐로부터 蒸氣를 噴出시킬 때에는 蒸氣의 凝結에 의해서 생기는 霧霧는 顯著하게 帶電을 일으키는 것을 알 수 있다.

蒸氣配管의 플랜지 틈새로부터 蒸氣가 噴出하는 경우, 또는, 溶解 아세틸렌 容器의 노즐로부터 아세톤 霧滴과 함께 가스가 噴出하는 경우에도 顯著하게 帶電한다.

그 理由는 大量的의 氣體中에 分散狀態로 된 液滴이, 氣體가 噴出함에 따라 噴霧하게 되며, 霧滴의 電氣抵抗率의 大小와 關係 없이 霧滴相互間 抵抗値가 大端히 크게 되고, 霧滴은 絶緣狀態가 되기 때문에, 顯著하게 帶電하는 것이다.

1969년 12월 탱크 Cleaning 作業中에 20萬톤級 탱크 3척이 爆發事故를 일으켜 國際적으로 커다란 問題가 된 일이 있다. 國際海運會議所(ICS International Chamber of Shipping)에서 大規模 調査研究를 實施하여 貫重한 데이터를 많이 얻었다. 그 데이터에 의하면 탱크 Cleaning 중에는 탱크 內에는 帶電 mist가 存在하였고 그것이 爆發의 原因도 되는 것임을 示唆하였다.

탱크 內의 最大空間電位는 循環洗淨水를 使用하거나, 또, 洗淨水에 洗劑를 添加함으로써 20~

40KV의 高電位가 되어 着火性 스파크를 일으키는 原因도 되는 狀況이 發生하게 된다. 또, 60℃ 以上の 洗淨水를 使用하더라도 顯著하게 電位上昇을 보인다. 그리고 蒸氣를 탱크에 注入할 때에는 48KV 以上の 高電位에 到達하게 되는 것이다.

### 6. 靜電氣에 의한 爆發防止 對策

#### 6-1 設計段階에서 注意해야 할 點

AIA(American Insurance Association)가 調査한 바에 따르면 災害의 原因을 20年間 分析한 結果 Process 設計나 基本設計의 不備에 의한 것이 67%에 達하고 있다.

靜電氣가 發火源이 되는 災害에 관해서도 Plant 建設計劃이나 Process 構成選定段階에서 研究檢討하여야 할 것이 적지 않을 것이라고 생각된다. 또, 한번 裝置가 設置한 後에 이를 變更하는 데에는 어려운 點이 적지 않을 것이라고 생각된다. 設計段階에서 몇 가지 注意해야 할 點을 列舉하면 다음과 같다.

- (1) 發火源이 되는 靜電氣에 대하여 基礎的인 知識을 가질 것.
- (2) 過去의 災害事例를 熟知할 것.
- (3) 使用者와 意思疏通을 充分히 하여 將次 實施할 可能性이 있는 操作條件에 대하여 充分하게 吟味할 것.
- (4) (1)~(3)에 立脚하여 靜電氣 發生, 蓄積, 放電, 發火可能場所와 程度를 豫測할 것.
- (5) 靜電氣 發生을 抑制시키고 漏洩을 增大시키기 위한 配管의 配置를 適切하게 할 것.
- (6) 除電裝置의 採用을 檢討할 것.

靜電氣에 관한 基準은 우리 나라에는 아직 制定된 것이 없으나, 外國의 경우에는 NFPA(National Fire Protection Association), ICS(國際海運會議所), API(American Petroleum Institute), BCI(獨逸化學工業會), 日本芳香族工業會 등에서 制定되고 있다. 그러나 各 基準은 서로 差異가 있으며 또, 靜電氣現象이 複雜하기 때문에 不明確한 것이므로 앞으로의 研究에 期待하는 바가 적지 않은 것이다.

### 6-2 接地的 Bonding

充填 파이프와 탱크, 配管과 配管, Sampling 筒과 탱크, 粉體用 bag filter 등의 金屬部分은 모두 bonding 하고 接地(grounding)하지 않으면 안 된다.

bonding은 任意의 2點間에 걸리는 抵抗値를  $1M\Omega$  以下일 때에는 bonding wire를 꼭 使用해야 할 必要는 없다.

接地는 金屬部分과 大地間 抵抗値를  $1M\Omega$  以下로 하는 것으로 充分하지만, 普通은 避雷과 같은 電氣的인 面으로 볼 때에는 接地抵抗으로서 3~ $10\Omega$  以下의 값을 採用하는 것이 좋을 것이다.

한편 保溫材 등을 탱크나 配管과 大地와의 사이에 插入하는 경우에는 특히 注意할 必要가 있다. 또, 탱크의 直徑이 크고 配管이 길게 되는 경우에는 一定區間마다 接地하면 더욱 安全하다.

設置後에는 導通을 確保하여야 하므로 充分한 機械的 強度를 維持하고 保守點檢을 行하여야 할 必要가 있다.

金屬部分의 接地, 結合하는 것에 의하여 金屬部分은 靜電氣的으로 모두 同電位가 되어 金屬部分間의 放電危險性을 防止할 수 있다.

### 6-3 靜電氣의 漏洩促進과 除電裝置

一定 流速으로 파이프 內를 흐르는 液體의 電位는 發生하는 電荷와 漏洩하는 電荷가 서로 相應하는 點에서 一定하게 된다. 파이프 直徑이 작게 되면 流速이 增加하기 때문에 電荷의 發生이 增大하지만 特定 距離만 흐르면 電荷의 漏洩도 增大하는 것으로서 前보다 높은 水準에서 一定하게 된다. 필터는 특히 靜電氣를 發生하기 쉬운 場所이다. 따라서 필터를 나온 液體에 대하여는 탱크에 流入하기까지의 距離, 다시 말하면 緩和時間을 充分히 주지 않으면 안 된다.

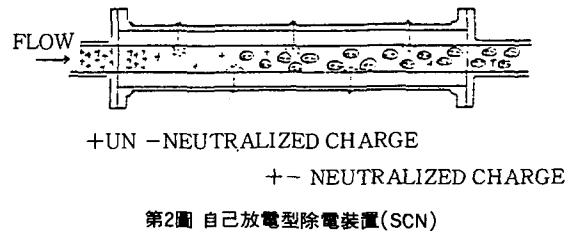
그리고 필터는 탱크로부터 떨어진 位置에 設置하여 30sec 以上の 緩和時間을 주도록 할 必要가 있다.

靜電氣를 顯著하게 發生시키지 않는 流速에 대한 管徑에 관하여는 6-8節에서 記述하며, 液體의

電導性에 관해서는 6-9節에서 說明하기로 한다.

코로나 放電式 除電器로는 自己放電方式, 直流放電方式, 交流放電方式이 있고 이중에서 交流放電方式으로 容量結合型電極이 많이 쓰이고 있다. 이것은 針端의 除電極에 高電壓을 印加하여 接地極 間에 코로나 放電을 維持시켜, 이온을 發生시켜서 帶電體를 中和하고, 또, 不必要한 이온을 接地側으로 吸收하는 것이다.

配管內에 使用하는 自己放電方式裝置의 한 例를 第2圖에 圖示하였다.



第2圖 自己放電型除電裝置(SCN)

放射性同位元素를 使用한 除電器로서는  $^{90}Sr$ ,  $^{90}Y$ 나  $^{204}Tl$  등을 利用하여 이온化시키는 方法이다.

粉體輸送 Process 實驗 中에 自己放電方式의 除電裝置를 附着하여 實驗한 結果除電 前에 90 KV/cm 이었던 最大電界強度를 4.5KV/cm까지 減少시킴으로써 불꽃 放電을 防止시킬 수 있었던 것이 報告되었다.

### 6-4 탱크 內의 分割

탱크 內를 接地한 電柱나 wire로 分割하는 것에 의하여 液面電位와 空間電位 등을 減少시킬 수 있다. 탱크의 檢尺孔에 gage well을 設置하는 것도 같은 效果를 노린 것으로서 매우 바람직한 것이다.

### 6-5 탱크 內 空間의 除去

靜電氣가 아무리 많이 發生하여도 可燃 霧圍氣가 存在하지 않으면 爆發도 火災도 發生하지 않는 것은 이미 論述한 바와 같다. 지금까지 災害를 일으킨 탱크의 型은 콘루프型 또는 돔루프型的의 것으로서 이들은 固定 地盤式 탱크이기 때문에 液面上

李莊煥

에 可燃性蒸氣層이 存在하고 있다. 可燃性 霧圍氣  
을 除去하기 위하여는 그 蒸氣層, 卽, 탱크 內의  
空間을 除去하는 것이 좋다. 그러기 위하여는 液  
面上을 어떻게 하든 시일(Seal) 할 必要가 있다.  
한편 플로팅루프탱크(floating loop tank)는 蒸氣  
層이 없기 때문에 좋은 것이라고 하겠다.

### 6-6 라인 샘플링(line Sampling)設備

탱크 內에 있는 流體를 샘플링하는 경우 탱크  
上部로부터 샘플링筒을 내려서 採集하는 方法을  
採用하고 있다.

그러나 靜電氣의 見地에서 보면 그 方法은 그다  
지 좋은 方法이 아닌 데 그 理由는 Sampling 중에  
事故가 發生하는 일이 있기 때문이다. 그러므로  
새로이 탱크를 建設하는 경우에는 라인 샘플링 設  
備를 設置하는 것이 오히려 바람직한 것이다.

### 6-7 스플래시 필링(Splash Filling)의 禁止

液體를 注入할 때 스플래시에 의하여 蓄電氣를  
發生하는 것을 防止하기 위하여 充填 파이프의 先  
端은 탱크의 附近에까지 延長하여 놓지 않으면 안  
된다.

### 6-8 流速의 制限

靜電氣 發生의 流速은 3-2節에서 敘述한 流動  
電流와 流速의 關係에서 본 것과 같이 流速이 增  
加함에 따라 靜電氣의 發生도 顯著하게 增大한다.  
따라서 靜電氣對策으로서는 流速을 制限하는 것  
이 有效하며 또 必要하다. 液體를 파이프 輸送하  
는 경우에는 Splash를 防止하기 위하여 充填 파이  
프의 先端이 液面に 接觸하기까지, 혹은 Floating  
loop에 液面이 接觸하기까지는 可燃性液體의 種  
類를 不問하고 그 流速을 1m/sec 以下로 하여야  
한다.

또, 電氣抵抗率이  $10^9\Omega$  以上の 可燃性液體를 管  
徑 d(m)의 配管內를 送油하는 경우에는 다음의  
流速 v(m/sec)로 하는 것이 좋을 것이다.

$$v \leq \sqrt{\frac{0.64}{d}}$$

電氣抵抗率이  $10^9\Omega \cdot \text{cm}$  未滿의 可燃性液體는  
管徑의 굵기에 關係없이 7m/sec 以下로 한다. 이  
것은 獨逸의 基準에 明示되어 있는 것으로서 API  
에서는 어떤 管徑에도 5.0~6.6(m/sec)라는 數值  
를 採用하고 있다.

그런데 에테르, 二黃化炭素, 또는 水分이 混入  
된 非水溶性 可燃性 가스는 流速을 特別히 작게  
하는 편이 좋다.

여기서 注意해야 할 點은 輸送過程 中 어떤 部  
分에서 가장 靜電氣 發生이 잦은가 하는 것을 알  
아 둘 必要가 있는 것이다.

퍼지(purge)에 기름(油)을 注入할때 陸上配管  
에 합쳐진 流速으로 送油하여도 陸上配管과 배  
(船)를 連結하는 고무호스의 管徑이 작게 되면 여  
기서 流速이 增大한다는 것을 充分히 考慮할 必要  
가 있는 것이다.

### 6-9 電導性 附與

流體에 대하여 靜電氣가 發生하기 어려운 材料  
로 配管材料로 使用하면 좋은 일이지만, 特別히  
絶緣性이 높은 合成樹脂를 配管材料로 使用하는  
것은 매우 좋지 못하다. 比較的 電導性이 낮은 材  
料의 電導性은 大氣中의 濕度에 의한 影響을 많이  
받는다. 第3表에서 表示한 바와 같이 濕度가 낮게  
되면 電導性이 急激하게 低下하는 것에 注意를 要  
한다.

第3表 溫度와 glass의 表面導電率

| 相對溫度(%) | 表面抵抗(相對值) |
|---------|-----------|
| 100     | 1         |
| 80      | 4         |
| 70      | 30        |
| 60      | 800       |
| 50      | 30,000    |
| 40      | 6,000,000 |

한편 液體의 電導性을 增加시키면 電荷의 漏洩  
을 助長시키며 靜電氣를 防止할 수 있다. 그러기  
때문에 살틸酸인 크롬鹽과 有機酸인 칼슘鹽을 主

成分으로 한 靜電防止劑를 添加하는 것이 많이 쓰이고 있다. 船空機燃料로 쓰이는 JP-4에는 0.3ppm 添加하여 目的을 達成시키고 있는 것이다.

#### 6-10 可燃性 霧圍氣의 不活性化

以上에서 살펴 본 對策은 積極的으로 靜電氣를 防止하기 위한 것으로 볼 수 있으나, 이번에는 方向을 바꾸어서 可燃性 霧圍氣를 除去함으로써 靜電氣를 防止하는 有效한 對策에 대하여 說明하여 보자. 이 對策으로는 窒素, 炭素 가스, 煙道 가스 및 燃燒 가스와 같은 不活性가스를 利用하여 空氣를 置換시키는 것을 말한다. 이 때 空氣를 完全히 不活性 가스로 置換할 必要는 없는 것이고 置換後에 酸素濃度를 限界酸素濃度보다 낮게 하기만 하면 되는 것이다. 大容量의 固定機械를 使用하는 大型탱커에서는 不活性 가스 시스템(Inert gas System)을 採用하고 있다.

#### 6-11 스위치 로딩(Switch Loading)

가솔린을 輸送하는 비어 있는 탱크 롤리(Rolly)에 灯油를 注入하는 경우에 비어 있던 탱크에 充滿되어 있던 가솔린 蒸氣가 灯油 中에 急速하게 溶解되면서 탱크 內에 있는 空氣를 吸引하여 可燃性 霧圍氣를 造成하는 일이 있다. 이와 같이 스위치 로딩을 할 때에는 複雜한 現象이 發生하게 되며 充分한 注意를 要하는 것이다.

### 7. 結論

以上으로 液體나 氣體, 粉體를 輸送하는 配管에 있어서 靜電氣現象이 發生하는 場所와 徑路 및

Energy의 蓄積과 漏洩이 이루어지는 條件, 그리고 發生된 靜電氣를 除去시키는 方法의 講究와 對策에 대하여 論述하였다.

오늘날 科學文明의 發達은 必然的으로 各種 危險物과 特殊可燃物의 大量利用과 副産物의 發生을 招來하고 있으며, 이에 따라 靜電氣로 인한 災害 역시 날로 大型化하고 있을 그 被害 또한 莫甚한 것이라 아니할 수 없다.

本人인 이 分野에 대한 研究도 防災工學의 한 研究分野로서 充分히 研究하여야 할 課題임을 믿어 疑心치 않는 바이며 繼續的인 研究가 있기를 期待하면서 本 小稿를 마치는 바이다.

### 參 考 文 獻

1. NFPA "Static Electricity", National Fire Codes No.77(1987)
2. ICS "Tanker Safety Guide(Petroleum)" 1974
3. A. Kinkenbery Van der Minne, "Electrostatics in the Petroleum Industry", 1958.
4. API "Recommended Practice of Static Lighting and Stray Currents", API RP 2003(1967)
5. 日本工業出版 "配管技衛" 1976. 6(Vol 18. 7)
6. 文運堂 "高電壓工學" 서울大學校教授 丁性桂著
7. Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, "Richtlinien zur Verhuetung von Gefahren durch Elektrostatistische Sufladungen"(1965)