

靜電氣의 災害 및 障害의 防止와 防止技術의 具體例

田畠泰幸**

1. 靜電氣災害·障害防止對策의 體系

靜電氣가 原因이 되어 일어나는 災害나 障害는 多種多樣하며, 그 防止對策도 多種多樣하다. 이를 테면 電擊이나 放電痕跡에 의한 品質不良 혹은 粉, 紙, 球, 布 등 가벼운 물건의 付着에 의한 工程障害나 더럽혀짐과 같은 災害·障害는 靜電氣의 帶電防止 또는 靜電氣의 放電防止라 하는 靜電氣 그 자체에 대한 對策만이 有效하며, 한편 直接的인 靜電氣對策외에 다른 對策으로 바꾼다든지, 또는 보충하는 災害·障害도 있다. 이를 테면 靜電氣放電은 着火源으로 하는 爆發이나 火災는, 可燃性의 雾圍氣를 排除하므로서도 發生防止를 할 수가 있으며, 半導體素子의 損傷, 動作不良이나 電子·通信機器의 誤動作, 通信障害등에 대해서는 保護回路나 電磁차폐가 有效하다. 그러나, 어찌했던 靜電氣帶電이나 放電이나 防止하는 對策이 기본이며, 꼭 必要하다. 靜電氣對策은 靜電氣의 發生防止對策과 帶電防止對策 및 放電防止對策으로 大別된다. 以下에 이 靜電氣對策을 中心으로 해서 具體的인 方法을 서술한다.

2. 可燃性物質의 取扱方法

靜電氣의 放電에 의해 着火하는 危險性이 높은

* 本稿는 1991.5.15 科學技術會館2層 會議室에서 開催된 本學會의 第18回 學術講演會에서 發表한 것임.

** 日本 労動省 產業安全研究所, 電氣研究部長, 工博

可燃性의 液體 및 粉體를 取扱하는 경우에는 가능한 한 그 危險性을 低下시키는 것이 바람직하다. 以下에 그 要點을 서술한다.

(1) 液體의 取扱

可燃性液體를 取扱할 때의 安全化의 要點은 다음과 같다.

- ① 可燃性의 液體는, 引火點을 넘지 않는 温度條件에서 取扱한다. 引火點을 넘는 取扱條件의 경우에는, 密閉化해서 行한다. 어쩔 수 없이 開放狀態의 取扱을 行해야 하는 경우에는 換氣가 良好한 場所에서 着火源의 除去等을 실시하는 경우에 한한다.
- ② 可燃性의 液體를 손으로 容器에 넣을 경우에는, 가능한 한 空氣와의 接触이 적게 되도록 지혜를 써야 한다. 引火點이 낮은 液體의 경우는, 配管에 의해 넣는 것이 바람직하다. 또한 이 경우에는 液體의 飛散을 작게 하기 위해, drop pipe 等을 써서 가능한 한 容器의 下部로부터 넣는다.
- ③ 可燃性의 液體를 貯藏, 運搬하는 容器等은, 가능한 한 同一製品에 대해서 專用으로 한다. 特히, 挥發性의 높은 液體의 貯藏, 運搬에 쓴 냉크等에 挥發性이 낮은 液體를 충전하는 소위, switch loading은 피한다. 어쩔 수 없이 이것을 行할 必要가 있을 경우에는, 直前에 可燃性液體 및 蒸氣를 충분히

排出한다.

- ④ 導電率이 낮은 可燃性液體는, 系의 設備事故에 의한 液體의 噴出로 靜電氣가 發生해서, 爆發, 引火로 전개되는 등, 事故를 災害로 發展시키는 潛在危險을 갖고 있으므로, 漏泄 등의 早期檢出이 가능하도록 해 둘 必要가 있다.

(2) 粉粒體의 取扱

粉粒體의 取扱의 安全化는, 可燃性의 液體의 경우와 똑같이 생각해야 할 것이지만, 그 외에 粉粒體에 特有한 性質을 考慮해서 다음과 같은 것에 留意할 必要가 있다.

- ① 粒體의 經이 작아질수록, 空氣等과의 接触面積이 늘어나며, 곁보기의 熱傳達率이 떨어져 燃燒하기 쉽게 되는 것에 特히 注意를 要한다.
- ② 有機合成物質의 粉體類는, 粉塵濃度가 높아질수록, 着化爆發의 可能性이 높아지는 傾向에 있으므로, 粉體의 空氣輸送, 流動乾燥, 粉碎, 捕集等의 工程에서는 粉體끼리의 摩擦, 粉體와의 器壁과의 摩擦等에 의한 靜電氣發生帶電의 危險性의 增大도 있음을 물론, 爆發, 火災의 危險性도 同時에 높아지는 것에 注意를 要한다.
- ③ 粉體와 空氣等의 媒體와의 混合比는, 移送等의 性質, 經濟性과의 깊은 관계를 갖지만, 粉粒體가 작아질수록 爆發範圍가 넓어지므로, 工程이나 設備의 安全을 確保하기 위해서는 事前에 충분한 檢討나 操作狀態의 監視를 충분히 행할 必要가 있다.
- ④ 粉粒體의 爆發, 火災의 防止는, 결국은 粉塵雲을 形成하는 등의 取扱操作의 失敗를 防애하는 일이다. 特히, 粉塵雲의 規模가 커지면 着化危險性, 爆發危險性이 함께 높아지므로, 그 防止는 重要하다.

(3) 氣體의 取扱

可燃性의 氣體는, 이것을 大氣中에 開放하지 않는 것이 原則이며, 그 漏泄, 噴出이 일어나지 않도록 最大限의 留意를 할 必要가 있다. 可燃性

의 液體蒸氣의 取扱에 대해서는 液體의 取扱과 마찬가지이다.

3. 靜電氣의 發生防止

靜電氣의 發生防止는 가장 根本的인 對策이기는 하지만, 靜電氣의 發生은 物體, 物質의 運動에 수반하여 일으나므로, 이것을 完全히 防止하는 일은 實際上은 不可能하다고 말할 수 있다. 또한 靜電氣發生의 防止 및 抑制는, 製品의 特性, 性能, 工程上의 制約等으로 부터 實際的으로는 困難한 경우가 많지만, 가능한 한 靜電氣의 發生을 防止하도록, 設備의 設計나 물질의 取扱에 지혜를 더하는 일이 바람직하다. 靜電氣의 發生防止의 要點은 다음과 같다.

- ① 設備와 物質, 또는 物質相互의 接触面積, 接触壓力을 작게 한다.
 - ② 接触回數를 가능한 한 줄인다.
 - ③ 接触·分離速度를 작게 한다.
 - ④ 接触狀態에 있는 것을 急激히 剝離하지 않고, 서서히 變化시킨다.
 - ⑤ 表面의 狀態를 清淨, 圓滑하게 유지한다.
 - ⑥ 不純物等의 異物의 混入을 피한다.
 - ⑦ 可能하다면, 發生의 적은 材料를 選定한다.
- 靜電氣의 發生防止方法으로서는, 取扱의 速度나 量의 制限이一般的이며 이를테면 可燃性의 絶緣液體를 配管輸送하는 경우에 있어서, 탱크 等內에서 靜電氣 放電에 의한 着火의 危險이 생각되어진다면, 그 最大速度를 一定以下로 制限할 必要가 있다. 또한, 初期流速은一般的으로 1m/s 以下로 制限하는 것이 바람직하다. 不必要한 靜電氣發生을 防止하기 위해 取扱方法을 檢討할 것도 必要하다. 이를테면 可燃性液體의 splash loading의 禁止, 可燃性液體의 配管이나 탱크內에 水, 空氣等의 混入防止, 紙, 필름 等을 감고·풀때의 速度·張力의 急變의 防止, 微細한 粉體의 飛散防止나 粉塵雲의 發生·퍼짐의 防止, 粉體가 付着한 가루類의 脫落作業의 制限, 氣體나 液體의 噴出防止 등이 이에 該當한다. 또한, 帶電列을 考慮해서 使用材料를 檢討하는 方法은, 靜電氣帶電의 再現性이나 スケ일 效果에 留意를 할 必要가 있으며,

事前의 實驗이나 事後의 確認調查가 肝要하다.

4. 接地에 의한 導體의 帶電防止

靜電氣의 接地對策의 目的은, 帶電이 問題가 되는 導體(靜電氣上의 導體를 포함)과 大地와의 사이를 電氣的으로 接續해서, 大地와 거의 同電位로 하므로서, 靜電氣帶電을 除去하는 것이다. 靜電氣災害·障害의 大部分은 導體가 帶電한 結果 일어나는 불꽃放電이 原因이 되어서 發生하므로, 導體의 帶電防止를 위해 實施하는 接地對策은 가장 基本的인 對策이다.

靜電氣의 發生量은 電流로 계산해서 $10^{-10} \sim 10^{-6}$ A程度이므로, 導體의 大地에 대한 電氣抵抗(漏泄抵抗이라 함)이 꽤 높아도 帶電을 防止할 수 있으며, 一般的으로는 漏泄抵抗이 $1 \times 10^6 \Omega$ 以下이면 靜電氣의 帶電은 問題가 되지 않는다. 接地抵抗은 接地極과 大地間의 電氣抵抗을 말하며, 漏泄抵抗과 區別되지만, 嚴密하게는 分류해서 쓸 수 없는 일도 많다(圖 1).

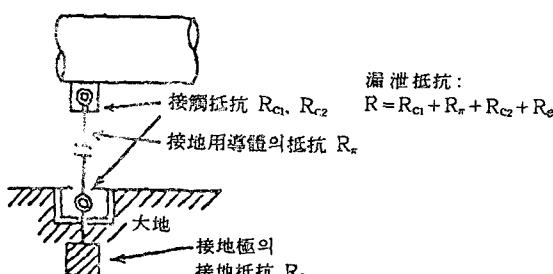
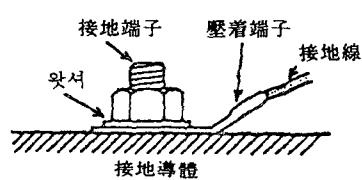


圖 1. 漏泄抵抗과 接地抵抗의 關係

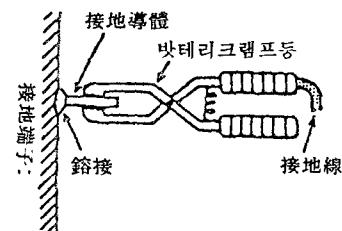
導體의 帶電防止를 위해서는, 어떠한 경우에도 $1 \times 10^6 \Omega$ 以下의 漏泄抵抗을 確保할 必要가 있으며, 이를 위해서는 漏泄抵抗을 1000Ω 以下로 하는 것이 바람직하며, 따라서 帶電防止를 위한 接地가 필요한 物體는 漏泄抵抗이 1000Ω 以上的 導體로 된다. 當然한 일이지만 避雷를 위한 接地, 漏泄防止를 위한 接地나 노이즈防止를 위한 接地가 이미 實施되어 있는 機器, 裝置는 새롭게 靜電氣 帶電防止를 위한 接地를 할 필요는 없다. 帶電防止를 위한 接地用의 接地極으로서는,

靜電氣專用의 것 이외에 配電線用接地極, 地中에 埋設된 水道管이나 鐵骨等의 金屬構造物도 使用된다. 이들의 接地極의 接地抵抗은 1000Ω 以下이면 충분하지만, 接触不良이나 接續不良이 일어나면 대단히 危險하므로 이들을 防止하기 위해, 接地를 實施할 경우에는 항상 1000Ω 以下의 接地抵抗이 確保되도록 接地抵抗 100Ω 以下의 接地工事を 하는 것이 바람직하다.

接地와 같은 目的으로 複數의 導體間을 電線等을 써서 電氣的으로 接續하는, 소위 본딩(본드라고도 한다)을 實施할 경우도 이들의 導體의 最低一個所에 대해서 上記와 똑같은 接地를 實施할必要가 있다. 接地 및 본딩에 쓰는 接地線等의 接地用導體는 腐食이나 斷線等에 의해 接触不良을 일으키지 않는 것이 가장 중요하며, 固定施設의 接地線의 경우에는 通常 $2mm^2$ 以上의 100V 비닐絕緣電線을, 또한 移動해서 使用하는 設備類에 대해서는 $1.25mm^2$ 以上의 캡타이어 케이블을 使用한다. 이들의 接地用導體의 端末은 電食을 일으키기 어려운 端子板等을 끼워서 設備等에 堅固하게 볼일 必要가 있다. 移動機器에 볼일 경우에는, 빗테리·크램프等을 쓴다(圖 2). 이 경우 接地線의 取付 및 제거에 있어서 靜電氣의 放電에 의한 着火를 防止하기 위해, 取付 및 제거의 時期 및 場所에 留意할 必要가 있다. 즉, 配管等의 flange接續部分은 塗料나 腐食에 의해 接續不良이 되기



(a) 固定設備



(b) 移動設備

圖 2. 接地端子의 例

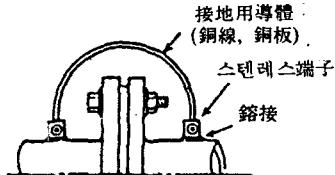


圖 3. 配管본딩의例

쉬우므로 본딩을 實施하는 것이 바람직하지만定期的인 測定管理等에 의해 충분한 接續이 確保되는 경우에는 帶電防止의 點으로 부터는 省略이可能하다(圖3).

作業者나 台車, 給油 노즐 等, 鏡임없이 移動하는 物體에 대해서는, 導電性材料를 써서 大地와의 電氣的導通을 피하는 일도 가능하다(圖4). 이 경우의 漏泄抵抗은一般的으로 $1 \times 10^6 \Omega$ 이하이면 좋다. 導電性材料로서는, 後述하듯이 導電性의 캐스터, 호스 等 各種의 물건이 있다. 또한, 接地不良에 의한 万一의 事故, 災害를 防止하기 위해, 給油펌프 等과 接地가 連動한 인터록 機構나 自動接地機構도 採用되고 있다(圖5).

즉, 接地를 잊기 쉬운 것으로서, 静電誘導에 의해 帶電하는 物體가 있다. 예를들면, bag · filter

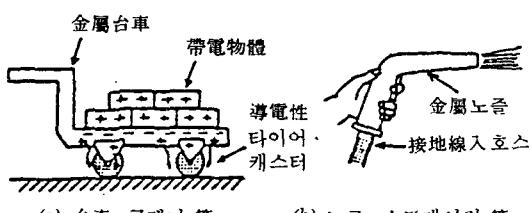


圖 4. 帶電防止用器의 使用에 의한 移動裝置 · 道具의 接地例

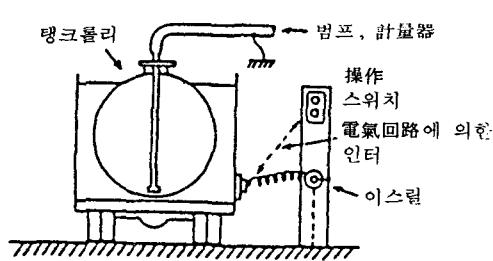


圖 5. 인터록에 의한 탱크로리의 接地例

設備內의 달아매는 金具, 쪼임밴드 등의 接地를 잊었거나 接續不良 때문에 帶電粉體나 bag · filter로 부터의 静電誘導에 의해 크게 帶電하며, 이들로부터의 静電氣放電이 可燃性粉體等의 着火源이 된例가 종종 있으므로 注意를 要한다.

5. 絶緣物의 帶電防止의 概要

一般的으로 絶緣物이라 하는 物體는, 體積抵抗率이 $10^{10} \Omega \cdot m$ 以上, 表面抵抗率에서는 $10^{12} \Omega$ 以上的 것이 많고, 대단히 帶電하기 쉽다. 이들의 絶緣物은 단지 接地對策으로는 帶電防止 할 수 없고, 그 외의 帶電防止對策이 必要하게 된다. 絶緣物의 帶電防止對策으로는 各種의 方法이 있으며, 이들을 適切히 選擇, 組合시켜 效果的인 帶電防止를 實施하는 것이 肝要하다. 以下에 物質의 種類마다 帶電防止對策의 概要를 서술함과 동시에, 一般的인 絶緣物의 帶電管理指標에 대해서 서술한다.

(1) 固體의 帶電防止

고무, プラスチック製의 成形品 · 필름 · 시트, 纖維製品 · 半製品, 表面을 絶緣被膜加工 · 塗裝한 物體, 紙 · 紙加工品, 木 · 木製品등의 絶緣性固體의 帶電防止實施例에는 다음과 같은 것�이 있다.

- ① 容器, 配管 等에서 金屬製品으로 바꿀 수 있는 것은, 이것으로 바꾼다.
- ② 감는 롤러, 캐스터, 半導體를 取扱하는 用品等에서 帶電防止用品이 있는 것은 이들을 使用한다.
- ③ 絶緣性固體의 製造, 加工등의 取扱時, 또는 上記 ①, ②의 對策이 困難한 경우에는 除電器나 帶電防止劑의 使用에 의해, 혹은 加濕에 의해 帶電防止 한다.

(2) 液體의 帶電防止

有機溶劑나 石油製品등의 可燃性液體는 絶緣性이 높은 것이 많고, 또 그 蒸氣와 空氣等과의混合氣가 静電氣放電에 의해 着火하기 쉬우므로, 效果的인 帶電防止對策이 必要하게 된다. 一般的으로는 配管輸送에 있어서의 流速制限이나 splash

의 防止와 같은 静電氣의 發生防止를 實施함과 동시에, 試料採取와 같은 作業을 행하기 전에 충분히 電荷를 緩和시키기 위해 靜置時間은 두는 등의 對策이 實施되고 있다. 더욱 積極的인 對策으로서 液體用의 帶電防止劑를 添加하는 등의 對策이 航空機의 給油等에서 實施되고 있는例도 있다.

(3) 粉體의 帶電防止

生產의 能率을 높이기 위해, プラスティック 原材料나 穀物 등을 粉體의 形태로 取扱하는 일이 많아졌으며, 더구나 取扱量, 規模도 커졌기 때문에, 粉碎, 空氣輸送, 자루에 담기, 原材料의 投入 등의 絶緣性粉體의 取扱時에는 粉體의 막힘, 付着 등의 工程障害나 粉塵爆發과 같은 静電氣災害・障害危險性이 높아지고 있다. 그 때문에 效果的인 静電氣安全對策의 實施가 必要하게 된다. 絶緣性粉粒體의 帶電防止對策으로서는, 加濕, 加水나 帶電防止劑의 使用, 혹은 除電器의 使用이 有效하며, 또한 bag・filter나 布자루등 布製品을 써서 粉粒體를 取扱하는 경우에는, 導電性의 纖維가 混入된 布製品을 使用하면, 粉體의 帶電防止에도 效果가 있다.

(4) 氣體의 帶電防止

純粹한 氣體는 帶電하지 않는다고 생각해도 좋으나, 一般的으로는 미스트, 烟, 진애와 같은 粒子가 氣體中에 섞여 이들의 粒子가 帶電하는結果, 氣體가 帶電하는 것처럼 보인다. 그 對策으로서는 이들의 粒子를 가능한 한 除去하는 것이다. 즉, 水滴, 金屬粉과 같은 導電性이 높은 粒子라도, 이들이 空氣中에 浮游해 있으면 電氣的으로 絶緣狀態로 되어 帶電하고, 帶電雲을 形成하므로 注意를 要한다.

(5) 絶緣物의 帶電管理

(a) 帶電性

絶緣物의 帶電性의 크기는, 一般的으로 表 1에 그 指標를 나타내듯이 導電率(體積抵抗率의 逆數, 體積抵抗率의 單位는 $\Omega \cdot m$) 또는 表面抵抗率에 依存한다. 여기서, 一般的으로 液體, 粉體에

表1. 絶緣物의 帶電性의 指標

帶電性의 크기	帶電電位의 치표[kV]	導電率의 指標 [S/m]	表面固有抵抗 의 指標[Ω]
거의없다	0.1以下	10^{-6} 以上	10^{10} 未満
작다	0.1~1	$10^{-10} \sim 10^{-6}$	$10^6 \sim 10^{10}$
보통	1~10	$10^{-12} \sim 10^{-10}$	$10^2 \sim 10^4$
크다	10~30	$10^{-14} \sim 10^{-12}$	$10^4 \sim 10^{10}$
대단히크다	30以上	10^{-14} 未満	10^6 以上

대해서는 誘電率이, 固體에 대해서는 表面抵抗率이 指標가 된다.

(b) 帶電量

絶緣物의 絶緣量의 管理指標는 다음과 같다.

- 爆發災害를 防止하기 위해서는, 一般的으로 可燃性物質의 最小着火エネルギー에 응해서, 帶電電位 또는 表面電荷密度가 表 2에 나타내는 管理指標値를 넘지 않도록 한다. 단지, 表面電荷密度는, 表面에만 帶電하고 있는 경우에 適用되고 있다.

表2. 不導體의 帶電量管理指標

可燃性物質의 最小着火 에너지[mJ]	帶電電位의 指標 [kV]	表面電荷密度의 指標 [$\mu C/m^2$]
0.1未満	2以下	1以下
0.1~1	5以下	3以下
1~10	10以下	8以下
10以上	20以下	20以下

- 電擊을 防止하기 위해서는, 不導體의 帶電電位가 10kV를 넘지 않게 한다.
- 爆發火災 等의 火災・障害로 연결되기 쉬운 沿面放電을 防止하기 위해서는 可燃性物質의 最小着火에너지等에 관계없이, 背面의 接地體等과 1cm 以下의 間隔으로 接近하는 層狀物體의 表面電荷密度가 $100\mu C/m^2$ 를 넘지 않도록 한다.
- 帶電粉塵雲의 着火로 연결되는 雷狀放電을 防止하기 위해서는, 粉塵雲의 規模가 直徑 3m 以上 및 粉塵雲內의 平均電界가 1kV/cm를 넘는다고 하는 2개의 條件을 同時に 만족하지 않도록 한다.
- 可燃性의 미스트・개스, 蒸氣 等의 着火로

연결되는 帶電 미스트, 粉塵雲 等에 起因하는 코로나 放電, 스트리머 放電을 防止하기 위해서는, 帶電 미스트, 粉塵雲 等內의 平均 電界가 $0.1\text{kV}/\text{cm}$ 를 넘지 않도록 한다.

6. 絶緣物의 帶電防止方法

(1) 加濕 · 加水에 의한 帶電防止

加濕에 의해 空氣의 相對濕度를 높이면, 物體表面의 吸濕量이 增加하여, 表面의 電氣傳達性이 높아져, 帶電電荷가 大地로 흘러가기 쉽게 된다. 加濕에 의해 帶電을 防止하기 위해서는, 相對濕度가 60~70% 程度로 되도록 하면 좋고, 그 方法으로서는 水蒸氣의 噴霧나 加濕器가 使用된다. 단지, 넓은 範圍를 加濕하는 것은 困難하므로, 一般的으로 室內라든가 좁은 範圍나 密閉된 裝置內와 같은 局部的인 對策으로서 實施되고 있다. 또한, 吸濕性이 좋지 않은 プラ스틱이나 濕氣를 꺼려하는 物體에 대해서는 當然한 일이지만 이 對策은 適用할 수 없다.

加水는 粉體등에 水를 가하므로서 그 體積抵抗率를 低下시키는 對策이며, 이렇게 하므로서 體積抵抗率 $10^{10}\Omega \cdot \text{m}$ 程度以下로 되며, 帶電이 거의 問題가 되지 않게 된다. 一般的으로 물을 꺼려하는 物質이 많기 때문에, 이 對策도 대부분 實施되고 있지 않다.

(2) 靜置時間의 活用

石油와 같은 絶緣性의 液體를 탱크충전하는 作業에서는, 液量의 檢尺이나 物性検査를 위해 試料採取가 통상 행해진다. 이들의 檢尺이나 試料採取의 作業은 一定한 靜置時間 to 둔 후에 實施할必要가 있다. 이것은 이 사이에 危險한 靜電氣放電이 일어나지 않을 程度까지 液體의 帶電量을 緩和시키기 위함이다. 帶電電荷는 靜置時間에 대해서 거의 指數關數의 으로 減衰하는 것이 一般的이며, 따라서 物體의 緩和時間(體積抵抗率과 誘電率의 積)이 靜置時間を 결정할 때의 參考로 되지만, 實際로는 體積抵抗率이나 帶電物體의 容積에 의해 電荷의 減衰는 더욱 複雜한 現象이 된다.

(3) 帶電防止劑에 의한 帶電防止

表 3. 帶電防止劑의 種類

	用途(使用法)	使 用 對 象
纖維製品	內部耐久用(練込)	나일론, 폴리에스테르
	外部耐久用(特殊處理)	폴리에스테르
	加工·仕上用(浸漬)	各種의 纖維製品
	이어줄(스프레이)	衣類
プラスチック	内部耐久 *練込)	폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스틸렌, ABS수지, AB수지, 硬質영화비닐등
	外部用(塗布, 스프레이, 浸漬)	各種의 プラスチック 製品, 필름
紙	外部用(塗布, 스프레이, 浸漬)	各種의 紙·紙加工品
液體	添可用(溶解)	젯燃料, 有機用剤

帶電防止劑를 絶緣物의 表面에 塗布한다든지, 内部에 混入하면 그 表面의 吸濕性을 높인다든지 表面에 이온性을 갖게해 그 結果 表面抵抗率이 낮아지며, 帶電防止效果가 나타난다. 帶電防止劑는 表 3에 나타내듯이 各種의 것이 市販되고 있으므로, 用途에 따라 適切히 選擇, 使用하면 效果의이다. 帶電防止劑의 一般的의 特徵은, 相對濕度가 50% 程度以下로 되면, 效果가 약해지는 것과 塗布, spraying, 浸漬에 의해 사용하는 外部用의 그 것은 效果가 一時의인 것이다.

(4) 帶電防止用品에 의한 帶電防止

帶電防止用品은 그 一部 또는 全體에 導電性材料를 使用한 것으로, 表 4에 나타내듯이 各種의 물건이 市販되고 있다. 帶電防止用品의 性質은, 使用되는 導電性材料에 의해 特徵 지워진다. 즉, 導電性材料는 카본블랙, 金屬粉과 같은 導電性物質을 使用한 것과, 帶電防止劑를 使用한 것으로 大別되어 처음의 2개는 電氣抵抗을 작게 하므로 靜電氣를 大地로 흘려보내고, 導電性纖維를 使用한 것은 導電性纖維에 發生하는 微弱한 코로나 放電에 의해 帶電을 防止한다. 導電性纖維는 普通 全體에 均一하게(一般的으로는 數mm~數cm의 等間隔의 繩狀 또는 格子狀) 混入되어 있으며, 一般的으로 導電性纖維의 混入量이 많을수록 帶電防止效果가 크다.

(5) 除電器에 의한 帶電防止

除電器는 電壓印加式除電器, 自己放電式除電器 및 放射線式除電器의 3種類로 大別된다. 電壓印加

表4. 各種의 帶電防止用品

導電性材料	주된 帶電防止用品
카본블랙, 金屬粉을 분산 시킨 고무	타이어, 캐스터, 벨트, 롤러, 팩킹, 환, 매트, 구두, 슬리퍼, 장갑, 테이프, 사이트
카본블랙, 金屬粉을 분산 시킨 프라스틱	필름, 사이트, 테이프, 스폰지, 파이프, 호스, 반도체용 용기, 주머니, 차폐재, 바닥재, 각종成形品
카본블랙, 金屬粉을塗工劑	涂料,接着剤 페이스트, 라미네이트코팅
導電性塗工劑를 積廣, 프린트한 프라스틱	필름, 사이트, 테이프, 風管, 半導體用袋
金屬을 도금, 蒸着한 프라스틱	필름, 사이트, 테이프, 半導體用容器, 袋, 風管, 바닥재, 각종成形品, 纖維製品
導電性纖維를 혼입한 布系	작업복, 방한복, 무진·무세균衣, 모자, 장갑, 양말, 카펫트, 벨트, 로프, 슈트, 호스, 웨브, 布袋

式除電器는 針狀 또는 細線狀의 電極에 高壓力을 印加해서 코로나 放電을 일으켜, 그 空氣이 온화作用에 의해 이온을 生成하고 이것에 의해 帶電物體上의 靜電氣를 中和시키는 裝置이다(圖 6, 7). 또한, 自己放電式除電器는 導電性纖維를 짜넣은 布, 또는 導電性 프라스틱필름을 金屬製의 俸狀의 支持體로 고정한器具로, 帶電物體와 導電性纖維等과의 電位差에 의해 導電性纖維 等에 發生하는 코로나 放電에 의해 電壓印加式除電器와 마찬가지로 이온을 生成해서, 帶電防止한다(圖 8, 9). 放射線式除電器와 放射性同位元素(密封線源)의 空氣이 온화作用에 의해 前二者와 마찬가지로 帶電防止하는 裝置이다. 表 5에 이들의 除電器의 種類, 特徵, 用途를 나타내고 있으므로, 適切히 選定, 使用하면 效果的인 帶電防止가 可能하다.

7. 作業者の 帶電防止

人體는 靜電氣의 으로는 導體이지만, 이것이 신발이나 마루에 의해 大地로부터 絶緣되어 있으면 靜電氣가 帶電한다. 그 帶電의 機構는 대개 靜電誘導現象에 의한 것으로, 예를 들면, 步行時에는 마루와의 摩擦에 의해 신발 밑에 靜電氣가 帶電하고, 이것과 符號가 다른 電荷가 발안 쪽으로

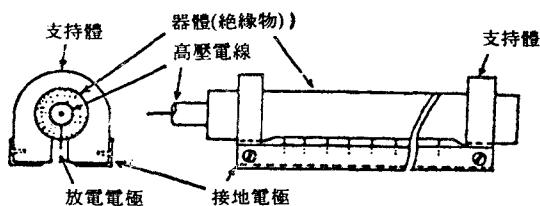


圖 6. 電壓印加式除電器의 一般的構造

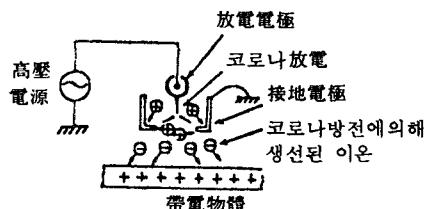


圖 7. 電壓印加式除電器의 除電原理

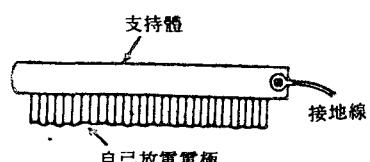


圖 8. 自己放電式除電器의 一般的構造

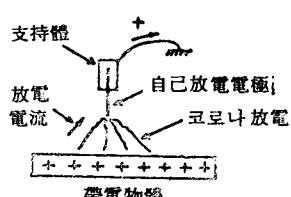


圖 9. 自己放電式除電器의 除電原理

表 5. 各種除電器의 比較

種類	特徵	주된用途
電壓印加式除電品	機種이 豊富	필름, 紙, 布의 除電
	노즐형, 건형, 플랜지形이 있다	배관내의 除電, 局所의 除電
	點火源이 되지 않으나 설치가 복잡	溶劑塗工時의 除電
	除電能力은 크나 逆帶電의 우려있음	單一極性의 필름, 紙, 布의 除電
自己放電式除電品	導電性纖維혼입布, 導電性 필름	필름, 紙, 布, プラ스틱, 고무, 粉體 등 各種 帶電物體의 除電
放射線式除電品	α線源, β線源	點火源이 되지 않으나 취급이 除電능력이 어렵다. 밀폐공간내

誘導되고, 反對로 신발의 帶電電荷와 같은 符號의 電荷가 발로부터 떨어진 손이나 머리등에 誘導되어 人體의 電位가 上昇한다. 이것과 마찬가지로, 의자로부터 일어설 때에는 衣服이 시트카바등과 摩擦해서 帶電한 結果, 人體가 誘導帶電한다. 또, 脱衣時에는 웃웃과의 摩擦·剝離에 의해 内의가 帶電하고, 이때도 上記와 마찬가지로 人體에 誘導帶電이 일어난다. 그 외 코로나 放電을 일으키고 있는 高電壓物體의 가까이에 있어 이온이 付着했을때나, 塗料, 粉體 등 帶電한 粒子가 身體나 衣服에 付着했을때에는 人體는 帶電한다.

人體가 帶電하면, 帶電電位에 따라서 各種의 静電氣 트러블이 發生하므로, 생각될 수 있는 災害나 障害의 種類에 따라 人體의 帶電防止對策을 實施할 必要가 있다. 人體의 帶電防止는一般的으로는 導電性의 신발과 導電性의 마루를 使用해서, 人體의 漏泄抵抗을 낮게 하므로서 實施한다. 여기서, 電擊이나 着火爆發을 防止하기 위해서는 普通 人體帶電電位를 100V 程度以下로 하는 것이 바람직하고, 그러기 위해 人體의 漏泄抵抗을 $1 \times 10^8 \Omega$ 以下로 하면 좋지만, MOS形 IC 等을 製造한다든지, 取扱한다든지 하는 作業, 혹은 水素, 아세틸렌, 二硫化炭素와 같이 最小着火에너지가 0.1mJ 以下の 可燃性 개스, 蒸氣로 이루어지는 着火性混合氣가 생길 염려가 있는 경우 및 酸素의 漏泄이나 異常에 의한 酸素의 發生等이 일어나고, 支燃性 개스의 酸素濃度가 上昇할 염려가 있는 경우에는, 人體의 帶電電位를 10V 이하로 하는 것이 바람직하고, 그러기 위해서는 人體의 漏泄抵抗을 $1 \times 10^7 \Omega$ 以下로 할 必要가 있다. 또, 人體의 帶電防止뿐 아니라, 경우에 따라서는 作業服등의 衣料品의 帶電防止對策을 實施할 必要가 있다. 단지, 絶緣物의 帶電은 導體의 帶電에 비하면 静電氣 트러블의 原因으로 되기 어려우므로 人體帶電防止를 우선 確實히 해야 한다. 作業性은 나빠지지만, IC의 取扱作業에서 不良品을 내지 않기 위해 人體接地用의 리스트·스트랩으로 人體를 接地하고 있는 例도 있다. 즉, 帶電防止의 點으로 부터는 漏泄抵抗值는 낮으면 낮을수록 帶電電位가 낮아져 바람직하지만, 너무 漏泄抵抗值가 낮아지면 活線에 닿았을 때에 感電의 염려가 생긴

다. 즉 400V 程度의 低壓配電線에 닿았을 때의 感電防止에 대비하기 위해서는 漏泄抵抗值를 $1 \times 10^5 \Omega$ 以上으로 할 必要가 있다. 따라서 帶電防止와 感電防止의 어느 쪽도 滿足할 漏泄抵抗值는 $1 \times 10^5 \Omega \sim 1 \times 10^6$ (上記의 IC 取扱作業 等에서는 $1 \times 10^7 \Omega$)의 範圍로 된다. 現狀에서는 이 範圍를 維持하는 것은 困難한 面이 있으므로, 帶電防止나 感電防止의 어느쪽에 重點을 둔 對策을 實施하게 된다.

人體의 帶電防止를 위해서 使用되는 帶電防止 신발은, 導電性의 材料로 된 신발밑창을 갖는 것으로서, 各種의 것�이 있다. 이들에 關해서는 JIS規格(JIS T 8130)이나 勞動省產業安全研究所의 技術指針에 構造, 帶電防止性能基準等이 정해져 있다. 帶電防止靴를 着用해도 마루가 絶緣性이면 意味가 없고, 그 때문에 마루의 導電化가 不可欠하다. 具體的으로는 導電性의 콘크리트, terrace, プラスティタ일, 塗床, 매트나 帶電防止카페트 등이 使用된다. 또한, 帶電防止作業服의 거의는 導電性의 纖維·絲를 織狀 또는 格子狀으로 布全體에 均等하게 混入한 것으로, 微弱한 코로나 放電을 使用해서 帶電防止하고 있다. 이것이 대해서도 上記의 技術指針이나 JIS 規格(JIS T 8118)에 構造基準等이 정해져 있다. 帶電防止作業服에는 상의, 바지, 위아래 달린 옷, 그외 防寒服이나 장갑, 모자, 팔카바등 各種의 帶電防止衣料品도 使用되고 있다.

8. 静電氣放電의 制御

實際로는 이제 까지 서술한 静電氣의 發生防止나 帶電防止만으로는 불충분한 경우가 많고, 이러한 경우에 최저한, 災害나 障害에 연결되기 쉬운 危險한 静電氣放電만은 防止하는 對策이 實施되는 일이 있다. 이를 위해서는, 静電차폐效果를 利用해서 帶電物體의 電位를 낮추는 方法이 效果的이며, 具體的으로는 帶電物體를 接地한 導體로 써운다든지, 帶電物體의 容積이나 表面을 接地한 導體를 써서 電氣的으로 小區間으로 區劃化하는 方法이 實施된다(圖 10, 11). 静電차폐에 쓰이는 導體는 板狀외에 網目狀 또는 格子狀이라도 좋고,

그 빗슈 等은 좁을수록 效果가 높다. 호스의 차폐에는 普通 2~3cm 間隔의 網目狀 또는 나선狀의 金屬線이 쓰여진다. 단지, 靜電차폐는 局部的으로 電位를 낮출뿐이고, 帶電電荷를 除去하지는 않으므로, 一般的으로 帶電電荷密度가 큰 경우에는 危險한 放電을 防止할 수 없는 일도 있으므로, 어디까지나 補助的인 對策으로서 생각해야 될 것이다.

그외, 危險한 放電의 抑制對策으로서는, 取扱의 規模를 작게해서 가능한 한 帶電物體의 空間의 인 퍼짐을 작게 하는 일이나 帶電物體의 가까운 곳에 放電電極이 되는 突起物等을 설치하지 않는 등이다. 또, 帶電物體의 가까이에 接地되어 있지 않은 導體가 放置되어 있으면, 이것이 靜電誘導에 의해 帶電해서 危險한 불꽃放電의 發生源이 되므로, 이러한 일이 없도록 충분한 注意가 必要하다. 그외 危險한 放電을 回避하는 對策으로서, ① 可燃性ガス, 蒸氣, 粉體가 存在하며, 靜電氣放電에 의한 着火爆發의 危險性이 생각되는 場所에서는, 密着한 物體의 剝離와 같은, 着火源이 될 確率이 높은 沿面放電을 일으키기 쉬운, 作業, 工程등을回避한다. ② 着火源이 될 確率이 높은 雷狀放電을 일으키기 쉬운, 大規模의 粉塵, 미스트等의 帶電雲이 形成될 만한 設備, 工程等을回避한다.

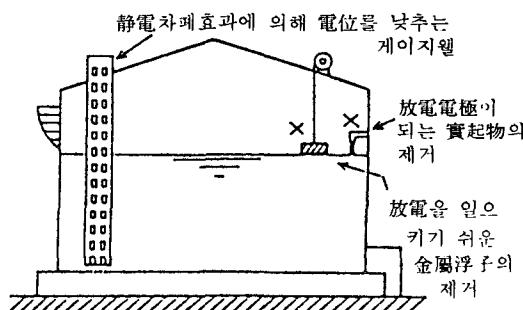


圖 10. 危險한 靜電氣防止의 防止例

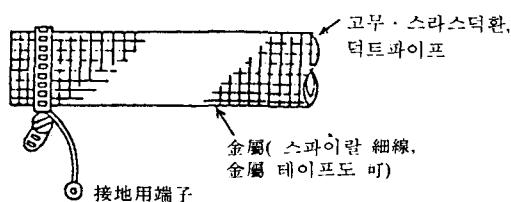


圖 11. 호스의 放電차폐

③ 帶電防止對策의 하나이기도 하지만, 導電性의 纖維, 細線等을 帶電物體에 混入, 接近시키므로, 危險한 放電이 發生하기 전에, 着火源이 될 確率이 극히 낮은 微弱한 코로나 放電을 일으켜, 安全化하는 方法등이 있다.

9. 靜電氣對策의 하나의 實施例

以下, 탱크, 溶解槽에의 粉體, 粒體等의 投入作業, 設備等을 例로 들어 靜電氣災害·障害의 發生防止對策의 實施例를 서술하도록 한다. 즉, 可燃性溶劑를 넣은 金屬製의 탱크, 溶解槽, 反應槽等의 設備(以下, 溶解槽等이라고 한다)의 開口部로부터 粉體狀, 粒體狀 또는 브록狀의 고무, 樹脂等의 原材料(以下, 粉體類라 한다)를 投入하는 作業 및 粉體類를 取扱하는 施設, 設備의 靜電氣對策에 대해 서술한다.

(1) 取扱物質의 對策

粉體로는 가능한 한, 粒經等이 크고, 더욱이, 微粉化하기 어려운 것으로 함과 동시에, 可能하다면, 帶電防止劑, 水, 導電性이 큰 溶劑等의 添加에 의해 濕潤化한다. 可燃性溶劑는, 가능한 한 引火點이 낮은 것을 選定하고, 그 取扱溫度는 가능한 한 낮게 한다.

(2) 施設 및 設備類의 對策

(a) 作業마루

作業마루는, 網板 또는 導電性의 塗床·타일·콘크리트 等으로 施工하는 것이 바람직하고, 몰탈마루의 경우는, 定期的인 散水 또는 加濕에 의한 濕潤化하고, 導電化한다. 作業마루全體를 導電마루로 施工할 수 없는 경우에는, 特히 導電性을 必要로 하는 場所에 導電性 매트, 金屬板等을 깔고 部分적으로 導電化한다. 樹脂等의 絶緣物粉體를 取扱하는 場所의 作業마루는, 마루面이 이들로 덮히지 않도록, 定期的으로 清掃한다. 또, 作業마루에 시트, 매트類를 까는 경우에는, 導電性의 시트, 매트類를 쓴다.

(b) 溶解槽等 및 付帶設備

溶解槽等 및 이것에 付帶하는 配管類는 항상 漏泄抵抗을 100Ω 以下로 維持하기 위해 接地, 分離等(以下, 단순히 接地라 쓴다)을 行한다. 漏泄抵抗이 $1 \times 10^6\Omega$ 를 넘는 回轉軸數는, 接地用 카본브

러쉬, 스립링等을 쓰므로, 또는 軸受에 導電性의 潤滑油를 使用하므로, 漏泄抵抗이 $1 \times 10^6 \Omega$ 以下로 되도록 維持한다. 動力傳達은, 直結, 齒車等에 의해 행하며, 고무製 및 布製의 벨트類를 使用하지 않는 편이 좋다. 어쩔 수 없이, 벨트類를 使用하는 경우에는, 導電性 벨트를 使用하고, 나아가 벨트카바를 接地한다. 즉, 벨트카바와 벨트와의 間隔은 10cm 程度로 維持한다.

(c) 運搬設備

粉體類의 運搬에 使用하는 金屬製의 台車等은 所定의 位置에 놓았을 때에 스프링 接觸等에 의해 自動的으로 接地되는 構造로 하든가, 또는 導電性의 타이어, 캐스터等을 使用해서, 漏泄抵抗을 $1 \times 10^6 \Omega$ 以下로 維持한다.

(d) 投入設備

호퍼는 金屬製로하고 接地한다. 슈트는 알루미等의 輕量이며 取扱하기 쉬운 金屬製로하고 接地한다. 콤베어는 金屬製 콤베어 또는 導電性 벨트 콤베어로 하고, 金屬를 등을 通해서 接地한다.

(e) 工具類

工具類는 無 불꽃工具(銅·베릴리움合金製等)으로 하고, 이것을 接地하든가, 또는 帶電防止靴를 着用한 作業者가 맨손등으로 取扱하므로 漏泄抵抗 $1 \times 10^6 \Omega$ 以下로 維持한다.

(f) 容器類

金屬製容器는, 브리키, 스텐레스 등의 腐食하기 어려운 材料가 바람직하고, 이것을 接地해서 使用한다. 도장된 金屬製容器(드럼강等)는, 노출한 金屬部分에 接地線等을 取付한다. 金屬製容器를 接地하는 것이 作業性을 현저히 阻害할 경우에는, 帶電防止靴를 着用한 作業者가 맨손으로 取扱하므로, 容器等의 漏泄抵抗은 $1 \times 10^6 \Omega$ 以下로 維持해도 좋다.

金屬 frame 달린 蒸氣드럼等의 金屬 frame은 모두 接地한다. 蒸氣드럼 等은 導電性材料 또는 帶電防止加工한 material로 形成된 것이 바람직하지만, 蒸氣드럼等이 絶緣物인 경우에는 당해 드럼等의 外面에 카본이混入된 導電性테이프 等을 나성形狀으로 감아(絶緣物의 露出部分의 幅은 2~3 cm 以下로 한다) 이것을 金屬 frame에 接續해서 接地한다.

고무製, 프라시트製 또는 紙製의 絶緣性容器·자루(후랫기블, 콘테이너, 蒸氣드럼 内裝袋等)는 導電性材料 또는 帶電防止加工한 material가 바람직하고 이것을 接地해서 使用한다. 絶緣性容器·袋類의 全體를 導電化하는 것이 困難한 경우에는, 粉體類와 接觸하는 部分만을 導電化해도 좋다. 導電化하지 않은 絶緣性容器·袋類는 直接投入用으로 使用하지 않는 편이 좋다.

(3) 投入作業等의 對策

(a) 作業者 的 服裝

粉體를 投入하는 作業者는 帶電防止作業服을 着用(防寒服 또는 防塵服을 着用하는 경우에는, 帶電防止性能을 갖는 것을 着用)하고, 作業靴에는 帶電防止靴를 着用한다. 投入作業時에는 장갑을 使用하지 않는 편이 바람직하다. 단지, 保護장갑을 使用할 必要가 있는 경우에는, 帶電防止장갑을 使用한다.

(b) 作業位置

粉體投入時에 있어서의 作業者의 位置는, 氣流에 對抗하지 말고, 万一 爆發·火災가 發生해도 安全히 避難할 수 있는 位置로 하고, 投入口는 上半身以上의 높이로 되지 않도록 한다.

(c) 通風·換氣

建物內全體에 대해서 效果的인 通風·換氣를 實施함과 동시에, 溶解槽等의 投入口周邊에 있어서는 충분한 風量을 가지며, 더욱이 適切한 位置 및 形狀의 후드 等을 갖춘 局部排氣設備에 의해 換氣한다. 또한, 作業場所周邊의 可燃性개스濃度等을 測定管理하고, 爆發限界에 接近했을때에 警報等을 發하는 設備를 設置하는 것이 바람직하다. 그외 必要에 따라서 溶解槽等內를 不活性개스에 의해 置換 또는 봉한다.

(d) 投入에 관계있는 置換 또는 帶電防止

포리에틸렌製 자루 等의 絶緣性包裝 자루로부터 剝離한 天然고무, 樹脂等, 分離, 計量, 配合等의 準備作業을 행한 粉體類, 粉碎 等의 前處理를 행한 粉體類, 후렉시블 콘테이너, 종이자루, 프라시트製 자루等의 容器類로부터 틀어 떨어진 粉體類, 마루等에서 捕集한 粉體類等은 投入前에 靜置時間은 두든가, 또는 除電器를 使用하므로 帶電을 緩和시킨다. 여기서, 除電器는 送風機能을 갖는

防爆構造의 除電器 또는 自己放電式除電器를 使用 한다.

粉體類의 投入時에는, 作業場所周邊을 加濕하든가, 또는 除電器를 使用하므로 帶電을 防止한다. 여기서, 加濕에 의한 絶緣性粉體類의 帶電防止는, 溶解槽等의 周邊에 있어서의 雾圍氣의 相對濕度를 65~70% 程度로 維持하는 加濕設備(예를들면, 스팀加濕裝置, 超音波加濕裝置 等)에 의해 實施한다.

(e) 粉體類의 投入方法

浮游性이 높은 粉體類는, 溶解槽等을 密閉化해서, 減壓下에서 注入하는 것이 바람직하다. 粉體狀 및 粒體狀의 粉體類를 자루類로 부터 溶解槽等에 投入하는 경우에는, 스크류 콤베어 또는 適當한 傾斜角度를 갖고 導電性材質로 이뤄지는 投入用 슈트를 쓴다. 즉, 스크류 콤베어 또는 슈트에는

送風機能을 갖는 防爆構造의 除電器 또는 自己放電式除電器를 設置하는 것이 바람직하다.

天然고무, 樹脂소리드等의 브록狀의 粉體類를 溶解槽等에 投入하는 경우에는, 導電性의 콤베어를 쓴다. 즉, 이 콤베어에는 送風機能을 갖는 防爆構造의 除電器 또는 自己放電式除電器를 設置하는 것이 바람직하다.

(f) 投入時의 注意事項

爆發性雾圍氣가 形成될 염려가 있는 溶解槽等의 投入口의 周邊에서는, 絶緣性의 容器, 자루類의 털어 떨기, 흔들어 떨기, 絶緣性包裝材의 剝離, 粉體類의 粉碎 等의 危險한 作業等을 행하지 않는다.

끝으로 번역에 협조해 준 仁川大學校 產業安全工學科 學生 제군에게 감사한다.