

航空 油脂 系統의 靜電氣 發生과 그 對策

張 水 榮*

1. 序 言

1962년 6월 어느 날 Alaska 의 어떤 美空軍 基地에서 航空 油脂 系統의 靜電氣 發生으로 因한 火災가 發生한 바있다. 이제 이 事故의 概要 및 措處 事項을 說明하고 다음에 航空 油脂를 取扱함에 있어 어떻게 하여 靜電氣가 發生되며 또한 이를 防止하기 爲한 對策은 어떠한가를 說明하고자 한다.

2. 事故의 概要 및 原因

P.O.L.(Petroleum, Oil, Lubricant) 系統에는 所謂 fuel 1/water seperator(燃料 水分 分離器)를 使用하여 水分을 分離하고 있는 바, 當時 使用하고 있던 것은 Warner Lewis, Model PCS-2811-601ANW 로서 변환 킷트(conversion kit)로서는 Model M-552를 쓰고 있었다. 週期的인 檢査를 할 때에 分離器 內部的 上層部, 分離器 에레멘트 및 空氣 除去 弁(air eliminator valve assembly)와 空氣 安全라인(air relief line) 內部에서 검은 炭素質 物體를 發見하였다. 그러나 分流通器에 流入하거나 流出하는 기름

에서는 이와 같은 物體를 發見할 수 없었다. 이 事實은 外部로 부터 이러한 集積物이 浸透한 것이 아니라는 證據가 된다.

또한 實驗室에서 分析을 한 結果 이러한 集積物은 炭素가 燃燒한 成分이며 또 paper element 도 타서 거뭇게 되어 있는 것을 發見 하였는데 이것은 分離器 內部에서 燃燒가 發生하였다는 것을 말해주며 또한 600 GPM 펌프를 始動한 後 即時 分離器內에서 날카로운 爆發音이 나는 것을 勤務者들이 들었다는 것이다. 이와 같은 事實들을 發見하여 다음과 같이 結論을 내렸다. 即 分離器 內部에서 火災가 發生하였으나 저절로 진화 되었으며 그 原因은 다음과 같다고 생각된다.

(1) JP-4 燃料가 分離器로 세차게 쏟아져 들어 왔으며 또한 分離器의 cartridge 를 통하여 急速한 速度(600 GPM)로 흘렀다.

(2) 燃料內에서 靜電氣가 하도 빨리 帶電되었기 때문에 接地線을 통하여 平常時에는 靜電氣가 消滅될 수 있으나 이번에는 그럴 餘裕가 없었다.

(3) 이와 같이 危險한 瞬間에 아크가 發生하여 分離器 內에서 燃料의 蒸氣를 點火하므로써 火災가 發生하였으

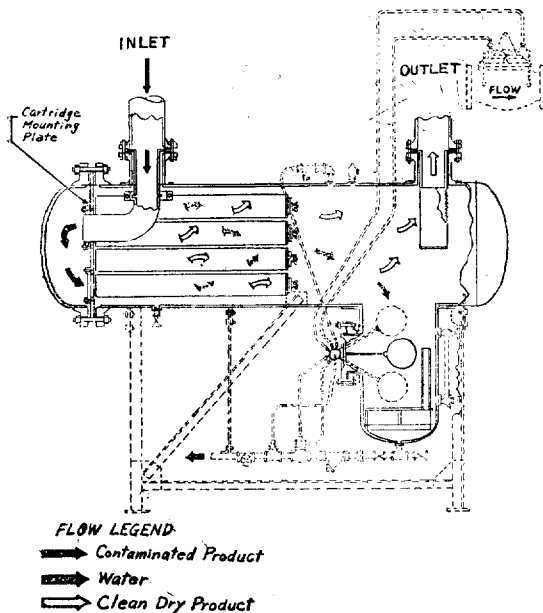


그림 1. 燃料 濾過 및 水分 分離器(Filter/Seperator)

*空軍本部 施設局·正會員

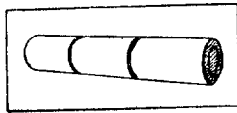


그림 2. Cartridge 의 모양

나 自然히 진화되었다.

3. 措 處 事 項

(1) 標準型 체크 밸브 代身에 비 격동 체크 밸브(non-surge check valve)를 分離器 入口線(inlet line)에 設置하였다. 이러한 밸브는 分離器內에 燃料를 恒常 充滿시켜서 作動中 蒸氣가 發生할 餘裕를 주지 않으며 opening rate 가 늦어져서 起動時의 surge 및 이로 인한 靜電氣의 發生을 抑制한다.

(2) 分離器의 element 를 交換하거나 整備하기 爲하여 作動을 中止한 後 入口 프러그 밸브(inlet plug valve)를 調整하여 徐徐히 燃料를 充塡시킨다. 이와 같이 하면 燃料를 充塡하는 동안에 發生되는 靜電氣의 量을 減少시키며 發生된 電荷를 分離器의 接地線을 通하여 消滅시킬 수 있는 時間의 餘裕를 준다.

(3) 또한 element 와 element 사이, element holder 와 分離器 內部를 本드하기 爲하여 分離器 內部의 모든 金屬部分을 jump wire 로 本드시키고 分離器 自體(vessel)는 接地하므로써 靜電氣를 大地로 누설시킬 수 있다.

4. 航空 油脂 系統의 靜電氣 發生

航空油脂와 같은 導電性이 不良한 液體가 金屬 或은 絕緣體 또는 다른 液體와 接觸하면 比誘電率이 높은 物體가 正으로 帶電하게 되며 이때의 比誘電率의 값은 絕緣體內에서 電子를 얼마나 쉽게 變位시킬 수 있는가 하는 易度(ease)를 나타낸다. 航空 油脂는 絕緣體이므로 鐵管속을 흐르면 靜電氣가 發生하는데 잿트機用 燃料의 比誘電率은 約 2.1이며 鐵管의 比誘電率은 3~4*이므로 燃料가 鐵管속을 흐르면 電荷의 分離가 發生하여 燃料는 負로, 鐵管은 正으로 帶電하게 된다. 帶電率은 대략 物體의 運動速度의 自乘에 比例한다.

*鐵管의 比誘電率이 3~4라고 하는 問題는 약간 疑心스러우며 日本電氣學會에서 發行한 電氣磁氣學 12.4-3 變位電流와 傳導電流에서 보면 金屬導體의 경우 ϵ 은 자세히는 알 수 없으나 大體로 普通의 固體와 큰 差異가 없다고 하여 ϵ 을 10^{-11} 程度로 보고 $\epsilon_s = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$
 $= \frac{10^{-11}}{8.855 \times 10^{-12}} = 1.13$ 이 되나 여기서는 航空 油脂用 鐵管內에 coating 이 되어 있으며 外部에는 페인팅이 되어 있어 完全한 導體로 보기 어렵기 때문에 3~4 라는 結果가 나온 것으로 解釋된다.

이 問題에 對하여는 筆者가 美空軍本部의 技術 擔當將校들과 書信으로 討議한 바 있으나 그 以上の 滿足한 答이 나오지 않았으니 讀者 여러분께서 研究 結果를 發表하여 주시기 바란다.

이 現象은 濾過分離器(filter/seperator)를 通하여 燃料가 흐를 때에도 發生한다. 即 濾過器의 element 는 普通 glass wool 이며 우리는 대략 5.5~9의 比誘電率을 가지고 있고 유리와 燃料가 接觸하는 面積도 매우 크므로 燃料 濾過分離器에 莫大한 靜電氣가 發生하게 된다.

이와 같이 發生된 靜電氣는 燃料와 함께 흐르는데 이 흐름을 "streaming current"라고 하며 이것이 燃料를 따라 탱크속으로 들어 가서 電荷를 蓄積하게 되므로 때로는 危險한 程度에 까지 이른다.

한편 탱크 트럭(tank truck)에서는 다이야(tire)와 路面 사이의 電荷 分離에 依하여 對地 電位 15,000~20,000(V)의 靜電氣를 發生하는 수가 있으며 이때 tank truck 의 탱크內의 燃料도 truck 의 電位와 같은 電位로 帶電한다.

그리고 탱크에 기름을 넣을 때 탱크 위로 부터 내려 붓는다면 相當한 靜電氣가 發生된다. 이것은 구름에서 靜電氣가 發生하는 原理와 같다.

電荷는 誘導(induction)에 依해서도 發生된다. 例컨데 燃料 탱크 위에 負로 帶電된 구름이 있으면 燃料는 正電荷가 誘導된다.

5. 靜電氣의 放電(消滅)

지금까지 말한 物體가 完全한 絕緣體라면 흘러 들어간 電荷는 限없이 蓄積될 것이다. 完全한 絕緣體는 없으며 最良의 絕緣體라도 어느 程度 電子의 흐름을 許用하게 되므로 탱크나 鐵管內의 帶電된 燃料는 液體內의 同電荷間의 相互 反撥과 異電荷間의 引力에 依하여 두 物體間에 電荷의 흐름이 發生하여 相當한 時間後에 電荷는 消滅된다. 電荷를 中和하는데 所要되는 時間은 數分으로부터 數時間까지 이르며 그 時間은 電荷의 量, 燃料의 量, 탱크의 크기와 燃料의 固有抵抗에 依하여 決定된다.

燃料와 함께 탱크로 들어간 電荷는 液體로 누설하고, 코로나放電 혹은 아크(스파크)放電을 하여 점차적으로 消滅(中和)된다.

6. 靜電氣로 因한 障碍의 性質

航空 油脂를 取扱하는 곳에서는 언제나 火災와 爆發의 危險이 있으므로 靜電氣에 依하여 스파크가 發生하기만 하면 큰 災難을 當하게 된다.

(1) 燃 燒

燃燒는 燃料의 蒸氣, 空氣 및 點火源의 세가지를 必

要條件으로 한다. 平常時의 溫度에 있어서도 航空 油脂는 可燃性 蒸氣를 發生한다. 例컨데 개소린의 引火點은 最低 -50°F 로 燃料蒸氣와 空氣의 比가 適當할 때 點火하면 爆發하게 된다. 개소린의 爆發限界는 空氣內에 1.5%~6%의 蒸氣를 含有하고 있을 때이며 JP-4燃料의 爆發限界는 1%~7%(溫度는 $10^{\circ}\text{F}\sim 85^{\circ}\text{F}$)이다. 이러한 蒸氣와 空氣의 混合物는 極小한 energy spark 만으로도 點火된다. 即 實驗에 依하면 0.001[Joule]의 energy 만 있으면 充分하다.

燃料가 鐵管속을 흐를 때 靜電氣가 放電하는 것은 電子의인 方法에 依하여 檢出되나 이 內部放電은 燃燒을 支援할 空氣가 充分 않으므로 危險하지는 않다.

(2) 탱크의 燃料 充塡

充塡期間中 및 充塡 直後가 가장 危險하며 탱크가 크면 클수록 그리고 充塡率이 높을 수록 더욱 危險하다.

電荷 分離 過程에 있어서 電荷間의 電位는 電荷間의 距離가 멀어질 수록 增加하며 탱크 中心 近處의 燃料과 탱크 自體間의 電位差는 數千볼트에 이른다. 이렇게 되면 液體의 表面과 탱크의 內部表面(또는 탱크에 插入한 其他物體)사이 에 아크(스파크)放電의 危險性이 생긴다.

萬若 燃料蒸氣와 空氣의 混合物이 液體表面上에 存在하고 또 이것이 爆發限界內에 있으면 아크放電이 일어나서 莫大한 損害를 입게 된다. 탱크內에 導電性 物體가 떠 있으면 特히 危險하다. 이러한 物體(tin can 과 같은 것)은 燃料로 부터 電荷를 集積하여 condenser 의 平板과 같은 作用을 하게 되며 탱크表面은 condenser 의 다른 쪽 平板의 作用을 하여 反對의 極性을 가지게 된다. 燃料內의 電荷(燃料의 固有抵抗에 依하여 抑制된다)와 달라서 이와 같이 浮上하고 있는 平板上의 電荷는 電位差가 充分하기만 하면 自由롭게 아크를 發生한다. 이러한 浮上物體로 부터 탱크로 아크를 發生하는데 所要되는 電位差는 液體로부터 탱크表面으로 아크를 發生하는데 必要한 電位差 보다 작다. 그러므로 이러한 浮上物體가 있으면 危險性이 增加하는 것이다.

7. 靜電氣로 因한 危險을 減少하는 方法

燃料 系統의 모든 導電性 部分을 接地하고 본드하는 것이 靜電氣로 因한 危險을 減少하는 가장 效果的인 方法이다.

(1) 接 地

接地할 때에는 氷結線(frost line)以下로 깊이 묻어야 한다. 大地의 導電 能力은 土壤의 化學的 性質과 濕氣의 量에 依하여 달라진다.

土壤의 狀態가 變하며 또 接地棒이나 接地板이 劣化되므로 接地의 效果가 減少하므로 週期的으로 檢査해야 한다.

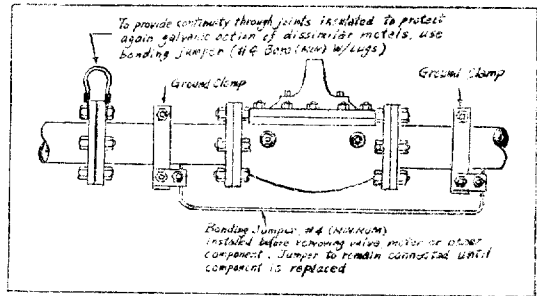


그림 3. 절연된 접합부의 본딩과 장치를 제거하기 전에 하는 본딩

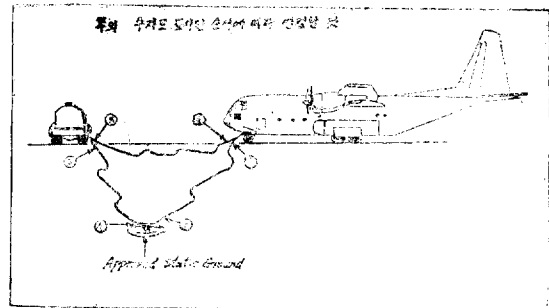


그림 4. 정전기 발생 방지용 케이블을 연결하는 순서(연료트럭으로 항공기에 연료를 급유하거나 또는 배유할때)

(2) 본딩(bonding)

燃料 系統의 全部分이 같은 電位에 있도록 모든 構成品을 본드시킨다. 본딩이란 單純히 다른 構成品을 電氣的으로 서로 連結하는 것이다.

모든 휴대용 裝備과 注油할 航空機는 우선 接地하고 給油裝置로 連結하기 前에 固定된 系統에 본드시켜야 한다. 이렇게 하여 固定된 系統의 모든 構成品과 系統에 부착시키는 移動型 裝備는 파이프나 호스로 連結하기 前에 大地電位로 만들어 놓는다.

(3) 燃料 取扱 人員에 對한 注意

靜電氣는 人體와 옷에도 蓄積될 수 있다. 即 레이온, 모직, 셀크, 나이론 및 어떤 플라스틱은 쉽게 帶電되며 靜電스파크源이 된다. 그러므로 航空 油脂를 取扱하는 사람은 이러한 옷감으로 만든 옷을 입어서는 안되며 綿織 作業服을 입어야 한다. 특히 추고 건조한 氣候下에서는 人體로부터 導電性 物體로 아크를 發生할 수도 있다. 航空油脂를 取扱하는 사람은 static wire 나 grounded handrail 같은 것을 붙잡아서 人體를 大地 電位로 維持하여야 한다. 그렇게 하지 않으면 例컨데 燃料 取扱者의 손가락끝으로부터 탱크로 아크를 發生하는 수도 있다.

(4) 본딩과 接地를 하는 또 다른 理由

接地와 본딩은 靜電氣로 因한 危險外의 다른 危險을 減

少시키는 데에도 必要하다. 即 번개에 의한 電荷도 大地로 傳導되므로 接地線은 靜電 電荷만을 考慮할 때보다 더 끊어야 하며 또한 stray current도 大地로 흐르므로 이것에 의한 影響도 考慮해야 한다.

(5) 接地에 의한 保護 程度

接地나 본당을 한다고 해서 靜電氣로 인한 危險을 完全히 除去하는 것은 아니고 相當히 減少할 뿐이다. 탱크 트레일러(tank trailer)가 하이웨이를 달릴 때 25,000 [V]程度로 帶電된다. 路面이 不良導體이므로 trailer에 drag strap나 chain을 달고 다니는 것은 그다지 도움이 되지 못한다. 그러나 트럭이 目的地에 到達하면 即時 static ground cable로 接地시켜야 한다. 그렇게 하면 tank trailer의 導電 部分은 即時 大地 電位로 될 것이다.

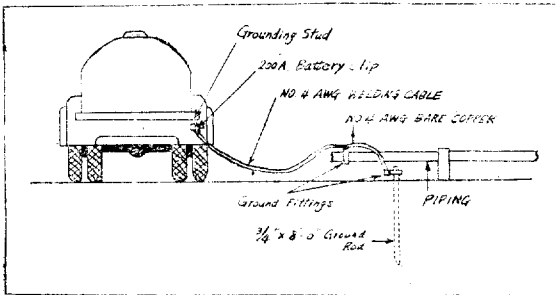


그림 5. 급유 트럭에 급유 또는 배유하는 시설

그러나 燃料內的 電荷가 消滅하려면 時間이 걸린다. 이 電荷를 中和하는데 所要되는 時間은 電荷量, 燃料의 量, 탱크의 크기 및 燃料의 抵抗値에 따라 달라진다.

即 탱크를 接地한다고 해서 탱크 内部의 燃料도 역시 大地 電位에 있다는 것을 保障할 수는 없다. 탱크를 接地하는 것은 단지 電荷가 탱크로 漏洩하고 다시 大地로 들어가는 길을 만들어 준다는 것 뿐이다. 電荷가 漏洩하는데 所要되는 時間은 數秒에서 數時間까지 걸린다. 이 期間 동안에 탱크는 靜電氣로 인한 事故의 可能性을 內含하고 있는 것이다.

(6) 燃料內 異物의 影響

靜電氣로 인한 危險性을 減少하는 다른 方法은 燃料內的 異物을 없애는 것이다. 물, 녹(rust) 및 其他 異物은 燃料의 帶電率을 急速히 增加시켜준다. 某 石油會社 말에 依하면 靜電氣로 因하여 탱크에 火災가 發生하였을 경우에는 모두 기름 속에서 水分이 發見되었다고 한다. 安全과 品質管理의 見地에서 보아도 燃料 系統은 可能한 限 깨끗하게 維持하여야 한다. 탱크內的 水分은 即時 除去하여야 한다. 週期的으로 탱크를 清掃하고 또 異物이 들어가지 못하도록 하여야 한다. 異物은 帶電率을 增加시키며 浮上物은 電荷 集積器의 役割을 한다.

(7) 多重 接地

航空機는 接地할 때에는 3~4개의 케이블로 接地하여 혹시 事故로 因하여 接地線이 끊어지는 경우에 對備한다. 그러나 이렇게 多重接地를 한다고 해서 靜電氣의 放電率을 增加시켜 주는 것은 아니다. 燃料內的 電荷나 燃料가 혼터갈 때 생기는 電荷의 放電率은 電荷量, 電荷發生率, 容器의 크기, 燃料의 抵抗値 및 燃料의 量에 따라 決定된다.

(8) 靜電氣 接地棒의 接地抵抗 測定

靜電氣 接地棒(approved static ground)은 每年 檢査해

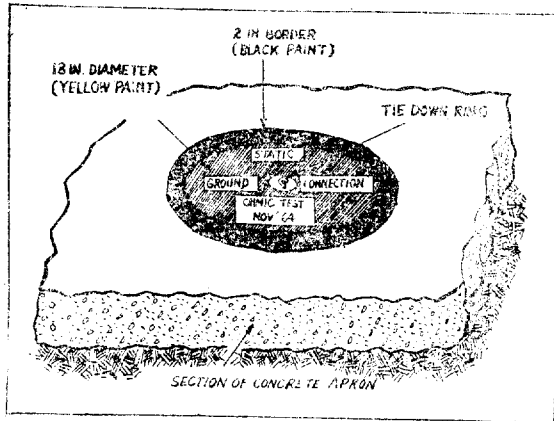


그림 6. 정전기 접지봉 (Identification of Approved Static Grounds)

야 되는데 특히 건조한 때 해야 한다.

靜電氣 接地棒의 抵抗値는 最大 100,000 ohm 이나 可能하면 10,000 ohm 이하가 좋다. 高抵抗接地(10,000Ω—100,000Ω)는 三個月마다 한번씩 檢査해야 한다. 土壤의 狀態가 變化하기 때문에 高抵抗接地의 抵抗値는 特別히 건조한 때에는 相當한 程度까지 增加할 수 있다.

參考 文獻

1. Ltr Hq USAF(AFOCE-MU), 6 July 1962 Static Electricity within Jet Fuel Handling Systems
2. Air Force Manual 85-16 Maintenance of Permanently installed Petroleum Storage and Dispensing Systems 20 May 1964.
3. Technical Order 00-25-212 Static Electricity and Stray Currents in Air Force Refueling Systems 30 July 1964.
4. 電氣磁氣學: 日本電氣學會發行 (1965年 8月 5日 接受)