

石油類의 靜電氣災害와 防止策

—新技術開發研究所—

I. 머리말

靜電氣 放電은 주지하는 바와 같이, 폭발·화재의 방아쇠 역할을 한다. 물론 이것은 帶電 物體에서의 放電에너지가 可燃性 物質의 着火에너지 이상일 때의 일이다. 그러나 靜電氣에 의하여 발생하는 着火 폭발은 예측하기가 매우 어려운 재해중의 하나이다. 그의 주된 이유는 前述한 에너지가 이론 및 실험 등으로도 간단히 구할 수 없기 때문이다.

특히 帶電 物體가 石油精製業에서 취급하고 있는 炭化水素系의 액체(이하 石油類로 稱한다)이면 이것은 導電率이 작은 絶緣物이기 때문에 그 예측이 더욱 어렵다. 또 석유류의 帶電은 環境, 濕度, 불순물의 함유량, 취급 조건 등의 극히 미소한 변화에 의해서도 큰 영향을 받는 非線形 현상이다. 따라서 帶電量은 취급이 똑 같아도 어느 범위내에서 변동하고 있는 수가 많다.

한편 여기에 起因하여 발생하는 폭발·화재도 放電 전력, 放電 거리, 可燃性 物質의 종류, 혼합 濃度, 環境 온도 등 여러가지 요인에 의존하는 反應 현상인 동시에 確率的 현상이다.

여기서는 確率的 현상인 靜電氣 放電에 의하여 발생하는 석유류 폭발·화재에 限한 재해와 그 방지대책에 대하여 概說한다.

II. 石油類의 靜電氣現象

靜電氣의 작용으로 발생하는 물리현상은 力學현

상과 放電현상의 둘이다. 前者는 靜電氣가 物體를 吸引하거나 反撥하는 작용에 의해 일어나는 현상으로서 그 작용력은 수백mg/cm² 정도로 작다. 따라서 가벼운 물체를 대상으로 하여 磁石과 거의 같은 현상이 일어난다. 電氣 集塵, 靜電 塗裝, 靜電 植毛, 電子 寫眞 등은 이 靜電氣의 역학적 작용을 응용한 것이다.

한편 후자의 放電 현상은 靜電氣의 에너지에 의하여 일어나는 電離작용으로서 보통은 공기와 같은 기체가 電離되어 帶電 物體의 電荷가 공기중에 방출된다. 이때 발광 및 파괴음을 수반하면서 에너지가 방출되므로 기체의 온도 상승을 가져온다. 그러므로 이 靜電氣 방전은 可燃性 物質의 着火源이 되기도 하여 폭발·화재를 유발하게 된다.

靜電氣에 기인하여 발생하는 재해는 물체에 다량의 靜電氣가 帶電하기 때문임은 두말할 것도 없는데, 석유류의 靜電氣 災害도 대부분의 경우가 여기에 예상으로 다량의 帶電이 생겼기 때문이다. 최근은 정제기술의 진보에 따라서 不純物이 적은 제품이 탄생하고 있음으로써 導電率이 작아져서 靜電氣가 帶電하기 쉽게 되었다.

1. 石油類의 帶電現象

靜電氣의 帶電은 석유류 뿐만 아니라 靜電氣의 발생과 漏洩(緩和)의 평형조건에 의하여 정해진다. 일반적으로 후자는 주로 導電率에 의존하여 導電率이 크면 漏洩도 크고 결과적으로 帶電은 작아진다. 그러나 석유류는 導電率이 매우 작은 절연물

이기 때문에 漏洩이 작으며, 다음에 소개하는 원인 등에 의해 靜電氣가 帶電한다.

例컨대, 導電率 10^{-12} S/m 정도의 석유류가 輸送配管内를 유동하면 管벽과의 마찰에 의해 여기에 발생한 靜電氣는 거의 漏洩하지 않고 流動전류가 되어 하류에 실려간다. 이것이 이른바 流動帶電이다.

액체의 帶電은 流動帶電이 기본으로서 필터, 펌프 등과의 마찰에 의하여 帶電하는 경우도 定性的으로는 비슷하다. 그러나 帶電量의 크기는 전혀 다른 것이 通例이다. 특히 필터와의 마찰에 따라서는 液体와의 접촉 면적이 크기 때문에 流動帶電의 百倍가까운 靜電氣가 발생하는 수가 있다.

석유류에 생기는 큰 帶電은 이 필터에 의한 帶電이 주인데, 前記한 流動帶電에 의하여 생기는 電荷密度는 數 μ C/m² ~ 10數 μ C/m² 정도인데 대하여 후자의 필터를 통한 다음에는 數百 μ C/m² 이상이 되는 수도 있다. 필터에 의한 帶電機構는 필터 자체의 내부구조가 복잡하기 때문에 定說은 발표되지 않고 있다.

한편 석유류는 노즐에서 분출하면, 또는 탱크에의 充填時에 공간에서 분열하거나 이것이 탱크 内壁에 충돌하여 飛散하면 이것에 의해서도 靜電氣가 帶電한다. 특히 액체가 심한 충돌을 하거나 분열을 하여 직경 數百 μ m 정도의 미스트가 되면 帶電 電荷密度가 커질 뿐만 아니라, 공간에 帶電雲을 형성한다.

또한 탱크내에 Slug(공간을 낙하하는 液柱)이 형성되면, 이것은 천정 등에서 剝離했을 때의 剝離帶電에 의하여 큰 電荷를 갖고 있는데다 공간을 낙하중에 帶電雲에서의 靜電誘導를 받아 더욱 큰 帶電物체가 된다. 따라서 이것이 接地체에 접근하면 後記하는 바와 같이, 여기서 着火性 放電이 발생하는 수도 있다.

이상과 같이 석유류는 配管, 필터, 펌프 등 고체와의 마찰에 의하여 혹은 고체에서의 剝離에 의하여 帶電한다. 또 플랜지, 노즐에서의 분출에 의한 그 자신의 분열에 의해서도 帶電하여 이것이 재해와 이어지는 주요 帶電 요인이 되고 있다. 액체의 帶電原因으로서는 다른 원인도 있으나 실제의 재해 사례에서 보면 역시 前記한 帶電과정이 많다.

2. 電荷의 緩和현상

帶電하고 있는 액체에 그 후 靜電氣가 발생하지 않고 電荷의 공급이 없으면 여기에 帶電하고 있는 電荷는 시간이 지남에 따라 減衰한다. 이것이 電荷의 완화현상이다. 이 현상은 주로 導電率에 의존하여 액체의 導電率이 10^{-10} S/m 정도 이상이면 電荷는 대략 指數關數의으로 감소한다. 즉 초기 帶電量을 Q_0 [C]로 하면, 時間t [S] 放置(靜置시간) 했을 때의 電荷 Q [C]는 다음과 같이 표시된다.

$$Q = Q_0 \times e^{-tk/\epsilon_0 \epsilon_s} \dots \dots \dots (1)$$

여기서, k [S/m]은 액체의 導電率, ϵ_s 는 액체의 比誘電率, ϵ_0 [F/m]은 眞空中的의 誘電率이다. 그러나 액체의 導電率이 10^{-12} S/m 정도보다 작아지면 초기 帶電이 크지 않을 때 短時間에 완화하는 일이 많고 (1)式과는 일치하지 않게 된다. 이것은 導電率이 電荷의 移動度 및 이동에 기여하는 電荷密度로 정해지기 때문이다. 例컨대, 導電率이 작은 액체에서는 이것이 帶電하면 이동에 기여하는 電荷密度가 커져서 그 영향으로 導電率도 커지기 때문이다.

電荷의 緩和 特性은 帶電 電荷의 極성에 의해서도 다를 수가 있다. 실제의 탱크 내에서의 電荷의 완화는 導電率, 초기 電荷密度, 接地体の 형성 및 크기, 帶電 電荷의 極性 등의 영향을 받아 대단히 복잡하다.

3. 帶電 液面에서의 放電현상

帶電 物체가 존재하면 그 주위의 媒質中에는 電界가 형성된다. 電界의 크기는 電荷量에 비례하여 이것이 커져서 어느 限界値를 넘으면 媒質은 電離되어 絶緣性を 잃은 導電성이 된다. 이것이 放電現象이다. 靜電氣에서 문제가 되는 氣中 放電도 帶電量이 점차 커져서 電界強度가 약 30KV/cm 이상 되었을 때에 발생하는 것이라 한다.

그러나 과거에 발생한 재해의 대부분은 그렇지 않고, 放電은 帶電量이 큰 물체와 接地体와의 거리가 작아졌을 때에 발생하고 있다. 즉 放電이 발생하는 방위와 역할은 전술한 양자의 거리가 작아지는 것이다.

帶電한 석유류에서의 放電도 그 하나는 높은 電位

로 되어 있는 帶電 液面に 接地체가 접근했을 때인데, 接地体の 근처에 발광, 破壊音を 수반한 放電이 발생한다. 예컨대, 帶電 液面に 接地体로서 金屬球를 접근시키면 液面 電位와 金屬球의 직경 및 이들의 거리에 의하여 정해지는 放電이 발생한다.

또한 이 때의 放電을 발광형태로 대별하면 ① 코로나 放電 ② 스트리머 코로나 放電 ③ 스파이크 放電의 3종류인데 ②, ③은 着火性 放電이 될 확률이 높다. 이 두 가지 放電은 接地体の 직경이 약 3mm 이상, 액체의 帶電이 負極性일 때에 발생하기 쉽고, 직경 15mm 이상에서는 최소 着火 에너지 수백μJ 정도인 석유류의 着火性 放電이 될 확률이 높다. 물론 帶電 電位가 낮을 때에는 接地체가 접근하여도 放電이 발생하지 않는다.

/cm)을 시작한 직후에 발생했다. 고무 보울은 空氣压送되어 配管内를 약 1 m/S의 속도로 하류에 흐르는데, 폭발은 이 고무 보울이 통과한 配管内의 氣相 공간에서 발생하여 配管이 파괴되고 말았다.

원인은 配管内에 남아 있던 前回の 가솔린 蒸氣가 輕油로 稀釋되어 爆發混合氣가 생긴 것과 配管内의 油膜 및 고무 보울에 靜電氣가 帶電하여 여기서 放電이 발생했기 때문이다. 네오프렌 고무와 같은 絶緣物은 密着시켜서 接觸面積을 크게 하면 着火性 放電을 일으키는 $10^{-6}C/m^2$ 정도의 帶電에 쉽게 되어 여기에서 着火性 放電이 발생한다.

이 事例와 같이 爆發混合氣는 2가지의 석유류의 상호작용으로 형성되는 수가 많고, 이러한 이유로 탱크 로울리에서도 스위치 로우딩이 금지되어 있다. 최근엔 팽이型的의 發泡 스티를을 사용하여 配管内의 殘油를 压送하는 일이 이루어지고 있는데, 이것은 配管의 직경이 1인치 정도로 작으면 위험이 없지만, 이것이 커지면 前記한 災해와 같이 대단히 위험하다.

〈例 2〉

海水에 의한 슈우퍼 탱커의 洗淨作業中에 발생한 폭발의 例인데, 주요 원인은 帶電 미스트로 이루어진 帶電雲과 剝離帶電을 하고 있는 Slug으로서 海水洗淨에서는 길이 30cm나 되는 큰 Water Slug이 탱커의 천정에서 낙하하는 것이 판명되고 있다.

海水를 직경 數mm의 노즐에서 초기 속도 40m/s 정도로 放水하면 側壁에 충돌하여 미스트가 되고 帶電量으로서는 약 $10^{-8}C/m^2$ 정도로 비교적 작지만, 帶電雲이 형성된다. 그러나 帶電雲이 3m 이상의 큰 공간에 형성되면 공간내의 突起物과의 사이에서 放電이 발생했을 때, 이 放電은 着火性 放電이 되는 수가 實證되고 있다. 이러한 帶電雲에 기인하여 발생하는 災해는 주로 帶電雲이 형성되는 공간의 크기에 따르고 있는데, 1m³ 정도의 공간에서는 帶電量이 커도 着火性 放電이 발생하는 확률은 작다. 이것은 노즐, 플렌즈 등에서의 분출 뿐만 아니라 샤워링 및 液滴의 낙하에서도 똑같은데, 帶電 미스트가 數m³ 이상의 큰 공간에 형성되면 災해로 진전되는 수가 많다.

III. 災害 事例

靜電氣에 기인하여 발생한 災해를 분석하면 着火性 放電을 일으킨 帶電 物体는 대부분이 땅에서 絶緣된 導體이다. 구체적으로는 신발類, 마루 바닥으로 絶緣된 人体, 운반할 수 있는 金屬성 容器類, 고무 카스터로 絶緣된 이동장치 등으로, 이들의 導體는 帶電이 작아도 放電을 일으키면 放電에너지가 絶緣物의 그것에 비하여 크기 때문에 着火 폭발을 일으킬 확률이 높다.

예컨대, 탱크 로울러가 新車였기 때문에 그 塗料에 의하여 인체가 絶緣狀態가 되어 帶電하였거나 벤젠 탱크의 샘플링 作業에서 샘플러가 綿로우프로 絶緣되었기 때문에 이것이 帶電하여 폭발을 일으켰다든가 하는 등 災해의 대부분은 導體의 帶電에 기인하고 있다. 그러나 원인은 導體의 帶電에 국한하지 않으므로 다음에 전형적인 災해 두 件을 인용 소개한다.

〈例 1〉

配管内의 殘油처리공정에서 발생한 폭발 災害이다. 이 災해는 輕油를 탱커에서 荷役한 다음에 직경 8인치, 길이 약 230m의 配管内에 殘留하고 있는 輕油를 네오프렌 고무製의 보울(직경 20.7cm, 무게 4.5kg)을 사용하여 空氣压送(压力 3~7kg

IV. 災害 防止 對策

폭발·화재를 방지하기 위한 기본은 두 말할 것도 없이 着火性 放電의 발생방지와 爆發混合氣의 생성방지이다. 그 중에서도 후자의 것은 가장 우선하여 실시해야 하는데, 여기에는 플로우팅 루우프 탱크에 의한 氣相 공간의 제거, 不活性 가스에 의한 氣相 공간의 가스置換 등이 실시되고 있다.

1. 帶電防止 對策

着火性 放電의 방지는 첫째가 帶電방지이며, 帶電防止 對策中 가장 기본적인 것은 接地이다. 이것은 발생한 電荷를 대지에 漏洩시켜서 물체에 電荷가 축적하는 것을 방지하는 것이지만, 電荷의 발생방지에는 효과가 없는 것이다. 뿐만 아니라 때로는 電荷의 발생을 촉진하는 수도 있다.

또한 接地는 導電率이 작은 것에는 효과를 기대할 수 없기 때문에 접지를 실시함에 있어서는 그 대상에 대하여 미리 검토할 필요가 있다. 帶電방지를 목적으로 한 接地·분당방법에 대해서는 많은 연구가 있어야 한다.

한편 석유류는 配管의 굵음, 밸브, 펌프, 필터 등의 마찰에 의하여 큰 電荷가 발생한다. 따라서 이것들을 경유하여 탱크에 充填할 때는 流速을 제한하여야 한다. 예컨대, 탱크에의 톱 루우딩을 할 때의 最大 許容流速은 어떠한 경우라도 7m/s 이하로 억제하도록 하고 있다. 또 보다 안전을 위해서는 流速의 제한 뿐만 아니라, 스플래싱의 발생을 방지하는 充填방법이나 혹은 드롭 파이프를 사용하여야 한다.

석유류의 帶電 防止에는 電荷의 漏洩을 촉진시키는 방법도 있는데, 그러기 위해서는 導電率을 크게 하는 帶電防止劑가 사용된다. 이것은 數ppm 정도의 混入으로 導電率이 훨씬 커진다.

2. 帶電 電位의 억제

着火性 放電은 電位가 높으면 발생한다. 특히 絶緣物은 그 帶電 電位가 낮으면 背面 接地체가 있는 특수한 경우를 제외하고 여기서는 着火性 放電은 발생하지 않는다.

그러므로 接地한 導電性 루우프나 피아노線을 탱크内の 여러 곳에 달아 매거나 줄을 치면 液面 電位는 작아진다. 이 방법은 電位가 帶電量에 비례하지만 靜電容量에 반비례하는 것을 이용한 것이다. 따라서 帶電量은 작게 할 수 없지만, 靜電容量을 크게 함으로써 電位의 감소를 꾀하는 것이다.

또한 탱크内に 게이지 웰을 설치하면 그 속의 液面 電位는 낮아져서 폭발·화재 등의 방지를 하게 된다. 그러나 外側에는 電位句配가 큰 공간이 생겨서 오히려 放電이 발생하기 쉽게 되므로 外側에서 接地體를 접근시키는 것을 해서는 안된다.

3. 着火性 放電의 방지

석유류와 같은 絶緣性 액체는 그 帶電을 억제할 수 없을 때가 많다. 그러므로 前項과 같은 電位를 낮게 억제하는 것도 그 하나이다. 그러나 帶電 液面에서의 着火性 放電(스트리머 코로나 放電, 스파이크 放電)은 液面 電位가 높고 接地體가 平滑한 형상일 때에 발생하기 쉽다.

따라서 放電 에너지가 着火 에너지보다 작게 되도록 液面に 접근시키는 샘플러나 檢尺棒의 先端은 그 曲率半徑을 1mm 이하의 突起된 형상으로 하면 좋다. 이러한 突起한 先端에서 발생하는 放電 에너지는 보통 10 μ J 이하이며, 이 放電 에너지에서는 水素가스에 着火하는 확률도 매우 작아진다.

한편 着火性 放電은 탱크의 크기에도 의존하는데, 直方體 形狀의 탱크에 대하여 着火性 放電의 발생을 조사한 바에 의하면, 탱크의 길이가 약 2m일 때, 최소의 帶電 電荷密度에서 着火性 放電이 발생한다. 그러나 탱크의 길이는 작을수록 안전하다.

그러므로 탱크內에서 接地體가 접근하는 곳에는 金屬으로 隔壁을 설치하여 작은 공간을 만들면 着火性 放電을 방지할 수 있다. 또 탱크의 氣相 공간이 크면 液滴이 만드는 帶電雲도 着火性 放電의 원인이 되기 때문에 공간도 3m³ 이하로 하는 것이 바람직하다.

V. 맺는 말

靜電氣는 再現性이 부족하고 定量的으로 포착

하기 어려운 물리현상이다. 그리고 실제의 공정에서도 모든 곳에서 流動帶電, 剝離帶電, 飛沫帶電, 噴出帶電 등 다양한 靜電氣의 발생공정이 있다. 또 석유류와 같은 絶緣性 액체에서는 電荷의 漏洩을 많이 바랄 수는 없다. 이러한 점으로 미루어 靜電氣의 재해방지는 첫째가 可燃性 混合氣의 발생 방지, 둘째가 着火性 放電의 발생 방지이다. 후자에 대해서는 狀態 및 條件 변화를 極力 억제함으

로써 이들의 變化가 작아지면 着火性 放電이 발생하는 靜電氣 帶電은 일어나지 않는다. 그러한 의미에서는 보수가 불가결한 방지기술이며, 이것은 과학기술이 진보한 오늘날이라해도 기술자가 아니면 실현할 수 없는 것이다.

끝으로 本稿가 이 분야의 文献資料가 부족한 우리나라에 있어서 靜電氣 災害防止를 위하는데 조금이라도 도움이 된다면 幸甚이겠다. *

□ 産油国短信 □

OPEC, 公示油價引下 예상

9월 2~3달러, 전문가分析

세계의 石油전문기관 및 전문가들은 현재 OPEC(石油輸出國機構)가 필사적으로 벌이고 있는 油價안정화 노력에도 불구하고, 유럽의 석유스파트(현물)시황이 5년만에 최저시황을 나타내고 있는 가운데 오는 9월26일의 임시총회에서 원유가격을 1배럴(1백59kℓ)당 2~3달러를 인하하지 않을 수 없는 것으로 전망하고 있다.

美에너지省 역시 현公示價배럴당 29달러는 조만간 26달러까지 3달러가 인하될 것이라고 분석하고 있다.

국제석유시황은 OPEC의 표준원유인 아라비안라이트의 스팩트가격이 6월 하순 이후 급락, 7월 10일에는 배럴당 27.7달러, 26일에는 26.90달러로 공시가격 29달러를 2.1달러나 하회했다.

이같이 석유시황이 부진한 이유는 수요부진과 과잉생산에 있다.

OPEC는 지난 7월 11~12일 비엔나 총회에서 생산상한 하루 1천7백50만배럴(OPEC 생산능력의 60%)을 유지키로 현상유지를 결정하는 한편 나이지리아에 대해 8월 10만배럴, 9월 15만배럴의 증산을 허용하고 그 분량만큼 사우디 아라비아가 감산할 것을 결정했다.

그러나 페르시아만 산유국들은 OPEC의 결정에 불복, 증산에 나서고 있다. 이란·이라크가 전비조

달을 위해, 그리고 나이지리아가 외채상환을 위해 각각 증산에 나서고 있다. 이에 따라 6월의 OPEC생산은 하루 1천8백60만배럴로 생산상한은 하루 1백만배럴을 초과했고 이런 추세는 7월에도 계속됐다.

주요산유국인 소련 또한 우랄산원유의 수출가격을 배럴당 1.50달러 인하했고 사우디의 생산도 6, 7월 두달동안 키퍼량인 하루 5백만배럴을 크게 초과하고 있어 OPEC는 최근 더욱 큰 가격인하 압력을 받고 있다.

OPEC는 4·4분기의 수요회복에 기대를 걸고 있다. 그러나 美에너지省은 OPEC원유수요는 하루 1천9백만배럴이나 페르시아만의 탱커공격이 격화된 2·4분기의 재고누적분의 방출량때문에 공급량이 수요량을 크게 초과, 가격의 대폭회복은 기대하기 어려운 것으로 내다보고 있다.

OPEC는 이같은 염려에 따라 8월중의 석유생산을 하루 1천6백만배럴로 감소시킬 예정이다. 그러나 美國의 대형은행인 뱅크 오브 아메리카는 스팩트가격이 85년 배럴당 28달러를 밑돌것이라고 관측했고 美에너지성도 86년에는 OPEC의 기준가격이 26달러가 될 것이라고 예측하고 있다. 심지어 현재 2달러나 하락한 국제원유가격은 내년말경 무려 15달러선까지 하락할 것이라는 충격적인 전망까지 나오고 있다.