

靜電氣에 依한 火災

陳 炳 林*

1. 序 論

最近 石油化學工業의 迅長과 더불어 그 製品이나 原料를 取扱하는 過程에서 여러가지 形態의 安全事故의 發生이 頻繁하여 지고, 同時에 이에 對한 原因糾明과 對策도 多角的인 面에서 講究되어 지고 있다.

얼마전 當社 鎭海工場의 Howe Baker Unit 에서 發生 하였던 少規模의 火災事故도 역시 石油化學物質 取扱에 따른 一種의 安全事故이나, 靜電氣의 現象에 依한 것으로 一般的인 火災보다 特異한 面이 있어, 當社와 類似한 石油化學物質을 取扱하는 工場實務者에게 참고가 될까 하여 當社 自體에서 調査하였든 結果를 소개 하고져 한다.

2. 事故發生經緯

事故發生場所는 Howe Baker Unit 로서, 當 unit 는 1,200 ppm의 硫黃分을 含有한 암모니아의 原料가 되는 原料 naphtha를 KOH 抽出, 酸洗滌, 中和, 水滌等의 過程을 通하여 naphtha 中 硫黃分의 含量을 30 ppm 까지 除去시키는 것을 目的으로 하는 工程이다.

가) 火災發生日時: 1973年 ○月 ○日 09時 55分(卽時鎭壓됨)

나) 發生地點: 2次 酸洗滌塔 naphtha 入口 周圍

다) 氣象條件: 氣溫 11°C

相對溫度 89 %

大氣壓 773 mmHg

(但, 當日 12時 現在 記錄)

라) 狀況

1) 內容物

Naphtha, 98 % 黃酸 (0.8~1.8 Vol. %), 30 ppm 以上の 硫黃 化合物

2) 2次 酸洗滌塔의 naphtha 入口의 Flange 熔接

部分에서 naphtha 가 漏出-噴射되었고, 噴射方向은 8時 및 10時 方向이었다.

3) Naphtha 의 噴射를 防止키 爲하여 肥料包裝用 PE bag 을 길이로 접어 漏出部分을 씌우고, 형접으로 싸고, PE 의 上下 두곳을 철사로 묶어, naphtha 가 PE 壁을 타고 내려오도록 하였다.

4) 흘러내려오는 naphtha 를 받을수 있도록 鐵製 小型 drum 위에 plastic 製 들통을 놓았으며, PE bag 下端과 들통 上部와의 距離는 25 cm 가량 되었다.

5) Naphtha 의 漏出이 始作될때는 逆轉中이었으며 이때 管内 壓力은 4 氣壓, 溫度는 30度C 内外였다.

6) 漏出部分을 整備할 目的으로 逆轉을 中止시키고, flange 直前に 질소 line 을 連結, 6 氣壓 程度의 壓力으로 naphtha 를 drain 하고 있었다.

7) 漏出 naphtha 가 plastic 들통에 채워지면 큰 drum 에 갓다 비웠으며, 火災가 나가기까지 以上과 같은 操作이 數回 이루어졌으며, 最終 操作이 있는 1分後에 火災가 發生하였다.

8) 目擊者에 依하며 最初 發火는 PE bag 周圍 었다고 한다.

9) 當時 모든 電源은 遮斷되어 있었다.

마) 鎭火

發火된 卽時 CO₂ 및 粉末 消火器로 鎭火作業에 나섰으나 불길은 잡지 못하고 곧 이어 到着한 消防車의 Aer-O-Foam 을 使用하여 數分안에 鎭火되었다.

그러나 火災가 發生한 周圍가 過熱된 狀態였으므로 再發火할 危險性을 防止키 爲해 계속 물을 뿌려 充分히 冷却 시켜 주었다.

火災結果 機械나 裝置에는 全然 被害가 없었고 熔接 作業에 이어 逆轉이 可能하였다.

3. 關聯物質의 物性

가) Naphtha

比重

0.7

(60°F)

* 鎭海化學株式會社 交代課長

| | | |
|---|-------------------------|---------|
| API | 70.6 | (60°F) |
| 粘度 | Sus 28.4 | (100°F) |
| 編硫分 | 217 | ppm |
| Reid 蒸氣壓 | 8.12 lb/in ² | (100°F) |
| (事故直前 入荷분에 對한 實驗值) | | |
| Flash point | 28°F | |
| Ignition temp. | 450°F | |
| Flam mable limit | 0.9~6.0 % | |
| (Fire Protection Guide on Harzardous Materials) | | |
| Resistivity | | |
| (Fire Protection Handbook) | | |
| 나) Resistivity | | |
| Polyethylene | 10 ¹¹ | Ohm-cm |
| Vinylchloride | 10 ¹⁰ | Ohm-cm |
| (電氣材料: 禹亨驊 著) | | |

4. 靜電氣 火災의 Mechanism

石油化學物質 取扱에 隨伴되는 火源은 매우 多樣하나 靜電氣源에 依한 火災는 普遍化되어 있지 않음으로 mechanism에 對한 設明은 靜電氣源에 限하겠다.

靜電氣는 同種 또는 異物質間에 接觸-分離 操作을 通하여 어떤 物體가 荷電을 띄우게 되는 現象이다.

一般的으로 靜電氣가 宿易하게 發生되는 境遇는 다음과 같다.

- 1) 粉碎된 物質이 chute 나 pneumatic conveyor를 通過할때,
- 2) Steam이 混하거나, 空氣나 gas中 異物質이 含有되어 있거나한 狀態에서 pipe나 hose를 通過하여 外部로 流出될때,
- 3) Conveyor belt가 稼動할때,
- 4) 車輛이 움직일때,
- 5) 한쪽 또는 양쪽이 不良導體인 物質間에 接觸面積의 相附의 位置가 變하는 運動을 할때,

靜電氣의 發生은 流速, 液體內의 電群質 含量, 흐름의 形態, 接觸面積等에 따라 加速될수도 있다. 一般的으로 緩流일때는 靜電氣 發生 速度가 流速에 比例하지만, 渦流인 境遇는 流速의 自乘에 比例한다.

液體인 炭化水素物에 不純物이 含有되어 있지 않으면, 靜電氣 發生은 輕微하여 無視할수 있지만, 물, 金屬酸化物, 其他 ion化 될수 있는 化合物이 不純物로서 含有되어 있을때는 靜電氣의 發生이 急激하게 增加되며, 實際 不純物 含量이 0.01 ppm에 지나지 않을 境遇라도 靜電氣 發生은 顯著하게 增加된다고 한다.

靜電純 發生 原理의 繼續的인 影響에 따라 發生되는 荷電은, 附像物體가 絕緣體인 境遇 對像物의 相對的인 potential增加를 超來케 된다. Potential增加에 따라 外部로 漏出되는 電子의 速度는 絕緣이 不完全時 增加되고, 絕緣도가 높을時 自體에 電子의 蓄積이 可能하여 potential增加를 가져오게 되고, 增加가 어느 上限線을 넘게 되면, 周圍大氣의 ion化, 또는 spark形態로 電子의 放出이 發生하게 된다. 어떤 物體의 電子蓄積能力은 帶電能力에 比例하고, 放出能力에 反比例하는 것으로 resistivity와 關聯이 된다.

一般的으로 物體의 resistivity가 10¹⁵ Ohm-cm以上일때는 靜電氣의 帶電이 國難하게 되며, 10¹⁰ Ohm-cm以下일때는 電子의 放出이 比較的 容易하며 靜電氣 蓄積에 의한 potential增加는 그리 深刻하지 않다.

그러나 resistivity가 10¹⁰~10¹⁵ Ohm-cm가 될 境遇 靜電氣의 Net蓄積量은 顯著하여 지고, 10¹³ Ohm-cm일때는 最大의 靜電氣蓄積이 可能하게 된다.

두개의 點 또는 面間에 spark가 發生하려면, 電子가 空間의 媒介體를 돌파하거나 ion化할수 있는 어느程度의 energy를 必要로 하는데, 이때 所要되는 最低 energy는 300~350 Volt에 達한다. 그러나 實際 이 程度의 potential差에 依해 發生되는 spark는 0.0005 inch程度에 지나지 않아 周圍大氣와 電極에 依해 熱로서 吸收되므로 強力한 spark를 誘導할수 있는 energy level은 되지 못한다. 이러한 要件을 감안할때 spark를 誘發키 爲한 充分한 energy level은 1,500 Volt以上이 되어야 한다. 그러나 高電壓에서 일어나는 spark라는 單純한 事實이 可燃性 混合物의 點火를 誘發하지는 못한다. 點火가 일어나려면 可燃性 混合物에 充分한 energy가 spark로 因하여 傳達되어야 한다. 最適條件下에서 Petro Vapor Air 混合物이 點火하는데 必要한 energy는 最小한 0.25 millijoule이 必要하다.

Vapor-Air 混合物의 着火可能性은 主로 炭化水素物質의 蒸氣壓과 flash point에 依해 左右된다. 蒸氣壓이 大氣壓보다 낮은 物性을 갖는 炭化水素物質인 境遇 容易하게 Flammable limit에 到達할수있다. Flash point가 100°F以上 일때는 一般的인 外部條件下에서는 着火되기가 困難하고, 또한 取扱過程에서 foam이나 mist가 發生하여도 着火에 必要한 energy가 매우 높아 靜電氣源에 依한 火災危險度는 낮아진다는 事實이 實驗에 依해 指摘되고 있다.

靜電氣源에 依해 火災가 發生할수 있는 諸要件을 要略하면 다음과 같다.

첫째 靜電氣가 發生할수 있는 操作이 이루어져야 하

고,

둘째 발생된 정전기가 potential 증가를 초래할 수 있도록蓄積되어야 한다,

셋째蓄積된 energy가放出過程에서 Vapor-Air 혼합물을點火시킬 수 있는熱로서供給되어야 하고,

넷째可燃性物質의 Vapor-Air의混合組成이 flammable limit에到達되어야 한다.

5. 火災源에 對한 檢討

火災 以前 一切電源은 遮斷되어 있었고, 當時 감독자 및 작업원의 證言에 따라 一般的인 過失火災가 아나라는 前提를 세웠다.

가) 靜電氣源

1) Pinhole 部分

Naphtha가 漏出된 pinhole 周圍는 pipe에 依해 bonding 되어 있어 靜電氣의 蓄積은 不可能하였을 것이고, PE film으로 쌓여 있어 空氣가 遮斷되어 있었을 것이므로 發火可能性은 排除되어야 할 것이다.

2) PE Film 内部 및 周圍

4氣壓의 內壓을 갖인 管에서 漏出되는 상당한 流速을 갖인 naphtha는 不規則하게 PE와 接觸하여 摩擦을 일으켜 PE에는 電靜氣를 誘發시키면서 plastic들동으로 流入 되었을 것이다. 질소 purging을 始作한 뒤 naphtha의 漏出速度는 한층 加速됨에 따라 絶緣體인 PE는 spark energy를 갖일수 있을 程度의 potential 증가를 超來하였을 것이다. 또한 PE film의 内外 構造를 볼때 naphtha의 mist가 外部로 飛散이 可能하여 쉽사리 flammable limit에 到達할 可能性이 있고 當時 外氣溫度가 比較的 낮았지만 漏出되는 naphtha의 溫度가 flash point를 훨씬 上回하고 있었으므로 發火의 可能性은 濃厚하였다고 볼 수 있겠다.

3) Plastic 들통의 윗부분

들통에 流入된 naphtha를 비우는 操作이 되풀이됨에 따라 絶緣體인 들통은 相當水準의 potential flammable 증가가 超來되었을 것이며 들통 周圍與件은 充分히 flammable limit에 到達하였을 것이다. 따라서 이 부분에서의 發火可能性도 排除할 수 없을 것이다.

나) 自然發火源

前述한 바와 같이 naphtha의 溫度, flash point, reid vapor 등을 考慮할때 點火源이 될수 있는 熱源만이 供給되던 發火할 수 있는 充分한 與件이 부여 되어 있다. 熱源으로서 漏出時 發生되는 摩擦熱이 考慮對像이 될 수 있겠으나, 大氣溫度, PE 面積등을 考慮할 때 摩擦

熱이 熱源으로 寄與하기 以前에 周圍에 吸收되었을 것이므로 火災源으로는 매우 疑問視된다.

다) 化學作用源

1) 硫化鐵의 酸化

硫化鐵은 適當한 溫度下에서 大氣中에 露出되던 酸化反應과 함께 發火한다. 管内 蓄積되었은 硫黃分이 질소 purging時 硫化鐵狀으로 外部에 露出될 可能性은 있으나, 硫化鐵이 直接大氣中에 露出될 境遇는 매우 稀薄하였고, 發火地點을 볼때 硫化鐵源인 可能性은 排除되어야 할 것이다.

2) 黃酸作用

酸-金屬 相互反應에 依하여 發生되는 水素에 依해 暴發이 誘發되었다는 實例가 소개된바 있다. 그러나 이때 사용되었던 黃酸은 98%以上の 濃度로서 酸-金屬 反應이 일어나기에는 너무 濃度가 높다. 따라서 黃酸作用에 依한 發火可能性은 排除될 수 있을 것이다.

6. 結 論

管에서 漏出된 naphtha와 絶緣體인 PE나 plastic과의 相互 接觸-分離 作用에 依하여 靜電氣 發生을 可能케하여, PE나 plastic에 點火 spark를 誘發시키기에 充分한 potential 증가를 超來하였을 것이다. 이때 發生되는 spark를 熱源으로 하여 flammable limit에 到達되어 있는 naphtha vapor에 引火되었을 것으로 推定된다.

참 고 문 헌

- 1) API Bull. 2003; Protection against ignitions Arising out of static, lightening, and stray currents, 2nd edn., API, New York (1967).
- 2) G. H. Tryon; "Control of Static Electricity" Fire Protection Handbook, 13th edn., Chap. 17, NFPA, Boston (1969).
- 3) C. H. Vervalin; Fire Protection Manual, Gulf Publishing Co., Houston (1964).
- 4) ; Fire Protection Manual, Standard Oil Co., California.
- 5) Kirk-Othner; Encyclopaedia of Chemical Technology, 2nd edn, Vol. 12, Inter Science Publishers, New York (1967).