タンカーにおける静電気現象について—I

積荷役時の絶縁導体に蓄積される静電エネルギー

森田 豊*・樋口 穎治*

Static Electricity during Oil Tanker Operations—I

Electrostatic Energy that has Accumulated on an Insulated Conductor during Marine Operations

Y. Morita and E. Higuchi

Abstract

Static electricity generated during marine operations has caused several explosions in oil tanks. So it is necessary to study the static electrifications of oil to determine electrostatic ignition problems and to establish necessary preventive measures. In the study, various phenomena of static electricity must be investigated.

This paper reports an accumulation of free electrostatic charge on an insulated conductor and a spark discharge in the vapor space that possibly causes an explosion.

1. ま え が き

タンカーなどにおいて、油荷役を行う場合、固有抵抗の高い油類（としてクリーン・オイル）では、荷役時の流動によつて静電気を発生し、蓄積された電荷のエネルギーが着火源となつて爆発事故を生じた例があり、とくに最近では陸上においてこの種の事故を発生した例が数多く報道されている。また、タンククリーニングの際噴出する水蒸気が原因する帯電電荷の放電によつて爆発事故を生じた例もある。さらにまた、最近の化学繊維製の衣類などがこの種の事故の原因となるのではないかという疑いもある。

筆者等は、静電気が原因となるタンカーなどの爆発災害を防止する対策をたてることを最終目的として数年来静電気現象について研究し、すでに一部報告している〔1～8〕が、今回は帯電油で運ばれる電荷で絶縁導体（たとえばホース先端の金属ノズル、試料採集缶、検尺錘など）に蓄積しうる静電エネルギーの、放電による着火の可能性についての理論的考察と実験結果とについて報告する。

2. 静電荷の発生源について

実験室および製油所現場における計測データによると、静電荷の主な発生源はポンプ（特に回転式ポンプ）、フィルタなどであるが、移送管の一部に絶縁質パイプが使用されているとこれもまた主な発生源たりうる。金属導体管も発生源の一つではあるが、前に大きな発生源があれば金属管はむしろ電荷の漏洩に寄与する面が大で、移送管の長い場合はタンクへの流入電荷が少なく

*東京商船大学（東京都江東区深川越中島町）

なり、積込現場のままの状態では測定がほとんど不可能に近いくらいに減少する。

3. 接地金属管より大地に洩れる電荷

ポンプなどの主発生源によつて帯電した石油が金属管を通して流れる場合、管内で発生する電荷を無視し、管内の電荷密度が均一で流速一定とすると、油のもつ電荷は接地金属管より次式によつて減少する。

$$Q = Q_0 e^{-\frac{l}{\epsilon \rho v}} \quad [C] \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし Q_0 = ある断面において油のもつ電荷量 $[C]$

l = その断面からの距離 $[m]$

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_s$ = 油の誘電率 $[F/m]$

ϵ_0 = 真空の誘電率

ϵ_s = 油の比誘電率

ρ = 油の固有抵抗 $[\Omega \cdot m]$

v = 流速 $[m/sec]$

4. 蓄積静電荷の放電による着火

絶縁されている導体の静電容量を $C [F]$ 、電位を $V [V]$ とすれば、この導体には

$$P = \frac{1}{2} CV^2 \quad [J] \quad \dots\dots\dots (2)$$

の静電エネルギーが蓄積されるが、これが

$$P \geq 2 \times 10^{-4} \quad [J] \quad \dots\dots\dots (3)$$

なる大きさで、爆発性混合気中で放電すると着火エネルギーとなりうる。

(1)式で表わされる電荷が、逆に管の一部が得る電荷と考えると、絶縁された導体の管があればそこに電荷が蓄積され、それによつて絶縁導体管の電位は次式

$$V = V_0 (1 - e^{-\alpha t}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

図1 球電極の電位

図2

によつて上昇する。

ただし、 V_0 =電位の飽和値

$1/\alpha$ =時定数

t =時間

帯電油が一定速度で流動している中に、絶縁された導体が固定されている場合も同様に電荷を蓄積して、(4)式によつて電位を上昇する。われわれは、帯電油の流動している直径10 [cm] の管中に1 [cm] の金属球電極を固定し、球の電位を測定して図1の実線を得た。この場合の時定数を $1/\alpha=RC$ (R =表面抵抗 [Ω], C =球の系の静電容量 [F]) とし、電位の飽和値 $V_0=1450$ [V] をとると、(4)式あるいは図1より $\alpha=4.6 \times 10^{-3}$, したがつて $R=4.36 \times 10^{12}$ [Ω] を得る。

これにより、たとえば図2の方式で小形タンカーに積込む場合(直径5 [cm], 長さ10 [cm] の金属ノズルのついたゴムホースで1 [kl/50s] で積込み)に適用して、爆発着火エネルギーを蓄積する時間を求めてみる。ノズルの表面抵抗が表面積に逆比例し、ノズルの静電容量を1000 [PF] として(2)(3)(4)式より計算すると、0.2 [mJ] のエネルギーを得るのに23秒あればよいことになる。すなわち、積込時間(秒)/23回は着火エネルギーが放出されうることになる。

5. 結 言

以上の結果から、油類積込み中において、タンク中に絶縁導体が存在する場合は、爆発性石油ガスに着火しうる静電エネルギーを蓄積し、放電するチャンスがたびたびあることがいえる。最近の油類の取扱量の増加とともに発生している爆発災害には、この種の絶縁された導体よりの放電が原因のものが多。

静電気で爆発が発生するためには、空気との適当な混合比のガスが存在し、その部分において300 [V], 0.2 [mJ] 以上のエネルギーで放電されることが必要である。油類の作業所において静電気による爆発事故が比較的少ないのは、これらの条件が時間的に一致するチャンスが少ないからであるが、上記のようにその可能性はつねに含んでいとみなければならない。

災害を防止するには、静電気の発生そのものを少なくするよう設計すべきはもちろんであるが、静電荷が蓄積しないように導体部分を全部接地することが必要である。事故の多くの例には、導体部分の絶縁されたままであつたものが多い。

6. あ と が き

一方また、導体部分を全部接地してある(と称する)にもかかわらず爆発災害の発生した例がある。これについては、油面よりの放電、油面上ガス中での電気破壊が生じたものと考えられる。この問題については目下研究中で、後日の機会に報告したい。

この研究にあつては、日本海難防止協会よりの委託研究を含み、多大の御援助をいただいていることに深く謝意を表する。

参 考 文 献

- [1] 森田, 小川: 流動による軽油の帯電について, 電気学会東京支部大会講演論文集, (1959), 277
- [2] 森田, 樋口: 石油の流動による静電気の発生について, 電気学会東京支部大会講演論文集, 1 (1964), 386
- [3] 森田, 樋口: タンクローリにおける帯電現象, 9学協会第9回静電気研究発表会要旨, (1964), 42

- [4] 森田, 樋口: 石油流動時の静電気発生源について, 9 学協会第10回静電気研究発表会要旨, (1965), 12
- [5] 森田, 樋口: 帯電油の容器内における油面電位について, 電気学会 東京支部 大会講演論文集, 1 (1964), 388
- [6] 森田, 樋口: 帯電油の油面電位について, 9 学協会第10回静電気研究発表会要旨, (1965), 15
- [7] 森田, 外: 油の流動による静電気の発生について(1), 東京商船大学研究報告, 10 (1959), 137
- [8] 森田, 外: 油の流動による静電気の発生について(2), 東京商船大学研究報告, 12 (1961), 175