

# Ozonizer 의 電氣的 設計에 關한 一考察

(A Study on the Electric Design of Ozonizer)

成 英 權\* 金 旺 坤\*\*  
(Young Kwon Sung, Wang Kwun Kim)

### [ABSTRACT]

We have been studying on the discharged phenomena of compound dielectrics for insulator which is very important in electric machinery and et al. In this paper we come to the conclusion that as a result of studying on the electric design of Ozonizer, the higher frequency becomes the better output could be got, and then discharge power could be the greatest by selecting the distance of the discharge gap and atmospheric pressure properly under the same applied voltage, and that power factor of the Ozonizer reached the maximum power at a particular frequency when the discharge power is maintained at constant.

### 1. 緒 言

固體 液體 氣體 等の 두개 이상으로 이루어진 複合誘電體의 放電現象은 基礎工學의 見地에서 뿐만 아니라 實用上 여러 方面에 利用되어 問題로 되어 있다. Siemens Ozonizer 를 위시하여 옛날부터 알려지고 있는 여러가지 Ozonizer 는 空中窒素의 固定이나 潤滑油 香料 등의 製造에 利用되고 있으나<sup>(1)</sup> 특히 오늘날 産業發展으로 因해 都市에서의 Smoke 災害等の 空氣汚染의 淸淨化나 地下鐵道 등의 空氣의 淨化, 飲料水의 殺菌 등에는 必要不可缺한 것으로 그 重要性은 더욱 크다.

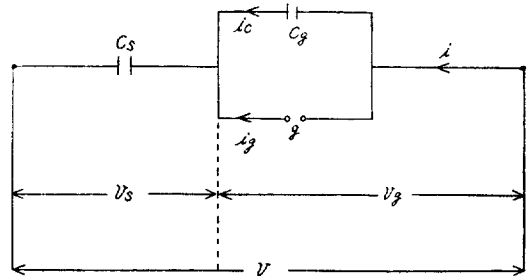
또 複合體의 放電은 電氣機器에서도 大端히 重要하다.<sup>(2)(3)</sup> 即 電氣機器에 있어서의 絶緣은 含浸工程의 不備, 使用中的 熱 Cycle 에 의한 膨脹이나 收縮, 機械的 振動, 化學的 浸蝕 및 構造上 많은 微小空隙(Void)이 存在하여 거의 複合體形으로 되어 있다. 이러한 Void 에 高壓交流를 印加하면, 空中放電이 일어나 絶緣物을 劣化시켜 破壞에 이르게 된다. 따라서 이러한 Void 속의 Corona 의 檢出에 依하여 機器絶緣의 劣化나 大事故를 未然에 防止하는 것이 大端히 重要한 課題로 되기 때문에 筆者들은 放電機構를 物性論의으로 明白히 함과 同時에 Void corona pulse 의 檢出方式을 考案해서 Void 放出에 依한 絶緣劣化 豫知法을<sup>(4)</sup> 어느 程度 講究해 왔으나 本報에서는 Ozonizer 의 電氣的 設計에 對해 檢討한 結果를 報告한다.

### 2. Ozonizer 放電의 電氣的 等價回路와 解析

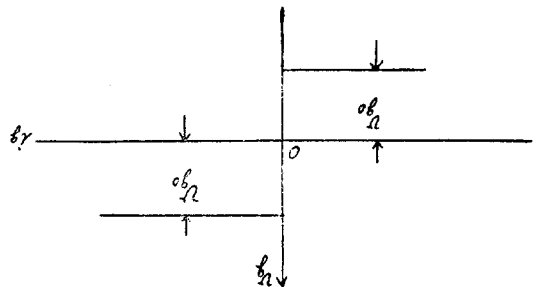
Ozonizer 放電은 원래 上述한 바와 같이 Siemens Ozonizer 속의 放電을 意味하는 것이나 이를 廣義로 解析해서 「放電路속에 直列로 介在하는 誘電體薄層을 通해서

行해지는 氣中放電의 總稱이다」라고 定義할 수 있다. 따라서 이 誘電體薄層은 放電을 일으킬 때 Arc 에 依한 轉移를 抑制함과 同時에 集中의으로 局部放電이 일어나는 것을 防止하는 등 電流 抑制作用을 하기 때문에 安定層이라고 부른다.

假令 平均電流나 放電電力을 問題로 하는 경우의 Ozonizer 의 等價回路는 (그림-1) 처럼 近似할 수 있으며 이로부터 Ozonizer 放電電力이 求해지고 Ozonizer 設計의 基本的인 方針이 얻어진다. 여기서  $C_s$  는 誘電體 安定層을 靜電容量으로서 나타낸 것이며  $C_g$  는 放電空間의 幾何學的 靜電容量을 나타낸 것이다.



(그림-1) Ozonizer 等價回路  
Fig. 1. Equivalent circuit of Ozonizer



(그림-2) 放電維持電壓-電流  
Fig. 2. Voltage-current characteristics for discharge maintenance

\*正會員：高大理工大, 工博  
\*\*正會員：忠州 工專

또  $g$  는 (그림-2)에 나타낸 바와 같은  $v-i$  특성을 가진 非線型要素로서 近似的으로 氣體空間의 放電을 나타낸다.

지금 各部의 電壓을 (그림-1)에 나타낸 것 같이  $v$ ,  $v_s$ ,  $v_g$  라고 하면 正弦波交流電壓  $v = \sqrt{2} V \sin \omega t$  를 印加했을 때의 電流  $i$  를 求해 보기로 한다.

(그림-1)에서  $v = \sqrt{2} V \sin \omega t = V_m \sin \omega t$  인 交流電壓을 印加했을 때의 回路方程式은 放電이 나타나지 않는 消火期間과 放電이 일어나는 點火期間으로 나누어 다음과 같이 나타낼 수가 있다. 卽

(i) 消火期間

$$i_g \equiv 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$i = i_c = C_g \frac{dv_g}{dt} = C_s \frac{dv_s}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

$$v_s + v_g = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (3)$$

(ii) 點火期間

$$v_g \equiv v_{g0} \dots\dots\dots (4)$$

$$i_c = C_g \frac{dv_g}{dt} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$i = i_g = C_s \frac{dv_s}{dt} \dots\dots\dots (6)$$

$$v_s + v_g = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (7)$$

따라서 電流波形에서 消火期間中의  $t=0$  부터 다음에 點火하는  $t=t_1$  까지 그 사이에서 (i)을 使用하여 (2)式과 (3)式에서 電流  $i$  는

$$i = \frac{C_s C_g}{C_s + C_g} \omega V_m \cos \omega t \dots\dots\dots (8)$$

(8)式과 (2)式에서

$$v_g - (v_g)_{t=0} = \frac{C_s}{C_s + C_g} \cdot V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (9)$$

假定한 바와 같이  $t=t_1$ 에서  $v_g = v_{g0}$ 로 되어 點火하기 때문에

$$v_g - (v_g)_{t=0} = \frac{C_s}{C_s + C_g} \cdot V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (10)$$

또  $t=t_1$ 에서 點火하여  $\omega t_2 = \frac{\pi}{2}$ 인 時刻  $t_2$ 로 되면 (6)式으로부터  $i=0$ 로 되기 때문에 消火한다.

이  $t_1$ 부터  $t_2$ 까지의 點火期間中은 (ii)를 上述한 바와 같은 方法으로 積分하면

$$i = i_g = C_s \omega V_m \cos \omega t \dots\dots\dots (11)$$

$$v_s = -v_{g0} + V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (12)$$

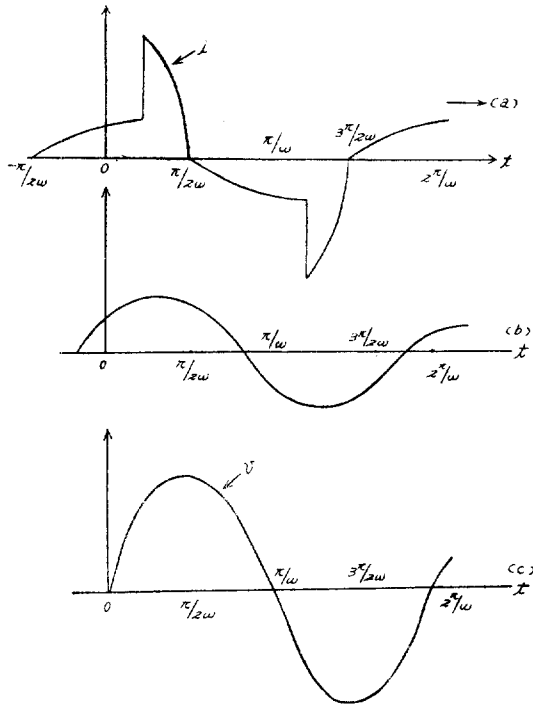
로 된다.

다음에 消弧期 點弧期間에 對해서도 亦是 (i)(ii)를 適用하면 (8), (9), (10)式에 該當하는 式을 얻게되나  $t_1$ 과  $(v_g)_{=0}$  등의 未定常數가 남는다. 이것은 그 풀이를 點火, 消火 등의 瞬間의 電荷連續과 定常解의 週期性으로서 消去되어 다음과 같은 式을 얻게 된다.

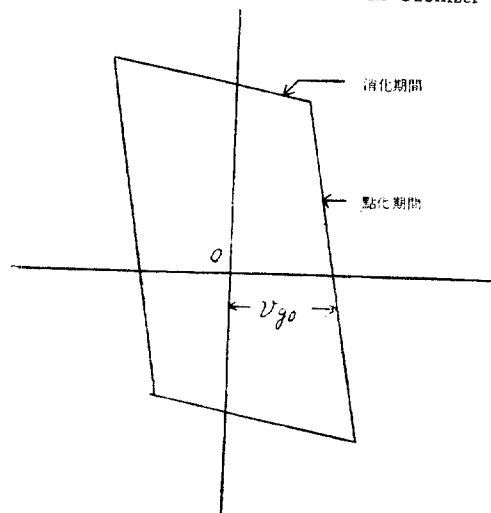
$$\text{卽 } \omega t_1 = \sin \{2v_{s0} [C_s + C_g] / V_m C_s - 1\} \dots\dots\dots (13)$$

$$i = \begin{cases} C_s \omega V_m \cos \omega t & (t_1 < t < \frac{\pi}{2\omega}) \text{ 點火期間} \dots\dots (14) \\ \frac{C_g C_s}{C_g + C_s} \omega V_m \cos \omega t & (t_1 - \pi < t < t_1) \text{ 消火期間} \dots\dots (15) \end{cases}$$

따라서 電流  $i$ 의 波形은 (그림-3)처럼 나타낼 수가 있다.



(그림-3) Ozonizer 電流  $i$ 의 波形  
Fig. 3. Wave form of current  $i$  in Ozonizer



(그림-4) 電荷  $q$ -印加電壓  $v$  間의 Lissajous-Ryan 圖  
Fig. 4. Lissajous-Ryan form of charge  $q$ -applied voltage  $v$  characteristics

여기서 點火區間의 始作을 나타내는 時刻  $t_1$  은

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \sin^{-1} \left\{ \frac{2V_{g0}(C_g + C_s)}{V_m C_s} - 1 \right\} \dots\dots\dots (16)$$

한편 (15)式 으로부터 電流  $i$  의 平均値  $I_{ave}$  를 求하면

$$I_{ave} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} i dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{C_g C_s}{C_g + C_s} \omega V_m \cos \omega t dt$$

$$= 4f C_s \cdot C_g V_m / (C_g + C_s) = 4f C_s (V_m - V_{g0}) \dots\dots\dots (17)$$

放電電力  $P$  는

$$P = \frac{1}{T} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} v_{g0} i_g dt = \frac{2}{T} V_{g0} C_s \omega V_m \left[ \frac{\sin \omega t}{\omega} \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$= 4f V_{g0} C_s V_m = 4f V_{g0} V_m C_s \left\{ 1 + \frac{V_{g0}(C_g + C_s)}{V_m C_s} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

이다.

이는 (그림-4)의 Lissajous-Ryan 圖에서도 求할 수가 있다. 卽 (그림-4)는 Ozonizer 의 誘電體에 蓄積되는 電荷  $q$  와 印加電壓  $v$  와의 Lissajous-Ryan 圖形으로서 放電期間中 氣體空間에 印加되는  $v_g$  가 一定值  $v_g$  를 取한다고 하여 準靜電的인 考察에서 導出된 것이다. 이 Lissajous-Ryan 圖形의 面積과 周波數  $f$  와의 곱이 放電電力이기 때문에 (18)式과 같이 求해진다.

### 3. Ozonizer 의 電氣的 設計

前節에서 求한 Ozonizer 의 回路의인 特性을 가지고 主로 가장 電氣的인 最良條件을 갖출 수 있는 Ozonizer 의 電氣的인 設計를 論하기로 한다.

一般的으로 Ozonizer 放電에 依해서 일어나는 化學反應 ( $3O_2 \rightarrow 2O_3 - 69 \text{ Kcal}$ )은 容量性電流를 除外한 intrinsic 放電電流와 電子溫度  $T_e$  에 關係한다. Ozonizer 에서는 交流를 使用하기 때문에 intrinsic 放電電流를 直接 求하기는 困難하므로 放電電力을 測定해서 化學反應에 對한 尺度로 하는 것이 좋다. 그 放電電力은 前節의 (18) 式에서 求할 수가 있으나 放電空間에 消費되는 電力  $W$  는 主로 電子의 誘電體 分子의 衝突로 因한 損失로서

$$W = P_i + P_{elas} + P_{ex} \dots\dots\dots (19)$$

와 같이 分子를 イオン化시키는 energy  $P_i$ , 彈性衝突로써 gas 溫度를 높이는 損失  $P_{elas}$  및 分子를 勵起시키기 위한 損失  $P_{ex}$  로써 구성된다. 이 中에서 放電化學反應에 關係하는 것은  $P_i$  와  $P_{ex}$  이기 때문에 電子溫度  $T_e$  가 一定하면 이 둘은 全損失 energy  $W$  에 比例한다. 따라서 氣壓 間隔長 등이 一定한 경우 Paschen 의 法則에서 電子溫度  $T_e$  는 어느 程度 定해지기 때문에 放電化學反應은 消費電力  $W$  에 依해 左右된다. 이와 같은 理由로써 다음과 같이 주어진 條件下에서 어떻게 해서 放電電力을

最大로 할 수 있는 가를 考察해 보기로 한다.

i) 最大出力  $P_{max}$

Ozonizer 의 最大放電電力은 安定層의 誘電體의 絶緣破壞로서 制限된다. 지금 어떤 주어진 條件下에 있어서의 放電空間 單位體積當의 最大放電電力  $P_{max}$  는 安定層의 絶緣耐力를  $E_s$  라고 하면 (18)式 으로부터 計算을 加하면

$$P_{max} = \frac{f \cdot E_{g0}^2}{\pi} \left( \frac{\epsilon_s E_s}{E_{g0}} - 1 \right) \dots\dots\dots (20)$$

를 얻는다. 여기서  $E_{g0}$  는 放電期間中의 放電空間의 電界強度이며  $\epsilon_s$  는 安定層의 誘電率이다. 卽 單位體積當의 最大放電電力은 周波數, 氣壓 및 安定層材料에 依해서 一義的으로 決定된다. 따라서 上式에서부터 安定層으로서는 (誘電率×破壞強度)가 큰 것을 選擇하여야 할 것이 結論된다. 또 最大出力은 電源周波數에 比例해서 크게 된다.

ii) 氣壓의 影響

다음에 印加電壓  $V_m$  및 Ozonizer 의 寸수가 주어진 경우 放電電力을 最大로 하는 氣壓 또는 放電電壓  $V_{g0}$  를 求해본다. (18)式 으로부터  $\partial P / \partial V_{g0} = 0$  이라고 하면 이를 滿足하는  $V_{g0}$  는

$$(v_{g0})_{opt} = \frac{V_m}{2} \cdot \frac{C_s}{C_s + C_g} \dots\dots\dots (21)$$

이며 이 때의 電力은

$$P_{opt} = 2f V_m^2 \left( \frac{C_s^2}{C_s + C_g} \right) \dots\dots\dots (22)$$

이다. 普遍的인 Ozonizer 에서는  $C_s \gg C_g$  이기 때문에 (21)式은 印加電壓이 放電空間과 安定層으로 等分되어 있는 狀態로서 最大放電電力이 發生하는 것을 意味한다.

iii) 放電空間 間隔長  $l$  의 影響

放電空間의 間隔長  $l$  만을 Parameter 로서 바꿀 때 그에 應해서  $v_{g0}$  가 變하여 어떤  $l$  에 對해서 最大電力이 生起게 된다. 따라서 ii)項과 같이

$$(v_{g0})_{opt} = \frac{V_m}{2} \cdot \frac{C_s}{C_s + C_g} \dots\dots\dots (23)$$

$$P_{opt} = 2f V_m^2 \frac{C_s^2}{C_s + C_g} \dots\dots\dots (24)$$

로서 나타낸다.

iv) 周波數  $f$  의 影響과 力率

(18)式과 (20)式에서 보는 바와 같이 Ozonizer 放電의 電力은 電源周波數에 比例하여 增加한다. 따라서 이러한 意味에서는 周波數가 높을수록 좋다. 그러나 周波數가 높게 되면 容量性임피던스가 低下되어 그에 따라 力率이 低下하여 安定層의 不均一性에 依한 放電의 集中化가 期하게 되는 등의 弊害가 있다. 따라서 이러한

意味에서 實用的으로 最適周波數가 存在하게 된다.

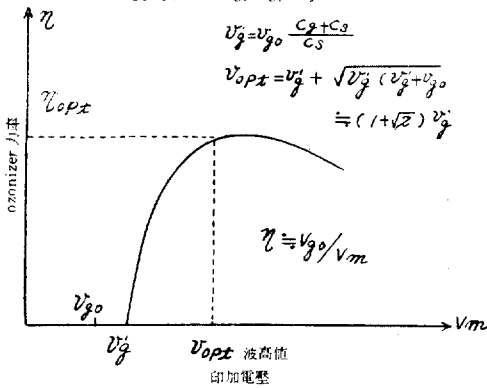
Ozonizer의 力率  $\eta$ 는 近似的으로

$$\eta = \frac{V_{g0} \{1 - V_{g0}(C_g + C_s) / V_m C_s\}}{V_m - V_{g0}} \dots\dots\dots (25)$$

되어 (그림-5)에 나타낸 것처럼 印加電壓  $V_m$ 과 더불어  $V_{g0}$ 의 處에서 급격히 增加해서 最大值를 經어서 低下하게 된다.

한편 放電電力  $P$ 를 一定하게 하고 周波數  $f$ 를 變化시키면 力率  $\eta$ 는 어떤 周波數  $f_{opt}$ 에서 最大로 된다. 卽 다음 式으로 나타낼 수가 있다.

$$f_{opt} = \frac{P}{4V_{g0}^2 \{(C_s - C_g)C_g / C_s\}} \dots\dots\dots (26)$$



(그림-5) Ozonizer 力率-印加電壓特性

Fig. 5. Characteristics of power factor-applied voltage for Ozonizer

#### 4. 結 論

以上の 考察에서 다음과 같은 結論이 얻어진다. 卽

i) 安定層의 材料로서는 될 수 있는 限 誘電率과 絶緣破壞強度의 곱이 큰 것을 使用하여야 한다.

ii) 周波數가 높을 수록 同一 印加電壓에 對해 큰 出力이 얻어진다.

iii) 放電空間의 間隙長 및 氣壓을 適當히 選擇함으로써 同一 印加電壓에서의 放電電力을 最大로 할 수가 있다.

iv) Ozonizer 力率은 어떤 印加電壓에서 最大로 되며 또 放電電力을 一定하게 지니게 하면 Ozonizer 力率을 最大로 하는 周波數가 存在한다.

#### 參 考 文 獻

- (1) Lind & Glocker: The Electrochemistry of Gaseous and Other Dielectrics (1949) Chap II.
- (2) Whitehead: Dielectric Breakdown of Solids (1953) Chap IV.
- (3) Y. Sung & Y. Inuishi: J.Phys.Soc.Japan 18 Supple. II, (288) (1963)
- (4) 成英權: 大韓電氣學會誌 Vol. 16 No. 3 (1967)
- (5) S. Reynolds: A.I.E.E. Trans. 1186 (1958)