

論 文
36~11~6

# 펄스電壓을 인가한 円 톱날形 오존發生器의 特性研究

## Parametric Study of a Sawtooth Disk Type Ozonizer Applying a Pulse Voltage.

文 在 德\* · 金 滄 守\*\*  
(Jae-Duk Moon · Chang-Soo Kim)

### ABSTRACT

The ozone generation characteristics are reported for a sawtooth disk to cylinder geometry using positive and negative pulse corona. A series of parametric studies was carried out to obtain optimum values for the pulse repetition frequency as well as the shape and dimensions of the discharge disk and the discharge spacing. Two types of ozonizers were studied: the single disk and the multi-disk.

The results of the single disk ozonizer showed that positive corona produced a significantly higher ozone yield than negative(7ppm/peak watt or 3.5 times larger). However the negative corona produced a much more controllable output which enabled the ozone generation to be directly controlled by adjusting the value of the peak pulse voltage. This offers significant advantages for electrical control of the output for small ozonizers. The results showed that the single disk ozonizer is ideally suited for applications requiring very small controlled quantities of ozone whereas the multi-disk unit can be designed to provide varying outputs depending upon the number of disk electrodes used.

### 1. 序 論

오존은 強力한 酸化力을 가지고 있어서 殺菌作用은 뛰어난데, 脫臭, 脫色, 有毒性物質의 分解, 鐵이나 망간이온의 酸化等 매우 有用한 淨化能力을 가지면서도 最終的으로는 酸素로 되돌아가므로 二次公害를 일으키지 않기 때문에 上下水處理, 産業排廢水 등의 處理等에 쓰여 왔으며,<sup>1)</sup> 또 最近에 이르

러서는 食品의 貯藏 및 殺菌處理, 居住空間이나 産業工程上의 脫臭 및 殺菌, 纖維類 및 펄프工程上의 漂白, biohazards 防止 등에도 적용되고 있다.<sup>2,3)</sup>

筆者는 디-셀排塵用 電氣集塵裝置用 荷電裝置開發中 円 톱날-円筒구조가 매우 간단하면서도 보통의 荷電裝置보다 數十~數百倍의 큰 코로나放電電力을 가지며, 또 오존生成에 가장 有效하다고 알려져 있는 streamer corona 放電을 安定하게 일으키는 構造를 확인했으며,<sup>4,7)</sup> 또 이 電極構造가 小型오존發生器로서도 우수함이 확인되었다.<sup>2,3)</sup>

本 研究에서는 이와같은 円 톱날-円筒電極 構造를 갖는 높은 放電 電壓을 인가할 수 있는 正·負 펄스電壓<sup>8)</sup>을 인가함에 따른 오존發生特性, 円 톱날數, 펄스周波數, 電界調節電極의 길이, 円 톱날-円筒電極間의 放電間隔, 供給空氣量, 放電球間隔 및 円

\* 正會員 : 慶北大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博

\*\* 正會員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 碩士課程

接受日字 : 1987年 7月 6日

1次修正 : 1987年 9月 3日

표 1 약어설명표

Table 1 Nomenclature

C	Ozone concentration
$C_{max}$	Maximum ozone concentration
$C_{pf}$	Pulse forming capacitor
D	Outer cylinder diameter
d	Inner cylinder diameter
$d_c$	Corona disk diameter
$f_r$	Applied pulse repetition frequency
$h_c$	Corona tip height = $(d_c - d)/2$
$I_p$	Peak pulse current
$l_f$	Field-controlling electrode length
$N_c$	Corona disk number
$n_c$	Sawtooth point number on a corona disk
$Q_{in}$	Air flow rate
S	Discharge spacing
$S_{sp}$	Ball-to-ball spark gap of pulse generator
$V_p$	Peak pulse voltage
$V_B$	Breakdown voltage
W	Pulse power = $\frac{1}{2} f_r C_{pf} V_p^2$
$W_p$	Peak power = $I_p V_p$
Y	Ozone yield

톱날板數에 따른 오존發生 特性을 研究檢討하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

本 實驗에 使用된 두 종류의 오존發生器를 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)의 원톱날-원통구조의 單門板 오존發生器는 接地된 外部圓筒電極(D=49mm, 스테인레스)의 中心軸에 한개의 원톱날형의 放電板(0.1mm 두께의 스테인레스판,  $d_c=33mm$ )과 兩側에 고리모양의 電界調節電極이 附着된 放電유니트를 絶緣棒(nylon 6,  $d=29mm$ )에 의해 지지하고, 이 絶緣棒의 中心軸을 통하여 高電壓펄스를 인가하도록 되어있다. 본 원톱날-원통구조는 매우 큰 코로나 放電電力을 가지며,<sup>4,6)</sup> 또 電界調節電極은 원톱날상의 각 침끝의 코로나放電을 더욱 安定하고 強力하게 하는 機能을 가지고 있다.<sup>4,6)</sup> 그림 1(b)의 多門板 오존發生器는 單門板 放電유니트를 여러개 直列로 重疊配置시킨 것으로 基本形인 單門板 放電유니트 數를 적당히 增加시킴으로 發生오존量을 적절하게 증가시킬수 있게 되는 長點을 가지게 된다. 그림 2는 實驗에 使用된 오존발생기용 電源裝置로서, (a)

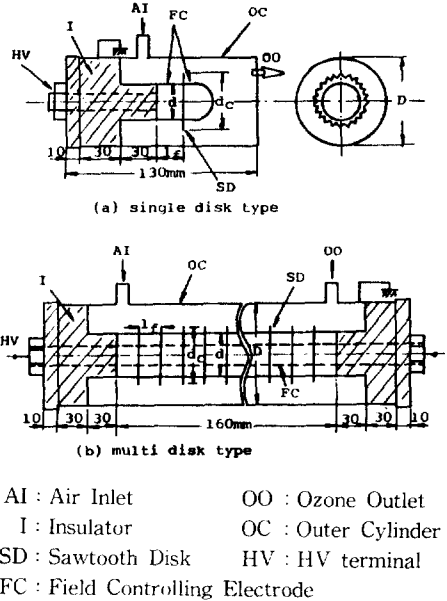


그림 1. 오존發生器의 概略圖  
Fig. 1 Schematic diagram of ozonizers.

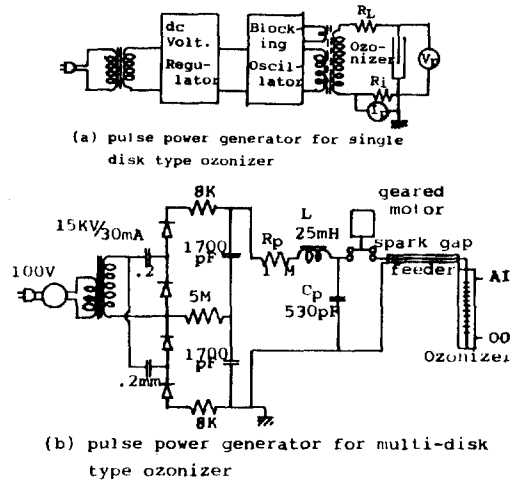


그림 2. 펄스 電源裝置 概略圖  
Fig. 2 Puls power generators for ozonizer.

는 單門板用, (b)는 多門板用을 나타낸다. 單門板用의 電源은 브로킹발진회로와 고주파트랜스를 사용하였으며, 파이크出力電壓은 약 15KV이고 펄스 주파수는 110pps이다. 多門板用電源은 콘덴서에 충전된 에너지를 回轉放電球(19mm $\phi$ , 스테인레스球)에 의해 自爆放電시켜서 얻은 펄스를 사용했으며,<sup>7)</sup> 파이크出力電壓은 最大 65KV, 펄스주파수는 60pps로 고정하였다. 그림 3은 시스템의 공급공기유동도

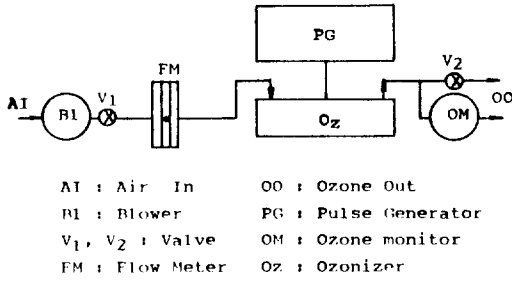


그림 3. 供給空氣流通圖

Fig. 3. Air flow chart of experimental set-up.

로서, 공급공기는 室內空氣 (10 ± 2°C, 80 ± 5%RH) 를 송풍기로 오존발생기에 공급시키 사용했다. 出口의 發生오존濃度는 오존모니터(Dasibi M1006 A-HJ Japan)을 사용하여 직접 측정하였다.

3. 實驗結果 및 考察

그림 4는 單田板오존發生器의 正 및 負펄스인가시의  $V_p$  변화에 따른  $C$  및  $I_p$  특성이다.  $+V_p$  경우는 매우 좁은 電壓領域內에서  $C$ 와  $I_p$ 가 급격히 增加했고,  $-V_p$  때는 매우 넓은 電壓領域에서  $C$  및  $-I_p$ 가 서서히 增加했으며,  $V_B$  이후의 감소는 兩極性 모두 급격했다. 이는 오존生成空間의 放電電流와 오존生成이 매우 밀접한 관계가 있음을 보여준다. 즉  $O_2 \rightarrow 2O$ 로 되기위한 放電空間內의 電流캐리어

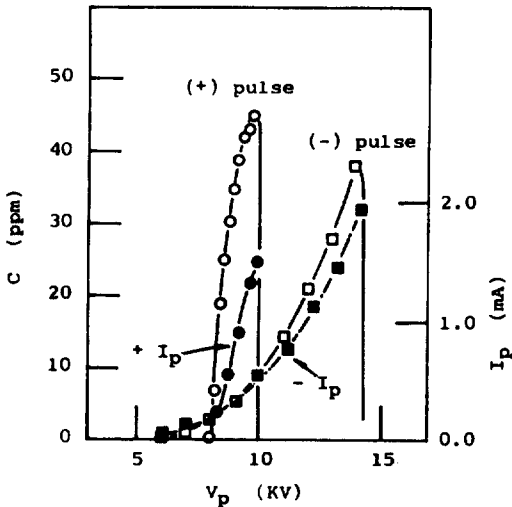


그림 4.  $V_p$  변화에 따른  $C$  및  $I_p$  특성

Fig. 4.  $C, I_p - V_p$  characteristics. ( $n_c=24, S=8, I_r=5$ )

의 산소에의 衝突解離를 생각해 보면, 전자가 캐리어인 부펄스의 경우  $-V_p$ 가 증가함에 따라  $-I_p$  즉 전자수가 증가하고 이에 따른 충돌해리 가능성이 높아져서  $O_3$  발생량이 증가되나, 캐리어가 정이온인 정펄스의 경우는  $V_p$ 가 어느 정도 증가되어도 정이온의 드리프트속도는 매우 낮아서 산소를 충돌해

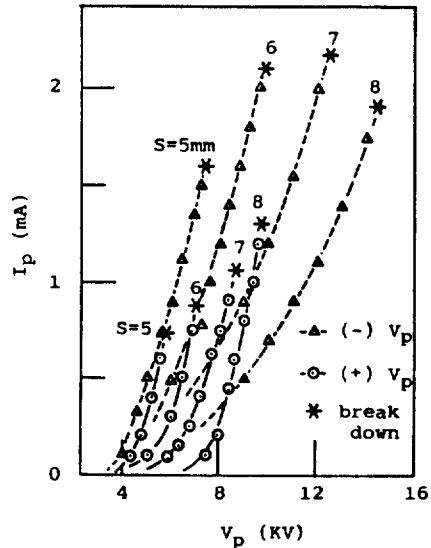


그림 5. 펄스極性에 따른  $I_p - V_p$  특성

Fig. 5.  $I_p - V_p$  characteristics as a function of  $S$ . ( $n_c=24, I_r=5$ )

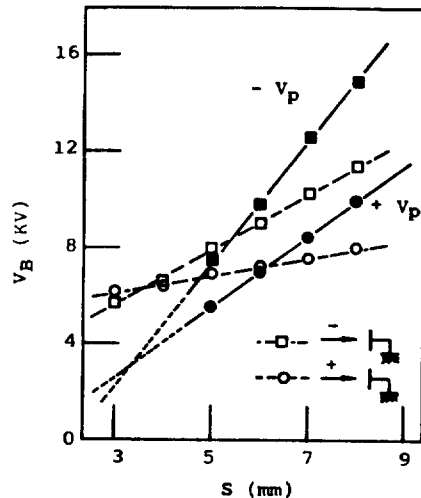


그림 6. 針對平板電極과 비교한  $V_B - S$  특성.

Fig. 6.  $V_B - S$  characteristics. ( $n_c=24, I_r=5$ )

리 할수 있는 충분한 에너지를 갖지 못하다가 어느 전압(8KV 정도)을 넘으면 비로소 해리에너지를 갖게되고 +V<sub>p</sub>와 더불어 급격히 충돌해리 확률이 높아지는 것으로 간주된다. 正펄스의 경우 負펄스보다 C값은 1.2배로 많으나, 負펄스의 경우 V<sub>p</sub>를 조절함으로써 C를 넓은 범위에서 조절할수 있음을 보여준다. 이는 시판되고 있는 小形裝置들(ceramic形, 紫外線形)이 조절성이 매우 부족한 점을 고려하면 매우 유효한 長點의 하나라고 사료된다.<sup>2,3)</sup> 그림 5는 S변화에 따른 I<sub>p</sub>-V<sub>p</sub>특성으로 S가 클수록 또 負極性쪽이 큰 放電電力을 얻을 수 있음을 보여준다. 그리고 正針對 平板構造에서 나타나는 I<sub>p</sub>의 履川曲線이 나타나지 않았다.<sup>9)</sup> 그림 6은 S변화에 따른 V<sub>B</sub> 특성으로 同-S의 針對平板構造<sup>9)</sup>의 V<sub>B</sub>와 비교한 것이다. 兩構造 모두 S≃3.5mm를 경계로 큰 S에서는 負極性쪽이, 작은 S에서는 역전되어 正極性쪽이 큰 V<sub>B</sub> 값을 나타냈다. 그림 7은 S변화에 따른 C<sub>max</sub>, I<sub>p</sub> 및 W<sub>p</sub> 특성으로 C<sub>max</sub>는 S가 증가함에 따라 正負極性으로 모두 증가하나, S=6.6mm를 경계로 낮은 S에서는 負極性쪽이, 높은 S에서는 正極性쪽이 많은 오존은 發生시켰다. 따라서 큰 S의 正極性펄스가 오존發生에는 有效함을 보여주나, 상세한 이의 構造는 不明으로 앞으로 연구되어야 하겠다. 그림 8은 그림 7로부터 구한 S변화에 따른 C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub> 특성으로 S=6.6mm 이하

에서는 正極性쪽은 7 ppm/W<sub>p</sub>, 負極性쪽은 2ppm/W<sub>p</sub>로서 正極性쪽이 3.5배의 큰 값을 보여주나, 큰 S에서는 급격히 감소함을 보여주었다. 그래서 이후 실험은 오존발생이 큰 正極性에 한하였다. 그림 9는 n<sub>c</sub>변화에 따른 C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub> 및 C<sub>max</sub> 특성으로 n<sub>c</sub>의 증가에 따라 C<sub>max</sub>는 증가하나 C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub>는 감소함을 보여주며, n<sub>c</sub>=18개가 最適값임을 보

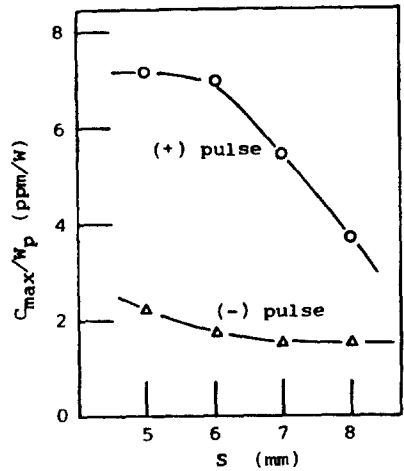


그림 8. S 변화에 따른 C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub> 특성  
 Fig. 8. C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub>-S characteristics. (n<sub>c</sub>=24, I<sub>t</sub>=5)

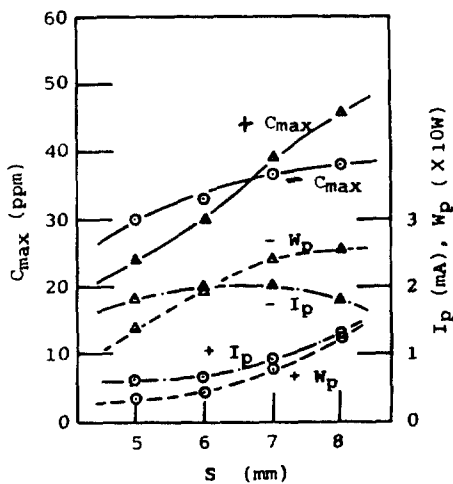


그림 7. 펄스極性 및 S 변화에 따른 C<sub>max</sub>, W<sub>p</sub>, I<sub>p</sub> 특성  
 Fig. 7 C<sub>max</sub>, W<sub>p</sub> and I<sub>p</sub>-S characteristics. (n<sub>c</sub>=24, I<sub>t</sub>=5)

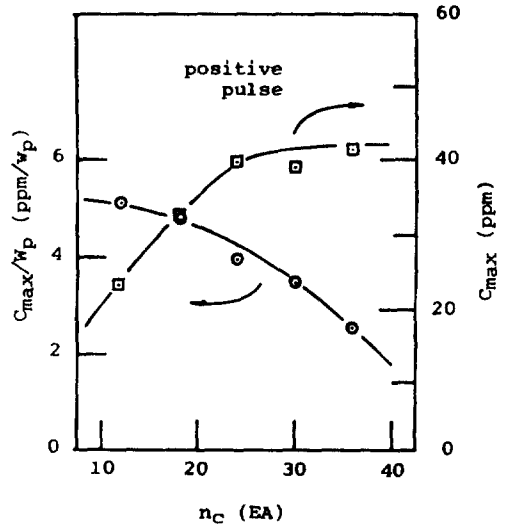


그림 9. n<sub>c</sub> 변화에 따른 C<sub>max</sub>, C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub> 특성  
 Fig. 9. C<sub>max</sub>/W<sub>p</sub> and C<sub>max</sub>-n<sub>c</sub> characteristics. (S=8, I<sub>t</sub>=5)

여준다. 이와같이  $n_c$  값에 最適값이 存在함은 針狀 放電 適定의 放電領域이 必要함을 보여주며,  $S = 8\text{mm}$  일때 空間角  $20^\circ$ 의 領域에 해당함을 보여준다. 그림10은  $f_r$  변화에 따른  $C_{max}$ ,  $C_{max}/W_p$  特性으로  $f_r$ 의 增加에 따라  $C_{max}$ 는 直線的으로 增加하나

$C_{max}/W_p$ 는 一定함을 보여주는데, 이는  $f_r$  增加에 따라  $W_p$ 가 直線的으로 增加되기 때문이다. 그림11은  $l_f$  변화에 따른  $C_{max}$  및  $C_{max}/W_p$  特性으로 最大  $C_{max}$ 는  $l_f = 10\text{mm}$ 에서, 最大  $C_{max}/W_p$ 는  $l_f = 5\text{mm}$ 에서 얻어졌다. 따라서 最適  $l_f$  값은  $5 \sim 10\text{mm}$  임을

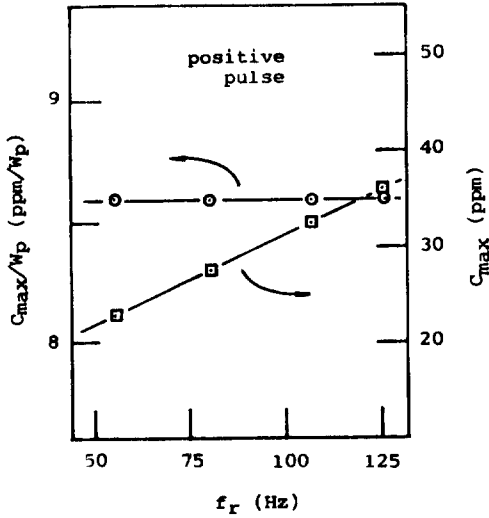


그림 10.  $f_r$  변화에 따른  $C_{max}$ ,  $C_{max}/W_p$  特性  
 Fig. 10.  $C_{max}/W_p$  and  $C_{max}-f_r$  characteristics. ( $n_c=24$ ,  $S=8$ ,  $l_f=5$ )

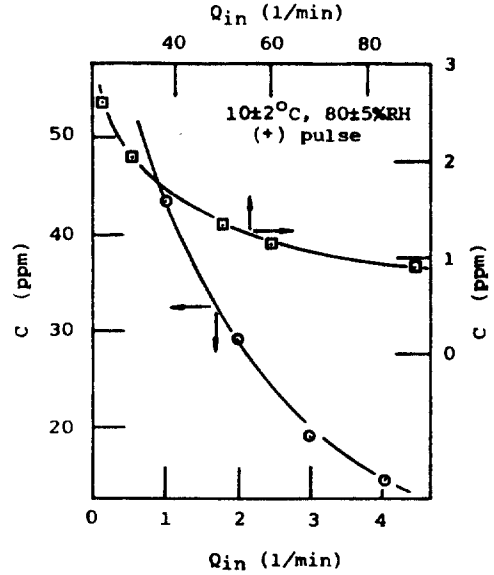


그림 12.  $Q_{in}$  변화에 따른  $C$  特性  
 Fig. 12.  $C-Q_{in}$  characteristics. ( $n_c=24$ ,  $S=8$ ,  $l_f=5$ )

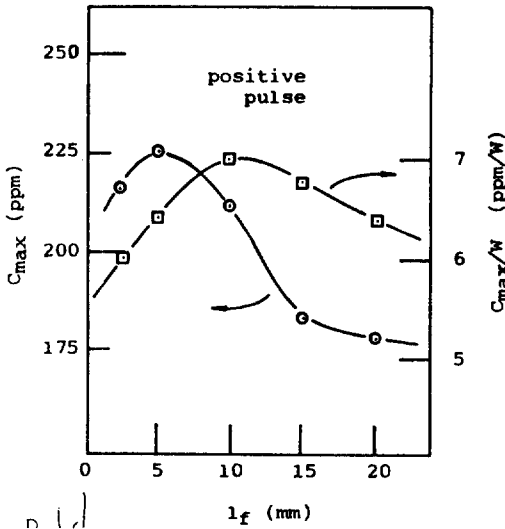


그림 11.  $l_f$  변화에 따른  $C_{max}$ ,  $C_{max}/W$  特性  
 Fig. 11.  $C_{max}$  and  $C_{max}/W-l_f$  characteristics. ( $n_c=24$ ,  $S=8$ )

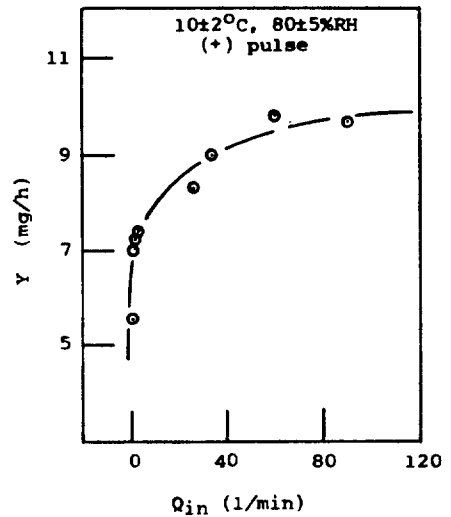


그림 13.  $Q_{in}$  변화에 따른  $Y$  特性  
 Fig. 13.  $Y-Q_{in}$  characteristic. ( $n_c=24$ ,  $S=8$ ,  $l_f=5$ )

알수 있다. 그림 12, 13은  $Q_{in}$  변화에 따른  $C$  및  $Y$  특성으로  $Q_{in}$ 가 증가되면  $C$ 는 희석되어 급격히 감소함을 보여주나,  $Y$ 는 증가하여  $Q_{in}=60\ell/\text{min}$  이상에서 포화함을 보여준다. 이는  $Q_{in}$ 의 증가로 放電極 및 오존生成空間의 冷却效果를 增大시켜서 生成된 오존의 解離作用을 감소시키기 때문인 것으로 사료된다.

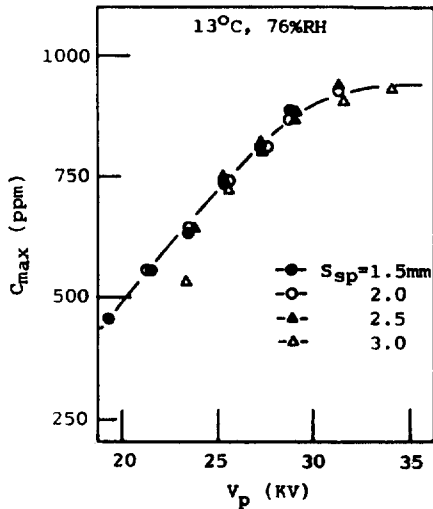


그림 14.  $S_{sp}$  변화에 따른  $C_{max}-V_p$  특성  
 Fig. 14.  $C_{max}-V_p$  characteristics as a function of  $S_{sp}$ . ( $n_c=30, S=7, l_f=5, N_c=30$ )

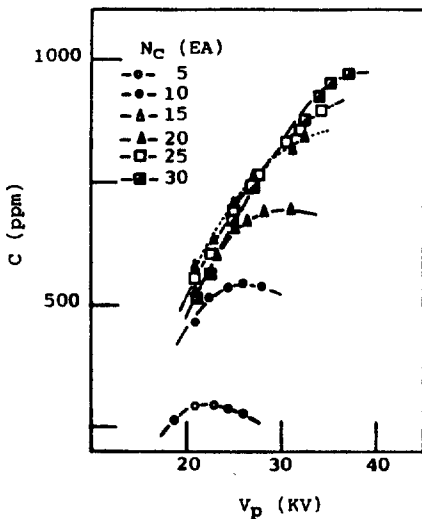


그림14는 多円板오존發生器의  $S_{sp}$ 의 변화에 따른  $C_{max}$  특성으로  $S_{sp}$ 의 변화는  $C_{max}$ 에 큰 영향을 미치지 않고,  $V_p$ 만이 오존生成에 크게 간여함을 보여준다. 그림15는 多円板오존發生器의  $V_p$  및  $N_c$  변화에 따른  $C$  및  $C_{max}/W$  특성을 나타낸 것으로  $N_c$ 의 증가에 따라  $C_{max}$ 도 增大함을 보여주며,  $C_{max}/W$ 는 최대값을  $N_c=12$ 에서 가졌다.  $N_c$ 가 증가할수록  $C$ 도 증가되나,  $N_c$ 와  $C$ 가 一次比例하지는 않음을 보여준다. 이는  $N_c$ 가 증가됨에 따라  $C$ 도 증가되나  $N_c$ 의 증가로 말미암은 放電電力 增加로 오존生成空間內的 溫度가 상승되고 이로 말미암은  $O_3$ 의  $O_2$ 에로의 환원율이 크게 증가되기 때문으로 사료된다. 본 裝置로서 얻어진 最大發生오존량은 供給空氣流量이  $2\ell/\text{min}$ 일때 약  $1000\text{ppm}$ 이고, 電力效率은 약  $53\text{ppm}/W$ 로서 오존收率은  $13g O_3/KWh$ 이며, 最大오존發生량은  $0.25g O_3/h$  정도이다.

本 裝置는 오존收率面이나 最大發生오존량은 工業用에 비해 半以下로 적으나, 오존收率이 문제되지 않는 超小型 및 小型裝置로서는 製作費面과 發生오존량의 調節性 및 裝置의 量産性등의 長點을 가지고 있다.

4. 結 論

正 및 負 펄스電壓을 인가한 円筒形 오존發生器

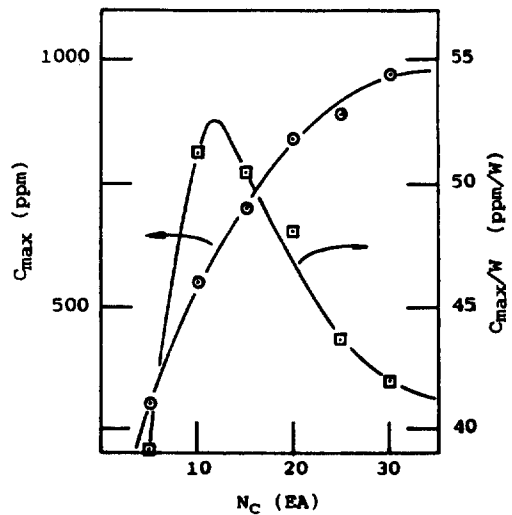


그림 15.  $V_p$  및  $N_c$  변화에 따른  $C, C_{max}$  및  $C_{max}/N$  특성,  
 Fig. 15.  $C_{max}$  and  $C_{max}/W-N_c$  characteristics. ( $n_c=30, S=7, N_c=30, l_f=5$ )

의 臭氧발생특성을 검토한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 인가펄스電壓의 極性에 따라 臭氧發生特性이 差異를 보여 주었다. 즉 單円板形의 경우 正極性인 가시는 負極性時보다 약 3.5배인  $7\text{ppm}/W_P$ 의 臭氧發生량을 얻었으며, 負極性일때는 發生오존량은 적으나 오존량의 조절성이 뛰어나았다.

(2) 發生오존량은 피크펄스電壓  $V_P$  및 極性, 放電極間의 間隔  $S$ , 圓筒形板上的 圓筒數,  $n_c$ , 인가 펄스의 周波數  $f_r$ , 電界調節電極길이  $l_f$ , 圓筒形板數  $N_c$ 의 變化에 따라 轉려지며, 本 實驗裝置의 경우  $S=5\sim 6\text{mm}$   $n_c=15\sim 20$ 개,  $l_f=5\sim 10\text{mm}$ ,  $n_c=10\sim 15$ 개가 最適條件이었다.

(3) 本 裝置로서 有効한 發生오존량은 負極性을 인가하는 경우 수십  $\text{mg O}_3/\text{h}$ , 正極性 및 多円板型 化함으로서 수  $\text{g O}_3/\text{h}$  까지의 小型臭氧發生器로서 使用可能性을 보여 주었다.

REFERENCE

- 1) 文 在德; 臭氧發生裝置의 最近의 研究開發動向, 電氣學會誌, 33, 8(1984) 495~503.
- 2) Jae-Duk Moon and G.S.P. Castle; Ozone Generation Using a Sawtooth Disk Electrode and a Pulse Corona Discharge, Conference Record of the 1987 IEEE-IAS Annual Meeting, 1713~1718
- 3) 文 在德, 金 貞浩; 圓筒形-圓筒形電極間의 臭氧發生特性, 電氣學會論文誌, 36, 9(1987) 651~654
- 4) 文 在德, 金光錫; 디-젤排産用 電氣集塵裝置의 性能向上을 위한 超強力前置荷電裝置의 開發, 電氣學會論文誌, 33, 6(1984)223~231
- 5) Jae-Duk Moon and S. Masuda; Electrostatic Precipitation of Carbon Soot from Diesel Engine Exhaust, IEEE, IA, IA-19, 6(1982) 1104~1111
- 6) Jae-Duk Moon and S. Masuda; High Intensity Charging Device for Diesel Soot Particulates, Proc. of 2nd Int'l. Conf. on ESP(1984) 871~878.
- 7) Jae-Duk Moon, G.S.P. Castle and S. Masuda; High Efficiency Ozone Generation Using a Helical Strip-Line Electrode and a Fast Rising Pulse Voltage, Conference Record of the 1986, IEEE-IAS Annual Meeting 1205~1210
- 8) H.I. Milde and Feldman; Pulse Energization of Electrostatic Precipitators, Conference Record of the 1978 IEEE-IAS Annual Meeting, 66~70
- 9) 大木正路; 高電壓工學, 槓書店(1981) 70~91