□ 技 術 動 向 □

오존發生裝置의 最近의 研究開發動向

文 在 德
(慶北大 工大 助教授)

■ 차 례 ■

1. 序 論
2. 오존發生裝置의 構造, 原理 및 特性
2-1 오존發生裝置의 構造와 原理
2-2 오존生成反應의 概要
2-3 오존發生效率에 미치는 諸因子
2-4 오존發生機의電氣的特性
3. 結 論
參考文献

1 序 論

오존發生裝置는 1857年 獨逸의 W. von Siemens에 의해 開發된 無声放電(silent discharge)型이 그 嚆矢이며, 그 以後 유럽을 中心으로 많은 研究가 遂行되어 왔으며 最近에 이르러 各分野(物理, 化學, 電氣工學等)로 부터 수 많은 學者 및 技術者들이 그룹을 이루어 綜合的이고 集中的으로 研究·検討되어 왔으나, 지금까지도 이 Siemens型이 實用的인 最大效率(實오존収率은 5%임)의 裝置로서 現在도 工業用으로 가장 많이 使用되고 있는 實情이다.

오존은 自然界에서 存在하는 物質로서는 弗素다음으로 強力한 酸化力을 갖는 酸化剤(酸化還元電位는 2.07〔V〕, 弗素는 2.87〔V〕, 塩素는 1.3〔V〕)로서 最終的으로는 分解되어 酸素로 되돌아 가므로(常温水中의 경우 15分以内에 거의 完全히 還元됨) 二次公害를 전혀 일으키지 않으며, 또 上水處理時 塩素處理로서는 不快한 맛, 냄새, 塩化物의 生成 (最近 트리할로메탄등의 毒性이 크게 문제시되고 있음) 等의 문제점이 있으나, 오존 처리의 경우 이와같은 문제점은 전혀 없으며, 또 塩素에 의한 水處理 보다 더욱 強力한 殺菌力을 가지면서도 脱色, 脱臭, 消泡, 시안·페놀類等의 有毒成分의 分解, 脱鐵脱망간等의 뛰어난 浄化性能을 갖고 있어서 프랑스에서는 1906年부터 이미 上水處理에 오존이 使用되어 왔으며, 지금은 거의 全유럽諸國과 쏘련까지도 오존處理法이 使用되고 있는 實情이다.

上述했듯이 오존은 그 強力한 酸化力과 二次公害全無等의 特性때문에 上·下 및 排水處理[1~3] 外에도 脱臭[4], 脱色[5], 排煙處理[6], 食品저장[7], 室内空氣浄化(病院, 事務室, 화장실, 나아가 乘用車室内)에 이르기까지 그 使用分野가 매우 넓으며, 最近 人口増大와 工業發達에 따른 公害増大의 妙策으로 크게 각광을 받아서 世界 各國에서 오존發生裝置와 그 應用分野等이 크게 研究되고 있다.

本稿에서는 現在 研究되고 있거나 이미 研究開發된 오존發生裝置의 간단한 原理, 構造, 오존 生成反應, 오존發生效率에 미치는 諸因子, 오존發生管의 電氣的 特性에 대하여 概述하고자 한다.

2 오존發生裝置의 構造, 原理 및 特性

2-1. 오존發生裝置의 構造와 原理

오존發生裝置는 그림 1의 基本構成圖에서 보듯이 오존發生機와 乾燥機, 送風機, 冷却機 및 高電壓電源으로 構成되며, 오존發生機는 全 裝置의 電力의 70%를 消費하므로 最終 오존發生效率(오존収率)은 이것에 의해 대부분 左右된다. 오존의 生成은 熱化學式으로 나타내면 R1, R2와 같다.

$O_2 \rightarrow O + O - 118$ Kcal (吸熱反應) R1

$O + O_2 \rightarrow O_3 + 25$ Kcal (發生反應) R2

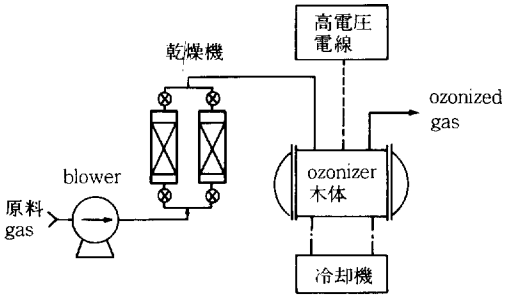


그림 1. 오존發生裝置의 基本構成

따라서 오존生成式은 R3와 같이 된다.

$3O_2 \rightarrow 2O_3 - 68\ Kcal$　　R3

즉 O_3 1 mol의 生成에는 34 Kcal가 必要하며, 따라서 오존收率은 1.2 kg O_3 / kwh 이다. 그러나 實用오존發生機에서는 酸素原料일때 250 g O_3 / kwh, 空氣原料일때는 90 g O_3 / kwh 로서 7.5～20 %의 効率을 나타내나, 附帶施設까지 包含한 實用오존 發生裝置의 効率은 空氣原料일때 5 %라는 극히 낮은 값

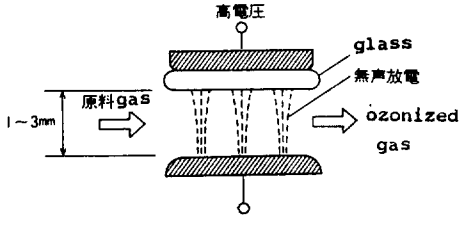
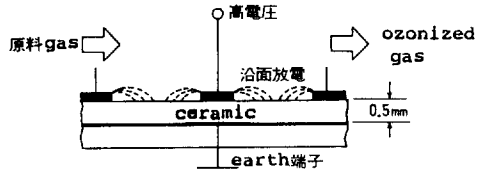
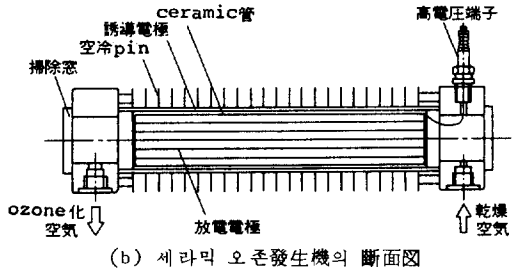


그림 2. 無聲放電型 오존發生管의 原理圖



(a) 세라믹 오존發生機의 원리도



(b) 세라믹 오존發生機의 斷面図

그림 3. 세라믹 오존發生機의 原理및 斷面圖

표 1. 工業用 오존發生裝置의 諸源

誘電体材料	硬質 glass, ceramic
誘電体두께	0.5～2 mm
比誘電率	4～8
gas 길 이	1～3 mm
印加電圧	数 kV～10 数 kV
周波数	商用周波数～3 kHz
原料 gas 露点	−50℃ 以上
gas 圧力	1～2 ata
ozone 濃度	数 mg/lN～数十mg/lN

을 나타낸다.[9] 오존發生機의 放電에너지의 大部分은 熱損失로서 放電空間에 放出되여 原料가스의 温度를 上昇시킨다. 그러나 오존生成의 化學反應 面에서 보면 放電空間의 가스温度는 낮은 쪽이 좋으며, 實用大型오존發生裝置에서는 原料가스를 0℃以下로 하고 오존發生機自體를 水冷시키고 있다. Siemens 型 오존發生機의 原理는 그림 2에서 보듯이 유리 또는 세라믹을 挿入한 電極間에 交流高電壓을 印加하면 電極間隔에 無声放電 (silent discharge) 이라고 불리는 放電이 일어나서 이 放電電力에 의해 酸素가 分解되어 오존이 生成된다.[10] 現在 工業用으로 使用되고 있는 오존發生機로서는 그림 2와 같은 平板型과 그림 4와 같은 円筒型이 있으며 (表 1 참조), 코스트나 設置面積, 信頼性等 各各의 特徵이 있으나, 오존發生의 性能은 基本的으로 큰 差가 없다.

現在 開發 및 商品化를 서두르고 있는 세라믹 오존發生機 (ceramic type ozonizer) 는 그림3에서 보듯이 얇고 均一한 高純度 알루미나 세라믹(alumina ceramic) 層의 両面에 IC패키지 (package)製造技術을 利用하여 텅그스텐放電極과 誘導電極을 設置하여 高周波電壓을 印加함으로 세라믹表面에 強力한 沿面스트리머 放電을 發生시켜 表面上의 空氣 또는 酸素中에서 오존을 發生시킬 수 있게 한 것이다. 長點으로는 目的에따라 平板 또는 円筒型等 自由롭게 成形할 수 있으며, 또는 放電極과 誘導電極間의 間隔을 高精度로 設計可能하며, 세라믹自體의 顯著한 機械的, 熱的, 化學的 安定性을 利用하기때 문에 高周波放電에도 充分한 壽命을 가지며, 또 小型化도 可能한 點等이 있다.

그림 4에 나타낸 것은 片面冷却式으로 接地金属電極만 水冷하는 것이며, 両電極 모두 水冷하면 冷却効果가 上昇되어 大電力 投入이 可能하여 効率이 增大되나 構造가 複雜해지는 短點이 있다. 오존發生能力을 向上시키기 위해서는 大電力投入이 必要하며,

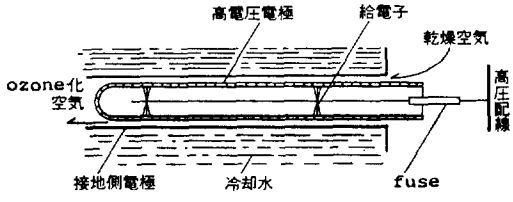


그림 4. 從來型 오존 發生機의 斷面圖

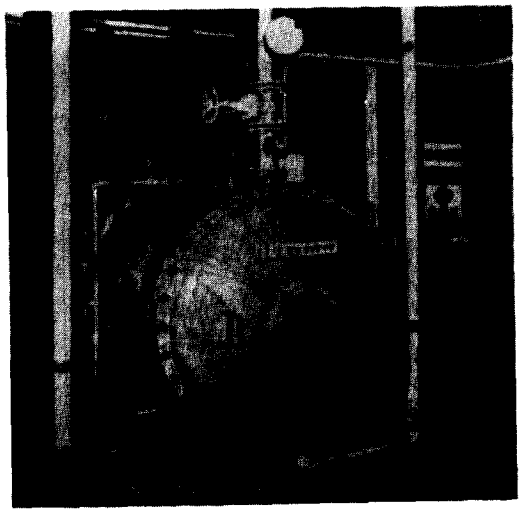


그림 5. 工業用 오존發生裝置의 外觀 (1.5 kg O_3/h)

大電力投入을 위해서는 電源周波數를 높이는 方法과 印加電壓을 높이는 方法이 있으나, 誘電體의 絶緣耐力面에서 周波數를 높이는 方法이 實用的이며, 片面冷却式에서는 1 KHz, 両面冷却式에서는 3 KHz 以下에서 實在 運轉되고있다.[9] 그림 5는 實在 使用되고 있는 工業用오존發生裝置의 寫真으로 오존發生用量에 따라 오존發生機의 放電管이 수백개까지 들어있어서 수십 kg O_3/h 의 것도 生産되고 있다.[14]

2—2 오존生成反應의 概要

無声放電 (silent discharge) 에 의한 오존 生成의 基本的인 化學反應은 1956年～1959年 사이 Devins, Leedy 等에 의해 밝혀졌으며[15,16] 最近에 이르러 K. Masek 등[17] 에 의해 오존發生機의 放電領域에서의 電子에 의한 酸素分離의 素過程이 檢討되고, 또 오존生成의 模擬實驗 (simulation) 도 行해졌다.[18]

酸素中의 오존生成反應化學式은 Devins[19] Benson[20] 에 의해 다음과 같이 提唱되었다.

$$e + O_2 \xrightarrow{k_1} 2O + e \quad (\text{오존生成反應}) \qquad R4$$

$$O + O_2 + M \xrightarrow{k_2} O_3 + M \quad (\text{오존分解反應}) \qquad R5$$

$$O_3 + O \xrightarrow{k_3} 2O_2 \qquad R6$$

$$e + O_3 \xrightarrow{k_4} O_2 + O + e \qquad R7$$

여기서 M 은 第3의 物體로서 酸素中에서는 O_2이며, k 는 反應速度定數이다. 反應速度定數 k_1, k_2 는 放電狀態에 의해서만 決定되는 定數이지만, k_2, k_3 는 強한 温度依存性을 갖는데 k_2는 低温에서 크고, k_3 는 高温에서 큰 값을 갖게 된다. 또 오존濃度가 낮을때는 R4, R5 의 反應만이 오존生成에 主関與하여 R4가 律速이 되기 때문에 放電狀態에 의해 오존主生成이 決定된다. 그러나 오존濃度가 크지면 오존의 分解反應인 R6, R7이 関與하게 되어 放電狀態外에도 温度効果가 関與하게 되어, 反應空間 (=放電空間) 의 温度가 높아질수록 오존發生量을 低下시키는 結果를 가져온다.

한편 空氣原料일때는 R4, R5 外에 R8, R9의 反應이 일어나서 오존生成過程中에 活性化窒素 (N_2*; active nitrogen) 가 R4의 反應을 돕게 되어 오존生成量이 늘어난다.[21,22]

$$N_2 + e \rightarrow N_2^* + e \qquad R8$$

$$N_2^* + O_2 \rightarrow 2O + N_2 \qquad R9$$

그러나 오존濃度가 크지만 NOx 가 副次的으로 發生해서 R10, R11 과 같은 오존分解反應이 일어나서 結果的으로 R6를 크게하는 効果를 가져와서 오존生成을 妨害하게 된다.[23]

$$O + NO_2 \rightarrow NO + O_2 \qquad R10$$

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad R11$$

2—3 오존發生効率에 미치는 諸因子

1956年 W. von Siemens 에 의해 開發된 오존發生機는 그 以後 여러學者들에 의해 많이 研究되어 왔으나, 實用的인 條件을 中心으로 體系的으로 實驗되기 시작한 것은 1960 年 以後부터이며, 最近에 이르러 유럽, 日本等地에서 크게 研究되고 있다.

原料가스가 오존發生機 入口에 導入되면 오존發生特性은 放電狀態와 温度効果에 의해 決定지워진다. 즉 放電電力W, 大氣壓換算原料가스流量을 Q_N 이라 할때 W/Q_N에 의해 오존의 發生効率 (오존収率) η 가 決定된다. 이때 發生오존濃度를 C_{O_3}, 發生오존量을 Y_{O_3}로 나타내면 式(1)과 같이 나타내어 지며, 따

$$C_{O_3} = Y_{O_3} / Q_N \qquad (1)$$

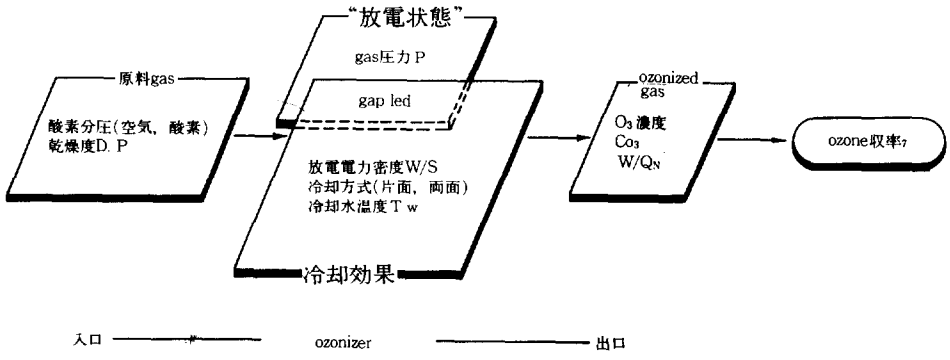


그림 6. 오존収率에 미치는 諸因子들

라서 η는 式 (2) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = Y_{O_3} / W \qquad (2)$$

本 절에서는 그림 6에서 나타낸것처럼 오존収率 η에 크게 影響을 미치는 여러因子에 対하여 考察해 보기로 한다.

(1) 原料가스流量當 放電電力 W/Q_N

그림 7은 Q_N의 變化에 따른 $W-Y_{O_3}$ 特性을 나타낸 것이고, 그림 8은 그림 7에서 $C_{O_3}-W/Q_N-W/S$ 特性으로 고쳐 그린것이다. 그런데 오존發生機의 實用條件에서 Q_N을 變化시켜도 放電空間의 温度는 거의 變化하지 않으며, 다만 温度는 W/S에 의해 決定된다.[24] 따라서 W/S가 同一하여 放電空間의 温度가 一定하면 Q_N에 関係없이 C_{O_3}는 W/Q_N만에 의해 나타내어 진다. 즉 W/Q_N는 單位原料가스分子가 放電空間內를 通過할때 放電電力으로 부터

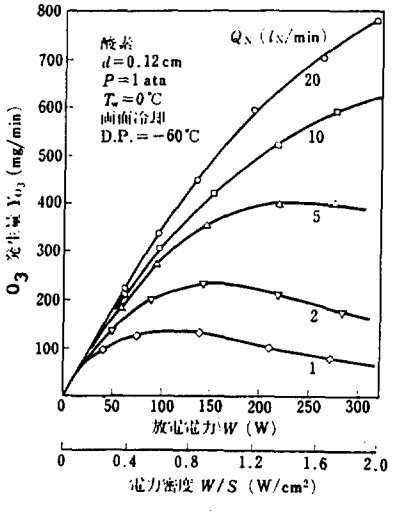


그림 7. 放電電力과 오존發生量 特性

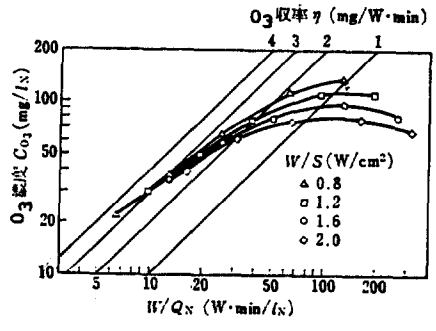


그림 8. $W/Q_N - O_3$ 濃度特性

받는 에너지를 나타내며 오존生成의 가장 基本的인 파라미터임을 나타낸다.[25] 그림 8에서 η가 斜線으로 그려져있는데, W/Q_N이 적은 領域에서는 W/S 값에 関係없이 一定값 즉 最大오존収率에 接近하나 W/Q_N이 큰 領域에서는 W/S가 增加하면 η는 減少함을 보여 준다. 이것은 W/Q_N가 적은 領域에서는 η가 放電空間의 温度에는 関係없이 放電状態만에 의해 決定됨을 나타내며, W/Q_N가 큰 領域에서는 放電状態와 温度効果에 의해 η가 決定되어 W/S가 크게되면 温度効果도 크게되어 結局 η을 低下시키기 때문이다.

(2) 오존収率에의 冷却水 温度의 影響

實用오존發生機의 경우 放電電力 (W/S) 에 의해 温度가 上昇되어 温度効果가 크진다. 따라서 裝置를 冷却시켜줌이 必要하게 되며 冷却水의 温度 T_w는 η에 매우 큰 影響을 미친다. 그림 9은 $T_w-\eta$特性으로 W/Q_N이 적은 領域에서는 T_w의 影響은 아주 적으나, W/Q_N가 큰 領域에서는 T_w의 影響이 크져서 η가 많이 低下함을 보여준다.[26] 또 實用 오존發生機에는 冷却方法에 따라 η가 크게 左右된다. 一

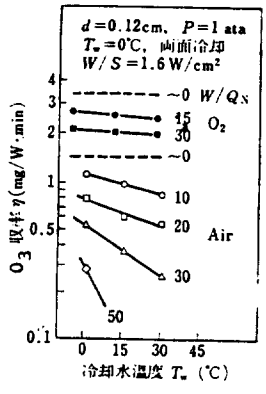


그림 9. $T_w - \eta$ 特性

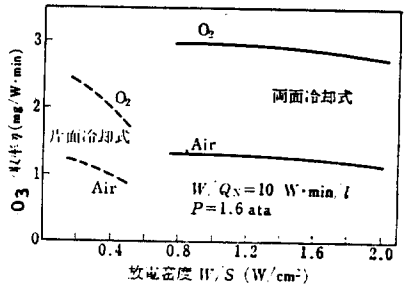


그림 10. 電極의 冷却方式에 따른 放電密度－오존収率特性

般的으로 η를 増大시키기 위해서는 W/S를 増大시켜야 하는데, W/S가 増大되면 温度効果도 増大되어 η는 많이 높아지지 않는다. 따라서 W/S를 増大함과 同時에 冷却効果를 크게 함이 必要하다. 그림 10은 冷却方式에 따른 η－W/S特性으로 両面冷却方式은 放電空間의 冷却効果가 크기때문에 片面冷却方式에 비해 수 배의 W/S投入해도 높은 값의 η가 維持된다.[27] 따라서 實工業用에서의 콤팩트한 装置가 要求되는 大容量의 오존發生機에는 両面冷却方式이 많이 使用된다.

(3) 電極間隔

오존發生機의 電極間隔d는 放電状態와 温度効果의 양쪽에 큰 影響을 미친다. 그림 11은 空氣 및 酸素原料에 있어서의 η－d特性으로 空氣와 酸素가 서로 特性이 틀림을 보여준다. W/Q_N이 적은 領域에서, 酸素原料에서는 d가 減少함에 따라 η는 増加하나 空氣原料에서는 d = 0.12 mm 部近에서 最大値를 갖는다. 이것은 原料가스의 종류에 따른 酸素分解의 確率이나 電子의 드리프트（drift）速度의 差

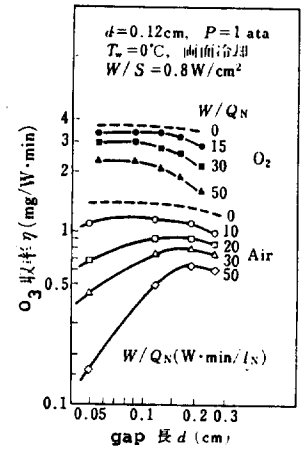


그림 11. 電極間隔長－오존収率特性

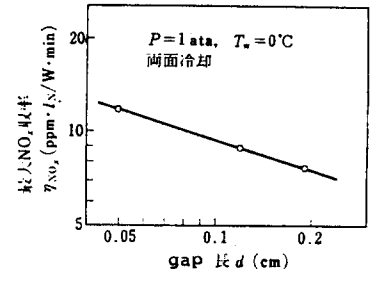


그림 12. 電極間隔長－NO_x 發生特性

에 의한 것이라고 생각된다.[20] W/Q_N가 큰 領域에서는 放電状態外에도 d가 적게 됨에 따라 放電空間의 冷却効果가 크게되어 η가 増大된다. 酸素原料의 特性에서는 이 경향이 그대로 나타나나 空氣原料에서는 이와는 反対現象이 일으남을 보여준다. 이것은 그림 12에서 보듯이 空氣原料일때는 오존發生에 큰 防害作用을 하는 NO_x가 増大되어 冷却効果보다 큰 影響을 미쳐서 η를 減少시킨다고 思料된다.

(4) 原料가스 壓力

η에 미치는 原料가스壓力P의 影響을 그림 13 에 나타냈다. 그림에서 보듯이 η는 P에 따라 最大 값을 가지며 이 最大값은 대개 압력과 간격의 積인 Pd 값에 의해 決定되며 d 값이 적을 수록 増大된다. 오존生成反應의 解釈으로부터 보면 P가 増大하면 η도 크지게 되지만 P가 増大되면 d의 影響에 의해 放電状態가 變해서 η가 적어진다고 推定된다.[26]

(5) 原料가스의 影響

그림 14는 最大오존収率 η max.와 酸素濃度와의

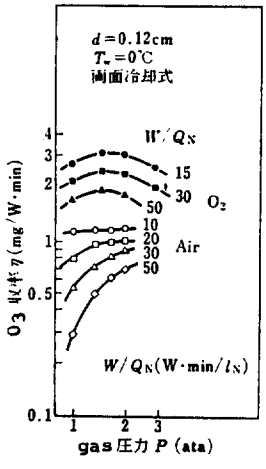


그림 13. 가스壓力－오존收率特性

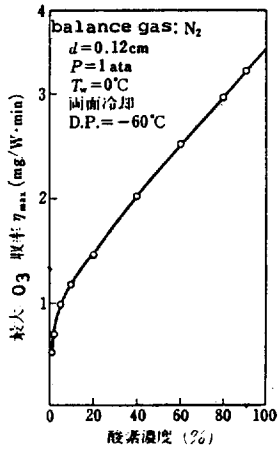


그림 14. 산소농도와 오존收率特性

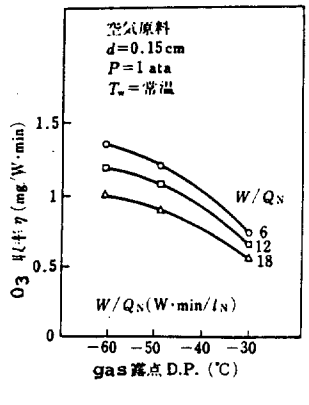


그림 15. 원료가스의 露點과 오존收率特性

関係를 나타낸 것으로 이때 발란스가스는 窒素이다. 空氣中의 酸素濃度는 純粹酸素의 1/5 이나, η max. 은 1/2.5 程度를 나타낸다. 이것은 N_2*의 効果로서 酸素의 解離를 돕기 때문이라고 생각된다.[22] 그림 15는 原料가스의 乾燥度에 따른 η特性으로, η는 온도가 −50℃ 보다 높아지면 急激히 減少함을 보여주므로 原料가스의 露點은 −50℃以下로 하는것이 必要함을 나타낸다.

2—4 오존發生機의 電氣的特性

지금까지의 오존發生機는 주로 化學者에 의해 研究되어 왔으며 1940 年頃부터 電氣工學者에 의해 電氣的特性이 本格的으로 研究되기 시작했고, 1969年경에 이르러 等價回路나 巨視 (macroscopic) 的인 特性等이 研究되었으나, 이는 單純히 코로나 放電에 関한 研究程度이었다. 그러나 오존發生의 放電現像인 無声放電은 放電維持時間이 극히 짧은 ns 이며, 더우기 放電의 發光感度도 매우 微弱하고 비교적 짧은 放電間隔內에서 時間的으로도 場所的으로도 랜덤 (random) 하게 放電이 發生하기 때문에 當時의 計測장비로서는 도저히 측정할 수가 없었기 때문에다.

오존發生機의 微視 (microscopic) 的인 放電現象에 대해서는 無声放電과 類似한 放電인 보이드(void) 放電研究分野의 文献中에서 發見할 수 있다. 보이드 放電은 오존發生機에서의 放電과는 放電條件이 틀리나, 超高速인 1 GHz 의 오실로스코프나 랜덤샘플링 (random sampling) 오실로스코프를 使用하여 보이드放電의 電流波型을 觀測한 例[28,29] 나 이매이지인 텐시파이어 (image intensifier) 와 이매이지 콘버트 카메라 (image converter camera) 를 使用하여 針과 平板電極間에 폴리에칠렌(polyethylene) 薄膜을 挿入했을 때의 放電状態를 連續撮影한 結果報告가 發表되어 있다.

本 節에서는 最近研究된 오존發生機의 巨視 및 微視 放電現像에 対하여 기술한다.

(1) 放電의 形態

無声放電의 様相은 코로나放電과 비슷하여 發光이 극히 微弱하며, 微細한 필스적인 放電의 集合體인 것으로 알려져 있다.[30],[31] 특히 最近에는 이매이치인 텐시파이어 카메라 (image intensifier camera) 에 의해 實用오존發生機의 放電條件下의 放電柱의 詳細한 形状이 撮影되었다. 그림 16은 유리電極間에 乾燥空氣를 흘렸을 때의 오존發生機의 入力 및 出力部의 寫真으로 오존濃度가 零인 入口에서는 負極을 頂點으로 하는 나팔状의 放電形態이나, 오존濃度가 큰 出

口쪽에서는 나팔狀에서 円柱形에 가까운 放電모양을 하고 있다. 그리고 放電柱의 發生密度는 2～4 個/cm^2에서 8～12 個/cm^2로 增加되고, 또 1개의 放電柱가 發生에서 消滅까지의 全電荷量(電流의 시간적 全積分)은 入口에선 1.8×10^{-9} C이나 出口에서는 5×10^{-10} C 程度로 줄어지는 것이 밝혀졌다.[32] 그리고 酸素中에서는 放電柱의 形狀이나 크기가 오존濃度에 無関係하며 放電柱 1個의 電荷量은 4×10^{-10} C程度이다. 그림 17은 乾燥空氣中에서 유리電極対金属電極의 放電寫眞으로 電極에 의한 放電柱의 形狀差가 나타나서 유리電極과는 差가 나타남을 보여준다. 유리対 유리電極의 경우 이매이지 콘버트카메라에 의한 連續撮影에 의하면 放電柱의 發光時間은 10 ns 이었다.[32),33)]

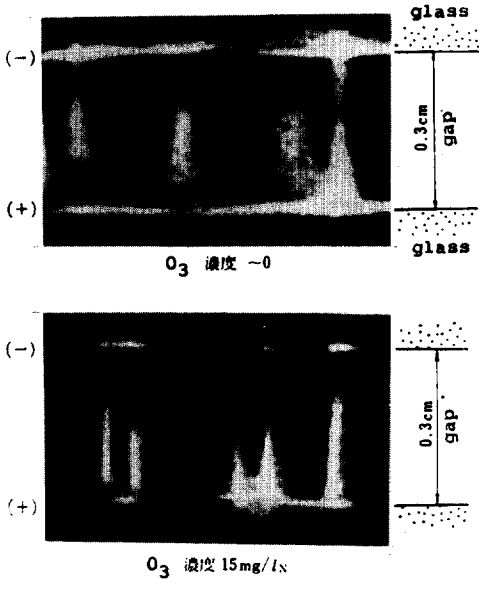


그림 16. 유리 對 유리 電極間의 放電柱写眞
(원료가스는 空氣, 가스압력은 760 Torr, 온도는 − 60 °C인 경우)

이와같은 實験結果를 綜合해 보면, 空氣中의 無声放電은 타운젠트(Townsend) 放電보다 陽極面쪽에 局所的으로 空間電荷電界가 높은 곳이 생겨서 그 곳으로부터 스트리머가 發生하여 電極間을 橋絡시켜서 소위 過渡글로우(glow) 放電의 形態로 된 後 차츰 放電이 消滅된다고 생각된다.[31),34)] 그러나 放電柱 1個가 發生하여 消滅에 이를 때까지의 電壓, 電流波型을 觀測한 例는 아직도 없으며, 詳細한 放電機構도 不明된 狀態이며, 最近 電子計算機에 의한 模擬實験(simulaton)으로 그 機構의 解明이 시도되고 있으나, 無声放電은 金属電極間의 放電에 비해 그 機構等에 대한 研究가 거의 되어지지 않고 있어서 이 分野의 研究者들에게 興味있는 研究対象의 하나로 되고 있다.

(2) 放電維持電壓의 特性

前述했듯이 無声放電은 펄스적 放電의 集合으로 個個의 放電은 放電開始電壓 V_s로 시작하고 放電消滅電壓 V_e로 停止한다. 이들 電壓値는 放電에 의해 發生하는 荷電粒子의 에너지狀態의 推定等에 必要하나, 放電柱는 時間的으로 또 場所的으로 랜덤(random)하게 發生하므로 個個放電의 V_s나 V_e를 測定하는 것은 극히 困難하여 研究報告된 例도 없다. 一般的으로 放電中의 電極間의 平均的인 維持電壓 V*은 式(3)과 같이 表示되며 實験에 의해서도

$$V^* = (V_s + V_e) / 2 \qquad (3)$$

求할 수가 있는데, V*는 오존發生機의 投入電力計算에 有用하여 實用的인 面에도 重要한 파라미트의 하나이다. 그림 18은 V*의 測定回路로서 電壓과 電荷의 리사쥬(Lissajous) 圖形을 오실로스코프에의해 그려서 求하는 方法[35),36)]을 나타낸 것이다.

그림19는 放電가스中의 오존濃度와 V*의 関係를 나타낸 것으로 V*는 오존濃度의 影響을 받으며 空氣

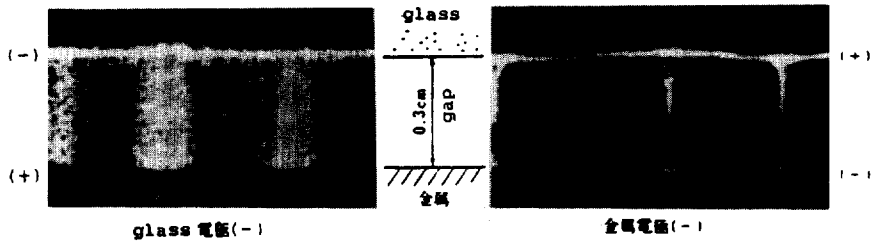


그림 17. 유리 對 金属電極에 있어서의 放電柱의 写眞
(원료가스는 空氣, 가스압력은 760 Torr, 온도는 − 60 °C, 오존농도는 거의 Zero 인 경우)

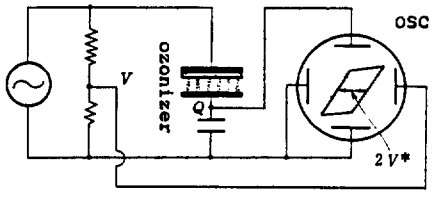


그림 18. Lissajous 圖形測定 回路

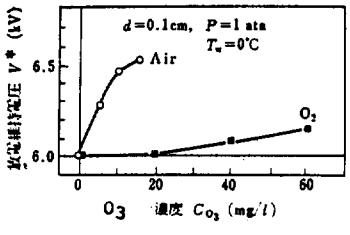


그림 19. 오존 濃度가 V* 에 미치는 영향

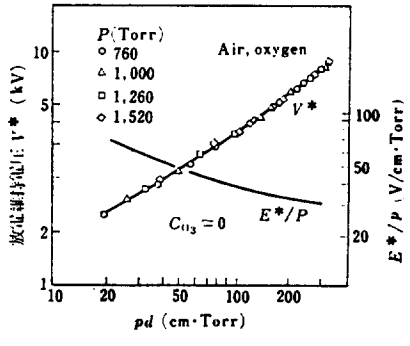


그림 20. Pd－V* 特性

原料인 경우 영향을 많이 받는것을 보여준다. 그림 20은 오존濃度가 零 部近에서의 電極間隔 d 와 가스壓力 P를 各各 變化시켜서 Pd－V* 의 関係를 나타낸 것으로 酸素原料와 空氣原料에서의 V*는 一致하며, V*는 Pd의 函數로서 나타낼 수도 있음을 보여 준다.[37] 또 平均換算電界 E*/P 는 式(4)로 나타낼 수 있다.

$$E^*/P = V^*/Pd \qquad (4)$$

이때 E*는 電極間의 平均電界強度이다. 이 E*/P는 電子의 에너지나 드리프트 (drift) 速度를 決定하는 것이며, 오존發生機中에 酸素의 電子에 의한 解離定數를 E*/P의 函數로서 나타내어 오존生成 機構에 대한 하나의 解釈을 내린 研究結果도 있다.[21] 그러나 E*/P는 放電에 의해 生成된 荷電粒子의 에너지等의 評價에 지표가 될까하는 問題는 前節에서 論한것처럼 放電의 機構上 앞으로 論議되어야 할 問題의 하나이기도 하다.

(3) 오존發生機의 等價回路

오존發生機의 한개의 放電管의 等價回路는 放電部를 블랙박스 (black box) 로서 생각해서 求할 수 있다. 그림 21은 그 等價回路로서 放電中의 電極間隔電壓을 V*로서 放電部를 제너다이오드(zener diode) 나타낼 수 있다. 이 等價回路로부터 印加電源電壓의 波高値 Vop 에 대한 제너다이오드에 消費되는 放電電力 W를 求할 수 있으며, 이때 W는 印加電壓의 波型에 関係없이 Vop 에 의해 決定되며 式(5)로 나타내어 진다.[10),38)]

$$W = f\,Cg \cdot 2V^* \{2Vop - (1 + Co/Cg)2V^*\} \qquad (5)$$

여기서 f는 電源周波數, Co, Cg는 오존發生機의 電極間隔 및 유리 絶緣電極의 靜電容量이다. 式(5)는 實驗値와도 잘 一致하며 오존發生機의 크기, 構造에서 Co, Cg가, 電源에서 Vop 및 f가, 또 動作條件 Pd에 의한 V*가 決定되면 投入電力도 쉽게 求할 수 있다. 따라서 오존發生効率이 決定되면 임의의 發生容量의 오존發生機도 上記値들에 의해 設計할 수 있겠다.

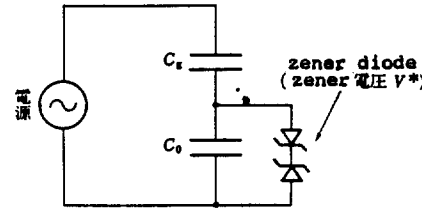


그림 21. 放電管의 等價回路

3 結　論

以上 本稿에서는 現在 研究되고 있거나 이미 研究開發된 오존發生裝置의 原理, 構造, 오존生成反應, 오존發生効率에 미치는 諸因子, 오존發生管의 電氣的 特性에 대하여 概述했다.

오존發生裝置에 관한한 우리같은 電氣工學 관계자에게는 그 實用的인 環境工學에의 應用보다는 放電空隔內에서 일으나는 放電現象에 더 많은 흥미를 갖기 마련이다. 放電管內의 放電空間에서 일어나는 現象에도 많은 未知의 部分이 存在하고, 플라즈마 電氣化學 (plasma electrochemistry) 를 비롯한 分野에도 研究되어야 할 部分이 많이 남아있기 때문이다. 즉 無声放電의 機構解明을 비롯하여, 어떤 放電形態

가 오존生成에 가장 有効하며, 또 오존生成을 저지하는 것은 어느 放電部分인가, 나아가 정말 Siemens 型 오존發生管보다 効率이 더 높은 오존發生 裝置는 研究開發이 不可한가等 이 方面에 遂行되어야 할 研究分野가 많이 남아있다. 따라서 앞으로 많은 좋은 연구가 기대된다.

參 考 文 献

1) 池畑 昭; PPM, 10, (1973) 57
2) 宮田定次郎等; 水處理技術, 21, (1980) 127
3) E. Katzenelson, et al ; J. Am. Water Works Assoc., (Dec. 1974) 725
4) V. W. Riesser, et al ; Proc. of Forum on Ozone Disinfection, p.186 Int. Ozone Inst (1977)
5) 重田芳廣; 環境創造 (1977) 21
6) 石崎紘三等; 日本化學会誌, 8 (1979) 1124
7) 吾妻健國等; 三菱電機技報, 51 (1978) 844
8) 増田閃一等; 日本靜電氣學会講演論文集 '83, 22P-C12 (1983)
9) 池畑 昭; 日本靜電氣學会誌, 7, 3, (1983) 167
10) 田畑則一等; ibid, 7, 3 (1983) 150
11) N. Tabata; 3 rd Int. Symp. on Qzone Technology, Paris France (May 1977)
12) S. Masuda, et al ; Invited Talk of Int. Conference on Industrial Electrostatics (May 1984 in Budapest, Hungary)
13) 文 在徳等; 日本靜電氣學会講演論文集 '83, 22p-C11 (1983)
14) T. Ishigawa, et al; Fuji Electric Review, 23, 2 (1977) 52
15) H. Leedy; Ozone Chemistry and Technolgy, Am. Chem. Soc. (1959)
16) R. F. Hanpson; NBSIR (Washington DC : National Bureau of Standards) (1975) 74
17) K. Masek, et al; Czeck. J. Phys. B 28 (1972) 1321
18) 日本電氣學会技術報告 (Ⅱ部) ; 127號 (1982) 37
19) J. C. Devins; J. Electrochem. Soc. 108 (1956) 460
20) S. W. Benson ; Ozone Chemistry and Technology, 405, Am. Chem. Soc. (1956)
21) 田畑則一等; 日本電氣學会誌B, 97 (1977) 665
22) 田畑則一等; ibid B, 98 (1978) 123
23) 八木重典等; ibid A, 97 (1977) 609
24) 田中正明等; 昭和56年 電氣學会全國大会講演論文集, No. 113 (1981)
25) 田畑則一等; 日本電氣學論文集B, 96 (1976) 43
26) 田畑則一等; ibid B, 97 (1977) 100
27) 田畑則一 ; 日本電氣學会雜誌; 96 (1976) 121
28) 堀井憲爾等 ; 日本電氣學会放電研究会資料, ED-72-9 (1972)
29) B. Salvage, et al ; Electron. Lett., 6 (1970)
30) M. Hirth ; Beitr. Plasmaphys., 20 (1981) 1
31) 日本文部省科學研究費總合研究(A), 課題番號 56350016, 研究報告書, p.18 (1983)
32) 田中正明等 ; 日本電氣學会論文集A, 98(1978)57
33) C. Heuser, et al ; 7 th Int. Conference on Gas Discharge and Application, Edinberg, p.98 (1980)
34) 田中正明等 ; 日本電氣學会論文集, 102(1982)533
35) T. C. Manley; Trans. Electrochem. Soc., 84 (1943) 83
36) 大石嘉雄 ; 日本電氣工學論文集, 2 (1950) 13
37) 田中正明等 ; 日本放電研究, No. 82 (1980) 3
38) 田中正明等 ; 日本電氣學会放電研究会資料, ED-82-27 (1982)