

오존무 분사장치 개발에 관한 연구

(A Study on Ozonized Water Spraying System)

조국희

(한국전기연구원)

(Kook-Hee Cho)

Abstract

오존무 분사장치는 흡입구와 내부에 소정의 공간이 형성된 케이스와 자동 손잡이와 360°회전이 가능해 운반 및 이동이 간편한 케이스, 상기 케이스의 내부 소정 부위에 공기 흡입구로 흡입되는 공기 중에 포함된 먼지 및 습기를 제거하는 제습 장치와, 원료가스인 공기를 일정하게 제공하는 송풍기, 강력한 살균 소독기능을 지닌 오존발생기, 오존을 발생시키기 위한 고주파 펄스 전원장치, 입자경이 3~40 μm 이하의 이류체 미세 분사형 노즐, 살수통(물을 담은 용기) 및 기능 조절부(펄스전원제어, 타이머 조절, 송풍기 제어, 이류체 미세 분사형 노즐스위치 제어)로 구성되어 작동하는 것으로 일반적인 가습기와는 다르다. 그리고 강력한 살균, 소독, 탈취 및 대기의 정화 기능이 있는 오존을 이용하는 동시에 기존의 방식보다 간단한 구조의 분무발생 수단을 구비함으로써 전체적으로 구성을 간단하게 하면서 대기 정화 효율을 향상시키는 장점이 있다.

1. 서론

산업 사회의 고도성장으로 대기 및 수질 등의 생활환경 주변의 오염원 개선은 점차 시급한 문제로 대두되고 있는 가운데, 세계 각 국에서는 이미 오염 대책을 마련하고 있으며, 환경보호를 위해 규제와 행정 지도도 이루어지고 있다. 환경오염은 생태계뿐만 아니라 사람의 인체에도 상당한 영향을 미치므로 각계의 이목이 집중되고 있는 실정이다. 이러한 시점에서 환경오염의 원인이 되는 오염 물질의 제거나 발생원의 저감을 위한 대책 그리고 이와 관련한 생활 주변의 청정 위생이 요구되어지고 있다. 그리고 최근에 들어 수질 오염, 대기 오염 등에 의한 환경 악화는 중대한 사회 문제가 되고 있어 고도의 무공해 처리 기술의 급속한 개발이 요구되고 있다. 오존은 자연에 존재하는 산화제 중에서 불소 다음으로 강한 산화력을 지니고 있어 수처리, 악취제거, 탈색, 유기물제거, 살균 등의 분야에 이용이 가능하므로 미국은 1977년 이후, 환경청(EPA)이 중심이 되어 활용되고 있다. 그 결과 1990년 이후부터는 가정 및 공장 등에서 오존수의 사용이 급속하게 증가하였고, 국내외적으로 수처리 관련 기술도 크게 증가되고 있는 추세이다. 방전 및 오존 생성에 영향을 미치는 원료 가스의 종류, 온도, 습도, 인가전압, 전류 및 전력 등의 제인자에 관한 연구를 통해 오존 농도 및 수율을 향상시키는 것이 필수적이고 이에 따라 오존 발생에 있어서 고수율화, 대용량화 및 소형화가 가능하다. 본 연구에서는 오존을 이류체 미세분사형 노즐을 통해 안개 형태로 분사시켰을 때 살균작용은 세균의 세포벽 파괴 및 분해에 의한 것으로 식품저장 및 냉·온방공기정화 등에 사용할 수 있으며, 저농도의 오존으로도 대장균, 포도상구균, 살모넬라, 라지오넬라, 비브리오 및 O-157균 등을 비교적 간단하고 효과적으로 살균할 수 있다. 오존을 살균제로 이용할 경우 염소살균에 비해 트리할로메탄과 같은 발암물질을 생성시키지 않고, 2차 오염이 없으며, 수중의 용존산소를 증가시

켜 수질을 개선하고, 짧은 시간에 효과적으로 바이러스 및 잡균을 제거하며, 자동화로 관리가 용이하다. 탈취 또한 오존이 산화하는 과정에서 나타나는 강력한 효과 중에 하나로 식당, 화장실 및 공기청정기 등 광범위한 응용분야로 활용이 가능해 청결 위생의 효과도 매우 효과적이다.

2. 본론

2.1. 동작특성

상기한 본 연구 개발품을 제작함에 있어서 공기 흡입구와 내부에 소정의 공간이 형성된 케이스와 자동 손잡이와 360°회전이 가능해 운반 및 이동이 간편한 케이스, 상기 케이스의 내부 소정 부위에 공기 흡입구로 흡입되는 공기 중에 포함된 먼지 및 습기를 제거하는 제습 장치와, 원료가스인 공기를 일정하게 제공하는 송풍기, 강력한 살균 소독기능을 지닌 오존 발생기, 오존을 발생시키기 위한 고주파 펄스 전원장치, 입자경이 3~40 μm 이하의 이류체 미세 분사형 노즐, 살수통(물을 담은 용기) 및 기능 조절부(펄스전원제어, 타이머 조절, 송풍기 제어, 이류체 미세 분사형 노즐스위치 제어)로 구성되어 작동하는 것으로 일반적인 가습기와는 다르다. 이와 같은 본 연구 개발품은 강력한 살균, 소독, 탈취 및 대기의 정화 기능이 있는 오존을 이용하는 동시에 기존의 방식보다 간단한 구조의 분무발생수단을 구비함으로써 전체적으로 구성을 간단하게 하면서 대기 정화 효율을 향상시키는 장점이 있다.

2.2 오존무 분사장치의 효과

이상에서 설명한 바와 같이, 본 연구 개발에 의한 오존무 분사장치는, 한쪽에 공기 흡입구가 있고, 내부에 소정의 공간이 형성된 케이스와, 상기 케이스의 내부 소정 부위에 원료가스를 공급할 수 있는 컴퓨터사, 공기 흡입구로부터 흡입되는 공기중에 포함된 먼지 및 습기가 컴퓨터사를 통해 통과할 때

제거하기 위한 제습기, 상기 케이스의 내부 소정 부위에 설치하여 강력한 살균, 소독 및 탈취를 수행할 수 있는 저농도/고효율 오존발생기(전기적 무성방전으로 오존을 발생시키기 위해 주파수에 따라 호환이 가능한 전원장치와 오존방전관의 전극구조는 유전체 1개(pyrex 유리), 전극 2개(스텐레스 봉형 내부전극, 테이프 칩부형 외부전극)로 구성), 이 오존은 밸브를 통해 이류체 미세 분사형 노즐(입자경 : 3~40 μ m 이하)에 연결되고, 용기에 담겨진 물과 내부에서 혼합하여 압축공기의 힘으로 액체를 분무하여 안개분사형태를 만든다. 종래의 직접 가압방식에 의한 노즐과는 달리 매우 낮은 압력에서도 초미세 분무를 계속 유지하며 매우 느린 속도의 분무도 가능하다. 또한, 혼합실내에 공급되는 기체(오존가스)압력과 액체(물)압력의 상호증감에 따라 유량이 다양하게 변화한다. 분사각도는 100°로서 사람이 운전할 때 통상적으로 이용할 수 있는 각도이며 무인 운전으로서 회전기를 이용해 조절함에 따라 360°도 가능하다.

무인운전은 타이머를 이용해 시간을 미리 설정하여 약취농도 및 공간면적에 따라 자유롭게 할 수 있는 장점이 있다. 분사거리는 목표물로부터 3[m]이나 중력과 대기 공기의 흐름을 이용하면 상당히 넓은 면적에도 이용이 가능하다. 그리고 오존무 분사장치는 종래 오존발생용 장치같이 고정된 형태가 아니라, compact하게 제작되어 손잡이를 이용해 이동이 가능하므로 사용공간의 이용에 영향을 주지 않는 장점이 있다. 이와 같은 오존무 분사장치로 염소의 사용시 국제 환경 파괴 문제로 부각된 발암성 물질 생성, 부산물에 의한 2차 오염 유발을 방지하고 습도조절, 정전기방지, 무인자동 살균 소독 및 약취 제거 등에 이용할 수 있으므로 용도가 다양하다.

2.3 실험결과

오존방전관에 인가되는 펄스형태의 전압으로 본 시스템에 사용된 전원장치의 인가전압이다. 본 실험에 사용된 전원 시스템은 IGBT를 이용한 bipolar 펄스형태로 인가전압은 약 9 [kV]이고, 주파수는 약 12 kHz이며, 그 실측한 파형을 그림 1에 나타내었다.

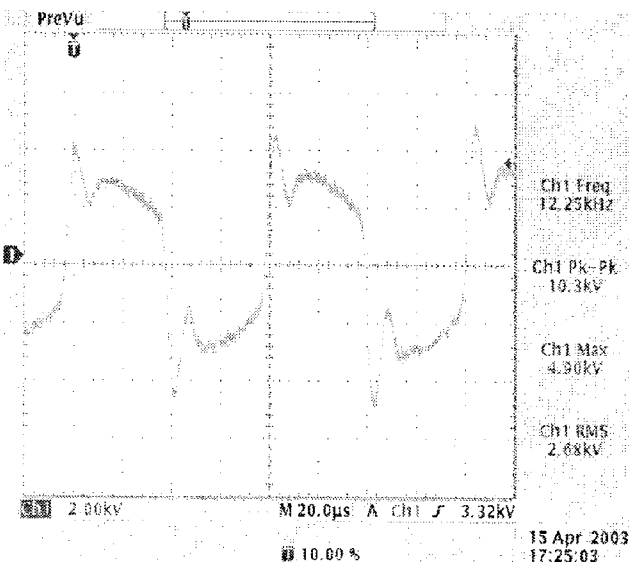


그림 1 실측한 전압파형

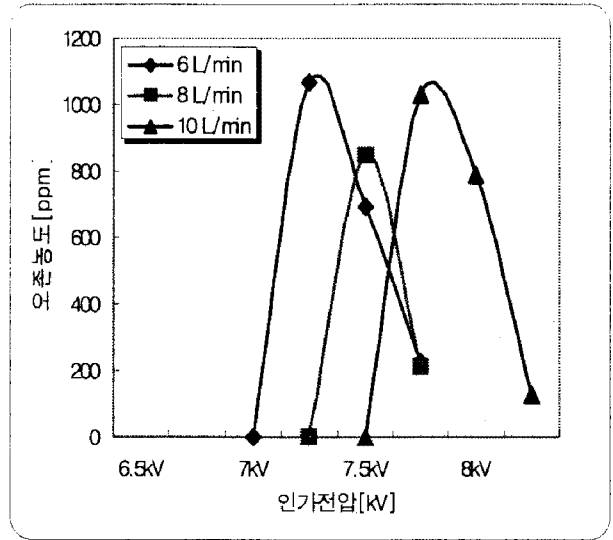


그림 2 공기의 유량에 따른 오존농도

그림 2는 오존발생기의 유량의 최적조건을 알아보기 위해 원료가스를 일반 공기로 사용하여 유량에 따른 오존농도를 나타낸 것이다. 동일한 오존발생기로 유량을 6 l/min에서 10 l/min까지 주입유량을 단계적으로 방전관 내에 주입하여 실험하였다. 그 결과 초기에는 인가전압이 상승함에 따라 오존농도 또한 상승하지만, 최고점을 기준으로 다시 급격히 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 방전관의 고전압 고주파에 의한 발열반응으로 인하여 생성된 오존이 다시 분해되어 농도가 감소한 것으로 사료된다. 그리고 6 l/min 일 때가 1150 ppm 으로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 유량이 증가할수록 방전개시전압 또한 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

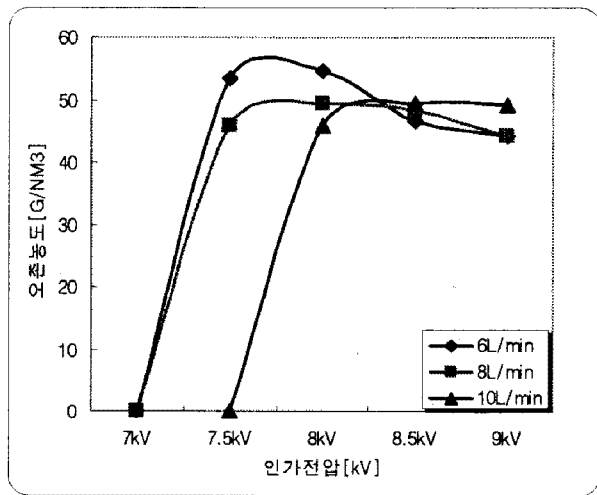


그림 3 순수산소의 유량에 따른 오존농도

그림 3은 원료가스를 순수산소(99.98%)를 사용하여 유량을 5 l/min에서 15 l/min까지 다양하게 방전관에 주입하여 오존발생특성을 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면, 인가전압이 상승할수록 오존의 농도가 감소되거나 포화되는 것을 알 수 있다. 이는 그림 5의 그래프와 동일한 특징을 가지며, 인가전압 상승 시 방전공간의 온도상승으로 오존농도가 포화 또는 감소하고 있음을 나타내는 것이다. 그리고 유량이 증가하면 포화 또는 감소 폭이 작아지는데 이는 유량 증가로 인해 방전

공간의 온도상승이 줄어들기 때문이라 사료된다.

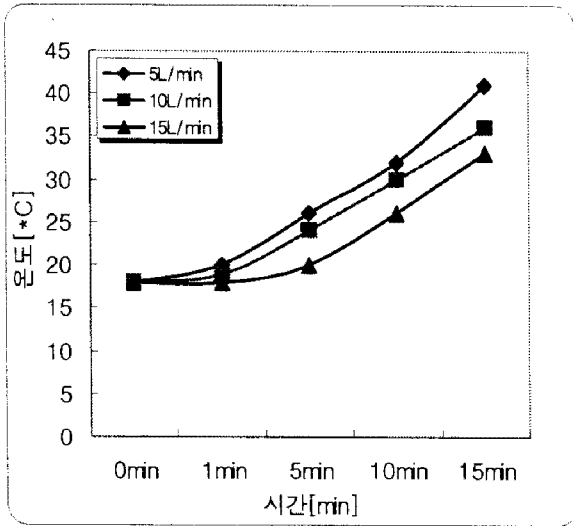


그림 4 시간에 따른 방전공간의 온도

그림 4는 방전공간의 온도상승을 조사하기 위해 인가전압을 9 kV로 일정하게 두고 유량을 5, 10, 15 l/min로 하여 시간에 따라 방전공간의 온도상승을 나타낸 것이다. 그래프를 보면, 시간에 따라 온도는 상승하나 유량이 많을수록 그 온도 상승 완만한 것을 관찰할 수 있었다. 이는 유량이 증가할수록 방전공간에 기체의 체류시간이 짧아져 기체의 온도상승이 적어 방전공간 내의 온도도 비교적 적게 상승하기 때문으로 사료된다.

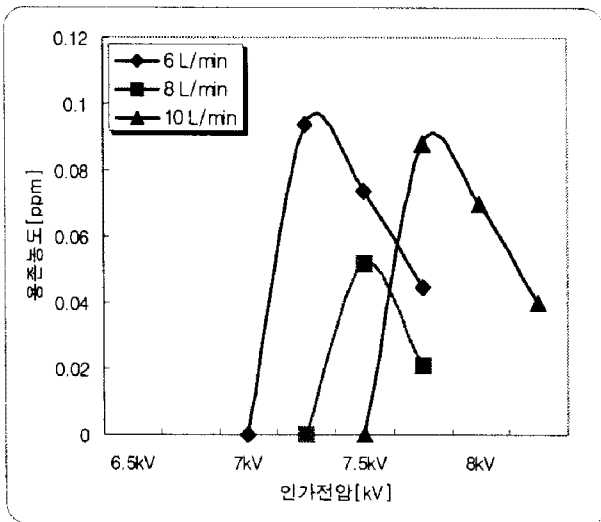


그림 5 일반 공기의 유량에 따른 용존농도

그림 5는 일반 공기를 원료기체로 하여 유량에 따른 용존농도의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 그림으로 알 수 있듯이 오존의 용존농도는 오존의 기상농도와 동일한 경향을 보이며, 인가전압에 따라 농도가 급변하는 것으로 관찰되었다.

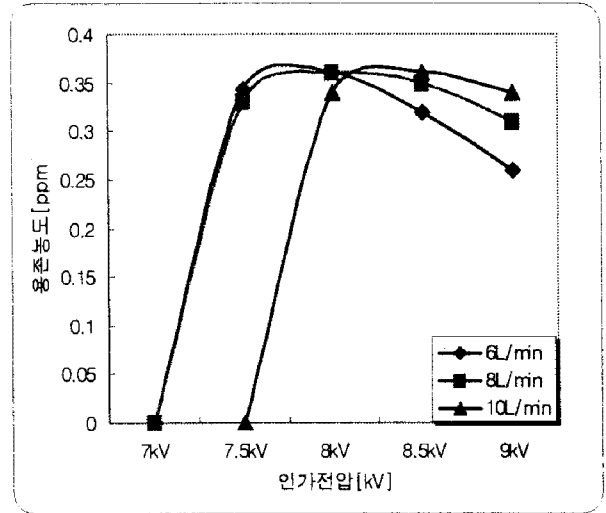


그림 6 제습장치가 추가된 시스템의 용존농도

그림 6은 시스템 내에 제습장치를 사용하였을 경우의 오존의 용존농도를 나타낸 그래프이다. 제습장치를 사용함으로써 기상 오존농도와 용존 오존농도는 모두 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있었고, 그림 3과도 비교해 볼 때, 현저한 농도 차이를 나타내고 있으며, 농도의 편차도 상당히 줄일 수 있을 것이라 사료된다. 그러므로 기상의 조건에서 고효율의 오존무제조장치를 위해서는 제습장치의 설치가 필요하다.

본 연구에서는 오존무 분사장치 내의 오존발생기의 최적 특성 조건을 찾기 위한 실험으로 pd에 따른 방전개시전압에 의해 확인함으로써 방전관 내에 원료가스를 공급하는 소형펌프의 용량을 설정할 수 있었다.

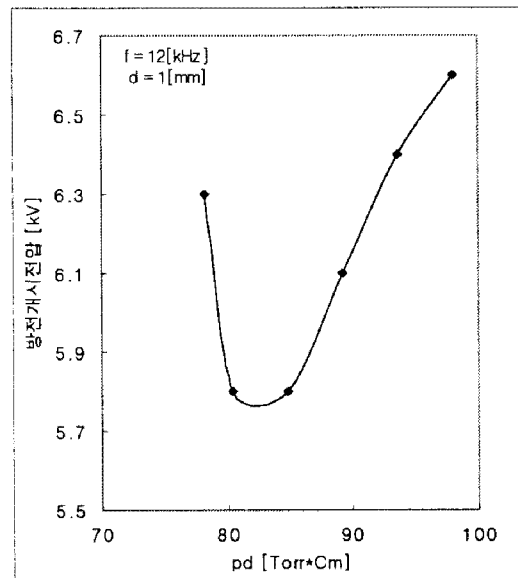


그림 4. 7 pd에 따른 방전개시전압

그림 4. 7은 주파수와 전극간 거리를 일정하게 두고, 유량에 따른 압력을 단계적으로 상승시켜 측정하였다. 유량이 2~2.5 [l/min]일 때, pd의 값은 85 [Torr·cm]로 측정되었으며, 이때의 방전개시전압은 5.8 [kV]이고, 유량의 변화에 따라 pd의 값이 90 [Torr·cm]일 때, 6.4 [kV]이다. 따라서 유량이 커짐에 따라 방전개시전압도 상승하는 것으로 나타났다.

표 1과 같은 두 형태의 방전관을 오존무 분사장치에 설치하여 오존농도 및 수율을 측정하였다.

표 1 방전관 규격 단위 : [mm]

	유전체직경	방전관길이	방전유효길이
A type	22	225	161
B type	50	226	120

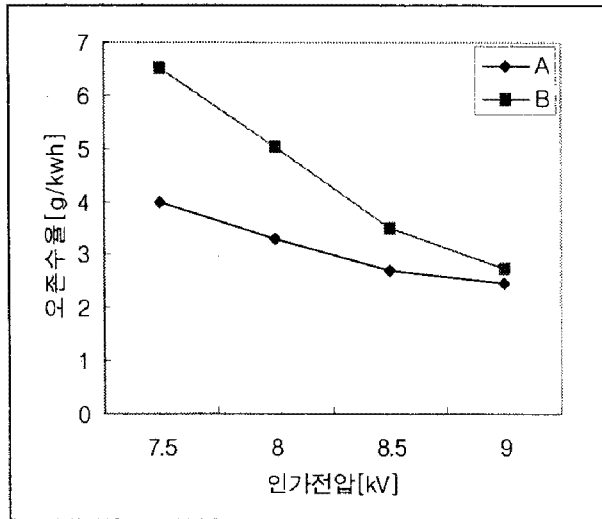


그림 8 인가전압에 따른 오존수율

그림 8은 두 가지 방전관의 오존수율을 나타낸 결과이다. 오존수율은 아래와 같은 식으로부터 산출되었다.

$$\begin{aligned} \text{오존발생량 [g/hr]} &= \text{오존농도 [g/m}^2\text{]} \times \text{유량 [} \ell\text{/min]} \\ \text{수율 [g/kwh]} &= \text{오존발생량 [g/hr]} / \text{소비전력 [w]} \end{aligned}$$

그림 4. 8에서도 알 수 있듯이 B type 방전관의 최대수율은 약 6.5 [g/kwh]이며, A type 방전관의 최대수율은 약 4 [g/kwh] 였다. 유전체의 직경이 큰 B type의 방전관의 오존발생량이 A type 보다 높게 나타났으며, 이는 유전체의 직경이 커짐에 따라 방전공간에서의 온도상승을 억제하는 것으로 사료된다.

오존무 분사장치의 안정적 운영을 위한 연구로 실험결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 오존발생기내부에 유입되는 최적의 원료가스량을 얻기 위해 pd에 따른 방전개시전압으로 나타내었고, 그 결과 약 2~2.5 [ℓ/min]에서 방전개시전압이 가장 낮게 나타났다.

(2) 서로 다른 두 형태의 오존발생관에 고전압 고주파의 펄스전원을 인가하여 대기온도와 대기습도의 조건에 따라 실험한 결과 방전공간이 큰 B type의 방전관이 방전공간이 작은 A type의 방전관 보다 기상오존농도 및 용존오존농도가 높게 나타났다.

(3) 오존수율 면에서는 A type 보다 B type의 방전관이 약 2.5 [g/kwh] 이상 더 높은 수율을 나타내었고, 이는 방전관 내에 삽입된 유전체의 직경이 커짐에 따라 방전공간 내의 온도상승을 억제시켜 나타난 결과로 사료된다.

3. 결론

가. 소용량 저농도/고효율 오존 방전관의 오존 생성 메커니즘을 규명하여 고유 모델의 무성방전형 형태인 2E-1G 전극 구조로 개발하여 제작하였다. 유전체는 직경이 22, 50[mm], 길이가 120, 160 [mm]으로 Compact하고 유지 보수가 간편한 파이렉스 유리로 내압 14[kV/mm], 용점 약 900[°C], 유전율이 6으로 절연성능이 우수한 재질을 이용하였다.

나. 소용량 오존 발생특성을 확인하기위해 오존발생시스템용 원료가스 공급장치를 다음의 조건들을 가지도록 설계하였으며 그 특성은 다음과 같다.

- 원료가스 공급장치 기술의 적정 유량 : 0 ~ 50[ℓ/min]
- 노즐 설계 : 미세분사 오존무의 크기(3~40[μm])

다. 오존은 전기적 방전에 의해 생성되므로 최적 고전압 발생을 위한 고전압 전원 장치를 설계하여 제작하였다.

- IGBT를 이용한 bipolar 펄스형 고전압 전원장치
- 인가전압 9 ~ 12 [kV], 인가주파수 12 [kHz] 이상

라. 오존화된 공기를 노즐을 이용하여 물과 접촉하는 방식으로 노즐의 다양한 기능성에 따라 여러 형태를 채택하여 설계·제작하였으며, 실험 결과 우수한 분무 특성을 나타내었다.

(참 고 문 헌)

- (1) 服部 仁, "オゾン生成にける放電の重疊效果", TJE Japan, Vol. 112-A, No. 1, pp. 41~46, 1992.
- (2) 岸田 治夫, "放電重疊法による生成の高收率化", T. IEE Japan, Vol. 117-A, No. 11, pp. 1103~1108, 1997
- (3) 井關昇, "オゾンナイザにるオゾン生成機構と今後の課題", 静電氣學會誌, Vol. 7, No. 3, pp. 142~149, 1993.
- (4) R. Peyrous, The Effect of Relative Humidity on Ozone Production by Corona Discharge in Oxygen or Air", Ozone Science and Engineering, Vol. 12, pp. 19~40, 1990.
- (5) Moo Been Chang, Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", Ozone Science and Engineering, Vol. 19, pp. 241~254, 1997.
- (6) 田畑則一, "放電によるオゾン發生法に關する考察", T. IEE Japan, Vol. 117-A, No. 12, pp. 1200~1206, 1997.
- (7) 井關昇, "オゾンナイザにるオゾン收率におよぼす原料ガス中水分の影響", ED-86-86, pp. 9~15, 1986.
- (8) S. Masuda et al. "A Ceramic-Based Ozonizer Using High Frequency Surface Discharge." IEEE trans. IA-24, pp.223~231(1998)
- (9) S. Masuda "Non-Equilibrium Plasma Chemical Process FPCP and SPCC For Control of NOx, SOx and Other Gaseous Pollutants," Proc. 4th Int. Con.on Electrostatic Precipitation, pp. 615~623(1990)
- (10) H. Sugimitsu, "Measurement of the Rate of Formation in an Ozonizer", Journal de Chemie physique, Vol. 79, No. 9, pp. 655~660, 1982.
- (11) 辻合一徳, "二重放電方式を用いた大氣壓擴散刑グロー放電によるオゾン發生特性", T. IEE Japan, Vol. 177-A, No. 12, pp. 1194~1199, 1997.
- (12) Yukiharu Nomoto, "The Effect of Hybridization of Silent Surface Discharge on Ozone Yield", ED-93-10, pp. 261~264, 1990.