

空氣/石英管 複合誘電體障壁層의 高周波 펄스 放電 特性

李應官^o 禹貞旭^o 鄭石煥^o 李東勳^o 文在德^o
 * 慶北大學校 電氣工學科, ** 韓國電力 技術研究院
 *** 釜山工業大學 産業安全工學科

Air/Quartz Dielectric Double Barrier Pulse Discharge

Eung-Gwan Lee^o Jung-Uk Woo^o Suk-Hwan Chung^o Dong-Hoon Lee^o Jae-Duk Moon^o
 Dept of electrical Engg, Kyungpook Nat'l Univ

ABSTRACT

An air/quartz dielectric double barrier pulse discharge has been investigated to develop a novel silent type ozone generator.

It is found that there are very active pulsed coronas occurred in the airgap which are very useful for ozone generation. And, the corona onset voltage of the airgap of the air/quartz double barrier was influenced greatly by the airgap of the air/quartz dielectric double barrier, and depended greatly upon the airgap ranged of 0.0~3.0mm and by the quartz tube thickness ranged of 1.75~2.25mm.

1. 序論

오존(O₃)은自然界에서 弗素(F₂)다음가는 強力한 酸化力을 가지며, 염소處理時에는 얻어지지 않는 淨化能力을 가지면서도 最終的으로는 分解되어 酸素(O₂)로 되돌아 감으로 二次公營을 전혀 일으키지 않기 때문에 上下水處理⁽¹⁻⁵⁾, 惡臭處理⁽⁶⁾, 脫色⁽⁸⁾, 食品 저장⁽⁹⁾은 물론 室內空氣淨化⁽¹¹⁾에 이르기까지 광범위하게 사용되어지고 있으며, 많은 研究者들에 의해 오존발생장치의 開發에서 應用에 이르기까지 크게 研究되고 있는 實情이다.⁽¹⁰⁻¹⁷⁾

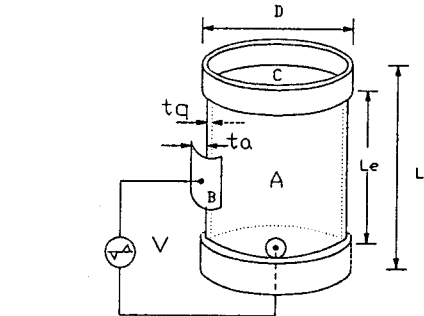
無聲放電型 오존發生裝置는 1857年 獨逸의 W. von Siemens에 의해 개발된 이래 部分的의 改良(放電絶緣體를 熱에 강하고 치밀한 碩質유리 또는 fine ceramic등으로 대체하는 정도등)을 거쳐 使用하고 있으나, 오존수율은 극히 낮아서 5%를 넘지 못하고 있는 實情이다. 즉 오존生成의 熱力學式은 O₃ → 2O₃ - 68kcal로서 오존발생 효율은 20mg/Wmin이 된다. 그러나 實際 오존 發生裝置에는 酸素解離의 量子效果率, 放電機構, 裝置의 發熱效果等에 의해 酸素原料의 경우 4mg/Wmin, 空氣原料인 경우 1.5mg/Wmin으로 20% 및 7.5%의 低效率로 되고 나머지의 電力은 發熱作用으로 變해서 O₃을 O₂로 환원하는 逆作用을 하게된다. 따라서 溫度上昇抑制을 위한 冷却裝置의 손실까지 고려한 生成受率은 空氣原料인 경우 5%를 넘지 못하고 있는 실정이다.⁽¹¹⁾

본 연구는 無聲放電形 高效率 오존發生裝置開發을 위한 기초연구로서 誘電損失이 비교적 적고 냉각효과가 좋으면서도 절연성이 매우 우수한 石英管과 空氣層의 複合誘電體障壁層에 고주파펄스전압을 인가하고 空氣層과 石英管의 두께를 가변했을 때의 空氣層의 기초방전현상을 실험적으로 연구검토한 결과이다.

2. 實驗裝置 및 方法

그림1은 본 연구에 사용된 石英管의 개략도로서, 內徑이 100mm, 外徑이 106mm, 두께 3.0mm, 길이 207mm의 원통형 石英管(cylinder type quartz tube)의 외측면을 정밀가공기술을 이용하여 유효길이 160mm로 절삭하였으며, 이때 石英管의 두께 t_q는 1.75, 2.00, 2.25mm의 3종류로 가공하여 실험에 사용하였다. 外部放電片電極은 원통형 절연체 내면에 알루미늄 테이프를 밀착하여 사용하였으며, 石英管 外徑면으로부터의 空氣層간격 t_a는 0.0~3.0mm중 0.5mm간격으로 가변하여 실험하였다. 石英管의 내부유도전극은 진공중착장치

(EVD-500A/EVP-13740, Anelva, Japan)를 이용하여 스펀레스(SUS304)를 증착하였으며, 스펀레스와 石英管과의 양호한 결합을 위하여 접착금속(glue metal)로서는 titanium을 이용하여 약 1μm두께로 증착하여 실험하였다.



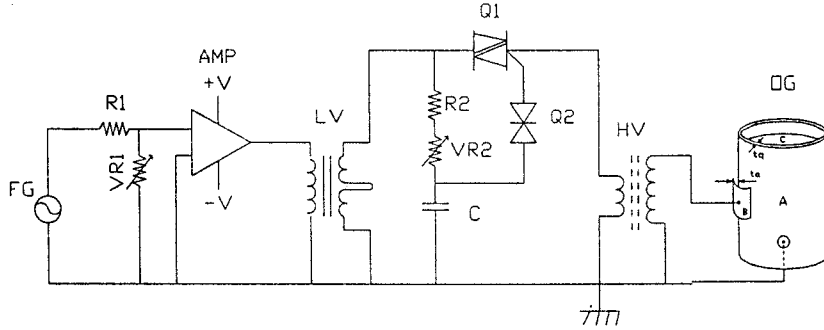
- A : quartz tube
- B : outer plate electrode
- C : inner electrode attached inner side of quartz tube
- D : outer diameter of quartz tube
- L : length of quartz tube
- LE : effective length of quartz tube
- tq : thickness of quartz tube
- ta : airgap
- V : high frequency power supply

Fig 1. Schematic diagram of cylinder type quartz tube tested

그림2는 본 실험에 사용된 펄스전원회로의 개략도로서, 신호발생기(function generator)의 소신호를 오디오용 전력증폭기(SilizEN, model sp862, 250watt)를 통해 진류증폭하고, 이를 다시 변압기로서 전압증폭하여서 반도체 수직칭소자와 점화회로를 이용하여 펄스화하고, 이를 다시 고주파고전압변압기로서 승압하여 고전압화한 것(10kV, 0.1A, 20pps~10kpps)을 상기한 外部放電片電極과 石英管내부의 유도증착전극간에 인가하여 실험하였다.

분위기기는 실내공기를 그대로 사용하였으며, 습도는 특별히 조절하지 않았으며, 이때의 습도는 21 ± 2°C, 40 ± 5%RH이었다.

고주파펄스 전류 및 전압은 오실로스코프(storage type CRO, PM3392, 200MHz, Philips)와, 고전압프로브(1000:1,



AMP : audio amplifier
GI : gas inlet
GO : gas outlet
FG : function generator
HV : high volt trans
LV : low volt trans
QG : quartz tube
Q1, Q2 : trigger circuit

Fig 2. Block diagram of HF pulse generator

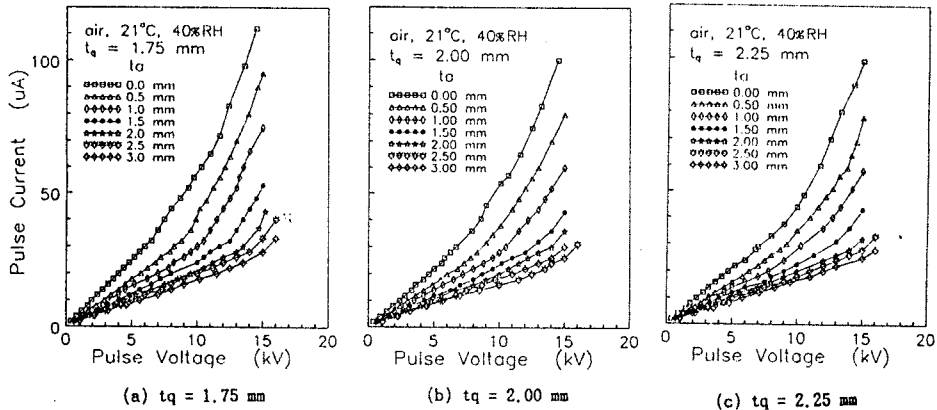


Fig 3. I-V characteristics as a function of airgap

Keithley)와, Rogowski coil형 전류프로브(Hioki, Japan)를 사용하여 측정하였다.

3. 實驗結果 및 考察

그림3은 그림1의 전극장치, 즉, 片電極-空氣層-石英管-내부중첩전극의 공기/石英管 복합장벽층을 형성하고 그림2의 고주파고전압장치로부터의 펄스전압을 인가했을때의 전류-고전압특성을 나타낸 것이다. 이때 空氣層의 두께 t_g 는 0.0~3.0mm범위내에서 0.5mm간격으로 가변했으며, 고체유전체인 石英管의 두께 t_s 는 1.75, 2.00, 2.25mm로 가변였다. 그림3(a), (b), (c)에서 보듯이 인가펄스전압의 증가에 따라 펄스전류는 직선적으로 증가하다가 인가펄스전압이 더욱 증가하면 급격히 증가함을 보여준다. 이는 인가펄스전압이 낮을 때는 공기/石英管 복합장벽층을 흐르는 전류는 변위전류가 주 성분으로서 인가펄스전압의 증가에 따라 직선적으로 증가하게 된다. 그러나, 인가펄스전압이 더욱 증가하면 공기/고체유전체복합장벽층중에서 우준전자가 존재하며 이동속도가 크기때문에 절연파괴전압이 큰 空氣層쪽이 먼저 절연파괴되고, 이 절연파괴전 방전공간의 이온전류가 변위전류에 추가되기 때문에 전체전류는 급격히 증가하는 것으로 판단된다. 石英

管의 두께 t_g 가 1.75mm인 그림3(a)의 경우, 空氣層의 두께 t_g 가 증가하면 전극간의 정전용량은 감소하게되고 따라서 변위전류도 작아지게 되며, 인가펄스전압증가분 ΔV 의 증가에 따른 변위전류증가분 Δi , 즉, $\Delta i/\Delta V$ 는 空氣層의 두께 t_g 가 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 그리고 3.0mm로 증가할 때 각각 5.0, 3.6, 3.0, 1.7 $\mu A/kV$ 로 감소하며 이때의 동저항 즉 $\Delta R = \Delta i/\Delta V$ 는 각각 2.0, 2.8, 3.3, 4.5 그리고 6.2G Ω 으로 증가함을 보여준다. 石英管의 두께 $t_s=2.00$ mm인 그림3(b)의 경우와 그림3(c)의 $t_s=2.25$ mm인 경우의 ΔR 값은 같은 경향을 보여주며, 그림4에 나타내었다. 그림4에서 보듯이, ΔR 값은 空氣層의 두께가 클수록, 石英管의 두께가 두꺼울수록 커짐을 보여주며, 空氣層의 두께에 따라 좋은 직선성을 보여준다. 따라서, 空氣層방전공간에서의 이온전류도 空氣層의 두께가 커짐에 따라 직선적으로 감소함을 보여준다.

그림5는 3종류의 石英管의 두께에 대한 空氣層두께변화에 따른 空氣層방전공간내의 이온전류발생점으로부터 구한 방전개시전압특성을 나타낸 것이다. 空氣層 방전개시전압은 空氣層의 두께가 증가할수록 증가하는 경향을 보여주나, 직선적으로 증가하지 않고 포화하는 경향을 보여준다. 그림5에서 空氣層의 절연파괴개시전압의 증가분 $\Delta V_{c,0}$ 의 空氣層의 증가

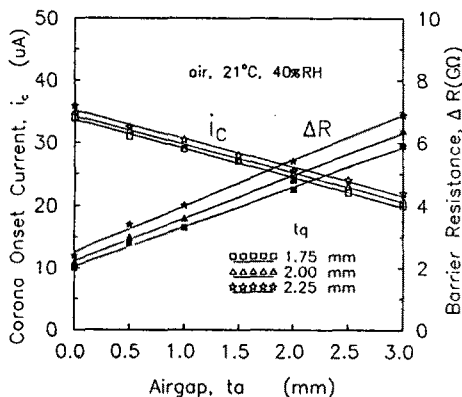


Fig 4. Corona onset current and air/quartz barrier resistance as a function of airgap

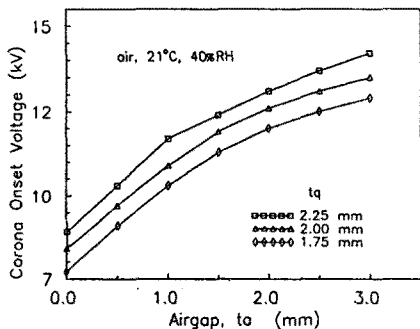


Fig 5. Corona onset voltage as a function of airgap

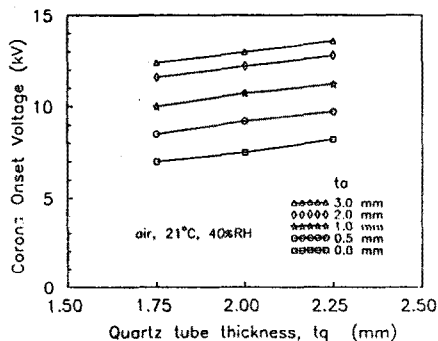


Fig 6. Corona onset voltage as a function of quartz tube thickness

본 Δt_a 에 대한 값 즉, $\Delta V_c / \Delta t_a$ 를 그림6에 나타내었으며, 이상의 관계를 그림5에서 구하면 식(1)과 같다.

$$V_{c,q} = A t_q^x \text{-----}(1)$$

여기서 A는 $t_q=0$ 일때 값이며, x는 t_q 의 기울기이다. 그림6

은石英管의 두께변화에 따른 코로나방전 개시전압특성으로서, 石英管의 두께변화에 따른空氣層의 절연파괴 방전개시전압특성으로 石英管의 두께가 증가할수록空氣層의 절연파괴전압은 직선적으로 증가하는 경향을 보여준다. 그림6에서 石英管두께 증가분 Δt_q 에 따른空氣層의 절연파괴 개시전압 증가분 ΔV_c , 즉 $\Delta V_{c,q} / \Delta t_q$ 는 약 2.3kV/mm로서 이를 그림6에서 구하면 식(2)와 같다.

$$V_{c,q} = B + 2.3 t_q \text{-----}(2)$$

여기서 B는 $t_q=0$ 일때의 값으로서 t_q 가 0.0, 1.0, 3.0mm 일때 B는 각각 6.3, 9.4, 13.4kV를 나타내었다.

4. 結論

소 중형의 고효율 오존발생장치개발을 위한 기초연구로서 평행방전극간에空氣層/石英管으로 구성되는 복합유전체의空氣層두께와 石英管의 두께를 가변했을때의空氣層의 기초방전현상을 실험적으로 연구 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 空氣層/石英管 복합유전체층에 고주파펄스전압을 인가하는 경우, 전압이 낮을때는 변위전류가 주전류이나 전압이 높아지면空氣層의 절연이 파괴되어空氣層의 이온전류가 주전류가 됨을 보여주었다.
2. 空氣層/石英管 복합유전체층의 동저항, $\Delta R = \Delta i_c / \Delta V_m$ 는空氣層의 두께가 커짐에 따라 직선적으로 증가함을 보여주었다.
3. 空氣層의 증가에 따른空氣層의 절연파괴 전압은 지수함수적으로 증가하며, 石英管의 두께 증가에 따른空氣層의 절연파괴전압은 직선적으로 증가하였다.
4. 이상의 결과로부터, 空氣層/石英管으로 구성되는 복합유전체층의 절연파괴개시전압은 본 실험결과 개략적으로 예측 가능함을 보여 주었다.

辭謝

본 연구는 두산 그룹 재단법인 연강재단의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과입니다.

參考文獻

1. 池畑 昭 : 日本靜電氣學會誌, 7, 3, 167-175 (1983)
2. B.S.Kirk and R. McNabney: Ozone in Water and Wastewater Treatment, Ann Arbor Science, Michigan(1972)
3. S.B.Majumdar, et al: J. of Water Pollution Control Fed 45, 243 (1973)
4. E.Katzenelson, et al: J of American Water Works Association, December, 725 (1974)
5. 宮田定次郎: 水處理技術, 21, 129 (1980)
6. 重田芳廣: 環境創造, 21 (1977)
7. 吾妻建國, 等: ミツビシ機技報, 51, 844 (1978)
8. 石崎廣三, 等: 日本化學會誌, 8, 1124 (1979)
9. 増田岡一, 等: 靜電氣學會講演論文集 83, 22p C12 (1983)
10. 増田岡一, 板垣敏文, 金子修三, 文 在德, 福浦雄飛: 日本靜電氣學會講演論文集, 83(1983)102-105
11. 井關 昇: 日本靜電氣學會誌, 7, 3, 142-149 (1983)
12. J. Salge et al: Proc. 6th Int'l Conference on Gas Discharge and Their Applications, (Sept, 8-11, 1980)
13. J.Salge et al: Proc. 5th Int'l Symposium on Plasma Chemistry (aug, 10-14, 1981)
14. S.Masuda et al: IEEE/IAS, Annual Meeting (Oct, 1984)
15. 文 在德, 李 根宅: 대한전기학회 논문지, 38, 8 (1989) 650-657
16. Jae-Duk Moon: 日本靜電氣學會誌 16, 3 (1992) 224-229
17. Jae-Duk Moon, et al: Record of IEEE/IAS 1986 Annual Meeting (1986) 1205-1210