

水中 微少 棒對棒 電極間의 放電現象 基礎研究

文 在 德* 李 大 熙** 金 振 圭*
* 慶北大學校 電氣工學科 ** 釜山專門大學 電氣科

A Basic Study on the Discharge of a Rod-to-Rod Microgap in the Pure Water

Jae-Duk Moon* Dae-Hee Lee** Jin-Gyu Kim*o

* Dept of Electrical Engg, Kyoungpook National Univ
** Dept of Electrical Engg, Pusan Junior College

Abstract

A basic study on the discharge phenomenon of rod-to-rod microgap in the deionized water has been investigated with emphasis on the microgap spacing. The I-V characteristics for the case of ac and dc applied voltages had 3 different regions, a low conduction ohmic region, a medium conduction corona discharge region, and a high conduction arc discharge region. The corona discharge in the deionized water for the case of ac and dc applied voltages had no different from the those in the air. But the arc discharge in the water occurred pulsative with sound which, however it is not clear, would be encountered due to the influences from the low temperature of the ambient water, vast numbers of electrolytic generated electronegative gases(e.g. O_2 , OH , O) and water molecules(H_2O), and the space charge effects near the rod in the microgap from the ions of H^+ , OH^- , O_2^- , etc, whose mobilities in the water are originally very low.

1. 序 論

오존은 강력한 酸化力을 가지면서도 最終的으로는 酸素로 되돌아가서 二次公害를 일으키지 않기 때문에 上下水處理(1), 食品의 殺菌 및 保管(2)은 물론 최근에는 半導體 製造裝備(3)로서도 사용되고 있다.

본 연구실에서는 물을 分解하여 오존을 생성하는 장치에 대한 연구를 수행해 오고 있으나, (4-7) 오존生成效率 및 오존收率이 높지 못한 문제점이 있었다.

한편, Paschen의 法則의 氣壓대 電極間隔이 아주 작은 부분에서는 電極間隔이 μ m 정도 극히 微少해지면 常氣壓 (760 torr)下에서도 絶緣破壞 電界強度는 상대적으로 매우 커짐이 알려져 있다. (8)

본 연구는 水中 白金 棒對棒 마이크로 電極間隔間의 電流-電壓 特性과 放電 特性을 실험적으로 조사한 결과의 일부로서, 효과적 인 오존발생장치로서의 適用可能性 檢討을 위한 기초연구의 일부이다.

2. 實驗 方法 및 裝置

그림1은 본 실험에 사용한 水中 棒對棒 마이크로 電極調節裝置 및 電源裝置의 概略圖로서, 淸연이 등극계 정밀 처리된 白金 棒 電極(Pt rod, $d=1.0mm$, $r=0.50mm$, 2N purity)을 서로 對向 設置하고 一側에 마이크로미터 ($s=0\sim 25mm$, 0.01mm resolution, Mitutoyo, Japan)를 부착하여 電極間隔을 微少하게 變化(變化 間隔은 $1\sim 300\mu m$)할 수 있게 하였다. 또한, 이 間隔을 精密 調節하기 위하여 마이크로미터에 디지털調節裝置(angle-to-pulse converter and digital encoder set, Line Seiki Co, Japan)을 附着하였으며, 間隔調節장치의 조절 最大誤差는 $1.0\mu m$ 以下이다. 사용한 전원은 본 실험에서는 直流과 交流에 限하였으며, 可變抵抗으로 $0\sim 1000V$ 까지의 電壓을 조절하여 실험하였다.

電極間의 電壓 및 電流 측정에는 디지털 볼트미터 (Keithley 197, USA)를 사용하였으며, 電流는 精密炭素抵抗 ($V_1 \leq 10V$ 일 때는 $R_1=1,000K\Omega$, $V_1 > 10V$ 일 때는 $R_1=1,000\Omega$)양단의 電壓을 測定 換算하였으며, 방전으로 인한 電壓計를 보호하기 위해 保護素子 (Zener diode, $V_2=24V$)를 사용하였다.

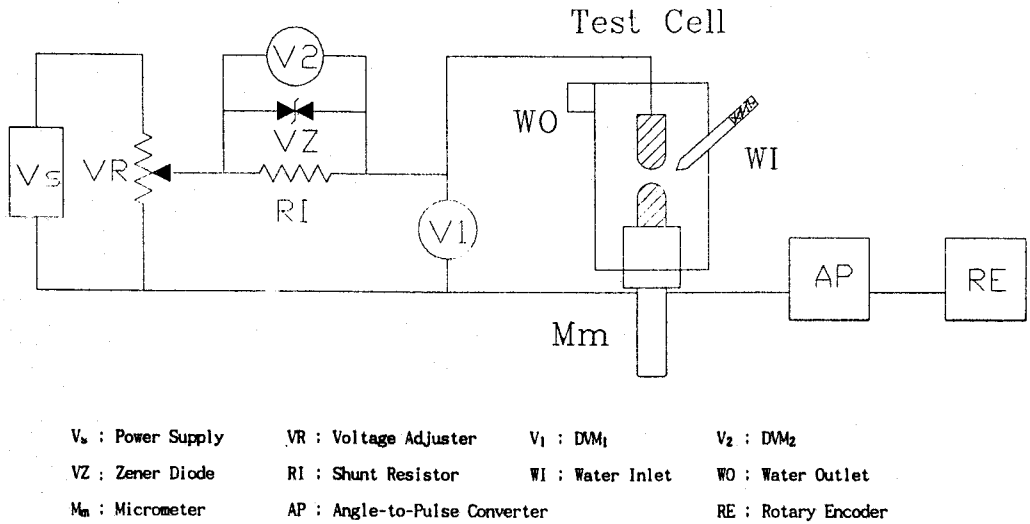


Fig 1. Schematic diagram of experimental set-up

또한, 모든 장치는 외부 電磁的 雜音을 줄이기 위해 金屬筒內에 납입하여 靜電遮閉하였으며, 사용한 물은 이온 交換水(deionized water, 17MΩcm)로서, 水溫은 약 20°C이며 특별히 조절하지는 않았으며, 不純物 混入防止 및 電極間의 生成氣泡의 除去를 위해 絶緣노즐을 이용해서 流速 약 1 l/min으로 電極 間隔間에 流水했다.

3. 實驗結果 및 考察

그림2는 이온 交換 水中 棒對棒 電極間의 電極間隔을 변화시켰을 때의 直流電流-電壓특성을 나타낸 것으로, 電極間隔이 작을수록 絶緣破壞電壓이 낮아지고 電流는 증가됨을 보여 준다. 또 直流 印加電壓의 증가에 따라 電流는 직선적 증가하며, 물의 電氣分解作用으로 간격간에 氣泡(O₂, H₂ 등)들이 생성 上昇되므로 電流 및 電壓값의 변동이 나타나고, 直流 電流의 變曲 및 기울기의 크기로서 3개 領域으로 구분됨을 보여준다. 즉, 直流 印加 電壓이 低電壓 領域에 대한 물의 이온화電位(disassociation potential $V=1.4V$)보다 높아지면 電氣 分解作用(electrolysis, $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$)으로 생성된 이온(주로 H^+ 와 OH^-)에 의해 주로 傳導하는 低傳導性 음성 領域(ohmic region), 直流 電壓이 더욱 높아지면 電極間의 部分放電(corona discharge)이 일어나는 中傳導性 部分放電 領域(corona region), 그리고 電壓이 더욱 높아지면 全路絶緣破壞(arc discharge)이 일어나는 全路絶緣破壞 領域(arcing region)으로 나누어짐을 보여 주었다.

한편, 電流-電壓 特性的 變曲點에서는 코로나 放電 및 아크 放電의 모양은 واضح했으나, 棒對棒 電極間隔이 매우 적고, 코로나 發光 또한 미약해서 본 논문에서 사진등으로 나타낼수는 없지만,

눈으로는 확실히 구분할 수 있으며 코로나 발생음도 확인할 수가 있었다. 특히 아크 放電의 경우는 空氣中の 그것과는 물리는, 즉 방전 자체가 持續的이지 못하고 斷續的으로 비교적 규칙적인 放電音을 내었다. 이는 방전 부근의 낮은 수온(약 20°C)과 방전으로 발생된 移動度(mobility)가 매우 작은 이온들(OH^- , H^+ , H_2O^+ , O^- , O_2^- 등) 및 電子 親和力(electron affinity)이 큰 負性가스(electronegative gas, O, O₂, OH)나 水分子(H₂O)들의 電子附着作用(electron attachment action)과 이들에 의한 마이크로 電極間隔 부근의 空間電荷에 의한 電極에의 영향(space charge effect)에 의한 결과라고 사료되나, 자세한 것은 앞으로 연구되어야 하겠다.

그림3은 이온交換水中에서 棒對棒 電極間隔을 변수로 하였을 때의 交流 電流-電壓 特性을 나타낸 것으로 交流인 경우에는 直流에 비해 電氣 分解作用이 거의 일어나지 않기 때문에 直流의 경우와는 電氣 傳導現象이 물리나 交流의 경우도 直流의 경우와 같은 3領域으로 구분되어 나타났다. 즉, 電壓이 비교적 낮은 低電壓 領域으로부터 中電壓領域까지의 低傳導性 變位電流 領域(displacement current region), 電壓이 높아져서 部分放電(corona discharge)을 일으키는 中傳導性 部分放電 領域, 그리고 電壓이 매우 높아져서 全路絶緣破壞(arc discharge)가 일어나는 全路絶緣破壞 領域으로 나누어짐을 보여준다.

그림4는 그림2 및 그림3의 값으로부터 구한 直流 및 交流 部分放電 開始電壓(corona on-set voltage) 및 全路絶緣破壞電壓(arc discharge voltage)을 電極間隔을 매개변수로 하여 나타낸 것으로, 直流 및 交流 모두 低傳導性 음성 領域, 中傳導性 部分放電 領域, 그리고 高傳導性 全路絶緣破壞 領域으로 나타남을 보여준다.

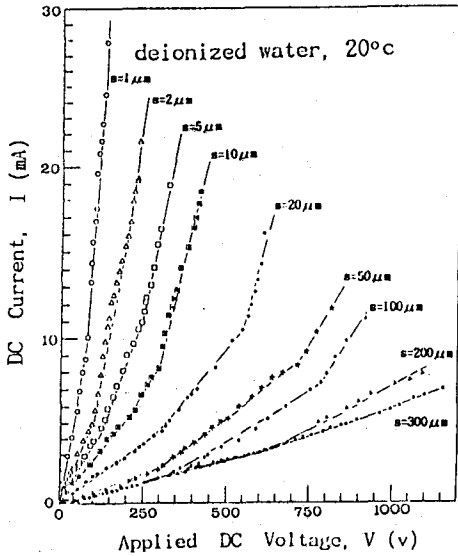


Fig 2. DC I-V characteristics of various gap spacings.

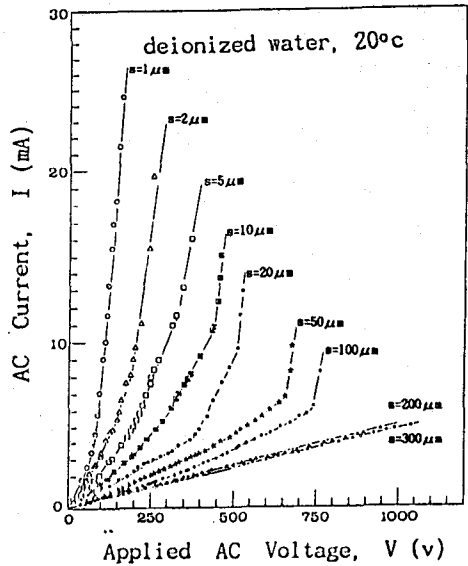


Fig 3. AC I-V characteristics of various gap spacings.

그리고, 電極間隔이 1 μ m로부터 20 μ m까지의 비교적 작은 때에는 部分放電 開始電壓 및 全路絶緣破壊電壓이 급격히 높아지며, 20 μ m 이상의 비교적 큰 電極間隔에서는 일정 전압에 포화하는 경향을 보여주었다.

한편, 球對球 電極間隔일때의 對向 球對球의 中心線上的 電界 즉 最大電界는 式(1)과 같이 나타낼 수 있다. (9)

$$E = f \frac{V}{s} \quad \text{--- (1)}$$

$$f = 1 + \frac{11}{32} \frac{s}{r} - \frac{3}{256} \left[\frac{s}{r} \right]^2 + \frac{11}{256} \left[\frac{s}{r} \right]^3 + \dots$$

여기서 E는 電極 中心線上的 最大 電界強度, V는 電極간의 電壓, s는 電極 중심상의 電極 間隔, r은 球의 半徑이다. 따라서 본 실험의 경우는 對向 白金 電極이 半圓型으로 정밀 처리되어 있기 때문에 近似 球對球 間격으로 볼수 있으므로 개략적인 最大電界는 式(1)을 사용하여 구할 수 있다. 본 실험의 s의 범위는 1 μ m - 100 μ m이고 r=1.0mm이므로 f의 범위는 1.00-1.03이므로 式(1)은 개략적으로 E=V/s로 근사 계산할수 있게 된다.

그림5는 그림4의 直流 및 交流 部分放電開始電壓 및 全路 破壊電壓으로부터 式(1)에 의해 구한 電極 中心線上的 部分放電 開始電界 E_c 및 全路絶緣破壊電界 E_b 로서 電極 間격이 비교적 작은 20 μ m이하에서 급격히 증가함을 보여 주며, 5 μ m이하에서의 E_c 및 E_b 값의 수배이상에서 수십배의 큰 값을 보여 주었다.

이와 같이 電極間격이 매우 작고 高電界下에서는 電子沙汰 (avalanche)에 의한 絶緣破壊뿐만 아니라 電子의 波動性에 의한 電界放出(field emission), 즉 電子가 電位 障壁(potential barrier)을 뛰어 넘어서 電氣 傳導하는 터널 效果(tunnel effect)도 예상된다. 즉 Fowler-Nordheim에 의하면 액체의 絶緣 破壊에 있어서의 電界電子放出 電流密度는 式(2)와 같이 나타난다. (10)

$$J = f \frac{E^2}{\phi} \exp \left(- g \phi^{3/2} \frac{u^2}{E} \right) [A/m^2] \quad \text{----- (2)}$$

여기서 J는 電流 密度, f 및 g는 常數, E는 電界, ϕ 는 일函數, u는 E/ϕ^2 에 의해 결정된 변수이다. 이 式(2)를 만족하기 위한 電界는 $E_b \geq 10^7 - 10^{11} A/m$ 정도가 필요하나, 실제 電極表面의 突起나 不純物의 附着등이 있을 경우에는 $E_b \geq 10^7 - 10^8 A/m$ 정도에서도 電界放出에 의한 電流가 생성된다고 보고하고 있다.

본 실험의 경우 $E_b \geq 10^7 A/m$ 를 넘는 경우는 電極間隔이 50 μ m이하로 적을 경우에 모두 해당되며, 따라서, 電極間隔이 50 μ m이하로 작아지는 경우에는 電子沙汰에 의한 絶緣破壊 發生 뿐만 아니라 高電界에 의한 電界放出效果도 충분히 예상된다고 볼수 있으며, 第3領域인 高傳導性 全路破壊 領域에서는 이와 같은 複合 絶緣破壊가 일어나리라고 사료되나, 구체적인 것은 앞으로 연구해 보아야 하겠다.

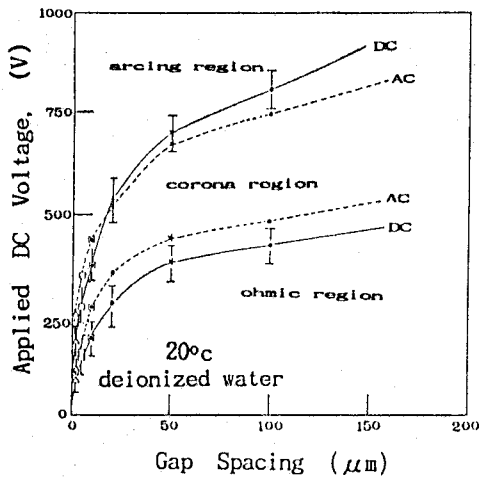


Fig 4. Corona on-set and arc discharge voltages as a function of gap spacings.

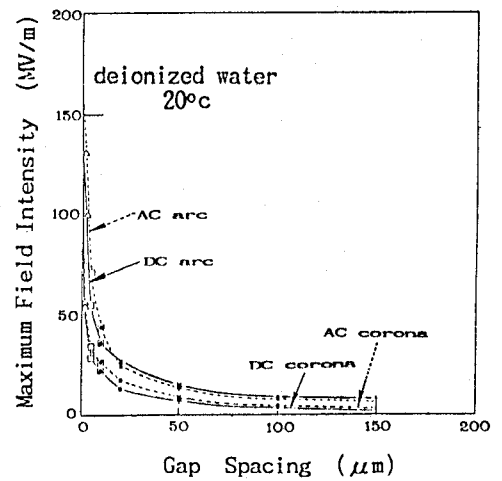


Fig 5. Corona on-set and arc discharge field intensity as a function of gap spacings.

4. 結論

이온 交換水中의 白金 棒對棒 마이크로 電極間隔間의 直流 및 交流 電流-電壓 特性 및 放電特性을 실험적으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 直流 및 交流 電壓 印加時 印加 電壓의 크기에 따라 3개의 領域, 즉 低傳導性 領域, 部分放電이 발생하는 中傳導性 部分放電 領域, 그리고 全路絶緣破壞가 일어나는 高傳導性 全路破壞 領域으로 나누어짐을 보여 주었다. 다만, 低傳導性의 경우 直流인 경우는 水の 電氣分解 作用에 의한 이온 (주로 H⁺와 OH⁻) 電流가 主 電流이나 交流인 경우는 電氣分解作用에 의한 電荷生成作用이 거의 없기 때문에 電極間에는 變位電流가 主 電流인 것으로 사료된다.
2. 水中의 코로나 放電의 경우는 安定되고 持續的으로 일어나서 空氣中の 그것과 큰 차이는 없으나, 아-크 放電의 경우는 空氣中の 아-크 放電과는 다르게 방전 자체가 持續的이지 못하고 斷續的으로 비교적 규칙적인 斷續音을 수반하는 斷續放電現象을 나타냈다.
3. 電極間격이 50μm이하로 작아지면 電極 中心間의 推定 最大 電界強度가 10⁷V/m 이상으로 매우 커져서 電子沙汰에 의한 絶緣破壞뿐만 아니라 電界電子放出에 의한 tunnel 效果에 의한 絶緣破壞도 예상됨을 보여 주었다.

參考 文獻

1. 吾妻健國, 竹山 哲, 中山繁樹, 松永正征: 上下水道へのオゾン 應用機器の適用, みつびし電機技報, 55, 10 (1981) 704-708
2. 內藤茂三, 岡田安司, 酒井達也: 穀類, 穀粉, 豆類および香辛料の オゾン殺菌特性, 日本食品工業學會誌, 34, 12 (1987) 788-793
3. Fusion Semiconductor System; Fusion 200AC-II Ozone Asher, USA, or, Hitachi UV/Ozone Asher, UA-3150, Japan
4. 文在德, 金 鎔: 水分解形 오존發生裝置의 基礎研究, 대한전기 학회 논문지, 40, 9 (1991) 945-950
5. 文在德, 金 鎔: 水分解形 오존發生裝置의 電極線肥大現象과 自己回復現象, 대한전기학회 논문지, 40, 6 (1991) 626-629
6. 文在德, 金 鎔: 水中線對線電極間의 오존發生特性, 日本靜電 氣學會 講演論文集 91, 30a C8 (1991) 255-258
7. 文在德, 李大熙, 禹貞旭: Screen-Printed Ozone Generator, 日本靜電氣學會 講演論文集 92, (발표예정)
8. 田春生: 高電壓工學, 東明社 (1989) 74
9. 徐國哲, 姜道烈: 新編高電壓工學, 東明社, (1986) 35-37
10. 田春生: 高電壓工學, 東明社 (1989) 52-53