

Reynolds Number를 變數로한 流動空氣의 放電特性에 관한 연구

김 영 훈 ◦ 오 재 열 이 광 식 이 동 인
영 남 대 학 교

Characteristics of Sparkover Discharge in Flowing Air with Reynolds Numbers' Variable

Y.H.Kim ◦ J.Y.Oh K.S.Lee D.I.Lee
Yeungnam University

ABSTRACT

This paper reports the characteristics of sparkover discharge in flowing air ranging from 0[m/s] to 30 [m/s] under the needle-needle gap. Flowing air duct of this investigation is circular tube. The important results obtained from this study are as follows,

1. the ratio of sparkover voltage to the Reynolds number decreases with increasing the Reynolds number.
2. The duration time of sparkover(t) decreases with increasing the Reynolds number.
3. the empirical equation obtained from this experiment is

$$[\%] \frac{V_s}{Re} = A + B \varepsilon C \cdot Re$$

where A = 10.2

b = 125

c = -4.66 × 10⁻⁵

1. 序 論

電氣絶緣材料로서 중대에는 液體 誘電體가 많이 사용되어 왔으나 최근 電力需要의 증대로 인하여 계통이 高電壓化 되므로 絶緣性이 우수하고 輕量인 氣體 誘電體가 고전압 기기의 절연체로서 많이 사용되고 있다.

靜止狀態에 있는 기체 유전체의 Arc의 消弧性보다 流動時의 소호 능력이 더욱 우수하므로 최근에는 流動狀態의 기체 유전체의 특성 연구에 많은 관심이 집중 되고 있다. 또한 유동상태의 放電을 응용한 측면으로 보면 EFD발전, 정전 도장장치, 오존 발생기, 전기 집진장치 및 Air Blast Circuit Breaker(ABB) 등에 널리 응용되고 있다.

많은 학자들이 의해서 정지시 공기의 방전특성 解析은 많은 진전을 보았으나, 유동 공기의 방전 특성에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. [1-7]

이러한 관점에서 本 研究는 유동에 따른 全路破壞 전압의 상승 관계를 연구할 목적으로 流體力學的인 이론을 적용하여 Reynold數 와 全路破壞電壓, Reynold數 와 全路破壞路 徑 長의 관계 및 전도파괴전압 과 전류 파형을 관측하여 연구 검토하고자 한다.

2. 流 速 分 布 式

潤滑한 水平直圓筒管内에 非壓縮性 粘性流體가 흐를 경우 관입구에서 助走距離 이후에서는 관의 전단면에 걸린 속도 분포, 管摩擦에 의한 압력 손실의 비율 및 관단면을 지나는 유체의 운동 에너지는 일정한 상태가 된다. [8, 9, 10] 위와 같은 경우 層流의 영역에서 연속의 식은 다음식(1)과 같으며

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

外力이 없을 경우의 Stokes-Navier식은

$$\left. \begin{aligned} \frac{DU}{Dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) \\ \frac{DV}{Dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) \\ \frac{DW}{Dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\} (2)$$

(2)와 같다.

위의 식(1), (2)에서 유속식(3)을 얻을 수 있으며 또한 최대 유속(이하 U_{max}로 칭함)과 평균유속(이하 U_{mean}으로 칭함)과의 관계식(4)을 얻을 수 있다.

$$U = U_{max} \frac{4p}{4\mu l} r^2 \quad (3)$$

$$U_{mean} = \frac{1}{2} U_{max} \quad (4)$$

다음은 亂流에서의 유속분포식인 Nikuradse의 식 [9] 즉 식(5)를 이용하여 U_{mean} 과 U_{max}와의 관계를 식(6)으로 표현할 수 있다.

$$U = U_{max} - 2.5 \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \ln \frac{r_0}{r_0 - r} \quad (5)$$

$$U_{mean} = \frac{1}{1 + 1.326 \sqrt{\lambda}} U_{max} \quad (6)$$

위와 같이 하여 난류분포식은 식(7)과 같이 되며 관마찰계수(이하 λ라 칭함)는 Re < 10⁶인 범위에서는 Blasius식 즉

(8)식, $Re > 10^5$ 인 범위에서는 Nikuradse식 즉 식(9) 및 Re 의

식은 식(10)을 이용하였다. [10]

$$U = (1 + 1.326\sqrt{\lambda}) U_{max} - 5.75\sqrt{\frac{\lambda}{8}} \cdot U_{max} \quad (7)$$

$$\log_{10} \frac{r_0}{r_0 - r} \quad (8)$$

$$\lambda = 0.3164 Re^{-0.25} \quad (8)$$

$$\lambda = 0.0032 + 0.221 Re^{-0.227} \quad (9)$$

$$Re = \frac{U_{mean} \cdot r_0}{\nu} \quad (10)$$

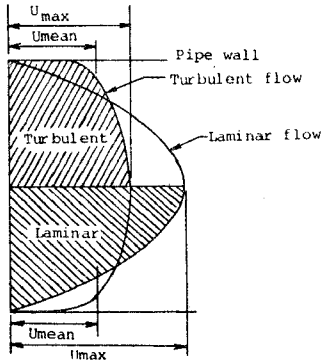


그림 1. 湍滑한 圓管内의 層流와 亂流의 速度分布圖

3. 實驗裝置 및 方法

그림2에 본 실험을 위한 장치의 概略圖를 나타 내었다. 直圓筒管은 아크릴 원통(內徑 53[mm], 外徑 59[mm], 길이 5964[mm])이다. 전극은 針電極으로서 길이 10[cm], 직경 0.5[cm], 첨단부 예각 15[도], 曲率半徑 1.35×10^{-2} [cm]의 黃銅製 전극으로서 상류에서 2931[mm] 떨어진 지점에 공기의 흐름과 수직으로 배치 하였다.

전압, 전류 파형을 관찰하기 위하여 Storage Type Oscilloscope(S.T.O.)를 사용하였다.

전극간 거리를 1, 2, 3[cm]로 하여 流速을 0-30[m/sec]까지 변화시켜 가면서 전로파괴전압(V_s)과 공기의 평균유속(U_{mean})과의 관계를 측정 하였다. V_s 는 전압을 상승(3kV/sec)시켜 갈때 전로파괴가 일어나 전원이 자동 차단될때의 전압이다.

본 연구에 사용된 전압은 負極性 直流電壓이며 流動氣體는 室內空氣(온도 20[°C], 습도 80[%], 기압 757[mmHg])를 유동 시켰다.

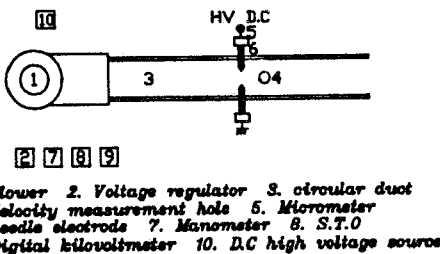


그림 2. 實驗裝置圖

4. 結果 및 檢討

유속에 따른 Re 와 V_s 의 특성은 그림3과 같다. 각전극 d에서 전압 上昇率은 다르나 낮은 Re 영역($Re=0 \sim Re=4 \times 10^4$)에서는 전압 상승율이 크며 그 이상에서는 전압 상승율이 완만한 후 거의 포화되는 경향이다. 낮은 Re 영역에서는 전압 상승율이크게 나타 나는데 이것은 Ion풍이 하류로 편이 되므로 하류의 電界가 강화된 결과 방전로가 유속분포에 준하여 하류로 형성된다. [4,7] 그 결과 방전로의 길이가 伸張되어 기류와의 접촉 면적이 증대 되므로 방전로의 냉각이 촉진되는 현상, 그리고 기류에 의한 전극의 冷却作用에 기인한 것으로 사료됨. [13] 이것은 그림4의 방전지속시간 특성으로 확인할 수 있는데 그림에서 낮은 Re 영역에서는 지속시간의 변화도 크며 지속 시간도 V_s 의 포화 영역보다 훨씬 큰것으로 나타난다. 이 그림의 경향은 Yutaka Nishimura 등의 연구 결과와 유사함을 알 수 있다. [1,13]

다음은 V_s 가 포화되는 영역인데 이 영역의 전로파괴 지속시간은 거의 같게 나타나며 全路破壞路의 모양도 유사하게 나타난다. 전로파괴로의 모양이 유사하다는 것은 V_s 의 값도 거의 같음을 시사한다. 이것은 이 영역의 전로파괴시의 전압, 전류파형(사진)으로도 확인할 수 있는데 이때는 $Re=0$ 및 낮은 Re 영역보다 전로파괴 지속 시간이 짧고 전형적인 파형은 사진의 C)의 모양과 같다.

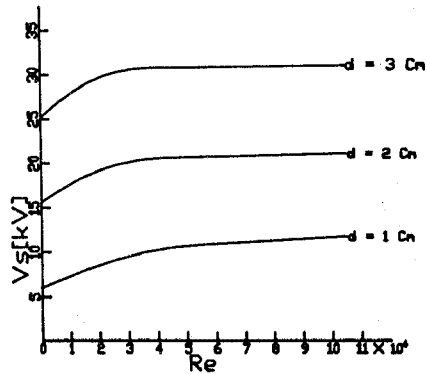


그림 3. V_s 와 Re 와의 관계

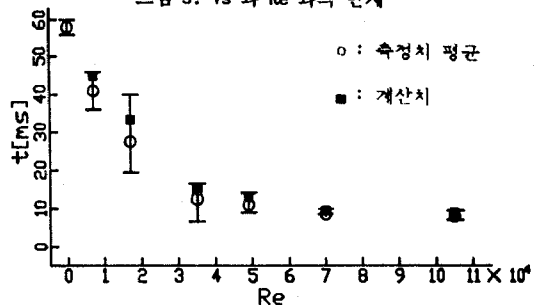
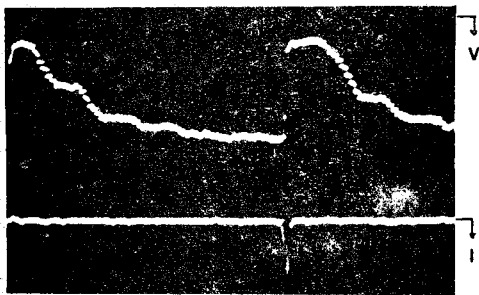
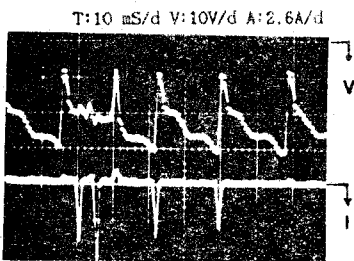


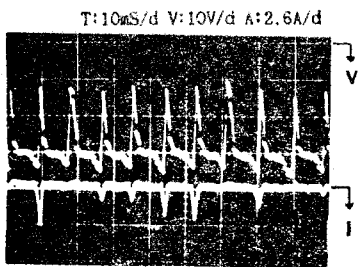
그림 4. Re 와 전로파괴지속시간(t)와의 관계



(a) $Re = 0$



(b) $Re = 3.51 \times 10^4$



(c) $Re = 20 \times 10^4$

사진 . 全路破壊時 電壓 및 電流波形

그림5는 Re 가 $0.7 \times 10^4 \sim 10.52 \times 10^4$ 까지의 각 d 를 따라 메타로 한 전압 상승을 관계이다. 여기서 상승률은 각 d 에서 첫구간 즉 $Re=0.7 \times 10^4$ 에 대한 V_s 의 상승율을 100[%]로 하고 이에 대한 각 구간의 상승율의 백분율을 $[X] = V_s / V_0$ 로 나타내었다.

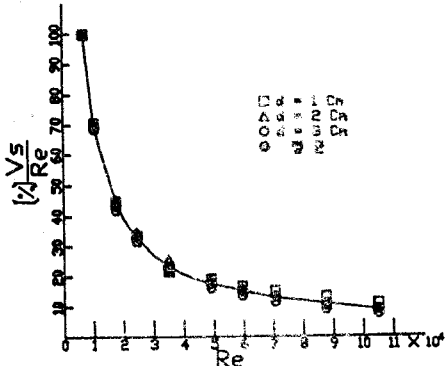


그림 5. Reynold 數와 電壓上昇率의 관계

그 특성은 그림5와 같이 지수적으로 감소한다. 이를 수식

와 하면 (11)식과 같이 된다.

$$V_s$$

$$[X] = A + B e^{C \cdot Re} \quad (9)$$

$$Re$$

$$A = 10.2$$

$$B = 125$$

$$C = -4.66 \times 10^{-5}$$

이 식은 본 연구의 각 d 에 대한 유동시의 V_s 상승관계를 대표하는 식으로 오차는 5.7[%] 정도가 되었다.

5. 結 論

직원통관내 공기가 유동할때 방전특성을 유속분포에 직접 관계가 있는 Reynold 數와 관련지어 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Reynold 數가 4×10^4 이내에서 전도파괴電壓의上昇율이 크며 그 후로는 완만한 경향을 거쳐 거의 포화된다.
- 2) Reynold 數가 증가함에 따라 전도파괴지속시간(t)는 짧아진다.
- 3) 全路破壊電壓은 流動時가 정지시보다 平均 6.3[kv]높았다.
- 4) 전압上昇率의 관계는 다음 식으로 나타낼수 있다.

$$V_s$$

$$[X] = A + B e^{C \cdot Re}$$

$$Re$$

$$A = 10.2$$

$$B = 125$$

$$C = -4.66 \times 10^{-5}$$

參 考 文 獻

- 1) 島山 四男 外 "放電 핸드북" 電氣學會 昭和 55, P.160,162
- 2) 川崎元之外 1人 "針對金網 電極係におけるイオン風 反動力の實驗的 檢討" 電氣學會 論文誌 59-A52 昭和 59
- 3) Mohamed Khalifa "Analysis of the effects of wind on DC transmission line corona losses" IEEE paper NO C-73-163, 1973
- 4) 高木浩一外 "氣流中における針對平板 電極間 放電の 特性" 電學論 A, 110卷 2號 平成 2年
- 5) M. Abdel-Salam "Positiv corona in point-plane gaps as influenced by wind" IEEE Transaction on electrical insulation Vol. EI-22 No. 6, 1987
- 6) M. M. Khalifa "A laboratory study of the effects of wind on DC corona" IEEE Transactions on power apparatus and system Vol. PAS-86, No. 3, 1967
- 7) 關谷昌久外 2人 "高速度 氣流中における負針對 平板 ギャップの 放電特性" 電學論 A, 107卷 6號 昭和 62.
- 8) 平山直道 "流體力學" 森北 出版 1973, 9
- 9) 橫山重吉 "水力学" パウ-社 昭和 51年
- 10) 河 在賢 "流體工學の 基礎" 嶺南大學校 出版部, 1983.
- 11) 李 廣 植 "流動空氣中 針對針 電極의 放電特性" 電氣學 會 論文誌 34-12-2 P.464-472 1985. 12
- 12) 李 廣 植, 李 東 仁 "直流電壓인가시 流動空氣의 放電特性" 大韓電氣學會 論文誌 第 16卷 第 3號 1987. 3
- 13) 李 廣 植 "同軸 圓筒電極에서 流動空氣의 放電特性" 嶺南 大 工業技術研究所 研究報告, 第1卷 1號