

구-구갭의 섬락 특성에 미치는 연소화염의 영향

(Influence of the Combustion Flames on the Flashover Characteristics of the Sphere-Sphere Air Gap)

김인식* · 이상우

(In-Sik Kim · Sang-Woo Lee)

요 약

본 연구에서는 구-구갭을 수평 배치하였을 때, 연소화염에 의한 교류 및 직류 플래시오버전압 특성을 조사하였다. 화염에 의한 플래시오버 극성을 조사하기 위해 전압 및 전류파형을 측정하였으며, 플래시오버가 발생되기 전에 쿨롱력에 의한 화염의 형상 변화를 관찰하였다. 또한 플래시오버 전압의 저하 요인으로서 상대공기밀도의 저하 및 연소화염의 열전리 영향에 대해 고찰하였다. 실험 결과, 구-구갭에서 접지축 전극과 갭길이의 비를 k 라고 할 때, 화염위치 $k=0$ (접지축), $k=0.5$ (중앙부) 및 $k=1.0$ (전원축)인 경우 화염에 의한 교류 섬락전압의 평균값은 화염이 없을 때에 비해 각각 79.9, 82.9 및 87.5[%] 저하되었으며, 또한 화염의 높이 $h=0$, $h=5$ 및 $h=9$ [cm]일 때 교류 플래시오버 전압의 평균값은 화염이 없는 경우를 기준으로 하였을 때 각각 85.0, 40.8 및 28.2[%] 저하되었다. 소규모 연소화염에서의 열전리 영향은 크지 않는 것으로 나타났다.

Abstract

In this paper, reduction characteristics of the AC and DC flashover voltage in the horizontal air gap of sphere-sphere electrode system were investigated when the combustion flame was present near the high voltage electrode. The voltage and current waveforms were measured, when the flashover is occurred, in order to examine the flashover polarity by flame. The reduction characteristics of AC flashover voltage were discussed with the thermal ionization process, the relative air density and the deflection phenomena in the shape of flames that caused by the coulomb's force. As the results of an experimental investigation, It was found that the reduction of flashover voltages in sphere-sphere system, in comparison with the no flame case, are 79.9[%] for $k=0$, 82.9[%] for $k=0.5$, 87.5[%] for $k=1.0$, 85.0[%] for $h=0$ [cm], 40.8[%] for $h=5$ [cm] and 28.2[%] for $h=9$ [cm] when ac voltage is applied. The influence for thermal ionization process of the combustion flame in small scale no particular change is recognized.

Key Words : Flashover voltage, Combustion flame, Sphere electrode, thermal ionization

* 주저자 : 경일대학교 컴퓨터 제어 · 전기공학부 교수

Tel : 053-850-7143, Fax : 053-850-7602, E-mail : iskim@kiu.ac.kr

접수일자 : 2004년 7월 2일 1차심사 : 2004년 7월 7일 2차심사 : 2004년 8월 16일 심사완료 : 2004년 9월 8일

1. 서 론

송전선로의 절연내력에 영향을 미칠 수 있는 고온 화염의 형태로는 동절기 건조한 기후로 인한 산불화재 사고에서부터 선로 부근에서 소각되는 쓰레기에 이르기까지 매우 다양하다. 이러한 고온의 화염이 존재하면, 화염 상부에 있는 송전선로는 절연내력이 크게 저하되어 전력선의 선간 또는 전력선과 대지간에 섬락사고를 일으킬 수 있는 조건을 형성할 수 있으므로 문제시되고 있다. 이런 조건을 감안하여 도체의 이격거리를 송전전압 섬락 특성에 대해 충분히 여유 있게 설계한다고 하더라도 선로 부근에 화염이 존재하면 초고압 송전선로는 정전 사태를 야기할 수 있음을 보고하고 있다[1-2].

화염에 의한 절연파괴 특성은 특수 환경의 방전현상에 대한 연구뿐만 아니라 연소 가스를 사용하는 MHD발전에서 전극 부근의 방전현상과 밀접한 관계가 있으며, 아크 화염을 발생하는 차단기의 절연회복 특성, 연소 가스를 통과시키는 전기집진기의 방전현상 등에 대한 기초 자료를 얻을 경우에도 활용될 수 있다.

화염 자체의 전기적 특성에 대해서는 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이들 연구의 대부분은 각종 화염에 대한 자체의 임피던스 특성이나, 전위 분포에 따른 화염의 저항률 및 전압·전류 특성 등 물리적 현상에 관해 주로 보고하고 있다. 예를 들면 K. Koyama 등은 MHD발전에 적용하기 위해 칼륨 등을 시드(seed)한 상태에서 화염의 도전율을 임피던스 변화법으로 측정하였으며[3], H. Kiwaki 등은 버너를 전극으로 한 교류 브리지를 사용하여 화염의 도전율을 측정하였다[4].

송전선로 아래에서 산불화재 사고가 일어난 경우, 연소화염에 의해 선로의 절연내력은 크게 저하되는 것으로 보고되고 있으며[5-6], 고전압 및 방전 공학적 측면에서 연소화염의 존재에 의한 금속 전극과 화염 사이의 섬락 특성에 대한 연구는 침-침궐을 수평으로 배치한 불평등전계의 경우, 쿨롱력 및 코로나 풍의 발생으로 인하여 섬락 특성에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다[7]. 송전선로의 경우에는 준평등전계에 매우 근접하므로 준평등전계에 해당

하는 구-구궐을 모의하여 연소화염에 의한 섬락 특성, 전극과 화염의 상호 높이에 따른 섬락 특성, 화염의 형상 변화 및 연소화염의 열전리 영향 등을 연구할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 구-구궐을 수평으로 배치하고, 상용주파수의 교류 및 직류전압을 인가하였을 때, 절연파괴 특성에 미치는 연소화염의 영향에 대해 조사하였으며, 연소화염의 위치에 따른 플래시오버 특성을 측정하였다. 고전압 도체에 화염이 접근할 경우 절연 내력에 미치는 화염의 영향을 조사하기 위해 전극과 연소화염의 상호 높이를 변화시켜 측정하였으며, 인가전압의 크기 및 극성에 따른 연소화염의 형상이 섬락 특성에 미치는 영향을 측정하였다. 플래시오버 전압의 저하 요인으로 화염의 형상 변화, 상대공기밀도의 저하 및 연소화염의 열전리 영향에 대해 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 전극은 그림 1과 같이 구-구궐을 사용하였으며, 수평으로 배치하였다. 전극 재질은 스테인레스 강이며, 직경 50[mm]인 표준 전극을 사용하였다.

본 실험에서는 교류 및 직류 고전압을 사용하였으며, 교류 고전압 발생장치는 1차 입력전압 220[V], 60[Hz], 2차 출력 전압은 50[kV](High Voltage Generator, 일본, Matsunaga Mfg. Co. Ltd)을 사용하였으며, 직류 고전압은 상기 교류 고전압 발생장치에서 발생된 교류 고전압을 정류하여 사용하였다. 정류장치는 실리콘정류기(일본, Tokyo Transformer Co. Ltd.)를 사용하였다.

고전압의 측정은 그림 1에서 R1 및 R2로 나타낸 고전압프로브(5000 : 1)와 디지털 오실로스코프(LeCroy Co., type 9350AL)를 사용하였다. 또한 그림 1에서 RL은 방전에 의한 전극의 손상을 방지하기 위해 삽입된 보호용 저항이며, RL=50[kΩ]이다. 또한 오실로스코프를 이용하여 방전전류를 관측하기 위해 본 실험에서는 측정용 저항 RM=10[kΩ]을 연결하였다.

연소화염은 파라핀오일(순도 : 100[%])을 연료로

구-구갭의 섬락 특성에 미치는 연소화염의 영향

사용하였다. 파라핀오일은 석유계 연료이며, 주성분은 탄화수소이다. 파라핀오일의 조성은 탄소 75~90[%], 수소 8~25[%], 산소 0~3.3[%], 질소 0~2[%], 황 0~5[%] 등으로 되어 있다. 그리고 파라핀오일의 비점은 450~570[K]이며, 밀도는 0.79~0.83[g/cm³], 발열량은 40~50[MJ/kg]이다. 파라핀오일은 단위 중량당 발열량이 크기 때문에 연소장치를 소형으로 할 수 있다. 연소의 형태는 여러 가지 방식이 있지만 실내에서 안정된 화염을 발생시킬 수 있는 심지 연소(wick type combustion)방식을 채택하였다.

램프에서 발생한 화염의 크기는 전압이 인가되지 않는 상태에서 육안으로 관찰하여 폭 0.5[cm], 높이 3.0[cm]정도로 일정하게 유지하였다.

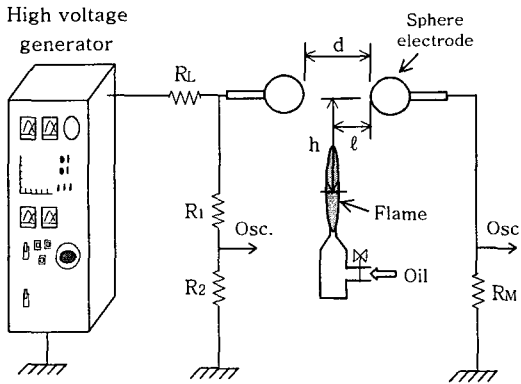


그림 1. 실험 장치의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

본 실험에서 절연과과전압의 측정치는 동일한 조건에서 5회 측정하여 그 평균값을 사용하였으며, 화염의 위치는 그림 1과 같이 접지측 전극으로부터 화염의 거리 l 과 전극간 갭길이 d 의 비, 즉 $k=l/d$ 로 표시하였다. 화염의 위치는 $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 으로 하였다. 이것은 전극간 거리 d 에 관계없이 각각 화염이 접지측 전극, 전극의 중앙 및 고압측 전극에 위치하고 있음을 나타내고 있다. 화염높이 h 는 그림과 같이 전극 중심과 화염 중심사이의 거리이다. 인가전압에 의해 화염의 형상이 변화하는 것을 정밀하게 관측하기 위해 CCD Color Camera(SAC-410ND, JEM TV LENS P35mm 1 : 1.2)를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 전극간 화염의 위치에 따른 섬락전압 특성

3.1.1 교류전압 인가시 특성

그림 2는 구-구갭을 수평 배치하였을 때, 화염의 위치에 따른 교류 섬락전압을 실패값으로 나타낸 것이다. 여기서 $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 이며, 화염의 높이는 $h=0$ 이다. 갭길이가 작은 범위에서는 화염의 위치에 따른 섬락전압의 영향은 거의 나타나지 않지만, 갭길이가 증가할수록 위치에 따른 섬락전압의 차이가 나타났다.

그림 2에서 $d=4$ [cm]인 경우 플래시오버전압은 $k=0.5$ 에서 가장 높고, $k=0$ 및 $k=1.0$ 의 순으로 저하되고 있다. 이는 화염위치에 따른 화염의 형상변화가 플래시오버특성에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

화염이 없는 경우의 섬락전압을 기준으로 화염에 의한 플래시오버전압의 상대값은 $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 일 때, 각각 79.9, 82.9 및 87.5[%] 저하된 것으로 나타났다. $k=1.0$ 인 경우, 갭길이가 비교적 작은 범위에서는 화염의 위치에 대한 영향은 거의 나타나지 않지만, 갭길이가 크게 될수록 위치에 따른 섬락전압의 차이가 나타나 갭길이가 $d=4$ [cm]인 경우에는 섬락전압이 크게 증가되고 있다. 화염에 의해 섬락전압이 저하되는 원인은 인가전계와 화염의 이온전하 사이의 정전력에 의한 화염의 형상이 위치에 따라 화염의 높이와 화염의 폭이 변형되어 플래시오버특성에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

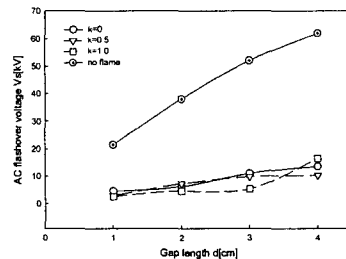


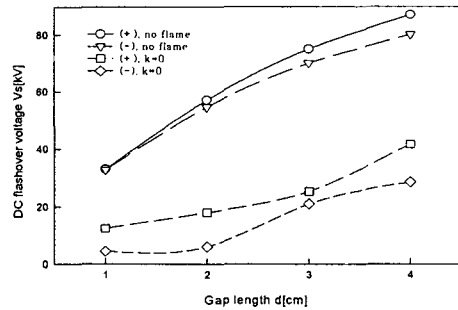
그림 2. 화염 위치에 따른 구-구갭의 교류섬락전압 특성
Fig. 2. AC flashover voltage vs. gap length with sphere-sphere electrode system

3.1.2 직류전압 인가시 특성

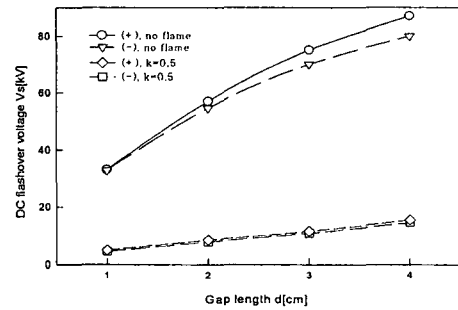
그림 3은 수평배치인 구-구갭에서 전극간 화염의 위치에 따른 직류 섬락전압 특성을 나타낸 것이다. $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 인 경우 화염이 없을 때의 섬락전압과 극성에 대한 영향도 함께 나타내었다.

그림 3(a)는 $k=0$ 일 때의 섬락 특성이며, 전압에 대한 극성 효과가 나타나고 있다. 화염의 존재에 관계 없이 모두 정극성이 부극성보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 화염이 없는 경우에는 $d=1.0$ [cm]과 같이 갭이 작을 때, 극성 효과는 거의 구별되지 않지만, 화염이 존재할 때는 그림과 같이 갭이 작은 경우에도 극성 효과가 나타났다. 이는 화염중에 생성된 이온은 후술하는 바와 같이 주로 양이온으로 구성되어 있으므로, 외부 전계에 의해 정전력이 작용하여 화염의 형상이 왜곡되기 때문이라고 생각된다. 그림 3(b)는 $k=0.5$ 인 경우의 섬락특성으로서, $k=0$ 및 $k=1.0$ 에 비해 섬락전압은 가장 낮고, 화염에 의한 극성효과와 영향도 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 화염이 전극 중앙에 위치하므로 양이온을 띤 화염은 전압의 극성에 따라 반발력과 흡인력이 작용하지만, 전압의 크기가 같으면 화염에 미치는 쿨롱력의 크기와 화염의 변형도 동일한 것으로 생각된다.

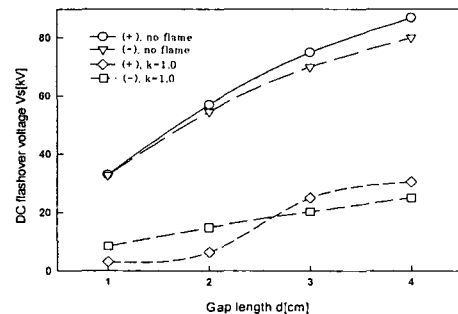
그림 3(c)는 $k=1.0$ 인 경우의 섬락 특성으로서 갭 길이 $d=3$ [cm] 이상에서는 그림 3(a)와 같이 정극성이 부극성보다 높게 나타났으나, $d=2$ [cm] 이하에서는 오히려 부극성이 정극성보다 높은 것으로 나타났다. 이는 갭이 작으면 화염 형상에 대한 영향으로 비교적 정극성에서 섬락전압은 낮게 된다. $k=1.0$ 인 경우, 부극성일 때의 화염은 고전압 구전극에 대해 인력이 작용하지만, 정극성에서는 반발력이 작용하게 된다. 따라서 화염에 의해 갭의 교각이 용이해지는 정극성에서 섬락전압은 낮게 된다. 화염이 없을 때의 섬락전압을 기준으로 하여 화염의 위치에 따른 직류 섬락전압의 상대값은 $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 일 때, 정극성인 경우에는 각각 33.7[%], 14.5[%] 및 22.3[%]인 것으로 나타났으며, 부극성인 경우에는 각각 22.6[%], 16.6[%] 및 28.4[%]인 것으로 나타났다. 양극성 모두 섬락전압은 $k=0.5$ 에서 가장 낮았으나, 정극성인 경우에는 $k=0$, 부극성인 경우에는 $k=1.0$ 에서 섬락전압은 가장 높게 나타났다.



(a) $k=0$



(b) $k=0.5$



(c) $k=1.0$

그림 3. 화염 위치에 따른 구-구갭의 직류섬락전압 특성
Fig. 3. DC flashover voltage vs. gap length with sphere-sphere electrode system

3.2 화염의 높이에 따른 섬락전압 특성

3.2.1 교류전압 인가시 특성

그림 4는 갭길이 $d=4$ [cm]까지 변화시킨 경우, 전극으로부터 화염높이 h 에 따른 교류 섬락전압을 나타낸 것이다. 이 때 섬락전압은 실효값이며, 높이는 $h=0$, $h=5$ 및 $h=9$ [cm]이다.

구-구갭의 섬락 특성에 미치는 연소화염의 영향

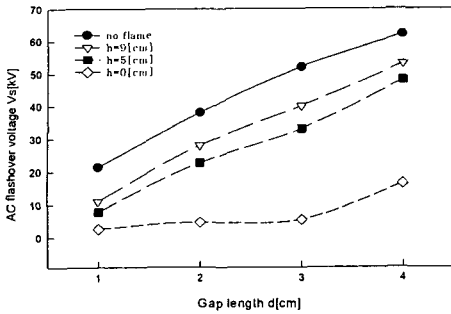


그림 4. 화염 높이에 따른 구-구갭의 교류섬락전압 특성
Fig. 4. AC flashover voltage vs. gap length with sphere-sphere electrode system

그림 4에서 $h=0[cm]$ 일 때 섬락전압은 상대적으로 매우 낮은 값을 나타내고 있으나, $h=5$ 및 $h=9[cm]$ 에서는 높이 h 와 갭길이 d 에 비례하여 섬락전압은 증가하였다. 이것은 $h=0[cm]$ 인 경우 인가전압에 의해 화염의 형상이 변화하지만, h 가 크게 되면 인가전압에 따른 화염의 형상 변화에 대한 영향은 거의 나타나지 않고, 상대공기밀도에 의해 많은 영향을 받는 것으로 생각된다.

표 1은 화염이 없는 경우의 섬락전압을 기준으로 하였을 때, 교류 섬락전압을 상대값을 나타낸 것이다.

표 1에서 $h=0[cm]$ 인 경우, 섬락전압의 평균값은 15.0%이지만, $h=5$ 및 $h=9[cm]$ 인 경우 섬락전압의 평균값은 각각 59.2% 및 71.8%로 나타났다. 섬락전압은 갭길이 d 와 화염 h 에 비례하고 있으며, $d=4$ 및 $h=9[cm]$ 일 때 가장 높게 나타났으며, 이때의 섬락전압은 85.4%이다.

표 1. 구-구갭에 대한 교류 섬락전압의 상대값
Table 1. Relative value of AC flashover voltage

d \ h	d=1[cm]	d=2	d=3	d=4	평균
h=0[cm]	12.1	11.0	10.3	26.4	15.0
h=5	36.4	59.7	63.4	77.4	59.2
h=9	51.4	73.6	76.9	85.4	71.8

3.2.2 직류전압 인가시 특성

그림 5는 갭길이 $d=4[cm]$ 까지 변화시켰을 때, 화염높이 h 에 따른 직류 섬락전압과 갭길이의 관계를

나타낸 것이다. 화염의 위치는 $k=0.5$ 이며, 높이는 $h=0, h=5$ 및 $h=9[cm]$ 이다.

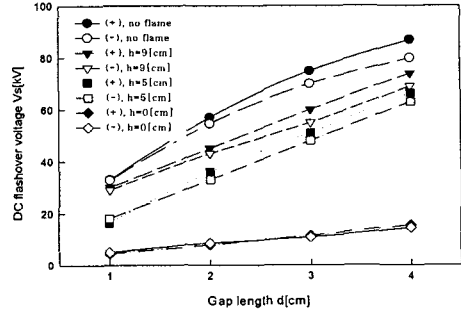


그림 5. 화염 높이에 따른 구-구갭의 직류섬락전압 특성
Fig. 5. DC flashover voltage vs. gap length with sphere-sphere electrode system

그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 직류 섬락전압은 교류전압 인가시와 같이 갭길이 d 와 높이 h 에 비례하여 증가되고 있다. $h=0[cm]$ 에서는 직류전압에 대한 극성효과가 거의 나타나고 있지 않지만, $h=5[cm]$ 및 $9[cm]$ 에서는 갭이 증가함에 따라 전압의 극성효과가 나타나고 있다. 어느 경우에도 대기압 상온의 공기와 같이 정극성의 섬락전압이 부극성보다 높은 것으로 나타났다.

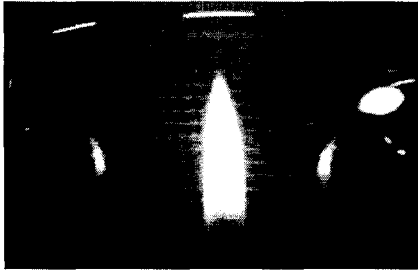
3.3 인가전압에 따른 화염의 형상

3.3.1 교류전압 인가시 화염의 형상

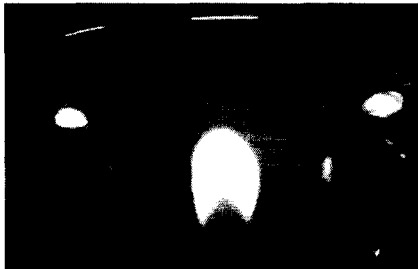
사진 1에서는 수평배치 구-구갭에서 $k=0.5$ 일 때, 교류전압의 크기에 따른 화염의 형상을 나타낸 것이다.

사진 1(a)는 전압이 0[kV]일 때 화염의 형상이며, 사진 1(b) 전압 3[kV]일 때의 형상으로서 화염의 높이는 낮아지고, 화염의 폭은 증가하고 있다. 그리고 사진 1(c)은 전압 5[kV]일 때의 형상으로서, 화염의 높이는 더욱 낮고, 화염의 폭은 증대하여 양전극에 접근된 상태를 나타내고 있다. 사진 1과 같이 전압인가에 의해 화염이 변형하는 원인으로서는 쿨롱힘을 생각할 수 있다. 이는 고온의 화염은 어느 정도 전리 상태에 있으므로 정·부의 이온이 존재한다고 생각되며, 화염 중의 이온전하는 인가전계에 의해 흡인 또는 반발력이 작용하는 것으로 생각된다. 그리고

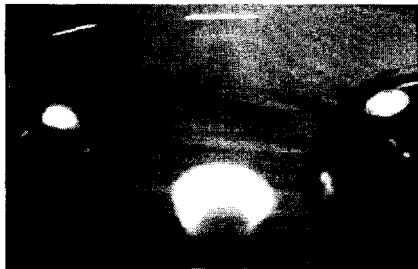
침-침 전극의 경우, 연소화염이 기울어져 소화되는 현상은 주로 침전극으로부터 발생된 코로나풍에 의한 것이다[7].



(a) 0(kV)



(b) 3(kV)



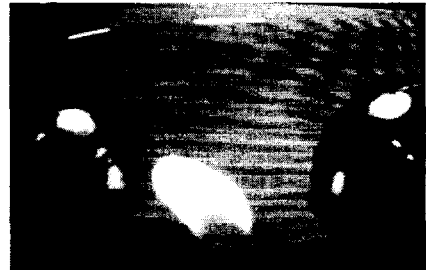
(c) 5(kV)

사진 1. 교류전압에 의한 화염의 형상
Photo 1. Shapes of flame caused by AC voltage

3.3.2 직류전압 인가시 화염의 형상

사진 2 및 사진 3은 구-구갭에서 $k=0.5$ 일 때, 직류 정극성 및 부극성 전압에 대한 화염의 형상을 나타낸 것이다. 전압의 크기와 극성에 따라 화염의 형상은 매우 상이한 모습을 나타내고 있다. 이로부터 화염은 전체적으로 정이온으로 형성된 것으로 생각된다. 직류전압을 인가하였을 때 전압의 극성에 따라 화염이 흡인되기도 하고, 반발되기도 하는 것은 화

염의 전하에 의한 정전력의 크기에 의한 것이다.



(a) 3(kV)

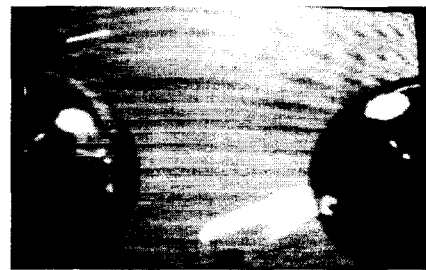


(b) 5(kV)

사진 2. 직류 정극성 전압에 의한 화염의 형상
Photo 2. Shapes of flame caused by DC voltage



(a) 5(kV)



(b) 7(kV)

사진 3. 직류 부극성 전압에 의한 화염의 형상
Photo 3. Shapes of flame caused by DC voltage

구-구갭의 섬락 특성에 미치는 연소화염의 영향

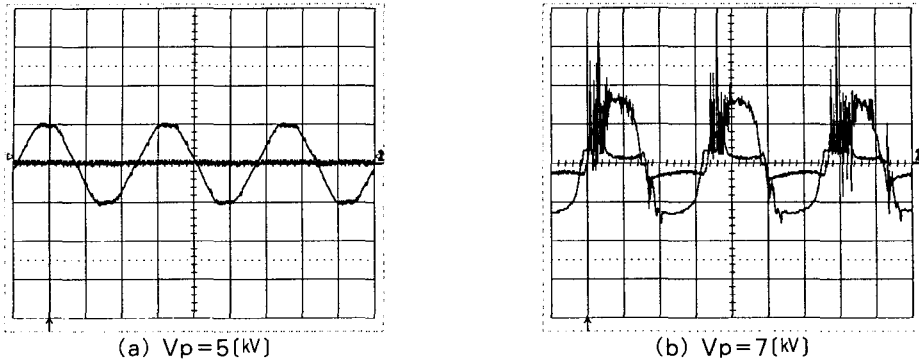


그림 6. 화염에 의한 구-구갭의 전압 및 전류 파형
Fig. 6. Voltage and current waveforms with $k=0.5$

정극성 전압을 인가한 경우에는 사진 2와 같이 정 전 반발력에 의해 화염이 우측의 고전압전극으로부터 억제되고 있으나, 부극성인 경우는 인력이 작용을 하므로 사진 3과 같이 우측 고전압전극에 접근하는 형상을 갖고 있다. 탄화수소의 화염 중에는 H_3O^+ , $C_2H_3^+$, $C_2H_3O^+$ 등의 양이온이 많이 포함되어 있는 것으로 알려져 있으며, 이들 중 H_3O^+ 이 가장 많고, 그 농도는 $10^9 \sim 10^{12}$ [개/cm³]정도라고 보고되고 있다[8]. 음전하를 가진 입자는 대부분 전자이고, 그 외에 O^- , OH^- , C_2^- 등 음이온이 약간 존재하지만 일반적으로 양이온의 농도가 음이온보다 훨씬 많은 것으로 보고 되고 있다[9].

3.4 화염에 의한 전압 및 전류 파형

그림 6은 갭길이 $d=2$ [cm]이며, $k=0.5$ 인 구-구갭에서 화염에 의한 전압 및 전류파형을 나타낸 것이다.

그림 6(a)는 교류 파고값 5[kV]일 때, 구-구갭에서는 코로나가 발생되지 않고 있음을 나타내고 있으나, 그림 6(b)와 같이 전압 7[kV]에서 화염에 의해 섬락이 발생된 것을 나타내고 있으며, 섬락은 정극성에서 일어나고 있는 것으로 관측되었다. 그러나 전극이 화염내부에 포함된 경우에는 대개 섬락은 부극성에서 관측되었다.

3.5 열전리의 영향에 대한 고찰

열전리는 고온 기체에서 입자, 또는 전자의 충돌이나 방사작용 등에 의해 발생하는 전리작용이다. 기체의 연소 등과 열운동에 의한 입자간의 충돌에

의해 발생하는 열전리 과정을 해석하는데 있어서는 양이온과 전자사이의 재결합을 고려할 필요가 있다. 열역학 평형조건 하에서 새로운 이온의 생성율은 이온의 재결합율과 같아야 한다. 이러한 가정을 사용하여 인도의 물리학자 Saha씨는 가스압력 p 와 절대 온도 T 로 전리도 θ 를 유도하였다[10]. 문헌에 따르면 정상상태의 대기압 공기 중에 대한 이온밀도는 약 $2 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8$ [m⁻³]이므로[11], 소규모 화염의 최고 온도에서도 열전리의 영향은 크지 않다고 생각된다. 그림 7은 열전리의 수치 계산한 것을 나타내었으며, 기체의 전리전압 $W_i=10$ [eV], 기체의 압력 $p=760$ [torr]로 정하였다.

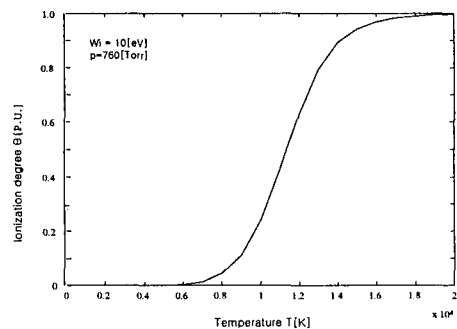


그림 7. 전리도와 온도의 관계
Fig. 7. Relationship between ionization degree and temperature

그림 7에서 전리도 θ 가 0.5가 되려면 절대온도 T 는 1.1×10^4 [K]가 요구된다. 따라서 화염에 의한 섬락 전압의 저하 요인은 열전리의 영향, 공기밀도의 저

하, 전극의 온도상승 및 연소 생성물의 영향 등을 생각할 수 있으나, 열전리의 영향과 전극의 온도상승은 비교적 그 영향이 적은 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 구-구갹을 수평으로 배치하고, 상용주파수 교류 고전압과 직류 고전압을 인가하였을 때, 섬락전압의 특성에 미치는 화염의 영향을 조사하여 화염이 없는 경우와 화염이 존재하는 경우의 섬락전압을 상호 비교하였다. 또한 구-구갹 사이에 화염이 존재하는 경우 화염의 위치에 따른 섬락특성, 전극과 화염의 상호 높이에 따른 섬락특성 등을 측정하였으며, 플래시오버 전압의 저하 요인으로 화염의 형상 변화, 상대공기밀도의 저하 및 연소화염의 열전리 영향 등을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 화염의 위치가 $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 일 때, 화염에 의한 교류 섬락전압의 평균값은 화염이 없을 때의 섬락전압에 비해 각각 79.9, 82.9 및 87.5[%] 저하되었다.

2) 화염의 위치가 $k=0$, $k=0.5$ 및 $k=1.0$ 일 때, 화염에 의한 직류 상대 섬락전압의 평균값은 화염이 없을 때의 상대 섬락전압에 비해 정극성인 경우에는 각각 66.3, 85.5 및 77.73[%] 저하되었으며, 부극성인 경우에는 각각 77.4, 83.4 및 71.6[%] 저하되었다.

3) 화염높이에 따른 교류 및 직류섬락전압 특성에서 화염높이 h 와 갹길이 d 에 비례하여 섬락전압은 상승하였으며, $h=0$, $h=5$ 및 $h=9$ [cm]일 때, 교류 상대 섬락전압의 평균값은 각각 85.0, 40.8 및 28.2[%] 저하되었다.

4) 교류 및 직류전압을 인가하였을 때, 전압의 크기와 극성에 따라 화염의 형상이 변화되는 현상은 화염내의 정전하와 인가전계 사이의 정전력에 의한 것이다.

5) 화염 폭보다 갹길이 작은 범위에서는 섬락이 부극성의 반파에서 일어났으나, 화염 폭보다 긴 갹에서는 정극성의 반파에서 섬락되는 것으로 나타났다.

6) 화염의 의한 교류 및 직류 섬락전압이 저하되는 원인은 주로 전압에 의한 화염의 형상 변화와 주변의

상대공기밀도 저하에 기인하는 것으로 생각된다.

이러한 결과는 연소가스 또는 화염을 발생하는 차단기, 전기집진기 등의 방전 현상뿐만 아니라 산화에 의한 선로의 섬락 특성 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference Book, 345kV and Above/Second Edition," pp. 381-419, 1989.
- [2] H. J. West, D. W. McMullan, "Fire Induced Flashovers of EHV Transmission Lines," IEEE-PES Winter Meeting, New York, Paper A73047-2, February 1978.
- [3] K. Koyama, T. Sekiguchi, "The Measurement of the Electrical Conductivity of Seeded Flame Plasmas," Trans. on IEE Japan, Vol.87-6, No. 945, pp.1145-31151, 1987.
- [4] H. Kiwaki, S. Komeji, "Electrical Properties of Combustion Flames," Journal of Applied Physics Japan, Vol.41, No. 10, pp.1077-1084, 1972.
- [5] Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference Book, 345kV and Above/Second Edition," pp. 381-419, 1989.
- [6] H. J. West, D. W. McMullan, "Fire Induced Flashovers of EHV Transmission Lines," IEEE-PES Winter Meeting, New York, Paper A73047-2, February 1978.
- [7] 김인식, 김이국, 김춘년, 지승욱, 이상우, 이광식, "연소 화염에 의한 수평배치 공기갹의 섬락전압 특성," 조명설비학회, Vol.16, No 1, pp. 27-34, 2002.
- [8] A. G. Caydon, H. G. Wolfhard, "Flames : Their Structure, Radiation and Temperature," 4th ed., Chapman and Hall, pp. 340-372, 1979.
- [9] 김광렬, 노수영, 김영주, "최신 연소공학" 도서출판 동화기술, pp. 63-76, 1999.
- [10] E. Kuffel, W. S. Zaengl, "High Voltage Engineering Fundamentals," Pergamon Press, pp. 311-335, 1984.
- [11] 정성계, 이덕출, "개정 신판 고전압공학" 도서출판 문운당, pp. 56-57, 1997.

◇ 저자소개 ◇

김인식 (金寅澁)

1953년 10월 3일생. 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990~1991년 미국 University of Southern California대 초빙 교수. 현재 경일대학교 컴퓨터제어·전기공학부 교수.

이상우 (李相雨)

1967년 4월 11일생. 1992년 경일대학교 전기공학과 졸업. 2000년 영남대 공대 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남이공대학 겸임강사.