

연소화염에 의한 수직배치 전극의 플래시오버 특성

이상우\* · 김충년\* · 지승욱\* · 김인식\*\* · 김이국\*\* · 박재용\*\*  
 경남대학교\* · 경일대학교\*\*

Flashover Characteristics of The Vertical Disposition Electrode Caused by Combustion Flames

Sang-Woo Lee · Chung-Nyun Kim · Seung-Wook Jee · In-Sik Kim · Lee-Kook Kim · Jai-Yong Bak  
 School of Elec. Eng. Yeungnam University\*, School of Elec. Eng. Kyungil University\*\*

**Abstract** - In this paper, characteristics of the ac and dc flashover voltages in the vertical air gap of a needle-plane, sphere-plane and rod-plane electrode system were investigated when the combustion flames were present near the high-voltage electrode. As the results of an experimental, we found that the reduction of flashover voltages characteristics with the vertical distance caused, in comparison with the no-flame case were about 1/3 times when a short gap  $d=1\text{[cm]}$  and  $2\text{[cm]}$  of the ac voltages were applied. Also, flashover voltages characteristics of the dc negative polarity under sphere-plane and rod-plane electrode system with the combustion flame were increased about two times than those of the dc positive polarity.

우와 플래시오버 특성을 상호 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림1은 실험장치의 개략도를 나타내었다. 전극은 실험 조건에 따라 상부의 침전극 대신 구 및 봉전극을 사용하였다. 침, 구 및 봉전극의 재질은 모두 스테인레스강을 사용하였다.

침전극의 선단각은 약  $30^\circ$ , 구전극은 직경  $50\text{[mm]}$  표준전극, 봉전극은 직경  $10\text{[mm]}$  평단봉을 사용하였다.

한편, 스테인레스강으로 제작된 점지축 전극은 직경  $150\text{[mm]}$ , 두께  $10\text{[mm]}$  평판전극을 사용하였다.

평판전극의 가장자리는 곡률 반경  $r=5\text{[mm]}$ 로서 설계하여 고전압에 의한 전계의 집중 현상을 방지하도록 제작하였다. 본 실험에서 교류 고전압은 용량  $3\text{[kVA]}$ 인 고전압 발생장치(High Voltage Generator, 일본, Matsunaga Mfg. Co. Ltd.)를 사용하였다. 이 장치는 1차 입력전압  $220\text{[V]}$ , 주파수  $60\text{[Hz]}$ , 2차 출력전압은  $50\text{[kV]}$ 이다.

직류 고전압은 교류 고전압을 정류하여 사용하였으며, 정류장치는 실리콘정류기(일본, Tokyo Transformer Co. Ltd.)를 이용하였다. 그리고 고전압의 측정은 고전압프로브(High Voltage Probe, 분압비  $5000:1$ )와 디지털 오실로스코프(미국, LeCroy Co., type 9350AL)를 사용하였으며, 고압프로브는 그림1에서  $R_1$ ,  $R_2$ 로 각각 나타내었다. 그림에서 방전에 의한 전극의 손상을 방지하기 위해 보호용저항  $R_L=50\text{[k}\Omega\text{]}$ 을 삽입하였다. 오실로스코프를 이용하여 방전전류를 관측하기 위해 본 실험에서는 측정용 저항  $R_M=10\text{[k}\Omega\text{]}$ 을 연결하였다. 이 때 전극 사이에서 방전에 의해 고전압이 발생될 수 있으므로 측정기의 손상을 방지하기 위해 측정기 보호용으로 네온램프를 측정용 저항과 병렬로 접속하였다.

1. 서론

도체의 주위에 연소화염이 존재하면, 연소화염에 의해 절연파괴전압은 일반적으로 저하되는 것으로 보고되고 있다[1]. 연소화염에 의한 절연파괴 특성은 특수 분위기의 방전현상에 대한 연구뿐만 아니라 예로 연소가스를 사용하는 MHD(MagnetoHydroDynamic)발전에서 전극 부근에서의 방전현상과 매우 밀접한 관계가 있다. 또한 아크 연소화염을 발생하는 차단기의 절연회복 특성, 연소 가스를 통과시키는 전기집진기의 방전현상 등에 대한 기초 자료를 얻을 경우에도 활용될 수 있을 것이다.

연소화염 자체의 전기적 특성에 대해서는 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이들 연구의 대부분은 각종 연소화염에 대한 자체의 임피던스 특성이나, 전위분포에 따른 화염의 저항을 및 전압·전류 특성 등 물리적 현상에 관해 주로 보고하고 있다[2-3]. 그러나 고전압 및 방전 공학적 측면에서 연소화염에 의한 섬락 특성에 대한 연구는 거의 발표되지 않고 있다. 한편 송전선로 아래에서 산불 화재가 일어난 경우에는 연소화염에 의해 선로의 절연내력은 상당히 저하되는 것으로 보고하고 있다[1][4]. 우리나라의 경우 국토의 대부분이 산지 지역 구성되어 있으며, 송전선로가 화재에 노출된 산림지역을 통과하고 있는 실정이다. 그러므로 산불로 인한 송전선로의 피해를 예방하고 효율적인 대처를 위해서는 산불에 의한 송전선로의 단락 및 지락사고의 원인을 분석하는 것이 매우 중요하다고 사료된다.

특히, 초고압 대전력을 전송하는 송전선로에서 산불 화재가 발생한 경우에는 선로의 절연 특성뿐만 아니라, 계통 전체의 신뢰도에 지대한 영향을 미치므로 이에 대한 기초 연구의 필요성을 느낀다.

따라서, 본 연구에서는 전극배치를 침대평판, 구대평판 및 봉대평판으로 구성하여 교류 및 직류전압을 인가하였을 때, 연소화염의 위치 변화에 따른 플래시오버 특성 등을 실험하였다. 그리고 연소화염의 영향이 없는 경

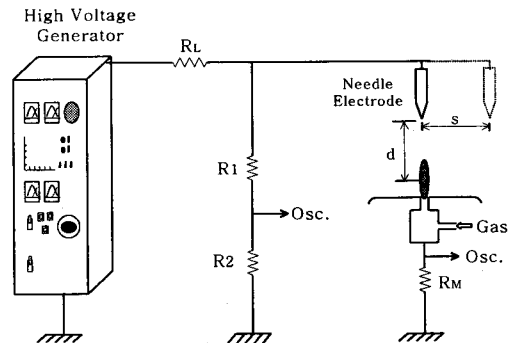


그림1 실험장치의 개략도  
 Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험에서는 그림과 같이 평판전극의 중앙으로부터 구멍을 뚫어 화염 노즐을 설치하고, 노즐을 통해 평판전극의 하부에서 공급된 프로판 가스(propane gas)에 의해 일정한 화염을 발생시켰다.

프로판가스는 탄소수가 3인 메탄계의 탄화수소(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)를 주성분으로 하는 기체연료이다. 본 실험에서 프로판 화염의 크기는 육안으로 관찰하여 높이가 약 3[cm]으로 일정하게 유지하였다. 이는 프로판 가스의 용기에 연결된 가스 압력밸브와 유량계를 조정함으로써 비교적 안정된 화염을 발생시킬 수 있었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 수직거리에 따른 플래시오버 특성

##### 3.1.1 침대평판의 경우

그림2 및 3은 수평거리 s=0[cm], 화염길이 3[cm]으로 일정하게 하였을 때, 갭길이에 따른 교류 소화전압 특성을 나타낸 것이다. 갭길이 d=6[cm]까지 변화시킨 경우, 그림2는 교류, 그림3은 직류 플래시오버전압을 함께 표시하였다. 여기서 섬락전압 및 화염의 소화전압은 모두 실효치로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 침전극에서 발생된 코로나에 의해 비교적 낮은 전압에서 화염은 소화되는 것으로 나타났다. 갭길이가 작은 경우에는 화염의 소화와 함께 플래시오버가 일어났으나, 갭길이가 크게 되면 플래시오버가 발생되기 전에 화염은 쓰러져 소화되었다. 이것을 그림에서는 플래시오버가 발생된 것을 ☆표로서 나타내었다.

그림2에서 d=1[cm] 및 2[cm]일 경우 플래시오버전압은 2.6[kV] 및 5.3[kV]에서 발생되었다. 화염의 길이가 3[cm]이므로 갭이 이 범위 이내인 경우에는 전극이 화염 내에 존재하고 있다. 이 때의 섬락전압은 화염이 없는 경우를 100[%]으로 하였을 때, d=1[cm] 및 2[cm]에서는 23.6[%] 및 29.2[%]인 것으로 나타났다. 그리고 갭 길이가 더욱 증가하면, 화염은 소화되어 플래시오버 전압의 측정은 불가능하였다.

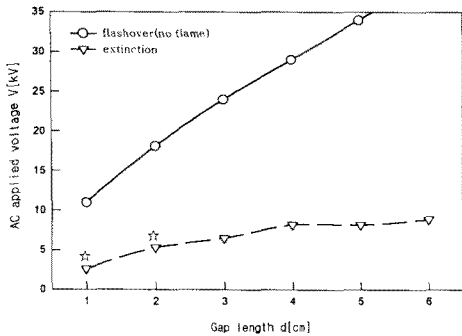


그림2 갭길이와 교류 소화전압의 관계  
Fig. 2 Relationship between ac extinction voltage vs. gap length

화염의 소화전압은 갭길이가 비교적 작은 범위에서 비례하는 경향을 보이고 있으나, 갭이 크게 되면 거의 일정한 것으로 그림에서 나타났다. 이는 일정한 크기의 화염에 대해 소화되는 풍속은 일정하지만, 갭이 증가함으로써 화염의 소화는 더욱 큰 풍속이 요구된다. 따라서 코로나풍의 세기는 인가전압에 비례하므로 결국 소화전압은 인가전압에 비례하는 것으로 생각된다. 그러나 본 실험과 같이 단갭에서는 화염 상부와 침전극사이의 거리가 크지 않으므로 코로나풍이 발생하면, 곧 화염이 소화되는 것으로 생각할 수 있으므로 갭길이가 증가함에 따라 소화되는 전압은 큰 차이가 나타나지 않았다. 갭 길

이가 더욱 증가하여 화염으로부터 거리가 충분히 크면 소화전압은 상승하리라고 생각된다.

그림3에서 화염에 의한 섬락현상은 d=1[cm]에서 직류 부극성일 때 관측되었다. 이때의 플래시오버전압은 2.3[kV]이며, 이것을 그림에서는 ☆표로서 나타내고 있다. 상기의 부극성에 대한 플래시오버를 제외하고는 섬락이 일어나기 전에 화염은 소화되는 현상이 나타났다. 따라서 수직배치 침대평판 갭에서 화염에 의한 플래시오버 전압의 영향은 측정할 수 없었다. 그림3에서는 화염의 소화 특성을 나타낸 것이며, 소화전압은 d=3[cm]까지는 갭길이에 비례하여 증가되었으나, 그 이상에서는 거의 일정한 것으로 나타났다. 이는 동일한 전극배치의 교류 특성과 유사한 경향을 보이고 있다. 그림의 소화전압에서는 극성효과가 나타났으며, 부극성이 정극성보다 낮은 전압에서 소화하였다. 이는 부극성이 정극성 코로나보다 낮은 전압에서 발생되기 때문이라고 생각된다.

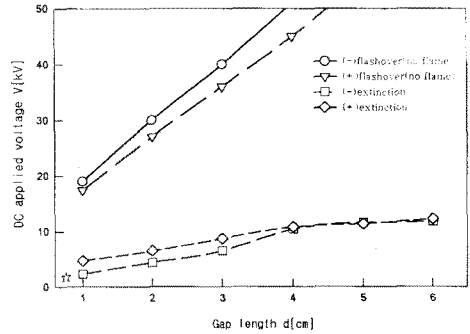


그림3 갭길이와 직류 소화전압의 관계  
Fig. 3 Relationship between dc extinction voltage vs. gap length

##### 3.1.2 구대평판의 경우

그림4 및 5는 수평거리 s=0[cm]인 경우, 갭길이에 따른 그림4는 교류, 그림5는 직류 플래시오버전압 특성을 나타낸 것이다. 구대평판 갭에서는 전계가 비교적 평등하므로 코로나에 의한 영향은 거의 나타나지 않았다. 따라서 침대평판 전극인 경우보다 비교적 큰 갭에서도 플래시오버 전압을 측정할 수 있었다.

그림4에서 화염이 없는 경우의 섬락전압을 함께 나타내었다. 이때의 섬락전압을 기준으로 하였을 때, d=1[cm] 및 2[cm]에서 화염에 의한 플래시오버 전압의 상대값은 23.5[%] 및 30.4[%]이며, 갭이 증가하여 d=4[cm]인 경우, 플래시오버 전압은 37.8[%]인 것으로 나타났다. 따라서 비교적 단갭의 구대평판 갭에 대한 섬락전압은 화염이 없는 경우에 비해 약 1/3의 절연내력을 갖는 것으로 나타났다.

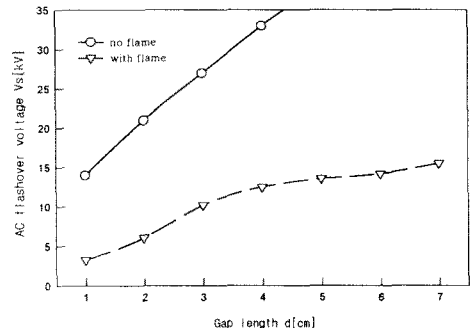


그림4 갭길이와 교류 섬락전압의 관계  
Fig. 4 Relationship between ac flashover voltage vs. gap length

그림5는 화염이 없는 경우나 화염이 존재하는 경우 전압에 대한 극성효과가 나타났다. 그러나 화염이 없는 경우는 부극성이 정극성 전압보다 높았으나, 화염이 있을 때는 반대로 정극성이 부극성 전압보다 높은 것으로 나타났다. 또한 전압의 극성에 따른 섬락전압에도 큰 차이를 보이고 있다.  $d=2, 3$  및  $4$ [cm]일 때 정극성에 대한 상대 섬락전압은 55.8, 52.6 및 52.1[%]로 나타났으나, 부극성일 경우는 19.1, 14.8 및 21.1[%]인 것으로 나타났다. 이는 전압극성에 따른 화염의 형상이 변화하여 섬락전압에 영향을 미치기 때문이라고 생각된다.

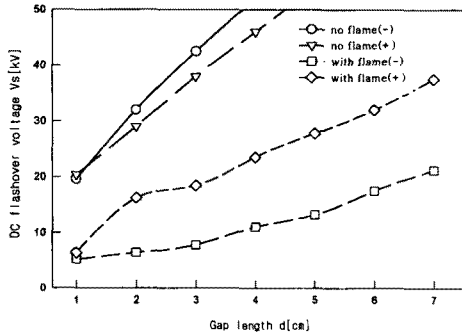


그림5 갭길이와 직류 섬락전압의 관계  
Fig. 5 Relationship between dc flashover voltage vs. gap length

### 3.1.3 봉대평판의 경우

그림6 및 7은 수평거리  $s=0$ [cm]인 경우 갭 길이에 따른 그림6은 교류, 그림7은 직류 플래시오버전압 특성을 나타낸 것이다. 봉대평판 갭에서는 전계의 분포가 비록 불평등하지만, 코로나에 의한 영향은 크지 않으므로 화염의 소화현상은 나타나지 않았다.

그림6에서 교류 플래시오버전압이 화염에 의해 어느 정도 저하되는지를 알아보기 위해 앞의 경우와 같이 그림에서는 화염이 없을 때의 값을 동시에 나타내었다. 화염에 의한 섬락전압은 구대평판 전극에 비해 매우 낮은 것으로 측정되었으며, 섬락전압 특성은 침대평판 전극에서 화염의 소화특성과 유사한 경향을 보이고 있다.

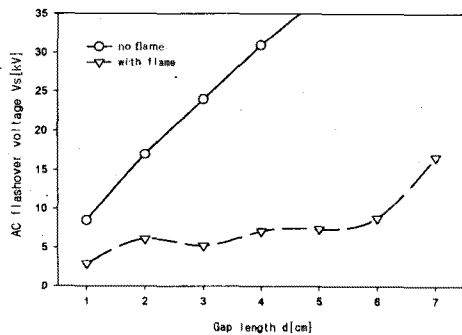


그림6 갭길이와 교류 섬락전압의 관계  
Fig. 6 Relationship between ac flashover voltage vs. gap length

그림6에서 화염이 없는 경우의 플래시오버전압을 100[%]으로 하였을 때, 화염에 의한 플래시오버전압을 상대값으로서 나타내면,  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]에서는 34.1[%] 및 35.8[%]이며,  $d=3$ [cm] 및  $4$ [cm]인 경우에는 21.6[%] 및 22.9[%]로 나타났다. 이와 같이 갭이 증가함으로써 섬락전압이 더욱 저하하는 것은 코로나의 발생과 화염의 상호작용에 기인하는 것으로 생각된다. 갭이 더욱 증가하면 상대 섬락전압은 저하되고 있지

만,  $d=7$ [cm]과 같이 어느 갭이상에서 상대 섬락전압은 다시 증가되는 것으로 나타났다.

그림7에서 화염의 존재 유무에 따른 극성효과는 수직 배치 구대평판 갭과 동일한 형태를 보이고 있다. 전압의 극성에 따른 섬락전압에는 큰 차이를 보이고 있다.  $d=2, 3$  및  $4$ [cm]일 때 정극성에 대한 상대 섬락전압은 51.8, 46.8 및 31.1[%]로 나타났으나, 부극성일 경우는 24.2, 15.0 및 17.0[%]인 것으로 나타났다. 이것은 전압극성에 따라 화염의 형상이 변화함으로써 섬락전압에 영향을 미치기 때문이라고 생각된다.

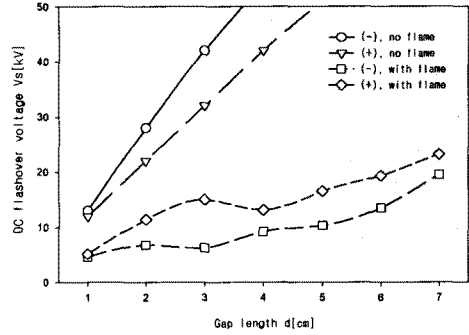


그림7 갭길이와 직류 섬락전압의 관계  
Fig. 7 Relationship between dc flashover voltage vs. gap length

### 3.2 수평거리에 따른 플래시오버 특성

#### 3.2.1 침대평판의 경우

그림8 및 9는 화염길이 3[cm]으로 일정하게 하였을 때, 수평거리  $s$ 에 따른 그림8은 교류, 그림11은 직류 소화전압 특성을 나타낸 것이다. 수평거리  $s=5$ [cm]까지 변화시킨 경우이며, 화염의 소화전압은 실효치로서 나타내었다.

그림8에서 보는 바와 같이 침전극에서 발생된 코로나에 의해 비교적 낮은 전압에서 화염은 소화되는 것으로 나타났다. 갭길이 작은 경우에는 화염의 소화와 함께 플래시오버가 일어났으나, 갭길이 크게 되면 플래시오버가 발생되기 전에 화염은 소멸되어 소화되었다. 화염의 소화전압은 그림에서 보는 바와 같이 갭길이와 수평거리에 비례하는 것으로 나타났다. 갭길이  $d=3, 4$  및  $6$ [cm]일 때, 수평거리  $s$ 에 대한 소화전압의 평균증가율은 0.9, 1.1 및 1.3[kV/cm]인 것으로 나타났다.

이는 일정한 화염에서 소화되는 풍속은 일정하지만, 화염과의 거리가 증가함으로써 화염의 소멸은 더욱 큰 풍속이 요구될 것이다. 그리고 코로나풍의 세기는 인가전압의 크기에 비례하므로 결국 소화전압은 인가전압에 비례하는 것으로 생각된다.

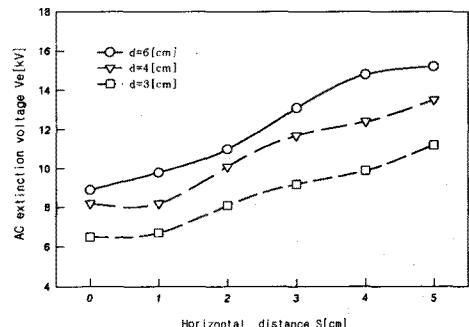


그림8 수평거리와 교류 소화전압의 관계  
Fig. 8 Relationship between ac extinction voltage vs. horizontal distance

그림9와 같이 침전극에서 발생된 코로나풍에 의해 비교적 낮은 전압에서 화염은 소화되는 것으로 나타났다.

수평거리와 갭길이의 변화에 따른 직류전압인가시 화염은 플래시오버가 일어나기 전에 쓰러져 소화되었다. 화염의 소화전압은 그림에서 보는 바와 같이 갭길이와 수평거리에 비례하는 것으로 나타났다. 그리고 소화전압에서는 극성의 영향이 나타났으며, 대개 정극성이 부극성보다 소화전압이 높게 나타났다. 갭길이  $d=3, 4$  및  $6$ [cm]일 때, 수평거리  $s$ 에 대한 직류 정극성 소화전압의 평균증가율은  $1.3, 1.3$  및  $1.2$ [kV/cm]인 것으로 나타났으며, 부극성인 경우에는  $1.9, 1.3$  및  $1.2$ [kV/cm]인 것으로 나타났다. 이는 일정한 화염에서 소화되는 풍속은 일정하지만, 화염과의 거리가 증가함으로 인해 화염의 소화는 더욱 큰 풍속이 요구될 것이다. 그리고 코로나풍의 세기는 인가전압의 크기에 비례하므로 결국 소화전압은 인가전압에 비례하는 것으로 생각된다.

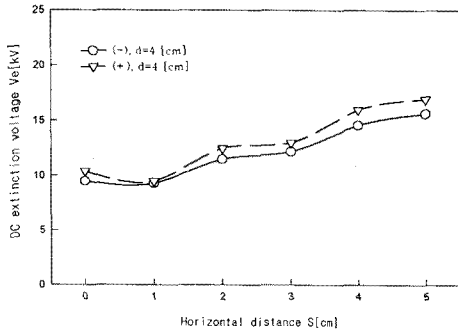


그림9 수평거리와 직류 소화전압의 관계  
Fig. 9 Relationship between dc extinction voltage vs. horizontal distance

### 3.2.2 구대평판의 경우

그림10 및 11은 화염길이를  $3$ [cm]으로 일정하게 하였을 때, 수평거리  $s$ 에 따른 그림10은 교류, 그림11은 직류 플래시오버 특성을 나타낸 것이다. 수평거리  $s=5$ [cm]까지 변화시킨 경우이며 플래시오버전압은 실효치로 나타내었다. 그림10과 같이 교류 섬락전압은 수평거리  $s$ 에 비례하여 증가되고 있다. 이는 수평거리  $s$ 가 충분히 크게 되면, 화염이 없을 때의 섬락전압에 접근하게 됨을 의미한다. 여기서 화염에 의한 섬락전압은 그림에서 보는 바와 같이 갭길이와 수평거리에 비례하는 것으로 나타났다. 대표적인 갭길이에 대해 수평거리의 증가에 따른 섬락전압의 증가율을 나타내면, 갭길이  $d=1, 3$  및  $5$ [cm]일 때 수평거리  $s$ 에 대한 섬락전압의 평균증가율은  $1.9, 2.7$  및  $3.2$ [kV/cm]인 것으로 나타났다. 이는 수평거리  $s$ 가 증가함에 따라 대기의 온도는 저하되고, 공기밀도는 증가하기 때문이라고 생각된다.

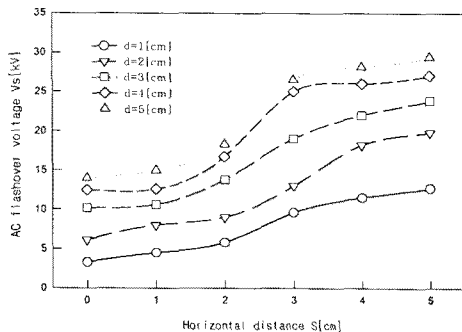


그림10 수평거리와 교류 섬락전압의 관계  
Fig. 10 Relationship between ac flashover vol-

tage vs. horizontal distance

그림11에서 극성에 따른 직류 플래시오버 전압은  $d=6$ [cm]까지 측정하였으며, 비교적  $s$ 가 작은 범위에서 극성효과는 크게 나타나고 있으나  $s$ 가 증가하면 극성효과와 영향은 그다지 크지 않는 것으로 나타났다. 섬락전압에 대한 극성효과는 정극성에 비해 부극성전압에서 심하게 저하된 것으로 나타났다. 이는 부극성 코로나의 개시전압이 정극성보다 낮고, 화염은 부극성 전압에 의해 인력이 작용하기 때문이라고 생각된다. 그리고 정극성의 섬락전압은 수평거리에 거의 비례하여 증가하고 있으나, 부극성의 섬락전압은  $s=2$ [cm]까지 매우 낮지만, 이 범위를 넘게 되면 섬락전압은 크게 증가한다.

수직배치 구대평판 갭에서  $d=2, 3$  및  $4$ [cm]일 때, 수평거리  $s$ 에 대한 직류 정극성 섬락전압의 평균증가율은  $2.7, 2.5$  및  $2.8$ [kV/cm]인 것으로 나타났으며, 부극성인 경우에는  $4.7, 5.4$  및  $6.1$ [kV/cm]인 것으로 나타났다. 따라서 부극성의 증가율은 정극성에 비해 약 2배이며, 이는 화염에 의한 섬락전압이 부극성에서 매우 낮은 것을 의미한다.

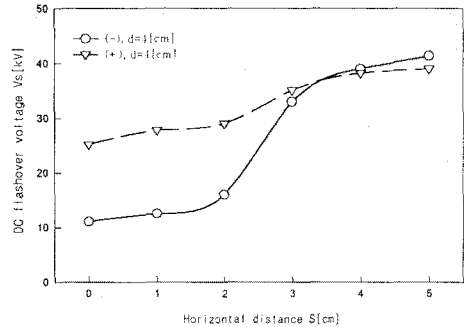


그림11 수평거리와 직류 섬락전압의 관계  
Fig. 11 Relationship between dc flashover voltage vs. horizontal distance

### 3.2.3 봉대평판의 경우

그림12 및 13은 화염길이를  $3$ [cm]으로 일정하게 하였을 때, 수평거리  $s$ 에 따른 그림12는 교류, 그림13은 직류 플래시오버전압 특성을 나타낸 것이다. 수평거리  $s=5$ [cm]까지 변화시킨 경우이며 플래시오버전압은 실효치로 나타내었다. 그림12에서 수직배치 봉대평판 갭에서는 코로나풍에 의한 화염의 소화현상이 나타났다.

갭길이  $d=2$ [cm] 및  $3$ [cm]일 때 수평거리  $s$ 가 증가하면 그림과 같이 화염이 소화되었으며 이를 여기서는 ☆표로 표시하였다. 그러나 갭길이가 작은  $d=1$ [cm]에서는 화염이 소화되지 않았으므로 섬락전압을 측정할 수 있었다. 이때 수평거리  $s$ 의 증가에 따른 섬락전압의 평균증가율은 약  $1.0$ [kV/cm]인 것으로 나타났다. 이는 수평거리  $s$ 가 증가함에 따라 대기의 온도는 저하되고 공기 밀도는 증가하기 때문이라고 생각된다.

그림13에서 극성에 따른 직류 플래시오버 전압은  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]에 대해 측정하였으며 비교적  $s$ 가 작은 범위에서 극성효과는 크게 나타나고 있으나  $s$ 가 증가하면 극성효과와 영향은 그다지 크지 않는 것으로 나타났다. 섬락전압에 대한 극성효과는 정극성에 비해 부극성전압에서 심하게 저하된 것으로 나타났다.

이는 부극성 코로나의 개시전압이 정극성보다 낮고 화염은 부극성 전압에 의해 인력이 작용하기 때문이라고 생각된다. 그리고 정극성의 섬락전압은 수평거리에 거의 비례하여 증가하고 있으나 부극성의 섬락전압은  $s=2$ [cm]에서 최소값을 가지며 이 범위를 넘게 되면 섬락전압은 크게 증가한다.

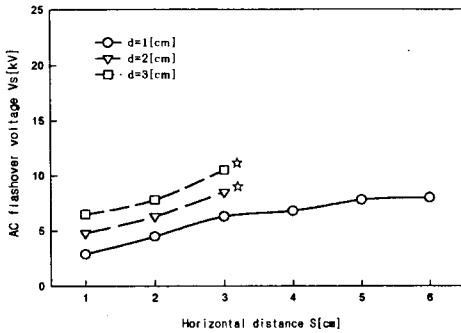


그림12 수평거리와 교류 섬락전압의 관계  
Fig. 12 Relationship between ac flashover voltage vs. horizontal distance

수직배치 봉대평판 갭에서  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]일 때 수평거리  $s$ 에 대한 직류 정극성 섬락전압의 평균증가율은  $1.1$ (kV/cm) 및  $1.0$ (kV/cm)인 것으로 나타났으며, 부극성인 경우에는  $1.6$ (kV/cm) 및  $2.5$ (kV/cm)인 것으로 나타났다. 따라서 부극성의 증가율은 정극성에 비해 평균적으로 약 2배 정도이며 이는 화염에 의한 섬락전압이 부극성에서 매우 낮은 것을 의미한다.

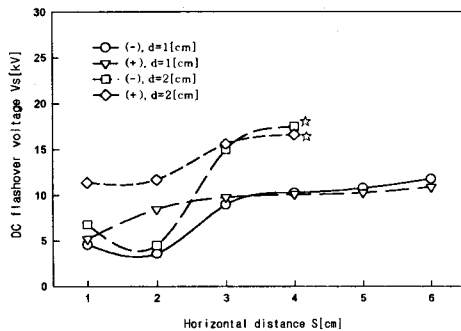


그림13 수평거리와 직류 섬락전압의 관계  
Fig. 13 Relationship between dc flashover voltage vs. horizontal distance

#### 4. 결 론

본 연구는 수직배치 전극의 경우 연소화염에 의한 플래시오버 특성 등을 실험하였다.

수직배치 전극은 침대평판, 구대평판 및 봉대평판 전극을 사용하였으며 이에 따른 실험결과는 다음과 같다.

1) 침대평판 갭의 경우, 교류전압 인가시 화염에 의한 섬락전압은 화염이 없는 경우에 비해  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]일 때  $23.6$ (%) 및  $29.2$ (%)인 것으로 나타났으며, 갭길이가 증가함에 따라 화염은 소화되는 현상이 나타났다. 직류전압 인가시 거의 전 갭에서 플래시오버가 발생되기 전에 화염은 소화되는 현상이 나타났다.

2) 구대평판 갭의 경우, 화염의 소화는 일어나지 않았으며,  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]일 때 플래시오버 전압의 상대값은  $23.5$ (%) 및  $30.4$ (%)이며,  $d=4$ [cm]인 경우는  $37.8$ (%)인 것으로 나타났으며, 비교적 단갭에 대한 섬락전압은 화염이 없는 경우에 비해 평균  $33.0$ (%)인 것으로 나타났다. 직류전압 인가시 화염이 없는 경우, 부극성의 섬락전압이 정극성보다 높았으나, 화염이 존재할 경우는 반대로 정극성이 부극성 전압보다 높은 것으로 나타났다.

3) 봉대평판 갭의 경우, 화염에 의한 플래시오버전압의 상대값은  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]일 때  $34.1$ (%) 및  $35.8$ (%)이며  $d=3$ [cm] 및  $4$ [cm]인 경우에는  $21.6$ (%)

및  $22.9$ (%)로 나타났다. 직류전압 인가시 화염의 존재 유무에 따른 극성효과가 나타났으며, 이는 전압극성에 따른 화염의 형상 변화가 섬락특성에 영향을 미치기 때문이라고 생각된다.

4) 침대평판 갭에서 교류전압 인가시 화염의 소화전압은 갭길이와 수평거리에 비례하는 것으로 나타났으며,  $d=3, 4$  및  $6$ [cm]일 때 수평거리  $s$ 에 대한 소화전압의 평균 증가율은  $0.9, 1.1$  및  $1.3$ (kV/cm)인 것으로 나타났다. 직류전압 인가시 소화전압은 극성의 영향이 나타났으며, 정극성이 부극성보다 높았다.

5) 구대평판 갭에서 교류전압 인가시 갭길이  $d=1, 3$  및  $5$ [cm]일 때, 수평거리  $s$ 에 대한 섬락전압의 평균 증가율은  $1.9, 2.7$  및  $3.2$ (kV/cm)인 것으로 나타났다. 직류전압 인가시  $d=2, 3$  및  $4$ [cm]일 때 수평거리  $s$ 에 대한 정극성 섬락전압의 평균 증가율은  $2.7, 2.5$  및  $2.8$ (kV/cm)이며, 부극성인 경우에는  $4.7, 5.4$  및  $6.1$ (kV/cm)인 것으로 나타났다. 이는 수평거리  $s$ 가 증가함에 따라 공기밀도가 상승하기 때문이라고 판단된다.

6) 봉대평판 갭에서 교류전압 인가시,  $d=1$ [cm]이상의 갭에서는 코로나풍에 의한 화염의 소화현상이 나타났다. 한편 직류전압 인가시  $d=1$ [cm] 및  $2$ [cm]일 때 수평거리  $s$ 에 대한 정극성 섬락전압의 평균증가율은  $1.1$ (kV/cm) 및  $1.0$ (kV/cm)인 것으로 나타났으며, 부극성인 경우에는  $1.6$ (kV/cm) 및  $2.5$ (kV/cm)인 것으로 나타났다. 부극성의 증가율은 정극성에 비해 약 2배이며, 화염에 의한 섬락전압은 부극성에서 매우 낮은 것을 알 수 있다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] H. J. West, D. W. McMullan, "Fire Induced Flashovers of EHV Transmission Lines," IEEE-PES Winter Meeting, New York, Paper A73047-2, February 1978.
- [2] 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.
- [3] H. Kiwaki, S. Komeji, "Electrical Properties of Combustion Flames," Journal of Applied Physics Japan, Vol.41, No. 10, pp.1077-1084, 1972.
- [4] Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference Book, 345kV and Above/Second Edition," pp. 381-419, 1989.