화염에 의한 수직배치전극에서 공기의 절연파괴전압특성

김충년*° · 지승욱* · 이광식* · 이동인* · 김인식** · 김이국**
*영남대학교 전자정보공학부 · **경일대학교 전기공학과

Breakdown voltage characteristics of air with vertical arranged electrodes due to flame

C. N. Kim*° · S. W. Jee* · K. S. Lee* · D. I. Lee* · I. S. Kim** · L. K. Kim**
* Yeungnam University · ** Kyungil University

Abstract - The occurrence of fires under transmission lines is responsible for a great number of power line outages. In this paper, the ac flashover voltages and the corona onset voltages of a needle-plane electrode gap of vertical arrangement in the presence of flame were investigated. We also observed the corona discharge current and variation of shapes in flame with increasing the applied voltages. We found that the corona onset voltages and the flashover voltages were drastically decreased with the position of flames and gap length of electrodes, and observed that the deflection or fluctuation phenomena in the shape of flames.

1. 서 론

우리나라는 산림지역이 전국토의 약 78%를 점유하고 있으므로 송전선로는 거의 대부분 산지를 통과하지 않을 수 없는 실정이다. 송전선로가 통과하는 지역에 산불이 일어나면 산불화염으로 인해 송전선로는 불가피하게 선간단락 또는 지락사고가 발생되고 있으므로 전력계통의 안정도는 물론 전력공급에 막대한 지장을 초래하고 있다. 현재 한국전력(주)의 통계에 따르면 화재에 의해 발생되는 고장은 전체 송전선로 사고의 약 13%를 점유하고 있는 것으로 보고되고 있다[1,2,3].

이와같이 화염이 존재할 경우 전력계통의 사고에 중대한 영향을 미치고 있음에도 불구하고 선로의 절연파괴에 미치는 화염의 영향에 관한 연구는 지금까지 국내에서는 거의 보고되지 않고 있다. 산불화염에 의한 선로의 고장을 최소화하고, 그 대책을 강구하기 위해서는 우선 화염에 의한 절연파괴의 메카니즘을 규명할 필요가 있다. 화염이 존재하고 있을 때 공기의 절연파괴전압을 저하시키는 요인으로는 화염에 의한 전리작용, 연소시 발생되는 매연, 화염과 주변 고온공기의 상대공기밀도의 저하 및 이들의 복합적인 요인 등을 생각할 수 있다. 또한 온도가 높은 화염내에서는 고온의 이온화가스(hot ionized gas)가 다량 존재하고 있을 것으로 생각되므로 화염에 의해 교락된 갭은 그 파괴전압이 심하게 감소될 것으로 예상되고 있다.

이에 본 연구에서는 산불화재로 인한 가공송전선로에서의 섬락현상을 모의하기 위하여 침대평판전극을 사용하여 교류전압을 인가하였을 때 화염이 존재하는 경우 코로나개시전압과 절연파괴전압을 측정하였다. 절연파괴전압에 미치는 화염의 영향을 조사하기 위해 본 연구에서는 수직으로 배치된 전극에 대하여 화염의 위치를 변화시켰다. 그리고 코로나의 발생에 따른 이온풍의 영향을 알아보기 위해 전압상승에 따른 코로나방전전류와 화염의 형상을 관찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 절연파괴전압을 측정하기 위한 고전압용 전원은 교류고압 발생장치(일본,Matsunaga Mfg. Co. Ltd.)를 사용하였다. 이 장치의 1차측 입력전압은 220[V], 50/60[Hz]이며, 2차측 출력전압은 60[kV]이다.

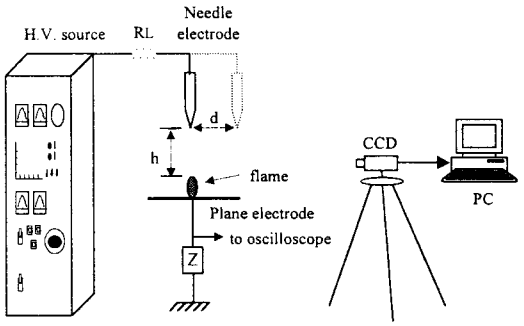


그림 1. 실험장치도

본 연구에 사용한 실험장치의 배치도를 그림 1에 나타냈다. 침대평판전극에서 평판전극을 접지전극으로, 침전극에 교류고전압을 인가하였다. 화염의 발생은 평판전극 중앙부에 화염을 발생시킬수 있도록 제작하였다. 침대평판전극의 재질은 스테인레스 스틸이며, 침전극의 선단각은 약 15°, 접지전극인 평판전극은 직경 20 [cm] 크기로 전극부 가장자리는 전계를 완화시키기 위해 둥근 형상으로 제작하였다. 또한 침전극 이외의 봉전극과 구전극을 사용하여 절연파괴전압을 조사하였다.

코로나개시전압과 절연파괴전압의 측정은 분압비 5000:1인 고전압프로브와 접지측 평판전극과 대지사이에 무유도저항 50[Ω]을 삽입하여 오실로스코프(LeCroy 9350AL)로 측정하였다. 방전전류와 방전전압의 측정값은 오실로스코프로 사용하여 측정하였다. 전극사이에 화염이 존재하는 경우, 인가전압의 상승에 따른 화염의 형상변화를 관측하고, 이를 데이터화하기 위해 CCD (Charged Coupled Device, Pulnix TM-1001) 카메라와 컴퓨터를 사용하였다. 관측된 영상은 인터페이스카드(MV-1500)를 통하여 컴퓨터에 저장하였다[4].

화염의 발생은 일반램프를 사용하여 순도 100%인 석유류 파라핀(normal paraffins)을 연료로 사용하였다. 이 램프에서 나오는 불꽃화염은 외부 작용에 의해 흔들리지 않도록 전극 주위에 칸막이를 설치하였다. 전압이 인가되지 않은 상태에서 불꽃화염의 크기는 육안으로 관찰하여 폭 1[cm], 높이 4[cm]정도 였으며, 일정한 형상을 가지고 있었다. 본 연구에 사용한 화염에 의한 공기의 온도분포를 그림 2에 나타냈다.

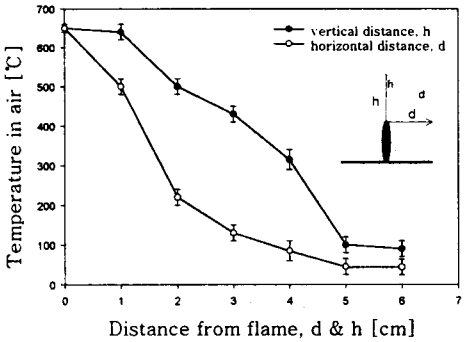


그림 2. 화염에 의한 공기의 온도분포

화염의 주변온도 측정은 화염을 기준으로 수직방향과 수평방향에 대하여 각각 이격거리 1[cm] 간격으로 측정하였다. 화염의 중심 d&h=0[cm]인 화염내부에서는 약 640~650[℃]의 온도값을 가지며, 화염에서 d가 클수록 온도는 급격히 낮아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 화염에서 d&h=5[cm]이상 떨어진 지점에서 약 42~100[℃]정도의 온도값을 가지나 그 이상의 거리가 되면 실온(약 20[℃]) 상태와 비슷한 온도분포를 가지게 된다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 침대평판전극의 절연파괴특성

그림 3은 침대평판전극을 수직으로 배치하고, 간극 h를 3[cm]에서 6[cm]까지 변화시켰을 때, 화염이 없는 경우 인가전압에 따른 코로나개시전압과 절연파괴전압을 나타냈다.

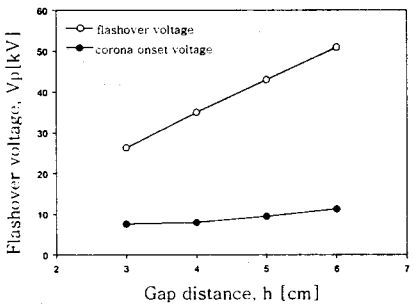


그림 3. 갭거리에 따른 플래시오버전압
(화염이 없는 경우)

코로나개시전압은 간극 h의 변화에 따라 완만하게 상승하고 있지만, 절연파괴전압은 급격한 상승 현상을 보이고 있다. 간극 h에 따른 코로나 개시전압의 발생은 절연파괴전압에 비하여 h=3[cm]인 경우 약 72[%], h=6[cm]인 경우 약 78[%] 정도 낮은 전압에서 발생하고 있다. 또한 간극 h가 증가할수록 약 20[%] 비율로 전압이 상승하며 절연파괴가 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 4는 침대평판전극 간극 h=3[cm]일 때, 침전극을 화염을 기준으로 수평이동(d를 변화)시키면서 측정한 코로나개시전압과 절연파괴전압을 나타냈다. 이때 화염의 이격거리별 측정된 화염의 형상과 방전펄스를 그림 5에 나타냈다.

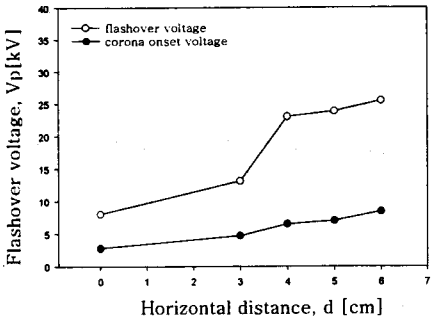
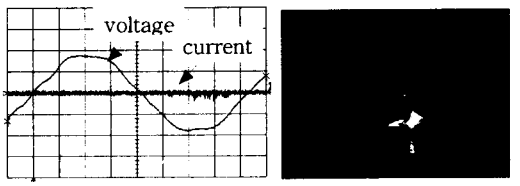
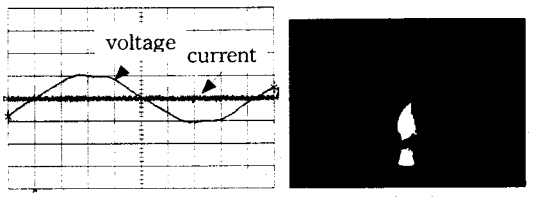


그림 4. 수평거리에 따른 플래시오버전압
(화염이 있는 경우, h=3[cm])

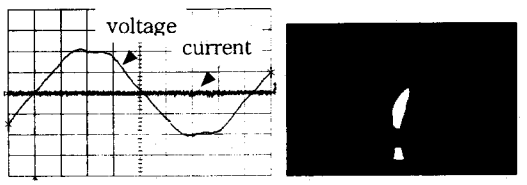
코로나개시전압은 침전극이 화염으로부터 멀어질수록 완만한 상승값을 나타내고 있지만, 절연파괴전압값은 이동거리 d=4[cm]까지는 급격한 절연파괴값을 보이고 있다. 이동거리 d=4[cm] 이상이 되면 무화염시에 비해 절연파괴전압값은 낮지만 포화하는 경향을 보이고 있다. 즉 이것은 d=4[cm] 이상이 되면 화염의 영향을 그다지 받지 않기 때문에 무화염시의 절연파괴전압값에 근접한 전압값을 가진다고 생각된다. h=3[cm]인 경우 d를 변화시켰을 때 절연파괴전압은은 d=3[cm]인 경우 절연파괴전압에 비해 약 65[%], d=6[cm]인 경우 약 67[%] 정도 높은 전압에서 발생되고 있다.



(a) Vp=4.5[kV], d=0[cm]



(b) Vp=10.0[kV], d=3[cm]



(c) Vp=10.0[kV], d=6[cm]

그림 5. d 변화시의 화염형상

그림 5(a)는 화염이 고전압인가 침전극 직하에 위치한 경우이다. 전압의 상승과 함께 화염이 낮아지며, 화염은 凹의 형상으로 변한다. 그림 (b)의 경우는 침전극이 화염에서 d=3[cm] 이격된 위치에 있는 경우, 화염의 몸통부분은 침전극에 대하여 반대방향으로 볼록한 형상을 하며, 화염의 상단부는 침전극으로 끌려갈려는 형상을 보이고 있다. 그림 (c)의 경우는 침전극이 화염으로부터 d=6[cm]에 위치한 경우로 화염의 상단부가 침전극을

향할려고 하며, 화염몸통은 가늘어지는 형상을 한다.
그림 6은 전극 간극 h=6[cm]일 때, 침전극을 화염으로부터 수평이동(d를 변화)시키면서 측정한 코로나 개시전압과 절연파괴전압값을 나타냈다.

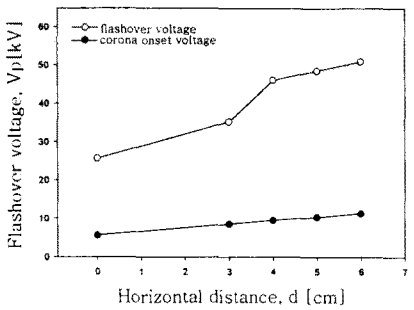


그림 6. 수평거리에 따른 플래시오버전압
(화염이 있는 경우, h=6[cm])

코로나개시전압은 d에 따라 완만하게 상승하고 있으나, 절연파괴전압은 이격거리 d=4[cm]까지 급격히 상승하는 현상을 보이고 있다. 그러나 d=4[cm] 이상이 되면 포화경향을 나타내고 있는데, 이 포화되는 영역은 그림 4와 같이 화염에 의한 열이나 온도의 영향을 받지 않기 때문에 무화염시의 절연파괴값에 근접하게 되는 것이라 생각된다. 절연파괴전압은 코로나개시전압에 비해 d=3[cm]인 경우 약 78[%], d=6[cm]인 경우 약 78[%]정도 d에 상관없이 비슷한 전압에서 발생되고 있다. 간극 h와 화염을 기준으로 침전극의 이동거리 d를 변화시켜 화염에 의한 절연파괴전압은 d=4[cm]이상이 되면 무화염시의 절연파괴전압값에 근접하여 포화하는 경향을 나타내고 있다.

3.2 봉대평판전극의 절연파괴특성

그림 7은 봉대평판전극을 이용하여 간극 h=3[cm]와 6[cm]일 때 봉전극을 화염에 대하여 수평거리 d로 이격시키면서 측정한 코로나개시전압과 절연파괴전압을 나타냈다.

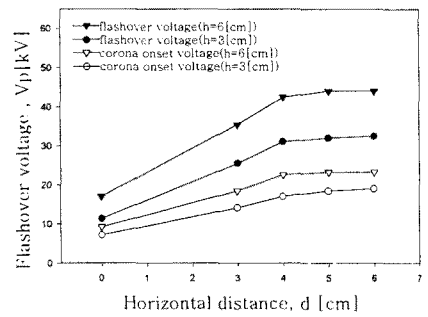


그림 7. 수평거리에 따른 플래시오버전압

봉대평판전극에서 간극 h=3[cm]와 10[cm]일 때 화염과 봉전극의 이격거리 d의 증가와 함께 코로나개시전압과 절연파괴전압은 d=4[cm]까지 급격한 상승곡선을 나타내지만, d=4[cm] 이상으로 멀어지면 코로나개시전압과 절연파괴전압은 각각 포화하는 경향을 나타내고 있다.

3.3 구대평판전극의 절연파괴특성

그림 8은 구대평판전극간 간극 h=3[cm]와 h=10[cm]인 경우, 화염과 구전극간 수평 이격거리 d를 변화시키면서 측정한 코로나개시전압과 절연파괴전압을 나타냈다.

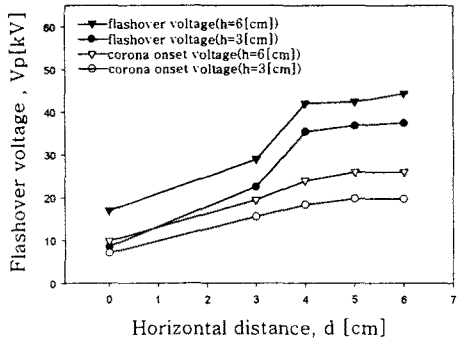


그림 8. 수평거리에 따른 플래시오버전압

이격거리 d의 변화에 따른 코로나개시전압을 완만한 상승현상을 나타내고 있지만, 절연파괴전압은 d=4[cm] 이전 까지는 급격한 전압폭을 가지고 있다. 그러나 d=4[cm] 이상이 되면 코로나개시전압이나 절연파괴전압은 화염의 영향을 받지 않기 때문에 방전전압은 포화분포를 나타내고 있다.

4. 결 론

침대평판전극을 수직배치하여 전극간 간극과 화염의 위치 변화에 따른 방전개시전압과 이에따른 화염의 형상변화에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.
(1) 코로나개시전압은 무화염시나 화염시 모두 전극 간극 h나 화염과 전극의 이격거리 d가 변화하더라도 완만하게 상승하고 있다.
(2) 절연파괴전압은 무화염시에는 간극 h가 클수록 급격하게 상승하지만, 화염시에는 h에 상관없이 전극과 화염의 이격거리 d=4[cm] 이하에서는 급격하게 상승하고 있다. 그러나 전극과 화염의 이격거리 d=4[cm] 이상이 되면 무화염시의 절연파괴전압에 근접한 포화현상을 나타내고 있다.
(3) 인가전압에 따른 화염의 형상의 변화는 화염이 침전극 직하에 위치하는 경우에는 凹의 형상을 하며 낮아지는 반면, 화염의 이격거리 d의 변화 따라 화염의 하부는 침전극과 반대방향으로 밀려나가면서 화염의 상단은 침전극 쪽으로 끌려가는 현상을 보이고 있다.
(4) 봉대평판전극과 구대평판전극에서 화염이 존재하는 경우 코로나개시전압과 절연파괴전압은 d=4[cm] 이상이 되면 전압값이 일정한 값으로 포화하는 경향을 나타내고 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Herschel J. West et al, " Fire induced flashover of EHV transmission lines ". IEEE PES Winter Meeting, NY, Paper A73 047-2, 1979
[2] Shuma Kawabata et al, " Leakage current characteristics of insulators polluted by volcanic ashes ", T. IEE Japan, Vol.115-B, No.8, pp.956-963, 1995.
[3] Electric power research institute, " Transmission line reference book-345kV and above/second edition " pp.381-419, 1982
[4] 김충년, 이광식, 이동인, 김인식 등, "대기중 화염에 의한 침대평판전극에서의 절연파괴특성", 대한전기학회 춘계학술대회논문집, pp.127-129, 2001. 4. 27-28.