

모의 송전선로의 섬락특성에 미치는 화염의 영향

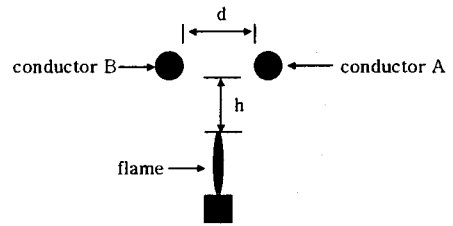
김인식*^o · 김충년** · 지승욱** · 이상우** · 이광식** · 이동인** · 김이국*
 *경일대학교 전기공학과 · **영남대학교 전자정보공학부

Influence of flame on flashover characteristics of model transmission line

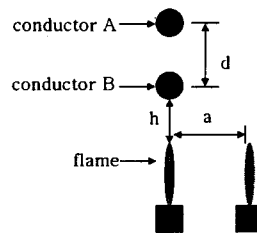
I. S. Kim*^o · C. N. Kim** · S. W. Jee** · S. W. Lee** · K. S. Lee** · D. I. Lee** · L. K. Kim*
 *Kyungil University · **Yeungnam University

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 model transmission line in the presence of flame were investigated. We found that the corona onset voltages and the flashover voltages were varied with the position of flames. Flashover voltages of vertical arranged electrodes with flame appeared to decrease 43[%] lower than those of same conditions with no flame.

타냈다. 또한 모의전선에서 화염을 수평으로 이동시 이 동거리를 a로 나타냈다.



(a) 수평배치전극



(b) 수직배치전극

그림 1. 전극의 배치 및 화염의 형상

1. 서 론
 우리나라는 국토의 대부분이 산지로 구성되어 있다. 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. [1,2,3] 현재 산림청의 산불발생 통계에 따르면 금년들어 현재까지 발생된 산불화재는 약 600건에 달하며 그 피해면적은 835(ha)에 이르고 있다.

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 요인으로서 생각할 수 있는 것은 화염에 의한 전리작용, 연소시 발생되는 매연, 화염과 주변 고온공기의 상대공기밀도의 저하 및 이들의 복합적인 요인 등을 생각할 수 있다. 또한 온도가 매우 높은 화염내에서는 고온의 이온화가스(hot ionized gas)가 다량 존재하고 있을 것으로 생각되므로 화염에 의해 그 파괴전압이 심하게 감소될 것으로 예상되고 있다.

이에 본 연구에서는 산불화재로 인한 가공송전선로에서의 섬락현상을 모의하기 위하여 철재강선을 사용하여 교류전압을 인가하였을 때 화염이 존재하는 경우 코로나 개시전압과 절연파괴전압을 측정하였다. 절연파괴전압에 미치는 화염의 영향을 조사하기 위해 본 실험에서는 강선을 수평 및 수직 배치하여 전극 간극과 화염의 위치에 따른 절연파괴전압을 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 모의전선인 cond. A와 cond. B 및 화염의 배치도를 그림 1에 나타냈다. 모의전선의 간극을 d, 모의전선과 화염간의 이격거리 h의 모양을 나

그림 1(a)는 모의전선 cond. A와 B를 수평으로 배치한 상태를 나타낸 것이다. cond. A에는 교류고전압을 인가한 고전압인가축이며, cond. B는 접지축으로 접속하였다. 화염은 cond. A와 B에 교대로 위치시켜 화염이 고전압축에 위치하거나 접지축에 위치할 경우 전압인가에 따른 절연파괴전압에 미치는 화염의 영향을 조사하였다. 이때 cond. A와 B의 간극 d와 cond. A 또는 화염간 높이 h를 변화시켜 화염이 없을 때의 절연파괴값에 근접할 때까지 d와 h를 변화시켜 절연파괴특성을 조사하였다.

그림 1(b)는 모의전선 cond. A와 B를 수직배치한 상태를 나타낸 것이다. 두 모의전선중 화염의 cond. B를 기준으로 직하에 위치시켰다. 또한 cond. B에 고전압을 인가하는 경우 cond. A는 접지축되며, 반대로 cond. A에 전압을 인가하는 경우 cond. B는 접지축이 되도록 접속하였다. 이때 cond. B를 고전압인가축 또는 접지축이 되도록 접속시켜, 화염에 따른 절연파괴특성을 조사하였다. 또한 cond. B에서 화염의 높이 h와 화염을 cond. B에 대하여 수평이동(a)시켰을 때의 화염의 영향에 따른 절연파괴특성도 조사하였다. 모의전선의 사용한 cond. A와 B는 일반적으로 시판되는 철재 강선으로 직경 2[mm]이며, 길이 30[cm]로 절단하여 사용하였다. 강선의 배치는 강선의 가운데가 활모양과 같이 불

특하게 나오는 형상으로 배치하였다.

본 연구에 사용된 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. 코로나개시전압과 절연파괴전압의 측정은 분압비 5000:1인 고전압프로브와 접지측 전극과 대지사이에 무유도저항 50[Ω]을 삽입하여 오실로스코프(LeCroy 9350AL)를 이용하여 측정하였다(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] 정도였으며, 일정한 형상을 가지고 있었다. 본 연구에 사용한 화염의 온도분포를 그림 2에 나타냈다.

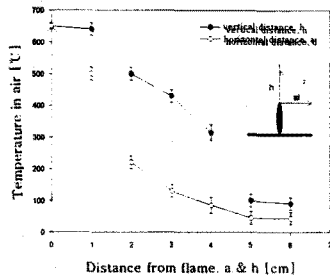


그림 2. 화염에 의한 공기의 온도분포

화염의 주변 온도 측정은 화염을 기준으로 수직상방향과 수평방향에 각각 이격거리 1[cm] 간격으로 측정하였다. 화염의 중심 $h \& a = 0$ [cm]인 화염내부에서는 약 640~650[°C]의 온도값을 가지며, 화염에서 a 가 멀어질수록 온도는 급격히 낮아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 화염에서 $h \& a = 5$ [cm] 이상 떨어진 지점에서 약 45~100[°C] 정도의 온도값을 가지나 그 이상의 거리가 되면 실은(약 20[°C]) 상태와 비슷한 온도분포를 가지게 된다. 측정된 온도의 분포를 보면 화염에 대하여 수직방향의 온도값이 수평방향으로 측정된 온도의 값보다 높게 나타나고 있다. 이것은 화염 자체가 가지는 열이나 그울름 등이 옆으로 퍼져가는 것이 아니라, 위로 올라가기 때문이라 화염 상부의 온도가 높게 나타난다고 생각된다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 수평배치된 경우의 섬락특성

그림 3은 그림 1(a)의 모의전선을 수평배치하였을 때, 모의전선 간극 d 를 1~6[cm]까지 이격시켜 인가전압에 따른 코로나개시전압과 절연파괴전압을 측정하였다.

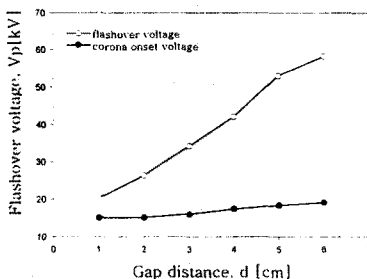


그림 3 갭거리에 따른 플래시오버전압 (화염이 없는 경우)

코로나개시전압은 간극이 넓어질수록 완만하게 상승하고 있지만, 절연파괴전압은 급격한 변동값을 가지며 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 절연파괴전압은 코로나개시전압에 비해 $d=1$ [cm]에서는 약 26%, $d=6$ [cm]에서는 약 67% 정도 높은 전압에서 발생되고 있다.

그림 4는 수평배치된 모의전선 cond. A를 전원인가측, cond. B를 접지측으로 사용하여 cond. A 또는 cond. B에 각각 화염을 교대로 배치시켜 도체간극 d 의 변화에 따라 측정된 코로나개시전압과 절연파괴전압을 나타낸 것이다. 이때 화염은 모의전선에서 $h=4$ [cm] 이격된 위치에 있다.

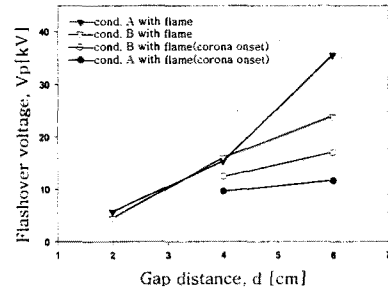


그림 4. 갭거리에 따른 플래시오버전압 (화염이 있는 경우, $h=4$ [cm])

화염의 위치에 따른 코로나개시전압은 화염이 cond. B의 접지측에 위치한 경우가 cond. A의 전원인가측에 위치한 경우보다 d 의 변화에 따라 약 22~30[%] 높게 나타났다. 또한 도체와 화염간 이격거리 $d=4$ [cm] 이하에서는 코로나현상을 거친후 절연파괴가 발생하지 않고 바로 절연파괴로 진전하기 때문에 코로나개시전압 영역을 나타내지 않았다. 절연파괴전압은 $d=4$ [cm]까지는 화염의 위치에 상관없이 거의 동일한 전압값을 가지지만, $d=4$ [cm] 이상이 되면 전원인가측(cond. A)에 화염이 있는 경우가 접지측(cond. B)에 화염이 있는 경우에 비해 약 33[%] 정도 높은 전압에서 절연파괴가 발생하는 것을 알 수 있다.

3.2 수직배치된 경우의 섬락특성

그림 5은 그림 1(b)의 수직배치된 모의전선 cond. A와 cond. B를 고전압인가측 또는 접지측으로 접속시켰을 경우, 코로나개시전압과 절연파괴전압을 측정하여 나타낸 것이다. 본 연구에서는 cond. B 모의전선을 기준으로 하였다. 이때 모의전선 간극 d 는 1~5[cm]이다.

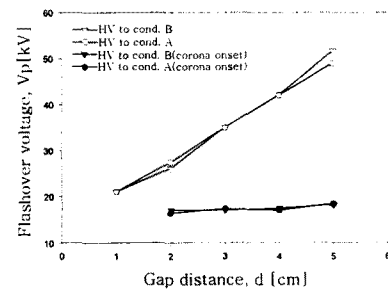


그림 5. 갭거리에 따른 플래시오버전압 (화염이 없는 경우)

도체간극 $d=1$ [cm]인 경우에는 코로나개시없이 바로 절연파괴로 진전하고 있다는 것을 나타냈다. 그러나 간극이 증가할수록 코로나개시전압은 간극 d 의 증가와 함께 완만하게 증가하고 있지만, 절연파괴전압은 급격한

상승곡선을 그리며 높아지고 있다. 또한 모의전선 cond. B를 전원인가측 또는 접지측으로 변환 접속하여도 코로나개시전압과 절연파괴전압의 변화폭은 거의 없이 동일한 크기로 발생되고 있다. 무화염시 모의전선에서의 절연파괴전압은 코로나개시전압과 비교하면 $d=2[\text{cm}]$ 에서는 약 40(%), $d=5[\text{cm}]$ 로 증가할수록 인가전압의 약 63(%) 이상 높은 전압영역에서 절연파괴되었다.

3.3 수직거리 h의 변화에 따른 섬락특성

그림 6은 그림 1(b)의 모의전선을 수직배치하고 간극 $d=1[\text{cm}]$ 일 때, cond. B 직하에 화염을 배치한 상태에서 화염의 위치를 수직하방향(h)으로 이격시키면서 측정된 코로나개시전압과 절연파괴전압을 나타냈다. 이때 cond. B를 전원인가측(cond. A는 접지측)과 접지측(cond. B는 고전압측)으로 각각 교대 접속시켰다.

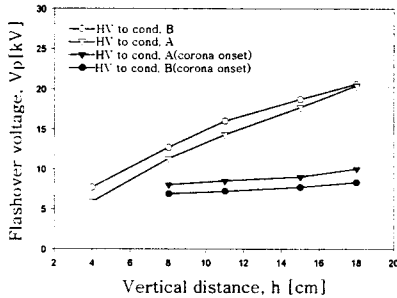


그림 6. 수직거리에 따른 플래시오버전압 ($d=1[\text{cm}]$)

cond. B를 기준으로 화염 이격거리 h가 멀어질수록 절연파괴전압은 급격한 상승곡선을 나타내고 있으나, 코로나개시전압은 완만한 상승곡선을 나타내고 있다. 그러나 cond. B 모의전선의 역할(전원인가측 또는 접지측)에 따른 코로나개시전압은 약 1[kV]정도 차이를 보이고 있다. 절연파괴전압값은 코로나개시전압과는 반대로 cond. B가 고압측일때 높게 나타났지만, 화염의 위치가 멀수록 그 변화폭이 좁아지며 h가 멀어질수록 거의 비슷한 절연파괴전압값을 나타내고 있다. 이것은 화염이 모의전선에서 점점 멀어짐에 따라 화염에 의한 열이나 화염자체의 영향을 받지 못하기 때문이라 생각된다.

코로나개시전압은 화염의 이격거리 $h=8[\text{cm}]$ 이하 일 때 발생되지 않는 것은 코로나개시와 더불어 바로 절연파괴로 진전하기 때문이다. 이때 절연파괴전압값은 코로나개시전압에 비하여 이동거리 h의 변화에 대하여 약 42~45(%) 비율의 높은 전압값에서 절연파괴가 발생되고 있다.

3.4 수평거리 a의 변화에 따른 섬락특성

그림 7은 그림 1(b)의 모의전선을 수직배치하고 간극 $d=1[\text{cm}]$ 일 때, 화염을 cond. B 모의전선에서 $h=3[\text{cm}]$ 와 $h=10[\text{cm}]$ 이격시킨 후, 이격된 위치에서 화염을 수평이동(a를 변화)시켜 측정된 절연파괴전압값을 나타냈다. cond. B를 전원인가측과 접지측에 각각 접속 변환하여 실험하였다.

cond. B가 전원인가측(cond. A는 접지측)일 경우 $a=2[\text{cm}]$ 일 때 $h=3$ 와 $10[\text{cm}]$ 에서 각각 화염에 따른 절연파괴전압은 cond. B가 접지측(cond. A는 전원인가측)일 때보다 약 7(%) 정도 높게 나타났으며, 또한 $a=1[\text{cm}]$ 이상이 되면, $h=10[\text{cm}]$ 일 때가 $h=3[\text{cm}]$ 때 보다 절연파괴전압이 약 12(%) 정도 높게 나타났

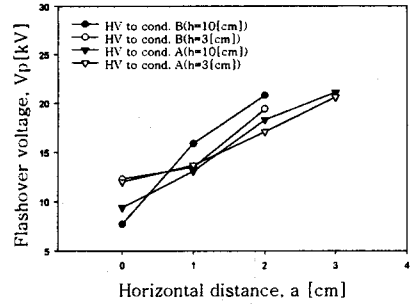


그림 7. 화염을 수평이동시 거리별 방전개시전압 ($d=1[\text{cm}]$)

cond. B와 화염의 이격거리 $h=3[\text{cm}]$ 와 $10[\text{cm}]$ 에서 화염의 수평 이동거리 a를 변화시켰을 때, a가 커질수록 화염에 의한 열적 영향이 작아져 절연파괴전압은 높아지는 것을 생각된다.

4. 결 론

가공송전선로에서의 화염에 의한 섬락현상을 조사하기 위하여 강선(con. A와 B)을 전극으로 사용하고 이를 수평 및 수직배치하여 간극 d 및 화염의 위치(h와 a)에 따른 코로나개시전압과 절연파괴전압을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 파라핀화염의 온도분포를 조사한 결과 화염의 수직상방향(h)의 온도가 수평방향(a)의 온도보다 높은 것으로 나타났다.
- (2) cond. A와 B를 수평 및 수직배치시 화염이 없는 경우, 간극이 클수록 코로나개시전압은 완만한 상승특성을 보이고 있지만, 절연파괴전압은 급격하게 상승하는 경향을 나타내고 있다.
- (3) 모의전선을 수평배치한 경우 절연파괴전압은 $d=4[\text{cm}]$ 까지는 화염의 위치에 상관없이 거의 동일한 전압값을 가지지만, $d=4[\text{cm}]$ 이상이 되면 전원인가측(cond. A)에 화염이 있는 경우가 접지측(cond. B)에 화염이 있는 경우에 비해 약 33(%) 정도 높은 전압에서 절연파괴가 발생하는 것을 알 수 있다.
- (4) 모의전선을 수직배치한 경우 절연파괴전압값은 코로나개시전압에 비하여 화염 이동거리 h의 변화에 대하여 약 42~45(%) 정도 높은 전압값에서 절연파괴가 발생되고 있다.
- (5) 화염을 cond. B의 직하에 거리 $h=3$ 과 $10[\text{cm}]$ 에 위치시킨 후 화염의 수평이동거리 a를 변화시켰을 경우 절연파괴전압은 $h=10[\text{cm}]$ 일 때가 $h=3[\text{cm}]$ 때 보다 절연파괴전압이 약 12(%) 정도 높게 나타났다.

(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 춘계학술대회는문집, pp.127-129, 2001. 4. 27-28.