

## 화염으로 인한 전기적 섬락특성 변화

\*손홍관, \*이형권, \*한형주, \*박인표, \*오한호, \*\*민병욱  
\*한국전기연구원, \*\*한전중앙교육원

### A Flashover Characteristics Due to Flames

\*H.K Sohn, \*H.K. Lee, \*H.J. Han, \*I.P. Park, \*H.H. Oh, \*\*B.W. Min  
\*KERI, \*\*KEPCO

**Abstract** - Most of the transmission lines in Korea pass through a mountains. The forest fire occurred in around the transmission lines make an accident such as flashover and faults in the power transmission lines. In spite of that risk, there are no research on the flashover characteristics by fires in electric discharge engineering in our country.

This paper was mentioned about the relation between the flame and flashover characteristics. We were carried out simple test by using artificial flame generator and rod-plane or conductor-plane gaps. And we were summarized test results.

#### 1. 서 론

우리나라는 국토의 64.2%가 산림으로 이루어져 있고, 전기를 공급하는 대부분의 송전선로가 산악지 및 산림을 통과하므로 송전설비 주변에 산불이 발생하면 산불화염으로 인한 섬락이 발생하여 송전선로의 트립이 발생하게 된다. 그러나 이러한 위험성에도 불구하고 국내에서 산불화염으로 인한 섬락특성 연구는 매우 기초적인 수준에 머무르고 있다.

본 논문에서는 송전설비의 화염에 대한 영향을 실험하기에 앞서 간이 실험을 통해 화염과 섬락특성의 관계에 대해 정리하였다.

#### 2. 산불섬락 메카니즘

일반적으로 가공선로와 대지사이의 공기로 절연되어 있지만 산불 발생시는 화염, 분진 및 기타의 영향으로 공기절연거리의 감소효과에 의해 섬락이 발생할 수 있다. 이와 같이 송전선로와 대지사이의 공기절연거리에 영향을 주는 원인은 일반적으로 공기밀도의 감소, 도전성 입자의 영향, 공기의 이온화 현상 등으로 알려져 있다.[1,2]

##### ① 공기밀도의 감소

온도가 상승하게 되면 식(1)과 같이 주변의 공기밀도가 감소하게 되고, 공기의 절연내력이 감소하게 되어 섬락전압이 감소하게 된다. 즉 온도와 섬락전압은 서로 반비례의 관계에 있음을 알 수 있으며, 산불발생시 주위온도는 300℃ 정도까지 상승하는 것으로 보고되어 있다.[2]

$$V_t = V_s \frac{D}{H} = V_s \frac{2.892p}{T} \quad (1)$$

$V_t$  : 실제조건에서의 섬락전압[kV]

$V_s$  : 표준조건에서의 섬락전압[kV]

$H$  : 습도보정계수

$D$  : 상대공기밀도 ( $= \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}$ )

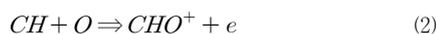
$p$  : 기압[kPa]

##### ② 도전성 입자

산불로 인해 생긴 부산물들은 주로 도전성 탄소성분으로 구성되어 있으며, 이들 도전성 입자들이 전극에 부착되어 전계가 집중되거나 갭간에 부유하면서 공기절연거리를 감소시키는 효과에 의해 섬락전압을 감소시키게 된다. 외국의 실험에서 도전성 입자가 전극에 부착된 경우 섬락전압이 50%까지 감소한다는 보고가 있다.[2,3]

##### ③ 공기의 이온화 및 도전을 상승

산불에 의한 탄화수소 불꽃은 다음의 화학적 작용에 의해 이온을 생성시킨다.



이 외에도  $H_3O^+$ ,  $CH_3^+$ ,  $CH_3O^+$ ,  $C_3H_3^+$ ,  $C_2H_3O^+$  등의 이온이 화학적 작용에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다. 가스가 높은 온도로 가열되면 가스의 분자(또는 원자)가 양전하 또는 음전하를 얻어 이온화 되는 현상을 열이온화 현상이라 하며, 보통 열 이온화 반응은 1000K(800℃) 이상의 온도에서 일어난다고 보고되어 있다.[2]

GAS ⇒ (고열인가)	GAS내부 분자들의 충돌 ⇒ (공기팽창)	열 이온화 현상
온도증가 ⇒ (열 이온화 반응)	이온농도증가	도전율 증가 ⇒ (도전성의 이온 증가)

즉 화염자체가 1차적으로는 연료의 산화작용, 2차적으로는 공기의 열 이온화 현상에 의해 도전성을 갖게 되며, 이로 인해 섬락전압이 감소될 수 있음을 알 수 있다.

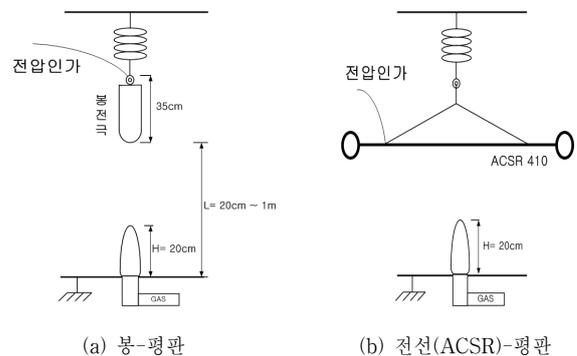
#### 3. 실험구성과 방법

##### 3.1 실험구성

화염의 크기 및 전극간격에 따른 섬락전압을 실험하기 위해 전극으로 봉-평판, 전선(ACSR 410mm<sup>2</sup>)-평판 전극을 <그림 1>과 같이 구성하였다. 전압 인가측 전극으로는 직경 13mm, 길이 0.35m의 반구형 봉전극과 전선(ACSR 410mm<sup>2</sup>)을 사용하였다. 접지측 전극은 0.5m×0.5m의 스테인레스 평판전극을 사용하였으며, 바닥면에서 0.2m를 띄워 수평으로 설치하였고, 평판전극의 중앙에 직경 15mm의 구멍으로부터 버너의 화염이 수직으로 나오게 설치하였다.

연소화염은 프로판 가스를 사용하였으며 화염의 길이를 약 0.2m로 일정하게 하기 위하여 프로판 가스용 레귤레이터를 이용하여 가스와 공기의 압력을 고정시켰다. 또한 화염이 주위의 바람에 흔들리지 않도록 0.5m×1.0m (총 18장)의 바람막이용 아크릴판을 제작하여 사용하였다.

인가전압으로는 각각 교류전압과 Impulse 전압을 인가하여 실험하였으며, 당 연구원의 고전압 실험실에서 이루어졌다.



<그림 1> 실험구성

##### 3.2 실험방법

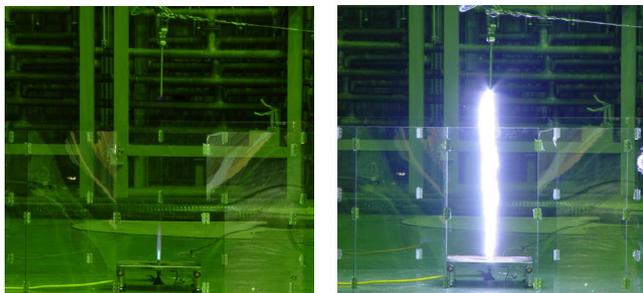
교류전압 인가시의 실험은 그림 1과 같은 구성으로 화염의 크기를 약 0.2m 또는 0.1m로 고정하고 전압 인가측 전극의 끝과 접지 전극간의 거리를 1.0m에서부터 0.1m씩 줄이면서 섬락전압을 측정하였고, 화염이 없는 경우의 섬락전압과 비교하여 화염의 영향을 파악하고자 하였다. 교류전압 인가시의 섬락전압은 연속 5회 측정하여 평균값을 사용하였다.

Impulse 전압은 승강법(Up-Down method)에 따라 전압을 인가하였고, 각 거리에 대해 20회 인가하여 섬락되지 않은 횟수를 기준으로 식 (3)에 의해 50% 섬락전압  $V_{50}$ 을 산출하였다. 실험시 인가전압의 변화폭  $\Delta V$ 는 2kV로 하였다.

$$V_{50} = V_0 + \Delta V \left[ \frac{\sum_{i=0}^{i=k} i \cdot n_i}{\sum_{i=0}^{i=k} n_i} \pm \frac{1}{2} \right] \quad (3)$$

$V_0$  :  $i=0$ 에 해당하는 전압 (kV)  
 $i$  : 인가한 전압을  $V_0 + i \cdot \Delta V$  라할 때의 정수  $i$   
 $n$  : 인가한 전압에서 정수  $i$ 의 최대값  
 $n_i$  :  $i$ 에 해당하는 전압에서 섬락이 발생한 횟수 또는 섬락 되지 않은 횟수

또한 인가전압에 의한 화염의 형상 변화와 섬락 장면의 자세한 관찰을 위하여 초고속 카메라를 설치하여 화염의 형상을 관찰하였다. <그림 2>는 봉-평판 전극의 실험장면을 보여주고 있다.



(a) 전압 인가전 (b) 섬락발생장면

<그림 2> 봉-평판전극의 실험장면

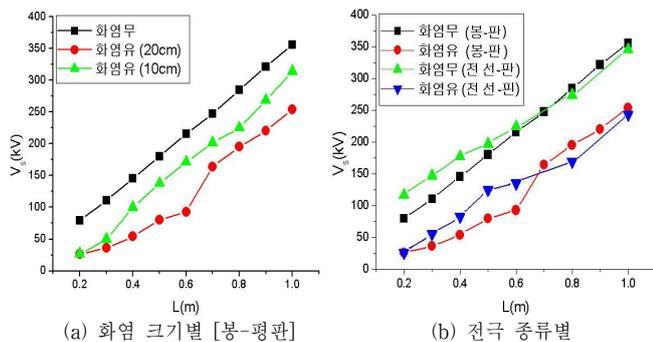
#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 교류전압 인가시

<그림 3>의 (a)는 화염유무에 따른 섬락전압을 비교한 것으로서 전체적으로 화염이 있을 때가 없을 경우보다 섬락전압이 낮게 나타났으며, 전극이 화염에 휩싸인 ( $L < 0.2m$ )경우의 섬락전압은 화염이 없을 경우의 약 30%정도로 감소하였다.

큰 화염(20cm)으로 실험할 경우 전극간격이 0.5~0.6m 구간과 작은 화염(10cm)으로 실험할 경우 전극간격이 0.3m 구간에서는 섬락과 동시에 화염의 소화되는 현상이 많이 발생하였다. 특히 화염의 소화현상이 발생한 구간에서는 섬락전압이 급속하게 감소하여 큰 화염에서는 57%, 작은 화염에서는 55%의 섬락전압이 감소하였다. 이는 화염크기와 전극간격의 비율이 약 30%정도일 때 화염에 의한 섬락전압의 감소가 가장 크거나 교류전압 인가시 코로나풍에 의해 화염이 영향을 많이 받는 전극간격인 것으로 추정된다.

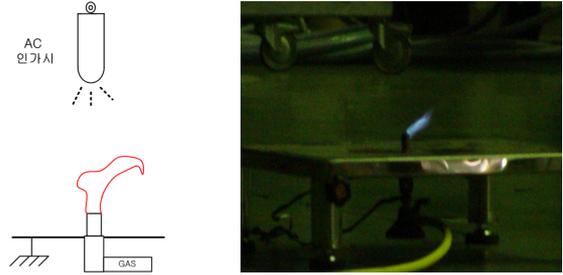
<그림 3>의 (b)에서는 전극의 종류에 따른 섬락전압을 비교한 것이며, 전극으로 전선을 사용했을 경우 봉전극보다 전계의 집중도가 낮기 때문에 섬락전압은 다소 높게 나타나고 있으며, 화염유무에 따른 섬락전압은 일정한 정도의 감소폭을 보이고 있다.



<그림 3> 교류전압 인가시의 실험결과

##### 4.2 Impulse 전압 인가시

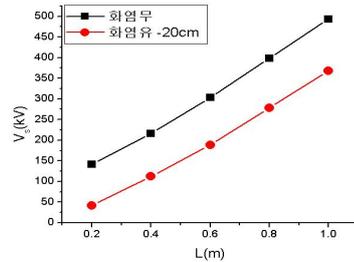
교류전압을 인가한 실험에서는 인가전압이 높아짐에 따라 섬락이 발생하기 이전에 <그림 4>와 같은 화염의 일그러짐 현상이 발생하였고, 이것이 섬락전압에 어떤 영향을 미치는지 검토해 볼 필요가 있다.



<그림 4> 교류전압 인가시 화염 형상변화

화염의 일그러짐 현상을 없애기 위해서는 목표전압을 순간적으로 인가하는 Impulse 전압에 의한 실험을 고려할 수 있으며, 이 경우 <그림 5>의 실험결과를 얻었다.

<그림 5>는 임펄스 전압(1.2/50 $\mu s$ )에 의한 봉-평판 전극의 50% 섬락전압을 나타내고 있다. 전체적으로 화염에 의한 섬락전압이 일정하게 감소하고 있으며, 화염이 있을 경우가 화염이 없을 경우보다 전극간격에 따라 약 30~70%로 섬락전압이 감소함을 알 수 있다. 특히 교류전압 인가시의 실험결과와 달리 0.5~0.6m 전극간격에서도 일정한 감소폭을 나타내고 있으며, 화염의 소화현상도 발생하지 않았다.



<그림 5> Impulse전압 인가시의 실험결과

#### 5. 결 론

- (1) 화염이 있을시 섬락전압의 감소가 뚜렷하게 나타났으며, 화염의 크기와 전극 모양에도 섬락전압이 크게 영향을 받는 것을 확인하였다.
- (2) Impulse 전압 인가시에는 일정한 섬락전압의 차이를 보였으나, 교류전압 인가시에는 화염의 찌그러짐 현상이 발생하였고 특정한 전극간격에서는 화염의 소화현상이 발생하고, 섬락전압도 급격하게 감소하는 현상을 확인하였다.
- (3) 전극이 화염에 휩싸인 ( $L < 0.2m$ )경우에는 화염이 없는 경우보다 섬락전압이 약 70%정도까지 감소하였다.
- (4) 교류전압과 Impulse전압 인가시 화염이 있을 경우 전극간격에 따라 섬락전압이 약 30~70%정도로 감소하였으며, 1.0m 이내의 전극간격에서는 섬락전압이 약 100~125kV 정도의 일정한 감소폭을 나타냈다.
- (5) 이 결과는 향후 환경모의 챔버에서의 실험시 기본적인 실험개념과 산물에 의한 영향을 규명하는데 기초자료로 활용할 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Hein frederich Vosloo, "The need and contents a Life Cycle Management Plan for Eskom Transmission Line Servitudes" Dissertation, Rand Afrikaans University, pp.141-159
- [2] A.Sukhmandan, D.A.Hoch, "Fire Induced Flashovers of Transmission Lines : Theoretical Models", IEEE Africon 2002, pp.617-622
- [3] J.R.Fonseca, A.L.Tan, etc., "Effects of Agricultural Fires on the Performance of Overhead Transmission Lines" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.5, No.2, April1990, pp.687-694
- [4] 林 洋司, 久富 光春, 池田 義一, "火災がフラッシュオーバー特性に及ぼす影響", 中部工業大學紀要, 1986