

# 연소화염 존재 시 모델 전력선의 절연파괴 특성

(Breakdown Characteristics of a Model Power Line  
in the Presence of Combustion Flame)

김인식\*

(In-Sik Kim)

## 요 약

본 연구에서는 연소화염이 존재할 때, 상용주파수 교류 및 직류 고전압에 대한 모델전력선의 절연파괴특성을 조사한 결과를 보고하였다. 화염높이와 위치에 따라 절연내력은 크게 저하되며,  $h=0$ 에서 교류 및 직류 절연파괴전압은 화염이 없는 경우보다 최대 80[%] 저하되는 것으로 나타났다. 또한 화염위치가  $k=0.5$ 일 때 화염높이에 대한 영향도 조사하였으며, 교류전압 인가 시  $h=0, 3, 6, 9$  및 12[cm]로 변화시킨 경우, 화염이 없는 경우의 절연파괴전압에 비해 각각 78.6[%], 59.7[%], 46.9[%], 41.5[%] 및 35.4[%] 저하된 것으로 나타났다.

## Abstract

The results of an experimental investigation into the breakdown characteristics of a model power line in the presence of oil flame are reported under the application of 60[Hz] ac and dc high-voltages. It is appeared that flame can reduce by more than half, 80[%] in maximum, the breakdown voltage with the case of  $h=0$  under ac and dc applications. Taking a horizontal model line with a  $k=0.5$  of flame position, it can be seen from the results that the reduction of flashover levels, in comparison with the no-flame case, are 78.6[%] for  $h=0$ [cm], 59.7[%] for  $h=3$ [cm], 46.9[%] for  $h=6$ [cm], 41.5[%] for  $h=9$ [cm] and 35.4[%] for  $h=12$ [cm] when ac voltage is applied.

Key Words : Breakdown Characteristics, Model Power Line, Combustion Flame

## 1. 서 론

오늘날 국가경제와 정보화 산업이 발달함에 따라 전기에너지의 수요는 해마다 크게 증가하고 있으며,

경제적이고 효율적인 전력수송을 위해 계통은 점차 고전압 및 대용량화로 추진되고 있다. 이러한 대용량 송전선의 신뢰도 측면에서 가장 주요한 관심의 대상은 송전선의 사고를 최소한으로 줄이는 것이다.

자연현상에 기인한 전력선의 정전사고에는 크게 낙뢰와 화재로 구분된다. 낙뢰는 하절기에 많이 발생되며, 동절기에는 화재로 인한 정전사고가 빈번히 일어나고 있다. 선로의 절연내력에 영향을 미칠 수

\* 주저자 : 경일대학교 컴퓨터제어전기공학부  
Tel : 053-850-7143, Fax : 053-850-7602

E-mail : iskim@kiu.ac.kr  
접수일자 : 2006년 11월 6일  
1차심사 : 2006년 11월 7일  
심사완료 : 2006년 11월 29일

있는 화재의 형태로서는 거대한 산불로부터 논·밭 두렁 태우기, 송전선로 아래에서의 나뭇가지 및 쓰레기 조각에 이르기까지 그 종류는 매우 다양하다. 이러한 고온 화염이 전력선 부근에 존재하면, 화염 상부에 있는 전력선은 선간 또는 대지 간에 섬락사고를 일으킬 수 있으므로 절연파괴에 미치는 화염의 영향은 중요한 과제가 되고 있다[1-2].

외국의 경우 청명한 날씨에도 불구하고, 간혹 지락 사고로 추정되는 고장이 장거리 송전선로에서 관측되고 있다[3-4]. 이러한 불명확한 정전사태의 원인으로서로는 주로 송전선로 아래에서 일어난 산불이나, 잡초, 목재 또는 쓰레기 더미의 조각으로 추정되고 있다. 비록 선로 도체사이의 이격거리 즉, 클리어런스(clearance)를 정격전압의 섬락전압에 대해 충분한 여유로서 설계하여도 선로부근에 고온화염이 존재하면, 송전선로는 공기의 절연내력이 약해져서 정전사고를 야기할 수 있다.

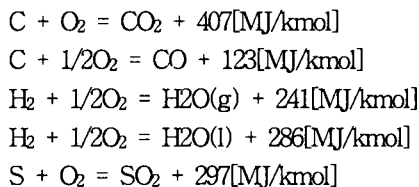
화염 자체의 전기적 특성에 대해서는 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔으나, 이들 연구의 대부분은 각종 화염 자체의 임피던스 특성이나, 전위분포에 따른 화염의 저항을 및 전압·전류 특성 등 물리적 현상에 관해 주로 보고하고 있다[5-6]. 그러나 고전압 및 방전 공학적 측면에서 화염의 존재에 의한 전력선에서 절연파괴 전압의 저하에 대해서는 지금까지 많이 발표되지 않고 있어 연구의 필요성을 느낀다.

따라서 본 연구에서는 수평으로 배치된 가공 송전선을 모델로 하여, 이 모델 전력선에 대한 절연파괴 특성에 미치는 화염의 영향을 조사하였다. 안정된 소규모 화염 중에서 상용주파수 교류 및 직류전압을 인가하였을 때, 도체 사이의 거리, 화염의 위치 및 높이 등을 변화시킨 경우 공기의 절연파괴전압을 조사하였다. 이 때 화염이 없는 경우의 특성과 상호 비교하였다.

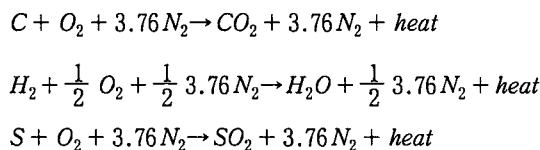
## 2. 연소반응 이론

연소는 연료의 형태, 종류, 산지 등에 따라 다르다. 연소에 의해 열을 발생하는 성분원소는 주로 수소(H), 탄소(C), 유황(S)이므로 이들 가연(可燃)원소의

연소에 대한 기본 화학방정식은 다음과 같다.



연료가 연소해 생성하는 고온의 가스를 연소가스라 하고, 일반 연소성분인 탄소, 수소, 황성분의 반응식은 다음과 같다.



따라서 연료 중 탄소, 수소, 황성분은 연소하여 다량의 연소열을 발생한다.

## 3. 실험 장치 및 방법

### 3.1 모델선로의 구성 및 화염의 배치

그림 1은 수평배치 모델선로에 대한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 현재의 송전선배치는 대개 수직배열 3상식으로 되어있으나, 본 연구에서는 공기의 절연내력에 영향을 미치는 화염의 영향을 조사하기 위해 그림 1과 같이 구성하였다.

그림 1과 같이 수평으로 배치된 도체아래에 연소 화염을 배치시켰으며, 모델 선로로서 사용된 도체는 직경 1.8[mm]인 강선(steel wire)을 사용하였다.

화염과 모델선로의 배치관계는 그림 2와 같다. 여기서 두 도체 사이의 거리는 d이며, 접지 측 도체와 화염의 중심간 거리는 l이다. 또한 두 도체의 수평축과 화염중심 간의 높이는 h로 표시하였다.

화염 위치를 표시하는 방법은 그림 2와 같이 접지 측 도체로부터 화염의 거리 l과 두 도체 사이의 거리 d의 비, 즉  $k=l/d$ 로서 정의하였다. 실험에서 적용된 화염 위치는  $k=0$ ,  $k=0.5$  및  $k=1.0$ 이며, 이는 전

## 연소화염 존재 시 모델 전력선의 절연파괴 특성

극간 거리  $d$ 에 관계없이 각각 화염이 접지 측 도체, 두 도체의 중앙 및 고압 측 도체에 위치하고 있음을 나타낸다. 그리고 화염과 도체와의 높이  $h$ 는 그림과 같이 도체 축과 화염사이의 수직거리이다.

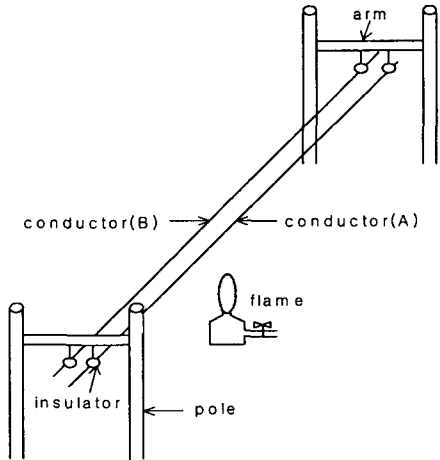


그림 1. 실험장치의 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

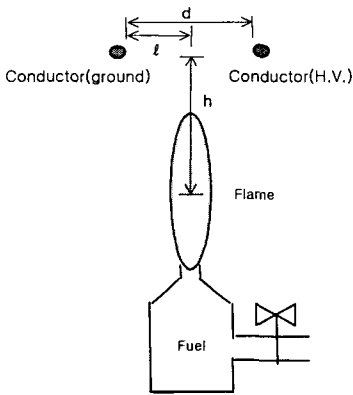


그림 2. 수평배치 모델선로와 화염의 배치도  
Fig. 2. Schematic diagram of the horizontal model conductors and flame shape

본 연구에서는 교류 및 직류 고전압을 인가하였으며, 실험에 사용된 고전압 발생장치(High Voltage Generator)를 비롯하여 측정 장치 및 방법에 대해서는 이미 보고되었다[1].

## 3.2 연소화염의 특성

그림 3은 파라핀 화염에서 수직거리에 대한 온도 분포특성을 나타낸 것이다. 그림 3과 같이 파라핀 화염의 최고온도는 약  $650[^\circ\text{C}]$  정도이며, 화염으로부터 수직거리  $h$ 가 증가함에 따라 공기의 온도는 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 화염으로부터 약  $h=9\sim 10[\text{cm}]$  이상 떨어지면 실내 공기와 온도차가 적어지므로 거리 증가에 따른 온도는 완만하게 감소된다.

화염의 크기는 전압이 인가되지 않는 상태에서 육안으로 관찰하여 폭  $0.5[\text{cm}]$ , 높이  $3[\text{cm}]$  정도로 안정하게 유지하였다.

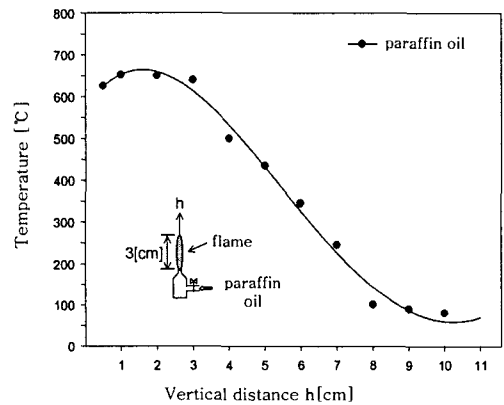


그림 3. 수직거리에 대한 파라핀 화염의 온도분포곡선  
Fig. 3. Temperature distribution along the vertical distance of paraffine-oil flame

온도측정에 있어서  $100[^\circ\text{C}]$  이하의 낮은 온도는 서미스터온도계로 측정하고, 고온부 온도측정은 약  $1,600[^\circ\text{C}]$  까지 측정 가능한 열전대 온도계(thermometer, class 0.5, 일본 Shimadzu. Co., 백금-백금 로지움 thermocouple)를 사용하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 화염 위치에 따른 절연파괴전압 특성

#### 4.1.1 교류전압 인가시의 특성

그림 4는  $h=0[\text{cm}]$ 인 수평배치 모델선로에서 화염

위치(k)에 따른 교류 절연파괴전압 특성을 나타낸 것이다.

갭 길이가 비교적 작은 경우 섬락전압은 화염의 위치(k)에 대한 영향은 크지 않았으나, 갭 길이가 커지게 되면 화염위치에 따른 차이가 나타나며, 이 경우 k=0인 위치에서 가장 높은 것으로 나타났다.

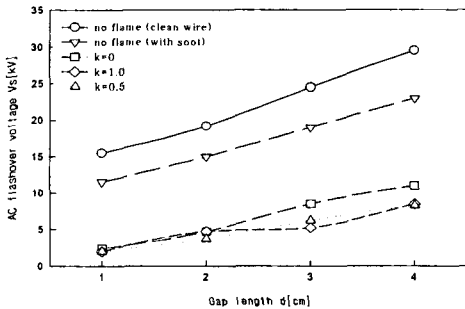


그림 4. 화염위치에 따른 모델선로의 교류 절연파괴전압 특성

Fig. 4. AC flashover voltage vs. gap length with model conductors

그림에서 나타난 바와 같이 매연이 부착된 도체의 섬락전압은 깨끗한 상태에 비해 약 77.0[%]이며, k=0.5 및 k=1.0일 때의 평균값은 약 21[%], k=0에 대한 평균값은 28[%]로 나타났다. 이는 화염이 존재하면 화염이 없는 경우에 비해 절연파괴전압은 약 72~79[%]저하되고 있음을 의미하는 것이다. k=0에서 조금 높게 나타난 것은 인가된 교류전압의 상승에 의해 우측의 고전압도체에서 발생된 코로나 풍에 의해 주변 공기의 냉각 및 화염의 형상 변화에 기인하는 것으로 생각된다.

#### 4.1.2 직류전압 인가시의 특성

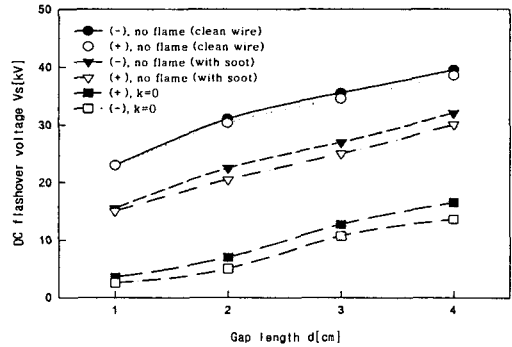
그림 5는 h=0[cm]인 수평배치 모델선로에서 화염 위치(k)에 따른 직류 섬락전압 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는바와 같이 직류전압을 인가한 경우에는 극성효과가 나타났으며, 화염의 위치에 따라 상이한 특성을 보이고 있다.

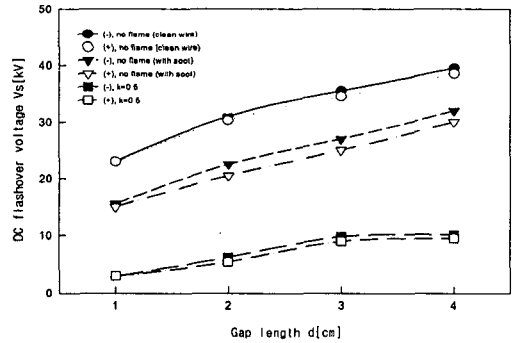
표 1은 화염이 존재하지 않은 경우, 깨끗한 도체의 부극성(-)섬락전압을 100[%]으로 하였을 때, 화염위치(k)에 따른 섬락전압의 상대값 [%]을 나타낸

것이다.

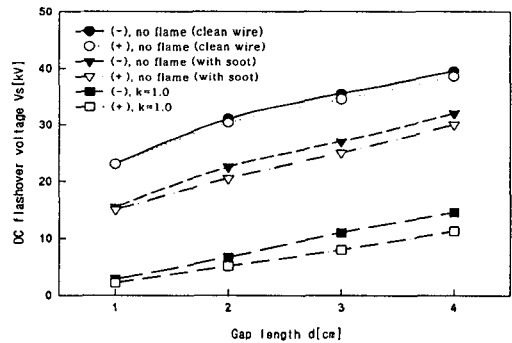
이 표에서 알 수 있는 바와 같이 화염이 존재하면 화염이 없는 경우에 비해 섬락전압은 매우 낮아지고 있으며, 또한 화염의 위치와 극성에 따라서 섬락전압은 상이한 것으로 나타났다.



(a) k=0인 경우



(b) k=0.5인 경우



(c) k=1.0인 경우

그림 5. 화염위치에 따른 모델선로의 직류 섬락전압 특성  
Fig. 5. DC flashover voltage vs. gap length with model conductors

연소화염 존재 시 모델 전력선의 절연파괴 특성

k=0인 경우 부극성 및 정극성의 평균값은 각각 22.8[%] 및 28.7[%]이며, k=0.5에서는 각각 21.5[%] 및 20.0[%]이며, 또한 k=1.0인 경우는 각각 25.4[%] 및 19.3[%]인 것으로 나타나, 화염이 없는 경우에 비해 화염이 존재하면 절연파괴전압은 약 72~80[%] 정도 저하되고 있다. 또한 이 표로부터 k=0.5인 경우 극성에 따른 섬락전압의 평균값은 거의 동일하였으나, k=0 및 k=1.0에서는 극성의 영향이 나타나고 있다. 즉 k=0에서는 부극성이 정극성보다 낮은 반면 k=1.0에서는 반대로 정극성이 부극성보다 낮은 것으로 조사되었다. 이는 전압극성에 따라 사진 1과 같이 화염의 형상변화에 기인하는 것으로 판단된다.

표 1. 수평배치 모델선로에 대한 직류 섬락전압의 상대값

Table 1. Relative value of DC flashover voltage with horizontal model conductors

k \ d	d=1 [cm]	d=2	d=3	d=4	평균 [%]
clean(-)	100	100	100	100	100
k=0(-)	10.8	16.1	30.1	34.4	22.8
k=0(+)	15.2	22.5	35.7	41.7	28.7
k=0.5(-)	13.0	20.0	27.6	25.6	21.5
k=0.5(+)	13.0	17.4	25.3	24.0	20.0
k=1.0(-)	12.2	21.6	31.0	37.0	25.4
k=1.0(+)	9.6	16.4	22.5	28.6	19.3

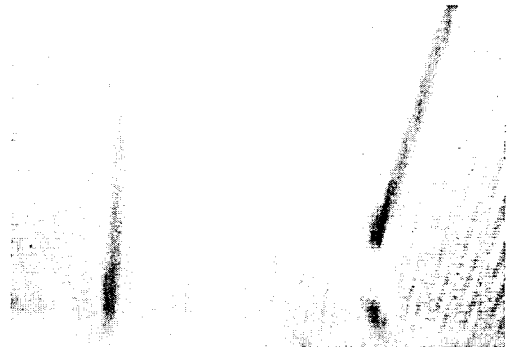
사진 1은 k=1.0인 화염배치에서 직류 정극성(+) 전압을 인가한 경우, 전압상승에 따른 화염의 형상변화를 나타낸 것이다. 사진 1 (a)는 전압 0[kV]인 상태의 화염모습이며, 사진 1 (b) 및 사진 1 (c)는 각각 5[kV] 및 8[kV] 인가했을 때 화염 형상이다.

사진 1 (a)에서는 전압이 0[kV]일 때 화염은 위로 직립하고 있으나, 전압 5[kV]가 인가된 사진, 1 (b)에서는 모델선로의 고전압 측(우측선로)에 대해 화염은 반발되어 접지 측 선로(좌측선로)로 기울어진 형상을 하고 있다. 이러한 현상은 화염이 어느 정도 정(+)이온을 가지고 있으므로 외부전계에 의해 정전력이 작용하기 때문이라고 생각된다. 여기서 전압을 상승시키면 사진 1 (c)와 같이 접지 측 선로로 더욱 기울어지는 것으로 나타났다. 한편 k=0인 화염배치

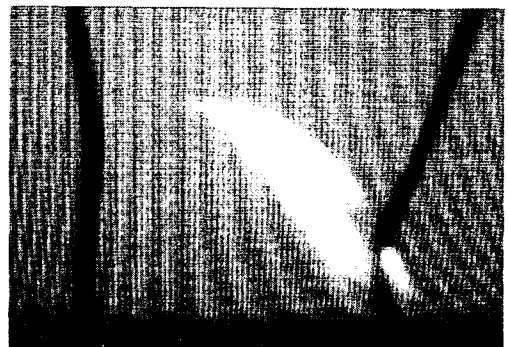
에서 직류 부극성 전압을 인가한 경우에는 사진 1과 는 반대방향으로 되어 화염은 전원 측 선로(우측선로)로 기울어진다.



(a) 0[kV]



(b) 5[kV]



(c) 8[kV]

사진 1. 수평배치 모델선로의 화염 형상 (DC(+), k=1.0)

Photo 1. Shapes of flame in the horizontal model conductors with positive DC voltages

## 4.2 화염 높이에 따른 절연파괴전압 특성

### 4.2.1 교류전압 인가시의 특성

그림 6은 화염위치가 k=0.5인 수평배치 모델선로에서 화염 높이(h)에 따른 교류 섬락전압 특성을 나타낸 것이다.

여기서도 화염의 높이 h=0, 3, 6, 9 및 12[cm]에 대한 섬락전압뿐만 아니라, 매연이 부착되기 전후에 있어서 섬락전압을 비교하기 위해 화염이 없는 깨끗한 도체의 섬락전압과 매연이 부착된 상태의 섬락전압도 함께 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 갭 길이(d)와 화염 높이(h)에 비례하여 섬락전압은 증가하는 것으로 나타났다.

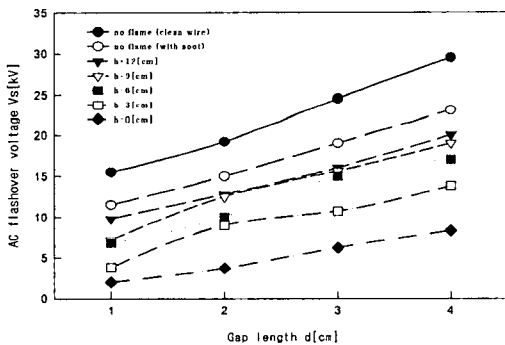


그림 6. 화염높이에 따른 모델선로의 교류 섬락전압 특성  
Fig. 6. AC flashover voltage vs. gap length with model conductors

그림 6에서 나타난 바와 같이 교류섬락전압에 대한 화염 높이의 영향으로서 h=0, 3, 6, 9 및 12[cm]에 대한 상대섬락 전압의 평균값은 각각 21.4, 40.3, 53.1, 58.5 및 64.6[%]인 것으로 나타났다. 이는 화염이 선로도체로부터 멀어지면 공기의 온도가 저하하며, 상대공기밀도는 증가하기 때문이라고 생각된다.

### 4.2.2 직류전압 인가시의 특성

그림 7은 화염위치가 k=0.5인 모델선로에서 화염 높이(h)에 따른 직류 섬락전압 특성을 나타낸 것으로, 화염 높이는 h=0, 3, 6 및 9[cm]이다.

그림으로부터 화염에 의한 섬락전압은 갭 길이(d)와 화염높이(h)에 비례하여 증가하고 있음을 알 수 있다.

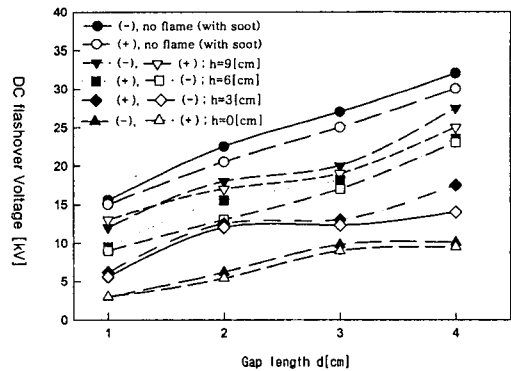


그림 7. 화염높이에 따른 모델선로의 직류 섬락전압 특성  
Fig. 7. DC flashover voltage vs. gap length with model conductors

표 2는 화염이 없고, 깨끗한 도체의 부극성(-)섬락 전압을 100[%]으로 하였을 때, 화염높이(h)에 따른 섬락전압의 상대값[%]을 나타낸 것이다. 이 표에서 화염 높이 h=0, 3, 6 및 9[cm]에 대한 상대섬락전압의 양극성(+, -) 평균값은 각각 20.7, 35.2, 48.9 및 58.0[%]으로 나타났다. 이와 같이 높이(h)에 비례하여 섬락전압이 높은 것은 높이(h)가 커지면 주변공기의 온도는 낮아지고, 상대공기밀도는 증가하기 때문이라고 생각된다.

표 2. 수평배치 모델선로에 대한 직류 섬락전압의 상대값

Table 2. Relative value of DC flashover voltage with horizontal model conductors

h \ d	d=1 [cm]	d=2	d=3	d=4	평균 [%]
clean(-)	100	100	100	100	100
h=9(-)	52.2	58.1	56.3	69.6	59.0
h=9(+)	56.5	54.8	53.5	63.3	57.0
h=6(-)	41.4	42.0	47.9	58.2	47.3
h=6(+)	41.3	50.0	51.2	59.7	50.5
h=3(-)	24.3	38.7	34.3	35.4	33.2
h=3(+)	27.0	40.3	37.2	44.3	37.2
h=0(-)	13.0	20.0	27.6	25.5	21.5
h=0(+)	13.0	17.4	25.3	24.0	20.0

## 연소화학 존재 시 모델 전력선의 절연파괴 특성

이 표에서 나타난 바와 같이 동일한 높이(h)에서 전압극성에 대한 평균값의 차이는 약 2~3[%]정도로서, 극성의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 화염위치가 선로 중앙에 위치하고 있으며, 절연파괴의 매개체로서 화염의 작용이 크지 않기 때문이라고 생각된다.

### 4.3 열전리 및 상대공기밀도에 대한 고찰

#### 4.3.1 연소화학에 대한 열전리 현상

열전리(thermal ionization)는 고온기체 중에서 입자 또는 전자의 상호충돌 등에 의해 전리가 일어나는 현상이며, 고온화학에 있어 주요한 전리원이 되고 있다.

열역학 평형조건하에서 M. N. Saha는 가스압력  $p$ 와 절대온도  $T$ 를 사용하여 다음 식 (1)과 같은 전리도  $\theta$ 에 대한 식을 유도하였다[7].

$$\frac{\theta^2}{1-\theta^2} = \frac{1}{p} \frac{(2\pi m_e)^{3/2}}{h} (kT)^{5/2} \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right) \quad (1)$$

여기서  $\theta$ 는 전리도(ionization degree)이며, 중성 입자밀도  $n$ 에 대한 이온밀도  $n_i$ 의 비율로서  $\theta = \frac{n_i}{n}$ 로 표시된다. 그리고  $m_e$ 는 전자의 질량,  $h$ 는 플랑크의 상수이므로 이를 대입하면 식 (2)와 같이 정리된다.

$$\frac{\theta^2}{1-\theta^2} = 2.4 \times 10^{-4} \frac{T^{5/2}}{p} \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right) \quad (2)$$

또한  $T$ 는 기체의 온도[K],  $p$ 는 기체의 압력[Torr],  $W_i$ 는 기체 입자의 전리전압[eV],  $k$ 는 볼츠만의 상수이다. 이 식을 이용하여 전리도  $\theta$ 를 구하면 연소화학에 대한 전리도는  $\theta = 1.24 \times 10^{-16}$  이하로 계산된다. 따라서 화염의 전하밀도는 매우 낮아 열전리의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

#### 4.3.2 상대공기밀도의 영향

L. Paris 등은 대기압 공기 중에서 갭 계수를 사용하여 표준상태의 대기압 공기에 대한 절연파괴전압

에 대한 실험식을 발표하였다[8].

$H$ 는 습도보정계수,  $\delta$ 는 상대공기밀도, 시험전압을  $V_t$  라면, 표준상태의 시험전압  $V_s$ 에 대한 플래시오버전압의 관계식은 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s = V_t \frac{H}{\delta} \quad (3)$$

또한  $p$ 를 기압[mmHg],  $t$ 를 온도[°C]라 하고, 화염이 존재할 경우 습도는 최소가 되므로 습도보정계수의 영향은 매우 적으므로 이를 무시하면, 식 (3)은 다음 식 (4)와 같이 표시된다.

$$V_t = V_s \frac{0.392p}{273+t} \quad (4)$$

따라서 플래시오버전압은 온도  $t$ 에 반비례하고, 기압  $p$ 에 비례한다.

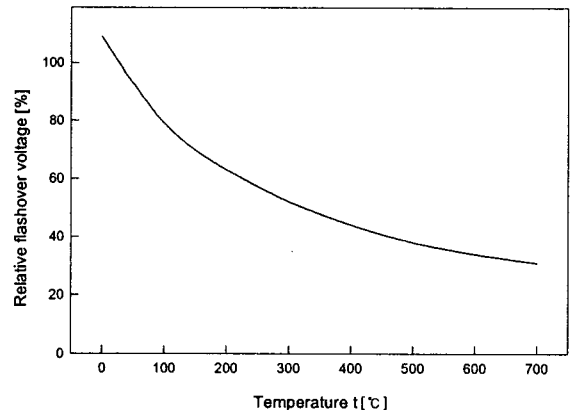


그림 8. 상대 플래시오버 전압과 온도와의 관계  
Fig. 8. Relationship between relative flashover voltage and temperature

그림 8은 대기압 공기의 온도변화에 따른 상대적인 플래시오버전압을 나타낸 것이다. 화염이 존재하는 온도환경 즉, 약 350[°C] 또는 그 이상의 온도에서는 공기의 플래시오버전압은 그 표준상태인 20[°C]의 플래시오버 전압에 비해 약 50[%]이하로 감소되는 것을 알 수 있다. 온도가 약 600~700[°C]으로 상승하게 되면, 그림 8에서 보는 바와 같이 플래시오버

전압은 약 1/3으로 감소하게 된다. 따라서 화염이 존재하지 않는 정상적인 기상상태의 보정계수는 대개 10[%]이내지만 화염이 존재할 경우에는 그 영향이 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

수평배치 모델선로에서 화염의 위치와 높이에 따른 교류 및 직류전압을 인가하였을 때 공기의 절연 파괴 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 교류전압 인가 시, 화염이 존재하면 화염이 없는 경우에 비해 절연파괴전압은 화염의 위치에 따라 약 72~79[%]저하된 것으로 나타났다.

(2) 직류전압 인가 시, 화염이 없는 경우에 비해 화염이 존재하면 절연파괴전압은 약 72~80[%]정도 저하되고 있다. 또한  $k=0$  및  $k=1.0$ 에서는 극성의 영향이 나타나고 있다. 이는 전압극성에 따라 화염의 형상변화에 기인하는 것으로 판단된다.

(3) 교류섬락전압에 대한 화염 높이의 영향으로서 화염높이  $h=0, 3, 6, 9$  및 12[cm]에 대한 상대섬락 전압의 평균값은 각각 21.4, 40.3, 53.1, 58.5 및 64.6[%]인 것으로 나타났다.

한편 직류전압 인가 시, 화염 높이  $h=0, 3, 6$  및 9 [cm]에 대한 상대섬락전압의 양극성(+, -) 평균값은 각각 20.7, 35.2, 48.9 및 58.0[%]으로 나타났다. 이와 같이 높이( $h$ )에 비례하여 섬락전압이 높은 것은 높이( $h$ )가 커지면 주변공기의 온도는 낮아지고, 상대 공기밀도는 증가하기 때문이라고 생각된다.

본 연구의 결과는 전력선 아래에서 일어나는 다양한 화재로부터 선로의 섬락사고에 대한 대책을 수립할 경우 기초 자료로서 뿐만 아니라, 고온화염에 노출되는 전기집진기, MHD발전의 절연설계 시에 활용될 수 있을 것이다.

## References

- (1) 김인식, 이상우, "구-구갭의 섬락 특성에 미치는 연소화염의 영향," 조명·전기설비학회논문지 제19권, 제1호, pp.44-51, 2005.
- (2) 김인식, 김이국, 이광식, 외, "연소화염에 의한 수평배치 공기갭의 섬락전압 특성," 조명·전기설비학회논문지 제16권, 제1호, pp.27-34, 2002.
- (3) J. R. Fonseca. and A. L. Tan, "Effects of Agricultural Fires on the Performance of Overhead Transmission Lines," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, No. 4, pp. 687-693, 1990.
- (4) M. Moreno, "Performance of External Insulation in Presence of Flame due to Sugarcane Burning", CIGRE 33-85 (WG-07), Prague, 1985.
- (5) 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.
- (6) H. Kiwaki, S. Komeji, "Electrical Properties of Combustion Flames," Journal of Applied Physics Japan, Vol.41, No. 10, pp.1077-1084, 1972.
- (7) E. Kuffel, W. S. Zaengl, "High Voltage Engineering Fundamentals," Pergamon Press, pp. 311-335, 1984.
- (8) L. Paris, "Influence of Air Gap Characteristics on Line-to-Ground Switching Surge Strength", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS 86, No. 8, pp. 936-947, 1967.

## ◇ 저자소개 ◇

### 김인식 (金寅澁)

1953년 10월 3일생. 1974년 영남대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990~1991년 미국 University of Southern California Visiting Scholar. 현재 경일대학교 컴퓨터 제어전기공학부 교수.