

765kV급 송전선로 공기절연거리 설정을 위한 시험전극의 섬락전압 특성

김윤택*, 김영배*, 이형호*, 김성문**, 김경부**
* 한국전기연구소 ** 한전기술연구원

The Flashover Characteristics of Test Electrodes against Clearance of Air Insulation for 765kV Transmission Line.

Y.T. Kim*, Y.B. Kim*, I.H. Lee*, J.M. Kim**, J.B. Kim**
* KERI ** KEPCO Research Center

ABSTRACT

For the purpose of rational design of air insulation, it is need to experiment with similar to real shape test object and conform the characteristics. But basic distances of air insulation of transmission line, tower, etc. can be acquired from flashover characteristic of rod-rod, rod-plane electrodes.

In this paper, before field test of 765kV transmission line for determination of distances of phase to ground insulation, we execute lightning, switching impulse test with test electrode(rod-rod, rod-plane) against clearances of air insulation. Each tests use up-down method and consist of 30 times flashover test. Flashover data treatment program and air correction program following IEC 60-1(1987) standard were completely built.

1. 서론

합리적인 절연설계를 위해서는 실험상에 가까운 공시물로서 그 특성을 확인해야 하지만 송전선, 첩단 등의 기본적인 공기절연거리는 봉-봉, 봉-평판 전극의 섬락특성으로 부터 구해진다.

본 연구는 765kV 송전선로의 대지간 절연거리 설정을 위한 충격시험, 즉 뇌임펄스 및 개폐임펄스에 의한 실증시험을 행하기 위해 앞서 시험전극(봉-봉, 봉-평판)에 대해 승강법을 이용하여 각 조건에서 약 30회의 섬락 실험을 수행하였다. 측정된 섬락 데이터로 부터 V_{50} 을 구하는 프로그램과 IEC 60-1(1987) 기준에 따른 기상보정 프로그램을 완성하였다.

2. 시험전극 설계

시험전극의 사양은 다음과 같은 기준을 만족하여야 한다.

- R : 봉전극 반경
- L_H : 상부 봉전극의 길이
- L_L : 하부 봉전극의 길이
- D : 전극 이격거리
- W : 평판전극의 폭

$$30 \cdot R < D, D < W, 100 \cdot R < L_H, L_L > 2 \cdot D$$

최소 전극 이격거리를 1m로 할때 봉전극의 반경은 3cm이하이 면 된다. 765kV 송전선에 사용되는 도체의 반경이 약 1.5cm이므로 봉전극의 반경(R)은 1.5cm로 정하였다. 상부 봉전극(L_H)의 길이는 최소 1.5m 이상 이어야 하므로 인가선의 인접 공간을 고려하여 2 m로 정하였다.

하부 봉전극의 길이와 평판전극의 폭은 전극 이격거리에 의해 결정되므로 우선 실험해야 할 전극 이격거리의 범위를 정해야 한

표 2-1 765kV 절연내력에 따른 시험전극의 이격거리

인가전압 종류	전극 형태	극 성	실험식 D[m], V[kV]	이격거리 [m]
Lightning Impulse 2100kV	Rod-Plane	정극성	$540 \cdot D$	3.89
		부극성	$560 \cdot (D+1.3)^2 - 2.1$	2.72
	Rod-Rod	정극성	$90 + 550 \cdot D$	3.65
		부극성	$120 + 626 \cdot D$	3.16
Switching Impulse 1550kV	Rod-Plane	정극성	$1080 \cdot \log(0.46+1)$	6.96
		부극성	$1180 \cdot D^{0.65}$	1.83
	Rod-Rod	정극성	$84 + 483 \cdot D$	3.04
		부극성	$1570 \cdot (D^{0.4} - 2) / (D+3)$	2.2

다. 765kV급 기기의 절연내력은 IEC 71-1 (1993)에 따르면 Lightning Impulse 2100kV, Switching Impulse 1550kV이다. 이 전압들을 이용하여 각 전극형태에 따른 이격 거리는 표 2-1과 같다.

Rod-Plane 전극 형태에서의 최대 이격거리가 요구되는 것은 정극성 Switching Impulse인 경우로, 6.96m이므로 평판전극의 폭은 최소 7m 이상이어야 하며 Rod-Rod 전극 형태에서는 정극성 Lightning Impulse인 경우로 이격거리가 3.65m이므로 하부 봉전극의 높이는 8m 이상이어야 한다.

본 실험은 전기연구소 고전압 연구동에서 실시된 옥내 실험으로 실험에 필요한 충분한 공간확보가 어려워 위와 같은 조건의 실험을 수행할 수는 없었다. Rod-Plane은 최대 6m, Rod-Rod는 최대 2.5m 까지 실험을 수행하기 위해 평판전극의 폭은 6m로 하였고 하부 봉전극의 높이는 최대 7m로 0.5m간격으로 길이 조정이 가능하도록 하였다.

3. 기상보정 및 섬락전압 V_{50} 의 통계 처리

3-1. 기상보정

기상보정에 필요한 기상 정보는 온도(T), 기압(P), 절대습도(AH) 이다. 일반적으로 기상 측정상비로 부터 구할 수 있는 습도는 상대습도(H)이므로 기상보정을 위해서는 상대습도를 절대 습도로 환산해야 한다. 환산식은 식(1-1)과 같다.

$$AH = \frac{H}{100} \times \frac{804}{1 + 0.00366 \times T} \times \frac{E_s}{1013} \quad [g/m^3] \quad (3-1)$$

E_s : 물의 포화수증기압

기상보정은 1989년에 개정된 IEC 60-1을 기준으로 하였다. 기상보정 식은 식(3-2)와 같다. k_1 은 공기밀도 보정 계수, k_2 는 습도 보정계수, U_0 는 보정된 전압, U 는 측정전압이다.

$$U_o = \frac{U}{k_1 \cdot k_2} \quad (3-2)$$

공기밀도 보정계수는 식(3-3)과 같고 상대 공기밀도인 δ 는 식(3-4)와 같다.

$$k_1 = \delta^m \quad (3-3)$$

$$\delta = \frac{P[\text{mbar}]}{1013} \times \frac{273+20}{273+T[^\circ\text{C}]} \quad (3-4)$$

밀도 보정계수는 식(3-5)와 같고 계수 k는 그림 3-1로부터 구할 수 있다. 본 연구에서는 임펄스를 사용하므로 그림 3-1의 첫 번째 식을 사용하면 된다.

$$k_2 = k^w \quad (3-5)$$

식(3-3)과 식(3-5)에 사용된 m, w는 그림 3-2로부터 구할 수 있으며 x축 변수로 사용된 g는 식(1-1-6)과 같고 이식에 사용된 U_B 는 통상 시험전압의 1.1배 값을 사용한다. L은 방전 전극의

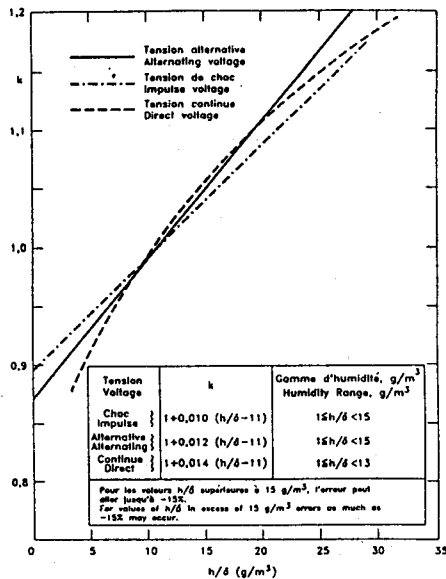


그림 3-1. 절대습도와 상대공기밀도의 비를 계수로 하는 k 함수.

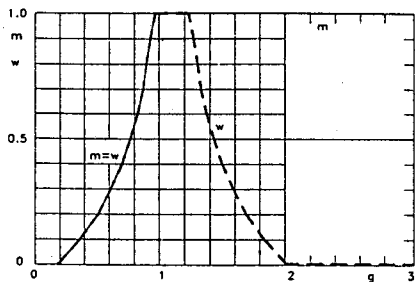


그림 3-2. m, w의 g에 대한 변화

최소거리이다. 주의해야 할 사항은 그림 3-2에 사용된 습도가 절대습도라는 것이다.

$$g = \frac{U_B}{500L\delta k} \quad (3-6)$$

3-2. 섬락전압 V_{50} 의 통계 처리

본 연구에서 사용된 섬락전압 V_{50} 의 통계 처리 기법은 승강법 (Up-Down Method)으로 처리방법은 V_{50} 으로 추정되는 전압을 V_0 로 설정하고 예상 표준편차(σ)의 0.5 - 2 배 정도로 ΔV 정도로 하여 인가 전압은 V_0 로부터 시작하여 섬락하면 인가전압을 ΔV 감소시키고 섬락하지 않으면 ΔV 증가시킨다. 이와 같은 방법으로 20-40 실시하여 섬락 회수와 섬락하지 않은 회수를 비교하여 작은 횟수를 기준으로 각전압의 횟수에 따라 재배치하여 식(1-2-1)을 적용하여 V_{50} 을 구할 수 있다.

$$V_{50} = V_0 + \Delta V \left(\frac{\sum_{i=0}^n i \cdot n_i}{\sum_{i=0}^n n_i} \pm \frac{1}{2} \right) \quad (3-7)$$

식(3-7) 적용시 섬락 회수를 이용하면 (-), 섬락하지 않은 회수를 사용하면 (+)이다.

3-3. 섬락 전압 데이터 처리 프로그램 개발.

1, 2 절의 섬락 전압 데이터 처리 기법을 이용하여 기상보정된 V_{50} 을 구하는 프로그램을 완성하였다.

입력된 기상정보(P,H,T)들로부터 기상보정에 필요한 계수를 구하고, 섬락 정보로부터 충전기의 충전전압을 기준으로한 V_{50} 전압을 구하여 기상보정 계수 및 분압기 비를 이용 환산한다. 여기서 충전 전압을 사용한 것은 I.V.G로 부터 쉽게 얻을 수 있는 정보이기 때문이다. 입력되는 데이터 파일의 구조는 다음과 같다.

P(기압 : mbar) H(상대습도 : %) T(온도 : $^\circ\text{C}$)
 V_0 (시작전압) dV(승강 전압분) Rv(분압기 비) D(전극간 최소거리 : m)
 # (전압인가순서 : 1 - 40) 1/0(섬락 : 1, 비섬락 : 0)

처리 프로그램의 이름은 V_{50} 으로 만약 앞에 설명한 데이터 파일 구조의 TEST.DAT 라는 입력 데이터 파일이 있다면 다음과 같이 수행하면 된다.

V_{50} TEST.DAT

수행결과는

P = 1024 mbar H = 40 % T = 25 $^\circ\text{C}$ D = 2.5 m

$V_{50} = 1100 \text{ kV}$

만약 데이터 파일의 구조가 틀리다면 "ERROR : DATA FILE TYPE MISMATCH"라는 메시지가 화면상에 표시된다. 프로그램 언어로는 Borland C++ ver 3.0을 이용하였고 프로그램의 자세한 내용은 부록 1에 첨부 하였다.

4. 시험전극 실험

시험전극의 형태는 봉-평판, 봉-봉이고 인가파형은 너임펄스 (Lightning Impulse), 개폐임펄스(Switching Impulse) 각각에 대해 정극성, 부극성 이다. 봉전극의 형태(직경)에 의한 섬락전압의

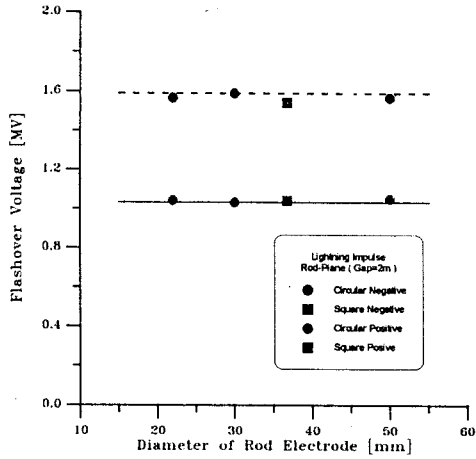


그림 4-1. 봉전극 형태에 따른 뇌임펄스 섬락특성.

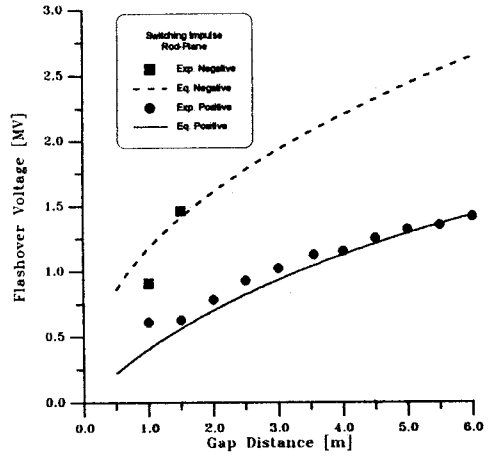


그림 4-4. 봉-평판 개폐임펄스 섬락특성.

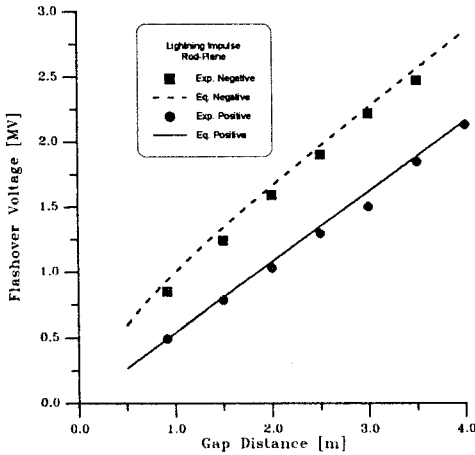


그림 4-2. 봉-평판 뇌임펄스 섬락특성.

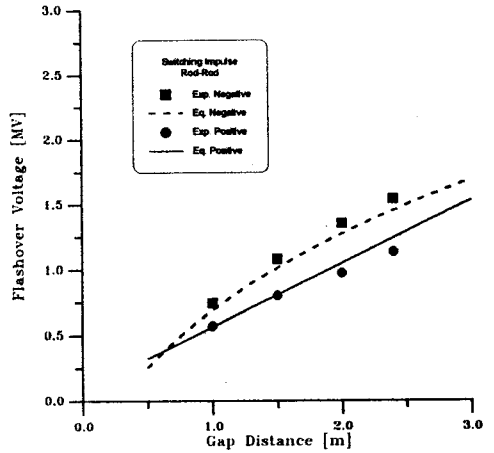


그림 4-5. 봉-봉 개폐임펄스 섬락특성.

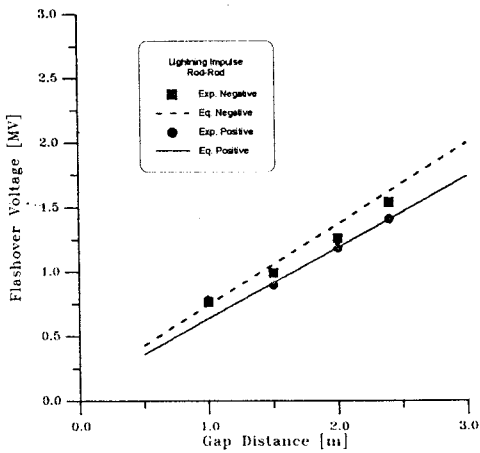


그림 4-3. 봉-봉 뇌임펄스 섬락특성.

영향을 살펴 보기 위해 원형봉 3가지(직경:22.5,30,50mm)와 사각봉(폭:32mm)을 봉-평판 형태 이격거리 2m로 고정하여 뇌임펄스에 대한 정극성, 부극성 실험을 수행하였다. 그림 4-1에서와 같이 봉전극 형태에 의한 영향은 거의 없었다. 사각봉은 등가면적의 원형봉 직경으로 나타내었다.

그림 4-2,5는 시험전극에 대한 섬락전압 실험결과로 실선과 전선은 각각 표 2-1의 정극성, 부극성 섬락특성 실험식에 의한 곡선이다. 그림 4-2는 봉-평판 뇌임펄스의 정,부극성 섬락특성으로 부극성 섬락전압이 정극성 섬락전압에 비해 높으며 실험식과 비교해 잘맞는 것을 알 수 있다. 그림 4-3은 봉-봉 뇌임펄스의 정,부극성 섬락특성으로 봉-평판과 같은 경향성을 나타낸다. 그림 4-4는 봉-평판 개폐임펄스의 정,부극성 섬락특성으로 정극성, 부극성 섬락 전압의 차이가 현저하게 크다. 공기절연 설계시 봉-평판 개폐임펄스 정극성 섬락특성이 가장 중요한 요소로 가장 큰 공기절연 이격거리를 요구한다. 부극성은 섬락특성의 편차가 심하였고 치리결과 또한 실험식 잘맞지 않는다. 그림 4-5는 봉-봉 개폐임펄스의 정,부극성 섬락특성으로 뇌임펄스와 비슷한 경향을 보인다. 사진 4-1,4-2는 봉-평판, 봉-봉 섬락실험 상황을 나타낸다.

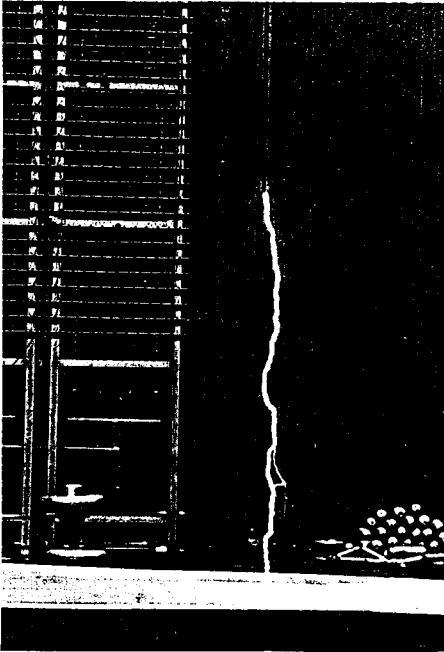


사진 4-1. 봉-평판 심락실험 전경

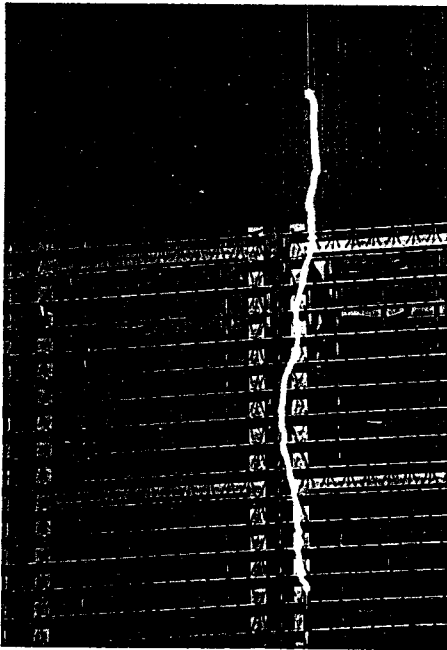


사진 4-2. 봉-봉 심락실험 전경

5. 결론

기상보정 및 심락전압 V_{50} 의 통계 처리 프로그램을 완성하였고 봉-평판, 봉-봉 전극형태에 대해 뇌임펄스, 개폐임펄스 정,부 극성에 대한 심락 특성을 구하였다. 이격거리가 큰 공기전연의 경우 봉전극의 형태는 심락전압에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었고 봉-평판 정극성 개폐임펄스 일때가 가장 큰 이격거리를 요구하며 공기전연 설계시 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다. 본 실험은 옥내에서 수행한 것이라 충분한 이격거리에 대한 실험을 할 수 없었다. 앞으로 전축 고장에 위치한 옥외 시험장인 한전 765kV 실증시험장에서 시험전극에 대한 실험을 계속 수행할 것이며 실제 송전선을 모의한 실증실험도 수행 될 것이다.

참고문헌

- [1] 일본전력중앙연구소, "기중장Gap Flashover전압특성의 체계화", (1993)
- [2] R.Cortina, E.Garbagnati, A.Pigni, G.Sartorio, L.Thione, IEEE Vol. PAS-104, No. 11, 3161 (1985)