

# 22.9kV 노출충전부 형태 및 거리에 따른 섬락전압 변동특성 분석

한기봉 · 한운기 · 이대종  
전기안전시험연구원 감전연구팀

## 1. 서 론

오늘날 산업문명의 발달은 전기에너지의 역할이 그 무엇보다도 큰 힘으로 작용하였다 할 수 있으며, 또한 우리의 일상생활 속까지 깊숙히 자리잡은 전기는 국민의 생활수준 향상과 비례하여 그 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 전기에너지는 과학적인 것으로서 제어통제가 가능하기 때문에 편리하고 안전하게 사용할 수 있지만, 자칫 부주의한 취급이나 잘못 사용할 경우에는 감전에 의하여 사망으로까지 이어질 수 있다는 문제점을 지니고 있다. 최근에는 부하설비들이 양질의 전력, 최상의 고급전력을 요구하면서 과거의 정전작업에서 수행하던 작업형태들이 전기가 공급된 활선상태 즉, 무정전상태에서 작업이 이루어지고 있어 그만큼 감전재해 발생 가능성도 높아졌다고 할 수 있다.

현재 소규모 공장, 빌딩 등 대부분의 수용가에서 사용하고 있는 22.9kV 수·변전설비에서 발생한 감전사고의 최근 3년간('97~'99년) 통계를 살펴보면, 매년 100여명의 감전재해자가 발생하였고 이는 전체 감전사고의 11.3%를 차지하고 있어 타 설비에 비해 감전사고 점유율이 높음을 알 수 있다. 최근 3년간('97~'99년) 22.9kV 수·변전설비에서 발생한 감전사고 발생현황을 분석한 결과 감전사고는 전체사고건수 2,655건 중 300건으로 11.3%의 사고점유율을 차지하고 있으며, 이들 사고 대부분은 수·변전설비내 모선과 변압기간의 노출된 충전부에서 84.4%가 발생한 것으로 나타났다. 위와같은 사고점유율을 차지하고있는 22.9kV 수·변전설비 등 고압전로에서의 섬락 위험성을 검토하는 경우, 그 대상으로 하는 전압은 전로의 공칭전압(사용전압)이 아니고, 전로에 발생할 수 있는 이상전압 등의 최대전압을 생각하여야 한다. 전로에는 잘 알려져 있는 바와 같이 평상시에는 규정의 대지전압이 가해져 있지만, 그 밖에 언제 발생할 지 예상되지 않는 이상전압, 즉 번개 또는 개폐서지 등이 가해질 수 있기 때문에 이들 서지 전압에 대해서도 충분히 섬락되지 않는 거리를 유지할 필요가 있다. 그러나, 위에서 서술한 여러 가지 주변인자를 고려하여 설비차원에서의 안전한 접근한계거리를 구하고자 하는 연구는 활발히 진행된 바 있지만 정상적인 전원공급상태에서 감전과 연관지어 연구한 결과는 없는 상태이다. 물론 안전한 접근한계거리를 구하기 위해서는 번개 또는 개폐서지 등의 예상치 못한 약조건들을 모두 고려하여야 하지만, 그러나 실제 감전사고는 정상적인 전원공급상태에서 작업자의 부주의 또는 실수로 발생하는 경우가 많이 있어 이러한

상태에서의 여러 특성들을 알아볼 필요가 있다. 따라서, 사용전압 22.9kV와 대지전압 13.2kV를 대상으로 하여 실험설비를 구성한 후 충전부 형태별, 거리별, 전압별 등에 따른 섬락특성을 실증실험 및 모의실험을 통하여 분석하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 전극은 그림 2-(a)에 나타낸 바와 같이 구전극, 침전극 및 원판전극 외에 도체 충전부간 또는 도체 충전부와 인체 상호간에 존재할 수 있는 경우를 고려하여 그림 2-(b)와 같은 사각전극, 육각전극, 원형봉전극을 추가로 구성하였다.

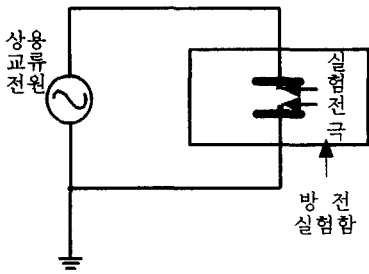


그림 1. 섬락실험장치

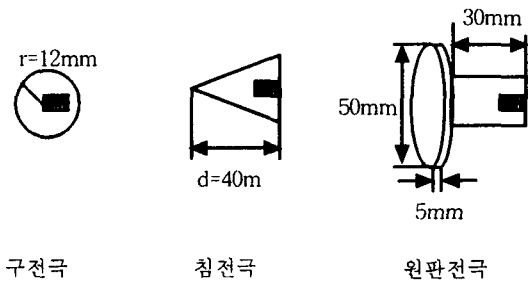
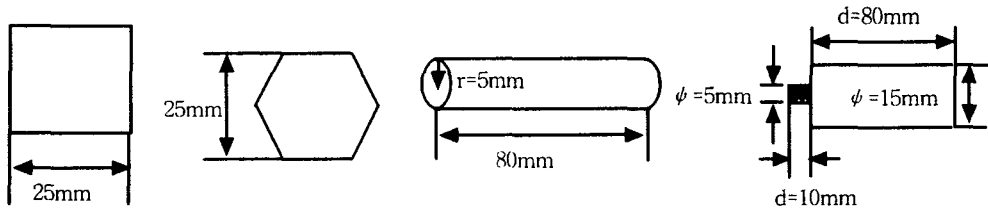


그림 2-(a) 전극의 구성 형태



사각전극      육각전극      원형봉전극      전극지지

그림 2-(b) 전극의 구성 형태

### 2.2 실험 방법

본 실험에서는 전극형태 및 극간 거리별 섬락전압을 측정하고자 한다. 이를 위해 전극의 형태는 그림 2에서 보인 전극을 이용하였으며 극간거리는 10mm에서 35mm까지 5mm씩 단계적으로 변동시키면서 섬락전압을 측정하였다. 전극간에 공급되는 인가전압은 1 [kV/sec]로 섬락이 일어날 때까지 상승시켰으며, 이 때 인가 최대전압은 40 [kV]로 한정하였다. 섬락실험시 설정된 이격거리에서 개별적인 시험전극의 섬락전압은 순시적인 환경 변화 또는 전극의 미세한 구조변동에 의해서 변동될 수 있다. 따라서, 신뢰성 있고 충분한 데이터를 확보하기 위하여 각각의 시험전극에 대한 섬락전압을 15회

이상 측정하였고, 각각의 실험결과에 대한 평균값을 계산하여 전극 및 거리별 절연과과 전압을 비교·분석하였다. 분석내용은 다음과 같다.

### 3 결과 및 고찰

#### 3.1 동일전극에서의 거리별 섬락실험

그림 3에서는 전원측과 접지측에 연결된 전극이 동일한 구조인 경우의 섬락전압을 비교하였다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 섬락전압이 가장 높은 전극은 구-구 전극이고, 가장 낮은 값을 보인 전극은 침-침 구조의 전극임을 알 수 있었다. 인가전압이 22.9kV 인 경우를 고려해 볼 때 섬락이 발생할 수 있는 거리는 구전극에서 12mm, 침전극에서 31mm인 것으로 나타났다. 인가전압이 13.2kV인 경우에 섬락이 일어날 수 있는 전극별 거리는 침전극인 경우 18mm에서 발생하였지만 구전극인 경우에는 10mm에서도 섬락이 발생하지 않음을 알 수 있었다. 또한, 침전극과 육각전극을 비교해 보면 거리가 10mm 정도로 비교적 가까운 거리에서는 침전극이 육각전극보다 4kV정도 낮은 전압에서 섬락이 발생하지만 거리가 멀어질수록 두 전극간의 섬락전압 차이는 줄어들음을 알 수 있었다.

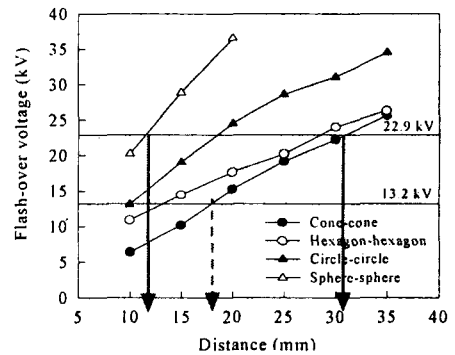


그림 3. 동일전극에서의 거리별 섬락전압

#### 3.2 개별전극의 거리에 대한 섬락특성

##### 3.2.1 전원측이 침전극인 경우

그림 4에서는 전원측을 침전극으로 고정하고 접지측을 여러 전극으로 변경하여 섬락전압을 측정 한 결과를 나타냈다. 거리가 비교적 가까운 10mm에서는 침-침 전극을 제외한 타 전극에서 비교적 비슷한 섬락전압을 나타냈지만 거리가 비교적 먼 35mm에서는 침-구 전극을 제외한 타 전극에서 비슷한 섬락전압값을 나타내었다. 그리고 인가전압이 22.9kV인 경우 섬락이 발생할 수 있는 거리는 최대 33mm, 최소 26mm로 나타나 전극의 구조에 따라 섬락거리는 최대 7mm의 차이를 나타냈다.

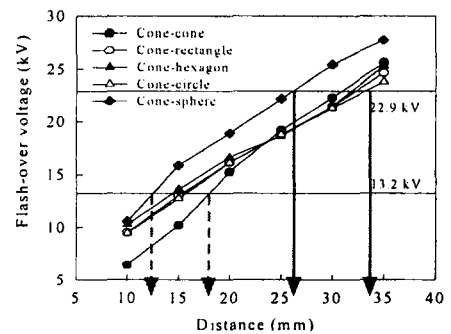


그림 4. 침전극(전원측)에서의 거리별 섬락전압

##### 3.2.2 전원측이 구전극인 경우

그림 5에서는 전원측을 구전극으로 고정하고 접지측을 여러 전극으로 변경하여 섬락

전압을 측정된 결과를 나타냈다. 거리가 비교적 가까운 10mm에서 가장 낮은 섬락전압 값을 나타낸 전극은 구-침 전극이고, 거리가 비교적 먼 35mm에서 가장 낮은 섬락전압 값을 나타낸 전극은 구-사각 전극이지만 거리 10mm에서의 섬락전압값을 무시하면 두 전극간의 차이는 평균 2kV로 큰 차이가 있다고 할 수는 없다. 가장 높은 섬락전압을 보인 전극은 구-구 전극으로서 거리가 멀수록 타 전극과의 섬락전압 차이는 커짐을 알 수 있었다. 그리고 인가전압이 22.9kV인 경우 섬락이 발생할 수 있는 거리는 최대 23mm, 최소 12mm로 나타나 전극구조에 따라 섬락거리는 최대 11mm의 차이를 나타냈다. 따라서, 전원측이 구 전극인 경우 접지측의 전극구조에 따른 섬락전압값의 변동값이 전원측이 침구조인 경우보다 크게 변동한다는 것을 알 수 있었다.

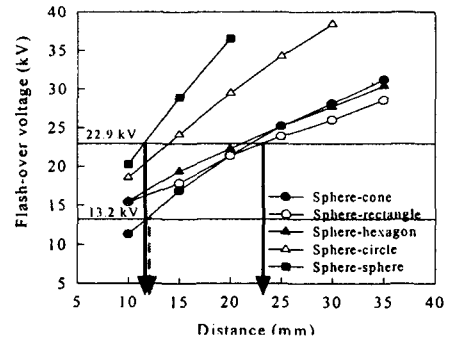


그림 5. 구전극(전원측)에서의 거리별 섬락전압

### 3.2.3 전원측이 원전극인 경우

그림 6에서는 전원측을 원전극으로 고정하고 접지측을 여러 전극으로 변경하여 인가 전압과 극간 간격 변화에 따른 섬락전압 측정 결과를 나타냈다. 그림 6에 나타난 바와 같이 가장 낮은 섬락 전압값을 나타낸 전극은 원-침 전극으로 나타났고 원-사각 전극과 원-육각 전극의 차이는 무시할 정도로 작음을 알 수 있었다. 그리고 가장 높은 섬락전압값을 나타낸 전극은 원-구 전극인 것으로 나타났다. 또한 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 인가 전압이 22.9kV인 경우 섬락이 발생할 수 있는 거리는 최대 30mm, 최소 14mm로 나타나 전극구조에 따라 섬락거리는 최대 16mm의 차이를 나타냈다.

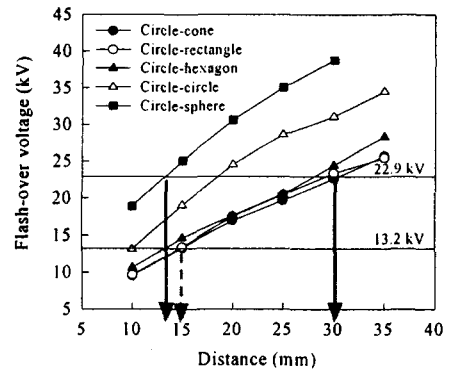


그림 6. 원전극(전원측)에서의 거리별 섬락전압

### 3.2.4 전원측이 육각전극인 경우

그림 7에서는 전원측을 육각전극으로 고정하고 접지측을 여러 전극으로 변경하여 섬락전압을 측정된 결과를 나타냈다. 그림 7에 나타난 바와 같이 가장 낮은 섬락전압을 보인 전극은 육각-원 전극이지만 육각-침 전극과 육각-사각 전극과의 차이는 무시할 정도로 작음을 알 수 있었다. 그리고 가장 높은 섬락전압을 보인 전극은 육각-구 전극으로 확인되었다. 또한 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 인가전압이 22.9kV인 경우 섬락이 발생할 수 있는 거리는 최대 32mm, 최소 26mm로 나타났고, 이러한 섬락거리는 전극의 구조에 따라 최대 6mm의 차이를 나타냈다.

### 3.2.5 전원측에 사각전극인 경우

그림 8에서는 전원측을 사각전극으로 고정하고 접지측을 여러 전극으로 변경시키고 이에 따른 섬락전압값의 형태를 나타냈다. 그림 8에 나타난 바와 같이 가장 낮은 섬락전압값을 나타낸 전극은 사각-원 전극이고 반면에 가장 높은 섬락전압을 보인 전극은 사각-구 전극임을 알 수 있었다. 그리고 인가전압이 22.9kV인 경우 섬락이 발생할 수 있는 거리는 최대 34mm, 최소 27mm로 나타났고, 이러한 섬락거리는 전극의 구조에 따라 최대 7mm의 차이를 나타냈다.

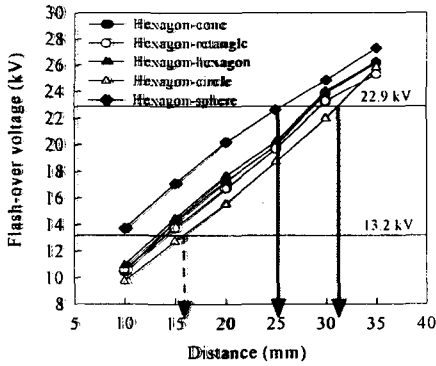


그림 7. 육각전극(전원측)에서의 거리별 섬락전압

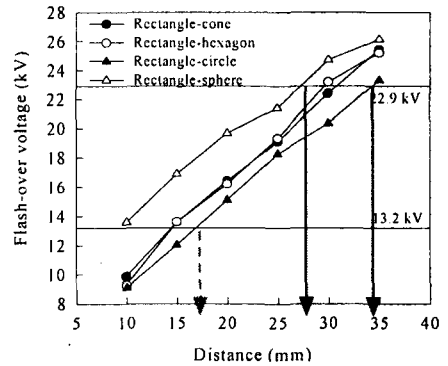


그림 8. 사각전극(전원측)에서의 거리별 섬락전압

### 3.3 전원측과 접지측의 전극변경에 따른 거리별 방전특성

전원측과 접지측의 전극변경에 따른 거리별 방전특성을 알아보기 위하여 원전극, 구전극, 침전극의 위치를 변경하여 섬락전압을 측정된 결과를 그림 9 및 10에 나타냈다. 그림 9 및 10에 나타난 바와 같이 비교적 거리가 가까운 10mm에서는 전극구조변경에 따른 섬락전압차는 무시할 정도로 작지만 거리가 상대적으로 먼 35mm에서는 침-원 전극의 경우 원-침 전극의 경우보다 약 2kV 낮게 측정되었고 침-구 전극의 경우 구-침의 경우보다 약 3kV 낮게 측정되었다.

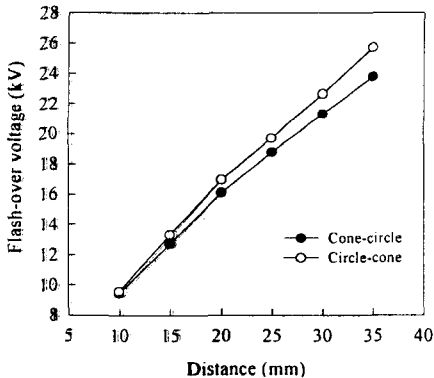


그림 9. 침-원과 원-침 전극의 거리별 섬락전압

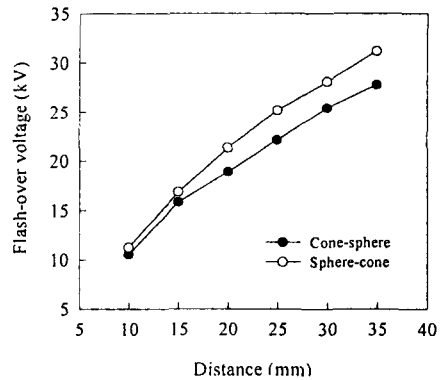


그림 10. 침-구와 구-침 전극의 거리별 섬락전압

#### 4. 결 론

실제 감전사고는 정상적인 전원공급상태에서 발생하는 경우가 많아 이러한 상태에서 여러 특성을 알아보기 위해 사용전압 22.9kV와 대지전압 13.2kV를 대상으로 실험설비를 구성한 후 충전부 거리별, 형태별, 전압별 등에 따라 섬락발생 거리를 분석한 결과 다음과 같다.

- (1) 동일전극에서 실험한 결과 인가전압이 22.9kV인 경우 구-구 전극에서 12mm, 침-침 전극에서 31mm인 것으로 나타났다. 그리고 인가전압이 13.2kV인 경우에는 침-침 전극에서 18mm, 구-구전극은 10mm에서도 섬락이 발생하지 않았다.
- (2) 전원측에 연결된 전극을 고정하고 접지측 전극을 여러전극으로 변경하여 실험한 결과 인가전압이 22.9kV인 경우 최대 34mm(사각-원), 최소 12mm(구-구) 내에서 섬락이 발생함을 알 수 있었다. (침전극:26(구)~33(원)mm, 구전극:12(구)~23(사각)mm, 원전극:14(구)~30(침)mm, 육각전극:26(구)~32(원)mm, 사각전극:27(사각)~34(원)mm).
- (3) 전원측과 접지측의 전극변경에 따른 섬락특성을 측정된 결과 비교적 거리가 짧은 5mm에서는 전극구조 변경에 따른 섬락전압차는 무시할 정도로 작지만 상대적으로 거리가 먼 35mm에서는 전극변경에 따른 섬락전압 차이가 발생하였다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 대한전기협회, 전기관계법령집, 1997.
- [2] 김두현 외 5, 전기안전공학, 도서출판 동화기술, 1998, pp.175~200.
- [3] 한국전기안전공사, 전기재해통계분석, 1997, 1998, 1999.
- [4] Dawalibi, F. P., Southey, R. D., Baishiki, R. S., "Validity of conventional approaches for calculating body currents resulting from electric shocks", IEEE Trans., Power Delivery, pp. 613-626, 1990.
- [5] Farzaneh, M., Drapeau, J. F., "AC flashover performance of insulators covered with artificial ice", IEEE Trans., Power Delivery, pp. 1038-1051, 1995.
- [6] Hui Zhang, Hackam, R., "Influence of fog parameters on the aging of HTV silicone rubber", IEEE Trans., Dielectrics and Electrical Insulation, pp. 835-844, 1999.
- [7] Gela, G., Hotte, P. W., Chatest, M., "IEC method of calculation of minimum approach distance for live working", ESMO., pp. 154-159, 1998.