

765 kV 조립식점퍼장치의 점퍼흔 설계기법 및 적용방안

• 조성배 강연욱 윤상훈
 한전 전력연구원 한전전력연구원 한전 송변전처

Design method and application on the jumper-horn of the 765 kV prefabricated jumper device

S.B. Cho Y.W.Kang S.H. Yoon
 KEPRI KEPRI KEPCO

Abstract - 765kV Transmission lines of the contaminated areas need many insulators due to the contamination. So the length of the arcing horn is very long. Because it is very difficult to install the arcing horn on insulator string sets due to its length, we must install the arcing horn on the jumping devices, and studied about the jumper horn. This paper described the investigation and analysis of the installation status of the arcing horns, and the design of the jumper horn for 765 kV transmission lines.

는 3,603[mm] 및 4,988[mm]이며, 아킹흔의 연결부분까지 고려한다면 최대길이는 3,800[mm] 및 5,200[mm] 정도가 된다. 이러한 경우에는 구조적으로 강도상 문제가 발생될 수 있으며, 또한 요구되는 성능을 만족시키는 것이 상당히 어렵게 되는 등 적지 않은 문제가 발생된다. 따라서 최소흔 간격을 유지시키기 위해서는 점퍼흔형 조립식점퍼장치에 대한 검토가 필요하게 된다. 따라서 현수 애자장치의 오손지역에서는 최소흔 간격을 유지시키기 위해 보강형 아킹흔을 적용하고 내장에자장치의 청정II 지역이상의 애자장치에 대해서는 철드림과 보조흔을 설치하며, 최소흔 간격은 점퍼장치와 철탐암간의 점퍼흔으로 유지한다.

1. 서 론

송전선로의 경우 애자련 보호 목적으로 아킹흔을 설치, 운용하고 있으나 765 kV 송전선로의 경우 오손지역을 통과하는 지역에는 내장에자장치의 애자련이 매우 길어 이에 따라 아킹흔 길이도 커져 실제로 아킹흔을 취부하였을 경우 기계적인 특성상 문제점이 발생되어 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 765kV 송전선로의 내장개소에 새롭게 개발되어 적용하고 있는 조립식 점퍼장치내에 점퍼흔을 적용하는 방안이 검토되었다. 본 논문에서는 765kV 선로의 청정II지역 이상의 오손지구에 적용되는 점퍼흔 방식에 대한 점퍼흔의 설계기법 및 형상설계와 이에 대한 적용방안을 제시하고자 한다. 특히 송전선로의 수평각이 존재하는 개소에서는 조립식점퍼장치의 점퍼흔과 철탐축 흔이 같은 선상에 일치가 되지 않으므로 보조암 설치와 경사도를 조정할 수 있는 철탐축 흔을 개발, 이에 대한 특성시험을 통해 최종 성능을 확인하였다.

3. 점퍼흔 간격 유지방안

3.1 설계 전제조건

765kV 내장철탐 개소에 적용되는 조립식 점퍼장치의 개요도는 그림 1과 같다

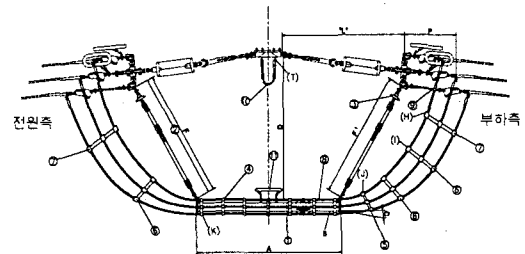


그림 1. 조립식 점퍼장치의 개요도

조립식점퍼장치에 있어서 점퍼흔의 설계조건은 다음과 같다.

① 점퍼축흔, 즉 아킹링의 높이는 수평재의 중심축으로부터는 550[mm], 최상부 도체로부터는 300[mm]로 한다.

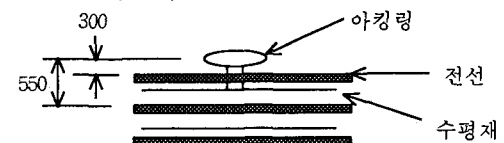


그림 2. 전선측 점퍼흔 구성

2. 애자련용 아킹흔 적용시 문제점 및 대책

현재까지는 765kV 애자련용 아킹흔은 ① 모든 애자장치에 아킹흔을 설치하여 최소흔간격을 유지시켜 주며 ② 오손지역 애자련의 전체길이는 상당히 길어지는 관계로 아킹흔은 보강형으로 적용하는 방안으로 검토되었다. 그런데 애자련용 아킹흔을 청정지역용 애자장치에 설치하는 데는 크게 문제되지 않으나 오손지역용 애자장치에 설치하는 데는 적지 않은 문제점이 있는 것으로 판단되었다. 즉 오손지역은 애자수가 많아짐에 따라 애자련의 길이가 상당히 길어져 길이가 약 5 [m]정도까지 이르게 된다. 따라서 이와 같이 아킹흔의 길이를 길게 하는 경우에는 구조적으로 보강된 아킹흔을 적용할 수 있겠으나 적용시 다음과 같은 문제점이 있다고 판단된다.

(1) 현수애자장치용 아킹흔의 경우는 아킹흔 최대길이가 오손 A지구에 보통애자 44개를 사용한다고 할 때 전체 길이가 약 3,450[mm]정도가 된다. 그런데 현수애자장치의 경우 아킹흔의 설치방향이 내장장치의 경우와는 달리 무게중심이 아킹흔의 길이방향(중력방향)이 되며, 길이도 최대 3,450[mm]정도가 되기 때문에 적용상 문제는 없다고 판단되며

(2) 내장에자장치용 아킹흔의 경우에 있어서 765kV 당 전선로의 오손 A, B 지구에 적용예정인 아킹흔의 길이

② 철탐축흔 최소길이는 다음과 같이 1,000[mm]로 한다.

- 3번내장장치의 철탐축 금구 최대길이 : 1,538[mm]

(중간련 및 애자련간격 600[mm]기준)

- 애자련의 카테너리각의 최대치 : 35[도]

- 철탐축 금구하강길이 : $1538 \times \sin(35) = 883[mm]$

- 철탐축흔의 최소길이 : 883 + 재료폭 = 1000[mm]

③ 따라서 점퍼흔형 조립식점퍼장치의 점퍼깊이는 철탐축흔 깊이 + 점퍼축 아킹링의 상부도체로부터의 높이 +

최소혼 간격 = 1,000+300+4,600 = 5,900[mm]로 한다.

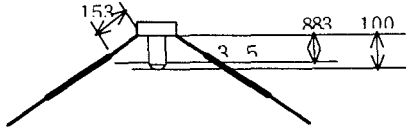


그림 3. 접지측 점퍼혼 구성

이것은 애자련혼을 적용한 경우의 점퍼깊이와 동일하게 함으로서 작업의 일관성을 유지할 수 있도록 한 것이다.

- ㉑ 철탑측혼의 길이
- ㉒ 최소혼 간격
- ㉓ 상부도체부터의 아킹링높이
- ㉔ 점퍼깊이

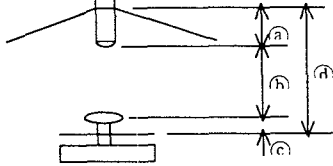


그림 4. 점퍼혼의 전체 구성

④ 철탑측 혼의 길이는 최대 2,000[mm] 이내로 하고, 부득이한 경우에는 강도를 보강하는 것으로 한다.

3.2 혼간격 유지방안

수평각이 있는 개소에서는 철탑암과 수평재가 연속선상에 존재하지 않기 때문에 혼간격을 유지하기 위해서는 별도의 조치를 강구해야 한다. 점퍼혼, 즉 철탑측혼과 점퍼측혼간에 혼간격을 일정하게 유지하기 위한 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으며, 이들 방법들은 각각 장단점을 갖고 있다. 여기서는 외국에서 현재 적용하고 있거나 적용할 수 있는 방식들을 모두 나열하고 이들 각각에 대한 특성 및 적용한계, 장단점 등을 검토하여 가장 적합한 방식을 선정하고자 한다.

- ① 보조암을 이용하여 혼간격을 수직으로 유지하는 방안
- ② 철탑측혼을 경사시키되 혼의 길이를 조정하여 최소혼 간격 유지하는 방안
- ③ 철탑측혼을 경사시키되 혼의 수직성분이 1000[mm]이하를 유지하도록 점퍼깊이를 조정하여 최소혼 간격을 유지하는 방안
- ④ 철탑측혼을 경사시키되 혼의 수직성분이 1000[mm]이하를 유지하는 방안
- ⑤ ① 과 ② 안의 방식을 혼합하는 방안
- ⑥ ① 과 ③ 안의 방식을 혼합하는 방안
- ⑦ ① 과 ④ 안의 방식을 혼합하는 방안

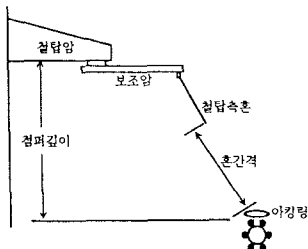


그림 5. ① 과 ②의 혼합방식을 적용한 혼간격 개요도

3.3 각 방법의 특성비교

앞에서 열거한 7가지 안은 결국 보조암을 사용하는 방법과 혼을 경사시키는 방법의 두 원리에 기초하고 있다. 따라서 이 두 방법의 장단점을 비교하면 다음과 같다.

① 철탑암의 방향으로 보조암을 이용하는 방법 - 수평각이 큰 경우에도 혼과 링의 위치를 연속선상에 위치시킬 수 있으므로 전기적인 특성이 안정되고, 횡진에 의한

영향을 받지 않는 장점이 있다. 그러나 보조암의 길이가 커져야 하므로 미관상으로 좋지 않고, 보조암의 강도를 보강해야 하는 단점이 있다.

② 철탑측 혼을 경사시키는 방법 - 철탑측 혼만을 경사시켜 혼간격을 유지하는 방법으로서 모양이 단순하고 미관상으로 좋다. 그러나 점퍼장치의 횡진에 따라 혼간격이 변하기 때문에 어느정도 혼간격의 변화를 감수해야 하며, 가능한 혼의 각도를 줄이는 것이 필요하다.

따라서 이들 두 방법의 장점을 살려 혼합한 방식이 가장 적합할 것으로 예측되며, 7가지 방안에 대해 혼간격의 유지특성, 혼의 종류를 줄일수 있는지 여부, 혼의 길이를 짧게 할 수 있는지 여부, 제작·설계·관리의 용이성 등의 측면을 고려하고 이들 각각에 대해 보조암 길이 6[m]이하, 혼길이 2[m]이하, 점퍼깊이는 표준절연거리 5,150[mm]이상의 조건인 경우 실선로에서의 수평각에 대한 혼의 적용한계를 검토해 보면 ⑤안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

4. 점퍼혼의 형상과 세부설계

4.1 점퍼측 아킹링의 형상설계

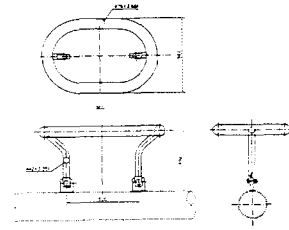


그림 6. 링형 아킹혼 설계도

아킹장치로는 여러 가지 형상으로 할 수 있는데 본 연구에서는 3가지 종류의 아킹장치를 설계, 제작하여 내아크 특성시험을 실시한 후 가장 적합한 형상을 선정하고자 하였다. 우선 아킹장치의 형상은 봉형, 이중봉형, 링형의 3가지를 설계하였으며, 이들에 대한 내아크 특성시험을 실시한 결과 링형이 가장 적합하다고 판단하였다. 그림 6은 링형의 아킹혼 형상을 도시한 것이다.

4.2 철탑측 아킹혼 설계

철탑측 혼은 수평재부분의 아킹링과의 최소절연간격을 유지하기 위하여 ⑤안을 적용하기로 하였으므로 길이조정은 물론 수평각이 있는 경우에는 경사각도를 조정할 수 있도록 하여야 한다.

먼저 3련내장애자장치의 철탑측 금구의 최대길이를 1,538[mm], 애자련의 최대 카터너리각도를 35[도]라 할 경우 철탑측 혼의 길이는 최소한 1,000[mm] 이상되어야 하는 것으로 검토되었다. 여기서 혼의 설치를 위한 보조암등의 폭을 제외하면 혼 및 조정부를 포함한 실제의 최소길이는 850[mm]가 되고, 철탑측 혼의 최대길이는 혼의 안정성과 외관을 고려하여 2,200[mm]로 제한시켰다. 또한 혼의 길이를 조정하기 위한 조정부는 조정간격을 50[mm]씩 8단계까지 총 400[mm] 범위까지 조정이 가능하게 하였으며, 양 끝의 조정용 구멍은 길이조정의 여유를 위한 것으로 함으로서 실제로는 200[mm] 간격으로 같은 형식을 사용할 수 있도록 하고, 점퍼깊이의 오차를 흡수하기 위하여 한쪽은 조정여유를 50[mm], 다른쪽은 200[mm]의 여유를 주었다. 이는 시공성과 제작성을 충분히 고려해 설계한 것이다. 즉, 800~1000[mm], 1000~1200[mm],.....등과 같이 하여 총 7종류로 구분하였다.

또한 수평각이 큰 철탑의 경우에는 철탑암의 방향으로 보조암을 설치하여 혼의 경사각을 최소화하도록 설계하였다. 즉 철탑측 혼은 혼의 길이 조정부와 혼의 경사각

도 조정부, 아킹혼, 혼의 철탍암 접속부 또는 보조암으로 구성되어 있다. 철탍암 혼에 대한 설계도를 그림 7에 나타냈다. 한편 철탍암 혼의 각 부분이 조립된 치수 및 명칭은 JH1~JH7의 7개의 종류로 전체길이 850[mm]~2,200[mm]의 범위를 모두 적용 가능하도록 설계하였다. 또한 각 형식의 길이조절용 구멍 중에서 최하부와 최상부의 조정부는 현장에서의 조정여유를 위하여 중복되도록 설계함으로써 설계상의 오차 또는 설치 및 시공상의 오차를 흡수할 수 있도록 충분히 고려하였다. 또한 철탍암 혼의 경사각 조정부는 경사각의 간격을 구조적인 한계에 의해 표 1과 같이 8° 간격으로 설계하여 최대 32°까지의 경사각을 허용하도록 하였다.

표 1. 철탍암 혼의 경사각도

설치번호	1	2	3	4	5
설치각도[도]	0.0	8.0	16.0	24.0	32.0

한편 보조암은 기술적인 검토 결과 표 2에 나타낸 것과 같이 2,000[mm] 간격으로 구분하는 것이 가장 바람직하다고 판단되었다. 여기서 보조암의 길이가 8,000[mm]인 경우는 수평각이 60[도]이상으로서 특수철탍암 개소에 적용을 위해 설계된 것이다. 이것도 상기 혼의 경우와 마찬가지로 각 길이에 대한 형명을 부여하여 취급 및 관리의 편의성을 고려하였다.

표 2. 보조암의 구성 및 길이

형 번호	ARM-1	ARM-2	ARM-3	ARM-4	ARM-5
설치길이	0[mm]	2000[mm]	4000[mm]	6000[mm]	8000[mm]

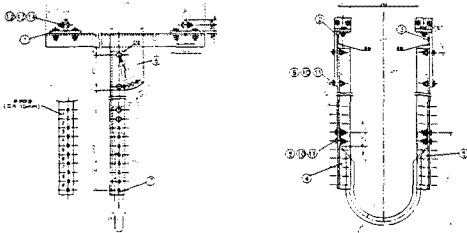


그림 7. 철탍암 혼 설계도

5. 아킹혼의 전기적 특성시험

임펄스 섬락특성 시험에는 개폐임펄스 섬락시험과 뇌임펄스 섬락시험이 있으며, 각각 정극성과 부극성에 대해 시험을 실시하고 있다. 그러나 부극성에 의한 개폐임펄스 섬락전압은 의미가 없기 때문에 참고문헌[6]에서 이를 생략하고 있다.

따라서 본 연구에서는 정극성의 개폐임펄스 섬락시험 및 정·부극성의 뇌임펄스 섬락시험을 실시하였다. 또한 시험데이터의 분석에는 "765kV 송전선로 공기절연거리 실증연구"에서 사용된 분석프로그램을 이용하였다. 임펄스 섬락시험의 방법 및 판정기준은 참고문헌[7]을 참조하였다. 또한 임펄스 섬락시험은 혼간격에 의해 많은 영향을 받는 시험이고, 혼을 경사시켜 설치하는 경우 점퍼장치의 횡진에 의해 혼간격이 작아질 수 있으므로 혼간거리 4,000[mm]~4,600[mm]의 범위에서 가변시키면서 시험을 실시하였다.

한편 수평각에 의해 철탍암 혼과 점퍼축 혼간의 최소거리가 경사각을 갖는 경우에는 철탍암 혼이 철탍암 중심으로부터 바깥쪽으로 경사되는 경우와 안쪽으로 경사되는 경우가 있을 수 있는데, 안쪽으로 경사시켜 설치된 경우에는 철탍암 안쪽으로 섬락이 발생할 가능성이 있다. 따라

서 경사각이 가장 큰 35°인 경우에는 철탍암 내측 및 외측 모두에 대해 시험을 실시하였다.

임펄스 섬락특성 실험은 표준파(개폐:250×2,500μs, 뇌:1.2×50μs)에 대해 인가전압 4kV간격으로 30회를 인가한 결과를 승강법으로 분석하되, 기상(온도, 기압, 습도)보정을 실시하였다. 각각의 보정방법은 참고문헌[7]을 참고하였다. 본 연구에서 적용한 섬락전압 V₅₀의 통계처리방법은 IEC 60-1의 승강법(Up-down method)으로 하였고, 시험방법은 V₅₀으로 추정되는 전압을 시작전압 V_o로 설정하고 예상표준편차의 0.5~2.0배 정도를 ΔV로 하여 전압인가를 시작한다. 이 때 섬락이 발생하면 인가전압을 ΔV만큼 감소시키고, 섬락되지 않으면 인가전압을 ΔV만큼 증가시킨다. 이와 같은 방법으로 30회 실시하여 섬락횟수와 섬락하지 않은 횟수를 비교하여 작은 횟수를 기준으로 각 전압의 횟수에 따라 다음의 식(1)을 이용하여 V₅₀을 구할 수 있다.

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

또한 V₅₀ 값에 대한 표준편차는 식(2)와 같다.

$$\sigma = 1.62 \times \Delta V \left(\frac{\sum_{i=0}^n n_i \cdot \sum_{i=0}^n i^2 n_i - (\sum_{i=0}^n i n_i)^2}{(\sum_{i=0}^n n_i)^2} + 0.029 \right) \quad (2)$$

이와 같은 방법에 의해 실시한 시험결과를 판정기준과 비교하면, 개폐섬락전압은 혼간격 4,600[mm]를 기준으로 4,000[mm]까지 만족하고 있으나 정극성 뇌섬락의 경우는 4,200[mm], 부극성 뇌섬락의 경우 4,400[mm]까지 설계치침을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 최소혼간격 4,600[mm]를 기준으로 하되 점퍼장치의 횡진등으로 인한 혼간격의 감소는 200[mm]이내, 즉 혼간격 4,400[mm] 이상은 유지되도록 설계할 필요가 있다고 판단된다. 이외에도 각 형상별로 내아크 특성 및 코로나시험등 전기적 특성시험을 실시하여 모두 성능에 이상이 없음을 확인하였다.

6. 결 론

765 kV 송전선로의 내장장치에서 청정Ⅱ지구 이상의 내장장치에는 애자런혼을 취부할 수 없기 때문에 본 논문에서는 이에 대한 대책으로 조립식 점퍼장치의 점퍼혼 방식을 연구하였다. 애자런 혼 적용에 대한 문제점 제시 및 대책(안)을 근거로 전선축 및 접지축의 점퍼혼에 대한 설계조건 및 형상설계와 수평각이 존재하는 개소에서 보조암을 이용한 각도 조정용 혼을 설계하고 그 기법을 제시하였다. 또한 조립식 점퍼장치에 점퍼혼을 취부한 시제품을 제작, 코로나특성시험, 임펄스섬락특성시험, 내아크특성시험 등의 전기적인 시험을 실시하여 그 특성을 확인하였다.

[참고문헌]

- [1] "송전선로의 애자런보호 대책에 관한연구(2)", 한국전력공사, 1998. 12
- [2] 電氣協同研究, "送電用かいし装置", 第34卷, 第2號
- [3] 한국전력공사, 설계기준
- [4] 한국전력표준규격
- [5] 전기협동연구, "다도체용 전선부속품", 전기협동연구, 제41권, 제3호
- [6] 한국전력공사, "765 kV 송전용 조립식 점퍼장치 구대시방서, 1997. 3
- [7] 한국전력공사, "765 kV 송전선로 공기절연거리 실증연구", 1996. 11