

초고압 송전선로용 V런 현수애자장치의 개발

손홍관*, 이형권*, 금의연*, 민병욱*, 최진성*, 최인혁*
 한국전기연구원*, 세명전기공업(주)*, 한국전력공사*, 전력연구원*

A Development of V type Suspension String Set for UHV Transmission Lines

H.K. Sohn*, H.K. Lee*, E.Y. Keum*, B.W. Min*, J.S. Choi*, I.H. Choi*
 KERI*, Semyung Electric Co.* , KEPCO*, KEPRI*

Abstract - This paper presents a development of V type suspension string sets for 765kV T/L. The design of V type suspension string set does not differ from that of general string set for general towers, but it prevents instabilities from swing motion by the horizontal angle and by the wind pressure. We were designed specially 6 conductor yoke, arcing horn and earth horn. And we were carried out mechanical and electrical performance tests for V-string sets of 400kN single, 300kN double and 400kN double. This products will be used for 765kV T/L of 1 circuit in suspension towers.

1. 서 론

초고압 송전선로의 건설에는 막대한 예산과 인력은 물론 많은 시간이 투입되므로 설계단계에서 실시하는 경제성의 검토가 무엇보다도 중요하다. 따라서 소요되는 송전용량을 고려할 때 기존 2회선 송전선로의 건설보다는 1회선 송전선로의 건설이 경제적인 경우도 있다. 국내 765kV 신안성-신가평 선로의 경우 경제성 및 조류 등을 검토한 결과 1회선 송전선로의 건설로도 송전용량이 충분한 것으로 결정되어 사업이 추진 중이다.

외국의 경우 1회선 송전선로는 경제성을 고려하여 수평배열 또는 삼각배열로 구성하는 경우가 대부분이고, 수평배열 또는 삼각배열인 경우 철탑의 규모를 줄이고 애자장치의 횡진을 억제하기 위한 목적으로 V런 현수애자장치를 사용하는 것이 일반적이다.

따라서 국내의 765kV 1회선 송전선로의 경우에도 수평 또는 삼각배열의 철탑을 설계 중에 있으며, 이 경우 V런 현수애자장치의 국산화가 필요할 실정이다. 국내에서는 점퍼형 V런 애자장치가 개발되어 현장에 적용되고 있으나 현수용으로는 아직 적용한 예가 없다.

V형 현수애자장치는 양측 애자런이 하중을 적당히 분담하여 애자런의 횡진을 억제하기 때문에 철탑 압의 길이 및 선평면적을 감소시키는 효과가 있다.

따라서 본 연구에서는 765kV 1회선 송전선로에 사용될 V런 현수애자장치를 개발하고, 특성시험을 실시하여 그 성능을 입증하였다.

2. V런 현수애자장치의 하중계열 검토

765kV 1회선 송전선로인 신안성-신가평 선로의 철탑형을 조사한 결과 표 1과 같이 전체 128기 중 현수형 철탑은 52기 설치될 예정이다. 현수형 철탑 52기에 적용될 V런 현수애자장치의 강도계열은 표 2와 같이 40톤 계열인 400kN×2련이 19기, 60톤 계열인 300kN×4련이 26기, 80톤 계열인 400kN×4련이 7기로 조사되었고, 일부 300kN×2련의 적용이 가능한 경우도 있으나 400kN×2련으로 상향 적용되었다.

표 1. 765kV 1회선 신안성선로의 철탑형별 분포

Table 1. Distribution of tower type in Sin-Ansung T/L

철탑형	Aa, LA	Ba	Ca	Ea	Ga	Da	Do
기수	52	37	21	7	5	4	2

표 2. 현수애자런의 강도계열

Table 2. Strength class of V type suspension string set

철탑형	애자런			
	400kN×2	300kN×4	400kN×4	계
Aa	16	13	5	34
LA	3	13	2	18
계	19	26	7	52

3. V런 현수애자장치의 설계

3.1 상시횡진각에 따른 요크의 설계

선로수평각에 의해 현수클램프는 상시횡진각 만큼 기울어져 설치되게 된다. 이 경우 좌·우측 애자런은 평상시에도 불평형상태로 설치되어 있게 되고, 전선의 배치는 정육각형 배치에서 벗어나 있게 된다. 이를 보완하기 위해서 상시횡진각에 따라 6도체 지지요크를 달리 설계할 필요가 있다.

그림1의 (a)는 수평각이 0인 선로에서 전선의 하중중심과 V런 현수애자장치의 하중중심이 일치한 상태를 나타낸다. 그러나 (b)의 경우는 전선의 하중중심선과 V런 현수애자장치의 하중중심이 일치하지 않고 편측으로 벗어나게 설계함으로써 6도체가 지면에 대해 정육각형으로 배치되도록 설계한 요크의 형상을 나타내고 있다.

6도체 지지요크의 설계는 상시횡진각에 따라 기별로 설계하는 것이 바람직하지만 제품의 관리와 설치, 경제성 등을 고려하여 실선로 적용에 있어서는 몇 개의 종류로 구분하는 것이 더 효과적이라고 판단된다.

본 연구에서는 6도체 지지요크를 4개의 종류로 구분하여 상시횡진각에 따라 적합한 요크를 선정하여 사용할 수 있도록 하였다. 6도체 지지요크의 종류별 상시횡진각의 적용범위는 표3과 같다. 표3에서 Type A는 기본형으로서 대부분 현수철탑의 수평각이 0°이므로 대표각도를 0°로 하였으며, Type B, C, D는 적용범위의 중간을 설계각도로 채택하였다.

표 3. 6도체 지지요크의 종류 및 적용범위

Table 3. A kind and boundary of 6 conductor yoke

Type	A	B	C	D
상시횡진각 적용범위	$0 \leq \theta < 2$	$2 \leq \theta < 8$	$8 \leq \theta < 14$	$14 \leq \theta < 20$
대표각도	0°	5°	11°	17°

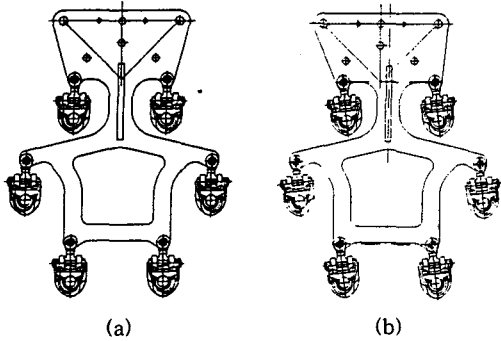


그림 1. V런 현수애자장치의 6도체 지지요크 형상
Fig. 1 A shape of 6 conductor yoke for V type string sets

3.2 애자런 간격의 적용

V런 현수애자장치의 종류 중에서 편측 애자런이 2런인 300kN×4런 및 400kN×4런 애자장치의 경우 강풍에 의한 수평하중이 작용할 때 풍하중의 애자런에 작용하는 장력이 현저히 저하되어 애자런간의 접촉이 발생할 우려가 있다. 따라서 애자런간의 간격을 조정하여 접촉에 의한 애자파손을 방지해야 하며, 국내 345kV 및 765kV 송전선로의 현수애자런에서 300kN 및 400kN 애자에 대해 모두 500mm 간격으로 설치하고 있다. 그러나 일본 구주전력의 V런 현수애자런에서 애자런간의 접촉에 의한 애자파손사고가 보고된 바 있고, 애자런간의 간격을 550mm로 조정하여 접촉사고에 대한 대책을 수립한 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 수평하중에 의한 애자런간의 접촉에 대한 실험을 실시하여 400kN×4런의 경우에는 애자런간격을 550mm로 하고, 300kN×4런은 500mm로 적용함으로써 애자런간의 접촉에 의한 파손사고를 방지하도록 하였다.

3.3 아킹혼 및 접지혼 설계

765kV용 V런 애자장치는 애자런 길이가 길어서 아킹혼의 크기가 커지기 때문에 애자런간에 섬락시키기 위한 애자런 혼의 설치가 어렵다. 따라서 애자런간 섬락보다는 철탑압축과 전선축 아킹링과의 사이에 섬락경로를 만들어 주는 것이 바람직하고, 애자런에는 오손섬락시 애자런 보호를 위한 보조혼을 설치할 필요가 있다. 또한 유지보수시 접지를 잡기 위한 접지혼도 별도로 설치할 필요가 있다. 따라서 765kV용 V런 애자장치의 아킹혼을 다음과 같이 설계하였다.

- 섬락경로는 전선축 아킹링과 철탑압축 아킹혼간에 설치
- 애자런의 접지축에는 보조혼을 설치하여 오손섬락으로부터 애자를 보호하도록 설계
- 전선축에 유지보수시 접지를 시행할 수 있도록 접지혼을 설치

4. V런 현수애자장치의 특성실험 및 분석

V런 현수애자장치의 성능을 확인하기 위한 시험항목으로는 외관 및 구조시험, 아연도금시험과 기계적 특성으로 인장하중시험, 전기적 특성으로 코로나특성시험, 내아크특성시험, 50%충격전압섬락특성, 내전압특성시험 등이 있으며, 파괴시험으로 단조품 단류선검사, 비파괴시험으로 자분탐상시험, 방사선투과시험, 형광침투탐상시험 등이 있다.

여기서는 V런 애자장치의 종류별 기계적 및 전기적 특성에 대한 특성시험의 결과를 정리하였다.

4.1 V런 현수애자장치(400kN×2런)

(1) 인장하중시험

제품명	설계하중 (kgf)	1분유지	비고
직각크레비스아이 현수클램프	15,000	이상없음	16,600~17,200kgf 파단
직각크레비스아이 직각크레비스크레비스 볼크레비스, 혼홀더요크, 홀더링크 소켓아이 6도체지지요크	40,000	이상없음	43,000~52,000kgf 파단

(2) 휨진특성시험 및 하중분담시험

시험항목	시험기준	시험결과
현수클램프 휨진특성	클램프휨진각이 45°를 넘지 않을 것 기타 금구 및 애자 상호간 유해한 접촉이 발생하지 않을 것	양호 (휨진각 : 37°) 유해한 접촉 없음
하중분담 특성시험	6도체의 중심이동거리는 600mm를 초과하지 않을 것 풍하중 애자런이 무장력으로 되지 않을 것	중심이동거리 255mm 무장력으로 되지 않음

(3) 전기적 특성시험

시험항목	시험기준	시험결과
RIV시험	진조시 84dB 이하	약 40dB
가시 코로나시험	상용주파전압 485kV를 인가하여 가시 코로나 발생이 없어야 한다.	가시코로나 발생 전압 : 518kV
뇌임펄스 내전압시험	뇌임펄스 내전압 목표치 2,366kV에서 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음
뇌임펄스 섬락특성시험	뇌임펄스의 50%섬락전압을 구하고, 섬락은 아킹링과 접지혼으로 섬락하여야 한다.	섬락전압 정 : 2,790kV 부 : 3,020kV 아킹링과 접지혼 간 섬락
개폐임펄스 내전압시험	개폐임펄스 내전압 목표치 1,303kV에서 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음
개폐임펄스 섬락특성시험	개폐임펄스의 50%섬락전압을 구하고, 섬락은 아킹링과 접지혼으로 섬락하여야 한다.	섬락전압 정 : 1,620kV 아킹링과 접지혼 간 섬락
상용주파 내전압시험	상용주파전압 582.75kV를 인가하여 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음

4.2 V런 현수애자장치(300kN×4런)

(1) 인장하중시험

제품명	설계하중 (kgf)	1분유지	비고
직각크레비스아이 현수클램프	15,000	이상없음	17,000~17,500kgf 파단
직각크레비스아이 직각크레비스크레비스 볼크레비스, 소켓아이	30,000	이상없음	39,000~42,000kgf 파단
평행크레비스아이 직각크레비스크레비스 혼홀더요크, 홀더링크 6도체지지요크	60,000	이상없음	69,000~72,000kgf 파단

(2) 휨진특성시험 및 하중분담시험

시험항목	시험기준	시험결과
현수클램프 휨진특성	클램프휨진각이 45°를 넘지 않을 것 기타 금구 및 애자 상호간 유해한 접촉이 발생하지 않을 것	양호 (휨진각 : 37°) 유해한 접촉 없음
하중분담 특성시험	6도체의 중심이동거리는 600mm를 초과하지 않을 것 풍하중 애자런이 무장력으로 되지 않을 것	중심이동거리 276mm 무장력으로 되지 않음

(3) 전기적 특성시험

시험항목	시험기준	시험결과
RIV시험	건조시 84dB 이하	약 42dB
가시코로나시험	상용주파전압 485kV를 인가하여 가시코로나 발생이 없어야 한다.	가시코로나 발생전압 : 525kV
뇌임펄스내전압시험	뇌임펄스 내전압 목표치 2,366kV에서 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음
뇌임펄스섬락특성시험	뇌임펄스의 50%섬락전압을 구하고, 섬락은 아킹링과 접지흔으로 섬락하여야 한다.	섬락전압 정 : 2,780kV 부 : 3,010kV 아킹링과 접지흔 간 섬락
개폐임펄스내전압시험	개폐임펄스 내전압 목표치 1,303kV에서 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음
개폐임펄스섬락특성시험	개폐임펄스의 50%섬락전압을 구하고, 섬락은 아킹링과 접지흔으로 섬락하여야 한다.	섬락전압 정 : 1,570kV 아킹링과 접지흔 간 섬락
상용주파내전압시험	상용주파전압 582.75kV를 인가하여 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음

4.3 V런 현수애자장치(400kN×4런)

(1) 인장하중시험

제품명	설계하중(kgf)	1분유지	비고
직각크레비스아이 현수클램프	15,000	이상없음	17,100 ~ 17,800kgf 파단
직각크레비스아이 직각크레비스크레비스 볼크레비스, 소켓아이	40,000	이상없음	46,000 ~ 52,000kgf 파단
평행크레비스아이 직각크레비스크레비스 혼휴더요크, 홀더링크 6도체지지요크	80,000	이상없음	89,000 ~ 96,000kgf 파단

(2) 횡진특성시험 및 하중분담시험

시험항목	시험기준	시험결과
현수클램프 횡진특성	클램프횡진각이 45°를 넘지 않을 것	양호 (횡진각 : 36°)
	기타 금구 및 애자 상호간 유해한 접촉이 발생하지 않을 것	유해한 접촉 없음
하중분담 특성시험	6도체의 중심이동거리는 600mm를 초과하지 않을 것	중심이동거리 297mm
	풍하중 애자런이 무장력으로 되지 않을 것	무장력으로 되지 않음

(3) 전기적 특성시험

시험항목	시험기준	시험결과
RIV시험	건조시 84dB 이하	약 44dB
가시코로나시험	상용주파전압 485kV를 인가하여 가시코로나 발생이 없어야 한다.	가시코로나 발생전압 : 520kV
뇌임펄스내전압시험	뇌임펄스 내전압 목표치 2,366kV에서 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음
뇌임펄스섬락특성시험	뇌임펄스의 50%섬락전압을 구하고, 섬락은 아킹링과 접지흔으로 섬락하여야 한다.	섬락전압 정 : 2,785kV 부 : 3,015kV 아킹링과 접지흔 간 섬락
개폐임펄스내전압시험	개폐임펄스 내전압 목표치 1,303kV에서 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음
개폐임펄스섬락특성시험	개폐임펄스의 50%섬락전압을 구하고, 섬락은 아킹링과 접지흔으로 섬락하여야 한다.	섬락전압 정 : 1,585kV 아킹링과 접지흔 간 섬락
상용주파내전압시험	상용주파전압 582.75kV를 인가하여 섬락이 발생하지 않아야 한다.	섬락현상 없음

5. 초고압 송전선로용 V런 현수장치의 조립도

이상과 같이 초고압 송전선로용으로 V런 현수애자장치를 개발하였으며, 400kN×2런의 조립도는 그림 2와

같고, 400kN×4런의 조립도는 그림 3과 같다. 300kN×4런에 대한 조립도는 생략하였다.

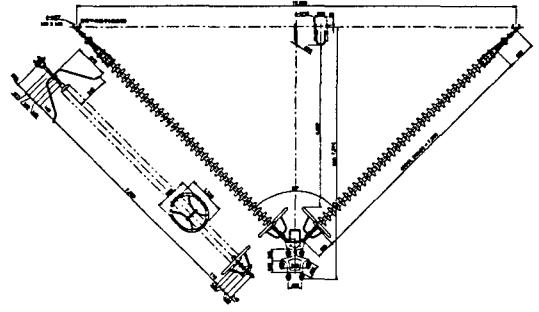


그림 2. V런 현수애자장치 조립도(400kN×2)
Fig. 2 Assembly drawing of V type string set(400kN×2)

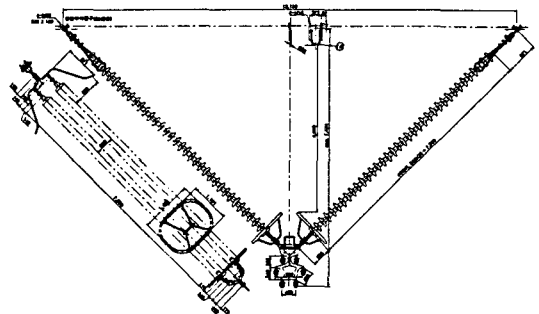


그림 3. V런 현수애자장치 조립도(400kN×4)
Fig. 3 Assembly drawing of V type string set(400kN×4)

6. 결 론

국내에서 아직 적용한 예가 없는 V런 현수애자장치에 대한 설계과정과 성능확인을 위한 특성시험 결과를 정리하고, 개발된 제품의 조립도를 제시하였다.

(1) 765kV 1회선 송전선로에 적용될 V런 현수애자런의 하중계열을 검토하였으며, 40톤 계열 19기, 60톤 계열 26기, 80톤 계열 7기로 조사되었다.

(2) 상시횡진각에 따른 6도체 지지요크를 4개 종류로 구분하여 개발하였으며, 수평각이 있는 현수철탑에 대해서는 기별설계에 의해 적합한 지지요크를 선정하여 적용해야 한다.

(3) 애자런간의 접촉에 의한 파손을 방지하기 위하여 400kN×4런의 경우 애자런 간격을 550mm로 설계하였으며, 과전압의 섬락경로는 철탑측 아킹흔과 전선측 아킹링으로 유도되도록 설계하였다.

(4) 개발된 제품에 대한 특성시험을 실시하여 소요 성능이 유지됨을 확인하였다.

(5) 이 제품은 765kV 1회선 송전선로용 V런 현수애자장치에 적용될 예정이며, 국내 최초로 V런 현수애자장치를 실용화한 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "765kV 송전선로용 V런애자장치 개발", 최종보고서, 2004. 4
- [2] 전기협동연구회, "송전용 애자장치", 전기협동연구 제34권 제2호, 1978
- [3] 구주전력, "송전용 V조 현수애자장치", 2003.2
- [4] M.Sasamoto, Y.Nakagawa, "Resent 500kV Insulator String Assembly", Daido Electric Industries Co., Ltd.,
- [5] 동경전력 공무부, "가공송전설계의 수인", 1993