

V형 현수애자장치의 횡진특성과 실선로 적용

송훈관\*, 이형권\*, 금의연#, 민병욱\*, 최진성\*, 최인혁\*  
 한국전기연구원\*, 세명전기공업(주)#, 한국전력공사\*, 전력연구원\*

A Swing Characteristics and Application Condition of the V type Suspension String Set

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** - V type suspension string sets prevent instabilities from swing motion by the horizontal angle and by wind pressure. These installation conditions are controled mainly 3 items - normal swing angle by horizontal angle of line, unusual swing angle by strong wind, minimum vertical loads. We calculated and analyzed that factors for the 765kV transmission line condition. And we were tested swing characteristics of V-string sets in real size test situation. So, we find to installation condition for the V type suspension string sets. This results will be used to design of V type suspension string set and to decision of the installation condition.

전선 이도설계기준)에서는 90°를 표준으로 정하고 있다. 또한 V형 애자장치는 수평각에 의해 상시 횡진상태로 설치되는 데 이 각도에 대한 검토와 바람에 의해 횡진하는 클램프 횡진각도의 한계 등에 대한 검토가 필요하다.

2.1 선로수평각에 의한 상시횡진각

선로수평각에 의한 현수클램프의 상시횡진각은 무풍무설 조건에서의 최악조건인 저온계(온도 -20°C)의 횡진으로서 현수클램프점의 수평평하중/수직하중의 비율로 다음 식(1)과 같이 계산할 수 있으며, tan(20°)이하로 유지하도록 하고 있다.

$$\tan \phi_1 \geq \frac{H}{V} \left( = \frac{2T_2 \sin \frac{\theta}{2}}{W_c S_m + T_2 \Sigma \left( \frac{h}{S} \right)} \right) \quad (1)$$

$T_2$  : 저온계(-20°C), 무풍무설시 수평장력(kgf)

$\theta$  : 선로 수평각 (°)

$W_c$  : 단위길이당 전선중량 (kg/m)

$S_m$  : 하중경간 길이 (m)

$h$  : 지지점고저차 (m)

$S$  : 경간길이 (m)

765kV 6도체 송전선로의 표준경간 500m, ACSR/AW 480mm<sup>2</sup> Cardinal 전선, 3지역 저온계 무풍무설시의 수평장력 3,746 kgf를 적용한 경우 지지점고저차에 따른 선로수평각도별 상시횡진각은 식(1)에 의해 그림1과 같이 계산되었다.

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 첩탑의 규모를 줄이고 애자장치의 횡진을 억제하기 위한 목적으로 V형 현수애자장치를 사용하는 것이 일반적이다.

따라서 국내의 765kV 1회선 송전선로의 경우에도 삼각배열의 첩탑을 설계하여 V형 현수애자장치를 적용할 계획이며, 이의 국산화개발이 필요한 실정이다. 국내에서는 접퍼용 V형 애자장치가 개발되어 현장에 적용되고 있으나 현수용으로는 아직 적용한 예가 없다.

V형 현수애자장치는 양측 애자련이 하중을 적당히 분담하여 애자련의 횡진을 억제하기 때문에 첩탑 암의 길이 및 선하면적을 감소시키는 효과가 있다. 그러나 적용에 있어서는 선로조건에 따른 상시 및 강풍시 횡진각과 수직하중을 검토하여 풍하중 애자련의 무장력상태를 방지하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 선로수평각에 의한 상시횡진각과 바람에 의한 횡진각을 검토하고, 실규모 실험을 통하여 V형 현수애자장치의 횡진각 및 중심점 이동거리를 확인하였다. 또한 V형 현수애자장치를 적용하기 위한 선로조건별 적용범위를 검토하였다.

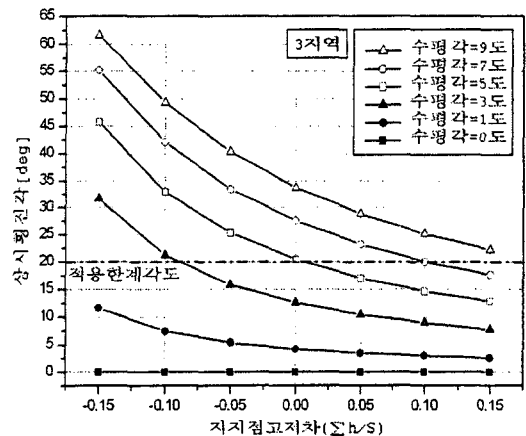


그림1. 지지점고저차에 따른 수평각도별 상시횡진각  
 Fig.1 Normal swing angles for difference of tower height

2. V형 현수애자장치의 설계조건

V형 현수애자장치의 설계시 고려할 사항으로 애자련의 V각도가 있으며, 한전 송전설계기준-1211 (가공송

그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 상시횡진각을 20°로 제한할 경우 수평각도 및 지지점고저차 등의 선로조건에 따라 적용에 제한을 받고 있음을 알 수 있다.

## 2.2 바람에 의한 횡진각

바람에 의한 현수클램프의 횡진은 V런 현수애자련의 V각도가 90°인 경우 편측 애자련의 각도(45°) 이하를 유지하도록 설계하여야 한다. 설계조건은 온도 10°C, 풍속 26m/s 시의 수평장력을 적용한다.

원칙적으로 상정 최대풍속에서  $H/V \leq \tan(45^\circ) = 1$  을 확보해야 하지만 일반적으로 최대풍속을 적용하면 수직하중에 비해 수평하중이 크게 되어  $H/V \leq 1$ 의 조건을 만족시킬 수 없게 된다. 일반적으로 최대풍속의 발생 빈도가 낮기 때문에 최대풍압치의 50%에 해당하는 풍속에서 풍하중 애자련에 작용하는 하중이 무장력상태로 되지 않도록 설계하고 있다. II지역을 기준으로 할 경우 기준속도압 100 kg/m<sup>2</sup>, 돌풍을 1.37에 의해 최대풍압의 50%에 해당하는 순간풍속은 35.4 m/sec이고, 10분 평균풍속은 약 26 m/sec가 되므로 장력 및 풍압하중을 풍속 26 m/sec시의 값을 기준으로 하였다.

따라서 바람에 의한 현수클램프점의 횡진각은 다음 식(2)와 같이 계산된다.

$$\tan \varphi_2 \geq \frac{H}{V} \left( = \frac{W_w S_m \cos^2(\theta/2) + 2T_4 \sin(\theta/2)}{W_c S_m + T_4 \Sigma(h/S)} \right) \quad (2)$$

$T_4$  : 10°C, 풍속 26m/s시의 수평장력 (kgf)  
 $W_w$  : 10°C, 26m/s시의 전선풍압하중 (kg/m)  
 $S_m$  : 하중경간 길이 (m)

765kV 6도체 송전선로의 표준경간 500m, ACSR/AW 480mm<sup>2</sup> Cardinal 전선, 3지역 26m/sec시의 수평장력 4,459 kgf를 적용한 경우 풍속 26m/sec에서의 지지점고저차별 클램프 횡진각은 식(2)에 의해 그림2와 같이 계산되었다.

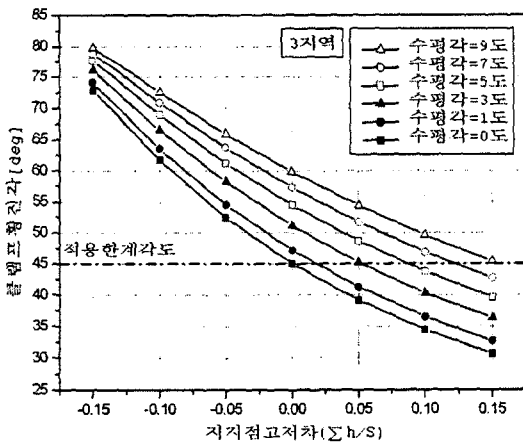


그림2. 지지점고저차에 따른 수평각별 바람에 의한 횡진각  
Fig.2 Swing angle induced wind for difference of tower height

그림2에서 바람에 의한 허용횡진각을 45°로 제한하고 있으므로 수평각 및 지지점고저차 등의 선로조건에 따라 적용개소에 많은 제약을 받게 된다. 즉 경간길이가 500m이고, 고저차가 없는 선로의 경우 수평각이 0°인 경우에만 적용이 가능하다고 분석되었다.

## 2.3 최소수직하중

V런 현수애자련치의 클램프 횡진각은 수직하중에 대한 수평하중의 비로 나타나므로 수직하중이 클수록 횡진

특성이 양호하게 된다. 또한 수직하중이 너무 작으면 V런 애자련이 자중에 의해 곡선으로 설치되므로 절연거리를 확보할 수 없게 된다. 따라서 V런 현수애자련치의 안정된 설치조건을 확보하기 위해서는 최소수직하중에 대한 제약조건이 필요하며, 수직하중은 선로조건에 의해 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

$$V_w \geq n \cdot [W_c S_m + T_3 \Sigma(h/S)] \quad (3)$$

$n$  : 소도체수  
 $T_3$  : 10°C, 무풍무설(EDS)시의 수평장력 (kgf)

## 3. V런 현수애자련치의 횡진특성 실험 및 분석

765kV 1회선 송전선로에 사용될 400kN 2런, 300kN 4런, 400kN 4런에 대해 최소수직하중을 1,500kgf로 하고, 수평인가하중을 변화시키면서 클램프의 횡진각과 중심점이동거리를 측정하기 위해 그림 3과 같이 구성하여 실험을 실시하였다. 실험결과 클램프 횡진각 및 중심점이동거리는 각각 그림 4 및 그림 5와 같이 나타났다.

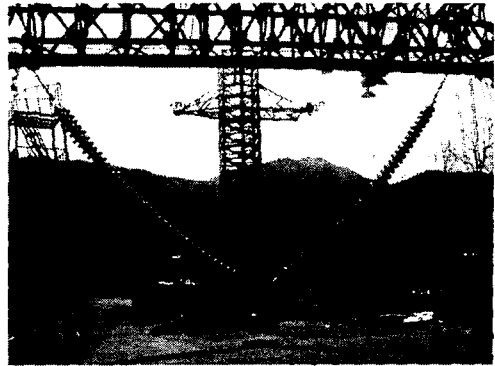


그림3. 횡진특성 실험장면

Fig.3 Test situation of horizontal swing characteristics

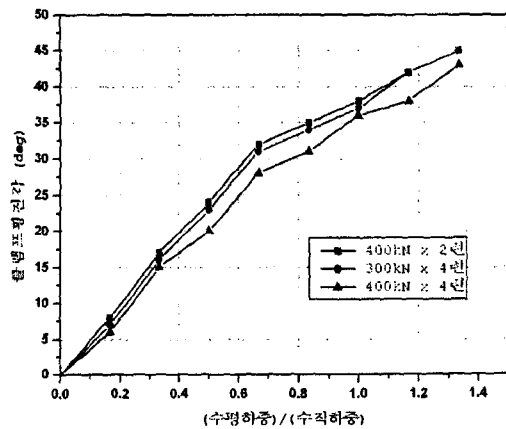


그림4. 수평하중에 따른 클램프횡진각

Fig.4 Swing angle of suspension clamp according to horizontal variable loads

그림 4에서 동일한 수직하중에서의 클램프횡진각은 애자련의 중량이 무거울수록 작게 나타났으며, 수직하중과 수평하중이 동일한 경우 클램프횡진각은 약 35°~40° 정도로서 제한치인 45°를 초과하지 않음을 확인하였다.

그림 5에서 중심점이동거리는 애자장치의 종류에 관계없이 거의 동일하게 나타났으며, 수직하중과 수평하중이 동일한 경우 약 300mm정도 이동하는 것으로 나타났다.

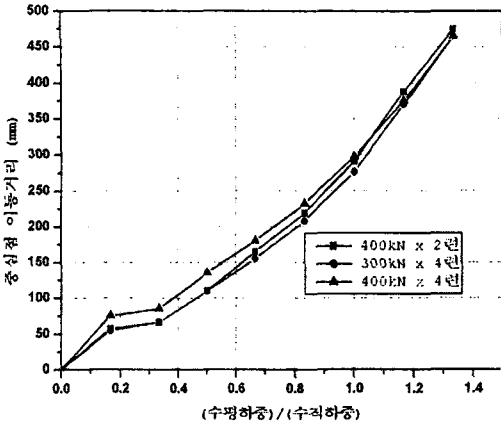


그림5. 수평하중에 따른 중심점이동거리  
Fig.5 Moving distance of mass center point according to horizontal variable loads

#### 4. 선로조건에 따른 V런 현수애자장치의 적용범위

이상에서 검토한 바와 같이 V런 현수애자장치를 적용하기 위해서는 수평각에 의한 상시횡진각, 바람에 의한 횡진각 및 최소수직하중의 조건을 모두 만족한 경우에 설치 가능하다. V런애자장치의 적용기준으로 상시횡진각은 20°이하, 최대풍압하중의 50% 하중에서의 클램프횡진각은 II지역 기준을 적용하여 10°C, 26m/s에서의 클램프횡진각을 45°이하로 적용하고, 최소수직하중은 1,500 kgf로 가정하였다.

이상의 적용기준에 의해 경간길이 300~700m에 대해 V런 현수애자장치를 적용할 수 있는 선로조건은 그림 6과 같다. 대부분의 경우 바람에 의한 클램프 횡진각 조건에 의해 선로조건이 결정되지만 수평각 7°에서 하중경간 400m이하와 수평각 9°에서 500m이하에서는 상시횡진각에 의해 선로조건이 결정되는 것으로 나타났다.

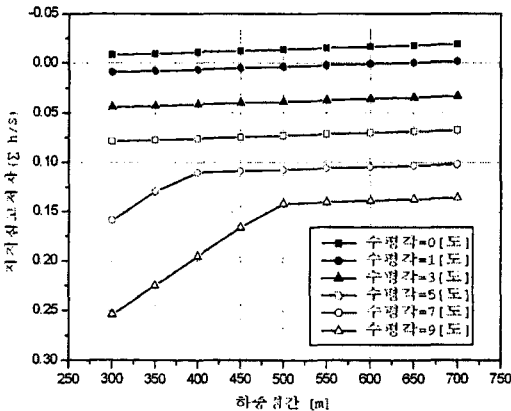


그림 6. 하중경간에 따른 V런의 적용범위  
Fig.6 Applicable condition of V type string sets according to weight spans

그림6에서 알 수 있는 바와 같이 선로구성에 따라 V런 현수애자장치의 적용여부가 결정된다. 따라서 765kV 송전선로에 대한 V런 현수애자장치의 설계시 선로조건에 따른 V런 현수장치의 적용가능 여부를 사전에 검토하고, 현수장치의 적용이 곤란한 개소에는 허용횡진각을 크게 하거나 내장애자장치로 철탑형을 변경하는 등의 대책을 세울 필요가 있다고 판단된다.

#### 5. 결 론

이상과 같이 국내에서 아직 적용한 예가 없는 V런 현수애자장치에 대한 설계검토 내용 중 횡진각특성에 대해서 검토하고, 선로조건에 따른 적용여부에 대해서 검토하였다. 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) V런 현수애자장은 선로조건에 따라 적용여부가 결정되며, 주요 설계검토 사항은 선로수평각 및 바람에 의한 클램프의 횡진각, 최소수직하중이다.
- (2) 상기의 3가지 검토항목 중 바람에 의한 클램프의 횡진각이 가장 지배적으로 영향을 끼치는 요소이다. 반면 가장 영향을 미치지 않는 항목은 최소수직하중이다.
- (3) 수평각이 크고, 하중경간이 짧은 경우에는 상시횡진각에 의해 적용가능여부가 결정된다.
- (4) 선로조건에 따라 V런 현수애자장치의 설치개소에 많은 제약을 받으므로 선로조건별 설치가능여부를 사전에 충분히 검토하여 철탑형을 결정할 필요가 있다.
- (5) 설치범위를 확대하기 위해서는 풍상측 애자련의 길이를 길게 하여 허용횡진각을 크게 할 필요가 있다.
- (6) 이 결과는 765kV 1회선용 V런 현수애자장치의 개발과 실선로 적용을 위한 검토자료로 활용할 수 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "765kV 송전선로용 V런 애자장치 개발", 2004.4
- [2] 전력연구원, "송전 설계기준 제·개정 및 보완연구", 최종 보고서, 2001. 5
- [3] 전기협동연구회, "송전용 애자장치", 전기협동연구 제34권 제2호, 1978
- [4] 구주전력, "송전용 V조 현수애자장치", 2003.2
- [5] M.Sasamoto, Y.Nakagawa, "Resent 500kV Insulator String Assembly", Daido Electric Industries Co., Ltd.,
- [6] 동경전력 공무부, "가공송전설계의 수인", 1993