

V형 현수애자장치의 클램프 횡진 특성

論 文

54A-3-4

A Characteristics of Horizontal Swing Angle of Suspension Clamp in V type Suspension String Sets

孫 洪 寬* · 李 亨 勸** · 閔 丙 旭†

(Sohn Hong-Kwan, Lee Hyung-Kwon, Min Byeong-Wook)

Abstract - This paper presents a characteristics of horizontal swing angle in 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 decided to 550mm for a distance of strings. We were carried out characteristics of horizontal swing test and movement of mass center test 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.

Key Word : V-Type Suspension String Sets, Horizontal Swing Angle, Sixth Conductor Yoke, Suspension Clamp, Fittings

1. 서 론

초고압 송전선로의 건설에는 막대한 예산과 인력은 물론 많은 시간이 투입되므로 설계단계에서 실시하는 경제성의 검토가 무엇보다도 중요하다.[1] 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.[2]

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.

국내 765kV 1회선 송전선로의 경우에도 수평 또는 삼각배열의 첩탑을 설계 중에 있으며, 이 경우 V형 현수애자장치의 국산화개발이 필요한 실정이다. 국내에서는 점퍼장치용 V형 애자장치가 개발되어 현장에 적용되고 있으나 현수용으로는 아직 적용한 예가 없다.

V형 현수애자장치는 구조적으로 양측 애자련이 하중을 적당히 분담하여 애자련의 횡진을 억제하기 때문에 첩탑 압의 길이 및 선하면적을 감소시키는 효과가 있다.

따라서 본 논문에서는 765kV 1회선 송전선로에 사용될 V형 현수애자장치의 기본특성에 의한 설치조건과 주요 설계내용을 기술하고, 개발제품에 대한 횡진특성과 중심점이동거리

시험을 실시하여 그 성능을 확인하였다.

2. V형 현수애자장치의 하중계열 검토

765kV 1회선 송전선로인 신안성-신가평 선로의 첩탑형을 조사한 결과 표 1과 같이 전체 128기 중 현수형 첩탑은 52기가 설치될 예정이다. 현수형 첩탑 52기에 적용될 V형 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 개소도 있으나 400kN×2련으로 상향 적용되었다.

따라서 본 논문에서는 765kV 1회선 송전선로용 V형 현수애자장치로 400kN×2련, 300kN×4련, 400kN×4련의 3가지 종류를 개발하였다.

표 1. 765kV 1회선 신안성선로의 첩탑형별 분포

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

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

표 2. 현수애자련의 강도계열

Table 2. Strength class of V type suspension string set

첩탑형	애자련	400kN×2 (40톤)	300kN×4 (60톤)	400kN×4 (80톤)	계
	Aa	16	13	5	
LA	3	13	2	18	
계	19	26	7	52	

† 교신저자, 正 會 員 : 韓國電力公社, 部長

E-mail : bymin@kepcoco.kr

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 前任研究員 博士

** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 博士

接受日字 : 2004年 8月 26日

最終完了 : 2005年 1月 11日

3. V선 현수애자장치의 설치조건 검토

V선 현수애자장치의 설계시 고려할 사항으로 애자련의 V 각도가 있으며, 한전 송전설계기준-1211 (가공송전선 이도설계기준)에서는 90°를 표준으로 정하고 있다. [3]

또한 V선 현수애자장치를 설치할 때 수평각에 의해 애자련이 상시 횡진된 상태로 설치되는 데 이 각도에 대한 검토와 바람에 의해 횡진하는 클램프 횡진각도의 한계에 대한 검토가 필요하고, 애자련이 안정적으로 설치되기 위해서 필요한 최소의 수직하중에 대한 검토도 필요하다.[4]

3.1 선로수평각에 의한 상시횡진각

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

$$\tan \varphi_1 \geq \frac{H}{V} \left(= \frac{2T_2 \sin \frac{\theta}{2}}{W_c S_m + T_2 \Sigma \left(\frac{h}{S} \right)} \right) \quad (1)$$

T_2 : 저온계(-20℃), 무풍무설시 수평장력(kgf)

θ : 선로 수평각 (°)

W_c : 단위길이당 전선중량 (kg/m)

S_m : 하중경간 길이 (m)

h : 지지점고저차 (m)

S : 경간길이 (m)

여기서 선로수평각, 하중경간 길이, 지지점고저차 및 경간 길이의 개념은 그림 1과 같다.

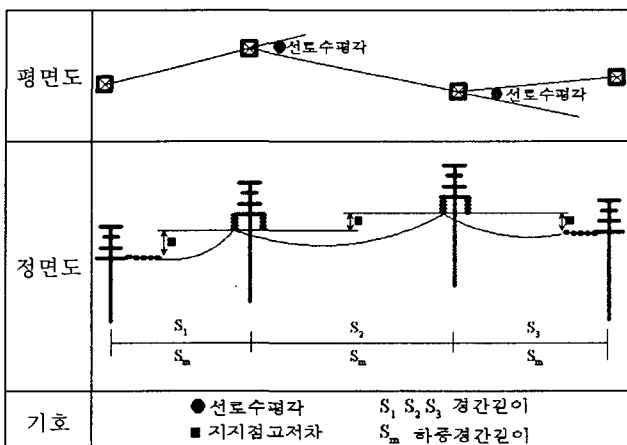


그림 1. 선로구성 용어의 개념

Fig. 1 Concept of terms for overhead transmission lines

765kV 6도체 송전선로의 표준경간 500m, ACSR/AW 480 mm² Cardinal 전선, 3지역 저온계 무풍무설시의 수평장력 3,746 kgf를 적용한 경우 지지점고저차에 따른 선로수평각도별 상시횡진각은 식(1)에 의해 그림 2와 같다.

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 상시횡진각을 20°로 제한할 경우 수평각도 및 지지점고저차 등의 선로조건에 따라 V선 애자장치의 적용에 제한을 받고 있음을 알 수 있다.

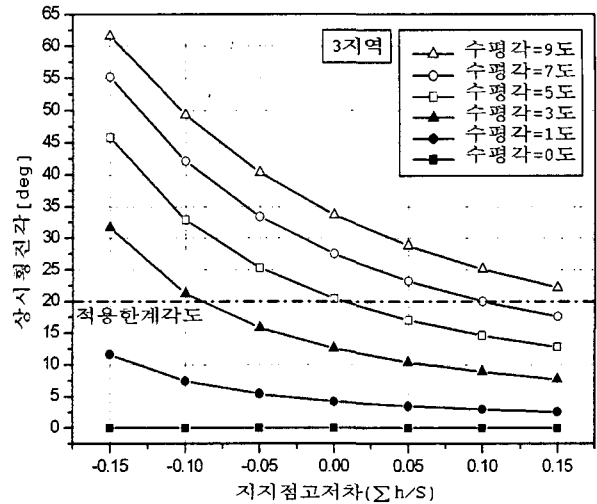


그림 2. 지지점고저차에 따른 수평각도별 상시횡진각

Fig. 2 Normal swing angles for difference of tower height at each horizontal angle

3.2 바람에 의한 횡진각

바람에 의한 현수클램프의 횡진은 V선 현수애자련의 V 각도가 90°인 경우 편측 애자련의 각도(45°) 이하를 유지하도록 설계하여야 한다. 이는 강풍시에도 애자련이 무장력으로 되는 것을 방지하기 위한 것이며, 설계조건은 온도 10℃, 풍속 26m/s 시의 수평장력을 적용하였다.

바람에 의한 횡진시 원칙적으로 상정 최대풍속에서 $H/V \leq \tan(45^\circ)=1$ 을 확보해야 하지만 최대풍속을 적용하면 수직하중에 비해 수평하중이 크게 되어 $H/V \leq 1$ 의 조건을 만족시킬 수 없으며, 일반적으로 최대풍속의 발생빈도가 낮기 때문에 최대풍압의 50%에 해당하는 풍속에서 풍하중 애자련에 작용하는 하중이 무장력상태로 되지 않도록 설계하고 있다. 한전 송전설계기준-1111(철탑설계기준)상의 II지역을 기준으로 할 경우 기준속도압 100 kg/m², 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 적용하였다.[2]

바람에 의한 현수클램프점의 횡진각은 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℃, 풍속 26m/s시의 수평장력 (kgf)

W_w : 10℃, 26m/s시의 전선풍압하중 (kg/m)

S_m : 하중경간 길이 (m)

765kV 6도체 송전선로의 표준경간 500m, ACSR/AW 480 mm² Cardinal 전선, 3지역 26m/sec시의 수평장력 4,459 kgf를

적용한 경우 풍속 26m/sec에서의 지지점고저차별 클램프 횡진각은 식(2)에 의해 그림 3과 같다.

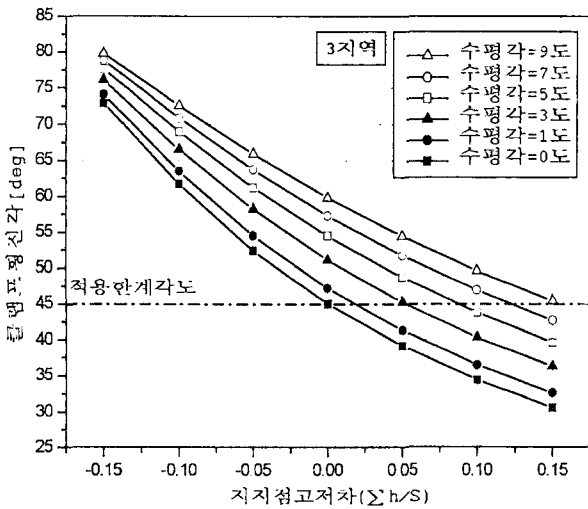


그림 3. 지지점고저차에 따른 수평각별 바람에 의한 횡진각

Fig. 3 Swing angle induced wind for difference of tower height at each horizontal angle

그림 3에서 바람에 의한 허용횡진각을 45°이하로 만족시키기 위해서는 수평각 및 지지점고저차 등의 선로조건에 따라 적용개소에 많은 제약을 받게 된다. 즉 경간길이가 500m이고, 지지점고저차가 0.0인 선로의 경우 수평각이 0°가 아닌 경우 적용한계각도인 45°를 초과하기 때문에 V련 현수애자장치를 적용할 수 없다고 볼 수 있다.

3.3 최소수직하중

V련 현수애자장치의 클램프 횡진각은 수직하중에 대한 수평하중의 비로 나타나므로 수직하중이 클수록 횡진특성이 양호하게 된다. 또한 수직하중이 너무 작으면 V련 애자력이 자중에 의해 곡선으로 처진 상태로 설치되므로 절연거리를 확보할 수 없게 된다. 따라서 V련 현수애자장치의 안정된 설치조건을 확보하기 위해서는 최소수직하중에 대한 제약조건이 필요하며, 수직하중은 선로조건에 의해 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

$$V_w \geq n \cdot [W_c S_m + T_3 \mathcal{E}(h/S)] \quad (3)$$

n : 소도체수

: 10°C, 무풍무설(EDS)시의 수평장력 (kgf)

4. 선로조건에 따른 V련 현수애자장치의 설치범위

이상에서 검토한 바와 같이 V련 현수애자장치를 적용하기 위해서는 선로수평각에 의한 상시횡진각, 바람에 의한 횡진각 및 최소수직하중의 조건을 모두 만족한 경우에 설치가 가능하다. V련애자장치의 적용기준으로 상시횡진각은 20°이하, 최대풍압하중의 50% 하중에서의 클램프횡진각은 II지역 기준을 적용하여 10°C, 26m/s에서의 클램프횡진각을 45°이하로 적용

하고, 최소수직하중은 1,500 kgf로 가정하였다.

이상의 적용기준에 의해 경간길이 300~700m에 대해 V련 현수애자장치를 적용할 수 있는 선로조건을 해석해 본 결과 그림 4와 같이 나타났다. 그림 4에서 대부분의 경우 바람에 의한 클램프횡진각 조건에 의해 선로조건이 결정되지만 수평

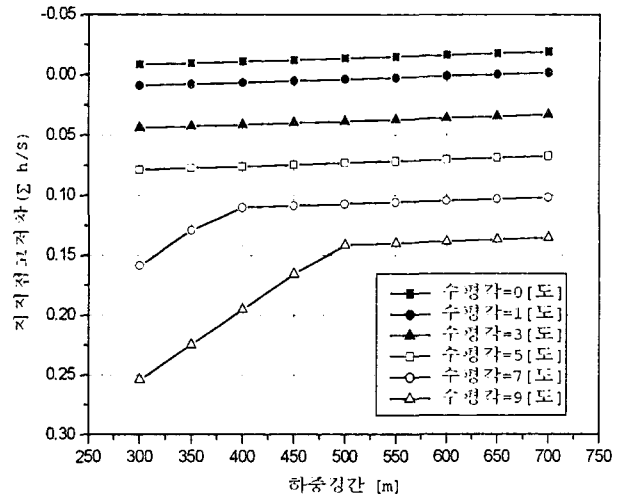


그림 4. 하중경간에 따른 V련애자장치의 설치범위

Fig. 4 Applicable condition of V type string sets according to weight spans

각 7°에서 하중경간 400m이하와 수평각 9°에서 500m이하에서는 상시횡진각에 의해 적용가능한 선로조건이 결정되는 것으로 나타났다.

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 선로구성에 따라 V련 현수애자장치의 적용여부가 결정되기 때문에 765kV 송전선로에 대한 V련 현수애자장치의 설계시 선로조건에 따른 V련 현수장치의 적용가능 여부를 사전에 검토하고, 현수장치의 적용이 곤란한 개소에는 허용횡진각을 크게 하거나 내장애자장치로 철탑형을 변경하는 등의 대책을 세워야 한다.

5. V련 현수애자장치의 설계

5.1 상시횡진각에 따른 요크의 설계

선로수평각에 의해 현수클램프는 상시횡진각 만큼 기울어져 설치되게 된다. 이 경우 좌·우측 애자력은 평상시에도 불평형상태로 설치되게 되고, 전선의 배치는 정육각형 배치를 유지할 수 없게 된다. 이를 보완하기 위해서는 상시횡진 하중만큼 무게중심을 이동시킬 필요가 있으며, 본 연구에서는 상시횡진각에 따라 6도체 지지요크를 여러 개로 설계하였다. 그림 5의 (a)는 수평각이 0인 선로에서 V련 현수애자장치의 하중중심인 점 A와 도체의 하중중심인 점 B가 수직선상에 위치하여 일치한 상태를 나타낸다. 그러나 (b)의 경우는 V련 현수애자장치의 하중중심인 점 A와 도체의 하중중심인 점 B가 수직선상에 일치하지 않도록 설계되었다. 이것은 수평각이 존재하는 선로에서 상시횡진에 의한 도체군(bundle)의 회전 방지하도록 도체의 중심을 수평각 내측으로 이동시킴으로서 6도체가 지면에 대해 정육각형으로 배치되도록 설계한 것이다.

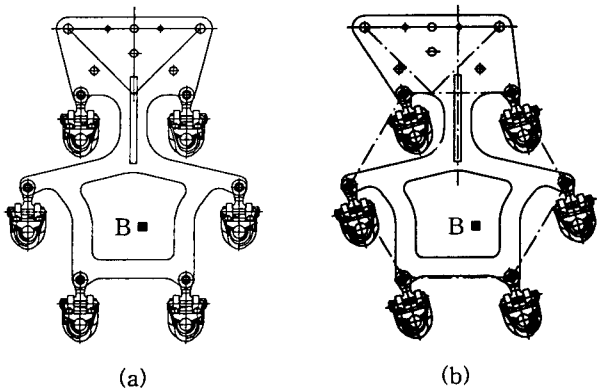


그림 5. V형 현수애자장치의 6도체 지지요크 형상
Fig. 5 A shape of 6 conductor yoke for V type string sets

이와 같이 6도체 지지요크는 선로조건에 따라 수평각과 상시횡진각이 다르기 때문에 철탑별로 설계하는 것이 바람직하지만 제품의 관리와 시공성, 경제성 등을 고려하여 실선로 적용에 있어서는 몇 개의 종류로 구분하여 적용하는 것이 더 효과적이라고 판단된다.

따라서 본 논문에서는 6도체 지지요크를 4개 종류로 구분하여 설계하고, 상시횡진각에 따라 적합한 요크를 선정하여 사용할 수 있도록 하였다. 6도체 지지요크의 종류별 상시횡진각의 적용범위는 표 3과 같다. 표 3에서 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°

5.2 애자련 간격의 적용

V형현수애자장치의 종류 중에서 편측 애자련이 2련인 300kN×4련 및 400kN×4련 애자장치의 경우 강풍에 의해 풍하중의 애자련에 작용하는 장력이 현저히 저하되어 애자련간의 접촉이 발생할 우려가 있다. 이때 접촉에 의한 애자과손을 방지하기 위해 애자련의 간격을 조정하였다. 국내 345kV 및 765kV 송전선로의 현수애자련에서 300kN 및 400kN 애자련에 대해 모두 500mm 간격으로 설치하고 있으나 일본 구주 전력의 V형현수애자련에서 애자련간의 접촉에 의한 애자과손사고가 보고된 바 있고, 애자련간의 간격을 550mm로 조정하여 접촉사고에 대한 대책을 수립한 것으로 조사되었다.[5-6]

본 연구에서는 수평하중에 의한 애자련간의 접촉현상에 대한 실험을 실시한 결과 300kN×4련은 500mm로 적용해도 애자련간의 접촉현상은 발생지 않았으나 400kN×4련의 경우에는 접촉현상이 발생하였으므로 애자련간격을 550mm로 적용하였다.

5.3 아킹흔 및 접지흔 설계

765kV용 V형 애자장치는 애자련 길이가 길어서 아킹흔이 길어지기 때문에 애자련간에서 섬락을 유도시키기 위한 애자련 흔의 설치가 어렵다. 따라서 애자련간 섬락보다는 철탑암측과 전선측 아킹링과의 사이에 섬락경로를 만들어 주는 것으로 설계하였으며, 애자련에는 오손섬락으로부터 애자를 보호하기 위한 보조흔을 설치하도록 설계하였다. 또한 유지보수시 접지를 시행하기 위한 접지흔을 별도로 설치하였다.

5.4 V형 현수애자장치의 조립도

이상과 같이 설계된 초고압 송전선로용으로 V형 현수애자장치로서 400kN×2련 애자장치는 그림 6에, 400kN×4련 애자장치는 그림 7에 나타내고, 300kN×4련 애자장치의 조립도는 생략하였다.

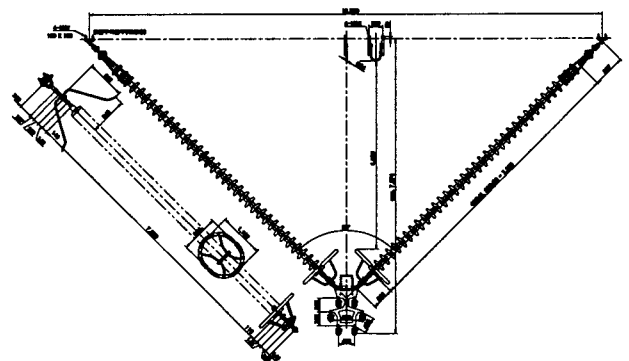


그림 6. V형 현수애자장치 조립도(400kN×2련)
Fig. 6 Assembly drawing of V type string set(400kN×2)

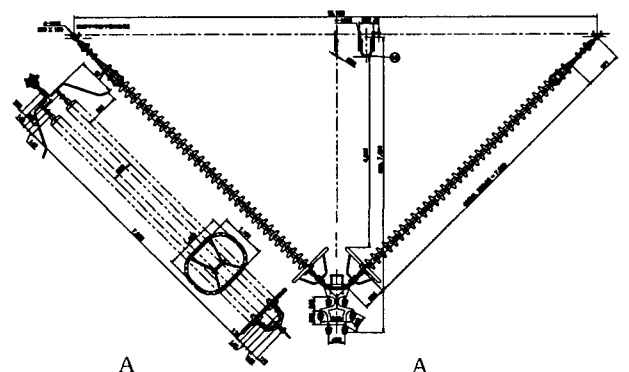


그림 7. V형 현수애자장치 조립도(400kN×4련)
Fig. 7 Assembly drawing of V type string set(400kN×4)

6. V형 현수애자장치의 횡진특성

765kV 1회선 송전선로에 사용될 400kN×2련, 300kN×4련, 400kN×4련에 대해 최소수직하중인 1,500 kgf를 추를 이용하여 인가하고, 로드셀이 연결된 수평와이어에 호이스트를 이용하여 수평하중을 인가하도록 그림 8 및 그림 9와 같이 실험 설비를 구성하였다. 수평인가하중을 변화시키면서 클램프의 횡진각과 중심점이동거리를 측정하였고, 실험결과 클램프횡진

각 및 중심점이동거리는 각각 그림 10 및 그림 11과 같이 나타났다.

그림 10에서 동일한 수직하중에서의 클램프회진각은 애자련의 중량이 무거울수록 작게 나타났으며, 수직하중과 수평하중이 동일한 경우 클램프회진각은 약 35°~40°정도로서 제한치인 45°를 초과하지 않음을 확인하였다.

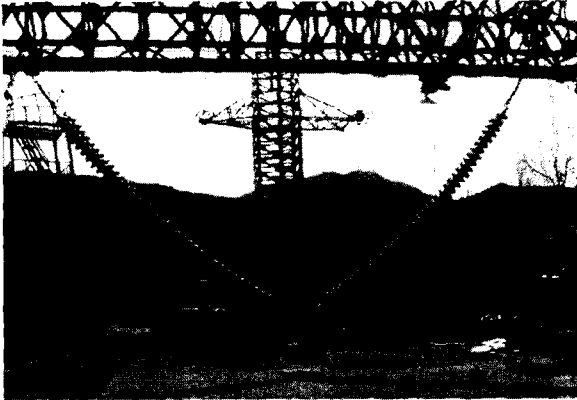


그림 8. 회진특성 실험장면
Fig. 8 Test situation of horizontal swing characteristics

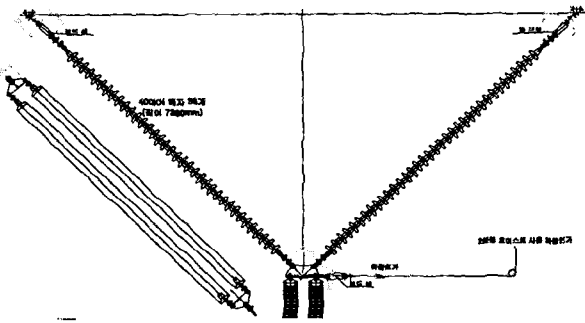


그림 9. 회진특성 실험의 배치도
Fig. 9 Configuration of horizontal swing test facilities

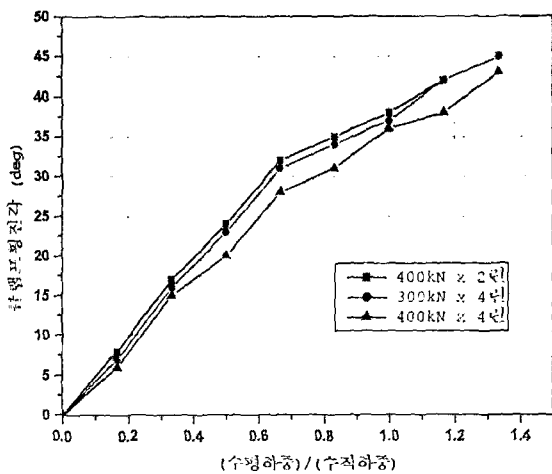


그림 10. 수평하중에 따른 클램프회진각
Fig. 10 Swing angle of suspension clamp according to variable horizontal loads

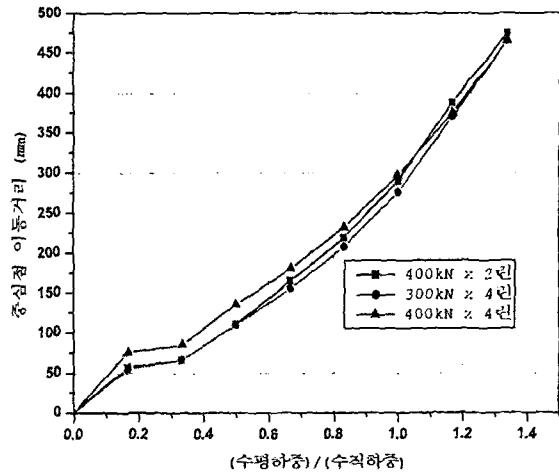


그림 11. 수평하중에 따른 중심점이동거리
Fig. 11 Moving distance of mass center point according to horizontal variable loads

그림 11에서 중심점이동거리는 애자장치의 종류에 관계없이 거의 동일하게 나타났으며, 수직하중과 수평하중이 동일한 경우 약 300mm정도 이동하는 것으로 나타났다.

이상과 같이 현수클램프의 회진특성은 그림 10과 같이 회진각이 36°~37°정도로서 허용회진각 45°이하로 나타났으며, 금구 및 애자 상호간 유해한 접촉현상도 발생하지 않았다. 또한 수평하중 인가시 중심점의 이동거리는 300mm 이하로서 규정치인 600mm를 초과하지 않음을 확인하였다.

7. 결 론

국내에서 아직 적용한 예가 없는 V련 현수애자장치에 대한 설치조건과 설계내용을 정리하고, 각종 성능확인을 위한 특성시험 결과를 정리하였다.

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

(2) V련 현수애자장치를 설치하기 위한 선로조건을 검토하고, 선로조건에 따른 설치범위를 제시하였다.

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

(3) 애자련간의 접촉에 의한 파손을 방지하기 위하여 400kN×4련의 경우 애자련 간격을 550mm로 설계하였으며, 과전압의 섬락경로는 철탑측 아킹혼과 전선측 아킹링으로 유도되도록 설계하였다.

(4) 개발된 제품에 대해 클램프 회진각에 대한 실험결과 45°이하의 성능을 확인하였고, 중심점이동거리에 대한 실험결과 300mm이하로서 규정치인 600mm를 초과하지 않음을 확인하였다.

(5) 따라서 V련 현수애자장치의 실선로 적용시 상시회진각의 허용범위는 20°이하, 바람에 의한 회진각의 허용범위는 45°이하, 최소수직하중은 1,500kgf로 적용할 것을 제안한다.

참고 문헌

- [1] 전기협동연구회, “송전용 애자장치”, 전기협동연구 제34권 제2호, 1978.
- [2] 한국전력공사, “765kV 송전선로용 V련애자장치 개발”, 최종보고서, 2004. 4.
- [3] 전력연구원, “송전 설계기준 제·개정 및 보완연구”, 최종보고서, 2001. 5.
- [4] 동경전력 공무부, “가공송전설계의 수인”, 1993.
- [5] 구주전력, “송전용 V조 현수애자장치”, 2003.2.
- [6] M.Sasamoto, Y.Nakagawa, “Resent 500kV Insulator String Assembly”, Daido Electric Industries Co., Ltd.

저 자 소 개



손 홍 관 (孫 洪 寬)

1962년 3월 21일생. 1985년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1987~현재 한국전기연구원 전력연구단 선임연구원.
 관심분야 : 송배전선로 설계와 관련 장치 개발, 초고압 송전선로의 활선작업
 Tel : 055-280-1341 Fax : 055-280-1390
 E-mail : hksohn@keri.re.kr



민 병 옥 (閔 丙 旭)

1955년 3월 3일생. 1988년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1994년 대전산업대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1976년~현재 한국전력공사 송변전건설처 송전건설팀장
 관심분야 : 송전선로 설계, 시공, 관리, 운영, 송전 기자재 및 송전기술계산시스템 개발
 Tel 02-3456-5120 Fax 02-3456-5169
 E-mail : bymin@kepco.co.kr



이 형 권 (李 亨 勸)

1960년 1월 13일생. 1983년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학박사). 1984~현재 한국전기연구원 전력연구단 책임연구원
 관심분야 : 송배전선로 설계와 관련 장치 개발, 초고압 송전선로의 활선작업
 Tel : 055-280-1340 Fax : 055-280-1390
 E-mail : hklee@keri.re.kr