

횡진특성에 의한 345kV용 조립식점퍼장치 수평재의 적정 굵기 선정

손 흥 관
한국전기연구소

이 은 웅
충남대학교

A Selection of proper Horizontal Rod Size by swing characteristics for 345kV Prefabricated Jumper Devices

H. K. SOHN
KERI

E. W. LEE
CHUNGNAM UNIV.

1. 서 론

가공송전선의 점퍼장치는 송전선로의 초고압화, 다도체화에 따라 그 규모가 점점 커지고 있고, 또한 같은 송전선로 내에서도 설치지역에 따라 오손등급이 다르면 오손이 심한 지역일수록 애자수를 증가시켜 절연거리를 길게 하기 때문에 애자련의 길이가 커지게 되고 여기에 설치되는 점퍼장치의 규모도 역시 커지게 된다. 이와 같이 점퍼장치의 규모가 커질수록 철탑이 높아지고, 철탑 암의 길이 및 선하용지(ROW, Right Of Way)가 커지며, 바람에 의한 횡진특성이 나빠지게 된다. 따라서 이러한 문제점들을 개선하기 위해서 외국에서는 여러 종류의 점퍼장치를 개발하여 사용하고 있으며, 국내에서도 현재 건설중인 765kV 송전선로의 점퍼장치에 국내 최초로 조립식점퍼장치를 적용함으로써 경제적 및 시간적인 절감효과를 보게 되었다.

또한 앞으로는 345kV 송전선로의 신설계통에도 조립식점퍼장치를 적용하여 시공시간 및 비용의 절감을 검토할 필요성이 있다고 판단된다. 특히 345kV 신설 송전선로 중에서도 오손이 심한 해안지역을 통과하는 선로는 적용 애자의 수가 증가되어 조립식점퍼장치를 적용할 필요성이 강력히 대두되고 있다.

조립식 점퍼장치의 적용은 철탑의 높이를 저감시키고, 횡진특성을 개선해 암의 길이 및 ROW를 축소시키며, 시공작업 및 기간을 단축시키는 등의 잇점이 있다. 이를 적용하는데 있어서 기술적으로 가장 중요한 부분이 점퍼장치의 횡진특성을 해석하는 부분이라고 할 수 있다. 따라서 345kV용 조립식점퍼장치의 개발에 앞서 조립식점퍼장치 수평재의 적정 굵기를 선정할 필요가 있으며, 수평재의 굵기를 선정하기 위해서는 강관의 기계적인 강도 및 처짐량과 횡진특성에 의한 횡진억제용 중량물의 적용범위 최소화 등을 검토할 필요가 있다.

본 논문에서는 각종 수평재의 단위길이당 중량에 대한 횡진특성을 검토하여 횡진억제용 중량물을 가능한한 추가 설치하지 않아도 되는 수평재의 굵기 및 두께를 선정하고자 한다.

2. 조립식점퍼장치의 횡진특성

조립식점퍼장치의 횡진특성은 정적인 횡진과 동적인 횡진으로 구분하여 해석되며, 각각에 대해서 구한 값은 다음의 식(1)에 의하여 횡진특성을 고려하게 된다.

$$\theta_{max} = \theta + N\sigma_p \quad (1)$$

2.1 정적인 횡진특성

해석대상인 조립식 점퍼장치의 형태는 일반적으로 그림 1. 과 같이 간략하게 나타낼 수 있다. 즉 345kV용 조립식 점퍼장치를 765kV 송전선로의 점퍼장치와 같은 형태의 구조로 가정하였다.

한편 그림 1 과 같은 형상의 점퍼장치가 바람에 의해 진동하는 경우 점퍼장치의 정적인 횡진각은 다음 식 (2) 및

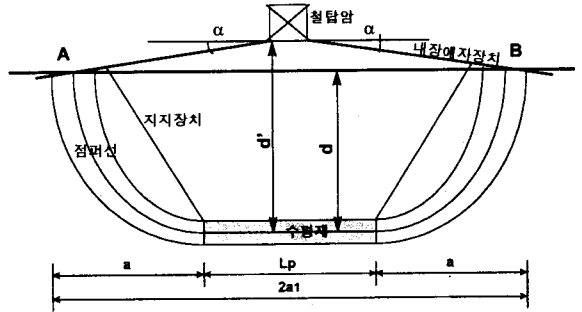


그림 1. 조립식 점퍼장치를 간략화한 형상

Fig 1. Simplified model of prefabricated jumper devices

(3)의 관계에 의해 추정할 수 있다.[1]

$$\theta = \frac{M}{K} \quad (2)$$

$$M = M_J + M_L$$

$$= m^2 \left(\sinh \frac{a}{m} \cosh \frac{a}{m} - \frac{a}{m} \right) \left(\frac{\ell^*}{\ell} \rho \cos \theta - w \sin \theta \right) \quad (3)$$

$$+ L_p d (\rho_L \cos \theta - w_L \sin \theta)$$

- 단, M : 점퍼장치의 모멘트
- K : 애자련의 비틀림상수
- m : 카테너리상수
- d : 점퍼깊이[m]
- $\ell = \sqrt{a^2 + d^2}$
- $\ell^* = \sqrt{a^2 + d^2 \cos^2 \theta}$
- ρ : 점퍼선부분의 단위길이당 풍압 [kg/m]
- w : 점퍼선부분의 단위길이당 중량 [kg/m]
- L_p : 수평재부분의 길이 [m]
- ρ_L : 수평재부분의 단위길이당 풍압 [kg/m]
- w_L : 수평재부분의 단위길이당 중량 [kg/m]

그런데 식 (2)는 비선형방정식이므로 해를 구하기 위해서는 수치해법에 의한 반복계산에 의하여 구할 수 있다. 이 때 바람은 일시에 규정속도(36.6(m/sec))에 도달하는 것이 아니고, 점진적으로 풍속이 증가한다고 보는 것이 타당하다. 따라서 풍속의 증가를 n단계로 구분하여 해석한다면 식 (2)의 각 변수는 풍속의 단계마다 다음과 같은 변화를 고려해야 한다.

$$d' = d \cdot \cos \theta$$

$$\ell' = \sqrt{a^2 + d'^2} \quad (4)$$

$$\rho'' = \sqrt{a^2 + d'^2 \cos^2 \theta}$$

$$p' = p \cdot \cos \theta$$

또한 점퍼선의 형상도 점퍼선의 이도에 따라 계속 변하게 되므로 카테너리상수 m도 변한다.

2.2 동적인 횡진특성

점퍼장치의 동적인 횡진특성을 해석하기 위해서는 점퍼선의 동적인 운동방정식을 유도함으로써 가능하다. 점퍼선의 횡진각을 $\theta_p = \theta + \varphi$ 라 두고 평균횡진각 θ_p 를 중심으로 미소한 각 φ 만큼 변동한다고 가정하면 점퍼선의 운동방정식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\varepsilon \frac{d\varphi}{dt} + n^2\varphi = F \frac{\Delta V}{V_0} \quad (5)$$

여기서 φ : 평균횡진각 θ 로부터의 변동각
 ε : 감쇄상수
 n : 진동율
 V_0 : 평균풍속
 ΔV : 평균풍속으로부터의 풍속변동분
 F : 풍압에 관한 계수

그런데 식(5)의 계수 ε , n , F 는 점퍼장치의 종류에 따라 다르므로 각 점퍼장치의 특성에 따라 각 부분의 풍압모멘트, 관성모멘트, 자중 등에 의해 그 계수를 산정해야 한다.

이들 계수는 점퍼장치의 평균횡진각의 표준편차를 추정하는데 사용되는데, Davenport의 난류이론에 의하면 지표면 저항계수를 k 라 할 때 다음과 같이 간략화할 수 있다.

$$\sigma_p \approx 0.3077 \frac{\sqrt{k} F V^{1/3}}{\sqrt{\varepsilon} n^{11/6}} \quad (6)$$

즉, 점퍼장치의 횡진각은 평균횡진각 θ 와 분산 σ_p^2 을 갖는 정규분포 특성을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 점퍼장치의 최대횡진각은 식 (1)의 관계에 의해서 구할 수 있다.

3. 수평재의 적정 굵기 선정

345kV용 조립식점퍼장치의 수평재로 강관을 사용할 경우 수평재의 굵기 및 두께를 결정하기 위해서는 수평재에 작용하는 하중, 즉 수평재의 자중, 횡진억제용 중량물에 의한 하중, 작업시 하중, 적설하중, 경간전선의 진동에 의한 종진동하중 등을 고려한 기계적인 강도를 검토하여야 한다. 또한 횡진억제용 중량물을 설치하지 않아도 되는 범위를 가능한한 확대하는 것이 경제적으로나 시공상 등의 잇점이 있으며, 횡진억제의 측면에서는 중량이 클수록 특성이 좋은 것은 아니다. 따라서 횡진특성 측면에서의 적정 굵기를 검토할 필요가 있다. 본 논문에서는 기계적인 강도는 논외로 하고, 횡진특성에 의한 수평재의 적정 굵기에 대하여 검토하고자 한다.

3.1 해석조건

해석에 사용된 조건은 표1과 같은 345kV 송전선로의 실제 데이터를 적용하되 오손이 심한 지역의 송전선로와 일반개소의 두 경우에 대하여 검토하였다. 또한 수평재의 단위 길이당 중량에 따른 횡진특성의 분포를 해석하여 수평재의 선정시 적용할 수 있도록 하였다.

한편 수평재용 강관은 표준규격(KSD-3566) 중에서 선정하여 자재 구입 및 제작성을 고려하였으며, 재질은 일반구조용 탄소강관을 사용하는 것으로 하였다. 표2에

대상으로 하는 강관의 외경 및 두께, 중량에 대하여 나타냈다.

표 1. 해석조건

Table 1. The applied conditions

해석조건	적용조건	해석조건	적용조건
애자장치	2련내장	점퍼깊이	3,300mm
애자수량	28개, 20개	평균풍속	36.6m/sec
적용애자	400kN	돌 풍 율	1.37
소도체수	4도체	최대횡진각	40도
도체종류	Cardinal/AW	수평재길이	8(m),6(m)

표 2. 검토 대상의 강관(KSD-3566-83)

Table 2. The considered steel pipes

외경 [mm]	두께 [mm]	중량 [kg/m]	외경 [mm]	두께 [mm]	중량 [kg/m]
101.6			139.8	3.6	12.1
	3.2	7.76		4.0	13.4
	4.0	9.63		4.5	15.0
	5.0	11.9		6.0	19.8
114.3	3.2	8.77	165.2	4.5	17.8
	3.6	9.83		5.0	19.8
	4.5	12.2		6.0	23.6
	5.6	15.0		7.0	27.3

3.2 해석결과

우선 345kV 송전선로 중에서 오손이 심한 C, D지역에 적용이 가능한 애자 28개 지역의 카테너리각도가 0도인 개소에 대하여 해석한 결과를 그림2에 나타냈다.

일반적으로 같은 풍압면적에서는 단위길이당 중량이 커질수록 횡진특성이 좋아지지만, 풍압면적과 중량이 함께 변하는 경우에는 자세히 검토할 필요가 있다. 왜냐하면 강관의 경우 풍압계수의 적용을 외경이 146(mm)이상이면 0.75, 이하이면 1.2를 적용하기 때문이다.

그림 2의 해석결과로 볼 때 강관의 선정은 165.2 [mm] 또는 101.6(mm)의 외경이 가장 유리하지만, 후자의 것은 단위중량 21(kg/m)의 두께가 없으므로 적용이 불가능하다. 따라서 전자의 것이 적합하다고 판단되며, 외경 139.8(mm)의 강관은 많이 불리한 것으로 해석되었다.

한편 그림3은 오손의 정도가 심하지 않은 개소에도 위의 결과를 그대로 적용 가능한지를 검토한 것으로서 거의 같은 결과를 얻었으며, 이 결과는 345kV 송전선로 전체에 적용이 가능하다고 판단된다.

그러나 카테너리각이 0[도]가 아닌 5~10[도]이하에서 횡진억제용 중량물의 경계선을 잡는다면 114.3 [mm]의 강관을 적용하는 것이 경제적인 수도 있으나 이는 기계적인 강도와 함께 종합적으로 검토하여 선정하는 것이 원칙이다.

4. 결 론

본 논문에서는 향후 345kV 송전선로에 적용될 것으로 추정되는 조립식점퍼장치의 수평재용 강관의 선정에 대하여 횡진특성 측면에서 검토하였다. 검토결과 외경 165.2(mm)의 강관이 적정하다고 판단되며, 외경 139.8 [mm]의 강관은 특성이 좋지 않은 것으로 해석되었다.

그러나 검토하는 카테너리각에 따라 외경 114.3 [mm]의 강관도 좋은 특성을 보여주고 있음을 알 수 있었다.

이 결과는 향후 345kV용 조립식점퍼장치의 설계시 활용이 가능하다고 판단된다.

[참고 문헌]

- [1] 전기협동연구회, "다도체용 전선부속품", 전기협동연구, 제 41권 제3호, pp.34~59, 1985.12
- [2] 손홍관,이은웅,조성배, "조립식점퍼장치의 정적인 진동특성 해석연구", 1997년 전기기기연구회 춘계학술발표회 논문집, pp.62~66, 1997. 4
- [3] 손홍관,이은웅,조성배, "조립식점퍼장치의 횡진동특성 해석에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 제46권 제9호, 1997. 9
- [4] 손홍관,이은웅, "현수1련을 부가한 점퍼장치의 횡진역제효과 분석", 1997년 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.35~37, 1997. 11
- [5] 손홍관,이은웅, "풍압면적의 변화를 고려한 점퍼장치의 횡진 특성 분석", 1998년 전기기기연구회 춘계학술발표회 논문집, pp.66~68, 1998.5

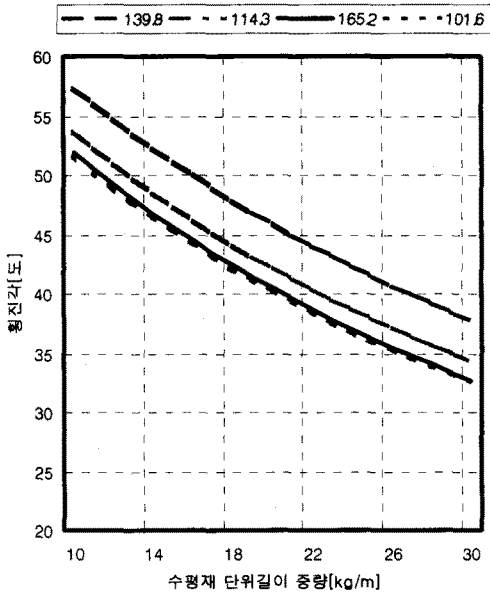


그림 2. 해석결과(수평재 8(m), 애자 28개 경우)
Fig 2. Results of estimation
(pipe = 8(m), 28 strings/set)

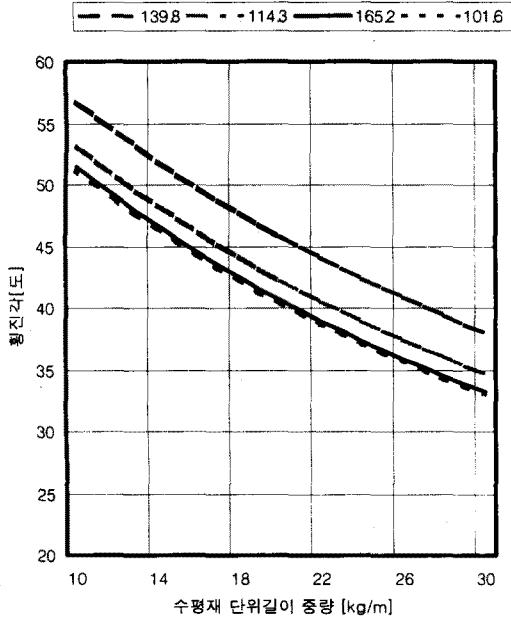


그림 3. 해석결과(수평재 6(m), 애자 20개 경우)
Fig 3. Results of estimation
(pipe = 6(m), 20 strings/set)