

수평지선 및 지선주 강도계산식 연구

왕윤찬, 김상규
대전 중앙교육원

A Study on Formulas for Strength of Pole to Stub Guy and Stub

Yoon-Chan Wong, Sang-Kyu Kim
KEPCO Central Education Institute

Abstract - 가공배전선로 건설시 도로 등과 같이 보통지선을 시설할 수 없는 장소에 수평지선을 시설하는데, 현재까지는 수평지선, 지선주 및 지선주용 보통지선의 강도를 설계시 활용할 수 있는 실질적인 계산식이 없었다. 따라서 본 논문에서는 보통지선 강도계산식의 개념을 활용하여 설계자가 알 수 있는 변수들로 수평지선, 보통지선이 없는 지선주 및 지선주용 보통지선 강도계산식을 새로이 개발하여 제시하였다.

ℓ_s : 본주와 지선주 사이의 지표면상 수평거리 [m]
 ℓ_p : 지선주의 경사로 인해 증가된 지선 수평거리의 증가분 [m]
 Θ_p : 지선주와 지표상 수직선 사이의 각도 [°]
 $\Theta_p = 90^\circ - \Theta_{sp}$ (식 6)
 Θ_{sp} : 지선주와 지표면 사이의 각도 [°]

1. 서 론

가공배전선로 건설시 도로 등과 같이 사람 또는 차량의 통행에 지장이 되는 장소에는 보통지선을 시설할 수 없는데 이 경우 수평지선을 시설하여야 한다. 이때 설계자는 수평지선의 강도, 보통지선이 없는 지선주의 강도 또는 지선주용 보통지선의 강도를 계산하여야 하지만 현재까지 설계자가 현장에서 적용할 수 있는 강도계산식이 없었다. 따라서 본 논문에서는 보통지선 강도계산식의 개념을 활용하여 설계자가 알 수 있는 변수들로 수평지선, 보통지선이 없는 지선주 및 지선주용 보통지선의 강도계산식을 새로이 개발하여 제시함으로써 재해 내습시 가공배전선로의 설비피해 최소화를 도모하고자 한다.

상기 식들의 h_s 및 ℓ_{sp} 를 (식 4)에 대입하면 수평지선의 상정최대장력 계산식을 다음과 정리할 수 있다.

$$T_s = \frac{KM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_g - h_{sp} \cos \Theta_p}{\ell_s + h_{sp} \sin \Theta_p}\right)^2 + 1} \text{ (식 7)}$$

따라서 수평지선주에 시설되는 지선의 강도는 지선에 작용하는 상정최대장력에 지선의 안전율을 적용한 값보다 커야하므로 다음과 같이 계산하면 된다.

$$T_{sg} \geq KFT_s \text{ (식 8)}$$

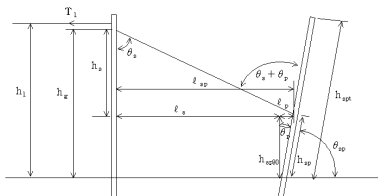
$$\geq \frac{KFM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_g - h_{sp} \cos \Theta_p}{\ell_s + h_{sp} \sin \Theta_p}\right)^2 + 1} \text{ (식 9)}$$

단, T_{sg} : 수평지선의 최소 인장하중 [kg]
 F : 지선의 안전율 (양형지선 = 2.5, 기타 = 1.5)

2. 본 론

2.1 수평지선 강도계산식 연구

2.1.1 수평지선 강도계산 기본공식



<그림 1> 보통지선이 없는 지선주 및 수평지선

Θ_{sp} 각도로 경사진 지선주에 시설할 수평지선에 작용할 상정최대장력의 계산식은 다음과 같다.

$$T_s = \frac{KM}{h_g \sin \Theta_s} \text{ (식 1)}$$

단, T_s : 수평지선에 작용하는 상정최대장력 [kg]
 K : 지선계수 (양형지선 = 1/2, 인류 및 양중지선 = 1)
 M : 본주에 작용하는 외력에 의한 굽힘모멘트 [kg · m]
 h_g : 본주에서 지선 설치점까지의 지표상 높이 [m]
 Θ_s : 본주와 수평지선 사이의 각도 [°]

여기서,

$$\frac{1}{\sin \Theta} = \operatorname{cosec} \Theta = \sqrt{\left(\frac{h_g}{\ell_g}\right)^2 + 1} \text{ (식 2)}$$

단, ℓ_g : 보통지선의 근계 [m]

이므로 (식 2)는 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$T_s = \frac{KM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_s}{\ell_{sp}}\right)^2 + 1} \text{ (식 3)}$$

단, h_s : 본주와 지선주의 지선 설치점 사이의 높이차 [m]
 ℓ_{sp} : 본주와 지선주의 지선 설치점 사이의 수평거리 [m]

여기서 h_s 및 ℓ_{sp} 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$h_s = h_g - h_{sp0} = h_g - h_{sp} \cos \Theta_p \text{ (식 4)}$$

$$\ell_{sp} = \ell_s + \ell_p = \ell_s + h_{sp} \sin \Theta_p \text{ (식 5)}$$

단, h_{sp0} : 지선주에서 수평지선 설치점까지의 지표상 수직 높이 [m]
 h_{sp} : 지표면부터 지선 설치점까지의 지선주상 높이 [m]

2.1.2 80° 경사 지선주의 수평지선 강도계산식

80°로 경사진 지선주의 경우 Θ_p 는 10°이다. 따라서 (식 9)에 Θ_p 를 10°로 대체하면 다음과 같이 된다.

$$T_{sg80} \geq \frac{KFM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_g - h_{sp} \cos 10^\circ}{\ell_s + h_{sp} \sin 10^\circ}\right)^2 + 1} \text{ (식 10)}$$

$\cos 10^\circ$ 와 $\sin 10^\circ$ 를 매번 계산하는 것은 불편하므로 계산값인 0.985와 0.174를 상기 식에 적용하면 다음과 같은 식이 최종적으로 된다.

$$T_{sg80} \geq \frac{KFM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_g - 0.985h_{sp}}{\ell_s + 0.174h_{sp}}\right)^2 + 1} \text{ (식 11)}$$

2.1.3 수직 지선주의 수평지선 강도계산식

도로면에서는 향후 배전선로의 연장 또는 미관을 고려하여 수직으로 지선주를 건주하는 경우가 많다. 수직으로 건주하는 경우 Θ_p 는 0°가 되므로 $\cos 0^\circ$ 와 $\sin 0^\circ$ 의 계산값인 1과 0을 (식 9)에 적용하면 다음과 같은 식이 된다.

$$T_{sg90} \geq \frac{KFM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_g - h_{sp}}{\ell_s}\right)^2 + 1} \text{ (식 12)}$$

2.2 보통지선이 없는 지선주 강도계산식 연구

2.2.1 보통지선이 없는 지선주 강도계산 기본공식

<그림 1>에서와 같이 지선주의 저항모멘트는 수평지선에 작용하는 상정최대장력에 의한 모멘트보다 커야한다. 따라서 지선주의 저항모멘트는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$M_{rs} \geq T_s h_{sp} \sin(\Theta_s + \Theta_p) \text{ (식 13)}$$

단, M_{rs} : 지선주의 저항모멘트 [kg · m]

T_s : 수평지선에 작용하는 상정최대장력 [kg]

h_{sp} : 지표면부터 지선 설치점까지의 지선주상 높이 [m]

Θ_s : 지선설치점과 수평지선 사이의 각도 [°]

Θ_p : 지선주와 지표상 수직선 사이의 각도 [°]

(식 13)에서 M_{rs} 는 다음과 같다.

$$M_{rs} = M_{rsc} + M_{rsp} \text{ (식 14)}$$

단, M_{rsc} : 지선주 자체의 저항모멘트 [kg · m]

$$M_{rsp} = P_{cs} h_{spt} \text{ (식 15)}$$

P_{cs} : 지선주의 설계하중 [kg]

h_{spt} : 지선주에서 지표면부터 전주끝(꼭대기,頂點) 하방 25cm 지점까지의 높이 [m]

M_{rsp} : 경사진 지선주의 중량에 의한 저항모멘트 [kg·m]

그러나 M_{rsp} 는 계산이 매우 복잡하고 설계의 편의성 및 지선주의 강도를 크게 확보하기 위하여 이를 무시하면 다음 식과 같이 된다.

$$M_{rs} \cong P_{cs}h_{spt} \geq T_s h_{sp} \sin(\theta_s + \theta_p) \dots\dots\dots (식 16)$$

상기 식의 T_s 에 (식 1)을 대입하여 정리하면

$$M_{rs} \geq KM \times \frac{h_{sp}}{h_g} \times \frac{\sin(\theta_s + \theta_p)}{\sin\theta_s} \dots\dots\dots (식 17)$$

이다. 여기서,

$$\sin(\theta_s + \theta_p) = \sin\theta_s \cos\theta_p + \cos\theta_s \sin\theta_p \dots\dots\dots (식 18)$$

이므로 이를 (식 17)에 대입하여 정리하면

$$M_{rs} \geq KM \times \frac{h_{sp}}{h_g} \times (\cos\theta_p + \sin\theta_p \frac{\cos\theta_s}{\sin\theta_s}) \dots\dots\dots (식 19)$$

이 된다.

$$\frac{\cos\theta_s}{\sin\theta_s} = \cot\theta_s = \frac{h_s}{\ell_{sp}} \dots\dots\dots (식 20)$$

이므로 이것을 (식 19)에 적용하면 다음과 같이 된다.

$$M_{rs} \geq KM \times \frac{h_{sp}}{h_g} \times (\cos\theta_p + \sin\theta_p \frac{h_s}{\ell_{sp}}) \dots\dots\dots (식 21)$$

상기 (식 4)와 (식 5)의 h_s 와 ℓ_{sp} 를 (식 21)에 대입하면 다음과 같이 지선주의 소요 저항모멘트를 계산하는 식이 된다.

$$M_{rs} \geq KM \times \frac{h_{sp}}{h_g} \times (\cos\theta_p + \sin\theta_p \frac{h_g - h_{sp} \cos\theta_p}{\ell_s + h_{sp} \sin\theta_p}) \dots\dots\dots (식 22)$$

2.2.2 보통지선이 없는 80° 경사 지선주의 강도계산식

80°로 경사진 지선주의 경우 θ_p 는 10°이므로 (식 22)에 $\cos 10^\circ$ 와 $\sin 10^\circ$ 의 계산값인 0.985와 0.174를 적용하면 다음과 같은 식이 된다.

$$M_{rs80} \geq KM \times \frac{h_{sp}}{h_g} \times (0.985 + 0.174 \frac{h_g - 0.985h_{sp}}{\ell_s + 0.174h_{sp}}) \dots\dots\dots (식 23)$$

2.2.3 보통지선이 없는 수직 지선주의 강도계산식

수직으로 건주하는 경우 θ_p 는 0°이므로 $\cos 0^\circ$ 와 $\sin 0^\circ$ 의 계산값인 1과 0을 (식 2)에 적용하면 다음과 같은 식이 된다.

$$M_{rs90} \geq KM \times \frac{h_{sp}}{h_g} \dots\dots\dots (식 24)$$

2.2.4 콘크리트전주 종류별 길이별 저항모멘트

콘크리트전주 종류별 길이별 저항모멘트 $P_{cs}h_{spt}$ 는 다음 표와 같으므로 지선주 강도계산결과와 비교하여 콘크리트전주의 종류 및 길이를 선정하면 된다.

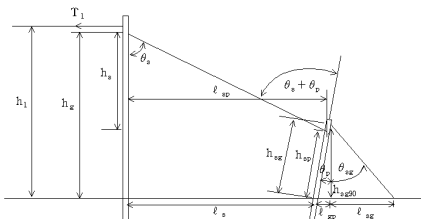
〈표 1〉 콘크리트전주 종류별 길이별 저항모멘트 [kg·m]

전주길이(M)	일반용	중하중용	고강도용
10	2,818	4,025	-
12	4,875	6,825	-
14	5,675	7,945	11,050
16	6,625	9,275	12,950

2.3 지선주용 보통지선 강도계산식 연구

2.3.1 지선주용 보통지선 강도계산 기본공식

지선주용 보통지선이 <그림 2>와 같이 시설될 때, 지선주용 보통지선은 지선주에 작용하는 굽힘모멘트에 대하여 지선의 안전율을 감안하여 시설하여야 한다. 따라서 (식 13)의 좌측면 지선주의 저항모멘트에 보통지선의 모멘트 계산식을 적용하여 정리하면 다음과 같이 계산식을 정의할 수 있다.



〈그림 2〉 지선주용 보통지선

$$T_{spg} \geq FT_s \frac{h_{sp}}{h_g} \frac{\sin(\theta_s + \theta_p)}{\sin(\theta_{sg} + \theta_p)} \dots\dots\dots (식 25)$$

단, T_{spg} : 지선주용 보통지선의 소요 인장하중[kg]

F : 지선의 안전율 (양형지선 2.5, 기타 1.5)

T_s : 수평지선에 작용하는 상정최대장력[kg]

h_{sp} : 지표면부터 수평지선 설치점까지의 지선주상 높이 [m]

h_{sg} : 지표면부터 보통지선 설치점까지의 지선주상 높이 [m]

θ_s : 본주와 수평지선 사이의 각도 [°]

θ_p : 지선주와 지표상 수직선 사이의 각도 [°]

θ_{sg} : 지선주용 보통지선과 지표상 수직선 사이의 각도 [°]

상기 식의 T_s 에 (식 1)을 대입하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$T_{spg} \geq KFM \times \frac{h_{sp}}{h_g h_{sg}} \times \frac{\sin(\theta_s + \theta_p)}{\sin\theta_s} \times \frac{1}{\sin(\theta_{sg} + \theta_p)} \dots\dots\dots (식 26)$$

단, h_g : 본주에서 수평지선 설치점까지의 지표상 높이 [m]

θ_s 및 θ_{sg} 는 설계시 계산하기 곤란하므로, 설계자가 확인할 있는 변수들로 식을 변환할 필요가 있다. 따라서 (식 17)~(식 22)의 결과에 의하면 상기 식의 각 부분은 다음과 같이 변환될 수 있다.

$$\frac{\sin(\theta_s + \theta_p)}{\sin\theta_s} = (\cos\theta_p + \sin\theta_p \frac{h_g - h_{sp} \cos\theta_p}{\ell_s + h_{sp} \sin\theta_p}) \dots\dots\dots (식 27)$$

$$\sin(\theta_{sg} + \theta_p) = \sin\theta_{sg} \cos\theta_p + \cos\theta_{sg} \sin\theta_p \dots\dots\dots (식 28)$$

상기 식들을 (식 26)에 적용하면 다음과 같다.

$$T_{spg} \geq \frac{KFMh_{sp}}{h_g h_{sg}} \times \frac{\cos\theta_p + \sin\theta_p \frac{h_g - h_{sp} \cos\theta_p}{\ell_s + h_{sp} \sin\theta_p}}{\sin\theta_{sg} \cos\theta_p + \cos\theta_{sg} \sin\theta_p} \dots\dots\dots (식 29)$$

여기서 $\sin\theta_{sg}$ 와 $\cos\theta_{sg}$ 는 다음 식들과 같이 계산할 수 있다.

$$\sin\theta_{sg} = \frac{\ell_{sg}}{\sqrt{h_{sg90}^2 + \ell_{sg}^2}} \dots\dots\dots (식 30)$$

$$\cos\theta_{sg} = \frac{h_{sg90}}{\sqrt{h_{sg90}^2 + \ell_{sg}^2}} \dots\dots\dots (식 31)$$

단, ℓ_s : 본주와 지선주 사이의 지표면상 수평거리 [m]

h_{sg90} : 지선주에서 보통지선 설치점까지의 지표상 수직 높이 [m]

ℓ_{sg} : 지선주 보통지선 설치점에서 지선로드 매입지점까지의 지표상 거리 [m]

그리고 상기 식들의 h_{sg90} 는 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$h_{sg90} = h_{sg} \cos\theta_p \dots\dots\dots (식 32)$$

따라서 (식 27)~(식 31)의 결과들을 (식 26)에 적용하여 이를 정리하면 다음과 같은 식이 된다.

$$T_{spg} \geq \frac{KFMh_{sp}}{h_g h_{sg}} \times \frac{1 + \tan\theta_p \frac{h_g - h_{sp} \cos\theta_p}{\ell_s + h_{sp} \sin\theta_p}}{\ell_{sg} + h_{sg} \sin\theta_p} \sqrt{(h_{sg} \cos\theta_p)^2 + \ell_{sg}^2} \dots\dots\dots (식 33)$$

2.3.2 80° 경사 지선주용 보통지선 강도계산식

지선주가 80°경사진 경우에 θ_p 는 10°이므로 $\cos 10^\circ$, $\sin 10^\circ$, $\tan 10^\circ$ 의 계산값인 0.985, 0.174 및 0.176를 (식 33)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식이 된다.

$$T_{spg80} \geq \frac{KFMh_{sp}}{h_g h_{sg}} \times \frac{1 + 0.176 \frac{h_g - 0.985h_{sp}}{\ell_s + 0.174h_{sp}}}{\ell_{sg} + 0.174h_{sg}} \sqrt{(0.985h_{sg})^2 + \ell_{sg}^2} \dots\dots\dots (식 34)$$

2.3.3 수직 지선주용 보통지선 강도계산식

지선주가 수직으로 설치된 경우에 θ_p 는 0°이므로 $\cos 0^\circ$ 는 1을 $\sin 0^\circ$ 및 $\tan 0^\circ$ 는 0의 값을 (식 33)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 단순화된다.

$$T_{spg90} \geq \frac{KFMh_{sp}}{h_g h_{sg}} \sqrt{(\frac{h_{sg}}{\ell_{sg}})^2 + 1} \dots\dots\dots (식 35)$$

3. 결 론

본 논문에서는 보통지선 강도계산 기본개념을 활용하여 현장 설계자들이 구할 수 있는 변수들을 적용하여 수평지선, 보통지선이 없는 지선주 및 지선주용 보통지선 강도계산 기본공식을 개발하였으며, 지선주의 각도가 80°인 경우와 수직으로 건주하는 경우에 바로 적용할 수 있는 강도계산식들을 개발하였다.

따라서 본 논문에서 제시한 계산식을 활용하면 수평지선, 지선주 및 지선주용 보통지선의 규격을 정확하게 선정할 수 있으며, 그 결과 태풍과 같은 재해시에도 지지물의 도괴 및 절손과 같은 피해를 예방할 수 있어 전력공급 신뢰도가 향상될 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 왕용찬, “태풍대비 가공배전선 및 지선 시설방안에 관한 연구”, 한국 전력공사 현장기술개발과제 제2005-7호 최종보고서, 2005.12