

보통지선 강도계산식 개선방안 연구

왕윤찬
한전 중앙교육원

A Study on Improvement of Formula for Strength of Anchor Guy

Yoon-Chan Wong
KEPCO Central Education Institute

Abstract - 가공배전선로에 시설되는 지선은 지선이 분담해야 하는 하중에 충분히 견디도록 설계 및 시공되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 전선의 불평형장력을 지지하는 보통지선의 기존 강도계산식의 문제점을 분석하였으며, 이를 개선하기 위하여 지선의 종류에 관계없이 공통적으로 적용 가능한 보통지선 강도계산 기본공식과, 양형지선, 양중지선, 인류지선 및 각도지선의 분담하중 종류에 따라 각각의 굽힘모멘트 계산식을 개발하여 제시하였다.

1. 서 론

가공배전선로에 시설되는 지선은 지선이 분담해야 하는 하중에 따라 양형지선, 양중지선, 인류지선으로 구분된다. 지선은 태풍내습시 또는 겨울철 빙설이 부착된 상태에서 바람이 불 때 선로에 작용하는 하중에 대하여 그 강도가 충분히 견디어야만 설비피해가 발생하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 현재 사용되는 보통지선 강도계산식의 문제점을 분석하고 지선이 분담하는 하중에 따라 현장에서 적용 가능한 계산식을 개발 및 제시함으로써 재해 내습시 가공배전선로의 설비피해를 최소화하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 보통지선 강도계산식

현재 국내에서 일반적으로 사용하는 보통지선 강도계산 공식은 <표 1>과 같다.

<표 1> 기존 보통지선 강도계산식

		계산 공식	계산 근거
전선로와 직각방향의 풍압하중을 지지할 때 (양형지선)	단 주	$n \geq \frac{K}{Ph_0 \times 10^3} \times (12.5S(\sum 7.6dh) + 375D_0H^2 - 225H^3) \operatorname{cosec} \theta$	$n \geq \frac{F}{P} \times \frac{M_p + M_w}{2h_0 \operatorname{cosec} \theta}$
	H 또는 A주	$n \geq \frac{K}{Ph_0 \times 10^3} \times (12.5S(\sum 7.6dh) + 750D_0H^2 - 450H^3) \operatorname{cosec} \theta$	$n \geq \frac{F}{P} \times \frac{2M_p + M_w}{2h_0 \operatorname{cosec} \theta}$
전선의 불평형 장력을 지지할 때		$n \geq \frac{2.5(\sum T_1 h - (M_r - M_w))}{Ph_0} \operatorname{cosec} \theta$	단, 지선의 방향은 합성 불평형장력과 반대측에 취한 것 으로 함.

단, n : 지선의 안전율 (F)을 2.5로 했을 때의 소선의 조수 [조]
 P : 소선의 세기 [kg] (4.0mm 철선 일때는 P=440 [kg])
 h₀ : 지선 취부점의 지표상 높이로서 불평형장력의 합성점 (h₀₀)에 선정함이 이상적이다.[m]

단,
$$h_{00} = \frac{\sum (T_1 h)}{\sum T_1}$$

- θ : 지선등과 전주와의 각도 [°]
- T₁ : 각전선 1조당의 합성 상정 최대장력 [kg/조]
- S : 양측경간의 각 1/2을 가한 치 [m]
- d : 전선 기타 가섬선의 외경 [mm]
- h : 전선 기타 가섬선의 지지점의 지표상의 높이 [m]
- H : 지표상의 높이 [m]
- D : 전주의 말구경 [cm]
- D₀ : 전주의 지표면에 있어서 직경 [cm]

단, 목주에서는 $D_0 = D + 0.98H$ [cm]
 콘크리트주는 $D_0 = D + \frac{100}{75}H$ [cm]

K : 계수로서 갑종 풍압하중 경우에는 K=1

을중 풍압하중 또는 병종 풍압하중의 경우는 K=0.5

M_r : 전주의 저항 Moment [kg · m]

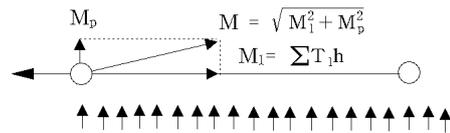
M_p, M_w : 원형주체와 전선에 가해지는 풍압하중에 의한 각각의 Bending Moment [kg · m]

2.2 기존 계산식 문제점 분석

2.2.1 인류주에 작용하는 풍압에 의한 벤딩모멘트 M_p

전선의 불평형 장력을 지지할 때의 지선강도 계산식에는 전주에 작용하는 풍압하중에 의한 벤딩모멘트를 단순히 합성적용하고 있다.

그러나 아래의 그림에서와 같이 전선로에 직각방향으로 풍압하중이 작용할 때 인류주에서 전선의 불평형장력에 의한 벤딩모멘트 M₁는 전선로 방향으로 작용하며, 전주에 작용하는 풍압하중에 의한 벤딩모멘트 M_p는 선로와 직각방향으로 작용한다. 따라서 전주에 작용하는 합성모멘트 $M = \sqrt{M_1^2 + M_p^2}$ 으로 적용하여야 한다.



<그림 1> 인류주에 작용하는 벤딩모멘트

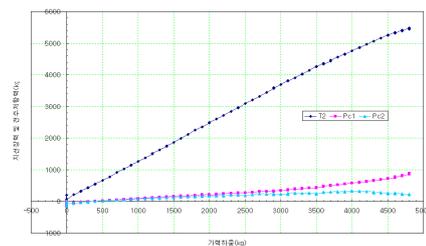
하지만 특고압선으로 ACSR/AW-OC 160mm² 3조를 시설하고 중성선으로 ACSR 95mm² 1조를 시설하는 경우의 M_p는 1,368kg · m이고 M₁ = sum(T₁h) = 64,300kg · m이므로 합성모멘트 M = 64,314 kg · m 이다. 계산결과에서 쉽게 알 수 있듯이 M₁과 M의 차이는 무시할 수 있을 정도로 매우 작다.

또한 합성모멘트 M을 지선의 방향으로 환산하면 M₁과 크기가 같아 지므로 인류주 지선강도 계산식에는 전주에 작용하는 풍압하중에 의한 벤딩모멘트 M_p를 고려할 필요가 없다.

2.2.2 전주의 저항모멘트 M_r

불평형장력을 지지할 때의 지선강도 계산식에서는 전선의 불평형장력에 의한 모멘트 sum(T₁h)를 전주의 저항모멘트 M_r이 분담하는 것으로 되어있다.

중하중용전주 저항력을 2005년에 시험 및 분석한 결과 전주의 변위를 고려하지 않은 P_{e1}의 경우에는 가력하중 4,000kg 이상에서 전주의 설계하중에 가까운 값을 나타내고 있으나, 전주의 변위를 고려한 P_{e2}의 경우에는 가력하중 4,000kg 지선장력 4,750kg에서 최대 저항력 337.9kg이 작용한 것으로 나타났으며, 지선의 인장하중과 같은 지선장력에서는 단지 257kg의 저항력이 작용한 것으로 분석되어 중하중용 전주의 설계하중 700kg보다 매우 작은 저항력만이 작용한 것을 알 수 있다. 따라서 지선강도 설계시 보통지선에 대해서는 전주의 저항모멘트를 고려하지 않는 것이 바람직하다.



<그림 2> 보통지선의 중하중용전주 저항력 분석

2.3 보통지선 강도계산식 개선방안

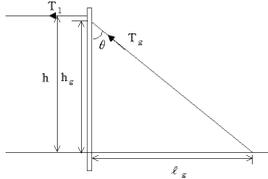
2.3.1 지선의 안전율

기존 계산식에서는 불평형 장력을 지지할 경우에도 안전율을 2.5로 적용하고 있다.

그러나 전기설비기술기준의 해설서인 배전규정 제210절 (지선의 시설 2.2 (안전율의 적용)에서는 고압 또는 특별고압의 가공전선로(목주, A종 첩주 또는 A종 첩근 콘크리트주 사용의 경우)의 경간차, 수평각도, 인류장소에 시설하는 지선에 대하여는 그 불평형장력을 지지물에 분담시키지 아니하고 지선에 부담시키도록 규정되고 있어 안전율을 1.5까지 낮추고 있는 것으로 설명하고 있다.

따라서 시험결과 전주의 저항모멘트를 적용하는 것이 바람직하지 않으므로 배전규정에서와 같이 불평형 장력을 지지하는 지선(양종지선 및 인류지선)의 경우에는 안전율을 1.5로 적용하고 직선선로의 양횡지선의 경우에는 2.5를 적용함이 타당하다.

2.3.2 보통지선 강도계산 기본공식



<그림 3> 보통지선에 작용하는 힘

직선선로의 양횡지선은 지지물에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트에 대하여 전주가 1/2이상 지선이 1/2미만을 분담하여야 하지만, 불평형장력을 지지하는 지선(양종지선 및 인류지선)의 경우에는 지선이 불평형장력을 모두 분담하도록 하여야 한다.

그리고 보통지선을 설치하는 경우 상기 그림과 같이 지선 설치 반대 방향으로 작용하는 외력에 의한 굽힘모멘트에 대하여 지선의 저항모멘트는 커야하므로 계산식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_g \cdot h_g \sin \theta \geq KFM \quad \text{..... (식 1)}$$

$$T_g \geq \frac{KFM}{h_g \sin \theta} \quad \text{..... (식 2)}$$

단, T_g : 불평형장력을 지지하는 보통지선의 최소 인장하중 [kg]

K : 지선계수 (양횡지선 = 1/2, 기타 = 1)

F : 지선의 안전율 (양횡지선 = 2.5, 기타 = 1.5)

h_g : 불평형장력을 지지하는 보통지선 설치점의 지표상 높이 [m]

θ : 지선설치주와 보통지선 사이의 각도 [°]

M : 지선 설치주에 작용하는 외력에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

여기서,

$$\frac{1}{\sin \theta} = \operatorname{cosec} \theta = \sqrt{\left(\frac{h_g}{l_g}\right)^2 + 1} \quad \text{..... (식 3)}$$

단, l_g : 보통지선의 근계 [m]

이므로 (식 2)는 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$T_g \geq \frac{KFM}{h_g} \sqrt{\left(\frac{h_g}{l_g}\right)^2 + 1} \quad \text{..... (식 4)}$$

2.3.3 양횡지선의 외력에 의한 굽힘모멘트

양횡지선의 경우 (식 4)의 M 은 직선선로의 지지물에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트를 적용하여야 하며, 전주의 형태(단주 또는 H주)에 따라 다음과 같이 계산하여야 한다.

$$\text{단주인 경우 : } M = M_p + M_g + M_w + M_m \quad \text{..... (식 5)}$$

$$\text{H주인 경우 : } M = M_p + \frac{M_g + M_w + M_m}{2} \quad \text{..... (식 6)}$$

단, M_p : 전주에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

M_g : 가공지선지대에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

M_w : 전선에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

M_m : 주상기기에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

상기에서 M_p, M_g, M_w, M_m 는 기존의 굽힘모멘트 계산식을 참조하여 적용한다.

그리고 여기서 주의할 점은 M 값은 고온계 및 저온계 풍압하중을 적용한 것 중 큰 값을 적용하여야 한다.

2.3.4 양종지선의 외력에 의한 굽힘모멘트

양종지선의 경우 (식 4)의 M 은 각 방향 전선의 상정최대장력의 차 또는 상정최대장력이 동일한 경우에는 각 전선의 상정최대장력의 1/3과 같은 불평형장력에 의해 발생하는 굽힘모멘트를 적용하여야 한다.

여기서 전주형태가 H주인 경우에는 지선을 양쪽 전주에 설치하므로 각 지선은 불평형장력에 의한 굽힘모멘트의 1/2만을 분담하면 된다.

따라서 각 방향 전선의 상정최대장력이 같은 경우에는 단주와 H주에 따라 M 을 다음과 같이 적용하면 된다.

$$\text{단주 : } M = M_d/3 \quad \text{..... (식 7)}$$

$$\text{H주 : } M = M_d/6 \quad \text{..... (식 8)}$$

단, M_d : 전선의 상정최대장력에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

$$M_d = \sum T_i h_i = T_i h_i \quad \text{..... (식 9)}$$

T_i : 전선 1조의 상정최대장력 [kg]

h_i : 전선 설치점의 지표상 높이 [m]

N : 전선의 조수

그리고 각 방향 전선의 상정최대장력이 다른 경우에는 단주와 H주에 따라 M 을 다음과 같이 적용하면 된다.

$$\text{단주 : } M = M_t \quad \text{..... (식 10)}$$

$$\text{H주 : } M = M_t/2 \quad \text{..... (식 11)}$$

단, M_t : 직선개소 전선의 불평형장력에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

$$M_t = M_{d1} - M_{d2} \quad \text{..... (식 12)}$$

M_{d1}, M_{d2} : 전원측 및 부하측 각 방향 전선의 상정최대장력에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

상기 식에서 적용시 주의할 사항은 상정최대장력값에 최악조건에서 전선에 작용하는 최대장력값을 적용하여야 한다는 것이다.

2.3.5 인류주 지선의 외력에 의한 굽힘모멘트

인류주인 경우 (식 4)의 M 은 (식 9)의 전선 상정최대장력에 의한 굽힘모멘트 M_d 를 적용하면 된다.

여기서 전주형태가 H주인 경우에는 지선을 양쪽 전주에 설치하므로 각 지선은 불평형장력에 의한 굽힘모멘트의 1/2만을 분담하면 된다.

따라서 단주와 H주에 따라 M 을 다음과 같이 적용하면 된다.

$$\text{단주 : } M = M_d \quad \text{..... (식 13)}$$

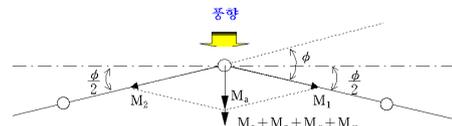
$$\text{H주 : } M = M_d/2 \quad \text{..... (식 14)}$$

2.3.6 각도주 지선의 외력에 의한 굽힘모멘트

각도주의 경우에는 일반적으로 전선의 불평형장력에 의한 합성 굽힘모멘트 M_a 와 전주, 가공지선지대 및 기타 기기에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 M_p, M_{pg}, M_m 을 대입하여 다음 식과 같이 적용한다.

$$M = M_a + M_p + M_g + M_m \quad \text{..... (식 15)}$$

상기에서 M_p, M_{pg}, M_m 는 기존의 굽힘모멘트 계산식을, M_a 는 『가공배전선로에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 계산식 개선방안』 논문에서 기재된 공식을 참조하여 적용한다.



<그림 4> 각도주의 적용하중

그러나 각도가 큰 경우 (식 15)에 의하여 계산한 M 이 (식 9)에 의해 계산한 각 방향의 M_d 보다 크게 나타날 수 있다. 이 경우에는 합성 굽힘모멘트의 반대방향으로 지선을 설치하는 것 보다 각 선로방향의 반대방향으로 인류주 지선을 설치하는 것이 바람직하다.

그리고 선로의 수평각도가 작아서 (식 15)에 의하여 계산한 M 을 적용하여 산출한 각도주의 지선강도가 (식 5) 또는 (식 6)에 의해 계산한 M 을 적용한 횡지선의 지선강도보다 작은 경우에는 횡지선의 지선강도를 적용하여야 한다.

3. 결 론

본 논문에서는 보통지선이 전선의 불평형장력을 지지할 때에 소요되는 지선조수 계산식에서 인류주에 작용하는 풍압에 의한 벤딩모멘트와 전주의 저항모멘트가 잘못 적용되고 있음을 분석하였다. 그리고 지선의 종류에 관계없이 공통적으로 적용할 수 있는 기본공식을 개발하였고, 양횡지선, 양종지선, 인류지선 및 각도지선의 외력에 의한 굽힘모멘트 계산식을 개발하여 제시하였다.

본 논문에서 제시한 계산식을 이용하여 가공배전선로에 시설할 보통지선의 규격을 선정함으로써 태풍과 같은 재해시에 지지물의 도괴 및 절손과 같은 피해를 예방하고 안정적으로 전력을 공급할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

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