

## 가공배전선로에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 계산식 개선방안 연구

왕윤찬, 조시형, 김상규, 박중신\*  
한국전력공사, \*위덕대학교

### A Study on Formulas for Bending Moment of Supporters in the Overhead Distribution Lines by Winds

Yoon-Chan Wong, Si-Hyung Cho, Sang-Kyu Kim, Jung-Shin Park\*  
Korea Electric Power Corporation, \*Uiduk University

**Abstract** - 가공배전선로는 태풍 내습시 전주 및 전선에 작용하는 풍압에 대하여 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 가공배전선로의 설계시 사용되는 전주에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 및 굽곡개소의 합성모멘트 계산시 사용하는 기존 계산식의 문제점을 분석하고 현장에서 쉽게 적용 가능한 새로운 계산식을 유도하였다. 새로운 계산식을 이용하여 설계자들이 가공배전선로의 지지물 및 지선강도를 검토할 수 있게 됨으로써 태풍과 같은 재해시에도 안전한 설비를 시설할 수 있게 되었다.

#### 1. 서 론

가공배전선로는 태풍 내습시 전주 및 전선에 작용하는 풍압에 대하여 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 가공배전선로의 설계시 직선선로의 지지물은 전주 및 전선 등에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트를 고려하여야 하며, 각도주 및 인류주의 경우에는 전선에 가해지는 풍압에 의한 불평형장력을 고려하여야 한다. 그러나 현재 일반적으로 사용되는 이들 계산식의 적용상에 문제점들이 있다. 따라서 본 연구에서는 이들 기존 계산식의 문제점을 분석하고 현장에서 적용 가능한 계산식을 개발함으로써 설계의 편의성과 정확성을 향상시키고 가공배전선로의 안전을 확보하여 양질의 전력공급에 기여하고자 한다.

#### 2. 전주에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트

##### 2.1 전주의 굽힘모멘트 기존 계산식

전주전체에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트(Bending Moment)는 다음과 같은 계산식을 일반적으로 사용하고 있다.

$$M_p = W_p \left( \frac{D_0 H^2}{200} - \frac{K \cdot H^2}{3} \right) \quad (\text{식 1})$$

$$= W_p H^2 \times \frac{D_0 + 2d}{600} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 2})$$

- 단,  $M_p$  : 원형주체에 가해지는 풍압에 의한 Bending Moment [kg·m]  
 $W_p$  : 원형주체의 단위면적당 풍압하중 [kg/m<sup>2</sup>]  
 $D_0$  : 전주 지표면상의 직경 [cm]  
 $d$  : 전주의 말구직경 [cm]  
 $H$  : 전주의 지표상 높이  
 $K$  : 전주의 직경 증가율 [%]

목주의 경우 : 통상  $K = \frac{9}{1,000}$ , concrete 주의 경우 :  $K = \frac{1}{75}$

##### 2.2 전주의 굽힘모멘트 기존 계산식 문제점 분석

전주에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 계산식의 적용상 문제점은 다음과 같다.

우선 전주의 지표면상의 직경  $D_0$ 를 계산식에 적용하고 있다는 것이다. 계산식에 지표면상의 직경을 대입하기 위해서는 설계자가 계산시마다 지표면상의 직경을 별도로 계산하여야 하는 불편이 있다.

그리고 전주의 끝지름(말구직경)  $d$ 와 지표면상의 직경  $D_0$ 의 단위가 [cm]이라는 것이다. 전주의 직경은 통상 [mm]로 표시하고 있는데 기존 계산식에서는 [cm]로 되어 있어 적용시 착오 적용할 가능성이 높다.

그러므로 계산의 편의성을 향상시키고 계산시 착오 적용 가능성이 없도록 식을 명확하게 개선할 필요가 있다.

##### 2.3 전주의 굽힘모멘트 계산식 개선방안 연구

<그림 1>에서 지표면상의 직경  $D_0$ [mm]이고 전주의 직경증가율이  $K$ (목주:9/1000, 콘크리트전주:1/75)인 전주의 지표면으로부터  $x$ [m]지점에 미소 폭  $\Delta x$ [m]를 취하면 그 점의 지름  $Dx$ [mm]는

$$Dx = D_0 - 1000Kx$$

이므로,  $W_p$ [kg/m<sup>2</sup>]의 풍압이 미소단면  $Dx\Delta x$ 에 가해질 때의 풍압[kg]은

$$W_p \frac{Dx}{1000} \Delta x = W_p \left( \frac{D_0 - 1000Kx}{1000} \right) \Delta x$$

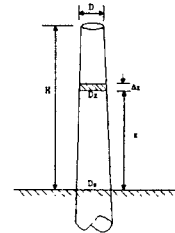
이다. 따라서  $Dx\Delta x$  단면에 받는 풍압에 의해 지면에 생기는 굽힘모멘트 [kg·m]는

$$W_p \left( \frac{D_0 - 1000Kx}{1000} \right) x \Delta x$$

이므로 길이가  $H$ [m]인 전주 전체에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트  $M_p$ [kg·m]는

$$M_p = \int_0^H W_p \left( \frac{D_0 - 1000Kx}{1000} \right) x dx \\ = \frac{W_p}{1000} \left( \frac{D_0 H^2}{2} - \frac{1000KH^3}{3} \right) \quad (\text{식 3})$$

이다.



<그림 1> 전주 전체에 가해지는 굽힘모멘트

여기서 전주의 끝지름이  $D$ [mm]인 경우 지표면상의 직경  $D_0$ [mm]는

$$D_0 = D + 1000KH \quad (8-3)$$

이므로, 이를  $M_p$ 에 다시 적용하면

$$M_p = \frac{W_p}{1000} \left( \frac{(D + 1000KH)H^2}{2} - \frac{1000KH^3}{3} \right)$$

이다. 상기 식을 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$M_p = W_p H^2 \left( \frac{D}{2000} + \frac{KH}{6} \right) \quad (\text{식 4})$$

요즘은 목주를 사용하지 않으므로 상기 식의  $K$ 에 콘크리트전주의 직경증가율 1/75를 대입하고,  $D$ 에 190[mm]를 대입하여 정리하면 다음과 같이 콘크리트전주에 작용하는 굽힘모멘트를 구하는 간단한 식이 된다.

$$M_p = W_p H^2 \left( 0.95 + \frac{H}{45} \right) \quad (\text{식 5})$$

단,  $M_p$  : 콘크리트전주에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 [kg·m]

$W_p$  : 전주에 가해지는 단위면적당 풍압하중 [kg/m<sup>2</sup>]

$H$  : 콘크리트전주의 지표상 높이 [m]

#### 3. 굽곡개소의 합성모멘트

##### 3.1 굽곡개소의 합성모멘트 기존 계산식

굽곡개소에 있어서 전선의 합성불평형장력에 의한 굽힘모멘트(Bending Moment)  $M_a$ 는 일반적으로 아래와 같이 계산하고 있다.

$$M_a = \sum (T_i h_i) \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 6})$$

$$T_i = \sqrt{T_A^2 + T_B^2 - 2T_A T_B \cos \phi} \quad (\text{식 7})$$

$$= T_B \sqrt{1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \phi} \quad [\text{kg}] \quad (\text{식 8})$$

$$\alpha_i = \sin^{-1} \left[ \frac{T_B}{T_i} \sin \phi \right] = \sin^{-1} \left[ \frac{\sin \phi}{(T_i/T_B)} \right] \quad (\text{식 9})$$

특히  $T_A = T_B = T$ 일 때는

$$T_i = 2T \sin \frac{\phi}{2} \quad [\text{kg}] \quad (\text{식 10})$$

$$\alpha_i = 90^\circ - \frac{\phi}{2} \quad (\text{식 11})$$

단,  $T_i$  : 전선 1조의 합성불평형최대장력 [kg]

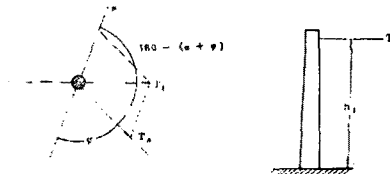
$T_A, T_B$  : 전선취부점의 양측에서 1조의 최대장력 [kg]

$$\gamma = \frac{T_A}{T_B}, \quad T_B \geq T_A, \quad 1 \geq \gamma \geq 0$$

$\phi$  : 선로의 수평각도

$h_i$  : 전선설치점의 지표상 높이 [m]

$\alpha_1$  :  $T_1$  과  $T_A$ 의 수평각도



〈그림 2〉 기존 기준의 굴곡개소의 합성모멘트 계산식 부도

### 3.2 굴곡개소의 합성모멘트 기존 계산식 문제점 분석

기존의 굴곡개소 굽힘모멘트 계산식의 문제점은 다음과 같다.

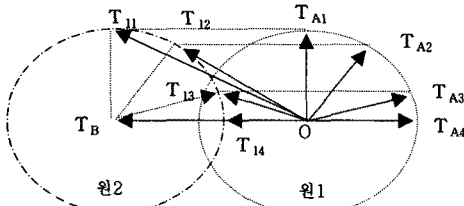
#### 3.2.1 합성 굽힘모멘트 산술 순서 오류

기존 계산식에서는 전선 1조의 합성불평형장력인  $T_1$ 을 구한 후,  $T_1$ 에 전선 설치점의 지표상 높이  $h_1$ 과 전선 조수를 곱한다는 것이다.

하지만 수평각도  $30^\circ$ 이상 각도주 및 분기주의 경우 각 방향의 전선의 지표상 높이가 같지 않으며, 3상 전선에서 1상이 분기되는 경우에는 조수가 다르다. 그러므로 전선 1조의 합성불평형장력을 계산 후에 전선의 지표상 높이와 전선조수를 고려하는 것은 계산 순서가 잘못된 것이다.

#### 3.2.2 수평각도 계산식 오류

$T_1$ 과  $T_A$ 의 수평각도  $\alpha_1$ 을 구하는 (식 9)에서는 각도를 구하는 함수로  $\sin^{-1}$ 을 사용하였다. 그런데 전자계산기나 컴퓨터를 이용하여  $\sin^{-1}$ 을 계산한 결과는 항상  $0^\circ \sim 90^\circ$ 이다.



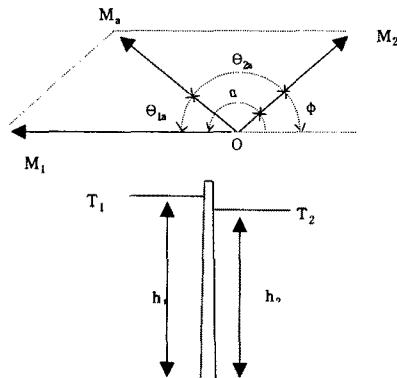
〈그림 3〉  $\phi$ 의 변화에 따른  $\alpha_1$ 의 각도 변화

상기의 그림은  $\phi$ 의 변화에 따른  $\alpha_1$ 의 각도 변화를 보여주고 있다.  $T_B$ 가  $T_A$ 보다 크다고 가정하였을 때,  $T_A$ 의 위치가  $T_{A1}$ 에서  $T_{A4}$ 로 「원1」의 주위에서 변화하면 합성불평형장력은 반드시 장력이 큰  $T_B$ 의 끝점을 중심으로 하는 「원2」의 주위에서  $T_{11}$ 에서  $T_{14}$ 와 같이 변화하며, 합성장력  $T_1$ 이 원2의 접선이 되는 때인  $T_{A2}$ 부터  $T_{A4}$ 구간에서  $T_{12} \sim T_{14}$ 와  $T_{A2} \sim T_{A4}$  사이의 각  $\alpha_1$ 은  $90^\circ$ 를 초과한다.

따라서 (식 9)의 수평각도  $\alpha_1$  계산식으로는 수평각도  $90^\circ$ 가 초과되는  $T_{A2}$ 부터  $T_{A4}$ 구간에서 실제와 다른 각도를 산출하므로 적용이 불가능하다.

### 3.3 굴곡개소의 합성모멘트 계산식 개선방안 연구

#### 3.3.1 합성 굽힘모멘트의 크기



〈그림 4〉 굴곡개소의 합성 굽힘모멘트 부도

각도주의 합성 굽힘모멘트  $M_a$ 의 크기도 각 방향 전선이 전주에 미치는 굽힘모멘트의 벡터합의 크기를 산출하여야 한다. 따라서 상기의 그림에서  $M_a$ 는 다음과 같이 계산되어야 한다.

$$M_a = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 - 2M_1M_2\cos\phi} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 } 12)$$

$$= \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + 2M_1M_2\cos\alpha} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 } 13)$$

단,  $M_1, M_2$  : 전선 설치점 양측의 전선에 의한 굽힘모멘트  $[\text{kg} \cdot \text{m}]$

$$M_1 = \sum T_1 h_1 = T_1 N_1 h_1 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 } 14)$$

$$M_2 = \sum T_2 h_2 = T_2 N_2 h_2 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 } 15)$$

$T_1, T_2$  : 전선 설치점 양측의 전선 1조의 상정최대장력  $[\text{kg}]$

$h_1, h_2$  : 양측 전선 설치점의 지표상 높이  $[\text{m}]$

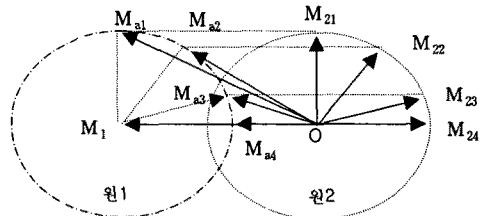
$N_1, N_2$  : 양측 전선의 조수

$\phi$  : 전선로의 수평각도 $[\circ] = 180^\circ - \alpha$

$\alpha$  : 양측 전선로 사이의 수평각도 $[\circ] = 180^\circ - \phi$

#### 3.3.2 합성 굽힘모멘트의 방향

아래 그림에서와 같이  $M_1$ 이  $M_2$ 보다 크고,  $M_2$ 가  $M_{21} \sim M_{24}$ 로 원2의 주위에서 변화할 때 합성 굽힘모멘트  $M_a$ 는 반드시 원1의 원주위에서  $M_{a1} \sim M_{a4}$ 와 같이 변화한다. 이 때 <그림 4>의  $\theta_{2a}$ 는  $M_{22} \sim M_{24}$ 구간에서  $90^\circ$ 를 초과하지만,  $\theta_{1a}$ 는  $M_{22}$ 일 때 최대 값인  $90^\circ$ 를 나타내며 절대로  $90^\circ$ 를 초과하지 않는다.



〈그림 5〉 합성 굽힘 모멘트의 방향

따라서 합성 굽힘모멘트의  $M_a$ 의 방향을 구하기 위해서는 각 전선 방향의 굽힘모멘트를 비교하여 굽힘모멘트가 큰 전선의 방향과 합성 굽힘모멘트간의  $M_a$  간의 수평각도를 아래와 같이 구하여야 한다.

$M_1 \geq M_2$ 인 경우  $\theta_{1a}, \theta_{2a}$ 는

$$\theta_{1a} = \sin^{-1} \left[ \frac{M_2}{M_a} \sin\phi \right] = \sin^{-1} \left[ \frac{M_2}{M_a} \sin(180^\circ - \alpha) \right] \quad (\text{식 } 16)$$

$$\theta_{2a} = 180^\circ - \phi - \theta_{1a} = \alpha - \theta_{1a} \quad (\text{식 } 17)$$

$M_1 < M_2$ 인 경우  $\theta_{1a}, \theta_{2a}$ 는

$$\theta_{2a} = \sin^{-1} \left[ \frac{M_1}{M_a} \sin\phi \right] = \sin^{-1} \left[ \frac{M_1}{M_a} \sin(180^\circ - \alpha) \right] \quad (\text{식 } 18)$$

$$\theta_{1a} = 180^\circ - \phi - \theta_{2a} = \alpha - \theta_{2a} \quad (\text{식 } 19)$$

단,  $\theta_{1a}, \theta_{2a}$  :  $M_1$ 과  $M_a$ ,  $M_2$ 와  $M_a$  사이의 수평각도  $[\circ]$

#### 3.3.3 각도주 양측의 굽힘모멘트가 같은 경우의 크기 및 방향

각도주 양측의 굽힘모멘트가 다음과 같은 경우 (식 10)의  $T_1$  대신에  $M_w$ 을 대입하여 계산식을 다음과 같이 변경할 수 있다.

$M_1 = M_2 = M_w$ 인 경우

$$M_a = 2M_w \sin \frac{\phi}{2} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 } 20)$$

$$\theta_{1a} = \theta_{2a} = 90^\circ - \frac{\phi}{2} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad (\text{식 } 21)$$

단,  $M_w$  : 전선 상정최대장력에 의한 굽힘모멘트  $[\text{kg} \cdot \text{m}]$

$$M_w = \sum T_w h_w = T_w N h_w \quad (\text{식 } 22)$$

$T_w$  : 전선 1조의 상정최대장력  $[\text{kg}]$

$N$  : 전선 조수

$h_w$  : 전선 지지점의 지표상 높이  $[\text{m}]$

### 4. 결 론

본 연구에서는 가공배전선로의 설계시 사용되는 전주에 가해지는 풍압에 의한 굽힘모멘트 계산식과 굴곡개소의 합성모멘트 계산식의 문제점을 분석하고 현장에서 쉽게 적용 가능한 새로운 계산식을 유도하였다.

본 연구에서 개발한 계산식을 이용하여 설계자들이 가공배전선로의 지지물 강도 및 지선 강도를 검토하고 설계를 시행함으로써 태풍과 같은 재해시에도 안전한 설비를 시설하여 설비피해 및 전기고장을 예방함으로써 고품질의 전력을 공급할 수 있게 되었다.

### 【참 고 문 헌】

- [1] 대한전기협회, "배전규정", 1998
- [2] 한국전력공사 경영정보처 기술표준팀, "설계기준(배전분야)", 2003
- [3] 한만춘, 김준현, "배전공학", 일조각, 1974