

# 탄성계수 및 선팽창계수 측정에 의한 가공전선의 실측이도와 이론적 계산에 의한 이도간의 오차

김상수, 김병걸, 왕윤찬\*

한국전기연구원, 한국전력공사 중앙교육원\*

## The Effect of Elastic Modulus Coefficient and Thermal Expansion Coefficient on Sag of Overhead Conductor

Shang-shu Kim, Byung-Geol Kim, Yun-chan Wang\*

KERI, KEPCO CEI\*

### 1. 서론

가공선로에 설치된 전선의 이도는 전선의 허용장력, 자중, 풍압하중 등 여러 요인에 의해 좌우되며, 탄성계수, 선팽창계수, 전선의 실장 또한 중요한 요인 중의 하나이다. 특히 선로의 길이는 송전 중 전선의 온도가 상승함에 따라 전선 자체의 물성의 변화로 길이가 증가하게 되는데 이에 대한 고려가 이도설계시 충분히 반영되어야 한다. 그러나 현재 한전에서 규정화하고 있는 값은 전선 구성소재들의 상온 특성을 수치적으로 계산하여 도출한 상수를 사용하고 있기 때문에, 정확한 이도설계와 선로의 장기신뢰성을 위해서는 현재 적용되고 있는 계산치와 실제 전선을 이용하여 측정된 실측치와는 어떠한 차이가 있는가에 대한 조사와 검증이 필요한 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내의 선로에 적용되고 있는 전선에 대해 전선자체의 탄성계수와 선팽창계수를 실측하여 그 값을 얻고자 한다. 또한 실험에 의해 나타난 탄성계수와 선팽창계수를 이용한 전선의 이도와 이론적인 값을 이용한 전선이도와 차이를 규명하고자 한다.

### 2. 실험

이도에 영향을 미치는 물리적인 정수인 전선의 탄성계수와 선팽창계수 측정방법에는 두 가지 방법이 있다. 첫째, 전선을 구성하고 있는 각 소선의 탄성계수와 선팽창계수를 측정하여 식 1)과 식 2)에 의해 이론적으로 도출하는 방법으로 이는 기존에 주로 이용되고 있는 방법이다. 둘째, 실 전선으로 탄성계수와 선팽창계수를 측정하는 방법이다.

각 소선에 의한 탄성계수 도출은 전선을 구성하고 있는 소선에 대하여 인장시험을 실시하여 탄성계수를 도출하여 식 1)에 의해 계산하는 방법으로 시험은 IEC 60888에 의해 실시하였다.

선팽창계수는 각 소선에서 도출된 탄성계수와 선팽창계수를 이용하여 계산하는 방식이 적용되고 있다. 소선의 선팽창계수는 TA사의 thermal mechanical analyzer를 이용하여 측정하였다. 선팽창계수는 50℃와 150℃의 온도구간에서 시험편길이 변화의 기울기로부터 도출하였다.

$$E = \frac{mE_a + E_s}{m + 1} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{m\alpha_a E_a + \alpha_s E_s}{mE_a + E_s} \tag{2}$$

실 가공전선의 탄성계수는 미국의 알루미늄 전선 및 ACSR의 하중-신율 시험법과 일본의 전기협동 시험법에 준하여 실시하였다. 전선의 선팽창계수는 일본의 전기협동연구의 시험법에 준하였다. 탄성계수 및 선팽창계수에 이용된 시험편은 최소 10m 이상이며 중심부에 약 3m ~ 4m의 신율계를 부착하였다. 실 전선의 탄성계수 및 선팽창계수 측정에 이용된 시험장비의 개략도와 시험전경을 그림 1에 나타내었다.

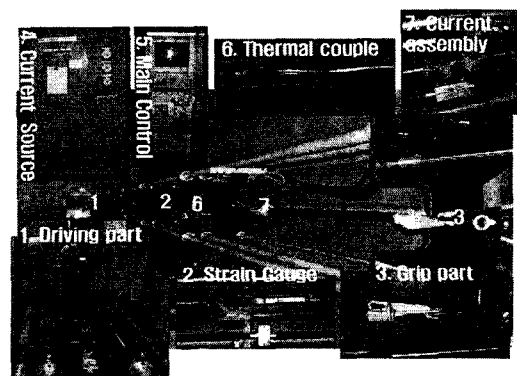
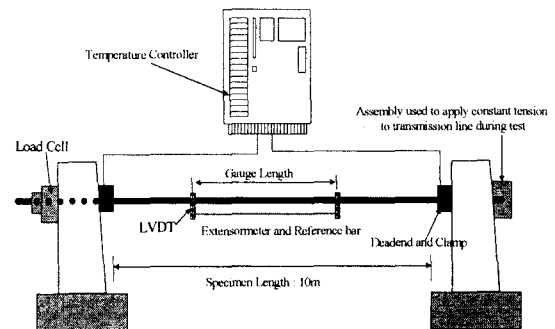


Fig. 1 Schematic diagram of machine for E, α

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 가공전선의 이도

가공전선은 주위온도의 변화에 따라 팽창과 수축을 일으키고 또 전선에 가해지는 하중의 변화(풍압하중, 피빙하중)에 따라서도 탄성적인 신축을 일으킨다. 이들 신축은 전선실장 자체로는 큰 비율은 아니지만 그에 따른 전선의 장력과 이도변화는 매우 크기 때문에 이도계산이 전선의 장력설계에 중요한 계산이다. 전선의 이도는 식 3과 같다.

$$L = S + \frac{8D^2}{3S} \quad 3)$$

전선의 이도는 전선의 실장과 경간에 의존하며 전선의 온도에 따라 그 길이가 변화하고 또 장력을 받는 경우에 전선고유의 탄성에 따라 신축을 한다. 이러한 관계는 식 4와 같다.

$$\Delta L = \frac{\Delta T}{AE} + \alpha(t_2 - t_1) \quad 4)$$

식 4에서 전선 실장의 변화는 식 3의 전선 이도에 직접적으로 영향을 나타낸다. 또한 식 4에서 전선 이도에 직접적으로 영향을 미치는 물성은 탄성계수와 선팽창계수이다. 이와 같이 전선의 탄성계수와 선팽창계수의 오류는 전선의 이도에 직접적인 영향을 나타내어 송배전의 운영에 막대한 악영향을 초래한다.

#### 3.2 이도변화

가공전선의 이도는 설치지역의 고온계 및 저온계 최악 조건에서 단선이 되지 않도록 최대사용장력이 전선의 안전율을 초과하지 않도록 시설하여야 한다. 전선의 이도는 지지물의 길이, 강도, 선간간격의 결정에 직접적인 영향이 있다. 가공전선의 피해방지와 고장의 예방을 위하여 기계적 설계부분에서 전선이도 및 장력이 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 앞서 식 4)에 언급한 바와 같이 전선의 이도는 전선길이변화에 의해 결정되며 이러한 선간길이는 전선과 구성소재의 탄성계수와 선팽창계수에 의존한다. 본 연구에서는 이론적인 규정값과 실험적으로 도출한 탄성계수와 선팽창계수를 이용하여 이도의 오차를 규명하고자 한다. 표 1)에 ACSR 58mm<sup>2</sup>가공전선의 규격과 이도조건을 나타내었다.

간략하게 ACSR 58mm<sup>2</sup>전선의 이도 결정하면 다음과 같다. 식 5)의 15℃ 무풍 무설 상태에서의 최대사용장력을 구한다. 이때 풍압하중을 28kgf/mm<sup>2</sup>으로 하였다.

$$T_0^* + \left\{ \frac{qW^2S^2EA}{24T_0^2} - T_1 + \alpha(t_{01} - t_1)EA \right\} T_0^* = \frac{W^2S^2EA}{24} \quad 5)$$

전선의 규정치에 의해 도출된 전선의 최대사용장력(T<sub>01</sub>)은 약 501.94kgf이다.

식 5)에 의해 도출된 장력을 이용하여 식 6)과 식 7)에 대입하여 전선의 천이점장력(T<sub>c</sub>)과 천이점온도(t<sub>c</sub>)를 구한다.

$$\left(\frac{T_c}{T_{01}}\right)^3 + \left(\frac{T_c}{T_{01}}\right)^2(M-1)\frac{(\alpha_a - \alpha)}{\alpha_a} = \frac{(\alpha_a - \alpha)}{\alpha_a} M \quad 6)$$

$$t_c = t_0 + \frac{T_c}{E_s A_s (\alpha_a - \alpha_s)} \quad 7)$$

규정값을 적용한 천이점장력(T<sub>c</sub>)과 천이점온도(t<sub>c</sub>)는 164.6kgf와 85.8℃이다. 실험적 탄성계수와 선팽창계수를 대입하여 구한 천이점장력(T<sub>c</sub>)과 천이점온도(t<sub>c</sub>)는 129.0kgf와 71.8℃로 규정치와는 다소 오차를 나타내었다. 임의의 온도에서 이도를 구하기 위하여 먼저 임의 온도(t<sub>2</sub>)에서 장력(T<sub>2</sub>)을 구한다. 이때 임의 온도(t<sub>2</sub>)가 천이점 온도(t<sub>c</sub>) 이하인 경우는 식 8)에 의해 구하고 임의 온도(t<sub>2</sub>)가 천이점온도(t<sub>c</sub>) 이상인 경우는 식 9)를 따른다.

$$T_2^* + \left\{ \frac{qW^2S^2EA}{24T_2^2} - T_1 + \alpha(t_2 - t_1)EA \right\} T_2^* = \frac{W^2S^2EA}{24} \quad 8)$$

$$T_2^* + \left\{ \frac{qW^2S^2E_s A_s}{24T_2^2} - T_c + \alpha_s(t_2 - t_c)E_s A_s \right\} T_2^* = \frac{W^2S^2E_s A_s}{24} \quad 9)$$

식 8)과 식 9)에 의해 도출된 임의 온도에서의 장력을 식 10)에 대입하여 임의 온도에서 전선 이도가 결정된다.

$$d = \frac{W \times S^2}{8T_2} \quad 10)$$

초기 가설상태(15℃)에서 경간 100m에 대한 전선 이도는 약 0.56m이다. 전선온도 90℃에 대하여 기존 전선에 적용하고 있는 탄성계수와 선팽창계수를 식 9와 식 10)에 대입하여 구한 전선 이도와 실험적으로 구한 탄성계수와 선팽창계수를 대입하여 구한 전선이도는 상당한 차이를 나타내었다.

전선온도 90℃의 전선이도는 규정치를 적용한 경우가 약 1.79m이고 실험적으로 도출한 탄성계수와 선팽창계수를 적용한 경우가 2.47m로 약 0.62m의 이도차를 나타내었다. 전선이도에 영향을 미치는 인자로는 탄성계수, 선팽창계수, 강도의 재료 물성과 이외의 재료 외적인 인자인 전선의 장력, 경간, 천이온도, 알루미늄과 강심의 면적비 등이 있다.

Table 1 Standard of sag.

전선규격	규정치	실험값	
탄성계수 kgf/mm <sup>2</sup>	Al	6300	5182.6
	ST	21000	18348.8
	계	8400	7063.5
선팽창계수 μm/℃	Al	23.0	25.73
	ST	11.5	12.86
	계	18.9	20.95
경간(m)	100	100	
초기 상태(℃)	15	15	
최악 상태(℃)	-15	-15	