

카테너리 각도를 이용한 가공송전도체의 이도 추정

(Dip Estimation for Overhead Transmission Conductor using Catenary Angle)

김성덕* · 손홍관 · 장태인

(Sung-Duck Kim · Hong-Kwan Sohn · Tae-In Jang)

요 약

가공송전 도체는 정상 동작조건 하에서 전력회사의 선로 설계지침에 규정된 지상고를 안정범위 내에서 항상 유지할 수 있어야 한다. 따라서 새로운 선로를 건설하거나 노화도체의 장력을 다시 조정하거나 또는 전력용량을 최대화하기 위해 동적송전용량을 모니터링하는 경우에, 도체 이도를 측정/또는 모니터링하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 도체의 카테너리 각도로 이도 및 장력을 추정하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 가공송전선로의 대부분의 도체들은 전형적인 카테너리 곡선을 나타내므로 철탑 측의 카테너리 각도로부터 도체의 카테너리 곡선을 유일하게 결정할 수 있다. 이 카테너리 곡선을 토대로 도체의 이도나 수평장력을 쉽게 추정할 수 있다. 몇 가지 시뮬레이션과 간단한 실험 결과를 통하여 제안된 방법이 가공송전선의 도체 이도와 장력을 측정/또는 모니터링하는데 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

Under normal operating condition, the conductor of overhead transmission line could be always hold its clearance within the safety margin that is specified in the line design guide of power company. Hence it may be very important to measure/or monitor the dip of the conductor, when building a new line, re-tensioning for an aged conductor, or monitoring dynamic line rating to maximize power capability. In this paper, we suggest a new method to estimate the dip and tension by catenary angle of the conductor. Since most conductors in overhead transmission lines show typical catenary curves, it can be uniquely determined the catenary curve for the conductor from the catenary angle at tower. Based on the catenary curve, the dip or horizontal tension can be easily estimated. Through some simulation and simple experimental results, it is verified that the suggested method can be effectively applied to measure/or monitor conductor dips and tensions in the overhead transmission lines.

Key Words : Overhead Conductor, Dip Estimation, Catenary Angle, Transmission Line

* 주저자 : 한밭대학교 전기·전자·제어공학부 교수
Tel : 042-821-1135, Fax : 042-821-1128

E-mail : sdkim@hanbat.ac.kr

접수일자 : 2007년 2월 5일

1차심사 : 2007년 2월 7일

심사완료 : 2007년 2월 16일

1. 서 론

가공송전선의 이도(dip or sag)는 도체 온도와 장력, 경간 등의 요소들에 의해 매우 복잡한 특성으로

주어진다. 이때 도체 온도는 기온, 풍속과 같은 기상 상태와 공급전류에 따라 변화되므로 도체의 열화 특성으로 제한되는 최고온도에 도달하는 허용전류에 의하여 송전용량도 제한되기 마련이다[1]. 일반적으로 가공도체는 두 지지점 사이에서 카테너리 곡선(catenary curve : 또는 현수곡선이라고도 함)을 이룬다. 이때 도체 이도는 긴선 시 장력을 조절할 경우나 송전선로의 동적송전용량(dynamic line rating : DLR)[2]을 추정하는 경우에도 이용할 수 있다. DLR을 산정하기 위하여 도체 이도, 지상고(clearance)나 장력을 모니터하거나 측정하는 방안이 제안되어 있다. 물론 Power Donut 시스템[3]과 같이 도체표면 온도를 구하는 시스템이나 장력 센서를 사용하는 CATI과 같이 총 방사에너지 온도 등을 모니터링하여 DLR 결정하는 시스템도 개발되었다[4]. 그렇지만 이러한 시스템들은 설치, 운용비가 많이 들고 유지보수도 쉽지 않아 적용하는데 한계가 있을 뿐만 아니라 이도나 장력을 측정하는 전용시스템도 아니다.

이도는 실시간으로 DLR을 모니터링 하는 경우에 장력이나 도체온도 등을 환산하는데 이용된다. 이도 측정은 기존 선로의 이도 재조정이나 새로운 도체의 가선 시에 시공사에 의해 반드시 수행하는 작업 중 하나이다. 시공 시에 사용하는 이도 측정법은 직접법과 간접법이 있으며 주로 직접법인 등장법, 이장법, 수평이도법이나 각도법을 이용한다. 그러나 철탑 위에서 이도자 등을 이용하기 때문에 안전 상 문제가 있고 작업공정이 까다로우며 작업 시간과 인력이 많이 소요된다. 최근에는 트랜짓(transit)을 이용하여 이도를 측정하는 프로그램이 개발, 적용하고 있는 예도 있다[5]. 그렇지만 이 시스템은 오프라인 방식이며 트랜짓과 표적지를 사용해야 하는 등 측정작업이 번거롭다.

이도자나 트랜짓을 이용하는 방식 이외에도 이도를 모니터링하는 몇 가지 간접적인 방법이 제안되어 있다. 그 중 하나가 가공 도체의 최저점에 표적물을 설치하고 이 표적의 위치를 철탑에 설치된 카메라로 추정하는 방식이다[6]. 이 방식은 표적을 대상 선로의 최저 이도점에 부착시켜 표적물 위치를 광학적인 방법으로 측정한다. 표적을 부착하기 위하여 휴전해야 하고 도체의 종적 횡적 운동에 따라 측정 위치가

변화되어 편차가 발생한다. 이와 유사한 방법으로 이도점에 GPS 수신기(global positioning system receiver)와 같은 특수한 표적물을 장착하여 3개의 통신위성으로 이도를 계산하는 것도 있다[7]. 이 방법 역시 카메라 이용법과 같은 단점이 존재할 뿐만 아니라 현재 국내의 위성통신시스템 여건으로는 그 적용에 한계가 있다. 한편 직접 이도를 측정하는 것은 아니나 높은 저항값을 가진 저항선을 상도체와 나란히 가설하여 상도체로부터 유도된 전류로부터 도체의 이도와 온도 등을 계산하는 방법도 제안되었다[8]. 이 방식은 고저항선을 송전선과 병행하여 가설하여야 할뿐 아니라 도체 사이의 거리에 따른 유도전류의 실험식을 구해야 하는 단점이 있다. 특히 저항선이 도체의 기계적 특성과 일치하지 않으므로 열화특성, 위치에 따른 편차가 클 것으로 예상된다.

일반적으로 현수 가공 도체나 선재는 대기상태에서 카테너리 곡선을 이룬다. 따라서 카테너리 각도(catenary angle)를 측정하면 이 값으로부터 간단히 이도를 추정할 수 있을 뿐만 아니라 장력도 추정 가능하다. 경간이 긴 선로에 대하여 디지털 각도계를 사용하면 카테너리 각도를 정확하게 측정할 수 있다. 본 논문에서는 카테너리 각도와 도체 이도 사이의 관계를 유도하고 카테너리 각도로부터 이도와 수평장력을 산출하는 방법을 제시한다. 수치해석과 간단한 실험을 통하여 그 효용성도 확인한다.

2. 카테너리 곡선

도체가 가선되면 카테너리 곡선으로 균일한 기하학적 형상을 나타낸다. 일반적으로 그림 1과 같은 카테너리 곡선은 다음과 같이 표현된다[9].

$$y = a \left[\cosh\left(\frac{x-x_c}{a}\right) - 1 \right] + y_c \quad (1)$$

여기서 a 는 카테너리 상수(catenary constant)로 도체의 수평장력, T_0 [kgf]와 단위길이 당 도체중량, W [kg/m] 사이에 다음과 같이 정의된다.

$$a = \frac{T_0}{W} \quad (2)$$

카테너리 각도를 이용한 가공공전도체의 이도 추정

수평하중은 도체의 모든 위치에서 동일하며 도체의 하중, 장력, 안전율 등에 의해 결정된다. 이때 카테너리 상수는 도체의 최고상정온도에서 무풍, 무설시에 수평하중과 도체하중의 비로써 이도 설계기준 [10]에서는 전선의 파라미터(parameter)라고 정의하기도 한다.

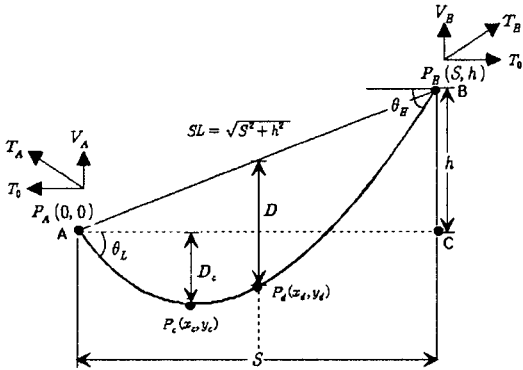


그림 1. 일반적인 카테너리 곡선
Fig. 1. A general catenary curve

식 (1)은 $P_c(x_c, y_c)$ 에 최저점을 갖는 카테너리 함수로, 이 최저점의 좌표는 S [m]를 경간 길이, h [m]를 지지점 A와 B 사이의 고도차라 할 때 다음 식으로 주어진다.

$$x_c = \frac{S}{2} - a \sinh^{-1}\left(\frac{h}{a} \cdot \frac{\sqrt{e^{S/a}}}{1 - e^{S/a}}\right) \quad (3)$$

$$y_c = a \left[1 - \cosh\left(\frac{x_c}{a}\right) \right] \quad (4)$$

일반적으로 도체의 이도란 경간선(inclined line)과 카테너리 곡선 사이의 최대거리로 사이드(inclined dip)로 정의한다. 또한 최저점에서 지지점 A의 수평선과 거리를 수평이도라 하고 경우에 따라 이도 측정에 이 값을 사용하기도 한다. 그림 1에서 $P_d(x_d, y_d)$ 가 이도점이며 본 논문에서는 D 를 이도로 나타낸다.

그림 1에서 양 지지점을 지나는 경간선의 함수는 $y_s = (h/S)x$ 이므로 이 식에서 식 (1)을 빼면 다음과 같은 이도곡선 함수를 얻을 수 있다.

$$D(x) = \frac{h}{S}x - a \left[\cosh\left(\frac{x-x_c}{a}\right) - 1 \right] - y_c \quad (5)$$

$D(x)$ 의 최대값이 이도이므로 이 값이 나타나는 점의 카테너리 곡선 상의 좌표를 구하면

$$x_d = x_c + a \sinh^{-1}\left(\frac{h}{S}\right) \quad (6)$$

$$y_d = a \left[\cosh\left(\frac{x_d-x_c}{a}\right) - 1 \right] + y_c \quad (7)$$

따라서 식 (6)을 식 (5)에 대입하면 이도는 다음과 같이 구해진다.

$$D = \frac{h}{S} \left[x_c + a \sinh^{-1}\left(\frac{h}{S}\right) \right] - a \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h}{S}\right)^2} - 1 \right) - y_c \quad (8)$$

만약 지지점의 고도차가 $h=0$ 이면 $x_c = x_d = S/2$ 이므로 카테너리 함수는

$$y = a \left[\cosh\left(\frac{2x-S}{2a}\right) - \cosh\left(\frac{S}{2a}\right) \right] \quad (9)$$

이며, 이때 이도는 다음과 같다.

$$D_0 = a \left[\cosh\left(\frac{S}{2a}\right) - 1 \right] \quad (10)$$

3. 이도의 추정

2장에서 기술한 바와 같이 카테너리 함수를 알 수 있으면 이 곡선을 토대로 이도나 카테너리 상수, 장력 등을 알 수 있다. 이러한 카테너리 곡선은 카테너리 각도로부터 추정 가능하다. 카테너리 각도는 각 지지점에서의 수평선과 카테너리 곡선이 이루는 각도로서 그림 1과 같다. 고도차가 있는 경우는 지지점 A와 B에서 다르게 나타나는 카테너리 각도는 각 지지점에서 카테너리 곡선의 접선의 기울기로 결정할 수 있다.

식 (1)을 이용하여 A 및 B 각 지지점에서 카테너리 각도, θ_A 및 θ_B 를 구하면

$$\theta_A = \sinh\left(\frac{x_c}{a}\right) \quad (11)$$

$$\theta_B = \sinh\left(\frac{S-x_c}{a}\right) \quad (12)$$

경간 길이와 고도차를 일정하다고 가정할 때, 카테너리 각도 θ_A, θ_B 중 1개만 알려지면 이 값으로부터 유일한 카테너리 곡선을 결정할 수 있다. 이때 추정 곡선으로부터 $P_c(x_c, y_c)$ 및 $P_d(x_d, y_d)$ 그리고 도체의 이도도 계산할 수 있다. 카테너리 각도는 양 지지점에서 구하여 이용할 수 있지만 일반적으로 $h \geq 0$ 에 대하여 $\theta_B \geq \theta_A$ 이므로 고지지점 B에서의 카테너리 각도, θ_B 를 측정하여 이용하는 것이 효율적이다.

식 (12)에서 θ_B 를 안다고 가정하더라도 x_c 와 a 는 결정해야 카테너리 곡선이 얻어지고 이 함수를 토대로 이도 등을 계산할 수 있다. 동일한 경간에서의 수평하중 T_0 와 도체하중 W 는 고도차에 상관없이 거의 일정하고 또한 도체의 형상도 카테너리 곡선으로 주어진다. 식 (12)에서

$$S = a \sinh^{-1}\theta_B + x_c \quad (13)$$

이고 일반적으로 $x_d \cong S/2$ 이므로 이 관계를 이용하여 식 (6)에서 x_c 를 구하면

$$x_c = S/2 - a \sinh^{-1}(h/S) \quad (14)$$

따라서 식 (14)를 식 (13)에 대입하여 카테너리 상수를 구하면 다음과 같다.

$$a = \frac{S}{2[\sinh^{-1}\theta_B - \sinh^{-1}(h/S)]} \quad (15)$$

결국 식 (1)~(4)에서 카테너리 곡선 y 가 결정되고 따라서 이 곡선으로부터 식 (8)을 이용하여 이도를 계산할 수 있다.

한편 $h=0$ 인 경우에 이도 식 (10)은 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$D_0 \cong \frac{S^2}{8a} \quad (16)$$

또한 식 (12)에서 카테너리 각도의 근사치는 다음과 같이 구해진다.

$$\theta_B \cong \frac{S}{2a} \quad (17)$$

한편 식 (16)과 식 (17)의 관계를 이용하면

$$D_0 \cong \frac{\theta_B S}{4} \quad (18)$$

일반적으로 x_d 가 경간의 중간점, $S/2$ 와 거의 가까운 지점에 위치하므로 D 와 D_0 는 카테너리 각도 θ_B 에 직접 비례하는 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

θ_B 로 카테너리 상수를 추정하기 위하여 식 (15)에서는 $x_d \cong S/2$ 로 가정하였다. 그러나 식 (6)에 식 (3)을 대입하면 x_d 는 다음과 같다.

$$x_d = \frac{S}{2} + a \left[\sinh^{-1}\left(\frac{h}{S}\right) + \sinh^{-1}\left(\frac{h}{a} \cdot \frac{\sqrt{e^{S/a}}}{1 - e^{S/a}}\right) \right] \quad (19)$$

고도차가 적으면 식 (19) 우변의 2번째 항은 거의 무시할 수 있으나 고도차가 증가하면 그 오차는 약간 커진다. 예컨대 경간이 300[m]이고 $a=1,000$ 인 경우에 고도에 의한 이 항의 변화율은 고도가 10[m] 정도이면 0.1[%]이지만 50[m]이면 0.4[%] 정도가 된다. 이와 같은 오차는 x_d 를 구하는 경우에는 그다지 큰 영향을 미치지 않지만 고도차가 클 경우에 철탑 B의 카테너리 각도의 작은 변화는 이도에 큰 변화를 초래할 수 있다. 따라서 카테너리 함수를 추정할 때에는 식 (1)의 경계 조건 중 $x=S$ 인 경우에 $y(S)=h$ 를 만족할 수 있도록 a 를 교정한다.

4. 장력의 추정

도체의 이도가 결정되면 이 값을 이용하여 도체의 장력을 구할 수 있다. 도체의 수평장력 T_0 와 도체

카테너리 각도를 이용한 가공송전도체의 이도 추정

하중 W 가 주어지면 수직장력은 $T_0 dy/dx$ 로 다음과 같이 구해진다.

$$V(x) = T_0 \sinh\left(\frac{x-x_c}{a}\right) \quad (20)$$

이때 합성장력 T 는 T_0 와 $V(x)$ 의 벡터합으로

$$T(x) = T_0 \cosh\left(\frac{x-x_c}{a}\right) \quad (21)$$

지지점 A에서 $x=0$ 이므로 이 조건을 식 (21)에 적용하고, 식 (4)에서 $\cos(x_c/a)$ 를 구하여 식 (24)에 대입하면 A 점의 장력은 다음과 같다.

$$T_A = T_0 \left(1 - \frac{y_c}{a}\right) \quad (22)$$

한편 지지점 B에서 $x=S$ 이고 따라서 이 조건을 식 (21)에 적용하고, 이 경우에 식 (5)의 이도 곡선은 $D(S)=0$ 이므로 여기서 $\cosh((S-x_c)/a)$ 을 구해 적용하면 B 지점의 장력은 다음과 같다.

$$T_B = T_0 \left[1 + \frac{h-y_c}{a}\right] \quad (23)$$

식 (22) 및 (23)에서 알 수 있듯이, 일반적으로 가공선의 수직장력은 수평장력의 10[%] 이하인 경우가 많으므로 수평장력으로 구한 이도에 큰 편차가 나타나지 않는다. 따라서 장력을 구하는 경우에도 $T_0 \cong T$ 로 취급해도 무방하다. 이때 식 (17)에서

$$a \cong \frac{S}{2\theta_B} \quad (24)$$

이고 이 식을 식 (2)에 대입하면 장력은 다음과 같이 구해진다.

$$T_0 \cong \frac{WS}{2\theta_B} \quad (25)$$

식 (25)에서 보면 경간 및 도체하중이 일정하면 도체의 장력은 단지 카테너리 각도 θ_B 에 의해서 결정

됨을 알 수 있다. 이때 장력은 카테너리 각도에 반비례한다.

5. 수치해석과 실험

5.1 가공송전선

우선, 실제 송전선로의 카테너리 특성을 검토하기 위하여 단위중량이 $W=1.673[\text{kg/m}]$ 인 ACSR 410 도체가 표준경간, $S=300[\text{m}]$ 에 가선된 경우로 가정하였다. 기온을 $20[^\circ\text{C}]$, 도체온도가 $40[^\circ\text{C}]$ 이고 고온 1지역 무풍, 무설의 조건에서 계산하면[11] $h=0$ 인 경우에 수평장력은 $T_0=2068.5[\text{kgf}]$ 이고 $D_0=9.15[\text{m}]$ 이었다. 이때 카테너리 상수는 $a=1230.4$ 이고 카테너리 각도는 $\theta_A=\theta_B=7.00[^\circ]$ 이다. 동일한 조건에서 지지점의 고도차를 $h=10[\text{m}]$ 로 가정하면 $\theta_A=5.09[^\circ]$ 이고 $\theta_B=8.93[^\circ]$ 이며 이도는 $D=9.16[\text{m}]$ 로 $h=0$ 인 경우와 거의 유사하다.

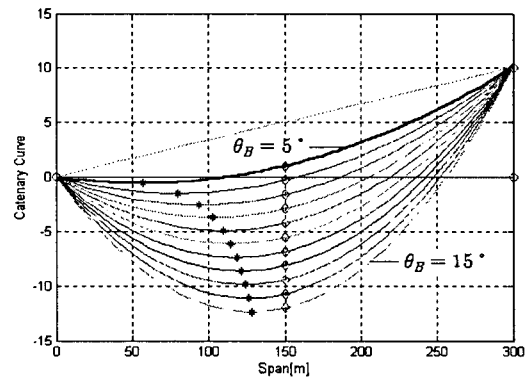


그림 2. 카테너리 각도 변화에 의한 카테너리 곡선의 추정 ($h=10[\text{m}]$)

Fig. 2. Estimated catenary curves when varying catenary angles ($h=10[\text{m}]$)

카테너리 각도로 도체 이도와 장력을 추정하기 전에 2~4장에서 해석된 카테너리 함수의 몇 가지 특성을 검토하였다. 그림 2는 동일한 경간에 고도차를 $h=10[\text{m}]$ 로 선택한 경우에 카테너리 각도, θ_B 를 $5\sim 15[^\circ]$ 사이에 $1[^\circ]$ 씩 변화시키면서 구한 카테너리 곡선, 최저점($*$) 및 이도점(\diamond)을 나타낸다. 카테너

리 각도와 지지점의 고도가 변하더라도 이도점은 경간의 중간인 $S/2$ 에서 나타나는 반면, 도체의 최저점은 카테너리 각도가 작아질수록 고도가 낮은 쪽 철탑 위치로 이동한다. 이와 같이 카테너리 각도로부터 카테너리 곡선을 추정하여 이도와 장력 등을 구할 수 있다.

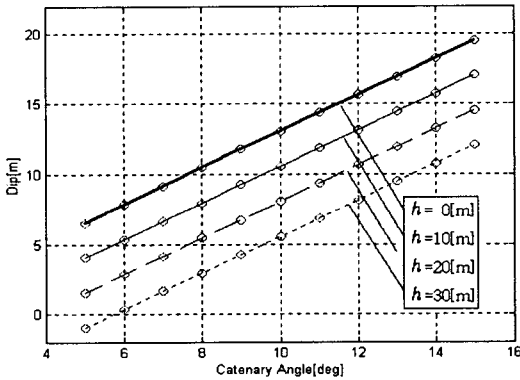


그림 3. 카테너리 각도 변화에 의한 추정 이도
Fig. 3. Estimated dips when varying catenary angles

3장의 식 (18)에서 기술한 바와 같이, 이도는 고도 차와는 상관없이 카테너리 각도에 거의 비례한다. 그림 3은 $h=0, 10, 20$ 및 $30[m]$ 에 대하여 카테너리 각도에 의해 계산된 이도로 선형적 특성이 잘 나타난다. 동일한 카테너리 각도에 대해 지지점 고도차가 증가하면 이도는 감소된다. 특히 고도차가 경간의 10[%] 정도인 $h=30[m]$ 인 경우에 경간선의 편각은 $\theta = \tan^{-1}(h/S) \approx 5.7[^\circ]$ 이다. 수치해석의 결과는 그림 3에서와 같이 가상이도로 $D=-0.96[m]$ 로 계산된다. 그러나 $\theta_B=5[^\circ]$ 로 도체를 가선할 수는 없다.

한편 $h=20[m]$ 이고 $\theta_B=7[^\circ]$ 인 경우에 도체의 최저점은 그림 4에서처럼 $P_c(x_c, y_c)=(-30.65, -0.17)$ 로 지지점 A의 좌측에 나타난다. 이때 이도는 $D=4.16[m]$ 로 계산되지만 A 지점 철탑의 수직하중이 (+)로 되어 이 경우 역시 비현실적인 상황이 된다. 실제로 수직하중이 0인 조건은 $\theta_B=7.65[^\circ]$ 정도로 나타나고, 이때 최저점은 좌측 지지점이 된다.

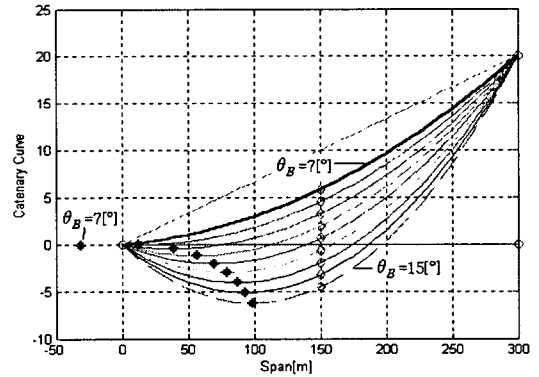


그림 4. $h=20(m)$ 인 경우에 추정 카테너리 곡선 특성
Fig. 4. Estimated catenary curves for $h=20(m)$

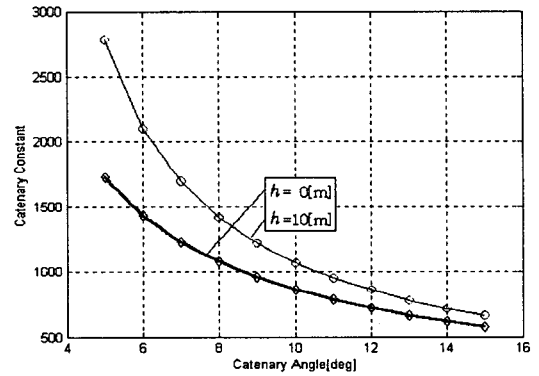


그림 5. $h=0$ 및 $10(m)$ 인 경우에 카테너리 상수 특성
Fig. 5. Catenary constant properties for $h=0$ and $10(m)$

그림 3 및 4를 토대로 카테너리 각도에 대한 카테너리 곡선 추정을 검토하는 과정에서 몇 가지 비현실적인 측면이 존재함을 확인하였다. 이러한 비현실적인 상황을 배제하기 위하여 그림 5는 $h=0$ 및 $10[m]$ 인 경우에 θ_B 를 $5 \sim 15[^\circ]$ 사이에서 변화시킬 때 카테너리 상수의 변화를 보였다. 일반적으로 카테너리 상수는 카테너리 곡선의 형태를 결정하는 요소로 이 값에 의해 수평장력이 결정된다. 따라서 카테너리 각도로부터 서로 반비례하는 특성을 가진 카테너리 상수를 결정할 수 있다는 것을 그림 5에서 확인할 수 있다. 도체에 의한 수직하중은 보통 수평하중의 10[%] 이하로 총 장력에 미치는 영향은 0.5[%] 이하가 된다. 이도가 증가될 경우에 도체의 실장 증

카테너리 각도를 이용한 가공송전도계의 이도 추정

가율은 그다지 크지 않으므로 지지점에서 수직하중은 거의 변하지 않는다. 따라서 수평장력은 카테너리 상수에 비례($T_0 = aW$)하므로 그림 5에 대해 $W = 1.673$ 배 한 결과로 주어진다.

5.2 실험 및 검토

5.1절에서는 카테너리 각도로 가공송전선의 이도 및 장력을 추정할 수 있음을 수치해석을 통하여 확인하였다. 이와 같은 결과를 실험으로 확인하기 위하여 자중이 $W=0.5[\text{kg/m}]$ 인 케이블을 경간 $S=18[\text{m}]$ 로 가설하고 디지털 각도계를 케이블에 장착하였다. 이 경우에 사용된 디지털 각도계는 DAS 사 제품으로 수평축을 중심으로 $\pm 30[^\circ]$ 의 측정범위를 갖고 정밀도가 $0.005[^\circ]$ 미만인 정밀급 기울기 센서이다.

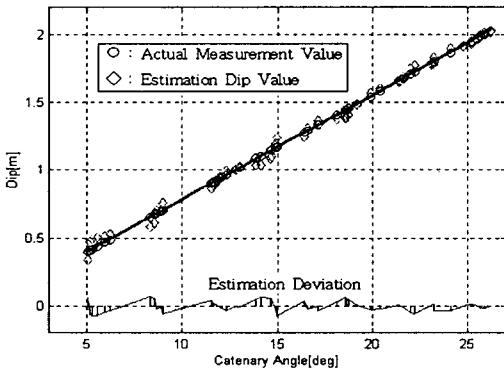


그림 6. 카테너리 측정 각도로 구한 추정 이도 특성
Fig. 6. Dip properties estimated by catenary measurement angles

지지점은 같은 높이이며 측정오차를 줄이기 위하여 적당한 이도와 카테너리 각도를 측정하여 카테너리 곡선, 카테너리 상수와 수평장력을 구하고 디지털 각도계 위치를 조절하여 측정 편차를 교정하였다. 예비 교정이 끝난 후 케이블의 길이를 변화시키면서 카테너리 각과 이도를 50[회] 측정하였다. 지지대의 고저차가 없는 경우에 이도는 경간 중앙에서 나타나므로 이 위치에서 줄자를 이용하여 이도를 측정하였다. 케이블에는 전류가 흐르지 않고 긴선 후 기계, 재료적 특성이 안정하다고 판단된 후에 실험하였으며

풍압은 고려하지 않았고 기온도 일정한 것으로 가정하였다.

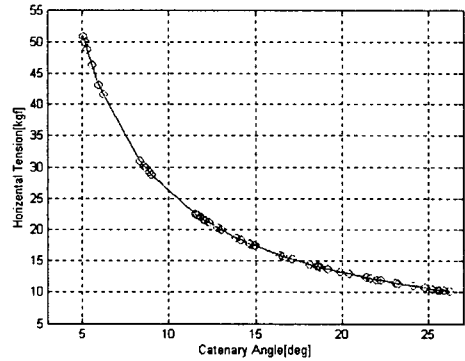


그림 7. 카테너리 측정 각도에 의한 추정 수평장력
Fig. 7. Horizontal tension estimates by catenary measurement angles

측정된 카테너리 각도를 사용하여 5.1절과 동일한 알고리즘으로 추정한 이도와 실측된 이도 특성을 그림 6에 나타낸다. 단경간에 가설된 케이블의 카테너리 각도를 측정하였음에도 불구하고 추정 이도는 측정 각도에 정확히 선형적 특성을 나타냈으며 추정치와 실측치 사이의 최소사승평균오차(RMSE)는 $-0.22[\%]$ 로 양호하였다. 그림 7은 추정 장력으로 5.1의 해석 결과와 동일한 특성을 보인다.

추정 이도는 카테너리 곡선으로부터 구한 이론적인 결과 사이에는 작은 편차가 발생한다. 이러한 이유는 측정하기 전에 디지털 각도기 장착 위치에 대한 여러 번의 예비 교정으로 측정편차를 감소시켰기 때문이다. 카테너리 각도는 지지점에서 카테너리 곡선에 대한 접선의 기울기로 주어지며 이러한 기울기는 각도계의 위치에 따라 매우 민감하게 변화된다. 그렇지만 실제 경간은 수백 미터이므로 각도 센서 위치에 의한 편차는 감소될 수 있을 것이다.

6. 결 론

이도의 측정은 선로의 전력공급을 효율적으로 극대화하기 위하여 동적송전용량을 모니터링하는 경우, 새로운 선로를 건설할 때 도체를 첩탈에 긴선하는 경우, 및 기존 선로 노후 도체에 대해 장력을 다

시 조절하는 경우 등에서 반드시 필요한 작업이다. 가공송전선로는 이도 설계기준에 정한 바대로 정상적인 운용 조건 하에서 항상 안전하게 지상고를 유지할 수 있어야 한다.

가선 도체는 전형적인 카테너리 곡선을 이룬다. 따라서 본 연구에서는 이 점에 착안하여 카테너리 각도로 가선 도체의 이도와 장력을 추정하는 방법을 제안하였다. 카테너리 각도와 이도 사이의 관계를 규명하여 이 각도로부터 카테너리 곡선과 이도 곡선을 추정할 수 있음을 보였다. 수치해석을 통하여 이도와 카테너리 각도 사이에 관계를 해석하였고 실제 가선 케이블에 대해 실험하였다. 그 결과, 카테너리 각도로 이도 및 장력이 정밀하게 추정됨을 확인하였다.

본 연구 결과는 송전선로의 가선 및 장력조정 경우에는 직접 적용이 가능하다. 특히 활선 상태에서의 장력과 도체온도, 도체전류 사이의 관계를 정확하게 이용할 수 있다면, 카테너리 각도를 실시간 모니터링함으로써 동적송전용량이나 가공송전용량 운용에 효율적으로 활용할 수 있다고 판단된다.

본 연구는 2006년도 산업자원부 지원 전력산업연구 개발사업의 일환으로 연구되었음.
(과제번호 : R-2005-7-331)

References

[1] Draft standard for calculating the current-temperature relationship for bare overhead conductors, IEEE Standard P738, 1999.
 [2] T. O. Seppa, "Accurate ampacity determination: temperature-sag model for operational real time ratings", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp. 1460-1470, July 1995.
 [3] J. S. Engelhardt, and S.P. Basu, "Design, installation and field experience with an overhead transmission dynamic line rating system", Proceedings of IEEE, Transmission and Distribution, pp. 366-370, 1996.

[4] Tension Monitor [Online], Available : <http://www.cat-1.com/>
 [5] Transit를 이용한 이도측량 프로그램, 한국전력공사, 2000.
 [6] B. Chairmont, Video Sagometer, Lenox, MA: EPR Solutions..
 [7] C. Mensah-Bonsu, and G. T. Heydt, "Real-time digital processing of GPS measurements for transmission engineering", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 1, pp. 177-182, Jan 2003.
 [8] R. G. Olsen and K. S. Edwards, "A new method for real time monitoring of high voltage transmission line conductor sag", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 17, No. 4, pp. 1142-1152, 2002.
 [9] STAGR/AW 인바강선의 가열연화 특성 및 경년열화 특성 연구, 중간보고서, KEPRI Report, TM01PJ13M2003. 416, 2003. 10.
 [10] 가공선 이도 설계기준 - 1211, 한국전력공사, 2003.
 [11] 이도 설계 프로그램, Tower+, 한국전력공사, 2003. 12.

◆ 저자소개 ◆

김성덕 (金成德)

1951년 10월 1일생. 1978년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사). 1988년 한양대학교 전기공학과 졸업(박사). 1990~1991년 Australia National University 객원교수. 2000~2001년 미국 Kansas State University 객원교수. 현재 한밭대학교 전기·전자·제어공학부 교수.

손홍관 (孫洪寬)

1962년 3월 21일생. 1985년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 한양대학교 대학원 졸업(석사). 2004년 충남대학교 대학원 졸업(박사). 현재 전기연구원 전력연구단 책임연구원.

장태인 (張太因)

1968년 12월 5일생. 1990년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1994년 한양대학교 대학원 졸업(석사). 1994~1995년 (주)삼성SDS 공공개발팀 근무. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.