

# 22.9kV 다중 접지 지중 전력 케이블의 가압 상태 진단에 관한 기초 연구

論 文  
48C - 10 - 4

## A Study on Diagnosis of The Energized Status of 22.9kV Multigrounded Underground Power Cable

金 昌 教\* · 洪 秦 守\*\* · 鄭 英 鎬\*\*\*  
(Chang Kyo Kim · Chin Soo Hong · Yeong-Ho Jeong)

**Abstract** - An experimental study to identify the energized status of the 22.9kV underground power cable by the detection of vibration has been performed. We have derived that there exists vibration at double the line frequency in live cables by electromagnetic force. The relative amplitudes of the cable vibration according to the energized status of the cable were calculated by computer simulation. The cable vibration can also be picked up by accelerometer. A prototype was tested on the underground distribution system in Chonan substation, KEPCO. Comparison between simulation results and field test results was performed. The results showed that the energized status of the cable can be identified by measuring the vibration of the cable using accelerometer.

**Key Words** : Underground Power Cable, Electromagnetic Force, Energized Status, Accelerometer, Cable Vibration

### 1. 서 론

복잡한 도심지역이나 공단지역 등에 도시 미관이나 안정적인 전기 공급을 위하여 지중 전력 케이블의 이용이 필수적으로 되어 가고 있다. 지중 전력 케이블 공사에서 제일 중요한 문제는 안전 문제를 최우선적으로 고려해야 한다는 것이다. 지중 전력구 내에 여러 개의 전력 케이블이 존재하고 있기 때문에 전력 케이블 작업 중에 여러 개의 활선 전력 케이블 중에서 사선 전력 케이블을 찾아내는 것은 작업의 안전성, 신속성 및 용이성 면에서 매우 중요한 것으로 알려져 있다. 지중 전력구내에서 여러 개의 활선 전력 케이블 중에서 사선 전력 케이블을 검전기로 시험을 하면 주위의 활선 전력 케이블에서 유도되어서 통전이 되는 것처럼 나타난다. 그러므로 케이블의 가압 유무를 확인하기가 어렵고, 케이블이 가압만 되어 있고 전류가 흐르지 않을 경우에는 자장이 존재하지 않기 때문에 hook-on 미터도 사용할 수 없게된다. 그러므로, 안정적인 케이블 작업을 위하여 케이블의 가압 여부를 진단하는 시스템을 개발하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

전력 케이블의 가압 여부를 판단하는 방법 중에서 가장 많이 알려져 있는 것은 다음 세 가지로 알려져 있다. 첫째 방법은 가압 여부를 판별하는 가장 오래되고 간단한 방법으로 케이블에 표시를 하는 방법이나 관로에 번호를 매겨서 회로를 파악하는 방법이다. 그러나 이 방법은 관로안에 많은 케

이블이 존재할 때 이를 표시하기에 어려움이 있고 많은 인건비가 소요되어서 고비용이 요구된다고 알려져 있다[1]. 두 번째 방법으로 이용되는 방법으로는 케이블을 30cm정도를 절개한 다음에 케이블이 가압되어 있으면 적절한 기구를 삽입하여서 가압상태를 측정하는 것이다[2]. 이 방법의 문제점은 케이블을 절개해야 하는 것이다. 그리고 케이블을 절개하는 동안에 전기 공급을 중단해야 하는 것이다. 다음에 발전된 방법은 케이블 상에 기구를 사용하여 조그마한 구멍을 만들어서 케이블 내에 있는 절연물질에서 발생하는 변위전류(displacement current)를 측정하는 것이다[3]. 이 방법은 전기 공급을 중단함이 없이 행할 수 있다. 그러나 이 방법도 케이블을 손상시켜야 하므로 측정후에 이를 복구시켜야하고 복구가 된 후에서 손상된 부분은 원래의 기능을 갖기는 어려울 것으로 보인다. 세 번째 방법으로는 케이블의 가압상태를 판단할 수 있는 지점에서 케이블을 통하여 통신 신호를 보내서 작업 구간에서 이를 수신하여 가압 상태를 판단하는 방법이다. 그러나 이 방법은 이 기간 동안에 전력공급을 중단하여야 하는 문제를 갖고 있다.

케이블 가압 상태를 진단하는 것에 대한 국내에서의 연구는 아직까지 보고된 것이 없는 것으로 알고 있다. 최근에 센서기술과 자동화기술의 발달에 의하여 소형, 경량의 계측 장비를 개발하는 것이 가능하게 되었다. 1995년에 미국 뉴욕 Edison 전력회사의 Zarbar는 가속도 센서를 이용하여 3상 3선식 배전 선로 케이블의 가압 상태를 측정할 수 있다는 것을 보여주었다[4]. 이 방법은 케이블의 손상없이 전력 케이블의 가압 여부를 확인할 수 있는 비파괴 케이블 가압 상태를 진단할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 한국 전력공사의 주된 배전 계통인 22.9kV 3상 4선식 다중접지 지중 전력 케이블의 가압 상태 진단 가능성을 이론적 분석과 시뮬레이션에 의하여 제시하였고, 실제 현장 실험을 통하여 확인하였다.

\* 正 會 員 : 順天鄉大 電氣工學部 副教授 · 工博

\*\* 正 會 員 : 順天鄉大 情報物理學科 助教授 · 理博

\*\*\* 正 會 員 : 韓電 電力研究員 先任研究員 · 工博

接受日字 : 1999年 2月 11日

最終完了 : 1999年 9月 1日

2. 이론적 배경 및 시뮬레이션

두개의 도체에 전류  $i_1$ 가  $i_2$ 가 흐르고 있을 때 두 도체사이에 작용하는 단위 길이당 힘은 다음과 같다[5].

$$F_{12} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi r} \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 두 도체 사이의 거리이고  $\mu_0$ 는 투자율이다. 이상적인 경우에 차폐선을 갖지않은 3상 케이블의 경우에 상황은 유사하다. 그림 1은 도체 사이의 거리가  $r$ 인 3상 도체를 보여주고 있다. 이 때 3상 전류는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_1 &= I_1 \cos \omega t \\ i_2 &= I_2 \cos(\omega t - \theta) \\ i_3 &= I_3 \cos(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\omega$ 는 각주파수이고  $\theta$ 는  $120^\circ$  이고 각 전류의 위상각을 나타낸다.

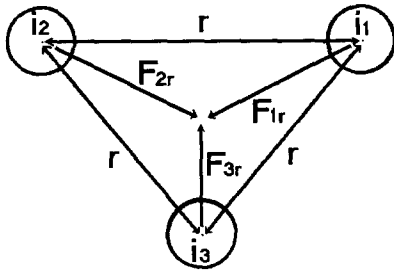


그림 1 3상 케이블에 작용하는 힘  
Fig. 1 Forces on a single conductor in a 3-phase cable arrangements

각 도체로부터 3상 케이블의 중심 방향으로 작용하는 힘은 그림 1에서 보여지는 것과 같이 식 (2)를 식 (1)에 대입하여서 얻은 각 도체 사이에 작용하는 힘을 기하학적으로 풀어서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{1r} &= -\frac{\mu_0 I^2 \sqrt{3}}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} [2\cos \theta + \cos(2\omega t - \theta) + \cos(2\omega t + \theta)] \\ F_{2r} &= -\frac{\mu_0 I^2 \sqrt{3}}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} [\cos \theta + \cos(2\theta) + \cos(2\omega t - \theta) + \cos(2\omega t)] \\ F_{3r} &= -\frac{\mu_0 I^2 \sqrt{3}}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} [\cos \theta + \cos(2\theta) + \cos(2\omega t + \theta) + \cos(2\omega t)] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 첨자 1, 2와 3은 각 케이블을 나타낸다. 식 (3)은 케이블이 가압되어 있을 때 중심 방향으로 작용하는 힘이 입력 주파수의 2배인 120Hz의 주파수를 갖고 있는 것을 보여주고 있다. 각 도체로부터 중심방향으로 작용하는 힘에 의한 변위는 다음 운동방정식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{0i} + v_{0i} t + \frac{1}{m} \int \left( \int \vec{F}_{ir} dt \right) dt \quad (4)$$

여기서  $r_i$ 는 각 케이블 진동의 상대 진폭이고,  $r_{0i}$ 는 각 케이블 진동의 상대 진폭의 초기값이고  $v_{0i}$ 는 속도의 초기값을 나타내고  $m$ 은 질량을 나타낸다. 식 (3)과 식(4)를 이용하여

얻은 각 케이블의 상대 진폭은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_1 &= r_{01} + v_{01} t - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r m} \left[ \cos \theta \cdot t^2 - \frac{1}{4\omega^2} \cos(2\omega t - \theta) - \frac{1}{4\omega^2} \cos(2\omega t + \theta) \right] \\ r_2 &= r_{02} + v_{02} t - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r m} \left[ \cos \theta \cdot t^2 + \cos(2\theta) \cdot t^2 - \frac{1}{4\omega^2} \cos(2\omega t - \theta) - \frac{1}{4\omega^2} \cos(2\omega t) \right] \\ r_3 &= r_{03} + v_{03} t - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r m} \left[ \cos \theta \cdot t^2 + \cos(2\theta) \cdot t^2 - \frac{1}{4\omega^2} \cos(2\omega t + \theta) - \frac{1}{4\omega^2} \cos(2\omega t) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)로부터 각 케이블 진동의 상대 진폭의 주파수가 입력 주파수의 2배인 것을 보여주고 있다. 또한 식 (5)로부터 케이블의 진동의 상대 진폭이 주기함수로 표시됨을 보여 주고 있다. 그러므로 가속도 센서를 이용하여 케이블의 진동 신호를 감지할 수 있다.

많은 면에서 전압에 의한 힘은 전류에 의한 힘과 유사하다. 전압  $V$ 가 두개의 평행 도체사이에 인가되어 있을 때 도체사이의 단위길이당 인력은 다음과 같다[5].

$$F_V = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{dr} \quad (6)$$

여기서  $C$ 는 두도체 사이의 단위길이당 캐패시턴스이고  $r$ 은 두도체 사이의 거리를 나타낸다. 단위길이당 캐패시턴스가  $C = \pi \epsilon_0 \epsilon_r / \ln(r/R)$  ( $F/m$ ) 이기 때문에 전압  $V$ 에 의한 도체사이의 힘은 다음과 같다.

$$F_V = \frac{1}{2} V^2 \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\left( \ln \frac{r}{R} \right)^2} \frac{1}{r} \quad (7)$$

여기서  $r$ 은 도체사이의 거리이고  $R$ 은 도체의 반경이다. 이 때 전류에 의한 힘과 전압에 의한 케이블 사이에 작용하는 힘의 비는 다음과 같다.

$$\left| \frac{F_V}{F_I} \right| = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\mu_0} \left( \frac{V}{I \cdot \ln \left( \frac{r}{R} \right)} \right)^2 \quad (8)$$

우리가 실험한 천안 변전소에서 측정된 배전 케이블 경우에  $V = 22.9kV$ ;  $I = 200A$ 이고  $r = 4R$ 이므로 식 (8)을 이용하여 구한  $F_V/F_I = -0.9488$ 이다. 여기서  $F_I$ 는 전류에 의한 힘이다. 이 때 전류에 의한 힘과 전압에 의한 힘은 반대 방향이다.

2.1 차폐선 케이블

우리나라에서 사용되고 있는 차폐선 케이블(shielded cable)의 경우에 차폐선은 다중 접지선으로 이용되고 있다. 각 상간 부하의 불평형으로 인하여 접지선으로 이용된 차폐선에 전류가 흐른다. 이 때 중심 도체에 흐르는 전류와 차폐선에 흐르는 전류의 방향은 반대이다. 그러므로 그들 사이에는 척력이 작용하고 있다. 그림 2는 차폐선 케이블의 3상 4선식 배치도를 보여 주고 있다. 한국전력공사 천안 변전소에서 시험 결과 차폐선에 흐르는 전류는 중심도체에 흐르는 전

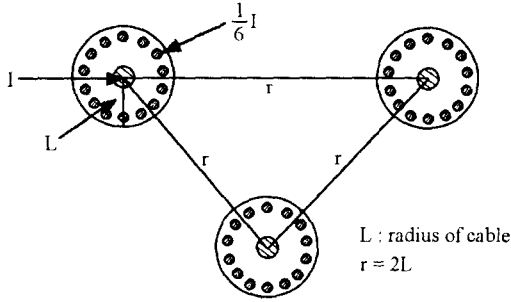


그림 2 차폐선 케이블 모형도  
Fig. 2 Schematic view of shielded cable

류의 1/6 정도였다. 중심도체와 차폐선 사이의 척력에 의한 변위 진폭은 식 (3)과 (4)로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 r_{1(s)} &\propto -\frac{\mu_0 I^2}{96\pi\omega^2 L} \cos(2\omega t) \\
 r_{2(s)} &\propto -\frac{\mu_0 I^2}{96\pi\omega^2 L} \cos(2\omega t - 2\theta) \\
 r_{3(s)} &\propto -\frac{\mu_0 I^2}{96\pi\omega^2 L} \cos(2\omega t + 2\theta)
 \end{aligned} \tag{9}$$

여기서 L은 케이블의 반경이다. 이 때 차폐 케이블에 흐르는 방향을 고려한 실제 전류는  $5/6I_1$ ,  $5/6I_2$  와  $5/6I_3$  이다. 그러므로 각 도체에 흐르는 전류에 의한 각도체의 중심방향으로 작용하는 힘에 의한 각 케이블 진동의 상대 진폭은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r_{1(s)} &\propto \frac{\mu_0 \left(\frac{5I}{6}\right)^2}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{4\omega^2} \\
 &\quad \times [\cos(2\omega t - \theta) + \cos(2\omega t + \theta)] \\
 r_{2(s)} &\propto \frac{\mu_0 \left(\frac{5I}{6}\right)^2}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{4\omega^2} \\
 &\quad \times [\cos(2\omega t - \theta) + \cos(2\omega t)] \\
 r_{3(s)} &\propto \frac{\mu_0 \left(\frac{5I}{6}\right)^2}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{4\omega^2} \\
 &\quad \times [\cos(2\omega t + \theta) + \cos(2\omega t)]
 \end{aligned} \tag{10}$$

$F_0 / F_1 = -0.9488$  이기 때문에 도체에 전류가 흐르지 않을 때 도체사이의 전압에 의한 3상 케이블의 중심 방향으로 작용하는 힘에 의한 케이블 진동의 상대 진폭은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r_{1(s)} &\propto -a \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{4\omega^2} \\
 &\quad \times [\cos(2\omega t - \theta + 2\phi) + \cos(2\omega t + \theta + 2\phi)] \\
 r_{3(s)} &\propto -a \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{4\omega^2} \\
 &\quad \times [\cos(2\omega t + \theta + 2\phi) + \cos(2\omega t + 2\phi)] \\
 r_{2(s)} &\propto -a \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{4\omega^2} \\
 &\quad \times [\cos(2\omega t - \theta + 2\phi) + \cos(2\omega t + 2\phi)]
 \end{aligned} \tag{11}$$

여기서  $\phi$  는 전압과 전류사이의 위상차이고  $a$  는  $-0.9488$ 이다.

전력 케이블의 가압 여부는 가압 상태에서 부하와 연결 되어 있는 경우, 가압 상태에서 부하와 연결 되어 있지 않은 경우와 가압 되어 있지 않을 때 즉 사선일 경우 이다. 그러므로 중성선으로 사용되는 차폐선을 갖고 있는 케이블에 대하여 이 세가지 경우를 생각하면 다음과 같다. 아래에서 구한 케이블 진동의 상대 진폭은 세가지 경우에 대한 상대적인 진폭을 구하는 것이 목적이므로 식 (9), (10) 및 (11)에서 공통되는  $(8\mu_0 I^2) / (\pi\omega^2 L)$  을 1(unit)로 놓고 구하였다.

### 2.1.1 가압상태에서 부하와 연결되어 있는 경우

이 경우의 진동은 중심 도체에 흐르는 전류와 차폐선에 흐르는 전류로부터 발생하는 힘에 의한 진동, 각 도체 사이에 흐르는 전류들 상호 작용에 의해서 발생하는 힘에 의한 진동 그리고 각 도체 사이의 전압에 의해서 발생하는 힘에 의한 진동 등으로 구분할 수 있다. 그러므로 케이블 전체의 진동은 식 (9), (10)과 (11)의 중첩으로부터 얻을 수 있다. 그림 3 은 가압 상태에서 부하와 연결되어 있는 경우의 시간의 변화에 따른 각 상의 상대 진동 진폭을 나타낸다. 그림 3으로부터 peak값은 1.5이다.

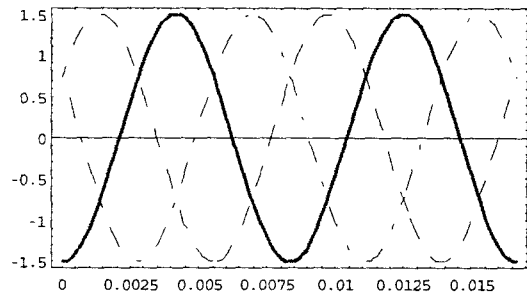


그림 3 가압 상태에서 부하와 연결되어 있는 경우 케이블 진동의 상대 진폭  
Fig. 3 Relative amplitude of cable vibration for live cable carrying a current

### 2.1.2 가압상태에서 무부하인 경우

이 경우에는 중심 도체에 전류가 흐르지 않고 차폐선에만 전류가 흐르므로 전압 성분에 의한 진동과 차폐선에 흐르는

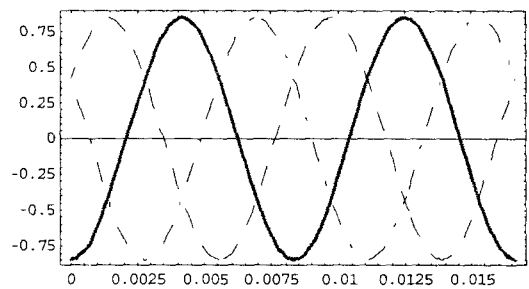


그림 4 가압 상태에서 부하와 연결되어 있지 않은 경우의 케이블 진동의 상대 진폭  
Fig. 4 Relative amplitude of cable vibration for live cable carrying no current

전류에 의한 각 도체사이에 작용하는 힘에 의한 진동만을 생각하면 된다. 그러므로 식 (11)과 차폐선에는 중심 도체에 흐르는 전류의 1/6정도 흐르므로 식 (10)에서 I를 1/6I로 바꾸어서 만든 식의 중첩으로부터 상대 진동 진폭을 구할 수 있다. 그림 4는 가압 상태에서 부하가 연결되어 있지 않은 경우의 시간의 변화에 따른 각 상의 상대 진동 진폭을 보여 주고 있다. 그림 4로부터 peak값은 0.8이다.

2.1.3 사선인 경우

이 경우에는 가압이 되어 있지 않고 중심 도체에 전류가 흐르지 않지만 차폐선을 통하여 전류가 흐르고 있기 때문에 방정식 (10)에서 전류를 1/6I 로 변환하여서 진동의 상대 진폭을 구하면 된다. 그림 5는 사선인 경우의 시간 변화에 따른 각 상의 상대 진동 진폭을 나타내고 그림 5로부터 구한 peak 값은 0.024였다.

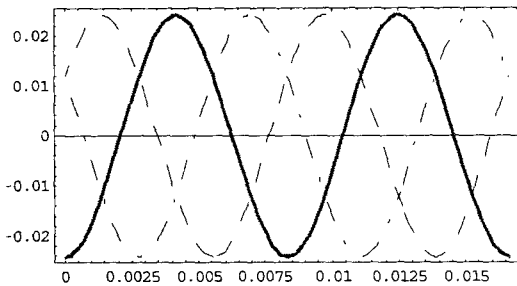


그림 5 사선일 때의 케이블 진동의 상대 진폭  
Fig. 5 Relative amplitude of cable vibration for dead feeder

3. 실험

케이블의 진동은 가속도 센서를 이용하여 감지할 수 있고 본 연구에서는 세라믹 가속도 센서를 이용하여 측정하였다. 케이블의 진동 유·무를 측정하므로써 케이블의 가압 상태를 측정할 수 있다. 금속 덮개를 케이블에 고정시킨 후에 금속 덮개에 가속도 센서를 부착하였다. 측정되어질 신호가 금속 덮개에 전달이 되므로 부착형 가속도 센서를 사용하였다[6]. 이 때 사용된 센서의 감도는 4.02 pC/ms<sup>-2</sup>이었다. 가속도

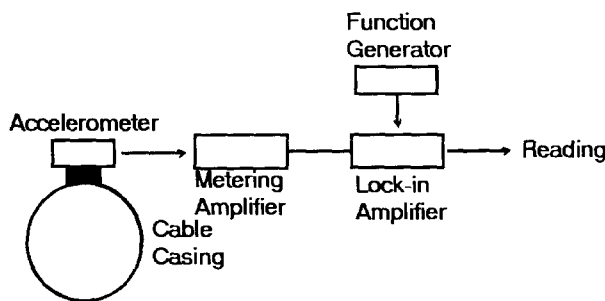


그림 6 케이블 진동 측정 장치  
Fig. 6 Experimental setup for measuring cable vibration

센서로부터 나온 신호를 증폭시키기 위하여 B & K사의 증폭기를 사용하였다. 그림 6은 지중 전력 케이블의 진동을 감지하기 위한 측정 장치를 보여주고 있다. 그림 6에서와 같이 케이블에서 나오는 특정한 신호를 얻기 위하여 함수 발생기로부터 기준 신호가 주어졌다. 기준 신호는 HP33120A 함수 발생기를 이용하여 얻었다. Stanford Research사의 Lock-in amplifier를 기준 신호와 같은 증폭된 신호를 얻기 위하여 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

실험은 한국전력공사 천안 변전소에서 시행하였다. 이 때 사용된 선로는 22.9kV 배전선로로서 전류는 200A였고 케이블의 차폐선은 다중 접지되어 있었다. 이 때 차폐선에는 불평형 부하에 의하여 중심 도체에 흐르는 전류의 1/6정도의 전류가 흐르고 있었다. 실험은 전술한 세가지 경우에 대하여 시행하였다. 그림 7은 진동 주파수가 120Hz에서 얻은 결과를 나타내고 있다. 그림 7로부터 가압 부하의 경우에 가장 큰 출력을 나타내고 사선의 경우에 가장 작은 출력을 나타내는 것을 보여 주고 있다.

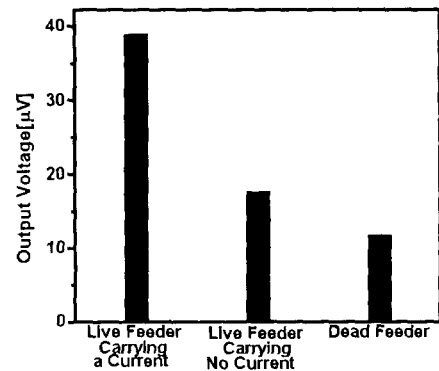


그림 7 3상 차폐 케이블의 세가지 다른 경우의 진동의 출력  
Fig. 7 Output voltage for three different cases of 3 shielded cable tied together

표 1은 시뮬레이션에서 구한 값과 실제 경우를 비교한 것이다. 표 1에서 보여주듯이 세가지 다른 경우에 확실하게 구분할 수 있는 값을 보여 주고 있다. 그러므로 이 장치를 이용하면 세가지 경우를 구분할 수 있을 것으로 생각된다. 다만 이때 사선의 경우에 컴퓨터 시뮬레이션 결과에서는 매우

표 1 컴퓨터 모의 결과와 현장 시험 결과 비교  
Table 1 Comparison between simulation results and field test results

	컴퓨터 모의결과	현장 실험 결과
가압, 부하	1.5	39.14
가압, 무부하	0.8	17.65
사선(무가압, 무부하)	0.024	11.83

작은 값이 나타났으나 실제 현장 실험 결과는 상대적으로 큰 값이 나타났다. 이는 실제 현장에서 사선인 경우에도 주위의 가압되어 있는 케이블로부터 잡음 (noise)을 받는 것으로 생각할 수 있거나 다른 잡음원이 있는 것으로 해석할 수 있다. 이것은 신호처리 회로를 이용하여 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 지중 전력 케이블의 가압 상태를 판별하기 위한 기초 연구를 행하였다. 케이블의 가압 및 부하 여부에 의한 케이블의 진동을 측정하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 케이블의 가압 여부는 다음 3가지로 구분하였다. 첫째는 가압되어 있는 상태에서 부하에 연결되어 있는 경우이고 둘째는 가압만 되어 있고 부하가 연결이 되어 있지 않은 경우이다. 이 경우에는 중심 도체에는 전류가 흐르지 않는다. 셋째는 가압 되어 있지 않고 사선인 경우이다. 이 경우에는 전압도 없고 전류도 흐르지 않는다. 이 세 가지의 경우에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과 세 가지 경우를 구분할 수 있는 것으로 나타났다. 케이블의 진동은 가속도 센서를 이용하여 측정할 수 있었다. 왜냐하면 케이블의 진동이 코사인 함수로 나타나기 때문에 이는 결국 가속도를 의미하기 때문이다. 한국전력공사 천안변전소에서 케이블의 가압 여부를 진단하기 위한 시험을 실시하였다. 실험 결과 센서로부터 출력된 값이 위의 세 가지 경우를 충분히 구분할 수 있었다. 그러나 사선인 경우에 시뮬레이션된 값보다 훨씬 큰 값을 얻었다. 이는 차기 연구 대상으로 주변의 케이블로부터의 잡음 (noise)인 것으로 사료된다.

본 연구(과제번호: 97-지-09)는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공동연구소 주관으로 수행되었음을 감사드립니다..

### 참 고 문 헌

- [1] P. Graneau, "Underground Power Transmission, John Wiley and Sons", 1979.
- [2] "Underground Systems Reference Book", Ch. 11, Edison Electric Institute, 1957.
- [3] T. D. Walsh and T. M. Feldman, "Shielded Cable is Tested to Determine if it is Energized", Transmission & Distribution, pp. 48-51, July 1991.
- [4] Zivan Zarbar and Bernard R. S. Cheo, United States Patents Number 5397983, 1995.
- [5] E. C. Jordan and K. G. Balmain, "Electromagnetic Wave and Radiating Systems", Prentice-Hall, 2nd Ed. 1968.
- [6] Mark Serridga and Torben R. Licht, "Piezoelectric Accelerometer and Vibration Preamplifier Handbook", B & K, 1987.

## 저 자 소 개



#### 김창교 (金昌敎)

1958년 10월 17일생. 1981년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 미국 Vanderbilt대 전기공학과 졸업(공학박). 1993년~현재 순천향대학교 전기공학부 부교수.

Tel : (0418) 530-1339

E-mail : ckkim1@asan.sch.ac.kr



#### 홍진수 (洪秦守)

1957년 4월 24일생. 1980년 연세대 물리학과 졸업. 1982년 동대학원 물리학과 졸업(석사). 1993년 University of Texas 물리학과 졸업(이학박사). 현재 순천향대 정보물리학과 조교수.

Tel : (0418) 530-1337

E-mail : schpch@asan.sch.ac.kr



#### 정영호 (鄭英鎬)

1957년 5월 5일생. 1980년 동국대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한전 전력연구원 선임연구원.

Tel : (042) 865-5906

E-mail : youhojung@dava.kepco.co.kr