

# 66 kV급 전압변성기 비교측정 장치의 현장 평가설비 구축

論 文
56-7-15

## Construction of On-Site Calibration Facilities of 66 kV Voltage Transformer Comparator System

鄭在甲\* · 李相和\* · 權聖遠\*\* · 金明壽\*\*\*  
(Jae Kap Jung · Sang Hwa Lee · Sung Won Kwon · Myungsoo Kim)

**Abstract** - A recently developed methods for the on-site calibration of the voltage transformer (VT) comparator system have been reviewed in the paper. The method utilizes the several traveling standards consisting of the VT, the non-reactive standard resistors, the wide ratio error VT, and the decade resistors. The VT is used for the absolute evaluation of a standard VT belonging to the industry. The non-reactive standard resistor and wide ratio error VT are used for the linearity check of errors in the voltage comparator of the industry. The decade resistors are used for evaluation of a VT burden of the industry.

**Key Words** : Voltage transformer, Voltage transformer comparator, Traveling standard, Ratio error, Phase angle error, Burden, Linearity

### 1. 서 론

전압변성기(voltage transformer)는 코아의 자화전류(magnetizing current) 및 1차측과 2차측의 누설 임피던스(leakage impedance)로 인한 전압강하가 일어나기 때문에 비오차(ratio error) 및 위상각 오차(phase angle error)를 가지고 있다. 전압변성기를 생산하는 중전기 산업체나 교정시험기관에서는 전압변성기 비교측정 장치(voltage transformer comparator system)를 이용하여 피측정 전압변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다.

산업체에서 활용되고 있는 전압변성기 비교측정 장치는 크기가 크고, 무거워서 운반하기가 힘들뿐만 아니라, 제품의 품질관리 및 교정시험용으로 빈번히 사용되기 때문에 이 장치를 국가표준기관으로 운반하여 성능을 평가(교정)받기는 매우 힘들다. 따라서 이동이 용이한 현장용 표준기를 개발하여 이를 산업체로 가져가서 현장에서 산업체의 전압변성기 비교측정 장치를 평가하는 방법이 요구된다. 이를 위하여 최근에 다양한 종류의 이동용 표준기를 이용하여 현장의 전압변성기 비교측정 장치를 구성하고 있는 전압비교기 및 전압변성기용 부담을 산업체 현장에서 평가할 수 있는 방법을 개발하였다.<sup>[1-3]</sup>

또한 최근에 산업체 현장의 전압변성기 비교측정 장치를 구성하고 있는 1차전압이 66 kV 까지의 표준 전압변성기를 현장평가하기 위한 이동용 전압변성기와 현장교정 방법을 추가로 개발하였다. 따라서 본 논문은 산업체 현장의 전압변

성기 비교측정시스템의 종합적인 관점에서 비교측정시스템의 현장평가의 원리, 방법을 서술하고, 참고문헌 [1-3] 에서 개발한 이동용 표준기와 최근에 추가로 개발한 이동용 표준기를 소개하고자 한다.

### 2. 전압변성기 비교측정 장치의 구성

국내 산업체에서 보유하고 있는 전압변성기 비교측정 장치의 구성도를 그림 1에 나타내었다. 표준 전압변성기(standard voltage transformer)와 피측정 전압변성기(voltage transformer under test)의 1차측에 동일하게 고전압을 공급하고, 두 전압변성기의 2차측의 전압을 전압비교기(voltage comparator)를 이용하여 비교한다. 이는 피측정 전압변성기와 비교하여 비오차와 위상각 오차가 10배 이하로 작은 표준 전압변성기를 기준으로 피측정 전압변성기의 비오차와 위상각 오차를 비교 측정한다. 예를 들면 사용한 표준 전압변성기의 오차가 0.1 급인 경우에 피측정 전압변성기의 오차는 10배 이상 커야 함으로 1급 혹은 3급의 피측정 전압변성기를 평가할 수 있다. KS C 1706에 따라 피측정 전압변성기의 2차측 단자에 병렬로 부담( $Z_b$ )을 그림 1과 같이 연결하여 측정하도록 되어있다.<sup>[4]</sup>

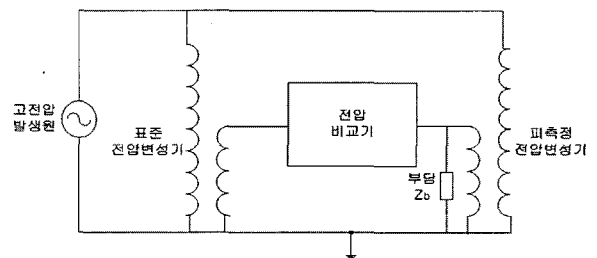


그림 1 전압변성기 비교측정 장치의 구성  
Fig. 1 Constitution of voltage transformer comparator system

† 교신저자, 正會員 : 한국표준과학연구원 책임연구원

E-mail : jkjung@kriss.re.kr

\* 正會員 : 한국표준과학연구원 선임연구원

\*\* 正會員 : 한국표준과학연구원 책임연구원

\*\*\* 正會員 : 한국표준과학연구원, 표준보급부장

接受日字 : 2007年 3月 29日

最終完了 : 2007年 6月 11日

국내에서 활용하고 있는 전압비교기는 모두 외국회사의 제품으로 미국 Knopp 사, 독일의 Zera 사, 스위스 Tettex 사, 일본의 Soken 사 등의 제품을 사용하고 있다. 전압비교기의 불확도는 Knopp 사의 것이 0.025 %, Zera 사가 0.003 %, Tettex 사가 0.005 %, Soken 사의 불확도는 측정값의 3 % 이다. Zera 사와 Tettex 의 전압비교기의 성능이 우수하고, 또한 표준 전압변성기와 피측정 전압변성기의 정격변환비가 다른 경우에도 정격변환비를 보상해주는 기능이 내부에 있기 때문에 다양한 정격변환비를 갖는 피측정 전압변성기의 평가가 가능하다는 장점이 있다.

### 3. 전압변성기 비교측정 장치의 현장 평가

국내 산업체의 전압변성기 비교측정 장치를 교정하기 위해 전압변성기 비교측정 장치를 구성하고 있는 표준 전압변성기, 전압비교기 및 전압변성기용 부담의 현장평가가 요구된다.

#### 3-1. 산업체의 표준 전압변성기의 현장평가

산업체의 전압변성기 비교측정 장치를 구성하고 있는 표준 전압변성기의 평가를 위하여 본 연구원에서 개발된 이동용 전압변성기를 이용한다. 이동용 전압변성기의 1차전압의 범위는  $V_p = 110 \text{ V} \sim 66,000 \text{ V}$ 이다. 그림 2와 같이 1차전압의 범위에 따라 총 4대의 전압변성기로 나누어져 있는데, a)  $V_p = 110 \text{ V} \sim 550 \text{ V}$ , b)  $V_p = 1,100 \text{ V} \sim 6,600 \text{ V}$ , c)  $V_p = 11,000 \text{ V} \sim 22,000 \text{ V}$ , d)  $V_p = 33,000 \text{ V} \sim 66,000 \text{ V}$  이고, 2차전압은 모두  $V_s = 110 \text{ V}$ 이다. 이동용 전압변성기의 제조사는 CT-TECH 사이고, 정확도 등급은 0.01급 ~ 0.05급이고, 정격부담은 5 VA 이다. 산업체의 표준 전압변

성기는 1차측 전압이 110 V, 220 V, 440 V, 550 V, 1100 V, 3300 V, 6600 V, 13200 V, 22000 V, 33000 V 이고, 2차측 전압은 110 V, 비오차가 0.1급 이내의 국산제품을 거의 사용하고 있다. 산업체의 표준 전압변성기의 평가를 위해 이동용 전압변성기의 정확도 등급은 0.01급 ~ 0.05급을 사용한 이유는 산업체의 표준 전압변성기의 등급보다 더 정밀한 이동용 전압변성기를 사용하여야 측정시 유발되는 불확도를 줄여 정확한 평가가 가능하기 때문이다. 산업체 현장에서 이동용 전압변성기를 이용하여 산업체의 표준 전압변성기를 평가하기전에 이동용 전압변성기의 비오차와 위상각 오차를 정확히 평가하여 알고 있어야 한다.

이동용 전압변성기를 그림 1의 피측정 전압변성기에 연결하여 산업체에서 보유하고 있는 전압비교기를 이용하여 이동용 전압변성기의 비오차 및 위상각 오차를 측정한다. 이동용 전압변성기의 비오차 및 위상각 오차는 전압비교기에서 측정된 비오차 및 위상각 오차 측정값에 산업체의 표준 전압변성기의 비오차 및 위상각 오차의 값을 각각 더함으로써 보정되어 진다. 따라서 아래와 같이 쓸 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$\alpha_x = \alpha_r + \alpha_s \tag{1}$$

$$\beta_x = \beta_r + \beta_s \tag{2}$$

여기서,

$\alpha_x$  : 본 연구원에서 측정한 이동용 전압변성기의 비오차

$\beta_x$  : 본 연구원에서 측정한 이동용 전압변성기의 위상각 오차

$\alpha_r$  : 산업체의 전압비교기에서 측정한 이동용 전압변성기의 비오차

$\beta_r$  : 산업체의 전압비교기에서 측정한 이동용 전압변성기의 위상각 오차

$\alpha_s$  : 산업체의 표준 전압변성기의 비오차

$\beta_s$  : 산업체의 표준 전압변성기의 위상각 오차이다.

식 (1) 과 (2)에 의해 산업체의 표준 전압변성기의 비오차 ( $\alpha_s$ )와 위상각 오차( $\beta_s$ )는 각각 본 연구원에서 측정한 이동용 전압변성기의 비오차( $\alpha_x$ )와 위상각 오차( $\beta_x$ )에서 산업체의 전압비교기에서 측정된 이동용 전압변성기의 비오차( $\alpha_r$ )와 위상각 오차( $\beta_r$ )를 빼면 얻어진다. 산업체의 표준 전압변성기의 평가결과의 예를 각각 표 1(a)와 (b)에 나타내었다. 표 1(a)와 1(b)의 첫 번째 열은 전압변성기의 정격변환비를 나타내고, 두 번째 열은 본 연구원에서 측정한 이동용 표준기의 비오차( $\alpha_x$ )와 위상각 오차( $\beta_x$ ), 세 번째 열은 산업체의 전압비교기에서 측정한 이동용 전압변성기의 비오차( $\alpha_r$ )와 위상각 오차( $\beta_r$ )를 나타낸다. 표 1(a)와 1(b)의 마지막 열은 식 (1)와 (2)에 의해 구한 산업체 표준 전압변성기의 비오차( $\alpha_s$ )와 위상각 오차( $\beta_s$ )를 나타낸다. 산업체에서 이동용 전압변성기를 측정할 때 한가지 주의할 점은 본 연구원과 산업체에서 동일한 부담값에서 이동용 전압변성기를 측정하여야 한다.

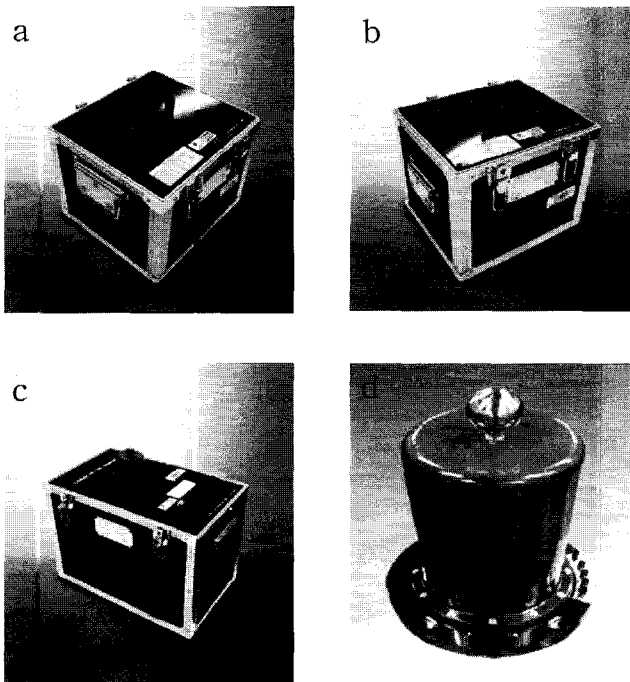


그림 2 이동용 전압변성기의 실물사진  
Fig. 2 The photo of the traveling voltage transformers

표 1 (a) 이동용 전압변성기를 이용한 산업체 표준 전압 변성기의 비오차의 평가

Table 1 (a) Evaluation of ratio error in the standard voltage transformer of industry using the traveling voltage transformer

[단위 : %]

정격변환비	본 연구원에서 측정된 이동용 전압변성기의 비오차(a) : $\alpha_x$	산업체의 전압비교기에서 측정된 이동용 전압변성기의 비오차(b) : $\alpha_r$	산업체 표준 전압변성기의 비오차(a-b) : $\alpha_s$
110 V:110 V	-0.041	.008	-0.033
220 V:110 V	-0.047	-0.018	-0.029
440 V:110 V	-0.030	.004	-0.026
550 V:110 V	-0.030	-0.002	-0.028

표 1 (b) 이동용 전압변성기를 이용한 산업체 표준 전압 변성기의 위상각 오차의 평가

Table 1 (b) Evaluation of phase angle error in the standard voltage transformer of industry using the traveling voltage transformer

[단위 : min]

정격변환비	본 연구원에서 측정된 이동용 전압변성기의 위상각 오차(c) : $\beta_x$	산업체의 전압비교기에서 측정된 이동용 전압변성기의 위상각 오차(d) : $\beta_r$	산업체 표준 전압변성기의 위상각 오차(c-d) : $\beta_s$
110 V:110 V	1.54	1.24	0.30
220 V:110 V	1.53	1.35	0.18
440 V:110 V	1.38	1.22	0.16
550 V:110 V	1.21	1.09	0.12

3-2. 산업체 전압비교기의 현장평가

3-2-1. 표준저항 부품을 이용한 전압비교기의 평가

표준저항부품을 이용한 전압비교기의 비오차 및 위상각 오차의 평가를 위하여 그림 1의 전압변성기용 부담으로, 리액턴스성분이 저항성분과 비교하여  $10^{-5}$ 이하로 무시할 수 있는, 즉  $\frac{X_b}{R_b} < 10^{-5}$  인 표준저항을<sup>[6]</sup> 사용하면 부담  $Z_b$ 가 있을 때의 전압변성기의 비오차( $\alpha_b$ )와 위상각 오차( $\beta_b$ )는 아래와 같이 쓸 수 있다.<sup>[1]</sup>

$$\alpha_b \approx \alpha_0 + (\alpha_0 - 100) \cdot R_0 \cdot \left( \frac{1}{R_b} \right) \quad (3)$$

$$\beta_b \approx \beta_0 - X_0 \left( \frac{1}{R_b} \right) \quad (4)$$

식 (3) 와 (4)의 각 인자들은 아래와 같다.

$\alpha_0$  : 부담이 없을 때의 비오차

$\alpha_b$  : 부담이 있을 때의 비오차

$\beta_0$  : 부담이 없을 때의 위상각 오차

$\beta_b$  : 부담이 있을 때의 위상각 오차

$Z_0 = R_0 + jX_0$  : 전압변성기의 누설 출력 임피던스 (leakage output impedance)

$Z_b = R_b + jX_b$  : 부담의 임피던스

식 (3) 및 (4)에서 전압변성기의 임의의 2차 출력전압을 일정하게 유지하고 부담  $R_b$ 만을 변화시킬때  $\alpha_0$ ,  $R_0$ ,  $\beta_0$  및  $X_0$ 는 상수이다. 따라서 식 (3)의 부담이 있을 때의 비오차 ( $\alpha_b$ )와 식 (4)의 부담이 있을 때의 위상각 오차( $\beta_b$ )는 부담의 저항값에 반비례한다( $\sim \frac{1}{R_b}$ ). 따라서  $R_b$ 의 값을 변화시켜 가면서 얻은  $\alpha_b$ 와  $\beta_b$ 를  $\frac{1}{R_b}$ 의 함수로 프라팅 하여 산업체의 전압비교기의 비오차와 위상각 오차의 직선성을 평가할 수 있다.

산업체의 전압비교기의 비오차와 위상각 오차 눈금의 직선성 평가를 위해 사용한 표준저항부담은 본 연구원에서 보유하고 있는 영국 Tinsley 사의 제품으로서 정격저항이 각각 100  $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 1 M $\Omega$ 이고, 정격전력은 모두 10 W이다(그림 3 참조). 여기서 사용한 피측정 전압변성기는 본 연구원에서 보유하고 있는 YEW사의 모델 2262를 사용하였고, 1차측 전압이 6600 V 이고, 2차측 전압은 110 V 로서, 2차 전압을 30 V로 유지하면서 측정하였다. 30 V에서 측정된 이유는 100  $\Omega$  표준저항의 정격전력이 10 W이기 때문에 30 V 이상의 전압을 가할 수가 없고, 100  $\Omega$  이상의 다른 표준저항에서도 동일한 전압에서 측정해야 되기 때문에 30 V로 통일하여 측정을 하였다.

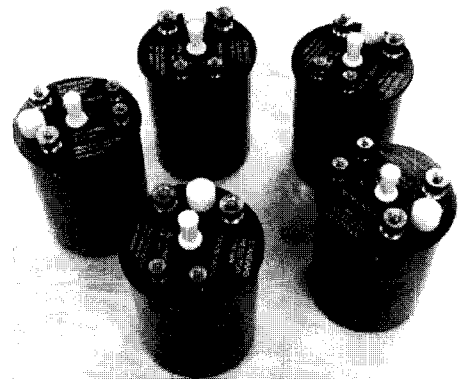


그림 3 표준저항 부담의 실물사진  
Fig. 3 The photo of the standard resistor burdens

국내 4개 회사에서 보유하고 있는 전압변성기 비교측정 장치를 이용하여 표준저항으로 구성된 부담값을 변화시켜가면서 측정된 피측정 전압변성기의 비오차에 대한 결과를 그림 4 (a)에 나타내었다. 그림 4 (a)에서 표준저항부담 100  $\Omega$  ~ 1 M $\Omega$  범위에서 측정된 비오차의 범위는 -1.57 % ~

+0.16 % 이고, 그림 4 (a)의 실선들은 식 (3)을 이용하여 최소제곱법으로 분석한 결과이다. 부담저항이 1 MΩ ~ 1 kΩ ( $x = 0.000\ 001\ \Omega^{-1} \sim 0.001\ \Omega^{-1}$ )까지는 직선성이 잘 유지되다가 100 Ω 즉  $x = 0.01\ \Omega^{-1}$ 에서 직선성이 약간 벗어나 있다.

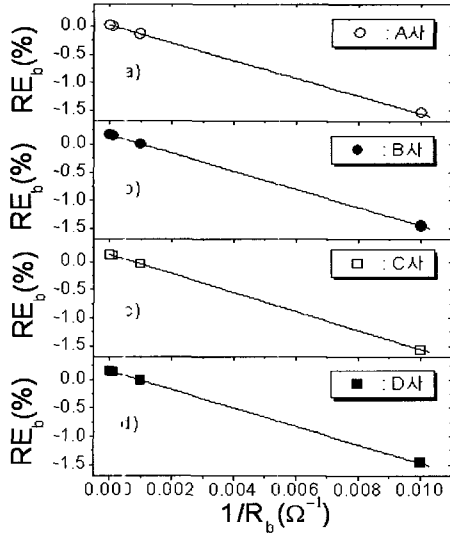


그림 4 (a) 표준저항·부담값에 따른 비오차의 변화  
 Fig. 4 (a) A change of ratio error as a function of resistance of standard resistor burden

이를 명확하게 보기 위하여 그림 4 (a)의  $x = 0.01\ \Omega^{-1}$ 인 부분을 확대하여 그림 4 (b)에 나타내었다. 부담저항이 100 Ω (비오차가 대략 -1.5 %에 해당)에서 A사, B사, C사, D사의 경우 각각 비오차의 값이 직선성으로부터 각각 +0.023 %, -0.01 %, -0.013 %, +0.015 % 정도 벗어나 있다. 따라서 비오차가 약 -1.5 %에서 각각 상기의 벗어난 크기의 반대방향(화살표 방향)으로 보정해야 한다.

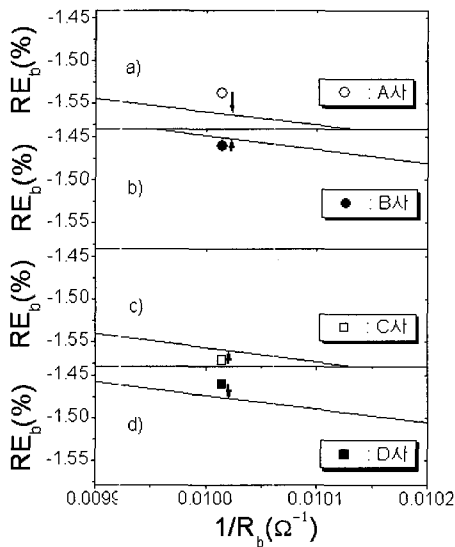


그림 4 (b) 그림 4 (a)의  $0.01\ \Omega^{-1}$  근처에서 확대한 표준저항 부담값에 대한 비오차  
 Fig. 4 (b) Ratio error for standard resistance, enlarged near  $0.01\ \Omega^{-1}$  in Fig 4 (a)

그림 5는 국내 4개 회사에서 보유하고 있는 전압변성기 비교측정 장치를 이용하여 표준저항으로 구성된 부담을 변화시키면서 측정된 피측정 전압변성기의 위상각 오차를 나타낸 것이다. 그림 5의 실선들은 식 (4)을 이용하여 피팅한 결과를 보여주는데 부담저항이 1 MΩ ~ 1 kΩ ( $x = 0.000\ 001\ \Omega^{-1} \sim 0.001\ \Omega^{-1}$ )까지는 직선성이 잘 유지되다가 부담저항 100 Ω ( $x = 0.01\ \Omega^{-1}$ )에서 직선성이 약간 벗어나 있는 것을 알 수 있다. 부담저항 100 Ω(위상각 오차가 약 -0.5 % 근처에 해당)에서 A사, B사, C사, D사의 경우 위상각 오차의 값이 직선성으로부터 각각 +0.014 %, +0.017 %, +0.065 %, +0.212 % 정도 벗어나 있다. 따라서 위상각 오차 눈금 -0.5 %에서 각각 상기의 벗어난 크기의 반대방향(화살표 방향)으로 보정해야 한다.

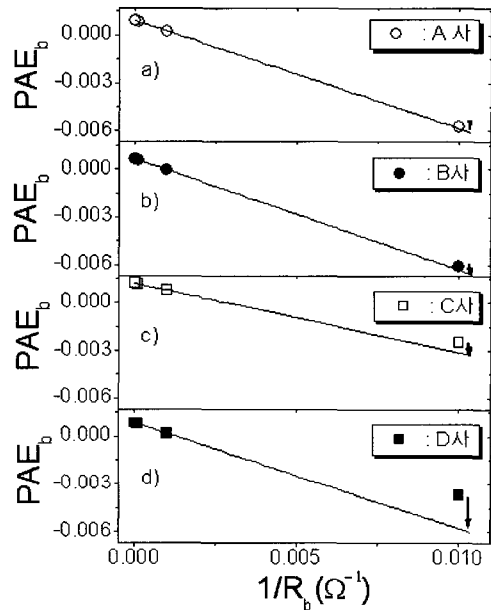


그림 5 표준저항 부담값에 따른 위상각 오차의 변화  
 Fig. 5 A change of phase angle error as a function of resistance of standard resistor burden

### 3-2-2. 광범위 비오차 표준 전압변성기를 이용한 전압비교기의 평가

전압비교기 비오차의 직선성 평가를 위하여 전압변성기의 권선수에 의한 비오차의 이론적인 계산값을 정확히 알고 있는 넓은 범위의 비오차를 갖는 전압변성기(wide ratio error VT, WRE VT)를 개발하였다.<sup>[2]</sup> 권선수에 의한 전압변성기의 비오차는 다음과 같다.<sup>[2]</sup>

$$\text{권선수에 의한 비오차} : \epsilon_t = 100 \cdot \left( \frac{Nn_2 - n_1}{n_1} \right) [\%] \quad (5)$$

식 (5)에서  $N$ 은 정격 변환비이고,  $n_1$ 과  $n_2$ 는 각각 1차권선수와 2차권선수이다. 이번에 개발된 WRE VT의 실물사진을 그림 6에 나타내었다.

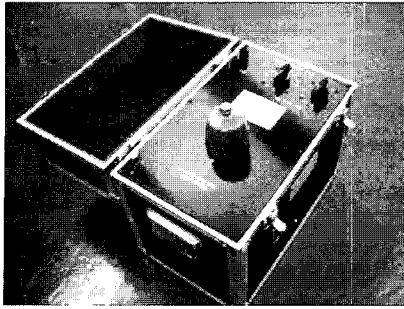


그림 6 광범위 비오차 표준 전압변성기의 실물사진  
Fig. 6 The photo of the wide ratio error VT

WRE VT는 명목 비오차를 0 %, ±0.005 %, ±0.01 %, ±0.03 %, ±0.1 %, ±0.3 %, ±1 %, ±3 %, ±5 %, -9 % 및 +11 %가 되도록 하였으며, 이론적인 권선비에 의한 비오차의 계산값과 측정값이 일치하도록 제작한 것이다. 식 (5)의 권선수에 의한 비오차가 영인 단자와, 이 단자에서 2차측의 권선수를 고정시키고, 1측의 권선수를 달리하여 의도적으로 넓은 범위의 권선수에 의한 비오차를 갖도록 제작한 것이다. WRE VT를 그림 1의 피측정 전압변성기로 사용하여 -9 % ~ +11 % 범위의 전압비교기의 비오차 직선성을 평가하였다. 산업체 전압비교기 비오차 직선성 평가의 예를 표 2에 나타내었다.<sup>[2]</sup> 1차권선수에 대한 2차권선수를 표 2의 두 번

표 2 WRE VT의 권선수에 따라 계산된 비오차 이론값, 측정값과 보정값.

Table 2 calculated and experimental value of ratio error by turn number in the WRE VT and corrected value.  
(단위 : %)

명목 비오차 (%)	권선비 (n <sub>1</sub> /n <sub>2</sub> )	권선비에 의한 비오차 이론값(e)	권선비에 의한 비오차 측정값(f)	보정값 (e-f)
-9	22016/167	-9.0843	-9.0773	-0.0070
-5	21016/167	-4.7583	-4.7547	-0.0035
-3	20616/167	-2.9104	-2.9101	-0.0002
-1	20216/167	-0.9893	-0.9888	-0.0005
-0.3	20076/167	-0.2989	-0.2991	+0.0002
-0.1	20036/167	-0.998	-0.1002	+0.0004
-0.03	20022/167	-0.0300	-0.0303	+0.0003
-0.01	20018/167	-0.0100	-0.0105	+0.0005
-0.005	20017/167	-0.0050	-0.0055	+0.0005
0.000	20016/167	0.0000	0.0000	0.0000
+0.005	20015/167	+0.0050	+0.0045	+0.0005
+0.01	20014/167	+0.0100	+0.0096	+0.0004
+0.03	20010/167	+0.0300	+0.0296	+0.0004
+0.1	19996/167	+0.1000	+0.0997	+0.0003
+0.3	19956/167	+0.3007	+0.2994	+0.0013
+1	19816/167	+1.0093	+1.0081	+0.0012
+3	19416/167	+3.0902	+3.0877	+0.0025
+5	19016/167	+5.2587	+5.2545	+0.0042
+11	18016/167	+11.1012	+11.0933	+0.0079

재 열에 나타내었고, -9 % ~ 11 %의 명목 비오차에서 권선수에 의한 비오차 이론값은 식 (5)를 이용하여 계산하여 표 2의 세 번째에 나타내었다. 산업체에서 측정값은 표 2의 네 번째 열에 나타내었고, 마지막 열에는 이론값과 측정값의 차이 즉 산업체의 전압비교기가 보정해 주어야 할 값을 나타내었다.

표 2에서 보는 바와 같이 권선비에 의한 명목 비오차가 -3 % ~ +0.1 % 범위에서는 이론값과 측정값의 차이가 ±0.0005 % 이하이고, 명목 비오차 +0.3 % 및 +1 % 에서는 이론값과 측정값의 차이가 최대 +0.0013 % 이다. 전압비교기의 불확도가 ±0.002 % 이므로<sup>[7]</sup> 위의 비오차 범위에서는 전압비교기의 비오차를 보정할 필요가 없다. 명목 비오차가 큰 범위에서는 차이가 점점 증가하여, -9 %에서는 -0.0070 % 만큼, +11 %에서는 +0.0079 % 만큼 전압비교기 비오차의 측정값을 보정해 주어야 정확한 측정결과를 얻을 수 있다.

3-3. 산업체 전압변성기용 부담의 현장평가

계단식저항기를 이용한 전압변성기용 부담측정 장치의 구성도를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서와 같이 부담(Z<sub>b</sub>)을 측정하기 위해서 계단식저항기 R<sub>s</sub>를 피측정 전압변성기 2차측에 직렬로 연결하였다. 표준 전압변성기와 비교기는 미국 Knopp 사의 제품으로 모델은 각각 WP-14000-4 와 Knopp KVTs 이다. 여기서 사용한 피 측정 전압변성기는 본 연구원에서 보유하고 있는 일본 Yokogawa사의 모델 2261를 사용하였고, 1 차측 전압이 440 V 이고, 2 차측 전압은 110 V 의 정격변환비에서 측정하였다.

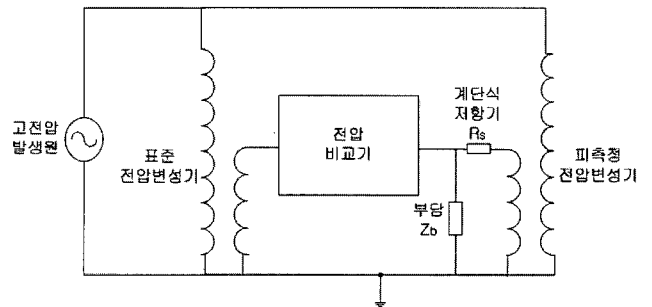


그림 7 계단식저항기를 이용한 전압변성기용 부담측정장치  
Fig. 7 VT Burden measurement system using a decade resistor.

저항의 직류-교류 차이가 0.1 % 이하인 즉  $\frac{X_s}{R_s} < 10^{-3}$  인 계단식 저항기(R<sub>s</sub>)를 피측정 VT의 2 차측에 직렬로 연결하면 아래와 같이 쓸 수 있다.<sup>[3]</sup>

$$\alpha_b\{R_s\} = \alpha_b + (\alpha_0 - 1)G_bR_s \tag{6}$$

$$\beta_b\{R_s\} = \beta_b + B_bR_s \tag{7}$$

어떤 특정한 부담과 무 부담에서 식 (6)과 (7)의 α<sub>0</sub>, α<sub>b</sub>, β<sub>b</sub> 가 상수이므로, 식 (6)의 비오차, α<sub>b</sub>{R<sub>s</sub>}와 식 (7)의 위상각 오차, β<sub>b</sub>{R<sub>s</sub>}는 모두 계단식 저항기의 저항값(R<sub>s</sub>)에

비례한다. 따라서  $R_s$ 의 값을 변화시켜 가면서 측정된  $\alpha_b\{R_s\}$ 와  $\beta_b\{R_s\}$ 를  $R_s$ 의 1차 함수로 피팅하여 기울기를 얻으면 부담의  $(a_0-1)G_b$ 와 서셉턴스( $B_b$ )가 된다. 이렇게 얻어진 컨덕턴스( $G_b$ )와 서셉턴스( $B_b$ )로부터 부담의 부담값과 역률은 아래의 관계에 의해 얻어진다.

$$\text{부담값} = V_b^2 \sqrt{G_b^2 + B_b^2} \quad (8)$$

$$\text{부담의 역률} = \frac{G_b}{\sqrt{G_b^2 + B_b^2}} \quad (9)$$

여기서  $V_b$ 는 110 V의 전압으로서 멀티미터를 이용하여 부담 양단의 전압을 측정하여 얻는다.

계단식저항기의 실물사진은 그림 8과 같다. 부담의 측정 방법은 피 측정 전압변성기의 2차측 전압 110 V로 유지하고 직렬로 연결된 계단식 저항기의 저항을 변화시키면서(1 Ω ~ 100 Ω) 피 측정 전압변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다.

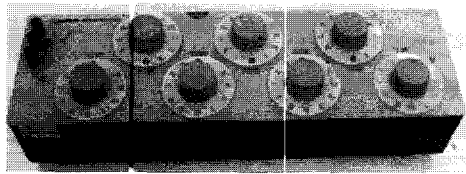


그림 8 계단식저항기의 실물사진  
Fig. 8 The photo of the decade resistor

부담의 정격과 역률이 15 VA, 0.8, 인 부담에 대해 2차측 전압 110 V에서의 계단식 저항기의 저항값의 변화에 따른 비오차와 위상각 오차의 측정결과를 예로 각각 그림 9 (a)와 (b)에 나타내었다.

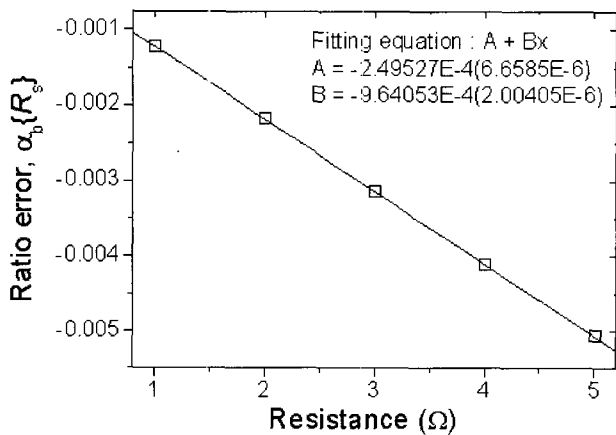


그림 9 (a) 계단식 저항기의 저항값의 변화에 따른 전압변성기의 비오차의 측정결과.

Fig. 9 (a) Measurement results for ratio error of voltage transformer as a function of the resistance of decade resistor.

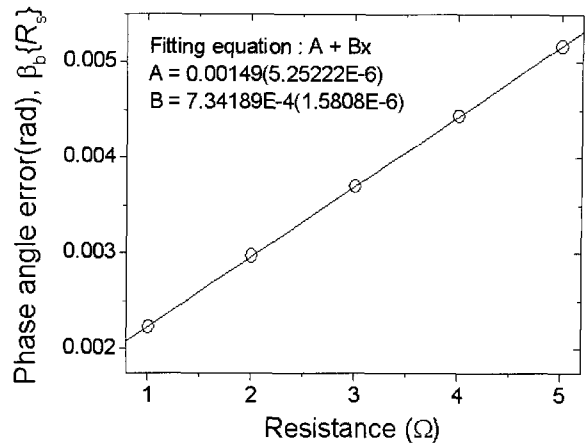


그림 9 (b) 계단식 저항기의 저항값의 변화에 따른 전압변성기의 위상각 오차의 측정결과.

Fig. 9 (b) Measurement results for phase angle error of voltage transformer as a function of resistance of the decade resistor.

2차 측이 개방되어있는 무 부담일때 측정된 피측정 전압 변성기의 비오차  $a_0 = 0.178\%$  이고, 그림 9 (a)에서 피팅한 직선의 기울기는 식 (6)에 의해  $(a_0 - 1)G_b$ 이다. 따라서 부담의 컨덕턴스를 구할 수 있다. 식 (7)에 따라 그림 9 (b)에서 피팅된 직선의 기울기는 부담의 서셉턴스( $B_b$ )임을 알 수 있다. 위와 같은 방법으로 다른 종류의 정격부담 1.25 VA, 2.5 VA, 5 VA, 10 VA에서 측정한 부담의 컨덕턴스( $G_b$ )와 서셉턴스( $B_b$ )의 측정결과를 정리하여 15 VA의 결과와 함께 표 3의 두 번째와 세 번째 열에 각각 나타내었다. 부담의 부담값과 역률은 각각 식 (8)과 (9)에 의해 구할 수 있고, 상기범위에서 구한 부담값과 역률을 정리하여 표 3의 마지막 두 열에 나타내었다.

표 3 부담의 컨덕턴스( $G_b$ )와 서셉턴스( $B_b$ )로부터 식 (8)과 (9)에 의해 계산된 부담값과 역률

Table 3 Burden value and power factor calculated according to eqs. (8) and (9) from conductance and susceptance of the burden

부담의 정격/역률	컨덕턴스( $G_b$ )	서셉턴스( $B_b$ )	부담값	역률
1.25 VA/0.8	0.0000795	0.0000627	1.226 VA	0.785
2.5 VA/0.8	0.0001605	0.0001233	2.449 VA	0.793
5 VA/0.8	0.0003263	0.0002421	4.917 VA	0.803
10 VA/0.8	0.0006575	0.0004917	9.934 VA	0.801
15 VA/0.8	0.0009658	0.0007342	14.679 VA	0.796

#### 4. 결 론

최근에 산업체 현장의 전압변성기 비교측정 장치를 현장 평가를 위해 다양한 종류의 이동용 표준기와 평가방법을 개발하였다. 현장교정 기술에 대한 유효성을 검증하였고, 이

기술은 실제로 산업체의 현장교정에 사용하고 있는 중이다. 본 연구에서 개발한 이동용 표준기는 세가지 종류인데, 첫 번째로는 국가표준에 소급되고 자체적으로 평가한 이동용 전압변성기를 이용하여 산업체의 표준 전압변성기를 절대 평가하는 것이다. 두 번째 이동용 표준기는 정밀저항 부담과 광범위 비오차 전압변성기인데 전자는 저항의 직-교류 차이가 거의 없는 정밀저항 부담을 이용하여 비교적 좁은 범위(약  $\pm 1\%$ )의 전압비교기의 비오차와 위상각 오차의 직선성을 동시에 평가하기 위한 이동용 표준기이고, 후자는 권선수에 의한 비오차값을 알고 있는 광범위 비오차 전압변성기로써 이를 이용하여 넓은 범위(약  $\pm 10\%$ )의 전압비교기의 비오차 직선성을 평가하기 위한 것이다. 마지막으로 개발한 이동용 표준기는 계단식 저항기인데, 이를 이용하여 전압변성기용 부담을 현장평가 할 수 있다. 이 방법은 전압비교기에 연결되어 있는 케이블의 임피던스의 값과 전압비교기의 입력 임피던스를 직접 측정할 수 있기 때문에 현장교정에 더욱 적합한 방법이다.

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부 전력산업인프라구축지원사업의 “연구시험설비구축사업”의 지원으로 이루어진 것입니다.

**참 고 문 헌**

- [1] 정재갑, 권성원, 박영태 “전압변성기 비교 측정 장치의 비오차 및 위상각 오차의 직선성 평가기술” 대한전기학회지, 53C권(9호), 470-474(2004).
- [2] 권성원, 정재갑, 이상화, 김명수 “초정밀 광범위 비오차 전압변성기의 개발 및 그 응용”, 대한전기학회지, 55C권(6호), 317-322(2006).
- [3] 정재갑, 권성원, 박영태, 김명수 “전압변성기 비교기를 이용한 부담의 현장교정기술” 대한전기학회지, 54C권(11호), 503-507(2005).
- [4] 한국표준협회, “계기용변성기(표준용 및 일반계기용)”, KS C 1706, 1982.
- [5] I. E. Zinn “PTB testing instructions instrument transformers” PTB testing instructions 12, ISSN 0341-7964, 85-86(1977)
- [6] Tinsley “Precision Resistance Measurement”, Tinsley Precision Instruments 1995.
- [7] Certificate of the PT comparator (Zera model WM 303U), PTB, 2005.

**저 자 소 개**



**정재갑 (鄭在甲)**

1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업(이학박사). 1999-2001 아이오아 주립대 박사후 연구원. 2001년-현재 한국표준과학연구원 기반표준부 책임연구원  
 Tel : 042-868-5759  
 Fax : 042-868-5018  
 E-mail : jkjung@kriss.re.kr



**이상화 (李相和)**

1967년 1월 26일생. 1994년 한밭대 전자공학과 졸업. 1986-현재 한국표준과학연구원 기반표준부 선임연구원  
 Tel : 042-868-5151  
 Fax : 042-868-5018  
 E-mail : shlee@kriss.re.kr



**권성원 (權聖遠)**

1952년 1월 19일생. 1974년 한국항공대학교 전자공학과 졸업. 1974년-1977년 공군정밀측정시험소 전기전자시험과장. 1978년-현재, 한국표준과학연구원 기반표준부 책임연구원  
 Tel : 042-868-5155  
 Fax : 042-868-5018  
 E-mail : swkwon@kriss.re.kr



**김명수 (金明壽)**

1954년 8월 26일생. 1977년 서울공대 화공과 졸업. 1986년 미국 미주리대(공학박사). 1977년-1982년 국방과학연구소. 1987년-현재 : 한국표준과학연구원, 표준보급부장  
 Tel : 042-868-5040  
 Fax : 042-868-5439  
 E-mail : mkim@kriss.re.kr