

On-Site Evaluation Technique of Current Transformer Comparator System

鄭在甲[†] · 李相和^{*} · 權聖遠^{**} · 姜銓洪^{*} · 金明壽^{***}

(Jae Kap Jung · Sang Hwa Lee · Sung Won Kwon · Jeon Hong Kang · Myung Soo Kim)

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

Key Words : Current transformer, Current comparator, Traveling standard, Ratio error, Phase angle error, Burdens, Linearity

1. 서 론

중전기기 산업체에서는 전류변성기 비교측정 장치를 이용하여 전류변성기(current transformer)의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 산업체에서 활용되고 있는 전류변성기 비교 측정시스템은 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 이동 표준기를 개발하여 이를 산업체로 가져가서 현장에서 직접 산업체의 전류변성기 비교측정 장치를 평가하는 방법이 요구된다. 이를 위하여 최근에 다양한 종류의 이동용 표준기를 이용하여 현장의 전류변성기 비교측정 장치를 구성하고 있는 표준 전류변성기와 전류비교기 및 전류변성기용 부함을 산업체 현장에서 평가 할 수 있는 방법을 개발하였다^[1-3]. 본 논문은 최근에 개발한 이동용 표준기의 소개와 함께 이동교정의 이론적인 원리 및 방법을 요약하여 연구결과를 종합적으로 서술하였다.

2. 전류변성기 비교측정 장치의 구성

국내 산업체에서 보유하고 있는 전류변성기 비교측정 시스템 구성도를 그림 1에 나타내었다. 표준 전류변성기(standard current transformer)와 피측정 전류변성기(current transformer under test)의 1차측에 동일한 대전류

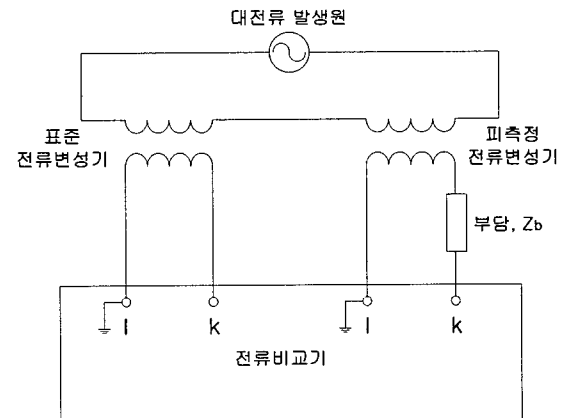


그림 1 전류변성기 비교측정 장치의 구성
Fig. 1 Constitution of current transformer comparator system

를 직렬로 공급하고, 두 전류변성기의 2차측의 전류를 전류비교기(current comparator)를 이용하여 비교한다. 이 방법은 피측정 전류변성기와 비교하여 비오차와 위상각 오차를 무시할 수 있는 표준 전류변성기를 기준으로 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. KS C 1706에 의해 피측정 전류변성기의 2차측 단자에 직렬로 부담(Z_b)을 그림 1과 같이 연결하여 측정하도록 되어있다.^[4]

국내에서 활용하고 있는 전류비교기는 모두 외국회사의 제품으로 미국 Knopp 사, 독일의 Zera 사, 스위스 Tettex 사, 일본의 Soken 사 등의 제품을 사용하고 있다.

3. 전류변성기 비교측정 장치의 현장 평가

국내 산업체에서 전류변성기 비교측정 장치를 현장조건에 적합하게 교정하여 품질관리효율을 향상시키기 위해서는 이들 비교측정 장치를 구성하고 있는 표준 전류변성기, 전류비

[†] 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 7日
最終完了 : 2007年 3月 26日

교기 및 전류변성기용 부담을 현장에서 평가해야 할 필요가 있다.

3-1. 산업체 표준 전류변성기의 현장평가

전류변성기 비교측정 장치를 구성하고 있는 표준 전류변성기의 평가를 위하여 이동용 표준 전류변성기를 이용한다. 그림 2는 이동용 표준 전류변성기의 실물사진이다. 1차전류의 범위는 5 A ~ 5000 A이고, 2차전류는 5 A이며, 정확도 등급은 0.02 급이며 정격부담은 15 VA이다.

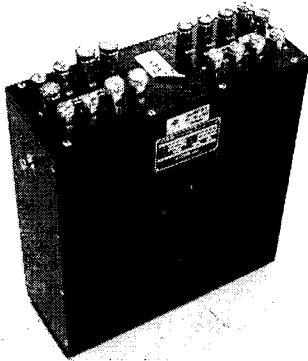


그림 2 1차전류 5000 A 급 이동용 표준 전류변성기의 실물 사진

Fig. 2 The photo of the traveling standard current transformer of primary current of 5 kA

이동용 표준 전류변성기를 그림 1의 피측정 전류변성기에 연결하고, 전류비교기를 이용하여 산업체의 표준 전류변성기와 비교함으로써 이동용 표준 전류변성기의 비오차 및 위상각 오차를 측정한다. 이동용 표준 전류변성기의 비오차 및 위상각 오차는 전류비교기에서 측정된 비오차 및 위상각 오차 측정값에 산업체의 표준 전류변성기의 비오차 및 위상각 오차의 값을 각각 더함으로써 보정할 수 있다. 따라서 아래와 같이 쓸 수 있다.^[5]

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

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

여기서,

- α_x : 이동용 표준 전류변성기의 비오차
- β_x : 이동용 표준 전류변성기의 위상각 오차
- α_r : 전류비교기에서 측정한 이동용 표준 전류변성기의 비오차
- β_r : 전류비교기에서 측정한 이동용 표준 전류변성기의 위상각 오차
- α_s : 산업체의 표준 전류변성기의 비오차
- β_s : 산업체의 표준 전류변성기의 위상각 오차이다.

산업체 현장에서 이동용 표준 전류변성기를 측정하기 전에 본 연구원에서 이동용 표준 전류변성기의 비오차와 위상각 오차는 정확히 평가하여 그 값을 알고 있어야 한다. 식 (1)과 (2)에서 산업체의 표준 전류변성기의 비오차(α_s)와 위상각 오차(β_s)는 각각 본 연구원에서 측정한 이동용 표준 전류변성기의 비오차(α_r)와 위상각 오차(β_r)의 값에서 전류비교기에서 측정된 비오차(α_x)와 위상각 오차(β_x)를 빼면 얻어진다. 이동용 표준 전류변성기를 이용한 비오차와 위상각 오차의 산업체에서 평가결과의 예를 각각 표 1(a)와 (b)에 나타내었다. 표 1(a)와 1(b)의 첫 번째 열은 전류변성기의 정격변환비를 나타낸다. 표 1(a)와 1(b)의 두 번째 열은 각각 본 연구원에서 측정한 이동용 표준기의 비오차와 위상각 오차, 세 번째 열은 산업체에서 전류비교기로 측정한 비오차와 위상각 오차를 나타낸다. 마지막 열은 식 (1)과 (2)에 따라 계산한 산업체 표준 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 나타낸다. 산업체에서 이동용 전류변성기를 측정할 때 한가지 주의할 점은 본 연구원과 산업체에서 동일한 부담으로 이동용 표준 전류변성기를 평가하여야 한다.

표 1 (a) 이동용 전류변성기를 이용한 산업체 표준 전류변성기의 비오차 평가

Table 1 (a) Evaluation for the ratio error of the standard current transformer of industry using the traveling current transformer

[단위 : %]

정격변환비	이동용 표준 전류변성기의 비오차(a)	전류비교기에서 측정한 이동용 표준 전류변성기의 비오차(b)	산업체 표준 전류변성기의 비오차 : a-b
10 A:5 A	-0.041	-0.008	-0.033
50 A:5 A	-0.047	-0.018	-0.029
100 A:5 A	-0.030	-0.004	-0.026
750 A:5 A	-0.030	-0.002	-0.028

표 1 (b) 이동용 전류변성기를 이용한 산업체 표준 전류변성기의 위상각 오차 평가

Table 1 (b) Evaluation for the phase displacement of the standard current transformer of industry using the traveling current transformer

[단위 : min]

정격변환비	이동용 표준 전류변성기의 위상각 오차(c)	전류비교기에서 측정한 이동용 표준 전류변성기의 위상각 오차(d)	산업체 표준 전류변성기의 위상각 오차 : c-d
10 A:5 A	1.54	1.24	0.30
50 A:5 A	1.53	1.35	0.18
100 A:5 A	1.38	1.22	0.16
750 A:5 A	1.21	1.09	0.12

3-2. 산업체 전류비교기의 현장평가

3-2-1. 표준저항 부단을 이용한 전류비교기의 평가

표준저항부단을 이용한 전류비교기의 비오차 및 위상각 오차의 직선성 평가를 위하여 그림 1의 전류변성기용 부담으로, 리액티브 성분이 저항성분과 비교하여 10^{-5} 이하로 무시할 수 있는, 즉 $\frac{X_b}{R_b} < 10^{-5}$ 인 표준저항을^[6] 사용하면 외부 부담 Z_b 가 있을 때의 전류변성기의 비오차(α_b)와 위상각 오차(β_b)는 아래와 같이 쓸 수 있다.^[1]

$$\alpha_b \cong -(G_m R_2 + B_m X_2 + G_m R_b) = constant - G_m R_b \quad (3)$$

$$\beta_b \cong B_m R_2 - G_m X_2 + B_m R_b = constant + B_m R_b \quad (4)$$

식 (3) 및 (4)에서 전류변성기의 2차전류를 일정하게 유지하고 외부부담 R_b 만을 변화시킬때 G_m, B_m, R_2, X_2 는 상수이다. 식 (3)과 (4)의 각 인자들은 아래와 같다.

$Z_2 = R_2 + jX_2$: 전류변성기의 2차 누설 임피던스
(secondary leakage impedance)

$G_m = \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2}$: 컨덕턴스(conductance)

$B_m = \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2}$: 서셉턴스(susceptance)

$Z_b = R_b + jX_b$: 외부부담의 임피던스

식 (3)의 부담이 있을 때의 비오차(α_b)와 식 (4)의 부담이 있을 때의 위상각 오차(β_b)는 부담의 저항값에 선형적으로 비례한다($\sim R_b$). 따라서 R_b 의 값을 변화시켜 가면서 얻은 α_b 와 β_b 를 R_b 의 함수로 피팅하여 국내의 산업체에서 보유하고 있는 전류비교기의 비오차와 위상각 오차의 직선성을 평가할 수 있다.

국내의 산업체에서 보유하고 있는 전류비교기의 비오차와 위상각 오차 눈금의 직선성을 피측정 전류변성기의 2차측에 연결하는 표준저항부단($Z_b = R_b$)을 변화하여 평가하였다. 여기서 비오차와 위상각 오차의 직선성은 각각 식 (3)과 (4)를 이용하여 평가하였다. 사용한 표준저항부단은 영국 Tinsley 사의 제품으로서 정격저항이 각각 0.1 Ω , 0.2 Ω , 0.4 Ω , 0.6 Ω , 1 Ω , 2 Ω , 4 Ω , 10 Ω 이고, 정격전력은 모두 10 W 이다. 그림 3은 표준저항 부단의 실물사진이다. 여기서 사용한 피측정 전류변성기는 Yokogawa사의 모델 2242를 사용하였고, 정격전류는 1차측 전류가 100 A이고, 2차측 전류가 5 A로서, 2차 전류를 1 A로 유지하면서 측정하였다. 표준저항부단 중에서 저항값이 제일 큰 10 Ω 의 경우, 정격전력이 10 W이고 이에 해당하는 1 A의 전류를 공급하면서 측정하였다. 10 Ω 이하의 다른 표준저항에서도 10 Ω 표준저항과 동일한 전류에서 측정하기 위하여 1 A로 측정하였다.

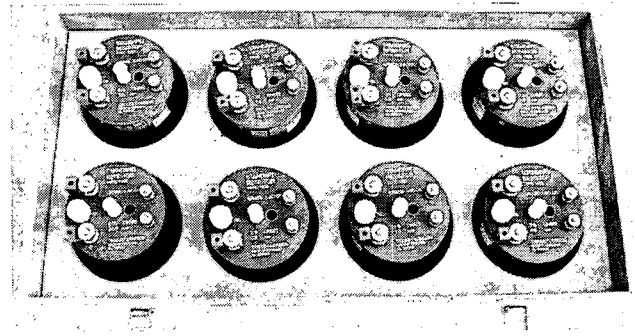


그림 3 표준저항 부단의 실물사진
Fig. 3 The photo of the standard resistors for burden

국내 2개 회사에서 보유하고 있는 전류변성기 비교측정 장치의 현장평가시 표준저항 부담값을 변화시켜가면서 측정 한 피측정 전류변성기의 비오차에 대한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 표준저항부단 0.01 Ω ~ 10 Ω 범위에서 측정된 비오차의 범위는 -0.686 % ~ +0.01 %이고, 그림 4의 두 실선은 식 (3)를 이용하여 최소제곱법으로 분석한 결과이다. A사의 경우 부담저항이 0.01 Ω ~ 2 Ω 까지는 직선성이 잘 유지되다가 4 Ω 에서 윗방향으로 +0.014 % 벗어나기 시작하여, 10 Ω 에서 윗방향으로 +0.052 % 크게 벗어난다는 것을 알 수 있다. B 사의 경우 A 사와 유사하게 부담저항이 0.01 Ω ~ 2 Ω 까지는 직선성이 잘 유지되다가 10 Ω 에서 윗방향으로 +0.035 % 크게 벗어난다는 것을 알 수 있다. 두 회사의 경우 비오차가 작은 범위에서는 직선성이 잘 유지되다가, 비오차가 커지면서 직선성이 점점 크게 벗어난다는 것을 알 수 있다. A 사와 B 사의 경우 전류비교기에서 측정된 비오차를 상기의 벗어난 크기만큼 아래방향으로(그림 4의 화살표 방향) 보정해야 하고 보정값을 그림 4의 괄호안에 나타내었다.

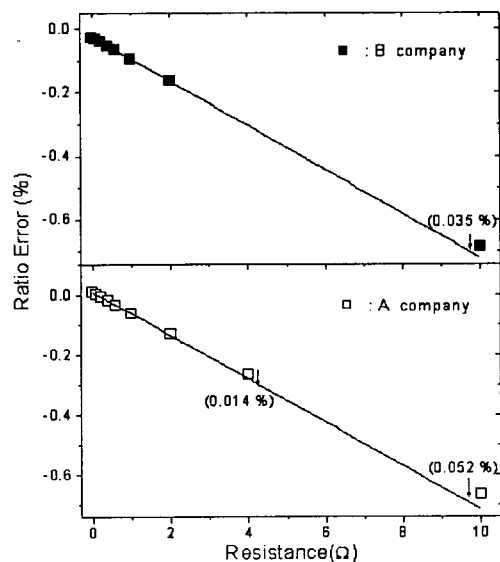


그림 4 표준저항 부단의 저항값에 따른 비오차의 변화
Fig. 4 A change of ratio error as a function of resistance of the standard resistor for burden

국내 2개 회사에서 보유하고 있는 전류변성기 비교 측정 장치에서 표준저항으로 구성된 부담값을 변화시켜가면서 측정한 피측정 전류변성기의 위상각 오차에 대한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 표준저항부담 0.01 Ω ~ 10 Ω 범위에서 측정된 위상각 오차의 범위는 0.00023 rad ~ 0.00631 rad이고, 그림 5의 두 실선은 식 (4)를 이용하여 최소제곱법으로 분석한 결과이다. A사의 경우 부담저항이 0.01 Ω ~ 1 Ω까지는 직선성이 잘 유지되다가 2 Ω에서 아래방향으로 +0.00015 rad 벗어나기 시작하여, 4 Ω에서 아래방향으로 +0.00062 rad 벗어나고 10 Ω에서 아래방향으로 0.00295 rad 크게 벗어난다는 것을 알 수 있다. B 사의 경우 A 사와 유사하게 부담저항이 0.01 Ω ~ 1 Ω까지는 직선성이 잘 유지되다가 2 Ω에서 아래방향으로 +0.00014 rad 벗어나기 시작하여, 10 Ω에서 아래방향으로 0.00234 rad 크게 벗어난다는 것을 알 수 있다. 두 회사의 경우 위상각 오차가 작은 범위에서는 직선성이 잘 유지되다가, 위상각 오차가 커지면서 직선성이 점점 크게 벗어난다는 것을 알 수 있다. A 사와 B 사의 경우 전류비교기에서 측정된 위상각 오차를 상기의 벗어난 크기만큼 윗방향으로(그림 5의 화살표 방향) 보정해야 하고 보정값을 그림 5의 괄호안에 나타내었다.

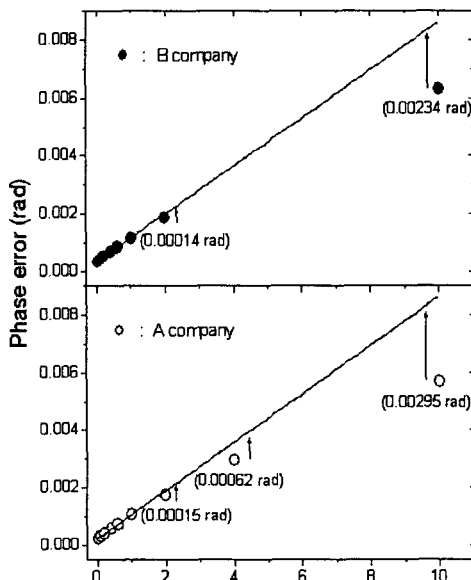


그림 5 표준저항 부담의 저항값에 따른 위상각 오차의 변화
Fig. 5 A change of phase angle error as a function of resistance of the standard resistor for burden

3-2-2. 광범위 비오차 표준 전류변성기를 이용한 전류비교기의 평가

전류비교기 비오차의 직선성을 평가하기 위하여 전류변성기의 권선수에 의한 비오차의 이론적인 계산값을 정확히 알고 있는 넓은 범위의 비오차를 갖는 전류변성기(wide ratio error CT, WRE CT)를 제작하여 이를 이용하였다. 권선수에 의한 전류변성기의 비오차(ϵ_t)는 다음과 같다^[2].

$$\text{권선수에 의한 비오차} : \epsilon_t = 100 \cdot \left(\frac{Nn_1 - n_2}{n_2} \right) \quad [\%] \quad (5)$$

식 (5)에서 N 은 정격 변환비이고, n_1 과 n_2 는 각각 1차권선수와 2차권선수이다. 1차권선수는 고정하고 2차권선수를 조정하여 권선수에 의한 비오차가 -10 % ~ +10 %의 값을 가지도록 설계 제작하였다. WRE CT의 실물사진과 제작사양은 각각 그림 6과 표 2에 나타내었다.

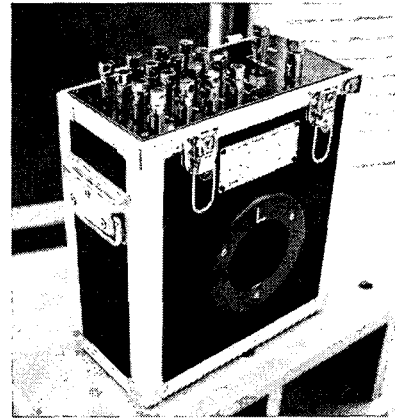


그림 6 광범위 비오차 표준 전류변성기의 실물사진
Fig. 6 The photos of the wide ratio error CT

표 2 광범위 비오차 표준 전류변성기의 제작사양
Table 2 Manufacture Specification of the wide ratio error CT.

1차/2차전류	명목 비오차 (%)	1차 권선수 (T)	2차 권선수 (T)	정격 변환비 (N)	정격 부담	비 고
100 A/5 A (1 kA/5 A)	-10	10 (1)	220	20 (200)	5 VA	단자형 (관통형)
	-3		206			
	-1		202			
	0		200			
	+1		198			
	+3		194			
+10	180					

표 2의 사양에 따라 제작된 WRE CT를 그림 1의 피측정 전류변성기로 사용하여 -10 % ~ +10 % 범위의 전류비교기의 비오차 직선성을 평가하였다. 산업체 전류비교기 비오차 직선성 평가의 예를 표 3에 나타내었다. 표 3에서 1차전류가 100 A 및 1 kA인 WRE CT의 0 ~ ±10 %의 명목 비오차에서 권선수에 의한 비오차는 식 (5)를 이용하여 계산하면 +11.1111 %, +3.0928 %, +1.0101 %, 0.0000 %, -0.9901 %, -2.9126 %, -9.0909 %가 되며, 이들 계산된 권선비에 의한 비오차 이론값과 산업체에서 측정된 비오차 측정값을 각각 표 3의 세 번째와 네 번째 열에 나타내었다. 표 3의 마지막 열에는 이론값과 측정값의 차이 즉 산업체의 전류비교기가 보정해 주어야 할 값을 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 1차전류가 100 A 및 1 kA인 WRE CT의 경우는 명목 비오차 0 % 와 +1 %에서는 각각 보정값이 0 %와 0.0009 %로 무시할 수 있을 정도로 작아 보정할 필요가 없으나, 나머지 명목 비오차의 경우는 권선비에 의한 비오차의 이론값과 측정값의 차이인 약 0.02 % ~ 2 %를 보정해야 한다는 것을 알 수 있다.

표 3 1차전류 100 A 및 1 kA인 WRE CT의 권선비에 따른 비오차의 이론값과 측정값.

Table 3 Theoretical and measured ratio errors of the wide ratio error CT for 100 A and 1 kA.

[단위 : %]

권선비* (n ₂ /n ₁)	명목 비오차	권선비에 따른 비오차 이론값(e)	권선비에 따른 비오차 측정값(f)	보정값 : e-f
220/10 (220/1)	-10	-9.0909	-11.0426	1.9517
206/10 (206/1)	-3	-2.9126	-3.0715	0.1589
202/10 (202/1)	-1	-0.9901	-1.0112	0.0211
200/10 (200/1)	0	0.0000	0.0000	0.0000
198/10 (198/1)	+1	1.0101	1.0092	0.0009
194/10 (194/1)	+3	3.0928	3.0696	0.0232
180/10 (180/1)	+10	11.1111	10.8411	0.2700

3-3. 산업체 전류변성기용 부담의 현장평가

선트저항을 이용한 전류변성기용 부담측정 장치의 구성도를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서와 같이 부담(Z_b)측정을 위해서 선트저항 Z(Tinsley 사)가 피측정 전류변성기 2차측에 병렬로 연결되어 있다.

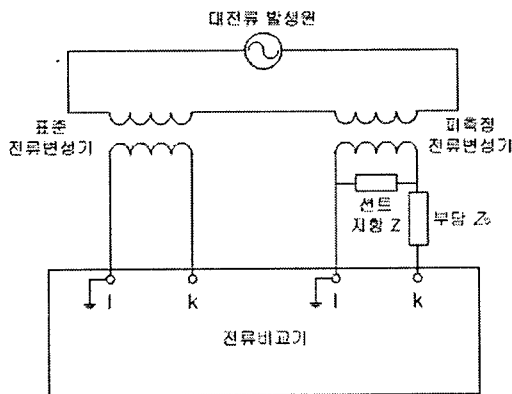


그림 7 선트저항을 이용한 부담측정장치
Fig. 7 Burden measurement system using a shunt resistor.

선트정밀 표준저항 Z는 저항의 직류-교류 차이가 10⁻⁵ 이하로 무시할 수 있는 저항을 사용하면 Z = R이다. 따라서 선트저항이 있을때의 비오차(α_b')와 위상각 오차(β_b')는 다음과 같이 쓸 수 있다^[3].

$$\alpha_b' - \alpha_b = -\frac{R_b}{R} \tag{6}$$

$$\beta_b' - \beta_b = -\frac{X_b}{R} \tag{7}$$

식 (6)에서 선트저항이 있을때와 없을때의 비오차의 차이 (α_b' - α_b)와 식 (7)에서 선트저항이 있을때와 없을때의 위상각 오차의 차이(β_b' - β_b)는 모두 선트 저항값의 역수(1/R)에 비례한다. 따라서 식 (6)에 의해 선트 저항의 역수(1/R)의 값을 변화시키면서 측정된 α_b' - α_b 값을 (1/R)의 1차 함수로 피팅하면 직선의 기울기가 부담의 저항성분 R_b가 된다. 엄밀히 말하자면 여기서 구한 R_b는 부담에 연결되어 있는 측정케이블의 선저항(r)이 포함되어 있는 값, 즉 R_b + r 이다. 이와 유사하게 식 (7)에 의해 (1/R)의 값을 변화시키면서 측정된 β_b' - β_b 값을 (1/R)의 1차 함수로 피팅하면 직선의 기울기가 부담의 리액턴스 성분 X_b가 된다. 여기서 구한 X_b는 부담에 연결되어 있는 측정케이블의 리액턴스 성분(x)이 포함되어 있는 값, 즉 X_b + x 이다. 따라서 순수한 부담의 저항성분(R_b)과 리액턴스 성분(X_b)을 구하기 위해서는 측정케이블의 저항성분(r)과 리액턴스 성분(x)을 구하여 빼주어야 한다.

이렇게 얻어진 부담의 R_b와 X_b 값으로부터 부담값(apparent power)과 역률(power factor)은 아래의 관계에 의해 얻어진다.

$$\text{부담값} = I_b^2 \sqrt{R_b^2 + X_b^2} \tag{8}$$

$$\text{역률} = \frac{R_b}{\sqrt{R_b^2 + X_b^2}} \tag{9}$$

전류변성기의 2차측 전류 I_b는 5 A에서 부담을 측정하였으므로 식 (8)에서 5 A 를 대입하였다.

선트 저항값이 200 Ω에서 8 kΩ 사이의 범위에서 선트저항을 변화시키면서 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 여기서 사용한 선트저항 5개의 실물사진은 그림 8과 같다.

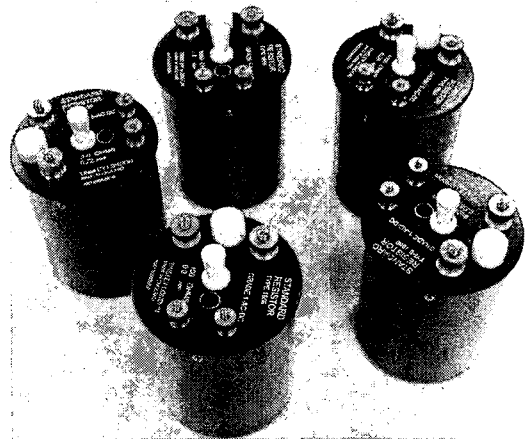


그림 8 선트저항의 실물사진
Fig. 8 The photo of the shunt resistors

피측정 전류변성기는 일본 Yokogawa사의 모델 2261을 사용하였고, 1 차측 전류가 100 A이고, 2차측 전류는 5 A로 유지하면서 측정하였다. 전류변성기용 부담값 10 VA, 역률 0.8, 60 Hz, 2차전류 5 A에서의 비오차의 측정결과와 예를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 y-축은 선트저항이 있을 때와 없을때의 비오차의 차이($\alpha'_b - \alpha_b$)를 나타내고 x-축은 선트 저항값의 역수($1/R$)를 나타낸다. 그림 9에서 직선은 식 (6)에 따라 피팅한 결과를 나타내었는데 직선의 기울기는 0.4162 Ω 이고 괄호안은 피팅오차를 나타낸다. 직선의 기울기 0.4162 Ω 은 전류변성기용 부담의 저항성분에 부담에 연결되는 측정케이블의 저항성분을 더한값, 즉 $R_b + r$ 임을 가리킨다.

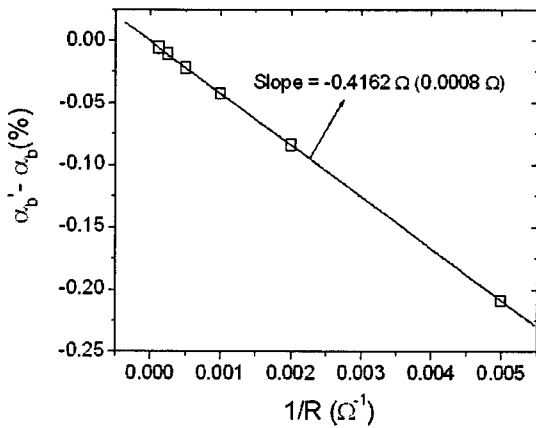


그림 9 선트 저항값의 변화에 따른 전류변성기의 비오차의 측정결과.

Fig. 9 Measurement results for ratio error of current transformer as a function of the resistance of shunt resistor.

케이블의 선저항이 포함되지 않는 순수한 부담의 저항성분을 구하기 위하여 그림 7에서 부담을 제거하고 측정케이블을 단락시켜 앞과 동일하게 선트저항을 바꾸어가면서 비오차의 변화를 측정하여 그림 9와 같이 피팅하여 케이블의 선저항을 측정하였다. 피팅 결과 케이블의 선저항 $r = 0.0396 \Omega$ 이었다. 따라서 10 VA/PF=0.8 순수한 부담의 저항성분 $R_b = 0.3766 \Omega$ 이다.

앞과 유사하게 선트 저항값이 200 Ω 에서 8 k Ω 사이의 범위에서 선트저항을 변화시키면서 피측정 전류변성기의 위상각 오차를 측정한다. 전류변성기용 부담값 10 VA, 역률 0.8, 60 Hz, 2차전류 5 A에서의 위상각 오차의 측정결과와 예를 각각 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 y-축은 선트 저항이 있을때와 없을때의 위상각 오차의 차이($\beta'_b - \beta_b$)를 나타내고 x-축은 선트 저항값의 역수($1/R$)를 나타낸다. 그림 10에서 직선은 식 (7)에 따라 피팅한 결과를 나타내었는데 직선의 기울기는 0.252 Ω 이고, 괄호안은 오차를 나타낸다. 직선의 기울기 0.252 Ω 은 전류변성기용 부담의 리액턴스 성분과 부담에 연결되는 측정 케이블의 리액턴스 성분을 더한값, 즉 $X_b + x$ 를 가리킨다.

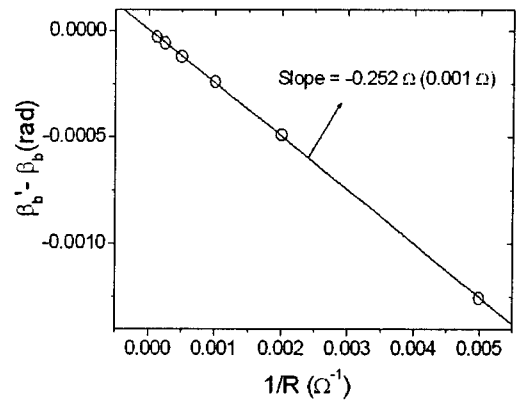


그림 10 선트 저항값의 변화에 따른 전류변성기의 위상각 오차의 측정결과.

Fig. 10 Measurement results for phase angle error of current transformer as a function of resistance of shunt resistor.

케이블의 리액턴스 성분이 포함되지 않는 순수한 부담의 리액턴스 성분을 구하기 위하여 그림 7에서 부담을 제거하고 측정케이블을 단락시켜 앞과 동일하게 선트저항을 바꾸어가면서 위상각 오차의 변화를 측정함으로써 그림 10과 같이 피팅하여 케이블의 리액턴스 성분을 얻었다. 피팅 결과 케이블의 리액턴스 성분은 $x = 0.004 \Omega$ 이었다. 따라서 10 VA/PF = 0.8 순수한 부담의 리액턴스 성분은 그림 10에서 구한값 0.252 Ω 에서 $x = 0.004 \Omega$ 를 빼어 $X_b = 0.248 \Omega$ 을 얻었다.

정밀선트저항을 이용하여 구한 부담의 저항성분 R_b 와 리액턴스 성분 X_b 로부터 전류변성기용 부담값과 역률은 각각 식 (8)과 (9)에 의해 구할 수 있다. 한편 2.5 VA/0.8 ~ 40 VA/0.8의 범위의 부담에서도 앞의 방법과 동일하게 부담의 저항성분 R_b 와 리액턴스 성분 X_b 를 구하였으며, 식 (8)과 (9)에 의해 부담값과 역률을 구하여 표 4에 정리하여 나타내었다.

표 4 부담의 저항성분(R_b)과 리액턴스 성분(X_b)으로부터 식 (8)과 (9)에 의해 계산된 부담값과 역률.

Table 4 Burden value and power factor calculated according to eqs. (8) and (9) from the resistance and reactance components of the burden.

부담의 정격/역률	저항성분 (R_b)	리액턴스 성분 (X_b)	부담값(VA)	역률
2.5 VA/0.8	0.139	0.056	3.759 VA	0.927
3.75 VA/0.8	0.180	0.092	5.045 VA	0.891
5 VA/0.8	0.221	0.117	6.251 VA	0.884
10 VA/0.8	0.377	0.248	11.276 VA	0.835
15 VA/0.8	0.536	0.360	16.144 VA	0.830
40 VA/0.8	1.358	0.999	42.140 VA	0.805

4. 결 론

최근에 이동용 표준기를 이용하여 현장의 전류변성기 비교측정 장치를 평가 할 수 있는 방법을 개발하였다. 본 현장 교정 기술에 대한 유효성을 검증하였고, 실제로 산업체의 현장교정에 효과적으로 사용하고 있는 중이다. 본 연구에서 개발한 이동용 표준기는 세가지 종류인데, 첫 번째로는 국가표준에 소급되고 자체적으로 평가한 이동용 표준 전류변성기를 이용하여 산업체의 표준 전류변성기를 절대 평가하는 것이다. 두 번째 이동용 표준기는 정밀저항 부담과 광범위 비오차 표준 전류변성기인데 전자는 저항의 직류-교류 차이가 거의 없는 정밀저항 부담을 이용하여 비교적 좁은 범위(약 $\pm 1\%$)의 전류비교기의 비오차와 위상각 오차의 직선성을 동시에 평가할 수 있고, 후자는 권선수에 의한 비오차값을 알고 있는 광범위 비오차 표준 전류변성기를 이용하여 넓은 범위(약 $\pm 10\%$)의 전류비교기의 비오차 직선성을 평가할 수 있다. 마지막으로 개발한 이동용 표준기는 정밀선트저항인데, 이를 이용하여 전류변성기용 부담을 현장평가 할 수 있다. 이 방법은 전류비교기에 연결되어 있는 케이블의 임피던스의 값과 전류비교기의 입력 임피던스를 효과적으로 측정할 수 있어 전류변성기용 부담을 더욱 정밀평가 할 수 있다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 정재갑, 권성원, 이상화, 강전홍, 김명수 “전류변성기 비교 측정 장치의 비오차 및 위상각 오차의 직선성 현장 평가기술”, 대한전기학회지, 55C권(6호), 313-316(2006).
- [2] 권성원, 정재갑, 이상화, 김문석, 김명수 “광범위 비오차 표준 전류변성기의 개발 및 그 응용”, 대한전기학회지, 55C권(6호), 302-307(2006).
- [3] 정재갑, 이상화, 강전홍, 김명수 “전류변성기 비교기와 정밀선트저항을 이용한 전류변성기용 부담의 평가기술”, 대한전기학회지, 55C권(5호), 250-256(2006).
- [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.

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



강전홍 (姜鎔洪)

1963년 2월 8일생, 1988년 대전한밭대 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2004년 충남대학교 전기공학과 박사과정, 1988년-2004년 현재 : 한국표준과학연구원 기반표준부 선임연구원
Tel : 042-868-5152
Fax : 042-868-5018
E-mail : jhkang@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