

# 철심형 전류변성기의 비오차 및 위상오차 절대 평가 기술의 확장 : 1차 전류 = 5 kA ~ 40 kA

論 文  
57P-4-15

## Extension of Absolute Evaluation Technique for Ratio Error and Phase Displacement of Core Type Current Transformers : $I_p = 5 \text{ kA} \sim 40 \text{ kA}$

金潤亨\* · 韓相吉\* · 鄭在甲<sup>†</sup> · 韓相玉\*\*  
(Yoon-Hyoung Kim · Sang-Gil Han · Jae-Kap Jung · Sang-Ok Han)

**Abstract** - We have extended an absolute evaluation method to obtain the ratio error and phase displacement of a current transformer (CT) up to primary current of 40,000 A by measuring four parameters of equivalent circuit in CT. The method was applied to CTs under test with the current ratios in the range of 5,000 A / 5 A - 40,000 A / 5 A. The ratio error and phase displacement of the CTs under test obtained in this study are consistent with those measured at the national institutes in Canada and Germany using the same CTs under test within an expanded uncertainty ( $k = 2$ ) in the overall current ratios.

**Key Words** : Current Transformer, CT Test System, Ratio Error, Phase Displacement, Current Comparator

### 1. 서 론

세계적 추세인 송전전압 및 전력용량의 증대에 따라 중전기기 제품 시험의 전압 및 전류 범위도 크게 증대되고 있으며, 동시에 품질보증의 핵심인 교정성적서의 국제적 신뢰성 및 투명성이 보다 더 엄격한 수준에서 요구되고 있다. 이를 위해 국가 표준기관인 한국표준과학연구원에서는 현재 200 kV의 고전압 및 20 kA의 대전류 국가 표준 시스템을 구축하여 산업체의 고전압 분압기, 계기용 변성기 등의 장비들의 교정 서비스를 제공해주고 있다[1]. 한편 국제 대전류 표준 시스템은 선진표준기관인 독일의 PTB, 캐나다의 NRC의 경우 각각 100 kA, 60 kA의 국가 표준 시스템을 구축하여 산업체 대전류 변성기와 셉트 등의 장비들의 교정지원에 활용하고 있다.

국내의 대전류 측정은 대전류를 정확하게 측정할 목적으로 40 kA급의 계기용 전류변성기를 사용하고 있고, 대전류 측정을 위해 100 kA급 대전류 셉트를 사용하고 있다. 한편 활선상태에서 대전류측정과 용접전류측정을 위해 포화가 없고 직선성이 뛰어난 40 kA급 로고스키 코일을 사용하고 있다. 그러나 현재까지 40 kA까지의 전류변성기, 대전류 셉트, 로고스키 코일 등의 장비들에 대해 교정지원을 해주지 못하고 있는 실정이다. 이러한 교정수요에 부응하고, 대전류 표준 시스템의 국제 교류 및 신뢰성 확보, 그리고 국내 중전기기 업체의 해외 수출을 위한 교정, 국내외 대전류 계기용 전류변성기의 수요에 대응하기 위해 전류변성기 국가 표준

시스템의 측정 범위 확장이 요구되었다. 따라서 한국표준과학연구원(KRISS)에서는 대전류 측정 표준 범위를 40 kA급까지 확장하여 시스템을 구축하였고, 40 kA 국가표준시스템의 핵심인 표준 전류변성기의 절대 평가 기술이 요구된다.

본 논문에서는 중전에 연구되어 5 kA급의 전류변성기 평가 방법에 적용했던 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 절대 평가 기술[2]의 측정 범위를 5 kA ~ 40 kA까지 확장하여 적용하였고, 기술의 유효성을 검증하기 위해 동일한 전류변성기에 대한 독일의 PTB, 캐나다의 NRC에서의 교정결과와 비교하여 일치도를 확인함으로써 기술의 유효성을 검증하였다.

### 2. 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 측정 이론

2.1 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 절대 평가 이론  
전류변성기의 2차측에 부담이 연결되었을 때 전류변성기의 비오차( $\alpha_X$ )와 위상오차( $\beta_X$ )는 각각 다음과 같다[2].

$$\alpha_X = -\operatorname{Re}\left(\frac{Z_2 + Z_b}{Z_m}\right) = -G_m(R_2 + R_b) - B_m(X_2 + X_b) \quad (1)$$

$$\beta_X = -\operatorname{Im}\left(\frac{Z_2 + Z_b}{Z_m}\right) = -G_m(X_2 + X_b) + B_m(R_2 + R_b) \quad (2)$$

여기서, 각 인자들은 다음과 같다.

- $Z_m = R_m + jX_m$  : 여자임피던스(excitation impedance)
- $Z_2 = R_2 + jX_2$  : 2차 누설임피던스(secondary leakage impedance)
- $Z_b = R_b + jX_b$  : 2차 부담의 임피던스(impedance of external burden)

식 (1)과 식 (2)에서 우변항의 인자  $G_m$ 과  $B_m$ 은 각각 전류변성기의 여자컨덕턴스와 여자서셉턴스이고 다음과 같다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 韓國標準科學研究院 責任研究員 · 理博  
E-mail: jkjung@kriss.re.kr

\* 學生會員 : 忠南大學校 電氣工學科 碩士課程

\*\* 正會員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 8月 27日

最終完了 : 2008年 10月 2日

$$G_m = \frac{R_m}{R_m^2 + X_m^2} \quad (3)$$

$$B_m = \frac{X_m}{R_m^2 + X_m^2} \quad (4)$$

식 (1)과 식 (2)에 의해 네 가지 인자  $G_m$ ,  $B_m$ ,  $R_2$ ,  $X_2$ 를 독립적으로 측정하면 2차 부단이 있을 때 전류변성기의 비오차와 위상오차를 알 수 있다.

### 2.2 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 보정

피측정 전류변성기의 비오차( $\alpha_X$ ) 및 위상오차( $\beta_X$ )는 표준 전류변성기와의 상대 비교를 통해 얻어지기 때문에 다음과 같다[3].

$$\alpha_X = \alpha_r + \alpha_N \quad (5)$$

$$\beta_X = \beta_r + \beta_N \quad (6)$$

- $\alpha_r$ : 전류변성기 비교기에서 측정되는 피측정 전류변성기의 비오차
- $\beta_r$ : 전류변성기 비교기에서 측정되는 피측정 전류변성기의 위상오차
- $\alpha_N$ : 표준 전류변성기의 비오차
- $\beta_N$ : 표준 전류변성기의 위상오차

따라서, 표준 전류변성기의 비오차( $\alpha_N$ ) 및 위상오차( $\beta_N$ )는 피측정 전류변성기의 비오차( $\alpha_X$ ) 및 위상오차( $\beta_X$ )에서 전류변성기 비교기에서 측정되는 비오차( $\alpha_r$ ) 및 위상오차( $\beta_r$ )를 빼줌으로써 얻어진다.

## 3. 실험 시스템 구성 및 측정 방법

### 3.1 전류변성기 절대 평가 시스템의 구성

본 연구에서 1차 전류 5 kA ~ 40 kA의 전류범위에 대한 전류변성기의 절대평가를 위해 그림 1의 40 kA급 전류변성기 비교측정시스템을 활용하였다.

전류변성기 비교측정시스템은 전류조정기, 대전류 발생원, 전류변성기 비교기, 전류변성기, 전류변성기 비교기와 전류변성기용 부단으로 구성되어 있다. 전류변

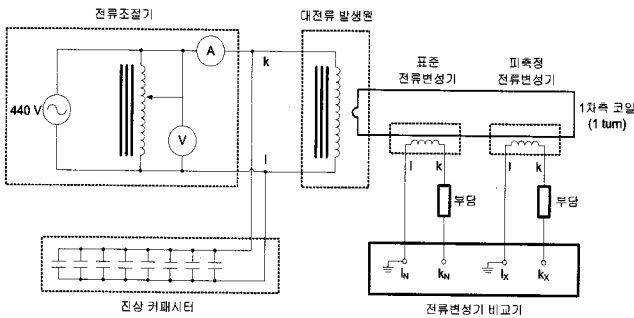


그림 1 40 kA급 전류변성기 비교측정시스템의 구성  
Fig. 1 The constitution of the 40 kA CT comparison measuring system

성기 비교측정시스템은 동일한 교류 대전류를 표준 전류변성기와 피측정 전류변성기의 1차측에 직렬로 공급하고, 전류변성기 비교기에서 두 전류변성기의 2차 전류를 비교해서 비오차와 위상오차를 측정한다[3].

본 연구에서는 피측정 전류변성기로 1차 전류 5 kA ~ 20 kA, 2차 전류 5 A의 전류범위를 갖는 20 kA급 전류변성기와 1차 전류 20 kA ~ 40 kA, 2차 전류 5 A의 전류범위를 갖는 40 kA급 전류변성기를 이용하였다. 피측정 전류변성기의 사양을 표 1에 정리하였다. 전류변성기 비교기는 Tettex사의 2767이다. 제조사에서 제공한 전류변성기 비교기의 불확도는 비오차의 경우  $10 \times 10^{-6}$ 이고 위상오차의 경우  $10 \times 10^{-6}$  rad 이다[4]. 또한 전류변성기용 부단으로 저항의 인덕턴스 성분을 무시할 수 있는( $L/R < 10^{-6}$ ) Tinsley사의 0.1 ~ 6.8  $\Omega$ 의 표준정밀저항을 사용하였다[5].

표 1 피측정 전류변성기의 사양

Table 1 The specification of CT under test

전류변성기	1차 전류 [A]	2차 전류 [A]	정밀도	정격 부담
20 kA 급	5000	5	0.005 %	5 VA/PF=1
	10000			
	15000			
	20000			
40 kA 급	20000	5	0.01 %	15 VA/PF=1
	30000			
	40000			

### 3.2 전류변성기 절대 평가를 위한 $G_m$ , $B_m$ , $R_2$ , $X_2$ 의 측정 방법

식 (1)과 식 (2)에 따라 2차 부단이 있을 때 피측정 전류변성기의 비오차와 위상오차를 얻기 위해 전류변성기 등가회로의 네 가지 인자( $G_m$ ,  $B_m$ ,  $R_2$ ,  $X_2$ )를 측정해야 한다. 피측정 전류변성기의 부담( $R_b$ )으로 저항의 인덕턴스 성분을 무시할 수 있는 표준정밀저항을[5] 사용하면( $X_b = 0$ ) 식 (1)과 식 (2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_X = -(G_m R_2 + B_m X_2 + G_m R_b) = constant - G_m R_b \quad (7)$$

$$\beta_X = -G_m X_2 + B_m R_2 + B_m R_b = constant + B_m R_b \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)에서 피측정 전류변성기의 2차 전류를 일정하게 하고, 부담( $R_b$ )을 변화시키면  $G_m$ ,  $B_m$ ,  $R_2$ ,  $X_2$ 는 상수로 일정하다. 따라서 피측정 전류변성기의 2차 전류를 일정하게 유지시키고  $R_b$ 를 변화시키면서 전류변성기 비교측정시스템에서 측정된 전류변성기의 비오차( $\alpha_b$ )와 위상오차( $\beta_b$ )를  $R_b$ 에 대한 함수로 나타내면 기울기가 각각  $-G_m$ 과  $B_m$ 이 된다. 전류변성기의 2차 권선 저항  $R_2$ 는 1차 단자를 단락시키고 2차 단자의 저항을 정밀급 멀티미터로 측정하여 얻을 수 있다. 한편 전류변성기의 2차 권선은 단층으로 코일에 근접하여 감겨있기 때문에 전류변성기의 1차 누설인덕턴스  $L_1$ 에 비해 2차 누설인덕턴스  $L_2$ 는 매우 작다. 따라서  $X_2$ 는 무시할 수 있다[6-8].

4. 측정 결과

피측정 전류변성기의  $G_m$ 과  $B_m$ 을 측정하기 위해 표준정밀저항을 피측정 전류변성기의 부담( $R_b$ )으로 사용하여 비오차와 위상오차를 측정하였다. 그림 2 (a)와 (b)는 측정 결과의 한 예로 전류비 5 kA / 5 A 탭에서 2차 전류를 0.25 A, 0.5 A, 1 A, 2.5 A, 5 A로 유지하고 표준저항부담( $R_b$ )의 변화에 따른 비오차(a) 및 위상오차(b)의 측정 결과이다. 이때 비오차와 위상오차를 저항값에 대해 피팅한 기울기가 각각  $-G_m$ 과  $B_m$ 이 된다. 동일한 방법으로 피측정 전류변성기의 5 kA ~ 20 kA, 20 kA ~ 40 kA의 전류 범위에 대해 측정된  $G_m$ 과  $B_m$ 을 각각 표 2, 3의 세 번째 열에 나타내었다.

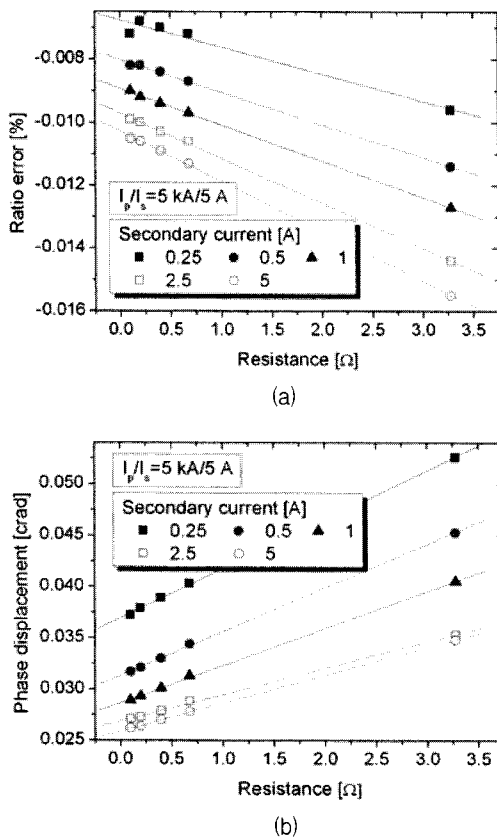


그림 2 전류비 5 kA / 5 A 탭에서 표준저항부담의 변화에 따른 전류변성기의 (a) 비오차 및 (b) 위상오차 측정 결과.

Fig. 2 (a) Ratio errors and (b) phase displacement of a CT measured using different standard resistors in current ratios of 5 kA / 5 A.

피측정 전류변성기의 각각의 전류 탭별로 2차 권선저항  $R_2$ 를 측정하여 그 값을 표 2와 표 3의 네 번째 열에 정리하였다.

마지막으로 표 2와 표 3의 마지막 열은  $G_m$ ,  $B_m$ ,  $R_2$ 와  $R_b$  그리고 식 (1), (2)를 이용해 계산한 피측정 전류변성기의 영 부담( $R_b=0$ ,  $X_b=0$ )에서의 비오차 및 위상오차의 절대평가 결과값이다.

표 2 1차 전류 5 kA ~ 20 kA 전류변성기의 여자어드미턴스( $G_m$ ,  $B_m$ ), 2차 권선저항( $R_2$ ) 및 영 부담일 때의 오차 계산값

Table 2 The excitation admittance, secondary winding resistance and calculated errors for primary current 5 kA ~ 20 kA in CT

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	여자어드미턴스 (S)		2차 권선저항 $R_2$ (Ω)	피측정 전류변성기의 오차	
		$G_m(\times 10^{-6})$	$B_m(\times 10^{-6})$		$\alpha_0(\%)$	$\beta_0(\text{crad})$
5000 / 5	5	8.52	47.77	1.02	-0.0009	0.0049
	10	10.30	42.59	1.02	-0.0010	0.0043
	20	11.50	36.38	1.02	-0.0012	0.0037
	50	14.30	25.66	1.02	-0.0015	0.0026
	100	15.90	27.10	1.02	-0.0016	0.0028
10000 / 5	5	1.89	12.15	2.28	-0.0004	0.0028
	10	2.54	11.91	2.28	-0.0006	0.0027
	20	2.84	9.73	2.28	-0.0006	0.0022
	50	3.50	6.06	2.28	-0.0008	0.0014
	100	3.95	2.63	2.28	-0.0009	0.0006
15000 / 5	5	0.27	5.73	3.74	-0.0001	0.0021
	10	1.22	4.79	3.74	-0.0005	0.0018
	20	1.33	4.35	3.74	-0.0005	0.0016
	50	1.55	4.34	3.74	-0.0006	0.0016
	100	1.84	3.46	3.74	-0.0007	0.0013
20000 / 5	5	0.61	3.33	5.41	-0.0003	0.0019
	10	0.66	2.88	5.41	-0.0004	0.0016
	20	0.87	2.42	5.41	-0.0005	0.0014
	50	0.82	1.18	5.41	-0.0005	0.0007
	100	1.02	1.77	5.41	-0.0006	0.0010

표 3 1차 전류 20 kA ~ 40 kA 전류변성기의 여자어드미턴스( $G_m$ ,  $B_m$ ), 2차 권선저항( $R_2$ ) 및 영 부담일 때의 오차 계산값.

Table 3 The excitation admittance, secondary winding resistance and calculated errors for primary current of 20 A ~ 40 kA in CT.

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	여자어드미턴스 (S)		2차 권선저항 $R_2$ (Ω)	피측정 전류변성기의 오차	
		$G_m(\times 10^{-6})$	$B_m(\times 10^{-6})$		$\alpha_0(\%)$	$\beta_0(\text{crad})$
20000 / 5	5	2.91	11.18	4.70	-0.0015	0.0059
	10	4.13	9.29	4.70	-0.0022	0.0049
	20	4.86	6.29	4.70	-0.0026	0.0033
	50	5.86	3.79	4.70	-0.0031	0.0020
	100	1.26	7.91	4.70	-0.0007	0.0042
30000 / 5	5	1.62	5.80	8.03	-0.0014	0.0050
	10	2.26	4.87	8.03	-0.0020	0.0042
	20	2.17	3.46	8.03	-0.0019	0.0030
	50	1.69	1.81	8.03	-0.0015	0.0016
	100	0.58	1.47	8.03	-0.0005	0.0013
40000 / 5	5	2.35	3.00	12.2	-0.0030	0.0038
	10	1.83	3.79	12.2	-0.0023	0.0048
	20	1.28	4.19	12.2	-0.0016	0.0054
	50	2.25	1.01	12.2	-0.0029	0.0013
	90	0.88	0.36	12.2	-0.0011	0.0005

5. 유효성 검증

1차 전류 5 kA ~ 20 kA 표준 전류변성기의 비오차( $\alpha_N$ ) 및 위상오차( $\beta_N$ )를 얻기 위해 식 (1)과 식 (2)에 의해 표 2의 마지막 열에 나타난 피측정 전류변성기의 비오차( $\alpha_X$ ) 및 위상오차( $\beta_X$ ) 절대평가 결과에서 전류변성기 비교기에서 측정되는 비오차( $\alpha_r$ ) 및 위상오차( $\beta_r$ )를 빼주어야 한다. 이 때 피측정 전류변성기의 절대평가 결과는 전류변성기 비교기에서 측정되는 비오차 및 위상오차와 동일한 부담값이어야 한다. 부담값은 피측정 전류변성기의 2차 전류가 5 A일 때 2차측 양단 전압을 측정하고 옴의 법칙을 이용하여 계산할 수 있다. 그 결과  $R_b$ 는 0.18  $\Omega$ 이다. 식 (1)과 식 (2)를 이용한 피측정 전류변성기의 절대평가 결과와 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 표준 전류변성기의 비오차( $\alpha_N$ ) 및 위상오차( $\beta_N$ )를 계산하여 표 4의 세 번째 열에 정리하였다. 이 때 표준 전류변성기는 PTB의 측정값과 동일한 조건에서 비교하기 위해 PTB에서의 부담값인 5 VA/PF=1인 부담을 사용하였다.

표 4 부담 5 VA/PF=1일 때 1차 전류 5 kA ~ 20 kA 표준 전류변성기에 대한 KRISS 측정값과 PTB 측정값 비교.

Table 4 A comparison of the errors of standard CT with the primary current of 5 kA ~ 20 kA measured at KRISS and PTB ant burden of 5 VA/PF=1.

전류비 (A / A)	2차 전류 [%]	KRISS 측정값		PTB 측정값		PTB와 KRISS 측정값의 차이	
		$\alpha_N$ (%)	$\beta_N$ (crad)	$\alpha_N$ (%)	$\beta_N$ (crad)	$\Delta\alpha_N$ (%)	$\Delta\beta_N$ (crad)
5000 / 5	5	0.0114	-0.0087	0.008	-0.0145	-0.0034	-0.0059
	10	0.0105	-0.0158	0.007	-0.0145	-0.0035	0.0013
	20	0.0099	-0.0199	0.007	-0.0175	-0.0029	0.0024
	50	0.0097	-0.0230	0.007	-0.0175	-0.0027	0.0055
	100	0.0099	-0.0236	0.007	-0.0175	-0.0029	0.0062
10000 / 5	5	0.0115	-0.0017	0.010	-0.0058	-0.0015	-0.0041
	10	0.0106	-0.0048	0.010	-0.0058	-0.0006	-0.0010
	20	0.0102	-0.0068	0.010	-0.0058	-0.0002	0.0010
	50	0.0099	-0.0085	0.010	-0.0058	0.0001	0.0027
	100	0.0099	-0.0094	0.010	-0.0058	0.0001	0.0036
15000 / 5	5	0.0061	-0.0091	0.008	-0.0044	0.0014	0.0048
	10	0.0061	-0.0076	0.008	-0.0058	0.0019	0.0018
	20	0.0064	-0.0068	0.008	-0.0058	0.0016	0.0010
	50	0.0066	-0.0063	0.007	-0.0058	0.0004	0.0005
	100	0.0068	-0.0067	0.007	-0.0058	0.0002	0.0009
20000 / 5	5	0.0049	-0.0073	0.007	-0.0029	0.0021	0.0044
	10	0.0051	-0.0060	0.007	-0.0029	0.0019	0.0031
	20	0.0052	-0.0056	0.007	-0.0029	0.0018	0.0027
	50	0.0056	-0.0060	0.006	-0.0029	0.0004	0.0031
	100	0.0060	-0.0051	0.006	-0.0058	0.0000	-0.0007

본 연구에서 얻은 표준 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 확장 표준불확도( $k=2$ )는 파라미터 모델링 오차를 포함해서 비오차는  $20 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는  $20 \times 10^{-6}$  rad이다[3]. 여기서  $k$ 는 유효 자유도이고, 확장 표준불확도  $U$ 는  $k$ 와 합성 표준불확도  $u_c$ 의 곱( $U=ku_c$ )으로 정의되어 진다[9]. 동일한 전류변성기에 대한 독일의 국가표준기관(PTB)에서 측정된 결과를 표 4의 네 번째 열에 나타내었다. PTB에서 측정된 오차의 확장 표준불확도( $k=2$ )는 비오차는  $50 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는  $58 \times 10^{-6}$  rad이다[10]. 따라서 두 기관의 확장 표준불확도는 비오차의 경우  $70 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차의 경우  $78 \times 10^{-6}$  rad 이다. 절대평가를 이용해 얻은 비오차와 위상오차의 KRISS 측정값과 PTB 측정값과의 차이를 표 4의 마지막 열에 나타내었다.

표 4에서 보인 바와 같이 1차 전류 5 kA ~ 20 kA 표준 전류변성기의 평가 결과 KRISS 실험값과 PTB 측정결과와의 차이가 비오차의 경우 0.0000 ~ 0.0035 % 이고, 위상오차의 경우 0.0005 ~ 0.0062 crad이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 두 기관에서 제시한 확장 표준불확도 내에서 일치함을 알 수 있다.

한편 1차 전류 20 kA ~ 40 kA 전류변성기는 NRC에서 부담이 15 VA/PF=1일 때의 조건에서 측정하였으므로, 이에 해당하는 부담값은  $R_b=0.6$ ,  $X_b=0$ 이다. 따라서 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 15 VA에 해당하는 피측정 전류변성기의 비오차( $\alpha_X$ ) 및 위상오차( $\beta_X$ )를 계산하였고 이를 표 5의 세 번째 열에 정리하였다.

표 5 부담 15 VA/PF=1일 때 1차 전류 20 kA ~ 40 kA 표준 전류변성기의 KRISS 측정값과 NRC 측정값 비교.

Table 5 A comparison of the errors of standard CT with the primary current of 20 kA ~ 40 kA measured at KRISS and NRC at burden of 15 VA/PF=1.

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	KRISS 측정값		NRC 측정값		NRC와 KRISS 측정값의 차이	
		$\alpha_X$ (%)	$\beta_X$ (crad)	$\alpha_X$ (%)	$\beta_X$ (crad)	$\Delta\alpha_X$ (%)	$\Delta\beta_X$ (crad)
20000 / 5	5	-0.0015	0.0059	0.002	0.009	0.0035	0.0031
	10	-0.0022	0.0049	0.001	0.008	0.0032	0.0031
	20	-0.0026	0.0033	0.000	0.006	0.0026	0.0027
	50	-0.0031	0.0020	-0.001	0.004	0.0021	0.0020
	100	-0.0007	0.0042	-0.002	0.003	-0.0013	-0.0012
30000 / 5	5	-0.0014	0.0050	0.003	0.006	0.0044	0.0010
	10	-0.0020	0.0042	0.002	0.006	0.0040	0.0018
	20	-0.0019	0.0030	0.001	0.005	0.0029	0.0020
	50	-0.0015	0.0016	0.000	0.003	0.0015	0.0014
	100	-0.0005	0.0013	-0.001	0.002	-0.0005	0.0007
40000 / 5	5	-0.0030	0.0038	0.004	0.006	0.0070	0.0022
	10	-0.0023	0.0048	0.003	0.005	0.0053	0.0002
	20	-0.0016	0.0054	0.003	0.004	0.0046	-0.0014
	50	-0.0029	0.0013	0.000	0.003	0.0029	0.0017
	90	-0.0011	0.0005	0.001	0.003	0.0021	0.0025

본 연구에서 얻은 1차 전류 20 kA ~ 40 kA 전류변성기에 대한 오차의 확장 표준불확도( $k=2$ )는 비오차는  $50 \times 10^{-6}$  이고, 위상오차는  $50 \times 10^{-6}$  rad이다[3]. 동일한 전류변성기를 NRC에서 측정된 결과를 표 5의 네 번째 열에 나타내었다. 표 5에 나타난 20 kA ~ 40 kA 전류변성기에 대한 NRC에서 측정된 오차의 확장 표준불확도( $k=2$ )는 비오차는  $20 \times 10^{-6}$  이고, 위상오차는  $20 \times 10^{-6}$  rad이다[11]. 따라서 두 기관의 확장 표준불확도는 비오차의 경우  $70 \times 10^{-6}$  이고, 위상오차의 경우  $70 \times 10^{-6}$  rad 이다. 절대평가를 이용해 얻은 비오차와 위상오차의 KRISS 측정값과 NRC 측정값과의 차이를 표 5의 마지막 열에 나타내었다.

표 5에서 보인 바와 같이 20 kA ~ 40 kA 표준 전류변성기의 평가 결과 KRISS 실험값과 PTB 측정결과의 차이가 비오차의 경우 0.0013 ~ 0.0070 % 이고, 위상오차의 경우 0.0002 ~ 0.0031 crad 이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 두 기관에서 제시한 확장 표준불확도 내에서 일치함을 알 수 있다.

그림 3과 그림 4에 표 4와 표 5에서의 KRISS 측정값과 PTB 및 NRC의 측정결과와의 차이를 그래프로 나타내었다. 그림 4와 그림 5에서 오른쪽 세로축의 Extended uncertainty는 두 기관의 확장 표준불확도이다. 그림 3과 그림 4에서 보는 바와 같이 모든 범위의 전류비에 대해 확장 표준불확도 내에서 일치하고 있음을 한눈에 쉽게 확인할 수 있다.

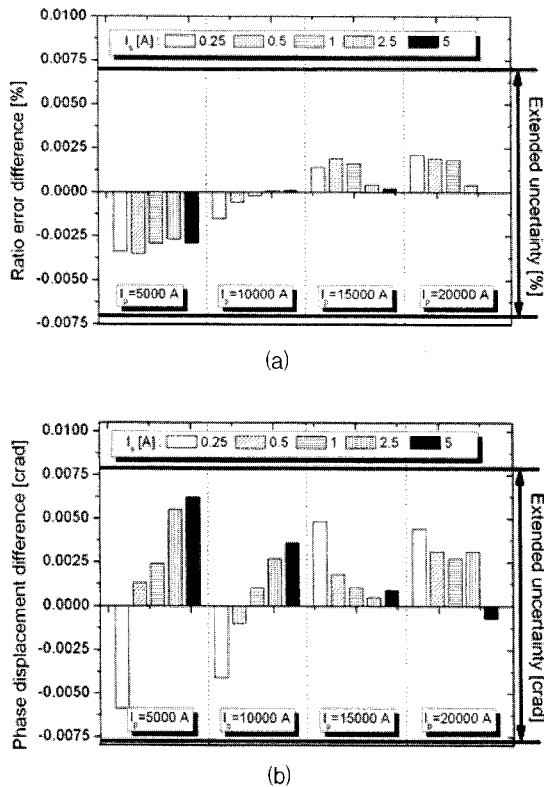


그림 3 KRISS 측정값과 PTB 측정값의 차이 (a) 비오차 (b) 위상오차  
 Fig. 3 Difference in (a) ratio error and (b) phase displacement between KRISS and PTB

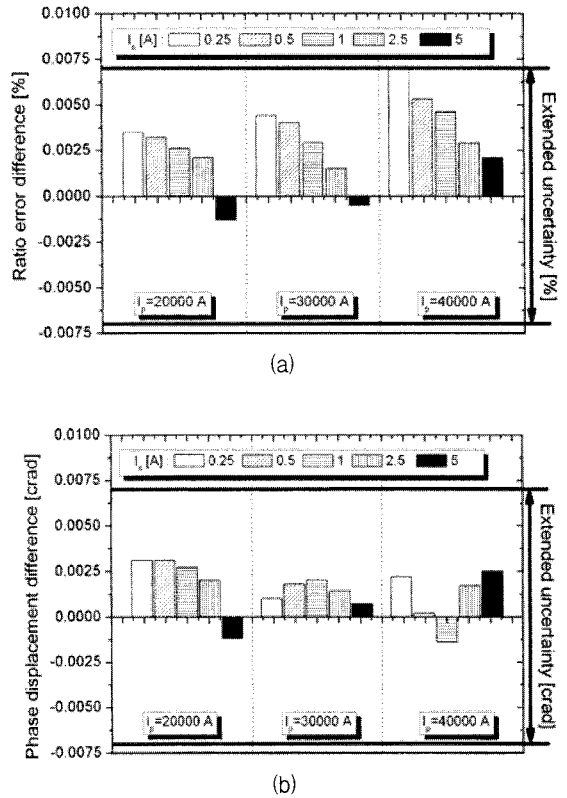


그림 4 KRISS 측정값과 NRC 측정값의 차이 (a) 비오차 (b) 위상오차  
 Fig. 4 Difference in (a) ratio error and (b) phase displacement between KRISS and NRC

### 6. 결 론

국내 대전류 교정수요에 부응하고, 대전류 표준 시스템의 국제 신뢰성 확보, 국내 중전기 업체에 해외 수출을 위한 교정 지원, 국내의 대전류 계기용 전류변성기의 수요에 대응하기 위해 전류변성기 국가 표준 시스템의 측정 범위 확장이 요구되었다. 이에 따라 한국표준과학연구원에서는 대전류 측정 표준 범위를 40 kA급 까지 확장하여 시스템을 구축하였다. 이에 본 논문에서는 대전류 국가 표준시스템의 핵심 장비인 40 kA급 표준 전류변성기를 평가하기 위해 중전에 연구되어 5 kA급의 전류변성기 평가 방법에 적용했던 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 절대 평가 기술을 1차 전류가 5 kA ~ 40 kA의 전류범위를 갖는 표준 전류변성기에 확장하여 적용하였다. 평가 결과의 유효성을 검증하기 위해 동일한 전류변성기에 대한 해외 선진표준기관인 독일의 PTB, 캐나다의 NRC에서의 교정결과와 비교하여 일치도를 확인함으로써 기술의 유효성을 검증하였다. 해외 선진표준기관과의 측정값의 비교 결과 모든 범위의 전류비에 대해 두 기관에서 제시한 확장 표준불확도 내에서 일치하고 있고, 그 일치도가 최대  $70 \times 10^{-6}$  이내로 상당히 양호한 일치도를 보여주고 있다. 이는 전류변성기 절대평가 기술의 유효성 검증 및 국가 표준기관인 한국표준과학연구원의 40 kA급으로의 대전류 측정 범위 확장에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다는 것을 보여주는 결과라고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 정재갑, 이상화, 강전홍, 김명수, 김윤형, 한상길, 한상옥, "20,000 A 전류변성기 국가 표준 시스템 구축", 대한전기학회지, 57P(1호), 6-12, 2008.
- [2] 김윤형, 정재갑, 한상길, 한상옥, "전류변성기의 비오차와 위상오차의 절대 평가 기술", 대한전기학회지, 57P(2호), 153-159, 2008.
- [3] Jae Kap Jung, Sung Won Kwon, Sang Hwa Lee, Jeon Hong Kang, "Calibration of Current Transformer", KRISS, C-13-2-0100-2006(E), 2006.
- [4] Tettex, "Automatic instrument transformer test set Type 2767", Haefely Test AG - instrumet transformer measurement, 2007. (www.tettex.com)
- [5] Tinsley, "Precision Resistance Measurement", Tinsley Precision Instruments, 1995. (www.tinsley.co.uk)
- [6] H. W. Price and C. K. Duff, "Effects of magnetic leakage in current transformers", University of Toronto Research Bulletin, No. 2, 167-90, 1921.
- [7] P. J. Betts, "Calculated temperature coefficients of transformers", Australia National Measurement Laboratory Technical Paper, No. 4, 1-13, 1977.
- [8] D. Slomovitz and H. Souza, "Shielded electronic current transformer", IEEE Trans. on Instrum. and Measurement, 54, 500-2, 2005.
- [9] 한국표준협회 "측정 결과의 불확도 추정 및 표현을 위한 지침", KS A 3000, 2005.
- [10] Calibration of CT-eTECH Current Transformer (Type SCT 250, s/n: GEA0833) in NRC (Report No: EPM-2007-0024, Date of Issue: April 7, 2008)
- [11] Calibration of EPRO Current Transformer (Type : NCD20000d, s/n : 2/06/0006) in PTB (Calibration mark: 2183 PTB 06, Calibration of 2006-07-20)

저 자 소 개



**김 윤 형 (金 潤 亨)**  
 1981년 10월 15일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.  
 Tel : 042-821-7604  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : yoonhyoung@cnu.ac.kr



**한 상 길 (韓 相 吉)**  
 1981년 11월 23일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.  
 Tel : 042-821-7604  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : sanggilhan@cnu.ac.kr



**정 재 갑 (鄭 在 甲)**  
 1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업(박사). 2001년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹 책임연구원.  
 Tel : 042-868-5759  
 Fax : 042-868-5018  
 E-mail : jkjung@kriss.re.kr



**한 상 옥 (韓 相 玉)**  
 1974년 충남대학교 공업교육과(전기) 졸업. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1985년 독일 하노버대 객원교수. 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현재 충남대학교 전기공학과 교수.  
 Tel : 042-821-5655  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : sohan@cnu.ac.kr