

전류변성기 절대 평가 기술과 전류변성기 두 대를 이용한 전류 범위 확장

김운형*, 한상길*, 정재갑**, 한상옥*
 충남대학교*, 한국표준과학연구원**

Current Range Extension of Current Transformers by Using Absolute Evaluation Technique and Two Different Current Transformers

Yoon-Hyoung Kim*, Sang-Gil Han*, Jae-Kap Jung**, Sang-Ok Han*
 Chungnam National University*, Korea Research Institute of Standards and Science**

Abstract - We have developed a current range extension method to obtain the ratio error and phase displacement of a current transformer (CT) by using absolute evaluation method and two different CTs. The method was applied to CTs under test with the current ratios of the range of 5,000 A / 1 A - 20,000 A / 1 A. The ratio error and phase displacement of the CT under test obtained in this study are consistent with those measured at the national institute in Germany using the same CT under test within an expanded uncertainty (k = 2) in the overall current ratios.

1. 서 론

국가 표준기관인 한국표준과학연구원에서는 20 kA의 대전류 국가 표준 시스템을 구축하여 산업체의 계기용 전류변성기 등의 장비들의 교정 서비스를 제공해주고 있다[1]. 한편 대전류 측정 및 용접전류 측정을 위해 포화 없고 직선성이 뛰어난 전자식 전류변성기인 로고스키 코일을 사용하고 있다. 로고스키 코일을 평가하기 위해서는 로고스키 코일의 출력 전압을 전류로 변환시켜주는 전압-전류 변환기(VCC, voltage to current convertor)가 필요하다. 이 때 전압-전류 변환기는 출력 전류가 1 A 이기 때문에 로고스키 코일을 평가하기 위한 표준 전류변성기의 2차 전류가 1 A 가 되어야 한다. 그러나 20 kA까지의 로고스키 코일을 평가하기 위해 2차 전류가 1 A인 표준 전류변성기가 존재하지 않은 실정이다. 이를 위해 기존에 보유하고 있는 전류변성기 두 대와 전류변성기 절대 평가 기술을 이용하여 2차 전류범위를 1 A로 확장하는 기술을 개발하고 적용하였다.

2차 전류가 5 A에 비해 1 A인 전류변성기를 제작하기 위해서는 전류변성기의 2차 권선수가 5배로 증가되어 부피 및 단가가 증가된다는 단점이 있는데 이 기술을 적용하면 1차 전류의 범위가 크고 2차 전류가 5 A인 전류변성기와 2차 전류의 범위가 작고 2차 전류가 1 A인 기보유하고 있는 철심형 전류변성기를 활용하여 2차 전류가 1 A인 전류변성기를 만들 수 있다는 장점이 있다. 이 기술을 1차 전류가 5 kA ~ 20 kA, 2차 전류가 1 A인 0.005 % 급의 표준 전류변성기의 평가에 적용하였고, 기술의 유효성을 검증하기 위해 동일한 전류변성기에 대한 독일의 PTB의 교정결과와 비교하여 일치도를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 전류변성기 두 대를 이용한 전류 범위 확장 이론

전류변성기 두 대를 이용하여 2차 전류 범위를 확장하기 위해 두 대의 전류변성기 CT 1과 CT 2를 조합하였고, 등가회로를 그림 1에 나타내었다.

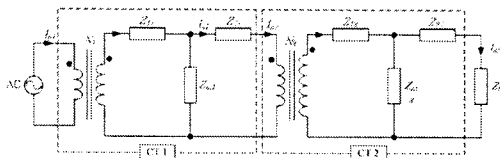


그림 1. 전류변성기 두 대를 이용한 전류 범위 확장 시스템의 등가회로
 Fig. 1. The equivalent circuit for the current range extension system using two different CT

이상적인 전류변성기인 경우 CT 1과 CT 2를 그림 1과 같이 연결하였을 때 CT 2의 2차 전류(I_{s2})에 대한 CT 1의 1차 전류(I_{p1})의 관계를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{I_{p1}}{I_{s2}} = N_1 \cdot N_2 = N_T \quad (1)$$

여기서 N_1 과 N_2 는 각각 CT 1과 CT 2의 정격 변환비이고, N_T 는 CT 1과 CT 2를 조합한 시스템의 전체 합성 정격 변환비이다.

한편 전류변성기 CT 1과 CT 2의 비오차는 각각 α_1 과 α_2 이고, 위상오차는 각각 β_1 과 β_2 이다. 여기서 $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ 는 다음과 같다.

$$\alpha_1 = \frac{N_1 I_{s1} - I_{p1}}{I_{p1}} \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{N_2 I_{s2} - I_{p2}}{I_{p2}} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \theta_{s1} - \theta_{p1} \quad (4)$$

$$\beta_2 = \theta_{s2} - \theta_{p2} \quad (5)$$

식 (1) ~ (5)를 정리하면 전류변성기 두 대를 조합하였을 때의 전체 합성 비오차(α_X) 및 합성 위상오차(β_X)는 다음과 같다.

$$\alpha_X = \frac{N_T I_{s2} - I_{p1}}{I_{p1}} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2 \quad (6)$$

$$\beta_X = \theta_{s2} - \theta_{p1} = \beta_1 + \beta_2 \quad (7)$$

따라서 CT 1과 CT 2의 비오차와 위상오차를 독립적으로 절대평가하면 전체 합성 비오차와 합성 위상오차를 알 수 있다.

2.2 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 절대 평가 이론

전류변성기의 2차측에 부하인 연결되었을 때 전류변성기의 비오차($\alpha_{1,2}$)와 위상오차($\beta_{1,2}$)는 각각 다음과 같다[2].

$$\alpha_{1,2} = -Re \left(\frac{Z_{21,22} + Z_{b1,b2}}{Z_{m1,m2}} \right) = -G_{m1,m2} (R_{21,22} + R_{b1,b2}) - B_{m1,m2} (X_{21,22} + X_{b1,b2}) \quad (8)$$

$$\beta_{1,2} = -Im \left(\frac{Z_{21,22} + Z_{b1,b2}}{Z_{m1,m2}} \right) = -G_{m1,m2} (X_{21,22} + X_{b1,b2}) + B_{m1,m2} (R_{21,22} + R_{b1,b2}) \quad (9)$$

여기서, 각 인자들은 다음과 같다.

$$Z_{m1,m2} = R_{m1,m2} + jX_{m1,m2} : \text{CT 1과 CT 2의 여자임피던스}$$

$$Z_{21,22} = R_{21,22} + jX_{21,22} : \text{CT 1과 CT 2의 2차 누설임피던스}$$

$$Z_{b1,b2} = R_{b1,b2} + jX_{b1,b2} : \text{CT 1과 CT 2의 부하의 임피던스}$$

식 (8)과 식 (9)에서 우변항의 인자 $G_{m1,m2}$ 과 $B_{m1,m2}$ 은 각각 전류변성기의 여자컨덕턴스와 여자서셉턴스이고 다음과 같다.

$$G_{m1,m2} = \frac{R_{m1,m2}}{R_{m1,m2}^2 + X_{m1,m2}^2} \quad (10)$$

$$B_{m1,m2} = \frac{X_{m1,m2}}{R_{m1,m2}^2 + X_{m1,m2}^2} \quad (11)$$

식 (8)과 식 (9)에 의해 네 가지 인자 $G_{m1,m2}$, $B_{m1,m2}$, $R_{21,22}$, $X_{21,22}$ 를 독립적으로 측정하여 2차 부단이 있을 때 전류변성기의 비오차와 위상오차를 절대평가 할 수 있다.

2.3 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 보정

피측정 전류변성기의 비오차(α_X) 및 위상오차(β_X)는 표준 전류변성기와의 상대 비교를 통해 얻어지기 때문에 다음과 같다[3].

$$\alpha_X = \alpha_r + \alpha_N \quad (12)$$

$$\beta_X = \beta_r + \beta_N \quad (13)$$

여기서, 각 인자들은 다음과 같다.

- α_r : 전류변성기 비교기에서 측정되는 피측정 전류변성기의 비오차
- β_r : 전류변성기 비교기에서 측정되는 피측정 전류변성기의 위상오차
- α_N : 표준 전류변성기의 비오차
- β_N : 표준 전류변성기의 위상오차

3. 측정 시스템 구성 및 측정 방법

3.1 전류변성기의 2차 전류 확장 시스템의 구성

그림 2는 전류변성기 두 대를 이용한 전류 범위 확장 시스템의 구성도이다. 그림 2에서 표준 전류변성기는 1차 전류 5 ~ 20 kA, 2차 전류 1 A를 갖는 정밀도 0.005 % 인 전류변성기이다. 2차 전류 1 A인 표준 전류변성기의 평가를 위해 전류변성기 비교측정시스템의 피측정 전류변성기로 표 1에 나타낸 CT 1과 CT 2를 조합하여 1차 전류 5 ~ 20 kA, 2차 전류 1 A인 시스템을 구성하였다.

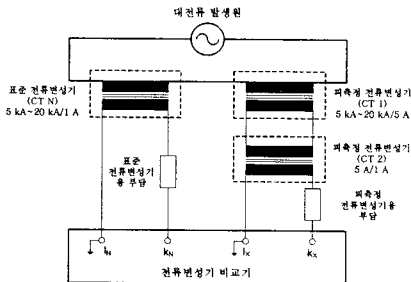


그림 2. 전류변성기 두 대를 이용한 전류 범위 확장 시스템의 구성
Fig. 2. The constitution of current range extension system using two different CTs

표 1. 피측정 전류변성기의 사양

Table 1. The specification of CT under test

전류변성기	1차 전류 [A]	2차 전류 [A]	정밀도	정격 부담
CT 1	5000 ~ 20000	5	0.02 %	15 VA/PF=1
CT 2	5	1	0.001 %	5 VA/PF=1

그림 2에서 전류변성기 비교기는 Tettex사의 2767이다. 제조사에서 제공한 전류변성기 비교기의 불확도는 비오차의 경우 10×10^{-6} 이고 위상오차의 경우 10×10^{-6} rad이다[4]. 또한 표준 전류변성기용 부담으로 표준 전류변성기의 정격 부담인 5 VA/PF=1인 표준 저항을 사용하였고, 이는 동일한 전류변성기에 대한 PTB에서의 측정시 부담값과 동일한 값이다.

3.2 피측정 전류변성기 두 대의 절대 평가를 위한 G_m , B_m , R_2 , X_2 의 측정 방법

식 (8)과 식 (9)에 따라 2차 부단이 있을 때 두 대의 피측정 전류변성기의 비오차와 위상오차를 얻기 위해 전류변성기 동기회로의 네 가지 인자(G_m , B_m , R_2 , X_2)를 측정해야 한다. 피측정 전류변성기의 부담(Z_b)으로 저항의 인덕턴스 성분을 무시할 수 있는 표준정밀저항을[5] 사

용하면($X_b=0$) 식 (8)과 식 (9)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_{1,2} = -(G_m R_2 + B_m X_2 + G_m R_b) = \text{constant} - G_m R_b \quad (14)$$

$$\beta_{1,2} = -G_m X_2 + B_m R_2 + B_m R_b = \text{constant} + B_m R_b \quad (15)$$

식 (14)과 식 (15)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 측정한 전류변성기의 비오차(α)와 위상오차(β)를 R_b 에 대한 함수로 나타낸 기울기가 각각 $-G_m$ 과 B_m 이 된다. 전류변성기의 2차 권선 저항 R_2 는 1차 단자를 단락시키고 2차 단자의 저항을 정밀급 밀티미터로 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. 피측정 전류변성기 두 대의 절대 평가 결과

본 연구에서 피측정 전류변성기로 사용한 1차 전류가 5 kA ~ 20 kA이고 2차 전류가 5 A인 20 kA급 전류변성기(CT 1)와 1차 전류가 5 A이고 2차 전류가 1 A인 전류변성기(CT 2)를 절대 평가 하였다. 전류변성기 비교기는 Tettex사의 2767이다. 또한 전류변성기용 부담으로 저항의 인덕턴스 성분을 무시할 수 있는($L/R < 10^{-6}$) Tinsley사의 0.1 ~ 10 Ω 의 표준정밀저항을 사용하였다[5].

그림 3과 그림 4는 측정 결과의 예로 각각 피측정 전류변성기 CT 1의 전류비 5 kA / 5 A 램과 CT 2의 전류비 5 A / 1 A 램에서 2차 전류를 5 %, 10 %, 20 %, 50 %, 100 % 로 유지하고 표준저항부담(R_b)의 변화에 따른 비오차(a) 및 위상오차(b)의 측정 결과이다. 이 때 비오차와 위상오차를 저항값에 대해 피팅한 기울기가 각각 $-G_m$ 과 B_m 이 된다. 동일한 방법으로 피측정 전류변성기 CT 1의 나타머 램과 CT 2에 대해 측정한 G_m 과 B_m 을 각각 표 2, 3의 세 번째 열에 나타내었다.

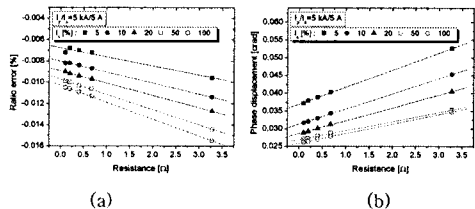


그림 3. 표준저항부담의 변화에 따른 전류변성기의 비오차 및 위상오차 측정결과, $I_p/I_s=5000$ A/5 A. (a) 비오차 (b) 위상오차.

Fig. 3. Ratio errors and phase displacement of a CT measured using different standard resistors, $I_p/I_s=5000$ A/5 A. (a) Ratio error (b) Phase displacement.

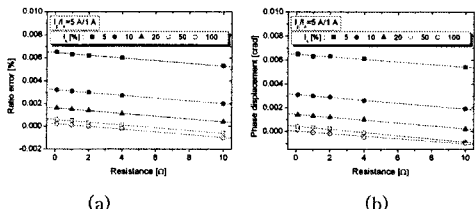


그림 4. 표준저항부담의 변화에 따른 전류변성기의 비오차 및 위상오차 측정결과, $I_p/I_s=5$ A/1 A. (a) 비오차 (b) 위상오차.

Fig. 4. Ratio errors and phase displacement of a CT measured using different standard resistors, $I_p/I_s=5$ A/1 A. (a) Ratio error (b) Phase displacement.

피측정 전류변성기의 각각의 전류 램별로 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 식 (8), (9)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)	CT1의 비오차 및 위상오차	
		$G_m(\times 10^{-5})$	$B_m(\times 10^{-6})$		α_0 (%)	β_0 (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
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 5 A 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 5 A in CT

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	여자어드미턴스 (S)		2차 권선저항 R_2 (Ω)	CT2의 비오차 및 위상오차	
		$G_m(\times 10^{-6})$	$B_m(\times 10^{-6})$		α_0 (%)	β_0 (crad)
5 / 1	5	1.39	-1.3	3.25	-0.0005	-0.0004
	10	1.33	-1.25	3.25	-0.0004	-0.0004
	20	1.17	-1.28	3.25	-0.0004	-0.0004
	50	1.22	-1.37	3.25	-0.0004	-0.0004
	100	1.35	-1.16	3.25	-0.0004	-0.0004

5. 측정 결과의 비교 분석

5.1 피측정 전류변성기 두 대의 합성 오차

표 2와 표 3의 피측정 전류변성기 CT 1 및 CT 2의 절대 평가 결과는 영부담일 때의 결과이다. 따라서 전류변성기 두 대를 조합하여 구성한 시스템의 합성 비오차(α_X) 및 합성 위상오차(β_X)를 얻기 위해서는 (8)과 (9)에 대입하여 CT 1과 CT 2의 비오차 및 위상오차를 계산하였고 이를 표 4의 세 번째 열과 네 번째 열에 각각 정리하였다. 표 4의 마지막 열은 식 (6)과 (7)을 이용해 계산한 전류변성기 두 대를 이용한 전류 범위 확장 시스템의 합성 비오차(α_X) 및 합성 위상오차(β_X)이다.

표 4. 전류변성기 두 대를 이용한 5 kA ~ 20 kA/1 A 시스템의 합성 오차

Table 5. Total errors of current range extension system using two different CTs. Ip/Is=5 kA ~ 20 kA/1 A.

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	CT1		CT2		CT1과 CT2의 합성오차	
		α_0 (%)	β_0 (crad)	α_0 (%)	β_0 (crad)	α_X (%)	β_X (crad)
5000 / 1	5	-0.0017	0.0066	-0.0005	-0.0004	-0.0022	0.0091
	10	-0.0021	0.0085	-0.0005	-0.0004	-0.0025	0.0081
	20	-0.0023	0.0073	-0.0004	-0.0004	-0.0027	0.0068
	50	-0.0029	0.0051	-0.0004	-0.0005	-0.0033	0.0047
	100	-0.0032	0.0054	-0.0005	-0.0004	-0.0036	0.0050
20000 / 1	5	-0.0004	0.0022	-0.0010	-0.0010	-0.0014	0.0012
	10	-0.0004	0.0019	-0.0010	-0.0009	-0.0014	0.0010
	20	-0.0006	0.0016	-0.0009	-0.0009	-0.0014	0.0006
	50	-0.0005	0.0008	-0.0009	-0.0010	-0.0014	-0.0002
	100	-0.0007	0.0012	-0.0010	-0.0009	-0.0017	0.0003

5.2 유효성 검증

표 4의 마지막 열에 나타난 피측정 전류변성기의 비오차 및 위상오차와 전류변성기 비교기에서 측정되는 비오차 및 위상오차 그리고 식 (12)와 식 (13)을 이용하여 표준 전류변성기의 비오차 및 위상오차를 계산하여 표 5의 세 번째 열에 정리하였다. 본 연구에서 얻은 전류변성기의 비오차 및 위상오차의 확장 불확도($k=2$)는 파라미터 모델링 오차를 포함해서 비오차는 20×10^{-6} 이고, 위상오차는 20×10^{-6} rad이다[5]. 여기서 k는 유효 자유도이고, 확장 불확도 U는 k와 합성 불확도 uc의 곱($U=ku_c$)으로 정의되어진다[9]. 동일한 전류변성기에 대해 독일의 국가 표준기관(PTB)에서 측정된 결과를 표 5의 네 번째 열에 나타내었다. 표

5에 나타난 동일한 전류변성기에 대한 PTB에서 측정된 오차의 확장 불확도($k=2$)는 비오차는 50×10^{-6} 이고, 위상오차는 58×10^{-6} rad이다 [10]. 동일한 표준 전류변성기의 비오차와 위상오차의 KRISS 측정값과 PTB 측정값과의 차이를 표 5의 마지막 열에 나타내었다.

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

Table 5. 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	
		α_X (%)	β_X (crad)	α_X (%)	β_X (crad)	$\Delta\alpha_X$ (%)	$\Delta\beta_X$ (crad)
5000 / 1	5	0.0103	-0.0002	0.005	-0.0058	-0.0053	-0.0056
	10	0.0078	-0.0056	0.005	-0.0058	-0.0028	-0.0002
	20	0.0064	-0.0079	0.005	-0.0058	-0.0014	0.0021
	50	0.0054	-0.0098	0.004	-0.0058	-0.0014	0.0040
	100	0.0052	-0.0090	0.004	-0.0058	-0.0012	0.0022
20000 / 1	5	-0.0023	0.0014	0.001	0.0029	0.0033	0.0015
	10	-0.0011	0.0021	0.001	0.0000	0.0021	-0.0021
	20	-0.0006	0.0021	0.001	0.0000	0.0016	-0.0021
	50	0.0000	0.0015	0.001	0.0000	0.0010	-0.0015
	100	0.0002	0.0023	0.000	0.0000	-0.0002	-0.0023

표 5에서 보인 바와 같이 5 kA ~ 20 kA 표준 전류변성기의 평가 결과 KRISS 실험결과와 PTB 측정결과와의 차이가 비오차의 경우 -0.0002 ~ -0.0053 % 이고, 위상오차의 경우 0.0000 ~ -0.0056 crad 이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 두 기관에서 제시한 확장 불확도 내에서 일치함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서 철심형 전류변성기의 한계를 극복하고 로고스키 코일의 평가를 가능하게 하기 위해 전류변성기 두 대와 전류변성기 절대 평가 기술을 이용하여 2차 전류 범위를 확장하는 기술을 개발하고 적용하였다. 이 기술은 1차 전류의 범위가 크고 2차 전류가 5 A인 전류변성기와 2차 전류의 범위가 작고 2차 전류가 1 A인 기보유하고 있는 철심형 전류변성기를 활용할 수 있는 장점도 가지고 있다. 이 기술을 1차 전류가 5 kA ~ 20 kA, 2차 전류가 1 A인 0.005 % 급의 표준 전류변성기의 평가에 적용하였고, 동일한 전류변성기에 대한 독일의 국가표준기관인 PTB의 교정성적서와 그 일치도를 비교하였다. 비교 결과 측정결과와의 차이가 두 기관이 제시한 확장 불확도 내에서 일치하고 있고, 일치도 역시 최대 56 ppm 이내로 상당히 양호한 결과를 보이고 있다. 본 기술을 이용하여 임의의 전류비를 가진 두 대 이상의 전류변성기를 조합하여 새로운 전류비를 갖는 대전류 측정 시스템을 구축하고 이를 정확하게 평가하는 용도로 활용할 수도 있을 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 정재갑, 이상화, 강전홍, 김병수, 김용형, 한상길, 한상욱, "20,000 A 전류변성기 국가 표준 시스템 구축", 대한전기학회지, 57P(1호), 6-12, 2008.
- [2] 김용형, 정재갑, 한상길, 한상욱, "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] Tettext, "Automatic instrument transformer test set Type 2767", Haefely Test AG - instrument transformer measurement, 2007. (www.tettext.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 EPRO Current Transformer (Type : NCD20000d, s/n : 2/06/0006) in PTB (Calibration mark: 2183 PTB 06, Calibration of 2006-07-20)