

정밀저항을 이용한 표준 변류기와 피측정 변류기의 평가

송익섭\*, 김윤형\*\*, 정재갑\*  
 한국표준과학연구원\*, 충남대학교\*\*

Evaluation for Standard Current Transformers and Current Transformers under Test Using Precise Standard Resistors

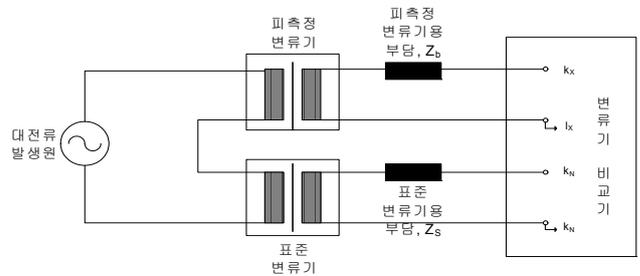
Eui-Sup Song\*, Yoon-Hyoung Kim\*\*, Jae-Kap Jung\*  
 Korea Research Institute of Standards and Science\*, Chungnam National University\*\*

**Abstract** - 본 연구에서는 변류기 비교측정 시스템과 정밀저항을 이용하여 변류기의 오차에 연관되는 인자를 측정함으로써 피측정 변류기의 절대 평가를 하고 그 결과를 이용하여 표준 변류기를 평가 하였다. 한편 기존에 60 Hz 에 적용하였던 실험을 이번 실험에서는 60 Hz 뿐만 아니라 50 Hz 까지 확장하여 실험 하였다. 이 기술의 타당성을 검증하기 위해 실험에 사용된 동일한 변류기에 대한 해외 국가 표준기관의 비오차 및 위상오차와 비교 하였고 그 차이값이 확장 불확도 내에서 일치 함을 확인 하였다.

변류기의 2차측 연결되는 부담( $Z_b=R_b+jX_b$ )은 쉽게 측정할수 있기 때문에 네가지 인자  $G_m, B_m, R_2, X_2$ 를 독립적으로 측정하면 식 (1)과 식 (2)에 의해 2차 부담이 있을 때 변류기의 비오차와 위상 오차를 알수 있다.

2.2 변류기 비교측정시스템의 구성

그림 1은 변류기 비교측정시스템의 구성도이다. 변류기 비교측정시스템은 대전류 발생원, 표준 변류기, 피측정 변류기, 변류기 비교기와 전류 변성기용 부담으로 구성되어 있다.



<그림 1> 변류기 비교시스템의 구성

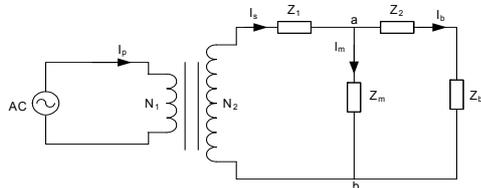
1. 서 론

본 연구에서는 변류기의 오차에 연관되는 인자를 측정하여 피측정 변류기와 표준변류기를 평가하였고 평가결과를 국제 표준기관에서 실시한 측정값과 비교하였다. 또한 기존에 60Hz 에 적용하였던 실험을 이번 실험에서는 50 Hz 까지 확장 실험 하여 적용할 수 있는지에 대해서도 알아 보았다.

2. 본 론

2.1 변류기의 비오차 및 위상오차의 측정이론

변류기의 2차측에 부담( $Z_b$ )을 연결했을 때 변류기의 등가회로는 그림 1과 같고, 각 인자들은 다음과 같다.



<그림 1> 2차 부담  $Z_b$ 가 있을 때 변류기의 등가회로

- $Z_m = R_m + jX_m$  : 여자 임피던스(excitation impedance)
- $Z_1 = R_1 + jX_1$  : 1차 누설 임피던스(primary leakage 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)
- $I_p$  : 실제 1차 전류(actual primary current)
- $I_s$  : 누설이 없고 무한대의 여자임피던스를 가진 변류기의 이상적인 2차 전류(ideal secondary current with no leakage impedance and infinite excitation impedance)
- $I_b$  : 2차 부담이 있을 때 실제 2차 전류(actual secondary current with burden)
- $I_m$  : 여자 전류(exciting current)
- $N_1$  : 1차 권선수(number of primary windings)
- $N_2$  : 2차 권선수(number of secondary windings)

그림 1을 등가회로로 풀면 아래와 같은 식을 도출할수 있다.

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

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

2.3 변류기의 오차에 연관되는 인자의 측정 방법

2차부담이 있을 때 피측정 변류기의 비오차와 위상오차를 얻기 위해 변류기 등가회로의 네가지 인자( $G_m, B_m, R_2, X_2$ )를 측정해야 한다..

우선 피측정 변류기의 부담( $Z_b$ )으로 저항의 인덕턴스 성분을 무시할수 있는 표준정밀저항을 사용하면( $X_b=0$ ) 식 (1)과 식 (2)는 다음과 같이 쓸수 있다.

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

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

위 식에서 피측정 변류기의 2차 전류를 일정하게 하고 부담( $R_b$ )을 변화시키면  $G_m, B_m, R_2, X_2$ 는 상수로 일정하다. 따라서 피측정 변류기의 2차 전류를 일정하게 하고  $R_b$ 를 변화시키면서 변류기 비교측정 시스템에서 측정된 변류기의 비오차와 위상오차를  $R_b$ 에 대한 함수로 나타내면 기울기가 각각  $-G_m$ 과  $B_m$ 이 된다. 이값은 상대적인 기울기값을 나타내므로  $G_m, B_m$ 은 표준 변류기가 가지고 있는 오차에 무관한 독립적인 값이다. 피측정 변류기의 2차 권선저항  $R_2$ 와  $X_2$ 는 1차 단자를 단락시키고 2차 단자의 저항을 멀티미터로 측정해서 얻었다.

3. 측정 결과

부담이 5 VA일 때 각각  $G_m, B_m, R_2, X_2$  네가지 인자를 통하여 얻은 피측정 변류기의 2차측 1 A, 5 A에 대한 비오차와 위상오차값을 1차, 2차, 3차의 실험을 거쳐 평균값을 구하여 표 1과 표 2의 세 번째 열에 나타내었다. 본 연구에서 얻은 피측정 변류기에 대한 오차의 불확도는 비오차는  $20 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는 0.07 min이다. 한편 NRC에서 측정된 오차의 불확도는 비오차는  $20 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는 0.07 min

이 다 네 가지 인자를 이용해 얻은 비오차와 위상오차의 실험값과 NRC 측정값과의 차이를 표 1, 표 2의 마지막 열에 나타내었다.

**〈표 1〉 부담 5 VA / PF=1일 때 피측정 변류기의 2차 전류 1 A에 대한 실험값과 NRC 측정값 비교.**

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	실험값		NRC 측정값[2]		NRC측정값- 실험값	
		$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$	$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$	$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$
		10	-0.0004	-0.004	-0.0006	-0.024	-0.0002
5 / 1	50	-0.0003	-0.007	-0.0007	-0.031	-0.0004	-0.024
	100	-0.0003	-0.004	-0.0007	-0.034	-0.0004	-0.030
	10	-0.0004	-0.005	-0.0005	0.024	-0.0001	0.029
10 / 5	50	-0.0002	-0.006	-0.0005	0.021	-0.0003	0.027
	100	-0.0002	-0.002	-0.0005	0.021	-0.0003	0.022
	10	-0.0002	-0.008	-0.0003	0.034	-0.0001	0.043
100 / 5	50	-0.0002	-0.008	-0.0003	0.031	-0.0001	0.039
	100	-0.0002	-0.004	-0.0003	0.031	-0.0001	0.035
	10	-0.0005	-0.001	0.0002	0.021	0.0007	0.022
1000 / 5	50	-0.0002	-0.002	0.0002	0.017	0.0004	0.019
	100	-0.0002	-0.001	0.0001	0.017	0.0003	0.018

표 1에서 보인 바와 같이 피측정 변류기의 전류비 5 A / 1 A ~ 1000 A / 1 A일 때 실험값과 NRC 측정결과의 차이가 비오차의 경우 0.0001 ~ 0.0007 % 이고 위상오차의 경우 0.018 ~ 0.043 min이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 확장 불확도 내에서 일치한다.

**〈표 2〉 부담 5 VA / PF=1일 때 피측정 변류기의 2차 전류 5A에 대한 실험값과 NRC 측정값 비교.**

전류비 (A / A)	2차 전류 (%)	실험값		NRC 측정값		NRC측정값- 실험값	
		$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$	$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$	$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$
		10	-0.0004	0.001	-0.0003	-0.045	0.0001
5 / 5	50	-0.0004	0.000	-0.0004	-0.048	0.0000	-0.048
	100	-0.0004	0.000	-0.0004	-0.052	0.0000	-0.051
	10	-0.0002	0.008	-0.0002	0.000	0.0000	-0.008
10 / 5	50	-0.0002	0.008	-0.0003	0.000	-0.0001	-0.008
	100	-0.0002	0.009	-0.0003	0.000	-0.0001	-0.009
	10	0.0000	0.001	-0.0001	0.010	-0.0001	0.010
100 / 5	50	0.0000	0.001	-0.0001	0.010	-0.0001	0.009
	100	0.0000	0.001	-0.0001	0.010	-0.0001	0.009
	10	-0.0002	0.003	-0.0002	0.010	0.0000	0.007
1000 / 5	50	-0.0001	0.003	-0.0002	0.010	-0.0001	0.008
	100	-0.0001	0.003	-0.0002	0.010	-0.0001	0.007

표 2에서 보인 바와 같이 피측정 변류기의 전류비 5 A / 5 A ~ 1000 A / 5 A일 때 실험값과 NRC 측정결과의 차이가 비오차의 경우 0.0000 ~ 0.0001 % 이고 위상오차의 경우 0.004 ~ 0.051 min이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 두 기관에서 제시한 확장 불확도 내에서 일치한다.

아래의 표 3과 표 4는 부담이 4 VA이고 2차측 전류가 1 A, 5 A일 때 실험한 측정값에서 변성기 비교기를 통해 측정된 Reading 값을 표준 변류기 값을 각각 4번째 열에 나타내었다. 그리고 PTB의 표준 변류기 성적값을 세 번째 열에 나타내었고 마지막 열에는 두기관의 차이 값을 나타내었다. 본 연구에서 얻은 표준 변류기에 대한 오차의 불확도는 비오차는  $40 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는 0.1 min이다. 한편 PTB에서 측정된 오차의 불확도는 비오차는  $30 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는 0.1 min 이다

**〈표 3〉 부담 4 VA/PF=1일 때 표준변류기의 2차 전류 1 A에 대한 실험값과 PTB 측정값 비교.**

전류비	2차전류 (%)	실험값		PTB[4]		PTB - 실험값		
		$I_s$ (%)	RE (%)	PE (min)	RE (%)	PE (min)	RE (%)	PE (min)
		10	0.0002	-0.064	-0.005	0.1	-0.0052	0.164
5 / 1	50	-0.0005	-0.098	-0.004	0.1	-0.0035	0.198	
	100	-0.0009	-0.100	-0.004	0.1	-0.0031	0.200	
	10	0.0006	0.061	-0.003	0.2	-0.0036	0.139	
10 / 1	50	-0.0006	0.043	-0.003	0.2	-0.0024	0.157	
	100	-0.0010	0.038	-0.003	0.2	-0.0020	0.162	
	10	0.0025	0.043	-0.001	0.1	-0.0035	0.057	
100 / 1	50	0.0006	-0.006	-0.001	0.1	-0.0016	0.106	
	100	0.0000	-0.009	-0.001	0.1	-0.0010	0.109	
	10	-0.0010	0.001	-0.002	0.1	-0.0010	0.099	
1000 / 1	50	-0.0027	-0.026	-0.003	0.1	-0.0003	0.126	
	100	-0.0030	-0.042	-0.003	0.0	0.0000	0.042	

전류비 5 A / 1 A ~ 1000 A / 1 A일 때 실험값과 PTB 성적값 차이가 비오차의 경우 0.0000 ~ 0.0052 % 이고 위상오차의 경우 0.042 ~ 0.200 min이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 확장 불확도 내에서 일치한다.

**〈표 4〉 부담 4 VA/PF=1일 때 표준변류기의 2차 전류 5 A에 대한 실험값과 PTB 측정값 비교.**

전류비	2차 전류 (%)	실험값		PTB		PTB - 실험값		
		$I_s$ (%)	RE (%)	PE (min)	RE (%)	PE (min)	RE (%)	PE (min)
		10	0.0004	-0.462	0.000	-0.5	-0.0004	-0.038
5 / 5	50	-0.0004	-0.470	0.000	-0.5	0.0004	-0.030	
	100	-0.0006	-0.480	0.000	-0.5	0.0006	-0.020	
	10	0.0010	-0.296	-0.001	-0.2	-0.0020	0.096	
10 / 5	50	0.0002	-0.296	-0.001	-0.2	-0.0012	0.096	
	100	0.0000	-0.302	-0.001	-0.2	-0.0010	0.102	
	10	0.0083	-0.480	0.004	-0.4	-0.0043	0.080	
100 / 5	50	0.0061	-0.489	0.004	-0.4	-0.0021	0.089	
	100	0.0059	-0.506	0.004	-0.4	-0.0019	0.106	
	10	-0.0025	-0.417	-0.003	-0.3	-0.0005	0.117	
1000 / 5	50	-0.0039	-0.428	-0.004	-0.3	-0.0001	0.128	
	100	-0.0040	-0.434	-0.004	-0.3	0.0000	0.134	

전류비 5 A / 1 A ~ 1000 A / 1 A일 때 실험값과 PTB 성적값 차이가 비오차의 경우 0.0000 ~ 0.0064 % 이고 위상오차의 경우 0.020 ~ 0.134 min이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 확장 불확도 내에서 일치한다.

**〈표 5〉 50 Hz, 부담 0 VA / PF=1일 때 피측정 변류기의 2차 전류 1 A에 대한 실험값과 Haefly 측정값 비교.**

전류비 (A/A)	2차 전류 (%)	실험값		Haefley 측정값[3]		Haefley - 실험값	
		$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$	$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$	$\alpha_x(\%)$	$\beta_x(\text{min})$
		5/5	100	-0.0001	0.006	-0.0001	-0.002
10/5	100	-0.0001	0.005	0.0000	0.001	0.0001	-0.004
20/5	100	-0.0001	0.006	0.0000	0.001	0.0001	-0.005
50/5	100	0.0000	0.003	0.0000	-0.001	0.0000	-0.004
75/5	100	0.0000	0.002	0.0000	0.001	0.0000	-0.001
100/5	100	0.0000	0.000	0.0001	0.001	0.0001	0.001
150/5	100	-0.0001	0.004	-0.0001	0.003	0.0000	-0.001
300/5	100	-0.0001	0.004	0.0000	0.003	0.0001	-0.001
500/5	100	0.0000	0.001	0.0000	0.003	0.0000	0.002
750/5	100	-0.0001	0.006	0.0000	0.002	0.0001	-0.004
1000/5	100	0.0000	0.003	0.0001	0.003	0.0001	0.000

50 Hz, 부담이 0 VA일 때 각각  $G_m$ ,  $B_m$ ,  $R_2$ ,  $X_2$  네가지 인자를 통하여 얻은 피측정 변류기의 2차측 5 A에 대한 비오차와 위상오차값을 1차, 2차, 3차의 실험을 거쳐 평균값을 구하여 표 5의 세 번째 열에 나타내었고, 실험값과 Haefley 측정값과의 차이를 표 5의 마지막 열에 나타내었다. 본 연구에서 얻은 피측정 변류기에 대한 오차의 불확도는 비오차는  $20 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는 0.07 min이다. 한편 Haefley에서 측정된 오차의 불확도는 비오차는  $5 \times 10^{-6}$ 이고, 위상오차는 0.01 min 이다. 피측정 변류기의 전류비 5 A / 5 A ~ 1000 A / 5 A일 때 실험값과 NRC 측정결과의 차이가 비오차의 경우 0.0000 ~ 0.0001 % 이고 위상오차의 경우 0.000 ~ 0.008 min이다. 따라서 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 일치한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 표준정밀저항을 이용하고 변류기의 비오차와 위상오차에 관여하는 네 가지 인자들을 독립적으로 측정 하여 피측정 변류기의 절대평가를 할 수 있었다. 이 실험을 주파수가 60 Hz일 때 전류비 5 A / 1 A ~ 1000 A / 1 A의 범위를 갖는 변류기와, 5 A / 5 A ~ 1000 A / 5 A의 범위를 갖는 변류기, 그리고 주파수가 50 Hz일 때 5 A / 5 A ~ 1000 A / 5 A의 범위를 갖는 변류기까지 확장을 하여 적용 하였다. 본 기술을 적용하여 얻은 오차 결과를 60 Hz일 때 동일한 변류기에 대한 캐나다 국가 표준기관(NRC)에서의 측정값과, 그리고 50 Hz일 때 동일한 변류기에 대한 Haefley사의 측정값과 비교하였고, 비교결과 피측정 변류기의 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 서로의 확장 불확도 내에서 일치하였다. 또한 본 실험에서 실험한 계산값에서 Reading값의 차를 이용해 얻은 표준 변류기 오차를 독일 국가 표준기관(PTB)에서 측정된 오차값과 비교하였고 비교 결과 표준 변류기의 모든 범위의 전류비에 대해 비오차와 위상오차가 서로의 확장 불확도 내에서 일치 하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Jae Kap Jung, Sung Won Kwon, Sang Hwa Lee, Jeon Hong Kang, "Calibration of Current Transformer", KRIS, C-13-2-0100-2006(E), 2006.
- [2] NRC, "Calibration of Tettex current transformer" INMS Reference No: 410961, Reference: NRC Form 32)
- [3] Haefley, "Test Certificate Calibration", 013534-00-A.4, 9, 30.06.2006
- [4] PTB, "Kalibrierschein Calibration Certificate", 2.31-06003069, 13, 2006-08-31