

# 전류변성기 비교기와 정밀선티저항을 이용한 전류변성기용 부담의 평가기술

論 文

55C-5-5

## Evaluation Technique of Burden for Current Transformer using Current Transformer Comparator and Precise Shunt Resistor

鄭在甲<sup>†</sup> · 李相和<sup>\*</sup> · 姜銓洪<sup>\*\*</sup> · 金明壽<sup>\*\*\*</sup>

(Jae Kap Jung · Sang Hwa Lee · Jeon Hong Kang · Myungsoo Kim)

**Abstract** - Both ratio error and phase angle error in current transformer(CT) depend critically on values of CT burden. Thus, precise measurement of CT burden is very important for the evaluation of CT. A method for the measurement of CT burden has been developed by employing the portable shunt precise resistor with negligible AC-DC resistance difference less than  $10^{-5}$ . The burden value(value and power factor) can be calculated from resistance and reactance obtained by measuring the change of ratio error and phase angle error caused by the change of shunt resistor. The uncertainty for the method is evaluated and found to be about 2 %.

**Key Words** : Current Transformer, Ratio Error, Phase Angle Error, Burden Value, Power Factor, Current Transformer Comparator, Shunt Resistor

### 1. 서 론

수 kA 이상의 대전류는 직접 측정 하는 것이 불가능하여 전류변성기(current transformer)를 이용하여 저전류로 분류시켜 측정한다. 측정된 저전류로부터 대전류의 크기와 위상을 얻기 위해서는 전류변성기의 비오차(ratio error)와 위상각 오차(phase angle error)를 알아야 한다. 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차의 측정은 비오차 및 위상각 오차를 무시할 수 있는(오차가 0.01 % 이내) 표준 전류변성기를 기준으로 전류 변성기 비교기(current transformer comparator)를 이용하여 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 일반적으로 전류변성기의 비오차와 위상각 오차는 KS 규격에[1] 의해 전류변성기의 2차측에 부담(burden)을 직렬로 연결한 상태로 측정되며, 전류변성기의 오차는 부담값과 역률에 따라 달라진다.[2-3] 따라서 부담값과 역률의 정확한 측정은 전류변성기의 비오차 및 위상각 오차의 정밀측정을 위하여 매우 중요하다.

본 연구에서 피측정 전류변성기의 2차측에 연결되는 부담값과 역률을 전류변성기 비교기와 정밀선티저항을 이용하여 측정할 수 있는 새로운 기술을 개발했다. 이 방법은 직류 교류 변환차이가  $10^{-5}$  이하로 무시될 수 있는[4] 정밀선티저항기를 피측정 전류변성기의 2 차측에 병렬로 연결하여 저항값의 변화에 대한 비오차와 위상각 오차의 변화율을 측정함으

로써 전류변성기용 부담값과 역률을 얻을 수 있다. 또한 이러한 방법으로 얻은 측정값에 대한 불확도도 같이 분석하였다.

상기측정기술의 유효성을 검증하기 위해서 디지털 멀티미터를 이용하여 부담의 임피던스값을 측정하였는데 서로다른 두 측정방법으로 얻은 값들을 비교함으로써 일치도를 확인하였다. 전류변성기 비교기와 정밀선티저항을 이용한 전류변성기용 부담의 평가기술은 산업체의 전류변성기 비교기와 피측정 전류변성기에 연결되어 있는 부담을 분해하지 않고 직접 연결된 상태로 현장조건에 맞게 부담을 평가할 수 있다. 또한 전류변성기용 부담은 전압변성기용 부담과는 달리 부담의 임피던스가 0.1  $\Omega$  정도로 작아 부담에 연결되는 측정케이블의 임피던스값을 고려해야 한다. 본 연구에서 개발한 방법은 순수한 부담값은 물론 측정케이블의 임피던스값을 포함한 부담값을 알 수 있어서 측정케이블 자체 임피던스의 효과를 고려한 보정이 필요가 없는 편리한 방법이다.

### 2. 부담의 정의 및 부담의 측정원리

#### 2-1. 부담의 정의

부담은 전류변성기의 2차측 단자 사이에 연결되는 부하로 정의하고 전류계 및 전력량계 전류단자의 입력 임피던스가 부담으로 작용한다. 부담은 정격주파수 및 2차 정격전류의 조건에서 부하에서 소비되는 피상전력(VA)과 역률로 표시한다.[1] 전류변성기의 2차측에 연결할 부하의 크기 및 KS 규격에 따라 시험할 수 있는 정격부담(rated burden)이 정해진다. 전류변성기용 부담은 표준용(0.1~0.2 급)의 경우는 2.5, 5, 15, 25 VA가 있으며, 일반계기용(0.5, 1.0, 3.0 급)의 경우에는 5, 10, 15, 25, 40, 100 VA가 있다. 전류변성기의 시험은 정격

† 교신저자, 正會員 : 한국표준과학연구원 선임연구원

E-mail : jkjung@kriss.re.kr

\* 正會員 : 한국표준과학연구원 책임연구원

\*\* 正會員 : 한국표준과학연구원 선임연구원

\*\*\* 正會員 : 한국표준과학연구원 표준보급 부부장

接受日字 : 2006年 12月 1日

最終完了 : 2006年 3月 14日

부담의 25 % 및 100 %에서 시험하되, 표준용 전류변성기는 역률 1에서, 일반계기용 전류변성기는 역률 0.8에서 시험한다.[1] 그림 1은 역률이 1이 아닌 일반계기용 전류변성기 부담의 회로도로서, 저항(R)과 인덕터(L)가 직렬로 연결된 구조이다. 물론 역률이 1인 부담을 사용해야하는 표준용 전류변성기의 부담은 순수한 직류 저항만으로 만들어야 한다.



그림 1. 전류변성기용 부담 Zb의 회로도.  
Fig. 1. Circuit of a burden Zb for current transformer.

2-2. 부담의 측정원리

전류변성기의 외부 부담 Zb가 있을 때 등가회로는 그림 2와 같다.[3, 5] 전류 변성기의 2차측에 대한 1차측의 전류비는 1차측에 대한 2차측의 권선수의 비이므로 식 (1)과 같다.

$$\frac{I_p}{I} = \frac{N_2}{N_1} = N \tag{1}$$

식 (1)에서 N1 과 N2는 각각 1차측 및 2차측 권선수이고, N은 전류변성기의 정격 권선비(rated transformation ratio)이다.

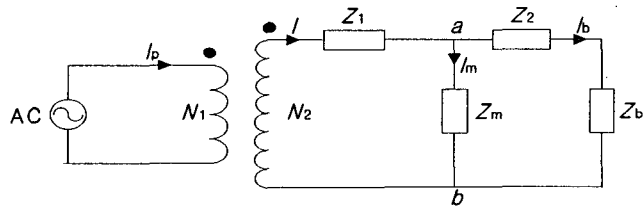


그림 2. 외부부담 Zb 가 있을때의 전류변성기의 등가회로  
Fig. 2. An equivalent circuit for current transformer with external burden Zb

외부 부담 Zb 가 있을 때의 전류 변성기의 2차측(Ib)에 대한 1차측(Ip) 전류벡터의 복소비는 아래와 같이 쓸 수 있다.[3, 5]

$$\frac{I_p}{I_b} = N \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right) = N(1 - \alpha_b - j\beta_b) \tag{2}$$

식 (2)의 각 인자들은 아래와 같다.

$$\alpha_b = -\text{Re} \left( \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right) : \text{외부부담 } Z_b \text{가 있을 때의 전류 변성기의 비오차}$$

$$\beta_b = -\text{Im} \left( \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right) : \text{외부부담 } Z_b \text{가 있을 때의 전류 변성기의 위상각 오차}$$

$Z_1$  : 전류변성기의 1차 누설 임피던스(primary leakage impedance)

$Z_2$  : 전류변성기의 2차 누설 임피던스(secondary leakage impedance)

$Z_m$  : 자화임피던스(magnetizing impedance)

$Z_b = R_b + jX_b$  : 외부부담의 임피던스

전류변성기용 부담 Zb의 측정을 위해 그림 3과 같이 전류 변성기 2차측 양단에 션트 정밀 저항 Z를 연결한다.

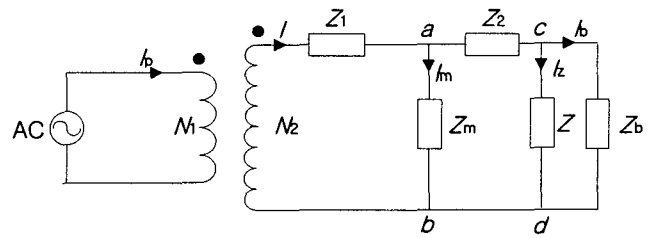


그림 3. 션트 정밀 저항이 전류변성기 2차측 양단에 연결 되어 있을때의 전류변성기의 등가회로  
Fig. 3. An equivalent circuit for current transformer with shunt precise resistor, Z, connected parallelly with CT secondaries.

그림 3에서 전류변성기의 2차측에 흐르는 전류 I는 Im 및 Iz, Ib의 합이고, a 와 b 및 c 와 d 에서 전압강하가 동일하므로 식 (3)과 같이 쓸 수 있다(자세한 계산은 부록 참조).

$$I = I_m + I_z + I_b = \left( \frac{IZ_2 + I_b Z_b}{Z_m + Z_2} \right) + \left( \frac{I_b Z_b}{Z} \right) + I_b \tag{3}$$

식 (3)을 정리하여 계산하면 식 (4)와 같이 쓸 수 있다(자세한 계산은 부록 참조).

$$I \cong I_b \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z} \right) \tag{4}$$

식 (4) 및 (1), (2)를 이용하여 션트정밀 표준저항이 있을때의 1차측과 2차측의 전류벡터의 복소비 (Ip/Is)'는 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\left( \frac{I_p}{I_b} \right)' = N \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z} \right) = N(1 - \alpha_b' - j\beta_b') \tag{5}$$

식 (5)에서  $\alpha_b'$  와  $\beta_b'$ 는 각각 션트저항이 있을때의 비오차와 위상각 오차이다. 션트정밀 표준저항 Z는 직-교류 변환 차이가 10<sup>-5</sup> 이하로 무시할 수 있는 저항을 사용하면 Z = R 이다.[4] 따라서 션트저항이 있을때의 비오차( $\alpha_b'$ )와 위상각 오차( $\beta_b'$ )는 식 (2)를 이용하여 각각 식 (6) 과 (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_b' = -Re\left(\frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{R}\right) = \alpha_b - \frac{R_b}{R} \quad \text{혹은}$$

$$\alpha_b' - \alpha_b = -\frac{R_b}{R} \quad (6)$$

$$\beta_b' = -Im\left(\frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{R}\right) = \beta_b - \frac{X_b}{R} \quad \text{혹은}$$

$$\beta_b' - \beta_b = -\frac{X_b}{R} \quad (7)$$

식 (6)에서 션트저항이 있을때와 없을때의 비오차의 차이 ( $\alpha_b' - \alpha_b$ )와 식 (7)에서 션트저항이 있을때와 없을때의 위상각 오차의 차이( $\beta_b' - \beta_b$ )는 모두 션트 저항값의 역수( $1/R$ )에 비례한다. 따라서 식 (6)에 의해 션트 저항의 역수 ( $1/R$ )의 값을 변화시키면서 측정된  $\alpha_b' - \alpha_b$  값을 ( $1/R$ )의 1차 함수로 피팅하면 직선의 기울기가 부담의 저항성분  $R_b$ 가 된다. 엄밀히 말하자면 여기서 구한  $R_b$ 는 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  $\beta_b' - \beta_b$  값을 ( $1/R$ )의 1차 함수로 피팅하면 직선의 기울기가 부담의 리액턴스 성분  $X_b$ 가 된다. 엄밀히 말하자면 여기서 구한  $X_b$ 는 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  $R_b$ 와  $X_b$  값으로부터 부담값과 역률(power factor)은 아래의 관계에 의해 얻어진다.

$$Z_b = \sqrt{R_b^2 + X_b^2}, \quad V_b = 5 \text{ Ampere} \cdot Z_b,$$

$$\text{부담값} = V_b \cdot 5 \text{ Ampere}, \quad \text{부담의 역률} = \frac{R_b}{Z_b} \quad (8)$$

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

### 3. 부담측정 시스템 구성 및 부담 측정 결과

전류변성기 비교기를 이용한 부담측정 장치의 구성도를 그림 4에 나타내었다. 전류비가 동일한 표준 전류변성기(standard current transformer)와 피측정 전류변성기(test current transformer)의 1차 측에 직렬로 동일한 전류를 공급하고, 두 전류변성기의 2차측 전류를 전류 비교기(current comparator)를 이용하여 비교함으로써 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 여기서 표준 전류변성기와 비교기는 미국 Knopp 사의 제품으로 모델은 각각 P-5000와 Knopp KVTs 이다. 사용한 피측정 전류변성기는 일본 Yokogawa사의 모델 2261를 사용하였고, 1 차측 전류가 100 A 이고, 2 차측 전류는 5 A로 유지하면서 측정하였다. 그림

4 에서와 같이 부담( $Z_b$ )측정을 위해서 션트저항  $Z$ (Tinsley사)가 피측정 전류변성기 2 차측에 병렬로 연결되어 있다.

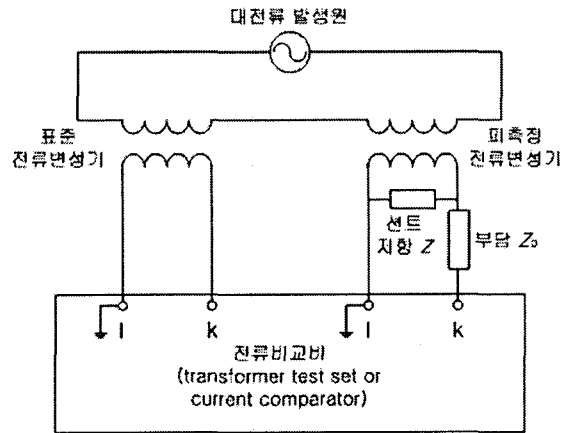


그림 4. 전류변성기 비교기를 이용한 부담측정장치  
Fig. 4. Burden measurement system using a current transformer comparator.

션트 저항값이 200 Ω에서 8 kΩ 사이의 범위에서 션트저항을 변화시키면서 피측정 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 전류변성기용 부담값 10 VA, 역률 0.8, 60 Hz, 2차전류 5 A 에서의 비오차의 측정결과를 예를 각각 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 y-축은 션트저항이 있을때와 없을때의 비오차의 차이( $\alpha_b' - \alpha_b$ )를 나타내고 x-축은 션트 저항값의 역수( $1/R$ )를 나타낸다. 그림 5에서 직선은 식 (6)에 따라 피팅한 결과를 나타내었는데 직선의 기울기는 0.4162 Ω이고 괄호안은 피팅오차를 나타낸다. 직선의 기울기 0.4162 Ω은 전류변성기용 부담의 저항성분에 부담에 연결되는 측정케이블의 저항성분을 더한값, 즉  $R_b + r$  임을 가리킨다.

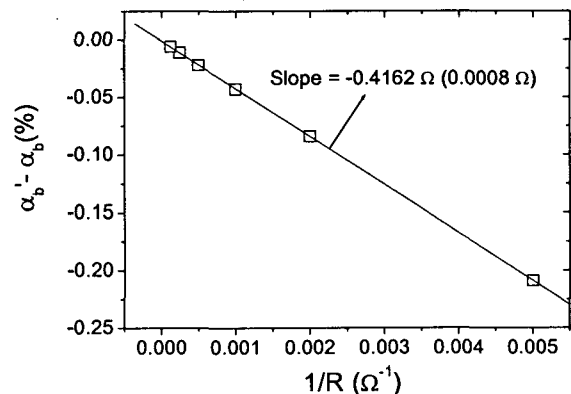


그림 5. 션트 저항값의 변화에 따른 전류변성기의 비오차의 측정결과.  
Fig. 5. Measurement results for ratio error of current transformer as a function of the resistance of shunt resistor.

케이블의 선저항이 포함되지 않는 순수한 부담의 저항성분을 구하기 위하여 그림 4에서 부담을 제거하고 측정케이블을 단락시켜 앞과 동일하게 셉트저항을 바꾸어가면서 비오차의 변화를 측정하여 그림 5와 같이 피팅하여 케이블의 선저항을 측정하였다. 피팅 결과 케이블의 선저항  $r = 0.0396 \Omega$  이었다. 따라서 10 VA/PF=0.8 순수한 부담의 저항성분은  $R_b = 0.3766 \Omega$  이다.

앞과 유사하게 셉트 저항값이 200  $\Omega$ 에서 8 k $\Omega$  사이의 범위에서 셉트저항을 변화시키면서 피측정 전류변성기의 위상각 오차를 측정한다. 전류 변성기용 부담값 10 VA, 역률 0.8, 60 Hz, 2차전류 5 A 에서의 위상각 오차의 측정결과를 예를 각각 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 y-축은 셉트저항이 있을때와 없을때의 위상각 오차의 차이( $\beta_b' - \beta_b$ )를 나타내고 x-축은 셉트 저항값의 역수( $1/R$ )를 나타낸다. 그림 6에서 직선은 식 (7)에 따라 피팅한 결과를 나타내었는데 직선의 기울기는 0.252  $\Omega$  이고, 괄호안은 오차를 나타낸다. 직선의 기울기 0.252  $\Omega$  은 전류변성기용 부담의 리액턴스 성분에 부담에 연결되는 측정 케이블의 리액턴스 성분을 더한값, 즉  $X_b + x$ 를 가리킨다.

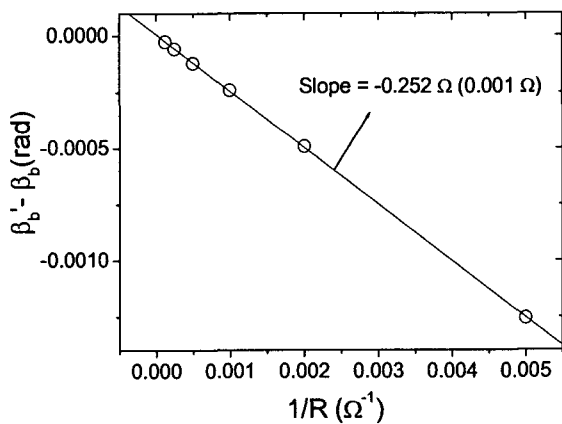


그림 6. 셉트 저항값의 변화에 따른 전류변성기의 위상각 오차의 측정결과.

Fig. 6. 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 4에서 부담을 제거하고 측정케이블을 단락시켜 앞과 동일하게 셉트저항을 바꾸어가면서 위상오차의 변화를 측정하여 그림 6과 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 6에서 구한값 0.252  $\Omega$  에

서  $x = 0.004 \Omega$  를 빼어  $X_b = 0.248 \Omega$  을 얻었다.

정밀셉트저항을 이용하여 구한 부담의 저항성분  $R_b$  와 리액턴스 성분  $X_b$  로부터 전류변성기용 부담값과 역률은 식 (8)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  $X_b$  을 구하였으며, 식 (8)에 의해 부담값과 역률을 구하여 표 1에 정리하여 나타내었다.

표 1. 부담의 저항성분( $R_b$ )과 리액턴스 성분( $X_b$ )으로부터 식 (8)에 의해 계산된 부담값과 역률.

Table 1. Burden value and power factor calculated according to eq. (8) 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. 불확도 평가 및 측정 방법의 유효성 검증

전류변성기용 부담의 측정시 불확도 평가는 불확도 요인을 찾아 요인별 표준불확도( $u_1, u_2, \dots$ )와 자유도를 구하고 이로부터 상대 합성 표준불확도와 유효 자유도를 구한다. 유효 자유도와 신뢰수준에 따른 포함인자를 찾아 상대 합성 표준 불확도에 곱하면 상대 확장 불확도(U)가 된다.[3] 여기서 포함인자는 2 이므로 상대 확장 불확도(U)는 아래와 같이 표현 된다.[6]

$$U = 2 \cdot \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + \dots}, \quad (9)$$

전류변성기 비교측정 장치를 이용하여 전류변성기용 부담을 측정할때의 부담값과 역률에 대한 불확도 요인을 정리하여 각각 표 2 (a) 와 (b)의 두번째 줄에 나타내었다. 각종 부담(2.5 VA~40 VA)에서의 부담값과 역률에 대해 구한 상대 합성 표준불확도와 상대 확장 불확도를 각각 표 2 (a) 와 (b)의 마지막 두 줄에 나타내었다. 부담값에 대한 상대 확장 불확도는 1.62%~1.83% 정도이고, 역률에 대한 상대 확장 불확도는 1.68%~2.02%의 범위에 있다.

표 2 (a). 전류변성기용 부담의 부담값에 대한 불확도 총괄표.

Table 2 (a). Uncertainty budget for burden value of burden for current transformer.

불확도 요인	단위 %					
	2.5 VA/0.8	3.75 VA/0.8	5 VA/0.8	10 VA/0.8	15 VA/0.8	40 VA/0.8
수식의 fitting, u1	0.43	0.22	0.19	0.24	0.39	0.06
선트 저항기, u2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
직-교류 변환, u3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
수식 근사, u4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
전류 측정, u5	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
상대 합성 표준불확도	0.92	0.84	0.83	0.84	0.90	0.81
상대 확장 불확도, U (k=2)	1.83	1.67	1.66	1.68	1.79	1.62

표 2 (b). 전류변성기용 부담의 역률에 대한 불확도 총괄표.

Table 2 (b). Uncertainty budget for power factor of burden for current transformer.

불확도 요인	단위 %					
	2.5 VA/0.8	3.75 VA/0.8	5 VA/0.8	10 VA/0.8	15 VA/0.8	40 VA/0.8
수식의 fitting, u1	0.24	0.23	0.61	0.40	0.44	0.54
선트 저항기, u2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
직-교류 변환, u3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
수식 근사, u4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
전류 측정, u5	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
상대 합성 표준불확도	0.84	0.84	1.01	0.90	0.92	0.97
상대 확장 불확도, U (k=2)	1.68	1.68	2.02	1.80	1.84	1.94

한편 본 기술의 유효성을 검증하기 위해 전류변성기 비교기를 이용하여 측정된 전류변성기용 부담의 임피던스값과 디지털 멀티미터를 이용하여 직접 측정된 전류변성기용 부담의 임피던스값을 표 3에 서로 비교하였다. 표 3의 마지막 열에 두 방법에서의 얻은 임피던스값에 대한 상대차이를 나타내었다. 여기서 상대차이는 아래와 같이 정의된다.

$$\text{상대차이 (\%)} = \frac{\text{멀티미터로 측정한 임피던스값} - \text{전류비교기로 측정한 임피던스값}}{\text{전류비교기로 측정한 임피던스값}} \times 100 \text{ (\%)} \quad (10)$$

상대차이는 부담의 정격 2.5 VA/0.8 인 경우에 최대 2.7 % 이였고, 다른 정격부담에서는 1 % 정도였다. 이는 두 방법에 대한 불확도가 약 2 % 임을 감안하면 서로의 불확도내에서 두 측정값이 일치함을 알 수 있다.

표 3. 두 방법에 의해 측정된 부담의 임피던스값의 비교  
Table 3. Comparison of impedance value of burden measured by two methods

부담의 정격/역률	전류변성기 비교기로 측정한 임피던스(Ω)	멀티미터로 측정한 임피던스(Ω)	상대차이 (%)
2.5 VA/0.8	0.150	0.155	2.7
3.75 VA/0.8	0.202	0.204	1.2
5 VA/0.8	0.250	0.254	1.5
10 VA/0.8	0.451	0.456	1.1
15 VA/0.8	0.646	0.651	0.8
40 VA/0.8	1.686	1.666	-1.2

### 5. 결 론

본 연구에서는 전류변성기용 부담값과 역률을 전류변성기 비교기와 정밀선트저항을 이용하여 측정할 수 있는 새로운

기술을 개발했다. 이는 정밀 선트 저항기를 피측정 전류변성기의 2차측에 병렬로 연결하여 저항값의 변화에 대한 비오차와 위상각 오차의 변화율을 측정함으로써 부담값과 역률을 얻을 수 있는 방법이다. 이 방법에 대한 불확도를 평가한 결과 부담값에 대한 상대 확장 불확도는 1.62% ~ 1.83% 정도이고, 역률에 대한 상대 확장 불확도는 1.68% ~ 2.02%의 범위에 있다. 또한 본 방법으로 측정된 값을 멀티미터를 이용하여 측정된 부담의 임피던스값과 비교한 결과 불확도 내에서 두 방법에 대한 측정값이 서로 일치함을 확인함으로써, 본 측정기술의 유효성을 검증하였다.

결론적으로 본 기술의 장점은 산업현장의 전류변성기 비교기와 피측정 전류변성기에 연결되어 있는 부담을 분해하지 않고, 정밀 선트 저항기만을 사용하여 현장에서 수시로 부담을 평가할 수 있는 것과 동시에, 전류변성기 비교기의 평가가 가능하다는 점이다.

**감사의 글**

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

**참 고 문 헌**

- [1] 한국표준협회, “계기용변성기(표준용 및 일반계기용)”, KS C 1706, 1982.
- [2] P. J. Betts, “Calculated Temperature Coefficients of Transformers” National Measurement Laboratory Technical Paper No 4, pp. 1-13(1977)
- [3] 정재갑, 권성원, 이상화, 박영태 “전류변성기의 비오차와 위상각 오차의 계산값과 실험값의 차에 의한 측정시스템 유용성 검증기술에 관한 연구”, 대한전기학회지, 53C 권(4호). 213-217(2004).
- [4] Tinsley “Precision Resistance Measurement”, Tinsley Precision Instruments 1995.
- [5] John D. Ramboz and O. Petersons, “A Calibration Service for Current Transformers” NIST Special Publication, vol. 250, No. 36, p66, 1991.
- [6] ISO “Guide to the expression of uncertainty in measurements,” 1991.

**부 록**

그림 3의 전류 변성기의 2차측의 a 와 b에서 전압강하가 동일하므로 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$I_m Z_m = (I - I_m) Z_2 + I_b Z_b, \quad I_m = \frac{I Z_2 + I_b Z_b}{Z_m + Z_2} \quad (3-1)$$

한편 그림 3의 c 와 d에서 전압강하가 동일하므로 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$I_2 Z = I_b Z_b, \quad I_2 = I_b \frac{Z_b}{Z} \quad (3-2)$$

그림 3에서 전류 변성기의 2차측에 흐르는 전류 I는 I<sub>m</sub> 및 I<sub>2</sub>, I<sub>b</sub>의 합이고, 식 (3-1) 과 (3-2)를 이용하여 식 (3)와 같이 쓸 수 있다.

$$I = I_m + I_2 + I_b = \left( \frac{I Z_2 + I_b Z_b}{Z_m + Z_2} \right) + \left( \frac{I_b Z_b}{Z} \right) + I_b \quad (3)$$

식 (3)을 정리하여 식 (4-1)와 같이 쓸 수 있다.

$$I \left( 1 - \frac{Z_2}{Z_m + Z_2} \right) = I_b \left( 1 + \frac{Z_b}{Z_m + Z_2} + \frac{Z_b}{Z} \right) \quad (4-1)$$

식 (4-1)을 다시 정리하여 식 (4)가 된다.

$$\begin{aligned} I &= I_b \frac{\left( 1 + \frac{Z_b}{Z_m + Z_2} + \frac{Z_b}{Z} \right)}{\left( 1 - \frac{Z_2}{Z_m + Z_2} \right)} \cong I_b \frac{\left( 1 + \frac{Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z} \right)}{\left( 1 - \frac{Z_2}{Z_m} \right)} \\ &\cong I_b \left( 1 + \frac{Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z} \right) \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right) \\ &= I_b \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b Z_2}{Z_m^2} + \frac{Z_b}{Z} + \frac{Z_b Z_2}{Z Z_m} \right) \\ &\cong I_b \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \frac{Z_b}{Z_m + Z_2} &= \frac{\frac{Z_b}{Z_m}}{\left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right)} \cong \frac{Z_b}{Z_m} \left( 1 - \frac{Z_2}{Z_m} \right) \cong \frac{Z_b}{Z_m} \\ \frac{Z_2}{Z_m + Z_2} &= \frac{\frac{Z_2}{Z_m}}{\left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right)} \cong \frac{Z_2}{Z_m} \left( 1 - \frac{Z_2}{Z_m} \right) \cong \frac{Z_2}{Z_m} \end{aligned}$$

식 (4)까지의 전개에서 Z<sub>2</sub> 와 Z<sub>b</sub> 의 크기는 0.1 Ω 정도이고, Z<sub>m</sub> 와 Z 의 크기는 1 kΩ 정도이므로, (Z<sub>2</sub>/Z<sub>m</sub>)의 크기는 1과 비교하여 10<sup>-4</sup> 정도로 작아 무시가능하다. 또한 식 (4)까지의 전개에서 (Z<sub>b</sub>Z<sub>2</sub>/Z<sub>m</sub><sup>2</sup>) 과 (Z<sub>b</sub>Z<sub>2</sub>/ZZ<sub>m</sub>) 의 크기도 1과 비교하여 10<sup>-8</sup> 정도로 작아 무시가능하다. 따라서 식 (4) 및 (1), (2)를 이용하여 선트정밀 표준저항이 있을때의 1차측과 2차측의 전류벡터의 복소비(I<sub>p</sub>/I<sub>s</sub>)’는 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\left(\frac{I_p}{I_b}\right)' = N\left(1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z}\right) = N(1 - \alpha_b' - j\beta_b') \quad (5)$$

여기서 선트정밀 표준저항  $Z$ 는 직-교류 변환차이가 10-5 이하로 무시할 수 있는 저항을 사용하면  $Z = R$  이다. 따라서 선트저항이 있을때의 비오차( $\alpha_b'$ )와 위상각 오차( $\beta_b'$ )는 식 (2)를 이용하여 각각 식 (6) 과 (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_b' = -\operatorname{Re}\left(\frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{R}\right) = \alpha_b - \frac{R_b}{R} \quad \text{혹은}$$

$$\alpha_b' - \alpha_b = -\frac{R_b}{R} \quad (6)$$

$$\beta_b' = -\operatorname{Im}\left(\frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} + \frac{Z_b}{R}\right) = \beta_b - \frac{X_b}{R} \quad \text{혹은}$$

$$\beta_b' - \beta_b = -\frac{X_b}{R} \quad (7)$$

## 저 자 소 개



### 정재갑 (鄭在甲)

1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업 박사. 2001년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹 선임연구원  
Tel : 042-868-5152, Fax : 042-868-5018  
E-mail : jkjung@kriss.re.kr



### 권성원 (權聖遠)

1952년 1월 19일생. 1974년 한국항공대 전자공학과  
1978년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기그룹 책임연구원  
Tel : 042-868-5155, Fax : 042-868-5018  
E-mail : swkwon@kriss.re.kr



### 이상화 (李相和)

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



### 김명수 (金明壽)

1954년 8월 26일생. 1977년 서울공대 화공과 졸업  
1986년 미국 미주리대 (공학박사)  
1977년~1982년 국방과학연구소  
1987년~현재 한국표준과학연구원 표준보급부부장  
Tel : 042-868-5040, Fax : 042-868-5018  
E-mail : mkim@kriss.re.kr