

# 저항기를 이용한 계기용 변성기 부담 자동 평가 장치 개발

## Development of Automatic Evaluation Equipment for Burden of Instrument Transformer using Resistor Simulator

이 영 섭\* · 정 재 갑†  
 (Young Seob Lee · Jae Kap Jung)

**Abstract** - The error of instrument transformers is measured by connecting the external burden with the secondary terminal of the instrument transformers. Because the error of transformer is affected by the apparent power and power factor of the external burden, an accurate measurement of burden is important for transformer evaluation. We have developed the burden evaluation equipment for both potential transformer and current transformer by employing the series resistor in the range of  $20 \text{ m}\Omega \sim 5 \Omega$  and the parallel resistor in the range of  $1 \text{ M}\Omega \sim 500 \Omega$ , respectively, together with visual basic program. We could reduce testing time more than 5 times by employing method developed in this study, compared with that developed in past. This method shows more better reliability by analyzing the evaluation results and fitting graphs of burden measurements. The test results of the developed system is compared with those obtained in the power meter analyzer to verify the validity.

**Key Words** : Current transformer, Potential transformer, Burden, Apparent power, Power factor

### 1. 서 론

계기용 변성기는 발전소나 변전소에서 전력량을 계량하기 위해 고전압 대전류를 각각 저전압과 소전류로 낮추어 고전압과 대전류를 안전하고 정확하게 측정하기 위한 일종의 전압 전류 변환기이다. 계기용 변성기의 오차 측정은 비오차 및 위상각 오차를 무시할 수 있는 표준 변성기를 기준으로 하여, 변성기 비교기를 이용하여 표준변성기와 피측정 변성기의 2차 전압 및 전류를 비교하여 측정된다. 일반적으로 변성기의 비오차와 위상각 오차는 KS 규격에 따라 변성기의 2차 측에 부담(burden)을 연결한 상태로 측정된다[1].

변성기의 오차는 부담의 피상전력 값과 역률에 따라 달라지기 때문에[2-6], 부담의 피상전력 값과 역률의 정확한 측정은 변성기의 평가를 위해 매우 중요하다. 과거 연구결과에 의하면[7-8], 직렬 저항기와 병렬 저항기를 이용하여 각각 전압변성기와 전류변성기 부담을 측정하는 원리 및 방법을 소개하였다. 이 방법을 통해 변성기 평가 시스템에 포함되어 있는 부담을 분리하지 않은 상태에서 평가할 수 있었다.

본 연구에서는 간편한  $20 \text{ m}\Omega \sim 5 \Omega$  범위의 직렬 저항기와  $1 \text{ M}\Omega \sim 500 \Omega$  범위의 병렬 저항기를 제작하였고 Visual basic 프로그램을 이용하여 계기용 변성기 부담 자동 평가 장치를 개발하였다. 개발된 부담평가 장치는 부담 측정값에 대한 결과와 피팅 그래프를 볼 수 있어 측정 신뢰도를 향상시켰

며 측정시간이 기존의 방법보다 5배 이상 단축되는 장점이 있다. 본 연구에서 개발한 계기용 변성기 부담평가시스템의 유효성을 검증하기 위해 Power Meter Analyzer를 사용하여 얻은 부담값을 비교함으로써 일치도를 확인하였다.

### 2. 부담 측정 원리

#### 2.1 전압변성기 부담 측정의 원리

그림 1은 산업체에서 전압 변성기 부담 평가를 위한 시스템 연결도 이다[7]. 피 측정전압변성기의 2차 측에 병렬로 연결된 부담  $Z_b$ 를 측정하기 위한 직렬 저항기  $R_s$ 는 피측정 전압변성기의 2차 측에 직렬로 연결되어 있다.

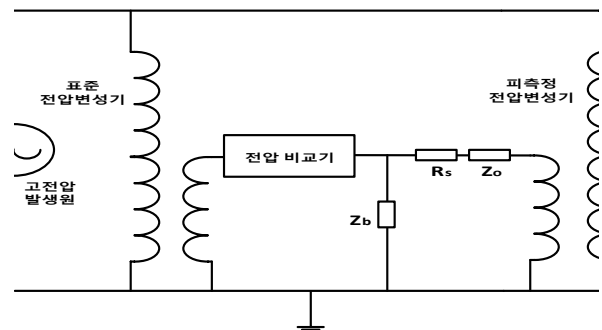


그림 1 직렬 저항기를 이용한 전압변성기 부담평가 시스템  
 Fig. 1 PT burden evaluation system using series resistor

위 그림의  $Z_b$ 와  $Z_o$ 는 다음과 같이 정의 된다.

† Corresponding Author : Dept. of Electricity and Magnetism, KRISS, Korea

E-mail : jkjung@kriss.re.kr

\* Dept. of Metrology, UST, Korea

Received : February 17, 2014; Accepted : February 26, 2014

$Z_0 = R_0 + jX_0$  : 피측정 전압변성기의 누설 출력 임피던스,  
 $Z_b = R_b + jX_b$  : 부담의 임피던스.

직렬 저항기가 연결되었을 때의 비오차와 위상각 오차는 다음과 같다[7].

$$RE_b(R_0 + R_s) = RE_0 + (RE_0 - 1)G_b R_s \quad (1)$$

$$\Gamma_b(R_0 + R_s) = \Gamma_0 + B_b R_s \quad (2)$$

식 (1), (2)의 각 인자들은 아래와 같다.

$RE_0$  : 부담이 없을 때의 비오차,

$RE_b$  : 부담  $Z_b$ 가 있을 때의 비오차,

$\Gamma_b$  : 부담  $Z_b$ 가 있을 때의 위상각 오차,

$$G_b = \frac{R_b}{R_b^2 + X_b^2} : \text{부담의 컨덕턴스 (conductance)}$$

$$B_b = \frac{X_b}{R_b^2 + X_b^2} : \text{부담의 서셉턴스 (susceptance)}$$

식 (1)의  $RE_b(R_0 + R_s)$ 와 식 (2)의  $\Gamma_b(R_0 + R_s)$ 는 모두 직렬 저항기의 저항값( $R_s$ )에 비례한다. 따라서  $R_s$ 의 값을 변화시켜 가면서 측정한  $RE_b(R_0 + R_s)$ 와  $\Gamma_b(R_0 + R_s)$ 를  $R_s$ 의 1차 함수로 피팅하여 기울기를 얻으면 부담의  $(RE_0 - 1)G_b$ 와 서셉턴스( $B_b$ )가 된다. 이렇게 얻어진 컨덕턴스( $G_b$ )와 서셉턴스( $B_b$ )로부터 부담의 피상전력 값과 역률은 아래의 관계에 의해 얻어진다[7].

$$\text{피상전력 값(VA)} = V_b^2 \sqrt{G_b^2 + B_b^2} \quad (3)$$

$$\text{역률(PF)} = \frac{G_b}{\sqrt{G_b^2 + B_b^2}} \quad (4)$$

여기서  $V_b$ 는 전압변성기 2차 측에 유도되는 전압이다.

### 2.2 전류변성기 부담 측정의 원리

그림 2는 산업체에서 전류 변성기 부담 평가를 위한 시스템 연결도 이다[8]. 전류 변성기의 부담  $Z_b$ 를 측정하기 위한 저항기  $R_p$ 는 피측정 전류변성기의 2차 측에 병렬로 연결되어 있다.

병렬 저항기가 연결되었을 때의 비오차( $\alpha_b'$ )와 위상각 오차( $\beta_b'$ )는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$\alpha_b' - \alpha_b = -\frac{R_b}{R_p} \quad (5)$$

$$\beta_b' - \beta_b = -\frac{X_b}{R_p} \quad (6)$$

$\alpha_b'$  : 션트 저항기  $R_p$ 와 부담  $Z_b$ 가 있을 때의 비오차,

$\alpha_b$  : 부담  $Z_b$ 만 있을 때의 비오차,

$\beta_b'$  : 션트 저항기  $R_p$ 와 부담  $Z_b$ 가 있을 때의 위상각 오차,

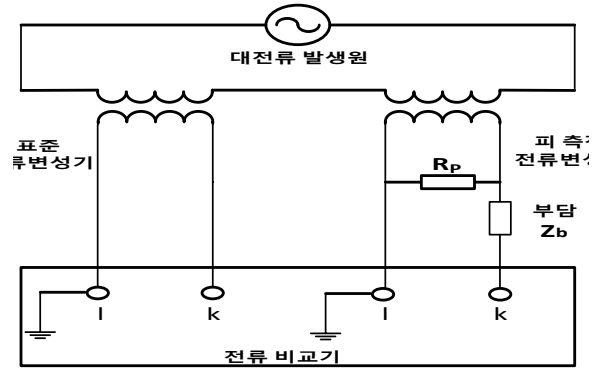


그림 2 병렬 저항기를 이용한 전류변성기 부담 평가 시스템  
 Fig. 2 CT burden evaluation system using parallel resistor

$\beta_b$  : 부담  $Z_b$ 만 있을 때의 위상각 오차,

$R_p$  : 션트 저항기의 저항 값,

$Z_b = R_b + jX_b$  : 부담의 임피던스,

식 (5), (6)에서  $(\alpha_b' - \alpha_b)$ 와  $(\beta_b' - \beta_b)$ 는 모두 병렬 저항값의 역수  $(1/R_p)$ 에 비례한다. 따라서  $(1/R_p)$ 의 값을 변화시키면서 측정한  $(\alpha_b' - \alpha_b)$ 의 값을 1차 함수로 피팅하면 직선의 기울기가 부담의 저항성분  $R_b$ 가 된다. 이때 구한  $R_b$ 는 측정케이블의 임피던스와 전류변성기 비교기의 입력 임피던스( $r$ )이 포함되어 있는 값  $(R_b + r)$ 이다. 순수한 부담의 값  $R_b$ 를 구하려면 부담을 연결하지 않고 short 시켜서 앞선 과정을 반복하여 측정케이블의 임피던스와 전류변성기 비교기의 입력임피던스( $r$ )를 구한 다음 빼주면 된다. 위와 동일한 방법으로  $X_b$ 의 값을 구할 수 있다.

이렇게 얻어진 부담의  $R_b$ 와  $X_b$ 값으로부터 부담값과 역률(power factor)은 다음의 관계에 의해 얻어진다[8].

$$\text{피상전력 값(VA)} = I_b^2 \sqrt{R_b^2 + X_b^2} \quad (7)$$

$$\text{역률(PF)} = \frac{R_b}{\sqrt{R_b^2 + X_b^2}} \quad (8)$$

여기서  $I_b$ 는 전류변성기 2차 측에 유도되는 전류이다.

## 3. 부담 평가 장치 제작

### 3.1 전압변성기 부담 평가 장치

그림 3은 전압변성기 부담측정을 위한 직렬저항기의 내부 회로도이다. 그림 3에서  $R_1 \sim R_{10}$ 에서 10종류의 저항을 사용하였으며, 각 저항값을 표 1에 나타내었다. 10종류의 저항에 각각 스위치  $S_1 \sim S_{10}$ 를 연결하여 스위치의 연결 상태에 따라 Hi, Lo 단자에서 측정되는 병렬 합성 저항값을 표 2에 나타내었다.

표 2의 첫 번째 열은 스위치  $S_1 \sim S_{10}$ 의 연결 상태를 나타냈고, 두 번째 열은 스위치 연결 상태에 따른 합성저항 계산

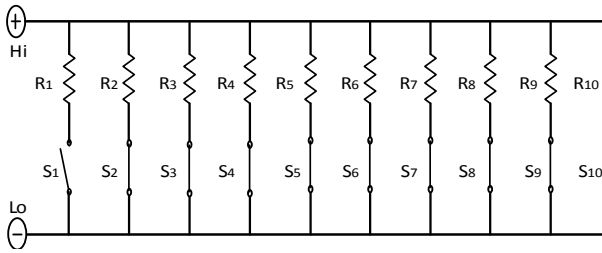


그림 3 전압 변성기 부담 측정 저항기  
Fig. 3 PT burden measurement resistor box

표 1 그림 3의 10가지 저항들의 저항값  
Table 1 Resistance of ten resistors in figure 3

저항 번호	저항값
$R_1$	0.051 $\Omega$
$R_2$	0.100 $\Omega$
$R_3$	0.169 $\Omega$
$R_4$	0.200 $\Omega$
$R_5$	0.146 $\Omega$
$R_6$	0.769 $\Omega$
$R_7$	3.333 $\Omega$
$R_8$	2.000 $\Omega$
$R_9$	3.333 $\Omega$
$R_{10}$	5.000 $\Omega$

식을, 세 번째 열은 병렬 저항값을 나타내었다. 초기상태는  $R_1 \sim R_{10}$ 이 병렬 연결되어 병렬 합성저항 계산식은 표 2의 식  $A_1$ 로 주어지고 합성 저항값은 0.020  $\Omega$ 이다. 두 번째 상태는  $R_1$ 에 연결된  $S_1$ 을 올리면(open) 오직 저항  $R_1$ 만이 open되고 나머지 스위치  $S_2 \sim S_{10}$ 는 연결되어 병렬 합성 저항식이 식  $A_2$ 로 주어지고 병렬 저항값은 0.033  $\Omega$ 이 된다. 이와 같은 방법으로  $S_2 \sim S_{10}$  까지의 스위치를 하나씩 순차적으로 올리면서 원하는 합성 저항값을 얻는다. 이러한 방법으로 얻은 표 2의 세 번째 열의 합성 저항값은 식 (1)과 (2)의  $R_s$ 의 가변값으로 사용되어, 그래프를 피팅하여 기울기를 얻음으로써 부담의 컨덕턴스와 서셉턴스를 알 수 있다.

식 (1)의  $RE_b(R_0 + R_s)$ 와 식 (2)의  $I_b(R_0 + R_s)$ 는 모두 직렬 저항기의 저항값  $R_s$ 에 비례한다. 변성기는 1% 이내의 오차 등급을 가지고 있는데,  $R_s$  값이 일반적으로 10  $\Omega$  이상일 때  $RE_b(R_0 + R_s)$ 와  $I_b(R_0 + R_s)$ 가 오차등급의 한계를 벗어나게 되어 데이터의 직선성을 보장할 수 없다. 따라서 0.02  $\Omega \sim 5 \Omega$ 의 저항을 선정하여 측정 데이터의 직선성으로부터 기울기를 구함으로써 부담을 평가 할 수 있다.

또한 저항을 병렬로 연결하여 전압원을 on한 상태에서 저항값을 가변할 수 있기 때문에, 전원의 On/Off시간을 생략할 수 있어 전체적인 측정 시간을 5배 이상 단축할 수 있다.

표 2 그림 3의 스위치 연결 상태에 따른 직렬 저항기의 합성저항

Table 2 Combined resistance of series resistor box for switch connection status in figure 3

연결된 스위치	합성저항 식	합성저항
$S_1 \sim S_{10}$	$A_1 = \frac{1}{\sum_{n=1}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.020 $\Omega$
$S_2 \sim S_{10}$	$A_2 = \frac{1}{\sum_{n=2}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.033 $\Omega$
$S_3 \sim S_{10}$	$A_3 = \frac{1}{\sum_{n=3}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.049 $\Omega$
$S_4 \sim S_{10}$	$A_4 = \frac{1}{\sum_{n=4}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.069 $\Omega$
$S_5 \sim S_{10}$	$A_5 = \frac{1}{\sum_{n=5}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.106 $\Omega$
$S_6 \sim S_{10}$	$A_6 = \frac{1}{\sum_{n=6}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.385 $\Omega$
$S_7 \sim S_{10}$	$A_7 = \frac{1}{\sum_{n=7}^{10} \frac{1}{R_n}}$	0.679 $\Omega$
$S_8 \sim S_{10}$	$A_8 = \frac{1}{\sum_{n=8}^{10} \frac{1}{R_n}}$	1.000 $\Omega$
$S_9, S_{10}$	$A_9 = \frac{1}{\sum_{n=9}^{10} \frac{1}{R_n}}$	2.000 $\Omega$
$S_{10}$	$A_{10} = R_{10}$	5.000 $\Omega$

### 3.2 전류 변성기 부담 평가 장치

그림 4는 전류 변성기 부담 측정을 위한 병렬 저항기의 내부 회로도이다. 그림 4의  $R_1 \sim R_{10}$ 에서 10종류의 저항을 사용하였으며, 각 저항값을 표 3에 나타내었다. 10종류의 저항에 스위치  $S_1 \sim S_{10}$ 를 사용하여 스위치의 연결 상태에 따라 Hi, Lo 단자에서 측정되는 병렬 합성 저항값을 표 4에 나타내었다.

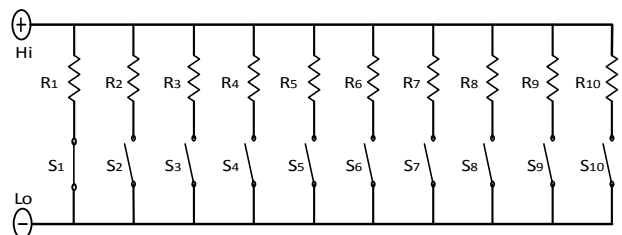


그림 4 전류 변성기 부담 측정 저항기  
Fig. 4 CT burden measurement resistor box

표 3 그림 4의 10가지 저항들의 저항값

Table 3 Resistance of ten resistors of figure 4

저항 번호	저항값
$R_1$	1 MΩ
$R_2$	111.111 kΩ
$R_3$	100 kΩ
$R_4$	33.333 kΩ
$R_5$	20,000 Ω
$R_6$	40,000 Ω
$R_7$	24,000 Ω
$R_8$	6,000 Ω
$R_9$	1,500 Ω
$R_{10}$	1,000 Ω

표 4 그림 4의 스위치 연결 상태에 따른 병렬 저항기의 합성저항

Table 4 Combined resistance of parallel resistor box for the switch connection status in figure 4

연결된 스위치	합성저항 식	합성저항
$S_1$	$A_1 = R_1$	1 MΩ
$S_1, S_2$	$A_2 = \frac{1}{\sum_{n=1}^2 \frac{1}{R_n}}$	100 kΩ
$S_1 \sim S_3$	$A_3 = \frac{1}{\sum_{n=1}^3 \frac{1}{R_n}}$	50 kΩ
$S_1 \sim S_4$	$A_4 = \frac{1}{\sum_{n=1}^4 \frac{1}{R_n}}$	20 kΩ
$S_1 \sim S_5$	$A_5 = \frac{1}{\sum_{n=1}^5 \frac{1}{R_n}}$	10 kΩ
$S_1 \sim S_6$	$A_6 = \frac{1}{\sum_{n=1}^6 \frac{1}{R_n}}$	8 kΩ
$S_1 \sim S_7$	$A_7 = \frac{1}{\sum_{n=1}^7 \frac{1}{R_n}}$	6 kΩ
$S_1 \sim S_8$	$A_8 = \frac{1}{\sum_{n=1}^8 \frac{1}{R_n}}$	3 kΩ
$S_1 \sim S_9$	$A_9 = \frac{1}{\sum_{n=1}^9 \frac{1}{R_n}}$	1 kΩ
$S_1 \sim S_{10}$	$A_{10} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{10} \frac{1}{R_n}}$	500 Ω

표 4의 첫 번째 열은 스위치  $S_1 \sim S_{10}$ 의 연결 상태를 나타냈고, 두 번째 열은 스위치 연결 상태에 따른 합성저항 계산식을, 세 번째 열은 병렬 저항값을 나타내었다. 초기상태는

하나의 스위치  $S_1$ 만 연결되어 합성저항값은  $R_1$ 값인 1 MΩ이 된다.  $R_2$ 에 연결된 스위치  $S_2$ 를 연결하면  $R_1$ 과  $R_2$ 가 병렬로 연결되어 병렬 합성 저항 계산식은 표 4의 식  $A_2$ 로 주어지고 합성저항값은 100 kΩ이 된다. 이와 같은 방법으로  $S_3 \sim S_{10}$ 까지의 스위치를 하나씩 순차적으로 연결하면서 원하는 합성 저항값을 얻는다. 이러한 방법으로 얻은 표 4의 세 번째 열의 합성 저항값은 식 (5)와 (6)  $R_b$ 의 가변값으로 사용되어, 그래프를 피팅하여 기울기를 얻음으로써 부담의 저항 값과 리액턴스를 알 수 있다. 식 (5)의  $(\alpha'_b - \alpha_b)$ 와 식 (6)의  $(\beta'_b - \beta_b)$ 는 모두 병렬 저항기의 저항값  $R_b$ 에 반비례한다. 변성기는 1 % 이내의 오차 등급을 가지고 있는데,  $R_b$  값이 일반적으로 100 Ω 이하일 때  $(\alpha'_b - \alpha_b)$ 와  $(\beta'_b - \beta_b)$ 가 오차등급의 한계를 벗어나게 되어 데이터의 직선성을 보장할 수 없다. 따라서 1 MΩ ~ 500 Ω의 저항을 선정하여 측정 데이터의 직선성으로부터 기울기를 구함으로써 부담을 평가 할 수 있다.

#### 4. Visual Basic 프로그램을 이용한 부담 평가결과

##### 4.1 전압변성기 부담 평가 결과

그림 1과 같이 전압변성기 부담 평가 시스템을 구성하여 정격 부담값이 2.5 VA, PF 0.8인 부담에 대해 그림 3의 스위치  $S_1 \sim S_{10}$ 까지 하나씩 순차적으로 OFF 시키면서 직렬 저항기의 저항 값을 변화시키며 피 측정 전압변성기의 비오차와 위상오차를 측정하였다.

그림 5는 Visual basic 프로그램을 이용한 전압변성기 부담 자동 평가 프로그램이다. 왼쪽 첫 번째 줄은 직렬 저항기의 합성 저항값이고, “Opened Burden”은 부담이 없을 때 직렬 저항기를 가변하면서 측정한 피 측정 전압변성기의 비오차, 위상각 오차값 이고, “With Burden”은 부담을 연결했을 때 측정한 피측정 전압변성기의 비오차, 위상각 오차값 이다.

“Opened Burden”아래의 파란색 “Calculate”버튼을 누르면 부담을 제외한 측정케이블의 임피던스와 전압변성기 비교기의 입력 임피던스 값에 의한 피상전력 값과 역률이 오른쪽 위의 결과창에 표준편차(SD)와 함께 나타난다. “With Burden” 밑의 빨간색 “Calculate”버튼을 누르면 측정케이블의

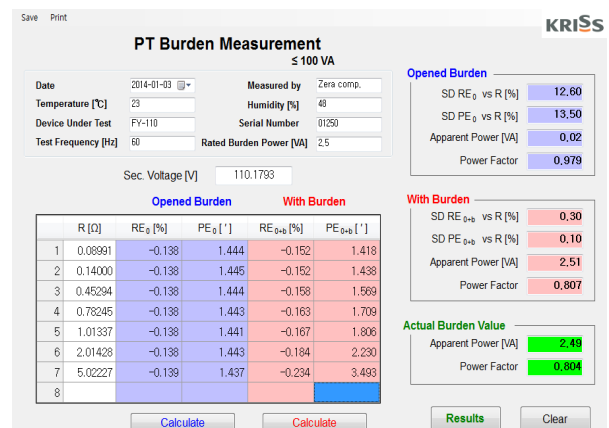


그림 5 전압변성기 부담 측정 프로그램

Fig. 5 PT Burden measurement program

임피던스, 전압변성기 비교기의 입력임피던스와 부단에 의한 피상전력 값과 역률 값이 모두 포함되어 오른쪽 중간 결과창에 SD와 함께 나타난다. 그 후 “Result” 버튼을 누르게 되면 측정케이블의 임피던스와 전압변성기 비교기의 입력임피던스를 뺀 순수한 부단값에 의한 피상전력 값과 역률이 오른쪽 아래 결과창에 2.49 VA, PF=0.804 로 주어진다.

그림 6은 2.5 VA, PF 0.8인 전압변성기 부단에 대하여 식 (1)과 (2)를 이용한 ‘Opened Burden’ 과 ‘with Burden’에서의 피팅 결과이다. ‘Opened Burden’의 비오차 차이에 대한 그래프의 1차 함수의 기울기는  $-2 \times 10^{-6}$ 으로 케이블의 임피던스와 전압변성기 비교기의 입력임피던스에 대한 컨덕턴스  $G_0$ 는  $2 \times 10^{-6} \text{ } \Omega^{-1}$  이다. 측정 케이블의 임피던스와 전압변성기 비교기의 입력임피던스(r)를 포함한 부단의 컨덕턴스  $G_{0+b}$ 은 ‘With burden’의 비오차 차이의 그래프에 대하여 위와 같은 방법으로 구해주면 된다. 측정케이블의 임피던스와 전압변성기 비교기의 입력임피던스(r)가 포함되지 않은 순수한 부단의 저항성분  $G_b$ 는  $G_{0+b} - G_0$ 로 구해주면 된다. 비오차와 마찬가지로 위상각 오차도 같은 과정을 거친다. 2.5 VA, PF 0.8과 동일한 방법으로 얻어진 5 VA, PF 0.8과 200 VA, PF 0.8의 피상전력 값과 역률을 표 5에 모두 나타내었다.

표 5 전압변성기 부단 자동 평가 시스템을 이용하여 측정된 부단값

Table 5 The burden value measured by PT burden automatic test system

부단의 정격 피상전력, 역률 (VA, PF)	측정한 피상전력(VA)	측정한 역률 (PF)
2.5 VA, PF 0.8	2.49	0.804
5 VA, PF 0.8	5.09	0.810
200 VA, PF 0.8	200	0.800

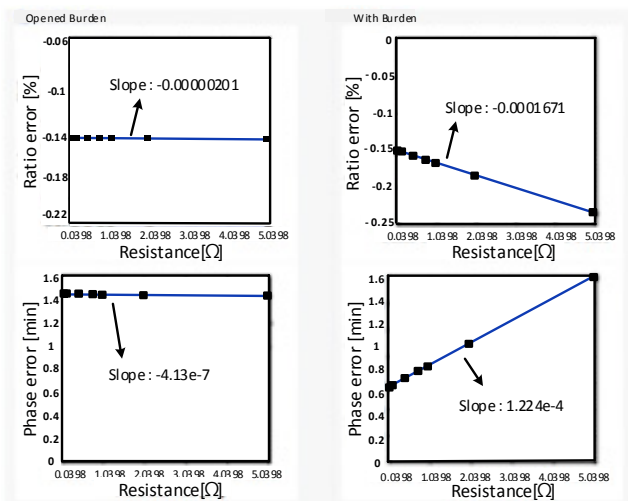


그림 6 R에 대하여 1차 함수로 표현한 비오차, 위상각 오차 피팅 결과

Fig. 6 The fitting results of ratio error and phase error as a function of resistance

#### 4.2 전류변성기 부단 평가 결과

전류변성기 부단 측정을 위해 그림 2과 같이 부단 평가 시스템을 구성하여 정격 부단값이 50 VA, PF 0.8인 부단에 대해 병렬 저항기의 저항값을 변화시키며 피측정 전류변성기의 오차를 측정하였다.

그림 7은 Visual basic 프로그램을 이용한 전류변성기 부단 자동 평가 프로그램이다. 왼쪽의 첫 번째 줄은 병렬 저항기의 합성 저항값이고, “Shorted Burden”은 부단이 없을 때 병렬 저항기를 가변하면서 측정한 피측정 전류변성기의 비오차, 위상각 오차의 값이고, “With Burden”은 부단을 연결했을 때 측정된 피측정 전류변성기의 비오차, 위상각 오차의 값이다.

“Shorted Burden”아래의 파란색 “Calculate”버튼을 누르면 부단을 제외한 측정케이블 임피던스와 전류변성기 비교기의 입력 임피던스 값에 의한 피상전력 값과 역률이 표준 편차(SD)와 함께 오른쪽 위 결과창에 나타난다, “With Burden” 밑의 빨간색 “Calculate”버튼을 누르면 측정케이블의 임피던스, 전류변성기 비교기의 입력임피던스와 부단에 의한 피상전력 값과 역률 값이 모두 포함되어 오른쪽 중간 결과창에 SD와 함께 나타난다. 그 후 “Result” 버튼을 누르게 되면 측정케이블의 선저항과 전류변성기 비교기의 입력임피던스를 뺀 순수한 부단값에 의한 피상전력 값과 역률이 오른쪽 맨 아래 결과창에 표시된다.

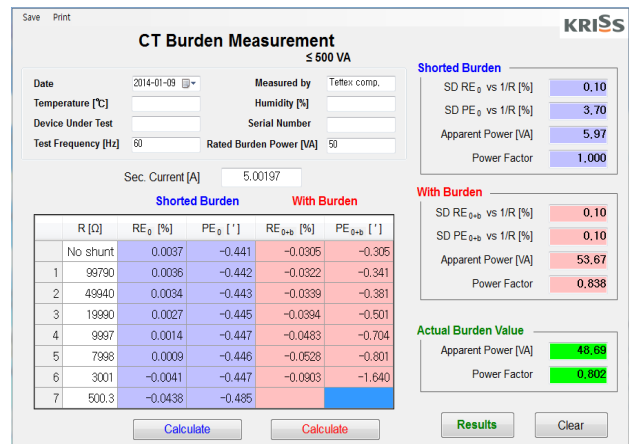


그림 7 전류변성기 부단 측정 프로그램

Fig. 7 CT Burden measurement program

그림 8은 50 VA, PF 0.8인 전류변성기 부단에 대하여 식 (5)와 (6)을 이용한 ‘Shorted Burden’과 ‘With Burden’에서의 피팅 결과이다. “Shorted Burden”의 비오차 차이에 대한 그래프에 있는 1차 함수의 기울기는  $-0.23842$ 로 케이블의 임피던스와 전류변성기 비교기의 입력임피던스에 대한 저항값 (r)은  $0.23842 \text{ } \Omega$ 이다. 측정 케이블의 임피던스와 전류변성기 비교기의 입력임피던스(r)를 포함한 부단의 저항성분 ( $R_b+r$ )은 “With burden”의 비오차 차이의 그래프에 대하여 위와 같은 방법으로 구해주면 된다. 측정케이블의 임피던스와 전류변성기 비교기의 입력 임피던스(r)가 포함되지 않은 순수한 부단의 저항성분  $R_b$ 은  $(R_b+r)-(r)$ 로 구해주면 된다. 비오

차와 마찬가지로 위상각 오차도 같은 과정을 거쳐 식 (2)에 의하여 순수한 부담의 리액턴스  $X_b$ 를 구하고[8],  $R_b$ 와  $X_b$ 를 이용하여 피상전력 값과 역률을 구하였다. 50 VA, PF 0.8과 동일한 방법으로 2.5 VA, PF 1.0에서 200 VA, PF 0.8까지의 피상전력 값과 역률을 표 6에 모두 나타내었다.

표 6 전류변성기 부담 자동 평가 시스템을 이용하여 측정한 부담값

Table 6 The burden value measured by CT burden automatic evaluation system

부담의 정격 피상전력, 역률 (VA, PF)	측정한 피상전력(VA)	측정한 역률 (PF)
2.5 VA, PF 1.0	2.55	1.000
50 VA, PF 0.8	48.7	0.802
100 VA, PF 0.8	98.7	0.811
200 VA, PF 0.8	199	0.800

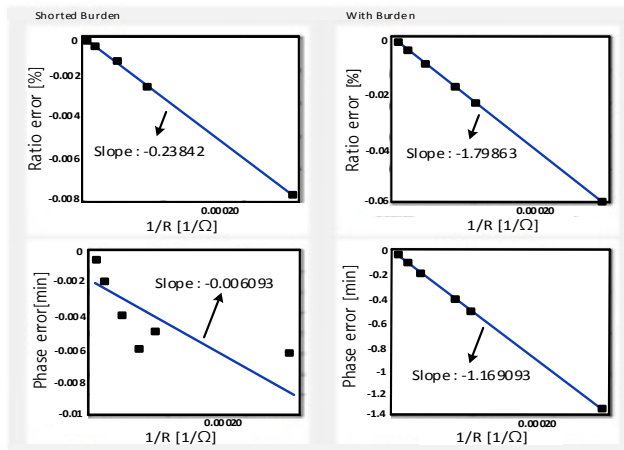


그림 8 1/R에 대하여 1차 함수로 표현한 비오차, 위상각 오차 피팅 결과

Fig. 8 The fitting results of ratio error and phase error as a function of 1/R

### 5. 유효성 검증

본 기술의 유효성을 검증하기 위하여 앞에서 측정한 전압변성기 부담과 전류 변성기 부담에 대하여 콤팩트 저항기를 사용하여 측정한 피상전력 값과 역률 값을 Power Meter Analyzer(PMA)를 사용하여 측정한 피상전력 값, 역률 값과 서로 비교하였다.

#### 5.1 전압변성기 부담 평가 비교

표 7(a)와 (b)에서 직렬 저항기를 이용한 부담 측정값을 PMA로 측정한 값과 서로 비교하였다. 표 7의 두 번째 열은 직렬 저항기를 이용하여 측정한 값이고, 세 번째 열은 PMA로 측정한 값이다. 네 번째 열의 상대차이는 아래 식 (9)를 이용하여 구한 값이다.

$$\text{상대차이}(\%) = \frac{\text{저항기이용 측정값} - \text{PMA이용 측정값}}{\text{PMA이용 측정값}} \times 100 \quad (9)$$

전압변성기 부담의 피상전력은 0.5% 이내에서 일치하고, 역률값은 1.3% 이내에서 일치함을 알 수 있다. 본 방법의 불확도가 2% 임을 감안하면 우수한 일치도이다.

표 7 (a) 두 방법에 의해 측정된 전압변성기 부담의 피상전력의 비교

Table 7 (a) Comparing the PT burden's apparent power measurements obtained by two methods

부담의 정격 피상전력, 역률 (VA, PF)	본 방법으로 측정한 피상전력(VA)	PMA로 측정한 피상전력 (VA)	상대차이 (%)
2.5 VA, PF 0.8	2.49	2.49	0.0
5 VA, PF 0.8	5.09	5.04	1.0
200 VA, PF 0.8	200	201	-0.5

표 7 (b) 두 방법에 의해 측정된 전압변성기 부담의 역률 비교

Table 7 (b) Comparing the PT burden's power factor measurements obtained by two methods

부담의 정격 피상전력, 역률 (VA, PF)	본 방법으로 측정한 역률	PMA로 측정한 역률	상대차이 (%)
2.5 VA, PF 0.8	0.804	0.800	0.5
5 VA, PF 0.8	0.810	0.800	1.3
200 VA, PF 0.8	0.800	0.803	-0.4

#### 5.2 전류변성기 부담 평가 비교

표 8(a)와 (b)는 병렬 저항기를 이용한 부담 측정값을 PMA로 측정한 값과 서로 비교한 표이다. 표 8의 두 번째 열은 병렬 저항기를 이용하여 측정한 값이고, 세 번째 열은 PMA로 측정한 값이다. 네 번째 열의 상대차이는 식 (9)를 이용하여 구한 값이다.

전류변성기 부담의 피상전력은 2.0 % 이내에서 일치하고 역률은 1.0 % 이내에서 일치함을 보였는데 측정 불확도가 2 ~ 3 % 임을 감안하면 우수한 일치도이다.

표 8 (a) 두 방법에 의해 측정된 전류변성기 부담의 피상전력의 비교

Table 8 (a) Comparing the CT burden's apparent power measurements obtained by two methods

부담의 정격 피상전력, 역률 (VA, PF)	본 방법으로 측정한 피상전력(VA)	PMA로 측정한 피상전력 (VA)	상대차이 (%)
2.5 VA, PF 1.0	2.55	2.55	-0.1
50 VA, PF 0.8	48.7	49.7	-2.0
100 VA, PF 0.8	98.7	99.1	-0.5
200 VA, PF 0.8	199	200	-0.6

**표 8** (b) 두 방법에 의해 측정된 전류변성기 부담의 역률 비교

**Table 8** (b) Comparing the CT burden's power factor measurements obtained by two methods

부담의 정격 피상전력, 역률 (VA, PF)	본 방법으로 측정한 역률	PMA로 측정한 역률	상대차 이 (%)
2.5 VA, PF 1.0	1.000	1.000	0.0
50 VA, PF 0.8	0.802	0.810	-1.0
100 VA, PF 0.8	0.811	0.809	0.2
200 VA, PF 0.8	0.800	0.804	-0.5

### 6. 결 론

본 연구에서는 피 측정 전압변성기와 전류변성기의 2차 측에 걸리는 부담의 피상전력 값과 역률을 자동으로 평가해주는 시스템을 개발하였다. 이 방법은 기존의 저항기의 내부 회로설계를 바꿔줌으로써 전원을 On한 상태에서 저항값을 가변할 수 있게 했고, Visual basic 부담 계산 자동프로그램을 개발함으로써 각각의 저항값에 대한 측정값을 일일이 계산하는 번거로움을 없애 주었다.

본 기술은 변성기 비교기에 연결되어 있는 부담을 분해하지 않고 부담을 평가할 수 있는 기존의 장점을 가지고 있다. 또한 소형 저항기와 Visual Basic 프로그램을 이용한 부담 값 자동계산 프로그램의 개발로 전압원을 On/Off 하는 시간과 부담값의 자동계산을 가능하게 하여 측정시간을 단축시켜주어 산업체 전압변성기 비교기에 연결된 부담의 신뢰성 있는 신속한 평가가 가능하다.

### References

[1] KSA, "Instrument transformers for testing purpose and used with general instrument", KS C 1706, 1982.  
 [2] J. L. Settles, W. R. Farber, and E. E. Connor, "The analytical and graphical determination of complete potential transformer characteristics" IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. 79, No. 51, pp.1213-1218, 1961.  
 [3] William E. Anderson "A Calibration Service for Voltage Transformers and High-Voltage Capacitors" NBS Measurement Services Special Publication 250-33, 1988.  
 [4] Jae Kap Jung, Sung Won Kwon, Kyu Tae Kim, Myungsoo Kim, "A Study on Ratio Error and Phase Angle Error Caused by an External Burden in Voltage Transformer" KIEE, vol. 53C, No. 3, pp.137-142, 2004.  
 [5] P. J. Betts, "Calculated Temperature Coefficients of Transformers" National Measurement Laboratory Technical Paper No 4, pp. 1-13, 1977  
 [6] Jae Kap Jung, Sung Won Kwon, Sang Hwa Lee, Young Tae Park, "A Study on Usefulness Verification Technique of the Measurement System

by the Difference Between Calculated and Experimental Values of Ratio Error/phase Error in Current Transformer", KIEE, vol. 53C No. 4, pp 213-217, 2004

[7] Jae Kap Jung, Sang Hwa Lee, Jeon Hong Kang, Myungsoo Kim, "On-Site Calibration Technology of Burden using Voltage Transformer Comparator", KIEE, vol. 54C, No. 11, pp 503-507, 2005  
 [8] Jae Kap Jung, Sang Hwa Lee, Jeon Hong Kang, Myungsoo Kim, "Evaluation Technique of Burden for Current Transformer using Current Transformer Comparator and Precise Shunt Resistor", KIEE, vol. 55C, No. 5, pp 250-256, 2006

### 저 자 소 개



#### 이 영 섭 (李 泳 燮)

1988년 5월 24일생.  
 2013년 광운대학교 전자공학과 졸업.  
 2013년 ~ 현재 UST(과학기술연합 대학원대학교) 측정과학 석사과정.  
 Tel : 042-868-5759  
 Fax : 042-868-5018  
 E-mail : yslee524@kriss.re.kr



#### 정 재 갑 (鄭 在 甲)

1965년 7월 4일생. 1998 고려대 물리학과 졸업 박사. 2001년~현재 한국표준과학연구원 기반표준본부 전자기그룹 책임연구원  
 Tel : 042-868-5759  
 Fax : 042-868-5018  
 E-mail : jkjung@kriss.re.kr