

전압변성기용 부담특성 정밀분석용 자동평가시스템의 개발

論 文
54C-10-6

Development of an Automatic Evaluation System for the Precision Analysis of Potential Transformer Burden Characteristics

權 聖 遠[†] · 金 紋 爽^{*} · 鄭 在 甲^{*} · 李 成 夏^{**} · 金 明 壽^{***}
(Sung-Won Kwon · Mun-Seog Kim · Jae Kap Jung · Sung-Ha Lee · Myung Soo Kim)

Abstract - Both ratio error and phase angle error in potential transformer(PT) are critically affected by used burden, connected in parallel to the secondary terminal of the PT. Thus precise measurement of burden value is very important for the evaluation of PT. An automatic measurement system has been developed for the measurement of burden value and power factor of a burden. The ac voltage, current and power of the burden are measured precisely, and the burden value and power factor were calculated from these measured values. The resistance and inductance values of the tested burden are also calculated. The overall measurement uncertainties are calculated and reported with the burden value and power factor. The best measurement uncertainty for the burden measurement with the developed automatic measurement system was estimated to be 0.5 %.

Key Words : 부담, 역률, 전압변성기, 측정 불확도

1. 서 론

상용주파수의 교류 220 V 이상 345 kV 까지의 전압을 정밀측정하기 위해서 고전압을 낮은 전압으로 강하시키는 전압변성기(potential transformer: PT)가 사용된다. PT의 원리는 철심에 1차코일과 2차코일을 감은 일반 변압기와 동일하지만, PT는 1차측의 고전압을 2차측 110 V로 강하시켜서 2차측 전압을 정밀측정하고, PT의 변환비로 환산하여 1차측의 고전압을 안전하고 정확하게 측정하기 위한 것이 주목적이다.

PT의 2차측에는 주로 전압계 또는 전력량계의 전압 입력 단자를 연결하여 1차측의 고전압을 측정하거나, 전력량을 계량하는데 활용된다. 최근에는 발전회사와 전력거래소가 독립적으로 운영되고 있는바, 전기의 공급 및 유통단계에서 전력량의 정확한 계량이 어느 때보다도 중요하게 대두되고 있다. 송·변전 및 배전 등 고전압 수용가에 대한 전력량 계량의 정확도는 PT의 변환비, 즉 비오차의 정확도에 좌우된다.

PT의 주요특성인 비오차와 위상각 오차는 PT의 2차측에 연결되는 부하의 임피던스와 동일한 조건의 부담(burden)을 연결한 상태로 전압변성기비교장치를 이용하여 평가하며,

PT의 비오차와 위상각 오차는 부담 값에 따라 달라진다.^[1] 따라서 부담의 정밀측정은 PT의 비오차 및 위상각 오차의 정밀측정을 위하여 매우 중요하다.

본 연구에서는 PT부담의 부담 값과 역률을 정확하게 측정하여 부담의 설계 값을 쉽게 수정할 수 있는 자동평가시스템을 개발하였으며, 산업현장에서 애로를 겪고 있는 측정 불확도의 분석을 포함한 평가결과 보고서를 측정완료와 동시에 출력할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

2. 부담의 정의 및 변성기 오차와의 관계

2.1. 부담의 정의

부담은 계기용변성기의 2차측 단자 사이에 연결되는 부하로 정의하는데, PT의 경우에는 2차측에 연결할 부하의 크기에 따라 규정된 조건하에서 KS규격에 정한 특성을 보증할 수 있는 정격부담(rated burden)이 정해진다. PT 부담은 일반적으로 전압계 및 전력량계 전압단자의 입력 임피던스가 부하로 기여하는데, 정격주파수 및 2차 정격전압의 조건에서 부하에서 소비되는 피상전력(VA)과 그 부하의 역률로 표시한다.^[2] PT의 부담은 표준용(0.1~0.2 급)의 경우에는 10, 15, 25 VA가 있으며, 일반계기용(0.5, 1.0 및 3.0급)의 경우에는 15, 50, 100, 200, 500 VA가 있다. PT의 시험은 정격부담의 25 % 및 100 %에서 시험하되, 표준용은 역률 1에서, 일반계기용은 역률 0.8 (지전류)에서 시험한다.^[2]

그림 1은 역률이 1이 아닌 일반계기용 PT 부담의 회로도로서, 저항(R)과 인덕터(L)가 직렬로 연결된 구조이다. 물론 역률이 1인 부담을 사용해야 하는 표준기급 PT의 부담은 순수한 직류저항만으로 만들어야 한다.

[†] 교신저자, 正 會 員 : 韓國標準科學研究院 電磁氣標準部
電氣·磁氣그룹 責任研究員
E-mail : swkwon@kriss.re.kr
^{*} 正 會 員 : 韓國標準科學研究院 電磁氣標準部
電氣·磁氣그룹 先任研究員
^{**} 正 會 員 : (주)시티이텍, 代表理事
^{***} 正 會 員 : 韓國標準科學研究院 電磁氣標準部長
接受日字 : 2005年 5月 18日
最終完了 : 2005年 8月 16日

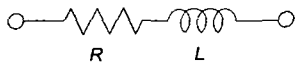


그림 1. 전압변성기용 부담의 등가회로.

Fig. 1. Equivalent circuit of a burden for potential transformer.

부담에 인가되는 전압(V)과 전류(I), 부담의 임피던스(Z) 및 역률($\cos\theta$), 부담의 저항(R)과 인덕터(L) 사이에는 식 (1)의 관계가 있다.

$$\begin{aligned} Z &= V/I, \quad R = Z \cdot \cos\theta, \quad \theta = \cos^{-1}(PF), \\ L &= (R \cdot \tan\theta)/\omega \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 θ 는 부담에서의 전압과 전류의 위상차이고, PF 는 역률(power factor)이며, ω 는 각주파수이다.

2.2. 부담과 변성기 오차와의 관계

일반적으로 전압변성기 2차측에 병렬로 연결되는 부담에 따라서 전압 변성기의 비오차와 위상각 오차는 변하고, 그 관계는 식 (2) 및 (3)과 같다.^[1]

$$RE_b = RE_0 + (RE_0 - 1) \cdot \left(\frac{R_0 R_b + X_0 X_b}{R_b^2 + X_b^2} \right) \quad (2)$$

$$\Gamma_b = \Gamma_0 - \frac{(X_0 R_b - X_b R_0)}{R_b^2 + X_b^2} \quad (3)$$

- RE_0 : 부담이 없을 때의 비오차,
- RE_b : 부담 Z_b 가 있을 때의 비오차,
- Γ_0 : 부담이 없을 때의 위상각 오차,
- Γ_b : 부담 Z_b 가 있을 때의 위상각 오차,
- $Z_0 = R_0 + jX_0$: 전압변성기의 누설 출력임피던스 (leakage output impedance),
- $Z_b = R_b + jX_b$: 외부 부담의 임피던스.

식 (2)과 (3)에서와 같이 부담이 있을 때의 비오차와 위상각 오차는 부담 값에 따라 변한다. 부담 값 ($Z_b = R_b + jX_b$)의 측정에서 1% 오차는 비오차와 위상각 오차에서 1% 오차를 야기한다. 따라서 부담 값의 정확한 측정은 정확한 비오차와 위상각 오차를 얻기 위하여 중요하다.

3. 부담특성 자동평가시스템 및 불확도

3.1. 부담측정 원리 및 평가시스템 구성

그림 2와 같이 부담의 양단에 전압 V 를 공급하면 부담 전류 I 에 따라 부담에서 소모되는 전력은 식 (4)와 같다.

$$P = VI\cos\theta \quad (4)$$

여기서 P 는 부담에서 소모되는 전력이고, V, I 는 각각 부담에 공급되는 전압과 전류이며, $\cos\theta$ 는 전압과 전류의 위상차에 따른 역률이다. 부담의 역률은 식 (5)와 같이 전력(P)과 피상전력 (VI)으로부터 구할 수 있다.

$$\cos\theta = \frac{P}{VI} \quad (5)$$

식 (4) 및 (5)에서 보는 바와 같이 부담의 전압, 전류 및 전력을 측정하면 부담 값과 역률을 각각 계산할 수 있다.

그림 2는 부담의 특성을 평가하기 위한 자동 평가 시스템의 연결도이다. 자동평가시스템은 정밀 교류 전압 발생기, 전력측정기 및 피시험 부담과 시스템 제어기로 구성된다. 교류전압발생기는 정확도가 0.09% 이하인 YEW model 2558을, 전력측정기는 교류전압, 전류, 전력 및 주파수를 동시에 측정할 수 있는 YEW model WT 2030를 사용하였다. 시스템제어기는 개인용 컴퓨터이며, 구동 프로그램은 비주얼 베이직으로 작성하였다.

표준용 PT부담이 10 VA, 15 VA 및 25 VA이므로 부담 전류는 약 91 mA~227 mA 범위로서, 이 조건을 만족시키기 위해서 110 V에서 전류공급능력(compliance current)이 300 mA인 교류전압발생기를 사용하였다. 한편 일반계기용 PT부담은 50~500 VA이므로 부담전류가 약 0.46 A~4.55 A범위로서, 안정도 등의 특성이 우수한 교류전압발생기는 전류공급능력의 부족으로 사용할 수 없다. 따라서 60 Hz의 교류전압을 220 V까지 공급하고, 최대 20 A까지의 부하전류를 공급할 수 있는 3.5 디지트의 계수식 전압전류계를 부착한 가변 전압 변압기(variable voltage transformer)를 제작하여 사용하였다.

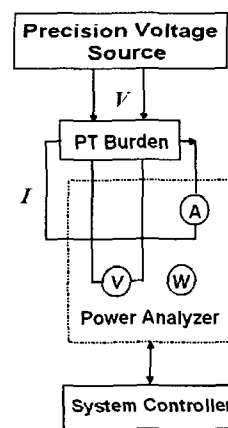


그림 2. 부담특성 자동평가시스템의 연결도.

Fig. 2. Block diagram of an automatic system for evaluation of burden characteristics.

3.2. 평가방법 및 시스템의 특징

PT의 2차측 전압이 110 V로 표준화 되어 있으므로 부담의 정격전압은 110 V이고, 부담전류는 부담 값에 따라 달라진다. 따라서 부담 양단에 110 V를 공급하고, 부담의 전압, 전류 및 유효전력을 각각 측정하여 피상전력을 계산하면 부

답 값이 되고 전력과 피상전력으로부터 역률을 구할 수 있다.

구체적인 측정순서는 다음과 같다(그림 3 참조).

- (a) 정확한 측정을 하기 위하여 모든 측정 장비는 사용하기 전에 최소 1시간 이상 예열시킨다.
- (b) 그림 2와 같이 교류전압발생기의 출력전압단자를 피측정 부담상자에 연결한다.
- (c) 부담전압과 전류를 측정하기 위하여 그림 2와 같이 연결하되, 전류측정용 도선의 허용전류는 최대 부담전류를 감안하여 10 A 이상인 것을 사용한다.
- (d) 교류전압발생기의 출력을 60 Hz, 110 V로 설정하고, 부담에 전압을 공급한 후 최소 10분 이상 예열시킨다.
- (e) 자동측정프로그램을 시작하면 "Program for PT Burden Evaluation with YEW WT2030"이라는 메인창이 나타난다.

(f) 총 측정횟수(N), 측정간격(T), 샘플링 간격(t) 및 개수(n), 측정자료 파일명 등을 입력한다.(그림 3의 Set Meas. Parameters)

(g) 측정대상 장비인 부담의 소유자, 제조회사, 모델, 일련번호, 정격부담 및 역률, 측정전압 등의 고객정보를 입력한다.(그림 3의 Device Information)

(h) 프로그램을 실행하면 측정의 진행상황, 측정자료 파일명, 측정자료(전압, 전류, 유효전력)와 함께 측정값을 이용하여 계산된 역률 등이 실시간으로 표시된다.(그림 3의 Measure)

(i) 측정은 (f)에서 설정한 조건에 따라 측정횟수(N)만큼 반복 측정한다. 측정이 끝나면 전압, 전류 등의 표준편차와 측정주파수에서의 부담의 저항 값과 인덕턴스 값을 계산하며, 4.2 및 4.3절의 산출방법에 따라 부담 값과 역률의 상대불확도 및 명목치에 대한 상대오차를 자동으로 산출한다.(그림3의 Calculate 및 Evaluate Uncertainty)

본 자동평가 프로그램의 특징은 전압, 전류 및 전력의 측정값을 이용하여 부담 값과 역률을 실시간으로 계산하고, 도표화하여 부담의 평가결과를 쉽게 점검할 수 있도록 하였다. 그림 4는 1분간격으로 60회 자동 평가한 실시간 그래프의 예로써, 왼쪽의 부담에서 보는 바와 같이 Y축의 한 눈금이 1 %로써 1시간동안의 최대변화폭은 2.4 %로 나타났다. 또 그림 4의 오른쪽은 역률의 변화인데, Y축의 한 눈금이 0.05 %로써 1시간 동안의 역률 최대변화폭은 약 0.06 %로 나타났다.

측정이 완료되면 측정대상 장비의 내역, 측정조건, 부담 값과 역률의 명목치에 대한 상대오차 및 그 상대불확도 등을 포함하는 부담 평가보고서를 즉시 출력할 수 있도록 하여 부담 특성평가와 보고서 작성을 한번에 끝낼 수 있도록 하였다. 또한 측정 자료를 쉽게 찾을 수 있도록 자료 파일 이름을 평가보고서에 추가하여 고객의 요구에 쉽게 응할 수 있도록 하였고, 평가보고서의 출력일자도 함께 기록되도록 하여 고객관리 및 평가보고서 관리의 효율을 기하도록 하였다(표 3 참조).

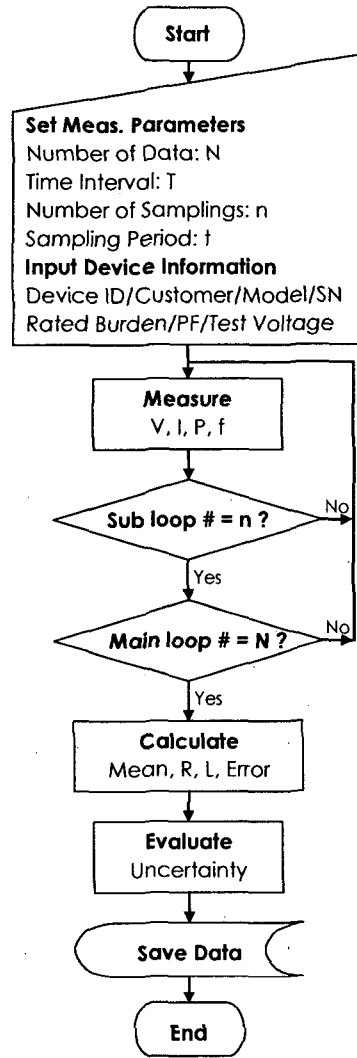
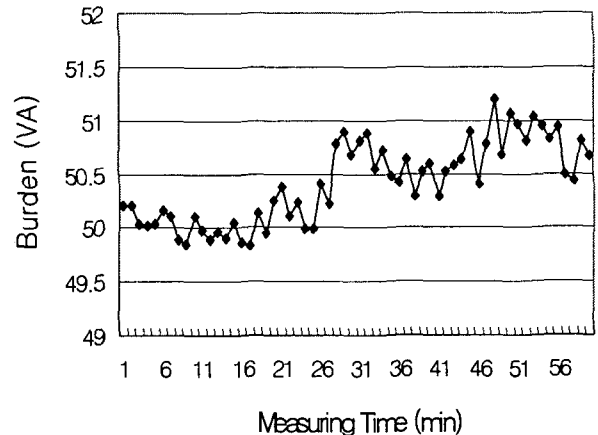
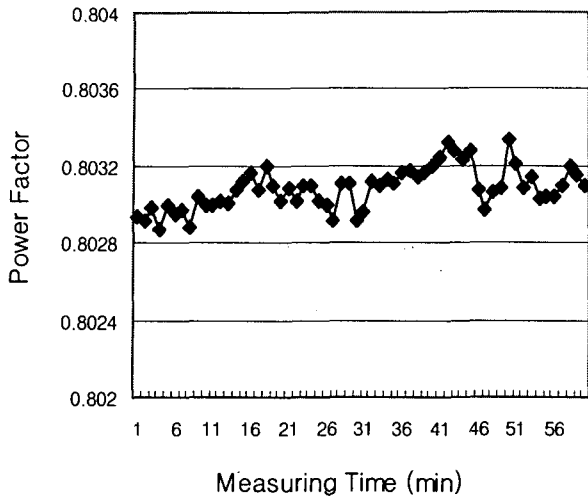


그림 3. 부담특성 자동평가시스템의 측정흐름도.

Fig. 3. Flow chart of the automatic evaluation system for the burden characteristics.



(a)



(b)

그림 4. PT 부담의 자동평가결과 실시간 그래프의 예
 [(a) : 부담 50 VA, (b) : 역률 0.8].

Fig. 4. A sample graph of automatic evaluation results of the PT burden [(a) : Burden 50 VA, (b) : PF 0.8].

3.3. 부담 값의 불확도 평가

불확도 평가는 모델식의 설정, 각 불확도 요인에 따른 표준불확도와 자유도, 합성 표준불확도와 유효 자유도를 구하고, 유효 자유도 및 신뢰수준에 따른 포함인자를 합성 표준불확도에 곱하면 확장불확도가 된다.^[3] 개발된 자동평가시스템은 부담의 평가가 완료되면 위와 같은 방법으로 산출된 표 1 및 표 2의 각 불확도 요인에 따른 표준불확도, 합성표준불확도 및 확장불확도를 자동으로 계산한다. 표 1의 1 ~ 5번의 전압에 대한 불확도는 시험 전압이 110 V 이므로 이에 대한 상대불확도를 적용한 것이며, 6 ~ 10번의 전류에 따른 불확도는 부담에 따라 전류가 달라지므로 해당 부담에 대한 전류를 적용한 것으로서, 모든 불확도는 측정값에 대한 상대 불확도를 적용한 것이다.

표 1은 이와 같은 방법으로 부담 값에 대한 각각의 불확도를 표 3의 측정결과를 이용하여 평가한 불확도 총괄표이다.

3.3.1. 수학적 모델식의 설정

부담 값 Br 은 부담에서 소모되는 피상전력이므로 모델식은 식(6)과 같다.

$$Br = f(V, I) = VI \tag{6}$$

V : 부담에 공급하는 교류전압

I : 부담에 흐르는 교류전류

3.3.2. 부담의 합성 표준불확도

부담에 공급하는 전압과 전류를 독립적으로 측정하므로 서로 상관관계가 없다. 따라서 부담의 합성 표준불확도

표 1. 부담 50 VA의 부담 값의 불확도 총괄표

Table 1. Uncertainty budget of burden value for the 50 VA burden.

번호	불확도 요인	불확도 (%)	확률분포	포함인자	표준 불확도 (%)	자유도
1	전압계 부하효과	0.012	직사각형	$\sqrt{3}$	0.007	∞
2	전압계 교정불확도	0.01	정규	2	0.005	∞
3	전압계 안정도	0.075	직사각형	$\sqrt{3}$	0.0433	∞
4	전압계 분해능	0.001	직사각형	$\sqrt{3}$	0.0003	∞
5	전압 반복측정	0.199	정규	$\sqrt{60}$	0.0257	59
6	전류계 교정불확도	0.01	정규	2	0.005	∞
7	전류계 안정도	0.075	직사각형	$\sqrt{3}$	0.0433	∞
8	전류계 분해능	0.022	직사각형	$\sqrt{3}$	0.0064	∞
9	전류 반복측정	0.377	정규	$\sqrt{60}$	0.0487	59
10	전류 측정오차	0.25	직사각형	$\sqrt{3}$	0.144	∞
11	부담 합성 표준불확도 (%)				0.17	7502
12	확장불확도 (%) (k=2)				0.34	

$u_c(Br)$ 는 합성분산인 $u_c^2(Br)$ 의 양의 제곱근으로써, 식 (7)과 같이 각 불확도 요인들에 대한 제곱합근(root-sum-square)으로부터 구한다.^[3]

$$u_c(Br) = [(\frac{\partial Br}{\partial V})^2 u^2(V) + (\frac{\partial Br}{\partial I})^2 u^2(I)]^{1/2} = [c_V^2 u^2(V) + c_I^2 u^2(I)]^{1/2} \tag{7}$$

c_V, c_I 는 각각 전압 및 전류의 불확도 요인에 대한 감도 계수이며 다음과 같다.

$$c_V = \frac{\partial Br}{\partial V} = 1 I \tag{8}$$

$$c_I = \frac{\partial Br}{\partial I} = 1 V \tag{9}$$

3.3.3. 부담 값의 표준불확도 산출

3.3.3.1. 전압계 부하효과에 의한 표준불확도

부담 값을 계산하기 위하여 부담 양단의 전압과 부담에 흐르는 전류를 측정한다. 이 경우 부담저항 (R_{Bn})과 사용된 전압측정기의 입력저항(R_{in})의 크기에 따라서 측정전

압(V_{DVM})이 식 (10)과 같이 부하효과/loading effect)의 영향을 받는다.

$$V_{DVM} = V_{Bn} \left(\frac{R_m}{R_m + R_{DVM}} \right) \quad (10)$$

사용된 전압측정기의 입력저항을 측정한 결과 2 MΩ이었으며, 부담 50 VA의 경우 부담저항이 약 197 Ω (표 1 참조)이므로 식 (11)을 이용하여 전압계의 측정전압(V_{DVM})을 계산하면 0.01 % 만큼 차이가 난다. 이 불확도 요인은 직사각형 확률분포이므로 포함인자 $\sqrt{3}$ 을 적용하면 표준불확도는 0.007 % 이다.

3.3.3.2. 전압계의 교정불확도에 의한 표준불확도

이 불확도는 전압계의 교정 성적서에 나타난 불확도로서, 정규 확률분포이고, 포함인자 2를 적용하여 표준불확도를 얻는다. 교정불확도가 0.01 %이므로 표준불확도는 0.005 % 이다.

3.3.3.3. 전압계의 분해능에 의한 표준불확도

분해능(V_{res})에 의한 불확도는 직사각형 확률분포이며 이때 적용하는 포함인자는 $\sqrt{3}$ 이고, 반 범위는 분해능의 절반이다. 따라서 이에 의한 표준불확도는 $u(V_{res}) = V_{res} / (2\sqrt{3})$ 으로 계산된다. 측정전압에 대한 전압계의 분해능이 0.0001 %이므로 이에 의한 표준불확도는 0.00003 %이다.

3.3.3.4. 전압 반복측정에 의한 표준불확도

반복측정에 의한 표준불확도 $u(V_A)$ 는 표준편차 $s(V)$ 및 측정회수(n)에 따라 $u(V_A) = s(V) / \sqrt{n}$ 와 같이 계산한다. 60회 반복 측정된 결과 0.199 %의 표준편차를 얻었으므로 표준불확도는 0.0257 % 이고, 자유도는 $\nu_{V_A} = n - 1 = 59$ 이다.

3.3.3.5. 전압계의 장기안정도에 의한 표준불확도

일반적으로 정확도 사양에는 1년 동안의 장기안정도를 포함하므로 1년간의 정확도 사양을 기준으로 장기안정도로 인한 표준불확도를 산출하였다. 1년 동안의 안정도가 0.075 %이므로 직사각형 확률분포에 대한 포함인자 $\sqrt{3}$ 로 나누면 표준불확도는 0.0433 % 이다.

3.3.3.6. 전류계에 의한 표준불확도

표 2의 6~9번까지는 상기의 4.2.3.1~4.2.3.2 항과 동일한 방법으로 평가하였다. 표 2의 10번 전류측정오차에 의한 불확도는 저항 값을 정확히 알고 있는 표준저항을 이용하여 측정오차를 평가한 결과로부터 얻어진 표준불확도이다.

3.3.4. 부담 값의 확장불확도

부담 값의 합성 표준불확도는 위에서 계산한 교류전압과 전류의 표준불확도로부터 식 (7)을 이용하여 계산하면 표 2의 11번과 같으며, 유효자유도는 식 (11)과 같이 약 7,502

이다.

$$\begin{aligned} \nu_{eff(Br)} &= \frac{u^4_c(Br)}{\frac{u^4(V)}{\nu_V} + \frac{u^4(I)}{\nu_I}} \\ &= \frac{0.167^4}{\frac{0.0.0257^4}{59} + \frac{0.0.0487^4}{59}} \\ &= 7,052 \end{aligned} \quad (11)$$

신뢰수준(level of confidence) 95.5 % 에서 유효자유도 7,052에 대한 포함인자는 $k=2$ 이며, 따라서 확장불확도 $U = 2 \cdot 0.17 = 0.34$ % 이다.

3.4 역률의 불확도 평가

3.4.1. 수학적 모델식의 설정

역률(PF)은 전력과 피상전력의 비이므로 모델식을 식(12)와 같이 표현할 수 있다.

$$PF = \cos\theta = f(P, VI) = \frac{P}{VI} \quad (12)$$

여기서 P 는 부담에서 소모되는 유효전력이고, VI 는 부담에서 소모되는 피상전력이다.

3.4.2. 역률의 합성 표준불확도

식 (12)에서 보는 바와 같이 역률의 불확도는 부담의 불확도 요인들과 전력측정에 따른 불확도 요인들로부터 얻을 수 있음을 알 수 있다. 따라서 표 1에서 얻은 부담의 표준 불확도 이외에 전력측정에 따른 불확도 요인들을 추가하여 표 2의 역률의 불확도 총괄표를 얻었다.

표 2. 부담 50 VA에 대한 역률의 불확도 총괄표
Table 2. Uncertainty budget of power factor for the 50 VA burden.

번호	불확도 요인	불확도 (%)	확률 분포	포함 인자	표준 불확도(%)	자유도
-	부담 (피상전력) 표준불확도	-	-	-	0.166	∞
1	전력계 교정불확도	0.01	정규	2	0.005	∞
2	전력계 안정도	0.10	직사각형	$\sqrt{3}$	0.0577	∞
3	전력계 분해능	0.0002	직사각형	$\sqrt{3}$	0.0001	∞
4	전력 반복측정	0.751	정규	$\sqrt{60}$	0.097	59
5	역률 합성 표준불확도 (%)				0.20	1097
6	확장불확도 (%) (k=2)				0.40	

표 3. PT 부담 자동평가 결과보고서의 예 (부담: 50 VA, 역률: 0.8).

Table 3. PT burden test report sample (Burden: 50 VA, PF: 0.8).

Report page-1

Date of issue: July 11, 2005

CT/PT burden test report

Date of test : 2005-01-13

D:\2005 PT Burden(KRISS) Test Data\050113-50VA-03.txt

Nomenclature : PT Burden
 Customer/City : CTeTech / Seoul
 Munufacturer : CTeTech
 Model/Serial Number : VST-35A / S8458
 Rated Burden/PF : 50 VA / 0.8
 Rated V/I, Test V/I : 110 V / 110 V / 50 VA
 Number of data : 60
 Time interval : 1 min.
 Number of samplings : 10
 Sampling period : 1 sec.

Summary of test results

	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Frequency (Hz)
\bar{x}	111.20577	0.45336	40.48910	59.99503
σ	0.41065	0.00171	0.30401	0.02487

	Burden (VA)	Power factor	Resistance (Ω)	Inductance (H)
Calculated Values	50.4163	0.8031	196.993	0.388
Relative Uncertainty (%)	0.31	0.47	-	-
Relative Error (%)	0.83	0.39	-	-

$$\text{Mean : } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{Standard deviation : } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\text{Relative error : } \frac{\bar{x} - \text{nominal value}}{\text{nominal value}} \times 100 \%$$

n : number of measurement data

3.4.3. 역률의 확장불확도

합성 표준불확도의 유효자유도를 식 (11)과 같은 방법으로 구하면 1097 이며, 신뢰수준 95.5 % 에서 이 유효자유도에 대한 포함인자는 $k=2$ 이며, 따라서 확장불확도 U 는 $U = 2 \cdot 0.20 = 0.40$ % 이다.

4. 자동평가 결과의 분석 및 고찰

표 3은 국내의 계기용변성기 전문 업체에서 제작한 PT 용 부담상자(Model VST-35A, S/N: S8458) 의 50 VA (정격 역률 0.8) 단자를 60 Hz에서 1분 간격으로 60회 반복 측정된 평가결과보고서의 한 예 이다. 부담 양단의 전압, 부담 전류, 전력 및 주파수의 평균값과 표준편차를 측정값으로부터 계산하였으며, 부담 값과 역률의 계산결과 및 그 상대불확도, 그리고 측정값들의 명목치에 대한 상대오차를 함께 보여준다. 또 측정결과로부터 식 (1)을 이용하여 60 Hz에서 계산한 부담의 저항 값과 인덕턴스 값을 함께 보였는데, 부담 값과 역률이 명목치에 대한 상대오차가 각각 +0.83 % 및 +0.39 %로 나타났다. 상용 외국 산 부담의 정확도가 약 ± 3 % 인 점을 고려하면 본 부담의 성능은 우수한 것으로 판단되며, 부담 값과 역률의 상대불확도가 0.5 % 이하로써 실용상 우수한 것으로 판단된다.

그림 5는 1.25 VA ~ 50 VA의 범위를 갖는 상용부담을 60 Hz에서 자동 평가한 부담 값이며, 세로 막대는 해당 부담에 대한 상대 불확도로서 부담 1.25 VA에서는 약 2.4 % 이고, 다른 부담의 불확도는 0.3 % ~ 0.7 % 이다. 여기서 두 점 (0,0) 및 (15, 15)를 지나는 직선에서 벗어난 만큼이 명목치에 대한 오차로써, -1.7 % ~ +0.4 %의 상대오차를 보였다(그림 5 속의 그림).

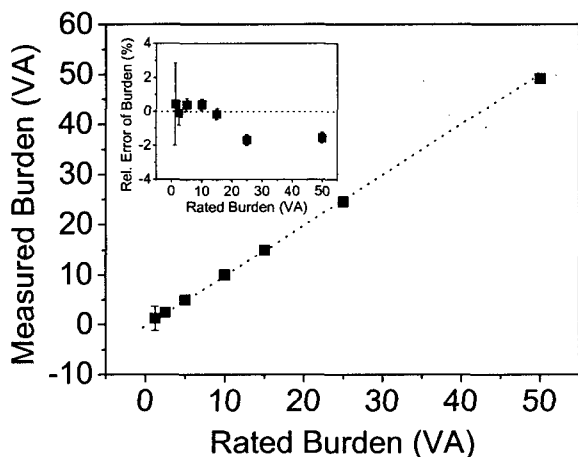


그림 5. 상용 PT 부담의 명목 부담에 따른 측정부담, 오차 및 불확도

Fig. 5. Evaluation results of the commercial PT burden (burden, error & uncertainty).

그림 6은 그림 5에서 측정된 동일한 부담의 역률을 60 Hz에서 자동 평가한 결과이며, 세로 막대는 해당 역률에 상대 불확도로서 부담 1.25 VA에서는 약 2.4 % 이고, 다른

역률의 불확도는 0.4 % ~ 0.7 % 이다. 여기서 역률 0.8에서 벗어난 만큼이 부담의 명목치에 대한 오차로써, - 0.4 % ~ + 0.9 %의 상대오차를 보였다(그림 6 속의 그림).

이상에서 언급한 불확도는 3.3 및 3.4절과 같은 방법으로 평가한 것이다.

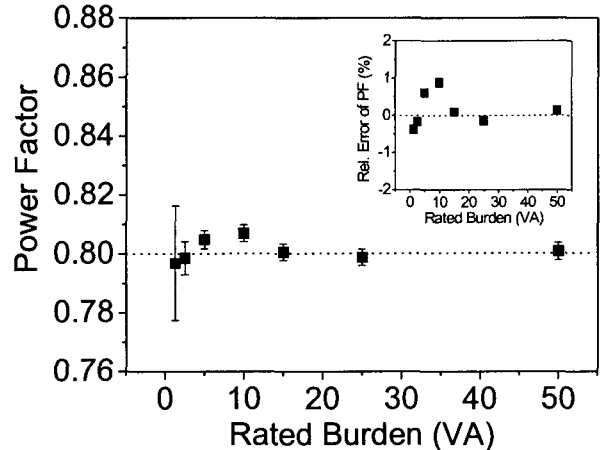


그림 6. 상용 PT 부담의 명목 역률에 따른 측정역률, 오차 및 불확도

Fig. 6. Evaluation results of the commercial PT burden (power factor, error & uncertainty).

5. 결 론

본 연구에서는 부담의 부담 값과 역률을 자동으로 측정하기 위한 평가시스템을 개발하였으며, 부담에서의 전압, 전류 및 전력을 측정하여 그 값들로부터 계산할 수 있도록 하였다. 이 시스템은 부담 값과 역률을 최소 0.5 %의 불확도로 평가하고, 그 결과를 이용하여 부담의 저항과 인덕턴스를 60 Hz에서 자동 계산함으로써 부담 소자의 설계치를 용이하게 수정하여 제작에 반영할 수 있도록 하였다. 또 부담과 역률의 측정결과를 그래프화하여 실시간으로 그 결과를 관찰할 수 있도록 하였고, 또한 각종 불확도 요인들에 대한 상세한 분석을 통하여 산업현장에서 애로를 겪고 있는 측정 불확도를 포함한 평가결과 보고서를 측정완료와 동시에 출력할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

본 시스템의 개발로 PT용 부담에 대한 부담 값과 역률을 최소 0.5 %(신뢰수준 95.5 %)의 상대불확도로 평가할 수 있는 시스템을 확보하였으며, 이로써 부담 값과 역률 및 그 명목치에 대한 오차, 부담의 저항과 인덕턴스를 포함하는 부담특성을 정밀하게 분석할 수 있게 되었다. 상용의 정밀부담의 정확도가 ± 3 % 인 점을 고려하면 본 시스템을 이용한 측정결과는 우수하다고 판단되며, 부담을 설계 제작하는 현장에서 그 유용성이 높을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 한국표준협회, "계기용변성기(표준용 및 일반계기용)", KS C 1706, 1982.

[3] ISO "Guide to the expression of uncertainty in measurements," 1991.

감사의 글

본 연구는 부품·소재통합연구단의 2004년도 부품소재 종합기술지원사업으로 이루어졌으며, 연구비지원에 감사드립니다.

저 자 소 개



권성원(權聖遠)

1952년 1월 19일생. 1974년 한국항공대학교 전자공학과 졸업. 1974년-1977년 공군정밀측정시험소 전기전자시험과장. 1978년-현재, 한국표준과학연구원 책임연구원
Tel : 042-868-5155, Fax : 042-868-5018
E-mail : swkwon@kriss.re.kr



이성하(李成夏)

1955년 5월 9일생
1978년-1995년 경보전기 생산부장
1996년-현재 (주)시티이텍 대표이사
Tel : 02-463-0031, Fax : 02-465-6113
E-mail : ctl@unitel.co.kr



김문석(金紋奭)

1966년 7월 16일생. 1997년 충북대학교 물리학과 졸업(이학박사). 1997년-2001년 포항공대 초전도연구단 선임연구원. 2001년-2003년 오하이오 주립대 연구원. 2003년-현재, 한국표준과학연구원 선임연구원
Tel : 042-868-5725, Fax : 042-868-5018
E-mail : msk2003@kriss.re.kr



김명수(金明壽)

1954년 8월 26일생. 1977년 서울공대 화공과졸업. 1986년 미국 미주리대(공학박사). 1977년-1982년 국방과학연구소. 1987년-현재 : 한국표준과학연구원 전자기표준부장



정재갑(鄭在甲)

1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업(이학박사). 1999-2001 아이오아 주립대 박사후 연수. 2001년-현재 한국표준과학연구원 선임연구원
Tel : 042-868-5152, Fax : 042-868-5018
E-mail : jkjung@kriss.re.kr