

## 전력량 측정에 대한 불확도 평가 및 감소 방법

정주영, 김익수, 김민규, 허종철, 박찬교

### Measurement uncertainty's evaluation and reduction method for electric power measuring

Jeong, Joo-Young, Kim, Ik-Soo, Kim, Min-Kyu, Heo, Jong-Chul, Park, Chan-Kyo  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - This paper evaluates the uncertainty to measurement of the power of measuring system used in the performance evaluation of electrical apparatus and introduces the reduction method of the uncertainty.

### 1. 서 론

전력량은 변압기 및 전동기 등의 손실, 출력 및 효율 등 전기기기의 성능을 평가하기 위한 파라미터이다. 특히, 기기 규격 및 시방에 정격치가 정해진 값일 경우 측정의 정확도에 따라 기기의 합부가 좌우될 수 있다. 따라서 전력량 측정을 위한 구성기기 및 측정시스템에 대한 불확도를 평가하고, 각 구성기기의 불확도 성분을 분석하여 불확도를 감소시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 측정불확도

측정불확도란 측정결과가 측정하고자 하는 값을 어느 정도 정확하게 나타내고 있는지 나타내는 것이며, 1970년대 불확도가 하나의 정량화된 개념을 갖기 전에는 측정에 있어 정확도의 개념을 오차로 표기하였다. 측정불확도의 원인은 우연효과 및 계통효과에 의한 것으로 구분 구분할 수 있으며, 평가방법에 따라 통계적 방법(A형 불확도) 및 교정성적서, 시방서, 과학적 자료 등을 근거로 하는 방법(B형 불확도)이 있다.

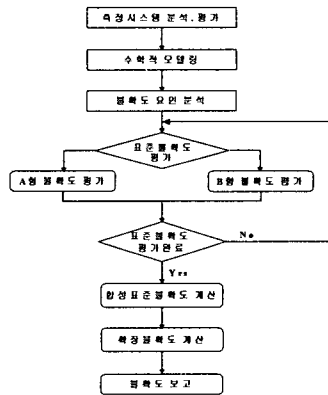
#### 2.1.1 불확도 요인

실제 측정 불확도에 영향을 미치는 요인은 수없이 많기 존재하며 주요 인자는 다음과 같다.

- a) 측정량에 대한 불완전한 정의
- b) 측정량의 정의에 대한 불완전한 실현
- c) 대표성이 없는 표본추출
- d) 측정환경의 효과에 대한 지식부족 및 환경조건에 대한 불완전한 측정
- e) 아날로그 기기에서의 개인적 판독차이
- f) 기기의 분해능과 검출한계
- g) 측정표준과 표준물질의 부정확한 값
- h) 외부자료에서 인용하여 데이터 분석에 사용한 상수 파라미터의 부정확한 값
- i) 측정방법과 측정과정에서 사용되는 근삿값과 여러 가지 과정
- j) 외관상 같은 조건이지만 반복적인 측정에서 나타나는 변동

#### 2.1.2 측정불확도 평가 순서

측정불확도 평가는 다음과 같은 순서로 불확도를 평가할 수 있다.



### 2.2 전력량 측정시스템

#### 2.2.1 측정시스템 개요

전력량 측정시스템은 그림-1과 같으며, 전류(I) 및 전압(V)은 CT 및 PT를 통하여 Power Analyser(PA)에 입력되며, 위상차는 PA 자체에서 자동 계산된다.

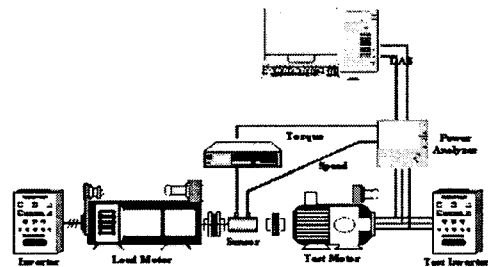


그림-1. 전력량 측정시스템

#### 2.2.2 수학적 모델링

전력량을 측정하기 위한 입력량과 전력량과의 상호관계에 대하여 수식을 세우면 식-1과 같다.

$$P = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = f(V_i, I_t, k_1, k_2, \cos \theta) \\ = V_i \times I_t \times k_1 \times k_2 \times \cos \theta \text{ ----- (식-1)}$$

식-1의 각 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

$I_t$  : PA 입력전류

$V_i$  : PA 입력전압

$\cos \theta$  : 역율

$k_1$  : CT 변환비(10/1)

$k_2$  : PT 변환비(4/1)

### 2.2.3 불확도 평가수식

입력량  $X_1, X_2, \dots, X_N$ 이 상관관계가 없고 독립적으로 구하여 질 때 합성표준불확도  $u_c(P)$ 는 합성분산인  $u_c^2(P)$ 의 양의 제곱근인 다음 식으로부터 구한다.

$$u_c^2(P) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial X_i} \right]^2 u^2(X_i)$$

$$= \left( \frac{\partial P}{\partial V_i} \right)^2 u^2(V_i) + \left( \frac{\partial P}{\partial I_i} \right)^2 u^2(I_i) + \left( \frac{\partial P}{\partial k_1} \right)^2 u^2(k_1)$$

$$+ \left( \frac{\partial P}{\partial k_2} \right)^2 u^2(k_2) + \left( \frac{\partial P}{\partial \cos \theta} \right)^2 u^2(\cos \theta)$$

$$= (C_1)^2 u^2(V_i) + (C_2)^2 u^2(I_i) + (C_3)^2 u^2(k_1)$$

$$+ (C_4)^2 u^2(k_2) + (C_5)^2 u^2(\cos \theta) \text{ ----- (식-2)}$$

식-2의  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ 는 감도계수이며, 값은 다음과 같다.

| 감도계수  | 수식   | 환산 값    |
|-------|--|---------|
| $C_1$ | $I \times k_1 \times k_2 \times \cos \theta$ | 36.0    |
| $C_2$ | $V \times k_1 \times k_2 \times \cos \theta$ | 1,800.0 |
| $C_3$ | $V \times I \times k_2 \times \cos \theta$   | 180.0   |
| $C_4$ | $V \times I \times k_1 \times \cos \theta$   | 450.0   |
| $C_5$ | $V \times I \times k_1 \times k_2$           | 2,000.0 |

### 2.2.3 불확도 성분분석

식-2의  $u(V_i), u(I_i), u(k_1), u(k_2), u(\cos \theta)$ 는 각 입력량의 표준불확도로서 "A형 불확도", 또는 "B 불확도"로 구할 수 있다.

1)  $u(V_i)$  : PA 측정전압(V)에 대한 표준불확도로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(V_i) = \sqrt{u^2(\overline{V}_n) + u^2(V_n) + u^2(\Delta V_n)}$$

$u(\overline{V}_n)$  : PA로 10회 측정된 전압의 A형 불확도이며 다음과 같다.

| 시험횟수          | 측정값     |
|---------------|---------|
| 1             | 50.0000 |
| 2             | 50.0000 |
| 3             | 50.0000 |
| 4             | 50.0100 |
| 5             | 49.9900 |
| 6             | 49.9000 |
| 7             | 50.1000 |
| 8             | 50.0000 |
| 9             | 50.0050 |
| 10            | 50.0000 |
| 평균            | 50.0005 |
| 표준불확도         | 0.04740 |
| $\nu_1$ (자유도) | 9       |

$u(V_n)$  : PA의 교정성적서에 따른 B형 불확도이며 다음과 같다.

$$u(V_n) = \text{확장불확도}/2 = 0.18/2 = 0.09, \nu_2 = \infty$$

$u(\Delta V_n)$  : PA의 최소자릿수에 따른 B형 불확도이며 다음과 같다.

$$u(V_n) = 0.0001/2 * \sqrt{3} = 0.0000289, \nu_3 = \infty$$

따라서,

$$u(V_i) = \sqrt{u^2(\overline{V}_n) + u^2(V_n) + u^2(\Delta V_n)} = 0.10172$$

$$\nu_{\text{전압}} = 190$$

2)  $u(I_i)$  : PA 측정전류(I)에 대한 표준불확도로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(I_i) = \sqrt{u^2(\overline{I}_n) + u^2(I_n) + u^2(\Delta I_n)}$$

$u(\overline{I}_n)$  : PA로 10회 측정된 전류의 A형 불확도이며 다음과 같다.

| 시험횟수          | 측정값       |
|---------------|-----------|
| 1             | 1.0000    |
| 2             | 1.0010    |
| 3             | 0.9998    |
| 4             | 0.9999    |
| 5             | 1.0001    |
| 6             | 1.0020    |
| 7             | 0.9999    |
| 8             | 0.9999    |
| 9             | 1.0020    |
| 10            | 1.0000    |
| 평균            | 1.0004600 |
| 표준불확도         | 0.000880  |
| $\nu_1$ (자유도) | 9         |

$u(I_n)$  : PA의 교정성적서에 따른 B형 불확도이며 다음과 같다.

$$u(I_n) = \text{확장불확도}/2 = 0.0015/2 = 0.00075, \nu_4 = \infty$$

$u(\Delta I_n)$  : PA의 최소자릿수에 따른 B형 불확도이며 다음과 같다.

$$u(I_n) = 0.0001/2 * \sqrt{3} = 0.0000289, \nu_5 = \infty$$

$$\text{따라서 } u(I_i) = \sqrt{u^2(\overline{I}_n) + u^2(I_n) + u^2(\Delta I_n)} = 0.0011563$$

$$\nu_{\text{전류}} = 25$$

3)  $u(k_1)$  : CT 변환비에 대한 불확도로서 교정성적서로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$u(k_1) = \text{변환비} \times \% \text{확장불확도} / 2 \times 100 = 10 \times 0.04 / 2 \times 100 = 0.002$$

$$\nu_6 = \infty$$

4)  $u(k_2)$  : PT 변환비에 대한 불확도로서 교정성적서로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$u(k_2) = \text{변환비} \times \% \text{확장불확도} / 2 \times 100 = 4 \times 0.03 / 2 \times 100 = 0.0006$$

$$\nu_7 = \infty$$

5)  $u(\cos \theta)$  : PA에 의한 전압(4') 및 전류위상차(3')에 대한 불확도로서 교정성적서로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$u(\cos \theta) = \text{역율} - \cos(\text{확장불확도}/2)$$

$$= 0.9 - \cos(25.8419 + (7'/2)) = 0.00044$$

$$\nu_8 = \infty$$

### 2.2.4 전력량 환산

전력량은 식-1에 따라 측정된 전압, 전류 및 역율을 입력하여 구한다.

$$P = V \times I \times k_1 \times k_2 \times \cos \theta$$

$$= 50.0005 \times 1.00046 \times 10 \times 4 \times 0.9 = 1800.85 \text{ (W)}$$

### 2.2.5 전력량의 합성불확도

|                |           |
|----------------|-----------|
| 계수             | n회 측정     |
| C1             | 36.0      |
| $u(Vt)$        | 0.10172   |
| C2             | 1,800.00  |
| $u(It)$        | 0.0011563 |
| C3             | 180.0     |
| $u(k1)$        | 0.0020    |
| C4             | 450.0     |
| $u(k2)$        | 0.0006    |
| C5             | 2,000.0   |
| $u(\cos \phi)$ | 0.00044   |
| $uc(P)$        | 4.3281    |

### 2.2.5 전력량의 확장불확도

확장불확도를 계산하기 위하여 측정시스템의 유효자유도를 계산하면

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{[c_i u(x_i)]^4}{\nu_i}} = \frac{4.3281^4}{1.6971} = 206$$

이므로 정규분포에 가까우므로 신뢰수준 95%에 따른 포함인자  $k=2$ 이며, 확장불확도는 다음과 같다.

$$U = k \times uc(P) = 2 \times 4.3281 = 8.6562 (W)$$

### 2.2.5 전력량의 보고

전력량측정시스템으로 측정한 전력량 및 측정불확도는 다음과 같으며, 불확도는 0.5%를 차지하므로 정확한 측정값을 유지하고 있다고 본다.

$$P = (P_i \pm U) = 1800.85 \pm 8.58 (W),$$

$$k = 2(\text{신뢰수준 } 95\%), \nu_{eff} = 206$$

### 2.2.5 구성기기의 불확도 분포

전력량측정시스템의 불확도 분포는 구성기기 중 70% 정도가 PA 전압 측정단자가 차지한다.

| 요인      | 불확도 성분 분포 | 분포도(%) |
|---------|-----------|--------|
| PA 전압단자 | 13.4096   | 72.809 |
| PA 전류단자 | 4.3322    | 23.522 |
| CT      | 0.1296    | 0.704  |
| PT      | 0.0729    | 0.396  |
| 역율      | 0.4731    | 2.569  |

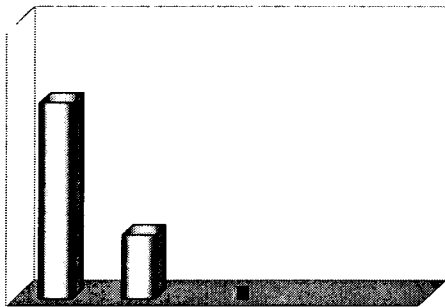


그림 2. 불확도 요인별 분포도

## 3. 결 론

전력량 측정시스템의 측정 결과에 대한 측정불확도를 평가한 결과, 측정값의 0.5% 정도의 불확도를 포함하고 있으므로 측정시스템의 정확도는 상당히 양호한 것으로 판단할 수 있다. 또한 불확도 요인이 PA에 90% 이상 집중되므로 불확도가 낮은 PA를 선정 사용한다면 현재의 불확도를 감소시킬 수 있을 것으로 판단한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] ISO, "Guide to the expression of uncertainty in measurement", 1993
- [2] KOLAS-SG-101, "측정결과 불확도 표현 및 평가 지침", 1998
- [3] KOLAS-SG-102, "측정결과의 소급성유지를 위한 지침", 1998