

대전력시험에 사용되는 측정시스템의 평가

이동준*, 정흥수*, 김원만*, 김선구*, 나대열*, 김철한**
 * 한국전기연구원, **성균관대학교

The evaluation of measurement system for high power tests

Dong-Jun Lee*, Heung-So Jung*, Won-Man Kim*, Sun-Koo Kim*, Dae-Ryeol Ra*, Chul-Hwan Kim**
 * Korea Electrotechnology research institute, ** Sung Kyun Kwan university

Abstract - The rapid development of measurement systems for high power tests makes it possible to measure signals as well as analyze with the help of computer. Also, methods to evaluate such measurement systems are required recently. Uncertainty has been regarded as the most important factor in evaluating the measurement systems.

Because of the character of the measurement systems for high power tests, the uncertainty shall be evaluated by each component. If the uncertainty evaluated by each component, it is convenient to evaluate total uncertainty of the measurement systems according to each component setting's combination.

In this paper, each component of high current measurement system of high power testing Dept. II in Korea Electrotechnology Research Institute is evaluated except sensors such as shunts and CTs. The total uncertainty of the measurement systems can be determined by that of each component including uncertainty of sensors.

1. 서 론

디지털 측정기술의 발달과 더불어 대전력시험을 위한 측정시스템도 많은 발전을 해왔다. 이러한 측정시스템의 성능을 평가하기 위한 방법으로 최근들어 불확도를 사용하고 있다[1]. 불확도의 평가는 ISO/IEC 17025의 요구에 따라 모든 시험기관에서 요구되며 KOLAS에서도 측정결과의 불확도 산정 및 표현을 위한 지침에 따라 불확도를 평가하고 표현을 하도록 하고 있다[2]-[3].

대전력 시험시 사용되는 측정시스템은 일반적으로 신호를 측정하는 센서부와 측정된 신호를 전송 및 분석하는 부분으로 나눌 수 있다. 각 부분은 세부적으로 나누어지며 증폭과 같이 설정값을 조정할 수 있는 부분도 있

다. 이러한 전체 시스템은 한 부분의 설정값이 변화됨에 따라 별개의 측정시스템으로 볼 수 있기 때문에, 물리적으로는 측정 시스템이 하나이지만 불확도 평가라는 관점에서는 수십개의 측정 시스템을 평가하는 것과 같다. 따라서, 전체 측정 시스템의 불확도를 평가하기 위해서는 측정 시스템을 구성하는 각 부분들마다 개별적인 불확도를 먼저 평가한 후 전체 불확도를 평가하는 방법을 사용한다.

본 논문에서는 고전압과 대전류를 위한 측정시스템 중 대전류 측정시스템의 불확도를 평가하였다. 대전류 측정을 위해서 사용되는 shunt는 아직까지 표준과 교정방법이 국제적으로 확정되지 않았기 때문에 shunt를 제외한 신호전송부와 DAS system의 불확도를 각각 평가함으로써 전체 불확도에 미치는 영향을 분석해 보았다.

2. 본 론

2.1 대전류 측정시스템의 구성

한국전기연구원 전기시험연구소에서 사용중인 대전류 측정시스템은 다음과 같다. 대전류 측정시스템은 전류/전압 변환장치인 Shunt, 광전송장치(Optical Data Transfer system), 1/2차측을 분리하는 Isolator, DAS(Data acquisition system)로 구성되어있다. 그림 1은 대전류 측정시스템을 보여주고 있다.

2.2 측정시스템의 수학적 모델

shunt를 제외한 대전류 측정시스템의 불확도 평가를 위한 수학적 모델은 식 (1)과 같다.

$$I = f(X_1, X_2, X_3) = C_1 V_R \quad (1)$$

여기서,

V_R DAS에서 측정된 전압, 즉 측정 전류,

C_1 분석 소프트웨어에서 설정하는 scale factor이다.

식 (1)에서 각 변수간에는 상관관계가 없으므로 감도 계수를 고려한 대전류의 합성표준불확도 $u_c(I)$ 는 다음의 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

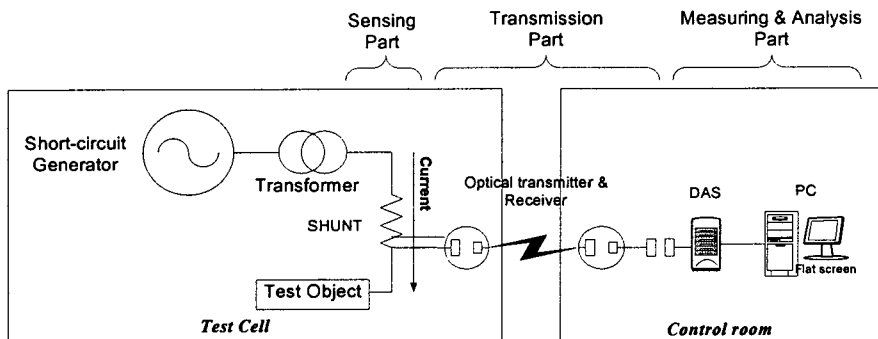


그림 1. 대전류 측정시스템

$$u_c(I) = \sqrt{u_{TXRX}^2 + u_{ISO}^2 + S_{V_R}^2 u_{V_R}^2} \quad (2)$$

S는 감도계수(sensitivity coefficients)로서 식 (1)로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S_{V_R} = \frac{\partial I}{\partial V_R} = C_I \quad (3)$$

여기서,

- u_{TXRX} Optical Transmitter & Receiver에 대한 표준불확도
- u_{ISO} Isolator에 대한 표준불확도
- u_{V_R} DAS에서 측정된 전압에 대한 표준불확도이다.

2.3 각 항목별 불확도 평가

2.3.1 Optical Transmitter & Receiver의 불확도, u_{TXRX}

시험장(Test cell)과 제어실(Control room)로의 측정데이터 전송은 시스템 보호 및 외부의 외란에 강한 광섬유를 이용한 전송시스템을 사용하고 있다. 측정에 사용된 광전송시스템은 FM 주파수 변조방식을 사용하고 있으며 각각 전송부(Transmitter)와 수신부(Receiver)로 구성되어 있다. 전송부에는 입력신호의 크기에 따라 설정할 수 있는 설정 Tap이 제공되며 각각 $\times 1$, $\times 2$, $\times 10$ 의 증폭이 가능하다. Transmitter와 Receiver 제작회사의 Specification에 의하면 50/60Hz에서 각 설정별 Overall accuracy는 동일하며 Full Range에서 $\pm 0.5\%$ 이고 직사각형 분포로 가정하였을 때의 표준불확도는 다음과 같다.

$$u_{TXRX} = \frac{10 \times 0.005}{\sqrt{3}} = 2.887e-2 [V]$$

이를 상대 불확도로 환산하면 다음의 표 1과 같다.

Tap	Uncertainty[%]
$\times 1, \times 2, \times 10$	0.2887

표 1. u_{TXRX} 의 표준불확도

2.3.2 Isolator의 불확도, u_{ISO}

Isolator는 high speed isolated voltage transmitter로서 입력과 출력라인을 분리하여 서지(Surge)나 이상 전압의 침입을 차단하는 역할을 한다. 이러한 Isolator에 의해 증계되는 출력신호는 입력신호와 절대적으로 같지 않으며 따라서 불확도를 고려하여야 한다.

Isolator의 특성상 specification에 따라 다음과 같은 세 가지 요소를 고려해야 한다.

- $u_{Accuracy}$ isolator의 정확도
- $u_{Linearity}$ isolator의 선형성
- $u_{Repeatability}$ isolator의 반복성

대전력 시험은 반복시험이 아니고 대부분 1회로 끝나기 때문에 $u_{Repeatability}$ 는 무시할 수 있으며 각 요소에는 서로 상관관계가 존재하지 않는다. 따라서, isolator에 의한 불확도는 다음의 식 (4)와 같다.

$$u_{ISO} = \sqrt{u_{Accuracy}^2 + u_{Linearity}^2} \quad (4)$$

각 항목의 표준불확도는 직사각형 분포를 가정하여 계산하면 다음과 같다.

$$u_{Accuracy} = 5.773e-3 [V]$$

$$u_{Linearity} = 2.887e-3 [V]$$

식 (4)에 의해 계산하면 isolator의 합성 표준불확도는 다음과 같다.

$$u_{ISO} = \sqrt{u_{Accuracy}^2 + u_{Linearity}^2} = 6.455e-3 [V]$$

결국 isolator의 표준불확도는 다음과 같다.

$$u_{ISO} = 0.06455 [\%]$$

2.3.3 DAS의 불확도, u_{V_R}

DAS는 A/D 변환을 담당하는 하드웨어와 변환된 디지털 값을 계산하는 분석 소프트웨어로 구성된다. DAS의 표준불확도는 식(5)와 같다.

$$u_{V_R} = \sqrt{u_{HW}^2 + u_{SW}^2} \quad (5)$$

여기서,

- u_{HW} 하드웨어의 표준불확도
- u_{SW} 소프트웨어의 표준불확도

2.3.3.1 u_{HW}

DAS 시스템은 Nicolet사의 BE-256 Mainframe에 17채널의 636CB를 장착한 시스템으로서 불확도 성분에는 A/D converter의 bit수에 의존하는 양자화에 의한 불확도와 입력신호의 증폭에 따른 불확도 성분이 존재한다. 입력신호의 증폭은 여러 가지의 설정이 가능하며 교정결과 최대 불확도는 20[V] range에서 다음과 같다.

$$u_{HW} = 0.00152 [\%]$$

2.3.3.2 u_{SW}

대전력시험을 위해 개발된 KERI의 분석 소프트웨어는 A/D 변환된 신호를 STL의 technical report에서 제시한 신호처리에 기초하고 있다. 신호의 RMS를 계산하기 위해서는 3-crest methods 또는 true RMS 방법을 사용하며 이밖에 trv 분석, power factor 분석, crest 계산, 단시간전류의 등가 RMS 분석등을 수행할 수 있다(5).

이러한 분석 소프트웨어의 불확도는 TDG(Test Data Generator)를 이용하여 평가한다(4). 그림 2는 TDG를 사용하여 분석 소프트웨어의 불확도를 평가하는 procedure를 보여주고 있다.

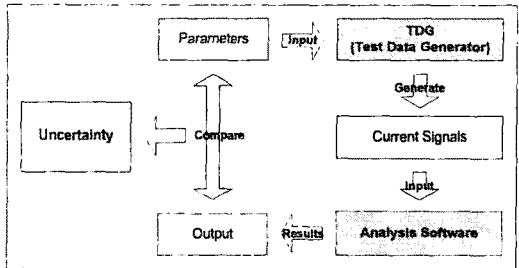


그림 2. TDG를 이용한 분석 소프트웨어의 불확도 평가

TDG는 STL의 technical report에 따라 개발하였으며 아직 reference signal이 제시되지 않은 관계로 시정수, sampling rate, duration등을 변경하며 분석 소프트웨어의 불확도를 평가하였다(6).

Case1) 그림 3은 시정수의 변화와 crest의 변화에 따른 RMS 값의 불확도를 보여주고 있다. RMS계산은 3-crest methods를 사용하여 계산하였다.

시정수가 작을수록 급격한 신호의 변화를 의미하며 이는 3-crest methods로 RMS를 계산할 때 더 큰 불확도를 나타냄을 알 수 있다.

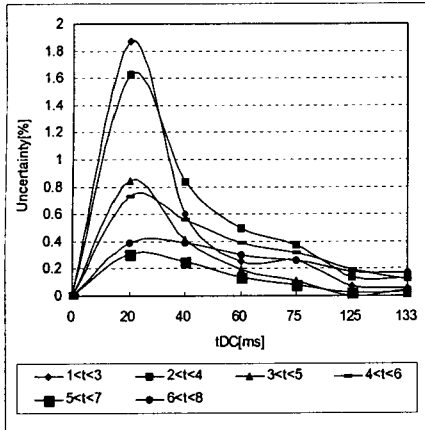


그림 3. 시정수와 crest 변화에 따른 3-crest method 알고리즘의 불확도

Case2) 그림 4는 주파수 60Hz인 전류를 sampling rate를 변화시켰을때 RMS값의 불확도를 보여주고 있다. RMS계산은 3-crest methods를 사용하였다.

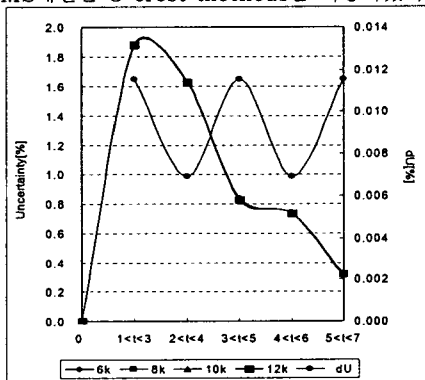


그림 4. Sampling rate와 crest 변화에 따른 3-crest method 알고리즘의 불확도

일반적으로 주파수 60Hz인 대전류 신호를 측정할 때 STL에서 제시한 6kHz에서 12kHz사이의 sampling rate를 이용하여 측정하며, sampling rate의 변화에 따른 분석 소프트웨어의 불확도는 최대 0.012[%] 정도로 평가되었다(4). 이는 극히 작은 값으로 STL에서 제시한 sampling rate범위내에서는 전체 불확도에 비해 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Case 3) 대전류 측정에서 많이 사용되는 단시간 전류는 IEC 60694에 따라 다음의 식(6)과 같이 등가 RMS를 계산한다.

$$I = \sqrt{\frac{1}{30} [Z_0^2 + 4Z_A^2 + 2Z_B^2 + Z_{10}^2]}$$

$$Z_A = Z_1^2 + Z_3^2 + Z_5^2 + Z_7^2 + Z_9^2 \quad (6)$$

$$Z_B = Z_2^2 + Z_4^2 + Z_6^2 + Z_8^2$$

Sampling rate는 고정시키고 시정수를 변화시키며 TDG로 발생시킨 단시간 전류 신호를 분석 소프트웨어로 등가 RMS를 분석한 후 불확도를 평가하였다. 그림 5는 그 결과를 보여주고 있다.

단시간 전류의 등가 RMS의 경우 11 point에서 RMS를 계산하기 때문에 Case 1), 2)와는 다르게 분석되었으며 전체적으로 0.1[%]미만의 낮은 불확도를 보여주고 있다.

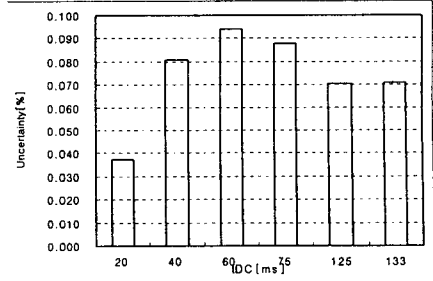


그림 5. 시정수의 변화에 따른 등가 RMS 계산 알고리즘의 불확도

2.4 측정시스템 각 항목의 불확도 비교

본 논문에서 평가한 측정시스템을 사용하여 단시간 전류를 측정할 경우 각 항목별 불확도를 비교해보면 그림 6과 같다.

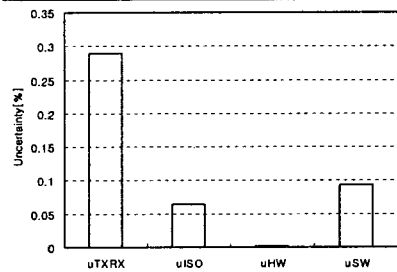


그림 6. 각 부분별 불확도 비교

3. 결 론

대전류 측정시스템의 불확도는 시스템의 구성 및 전류의 크기에 따른 각 기기의 설정값이 달라지기 때문에 모든 전류의 크기 및 기기의 설정값에 따라 불확도를 구하는데 상당한 시간이 요하므로, 불확도 산출시 전체 시스템의 불확도에 영향을 거의 주지 않는 불확도 요소는 배제하는 것이 일반적으로 효과적이다. 따라서 본 논문에서 평가한 대전류 측정시스템의 경우 isolator, DAS의 하드웨어와 소프트웨어의 불확도는 모두 0.1[%] 미만으로서 전체 불확도에 미치는 영향이 작다. 그렇기 때문에 전체 불확도 산출시 shunt의 불확도와 광전송장치의 불확도만으로 전체 시스템의 불확도를 평가하는 것이 시간과 경제적으로도 효과적임을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이동준, 원호성, 노창일, 나대열, 박병락, 김철환, "대전류 측정시스템의 불확도 평가에 관한 연구", 대한전기학회 부산, 경남, 울산지부 추계학술대회 논문집, pp.276-278, 2001년 11월
- [2] ISO/IEC 17025 (2000-01), General requirements for the competence of testing and calibration and testing laboratories
- [3] KOLAS, KOLAS-R-005:2000 측정결과의 불확도 산정 및 표현을 위한 지침
- [4] STL, Harmonisation of data processing methods for high power laboratories
- [5] 김명현, 서운택, 김대원, 강영식, 고희석, "디지털 측정 및 분석장치의 적용에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.38-40, 2001년 7월
- [6] Dong-Jun Lee, Maeng-Hyun Kim, Chang-Il Roh, Dae-Ryeol Ra, Chul-Hwan Kim, "The Evaluation of Analysis Software using Test Data Generator", July, 2002