대전력시험의 새로운 측정시스템에 대한 불확도 평가

서 윤 택*, 김 맹 현, 김 대 원, 강 영 식
한국전기연구원

The estimation of uncertainty in new measuring system used for high-power tests

Yoon-Taek Suh, Maeng-Hyun Kim, Dae-Won Kim, Young-Sik Kang
KERI, High power testing LAB.1

Abstract - In the high-power tests to be performed on electrical apparatus as circuit-breaker, load switch, fuse, transformers, insulators, cable and so on, the results of tests on these apparatus are extremely important to evaluate the performance of test object. The reliability of the results depends on the reliability of measuring systems used in the laboratories where tests are performed. This paper deals with factors of uncertainty and describes estimation of uncertainty in new measuring system used in high-power testing LAB. 1 in KERI

1. 서 론

최근의 국제표준화기구에서는 측정결과의 신뢰도를 측정불확도로 표기하도록 규정하고 있다. 1994년 고전압 시험측정시스템에 관련된 국제규격인 IEC60060-2를 전면 개정하고 측정시스템에 있어서 전체 불확도와 평가 방법을 기술해 놓고, 1999년 STL(Short-circuit Testing Liaison)에서 표 1과 같이 전압형태에 따른 전체불확도를 제시하고 있다. 대전력시험에 사용되는 고전압시스템은 하나의 신호가 얻어지는 동안에 다양한 형태의 전압이 측정된다.

표 1. 고전압측정시스템의 확장불확도

불확도 / 전압형태		전체불확도		
		국가표준측정시스템 (N.S) (%)	기준측정시스템 (R.M.S)(%)	인가측정시스템 (A.M.S)(%)
직류전압 D.C	mean	0.3	1	3
	ripple	1	3	10
교류전압 A.C	peak	0.3	1	3
뇌 충격전압 L.I	peak	0.5	1	3
	time	2.5	5	10
개폐충격전압 S.I	peak	0.5	1	3
	time	1.5	5	10

따라서 대전력시험에 사용되는 측정시스템은 직류전압에서부터 수 MHz까지의 영역에서도 측정이 가능하여야 하고 매우 강한 전자계의 교란에도 내성을 가져야 한다. 하지만 대전력시험에서의 고전압측정시스템의 불확도 산출방법에 대해 규격에서는 아직까지 규정해놓지 않고 있다.

대전류 측정표준에 대해서는 아직 IEC규격이 제안되지 않은 상태이며 세계적으로도 대전류 측정시스템을 대전류로 교정하기위한 국가표준이 없는 상태이다. IEC는 대전류 측정시스템에 대한 측정표준 및 소급성 확보를 위한 방법으로 IEC60060-2에 규정되어 있는 고전압 측정시스템의 경우와 동일한 방법으로 추진 하기위해 준비 중이며 대전류 측정표준에 대해서 2002년 10월 STL(Short-circuit Testing Liaision)의 관리위원회(Managing Committee)에서 표 2과 같이 대전류측정의 소급성 확보를 위하여 대전류 기준 분류기에 대한 확장불확도를 결정했다. 그리고 새로 개정된 고압교류차단기 규격인 IEC 62271-100(2001)에서 측정시스템의 불확도를 전압 전류에 대해 ±5%로 요구하고 있다.
따라서 대전력시험실에서도 국가측정표준의 소급성 확립과 측정불확도의 저감을 위해 최근 몇 년 동안 고전압센서, 대전류센서, 광 수송장치, 데이터수집 및 분석장치를 국제규격요건에 만족하는 측정시스템으로 새로 구축하였다.

본 논문에서는 대전력시험에서의 측정시스템의 구성, 불확도 요인분석, 불확도 산출 및 평가에 관하여 기술하였다.

표 2. 대전류 기준 측정시스템의 확장불확도

불확도 / 전류형태	기준 측정시스템			전체불확도 (%)
	기준 분류기 (Reference Shunt)(%)	데이터 전송 및 기록장치(%)	데이터평가 소프트웨어 (%)	
Power frequency rms. peak	0.8	0.4	0.6	1
High Frequency (10kHz)	2.5	1.0	1	3

2. 본 론

2.1 대전력시험에서 측정시스템의 구성

그림 1는 대전력시험의 측정시스템의 구성도를 나타내었다. 측정시스템은 일반적으로 3가지로 분류된다. 첫째는 고전압·대전류 센서(분압기, 분류기), 둘째 센서장치와 측정기구간 전송장치(동축케이블, 광케이블), 셋째는 측정기구(데이터수집장치, 디지털 데이터처리를 할 경우 분석소프트웨어도 포함된다)로 구성된다.

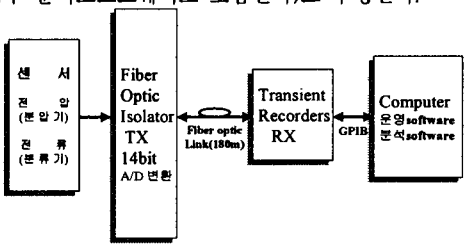


그림 1. 대전력시험에서 측정시스템의 구성도

2.1.1 분압기

대전력시험에 사용되는 분압기는 직류에서부터 수 MHz가지의 주파수영역까지 측정가능한 분압기라야 한다. 따라서 응답시간이 빠르고 직류전압부터 고주파전압까지 측정할 수 있는 제동저항 부착 저항캐페시터 분압기(RCR)를 사용하였다.

2.1.2 분류기

지금까지 단락시험에는 대전류 측정용으로 비접촉식의 봇싱형 변류기(Current transformer)가 주로 많이 사용되어 왔다. 그러나 최근 측정의 소급성 확보를 위하여 비교적 저 저항으로 고 신호를 얻을 수 있는 동축 원통

형 분류기(Coaxial tubular shunt)를 많이 사용한다. 동축 원통형 분류기는 표류신호를 무시할 수 있고, 또한 분류기를 삽입함으로써 회로 정수에 큰 변화를 가져오지 않으며, 상당히 저 저항이더라도 DC 브리지 등에 의해서 고 정도의 저항치를 측정할 수 있기 때문에 교정이 용이하다. 그리고 측정 주파수의 범위가 넓다는 특징이 있기 때문에 단락시험의 대전류 측정용으로 사용되고 있다.

2.1.3 데이터전송 및 수집장치(DAS)

분류기 및 분압기의 2차 유니트(secondard unit)에서 검출된 전기신호는 광 전송장치에 의해 수집 장치로 송신된다. 광 전송장치는 전기잡음과 간섭을 방지하기 위해 3중 실드로 구성되어 있고, 시험실과 측정제어실의 원거리로 인한 광 손실의 영향을 없애기 위해 14비트의 A/D변환기를 거쳐 디지털신호를 광 전송 시스템을 통하여 데이터 수집 장치로 전송된다. 수집된 시험데이터는 GPIB를 통해 컴퓨터로 입력되어 수치연산을 통해 분석되고 그 결과는 화면에 나타나며 프린터를 통해 출력된다.

2.2 불확도 평가

대전력시험의 경우 반복시험이 아니기 때문에 동일한 측정 조건하에서 반복측정으로부터 통계해석에 의해 얻어지는 인자에 대한 A-Type불확도는 고려하지 않았다. 따라서 반복 관측으로부터 통계적으로 구해지지 않는 다른 수단에 대해서 평가되는 B-Type에 대해서만 평가하고자 한다. B-Type불확도에는 측정기기의 교정성적서에 나타난 불확도, 관련측정기기의 특성 및 형태에 대한 지식이나 경험, 제작자의 사양에 표기 된 데이터를 근거로 불확도를 산출한다.

2.2.1 분압기의 불확도평가

표 3. 측정비교 확장불확도

전압형태	Measuring quantity	측정비교 확장 불확도
직류 (Direct Voltage)	Scale factor	0.7 %
교류 (Alternating voltage)	Scale factor	0.8 %
뇌임펄스전압 (Light impulse Voltage)	Scale factor	0.8 %
	T_1	6.5 %
	T_2	3.5 %

2.2.1.1 측정의 수학적 모델

측정시스템에 의한 시험전압 V는 다음과 같이 산출한다.

$$V = f(X_1, X_2) = k \times v \quad (1)$$

v : DAS 측정 전압(7.399V)

k : 분압기의 감쇄비(2013)

DAS의 최종 Display 값은 측정한 전압(v)를 자체 내장된 기능에 감쇄비를 곱하여 전압(V)으로 환산하여 표시한다.

2.2.1.2 불확도 산출수식

식(1)의 입력량들간의 상관관계가 없으므로 합성표준불확도는 식(2)과 같다.

$$u_c^2(I) = \sum_{i=1}^{N} [\frac{\delta f}{\delta x_i}]^2 u^2(x_i) = (\frac{\delta V}{\delta v})^2 u_1^2 + (\frac{\delta V}{\delta k})^2 u_2^2$$

$$= (C_1)^2 u_1^2 + (C_2)^2 u_2^2 \quad (2)$$

식(2)에서 C1, C2의 감도계수는 다음과 같다.

$$C_1 \equiv \frac{\delta V}{\delta v} = k = 2013, \; C_2 = \frac{\delta V}{\delta k} = v = 7.399$$

2.2.1.3 표준불확도 성분 분석

측정하고자 하는 전압(V)의 표준불확도 $u_c(V)$를 다음 식 (1)로 부터 각 성분의 표준불확도를 구한다.

1) u_1 : DAS 측정전압의 표준불확도

교정성적서에서 40V Range의 확장불확도는 신뢰수준 95%인 포함인자 $k=2$에서 $30.286mV$ 이다.

DAS의 표준불확도는 $\frac{30.286mV}{2} = 15.143 \times 10^{-3} V$

ν_1(자유도)= ∞

2) u_2 : 분압기에 대한 표준불확도

분압기 한 대를 단락시험의 교류회복전압측정을 가정하여 불확도를 산출하려고 한다.

검·교정성적서에 표기된 확장 불확도는 포함인자 K=2에서 표 3과 같다.

분압기의 불확도 평가에서는 B-Type 불확도의 인자를 근거로 단락시험시 차단기에 인가되는 교류회복전압에 대하여 불확도를 평가하고자 한다. 분압기의 경우 성적서상에 온도효과, 단기안정성시험 및 근접효과의 영향을 고려하고 포함인자 K = 2에서의 확장불확도가 0.80 %이므로 표준불확도는 $\frac{0.80\ \%}{2} = 0.40\ \%$이다.

따라서

$u_2 = 2013 \times 0.004 = 8.052$ V 이다.

ν_2(자유도)= ∞

2.2.1.4 시험전압 환산

$$V = k \times v = 2013 \times 7.399 = 14.894 kV$$

2.2.1.5 시험전압의 합성표준불확도

$$u_c(V) = \sqrt{(\frac{\delta V}{\delta v})^2 u_1^2 + (\frac{\delta V}{\delta k})^2 u_2^2}$$

$$= \sqrt{(C_1)^2 u_1^2 + (C_2)^2 u_2^2}$$

$$= \sqrt{(2013)^2 (15.143 \times 10^{-3})^2 + (7.399)^2 (8.052)^2}$$

$$= 66.9 V$$

2.2.1.6 시험전압의 확장불확도

유효자유도는 아래와 같다.

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

$$= \frac{u_c^4(V)}{(\frac{(C_1 \times u_1)^4}{\nu_1} + \frac{(C_2 \times u_2)^4}{\nu_2})} = \infty$$

시험전압에 대한 확장불확도는 유효자유도를 근거로 신뢰수준 95%에 대한 포함인자(k)를 구하여야 하며, 시험전압에 대한 유효자유도가 무한대이므로 k=2가 된다.

$$U = k \times u_c(V) = 2 \times 66.9 = 133.8\ V$$

확장불확도:

$U = 14.894\ kV \pm 133.8 V$ ($k=2$, 신뢰구간 : 95%)

2.2.2 분류기의 불확도평가

2.2.2.1 측정의 수학적 모델

측정시스템에 의한 시험전류 I는 다음과 같이 산출한

다.

$$I = f(X_1, X_2) = \frac{V}{R} \quad (3)$$

V : DAS 측정 전압(2.51V)

R : 분류기의 저항값(50.2702 μΩ)

DAS의 최종 Display 값은 측정한 전압(V)를 자체 내장된 기능에 감쇄비를 곱하여 전류(I) 환산하여 표시한다.

2.2.2.2 불확도 산출수식

식(3)의 입력량들간에는 상관관계가 없으므로 합성표준불확도는 식(4)과 같다.

$$u_c^2(I) = \sum_{i=1}^{N} [\frac{\delta f}{\delta x_i}]^2 u^2(x_i)$$

$$= (\frac{\delta I}{\delta V})^2 u_1^2 + (\frac{\delta I}{\delta R})^2 u_2^2$$

$$= (C_1)^2 u_1^2 + (C_2)^2 u_2^2 \quad (4)$$

식(4)에서 C1, C2의 감도계수는 다음과 같다.

$$C_1 \equiv \frac{\delta I}{\delta V} = \frac{1}{R} = 19892.5$$

$$C_2 \equiv \frac{\delta I}{\delta R} = -\frac{V}{R^2} = 9.93 \times 10^8$$

2.2.2.3 표준불확도 성분 분석

측정하고자 하는 전류(I)의 표준불확도 $u_c(I)$를 다음 식으로부터 각 성분의 표준불확도를 구한다.

$$u_c^2(I) = (\frac{\delta I}{\delta V})^2 u_1^2 + (\frac{\delta I}{\delta R})^2 u_2^2$$

$$= (C_1)^2 u_1^2 + (C_2)^2 u_2^2$$

1) u_1 : DAS 측정전압의 표준불확도

교정성적서에서 40V Range의 확장불확도는 신뢰수준 95%인 포함인자 $k = 2$에서 $30.286mV$ 이다.

DAS의 표준불확도는 $\frac{30.286mV}{2} = 15.143 \times 10^{-3} V$

ν_2(자유도)= ∝

2) u_2 : 분류기의 저항값에 대한 표준불확도

분류기 성적서에는 포함인자 K=2에서 확장불확도가 1.3%로 표기되어 있다.

k=2에서의 표준불확도는 $\frac{1.3}{2} = 0.65\%$

따라서 분류기 저항의 표준불확도는

$u_2 = 50.2702\mu\Omega \times 0.0065 = 0.326756 \times 10^{-6}(\Omega)$ 이다.

ν_4(자유도)= ∝

2.2.2.4 시험전류 환산

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2.51(V)}{50.2702(\mu\Omega)} = 49.93kA$$

2.2.2.5 시험전류의 합성표준불확도

$$u_c(I) = \sqrt{(\frac{\delta I}{\delta V})^2 u_1^2 + (\frac{\delta I}{\delta R})^2 u_2^2}$$

$$= \sqrt{(C_1)^2 u_1^2 + (C_2)^2 u_2^2}$$

$$= 442.7\ A$$

2.2.2.6 시험전류의 확장불확도

시험전류에 대한 확장불확도는 유효자유도를 근거로 신뢰수준 95%에 대한 포함인자(k)를 구하여야 하며, 시험전류에 대한 유효자유도가 무한대이므로 k=2가 된다.

$$U = k \times u_c(I) = 2 \times 442.7 = 885.4\ A$$

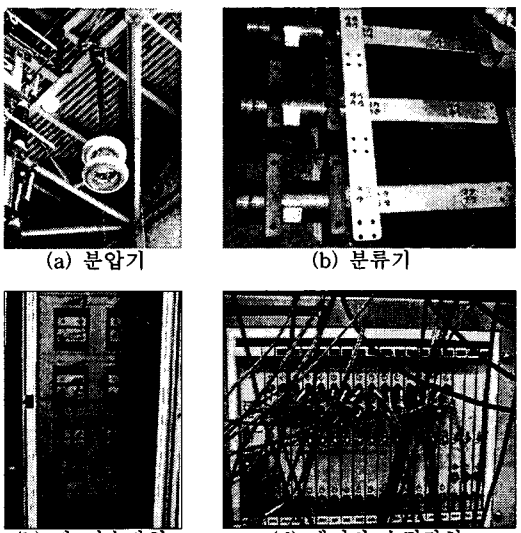
확장불확도:

$U = 49.93\ kA \pm 885.4A$ ($k = 2$, 신뢰구간 : 95%)

3. 결 론

대전력시험에서 시험의 측정결과는 피시험품의 성능을 평가하는데 아주 중요한 요소이다. 측정결과의 신뢰성은 대전력시험의 측정시스템에 사용되는 측정장치의 신뢰성에 의해 좌우된다. 그러므로 한국전기연구원에서는 수년간 꾸준히 측정시스템의 불확도 요인을 최소화 할 수 있는 측정시스템을 구축하였다. 따라서 이번 논문에서는 대전력시험에서 전체 측정시스템의 불확도 요인을 분석하고 평가하여 고압교류차단기의 국제규격인 IEC 62271-100 에서 규정한 시험전압·전류의 측정불확도 ±5 %에 충분히 만족하는 측정시스템을 확보하게 되었다.

앞으로 더욱 측정 기술을 향상시키고 측정시스템을 개선하여 불확도 요인을 최소화하여 측정의 정확도 및 시험결과에 대한 신뢰성을 향상시켜 국가공인시험기관으로서의 국제적 신뢰성을 유지해 나가야 할 것으로 사료된다.



(a) 분압기 (b) 분류기

(b) 광 전송장치 (d) 데이터 수집장치

그림 2. 대전력시험 측정시스템

[참 고 문 헌]

[1] IEC 60060-2(1994) "High-voltage test techniques part 2 : Measuring System"

[2] IEC 61083-1(2001) "Instruments and software used for measurement on high-voltage impuse test Part 1: requirements for instruments"

[3] STL Guide(1999) " Guide to establish traceability of high-voltage measuring systems used in high-voltage testing to national standards of measurement"

[4] IEC 62271-100(2001) "High-voltage switchgear and controlgear- Part 100 : high-voltage alternating-current circuit-breakers"

[5] Claudio Cherbaucich "Calibration of transient high voltage and heavy current measurimg systems" 1994

[6] C. Cherbaucich "calibration of high voltage and high power measuring system in testing laboratoris"

[7] STL Technical Report " Harmonisation of data processing methods for evaluating test quanities between test laboratories"

[8] 한국표준과학연구원 "측정불확도 평가 및 표현방법(전기분야)"

[9] 한국전기연구원 "초고압 대전류 표준 측정사업"