

대전력시험에서 고전압 측정시스템의 불확도 평가

서윤택*, 김맹현, 김대원, 정주영, 강영식
한국전기연구원

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

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

Abstract - In the high-power tests to be performed on electrical apparatus as switchgears, 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 introduces factors of uncertainty and describes estimation of uncertainty in high-voltage measuring system used in high-power testing LAB. 1 in KERI

사용되는 측정시스템은 하나의 신호가 얻어지는 동안에 다양한 형태의 전압이 측정된다.

표 1. 고전압측정시스템의 전체불확도

전압형태	불확도	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
	ripple	0.5	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

1. 서 론

무역의 자유화와 경제의 블록화 추세가 세계적으로 이루어지고 있다. 이러한 추세에 대응하기 위하여 국가 간 시험성적서의 상호인정 협약이 추진되어 왔고, 금년 4월부터 상호인정협정 체결국간에 국가 간 시험성적서를 통용하기로 했다. 이에 따라 시험기관의 기술적 요건 중 측정 시스템의 신뢰성과 측정의 소급성을 유지하기 위한 측정 시스템의 불확도 요인이 시험결과와 신뢰성에 중요한 영향을 미치고 있으며, 시험성적서의 상호인정서 핵심요소로 부각되고 있다. 따라서 한국전기연구원에서는 측정시스템의 불확도 요인을 최소화 할 수 있는 방안을 강구하여 측정계통이 새로운 국제규격 요건을 만족하는 고전압센서, 대전류센서, 광 수송장치, 데이터수집 및 분석장치를 구축하였다. 이에 본 논문은 대전력시험에서 고전압측정시스템의 구성, 불확도 요소, 불확도 산출 및 평가에 관하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 대전력시험에서 고전압측정 시스템의 요건

국제표준화기구에서는 측정결과와 신뢰도를 측정불확도로 표기하도록 규정하고 있다. 1994년 고전압시험·측정시스템에 관련된 국제규격인 IEC60060-2를 전면 개정하고 측정시스템에 대해 전체 불확도와 평가방법에 관해 기술해 놓고, 1999년 STL(Short-Circuit Testing Liaison)에서 표 1과 같이 전압형태에 따른 전체불확도를 제시하고 있다. 고전압실험실에서의 고전압시험은 교류전압, 뇌충격, 개폐충격 및 직류전압시험으로 구분되어 있고, 전압파형의 형태에 따라 별도의 분압기를 사용하여 측정한다. 그러나 대전력시험에서는 그림 1과 같이 차단기 단락시험의 경우 차단기의 차단시점에서는 고주파의 과도전압이 발생되고 차단 후 반사이클 후에는 상용주파회복전압이 인가된다. 또 진상소전류차단시험의 경우 차단후 부하측은 직류전압이 유지되고 전류측은 상용주파회복전압이 인가된다. 그리고 차단기의 차단 전류 영점주위의 상호 작용 구간에서는 아크가 발생함으로 측정의 정확도, 신뢰도, 안정도가 요구된다. 이와 같이 고전압시험에서와는 달리 대전력시험에

따라서 대전력시험에 사용되는 측정시스템은 직류전압에서부터 수 MHz까지의 영역에서도 측정이 가능하여야 하고 매우 강한 전자기계의 교란에도 내성을 가져야 한다. 하지만 대전력시험에서의 고전압측정시스템의 불확도 산출방법에 대해서는 규격에서 아직까지 규정해놓지 않고 있다. 그리고 새로 개정된 고압교류차단기 규격인 IEC 62271-100(2001)에서 측정시스템의 불확도를 전압 전류에 대해 ±5%로 요구하고 있다.

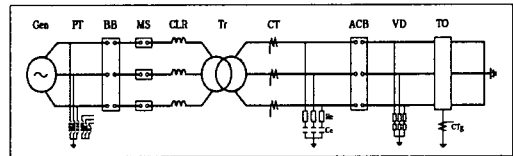


그림 1. 대전력시험 회로도

2.2 대전력시험에서 고전압측정 시스템의 구성

그림 2는 대전력시험의 고전압측정시스템의 구성도를 나타내었다. 고전압측정시스템은 일반적으로 3가지로 분류된다. 첫째는 고전압변환장치(분압기, PT), 둘째 변환장치와 측정기구간 전송장치(동축케이블, 광케이블), 셋째는 측정기구(데이터수집장치, 디지털 데이터처리)를 할 경우 분석소프트웨어도 포함된다)로 구성된다.

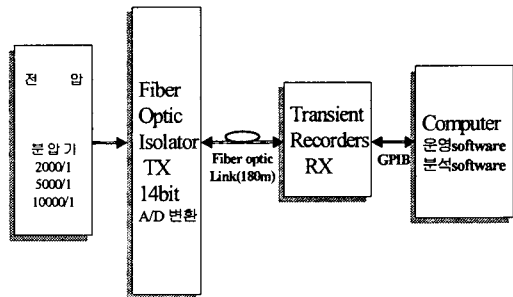


그림 2. 대전력시험에서 고전압측정시스템의 구성도

2.2.1 분압기

STL 가이드에서 1994년 11월 이전에 제작된 분압기의 경우는 예외가 인정되지만 개정된 IEC 60060-2에 따라 스케일 요소(scale factor)의 결정, 선형성 시험, 단기간안정성 시험, 온도효과 및 근접효과에 대한 시험을 권장하고 있다. 공인시험기관인 한국전기연구원의 대전력시험실에서는 측정시스템의 신뢰성 확보를 위해 설치 조건 및 현실적으로 위의 권장시험을 할 수 없는 분압기에 대해 아래와 같은 사양으로 새로운 분압기를 구매 및 설치하였다.

대전력시험에 사용되는 분압기는 직류에서부터 수 MHz 가지의 주파수영역까지 측정가능한 분압기여야 한다. 따라서 그림 3에서와 같이 응답시간이 빠르고 직류전압부터 고주파전압까지 측정할 수 있는 제동저항 부차 저항 캐패시터 분압기(RCR)를 사용하였다.

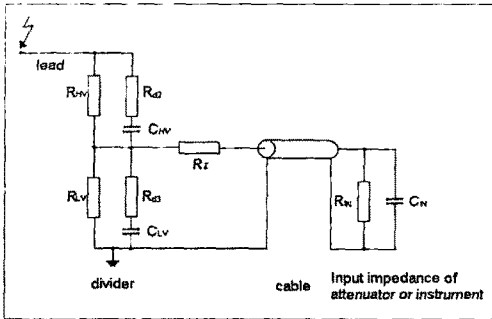


그림 3. 분압기의 구성도

표 2. 분압기의 정격

분압기 형식	정격 전압			
	DC (kV)	AC (kV)	SI (kV)	LI (kV)
RCR 800	540	340	650	800
RCR 600	400	250	500	600

2.2.2 데이터전송 및 수집장치(DAS)

표 3. 데이터 수송 및 수집장치의 사양

사양	특성	
아날로그	입력범위	±100mV to ±100V in 1, 2, 5 step
	주파수대역	≥ 5MHz@-3db
	입력 임피던스	1 MΩ, 80 pF@ Full Scale ≤ +5 V 1 MΩ, 60 pF@ Full Scale ≥ +10 V
아날로그/디지털 변환	수직분해능	14 bits(0.006 %)
	실질비트수	9.5 bits (전체 스케일의 90%에서 측정시)
	Time base Accuracy	100 ppm(0.01 %)
광전송	Digitizing Rate	최대 : 0.1 μs/point(10MS/s) 최소 : 1 sec./point(1 S/s)
	Transfer Rate	240 MBit/sec.
전체사양	Attenuation	3 dB/km max.
	Gain Stability	30 ppm/°C
	Offset Stability	30 ppm/°C
	DC Inaccuracy	0.1 % of Full Scale

분압기의 2차 유니트(secondard unit)에서 검출된

전기신호는 광전송장치에 의해 수집장치로 송신된다. 광전송장치는 전기잡음과 간섭을 방지하기 위해 3중 실드로 구성되어 있고, 시험실과 측정제어실의 원거리로 인한 광 손실의 영향을 없애기 위해 14비트의 A/D변환기를 거쳐 디지털신호를 광전송 시스템을 통하여 데이터 수집장치로 전송된다. 수집된 시험데이터는 GPIB를 통해 컴퓨터로 입력되어 수치연산을 통해 분석되고 그 결과는 화면에 나타나며 프린터를 통해 출력된다. 데이터 전송 및 수집장치의 사양은 표 3과 같다.

2.3 불확도 산출

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

2.3.1 분압기의 불확도

새로 구입한 RCR-800 분압기 3대와 RCR-600 분압기 6대를 규격 IEC60060-2에 따라 불확도 평가를 실시하였다. 그 중 대표적으로 RCR-600 분압기 한 대를 단락시험의 교류복합전압측정을 가정하여 불확도를 산출하려고 한다.

검 · 교정성적서에 표기된 사항은 다음과 같다.

- 온도효과
20°C ± 20 K에서 1×10^{-3}
- 단기간안정성시험
허용범위의 DC, AC에서 2×10^{-3}
- 근접효과
 5×10^{-3}

위의 영향을 고려하고 포함인자 K=2에서 확장 불확도는 표 5와 같다.

표 4. Scale factor

Scale factor의 정격	직류전압	교류전압	뇌임펄스전압
2000	2006	2000	2030
5000	4991	4977	5070
10000	10066	10092	10121

표 5. 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 %

2.3.2 데이터전송 및 수집장치(DAS)의 불확도

디지털 데이터 전송이 사용되고, 아날로그/디지털 변환기, 광 전송 및 기록계가 IEC61083-1(2001)의 요구조건을 만족하는 하나의 시스템을 형성할 때 광전송시스템에 대한 형식시험은 불필요하다. 따라서 교정성적서에는 하나의 시스템으로 불확도를 표 6과 같이 표

기하고 있다.

표 6. 최대 DC Inaccuracy

Max. DC Inaccuracy(% , Full Scale)	
전압 Range	불확도
0.2	3.1 ppm
0.4	3.9 ppm
1.0	6.3 ppm
2.0	10.5 ppm
4.0	18.5 ppm
10.0	42.5 ppm
20.0	152 ppm
40.0	272 ppm

디지털 측정장치의 경우 수직오차와 수평오차로 구분된다. 수직오차는 이득(Gain)과 오프셋(Offset)오차의 전체를 표시하며 이를 보통 DC inaccuracy로 표기하며 이는 주파수성분이 DC 혹은 매우 느린 신호에 대한 값이다. 실제로 매우 빠른 주파수를 측정시 harmonic distortion, differential nonlinearity, aperture jitter, noise 등의 요소에 의하여 실질분해능은 낮아지며 이를 보통 Dynamic Accuracy라고 한다. Dynamic accuracy는 실질 비트수(Effective number of bit)로 표시한다.

2.4 불확도 평가

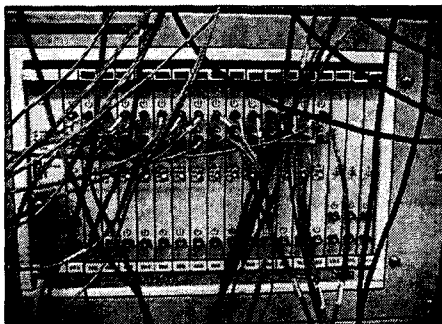
본 논문에서는 B-Type 불확도의 인자를 근거로 단락 시험시 차단기에 인가되는 교류회복전압에 대하여 불확도를 평가하고자 한다. 분압기의 경우 성적서상에 온도 효과, 단기안정성시험 및 근접효과에 영향을 고려하고 포함인자 K = 2에서의 확장불확도가 0.80 %이므로 표준불확도는 $\frac{0.80\%}{2} = 0.40\%$ 이다.



(a) 분압기



(b) 광 전송장치



(c) 데이터 수집장치

그림 4. 대전력시험 측정시스템

데이터전송 및 수집장치로 교류전압을 측정할 경우 교정 성적서상에 표기된 최대 DC Inaccuracy의 불확도를 사용하지 않고 보다 불확도가 높은 실질 비트수인 9.5 비트를 사용하면 수직분해능이 $\pm 0.28\%$ 로 나타난다.

이것을 직사각형분포로 계산하면 $\frac{0.28\%}{\sqrt{3}} = 0.16\%$ 의 표준 불확도를 갖는다.

표 7. 측정시스템의 표준 불확도

불확도 인자(B-Type)	표준 불확도
분압기(교류전압)	0.40 %
데이터전송 및 수집장치	0.16 %

표 7을 k = 2에서의 확장불확도로 표시하면 다음과 같다.

$$U = 2 \times \sqrt{0.40^2 + 0.16^2} = 0.86\%$$

따라서 대전력시험에서 고전압 측정시스템의 불확도는 교류전압을 측정 할 경우 신뢰구간 95.45 %인 포함인자 k = 2에서 확장불확도가 0.86 %이다.

3. 결 론

대전력시험에서 시험의 측정결과와 피시험품의 성능을 평가하는데 아주 중요한 요소이다. 측정결과와 신뢰성은 대전력시험의 측정시스템에 사용되는 측정장치의 신뢰성에 의해 좌우된다. 그리하여 한국전기연구원에서는 수년간 꾸준히 측정시스템의 불확도 요인을 최소화 할 수 있는 측정시스템을 구축하였다. 따라서 이번 논문에서는 대전력시험에서 고전압 측정시스템의 불확도 요인을 분석하고 평가하여 고압교류차단기의 국제규격인 IEC 62271-100 에서 규정한 시험전압의 측정불확도 $\pm 5\%$ 에 충분히 만족하는 측정시스템을 확보하게 되었다.

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

(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 impulse 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 Cherbauchich "Calibration of transient high voltage and heavy current measuring systems" 1994
- (6) C. Cherbauchich "calibration of high voltage and high power measuring system in testing laboratoris"
- (7) STL Technical Report " Harmonisation of data processing methods for evaluating test quantities between test laboratories"
- (8) 한국표준과학연구원 "측정불확도 평가 및 표현방법(전기 분야)"