

시험소 충격전압 측정시스템의 소급성검토

허 중 철\* 최 의 손\*\* 정 주 영\* 반 석 곁\*\* 박 정 후\*  
 한국전기연구원\*\* 한국전력공사 송변전처\*\* 부산대학교\*

Review of the traceability of impulse voltage measuring system in test laboratory

J. C. Heo\*\* I. S. Choi\*\* J. Y. Jeong\*\* S. G. Ban\*\* J. W. Park\*  
 KERI\*\* KEPCO Busan National Univ.

**Abstract** - For lightning and switching impulse voltage performances in laboratories, impulse voltage measuring system, which is consisted of voltage divider, recording instrument and connecting system between divider and recording instrument, is used. In order to show reliability of test result in test laboratory, traceability of these measuring system to be using in test laboratory is needed. In this paper, we describe traceability and uncertainty of impulse voltage measuring system in test laboratory.

2. 본 문

2.1 충격전압측정시스템의 구성

충격전압측정시스템은 그림 1과 같이 ①전압 측정용 분압기, 분압기와 기록장치 사이의 연결 시스템 및 ②기록장치등으로 구성되어있다.

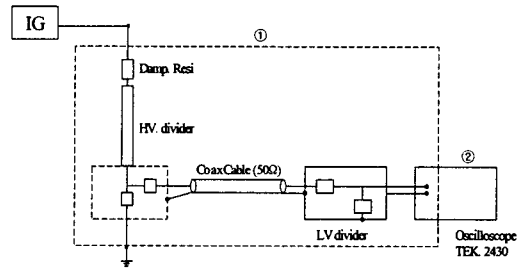


그림 1 충격전압측정시스템의 구성회로

1. 서 론

초고압 전력기기의 뇌격에 의한 뇌서어지나 차단기, 단로기등의 개폐시 발생하는 개폐서어지에 대한 절연 성능검증을 위해서는 충격전압 발생장치로 부터의 발생전압을 분압기, 기록장치 및 분압기와 기록장치의 연결시스템으로 이루어지는 충격전압 측정시스템을 이용한다. 또한 이들 측정시스템으로부터 얻어진 측정의 결과에 대한 고 신뢰성을 얻기 위해서는 측정시스템의 소급성(Traceability)을 확보하는 것이 필요하다.

여기서 소급성은 시험소가 보유하고 있는 측정시스템의 불확도, 즉 측정의 정밀도를 확인하기 위해 비교·교정 시험을 통해서 직접 또는 간접적으로 국가 또는 국제표준과 관련시키는 것을 의미한다[1]

또한 IEC60060-2(1994) 및 Amendment 1(1996)-High-voltage test technique, part 2-measuring system 및 STL guide에서도 고전압 측정의 국제표준화를 위하여 시험소 측정시스템에 대해 국제 또는 국가 표준에 의한 소급성 확보절차를 제시하고 있다.

전압파형	RMS		AMS	
	과고치	시간	과고치	시간
- 전파(LI)				
- 파미재단파(LI)	≤±1%	≤±5%	±3%	≤±10%
- 개폐충격(SI)				
파두재단파(LI) (2μs > Tc ≥ 0.5μs)	≤±3%	≤±5%	±5%	≤±10%

표1 충격전압측정시스템의 불확도 요건

따라서 본 연구에서는 전기연구원 이 호주 연방연구소(CSIRO)와의 국제비교를 통해 소급성을 확보한 뇌충격 전압용 기준측정시스템(RMS)과 고전압 시험실에서 보유하고있는 승인측정시스템(AMS)의 비교시험등에 의한 소급성 확보 및 불확도의 산정에 대해서 언급한다..

2.2 불확도 평가에 필요한 시험의 종류

측정시스템에 불확도 평가에 관계되는 시험의 종류는 다음과 같다.

- 1) Scale factor의 측정
  - 분압기의 고압 및 저압저항의 요소들의 측정 또는 dc전압을 인가하여 측정한다.
  - 단기안정성시험(B Type 불확도)
  - 장기 안정성(Scale factor의 변동)
- 2) 고전압 비교시험
  - 측정시스템의 정격전압의 20%이상 또는 200kV 이상
  - 비직선성시험
  - 온도효과시험
  - 근접효과시험
- 3) 간섭시험
- 4) 직각파 응답시험

2.3 Scale factor의 결정

분압기 Scale factor의 결정은 DC전압 인가에 의한 방법과 비교시험을 통한 2가지 방법으로 측정하였다.

2.3.1 DC전압 인가에 의한 SF결정

그림2와 같이 뇌충격 측정시스템을 설치한 상태에서 정밀급 AC/DC Wideband calibrator를 이용하여 DC 300V, 500V, 700V, 1000V를 인가하였을 때 Scope의 출력전압을 측정하여 Scale factor를 측정하였다.

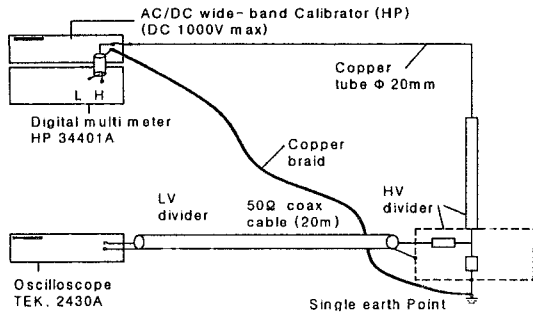


그림 2 DC 전압인가에 의한 SF 결정.

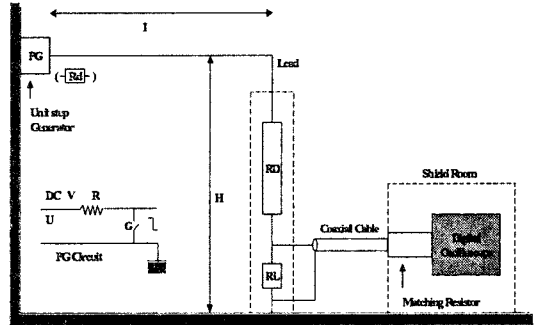


그림3 직각과 응답특성 측정회로

### 2.3.2 비교시험에 의한 SF결정

호주 연방연구소(CSIRO)의 기준측정시스템과의 국제 비교를 통해 소급성이 확보된 뇌충격전압에 대한 KERI 기준측정시스템(RMS)과 고전압 시험실에서 보유하고 있는 비교시험대상 측정시스템과 그림3과 같이 설치한 상태에서 측정scope는 RMS의 Scope를 사용하여 비교시험을 실시하였다.

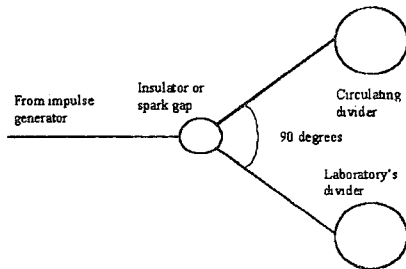
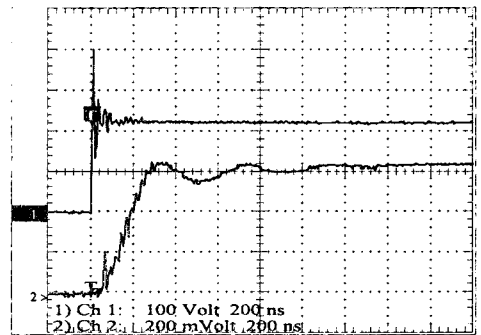


그림3 비교시험회로

그림4는 비교대상 분압기의 직각과 입력전압 및 응답특성을 나타내었다.



\* CH1:unit step wave, CH2:Response wave

그림 4 R600 직각과 응답특성파형

시스템	주요사항
RMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>LI divider : KERI, KERI-RLI700</li> <li>Damping resistor : KERI, RDRI-200</li> <li>Measuring cable : CARLI700, 75 Ω, Length 30 m</li> <li>Attenuator : KERI, Atten RLI 700</li> <li>Digitizer : Tektronix TDS 540C</li> <li>Measuring software : CSIRO, KERICSIRO</li> </ul>
AMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type ; 600 kV Resistive Voltage divider (R600)</li> <li>Serial No ; 550458</li> <li>Cable ; co-axial, 50 Ω, 25m</li> <li>Measuring system ; TR-AS 100 -10/2</li> </ul>

표 1 KERI RMS와 비교대상 분압기의 시스템구성

### 2.3.3 직각과 응답특성

분압기의 직각과 응답특성을 확인하기 위하여 그림5와 같이 분압기를 설치한 상태에서 Unit step 발생기(PG)를 이용하여 상승시간이 5ns, 입력전압이 300V의 직각파를 비교대상 분압기에 인가하였을 때 직각과 응답특성을 확인하였다.

### 3. 시스템 불확도산출

측정불확도 산출을 위해 비교시험을 포함한 불확도 총괄을 표3에 나타내었으며, 이를 토대로 충격전압 측정시스템의 불확도를 산출하였다.

#### 3.1 측정의 수학적 모델

$$V = f(X_1, X_2) = k_1 \times V_1 \quad (1)$$

$V_1$  : Digital recorder 측정 전압

$k_1$  : 분압기(V.D)의 감쇄비(5141.6)

Digital recorder 최종 Display는 측정된 전압( $V_1$ )에 분압기의 감쇄비를 곱한 전압( $V$ )로 환산하여 표시된다.

#### 3.2 불확도 산출수식

측정하고자 하는 전압( $V$ )의 합성표준불확도  $u_c(V)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 u_c^2(V) &= \left(\frac{\partial V}{\partial V_1}\right)^2 u^2(V_1) + \left(\frac{\partial V}{\partial k_1}\right)^2 u^2(k_1) \\
 &= (C_1)^2 u^2(V_1) + (C_2)^2 u^2(k_1) \quad --(2)
 \end{aligned}$$

감도계수는 다음과 같다.

$$C_1 \equiv \frac{\delta V}{\delta V_1} = k_1 = 5146.5$$

$$C_2 \equiv \frac{\delta V}{\delta k_1} = V_1 = 29.17$$

### 3.3. 불확도 성분의 분석

측정하고자 하는 전압(V)의 합성표준불확도  $u_c(V)$ 를 구하기 위해 식(2)와 같이 각 성분의 표준불확도를 구한다.

$u(\overline{V}_1)$ : Digital recorder로 부터 전압  $V_1$ 을 1회 측정된 값이므로 무시

$u(V_{11})$ : Digital recorder 측정전압의 표준불확도로 교정성적서에서 CH1의 50-1600V Range에서 확장불확도는 신뢰수준 95%, K=2에서  $5 \times 10^{-3}$ 이다.

따라서 Digital recorder의 표준불확도는

$$\frac{(5 \times 10^{-3})}{2} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ 이고 자유도 } \nu_2 = \infty \text{가 된다.}$$

$u(\Delta V_{11})$ : Digital recorder의 분해능이  $2^{10}$ 이고 선택한 Digital recorder 입력범위가  $V_{range}(1600V)$ 일 경우 입력값을 최소 입력범위 30%로 맞추어 사용한다면 분해능에 의한 한계값은  $2^{-(N \cdot 0.3)}$ 이므로 아래와 같다.

$$u(\Delta V_{11}) = V_{range} \times 2^{-(N \cdot 0.3)} / \sqrt{3} = \frac{(1600 \times 2^{-(10 \cdot 0.3)})}{\sqrt{3}}$$

로  $0.86 \times 10^{-6}$ 으로 되고, 자유도  $\nu_3 = \infty$ 가 된다.

위의 값으로부터  $u(V_1)$ 를 구하면

$$u(V_1) = \sqrt{u^2(\overline{V}_1) + u^2(V_{11}) + u^2(\Delta V_{11})} \\ = \sqrt{(2.5 \times 10^{-3})^2 + (0.86 \times 10^{-6})^2} = 2.5 \times 10^{-3}$$

전압에 대한 유효자유도  $\nu_{eff} = \infty$ 가 된다

2)  $u(k_1)$ : 분압기(V.D)는 감쇄비( $k_1$ )를 갖고 있으며 감쇄비에 대한 불확도는 비교시험을 통해 Scale factor, 직선성, 및 기준분압기의 교정불확도를 포함한 확장불확도는 1.12%(신뢰도 95%, K=2)로 표준불확도를 구하면

$$\frac{1.12\%}{2} = 0.56\% \text{가 된다.}$$

따라서  $u(k_1) = 5141.6 \times 0.0056 = 28.79$ 이 되며,

(자유도  $\nu_3 = \infty$ 로 된다.

### 3.4 시험전압의 환산

$$V = f(X_1, X_2) = k_1 \times V_1 = 5141.6 \times 29.17 = 149.98kV$$

따라서 전압 측정시스템에 대한 합성표준불확도는

$$u_c(V) = \sqrt{\left(\frac{\delta V}{\delta V_1}\right)^2 u^2(V_1) + \left(\frac{\delta V}{\delta k_1}\right)^2 u^2(k_1)} \\ = \sqrt{(C_1)^2 u^2(V_1) + (C_2)^2 u^2(k_1)} \\ = \sqrt{(5141.6)^2 (2.5 \times 10^{-3})^2 + (29.17)^2 (28.79)^2} = 840V$$

유효자유도  $\nu_{eff} = \infty$ 가 된다.

### 3.5 확장불확도

확장불확도는 유효자유도가  $\infty$ 이므로 표-1 t-분포표에서 신뢰수준 95%인 포함인자  $k=2$ 를 구한다.

$$U = k \times u_c(y) = 2 \times 840V = 1680V$$

따라서 시험전압의 불확도 표시는

$$U = 149980V \pm 1680V \text{ (} k=2, \text{ 신뢰구간 : 95\%)}$$

와 같이 표시된다.

### 4. 결론

연구원이 보유하고 충격전압용 기준측정시스템(RMS)과 성능평가에 사용되는 측정시스템과의 비교시험등 소급성 확보를 대해 검토하였으나 이번 불확도 산출에는 온도효과 및 장기 안정성등의 주요 기여요소들을 반영하지 못했다.

측정결과와 고신뢰성을 유지하기 위해서는 측정시스템을 구성하고 있는 요소들의 사용환경 및 사용조건에 대한 요소들이 고려되어야 할것으로 생각된다.

### [참고문헌]

- [1] "高電壓試驗所 認定制度と 所内 Impulse 電壓測定 System の 性能 評價" 日本電力中央研究所 No. T99903- 平成 11年 10月
- [2] "High-voltage test technique" Part 1 : General definition and test requirement, Publication IEC60060-1, 1989
- [3] IEC 60060-2, Amendment, High voltage test techniques, Part 2 : Measuring system, 1994.

### 불확도 총괄

불확도 성분	종류	불확도		감도 계수	확률 분포	자유도
		표준	합성			
계측기	반복측정	A	무시	C1	t	n-1
	교정 성적서	B	0.0025		직사각형	$\infty$
	분해능	B	$0.86 \times 10^{-6}$		직사각형	$\infty$
분압기	비교시험	B	0.012	-	비대칭 직사각형	$\infty$

