

500 kV 개폐충격전압시스템의 비교시험

김익수, 김민규, 정주영, 문인욱  
한국전기연구원

Intercomparison Tests of National Standard Measuring System  
for Switching Impulse Voltage rated 500 kV

I. S. Kim, M. K. Kim, J. Y. Jeong, I. W. Moon

KERI

**Abstract** - This paper represents the development of national standard(NS) for switching impulse(SI) voltage measuring system rated 500 kV. A traceability of the NS to the international standard could be achieved by the intercomparison test with CSIRO of Australia. According to the IEC 60060-2, a measurement uncertainty was assessed. As a result of the tests, a measurement uncertainty and step response characteristics were satisfied with the requisite for NS.

1. 서 론

전력계통에 있어서 절연사고를 경감하기 위하여 전력계통을 구성하는 전기기기 및 그 외의 공작물의 절연이 장기간에 걸쳐 상시 운전상태에서 정상 전압 외에 지속성의 과전압(temporary overvoltage)에 대해서도 충분한 절연내력(dielectric strength)을 가져야 한다. 더구나 이러한 절연은 전력계통에서 발생하는 개폐서어지(switching surge) 및 뇌서어지(lightning surge)등의 과전압에 대해서도 피뢰기등의 보호장치(protective device)와의 협조를 근거로 하여 견뎌야 한다. 절연강도는 전기기기 및 그 외의 전기공작물의 제기능중에서 가장 중요하며, 절연상 결함이 있으면 그 기기 및 공작물은 파괴에 이르게 하는 척도가 된다. 절연시험의 목적은 장기간의 운전전압에 대하여 전기기기 및 전기공작물이 절연기능을 충분히 발휘하고, 또 과전압이 인가되어도 유해한 부분방전 및 절연물체에 대한 손상이 발생하지 않는 것을 검증하는 것이다. 실제로는 154 kV급까지 BIL(bias impulse level)에 의해서 기기의 절연강도가 선정할 기준 level에 있는 것을 확인하고, 보호기기에 의하여 적절한 보호가 되도록 선정하므로써 절연협조가 이루어지고 있다. 그러나, 계통전압이 더욱 높아지면, 개폐 충격전압이 더 중요한 요소로 작용하고 있다고 알려져 있다. 개폐 충격전압시험은 운전중 계통에 발생하는 개폐서어지를 모의한 전압파형으로써 행하고, 그 목적은 전력계통의 개폐작용에 기인한 과도적인 이상전압에 대해서도 기기가 충분한 절연강도를 가지고 있는가를 검증하는 데 있다.

한편, 이러한 개폐 충격전압시험을 정확하게 행하기 위해서는 시험전압의 발생 및 측정기술에 대한 충분한 지식과 경험이 중요하다. 특히 후자의 측정분야에 있어서 기술의 진보에 의하여 분압기(voltage divider)의 성능 및 측정 정도에 대해서 더욱 엄격한 정확성을 요구하고 있다.

본 논문에서는 개폐충격전압의 국가표준 측정기술 개발에 관한 연구를 수행하여 오스트레일리아 국가표준연구기관인 CSIRO와 비교시험을 행한 내용을 소개한다.

2. 본 론

2.1 개폐충격전압 측정시스템의 구성

2.1.1 구성요소

개폐충격전압 측정시스템의 구성은 그림 1과 같으며, 5개의 구성요소로 이루어진다.

- 전압 분압기 (Voltage divider)
- 기록장치 (Recording instrument)
- 분압기와 기록계를 상호 연결하는 전송케이블 (Transmission cable)

- 분압기 상부에서 시료의 고압 단자를 연결하는 전압 인가 리드 (Lead)
- 분압기의 접지부에서 시료의 접지까지 연결하는 접지선 또는 접지판

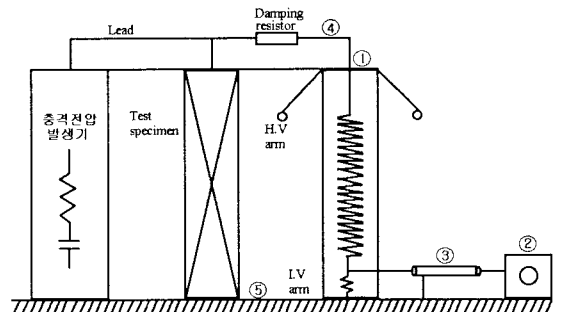


그림 1. 개폐충격전압 측정시스템의 구성. (①Divider, ② Oscilloscope, ③Cable, ④Lead, ⑤Earthing plate)

2.1.2 개폐충격전압 측정용 표준분압기

고전압 국가표준 측정기술 개발을 위하여 시 제작된 500 kV급 개폐충격전압 측정용 표준 분압기(Model : KERI 500kV SI(NS), Serial No : M40271)는 그림 2와 같다. 분압기 본체의 높이는 2.5 m이며, 고전압부는 200 kΩ의 무유도 저항을 절연 튜브 내에 봉입하여 고전압 인가부 철드에 고정하고, 고압저항 주위에 3개의 절연봉을 설치하여 고전압부의 주변 전계 완화를 위한 설드를 지지할 수 있는 구조로 설계하였다. 저전압부는 약 75 Ω의 저항 값이 되도록 300 Ω의 저항을 방사상으로 병렬 접속하여 구성하였다.

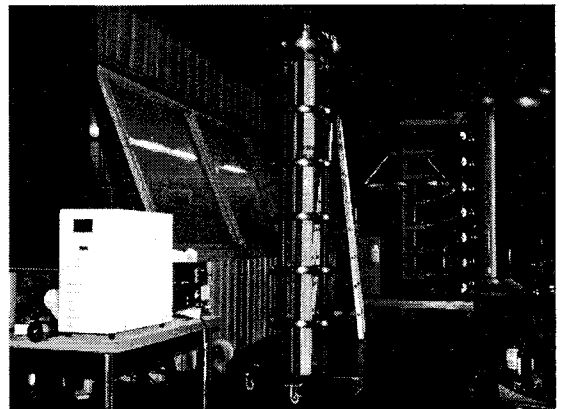


그림 2. 시 제작된 500kV 개폐충격전압용 분압기의 전경

## 2.2 특성 평가

IEC 60060-2에서는 개폐충격전압 측정시스템에 대해 다음 두 가지 특성평가 방법을 규정하고 있다.

- ① 기준 측정시스템과의 비교시험에 의한 특성 평가
  - ② 직각과 전압 응답시험에 의한 특성 평가
- IEC 60060-2는 ①의 방법을 표준적 방법으로 추천하며, ②의 방법은 기준 측정시스템이 없는 경우 ①의 방법을 시행할 수 없을 때 사용하도록 하는 대체 방법이다.

### 2.2.1 국제 비교시험

그림 3은 비교시험을 위한 개략도를 나타낸 것이다. 충격전압 발생기로부터 전압 인가 리드 선은 절연물이나 커패시터의 상단부에 연결되어야 하며, 재단 갭으로 절연물을 대체한다면 커패시터와 병렬로 연결한다. 전압인가 리드 선은 가능하면 넓고 짧은 것이 좋으며 접지선은 구리 또는 알루미늄 재질의 폭 1 m의 Y자 형태의 접지판을 양쪽 분압기에 절연물/커패시터/재단 갭으로 연결하고 충격전압 발생기의 접지 단까지 접지 귀로 형성되게 하는 것을 추천하고 있다.

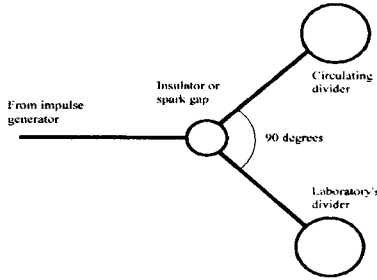
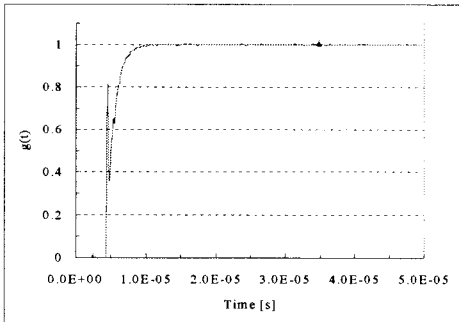
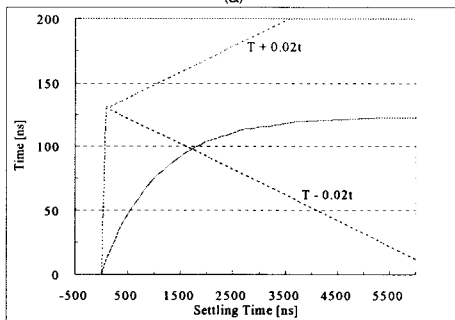


그림 3. 비교시험의 개략도



(a)



(b)

그림 4. 직각파 응답특성. (a)응답파형. (b)안정시간

### 2.2.2 직각파 응답특성 시험

IEC 60060-2에서 추천하는 직각파 응답특성 시험에 따라 수백 V의 직류전압 전원과 수는 릴레이로 구성된 직각파 전압 발생기를 이용하여 직각파 응답을 측정하였다. 그림 4(a)에 제동저항(463 Ω)이 있는 경우에 측정

한 직각파 응답특성 파형의 결과를 나타낸다. 그림 4(b)는 직각파 응답특성 해석 프로그램을 이용하여 계산한 결과며, 표 1에 응답파라미터를 분석한 것을 정리하여 나타내었다. 표 1에서 보는 바와 같이 표준분압기는 IEC 60060-2에 규정한 특성을 만족한다. 직각파 응답특성 시험에서 제동저항이 없는 경우의 응답특성은 응답의 초기 부분에만 진동성을 나타낼 뿐 특성값에는 별 변화가 없었다. 일반적으로 제동저항을 삽입하는 경우 저항 값이 커질수록 오버슈터는 작아지는 형태로 나타난다.

## 2.3 비교시험의 결과

### 2.3.1 구성요소의 scale factor 시험

500 kV급 개폐충격전압 측정시스템의 오스트레일리아 CSIRO 연구소와의 비교시험을 실시하기 전에 측정시스템의 각 저항요소를 측정하여 산출한 DC ratio는  $1.055 \times 10^4$ 이었다. 정극성 5점, 부극성 5점에서 각각 10회씩 전압을 인가하여 개폐충격 전압 파고치 및 시간장에 대한 불확도를 평가한 결과는 표 2 및 표 3과 같다.

표 1. 시 제작 국가표준분압기 직각파 응답 파라미터의 성능 (CSIRO연구소에서 실시한 결과 : 제동저항 유)

파라미터 (ns)		500 kV 측정시스템의 직각파 특성	IEC기준시스템 요구조건	목표치
실험응답시간	$T_N$	0.85 $\mu$ s	-	-
안정화 시간	$t_s$	2.9 $\mu$ s	$\leq 10 \mu$ s	3 $\mu$ s
부분응답시간	$T_a$	0.88 $\mu$ s	-	-
초기왜곡시간	$T_0$	0.00 $\mu$ s	-	-

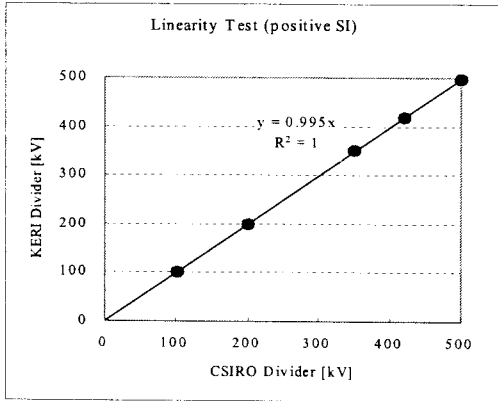
표 2. Scale factor 비교 (Peak voltage Up)

CSIRO Up [kV]	KERI		Difference [%]	Uncertainty [%]
	Dig. range	Up [kV]		
100.35	1 V/div	100.12	-0.23	0.5
200.65	2 V/div	200.65	-0.0	0.5
351.03	5 V/div	350.07	-0.28	0.5
421.72	5 V/div	419.66	-0.49	0.5
500.92	5 V/div	497.33	-0.72	0.5
-96.35	1 V/div	-79.9	-0.08	0.5
-197.34	2 V/div	-159.7	0.05	0.5
-347.08	5 V/div	-218.6	-0.04	0.5
-419.92	5 V/div	-268.3	-0.11	0.5
-501.06	5 V/div	-340.5	-0.26	0.5

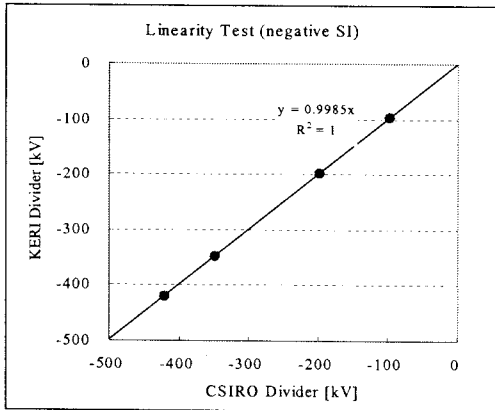
표 3. Time parameter 비교 (T1; 파두장, T2; 파미장)

Up [kV]	CSIRO[ $\mu$ s]		KERI [ $\mu$ s]		Difference [%]		Uncertainty [%]	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
100.35	254.87	2494.5	257.6	2491.1	1.05	-0.14	0.80	0.12
200.65	256.96	2499.5	257.67	2494.6	0.28	-0.20	0.87	0.05
351.03	261.11	2501.2	259.56	2480.7	-0.59	-0.82	0.93	0.08
421.72	258.96	2480.2	258.50	2456.8	-0.18	-0.94	0.81	0.06
500.92	257.93	2468.1	258.00	2445.6	0.03	-0.91	1.30	0.07
-96.35	253.57	2401.7	254.08	2395.6	0.20	-0.25	0.79	0.14
-197.34	254.89	2410.5	256.10	2399.1	0.48	-0.47	0.97	0.12
-347.08	255.34	2411.6	254.63	2402.0	-0.28	-0.40	1.05	0.21
-419.92	257.49	2423.7	257.25	2410.2	-0.09	-0.56	0.95	0.17
-501.06	257.04	2454.0	258.56	2440.7	0.59	-0.54	1.28	0.14

2.3.2 직선성 시험  
500 kV 이하의 개폐충격전압 정·부극성 5점에서 실시한 직선성 시험의 결과는 그림 5와 같으며, 정·부극성 모두에 있어서 정격전압까지의 전체 범위에서 직선성을 유지하고 있음을 알 수 있다.



(a) 정극성의 경우



(b) 부극성의 경우

그림 5. 직선성 시험 결과

### 2.3.3 시험결과분석

직각과 응답특성 시험은 비교시험을 행할 수 없는 경우에 하는 특성평가로 그 중요성은 덜하며, 결과는 IEC 규정에 언급된 목표는 달성하였으며, 그보다 훨씬 더 좋게 하려는 과제 목표치에도 달성된 것으로 사료된다. 오스트레일리아 CSIRO 연구소와의 비교시험을 정극성 5점, 부극성 5점에 대해 각각 10회씩 전압을 인가하여 비교한 결과, 정 부극성 10점에 대한 발생과형에 있어서 목표치인 0.5 %를 만족시키는 값이 나왔다.

### 3. 결 론

개폐충격전압의 국가표준 측정기술 개발에 관한 연구를 수행하여 IEC 60060-2에 적합한 특성을 갖는 측정 시스템을 개발하였으며 다음의 주요한 성과를 얻었다.

1. 500 kV급 개폐충격전압 국가표준 측정시스템에 관한 제작 기술을 확보하여 측정 불확도를 개선할 수 있는 발판을 마련하였다.
2. 오스트레일리아 CSIRO 연구소의 표준분압기와 500 kV급 쉴드 저항 분압기의 비교시험을 실시하였다. 그 결과 개폐충격전압의 측정기술에 있어서 국제 기준을 만족하고 있음을 확인하였으며, 소급성을 확립할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 60060-2, Amendment, "High voltage test techniques, Part 2 : Measuring system 1994".
- [2] K. Feser, "Update on IEC 60 - High voltage test technique", CIGRE 33-94 (WG 03) 14 IWD, pp121-128, Sept. 1994.
- [3] M. Aro, J. Hallstrom, et. al, "Intercomparison of impulse voltage measuring system at 600 kV level experience and practical problems", 8th ISH, No. 50.03, Sept. 1993.
- [4] T. R. McComb, R. C. Hughes, H. A. Lightfoot, K. Schon, "International intercomparison of HV impulse measurements system", IEEE trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp 906-915, April 1989.
- [5] Roelofs : Draft STL guide to establish traceability of high voltage measuring systems used in high voltage testing to national standard of measurement, CIGRE 33-95, IWD 21, 1995.