

뇌충격전압 국가표준 측정기술 개발

김민규, 정주영, 김익수
한국전기연구원

Development of National Lightning Impulse Voltage Standard Measuring Technology

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

KERI

Abstract - This paper represents the development of national standard (NS) for lightning impulse (LI) voltage measuring system rated 400 kV. A traceability of the NS to the international standard could be achieved by the intercomparison test with Helsinki University. 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

현제 전력계통에서는 교류, 직류 전압 1 MV, 전자 현미경에서는 3 MV, 가속기에서는 20 MV 정도의 고전압이 사용되고 있다. 고전압 전자기기는 계속에 의존하는 부분이 현저히 많은 기술로서 소재의 특성에서 완성품의 내전압 시험, 실사용 중의 기기에 대한 열화의 판정 등 일련의 계측기술과 밀접한 관계를 맺고 있다. 따라서 보다 정밀하고 넓은 scale의 계측, 표준측정기술은 기기의 설계, 제작, 시험에 대한 안전, 공정한 전력 무역 및 연구 개발에 필수적이다.

특히 충격전압 시험은 전자기기의 고전압시험이나 절연 설계, 전력계통의 절연협조, 뇌해 방지 등에 기본이 되는 중요한 시험이며, 상용시험 또는 연구개발시험으로서 행해지고 있다. 전력계통에 있어서 절연사고를 줄이기 위해 전력계통을 구성하는 전자기기 및 그 이외의 구조물은 절연성이 장기간에 걸쳐서 상시 운전상태의 정상전압 이외에 일시적인 과전압이나 전력계통에서 발생하는 개폐서지 및 뇌서지 등의 이상 과전압에 유지될 수 있는 충분한 절연내력을 가지고 있어야 한다. 절연내력은 전자기기의 많은 기능 중에서 가장 중요한 것으로 절연에 결함 없이 있게 되면 그 기기는 수명 한계에 이르게 된다. 절연 시험의 주목적은 장기간의 운전전압에서 전자기기가 충분한 절연기능을 발휘하고 또한 과전압이 인가되었을 때 절연물에 손상이 발생하지 않는 것을 검증하는 것이다. 이러한 시험 결과의 신뢰성은 시험전압의 측정 정확도에 의해 크게 좌우되기 때문에 측정기술에 관한 많은 시험 연구가 행해져 왔다.

전기 분야의 기초 표준으로 조셉슨 효과에 의한 전압 단위인 볼트(V)의 표준치 결정이 실현되었고 고전압의 경우는 1973년부터 1977년에 걸쳐 제정된 IEC 규격 (IEC pub. 60-1-4)가 이용되어 왔다. 그 중에서 먼저 60-1과 60-2의 규격이 통합되어 1989년에 새로운 표준규격 IEC 60060-1, part 1(High Voltage Test Technique)로 개정되었다. 계속해서 60-3과 60-4의 규격이 IEC 60060-2, part 2 (계측 시스템)로 제정, 발행되었다.

국내의 경우 기초표준에 대한 국제동일로 한국표준과 학연구원이 1 V, 1Ω에 있어서 0.2 ppm 정도로 교정이 가능하지만, 고전압 특히 충격전압은 전무한 실정이다. 일본의 경우, 전자기술 종합연구소에서 기초표준을 담당하고 일본전기기기 검정소에서 전자기술 종합연구소로부터 이전된 기초표준으로 표준기, 계측기를 교정하여 전기 관련 제반 양들의 표준을 유지함과 더불어 산업계의 교정의뢰에 용하여 표준의 제공을 담당하고 있다. 현재 고전압 시험의 요구를 만족하기 위하여 직류 200 kV, 교류 300 kV로 확장을 계획하고 있는 실정이다. 세계적으로 많은 국가에서는 단일의 연구소가 전체의

표준을 담당하고 있으나, 일본, 프랑스, 이탈리아 등의 국가가는 복수의 연구소가 분야마다 국가표준을 담당하는 경우가 있다. 국외의 고전압 교정에 대한 기관을 살펴보면, 유럽에서는 KEMA(네덜란드), CESI(이탈리아) 등 세계적으로 유명한 고전압-대전력 시험소가 EU의 통합에 따른 지역내 제품시장 개방정책의 기본인 상호 인정 조약의 체결에 따른 제품 평가를 충실히 수행하고 있다. 이에 대해 북미 경제지역 NAFTA 및 아시아-태평양 경제지역인 APEC은 그 뒤를 따라가고 있는 실정이며, 아시아-태평양 지역의 여러 나라가 이미 인정체도를 확립해 나가고 있다.

본 논문에서는 뇌충격전압의 국가표준 측정기술 개발에 관한 연구를 수행하여 IEC 60060-2에 적합한 특성을 갖는 측정시스템을 개발한 내용을 소개한다.

2. 본 론

2.1 뇌충격전압 측정시스템의 구성

2.1.1 구성요소

뇌충격전압 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

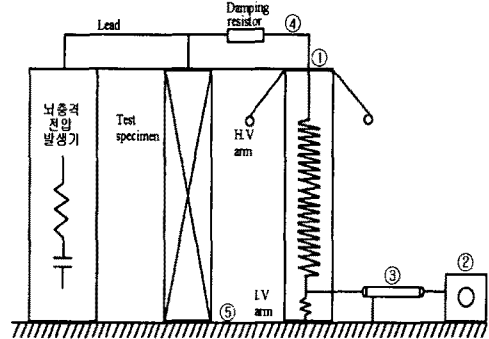


그림 1. 뇌충격전압 측정시스템의 구성. (①Divider, ② Oscilloscope, ③Cable, ④Lead, ⑤Earthing plate)

2.1.2 뇌충격전압 측정용 표준분압기 구성

고전압 국가표준 측정기술 개발의 제 1차적인 과제로 제작한 400 kV급 뇌충격전압 측정용 표준 분압기는 그림 2와 같다. 분압기 본체의 높이는 약 1.2 m이며, 고전압부는 약 2 kΩ의 무유도 저항을 절연 튜브 내에 봉입하여 고전압 인가부 쉴드에 고정하고, 고압저항 주위에 3개의 절연봉을 설치하여 고전압부의 주변 전계 완화를 위한 쉴드를 지지할 수 있는 구조로 설계하였다. 저전압

부는 약 10 Ω의 저항 값이 되도록 50 Ω의 합성저항을 방사상으로 병렬 접속하여 구성하였다.

2.1.3 뇌충격전압 측정용 국가표준 분압기 설계

그림 2에서 보는 바와 같이 전계 완화를 위하여 쉴드 링을 등간격으로 전극을 고압부 저항 주위에 원형 쉴드 링을 등간격으로 설치하였으며, 이러한 쉴드 링을 설치함으로써 고압부에 유출되는 쉴드 링과 쉴드 링간의 커패시턴스를 동일하게 유지하면서 분압기 고압부와 접지간의 표류 커패시턴스 감소를 위한 효과를 얻을 수 있다. 그림 3은 쉴드 링의 유무에 따른 분압기의 전계 분포를 해석한 결과이다.

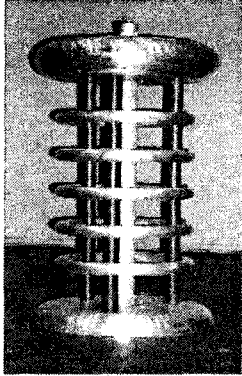
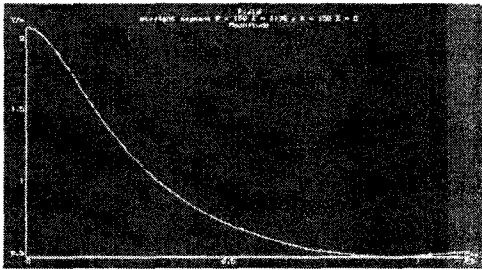
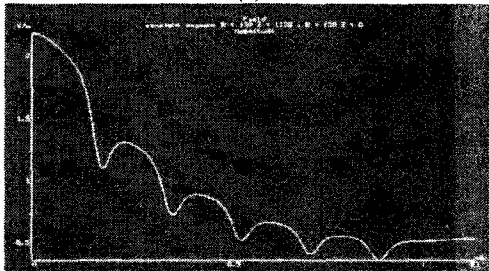


그림 2. 400 kV 뇌충격전압 측정용 표준 분압기



(a)



(b)

그림 3. 쉴드 링 유무에 따른 분압기 전계분포 해석
(a) 쉴드 링이 없는 경우, (b) 쉴드 링이 5개인 경우

2.2 특성 평가

IEC 60060-2에서는 뇌충격전압 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

(1) 헬싱키대학의 표준 측정시스템
표준 측정시스템은 그림 4에 나타난 바와 같이 고정된 입력단과 접지시스템을 갖는 쉴드 저항 분압기(HUT 400)와 접지선, 감쇄기 (attenuator), 동축케이블, digitizer(Nicolet PP610), 컴퓨터로 구성되어 있다. 측정시스템의 불확도는 파고치 Up; 0.5 %, 파두장 T1; 2 %, 파미장 T2; 1 %이다.

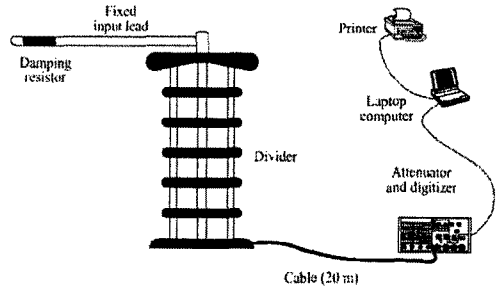


그림 4. 표준 측정시스템의 구성도

(2) 고전압 비교시험

그림 5는 비교시험을 위한 개략도를 나타낸 것이다. 충격전압 발생기로부터 전압 인가 리드 선은 절연물이나 커패시터의 상단부에 연결되어야 하며, 재단 갭으로 절연물을 대체하던지 커패시터와 병렬로 연결한다. 전압인가 리드 선은 가능하면 넓고 짧은 것이 좋으며 접지선은 구리 또는 알루미늄 재질의 폭 1 m의 Y자 형태의 접지 판을 양쪽 분압기에 절연물/커패시터/재단 갭으로 연결하고 뇌충격전압 발생기의 접지 단까지 접지 귀로가 형성되게 하는 것을 추천하고 있다.

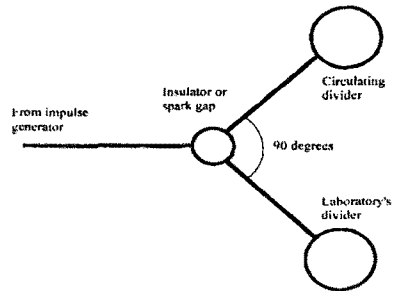


그림 5. 비교시험의 개략도

2.2.2 직각과 응답특성 시험

IEC 60060-2에서 추천하는 직각과 응답특성 시험에 따라 수백 V의 직류전압 전원과 수은 릴레이로 구성된 직각과 전압 발생기를 이용하여 직각과 응답을 측정하였다. 그림 6(a)에 제동저항이 없는 경우에 측정된 직각과 응답특성 파형의 결과를 나타낸다. 그림 6(b)는 직각과 응답특성 해석 프로그램을 이용하여 계산한 결과며, 표 1에 응답파라미터를 분석한 것을 정리하여 나타내었다. 표 1에서 보는 바와 같이 표준분압기는 IEC 60060-2에 규정된 특성을 만족한다. 직각과 응답특성 시험에서 제동저항이 없는 경우 오버슈터가 상당히 크며 진동하는 파형으로 나타내게 된다. 일반적으로 제동저항을 삽입하는 경우 저항 값이 커질수록 오버슈터는 작아지는 형태로 나타난다.

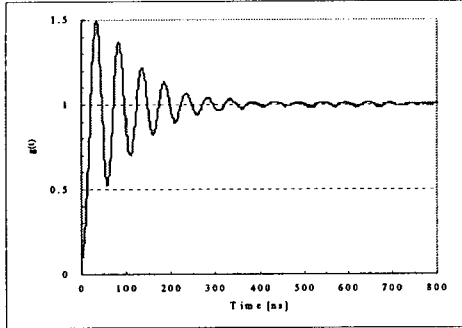
2.3 비교시험의 결과

2.3.1 구성요소의 scale factor 시험

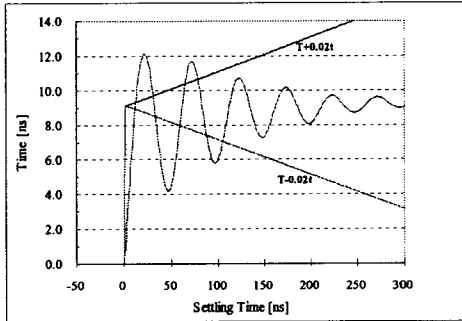
400 kV급 뇌충격전압 측정시스템의 헬싱키 대학과의 비교시험을 실시하기 전에 측정시스템의 각 저항요소를 측정하여 산출한 DC ratio는 5810.3였다. 뇌충격 전압 파고치 및 시간장에 대한 불확도를 평가한 결과는 표 2 및 3과 같다.

IEC 국제 비교시험을 주관하고 있는 핀란드 헬싱키 대학(HUT)과의 국제 비교시험을 정극성 5점, 부극성 5점에서 각각 10회씩 전압을 인가하여 비교한 결과, 발생 파형에 있어서 파고치 근방에 진동이 있는 3점에 있어서는 목표치인 0.5%를 약간 상회하는 0.6% 및 0.7%의 값이 나왔다.

이는 당 연구원에서 사용 중인 오실로스코프가 8 bit이므로, 이것에 의한 특성의 차이라 여겨진다. 향후 더 나은 정확도를 갖는 시스템으로 운용하기 위해서는 오실로스코프의 특성을 최소 10 bit로 할 필요가 있다.



(a)



(b)

그림 6. 직각파 응답특성. (a)응답파형, (b)응답시간

표 1. 직각파 응답 파라미터

파라미터 (ns)	400 kV 측정시스템의 직각파 특성	IEC 요구조건	비교 (HUT)	
실험응답 시간	제동저항유	7.77 및 8.57	≤15	7.92
	제동저항무	9.38		
안정시간	제동저항유	109 및 110	≤200	33
	제동저항무	131		
부분응답 시간	제동저항유	12.4 및 13.4	≤30	8
	제동저항무	9.89		

표 2. Scale factor 비교 (Peak voltage Up)

HUT HVI Up [kV]	KERI		Error [%]	Uncertainty [%]
	Dig. range	Up [kV]		
79.4	2 V/div	79.3	-0.1	0.5
159.3	5 V/div	159.2	-0.1	0.5
218.8	5 V/div	218.5	-0.1	0.7
269.2	5 V/div	266.7	-0.9	0.6
335.9	10 V/div	334.4	-0.4	0.5
-79.9	2 V/div	-79.9	-0.1	0.6
-160.2	5 V/div	-159.7	-0.3	0.5
-219.7	5 V/div	-218.6	-0.5	0.5
-269.7	5 V/div	-268.3	-0.5	0.5
-340.7	10 V/div	-340.5	-0.1	0.5

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

Up [kV]	HUT HVI		KERI		Error (%)		Uncertainty (%)	
	T1 [μs]	T2 [μs]	T1 [μs]	T2 [μs]	T1	T2	T1	T2
80	0.885	52.6	0.875	52.4	-1.2	-0.3	2	1
120	0.908	53.1	0.888	52.9	-2.2	-0.3	2	1
180	0.940	53.6	0.908	53.8	-3.4	-0.3	2	1
239	0.952	54.6	0.933	54.4	-1.9	-0.3	2	1
300	0.957	55.5	0.953	55.1	-0.4	-0.6	2	1
-81	0.879	52.3	0.872	52.5	-0.8	0.4	2	1
-122	0.885	52.8	0.876	52.9	-1.0	0.2	2	1
-181	0.925	53.6	0.889	53.8	-3.9	0.3	2	1
-240	0.926	54.2	0.896	54.3	-3.2	0.3	2	1
-300	0.927	55.1	0.904	54.9	-2.5	-0.4	2	1

2.3.2 직선성 시험

400 kV 이하의 뇌충격전압 5 지점에서 실시한 직선성 시험의 결과는 그림 7과 같으며, 정격전압까지의 전체 범위에서 직선성을 유지하고 있음을 알 수 있다.

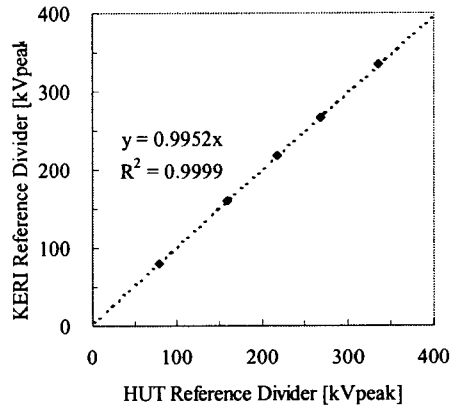


그림 7. 직선성 시험 결과

3. 결 론

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

- 400 kV급 뇌충격전압 국가표준 측정시스템에 관한 제작 기술을 확보하여 측정 불확도를 개선할 수 있는 발판을 마련하였다.
- 헬싱키 대학의 표준분압기와 400 kV급 쉴드 저항 분압기의 비교시험을 실시하였다. 그 결과 뇌충격전압의 측정기술에 있어서 국제 기준을 만족하고 있음을 확인하였으며, 소급성을 확립할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- IEC 60060-2, Amendment, "High voltage test techniques, Part 2 : Measuring system 1994".
- K. Feser, "Update on IEC 60 - High voltage test technique," CIGRE 33-94 (WG 03) 14 IWD, pp121-128, Sept. 1994.
- 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.
- 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.