

## 충격전압 재단과 측정을 위한 보상회로에 관한 연구

김익수<sup>0</sup>, 김영배, 김진기, 김민규  
한국전기연구소

### A Study on the Compensation Method in the Measuring System for Chopped Lightning Impulse

Ik-Soo Kim, Young-Bae Kim, Jin-Gi Kim, Min-Kyu, Kim  
Korea Electrotechnology Research Institute

#### Abstract

Lightning impulse voltage is essential to evaluate the insulation performance of electric power apparatus. Recently international standard (IEC-60) on high voltage measurement techniques are being revised. In the draft of this standard, a new calibration method is introduced and the accuracy of most industrial measuring systems is maintained by means of comparison test against the reference measuring systems.

Comparison tests of dividers for chopped lightning impulse measurement were carried out by KERI. The 700kV shielded resistive divider with and without compensation element were done comparison test with 300kV PTB divider which have the similar characteristics as that were circulated among the laboratories.

This paper reports on the calculation results of response characteristics obtained by EMTP and the comparison test results with chopped lightning impulse voltages from 150kV to 250kV. It is demonstrated that KERI are capable of realizing the idea in the revision of the IEC standard, that is, to establish traceability.

#### 1. 서론

변압기, 차단기, 예자 등의 전력기기는 전력계통에서 발생하는 각 종의 이상전압에 견딜수 있는 절연성능을 가져야 한다. 이상전압 중 특히 뇌격에 의한 것이 가장 가혹한 요소의 하나로 되어 이를 인공적으로 모의한 것이 충격전압시험이다. 따라서, 전력기기의 절연성능 평가에 있어서 뇌충격 전압시험은 필수불가결한 시험항목이며, 이 중 뇌충격 재단파 전압시험은 파 두 설각시험, 예자관통시험, 변압기의 재단파 시험의 항목으로써 절연특성 시험기술의 하나로 되어왔다. 송전선로에서 발생하는 뇌서지어의 크기는 각 국에서 검토되어 200 - 2500kV/μs의 전압준도로 보고되고 있다[1]. 각 국의 재단파 뇌충격전압은 일반적으로 2,500kV/μs를 채용하고 있고, IEC에서도 이 값을 기본으로 하고 있다[2]. 재단파 전압의 파형은 대단히 급준한 것이므로 측정이 곤란하다는 난점이 있으나, 시험의 신뢰성을 높히기 위하여 이에 대한 측정시스템의 해석 및 검토가 필요하다.

뇌충격 전압측정에 있어서 정도(精度)는 충격전압 분압기의 직각파응답 시험법과 함께 IEC(International Electrotechnical Committee)규격에 규정되어 왔다[3]. 국제적으로 비교조정 연구

는 독일을 중심으로 세계 각국에서 활발히 행해지고 있고, 추적성은 전압, 전류 등의 표준과 측정계의 정도를 가능한 비교시험에 의한 직접적인 방법으로 관계짓는다는 것이다[4-6].

본 논문은 뇌충격 재단파 전압에 있어서 쉘드저항 분압기 및 보상회로의 적용에 관하여 EMTP(Electromagnetic Transients Program)로 해석을 행하고, 실제로 보상회로를 추가한 측정시스템의 특성을 파악하기 위하여, 국제순회비교시험에 사용된 기준분압기와 특성이 유사한 분압기인 독일물리공학연구소(PTB)의 저항분압기를 기준으로 하여 뇌충격 재단파 전압 인가시의 특성을 비교하였다.

#### 2. EMTP에 의한 특성평가

대상으로 하는 700kV 쉘드저항분압기 고압측 저항선의 권선법은 인덕턴스가 가능한 한 적도록, 무유도 권선법(Ayrton-Perry권선법)을 사용하였으며, 표피효과와 온도상승을 고려하여 높은 저항률(133Ω-cm)과 낮은 저항-온도 계수(±20x10<sup>-6</sup>/C)를 갖는 저항선을 선택하였다. 저항소선의 화학적 구성은 니켈70%, 크롬21%, 알루미늄3%, 망간 및 기타 6%이다. 사용전압 700kV를 만족하도록 3조를 직렬로 연결하였다. 또한 저압측은 무유도 저항을 사용하였으며, 열용량 및 내전압을 고려하여 용량 3W, 2개를 직렬로 하였다. 또한 구성은 인덕턴스를 줄일 수 있도록 각 저항을 방사상으로 설치하였다. 그림1은 본 연구에서 사용된 측정회로를 나타내며, 그림2는 EMTP해석용 등가회로를 나타낸 것이다. 고압측은 저항체를 15등분으로 하여 저항(R<sub>1</sub>)과 인덕턴스(L<sub>1</sub>)의 직렬로 나타내었고, 각 등분간의 직렬 커패시턴스(C<sub>s</sub>), 대지간 커패시턴스(C<sub>d1</sub>), 쉘드링과의 커패시턴스(C<sub>b</sub>)를 분포정수회로로 갖는 것으로 하였다. 고압부 쉘드링의 대지간 커패시턴스(C<sub>d2</sub>)와 저압측의 저항체(R<sub>2</sub>와 L<sub>2</sub>의 직렬요소), 저압측 커패시턴스(C<sub>L</sub>)는 집중회로로 하였다. 그림3은 이 회로에 직각파 전압을 인가한 경우의 저압측의 인덕턴스 크기의 영향을 보인 것으로 측정에 있어서 양호한 특성을 가지기 위하여는 인덕턴스를 작게 하여야 함을 알 수 있다. 그림4는 500ns의 삼각파(이는 파두 재단파를 모의한 것임)인가시 보상회로 유무에 의한 특성을 나타낸 것이다. 보상회로는 저압측에 인덕턴스를 병렬로 추가한 것으로 직각파에 대하여 응답특성이 빠르게 구성된 것이다. 보상회로의 추가로 상승시간이 약 2% 개선됨을 알 수 있었다.

### 3. 비교시험

#### 3.1 비교시험 방법

비교시험은 그림5와 같이 기준분압기 A와 대상분압기 B를 대칭인 Y형으로 배치하여 실시하였다. 시료는 직경25mm의 표준 구경으로 구성하였고, 인가 전압파형으로서는 뇌충격 제단파로 하였다. 분압기의 출력전압은 정합저항을 겸한 감세기를 통하여 1대의 디지털 오실로스코프(Tektronix TDS 684A, 5GSamples/s, 8bit) 두 채널을 사용하여 동시에 측정된다. 또한 측정채널간의 오차를 검토하기 위하여 채널을 상호교차하여 측정하였고, 측정회수는 20회이상 실시하여 평균치를 측정지로 산출하였다.

#### 3.2 비교시험 결과

비교시험의 결과로 얻어진 각 자료는 다음의 식을 사용하여 오차를 계산하며, 측정 자료의 수가 10회 이상인 Student's t분포의 값으로 95% 신뢰성( $k \frac{s_r}{\sqrt{n}}$ ,  $k$ : Student's t분포의 t값)으로 평가를 하였다[7].

#### ① 측정값의 상대오차 ( $dU_i$ )

$$dU_i = \frac{U_A - U_0}{U_0} * 100 \quad [\%]$$

단,  $U_A$ : 측정값(대상분압기의 측정자료)

$U_0$ : 기준값(기준분압기의 측정자료)

#### ② 상대오차의 평균

$$\frac{dU}{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{dU_i}{U_i}$$

#### ③ 상대오차의 표준편차 ( $s_r$ )

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{dU_i}{U_i} - \frac{dU}{U} \right)^2}$$

그림 6은 뇌충격 제단파 전압에 대한 분압기A를 기준으로 한 분압기 B의 파고치 오차 $\delta U$  및 파두장 오차  $\delta T_i$ 의 평균치 및 95% 신뢰도의 값을 보상회로 유무시의 2경우에 대하여 나타낸다. 보상회로를 사용하지 않은 경우는 그림 6(a)에 나타난 바와같이 파고치 오차 $\delta U$ 는  $\pm 2.8\%$ 이내, 파두장 오차 $\delta T_i$ 는  $\pm 2.7\%$  이내의 값이었다. 보상회로를 사용한 경우는 그림 6(b)에 나타난 바와같이 파고치 오차 $\delta U$ 는  $\pm 2.5\%$ 이내, 파두장 오차 $\delta T_i$ 는  $\pm 2.1\%$  이내의 값이었다. 이 값은 IEC 기준인 파고치  $\pm 3\%$ , 파두장  $\pm 5\%$ 를 만족하는 값이다.

### 4. 결과 검토

EMTP 해석결과에 있어서 측정 분압기의 저압측 인덕턴스를 작게 한 경우가 직각과 응답특성의 오버슈트를 및 정정상간등이 양호한 결과를 나타냈다. 따라서 제단파와 같이 급격한 파형의 측정에 사용되는 분압기 저압측의 인덕턴스는 최소화하는 구조를 갖도록 방법을 취하여야 한다고 사료된다. 그리고 보상회로의 적용은 상승시간에 있어서 2%의 개선이 있음을 계산

결과 나타났다. 비교시험을 통하여서도 보상회로의 적용은 파두장 및 파고치에 있어서 오차를 감소시키는 효과가 있었다.

본 비교시험 분압기 2대는 모두가 크지 않았기 때문에, 측정예의 근접장해물 영향은 작다고 사료된다. 그렇지만, 대형 일반 분압기를 대상으로 하는 경우에 대비하여 근접장해물의 영향에 대해서 고려하여야 하며, 또한 보다 높은 정도를 요구하는 경우에는 보상회로의 적용에 있어서 보상회로의 장기간 특성, 디지털 계측기의 교정방법 및 잠음제거를 위하여 파형처리 방법등에 대하여도 향후 검토할 필요가 있다고 사료된다.

### 5. 결론

뇌충격 제단파 전압에 있어서 EMTP해석을 통하여 보다 특성이 우수한 방법을 모색하였고, 국제순회 비교시험을 실시한 독일PTB의 300kV급 분압기와 당 연구소가 시제작한 700kV 얼드저항 분압기와 비교시험을 실시하였다. 또한, 상승시간의 응답이 빠르도록 하는 보상회로를 추가함으로써 특성의 개선도 또한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 측정 분압기의 저압측 인덕턴스를 작게 하므로써 응답특성은 개선될 수 있다.
- (2) 보상회로의 추가로써 뇌충격 제단파 측정시 파두장 및 파고치의 오차를 줄일 수 있었다.

그러나 각기 다른 측정기 및 측정환경의 차이에 의한 측정 결과의 이산도를 한층 감소시키기 위하여, 측정자료의 보정등 비교시험의 기술확립에 보다 많은 연구를 수행할 필요가 있다. 또한, IEC규격을 만족하는 충분한 시험기술을 확립하기 위한 개폐충격 전압파에 대한 연구도 요구되고 있다.

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구 개발 사업의 연구결과와 일부입니다.

### 참고문헌

- [1] D. Kolker, "Insulator stresses by lightning", CIGRE SC33-80(WG01)14 IWD, 1980
- [2] AS2847.1-1989, "Insulators-Porcelain and glass for overhead power lines-voltages greater than 1000V a.c. Part I :test methods", 1989-5
- [3] IEC Committee Draft, "High Voltage Test Techniques Part 2 : Measuring Systems", TC 42 (S) 82, 1992
- [4] T.R.Comb, R.C.Hughes, et al., "International Comparison of HV Impulse Measuring Systems", IEEE Trans. Power Delivery, 4, No.2, 1989-4
- [5] A.Boamy, G.Rizzi, et al., "International comparison of HV Impulse Dividers", 7th ISH, Dresden, 61.07, 1991
- [6] J.Rungis, M.Ishii, Y.Cunyi and K.Schon, "Intercomparison of impulse dividers form PTB in Australia, Japan and China", 8th ISH, Yokohama, 1993
- [7] IEC TC42 (Secretariat)96, "Estimation for uncertainty in the measurement of assigned scale factor", April 1994

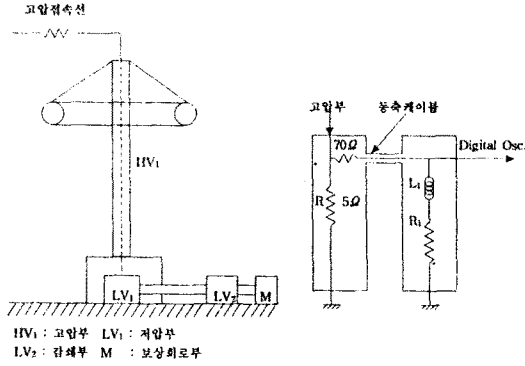


그림 1 뇌충격전압 측정시스템의 구성회로

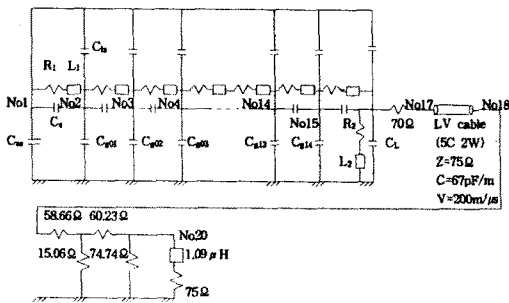


그림 2 측정시스템의 EMTP해석용 등가회로도

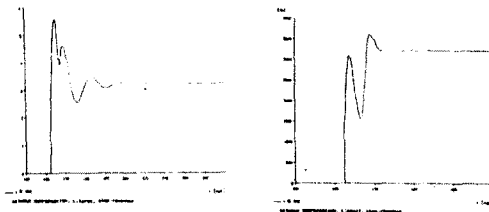


그림 3 인덕턴스의 크기에 따른 계산된 응답파형의 일례 (직각과 인가, 보상회로가 없는 경우)

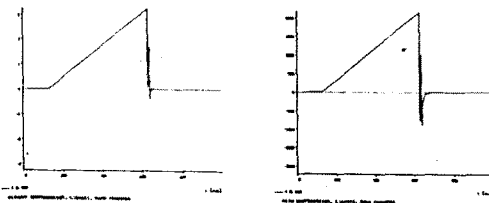


그림 4 보상회로 유무에 따른 계산된 응답특성의 일례 (500ns의 삼각파 인가시)

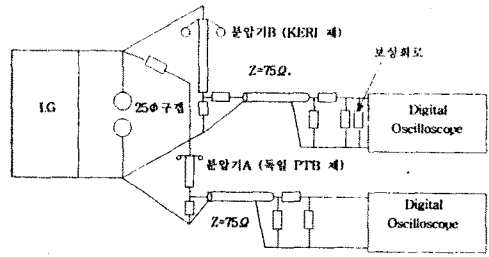
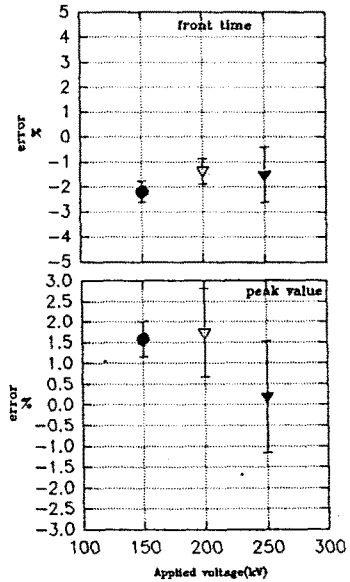
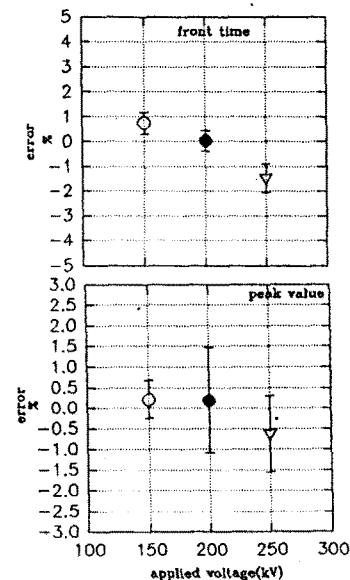


그림 5 뇌충격 제단과 전압의 비교시험 회로 구성도



(a) 보상회로 없는 경우



(b) 보상회로 추가한 경우

그림 6 보상회로 유무에 따른 제단과 특성결과