

개폐 충격전압 측정용 쉴드 저항분압기의 직각파 특성에 관한 연구

論 文

48C-12-5

A Study on the Step Response Characteristics in Shielded Resistor Divider for Switching Impulse Voltage

金 益 秀* · 李 亨 浩* · 曹 井 守** · 朴 正 后**

(Ik-Soo Kim · Hyeong-Ho Lee · Jung-Soo Cho · Jung-Hoo Park)

Abstract - Since the ultra-high voltage power apparatus are recommended to withstand switching surge generated from the electric power system, the switching impulse voltage is generally used to verify this requirement at the testing laboratories. Recently, the international standard(IEC 60060-2) related to the high voltage measurement techniques is revised requiring a traceability of measuring system for high voltage measurements. In this paper, a reference divider for switching impulse voltage is developed satisfying the revised IEC standard and the possibility of applications has been investigated. Therefore, the characteristics of the high and low voltage side resistor and the shielding ring have been analyzed including the step response characteristics of the prototype divider. Throughout various efforts, it is confirmed that our measuring device has shown compatible characteristics as a reference divider.

Key Words : switching impulse voltage, step voltage, shielded resistor divider, reference divider

1. 서 론

전기에너지는 수송, 변환, 제어 등의 편리한 점 때문에 산업 발달과 경제 향상에 따라 급격히 수요가 증가하고 있으며, 효율적인 수송을 위하여 초고전압 송전을 행하게 된다. 이러한 초고전압 송전과 더불어 양질의 전력을 공급하기 위하여 전력계통에 운용될 전력기기의 절연성능 검증은 필수적이다. 전력기기 절연성능의 대표적인 특성의 하나는 서어지를 모의한 충격전압의 섬락 특성과 내전압 특성이다. 충격전압은 극히 단시간에 최대치까지 상승하고, 또 단시간에 0 전위로 감쇄하는 과도적인 전압이므로, 이러한 충격전압 특성 평가를 정확하게 하기 위해서는 측정분야에 대한 충분한 지식과 경험이 중요하다.

측정분야의 기술진보에 따른 분압기의 성능 및 측정 精度에 더욱 엄격한 정확성을 요구하고 있다. 독일의 Feser는 그림 1에 나타낸 바와 같이 응답시간이 45 ns의 분압기로 표준 뇌충격 전압의 파두장 T_1 ($1.2 \mu s \pm 30\%$)을 측정하는 경우, 파두장이 빠른 $0.84 \mu s$ 에 있어서 약 50 %까지의 차이 (ΔT_1)가 발생하는 것을 발표하였다[1].

이 때문에 국제 전기기술 위원회(IEC : International Electrotechnical Commission)에서는 고정확도의 충격전압 측정요건과 함께 고전압 시험기술의 국제 규격화를 도모하고

록 국가표준의 소급성(traceability) 확보에 의한 측정 정확도를 유지하도록 하는 제도를 도입할 것을 제시하고 있다[2]. 소급성은 전압, 전류 등의 표준과 측정시스템의 精度를 가능한 직접적인 방법으로 관계 짓는다는 것을 의미한다. 이의 표준적인 방법은 측정시스템의 상호비교를 통하여 기준시스템에 대한 불확실성(Uncertainty)의 程度를 나타내는 것이다. 이에 대하여 독일, 호주, 오스트리아, 영국, 일본 등에서는 이 규격에 바탕을 둔 精度가 높은 분압기의 개발 및 국제간 성능비교를 수행하여 특성을 발표하고 있다[3-7]. 한편 표준적인 방법을 행할 수 없는 경우, 즉 고정도 분압기의 시제작의 경우는 대응적인 방법인 직각파에 대한 응답특성의 각 종 파라미터를 측정, 분석하는 것이다[2].

본 연구에서는 이러한 필요의 국제적인 추세에 대응하기 위하여 IEC 60060-2에 따른 개폐충격전압의 고정확도를 지니는 측정시스템으로서 성능을 갖는 쉴드 저항분압기를 설계, 제작하였고, 또한 시제작된 분압기의 성능은 직각파 응답 특성 분석으로 행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 저항분압기의 기본 설계시 고려사항

2.1.1 개폐 충격전압용 기준분압기의 정격

IEC 60060-2에 의하면, 비교 교정시험의 경우 시험전압은 피교정 분압기 정격전압의 1/5 이상으로, 즉, 기준분압기 정격전압의 5배까지의 분압기를 교정할 수 있는 것으로 된다[2]. 또, 가능한 한 피교정기의 정격에 가까운 전압에서 교정하는 것이

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所

** 正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1998年 12月 1日

最終完了 : 1999年 11月 15日

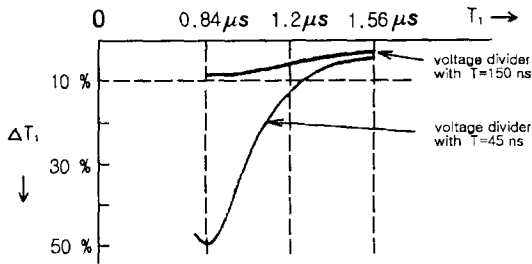


그림 1 응답시간과 파두장 측정오차의 일례[1]
 Fig. 1 Error in the measurement of the front time T_1 of the standard impulse with two different voltage dividers

바람직하다고 명시하고 있다.

한편, 정격전압이 높게되면 분압기가 대형으로 되고 응답특성이 저하하여 규격의 조건을 만족하는 것이 곤란하게 되는 경우가 예상되므로, 이들 제조건을 고려하여 정격전압을 500 kV로 정하였다. 이는 실제의 피교정기기 정격전압 2,500 kV까지가 가능하므로 실용상 지장이 없다고 사료된다. 일례로 800 kV 전력기기의 개폐 충격 내전압은 1,425 kV이고[8], 중전기 산업체 및 연구소가 가지고 있는 충격발생기의 개폐 충격전압은 2,400 kV정도이다.

2.1.2 분압기 형태

개폐 충격전압용 기준분압기는 특성의 경년 변화가 없어야 하며 온도 및 주위조건에 따라 분압비가 변화하지 않아야 하는 안정성이 가장 중요하다. 개폐 충격전압은 파두장(250 μ s)과 파미장(2500 μ s)이 길어 저항분압기의 경우 뇌충격전압 (1.2 x 50 μ s)에 비하여 약 46배의 온도상승에 대한 열용량이 필요하다. 따라서 종래부터 개폐충격전압 측정용으로는 용량분압기가 사용되어 왔으나, 이는 온도계수가 작은 고전압용 커패시터를 갖추지 못하고, 또한 장시간에 걸친 용량의 경년 변화에 관한 자료가 없고, 주위의 근접물체의 영향을 받기 쉽기 때문에 기준분압기로서 사용을 기피하는 것으로 보고되고 있다. 이러한 이유로 가장 안정하고 열용량을 만족시킬 수 있는 고저항을 사용한 저항분압기를 본 연구를 위해 제작하여 측정에 이용하였다. 또한 응답특성 개선을 위하여 쉴드 전극을 설치하였고, 저항부는 무유도로 하였다. 그림 2는 시제작한 개폐 충격전압용 쉴드 쥘부형 高抵抗 분압기의 모습이다.

2.2 쉴드 전극

쉴드 전극 유무에 따른 분압기 주변의 등전위 분포를 계산한 예는 그림 3과 같으며, 쉴드 전극이 없는 경우는 고전압 부분에 전계가 집중되고, 쉴드 전극이 유효하게 있는 경우는 전계가 상당히 완화됨을 볼 수 있다. 쉴드 전극의 대지에 대한 이격 거리는 500 kV 개폐 충격전압을 시험회수 (일반적으로 15회)동안 연속적으로 인가하여도 섬락하지 않도록 하여야 하므로, 정극성 봉-평판 전극의 개폐 충격전압에 대한 이격 거리인 식 1, 식 2를 적용하였다[11].

즉, 쉴드 링의 직경은 1.5 m이며, 분압기의 정점에서 약



그림 2 시제작한 개폐충격전압용 쉴드 저항분압기의 모습
 Fig. 2 The view of a newly developed resistor divider with shielding ring

0.5 m 아래에 부착하였다.

$$V_{50} = \frac{3,400}{[1 + \frac{8}{d}]} \tag{1}$$

$$V_{us} = 0.85 \times V_{50} \tag{2}$$

단, V_{50} : 50 % 섬락전압(kV), d : 이격 거리 (m),
 V_{us} : 내전압치(kV) (이는 0.16 %의 섬락 확률에 해당하는 값으로, $V_{us} = V_{50} - 3\sigma$ 을 적용,
 표준편차 σ : V_{50} 의 5 %라고 가정함.

저항 분압기에 쉴드 전극을 설치한 경우 쉴드 전극 아래 부분의 등전위선은 대지와 거의 평행하여, 분압기와 대지간에 존재할 수 있는 등전위선과 직교하는 전기력선은 거의 존재하지 않으므로, 분압기 대지용량은 극히 작게 된다. 쉴드 저항분압기의 직각과 응답특성 T는 근사적으로 식 3으로 나타낼 수 있다[9].

$$T \approx r C_{sg} + (RC_g)/6 \tag{3}$$

단, T : 응답특성
 r : lead저항 및 제동저항의 합
 C_{sg} : 쉴드전극의 대지용량
 R : 분압기 저항
 C_g : 분압기의 대지용량

따라서 대지용량 $C_g \approx 0$ 이면, 분압기의 응답시간은 제동저항을 포함한 인가선의 저항과 쉴드 전극 대지용량의 곱으로 정해지므로 응답시간은 작아진다.

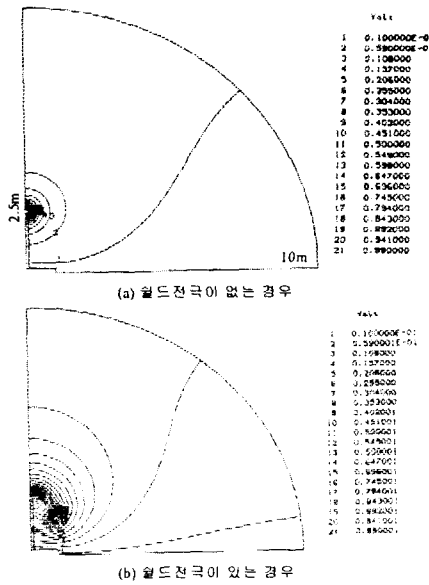


그림 3 실드링 유무에 따른 분압기의 전위분포
 Fig. 3 The voltage distribution of divider with and without shielding ring

2.3 분압기 고압부

고압부 저항은 온도에 의한 저항값의 변화 및 경년 변화가 극히 작아야 하며, 파미장이 數 ms정도의 개폐 충격전압에 대하여 충분한 열용량과 표피효과를 억제하고, 고저항을 얻기 위하여 저항율이 높은 금속 저항선 사용이 바람직하다. 이 관점에서, 고압부 저항은 저항율이 $1.357 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ 이며, 선 저항-온도계수가 $\pm 20 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ 인, 직경 0.12 mm의 Karmalloy선을 사용하였다.

그림 4는 분압기 고압부의 저항을 나타낸 것으로, 사용전압 500 kV를 만족하도록 100 k Ω 저항 2조를 직렬로 하였다. 저항체의 총 길이는 1,050 mm (저항체 부분만의 길이는 950 mm)이며, 저항체 양단에 접속 전극을 설치하여 볼트 확실히 접속토록 하였다. 분압기 고압부의 인덕턴스는 응답특성을 악화시키므로, 절연필프에 절연피복을 한 Karmalloy 저항선을 나선상으로 감고, 그 위에 역방향으로 동일한 저항선을 감아 무유도권으로 제작토록 하였다. 저항선의 온도상승 T 와 인가전압의 파고치 V_c [$V = V_c(\epsilon^{-at} - \epsilon^{-bt})$]에 대한 관계는 식 4와 같다(식 4의 유도는 부록 1참조).

$$V_c = l \sqrt{\rho \nu g T} \sqrt{\frac{2ab(a+b)}{(a-b)^2}} \approx l \sqrt{\rho \nu g T} \sqrt{2a} \quad (4)$$

단, V_c : 인가전압 파고치, l : 저항선 길이,
 ρ : 저항선 저항율, ν : 저항선 비열,
 g : 저항선 밀도, T : 저항선 온도상승

단, a, b : 인가전압 파형에 따른 정수[10].

개폐충격전압파형	a의 값	b의 값	비고
250/2,500 μs	316.96	16,004.38	표준파형
200/4,000 μs	187.55	18,568.28	허용 여유도내의 가장 가혹한 파형
300/1,000 μs	1,277.62	6,898.77	허용 여유도내의 가장 용이한 파형

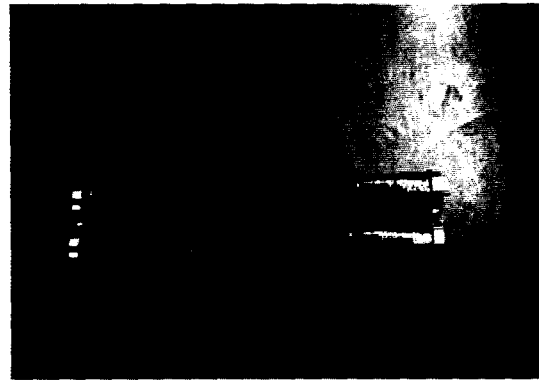


그림 4 시제작된 개폐충격 전압용 분압기의 고압부 저항체의 모습

Fig. 4 The view of high voltage resistor employed for the newly developed divider to be used for switching impulse voltage

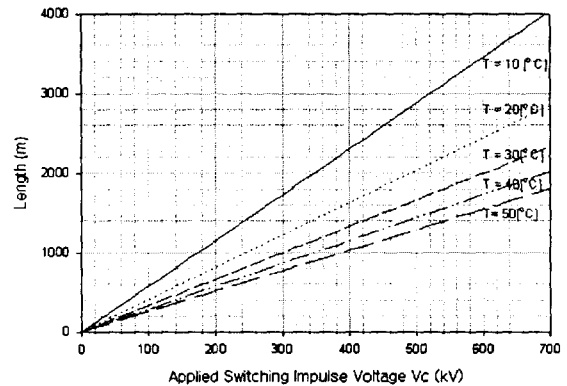


그림 5 인가전압 파고치 V_c 와 저항체 소요길이 l 의 관계
 Fig. 5 The relationship between the applied voltage(peak value) and the required length of resistor

저항선 저항율 $\rho = 1.357 \times 10^{-6} [\Omega \cdot m]$,
 저항선 비열 $\nu = 4.368 \times 10^2 [J/(kg \cdot K)]$,
 저항선 밀도 $g = 8.1 [kg/m^3]$ 의 karmalloy선에 대하여 개폐충격전압 파고치 V_c 와 저항선 소요길이 l 의 관계는 그림 5와 같다. 비교시험을 위하여 인가전압을 10회 이상 반복하며, 개폐 충격전압(250/2,500 μs) 1회 인가시 허용 온도상승을 10 $^{\circ}C$ 이내, 정격전압을 500 kV로 하면, 길이 3,000 m

이상의 저항선이 요구된다. 이 경우, 개폐 충격전압 시험시 허용되는 과두장 $\pm 20\%$, 과미장 $\pm 60\%$ 의 여유도[11]를 감안한 식 4에 의한 온도상승의 계산결과는 그림 6과 같다.

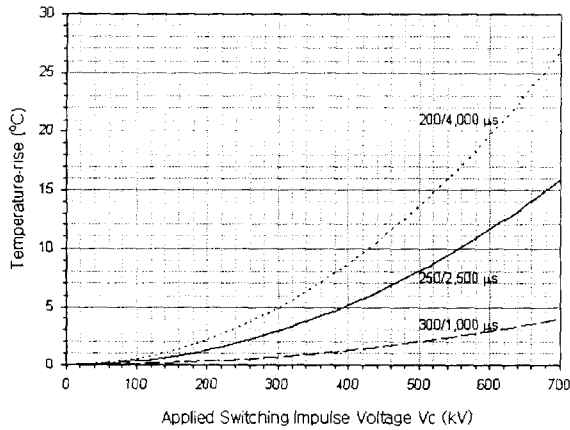


그림 6 인가전압의 파형별 전압-온도 상승의 계산 결과
Fig. 6 The calculated voltage versus temperature-rise for the various switching impulse voltage

정격전압 500 kV를 고려할 때, 온도상승이 최대가 되는 인가전압의 파형은 200/4,000 μs 이며, 13 $^{\circ}C$ 의 온도상승이 예상된다. 따라서, 이 범위의 온도에 대한 karmalloy선 저항값의 변화는 0.03 %로, 기준분압기로서 요구되는 온도변화에 대한 저항값의 신뢰성이 유지된다.

2.4 분압기 저압부

저압부 저항 역시 무유도 저항을 사용하였고, 열용량 및 내전압을 고려하여 그림 7과 같이 직렬(50 Ω x 2조)과 병렬(4조)로 구성하였다. 또한, 전체 저압부의 인덕턴스를 최소화 하기 위하여 직렬로 구성되는 저항을 90 $^{\circ}$ 간격을 둔 방사상으로 설치하였다. 저압부의 합성저항의 측정치는 25

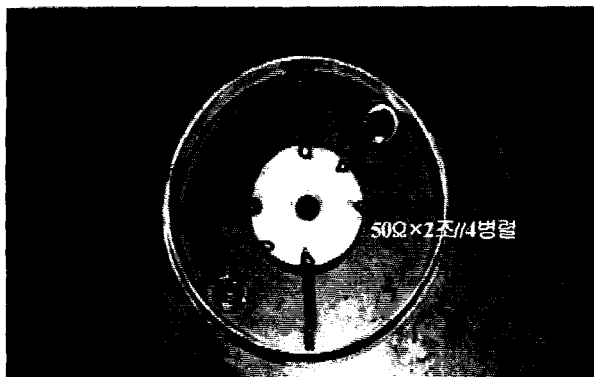


그림 7 시제작 개발된 분압기의 저압부
Fig. 7 The low voltage part of a newly developed divider

Ω 이므로 동축케이블과 연결시, 임피던스 정합을 위하여 사용되는 동축케이블의 특성 임피던스 50 Ω 또는 75 Ω 에 맞도록, 정합저항은 25 Ω 및 50 Ω 을 사용하였다.

3. 개폐충격전압 측정시스템의 특성평가

3.1 시험 방법

IEC 60060-2는 다음의 2가지 특성평가 방법을 제시하고 있다.

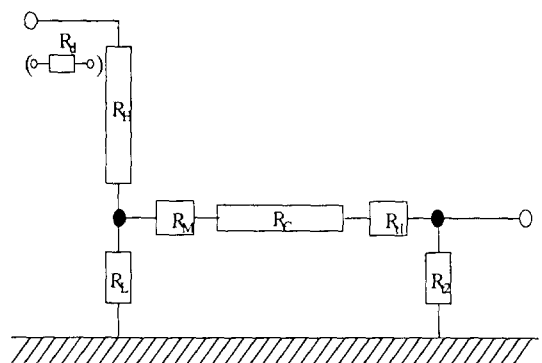
- ① 기준 시스템과의 비교시험에 의한 특성평가
- ② 직각과 응답시험에 의한 특성평가

IEC 60060-2는 ①의 방법을 표준적 방법으로 추천하며, ②의 방법은 기준 시스템이 없어 ①의 방법을 시행할 수 없는 경우에 사용토록 하는 대응적 방법이다. 비교시험에 의한 방법은 특성이 우수한 기준 시스템(Reference measuring system)이 있어야 할 수 있는 데, 현재 국내에서는 한국표준연구원 등에 이 시스템이 없으며, 가까운 일본도 시제작한 단계이며, 직각과 특성에 의한 평가만이 있었을 뿐이었다.

본 연구에서는 국내 최초로 행하는 시제작품이므로 ②의 대응적 방법을 행하여 특성을 평가하였다.

3.1.1 분압비의 결정

분압기 자체의 분압비는 두가지로 결정된다. 첫째 고·저압부의 임피던스를 각각 측정하여 총 임피던스값 /저압부 임피던스값의 비, 둘째 분압기에 전압을 인가하여 입력전압과 출력전압을 동시에 측정하여 입력 전압값/출력 전압값의 비이다. 저항 분압기의 경우 일반적으로 고·저압부의 저항을 낮은 직류전압에서 Wheatstone bridge를 사용하여 측정하거나 또는 정확도가 높은 Ohmmeter로 측정하여 결정한다. 본 연구의 대상 분압기의 고압부, 저압부, 정합저항의 저항값은 측정 오차 $\pm 0.002\%$ 인 Precision resistance measuring system (Model 242D esi)로 측정하였다. 전체 측정시스



R_d : 제동저항, R_H : 고압부 저항, R_L : 저압부 저항,
 R_M : 정합저항, R_C : 측정케이블 저항(계산에서 무시함)
 R_{L1}, R_{L2} : 2차 분압저항

그림 8 개폐 충격전압 측정시스템의 전체 회로도
Fig. 8 The schematic diagram related the measuring system for switching impulse voltage

템은 그림 8과 같으며, 각 구성소자의 저항값은 표 1에, 분압비의 계산치는 표 2에 나타내었다.

표 1 측정시스템의 각 소자저항 측정값

Table 1 The measured values of resistor of measuring system

종류	R _H	R _L	R _M	R _{G1}	R _{G2}
75 Ω의 경우	202,492	25,055	50,102	49,353	25,074
50 Ω의 경우	202,492	25,055	24,990	25,077	24,974

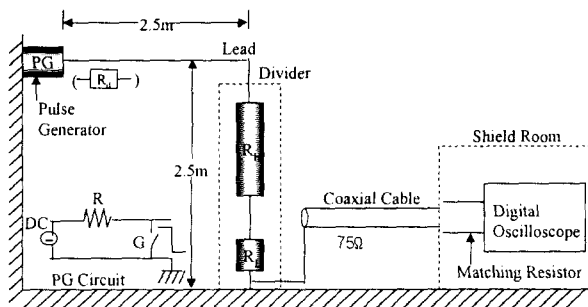
표 2 측정시스템의 분압비 계산값

Table 2 The calculated ratio of the measuring system

조건	분압비
75 Ω의 경우	20,250
50 Ω의 경우	32,400

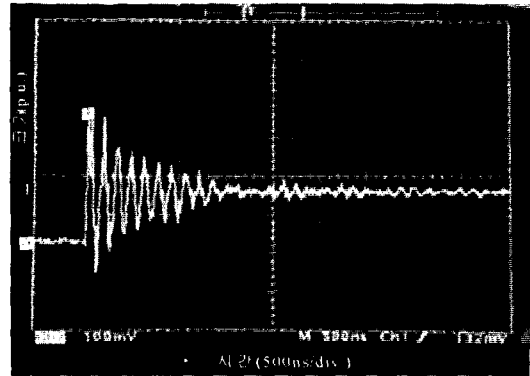
3.1.2 직각파 응답특성

그림 9는 직각파 응답특성 시험회로로, 직각파 발생기는 수백 V를 발생하는 직류전압 전원과 수은 릴레이로 구성되어 있으며, 분압기와 같은 높이에 위치하였다[12]. 직각파 전압은 측정시스템에 직류전압을 인가한 상태로 수은 릴레이를 단락, 접지시켜 발생되며, 접지용 동판은 접지축의 인덕턴스를 줄이기 위하여 폭 1m이상으로 하였다. 직각파 응답 파형은 Tektronix TDS 620 디지털 오실로스코프(수직분해능 : 8bit, sample rate : 2 GS/s)로 측정, 평가되었다. 측정 케이블은 길이 15 m의 5C 2W(공칭 특성 임피던스 : 75 Ω)를 사용하였고, 직각파에 대한 반사, 투과에 의한 응답특성의 왜곡을 피하기 위한 임피던스 정합을 이루도록 저압부의 합성저항 25 Ω과 정합 저항 50 Ω(저항 합계 : 75 Ω)의 부분을 사용하였다. 그림 10은 제동저항 유무에 따른 측정시스템의 직각파 응답파형을 나타낸 것으로, 제동저항이 있는 경우는, 제동저항이 없는 경우에 비하여 파형의 진동이 적음을 볼 수 있다.

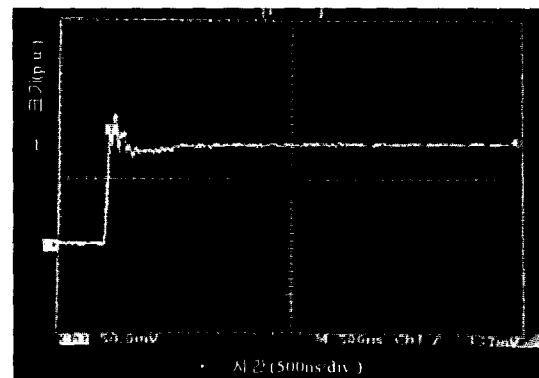


PG : 직각파 발생기 (Pulse Generator)
 R_d : 제동저항, R_H : 고압부 저항, R_L : 저압부 저항

그림 9 직각파 응답특성 시험회로
 Fig. 9 The test circuit of step response characteristics

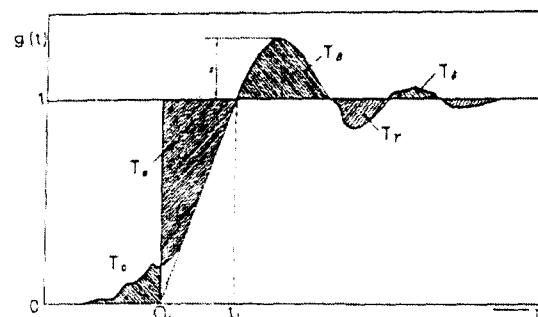


(a) 제동저항이 없는 경우



(b) 제동저항 삽입의 경우

그림 10 시제작된 개발된 분압기의 직각파 응답 파형
 Fig. 10 The step response wave of a newly developed shielded resistor divider

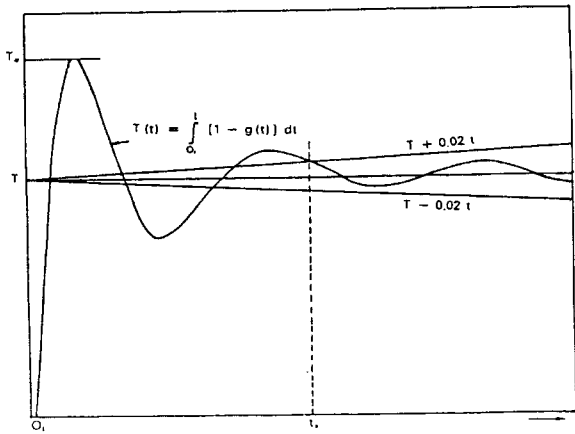


$$T_M(\text{실험적 응답시간}) : \int_{0,1}^{t_{\max}} (1 - g(\tau)) d\tau$$

$$= T_\sigma - T_\beta + T_\gamma - T_\delta + \dots$$

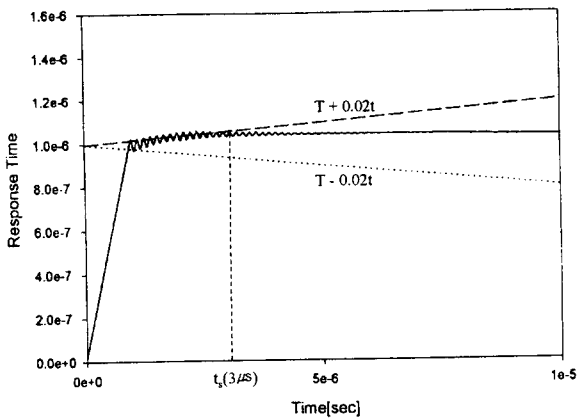
그림 11 실험적 응답에 관한 응답 파라메터의 정의
 Fig. 11 The definition of response parameters with respect to the normalized experimental step response g(t)

그림 10의 직각파 응답 특성 중 정정시간(settling time) t_s은, 측정용 디지털 오실로스코프에 저장된 19.8 μs까지의

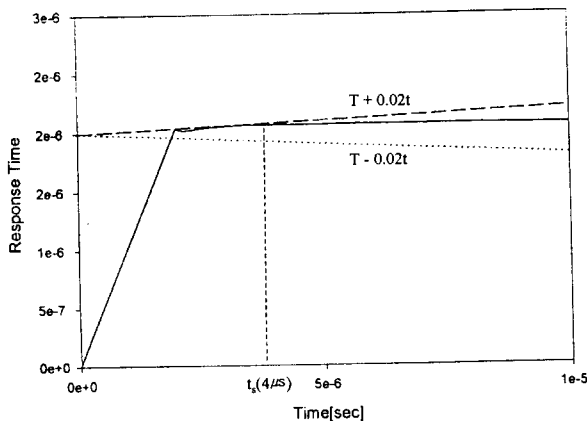


$$t_s \text{ (정정시간)} : \left| \int_{t_s}^{\infty} [1 - g(\tau)] d\tau \right| \leq 0.02 t_s$$

그림 12 직각과 응답특성 파라메터인 정정시간 t_s 의 결정법
Fig. 12 Definition of response parameters with respect to t_s



(a) 제동저항이 없는 경우



(b) 제동저항 삽입의 경우

그림 13 시제작 개발된 분압기의 직각과 응답 특성
Fig. 13 Step response characteristics of a newly developed shielded resistor divider

표 3 직각과 응답특성 측정결과

Table 3 Results of the step response characteristics of a newly developed shielded resistor divider

종류	특성값	t_s (μs)
개폐 충격전압용 분압기 A ($R_d=0\Omega$)		3
개폐 충격전압용 분압기 A ($R_d=200\Omega$)		4
IEC 기준값		10

각 데이터(992개의 자료)를 그림 11에 정의된 실험적 응답 시간과 그림 12에 정의된 정정시간 t_s 의 결정법을 적용하여, 컴퓨터로 수치 계산하면 그림 13과 같이 된다. 이를 정리하면 표 3과 같고, 이 특성값은 IEC 60060-2에서 규정하는 개폐충격전압용 기준 분압기로서의 특성값을 만족한다.

4. 결론

개폐 충격전압 측정에 있어서 IEC 60060-2에 의거한 기준 측정시스템을 국내에 구축하기 위하여 전계 계산을 통한 쉴드 전극 구성, 분압기 저항체의 온도 특성 분석 등에 의한 기준 분압기로서의 성능을 갖도록 하였고, 시제작된 측정시스템에 관한 직각과 응답 특성 평가를 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개폐 충격전압 측정용의 저항 분압기는 온도에 대한 안정성이 중요하며, 본 논문에 서술된 시제품은 500 kV에 대하여 온도상승이 13 °C 예상되어, 온도변화에 대한 저항값의 신뢰성을 갖는 것으로 나타났다. 이 검증은 실제로 사용하면서 경년에 대한 특성 평가, 자료를 축적할 필요가 있다고 사료된다.

2. 시제작된 분압기의 직각과 응답특성의 정정시간 t_s 을 산출한 결과, 제동저항이 없는 경우 3 μs , 제동저항이 있는 경우 4 μs 로 되었다. 이는 제동저항이 있는 경우, 제동저항의 인덕턴스 성분이 측정시스템에 더하여져서, 응답 특성이 저하된 것으로 사료된다. 즉, 측정 시스템의 구성 회로요소에 인덕턴스 성분이 크게 존재할수록 응답 특성이 저하됨을 나타내므로, 가능한 인덕턴스를 작게 하도록 구성토록 하여야 한다. 그렇지만, 시제작된 분압기는 IEC의 개폐 충격전압의 기준 측정시스템으로서의 조건인 10 μs 이하를 만족하였다.

향후에는 IEC 60060-2의 표준적인 방법인 기준 측정시스템과의 국제적인 비교시험을 통하여 그 특성을 검증, 확보함으로써 시제작된 측정시스템이 공인시스템으로 인정, 구축될 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] K. Feser, "Update on IEC 60-High voltage test technique", CIGRE 33-94(WG 03) 14 IWD, pp. 1.2.1-1.2.8, September 1994.

[2] IEC standard IEC 60060-2, Amendment, High voltage test techniques. Part2 : Measuring systems, 1994.

[3] M. Aro. J. Hallsron. Mil Pykla. "Intercomparison of impulse voltage measuring systems at 600 kV level Experience and practical problems", 8th ISH, paper 50.03, September 1993.

[4] J. Rungis, M. Ishii, Y. Cuny, K. Schon, "Intercomparison of impulse divided from PTB in Australia, Japan and China", 8th ISH, paper 50.02, September 1993.

[5] J. X. Xhang, R. H. Mcknigt, R. E. Hebner, "Interaction between two dividers used in simultaneous comparison measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 3, pp. 1586-1594, July 1989.

[6] T. R. McComb, R. C. Hughes, H. A. Lightfoot, K. Schon, et al., "International Intercomparison of HV Impulse measurements systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 2, pp. 906-915, April 1989.

[7] A. Boaamy, G. Rizzi, et al., "International comparison of HV impulse dividers." 7th ISH, paper 61.07, 1991.

[8] IEC 60694, Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards, 1996-05.

[9] 電氣學會絶縁試験法 ハンドブック改訂委員會編, 高電壓試験ハンドブック, 日本電氣學會, 1983, pp. 172.

[10] JEC-0202, 인발스 電壓·電流試驗一般, 電氣書院, 1994, pp. 37-38.

[11] IEEE Std 4 : IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing, 1995, pp. 5-30.

[12] 김익수, 이형호, 조정수, 박정후, "전파 뇌충격전압 측정용 쉘드저항분압기의 직각과 특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문지 45권 2호, 1996. 2.

부록 I. 분압기 저항체의 온도상승 계산

충격전압용 분압기 저항체의 상승 온도T는 인가되는 충격전압에 있어서 저항체에 흐르는 전류가 극히 단시간이므로, 저항체 표면에서의 복사, 대류에 의한 열의 방산을 무시하고 계산하는 것이 타당하다. 따라서 저항체에 발생하는 열량을 비열로 나누면 저항체에 상승되는 온도가 구해진다. 길이 l, 단면적 S인 저항체에 충격전압 $V = V_c(\epsilon^{-at} - \epsilon^{-bt})$ 이 인가되는 경우로 계산한다.

단, a, b : 충격파형에 따른 정수이며, 시각 t₀까지의 발생 열량 $W = \int_0^{t_0} i^2 R dt$ 로 표현된다.

단, R : 전체 저항 ($= \rho \frac{l}{S}$), ρ : 고유저항률

l : 저항선의 길이, S : 저항선의 단면적 ($= \frac{\pi D^2}{4}$),

D : 저항선의 직경

따라서 발생 열량을 계산하면 아래와 같다.

$$W = \int_0^{t_0} i^2 R dt$$

$$= \int_0^{t_0} \{ \epsilon^{-2at} + \epsilon^{-2bt} + \epsilon^{-(a+b)t} \} I^2 R dt$$

$$= [\frac{(a-b)^2}{2ab(a+b)} - \frac{1}{2a} \epsilon^{-2a t_0} - \frac{1}{2b} \epsilon^{-2b t_0} + \frac{1}{a+b} \epsilon^{-(a+b) t_0}] I^2 R$$

$$\text{단, } I = \frac{V_c}{R}$$

전류는 극히 단시간에 종료하므로, 전류 통과후에 온도상승은 최대가 된다.

$$\text{즉, } \lim_{t_0 \rightarrow \infty} W = W_{\infty} = \frac{(a-b)^2}{2ab(a+b)} I^2 R$$

이 저항선의 질량은 Sgl, 비열은 ν이므로 온도상승 T는 아래와 같다.

$$T = \frac{1}{\nu S g l} \cdot \frac{(a-b)^2}{2ab(a+b)} I^2 R$$

$$= \frac{I^2 \rho}{\nu S^2 g} \cdot \frac{(a-b)^2}{2ab(a+b)}$$

단, S : 저항체의 단면적, g : 저항체의 밀도, l : 저항체의 길이

개폐 충격전압의 파형에 있어서는 $a \ll b$ 이므로, 위 식을 근사화하면 온도상승 T는 다음과 같다.

$$T = \frac{I^2 \rho}{\nu S^2 g} \cdot \frac{1}{2a}$$

위 식을 사용하여 허용온도 T가 정해진 경우 허용전류 I는 아래 식 (부 1)과 같이 된다.

$$I = \sqrt{\frac{T \nu g \cdot 2a}{\rho}} \tag{부 1}$$

따라서 인가전압에 대한 길이와의 관계는 아래 식(부 2)와 같이 된다.

$$V_c = l \sqrt{\rho \nu g T} \sqrt{2a} \tag{부 2}$$

저 자 소 개



김익수 (金益秀)

1957년 9월20일 생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994-1997년 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 현재 한국전기연구소 시험기술연구실장.

Tel : (0551) 280-1530

Fax : (0551) 280-1690

E-mail : isk133@keri.re.kr



이형호 (李亨浩)

1953년 3월 16일 생. 1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 영남대 전기공학과 졸업(석사). 1993년 일본 구주대 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구소 전기물리연구그룹 책임연구원

Tel : (0551) 280-1531

Fax : (0551) 280-1690

조정수 (曹井守)

전기학회논문지 제48C권 1호 참조

Tel : 051-510-2365, Fax : 051-513-0212

박정후 (朴正后)

전기학회논문지 제48C권 1호 참조

Tel : 051-510-2369, Fax : 051-513-0212