

# 전파 뇌충격전압 측정용 표준 저항분압기의 개발

김 익수, 문 인욱, 김 민규, 김 영배, 김 진기, 이 형호  
한국전기연구소

## Development of Standard Resistor Divider for Full Lightning Impulse Voltage

Ik-Soo Kim, In-Wook Moon, Min-Kyu Kim, Yung-Bae Kim, Jin-Gi Kim, Hycong-Ho Lee  
Korea Electrotechnology Research Institute

### Abstract

This paper presents the development technology of standard resistor divider for full lightning impulse voltage. The ability of high voltage bulk power equipment to withstand lightning stroke is usually evaluated by means of full lightning impulse voltage. Lightning impulse voltage test has been essential to evaluate the insulation performance of electrical power apparatus. Recently International standard (IEC 60) on high voltage measurement techniques is being revised and requests a formal traceability of high voltage measurements. Therefore, general interest for this area has grown considerably during last years, and several international intercomparisons have been completed already worldwide, i.e. Europe, Japan, America etc.. In this viewpoint, we have also investigated the standard resistor divider with shield, which satisfies the IEC recommendation.

### 1. 서론

우리나라의 산업의 발달과 경제의 향상으로 전력수요는 급격히 증가하고 있으며 2000년대에는 800kV의 송전이 실시되리라 예상된다. 이러한 초고전압 송전과 더불어 양질의 전력을 공급하기 위하여는 전력기기의 절연성능의 검증은 필수적이다. 전력계통의 절연성능을 고려하는 데는 실사용의 상용주파 전압뿐만 아니라 과도적으로 발생하는 이상전압에 대하여 전력기기 및 기타 전기공학물의 절연특성을 충분히 파악할 필요가 있다. 이러한 이상전압으로는 1선지락동에 의해 발생하는 교류성 이상전압 및 차단기등의 개폐동작에 의한 개폐서지등의 내부이상전압과 가장 문제로 되는 것중의 하나인 뇌격에 의한 상당히 높은 외부이상전압이 있다. 이 때문에 뇌전압과 유사한 전압(이를 뇌충격전압이라 함)을 발생시켜, 각 종 애자, 붓상, 전력기기 등의 선풍특성과 내전압특성을 파악하여 전력계통 절연성능에 대한 기본적인 자료를 얻는 연구 및 전기공학물이 뇌충격 전압에 대하여 충분한 절연 내력을 가지는가의 검증을 행하는 시험을 실시하여왔다. 이것을 소위 충격전압 시험이라고 한다. 자연계에서 발생하고 있는 뇌전압의 파형은 여러종류이므로 모든 파형에 대하여 충격시험을 행하는 것은 곤란하므로, 뇌충격전압 파형의 실측결과에서 가장 보편적인 파형을 표준 뇌충격 전압파형(1.2 $\mu$ s x 50 $\mu$ s)으로 정하여 이것에 의해 시험을 행하고 있다. 이러한 뇌충격전압 시험을 정확하게 행하기 위해서는 측정 기술에 대한 충분한 지식과 경험이 중요하다. 특히 측정분야의 기술진보에 따른 분압기의 성능 및 측정精度에 더욱 엄격한 정확성을 요구하고 있다.최근 IEC (International Electrotechnical Commission)에서는 고전압 시험기술의 국제 규격화를 도모하도록 국가표준의 추적성 (traceability) 확보에 의한 측정 정확도를 유지 하는 제도를 도입할 것을 제시하고 있다.(그림 1참조) 이에 대하여 선진 외국에서는 이 규격에 바탕을 둔 분압기의 개발 및 국제 성능비교를 수행한 결과를 보고하고있다.

본 논문에서는 이러한 국제적인 추세에 대응하기 위하여 IEC에 의한 뇌충격전압 측정 시스템의 기준 측정 시스템 (Reference Measuring System)의 특성평가에 있어서 적합하도록 개발된 shield 저항분압기에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 설계에 있어서 기본적 고려사항

뇌충격전압 기준 측정 시스템은 직각파 응답특성에 있어서 응답시간이 15ns이하이어야 하며, 측정의 대상인 전파 전압에 대하여 충분한 절연강도 및 열용량을 가져야 한다. 저항 분압기의 응답특성을 개량하기 위해서 아래와 같은 여러가지 방법이 채택되어 왔다.

- (1) Shielding rings을 갖추는 방법
  - (2) 분압기의 크기를 축소시킴으로써의 stray capacitance를 감소시키는 방법
  - (3) 분압기의 저항값을 작게 하는 방법
  - (4) 분압기의 직렬capacitance를 크게 하는 방법
- 이들은 각각 장점과 단점을 가지고 있다. Shielding rings을 갖는 방법이 가장 널리 사용되는 방법이지만, 이 방법도 그 자체의 Stray capacitance가 분압기와 측정점 사이의 인가선 Inductance와 공진을 일으키며, 이러한 공진을 줄이기 위한 제동 저항의 삽입 및 더욱 높은 충격전압의 인가를 위해서 Shielding ring의 직경을 더욱 크게 하는 것은 분압기의 응답특성을 좋지 않게 하는 요인이 된다.

#### 가. 구조 및 저항선

분압기의 크기를 줄이는 방법도 역시 사용되나 공기중에서의 내전압 때문에 한정된 범위 내에서만 사용한다. 본 논문에서는 (i)의 방법을 사용한 경우를 나타낸다.

그림2는 Shielding ring의 유무에 따른 분압기 주변의 전위분포를 계산한 일례를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 Shielding ring이 없는 경우는 고전압 인가부분에 전계가 집중됨을 볼 수 있고, Shielding ring이 있는 경우는 전계가 상당히 완화됨을 볼 수 있다. 고압측 저항선의 권선법은 인덕턴스가 가능한 작도록 무유도 권선법을 사용하였으며, 표피효과와 온도상승을 고려하여 높은 저항률(133 $\mu\Omega$ -cm)과 낮은 저항-온도 계수( $\pm 20 \times 10^{-6}$  / $^{\circ}$ C)를 갖는 저항선을 선택하였다.

그림3은 분압기 고압측의 저항의 설계도면을 나타낸다. 또한 저항측은 무유도 저항을 그림4와 같이 구성은 인덕턴스를 줄일 수 있도록 각 저항을 방사상으로 설치하였다. 그림5는 개발된 분압기의 전경을 나타낸다.

### 3. 측정시스템의 교정법

#### 가. 표준적 방법

기준 측정시스템으로서 만족스러운 실용성능을 갖는가의 확인은 국가적 또는 국제적 비교시험을 통하여 그 자체의 추적성이 확보된 기준 측정 시스템에 대하여 고전압에서의 비교 측정을 행하여 분압비가 0.5%이내의 오차를 가짐을 증명하여야 한다. 또한 시간의 함수 (파두장, 파미장등)에 대하여는  $\pm 5\%$ 이내의 오차를 가져야 한다.

현재 우리나라에서는 아직 추적성이 확보된 기준 측정시스템이 없으므로 표준적인 방법을 사용하여 행할 수가 없다. 이러한 경우에는 다음의 대응적 방법을 사용할 수 있다.

#### 나. 대응적 방법

1) 기준 측정시스템의 분압비는 아래의 부품교정에 의한 방법으로써 0.5%이내의 오차를 입증하여야 한다.

- 부품 교정에 의한 분압비의 결정

분압비는 변환장치(예를 들면 분압기등)와 전송 시스템과 측정기기와의 분압비 곱으로 나타낸다. 즉, 분압비는 전체

임피던스/저항측 임피던스로 얻어진다. 다른 하나의 방법은 동시에 측정된 입력전압/출력전압으로 얻어진다. 저항 분압기에 있어서의 고·저압부 저항은 낮은 직류전압을 사용하는 Wheatstone bridge 또는 충분한 정확도를 갖는 Ohmmeter로 측정할 수 있으며, 용량 분압기는 표류용량의 영향이 있으므로 분압비를 결정하기 위해서는 고압부가 설치된 위치의 상태에서 행하여야 한다. 용량 분압기 또는 직렬저항-용량 분압기 고압부의 커패시턴스 측정은 Schering bridge 또는 Transformer ratio-arm bridge로 측정할 것을 추천하고 있다. (일반용 저전압 RLC bridge는 측정선과 표류용량의 영향이 측정에 포함되므로 사용하지 않는다.) 병렬 저항-용량 분압기일 경우 고압부의 저항과 커패시턴스는 먼저 고압부에서 저항을 제거한 후의 나머지 부분에 대해서 위와 동일한 방법으로 커패시턴스를 측정하며, 저항은 제거된 상태 또는 실상대에서 저항 분압기와 동일한 방법으로 Wheatstone bridge로 측정한다. 이 때 분압기의 고압부, 저압부에서의 저항과 커패시턴스의 비는 서로 같아야 한다. 만일, 고압부에서 저항을 제거할 수 없으면, 분압비는 Wheatstone bridge로 저항부분의 비를 측정하며, 구형파(square wave)로 분압기의 응답을 검증하므로써 결정된다.

2) 기준 측정시스템의 직각파응답 parameter는 아래의 요구조건을 만족하여야 한다.

단, parameter의 정의는 다음과 같다.(그림 6 참조)

가) 실험적 응답시간  $T_N$   
규약원점 0에서  $t_{max}$ 까지의 응답 적분의 값

$$T_N = \int_0^{t_{max}} (1-g(\tau))d\tau$$

나) 부분 응답시간  $T_r$   
계단응답 적분의 최대값으로 보통  $T_r = T(t_1)$ 으로 된다.

다) 잔류 응답 시간  $T_R(t_1)$   
실험적 응답시간에서  $t_1 < t_{max}$ 되는 어떤 규정시간  $t_1$ 에서의 계단 응답 적분의 값을 뺀 값

$$T_R(t_1) = T_N - T(t_1)$$

라) 정정시간  $T_s$   
잔류응답시간이 정정시간  $T_s$ 의 2%이하로 되는 가장 짧은 시간 (그림 7참조)

$$\left| \int_{t_1}^{t_1+T_s} (1-g(\tau))d\tau \right| \leq \frac{T_r}{50}$$

마) Overshoot  $\beta$   
표준화된 계단 응답  $g(t)$ 의 1을 넘는 최대의 양으로써, 측정할 응답시간  $T_2$ 와 부분 응답시간  $T_0$ 의 함수로 그림 8의 범칙선 부분내에 있어야 한다.

바) 규약원점 0  
계단응답 파두장의 가장 급증한 부분에서의 접선이 시간축과 만나는 점으로 파두장에 진동이 있는 경우에는 진동을 통과하는 평균 곡선을 그려서 접선을 결정한다.

#### 4. 고정용 직각파 펄스 발생장치

직각파 응답 측정에 있어서는 일반적으로 그림 9와 같은 3가지의 회로가 추천되어 있으나, 그림 9a)를 보통 사용하도록 언급하고 있으며 전압 발생기는 금속벽 또는 금속피의 폭이 적어도 1mm이상인 곳에 설치하여야 한다. 직각파 펄스 전압 발생은 그림9와 같은 회로에 의하여 직류전압 또는 서서히 상승하는 충격전압이 릴레이 또는 gap에 의해 계단되도록 해야 하며 다음의 3가지 방법을 추천하고 있다.

- i) 수는 절점릴레이에 의한 방법: 수백 [V]
- ii) 대기압에서 수mm간격의 공기중의 평등gap: 수십 [kV]
- iii) 고기압에서 수mm간격의 평등gap: 수십 [kV]

본 논문에서는 뇌충격전압의 표준 shield 저항분압기에의 특성평가를 i)의 방법을 사용하였다.

#### 5. 특성평가

개발된 shield 저항분압기의 특성 평가 결과는 직각파의 응답특성으로 평가하였으며, 표 1과 같이 IEC의 기준 측정시스템으로서의 규정값을 만족하였다.

( 표 1 ) 개발된 shield 저항분압기의 직각파 응답 특성값

특성parameter	IEC규정값 (전파의경우)	개발품의 특성값
$T_a$	$\leq 30ns$	27ns
$T_N$	$\leq 15ns$	14ns
$T_s$	$\leq 200ns$	120ns

#### 6. 결론

뇌충격전압 측정에 있어서 IEC규정에 따른 특성을 가지는 측정시스템의 개발에 관한 연구를 시행하여 다음의 성과를 얻을 수 있었다.

- (1) 전력기기의 성능시험에 필수적인 뇌충격 전압시험에 있어서 국제적인 경향에 발맞추어 갈 수 있는 뇌충격 전압측정용 표준 분압기의 설계 및 제작 기술을 확보하였으며, 이를 활용하여 국내 전력기기의 품질을 향상시키는데 토대가 될 뿐만 아니라 국제적으로 인정되는 성능의 품질평가가 가능케 하였다.
- (2) 뇌충격전압 측정시스템의 평가에 필요한 직각파 발생기의 설계, 제작하였으며, 이를 활용하여 산업현장에 있는 뇌충격전압 측정시스템의 특성평가에 일익을 담당할 수 있게 되었다.

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정 연구개발 사업의 연구결과입니다.

#### 참고 문헌

- [1] Draft IEC standard IEC 60-2:High Voltage Test Techniques. Part 2:Measuring systems. IEC TC 42(Secretariat) 82
- [2] M. Aro, J. Hallstron, Mil Pykala "Intercomparison of impulse voltage measuring systems at 600kV level. Experiance and practical problems" 8th ISH 50.03, 1993
- [3] F. Perhaps, B. Dhuicg et al, "Calibrating IIV Impulse Dividers in Industrial Laboratories", 8th ISH 50.04, 1993
- [4] 衝擊電壓測定用 抵抗 分壓器의 高性能化에 關する 研究 (第4報) 技術研究所 報告(電力63005) 1963년
- [5] インパルス用 標準 分壓器, 分流器と 比較 試験 電氣學會 (放電/高電壓 合同研究會 資料 ED92-87 IIV-92-25)

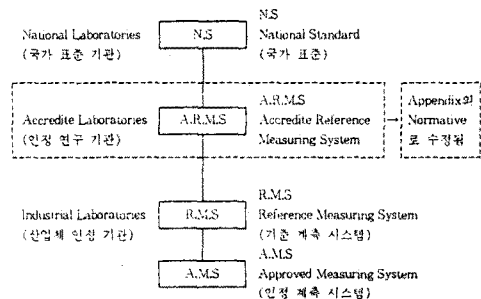
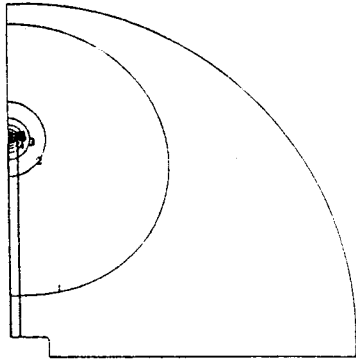
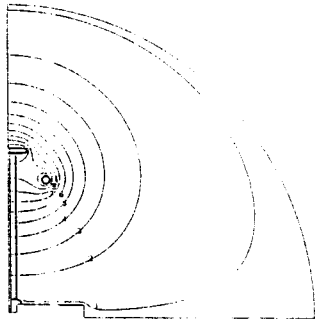


그림 1. IEC 규정에 의한 계속시스템의 구성도



a) Shielding ring이 없는 경우의 전위분포

Yield	Value
1	82197.18
2	998258.7
3	1212862.
4	2528199.
5	3344527.
6	4199860.
7	4875183.
8	5270524.
9	5480587.
10	5421190.
11	5236323.



b) Shielding ring이 있는 경우의 전위분포

Yield	Value
1	4691.44
2	73247.96
3	144112.4
4	17778.2
5	18128.8
6	19841.7
7	119704.2
8	481488.4
9	125478.2
10	117488.4
11	123860.4

그림 2. Shielding ring 유무에 따른 전위분포

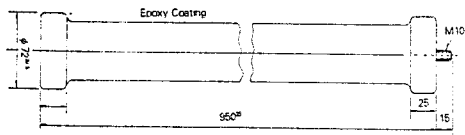


그림 3. 개발된 분압기의 고압부의 설계도면

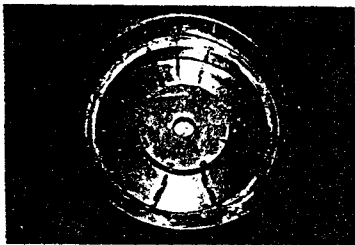


그림 4. 개발된 분압기의 저압부 구성도

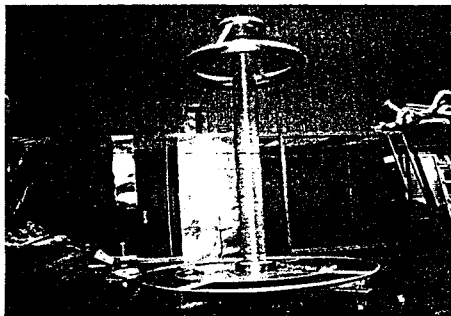


그림 5. 개발된 분압기의 전경

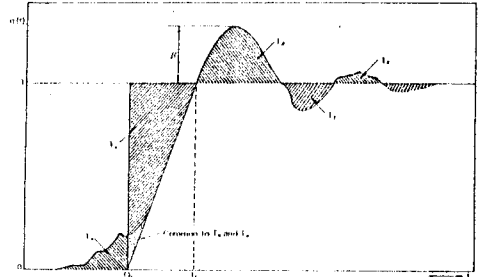


그림 6. 직각파 응답파형g(t)의 응답parameter의 정의

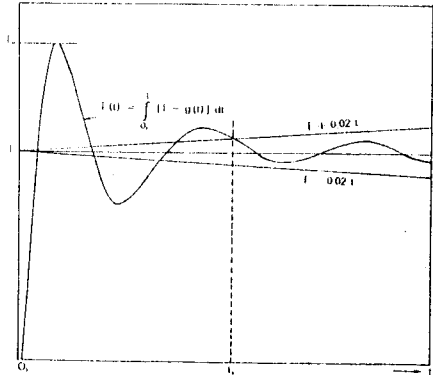


그림 7. 직각파 응답특성parameter인 정정시간T\_s의 결정법

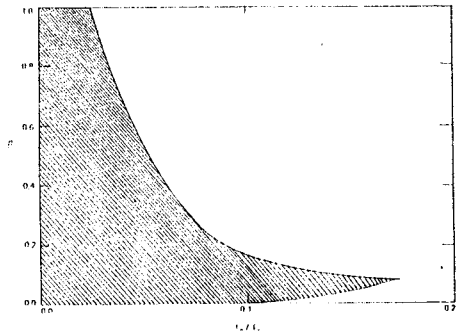
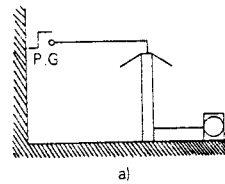
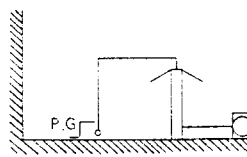


그림 8. Overshoot  $\beta$ 와  $T_a/T_s$ 의 허용값의 관계

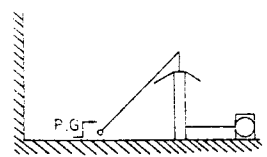


a)

P.G. : Pulse Generator



b)



c)

그림 9. 직각파 응답 측정방법(IEC 추천방법)