



역 곡선으로 구분할 수 있다. 충전류 영역은 기본적인 바리스터 특성영역으로 식(1)에 따라 비선형 지수가 40 이상에서 구해지는 영역으로 서지전압 제한에 있어서 중요한 특성을 나타내는 영역이다. 또한 IEC 61643-12에 의하면, 1[mA]의 누설전류가 흐를 때의 전압을 바리스터 전압, 공칭 방전전류  $I_n$ 에서의 잔여전압을 측정하여 제한전압  $U_m$ 으로 규정하고 있다. 그림 1에서 R 구간은 수 [kA]의 방전 전류 구간으로 바리스터의 비선형 특성이 사라지고 전류증가에 따라 전압이 상승하는 대전류 영역으로 들어서는 구간이 된다. 전압-전류 특성곡선(V-I 곡선)의 식은 일반적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I = KV^\alpha \quad (1)$$

여기에서 I는 바리스터에 흐르는 전류, V는 바리스터 양단전압, K는 상수,  $\alpha$ 는 비선형 계수이다. 이 비선형 계수가 1보다 크거나 더 큰 지수일수록 저항의 전압의존성(바리스터 효과)이 크다고 할 수 있다.[1]

가스방전관(gas discharge tube)은 세라믹관 또는 유리관 등의 방전관에 삽입된 전극장치로 구성되며, 방전관에는 아르곤, 네온 등 불활성 가스를 봉입한다. 서지전압이 가스방전관에 인가되어 전극장치가 방전되면 가스방전관은 고저항 상태에서 저저항 상태로 된다. 이 과정은 인가된 서지 전압의 상승시간에 의해 좌우된다. 즉, 인가되는 서지 전압이 빠른 상승시간을 가지면 아크시간이 짧고, 또한 가스방전의 개시전압도 높다.[2] 이러한 이유 때문에 가스방전관의 특성은 인가되는 서지 파형과 밀접한 관련성을 가진다. 가스방전관의 전압-전류(V-I) 특성은 그림 2와 같다.

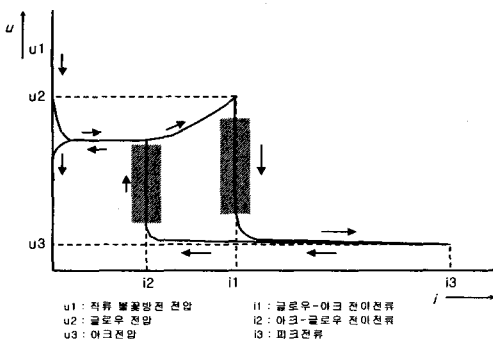


그림 2. 가스방전관의 V-I 곡선  
Fig. 2. V-I curve of gas discharge tube

가스방전관은 전극의 크기와 간격, 재질 및 방전

관 내의 가스의 종류와 압력에 따라 매우 다양한 방전전류용량을 가지는 소자이다. 전극재료로는 주로 합금(Fe-Ni-Co)이 사용되고 있으며, 자기회복(self-restoring) 특성이 우수하다. 또한 가스방전관은 비선형 전압-전류특성을 가지는 과도전압을 억제하는 소자 중에서 정전용량이 가장 작으며 대략 0.5~2[pF]정도이다. 이러한 장점 때문에 전송 신호의 주파수가 50[MHz]보다 높은 고주파회로에 적용할 수 있다.[3]

가스방전관에 직류전압을 인가해 전압을 올려 방전개시전압에 도달하면 그림 2와 같이 방전을 시작해 글로우 방전을 거쳐 아크방전에 이른다. 글로우 방전 상태에서는 가스방전관의 단자전압은 거의 일정한 글로우전압을 나타낸다. 또한 전류가 커지면 아크방전상태가 되고 아크전압이 거의 10~20[V] 정도로 된다.[1][4]

## 2.2. 실험계 구성 및 실험 방법

일반적으로 저압배전선로에 최근 사용량이 급증하고 있는 바리스터 4종을 선택하였다. 바리스터의 실제특성을 알기 위해 소전류 영역, 충전류 영역, 대전류 영역으로 구분하였다. 소전류 영역의 V-I 특성은 일반적으로 DC 또는 AC 전원을 사용하여 분석하게 되며, 충전류 이상의 영역은 8/20[ $\mu$ s] 서지전류를 인가하여 구한다.

바리스터와 가스방전관의 전압-전류 특성곡선을 구하기 위한 실험계는 그림 3과 같다.

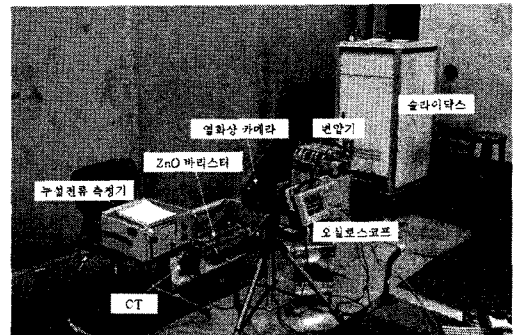


그림 3. 실험계 사진  
Fig. 3. The photograph of test setup

소전류 영역의 V-I 특성곡선은 AC 전원장치와 누설전류 측정용 CT를 이용하여 측정하였다. 누설전류 측정장치는 NIHON KEISOKUKI SEIZOSHO Co.(일본)의 시험장비로 바리스터나 피뢰기의 미소한 누설전류를 10<sup>-6</sup>[A] 수준까지 측정할 수 있다. 바리스터 양단의 전압을 서서히 증

가시킴서 증가하는 누설전류를 측정하는 방법으로 V-I 특성곡선을 작성하였다. 중전류 영역에서는 그림 4의 서지발생기(Thermo Key-Tek)를 이용하여  $8/20[\mu s]$  서지전류를 바리스터에 인가하면서 측정하였다. 중전류 영역은 수십 [mA] 이상에서부터 약 6[kA] 정도의 전류에 이르는 영역으로 구분하였다.

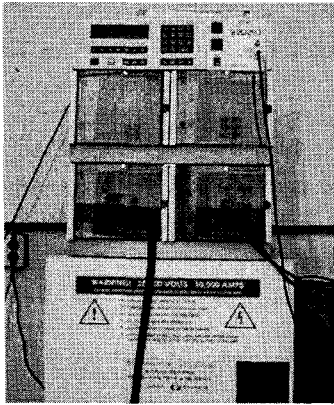


그림 4. 서지발생기  
Fig. 4. Surge generator

[mA] 수준의 전류측정에는 소전류 영역과 동일하게 AC 전원장치와 AC 측정용 CT를 이용하였으며 수십 [A] 이상의 전류영역에서는 서지시플레이터 장비와 로고스키 CT를 이용하였다. 대전류 영역의 V-I 특성곡선을 위해서는 그림 5의 임펄스 대전류 발생장치(HIGH VOLT Co.)를 사용하여  $8/20[\mu s]$  서지전류를 인가하였다. 방전전류의 측정은 대전류 측정용 전원 로고스키 CT를 사용하여 측정하였다.

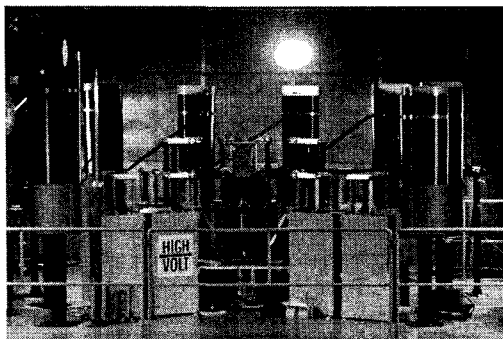


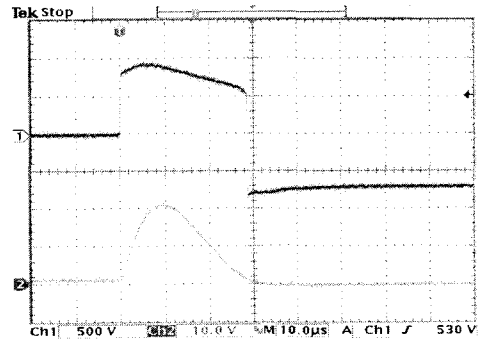
그림 5. 임펄스 대전류 발생장치  
Fig. 5. Impulse high current generator

가스방전관의 전극간의 전압이 충분히 높아져 방전관 내부에서 방전이 시작되면 전극을 통하여 방전전류가 흐르게 된다. 실험은 저압전원회로 및 통

신/신호회로용 뇌서지 시플레이터를 사용하였으며 측정은 IEC 61643-1을 참조하여 진행하였다.[5]

### 2.3. 실험결과

바리스터 V-I 특성곡선의 소전류 영역 특성은 AC 인가전압에 의한 전류값을 누설전류 측정장치로 측정하여 기록하였다. 중전류 영역 V-I 특성은  $8/20[\mu s]$  서지전류를 인가하여 바리스터의 잔여전압과 방전전류를 측정하였다. 그림 6은 중전류 영역에서 V-I 특성 실험에 의한 파형을 나타낸다. III등급 조합과 시험으로  $1.2/50[\mu s]$  전압 임펄스와  $8/20[\mu s]$  전류 임펄스를 가지는 파형으로 수행하였으며 단락 피크전류에 대한 개회로 피크전압의 비는  $2[\Omega]$ 으로  $20[kV]/10[kA]$ 를 인가하였다. Ch. 1은 서지전류에 의한 잔여전압을 나타내며, Ch. 2는 그때의 방전전류를 나타낸다.



Ch. 1 : 잔여전압, 500[V/div]

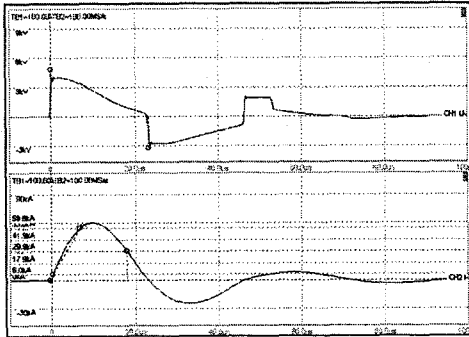
Ch. 2 : 방전전류, 4[kA/div]

그림 6. 중전류 영역에서의 V-I 파형

Fig. 6. The V-I waveform in middle current area

바리스터에 방전전류가 흘러 바리스터 양단에 전압이 나타날 때 이를 잔여전압  $U_{res}$ (residual voltage)라고 하며, 이 잔여전압은 동일한 바리스터에서도 방전전류의 크기에 따라 차이가 있다. 그림 6의 측정된 바리스터의 최대 방전전류  $I_{max}$  값이  $40[kA]$ 이며, 공칭방전전류  $I_n$ 은  $20[kA]$ 이다. 최대연속동작전압  $U_c$ 는 바리스터 소자 순수의 전압제한 능력을 보기위해 인가하지 않은 상태에서 개방회로전압  $U_{oc}$ 의 1배 전압인  $20[kV]$ 를 인가하였다. 실제로 측정된 잔여전압 값들은 모두 제조사에서 제시하는 제한전압 값보다 큰 값으로 나타났다. 이는 바리스터의 접속에 사용된 리드선이 측정값에 영향을 준 것이다. 바리스터의 일반적인 특성이 바로 이 중전류 영역으로 방전전류의 급격한 변화에도 바리스터의 임피던스가 변화하여 잔여전압이 거의 일정하게 유지되는 구간이다.

4종의 바리스터 모두 방전전류 내량, 즉 최대 방전전류 시험에서는 한계가 60[kA]로 나타났다. 조사에서 제시한 최대 방전전류는 공히 40[kA]이나 실제로 바리스터가 소손되는 크기까지 전류를 증가시키며 시험한 결과 55~60[kA] 사이에서 소손되는 것으로 나타났다. 그림 5는 바리스터의 최대방전전류 시험 시 바리스터가 소손되었을 때 잔여전압과 방전전류의 파형이다.



Ch. 1 : 잔여전압, 3(kV/div)  
 Ch. 2 : 방전전류, 60(kA/div)  
 그림 7. 대전류 영역에서의 V-I 파형  
 Fig. 7. The V-I waveform in high current area

그림 7의 상단은 잔여전압을, 하단은 방전전류를 나타내는데 잔여전압파형의 뒷부분에서 바리스터의 소손에 의해 파형 왜곡된 것을 볼 수 있다. 바리스터가 소손되는 이 시점이 V-I 특성곡선 시험의 마지막 실험이 된다.

소전류 영역과 중전류 영역 그리고 대전류 영역 별로 실험을 하여 얻은 바리스터 V-I 특성 곡선을 종합하여 그림 8을 얻었다.

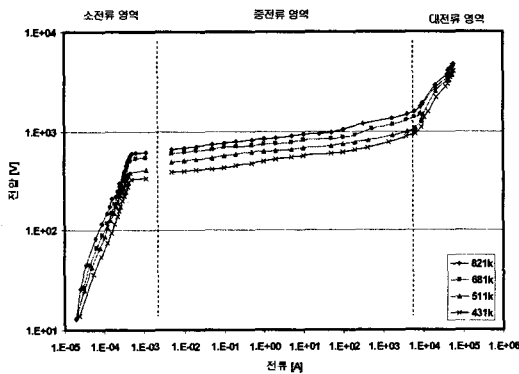
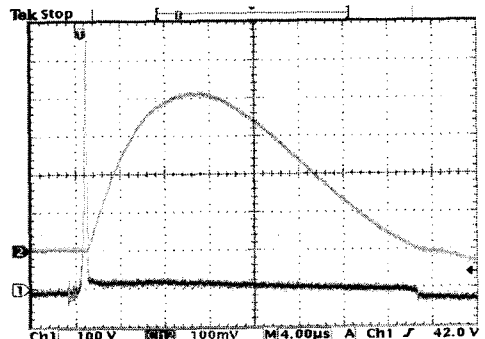


그림 8. ZnO 바리스터의 V-I 특성곡선  
 Fig. 8. The V-I characteristic curve of ZnO varistor

일반적인 바리스터 V-I 특성 곡선인 그림 1과는 달리 소전류 영역에서 중전류 영역 사이에 연속되지 않는 구간이 발생하였다. 이는 각 영역별 측정 방법의 차이에 의해 생긴 구간으로 소전류 영역은 AC에 의한 V-I 특성을, 중전류 영역은 서지전류에 의한 V-I 특성을 구한 것이기 때문에 V-I 특성곡선이 연속적으로 이어지지 않았다. 중전류 영역과 대전류 영역은 연속적으로 이어지는데 이는 실험장비는 다르지만 서지전류는 같기 때문이다.

일반적으로 많이 사용하고 있는 가스방전관에 대하여 임펄스 전압에 대한 방전전압, 방전전류를 측정 한 파형이 그림 9와 같다. GDT가 스위칭 소자이며, 방전이 일어날 때 초기 전압파형의 재단이 매우 빠르게 나타나므로 바리스터의 잔류전압과 같이 명확한 임펄스 방전전압이 나타나지 않았다. GDT의 선정과 적용은 이러한 임펄스 방전전압을 실험적으로 분석하고 방전전류가 흐를 때 GDT 양단의 전압인 아크전압의 특성을 파악하여야 효과적이다.



Ch. 1 : 방전전압, 100(V/div)  
 Ch. 2 : 방전전류, 200(A/div)  
 그림 9. 조합파에 의한 가스방전관의 V-I 파형  
 Fig. 9. The V-I waveform of GDT for combination wave

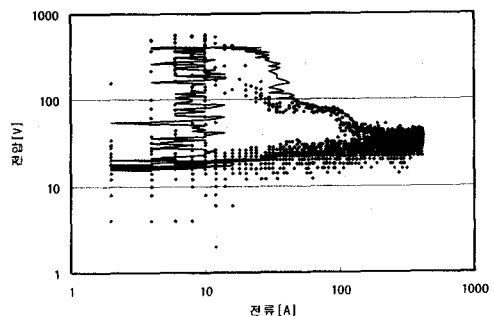
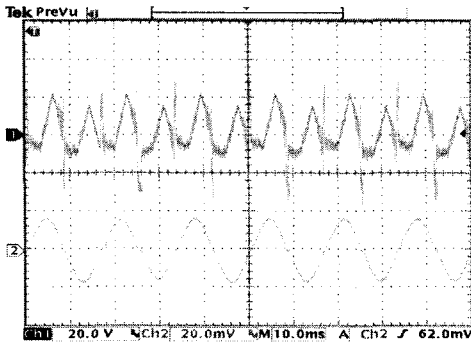


그림 10. 가스방전관의 V-I 특성곡선  
 Fig. 10. The V-I characteristic curve of gas discharge tube

가스방전관의 V-I 특성곡선은 그림 10과 같다. 일반적인 가스방전관의 V-I 특성곡선인 그림 2와는 일치하지 않지만 비슷한 양상을 보인다. 이는 가스방전관에 인가하는 전압이 DC와 AC로 서로 달라 방전 메커니즘에서 다른 특성을 보인다.

가스방전관에서 방전이 일어나면 방전관의 전극 사이는 도통 상태로 되므로 매우 낮은 저항값을 가지게 된다. 만약 가스방전관을 교류 전원선에 접속하여 사용하게 되면, 서지전압에 방전이 발생하면 가스방전관 양단의 아크방전이 교류전압의 피크값보다 작을 경우 방전이 소멸되지 않고 지속되어 속류가 흐르게 된다.



Ch. 1 : 방전전압, 20(V/div)

Ch. 2 : 방전전류, 40(A/div)

그림 11. 가스방전관에서의 속류

Fig. 11. The follow current in gas discharge tube

그림 11에 나타난 파형에서 볼 수 있듯이 이러한 속류문제는 가스방전관을 전원선로에 사용함에 있어서 큰 제한요소로 작용한다. 전극을 통하여 흐르는 방전전류가 가스방전관의 종류와 특성에 따라 정해지는 허용전류이하로 작아지거나 단자간의 전압이 글로우 방전이나 아크 방전전압 이하로 낮아질 때에 가스방전관은 방전상태에서 절연상태인 정상상태로 복귀된다.

### 3. 결론

서지보호장치(SPD)의 주 소자인 ZnO 바리스터와 가스방전관(GDT)의 V-I 특성을 실험을 통하여 분석하였다.

ZnO 바리스터의 V-I 특성곡선은 크게 소전류 영역, 중전류 영역, 대전류 영역으로 나뉘며 중전류 영역의 특성을 이용하여 SPD 소자로 사용되고 있다. 바리스터의 공칭방전전류  $I_n$ 에서 최대 방전전

류  $I_{max}$ 까지 중전류 영역을 만족하고 있다.

가스방전관의 V-I 특성곡선은 아크방전과 글로우 방전의 현상으로 급격하게 변화하는 영역이 있다. 또한 교류전압이 인가된 상태에서 가스방전관에 교류전압의 피크값보다 큰 서지전압이 들어올 경우 속류가 발생하는데 전원선로에 사용함에 있어서 큰 제한요소로 작용한다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 한국전기안전공사(과제번호:R-2005-C-069)주관으로 수행된 과제임

### 참고 문헌

- [1] John Wiley, "Protection of Electronic Circuits from Overvoltages", p.117~145, 1989.
- [2] 광희로, 정용기, "뇌와 고도 정보화 사회", p.105~131, 2000.
- [3] 이복희, 임주홍, "정보통신설비용 뇌서지 보호장치의 효과적인 설치기법", 한국조명전기설비학회논문지, 1129-4691, 제16권5호, p.90~96, 2002.
- [4] 이복희, "비선형 소자를 이용한 과도 전압에 대한 전자기기의 보호 기술", 한국전기전자재료학회지:전기전자재료, 1226~7937, 제11권7호, p.618~623, 1998.
- [5] IEC 61643-1, "Surge protective devices connected to low-voltage power distribution system Part 1:Performance requirements and testing methods", p.21~61.