

## Development and/or Characteristics Evaluation of High Performance SPD(Surge Protective Device)

김재훈\* · 김주한\*\* · 한상옥† · 김선호\*\*\* · 구경완§  
(Jae-Hoon Kim · Ju-Han Kim · Sang-Ok Han · Sun-Ho Kim · Kyung-Wan Koo)

**Abstract** - In this paper, we have developed high performance SPD(surge protective device) and evaluated the characteristics in comparison with typical SPD used in the inside and outside of the country. The new SPD was composed of MOV(metal oxide varistor), GDT(gas discharge tube) and impedance such as resistors, capacitors or varistors. To estimate operating the characteristic of the SPD which was developed, it was measured surge voltage caused by fault current or surge according to IEC 61000-4-5. As a result it was found that the power supply was cut off by high performance SPD when caused a short-circuit. In addition we could know that it could prevent ELB(earth leakage breaker)'s malfunction caused by surge.

**Key Words** : SPD, High Performance, MOV, GCA, GDT, ELB

### 1. 서 론

산업의 성장과 생활수준의 향상으로 전력에 대한 수요량이 증가함에 따라 전력을 생산하여 수용가에 공급하기 위한 전력설비가 증가하고 있다. 이러한 전력 시설물은 최근 급격한 정보화 사회의 도래에 따라 기존의 에너지 공급이라는 양적인 측면과 더불어 고 신뢰도 및 고 품질의 전원공급이라는 질적인 측면에 대한 요구를 받고 있다.

고도 정보화 사회의 실현에 필수적인 전기·전자·정보통신 설비는 작은 전기적 충격에도 취약성을 보이며 유도작용으로 인한 설비 간의 간섭 또는 오동작을 발생시킨다. 또한, 전식작용으로 인한 부식이 발생하며, 정전기 및 전자파 장애 등이 발생하게 되는데, 이러한 현상을 해결하기 위해 대부분의 설비는 접지를 하여 사용하고 있다.

전기사용 시설물에서 접지는 가장 기본적인 안정장치로 접지시설이 부적합하면 인명의 감전사고나 전기설비의 파손이나 오동작을 유발할 수 있다. 과부하 시 누전차단기가 정격동작을 하지 못하는 경우, 누전으로 인해 인체에 감전사고를 일으키거나, 기기에 누설전류를 흐르게 하여 기기의 수명을 단축시키며, 더 나아가서는 누전으로 인한 전기화재사고를 초래한다. 특히, 습도가 많은 우천 시에는 이러한 위험이

배가된다. 따라서, 인명사고 방지 및 고가의 장비보호와 오동작 방지를 위해 완벽한 접지시스템을 유지해야 한다.[8]

현재 대부분의 전기·전자기기를 비롯한 전기를 사용하는 모든 설비는 전기의 귀로를 대지로 하기 위해 전선을 대지에 연결하여 누전 등으로 인해 인체가 감전되었을 때 신속히 대지로 감전전류의 통로를 만들어줌으로써 인체로 통과하는 전류는 최소화하기 위한 전원접지를 하고 있다[8].

하지만, 친환경 그린에너지로 대표되는 연료전지 시스템, 태양광발전, 풍력발전 등 고전압 대전류의 직류시스템이 속속 개발되어 대규모로 시설되고 있으나, 과도현상에 대한 기 보호와 누전 등에 대한 인체안전에 관한 문제의식에는 매우 소극적인 상황으로, 수소연료전지시스템, 태양광발전, 풍력발전의 축전 시스템 등에 있어, 고압 직류회로에 대한 누전에 대한 인체보호 시스템의 적용은 사례를 찾아보기 어려운 실정이다. 중화학공장 플랜트(석유화학, 가스플랜트 등), 선박용 배전 등은 2차 배선 선로가 일부 또는 전체가 비접지 상태의 선로로 되어 있으며, 유조선이나 가스, 연료유 펌프 모터 등의 경우 단독 변압기를 비접지 상태로 모터와 구성하여 절연불량으로 인한 인화, 폭발 등으로부터 보호하도록 되어 있지만, 2차 선로가 비접지 상태에서 일반적인 누전 차단기로서는 그 상태의 확인 및 검출이 불가능하며 연속적인 절연상태를 수치로 나타낼 수 없다. 이와 같이 대지를 통한 직접접지를 하지 못하는 경우에는 설비나 문전반의 외함 등 금속체에 접지를 하여 전기적인 이상 발생 시 누설전류를 방류하여 접촉 시에 전기적 충격을 통한 사고를 방지하고 있지만, 완벽하게 방전되지 않은 금속체 부분에 접촉하는 경우 인명사고의 문제가 발생할 수 있다. 또한, 과도 이상전압이 유입될 때 누전차단기가 오동작하여 트립(Trip)되고 정전이 발생하는 등 파급사고가 발생하여 경제적인 손실로 이어지는 문제점을 초래하게 된다.[1,3]

† 교신저자, 시니어회원 : 충남대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박  
E-mail : sohan@cnu.ac.kr

\* 정 회원 : 충남대학교 공대 전기공학과 박사과정

\*\* 정 회원 : 충남대학교 공대 전기공학과 박사과정

\*\*\* 정 회원 : (주)한국서지연구소 대표이사

§ 정 회원 : 호서대학교 공대 국방과학기술학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 7월 27일

최종완료 : 2009년 8월 4일

이에 본 논문에서는 전원선로의 누전 시 전원차단뿐만 아니라 누전현상이 아닌 서지유입에 따른 과도특성에 의해 전원이 차단되는 것을 방지할 수 있는 정밀한 보호능력을 가지는 고성능 서지보호기를 개발하여 현재 국내외에서 사용되고 있는 서지보호기와 비교평가를 통해 보호능력을 시험하고 그 성능을 비교하였다. 또한 같은 시료를 활용하여 누전차단기가 이상전압에 오동작하는 현상을 서지보호기가 예방할 수 있는가에 대한 실험을 통해 제품의 신뢰성 및 성능의 우수함을 제시하고자 하였다.

### 2. 서지보호기의 구성 및 동작특성

서지보호기는 일반적으로 선간 및 선-접지 간에 대해 배리스터(Varistor)를 구비하는 구조를 갖는다. 기본적인 동작 원리를 살펴보면, 선간(P-N)에 유입되는 서지는  $Z_1$ 에서 흡수하고, 선-접지(P-G, N-G)간에 유입되는 서지는  $Z_2, Z_3$ 에서 각각 분담하여 흡수, 저지하는 것이다.  $TF_1, TF_2$ 는 온도 퓨즈로써 보호소자 손괴 시 사고파급을 막는 역할을 한다. 그림 1은 서지보호기의 기본 회로도도를 보여주고 있다.

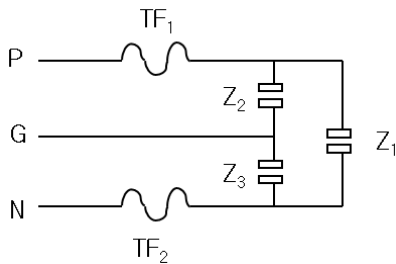


그림 1 서지보호기 회로도  
Fig. 1 Configuration of SPD

그림 1과 같이 부하회로에 적용되는 서지보호 소자는 배리스터(Z)로 구성되는데, 430~470[V]의 내전압과 850~1,000[V]의 잔류전압 특성을 갖는다. 뿐만 아니라, 부하기기에는 노이즈 필터가 적용되어 선로와 접지 사이에는 통상 2개의 0.02[ $\mu$ F]의 용량을 갖는 콘덴서가 접속되는데, 이러한 부하회로에 적용된 서지보호 소자인 배리스터와 더해져 전원선로와 대지 간에 서지가 유입될 경우 부하 측의 서지보호 소자가 작동하여 순간적으로 선로와 접지 간에 서지전류가 방전하게 되면 누전차단기는 이를 누전으로 판단하여 트립동작을 하게 된다. 이러한 동작은 정상적인 누전이 아닌 1.2~50[ $\mu$ s] 사이의 매우 짧은 순간적인 작용인데 반해, 동작속도가 30[ms]로 상대적으로 느린 누전차단기는 서지전위가 이미 소멸된 다음에 트립되는 문제점을 가지고 있다.

그림 2는 일반적인 누전차단기로서 누설전류를 검출하는 영상변류기(ZCT)와 검출된 출력신호를 증폭하는 증폭부, 증폭기의 바이어스 전압을 공급하는 전원부 및 누설전류를 초과하면 출력전압을 크게 하여 SCR에 동작전류를 발생하는 출력부로 구성되어 있다.

일반적인 누전차단기는 전원선로의 누전에 의한 트립코일의 자화로 인해 코어가 이동되어 차단된다. 이때 누전차단기를 구성하고 있는 입출력 단자 간 또는 입출력 단자와 접속된 선로 간 그리고 선로와 대지 간에 서지가 유입될 경우, 서지전류에 의해 차단기의 제어회로인 집적회로(IC)의 전원 단자나 입력단자에 서지전압이 유입되고 이로 인하여 집적

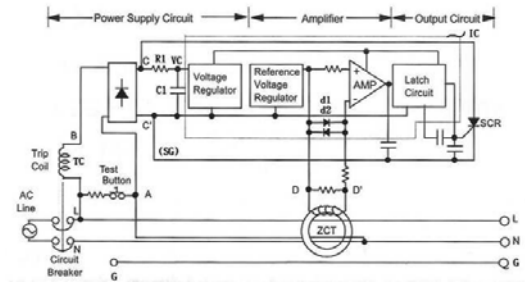


그림 2 누전차단기 회로도  
Fig. 2 Configuration of ELB

회로가 오동작을 하여 트립코일의 구동소자인 SCR을 트리거(trigger)함으로써, 전술한 바와 같이 일반적인 누전이 아닌 순간적인 서지유입에도 트립코일이 작동하여 오동작을 하게 되는 문제를 발생시키게 된다.

따라서, 본 논문에서는 누전에 대한 누전차단기 고유의 기능을 유지하면서도, 수 십[ $\mu$ s]의 짧은 시간동안 발생하는 서지유입에 대해서는 반응하지 않는, 즉, 부하회로나 누전차단기 내부에 적용되는 보호소자 보다도 월등히 낮은 제한전압을 갖는 새로운 개념의 고성능 서지보호 시스템을 개발하였으며 이를 그림 3에서 보여주고 있다.

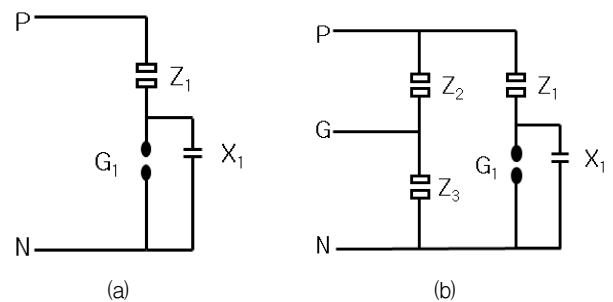


그림 3 고성능 서지보호기 회로도  
Fig. 3 Construction of high performance SPD

그림 3과 같이 고성능 서지보호기는 배리스터 소자( $Z_1$ )와 GCA(Gate Control arrestor소자( $G_1$ ) 및 제어회로( $X_1$ )로 구성되어 있다. 여기서 배리스터는 금속산화물 배리스터(Metal Oxide Varistor)를 사용하였고 GCA소자는 Gate Control 기능을 가지는 가스방입방전관(Gas Discharge Tubes)을 사용하였으며, GCA소자 양단에 서지전압을 검출하여 Gate에 Trig 신호를 공급하여 제어할 수 있다.

전원선로에 적용하는 서지보호기에 GCA소자가 적용됨으로서 서지 유입에 따라 GCA소자가 방전을 함으로서 전원선로가 단락되는 현상을 예방하기 위하여 배리스터소자를 직렬로 접속하였다. 이로서, 서지보호기는 열폭주 현상없이 선로양단의 전압은 서지유입으로 입력전압이 변동하여도 변화가 적게 되는 정전압 특성을 가지게 된다.

### 3. 실험장치 및 방법

본 논문에서는 고성능 서지보호기 동작특성을 측정하기 위해 IEC 61000-4-5에 의해 전기기기의 고장전류 또는 서

서지유입 시 대전류에 의해 전원회로에 발생하는 서지전압을 모의하였다[9,10,11].

그림 4는 과도이상전압 측정 구성도를 보여 주고 있다.

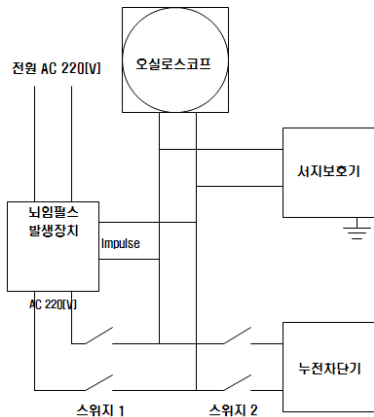


그림 4 과도이상전압 측정 구성도  
Fig. 4 Configuration for detecting surge

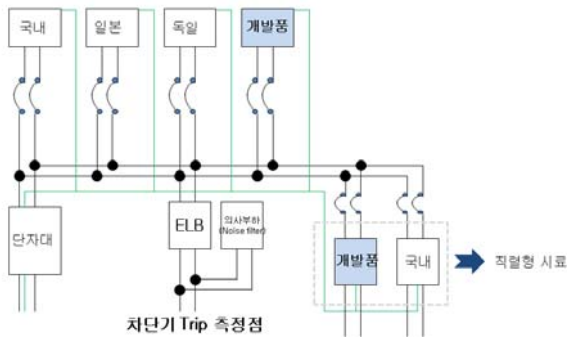


그림 5 서지보호기 및 누전차단기 구성도  
Fig. 5 Configuration of SPD and ELB

측정 시스템에서 과도이상전압을 발생시키기 위해 (주)한국서지연구소에서 제작한 surge simulator SL-6120를 이용하여 5[kV]/10[kA] 임펄스 전압을 발생시켰다.

서지보호기 성능의 비교평가를 위해 발생한 전압을 국내의 및 고성능 서지보호기에 인가하여 제한전압특성 및 누전차단기 트립특성을 측정하기 위해 그림 5와 같이 시료를 구성하였으며, 표 1은 시험에 사용된 누전차단기의 사양을 나타내고 있다.

표 1 시험용 누전차단기 사양

Table 1 Specifications of ELB for test

특성	사양
정격전압/전류	AC 220[V], 30[A]
정격 감도전류	30[mA]
정격 부동작 전류	15[mA]
동작시간	0.03초 이내
정격 차단전류	1.5[kA]
동작형태	전류 동작형

서지보호기의 동작특성 및 서지유입에 의한 누전차단기의 동작특성은 LeCloy 9310A의 오실로스코프를 이용하여 검출하였으며, 그 결과를 RS 232C 통신을 통해 PC로 저장하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

서지보호기의 보호능력 실험을 위해 그림 4의 스위치 1과 2를 Off한 상태에서 서지보호기만의 보호특성을 측정하였다.

그림 6~8은 국내외에서 사용 중인 일반적인 서지보호기로서 국내시료의 경우 잔류전압이 750[V]이며, 직렬형 국내시료는 704[V]의 잔류전압으로 통상적인 보호특성을 보이지만, 독일시료는 2,242[V] 그리고 일본시료는 1,929[V]의 잔류전압에 달하며, 방전펄스 폭이 작아 잔류에너지는 작은 특성을 보인다. 이러한 보호기는 AC 220[V] 교류에 사용되는 방전형소자 사용 보호기로서, 서지유입 시 보호 동작 후 차단기가 트립되어 정전사고로 이어지게 된다.

하지만, 본 논문에서 개발한 GCA(gate control arrestor)소자 기반의 서지보호기는 그림 9와 같이 서지보호기 동작에 대한 기준전압인 430[V]에 비해 월등히 낮은 392[V]의 잔류전압특성을 보인다.

서지보호기 동작점이 낮으면 보호 능력은 우수하지만, 상용교류에 반응하여 보호기 손상을 초래하므로 동작점을 낮게 잡을 수 없는 문제는 GCA소자를 적용하여 해결하였다.

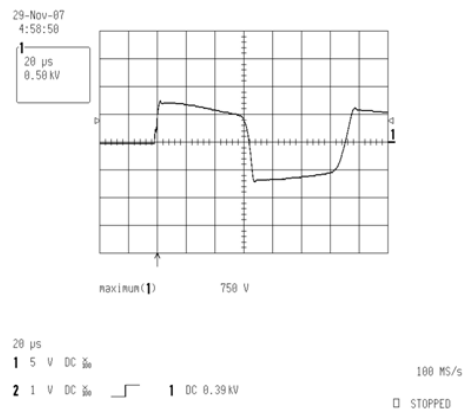


그림 6 국내시료의 제한전압특성

Fig. 6 Characteristic of typical SPD made in the country

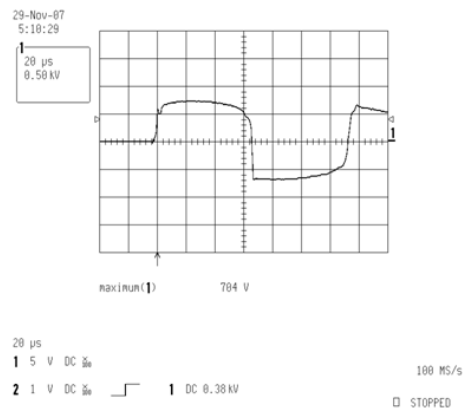
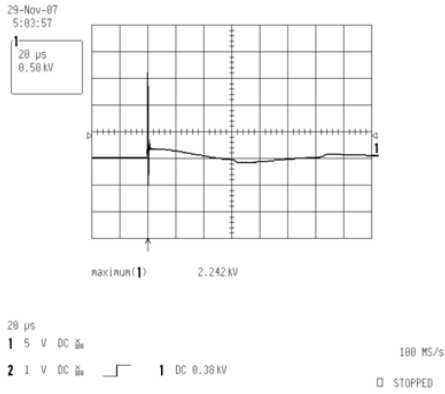
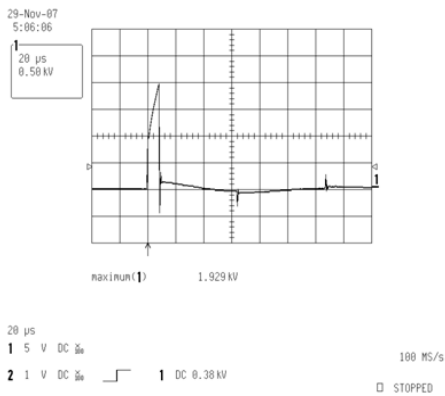


그림 7 직렬형 국내시료의 제한전압특성

Fig. 7 Characteristic of typical series SPD made in the country



(a) Germany



(b) Japan

그림 8 국외시료의 제한전압특성

Fig. 8 Characteristic of typical SPD made in Outside Country

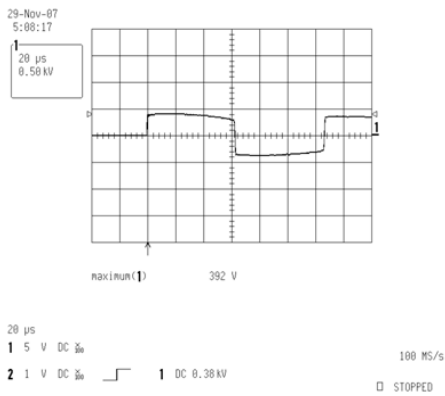


그림 9 개발시료의 제한전압특성

Fig. 9 Characteristic of developed high performance SPD

제한전압특성을 통해 배리스터를 사용하는 서지보호기는 국내외를 막론하고 사용되는 소자가 유사하며 회로구성이 비슷할 뿐만 아니라, 대체로 약 800[V]의 제한전압을 가지고 있지만, 해외시료의 경우 방전형 소자가 적용되기 때문에 소자 방전특성에 기인하여 약 2,000~2,200[V]나 되는 제한전압특성을 보였다.

이에 비해 고성능 서지보호기의 보호특성은 약 390[V]의 보호특성을 갖게 되는데, 이는 서지보호기의 동작개시전압 기준인 430[V]에 대해 -40[V]라는 under voltage 특성을 가지고 있다. 약 800[V]의 제한전압을 가지고 있는 배리스터형

보호기는 동작개시전압 430[V] 대비 370[V], 방전형 보호기는 최소 +1,630[V]의 과전압 특성을 보이고 있다.

다음으로 그림 4의 스위치 1과 2를 On하여 전원을 공급하면서 누전차단기를 접속하고 누전차단기의 입력단에 서지보호기로 과도이상전압을 보호하여 누전차단기의 트립특성에 대해 측정하였다. 그림 10~13에 각각의 시료에 대한 누전차단기의 트립특성에 대한 결과를 나타내었다. 그림에서 알 수

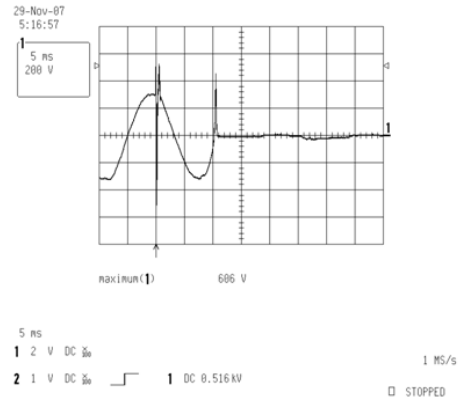
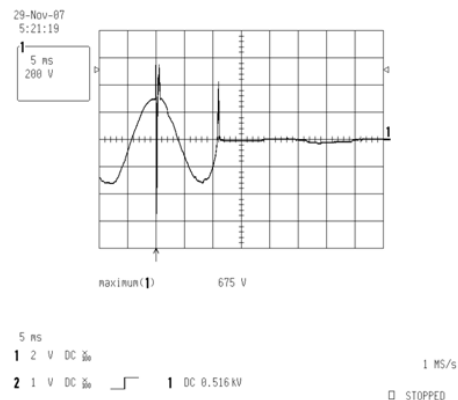
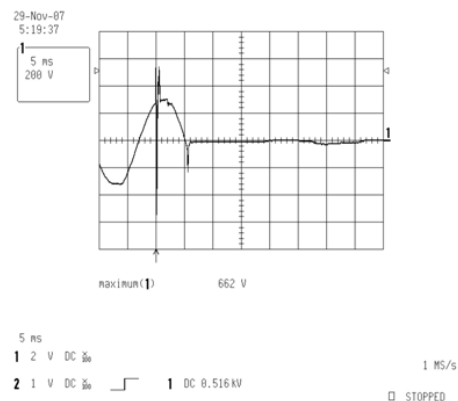


그림 10 국내시료의 차단기 트립특성

Fig. 10 Characteristic of ELB trip using typical SPD made in the country



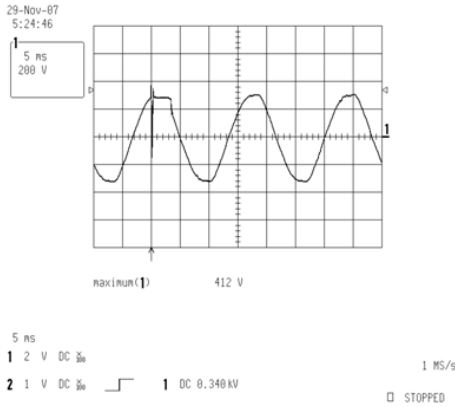
(a) Germany



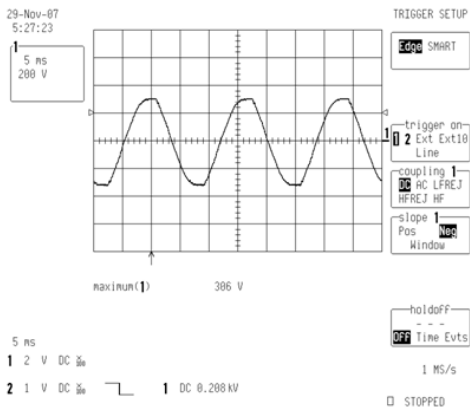
(b) Japan

그림 11 국외시료의 차단기 트립특성

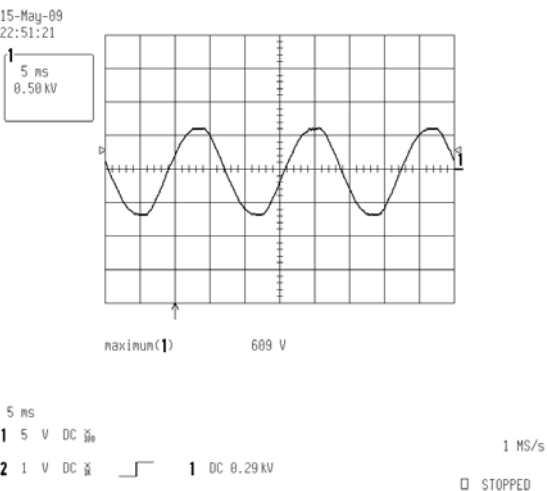
Fig. 11 Characteristic of ELB trip using typical SPD made in Outside Country



**그림 12** 개발시료의 차단기 trip특성  
**Fig. 12** Characteristic of ELB trip using developed high performance SPD



**그림 13** 직렬형 개발시료의 차단기 trip특성  
**Fig. 13** Characteristic of ELB trip using developed typical series high performance SPD



**그림 14** 개발시료의 최대 운용전압 특성  
**Fig. 14** MCOV(Maximum Continuous Operating Voltage) high performance SPD

있듯이, 국내시료의 경우 606[V], 독일시료는 675[V], 일본시료는 662[V]의 첨두전압을 보이고 있는데, 60[Hz]성분에 중첩

측정함에 따라 오실로스코프의 Time Base를 5[ms]로 설정하였기 때문에 서지전압의 첨두치는 참고적으로 기록 하였다.

실험결과, 국내외 시료 대부분이 누전차단기 트립에 있어 문제점이 나타났지만, 고성능 서지보호기로 보호된 차단기의 경우 AC 60[Hz] sine wave 상에 노이즈 정도만 보임을 알 수 있다. 특히, 직렬형의 경우 이러한 노이즈 현상조차 보이지 않을 정도로 개선되었다. 또한 낮은 제한전압을 가지는 서지보호기는 열폭주 현상이 우려되는 기술적인 문제에 대하여, 약 AC 300[V]수준에서 열폭주를 일으키는 기존 보호기와 달리 실험에 사용된 고성능 서지보호기 시료는 AC 430[V]의 측정한계 전압에도 열폭주현상이 발생하지 않은 우수한 MCOV(Maximum Continuous Operating Voltage)특성을 보였다.

### 5. 결 론

고성능 서지보호기 성능의 비교평가를 위해 수행된 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고성능 서지보호기를 배리스터 소자( $Z_1$ )와 Gate Control 기능을 가지는 방전형 GCA소자( $G_1$ ) 및 제어회로( $X_1$ )로 구성하였으며, 배리스터는 금속산화물 배리스터(Metal Oxide Varistor)를 사용하였다.

2. 일반적인 서지보호기에 사용되는 것보다 낮은 제한전압을 갖는 제한전압 특성은 GCA소자의 서지에 대한 우수한 제어능력을 볼 수 있으며, 방전형소자가 동작함에 따라 전원선로가 단락되는 현상을 방지하기 위하여 GCA소자에 배리스터 소자를 직렬로 접속하였으며, 방전형 GCA소자에 외부 제어회로를 접속하여 GCA소자를 Trig하도록 하였다.

3. 제한전압특성 시험을 통해 국내제품 서지보호기 시료는 약 800[V]의 제한전압을 가지고 있지만, 해외시료의 경우 방전형 소자가 적용되기 때문에 소자 방전특성에 기인하여 약 2,000~2,200[V]나 되는 제한전압특성을 보였다. 반면, 고성능 서지보호기의 보호특성은 약 390[V]로 일반적인 서지보호기의 동작개시전압 기준인 430[V]에 대해 -40[V]라는 under voltage 특성을 가지고 있었다.

4. 누전차단기 트립특성 실험결과, 국내외 시료 대부분이 누전차단기 트립에 있어 문제점이 나타났지만, 고성능 서지보호기로 보호된 차단기의 경우 AC 60[Hz] sinwave 상에 노이즈 정도만 보임을 알 수 있었으며, 특히, 직렬형의 경우 이러한 노이즈 현상조차 보이지 않을 정도로 성능이 우수함을 알 수 있었다.

5. 제한전압 특성을 극도로 낮게 설계한 고성능 서지보호기에 대한 최대운용전압(MCOV) 측정 결과 기존 서지보호기가 275[V] 수준의 MCOV특성을 가지는데 비하여 고성능 서지보호기 시료는 AC 430[V]이상의 MCOV특성을 가지는 것으로 평가되었다.

위의 결론을 바탕으로 기존에 사용되고 있는 서지보호기를 대체하여 본 연구를 통해 개발된 고성능 서지보호기를 사용함으로써 서지보호기의 주 역할인 서지보호는 물론 서지유입으로 인해 발생되었던 누전차단기의 오동작으로 인한 정전사고를 방지함으로써 경제적인 손실로 이어지는 문제점을 해결할 수 있으리라 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 시행하는 2009년도 산학연공동기술개발지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

**참 고 문 헌**

- [1] 이재복, 명성호, 조연구, 장석훈, 김점식, “누전차단기의 뇌씨지 동작특성 분석 및 오동작 대책”, 대한전기학회 지 51C권 10호 pp. 479~484, 2002
- [2] M.Capelli-Schellpfeffer, M.Tner, “Advances in the Evaluation and Treatment of Electrical and Thermal Injury Enrgencies”, IEEE Trans, Ind. Appl., Vol.31, No.5, pp.1147-1152, 1995
- [3] 이복희, 이승철, “서지전압에 대한 50[A]d용 누전차단기의 부동작 특성”, 조명·전기설비학회지, Vol.11, No.5, pp.42-52, 1997
- [4] 김재훈, 한상옥, 김선호, “고성능 서지보호기 개발을 통한 과도 이상전압 차단”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp2065-2066, 2009.
- [5] 이재복, 명성호 외 4인, “충격과 부동작형 누전차단기의 뇌씨지 응답 특성”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1688-1690. 2002
- [6] 이복희, 이승철, 김찬오, “뇌임펄스전압에 대한 30[A]용 고감도형 누전차단기의 오동작에 대한 특성의 해석”, 한국조명전기설비학회논문지, 제11권, 6호, pp.96-103, 1997
- [7] 김언석, 박병락, 김재철, 윤상윤, “저압 전원용 서지보호장치 기술”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.527-529, 2002
- [8] 이형수, “옥외 전기시설물의 감전예방을 위한 접지시스템”, 전기저널 통권제312호, pp.39-43, 2002
- [9] IEEE Std. C62.41-1991, IEEE Guide for Surge Voltage in Low-Voltage AC Power Circuits, 1991
- [10] KSC 4613 : 누전차단기, 한국표준협회, 1994
- [11] IEC 61000-4-5 : Testing and measurement techniques - Surge immunity test, 2001



**한 상 옥 (韓 相 玉)**

1974년 충남대학교 공업교육과(전기)졸업. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학). 1985년 독일 하노버대 객원교수 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현재 충남대학교 전기공학과 교수  
 Tel : 042-821-5655  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : sohan@cnu.ac.kr



**김 선 호 (金 善 鎬)**

1980년 구미전자공고 졸업. 한밭대학교 전자공학과 중퇴. 1980~2004년 (주)KT 재직. 2005년 한국서지연구소설립, 연구소장재직. 2007년~현재 (주)한국서지연구소 대표이사  
 Tel : 042-256-7200  
 Fax : 042-256-3200  
 E-mail : surgelab@paran.com



**구 경 완 (丘 庚 完)**

1983년 충남대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1987년 현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1989년 충청전문대학 전자과 조교수. 1994년 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수  
 Tel : 041-540-9541  
 Fax : 041-540-5693  
 E-mail : alarmkoo@hoseo.edu

**저 자 소 개**



**김 재 훈 (金 載 勳)**

1997년 충남대학교 전기공학과 졸업(학사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000~2003년 (주)진로산업 기술연구소 주임연구원. 충남대학교 전기공학과 박사과정수료  
 Tel : 042-821-7604  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : geez011@cnu.ac.kr



**김 주 한 (金 周 漢)**

2003년 충남대학교 전기공학과 졸업(학사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 충남대학교 전기공학과 박사과정수료  
 Tel : 042-821-7604  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : rykiel76@cnu.ac.kr