

# 서지보호기의 일시과전압특성에 대한 실험적 연구

(Experimental Study on Temporary Overvoltage Characteristic of Surge Protective Devices)

심해섭\* · 전태현\*\*  
(Haesup Shim · Taehyun Jeon)

## Abstract

Surge protective devices (SPD) have a special position because of the expectation that they perform an effective protective function against various kinds of surges. However, there exists a misconception that the SPD satisfying lower measured limiting voltage (MLV) should also protect equipment against temporary overvoltages (TOVs) as well. This paper inspects various types of MOV based SPDs and carry out experiments on the side effects of the low MLV characteristics. The experiment results show that a low MLV could cause a higher TOV-induced SPD failure rate in the field.

## 1. 서론

산화금속바리스터(MOV : Metal Oxide Varistor)를 주소자로 사용하는 전압제한형 서지보호기의 측정제한 전압(MLV : Measured Limiting Voltage) 혹은 최대클램핑전압(MCV : Maximum Clamping Voltage) 수준이 최소화되는 조건이 효과적이고 안전한 서지보호기(SPD : Surge Protective Device)를 위한 충분조건이라는 SPD에 대한 단편적 인식과 과도과전압뿐만 아닌 일시과전압(TOV : Temporary Overvoltage) 역시 동시에 동일한 서지보호기로 보호될 수 있다는 인식은 SPD의 성능평가를 MLV 관점에만 집중하게 했다. 이상적인 SPD의 조건은 과도과전압(뇌, 개폐서지)에 대한 낮은 MLV 혹은 MCV과 이와 함께 발생가능한 모든 TOV 고장모드를 만족시키는 최대연속동작전압(MCOV)을 갖는 것이다[1]. 그러나 MOV를 기본 소자로 사용하는 전압제한형 SPD는 MOV의 전기적, 물리적 특성에 전적으로 의존하므로 현재로서는 위의 두가지 조건을 동시에 만족시키는 것이 거의 불가능한 것이 현실이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 MOV의 최대연속동작전압과 MLV특성은 소자의 두께에 따라 두개의 특성 모두 비례하는 관계이므로 위에서 언급한 SPD가 최적으로 갖추어야 할 두 가지 조건을 동시에 만족시키는 것은 불가능 할 것이다. 본 연구에서는 국내 시판중인 전압제한형 SPD 현황을 조사 분석하고, MOV를 사용하는 전압제한형 SPD의 TOV 특성에 대한 실험 결과를 고찰한다.

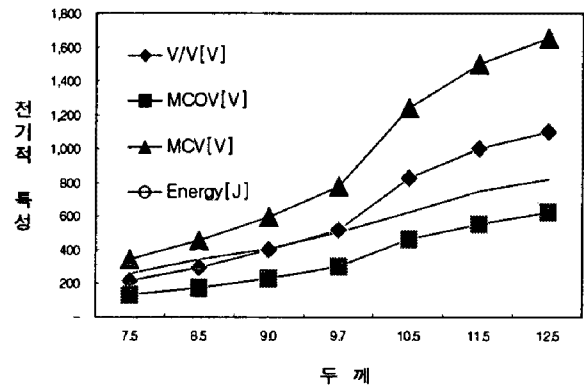


그림 1. MOV의 두께에 따른 전기적 특성  
Fig. 1. Electrical characteristics about MOV's thickness

## 2. 실험

### 2.1. 국내시판 전압제한형 SPD 명세 분석

동일한 정격입력전압(단상 220[V])과 "KS C IEC 61643-1"의 III등급 시험 또는 동일 시험규격(CE 61643-1 등)에 의해 시험된(Name Plate Listed) 제품을 각 제조사의 Web Site를 이용하여 자료를 수집하였다. "KS C IEC 61643-1-6(요구사항)"은 SPD 제조사에 의해 의무적으로 제공되어야 하는 23가지 최소정보를 명시하고 있으며, 특히 기기 본체에 의무적으로 표시해야 하는 8가지 항목을 규정하고 있다. 또한 "KS C IEC 61643-12.5.4.2(SPD 선정시 파라미터 목록)"은 제조사에서 제공되어야 하는 최소 정보 중 한 항목인 TOV내압에 대해서도 명시하므로 각 SPD 제조사의 제시 정보를 요약하면 표 1과 같다.

\* 서울산업대학교 산업대학원  
\*\* 서울산업대학교 전기공학과

표 1. 의무표시 적용 현황

Table 1. The present state of duty-marks application

의무 표시 사항	A사	B사	C사	D사	E사	F사
최대연속 동작전압	Apply (275V)	Apply (320V)	Apply (320V)	N/A	Apply (275V)	Apply (275V)
등급분류 /방전 파라미터	Apply (IECIII, CE Listed)	N/A	N/A	N/A	N/A (CE Listed)	Apply (IECIII, CE Listed)
전압보호 레벨	Apply (<2kV)	Apply (<2kV)	Apply (<1.5 kV)	N/A	N/A (MLV 500V)	Apply (<2kV)
일시 과전압 내력	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L-G : 383N

각 제조사의 최대연속동작전압은 275[V] 또는 320[V] 이므로, "KS C IEC 61643-12, 부속서 B"를 참조하면, TN계통의 L-PE, L-PEN와 TT계통의 L-N에서 전압변동이 10%와 동일한 경우에만 적용가능하다. 물론 SPD로 보호하고자 하는 부하가 전형적인 고조파 발생원이라면, 최대연속동작전압은 THD(총합 고조파 왜형률)에 따라 상향 조정되어야 할 것이다. "KS C IEC 61643-12, 5.5.1.2(일시과전압)"에 의하면 TOV에 대한 제조사의 명시가 없을 경우 최대연속동작전압을 TOV값으로 간주하도록 하고 있으므로, 275[V] 또는 320[V]를 각 제조사의 TOV값으로 간주할 수 있다. 이를 "KS C IEC 61643-1, TOV 규정값"과 비교하면, 모든 SPD는 200[ms] 동안 최소 TOV값'은 물론 '5s 동안 최소 TOV값' 중 제시된 6개 항목 중 전체 항목에 부적합하다. 이것이 의미하는 바는, 결국 모든 TOV 고장모드에 대해 내압을 가지는 SPD 제조가 현재로서는 불가능할 것으로, SPD 내·외부 단로기류(퓨즈 등)에 의한 신속하고 정확한 단선모드의 유지로 기기내부 소자 보호는 물론 발화 등으로 인한 파급사고를 예방할 수 있어야 한다. 이것이 TOV에 대한 SPD의 성능 규정이다 [2][4][5]. 전압보호레벨은 제조사로부터 명시되어야 하는 SPD의 성능을 규정하는 파라미터이며, 이는 MLV의 가장 높은 값과 같거나 더 크다[5].

## 2.2. SPD에 대한 일시과전압 특성

SPD에 있어 TOV이라 함은 SPD가 견딜 수 있으며, 특정 지속시간동안 SPD의 MCOV를 초과하는 최대 실효값 또는 직류 전압을 말한다. SPD에 TOV를 인가한 다음에도 성능의 변화가 없거나 고장상태에도 인명이나 장비에 어떤 피해도 입히지 않는다는 제조사에 의해 제공 되어지는 SPD의 특성 중 하나이다[2][3]. 또한 SPD

에 대한 "TOV 고장 상태"라 함은 TOV조건(저압 시스템에 영향을 미치는 고압시스템에서의 지락사고 등)하에서 상(Phase)과 중성선 단자 및 접지 단자 사이에 연결된 서지보호기의 상태를 말한다[2].

결국 SPD도 다른 저압기기의 범주에 속하며 동일한 TOV 상태에 대한 "정격 일시과전압" 내성이 필요한 것을 의미하며, 전기설비 "내선규정 5220-2(대기현상 및 개폐로 인한 과전압에 대한 보호)"에서도 SPD의 선정과 관련된 TOV값에 대하여 일반 저압기기의 허용 스트레스 전압값인 표 2를 참조하도록 하고 있다[6].

표 2. 허용 스트레스 전압

Table 2. Tolerance stress voltage

저압설비의 기기 허용 스트레스 전압[V]	차단시간[s]
$U_0 + 250[V]$	> 5
$U_0 + 1200[V]$	≤ 5

고압측의 지락사고로 인한 저압기기의 허용 스트레스 전압은 계통의 접지시스템에 따라 다양하게 나타난다. 서지보호기의 MCOV를 크게 상한하는 스트레스전압, 즉 TOV을 고려한 SPD의 선정은 어려울 것이다. 원인으로서는 전원용 서지보호기 소자로 널리 사용되는 MOV 소자의 일반적인 특성을 고려하면, 그림 1과 같이 MCOV을 상향 조정하면, 바리스터전압과 에너지내량이 상승하여 TOV에 대하여 긍정적인 효과를 기대할 수 있으나, 상대적으로 MLV 또는 MCV이 하향되어, 저압기기의 내전압강도 그 이상의 MLV 특성을 가지게 됨으로 SPD 설치 의미가 없어진다.

## 2.3. 일시과전압실험

실험에 앞서 고려해야 할 것은 실제 수용가에서 발생 가능한 TOV의 크기와 그 지속시간일 것이다. 한국산업 규격은 각 각의 전압 종별 수용가에서 발생 가능한 TOV를 "KS C IEC 61643-4-44"에서 그림 2와같이 세분화하고 있다(여기서 'a, b, c, d'는 전압별 및 접지시스템별 TOV값).

특고압 수전계통내의 지락 사고 시 TOV에 대해 기기를 보호하는 것은 선도체 또는 중성선과 보호도체간에 접속되는 SPD에 대해 적용되며, 발생 가능한 TOV은 표2와 같이 최대 "상전압( $U_0$ )+1200[V]"로서 단상 220[V]의 경우 1,420[V]에 달할 수도 있다[2][6].

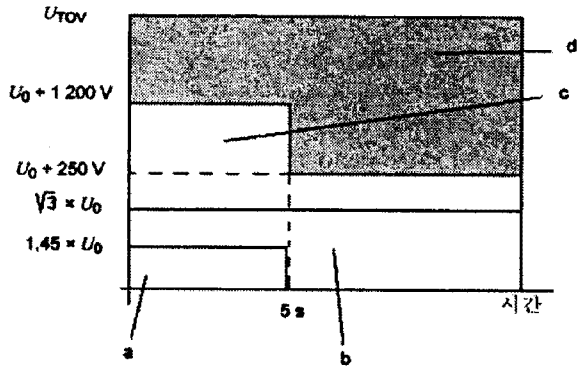


그림 2. 최대 TOV값  
Fig. 2. Maximum TOV value

실험에 적용할 TOV 지속시간을 고려하면 단적인 예로 22.9[kV]-Y, 특고압 정식수전의 경우 지락과전류계 전기 및 지락과전압계전기 및 특고압차단기 특성상 일선지락 시 특고압차단기의 전차단시간은 통상 1초 이하임으로 저압측 SPD는 최대 1초에서의 TOV값이 필요하다. 이와 같이 TOV시험 시 인가되는 전압 및 지속시간은 수용가의 수전방식, 접지시스템 및 보호계전시스템 등의 변수를 고려해야만 할 것이나, 한국산업규격은 각 접지시스템별의 TOV값만을 규정하고 있을 뿐 수용가의 수전방식, 보호계전방식에 대한 고려가 없으므로 EPRI(Electric Power Research Institute) Solution의 "TOV Stress Level"을 참고하면 표 3과 같다[1].

표 3. TOV 스트레스 레벨  
Table 3. TOV Stress level

Test Stress Level	Imitated Condition	Magnitude	Duration
1	Poor voltage regulation	1.15PU	6H
2	During fault	1.3PU	2S
3	Loss of a secondary neutral	1.5PU	4H
4	Ferroresonance	2.0PU	1M
5	Commingling (contact to HV circuits)	3.0PU	1S

한국산업규격이 예시한 특고압 정식수전 수용가의 발생 가능한 TOV의 크기와 지속시간을 동시에 만족할 수 있는 실험값을 제시하고 있지 않음으로 위의 표 5를 참고하여 실험값을 결정한다. 또한 시료의 사전적용시험으로 시료의 'L-N'의 3.0[PU]값 이하인 528[V]/100[ms]와 2[s]를 인가하였다.

528[V]/100[ms]시험 결과로서, TOV시험에서는 퓨즈 등이 동작하여 SPD의 지속적인 단선모드가 명백히 입증 되어야 함에도 발연 및 발화와 함께 소자가 소손되었다. 지속적인 단선모드의 검증을 위해 "KS C IEC

61643-1.7.7.6.2(TOV 고장모드)"에서는 SPD의 최대연속 사용전압을 TOV 시험 후 SPD에 1분 동안 인가하도록 하고 있으며, 최대연속사용전압 인가 후 SPD를 통하여 흐르는 전류를 0.5[mA]이하로 규정하고 있다[3][4]. 그러나 시료는 시험 후 상(Phase)과 중성선(Neutral)간 저항 측정 결과 약 100[Ω]이 측정되며, 최대연속사용전압 인가 시 약 2[A]의 전류가 측정 되었다. 이는 TOV 고장모드에서는 SPD를 통해 흐르는 전류가 0.5[mA]로 규정하고 있는 것을 참고하면 시료는 규정보다 4,000배의 전류를 초과함을 알 수 있다.

528[V]/2[s]시험 결과로서, 시료는 발화 및 소손되었다. 과전류보호와 관련 된 단락전류 내력 시험의 합격 기준을 참고하면 SPD는 단락전류 인가 시 5초 이내에 회로부터 분리되어야 하며(퓨즈 단선 등), SPD를 통하여 흐르는 전류는 0.5[mA]를 초과하지 말아야 하나, 시료는 1초 이내에 단락되었으며 2초 인가 시까지 단락모드를 유지하였다.

표 4. TOV 실험 방법  
Table 4. TOV Test method

시료 정격 : 3상4선식 380/220[V], 80[kA]
인가전압 : 528[V]
인가시간 : 100[ms], 2[s]
측정시스템
단락변압기 용량 : 100 kVA, 발생전압 : 240 ~ 820 V (60Hz), 순간단락전류 : 2,000 A, 대전류 스위칭 모듈 : 대용량 반도체 스위치 소자 적용 스위칭 동작시간을 ms 단위로 제어가능
성능 확인 : 실험 중 파손되지 말아야 하며, 내부 퓨즈의 동작으로 단선모드가 지속되어야 한다.

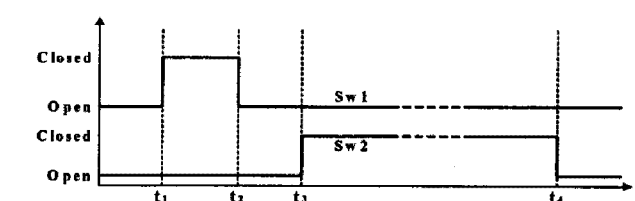
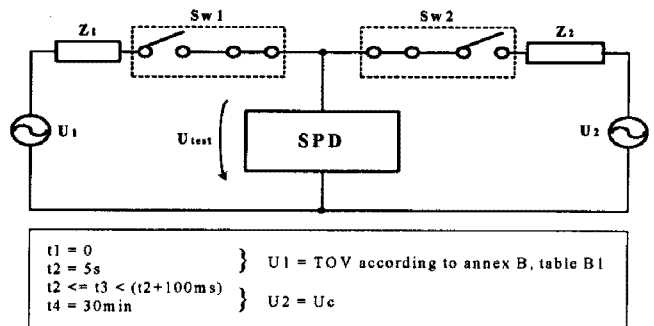


그림 3. TOV 실험 회로(KS C IEC 61643-1)  
Fig. 3. TOV Test circuit(KS C IEC 61643-1)

### 3. 결 론

전압제한형 SPD의 현황을 분석하고, TOV특성에 대한 실험적 연구를 수행한바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)SPD의 정확한 TOV값 규정을 위해서는 국내 수용 가별 전원시스템을 고려하여 실험 TOV값 및 지속시간에 대한 연구가 필요하다.

2)TOV에 대하여 기대할 수 있는 SPD의 동작 특성은, 내부 단로기(퓨즈 등)의 빠른 응답특성으로 TOV를 차단하여 내부소자보호 및 단락을 제거하는 것이다. 본 실험에서와 같이 TOV에 대한 고려 없이 SPD용 단로기(퓨즈 등)를 미적용하는 것은 TOV고장 모드에 취약할 수밖에 없음을 알 수 있다. SPD 내부 MOV 소자의 열폭주만을 고려한 온도 퓨즈는 TOV고장모드에서는 퓨즈가 단선될 수 없다.

3)SPD의 성능을 규정하는 것에 있어 낮은 MLV도 중요할 것이나 SPD 안전성을 규정할 수 있는 TOV특성 역시 중요함을 알 수 있으며 향후 TOV에 대한 대책으로 신속 정확한 단선 모드를 유지하기 위한 SPD용 단로기에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 요망된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Doni Nastasi Asistant Lab Manager EPRI Solutions, "TOV Effects on Surge Protective Devices", Power Quality Exhibition and Conference Report, 2006.10.
- [2] 한국산업규격, KS C IEC 60364-4-44, 건축전기설비, 제4-44부 전압 및 전자파 장애에 대한 보호, 한국표준협회, 2005.
- [3] 한국산업규격, KS C IEC 61643-1, 저압 배전계통의 서지보호장치, 제1부 성능 및 시험 방법, 한국표준협회, 2007.
- [4] 한국산업규격, KS C IEC 61643-12, 저압 배전계통의 서지보호장치, 제12부 저전압 배전계통에 접속한 서지보호장치 선정 및 적용 지침, 한국표준협회, 2007.
- [5] 한국산업규격, KS C IEC 61643-331, 저압 서지보호 장치의 부품, 제331부 산화금속 배리스터(MOV)에 대한 규정, 한국표준협회, 2006.
- [6] "내선규정", 대한전기협회, 2007.