

보호거리와 부하 유형에 따른 SPD의 보호효과에 대한 실험적 고찰

(Experimental Examinations on Protective Effects of SPDs Associated with the Protective Distance and Type of Load)

이복희* · 김유하 · 안창환

(Bok-Hee Lee · You-Ha Kim · Chang-Hwan Ahn)

Abstract

Surge protective devices (SPDs) are widely used as a most effective means protecting the electrical and electronic equipment against overvoltages such as lightning and switching surges. When installing SPDs, it is essential that the voltage protection level provided by SPDs should be lower than the withstand voltage of the equipment being protected. But even the proper selection of SPDs are achieved, the voltage at the equipment terminal may be higher than the residual voltage of SPD due to the reflection and oscillation phenomena. This paper was focused on the investigations of the conditions for which the equipment is protected by an SPD taking into account the influences of the protective distance and type of load. The protective effects of SPD with voltage-limiting component were analyzed as functions of types of load and protective distance between the SPD and load. As a result, in the cases of long protective distances, capacitive loads and loads with high resistance, the voltage at the load terminal was significantly higher than the residual voltage of SPD. It was found that the proper installation of SPDs should be carried out by taking into account the protective distance and type of load to achieve reliable protection of electronic equipments against surges.

Key Words : Lightning Surge, Surge Protective Device, Protective Distance, Oscillation Phenomenon, Residual Voltage

1. 서 론

최근 초소형이며 초고속인 반도체 기술이 발전함에 따라 정보통신시스템이 관련 산업에 적용되어 고도 정보화 사회가 빠르게 성장하고 있으며 이에 따른 디지털 전자기기의 임펄스내전압은 낮아져 낙뢰로 인한 피해가 증가하고 있다[1]. 전기설비기술기준에서 대기 현상 또는 개폐기의 조작에 의한 과전압에 대한 전기 전자설비를 보호하기 위해 과전압범주를 도입하여 건

* 주(교신)저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학부 교수
* Main(Corresponding) author : School of Electrical Engineering, Inha University, Professor
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2012년 8월 1일
1차심사 : 2012년 8월 3일
심사완료 : 2012년 8월 30일

축물 내부에 설치하는 기기에 필요한 정격임펄스내전압을 차등적으로 두고 있으며, 이에 따른 서지방호(보호)장치(surge protective devices: SPDs)의 설치가 중요하게 대두되었다. 외부에서 침입하거나 개폐장치의 조작으로 발생하는 서지전압이 건축물 내에 설치된 전기전자기기의 임펄스내전압 이하로 되도록 SPD의 전압보호레벨을 선정해야 한다[2-3].

KS C IEC 62305-5, KS C IEC 60364와 KS C IEC 61643-12의 규정에 따라 SPD의 제한전압과 에너지내량을 고려하여 SPD를 설치하더라도 보호대상 기기와 SPD 사이의 거리가 멀리 떨어져 있으면 서지의 전파에 의한 반사와 진동현상 때문에 전압보호레벨의 2배 정도 또는 그 이상의 전압이 발생하여 전기전자기기의 고장을 초래할 수 있다[4-8]. 하지만 실제 현장에서 보호거리와 부하의 유형 즉, 부하의 입력임피던스를 고려하여 적절한 규격의 SPD를 선정하거나 설치위치를 결정하고 SPD의 효과를 평가하여 SPD를 설치하는 경우는 거의 없다. 따라서 본 논문에서는 부하의 유형 및 보호대상기기와 SPD 사이의 거리인 보호거리에 따라 SPD의 보호효과를 파악하여 효과적인 SPD의 설치조건에 대한 실험적 연구에 대한 결과를 기술하였다. 즉 SPD에 의해 제한된 전압이 R, L, C 및 $R-L$ 직렬회로, $R-C$ 병렬회로 등의 부하 유형 및 보호거리에 따라 부하의 단자에 나타나는 전압을 측정하고 분석하여 SPD의 보호효과를 검토하였다.

2. 실험

서지전압이 입사한 경우 SPD에 의해 제한되어 부하의 유형 및 보호거리에 따라 보호대상 부하의 단자에 나타나는 전압의 변동특성을 분석하기 위해서 그림 1과 같은 실험회로를 구성하였다.

배선재료로는 도체단면적 2.5mm^2 과 PVC피복의 450/750V 내열비닐절연전선을 사용하였다. IEC 60664/IEEE C62.41 서지시험에 요구되는 조합형 임펄스 발생장치(개방전압 $1.2/50\mu\text{s}$, 단락전류 $8/20\mu\text{s}$)를 사용하였으며, SPD와 부하 사이의 보호거리는 1, 5, 10, 50, 100m로 하였다. 저항, 인덕터, 커패시터 및 인

덕터와 저항의 직렬회로, 저항과 커패시터의 병렬회로 등의 5종류의 부하 유형을 대상으로 하였다. 본 실험에 사용된 부하의 유형과 부하소자의 값을 표 1에 나타내었다.

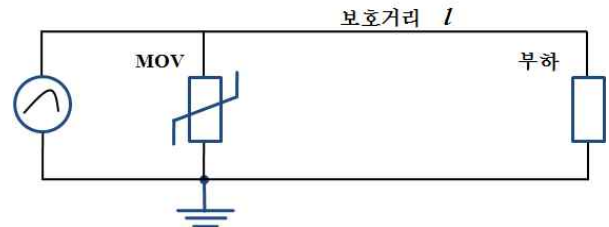


그림 1. 실험회로
Fig. 1. Experimental circuit

표 1. 본 실험에 사용된 부하 유형
Table 1. Types of load used in this experiment

부하 유형	부하소자의 값
R	$10\Omega, 100\Omega, 10k\Omega$
L	$1\mu\text{H}, 20\mu\text{H}, 160\mu\text{H}$
C	$1.64\text{nF}, 8.2\text{nF}, 17\text{nF}$
R 과 L 의 직렬회로	$10\Omega+20\mu\text{H}, 10\Omega+160\mu\text{H}, 10k\Omega+20\mu\text{H}$
R 과 C 의 병렬회로	$10\Omega // 1.64\text{nF}, 10\Omega // 17\text{nF}, 10k\Omega // 17\text{nF}$

SPD는 저압 배전계통의 220V 전원회로의 서지보호용을 가장 많이 사용되는 최대 방전전류 40kA와 최대 연속사용전압 U_c 는 275V이며, 방전전류 300A에서 클램핑전압 710V를 갖는 금속산화물바리스터(metal oxide varistor: MOV)소자를 선정하였다. 부하 유형과 부하소자의 값을 파라미터로 하여 $1.2/50\mu\text{s}$ 임펄스 전압을 인가한 때 보호거리에 따른 SPD의 잔류전압과 부하의 단자전압을 측정하였다. 전압의 측정에는 DC-50MHz 주파수대역의 능동형 차동전압프로브를 사용하였고, 관측된 전압파형은 5GS/s의 오실로스코프로 저장하여 분석하였다.

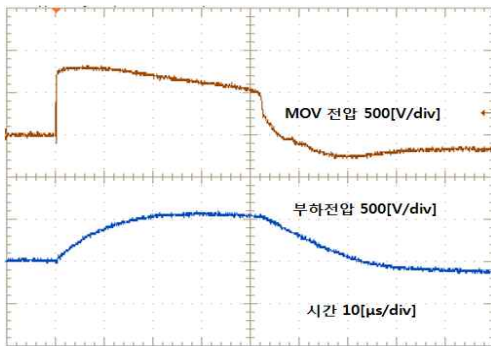
3. 결과 및 고찰

3.1 SPD와 부하 단자전압 파형의 특성

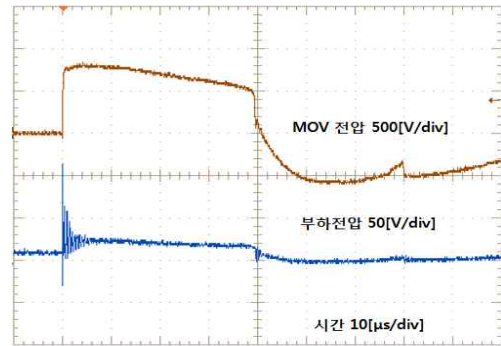
부하 유형과 부하소자의 값을 파라미터로 하여 보호

거리 50m일 때 $1.2/50\mu s$, 10kV의 임펄스전압을 전원 측에 인가한 경우 SPD의 단자와 부하단자에서 측정된 전압파형의 대표적인 예를 그림 2~그림 6에 나타내었다. 부하 유형에 관계없이 SPD 단자전압의 파형은 변동이 거의 없었으나 부하단자 전압파형은 부하 유형과 소자의 값에 따라 크게 변동하는 것으로 관측되었다. SPD가 동작한 때 SPD의 단자전압은 근사적으로 직각파(flathead) 형태로 나타난다고 볼 때 선로와 부하의 변이점에서 임피던스의 차로 인하여 반사 현상이 일어나게 된다[9]. 즉 부하 단자전압에는 SPD에 의해 제한된 서지전압의 부하 측을 향한 전파에 따른 왕복반사, 그리고 부하임피던스 소자의 유형과 크기 및 보호거리에 상응하는 선로의 인덕턴스에 따라 나타나는 진동성 성분이 복합적으로 포함되어 있다.

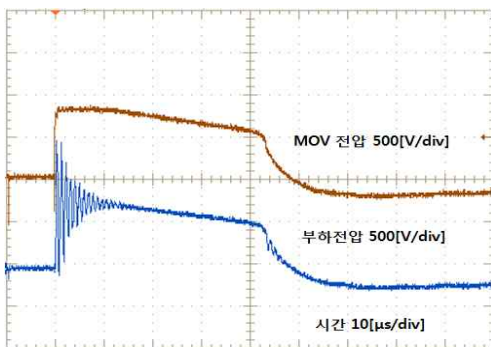
저항 부하의 경우 그림 2와 같이 10Ω 에서 부하 단자 전압은 회로특성에 따라 서서히 증가하는 양상이었으나 $10k\Omega$ 에서는 왕복반사에 의해 서지전압의 초반부에 커다란 진동성분이 나타났다. 또한 동일한 저항에서도 보호거리에 따른 진동성분의 변동으로 부하단자 전압이 높게 나타났다. 인덕턴스만의 순수 유도성 부하의 경우 그림 3에 나타낸 바와 같이 SPD에 의해 제한된 급상승 서지전압이 인덕터 양단에 입사하면 초기상태는 개방조건으로 작용하여 왕복반사에 의한 진동과가 발생하며 단자전압은 전류의 변화율에 인덕턴스의 곱으로 형성되므로 저항 부하에 비해 매우 낮은 값으로 나타났다. 인덕턴스가 클수록 진동의 지속시간이 길어지고 부하 단자전압도 높아지는 것으로 나타났다.



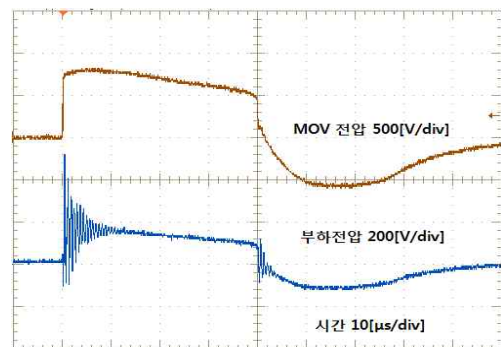
(a) 10Ω의 저항부하



(a) 1μH의 유도성 부하



(b) 10kΩ의 저항부하

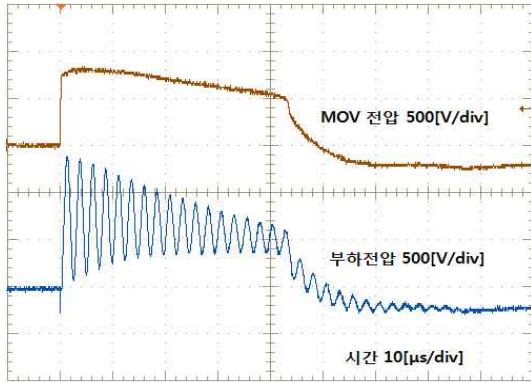


(b) 20μH의 유도성 부하

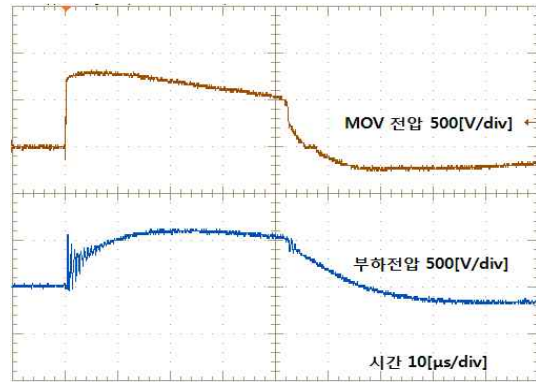
그림 2. 저항 부하의 단자전압과 SPD의 잔류전압 파형의 예
Fig. 2. Waveforms of the residual voltage of SPD and the terminal voltage of resistive loads

그림 3. 유도성 부하의 단자전압과 SPD의 잔류전압 파형의 예
Fig. 3. Waveforms of the residual voltage of SPD and the terminal voltage of inductive loads

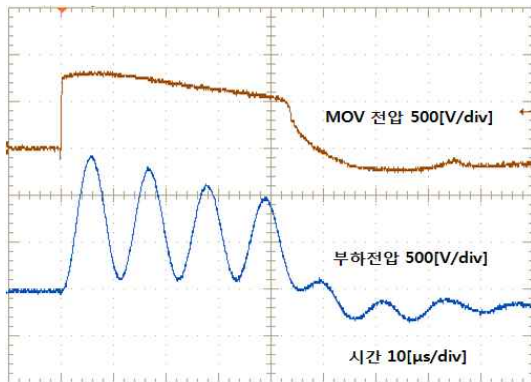
보호거리와 부하 유형에 따른 SPD의 보호효과에 대한 실험적 고찰



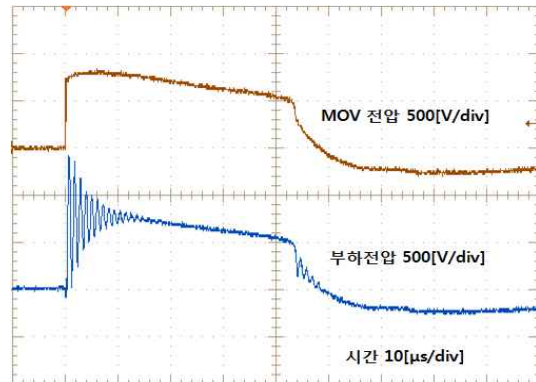
(a) 1.64nF의 용량성 부하



(a) 10Ω과 20μH의 직렬 부하



(b) 17nF의 용량성 부하



(b) 10kΩ과 20μH의 직렬 부하

그림 4. 용량성 부하의 단자전압과 SPD의 잔류전압 파형의 예

Fig. 4. Waveforms of the residual voltage of SPD and the terminal voltage of capacitive loads

그림 5. R-L직렬 부하의 단자전압과 SPD의 잔류전압 파형의 예

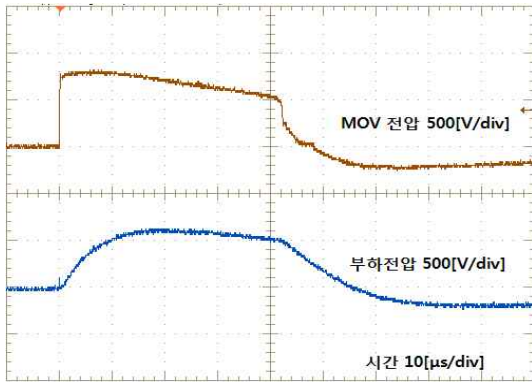
Fig. 5. Waveforms of the residual voltage of SPD and the terminal voltage of R-L series loads

커패시턴스만의 순수 용량성 부하의 경우는 그림 4에서와 같이 SPD에 의해 제한된 급상승 서지전압이 커패시터 양단에 입사하면 왕복반사의 영향보다는 선로의 인덕턴스와 부하의 커패시턴스의 직렬 접속에 상당하는 L-C직렬회로의 진동전압이 우세하게 작용하여 상당히 높은 진동과 전압이 나타났다. 부하 커패시턴스의 크기에 따라 단자전압의 크기는 거의 변동하지 않으나 진동주파수는 커패시턴스가 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다. 즉 서지전압의 진행과 작용보다는 회로소자의 작용이 지배적인 것으로 볼 수 있다.

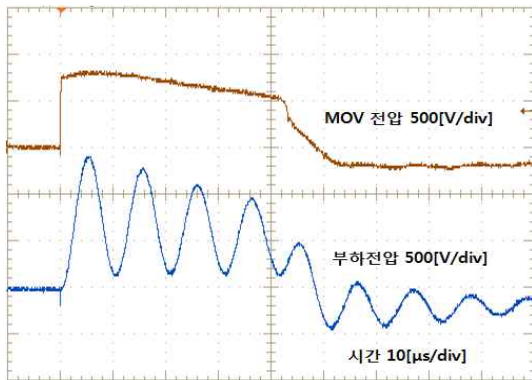
R과 L이 직렬로 접속된 경우 부하 단자전압은 저항만의 단자전압과 인덕터만의 단자전압의 합성으로 나타났다. 즉 그림 5에 나타난 R-L직렬 접속된 부하 단자전압의 파형은 그림 2와 그림 3을 합성한 것으로 볼 수 있다. 이에 반해 R과 C를 병렬로 접속한 부하의 경우 저항과 커패시턴스의 역할이 지배적으로 작용하는 조건에 대한 특성으로 나타났다. 그림 6의 결과를 보면 10Ω의 저항과 17nF의 커패시턴스가 병렬로 접속된 경우 부하 단자전압은 저항만의 부하 단자전압과 거의 유사하며, 10kΩ의 저항과 17nF의 커패시턴스가 병렬로 접속된 부하 단자전압은 커패시턴

스만의 단자전압에 상응하는 파형으로 관측되었다. 회로소자가 병렬로 접속된 경우 부하 단자전압은 입사된 서지에 민감하게 반응하는 회로소자의 특성이 지배적으로 나타나는 것으로 볼 수 있다.

이와 같이 전압제한형 SPD소자인 SPD의 하위에 접속되는 부하의 유형에 따라 부하단자에 나타나는 전압의 파형이 변동하여 전압보호레벨에 영향을 미치게 된다. 따라서 SPD를 설치할 때는 SPD의 특성만을 고려할 것이 아니라 부하의 특성도 반영하여야 효과적인 SPD의 보호효과를 얻을 수 있다는 것이 밝혀졌다.



(a) 10Ω과 17nF의 병렬 부하



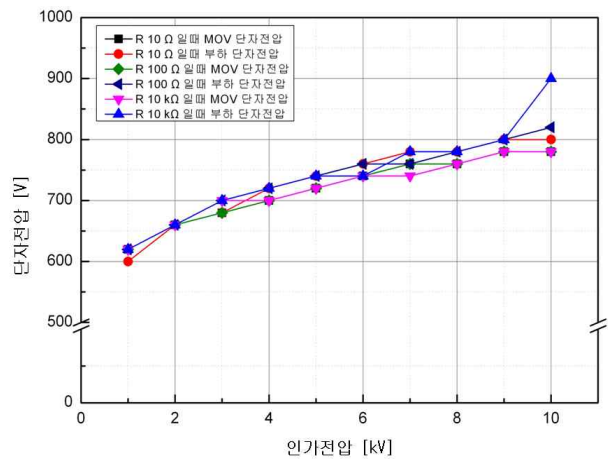
(b) 10kΩ과 17nF의 병렬 부하

그림 6. R-C 병렬 부하의 단자전압과 SPD의 잔류전압 파형의 예

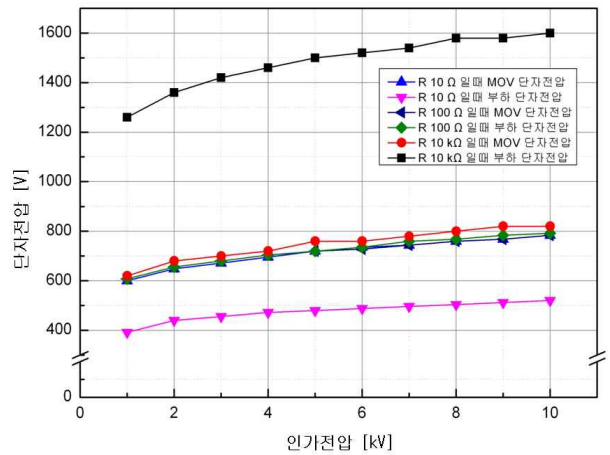
Fig. 6. Waveforms of the residual voltage of SPD and the terminal voltage of R-C parallel loads

3.2 보호거리에 따른 부하 단자전압

저항 부하의 경우 보호거리 1m와 100m일 때 인가전압의 크기에 따른 SPD와 부하의 단자전압을 그림 7에 나타내었다. 인가전압이 증가할수록 SPD와 부하의 단자전압은 SPD 자체의 동작특성에 따라 선형적으로 증가하였지만 보호거리가 1m일 때 부하저항의 크기에 따른 부하의 단자전압 차이가 거의 없는 것으



(a) 보호거리 1m

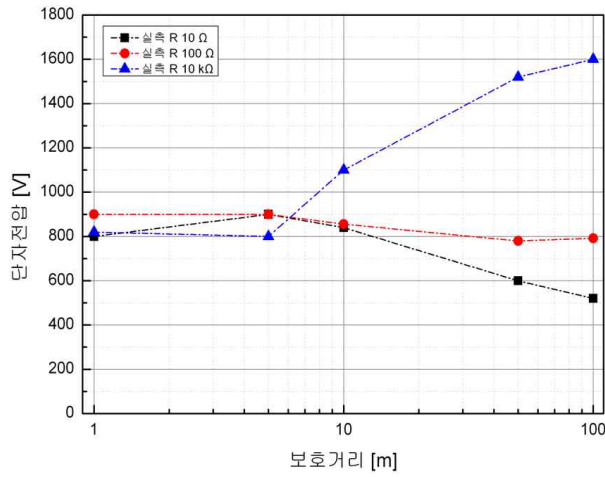


(c) 보호거리 100m

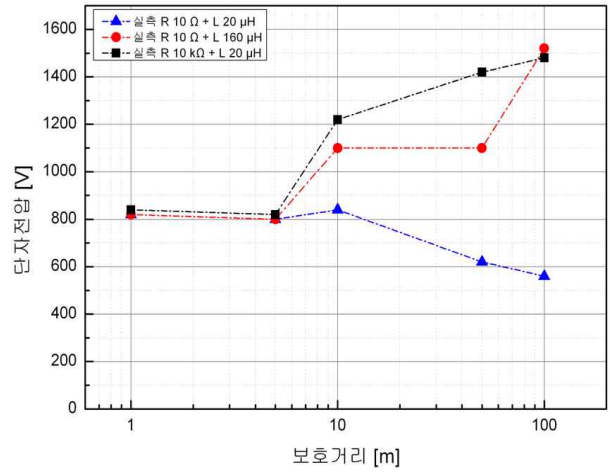
그림 7. 인가전압의 크기에 따른 SPD 잔류전압과 부하 단자전압의 비교

Fig. 7. Comparison of the residual voltage of SPD and the terminal voltage of loads as a function of magnitude of applied voltages

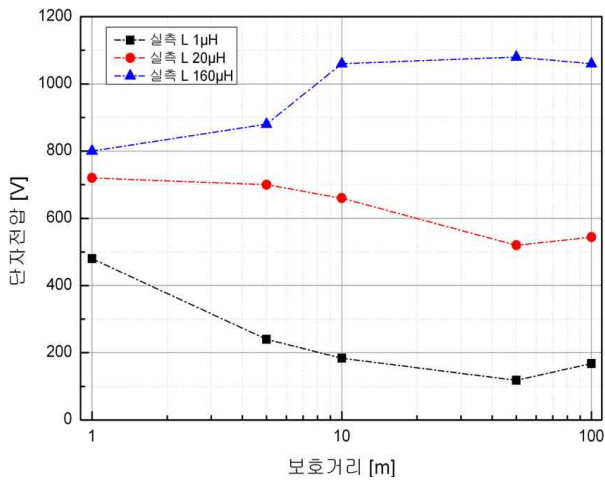
보호거리와 부하 유형에 따른 SPD의 보호효과에 대한 실험적 고찰



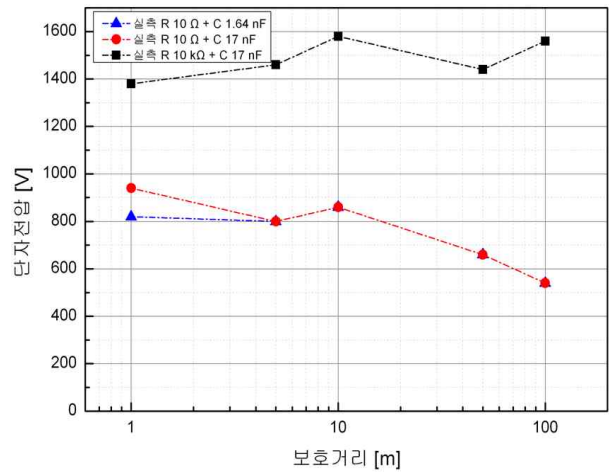
(a) 저항만의 부하



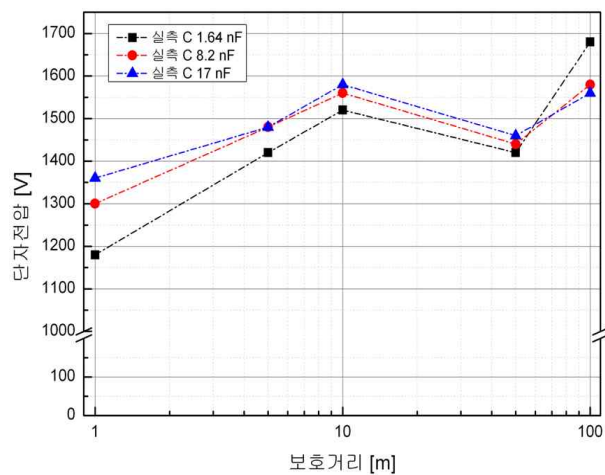
(d) 저항과 인덕턴스가 직렬로 접속된 부하



(b) 인덕턴스만의 부하



(e) 저항과 커패시턴스가 병렬로 접속된 부하



(c) 커패시턴스만의 부하

그림 8. 보호거리에 따른 부하 단자전압
Fig. 8. Terminal voltage of loads depending on the protective distance

로 나타났다. 보호거리가 비교적 긴 100m의 경우 SPD에 의해 제한된 서지전압의 작용으로 저항값의 크기에 따라 SPD 단자전압 보다 크거나 작게 나타나게 된다.

10kV의 1.2/50μs 임펄스전압을 인가하였을 때 부하 유형과 부하소자의 값을 파라미터로 하여 보호거리에 따라 나타나는 부하단자전압의 측정결과를 그림 8에 나타내었다. SPD는 임펄스 인가전압 10kV에서 대하

여 모두 동작하였으며, 이에 대한 SPD의 잔류전압은 약 860V이었다.

저항 부하의 경우 10Ω과 100Ω일 때 부하 단자전압은 보호거리가 10m까지 거의 일정하게 유지된 후 조금씩 감소하였다. 그림 2 (b)의 파형에서와 같이 10kΩ의 경우 부하 단자전압은 보호거리 10m부터 진동현상이 발생하여 크기는 점점 증가하였고, 진동주파수는 감소하였다. 인덕턴스만의 부하의 경우 1μH와 20μH일 때 보호거리가 증가함에 따라 인덕터의 단자전압은 감소하였으나 160μH일 때 인덕터의 단자전압은 증가하였다. 인덕턴스 1μH에서는 보호거리가 1m 일 때 SPD의 잔류전압 860V의 약 55%인 480V로 나타났고, 보호거리 10m부터 진동현상이 나타났지만 선로의 전압강하에 비해 부하의 단자전압이 낮기 때문에 보호거리가 증가함에 따라 인덕터의 단자전압은 감소하였다. 또한 진동현상이 나타나는 10m에서는 배선의 길이에 상당하는 인덕턴스의 배수 만큼 감소하지는 않았다. 인덕턴스가 20μH의 경우 보호거리 1m, 5m에서 인덕터의 단자전압은 각각 750V, 700V로 나타났다. 진동현상은 보호거리 10m부터 나타났으며, 보호거리 50m까지 인덕터의 단자전압은 감소하였고 이후 약간 증가하였다. 인덕턴스가 160μH일 때 보호거리 1m에서 인덕터의 단자전압은 SPD 잔류전압의 약 93%인 800V로 나타났으나 진동현상이 나타나는 보호거리 5m부터 부하의 단자전압은 SPD의 제한전압보다 높았고, 보호거리 50m 이후는 거의 일정하게 나타났다.

그림 4에 나타낸 바와 같이 커패시턴스만의 부하인 경우는 보호거리 1m부터 진동현상이 발생하여 커패시터의 단자전압이 SPD의 제한전압보다 높았으며, 보호거리와 커패시턴스가 증가할수록 커패시터의 단자전압은 상승하였고 진동주파수는 감소하였다.

저항과 인덕턴스가 직렬로 접속된 부하의 경우 저항 10Ω과 인덕턴스 20μH일 때 보호거리가 증가함에 따라 부하 단자전압은 감소하였고, 저항 10Ω과 인덕턴스 160μH의 직렬접속 및 저항 10kΩ과 인덕턴스 20μH의 직렬접속 부하의 단자전압은 증가하였다. 저항 10Ω에 인덕턴스를 20μH 또는 160μH 직렬로 접속한 경우 보호거리 10m부터 진동현상이 나타났으며, 진폭은 인덕턴스 160μH일 때 크게 나타났다. 또한 인덕턴스

20μH에 저항 10Ω 또는 10kΩ을 직렬로 접속한 부하의 경우 저항 10kΩ일 때 진동현상이 매우 심하게 발생하였다.

저항과 커패시턴스를 병렬로 접속한 부하의 경우 저항이 비교적 작은 10Ω에 커패시턴스 1.64nF 또는 17nF를 병렬로 접속한 때 보호거리가 증가함에 따라 부하의 단자전압은 감소하였고 진동현상도 나타나지 않았다. 하지만 저항 10kΩ과 커패시턴스 17nF를 병렬로 접속한 때 보호거리 1m부터 진동현상이 나타났고 보호거리가 증가함에 따라 부하의 단자전압은 약간 상승하였으며, 부하저항의 값이 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 결 론

부하의 유형과 보호거리에 따른 SPD의 보호효과를 평가하는 실험적 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전압제한형 SPD의 하위에 접속되는 부하의 유형과 보호거리에 따라 보호대상기기의 단자에 나타나는 전압의 파형이 변동하여 전압보호레벨에 영향을 미치는 것이 확인되었다.
- (2) 1.2/50μs 임펄스전압이 입사된 경우 SPD에 의해 제한된 전압은 근사적으로 직각파형이 되며, 하위에 접속된 부하의 단자에는 진행파의 왕복반사의 영향 이외에 보호거리에 따른 선로의 인덕턴스와 부하 소자의 유형과 크기에 따른 회로적 특성의 영향이 지배적인 것으로 나타났다.
- (3) SPD를 설치할 때는 SPD의 특성만을 고려할 것이 아니라 보호대상기기의 입력임피던스와 보호거리의 영향을 반영하여야 효과적인 SPD의 서지전압억제효과를 얻을 수 있다는 것이 밝혀졌다.

References

- [1] Bok-Hee Lee, Dong-Moon Lee, Dong-Chul Cheong, Su-Bong Lee, and Seung-Chil Lee, "Protection Effects According to the Conditions of Installations of SPDs for

- Information-Oriented Equipments”, J. KIIEE, Vol.21, No.1, pp. 35~41, 2007.
- [2] Korea Electric Association ; Korea Electro-technical Commision Guidance (KECG 9102-2011) - Technical Guide for selection and application of surge protective devices in low-voltage power systems, pp.10~12, 81, 2011.
 - [3] Korea Electric Association ; Consumer’s Electrical Installation Guide, pp.569~571, 2010.
 - [4] KS C IEC 62305-4; Protection against lightning - Part 4 : Electrical and electronic systems within structures, pp. 83 ~84, 2007.
 - [5] KS C IEC 60364-5-53; Electrical installations of buildings - Part 5-53 : Selection and erections of electrical equipment - Isolation, switching and control, pp. 4~ 10, 2005.
 - [6] KS C IEC 61643-12; Low-voltage surge protective devices - Part 12 : Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and Application principles, pp. 27~38, 2007.
 - [7] J. He, Z. Yuan, J. Xu, S. Chen, J. Zou, and R Zeng, “Evaluation of the effective protection distance of low-voltage SPD to equipment”, IEEE Tans. Power Delivery., vol. 20, no. 1 pp. 123-130, 2005.
 - [8] D. Krasowski, T. Kisielewicz, B. Kuca, Z. Flisowski, F. Fiamingo, C. Mazzetti, “On critical distance between an SPD and protected appliance with respect to their voltage coordination”, 30th International Conference on Lightning Protection, pp. 1410-1~6, 2010.
 - [9] Bok-Hee Lee, Power system engineering, Inha University Publication Department, pp. 273~278, 2004.

◇ 저자소개 ◇



이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 IT공대 전기공학부 교수. 본 학회 명예 회장.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr



김유하 (金庾河)

1980년 4월 27일생. 2007년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 인하대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : baal80@daum.net



안창환 (安昌煥)

1959년 11월 4일생. 1983년 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 8월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하공업전문대학 디지털 전자과 교수. 현재 본 학회 총무이사.

Tel : (032)870-2218

Fax : (032)870-2507

E-mail : aza@inhatc.ac.kr