

저압용 SPD가 설치된 전력선통신에서 데이터전송 성능 향상

(A Method for Enhancing Data Transmission Performance in the Power-Line Communication Channel with Low-Voltage Surge Protective Devices)

최종민* · 전태현**

(Jong-Min Choi · Taehyun Jeon)

Abstract

Low-Voltage power lines should equip surge protection devices which protect electronic equipments and human lives against lightning and abnormal voltages. Data transmission capacity of the power line is determined by frequency characteristics of the surge protective devices. To analyze the effects of surge protective devices on the data transmission performance, various combinations of installation methods are tested which include ZnO varistor elements that is compatible with class I, class II and class III. The result claims that ZnO varistor for class III is found to be one of the main factors that deteriorates the transmission performance. To overcome this problem a serial connection method between Gap type SPD and ZnO varistor is proposed. With the proposed scheme, laboratory experimental results show that the data transmission performance can be improved up to 91.9[%] with proper SPD combination.

Key Words : Surge Protection Devices, Power-Line Communication, Gap Type SPD, Data Transmission Rate

1. 서 론

전력선통신은 전기에너지를 전송하는 것을 목적으로 만들어진 전원주파수(50/60[Hz])의 전력선에 고주파 신호를 중첩하여 통신하는 기술로 최근 응용 분야에 따라 점차로 광대역의 통신채널을 사용

하고 여기에 적합한 다양한 통신 신호처리 기술을 적용한 시스템이 개발되고 있는 추세이다[1]. 전원 주파수에 비해 상대적으로 높은 주파수범위에서의 통신 성능은 전원시스템에 접속되어 있는 부하 임피던스와 밀접한 관계를 갖는다. 이는 송신단과 수신단 사이의 통신선로의 주파수 선택적 이득을 결정하기 때문이다.

낙뢰와 이상전압으로부터 인명과 기기를 보호하기 위해 설치하는 서지보호장치가 있으며, 저압용 서지보호장치의 소자는 ZnO 바리스터를 주로 사용한다. 낙뢰로부터 내부시스템을 보호하기 위하여 그림 1과 같

* 주저자 : 서울과학기술대학교 전기공학과 석사과정

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 교수

Tel : 02-970-6409, Fax : 02-978-2754

E-mail : thjeon@seoultech.ac.kr

접수일자 : 2011년 12월 20일

1차심사 : 2011년 12월 22일, 2차심사 : 2012년 1월 7일

심사완료 : 2012년 1월 13일

이 LPZ 0_A, LPZ 0_B, LPZ 1 및 LPZ 2 구역으로 피뢰구역을 구분한다.

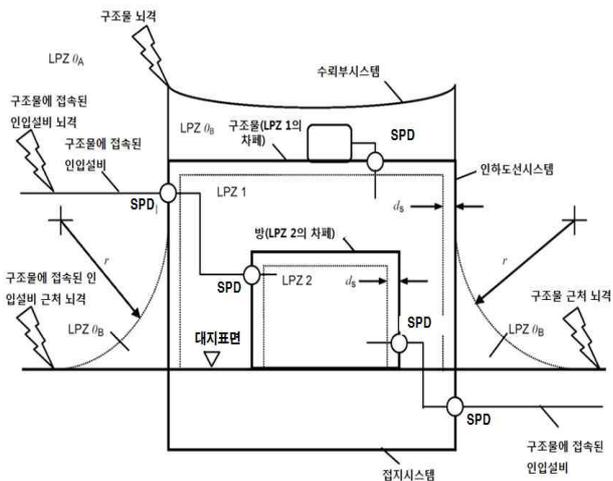


그림 1. LPM으로 정의한 피뢰구역
Fig. 1. LPZ defined by an LPM

이중 서지보호장치가 설치하는 피뢰구역은 LPZ 1, LPZ 2로, LPZ 1 구역은 경계지역의 전류의 분류나 SPD에 의해 서지전류가 제한된 지역으로, 서지보호장치는 Class I 또는 II를 설치하고, LPZ 2 구역은 전류의 분류나 경계지역의 SPD에 의해 서지전류가 더욱 제한된 지역은 Class II 또는 III를 설치한다 [2-3].

최근 관련 표준이 국내에 적용됨에 따라 전원시스템에 서지보호장치가 의무적으로 설치됨에 따라 전력선 통신과 서지보호장치 사이의 영향 분석이 요구되고 있다. 세계적으로 서지보호장치의 전력선 통신에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어져 ZnO 바리스터가 전력선 통신의 전송 손실과 관계가 있음이 알려져 있다 [4]. 그러나 서지보호장치가 사용되는 Class에 따라 적용되었을 때 나타나는 구체적인 영향이 제시되지 않아, 이에 대한 연구와 개선방안이 필요하다.

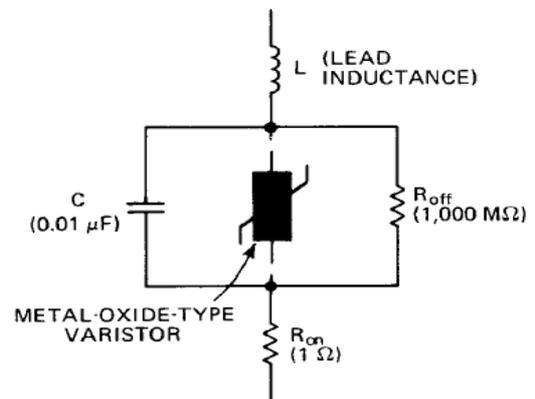
본 논문에서는 전원시스템에서 구역별 서지보호장치의 조합에 따른 전력선 통신의 데이터 전송률을 측정 비교하여, 데이터 전송률이 저해되는 주요 등급의 저압용 서지보호장치를 확인하고 전력선 통신의 데이터 전송률을 최대 10[%] 저감시키지 않도록 Gap형

SPD를 ZnO 바리스터에 직렬로 적용하는 방안을 제시하고, 실험적으로 검증하였다.

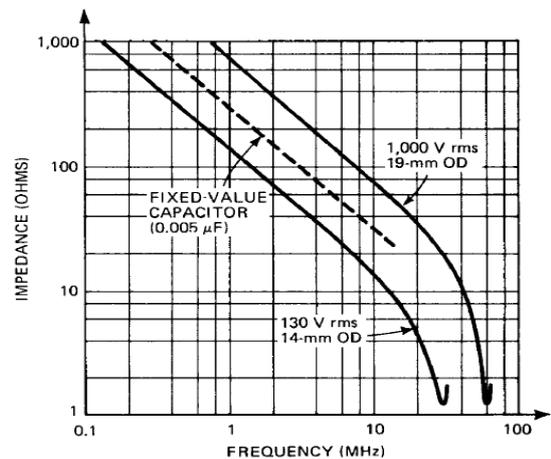
2. 실험

2.1 서지보호장치의 주파수 특성

상시 전원시스템에 설치되는 서지보호장치는 그림 2와 같이 전원주파수(50/60[Hz])에서는 높은 임피던스를 갖지만, 그림 2 (b)에서처럼 고주파수 영역은 낮은 임피던스를 갖는 특징이 있다[5].



(a) 바리스터 등가회로



(b) 바리스터의 주파수 특성

그림 2. 바리스터의 등가회로 및 주파수 특성[5]
Fig. 2. The equivalent circuit and frequency characteristics of varistors

따라서 수십 Mbps급 데이터 전송률을 지원하는 전력선통신 사용주파수 대역인 2[MHz]에서 30[MHz]에서 서지보호장치의 내부 임피던스는 전력선통신의 데이터 전송률을 저감시키는 요인으로 작용할 수 있다. ZnO 바리스터의 고속 전력선통신에 대한 감쇠특성은 주파수 영역에 따라 30~40[dB] 범위를 보인다[6]. 이러한 주파수 선택적 채널 이득의 감쇠는 통신 시스템의 송신단과 수신단에 적용된 오류 복원 기능의 범위 및 능력에 따라 어느 정도까지는 완벽한 복원이 가능하다. 그러나 이득의 감쇠 정도가 심하고 이러한 주파수 영역이 오류 정정 능력의 범위를 넘어서게 되면 데이터 전송 시스템이 동작하지 않는 상태에 이를 수 있으며 이를 방지하기 위하여 상황에 따라서는 통신채널의 개선 방안이 요구된다.

2.2 모의실험계의 구성

저압용 서지보호장치의 설치에 따른 전력선통신의 데이터 전송률을 측정하기 위한 시스템 구성은 전력선통신 시스템의 데이터 전송 경로(Server → Client)와 Class I, Class II 및 Class III급 서지보호장치의 설치를 고려하여, 그림 3과 같이 설정하였다.

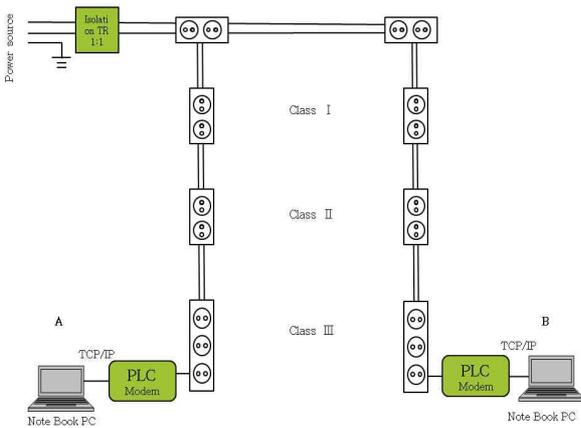


그림 3. 모의실험장치의 구성
Fig. 3. Test bed configuration

모의실험용 전원은 단상 220[V], 1 : 1 절연 변압기를 통하여 공급하였으며, 전력선통신 모뎀은 2~23

[MHz] 대역을 사용하는 위상편이변조(Phase shift keying) 기반의 다중 반송파 (Discrete multi-tone modulation) 변조기술이 적용된 단상용을 선택하였다. 모뎀을 통하여 데이터 전송률을 측정하는 노트북 전원은 시스템의 부하 임피던스 변동의 영향을 줄이기 위해 실험용 전원과 분리하여 공급하였다.

접지형 노출콘센트(2구, 3구)를 활용하여 저압용 서지보호장치를 등급별로 구분하였고, 실험에 사용된 전압 제한형 ZnO 바리스터는 표 1과 같은 사양을 가지며, Class I 용 서지보호장치는 LS40K20QP를 4개 병렬로 구성하였고, Class II 용은 LS40K20QP 1개, Class III 용 서지보호장치는 SVR20D471K 1개를 사용하여 그림 4와 같이 제작하고 송신단(S)과 수신단(C)으로 구분할 수 있도록 2set로 구성하였다.

표 1. ZnO 바리스터 사양
Table 1. Specifications of ZnO varistors

모델명	LS40K320QP	SVR20D471K
사용전압 [V]	AC rms	320
	DC	420
Imax(8/20[μs])[A]	40,000	6,500
Wmax(2[ms])[J]	640	204
Pmax[W]	1.4	1.0
Ctyp (1[kHz])[pF]	2,300	850

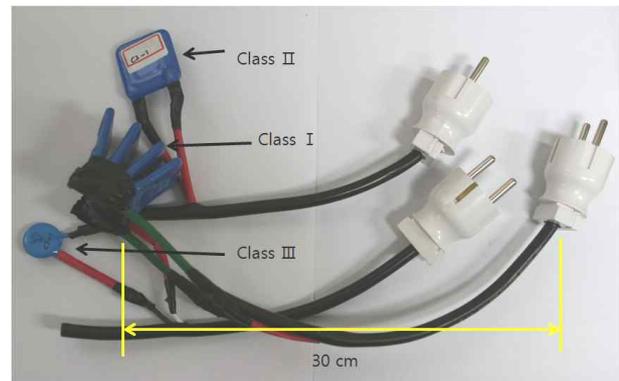


그림 4. 등급별 서지보호장치 제작
Fig. 4. Surge protection device by rating

전력선통신 모뎀은 시스템에서 Class III이 적용될 접지콘센트(3구)에 연결하였으며, 네트워크 성능 측정

용 컴퓨터와 전력선통신 모뎀은 TCP/IP로 구성하였다. 서지보호장치는 표 2와 같이 송신단과 수신단측으로 총 8가지의 조합으로 구성하였다.

표 2. 서지보호장치의 조합
Table 2. Combination of surge protection devices

구 분	수신단(C)					
	NONE*	Ⅲ	I + Ⅲ	Ⅱ + Ⅲ	I + Ⅱ + Ⅲ	
송 신 단 (S)	NONE*	①				
	I	①				
	Ⅱ	②				
	Ⅲ	③	④			
	I + Ⅲ			⑤		
	Ⅱ + Ⅲ				⑥	
	I + Ⅱ + Ⅲ					⑦

주) “*”은 실험계에 서지보호장치를 적용하지 않은 상태임.

전력선 통신의 데이터 전송률 비교를 위하여 시스템에 서지보호장치를 적용하지 않은 상태에서 측정된 데이터 전송률을 기준으로 하였다. 표 2와 같은 8가지의 조합에 대하여 PC 기반의 네트워크 성능 측정 프로그램으로 각 300초 동안 전력선통신 모뎀을 통한 데이터 전송률을 측정하고, 각 조합에 대하여 데이터 전송률을 비교하였다. 서지보호장치가 적용되지 않은 상태에서 측정된 데이터 전송률을 기준으로 40% 이상 감소되는 조합에 대해서는 10[Hz]~300[MHz]의 측정 주파수 범위를 갖는 네트워크 분석기로 고속 전력선 통신 주파수 대역인 2[MHz]~30[MHz]에서 시스템의 채널이득을 측정하였다.

3. ZnO 바리스터가 전력선통신에 미치는 영향

3.1 데이터 전송률 비교

저압용 서지보호장치의 8가지 조합에 대한 전력선 통신의 데이터 전송률 측정결과는 그림 5와 같다.

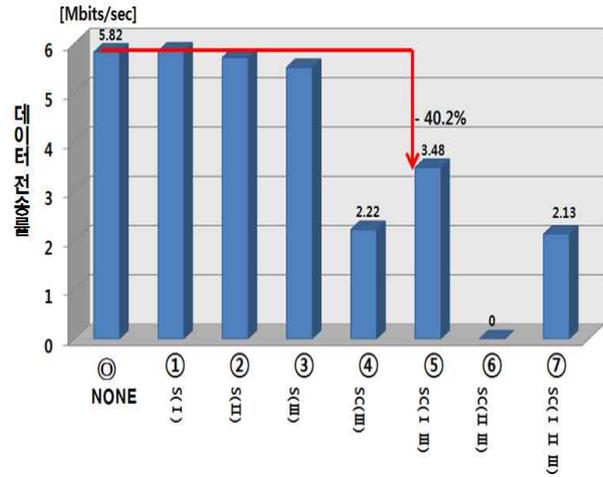


그림 5. 서지보호장치 조합별 데이터 전송률 비교
Fig. 5. Comparison of the data transfer rate by SPD combination

그림 5에서 송신단에만 등급별 서지보호장치를 적용한 조합인 ①~③은 최대 5.3[%] 감소를 보이며, 조합 중 송신단과 수신단에 Class Ⅲ(④)만 적용된 경우는 약 61.8[%], Class I, Ⅲ(⑤)이 적용된 서지보호장치의 경우는 약 40.2[%]의 데이터 전송률 감소를 나타내고 있다. Class I, Ⅱ, Ⅲ 서지보호장치가 모두 적용되는 조합(⑦)은 2.13 Mbps/sec로 서지보호장치를 적용하지 않은 상태 대비 약 63.4[%]의 데이터 전송률이 감소함을 보였다. 특히 송신단과 수신단에 Class Ⅱ, Ⅲ(⑥)만을 적용한 경우에는 전력선통신 모뎀을 통한 데이터 전송이 이루어지지 않는 현상이 나타났다. 이는 송신단과 수신단의 데이터 전송 위치를 바꾸어도 동일하게 나타났다.

3.2 채널이득 비교

이에 전력선통신의 데이터 전송률이 서지보호장치를 적용하지 않고 실측된 전력선통신 데이터 전송률을 기준으로 데이터 전송률이 40[%] 이상 감소된 서지보호장치 조합인 ④~⑦에 대하여 네트워크 분석기로 고속 전력선통신 주파수 대역인 2[MHz]~30[MHz]에 대한 채널이득을 측정하였으며, 그 결과는 그림 6, 7과 같다.

저압용 SPD가 설치된 전력선통신에서 데이터전송 성능 향상

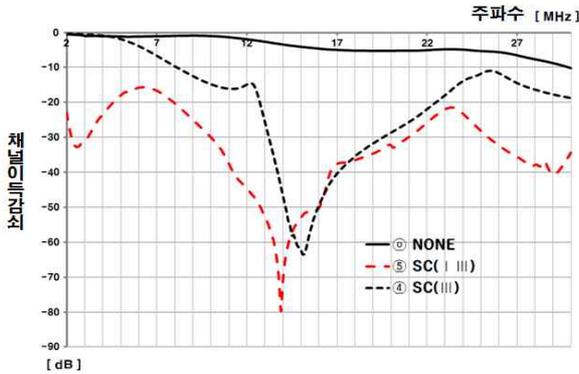


그림 6. 서지보호장치 ④, ⑤ 조합의 채널이득감쇠
Fig. 6. Combination ④ and ⑤ for SPD the channel gain attenuation

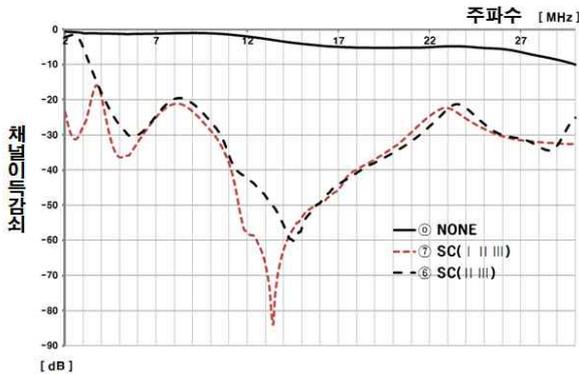


그림 7. 서지보호장치 ⑥, ⑦ 조합의 채널이득감쇠
Fig. 7. Combination ⑥ and ⑦ for SPD the channel gain attenuation

측정결과 시스템에 서지보호장치가 적용되지 않은 상태(NONE)에서는 30[MHz]에서 약 -10[dB]로 나타났으나, Class III만 적용된 조합인 ④는 최대 15.01[MHz]에서 -62.13[dB]로 나타났고, -40[dB] 이하의 영역도 13.71~17.11[MHz]으로 측정되었다.

Class II, III이 적용된 조합인 ⑤는 최대 13.91[MHz]에서 -79.73[dB]의 채널이득감쇠를 보였다. 그리고 11.21~16.71[MHz]에서 -40[dB] 이하로 측정되었다. 특히 전력선통신이 불능상태였던 Class II, III 조합인 ⑥은 14.51[MHz]에서 최대 -60.18[dB]로 측정되었고, -40[dB] 이하의 범위는 11.31~18.31[MHz]로 나타났다. 일반적으로 LPZ 1, LPZ 2 구역에 Class I, II, III 모두가 에 적용되는 서지보호장치의 조합 ⑦은

최대 13.41[MHz]에서 -83.85[dB]로 나타났고, 11.11~18.01[MHz]에서 채널이득감쇠가 -40[dB]이하로 측정되었다. 따라서 상시 전원시스템에 투입되는 ZnO 바리스터로 구성된 서지보호장치가 피뢰구역에 따라 송신단과 수신단에 적용되었을 때, 조합에 따라 고속전력선통신 주파수 영역인 2~30[MHz]에서 최소 40.2[%]의 데이터 전송률 감쇠가 나타나므로, ④~⑦의 서지보호장치 조합에 공통적으로 적용된 Class III 서지보호장치가 전력선통신의 데이터 전송률을 감소시키는 주요 요인으로 판단된다.

4. 전력선통신의 데이터 전송 성능의 향상기법

4.1 ZnO와 Gap형 SPD를 직렬 접속한 Class III SPD

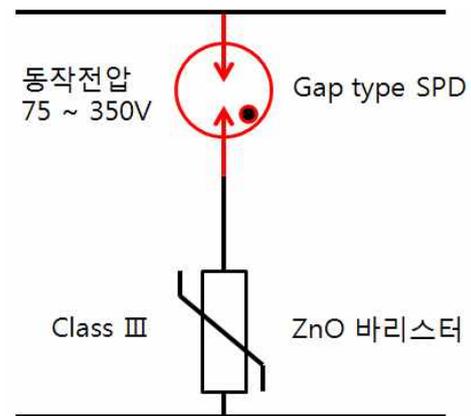


그림 8. ZnO + Gap을 직렬 접속한 Class III 서지보호장치
Fig. 8. SPD of Class III connected in series with ZnO + Gap

전력선통신의 데이터 전송률 개선을 위해서는 높은 주파수에서도 안정적인 내부 임피던스를 가져야 한다. 따라서 서지보호장치의 전력선통신 주파수 영역에서도 높은 내부 임피던스를 갖는 Gap형 SPD를 그림 8과 같이 Class III 서지보호장치에 직렬로 연결하는 방안을 제시한다. 제시된 방안이 전력선통신에 있어 데이터 전송률과 시스템의 채널이득에 대한 개선효과를

비교하기 위하여 서지보호장치는 데이터 전송률이 40[%] 이상 감소되었던 서지보호장치 조합 ④~⑦에 대하여 Gap형 SPD를 적용하였다.

성능 향상을 확인하기 위하여 전력선통신 모델을 통한 데이터 전송률을 300초간 재 측정하여 전과 후를 비교하고, Gap형 SPD가 적용된 서지보호장치를 시스템에 적용한 상태에서 네트워크 분석기로 채널이득을 측정하였다.

4.2 데이터 전송률

전력선통신의 데이터 전송률 개선 여부를 확인하기 위하여 Class III 서지보호장치에 DC 동작 전압이 75V인 Gap형 SPD를 직렬로 연결하고, 그림 5의 결과에서 기준보다 40[%] 이상 감소한 ④~⑦ 조합에 대하여 전력선통신의 데이터 전송률을 300 초간 측정하여 이를 비교하면 그림 9와 같다.

그림 9에서 ⑥의 경우는 ZnO 바리스터만 적용되었을 때는 통신 불능 상태였으나, Class III에 Gap형 SPD를 직렬로 적용하였을 때는 기준 대비 약 91.9[%] 까지 데이터 전송률이 개선됨을 나타낸다. 특히 ④~⑦의 조합은 기준대비 약 40[%] 이상 감소되었으나 Gap형 SPD 적용 시에는 약 8.1[%] 감소만 나타났다. 따라서 Class III에만 Gap형 SPD 적용하여도 전력선 통신의 데이터 전송률이 개선됨을 확인하였다.

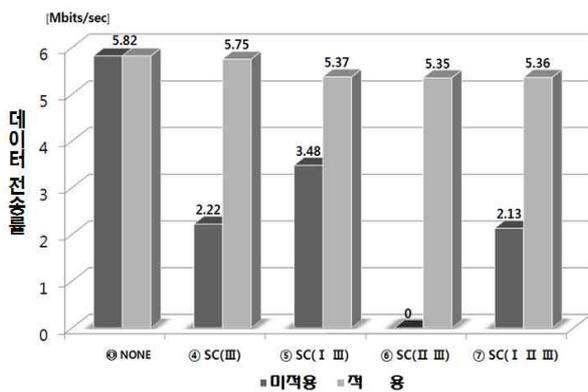


그림 9. ZnO + Gap을 직렬 접속한 경우 데이터 전송률의 비교
Fig. 9. Data transfer rate with serial connection of ZnO + Gap

Gap형 SPD의 DC 동작전압에 따라 전력선통신의 데이터 전송률 변화를 측정하고자 송신단과 수신단에 ZnO 바리스터로 조합된 Class II, III(⑥)에 대하여 Gap형 SPD를 Class III 서지보호장치에만 적용한 후 DC 동작전압이 75[V], 90[V]을 갖는 Gap형 SPD를 조합하여 동작전압을 구성하여 전력선 통신의 데이터 전송률을 300초간 측정하였다.

이에 대한 측정결과는 그림 10과 같으며, Gap형 SPD의 DC 동작전압별 전력선통신의 데이터 전송률 변화는 미미함을 확인하였다.

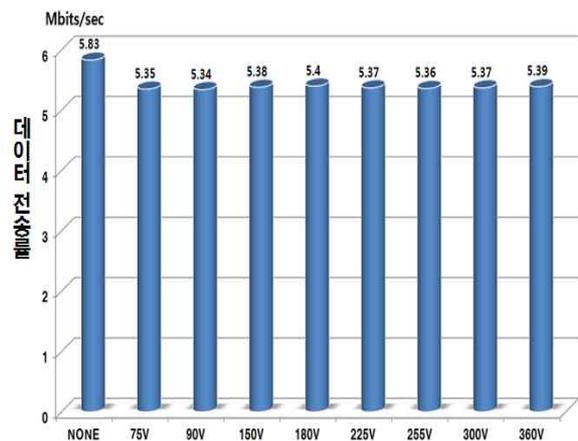


그림 10. ZnO + Gap의 적용시 DC 동작 전압별 데이터 전송률의 비교
Fig. 10. Data transfer rate for various DC operating voltage with ZnO + Gap applied

4.3 채널이득 비교

Class III 서지보호장치에 DC 동작전압이 75[V]인 Gap형 SPD를 적용하고 서지보호장치 조합인 ④~⑦에 대하여 네트워크 분석기로 2[MHz]~30[MHz]의 주파수 영역으로 채널이득감쇠를 측정한 결과는 다음과 같다.

그림 11은 모의시스템에 서지보호장치가 적용되지 않은 기준(NONE)과 Class III에 대한 Gap형 SPD 적용 후의 채널이득감쇠를 비교한 것으로 Gap형 SPD 적용 시 기준과 유사한 채널이득감쇠를 보였으며, 최대 감소 주파수는 30[MHz]에서 채널이득감쇠가

저압용 SPD가 설치된 전력선통신에서 데이터전송 성능 향상

-9.15[dB]로 나타내고 있고, 2~30[MHz]에서 평균 약 -2.72[dB]로 계산되었다.

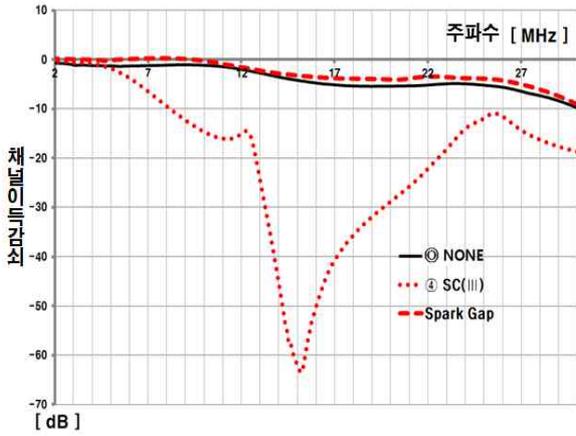


그림 11. ④ 조합에 대한 Gap형 SPD 적용 전후 채널이득감쇠 비교

Fig. 11. Channel gain attenuation before and after applying Gap SPD for ④

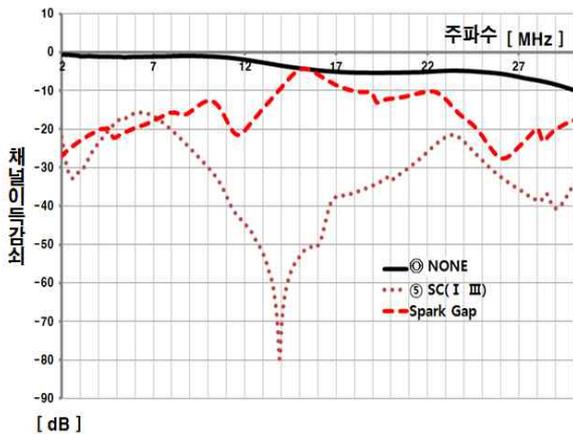


그림 12. ⑤ 조합에 대한 Gap형 SPD 적용 전후 채널이득감쇠 비교

Fig. 12. Channel gain attenuation before and after applying Gap SPD for ⑤

그림 12는 Class I, III 서지보호장치 조합의 경우로 Gap형 SPD 적용 시 26[MHz]에서 채널이득감쇠가 최대 -27.6[dB]로 측정되었음을 나타내고, 그림 11에서 Class III의 채널이득감쇠이므로 그림 12는 대부분 Class I 서지보호장치로 인한 채널이득감쇠라고 할 수 있다.

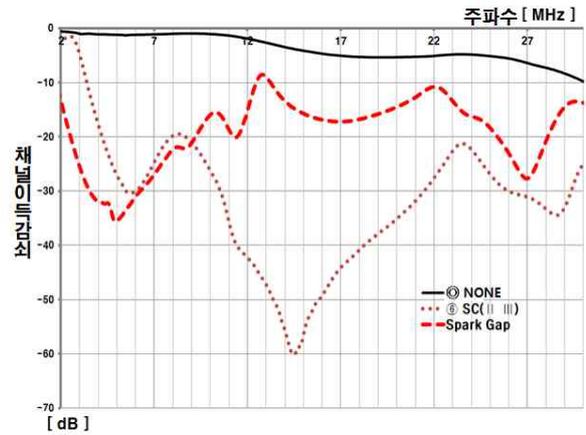


그림 13. ⑥ 조합에 대한 Gap형 SPD 적용 전후 채널이득감쇠 비교

Fig. 13. Channel gain attenuation before and after applying Gap SPD for ⑥

그림 13은 Class II, III 서지보호장치 조합의 경우로 Gap형 SPD 적용 전에는 전력선통신 모델에서 데이터 전송을 전혀 하지 못했던 상태로 Gap형 SPD 적용 시 4.9[MHz]에서 채널이득감쇠는 최대 -35.64[dB]로 측정되었음을 나타내고, 2~9.2[MHz] 영역을 제외하면, -30[dB] 이하인 주파수 영역은 나타나지 않았다.

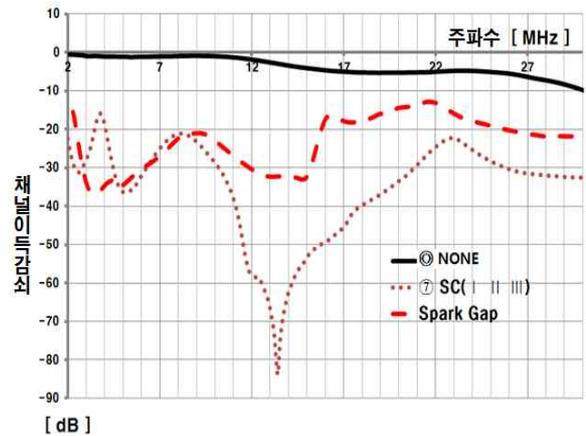


그림 14. ⑦ 조합에 대한 Gap형 SPD 적용 전후 채널이득감쇠 비교

Fig. 14. Channel gain attenuation before and after applying Gap SPD for ⑦

그림 14는 Class I, II, III 서지보호장치 조합의 경우이며, 3.4[MHz]에서 채널이득감쇠는 최대 -36.72

[dB]로 측정되었고, -40[dB] 이하인 주파수 영역은 나타나지 않으나, 2.8~6.1[MHz]와 11.9~15.1[MHz]에서 -30[dB] 이하로 측정되었음을 나타내고 있다.

실험을 통하여 전력선통신의 채널이득감쇠는 ZnO 바리스터만 적용되었을 때 -40[dB] 이하인 주파수 영역은 대략 최대 11.11~18.31[MHz]에서 나타났으나, Gap형 SPD를 적용하였을 때는 -40[dB] 이하가 되는 주파수 대역은 나타나지 않음을 확인하였다. 그러므로 Class III용 ZnO 바리스터에 Gap형 SPD를 적용하였을 때 전력선통신의 데이터 전송률이 최대 91.7[%] 향상되었고, 모의시스템의 채널이득감쇠도 -40[dB] 이하가 나타나지 않음으로 Gap형 SPD 직렬 적용이 전력선 통신의 데이터 전송률 개선에 효과가 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 저압용 서지보호장치와 전력선 통신 기기가 공존하는 시스템에서 저압용 서지보호장치의 주요 소자인 ZnO 바리스터의 주파수 특성으로 피뢰구역에서 설치조합에 따라 전력선통신의 데이터 전송 효율이 변화하는 것을 실험을 통하여 확인하였으며, 이를 개선할 수 있는 방안으로 Class III급으로 ZnO 바리스터에 Gap형의 SPD를 직렬로 적용하는 방안을 제시하였다. 제시된 방안으로 주파수 스펙트럼 분석을 통한 데이터 점유 주파수 대역에서의 채널이득 개선과 이에 따른 실제 데이터 전송 성능 향상을 실험을 통하여 검증하였다. 실험 결과 제안된 방법을 적용할 때 서지보호장치의 설치 조합에 따라 최대 91.9[%] 개선됨을 확인하였다.

References

- [1] J. Zyren, "The HomePlug Green PHY Specification & the In-Home Smart Grid", Proc. of IEEE International Conference on Consumer Electronics, pp 241~242, 2011.
- [2] IEC 62305-1, Protection against lightning-Part 1:General principles, pp 21~26, 2010.
- [3] IEC 62305-4, Protection against lightning-Part 4:Electrical and electronic systems within structures, pp 32~35, 2010.
- [4] Hitoshi kijima, Kenji takato, Hiroshi iwao, "Influence on

transmission characteristics of power line communication when using surge protective devices", 5th WSEAS int. Conference on Applied Electromagnetics, Wireless and Optical Communications, Dec. 14~16, 2007.

- [5] J. D. Hamden Jr, F. D. Martzloff, W. G. Morris, F. B. Golden "Metal-Oxide Varistor: a new way to suppress transients", GE, 1972.
- [6] Hiroshi iwao, Hitoshi kijima, Kenji takato, "An influence on transmission characteristics of power line communication when using surge protective devices", ISPLC 2008, pp 218~221, 2008.

◇ 저자소개 ◇



최종민(崔鍾民)

1965년 4월 28일생. 2010년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 현재 서울과학기술대학교 산업대학원 전기공학과 석사과정.



전태현(田太賢)

1967년 1월 31일생. 1989년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1993년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(석사). 1997년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(박사). 1997~1998년 Motorola 연구원. 1998~2001년 Texas Instruments 연구원. 2002~2005년 한국 전자통신연구원(ETRI) 선임연구원. 2005년~현재 서울과학기술대학교 교수.

Tel : (02)970-6409,

Fax : (02)978-2754

E-mail : thjeon@seoultech.ac.kr