

전기화재 예방을 위한 낙뢰 및 썬지 보호시스템 개발에 관한 연구

곽동걸

한중대학교 전기전자공학과

A Study on Development of Lightning and Surge Protection System for Electrical Fire Prevention

Dong-Kurl Kwak

Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Hanzhong University

초 록: 최근 기상이변으로 인한 낙뢰 및 썬지의 발생빈도가 증가하고 있으며, 이에 따른 피해규모도 해마다 증대되고 있는 실정이다. 이들을 해결하기 위한 보호시스템 개발이 다국적 관심분야로 대두되고 있다. 본 논문에서는 낙뢰와 전력·통신시스템에서 발생하는 각종 썬지를 억제하기 위한 새로운 구조의 보호시스템을 제안한다. 종래의 썬지 보호장치들은 썬지전류를 접지로 흘리는 구조로 설계되어 낙뢰, 송배전선로의 지락 및 혼축 등 썬지전류가 클 경우에 상승된 대지전위로 인해 전자·통신장비 및 기기들에 2차적 피해요인을 가져오는데 비해, 제안된 보호시스템은 대지전위의 상승을 억제하는 구조로 설계되어 2차적 피해가 발생하지 않는 이점이 있다. 개발된 썬지 보호시스템의 실용성이 다양한 사고발생 시뮬레이터에 의해 입증된다.

Abstract: The occurrence frequency of lightning and surge from the weather accident is increasing recently, which the damage scale have been enlarged every year. A protection system development to solve these problems have been risen to a multinational concern field. In this paper, a novel protection system is proposed to restrain lightning and various surges which happen in electricity and communication equipment. The proposed protection system is designed to the structure to restrain the rise of the earth potential which is become to the problem of conventional protection system. The secondary damage as a result does not happen. The practicality of the developed surge protection system is proved through various accident occurrence simulator.

Keywords: Surge protection system, Lightning and surge, Electrical fire prevention, Accident occurrence simulator

1. 서 론

현재 기상이변으로 인한 낙뢰 및 썬지의 발생빈도 증가로 피해규모가 확대되고 있으며, 특히 현대사회의 필수적인 전기에너지에 기인한 전력·

통신시스템 등에서 발생하는 다양한 썬지(surge)로 인한 피해는 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 국내를 비롯한 선진각국, 즉 독일과 미국의 낙뢰 및 썬지로 인한 피해통계를 살펴보면, 먼저 국내에서는 연간 1000억 이상의 피해가 발생하고 있고 독일에서는 연간 10억 마르크 정도가 발생하고 있

*Corresponding author

E-mail: dkkwak@hanzhong.ac.kr

으며, 미국에서는 연간 40억불~50억불 이상의 엄청난 피해가 발생하고 있는 실정이다.^{1,2)} 여기에 대응하기 위해 한국전력, 한국통신 등을 비롯한 관련기관에서는 낙뢰와 전력·통신시스템의 다양한 썬지 발생 메커니즘(mechanism)과 현상분석 및 보호기법 개발에 관한 많은 연구를 체계적이고 과학적으로 진행하고 있으나 매우 미흡한 실정이다. 더욱이 21세기 고도정보화 사회에서는 낙뢰와 전력·통신시스템에서 발생하는 각종 썬지에 매우 취약한 전자소자를 내장한 전기·전자기기 및 정보통신기기가 일반 수용가에서 다양하게 사용되고 있고, 이들 전자회로 시스템에 대한 낙뢰와 썬지의 피해는 기기나 장치의 손상을 일으킬 뿐만 아니라, 낙뢰와 썬지에 의한 오동작과 화재발생이 큰 문제점으로 대두되고 있으며, 또한 전자소자로 구성된 전자회로 시스템의 전원선, 통신선 및 제어선의 대부분이 옥외에 배선되어 있음으로 해서 항상 낙뢰와 썬지의 위협에 노출되어 있는 상태이다.^{3,4)}

본 논문에서는 낙뢰와 전력·통신시스템에서 발생하는 각종 썬지를 억제하기 위한 고속 고신뢰성의 썬지 보호시스템을 제안한다. 또한 종래의 썬지 보호장치들은 썬지전류를 접지로 흘리는 구조로 설계되어 낙뢰, 송배전선로의 지락 및 혼촉 등 썬지전류가 클 경우에 상승된 대지전위로 인해 전자·통신장비 및 기기들에 2차적 피해요인을 가져오는데 비해, 제안된 보호시스템은 대지전위의 상승을 억제하는 구조로 설계되어 2차적 피해가 발생하지 않는다. 또한 미약한 썬지 또는 노이즈에 대해서도 우수한 필터특성으로 인한 통신신호의 대역을 확보시켜 통신 노이즈를 감소시키고 각종 통신피해를 저감시키는 이점이 있다. 다양한 사고 발생 시뮬레이터와 특성분석을 통해 개발된 썬지 보호시스템의 실용성이 입증된다.

2. 낙뢰 및 썬지 보호시스템의 개요

2.1 썬지(surge) 및 낙뢰(lightning)의 재검토

썬지는 우리주변에서 흔히 발생하는 현상으로 벼락이 떨어질 때의 뇌(雷, lightning) 썬지, 스위치, 릴레이 및 용접 등의 아크와 단락에 의한 개폐 썬지, 모터 또는 엘리베이터 등 기동기 작동시에 발생하는 구동 썬지 등 우리주변에서 끊임없이 발생

한다.^{2,3)}

썬지는 선로 또는 회로를 따라서 전달되며, 급속히 증가하고 서서히 감소하는 특성을 지닌 전류, 전압 또는 전력의 과도파형으로 정의된다(IEC IECV 161-02-01). 썬지는 진폭이 매우 높고 상승시간이 무척 빠르며 지속시간이 0.5[μsec]의 짧은 주기를 가진 유도성과 용량성을 포함한 임펄스(impulse)형태의 에너지파형 또는 발진(oscillatory)형태의 파형이 0.5[Hz]내에서 정현파 전원 및 신호에 중첩되어 아주 빠르게 유입되어지는 전기적인 파형을 말한다. 이들의 크기는 전기회로상에서 전기적으로 정량·정형화할 수 없으며 순간과도는 대단히 높은 폭의 전류와 전압치 및 전자장을 보유하고 있다. 그 값들의 실효치는 수 밀리 볼트에서 수십만 볼트까지 넓은 폭의 값을 지니고 있으며, 이러한 파형들은 전압의 크기, 파형의 지속시간, 파형형태에 따라 순시 과전압(transient) 썬지와 지속 과전압 썬지로 상세히 분류되기도 한다. 이러한 광범위한 썬지는 발생원이 자연적인 낙뢰 현상이나, 전력계통 또는 대형 산업설비들에서 발생되어 배전전원선, 데이터 통신회선 및 접지를 통하여 인입되어 Micro-Processor를 이용한 고가의 첨단장비들을 순간에 소손시키게 한다. 예를 들어 비가 오고, 번개가 치는 날이면 전기가 끊어지거나, 전화가 불통이 되는 경우를 많이 겪게 되고, 전등이나 전기기기의 스위치를 켜는 경우 오디오의 음이 간섭을 받거나, TV의 화면이 떨리는 것도 많이 경험하게 된다. 이러한 원인의 대부분은 썬지에 의한 것이다.

첨단과학의 시대에 즈음하여 우리주변에는 첨단화된 전기, 전자 및 통신기기들이 광범위하게 사용되고, 그에 따라 썬지에 의한 피해가 급속도로 커지고 있다. 반도체의 집적도가 커질수록 반도체 내부의 회로결선 폭이 좁아지고 저전압으로 동작시키기 위해 전도성이 우수한 소재를 사용하므로 인하여 반도체를 많이 내장한 시스템들은 내압에 약해지고 그에 비례하여 썬지에 취약해지고 있다.

자연적인 대기현상에 의하여 발생되어지는 낙뢰 현상은 극대화된 대응량의 썬지 전류와 전압을 발생시킬 수 있는 능력이 있으므로 첨단장비와 인명에게까지 피해를 주는 발생원이다. 낙뢰는 낙뢰방전시 직격뢰와 간접뢰로 구분할 수 있으며 직격

뢰가 전산장비에 유입될 경우에는 장비와 인명의 피해를 초래한다. 따라서 우선 직격뢰에 의한 피해의 대책 안은 적절한 보호지역을 계산한 피뢰침을 시설하여 1차적인 보호를 하여야 한다. 그러나 그 중에서도 시스템 및 설비에 피해를 주는 것이 90% 이상이 직격뢰가 아닌 간접뢰에 의한 것으로 외부에 노출된 수배전 전원전선과 데이터 통신회로를 타고 대체적으로 20,000[V] 이상의 썬지가 발생되어 고가의 전자·통신장비들을 소손시키거나 전기화재의 원인이 되고 있다. 따라서 낙뢰의 피해를 방지하기 위해서는 저 피뢰침을 설치하고 각 장비의 인입에 ANSI/IEEE C62.41 Code에서 요구하고 있는 썬지역제기 및 보호장치를 시설하여야 한다.^{5,6)}

우리나라의 낙뢰의 발생회수에 대해 기상청이 2005년도 1월~2006년도 2월까지 발생한 낙뢰관측 자료를 분석해보면(기상청 “낙뢰연보”), 2005년도 우리나라에서 발생한 낙뢰는 모두 130만6천581회였으며 월별로는 8월에 집중되었다. 낙뢰연보에 따르면 최근 4년간 낙뢰발생 횟수는 2002년도 95만6천707회에서 2003년도 135만2천424회, 2004년도 93만304회, 2005년도 130만6천581회로 격년증감 현상이 뚜렷하게 나타나고 있으며 2005년도 발생한 낙뢰를 월별로 분석한 결과 8월에 전체의 94.1%인 122만9천290회로 가장 많았고 1월이 368회로 가장 적었다. 이들 낙뢰에 의한 피해규모도 매년 증대되는 실정으로 한해 평균 수백억에서 수조원에 달하는 것으로 보도된다.

전기·전자 및 통신장비 등에 피해를 주는 썬지 및 낙뢰의 유입경로를 살펴보면, 도체와 전자결합 또는 도체와 직접결합에 의하여 다음의 매체를 경유하여 인입된다.

- ▶ 정보통신 및 전산설비에 접속되어 있는 상용 전원선
- ▶ 데이터통신 및 전화용 통신회선
- ▶ 목적별 단독 접지인 경우 접지 전위차의 발생에 의한 접지선 경로
- ▶ 제어케이블 및 RF장비의 안테나 급전선의 경로

2.2 종래의 전원용 썬지 보호시스템

현재 가장 보편적으로 사용되는 전원용 썬지 보호시스템을 Fig. 1에 나타낸다. Fig. 1의 전원용 보호시스템은 일반적으로 낙뢰 및 전력·통신시스

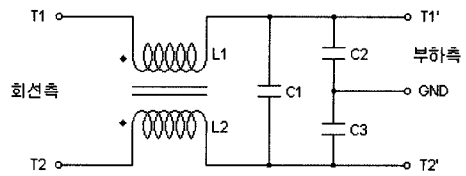


Fig. 1. Conventional surge protection system used to power supply.

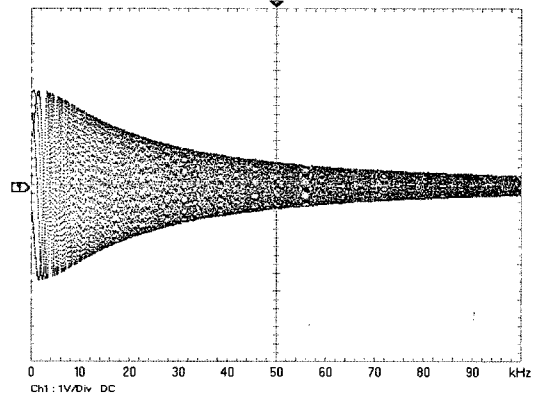


Fig. 2. Frequency spectrum of conventional system.

템에서 발생하는 다양한 썬지와 노이즈에 대해 우수한 특성을 가진다. Fig. 2는 Fig. 1의 보호시스템에 대한 주파수 특성 스펙트럼을 나타낸다.

그러나 종래의 썬지 보호시스템은 약한 썬지 및 노이즈에 대해서는 양호한 동작특성을 가지지만, 썬지전류가 클 때에는 전류에 비례한 전압상승으로 인한 소자 및 기기의 소손과 전기화재의 우려가 높게 나타난다. 이는 전원선 또는 통신회선에 유입된 낙뢰 및 썬지전류를 접지로 흘러 보내는 구조로써 접지저항으로 인하여 썬지전류에 상응한 대지전압이 선로 및 기기에 투입된다. 예를 들어 낙뢰 및 썬지 발생시 2[Ω]의 접지저항에 3,000[A]의 썬지전류가 유입될 경우 이때 발생하는 대지전압은 6,000[V]가 된다. 그 결과 전원선, 통신선로 및 전자·통신장비 등에 화재 및 큰 피해를 입히게 된다.

또한 종래의 썬지 보호시스템은 미약한 썬지 및 노이즈에 대해서도 문제점이 빈번히 보고된다. 이는 사용된 코일과 커패시터에 의한 공진특성으로 인한 외부에서 유입된 썬지 및 노이즈의 주파수가 공진주파수 대역일 때 유입된 썬지 및 노이즈는 4

배 이상으로 커지게 된다. 이는 통신신호(영상, 데이터통신 및 초고속 인터넷통신 등)와 혼합되어 각종 잡음의 요인이 된다. 통신장비에 사용되는 써지 및 노이즈필터는 EMC(electromagnetic compatibility)규정에서 150[kHz]이상으로 규정하고 있지만, 최근 초고속 통신에서는 150[kHz]이하인 10 [kHz] 대역부터 문제점이 발생하고 있다. 예를 들어 VDSL(very high-data rate digital subscriber line)의 경우 대역주파수와 전혀 무관한 12[kHz] 전후에서 많은 문제점을 발생시키며 ADSL(asymmetric digital subscriber line)의 경우 3.4[kHz]이내에서 문제를 발생시키는 연구들이 보고된다. 따라서 초고속 장비의 필터는 5~10[kHz]부터 필터링함의 바람직 한 것으로 고려된다.

3. 제안된 낙뢰 및 써지 보호시스템

3.1 제안된 낙뢰 및 써지 보호시스템의 구성

본 논문에서는 상기의 문제점을 보완하기 위하여 새로운 구조의 보호시스템을 제안한다. 제안한 보호시스템은 먼저 낙뢰 및 써지전류가 클 경우 대전전압의 상승을 억제시키는 구조로 설계되어 안정된 전압을 유지하여 선로 및 부하측 장비들을 보호시키며, 약한 써지 및 노이즈에 대해서도 우수한 필터특성으로 인한 통신신호의 대역을 확보시켜 각종 통신피해를 저감시키는 이점이 주어진다. 제안된 낙뢰 및 써지 보호시스템을 Fig. 3에 나타낸다.

시스템 구성은 각 회선측 단자가 동위상이 되도록 1:1 결합한 제1코일(L1) 및 제2코일(L2) 그리고 본 연구에서 주안점을 둔 X형 구조로 설계한 바리스터 V1 및 V2, 이는 낙뢰 및 써지전류가 회선간에 유입될 경우 L1-V2, L2-V1의 두 회로경로를 가지며, 상승된 자속을 L1, L2의 감자결합에 의해 상쇄시키고 V1, V2에 의해 안정된 전압을 유지시켜

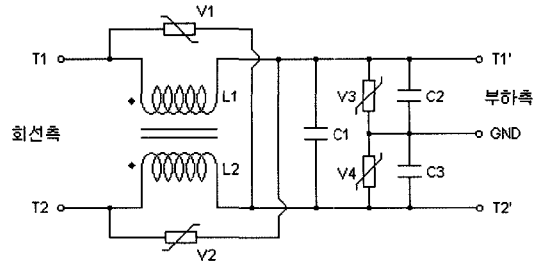


Fig. 3. Proposed surge protection system.

출력 부하측을 보호하게 된다. 또한 회선과 접지 간에 인가된 낙뢰 및 써지를 보호하기위해 설계된 바리스터 V3 및 V4는 접지로 유입된 전류를 코일 L1, L2와 바리스터 V1, V2와 조합되어 상쇄시키고 상승된 대지전압은 바리스터의 안정된 전압값으로 감쇠되어 보호하게 된다. 또한 정상상태에서 발생된 약한 써지 및 각종 노이즈는 L1, L2 및 커패시터 C1, C2, C3의 저주파 대역필터로 이용되어 전력 및 통신신호 대역을 확보시킨다. 코일의 인덕턴스와 커패시터의 최적값은 다음 식으로 산정된다.

여기서 $L=L1=L2$, $C=C1$, $K=\sqrt{L/C}$ 이고 f_1 은 차단주파수이다.

$$L = \frac{K}{4\pi f_1} \tag{1}$$

$$C = \frac{1}{4\pi f_1 K} \tag{2}$$

$$C = \frac{C2}{2} = \frac{C3}{2} \tag{3}$$

3.2 제안된 낙뢰 및 써지 보호시스템의 특성분석

제안된 낙뢰 및 써지 보호시스템을 제작하여 다양한 사고발생 시뮬레이터를 통한 실측 특성분석을 하였다. 제작 및 실측에 사용된 보호시스템의 회로정수들을 Table 1에 나타낸다.

Table 1. Circuit constants

코일 L1, L2	3mH (페라이트 코어)	커패시터 C1	843 (세라믹)
바리스터 V1, V2	ERZV10D431 (430V, $I_{max}=3.5kA$)	커패시터 C2, C3	174 (세라믹)
바리스터 V3, V4	ERZV09D331 (330V, $I_{max}=3.5kA$)	차단주파수 f_1	5kHz

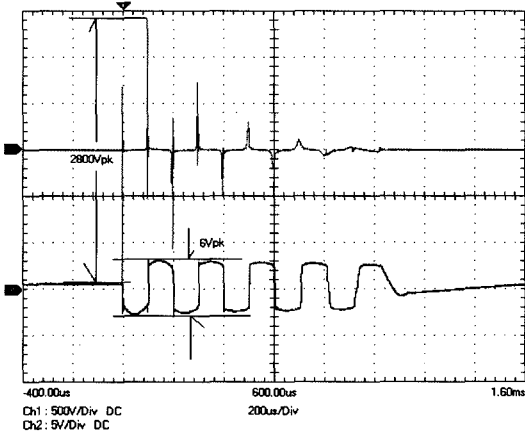


Fig. 4. Output performance for surge of ring wave type.

Fig. 4는 한국산업규격 진동과 내성시험 방법에 기초해서 인가된 링웨이브 형태의 썬지신호(20kV, 60A) 입력시에 제안된 보호시스템의 출력특성을 나타내고 있다. 진폭 2800Vp-p의 큰 임펄스성 썬지신호에 대해 제안된 보호시스템은 첨두치를 완전히 상쇄시키는 우수한 특성을 보였다.

옥내에서 빈번히 발생하는 형광등 부하의 스위치 온·오프시의 썬지신호에 대한 제안된 시스템의 출력파형을 Fig. 5에 나타낸다. 입력 썬지신호에 대해 출력력이 약 1/20정도로 감소되었다.

최근 전자식 안정기가 내장된 형광등들이 많이 사용되고 있으며, 이 경우 전자식 안정기의 LC 공진특성에 의해 지속적인 썬지신호가 발생되어 주

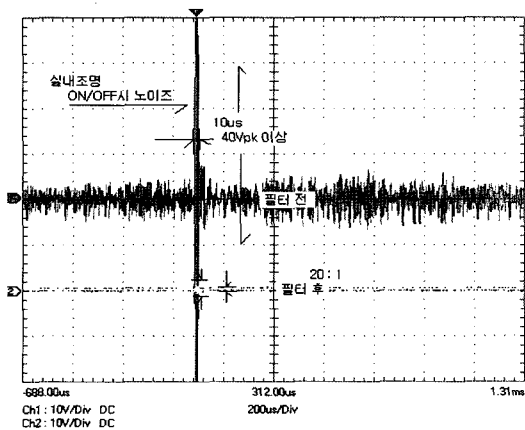


Fig. 5. Output performance for fluorescent lamp surge.

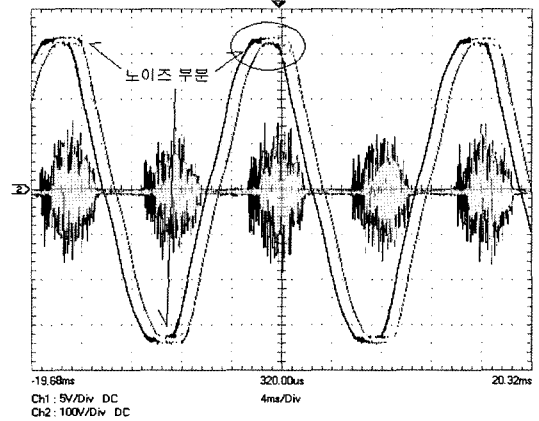


Fig. 6. Surge waveforms of electronic ballast.

위의 전자·통신장비 및 초고속 인터넷 장비들에 많은 피해를 주고 있다. Fig. 6은 이러한 전자식 안정기에서 발생하는 지속적인 썬지(노이즈)신호 파형을 보이며, 이 썬지신호에 대한 주파수 스펙트럼을 Fig. 7에 나타낸다. 발생한 썬지신호는 500 kHz 이상 폭넓게 분포되어 있었으며, 특히 200kHz 정도에서 가장 높게 나타났다. 이 대역의 썬지는 광대역 주파수의 통신데이터에 인가시 큰 문제점이 발생할 것으로 고려된다.

이러한 전자식 안정기에서 발생하는 지속적인 썬지(노이즈)신호의 인가시에 대한 제안된 보호시스템의 출력특성을 Fig. 8에 나타낸다. 분석결과 썬지신호가 1/20 정도 감소된 우수한 출력특성을 보였다.

개발된 썬지 보호시스템의 필터특성을 분석하

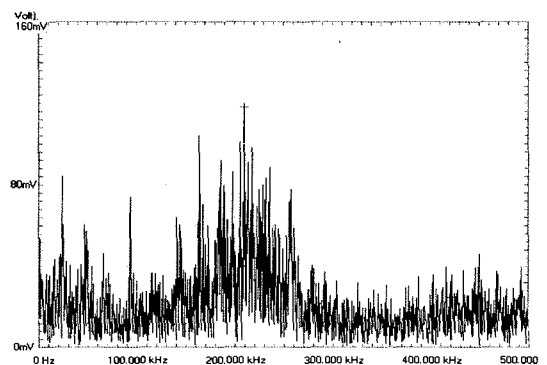


Fig. 7. Frequency spectrum of electronic ballast.

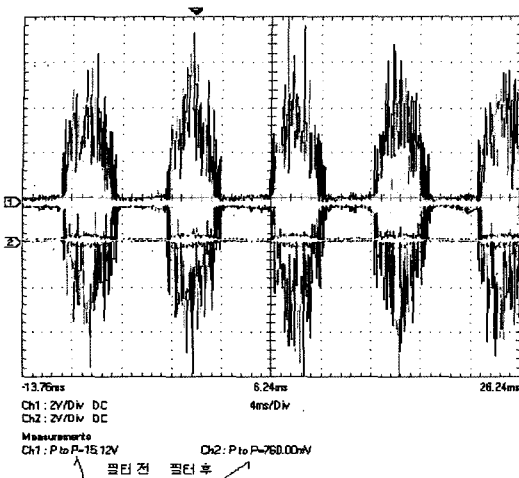


Fig. 8. Output performance for surge of electronic ballast.

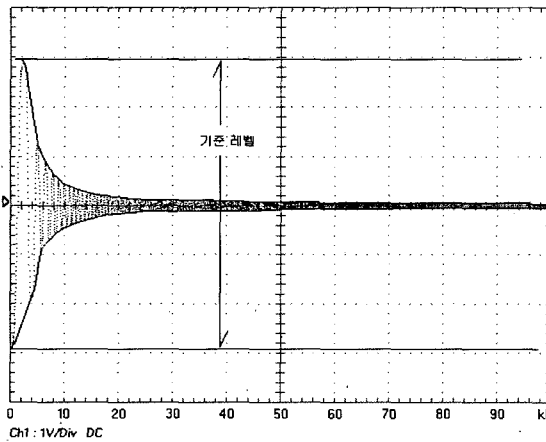


Fig. 9. Frequency spectrum of proposed system.

기 위해, 입력단자에 0~100kHz의 정현파를 인가하였으며, 이 경우 제안된 보호시스템의 출력 주파수 특성곡선을 Fig. 9에 보인다. 출력특성은 2kHz에서 감쇠가 시작되어 약 4.5kHz에서 약 50%가 감쇠하였으며, 또한 30kHz에서 거의 감쇠가 되었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 낙뢰와 전력·통신시스템에서 발

생하는 각종 썬지를 억제하기 위한 고속 고신뢰성의 썬지 보호시스템 개발에 대해 연구되었다. 새롭게 제안된 보호시스템의 구성은 간단하고 저가로 개발이 가능하였으며 소형경량의 구조로써 설치와 보수가 용이한 이점이 있다. 또한 제안된 보호시스템은 종래의 썬지 보호장치들에서 나타나는 대지전위 상승에 따른 2차적 피해가 발생하지 않았으며, 각종 썬지 및 노이즈에 대해서도 우수한 필터특성을 보였다. 이를 입증하기 위한 한국산업규격 진동과 내성시험 방법에 기초한 링웨이브 형태의 썬지신호(20kV, 60A) 인가시 제안된 썬지 보호시스템은 우수한 출력특성을 나타냈으며, 형광등 부하 등 다양한 사고발생 시뮬레이터를 통해서도 유입된 썬지를 확연히 감쇠시키는 특성을 가졌다. 또한 0~100kHz의 정현파 신호 입력시 2kHz에서 감쇠가 시작되어 약 4.5kHz에서 약 50%가 감쇠하였고 30kHz에서 거의 필터링되는 우수한 특성을 보였다.

본 연구에서 개발된 보호시스템은 낙뢰와 전력·통신시스템에서 발생하는 다양한 썬지를 억제시켜 인명 및 전기재해를 감소시킬 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 행정자치부, "2005년도 화재통계연보" (2005).
2. T.W.Fowler, K.K.Miles, "Electrical Safety, -Safety and Health for Electrical Trades-", NIOSHPublications, No. 2002-123 (2002).
3. R. N. Anderson, "What Came First? The Arc Bead or the Fire?", EC&M 100, pp. 20-21 (2001).
4. V. Babrauskas, "Fire due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads Be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing?", Fire and Materials 2003, Interscience Communications Ltd., pp. 189-201 (2003).
5. J.Mangs, "On the fire dynamics of vehicles and electrical equipment", VTTPublications521 (2004).
6. D.K.Kwak, "A Study on Protective Control System for Electrical Fire using Electrical Characteristics of Multilayer-Type PTC Thermistor", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol. 13, No. 1, pp. 31-35 (2006).