
국제규격 대응 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치 개발

박대원*·송재용*·한주섭*·길경석*

Development of a Surge Protective Device for Computer Network to International Standards

Dae-won Park*·Jae-yong Song*·Joo-sup Han*·Gyung-suk Kil*

이 논문은 정보통신연구진흥원 주관 정보통신기초연구지원사업의 지원으로 수행되었으며 관계부처에 감사드립니다.

요 약

본 논문은 외부의 서지로부터 컴퓨터 네트워크회로의 보호를 위한 서지방호장치에 대하여 기술하였다. 서지방호장치는 동작속도가 빠른 아발란시 다이오드와 에너지 내량이 큰 가스튜브의 하이브리드형으로 구성하였으며, 고주파 대역에서의 삽입손실을 줄이기 위하여 고속회복 다이오드를 사용하였다.

제안한 서지전압 차단장치의 성능 평가를 위하여 국제규격 IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21에 따라 서지 차단특성과 신호전송 특성평가를 수행하였다. 실험결과로부터 본 서지차단장치는 국제규격에 제시된 서지차단특성을 만족하였으며, -3dB의 고역차단 주파수가 204 MHz로 100 Mbps급 근거리 통신네트워크에 적합한 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

This paper dealt with the development of surge protection devices (SPDs) that can protect high speed computer network devices from overvoltages caused by switching operations or lightning surges. The designed SPD is a form of hybrid circuit which is composed of a gas tube having large current diverting capability, high response bi-directional avalanche diodes, and fast recovery diodes to reduce insertion loss on high frequency domain.

Surge protection and signal transmission characteristics of the fabricated SPD was tested according to the international standards, IEC 61000-4-5 and IEC 61643-21. From the test results, the SPD is satisfied with the international standards and the high cut-off frequency was 204 MHz. Also, the SPD showed a good performance without an insertion loss on a field test of 100 Mbps class Local Area Network

키워드

surge protection device, computer network, insertion loss, hybrid circuit, international standards

I. 서 론

고밀도 집적회로기술의 급속한 발달로 전기·전자·통신기기가 소형·경량화, 고기능화 되면서 기능상 외부의 서지전압이나 노이즈에 현저한 취약성을 보이고 있다. 그 중에서도 낙뢰나 전력계통설비의 조작에 의해 발생하는 서지전압은 전기·전자·통신기기의 전원회로와 신호·통신회로의 일시적인 장애 또는 심각한 손상을 일으킬 수 있을 만큼 충분한 에너지를 가지고 있기 때문에 이에 대한 보호대책이 절실히 요구되고 있는 실정이다^{[1]~[3]}.

서지전압에 대한 보호대책은 전원 또는 신호회로에 침입한 서지전압이 피보호기기가 접속된 계통의 전기적 특성에 따라 크기와 파형이 달라지며, 이에 대한 피해 정도도 기기 자체의 내과전압 특성에 의존하므로 충분한 기초적 자료와 기술이 축적되어 있어야 한다. 국내의 경우, 송·배전계통의 뇌 보호대책에 대한 연구는 일찍부터 꾸준히 진행되어 왔으나, 저전압 전기·전자·통신 기기를 대상으로 하는 연구는 1980년대 후반에 시작되어 최근에 와서야 집중적인 연구가 이루어지고 있다. 이들 연구의 대상은 주로 저전압 전원 및 저주파 대역의 신호·통신설비를 중심으로 기기에 침입하는 서지전압을 수동성 LC 필터로 감쇠시키거나, 바리스터(Varistor), 가스튜브(Gas Tube), 아발란시 다이오드(Avalanche Diode) 등의 비선형 소자에 의해 기기의 절연레벨 이하로 억제하는 것이다. 이 방법은 회로가 간단하고 에너지가 큰 서지전압도 충분히 억제할 수 있어 효과적인 서지전압 보호대책으로 사용되어 왔다^{[4],[5]}.

그러나 각종의 신호·통신회로가 소형화, 고속 광대역화 되면서 외부의 서지전압에 더욱 민감해지고, 보호장치의 고속 응답특성과 낮은 삽입손실이 요구되어 기존의 보호방식은 더 이상 적용이 어렵게 되었다.

따라서 본 논문에서는 컴퓨터 네트워크 회로와 같이 내전압이 낮은 고주파 전자기기의 서지전압에 대한 보호장치로 입력정전용량이 적은 비선형 소자와 고속회복 다이오드 등의 소자를 조합함으로써 보호장치로 인한 삽입손실과 주파수 대역의 한계에 대한 문제점을 해결하였으며, 서지전압을 고속으로 차단하여 피보호기기를 더욱 효과적으로 보호할 수 있는 회로를 설계·제작하였다.

제작된 서지방호장치는 IEC 61000-4-5와 IEC 61643-21에 의거^{[6],[7]}, 서지 차단특성 및 신호전송특성을 평가하였으며, 실험결과로부터 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치로 충분한 성능을 가짐을 확인하였다.

II. 서지방호장치의 설계 및 제작

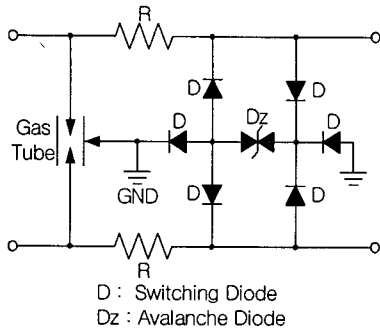
컴퓨터 네트워크용 서지 방호장치로는 회로에서 적은 입력정전용량을 나타냄으로써 정상상태에서의 삽입손실과 누설전류를 최소화하고, 서지전압에 대해 고속으로 동작하여 피보호기기로는 높은 이상전압과 잔류에너지가 전달되지 않는 회로구성이 필요하다. 현재까지 이들의 특성을 동시에 만족하는 보호소자는 없으므로, 몇 개의 소자를 조합한 하이브리드형 회로로 서지전압을 차단하는 방식을 고려하고 있다.

본 연구에서는 근거리 네트워크(LAN; Local Area Network)용 통신기기의 보호를 위한 서지방호장치를 제작하였다. 근거리 네트워크 통신에서는 비차폐 꼬임 케이블(Unshielded Twisted Pair Cable)이 전송매체로 사용되며 전송성능에 따라 등급을 분류하여 사용하고 있다. 이들 비차폐 꼬임 케이블은 평형선로이며 근거리 네트워크 통신에서는 수십 kbps에서 수백 Mbps의 고속도로 신호전송이 이루어지므로 서지 차단 특성은 물론 서지 대책소자의 설치에 의한 삽입손실을 충분히 고려하여야 한다.

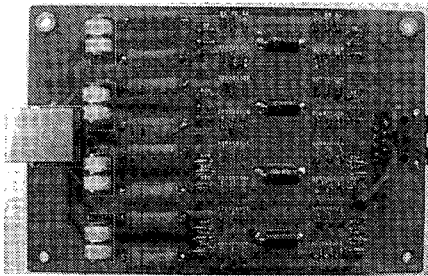
컴퓨터 네트워크용 서지방호장치는 그림 1에 나타난 것과 같이 가스튜브와 양방향 아발란시 다이오드 및 전류제한용 직렬저항, 삽입손실 해결을 위한 고속 회복 다이오드로 구성하였다.

서지전압에 대한 보호동작은 응답속도가 빠른 아발란시 다이오드가 먼저 동작하고, 차단용량이 큰 가스튜브에 의해 최종적으로 보호가 이루어진다.

아발란시 다이오드의 에너지내량은 대단히 작기 때문에 아발란시 다이오드가 동작할 때 회로에 흐르는 큰 서지전류는 직렬저항을 통하여 제한한다. 아발란시 다이오드의 클램핑 전압과 직렬저항에 의한 전압강하의 합으로 나타나는 전압이 가스튜브 양단에 인가되어 동작개시전압 이상이 되면 회로에 흐르는 큰 서지전류를 분류시킨다.



(a) 회로도



(b) 사진

그림 1. SPD의 구성
Fig. 1 Configuration of the SPD

크로우바(Crowbar) 소자로서 가스튜브는 응답 속도가 1 μ s 정도로 대단히 느리기 때문에 빠른 서지전압에 대해서는 효과적인 보호대책이 될 수 없다. 따라서 가스튜브는 서지전류에 대한 큰 차단용량을 가지고 서지전류를 회로에 영향이 없도록 분류시키는 것이다. 본 논문에서는 직류 90 V의 동작개시전압을 가지는 가스튜브를 사용하였다.

클램핑 소자로서 사용한 아발란시 다이오드는 고속 응답이 가능하고, 낮은 제한 전압을 가지기 때문에 저전압용 보호소자로 널리 사용된다. 그러나 차단용량이 작으므로 큰 서지전류에 대해서는 충분한 차단특성을 갖지 못하기 때문에 아발란시 다이오드 전단에 서지전류 제한을 위한 직렬저항을 삽입하고, 차단용량이 큰 가스튜브를 설치함으로써 효과적인 보호특성을 갖는다.

서지전류 제한용으로 사용된 직렬저항은 아발란시 다이오드의 보호 및 가스튜브를 동작시키는 역할을

하므로 저항값 선정이 대단히 중요하다. 직렬저항값은 가스튜브의 동작개시전압과 아발란시 다이오드의 클램핑 전압의 관계로 식(1)과 같이 표현할 수 있다⁸⁾.

$$R = \left[\frac{V_f}{\pi/2} - V_Z \right] (V_Z / P) \quad (1)$$

여기서, V_f : 가스튜브의 동작개시전압

V_Z : 다이오드의 역과파전압

P : 다이오드의 정상상태 정격

일반적으로 서지전압 차단장치에 사용하는 제한저항은 서지응답특성이 우수한 2 W 이상의 탄소피막저항이나 권선저항을 사용한다.

컴퓨터 네트워크용 신호회로에서는 수백 Mbps 대역의 고주파 신호를 송·수신하는데, 아발란시 다이오드의 정전용량은 10 nF 정도로 크기 때문에 입력정전용량에 의한 큰 삽입 손실이 발생한다. 따라서 삽입손실과 주파수 대역, 고속차단 등의 문제점을 해결할 목적으로 정전용량이 큰 아발란시 다이오드와 직렬로 1.5 pF 정도의 작은 정전용량을 가지며 응답속도가 빠른 고속회복 다이오드(Fast Recovery Diode)를 조합하여 최종적인 보호회로를 구성하였다.

선로 또는 기기로 침입하는 서지전압은 정(+) 또는 부(-)의 양방향 모두 나타날 수 있으므로 고속회복 다이오드 및 아발란시 다이오드를 역접속하여 정·부의 서지전압에 모두 동작하도록 하였다. 또한 외부로부터의 서지전압은 신호선 뿐만 아니라 접지를 통해서 침입할 수 있으므로 선로와 접지간에도 보호회로를 첨가하여 접지전위 상승에 대한 보호가 이루어지도록 3극관 가스튜브를 적용하였다. 보호회로 구성에 사용된 각 소자의 특성은 표 1과 같다.

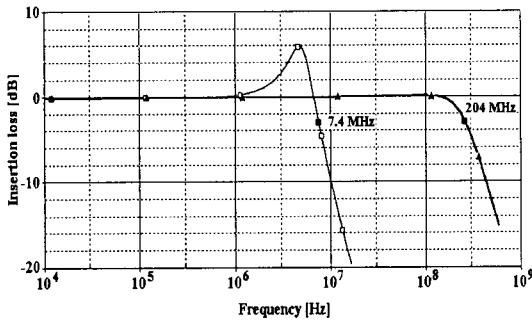
서지방호장치의 삽입손실 정도를 확인하기 위하여 PSpice 시뮬레이션을 수행하였다^{9),10)}.

시뮬레이션에 사용된 정수값은 실제 보호회로 구성에 사용된 소자들의 인덕턴스, 정전용량 등의 정수를 LCR 측정기(HIOKI 3531)로 측정하여 적용하였다. 시뮬레이션 결과 그림 2(a)와 같이 -3 dB가 되는 주파수 범위는 약 204 MHz로 컴퓨터 네트워크용 보호회로 구성시 삽입손실을 발생하지 않으므로 충분한 적용성이 있음을 확인하였다.

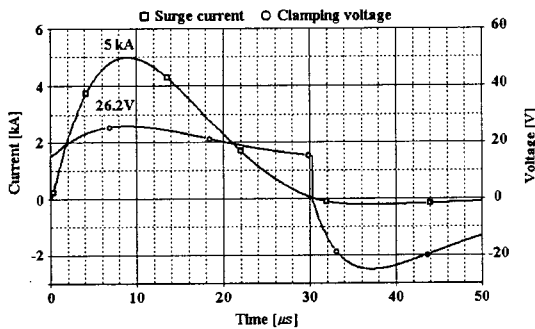
표 1. 서지보호소자의 사양

Table 1. Specification of surge protection parts

항 목	가스튜브	아발란시 다이오드	고속회복 다이오드
동작전압	90 V	15 V	-
동작속도	1 μ s	1 ns	1 ns
표류정전용량	1 pF	3.5 nF	1.5 pF



(a) Insertion loss



(b) Surge response

그림 2. PSpice 시뮬레이션 결과
Fig. 2 PSpice simulation results

시뮬레이션 결과에서 고속회복 다이오드를 직렬로 접속하지 않은 경우에는 주파수 범위가 약 7.5 MHz로 삽입손실로 인해 보호회로 적용이 불가능한 것으로 판단된다.

최종적으로 구성된 서지방호장치는 정상상태 신호에 대해 삽입 손실은 대단히 적으며 직렬저항에 의한 미소전압강하만이 발생하므로 대부분의 신호원은 피보호 대상선로에 전달된다.

그림 2(b)는 서지차단특성을 판단하기 위한 시뮬레

이션 결과로 최종적으로 피보호기에 전달되는 전압은 최대 26 V로 기기에 손상을 주지 않는 범위이다. 따라서 본 논문에서 제안한 서지방호장치는 삽입손실 및 서지에 의한 손상을 유발하지 않는 것으로 판단된다.

III. 평가 및 분석

본 논문에서 제안한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치는 고주파 대역에서 사용이 가능해야 하므로 국제규격 IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21을 적용하여 서지차단특성과 신호전송특성을 평가하였다.

3.1 신호전송특성

컴퓨터 근거리 네트워크에서 적용되는 신호대역은 10 Mbps 및 100 Mbps의 범위를 사용한다. 따라서 서지방호장치를 삽입하더라도 100 MHz 범위까지는 신호의 감쇄가 발생하지 않아야 한다.

서지방호장치의 삽입손실을 측정하기 위하여 그림 3과 같이 IEC 61643-21에 정의된 실험 회로를 구성하였다. 삽입손실 측정에는 네트워크 분석기(HP8753D, 30 kHz ~ 6 GHz)를 사용하였으며 S-파라미터를 측정함으로써 전송특성을 평가하였다.

삽입손실 측정에는 본 논문에서 제안한 방식으로 아발란시 다이오드와 고속회복 다이오드를 직렬로 접속한 것(SPD#2)과 아발란시 다이오드만으로 구성 것(SPD#1)에 대한 삽입손실을 측정하였다. 삽입손실의 측정은 주파수대역을 30 kHz ~ 500 MHz에서 측정하였으며, 주파수에 따른 손실계수의 값은 1600개의 데이터로 취득하여 그림 4와 같이 Matlab을 이용하여 나타내었다.

삽입손실의 측정결과 아발란시 다이오드가 접속되어 있지 않은 SPD#1은 -3 dB가 되는 주파수가 2.5 MHz로 측정되는데 이는 2.5 MHz 이상의 주파수 범위에서는 신호에 대한 감쇄가 크기 때문에 신호전송선로로는 부적합한 특성을 나타낸다. 이러한 특성은 아발란시 다이오드의 정전용량이 크기 때문으로 판단된다.

고속 회복 다이오드를 직렬로 접속한 SPD#2에서 -3 dB가 되는 상한주파수는 204 MHz로 측정되었으며, 특히 100 MHz 범위까지는 신호감쇄가 거의 발생하지

않으므로 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치로 사용하더라도 정확한 신호 전송이 가능하다.

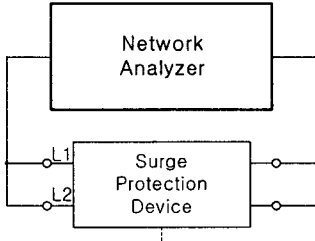


그림 3. 삽입손실 측정회로
Fig. 3 Test circuit for insertion loss

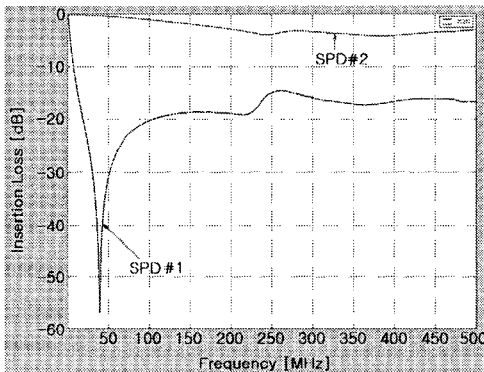


그림 4. SPDs의 주파수 특성
Fig. 4 Frequency characteristics of the SPDs

3.2 서지차단특성

서지방호장치는 서지의 차단이 근본적인 목적이므로 우수한 서지차단특성이 요구된다. 서지에 대한 차단특성 평가를 위하여 그림 5와 같이 실험회로를 구성하고, 국제규격에 준한 서지시험을 수행하였다.

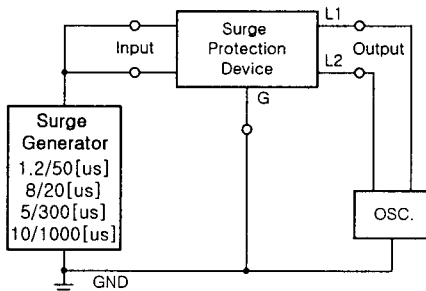


그림 5. 서지차단특성 시험회로
Fig. 5 Test circuit for the surge blocking characteristics

국제규격에서 정의하고 있는 서지시험 항목을 정리하면 표 2와 같이 나타낼 수 있다.

표 2. 서지시험의 국제규격
Table 2. International standard for surge test

규격	시험항목
IEC 61000-4-5	1.2/50 μ s 4.2 kV
	8/20 μ s 2.1 kA
IEC 61643-21	8/20 μ s 5 kA
	5/300 μ s 100 A
	10/1,000 μ s 100 A

본 논문에서 언급한 두 가지의 국제규격을 동시에 만족하도록 조합형 서지 발생장치를 이용하여 1.2/50 μ s 10 kV와 8/20 μ s 5 kA의 서지를 L1-G, L2-G 사이에 10회씩 인가하고 서지차단특성을 측정된 결과 그림 6과 같이 나타났으며, 시험도중 서지방호장치에 장애나 파괴는 발생하지 않았다.

아발란시 다이오드의 동작속도는 1 ns이하로 대단히 빠르기 때문에 피보호기에는 서지에 대한 영향이 전혀 없으며, 가스튜브에 의해 5 kA의 전류가 흘러나가게 되고, 서지는 차단된다. 최종적으로 피보호기기에 전달되는 전압은 16.9 V로 관측되는데 이는 피보호기기에 아무런 영향을 주지 않는 크기로 8/20 μ s 5 kA의 서지에 대해서는 충분한 보호성능을 나타내었다.

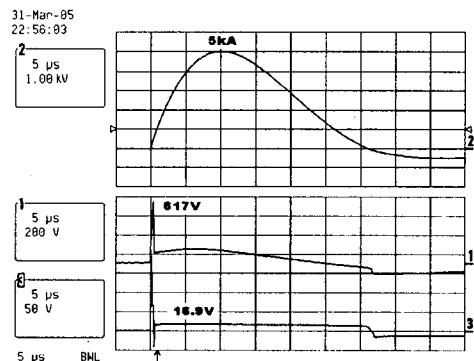


그림 6. 8/20 μ s 서지에 대한 응답 파형
Fig. 6 Response waveforms to the 8/20 μ s surge

컴퓨터 네트워크 회로에 적용하기 위해서 IEC 61643-21에 정의된 5/300 μ s 100 A 및 10/1000 μ s 100 A의 서지를 L1-G, L2-G 사이 30회를 인가하였다. 5/300

μs 및 $10/1000 \mu\text{s}$ 의 서지파형은 에너지 내량에 대한 서지 시험항목으로 전류의 크기는 작지만, 지속시간이 길기 때문에 컴퓨터 네트워크와 같은 신호선로에 적용하여 시험하도록 규정되어 있다.

$5/300 \mu\text{s}$ 서지에 대한 시험결과는 그림 7과 같이 나타났으며, 피보호기기에 전달되는 최대전압은 20 V로 기기나 회로에 전혀 영향을 주지 않는 크기이다. 따라서 $5/300 \mu\text{s}$ 의 서지에 대해서도 안정된 보호동작 특성을 나타내었다.

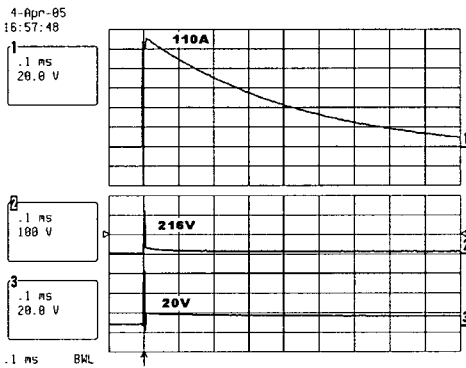


그림 7. $5/300 \mu\text{s}$ 서지에 대한 응답 파형
Fig. 7 Response waveforms to the $5/300 \mu\text{s}$ surge

그림 8에는 $10/1000 \mu\text{s}$ 100 A의 서지에 대한 서지방호 장치의 차단특성을 나타낸 것으로 피보호기기에 전달되는 전압은 18 V로 안정된 보호 특성을 나타내었다.

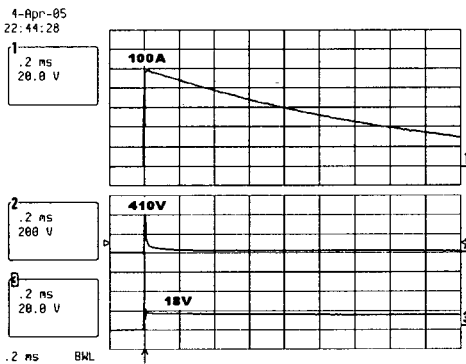


그림 8. $10/1000 \mu\text{s}$ 서지에 대한 응답 파형
Fig. 8 Response waveforms to the $10/1000 \mu\text{s}$ surge

전기전자기기 및 신호회로에 대한 국제규격인 IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21에 정의된 서지시험결과

피보호기기에 전달되는 제한전압은 16.9 ~ 20 V로 기기에 아무런 영향이 없는 범위로 나타났으며, 시험도중 서지방호장치 및 피보호기기의 손상은 전혀 발생하지 않았다.

본 논문에서 제안한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치는 우수한 신호전송 특성과 충분한 서지차단특성을 가지는 것으로 평가되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 서지전압 차단을 위한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치를 설계·제작하였으며, 신호전송특성과 서지차단특성에 대한 실험적 평가를 수행하였다.

제안한 서지방호장치는 응답속도 및 에너지 내량, 삽입손실을 충분히 고려하여 가스튜브, 직렬저항, 아발란시 다이오드 및 고속회복 다이오드로 구성하였다.

삽입손실에 대한 특성평가는 IEC 61643-21에 따라 30 kHz에서 500 MHz 범위에서 측정하였으며, 측정결과 본 논문에서 제안한 서지방호장치는 -3 dB가 되는 주파수 범위가 204 MHz로 현재 사용되는 근거리 네트워크 회로 보호용으로 적용하여도 서지방호장치에 의한 삽입손실은 발생하는 않는다.

서지차단특성은 IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21에 정의된 서지시험항목에서 우수한 서지 차단특성을 나타내었다. 특히, 피보호기기에 전달되는 전압은 최대 20 V로 기기를 안전하게 보호할 수 있었다.

따라서 향후 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치로 그 활용가치가 클 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] S. B. Smith and R. B. Standler, "The Effects of Surges on Electric Appliances", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, pp. 1275~1282, 1992.
- [2] N. Kuwabara, H. Koga and T. Motomitsu, "A New Lightning Surge Test Circuit for Telecommunications Equipment in Japan", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 3, pp.

393~400, 1988.

- [3] K. C. Lai, W. J. Lee, W. V. Jaction, "Testing and Selecting Surge Suppressor for Low-Voltage AC Circuits", IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. 26, No. 6, pp. 976~982, 1986.
- [4] P. R. Tompson, "Lightning Protection of SCADA and Telemetry Systems", Proc. of 2nd Annual technical conference on Lightning Protection & Earthing, pp.1~6, 1994.9.
- [5] Peter Hasse, Overvoltage protection of low voltage system, IEE, 2004
- [6] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60~77, 2002.
- [7] IEC 61643-21, Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks- Performance requirements and testing methods, 2000
- [8] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuit from Overvoltage, WIELY, 1988.
- [9] James A. Svoboda, PSpice for Linear Circuits, WIELY, 2003.
- [10] Roy W. Goody, OrCAD PSpice for Windows Volume II, Prentice Hall, 2003.

저자약력



박대원 (Dae-won Park)

2003년 8월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 2003년 9월 - 현재 한국해양대학교 전기 전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : 서지 방호기술



송재용 (Jae-yong Song)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 1999년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기술



한주섭 (Joo-sep Han)

1997년 2월 부경대학교 제어계측공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 2003년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학박사

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 피뢰기 열화진단기술



길경석 (Gyung-suk Kil)

1984년 2월 인하대학교 전기공학과 공학사
 1987년 8월 인하대학교 전기공학과 공학석사
 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 공학박사

1996년 4월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수

※ 관심분야 : 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기술