

工學碩士 學位論文

국제규격 대응 컴퓨터 네트워크용  
서지방호장치에 관한 연구

A Study on the Surge Protective Devices for Computer  
Networks by the International Standards

指導教授 吉 暲 碩

2005年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

朴 大 元

本 論 文 을 朴 大 元 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 : 工 學 博 士 金 潤 植 ㉠

委 員 : 工 學 博 士 吉 暻 碩 ㉠

委 員 : 工 學 博 士 李 成 根 ㉠

2005年 8月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 氣 電 子 工 學 科

朴 大 元

# 목 차

목 차 .....	i
그림 및 표 목차 .....	iii
Abstract .....	v
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구목적 및 활용방안 .....	3
<b>제 2 장 이 론 .....</b>	<b>4</b>
2.1 서지의 발생과 전파 .....	4
2.2 서지대책소자 .....	7
2.2.1 가스 튜브 (Gas tube) .....	10
2.2.2 산화아연 바리스터 (ZnO Varistor) .....	13
2.2.3 아발란치 다이오드 (Avalanche diode) .....	17
2.3 서지시험 관련 국제규격 .....	19
<b>제 3 장 설계 및 제작 .....</b>	<b>25</b>
3.1 설계 이론 .....	25
3.2 시뮬레이션 및 제작 .....	29
3.2.1 소자의 모델링 .....	30

3.2.2	서지방호장치의 제작 .....	34
3.2.3	신호전송특성 .....	36
3.2.4	서지차단특성 .....	38
<b>제 4 장</b>	<b>성능평가 .....</b>	<b>41</b>
4.1	신호전송특성 .....	41
4.1.1	신호측정 및 분석 .....	41
4.1.2	성능 평가 .....	43
4.2	서지차단특성 .....	49
4.2.1	서지발생장치 제작 .....	49
4.2.2	성능 평가 .....	54
<b>제 5 장</b>	<b>결 론 .....</b>	<b>58</b>
<b>참 고 문 헌</b>	<b>.....</b>	<b>60</b>

## 그림 및 표 목차

### <그림목차>

그림 2.1	뇌방전의 형태 .....	5
그림 2.2	개폐서지의 발생 .....	6
그림 2.3	서지의 전과경로 .....	6
그림 2.4	서지차단의 원리 .....	8
그림 2.5	표류 L, C에 의해 형성된 저역통과필터 .....	9
그림 2.6	조합형 서지보호회로 .....	10
그림 2.7	가스 튜브의 구조 .....	11
그림 2.8	가스 튜브의 $V-I$ 특성 곡선 .....	13
그림 2.9	산화아연 바리스터의 $V-I$ 특성 곡선 .....	14
그림 2.10	산화아연 바리스터의 전기적 등가회로 .....	15
그림 2.11	아발란치 다이오드의 $V-I$ 특성 곡선 .....	17
그림 2.12	IEC 664 및 IEC 1312-1에 의한 뇌보호 영역 .....	21
그림 2.13	서지시험 파형 .....	23
그림 3.1	조합형 보호회로 .....	26
그림 3.2	평형보호회로 .....	28
그림 3.3	표류정전용량의 감소 방법 .....	29
그림 3.4	가스 튜브의 특성 .....	31
그림 3.5	과두준도를 고려한 가스 튜브 모델 .....	32
그림 3.6	1.2/50 [ $\mu$ s] 2 [kV]파형에 대한 결과 비교 .....	33
그림 3.7	LAN용 서지방호장치 .....	36
그림 3.8	신호전송특성의 시뮬레이션 결과 .....	38
그림 3.9	서지차단특성의 시뮬레이션 결과 .....	40

그림 4.1	근거리 네트워크 신호의 측정 파형 .....	42
그림 4.2	측정계의 구성 .....	44
그림 4.3	삽입손실 .....	45
그림 4.4	반사손실 .....	47
그림 4.5	근단누화 .....	48
그림 4.6	서지발생장치의 등가회로 .....	49
그림 4.7	8/20 [ $\mu$ s] 5 [kA] 서지발생장치 .....	51
그림 4.8	5/300 [ $\mu$ s] 100 [A] 서지발생장치 .....	52
그림 4.9	10/1000 [ $\mu$ s] 100 [A] 서지발생장치 .....	53
그림 4.10	서지차단특성 시험회로 .....	54
그림 4.11	8/20 [ $\mu$ s] 서지전류에 대한 응답 파형 .....	55
그림 4.12	5/300 [ $\mu$ s] 서지전류에 대한 응답 파형 .....	56
그림 4.13	10/1000 [ $\mu$ s] 서지전류에 대한 응답 파형 .....	57

### <표목차>

표 2.1	IEC 61643-21 서지시험항목 .....	24
표 3.1	서지대책소자의 전기적 특성 .....	35
표 3.2	서지보호회로의 회로정수 .....	37

# **A Study on the Surge Protective Devices for Computer Networks by the International Standards**

*by Park, Dae-Won*

Department of Electrical and Electronics Engineering  
The Graduate School of Korea Maritime University  
Busan, Republic of Korea

## **Abstract**

This thesis presents the design and fabrication of the surge protective devices (SPDs) for computer networks. The study has involved a broad review of the international standards together with experimental as well as theoretical simulation works on the SPDs design. Surge measurements have been carried out in places where computer network devices are installed to investigate the distribution of surge level and occurrence. Electrical equivalent models of a gas tube and a bi-directional avalanche diode are proposed.

Computer simulations were conducted using PSpice to derive an optimal configuration of the SPDs. Several types of the SPDs available for Local Area Networks up to 8 lines were designed and fabricated.

The fabricated SPDs are composed of 10 [kA] rated gas tubes, solid resistors, bi-directional avalanche diodes. A fast recovery diode is added to the SPDs in series with the bi-directional avalanche diode to reduce insertion loss due to the large stray capacitance of the bi-directional avalanche diode in high frequency domain.

Test set-ups and measurement techniques were conducted according to the terms of the international standards; IEC 61000-4-5 and IEC 61643-21 which are prescribing test procedures on the surge characterization of the SPDs.

8/20 [ $\mu$ s] 5 [kA], 5/300 [ $\mu$ s] 100 [A] and 10/1000 [ $\mu$ s] 100 [A] were used to test the surge blocking performance of the SPDs. In the application of these surge waveforms, the SPDs clamped the surges below 20 [V] that is safe level for computer networks.

Network analyzer(HP8753D, 30 [kHz]~6 [GHz]) was used to estimate signal transmission performance as standing wave ratio, frequency bandwidth, insertion loss, return loss and near-end crosstalk. The high cut-off frequency of -3 [dB] was 204 [MHz] and return loss and near-end crosstalk in ranges from 500 [kHz] to 100 [MHz] were under -10 [dB] and -20 [dB], respectively.

The test results of the SPDs showed a good agreement with the simulation data and are satisfied with the international standards.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경

반도체기술의 비약적인 발전에 의해 실생활에 반도체를 이용한 각종 전자기기들의 사용이 급증하고 있으며, 집적회로기술의 발달로 소형화, 경량화, 고밀도 실장화가 이루어지고 있다. 이들 반도체기술을 이용한 각종 전기·전자기기들은 사회 및 산업 활동의 대단히 중요한 핵심요소로 등장하였다. 더불어 국제화, 세계화에 부응하여 정보통신기기의 보급과 이용은 날로 급증하고 있으며, 이들 기기와 관련된 설비의 효율적인 운용과 고신뢰성의 확보는 대단히 중요하다.

또한 정보통신기술의 발달을 기초로 정보화시대가 시작되면서 건물에는 여러 가지 컴퓨터, 전자, 통신, 사무자동화기기가 도입되어 건물의 인공지능화가 이루어지고 있으며 이들 기기가 건물의 중추적인 역할을 하고 있다. 최근에는 정보통신기술 뿐만 아니라 네트워크의 급속한 보급으로 유비쿼터스 기술이 부각되고 있으며, 추후 이러한 기술이 적용되면 개인용 단말기나 컴퓨터를 통하여 제어용 기기, 교통 및 기상시스템, 의료 시스템과 같은 기기에 접속하여 정보를 주고받게 된다. 그러나 이러한 정보통신기기들은 외부로부터의 과도전압이나 노이즈에 현저한 취약성을 보이고 있다. 그 중에서도 낙뢰나 전력계통설비의 조작에 의해 발생하는 과도전압은 정보통신기기의 전원회로와 신호·통신회로의 일시적인 장애 또는 심각한 손상을 일으킬 수 있을 만큼 충분한 에너지를 가지고 있기 때문에 이에 대한 보호대책이 절실히 요구되고 있다<sup>[1]~[3]</sup>.

특히 외부로부터 침입하는 서지에 대한 보호 대책은 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.

이미 외국에서는 1960년대부터 서지에 대한 전기·전자기기의 보호대책이 단계적으로 진행되어 왔으며, 그 기술도 현재 고주파, 초소형 기기에 이르기까지 보호기기 대상별로 상당한 수준에 이르고 있다. 국내의 경우 송배전계통의 뇌 보호대책에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으나 저전압 전기·전자·통신기기를 대상으로 하는 연구는 1980년대 후반부터 시작되었으며 현재에도 그 연구가 진행되고 있다. 이들 연구대상은 주로 저전압 전원 및 저주파대역의 신호·통신설비를 중심으로 기기에 침입하는 서지를 LC필터로 감쇄시키거나 비선형 저항특성을 갖는 서지대책소자를 사용하여 절연레벨 이하로 억제시키는 것이다<sup>[4]~[5]</sup>.

최근에는 기상이변으로 인한 낙뢰 발생빈도의 증가, 전력계통의 초고압화 및 전력설비의 복잡다단화로 인한 개폐서지의 증가 등 외부 서지 발생의 빈도가 늘어나고 있는 추세이다. 특히, 고층건물의 증가에 따른 낙뢰의 뇌격빈도도 늘어나고 있으며, 이로 인해 통신설비를 포함한 전자·정보기기들 또한 건축물이나 그 주변의 낙뢰에 기인하여 발생하는 뇌서지의 영향을 받기 쉬우므로 이에 대한 보호대책이 새로운 문제로 제기되고 있다. IT기술의 발달과 더불어 전력설비 및 계통에 있어서도 원격감시 및 제어를 위한 컴퓨터 네트워크의 구성이나 정보통신설비의 적용이 증가하고 있으며, 이들 기기는 외부 서지로부터 충분한 보호대책이 마련되어 있지 못한 경우가 대부분이다. 따라서 컴퓨터 네트워크를 중심으로 한 정보통신설비에서 외부로부터 침입하는 서지에 대한 보호대책 마련이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 특히 정보통신설비에서는 수 십 [MHz] 이상의 고주파 신호를 사용하는 것이 대부분이므로 보호회로 적용시에는 외부로부터의 서지에 대한 차단특성뿐만 아니라 설치에 따른 삽입손실, 케이블 상호

간의 근단누화 등에 대한 것도 충분히 고려되어야 한다.

결국 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치의 적용에 있어서는 외부 서지의 침입특성, 서지대책소자 및 보호회로의 적용기술, 기기의 내전압특성, 신뢰성 및 경제성 등 정확하고 면밀한 분석이 필요할 것이다.

## 1.2 연구목적 및 활용방안

본 연구에서는 소형 정보통신설비에 대한 서지대책기술을 연구하였으며, 최종적으로 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치를 설계·제작하였다.

서지방호장치의 구성을 위하여 컴퓨터 네트워크 통신에 이용되는 근거리 네트워크(LAN ; Local Area Network)의 선로에서 신호를 측정·분석하고 이를 바탕으로 삽입손실이 최소로 될 수 있는 보호회로를 구성하였다. 특히 보호회로의 구성에 있어 특정 서지대책소자를 이용하여 단독으로 보호회로를 구성하는 것은 어려우므로 여러 가지의 서지대책소자를 적절히 조합하여 서지차단특성 및 삽입손실 문제를 해결하였다.

제작된 서지방호장치는 저압용 전기·전자기기 및 통신설비에 적용되는 국제규격인 IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21을 만족하도록 구성하였으며, 상기 규격에 의거한 서지 시험 및 삽입손실 측정, 근단누화 측정 등을 통하여 성능 평가를 수행하였다.

성능 평가 결과로부터 삽입손실에 대한 문제를 완전히 해결하였으며, 서지차단특성에 있어서도 우수한 특성을 나타내었다. 향후 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치로 활용가치가 클 것으로 기대한다.

## 제 2 장 이 론

### 2.1 서지의 발생과 전파<sup>[6],[7]</sup>

서지(Surge)란 전력 및 신호·통신계통에 나타나는 불필요한 잡음의 일종으로서 유도, 방사, 전도의 형태로 선로에 유입되며 궁극적으로는 전도의 형태로서 장비에 영향을 주게 된다. 이러한 서지는 잡음(Noise)과는 달리 분류되고 있으며, 그 발생 원인은 크게 뇌방전 현상에 의해 발생하는 뇌서지와 전력계통에서 개폐기의 조작시 발생하는 개폐서지로 구분된다. 이러한 서지의 특성을 결정하는 주요한 파라미터는 파형의 상승시간(Rise time)과 지속시간(Duration), 진폭 및 반복성 여부 등이다. 대개의 경우 서지파형들은 그 지속시간이 매우 짧고, 빠른 전압 및 전류의 변화를 나타내며, 상승시간과 지속시간은 보통 수 [ns]에서 수 [ms]로서 발생 원인에 따라 다르게 나타난다. 뇌서지의 발생원인 뇌방전은 뇌운이 가진 전하의 방전현상이며, 뇌방전의 종류는 뇌운 내부에서 발생하는 운방전(Cloud discharge)과 뇌운 간에 발생하는 운간방전(Cloud to cloud discharge), 뇌운과 대지사이의 방전인 낙뢰(Cloud to ground discharge), 공기 중에서 방전하는 공전(Cloud to air discharge)으로 구분되며, 그림 2.1에 뇌방전의 여러 가지 형태를 나타내었다.

이들 방전 중 직접적으로 피해를 주는 것은 뇌운과 대지사이에 발생하는 낙뢰이다. 낙뢰는 뇌운 속에 존재하는 전하가 지상으로 내려오는 현상이며, 발생시 수 만 볼트 이상의 전압과 수 만 암페어 이상의 전류를 동반한다. 이러한 막대한 에너지가 전자·통신기기의 선로를 통해 유입되면 최종적으로 기기를 파괴시키게 된다.

이러한 뇌서지는 지상의 구조물로 직접 떨어지는 직격뢰와 장비를 포함하고 있는 건축물로 인입되는 선로를 따라 유입되는 간접뢰, 그리고 인접선로와 전자기적인 결합에 의해 유도되는 유도뢰가 있다.

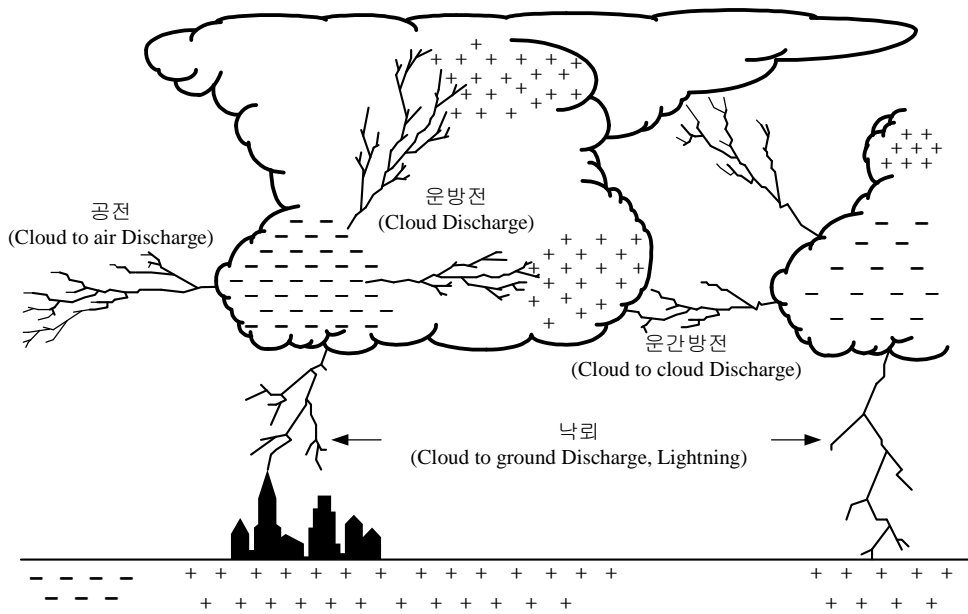


그림 2.1 뇌방전의 형태  
Fig. 2.1 Types of lightning discharges

개폐서지는 그림 2.2와 같이 전력계통에서 개폐기의 개방이나 단락시 나타나는 서지이다. 개폐서지는 단지 개폐기의 동작에서만 발생하는 것이 아니고 인덕터나 캐패시터를 개폐시킬 때에도 발생하며, 단위시간당 전류의 변화율인  $di/dt$ 가 크면 발생할 수 있다. 또한 고주파 발진기나 릴레이, 인버터 등의 동작도 서지의 발생원이 될 수 있다. 이러한 개폐서지는 뇌서지에 비해 그 크기는 작지만 기기에 과도한 스트레스를 주게 되고 기기를 손상시키거나 최종적으로 파괴시킬 수 있다.

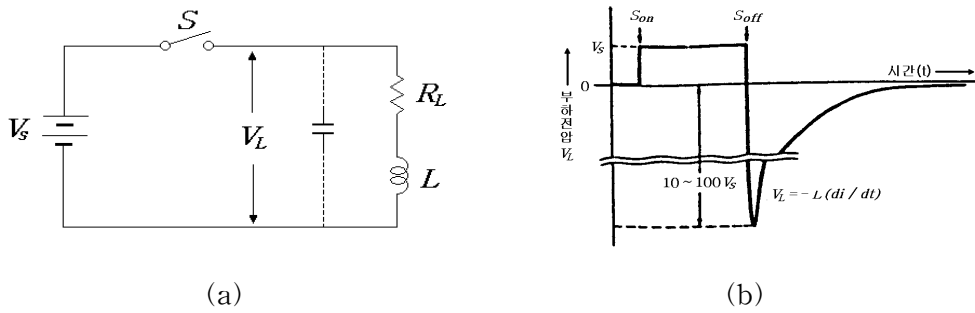


그림 2.2 개폐서지의 발생  
 Fig. 2.2 Types of switching surge

따라서 이들 기기의 신뢰성 있는 운전을 위해서는 서지에 대한 적절한 보호가 필요하며, 특히 고신뢰성이 요구되는 정보통신설비는 컴퓨터를 비롯하여 신호의 전송과 제어에 필요한 통신장치, 제어장치, 전원장치 등 여러 가지가 복합적으로 구성되어 있으므로 서지의 침입경로도 매우 다양하게 나타난다. 그림 2.3에 정보통신설비에서 서지의 전파경로를 개략적으로 나타내었다.

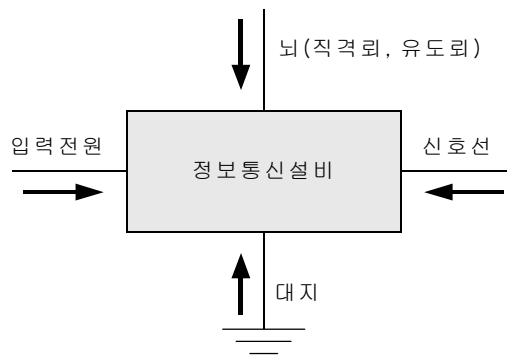


그림 2.3 서지의 전파경로  
 Fig. 2.3 Propagation path of surges

정보통신설비에서 전파경로를 통해 침입하는 서지는 건물의 구조물이나 피뢰침, 안테나 등에 직격뢰 또는 유도뢰에 의해 침입하는 서지와 신호선이나 제어선 또는 전원선등 입출력선로로 침입하는 서지, 피뢰설비의 보호동작으로 발생하는 방전전류에 의해 대지의 전위가 상승하여 대지로부터 침입하는 서지 등이 있다.

이와 같이 서지는 다양한 경로를 통하여 침입하고 있으며, 이러한 경로로 침입하는 서지를 파악하지 못한다면 합리적인 보호대책을 기대할 수 없다. 따라서 정보통신설비로 침입하는 서지의 전파경로를 파악하는 것이 중요하며 전파경로에 따른 적절한 서지대책을 세워야 할 것이다.

## 2.2 서지대책소자<sup>[7]</sup>

서지로부터 피보호기기를 보호하는 가장 효과적인 방법은 비선형 저항 특성이 우수한 서지대책소자를 이용하는 것이다. 이러한 서지대책소자는 비선형  $V-I$  특성을 이용하며, 일반적인 서지대책소자는 보호동작형태에 따라 크로우바 소자와 클램핑 소자로 나눌 수 있다. 크로우바 소자는 가스 튜브와 반도체 사이리스터가 있으며 클램핑 소자는 바리스터, 아발란치 다이오드가 사용된다. 이들 소자는 시스템의 정상운전동안에는 낮은 직렬임피던스 또는 높은 병렬임피던스를 가지며, 시스템의 정상운전에 영향을 주지 않는다. 그러나 서지가 내습했을 때 서지대책소자는 높은 직렬임피던스를 갖거나 낮은 병렬임피던스를 가지며, 효과적으로 서지를 차단한다. 그림 2.4에 서지차단의 기본원리를 나타내었다.

일반적인 보호회로에서 직렬임피던스  $Z_1$ 은 전류제한소자로서 저항, 인덕터, PTC 등이 사용되며, 일반적으로 저항을 많이 사용한다.

병렬임피던스  $Z_2$ 는 정상상태에서는 높은 임피던스를 가지고 서지가 발생했을 때에는 낮은 임피던스를 갖는 비선형 소자가 사용된다.

그림 2.4의 회로에서 각각의 서지대책소자는 보호레벨이하에서 분압기와 같이 작용한다. 만약  $Z_2$ 에 비선형 저항특성을 갖는 소자를 사용하면 피보호기기의 입력측 양단전압은 서지대책소자가 가지는 보호레벨로 제한되며, 피보호기기는 피해를 받지 않는다. 또한 보호레벨이상의 전압은 서지대책소자에 의해 전류형태로 방전하게 되므로, 분류기의 형태로 작용하게 된다. 서지가 발생했을 때 병렬 요소  $Z_2$ 는 피보호기기보다 낮은 임피던스를 가지며, 전류를 방출함으로써 피보호기기를 보호한다. 분압과 분류 동작은 상호 보완적으로 작용하게 된다. 이 두 가지 메커니즘은 동시에 발생하며 서지에 의한 피해로부터 피보호기기를 보호한다.

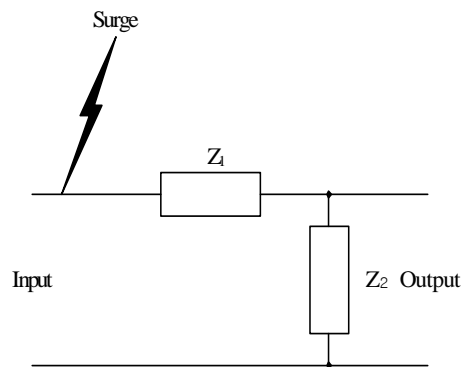


그림 2.4 서지차단의 원리  
Fig. 2.4 Surge blocking Principal

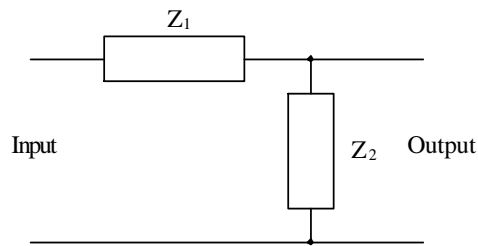
보호회로 구성시 직렬임피던스 및 선로는 표류인덕턴스를 가지게 되며, 병렬임피던스로 사용되는 비선형 소자는 보통 수 [pF]에서 수 십 [nF] 정도의 표류정전용량을 가지게 된다. 병렬임피던스인  $Z_2$ 의 삽입으로 인해  $Z_1$ 의 저항 및 인덕턴스와  $Z_2$ 의 정전용량은 그림 2.5와 같이 자동적으로 지역통과필터를 형성하게 된다. 이러한 지역통과필터의 형성은 높은 주파



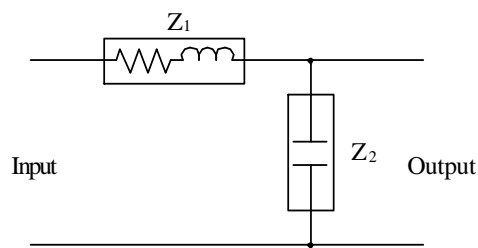
수를 사용하는 신호·통신회로에서는 신호의 감쇄를 일으키게 되므로 설계 시 표류정전용량이나 인덕턴스를 최소화할 수 있도록 해야 할 것이다.

서지대책소자의 응답속도가 빠르면 잔류전압도 낮게 되지만 가스 튜브나 반도체 사이리스터와 같은 크로우바 소자의 응답속도는 클램핑 소자에 비해 느리기 때문에 잔류전압이 높게 나타난다.

따라서, 응답속도가 빠른 크로우바 소자를 사용하거나 크로우바 소자 후단에 응답속도가 빠른 클램핑 소자를 접속하여 조합형 보호회로를 구성하는 것이 효과적이다. 그러나 현재 사용하고 있는 크로우바 소자는 응답속도가 느리고 잔류전압이 높거나 속류에 대한 문제가 있으므로 대부분의 서지보호회로에서는 후자의 경우를 많이 사용하고 있다. 그림 2.6에 조합형 서지보호회로를 나타내었다.



(a) 기본 회로



(b) 저역통과필터

그림 2.5 표류 L, C에 의해 형성된 저역통과필터  
Fig. 2.5 Lowpass filter formed by a stray L and C

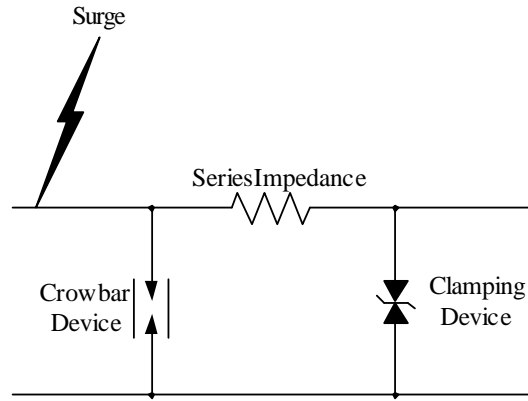


그림 2.6 조합형 서지보호회로  
Fig. 2.6 Hybrid-type protective circuit

일반적으로 조합형 서지보호회로에 사용되는 대책소자는 가스 튜브와 바리스터, 아발란치 다이오드가 있으며 개별적인 특성은 다음과 같다.

### 2.2.1 가스 튜브 (Gas tube)

가스 튜브는 서지보호회로에 사용되는 소자 중 가장 큰 서지전류용량을 가지며 직격뢰가 예상되는 곳에 적용할 수 있는 비선형 소자이다. 그러나 동작특성이 매우 복잡하여 적용회로에 줄 수 있는 영향을 고려하여 사용하여야 한다.

기본적으로 가스 튜브는 10 [ $\mu$ s] 정도의 시간동안 5~10 [kA]의 전류를 방전시킬 수 있으며 방전내량이 크므로 순간적인 서지를 허용할 수 있는 회로에 일차적으로 사용가능하고 예상되는 서지의 에너지가 반도체형 소자나 바리스터의 에너지 영역을 초과하는 회로에 사용된다. 일반적으로 조합형 서지보호회로의 1단계에 적용하여 대용량의 서지에너지가 2차 보호회로로 넘어가지 않도록 하며 2차 회로를 보호하는 목적으로 사용된다.

가스 튜브는 그림 2.7과 같은 구조를 가지고 있으며, 기본동작원리는 기체방전의 원리인 파센의 법칙으로서 전극의 재질, 형상, 충전된 가스의 종류에 따라 다르게 나타나며, 가스 튜브 내부의 전극간격과 충전된 가스의 압력에 의해 방전개시전압이 결정된다. 가스 튜브의 동작특성은 그림 2.8의 비선형  $V-I$ 특성과 같으며 불활성가스로 채워진 갭 양단간의 전위를 상승시키면  $A$ 지점에서 도통 상태가 되며 이때  $A$ 지점의 전위를 동작개시전압이라고 한다.  $A$ 와  $B$ 사이의 증가저항  $dV/dI$ 는 음이며, 이 부분을 부정저항영역이라고 한다.  $B$ 지점과  $C$ 지점사이의 일반적인 글로우 영역이며, 글로우 방전이 일어난 후 글로우는 전극표면을 감싸게 되고 전류가 증가할 때 특성곡선의  $C$ 지점과  $D$ 지점 사이의 영역으로 비정상 글로우 영역이 된다. 가스 튜브의 글로우 영역에서는 전계에 의해 가속되어진 전자가 충돌하여 전자사태가 일어나게 되고 전류가 증가하게 되어 방전은 특성곡선의  $E$ 지점으로 되며 아크방전의 형태로 된다.

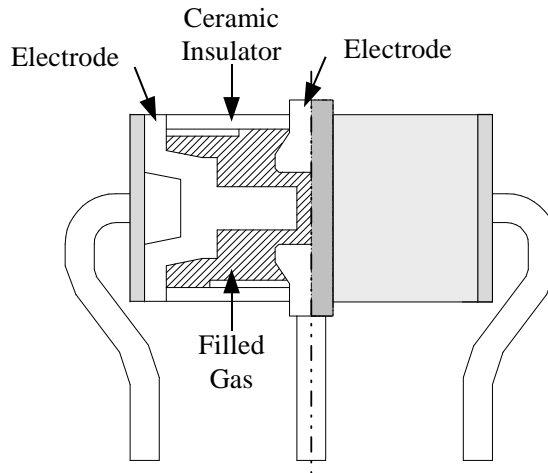


그림 2.7 가스 튜브의 구조  
Fig. 2.7 Structure of a gas tube

가스 튜브는 방전상태에서 낮은 제한전압(clamping voltage)을 유지하며, 방전전압은 방전전류량에 따라 큰 폭의 차이가 있다. 비선형 저항특성의 관계식  $I = KV^a$ 를 가스 튜브에 적용하면  $a$ 값은 무한대에 가깝게 된다. 그러나 가스 튜브는 바리스터나 아발란치 다이오드와는 달리 방전상태에 도달하기 위한 단자전압이 매우 높고 그 종류에 따라 정해지는 허용전류의 크기가 방전전류 이하로 작아지거나 단자전압이 방전 후에 발생하는 잔류전압 이하로 낮아질 때 방전상태에서 정상상태로 복귀한다. 만약 가스 튜브가 동작한 후 방전전류 또는 방전후 가스튜브 양단간의 잔류전압보다 큰 전압 또는 전류가 인가되면 속류(follow current)가 흐르게 되어 피보호기기를 파괴시키게 된다. 이러한 속류에 대한 문제 때문에 가스 튜브는 방전전류를 유지시키는 잔류전압보다 큰 전압을 사용하는 전원회로에서는 사용할 수 없으며, 잔류전압이하의 회로에서 사용된다. 또한, 가스 튜브는 비선형 서지대책소자 중에서 1 [pF]이하의 가장 작은 표류정전용량을 가지므로 높은 주파수를 사용하는 신호회로나 통신회로의 보호에 사용될 수 있다.

가스 튜브의 제한전압은 통상 DC 90 [V]에서 수 [kV], 방전전류는 수 백 [A]에서 수 백 [kA]에 이르며 적용방법에 따라 에너지 내량, 제한전압 및 방전전류가 고려되어야 한다.

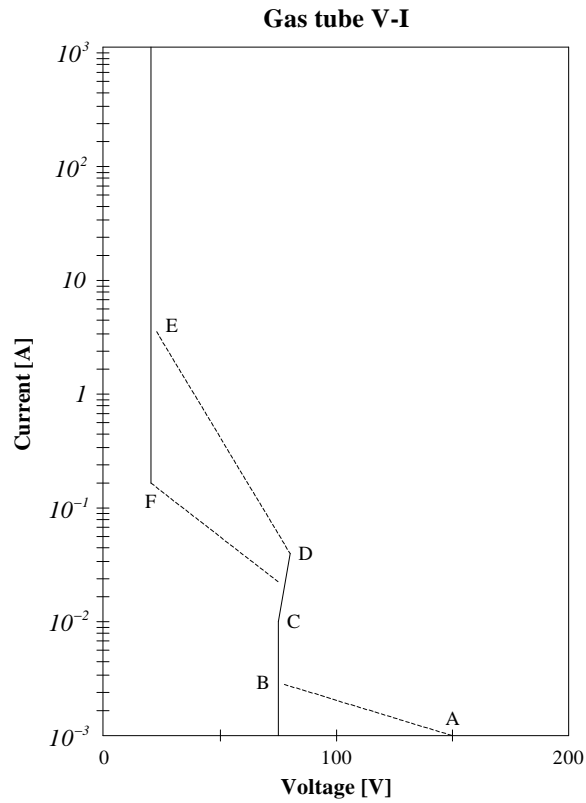


그림 2.8 가스 튜브의  $V-I$  특성 곡선  
 Fig. 2.8  $V-I$  relationship for a gas tube

### 2.2.2 산화아연 바리스터 (ZnO Varistor)

바리스터는 전압에 따라 저항이 변하는 소자로서 바리스터의 저항  $R$ 은 전압과 전류의 함수로서 나타낼 수 있으며 바리스터가 갖는 제한전압 이상의 전압에서는 저항이 급격히 감소하게 된다. 일반적으로 사용되는 바리스터는 양방향 특성의 비선형 소자로서 정극성이나 부극성의 전압을 일정범위 이하로 제한하는 특성을 갖는다. 과거에는 탄화규소(SiC)를 사용하였지만 현재 대부분의 바리스터는 비선형 저항특성이 우수한 산화아연

(ZnO)등의 금속산화물로 제조된다. 전형적인 바리스터의  $V-I$ 특성 곡선을 그림 2.9에 나타내었다.

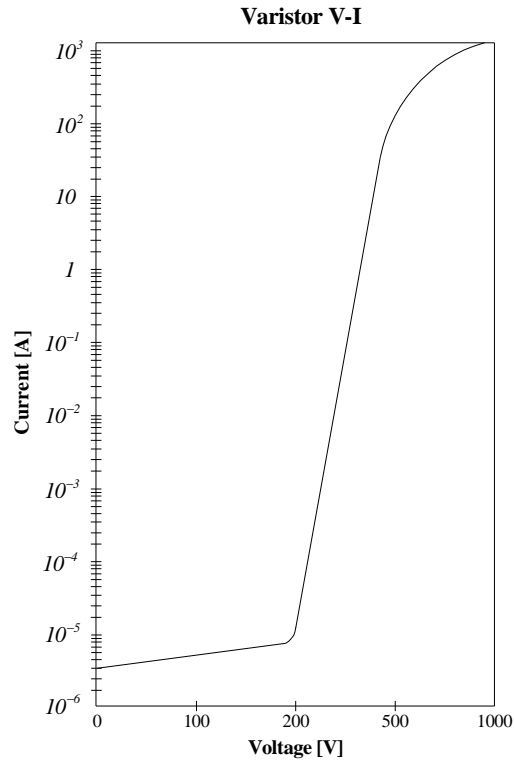


그림 2.9 산화아연 바리스터의  $V-I$ 특성 곡선  
 Fig. 2.9  $V-I$  relationship for a ZnO varistor

바리스터는 크게 누설저항과 같이 동작을 하는 영역과 벌크저항으로 동작하는 영역으로 나누어지며 바리스터의 동작특성에 따른 등가회로는 그림 2.10와 같다. 바리스터는 이상적인 바리스터  $V_{ideal}$  과 표류정전용량  $C$ , 누설저항  $R_{leak}$  그리고 벌크저항  $R_{bulk}$ 로서 나타낼 수 있다.

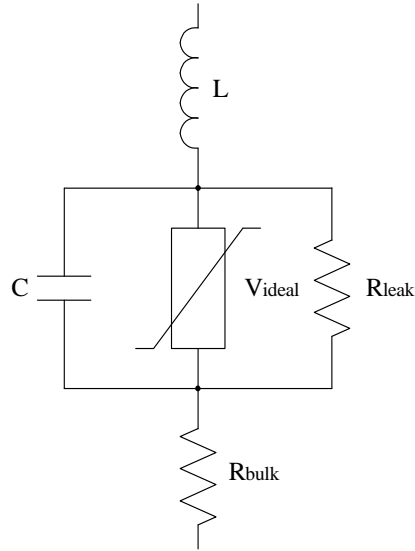


그림 2.10 산화아연 바리스터의 전기적 등가회로  
 Fig. 2.10 Electrical equivalent circuit of a ZnO varistor

바리스터는 제한전압 이하에서 단순한 저항인 누설저항으로서 동작하며 저항이 매우 크기 때문에 0.1 [mA] 미만의 매우 작은 전류가 흐른다. 그리고 제한전압 이상에서는 벌크저항으로 동작하며 급격하게 저항이 감소하여 100 [A]이상의 큰 전류가 흐르게 된다. 바리스터의 전압에 따른 동작특성은 식 (2.1)를 따른다.

$$I = kV^{\alpha} \quad (2.1)$$

식 (2.1)에서  $\alpha$ 값은 바리스터의 비선형 저항특성을 결정한다.  $\alpha$ 가 1이면 일반적인 저항과 같으며  $\alpha$ 가 커질수록 비선형 저항특성이 우수하게 나타난다. 비선형 계수  $\alpha$ 값은  $V-I$ 특성 곡선에서 측정전류  $I_1, I_2$ 에 있어서의 바리스터 동작개시전압  $V_1, V_2$ 를 측정함으로써 다음 식으로 구할

수 있다.

$$\alpha = \frac{\log(I_1/I_2)}{\log(V_1/V_2)} \quad (2.2)$$

또한 바리스터의 비선형 저항특성은 온도에 대한 매우 높은 의존성을 가지며 제한전압은 1 [mA]이상의 일정한 전류에서 온도가 1 [°C]증가할 때 -0.04 [%]의 변화를 나타낸다. 만약 바리스터가 연속된 서지에 대해 보호동작을 반복하게 되면 온도상승에 의한 열폭주 현상이 발생하게 되고 최종적으로 파괴될 수 있다. 따라서 보호회로 구성시 열폭주에 대한 문제를 고려하여야 한다. 일반적으로 바리스터는 디스크 형태를 가지며 방전내량은 직경과 관련된다. 직경이 커지게 되면 단면적이 증가하게 되고 전류밀도가 작아져서 방전내량이 커지게 된다. 그러나 단면적의 증가는 바리스터의 표류정전용량을 증가시키는 문제를 발생하게 된다. 바리스터는 서지대책소자 중에서 가장 큰 정전용량을 가지며 제한전압이 낮아지거나 직경이 커지면 표류정전용량이 증가한다.

바리스터는 비선형 저항특성이 우수하나 소자의 특성상 표류정전용량이 매우 커서 주파수가 높은 환경에서는 신호의 감쇄가 발생하므로 사용할 수 없으며 전원회로나 저주파회로의 보호에 사용될 수 있다.



### 2.2.3 아발란치 다이오드 (Avalanche diode)

아발란치 다이오드는 사용되고 있는 비선형 소자 중에서 50 [A]이하의 낮은 서지전류에서 가장 작은  $dV/dI$ 값을 가지며, 가장 확실한 보호동작특성을 가지고 있다. 이러한 아발란치 다이오드는 동작속도가 빠르고 제한전압이 낮으므로 저전압으로 구동되는 회로의 보호에 적용되며, 조합형 서지보호회로에서 최종 억제소자로 사용된다. 항복전압특성을 사용하는 다이오드를 제너 다이오드라고 하며, 5 [V]미만의 항복전압을 이용하는 것을 제너 메카니즘, 8 [V]이상의 항복전압을 이용하는 것을 아발란치 메카니즘이라고 한다. 5 [V]에서 8 [V]사이의 값을 가지는 다이오드에서는 동일한 소자 내에서 두 가지 메카니즘이 동시에 작용한다. 제너 메카니즘에서는 온도가 상승함에 따라 전도전압의 크기가 감소하게 되고, 아발란치 메카니즘에서는 온도가 상승함에 따라 전도전압의 크기가 증가하게 된다. 아발란치 다이오드의  $V-I$ 특성 곡선을 그림 2.11에 나타내었다.

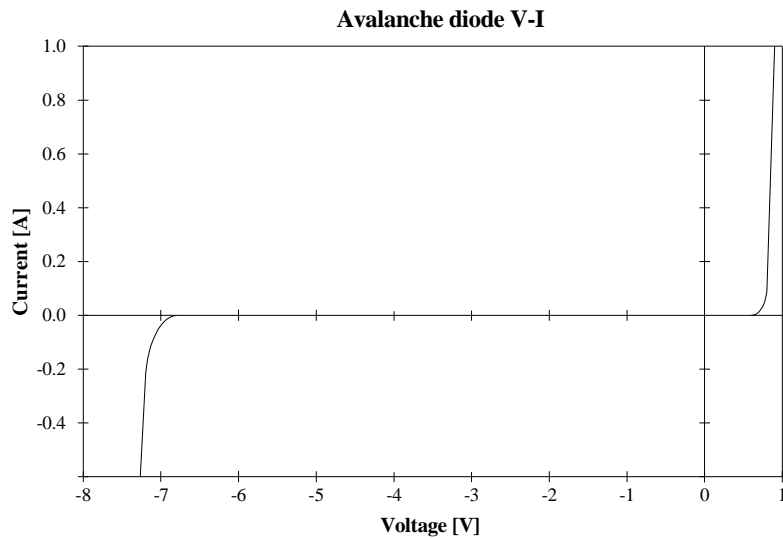


그림 2.11 아발란치 다이오드의  $V-I$ 특성 곡선  
 Fig. 2.11  $V-I$  relationship for an avalanche diode

아발란치 다이오드의 특성곡선에서는 순방향 특성과 역방향 특성이 나타난다. 아발란치 다이오드가 순방향 바이어스일 때에는 일반적으로 사용되어지는 정류다이오드와 동일한 특성을 나타내며, 역방향 바이어스일 때에는 일정한 전압을 유지하는 상태로 전도하게 된다. 일반적으로 아발란치 다이오드는 제너 다이오드와 같이 전압  $V$ 와 전류  $I$ 가 부극성인 항복영역을 사용한다.

항복영역에서 전압  $V$ 와 전류  $I$ 의 관계는 바리스터와 같으며 식 (2.3)과 같다.

$$I = \left( \frac{V}{D} \right)^\alpha \quad (2.3)$$

여기서  $D = k^{-1/\alpha}$ 로 나타낼 수 있다.

일반적으로 사용되는 제한전압이 3.3 [V]에서 3.9 [V]사이인 제너 다이오드는 7에서 9사이의  $\alpha$ 값을 가지며, 제한전압이 5.6 [V]에서 200 [V]사이인 아발란치 다이오드는  $\alpha$ 값이 50에서 700사이의  $\alpha$ 값을 가진다. 제너 다이오드는 아발란치 다이오드에 비해 훨씬 작은  $\alpha$ 값을 가지며, 낮은 동작전압을 가지는 반도체나 집적회로의 보호에 사용된다. 제너 다이오드는 반도체나 집적회로의 보호에 적합한 제한전압의 범위를 가지고 있지만, 아발란치 다이오드에 비하여 비선형 저항특성이 우수하지 않은 단점이 있다.

서지로부터 피보호기기의 보호를 목적으로 적용할 때 서지가 정극성으로 내습할 경우와 부극성으로 내습할 경우를 모두 고려해야 한다. 일반적으로 사용되는 제너 다이오드나 아발란치 다이오드는 단방향으로 정극성 및 부극성의 서지로부터 회로를 보호하기 위해 역방향 직렬접속을 해야

하며, 이와 같이 구성된 것을 양방향 아발란치 다이오드라고 한다. 양방향 아발란치 다이오드의 사용은 단방향의 다이오드를 직렬 접속한 것에 비해 리드선의 인덕턴스에 의한 영향을 감소시키는 이점이 있다. 또한 반도체 소자인 아발란치 다이오드는 큰 서지전류에 견디게 하기 위해 넓은 단면적으로 설계되어 큰 표류정전용량을 가진다. 이러한 다이오드의 표류정전용량은 대략 1~10 [nF]정도이며 다이오드 전압의 함수로 나타난다.

### 2.3 서지시험 관련 국제규격<sup>[8]~[15]</sup>

서지시험에 관련된 규격은 전기·전자기기로 유입되는 다양한 형태의 서지를 실제상황과 유사하게 재현이 가능하도록 서지 파형에 대한 표준화와 시험방법 등을 규정한 것이다.

서지방호장치의 사용에 있어서 그 성능평가를 위한 시험방법과 적용에 대한 정의를 표준화할 필요성이 요구되고 있으며 이러한 요구에 따라 IEEE, IEC, UL, ITU-T, FCC, REA, CCITT 등 전기·전자에 관련된 공인 기관에서 서지에 대한 축적된 현장계측결과와 자료를 바탕으로 서지에 대한 표준과 시험규격을 설정하였다. 이들 시험규격은 서지방호장치의 적용 및 성능 평가 방법으로 널리 사용되고 있다.

서지시험에 대한 규격은 보호대상별 또는 운영기관과 국가별로 많은 종류가 있으며, 서지시험에 적용되는 파형은 파두장, 파미장, 크기, 지속시간, 진동주파수 등으로 나타내며 크게 비진동성 서지와 진동성 서지파형으로 구분된다. 비진동성 서지파형은 단극성이며 지수함수로 상승하는 파두장과 감쇄하는 파미장을 갖는다. 소위 이중 지수함수 형태의 파형을 가지며 1.2/50 [ $\mu$ s], 8/20 [ $\mu$ s], 10/700 [ $\mu$ s], 10/1000 [ $\mu$ s]과 같이 표현한다. 진동성 서지파형은 급격히 상승하는 파두장과 진동, 감쇄하는 파미장을 가지고 있으며 Ring Wave라고 불린다. 0.5 [ $\mu$ s]/100 [kHz]와 같이 파두장과

파미장의 감쇄 진동주파수로 표현한다.

적용범주에 따른 서지시험레벨은 크게 IEEE규격과 IEC규격에 명시되어 있으며 주로 전원설비에 대한 서지시험을 규정하고 있다. 현재에는 IEC규격이 국제규격으로 사용되고 있으며 IEC규격의 내용을 살펴보면 IEC 664에서는 1.2/50 [ $\mu$ s] 서지전압파형을 적용하고 있으며, IEEE규격과 다른 점은 적용범위를 고려할 때 상위등급의 범위에 대한 서지대책이 있다는 가정하에 하위등급에 예상되는 서지전압을 설정하였다는 것이다.

또한, IEC 1312-1에서는 서지에 대해서 직접 또는 간접적인 영향이 예상되는 구간을 LPZ (Lightning Protection Zone)라고 정의하고 각 구간에 따른 서지차단레벨을 규정하고 있다.

LPZ에 대한 세부적인 내용을 살펴보면 LPZ 0<sub>A</sub>는 옥외 피뢰설비의 보호를 받지 않는 구간으로 직격뢰로부터의 영향을 받을 수 있고, 감쇄되지 않은 전자장이 발생하는 구간이며 LPZ 0<sub>B</sub>는 피뢰설비의 보호를 받는 구간으로 직격뢰로부터의 영향은 없지만, 여전히 감쇄되지 않은 전자장이 발생하는 구간, LPZ 1은 건물 내부의 구간으로 직격뢰로부터 영향은 받지 않고 감쇄된 전자장이 발생하는 구간, LPZ 2는 전자장의 감소가 확실하게 요구되어지는 구간으로 구분되며, 그림 2.12에 IEC 664 및 IEC 1312-1에 나타난 적용 범주와 LPZ에 따른 서지전압레벨을 나타내었다.

저압용 전기·전자기기에 적용되는 서지시험과 관련된 국제규격으로는 전원 및 신호·통신회로를 대상으로 서지내성에 대한 규격인 IEC 61000-4-5가 있으며, 신호·통신회로에 적용되는 서지방호장치에 대한 규격인 IEC 61643-21이 대표적이다. 이들 규격은 그림 2.12에 나타낸 IEC 1312-1의 적용 범주와 동일하거나 다소 높은 서지차단레벨을 규정하고 있다. 신호·통신회로에 대한 규격은 과거에는 전원회로와 동일하게 적용하였으나 최근에 이르러 잡음 및 서지에 민감한 반도체를 이용한 정보통

신설비가 다양하게 사용됨에 따라 전원계통과는 다른 서지대책이 요구되고 있다. IEC 61643-21에서는 IEEE, IEC, UL, CCITT, ITU 등에서 규정하고 있는 대부분의 시험 규격을 포함하고 있다.

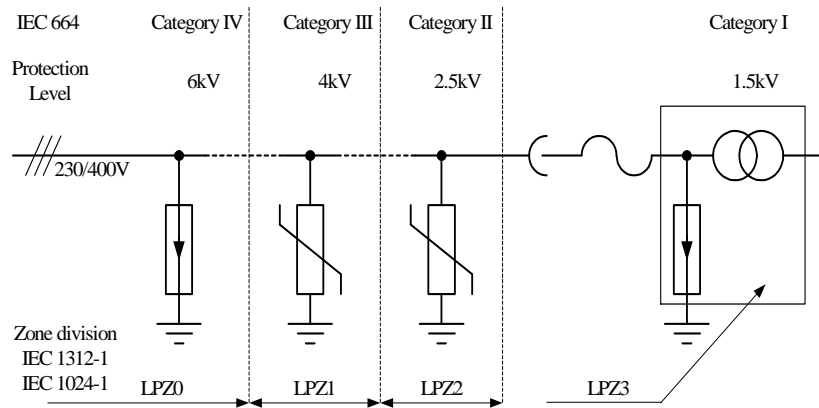
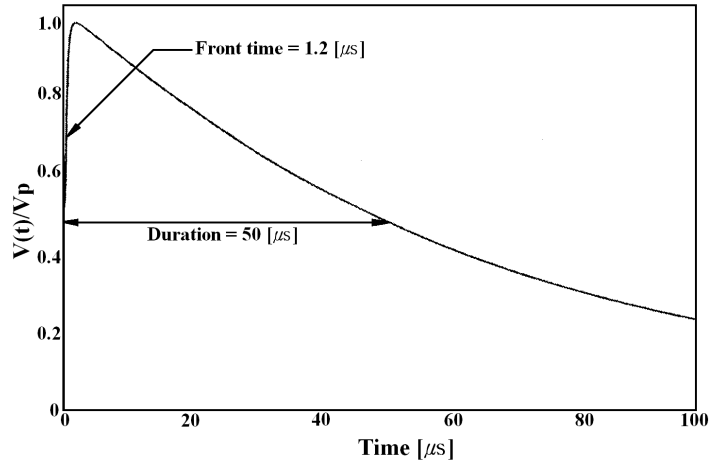


그림 2.12 IEC 664 및 IEC 1312-1에 의한 뇌보호 영역  
 Fig. 2.12 Lightning protection zone according to IEC 664 and IEC 1312-1

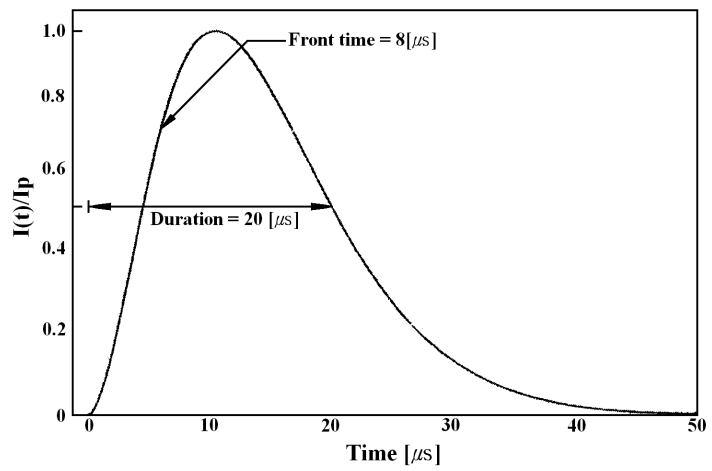
따라서 본 연구에서는 IEC 61000-4-5와 IEC 61643-21에 따라 서지대책기술을 마련하였으며, 제안한 서지방호장치에 대한 시험도 이들 규격에 따라 수행하였다. 이들 규격에서 정의하고 있는 서지의 표준파형은 전원계통 및 신호·통신회로에 동시에 적용되는 1.2/50 [ $\mu$ s], 8/20 [ $\mu$ s]의 표준뇌서지 파형과 일반적으로 신호·통신선로에 많이 발생하는 파형으로 알려진 5/300 [ $\mu$ s], 10/1000 [ $\mu$ s] 등 지속시간이 긴 표준파형을 규정하고 있다.

그림 2.13에는 본 연구에서 적용하고자하는 서지파형을 나타낸 것으로 IEC 61000-4-5와 IEC 61643-21에 정의된 표준파형이다.

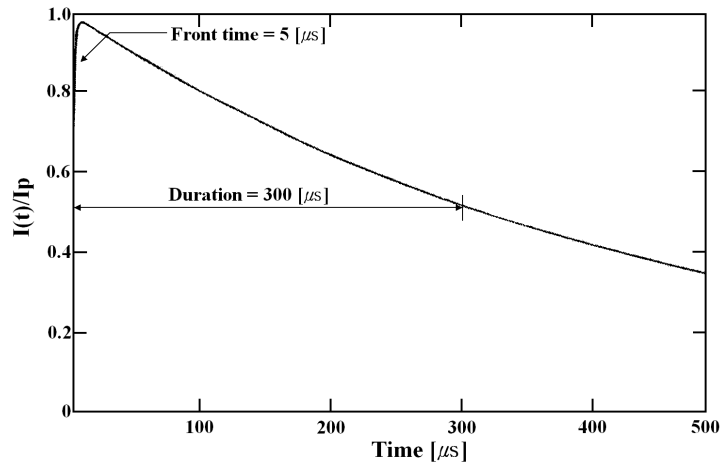
최종적으로 본 연구에서 제안한 서지방호장치의 시험은 표 2.1과 같이 IEC 61643-21에 언급된 시험항목을 적용하고자한다.



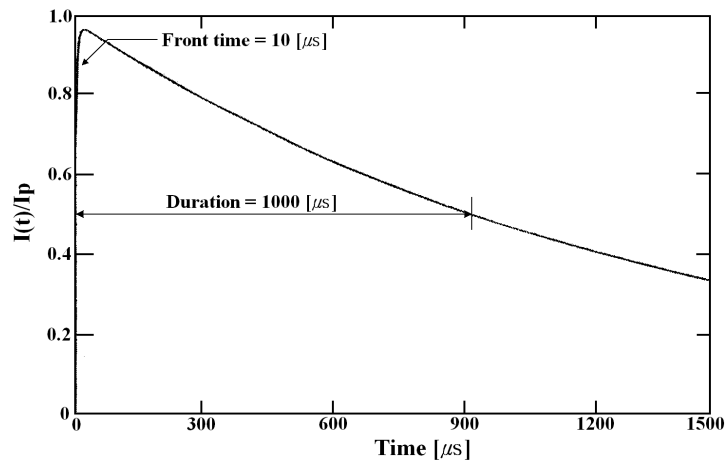
(a) 1.2/50 [ $\mu\text{s}$ ] 전압파형



(b) 8/20 [ $\mu\text{s}$ ] 전류파형



(c) 5/300 [ $\mu\text{s}$ ] 전류파형



(d) 10/1000 [ $\mu\text{s}$ ] 전류파형

그림 2.13 서지시험 파형

Fig. 2.13 Surge test waveforms

표 2.1 IEC 61643-21 서지시험항목

Table 2.1 Surge test items specified in the IEC 61643-21

서지전압	서지전류	인가횟수	비 고
1 [kV] 10/1000 [ $\mu$ s]	100 [A] 10/1000 [ $\mu$ s]	30	신호선과 접지선사이에 실시
4 [kV] 10/700 [ $\mu$ s]	100 [A] 5/300 [ $\mu$ s]	30	
0.5~1[kV] 1.2/50 [ $\mu$ s]	0.25~0.5 [kA] 8/20 [ $\mu$ s]	30	
2~4 [kV] 1.2/50 [ $\mu$ s]	1~2 [kA] 8/20 [ $\mu$ s]	10	
10 [kV] 1.2/50 [ $\mu$ s]	5 [kA] 8/20 [ $\mu$ s]	10	



## 제 3 장 설계 및 제작

정보통신기기용 서지방호장치는 회로에서 적은 입력정전용량을 나타냄으로써 정상상태에서의 삽입손실과 누설전류를 최소화하고, 외부 서지에 대해 고속으로 동작하여 피보호기기로는 높은 이상전압과 잔류에너지가 전달되지 않는 회로구성이 필요하다. 현재까지 이들의 특성을 동시에 만족하는 보호소자는 없으므로 몇 개의 서지대책소자로 구성된 조합형 회로로 서지전압을 차단하는 방식을 고려하고 있다.

본 연구에서는 근거리 네트워크(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 수 십 [kbps]에서 수 백 [Mbps]의 고속도로 신호전송이 이루어지므로 서지차단특성은 물론 서지대책소자의 설치에 의한 삽입손실을 충분히 고려하여야 한다<sup>[16],[17]</sup>.

### 3.1 설계 이론

일반적으로 컴퓨터 네트워크 통신회로에서 수신부의 입력단은 신호선과 연결되어 있고, 원거리의 신호원으로부터 데이터를 송수신한다. 통신회로에서의 서지는 외부로 노출된 긴 선로를 통해 많이 발생하며, 회로 내부에서 발생하는 것보다 훨씬 많은 비중을 차지하고 있다. 컴퓨터 네트워크 통신회로의 보호에 있어 바리스터는 큰 정전용량으로 인한 신호의 감쇄문제 때문에 사용하지 않으며 본 연구에서는 그림 3.1과 같이 가스 튜브와 직렬임피던스 그리고 아발란치 다이오드로 구성되는 보호회로를 사용하였

다. 회로에서 직렬임피던스는 저항을 사용하였으며 보호동작의 순서는 동작시간이 가장 빠른 아발란치 다이오드가 먼저 동작하게 되며 동작할 때 다이오드로 흐르는 전류는 저항을 통해 흐르게 된다. 전류에 의해 발생하는 저항양단의 전압은 가스 튜브에 충분한 전압을 인가하게 되어 가스 튜브의 동작조건을 만들어준다. 가스 튜브가 동작하게 되면 대부분의 전류는 가스 튜브로 방전하게 되고, 회로에 인가되는 전압은 최종적으로 아발란치 다이오드의 제한전압을 초과하지 않는다. 즉, 아발란치 다이오드는 신호회로를 보호하고 아발란치 다이오드는 저항과 가스 튜브에 의해 보호된다.

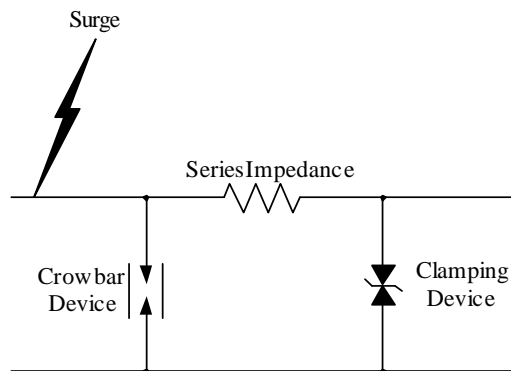


그림 3.1 조합형 보호회로  
Fig. 3.1 Hybrid-type protective circuit

일반적으로 보호회로 구성에 있어서 서지방호장치의 동작전압은 피보호 기기에서 신호전송에 사용되는 전압보다 커야하며, 충분한 에너지 내량과 고속도의 응답 특성을 가져야 한다. 본 연구에서 제안한 서지방호장치에 사용된 서지대책소자는 가스 튜브와 아발란치 다이오드로 가스 튜브의 경우 응답 속도는  $1[\mu\text{s}]$  정도로 느리지만 에너지 내량이  $8/20[\mu\text{s}]$ 의 표준

뇌서지전류에 대해 10 [kA] 정도로 충분한 에너지 내량을 갖고 있다.

그러나 가스 튜브 단독으로 회로를 구성하면 응답 속도에 대한 문제가 발생하므로 피보호기기 전단에 응답속도가 수 [ns] 이하로 동작하는 아발란치 다이오드를 설치하였다. 아발란치 다이오드는 낮은 제한전압 특성과 고속도 응답 특성을 갖고 있지만 에너지 내량이 적으므로 가스 튜브 및 직렬 저항을 함께 사용한다.

아발란치 다이오드를 보호하기 위한 저항  $R_f$ 의 값은 식 (3.1)에 의해 계산된다<sup>[7]</sup>.

$$R_f = \frac{[V_f - V_{Zmax}]V_{Zmax}}{P} \quad [\Omega] \quad (3.1)$$

여기서,

$P$ : 아발란치 다이오드의 정상상태 최대정격

$V_{Zmax}$ : 아발란치 다이오드의 최대제한전압

$V_f$ : 가스 튜브의 최대제한전압

식 (3.1)에서 아발란치 다이오드의 최대제한전압  $V_{Zmax}$ 에 1.2를 곱해 줌으로서 다이오드의 저항변화에 대한 오차를 보상해 줄 수 있다. 직렬로 접속되는 저항이 클수록 아발란치 다이오드가 부담하는 스트레스가 작고 보호동작이 확실하지만 통신회로에 있어서는 직렬임피던스로 사용되는 저항이 커지면 전송신호를 감쇄시키는 문제가 발생하므로 컴퓨터 네트워크 통신회로에 서지방호장치를 적용할 때에는 서지에 대한 보호측면과 신호 전송측면을 모두 고려하여 저항값을 선택해야한다.

실제 컴퓨터 네트워크 통신회로에서 신호의 전송은 노이즈의 감소를 위

해 평형선로를 사용하며, 이러한 평형선로에서 서지에 대한 보호는 그림 3.2와 같이 평형선로에 적합한 방식을 사용해야 한다.

평형선로의 보호에서는 3개의 전극으로 구성된 3극관 가스 튜브를 사용하며, 선로양측의 직렬임피던스는 같은 값을 사용한다.  $D_1$ 은 상단선로와 접지사이의 전압을 아발란치 다이오드의 제한전압  $\pm V_C$ 로 제한하며,  $D_2$ 는 하단선로와 접지사이의 전압을  $\pm V_C$ 로 제한하고  $D_3$ 는 선로 양단간의 전압을  $\pm V_C$ 로 제한하여 선로를 보호한다.

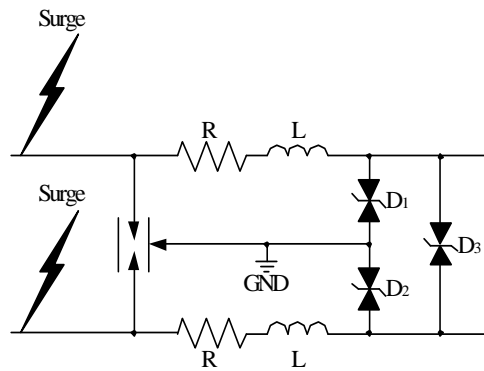


그림 3.2 평형보호회로  
Fig. 3.2 Balanced Protective circuit

아발란치 다이오드의 표류정전용량은 보통 수 백 [pF]에서 수 십 [nF]정도이며 다이오드 전압의 함수로 나타난다. 표류정전용량이 크면 높은 주파수 영역에서 낮은 임피던스로 작용하여 신호의 감쇄가 발생하기 때문에 아발란치 다이오드를 고주파회로의 보호에 단독으로 사용하는 것은 적합하지 않다. 따라서 이들 아발란치 다이오드의 표류정전용량을 줄이기 위해 수 [pF] 정도의 정전용량을 가지는 순방향 바이어스의 스위칭 다이오드 또는 고속회복 다이오드를 그림 3.3과 같이 직렬로 접속함으로써 정전용량을 줄일 수 있다.

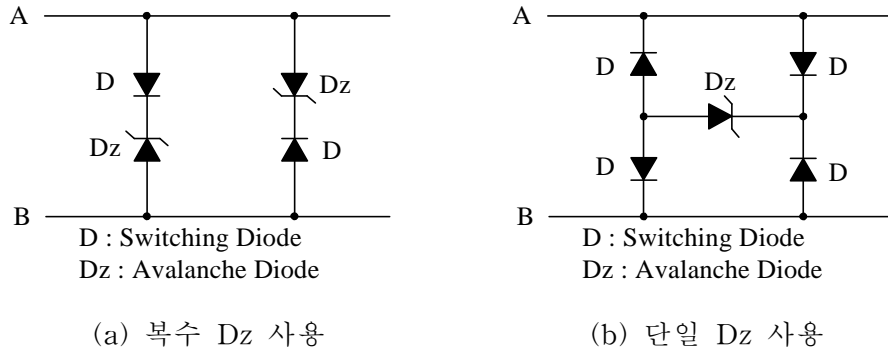


그림 3.3 표류정전용량의 감소 방법

Fig. 3.3 Reduction method of parasitic capacitance

정전용량 감소대책으로 스위칭 다이오드를 사용한 경우 그림 3.3(a)회로에서 정상동작상태인 두 선 A와 B사이의 전압이 0.6 [V]보다 크다면 스위칭 다이오드는 동작하게 되고 아발란치 다이오드의 표류정전용량에 전하를 공급하게 될 것이다. 아발란치 다이오드에 전하가 충분히 충전되면, 스위칭 다이오드는 전도되지 않을 것이며, 보호회로는 더 이상 전류를 흘리지 않게 된다. 이 회로는 비접지된 차동모드의 선로 사이에 아발란치 다이오드를 복수개 사용할 때 적용 가능하다. 그림 (b)는 두 선사이의 전압이 1.2 [V]보다 클 때 스위칭 다이오드가 동작하며, 동작특성은 (a)와 동일하다. 평형선로의 공통모드 보호에서 하나의 아발란치 다이오드를 사용할 때 정전용량 감소방법을 나타낸 것이다.

### 3.2 시뮬레이션 및 제작

컴퓨터 네트워크용 서지방호장치의 제작에 앞서 PSpice 시뮬레이션으로 최적의 회로를 설계하였다.

시뮬레이션을 위하여 서지대책소자로 사용되는 가스 튜브에 대한 모델링을 수행하였으며, 기본적인 조합형 서지보호회로(SPD #1)와 삼입손실의 감소대책으로 아발란치 다이오드에 고속회복 다이오드를 적용한 회로(SPD #2)의 신호전송특성과 서지차단특성을 평가하였다.

### 3.2.1 소자의 모델링

서지방호장치에 적용한 비선형 소자는 가스 튜브와 아발란치 다이오드이다. 이들 비선형 소자는 단독 또는 복합적으로 저항과 인덕턴스 등의 수동소자와 조합하여 사용되고 있다. PSpice에는 이미 양방향 아발란치 다이오드 모델은 있으므로, 가스 튜브에 대한 모델만 있으면 정확한 시뮬레이션이 가능하다<sup>[18][19]</sup>. 따라서 본 연구에서는 가스 튜브에 대한 모델링을 수행하였다. 가스 튜브는 크로우바 소자로 일종의 전압제어스위치의 동작으로 표현할 수 있다. 그림 3.4에 가스 튜브의 보호동작특성을 나타내었는데, 방전개시전압 이하의  $A$ 영역에서 가스 튜브는 회로에 병렬로 접속되어 극히 적은 캐패시턴스로만 동작한다.  $B$ 영역은 소자 모델링에 있어 가스 튜브의 중요한 특성을 나타내는 부분으로 가스 튜브 양단에 인가된 전압이 방전개시전압 이상으로 되면 양전극 사이에는 방전이 개시되어, 아주 짧은 시간내에 클로우방전 영역에서 아크방전 영역으로 이행하고, 가스 튜브 양단에는  $C$ 영역에서 나타나는 바와 같이 약 10~30 [V]의 낮은 아크전압을 유지하게 된다. 이 상태에서 가스 튜브를 흐르는 전류가 아크방전을 지속하는데 필요한 방전유지전류(약 100 [mA])이하가 되면 아크방전이 종료되고, 다시  $A$ 영역의 정상상태로 되 돌아온다.

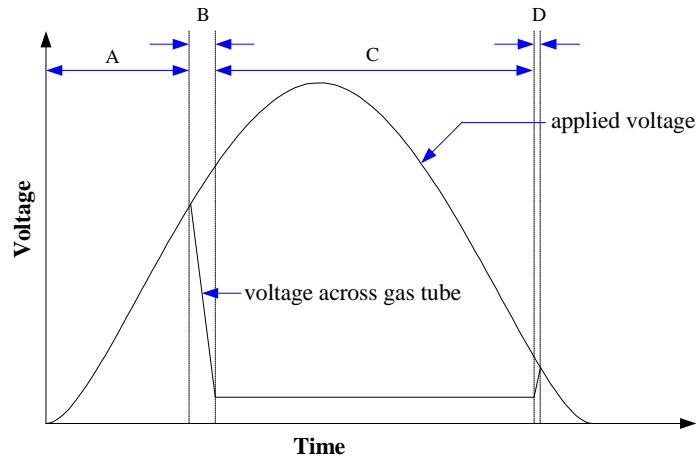


그림 3.4 가스 튜브의 특성  
 Fig. 3.4 Characteristics of a gas tube

이와 같은 가스 튜브의 전기적 특성을 PSpice 모델링이 가능하도록 등가화하면 그림 3.5과 같다. 각 영역에서의 동작특성은 PSpice의 전압제어전압원(voltage controlled voltage source)  $E$ 의 값을 수식으로 제어할 수 있으며, 제어동작은 가스 튜브 양전극  $G_1$ 과  $G_2$ 사이에서 일어나는 방전개시전압 이하이면 이때  $E$ 의 출력전압은 외부에서 인가된 전압을 따르고, 방전개시전압 이상이 되면  $E$ 의 출력전압을 고이득으로 급격히 감소시켜 영역  $C$ 의 아크전압( $V_{acc}$ )을 유지하게 한다. 또한 이 때  $G_1$ 과  $G_2$ 사이를 흐르는 전류가 유지전류 이하가 되면 영역  $A$ 의 초기상태로 돌아가도록 제어전압원  $E$ 를 구성하면 된다.  $G_1$ 에 접속된  $L$ 은 접속선에 의한 인덕턴스(1~2[nH])를 고려한 것으로 이를 삽입함으로서  $B$ 영역의 특성을 실제와 같도록 모의하였다. 가스 튜브의 응답특성은 인가되는 파형의 과도준도가 클수록 방전개시전압이 높아진다. 따라서 회로에 발생 가능한 다양

한 종류의 서지전압에 대해서 만족한 개선된 모델을 얻기 위해서는 가스 튜브 양단에 인가되는 파형의 파두준도에 따른 방전개시전압으로 나타낼 필요가 있다. 따라서 인가파형에 따라 가스 튜브 양단의 전압에 비례하여 전류로 변환시키는 전압제어전류원(voltage controlled current source)  $G$ 를 적용하고,  $G$ 의 출력전류를 인덕턴스  $L_s$ 에 흘려줌으로써 인덕턴스에는 전압의 1계 미분에 비례하는 전압, 즉  $dV/dt$ 가 구해진다. 이 값을 PSpice TABLE함수를 이용하여, 인가 파형의 파두준도에 따른 정확한 가스 튜브의 방전개시전압을 나타낸다. 이 모델은 인가되는 파형마다 회로의 상수 또는 동작 조건을 수정하지 않아도 전원 및 신호·통신회로에 발생 가능한 모든 파형에 대해 가스 튜브의 동작특성을 정확히 모의할 수 있으며, 가스 튜브의 종류에 따른 모델은 방전개시전압만 수정하면 된다.

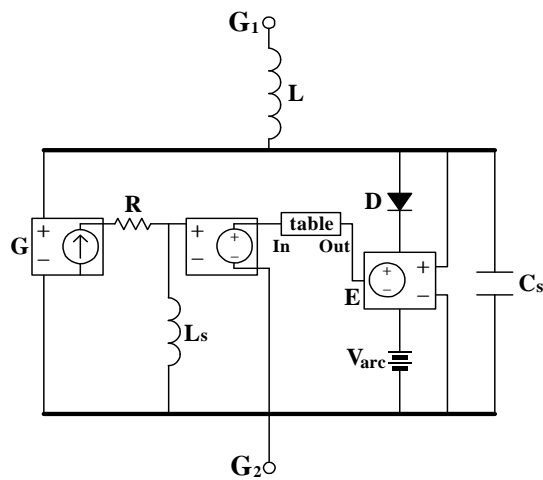
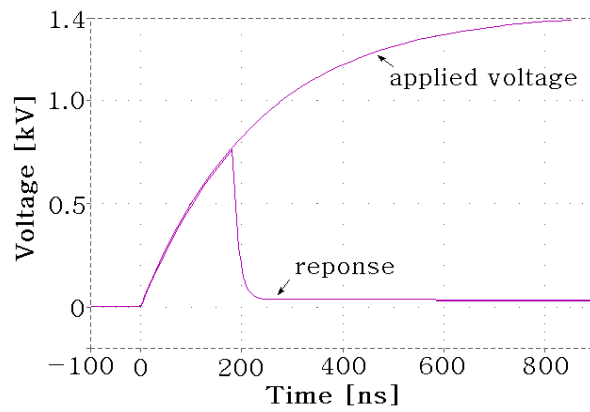


그림 3.5 파두준도를 고려한 가스 튜브 모델

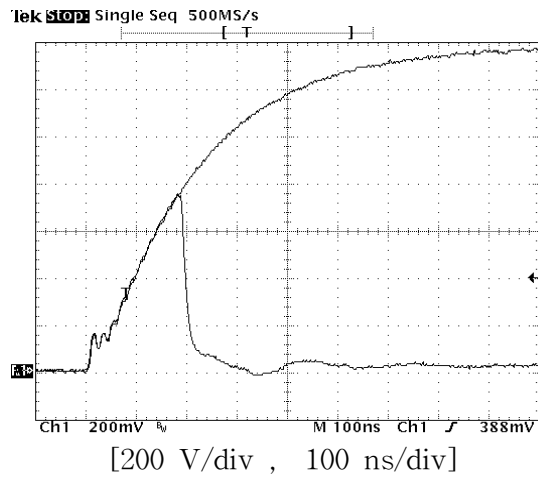
Fig. 3.5 Gas tube model considering steepness of the wave front



이와 같이 작성된 가스 튜브의 PSpice 모델의 확인을 위하여 1.2/50  $[\mu\text{s}]$  2 [kV]의 표준 뇌서지 전압에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 3.6과 같은 특성을 나타내었다. 이는 실제 가스 튜브의 동작특성과도 일치하는 것으로 평가되었다.



(a) 시뮬레이션



(b) 측정

그림 3.6 1.2/50  $[\mu\text{s}]$  2 [kV] 파형에 대한 결과 비교

Fig. 3.6 Comparison of results for 1.2/50  $[\mu\text{s}]$  2 [kV] waveform

본 연구에서 제안한 가스 튜브 모델은 임피던스 특성은 LCR 측정기에 의해 측정된 값을 정수로 하여 비교적 정확한 모델링이 가능하였으며, 서지차단특성은 실제 가스 튜브와 동일하게 얻어졌다.

### 3.2.2 서지방호장치의 제작

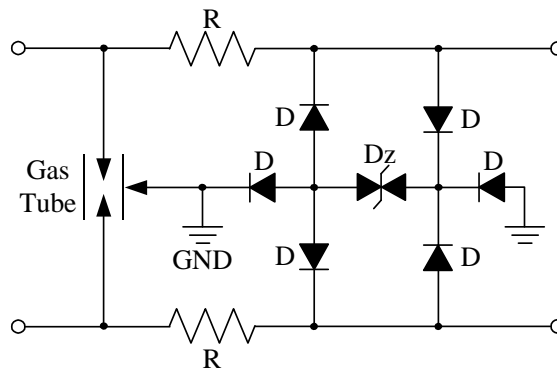
서지차단특성 및 신호전송특성 시뮬레이션 결과를 고려하여 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치를 제작하였다. 서지방호장치는 고속응답특성과 에너지내량을 향상시키기 위하여 가스 튜브, 직렬저항, 아발란치 다이오드로 구성하였으며, 아발란치 다이오드에 의한 삽입손실 문제를 해결하기 위하여 4 [pF] 정도의 정전용량을 갖는 고속회복 다이오드를 직렬로 삽입하였다. 또한 컴퓨터 네트워크에서는 8가닥의 선로 중 4가닥을 사용하고, 평형 회로로 구성되므로 제안한 서지방호장치는 공통모드 및 차동모드의 서지가 침입하였을 때에도 동작할 수 있도록 구성하였다.

아발란치 다이오드를 보호하기 위한 저항  $R$ 의 값은 식(3.1)에 의해 0.971 [ $\Omega$ ]로 계산되며, 가스 튜브의 동작전압 허용오차가  $\pm 20$  [%]이므로 오차보상을 위해 보정계수를 1.2로 하여 1.5 [ $\Omega$ ]으로 결정하였다. 서지방호장치 구성에 사용된 소자의 사양은 표 3.1과 같으며 제작된 서지방호장치를 그림 3.7에 나타내었다.

표 3.1 서지대책소자의 전기적 특성

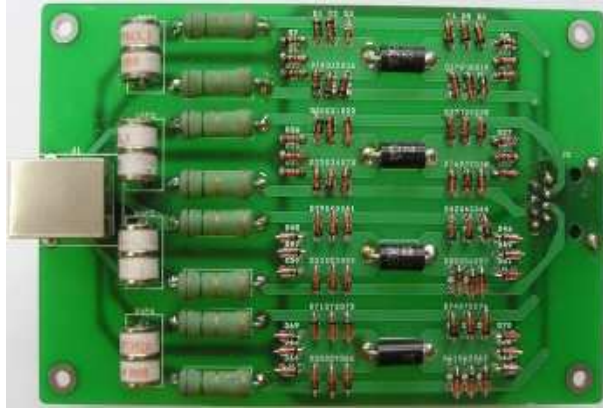
Table 3.1 Electrical characteristics of surge protective parts

보호소자	전기적 특성	비 고
가스 튜브	$V_{dc} = 90$ [V] $C_p \leq 1.5$ [pF]	Crowbar Device
저항	$R_s = 1.5$ [ $\Omega$ ]	Serial Impedance
아발란치 다이오드	$V_{br} = 15$ [V] $V_c = 21.2$ [V] $C_p = 1.6$ [nF]	clamping Device
고속회복 다이오드	$I_{FRM} = 450$ [mA] $C_p = 4$ [pF]	-



D : Fast Recovery Diode  
Dz : Avalanche Diode

(a) 서지방호장치의 기본회로



(b) 서지방호장치의 사진

그림 3.7 LAN용 서지방호장치

Fig. 3.7 Surge protective device for LAN

### 3.2.3 신호전송특성

제작된 서지방호장치의 신호전송특성을 모의하기 위하여 PSpice를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 전송특성은 양방향 아발란치 다이오드, 고속회복 다이오드 및 모델링을 수행한 가스 튜브의 PSpice 모델을 이용하여 등가회로를 구성하고, 서지방호장치의 삽입손실을 확인하기 위하여 PSpice 시뮬레이션을 수행하였다<sup>[20]~[22]</sup>. 시뮬레이션은 기본적인 조합형 서지보호회로( SPD #1)와 삽입손실의 감소대책으로 아발란치 다이오드에 직렬로 고속회복 다이오드를 접속한 회로( SPD #2)를 대상으로 평가하였다. 시뮬레이션에 사용된 정수값은 실제 보호회로 구성에 사용되는 소자들의 인덕턴스, 정전용량 등의 정수를 LCR 측정기(HIOKI 3531)로 측정하여 PSpice 모델 적용시 사용하였다. LCR 측정기에 의해 측정된 정수값은 표 3.2와 같이 얻어졌으며, 선간정전용량을 제외한 값은 동일하게 측정되었다.

표 3.2 서지보호회로의 회로정수

Table 3.2 Constant of surge protective circuits

구 분	SPD #1	SPD #2
표류인덕턴스 [nH]	110	110
표류정전용량 [pF]	1500	6
직렬저항 [ $\Omega$ ]	1.55	1.54

LCR 측정기에 의해 측정된 정수값을 기준으로 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 3.8과 같이 나타났다. 시뮬레이션 결과에서 고속회복 다이오드를 적용하지 않은 SPD #1의 경우에는 주파수 범위가 약 7.4 [MHz]로 정상상태에서의 삽입손실로 인해 보호회로 적용이 불가능한 것으로 판단되었으며, 고속회복 다이오드를 적용한 회로인 SPD #2에서는 -3 [dB]가 되는 주파수 범위는 약 204 [MHz]로 보호회로 구성시 정상상태 신호에서 보호회로 접속에 의한 삽입손실은 대단히 적으며 직렬저항에 의한 미소전압강하만이 발생하므로 컴퓨터 네트워크 보호용으로 충분한 적용성이 있음을 확인하였다.

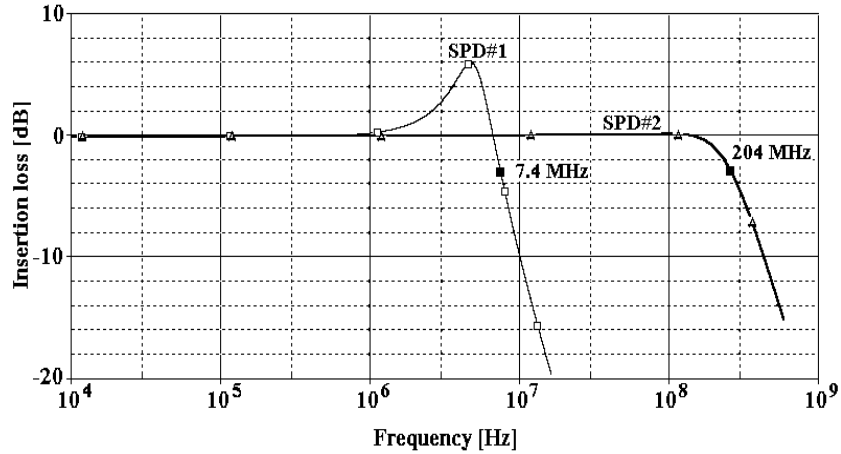
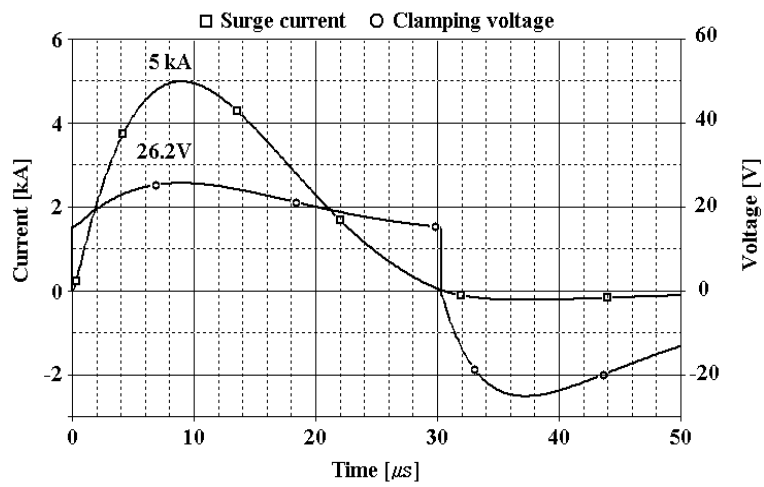


그림 3.8 신호전송특성의 시뮬레이션 결과  
 Fig. 3.8 Simulation results of signal transfer characteristics

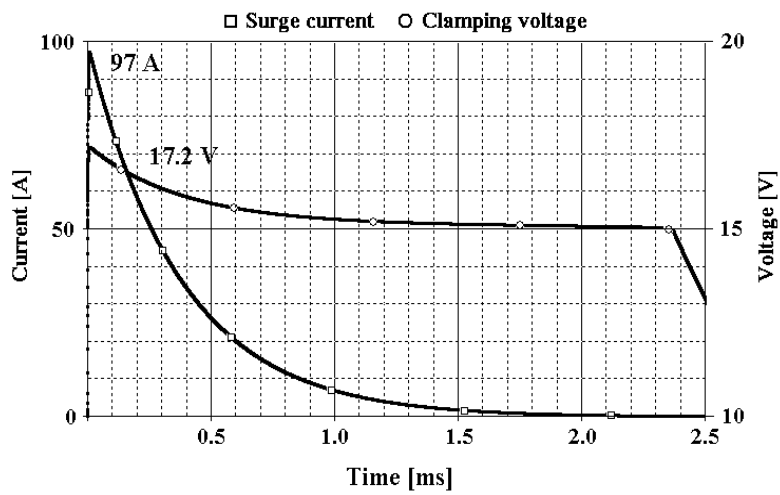
### 3.2.4 서지차단특성

제안한 서지방호장치의 서지차단특성을 평가하기 위하여 국제규격의 서지 파형을 발생시킬 수 있는 서지발생장치를 모의하고 여기서 발생하는 서지 파형을 인가하여 서지차단특성을 시뮬레이션 하였으며 그림 3.9와 같은 결과를 얻었다. (a)에는 국제규격에서 정의하고 있는 1.2/50 [ $\mu$ s] 10 [kV], 8/20 [ $\mu$ s] 5 [kA]의 조합형 서지발생장치를 모의하고 이에 대한 서지방호장치의 서지 차단특성을 나타낸 것으로 피보호기기에 전달되는 전압은 최대 26 [V]로 기기에 손상을 주지 않는 범위이다. (b)는 10/700 [ $\mu$ s] 4 [kV]를 인가하여 서지차단 특성을 평가한 것으로 이때 흐르는 서지전류는 5/300 [ $\mu$ s] 100 [A]가 흐른다. 제한전압 특성은 17.2 [V]로 피보호기기를 안전하게 보호할 수 있는 범위이다. (c)는 10/1000 [ $\mu$ s] 100 [A]에 대한 특성 평가로 제한전압은 17.2 [V]로 나타났으며 시뮬레이션 결과로부터 국제규격에서 정의하고 있는 서지파형에 대해서는 피보호기기를 안전하게 보호할 수 있는 것으로

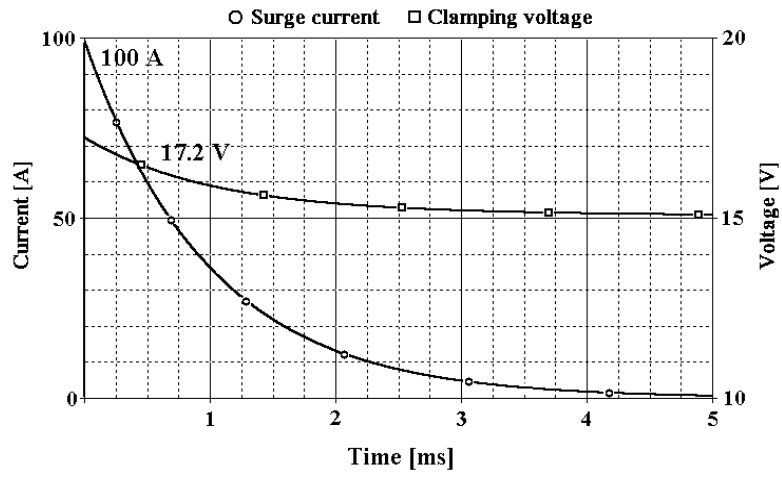
로 평가되었다. 시뮬레이션 결과로부터 본 연구에서 제안한 서지방호장치는 삽입손실 및 서지에 의한 손상을 유발하지 않는 것으로 판단된다.



(a) 8/20 [ $\mu\text{s}$ ] 5 [kA]



(b) 5/300 [ $\mu\text{s}$ ] 100 [A]



(c) 10/1000 [ $\mu$ s] 100 [A]

그림 3.9 서지차단특성의 시뮬레이션 결과

Fig. 3.9 Simulation results of surge blocking characteristics



## 제 4 장 성능 평가

### 4.1 신호전송특성

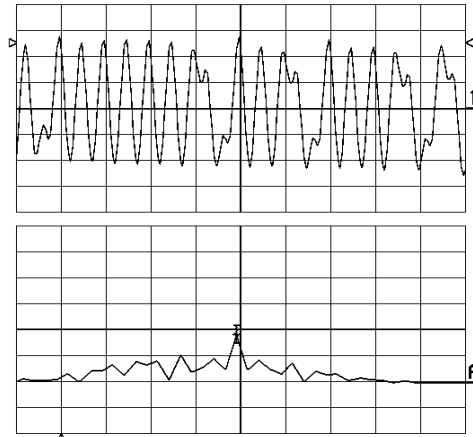
본 연구에서 제안한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치를 적용하기 위하여 근거리 네트워크에서 송수신 신호를 측정·분석하여 신호의 주파수 범위 및 크기 등을 평가하였다. 이와 더불어 서지방호장치의 신호전송특성 평가에는 네트워크 분석기를 이용하여 삽입손실(Insertion loss), 반사손실(Return loss), 근단누화(Near-end crosstalk) 특성을 평가하였다.

#### 4.1.1 신호 측정 및 분석

근거리 네트워크에서의 신호전송은 디지털신호의 변조를 통하여 전송되며 송신부에서 변조된 신호를 복조하여 데이터를 처리하게 되는데 외부의 영향이나 서지방호장치의 삽입으로 인한 신호의 주파수나 크기의 변동이 발생하면 명령신호를 잘못 인식하여 오류를 발생하기도 한다.

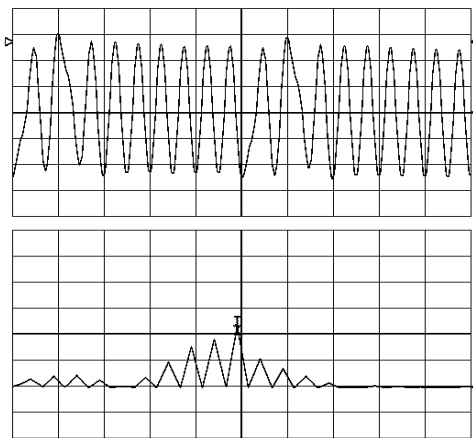
따라서 서지방호장치를 적용하기 위하여 먼저 근거리 네트워크(LAN)에서 사용되는 송수신 신호를 측정분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 전송속도가 10 [Mbps] 및 100 [Mbps]인 네트워크 통신선로에서 개인용 컴퓨터로 전송되는 신호를 측정하고, 주파수분석을 통하여 서지방호장치 적용시 적절한 주파수 범위 및 신호의 감쇄정도를 평가하였다.

신호의 측정과 주파수분석에는 디지털 오실로스코프(Lecroy 9314C, 400 [MHz])를 사용하였다. 그림 4.1은 송수신 신호의 측정 결과로 10 [Mbps]의 전송속도를 갖는 근거리 네트워크에서는 중심주파수가 10 [MHz]로 측정되었으며, 주파수대역은 500 [kHz]~16 [MHz]로 측정되었다. 그러므로 적용하고자하는 서지방호장치는 최소 16 [MHz] 범위까지는 어떠한 신호의 감쇄나 주파수 변동도 발생하지 않아야 한다.



상 : 측정신호 [500 mV/div 200 ns/div]  
 하 : FFT 결과 [320 mV/div 2 MHz/div]

(a) 송신신호



상 : 측정신호 [500 mV/div 200 ns/div]  
 하 : FFT 결과 [320 mV/div 2 MHz/div]

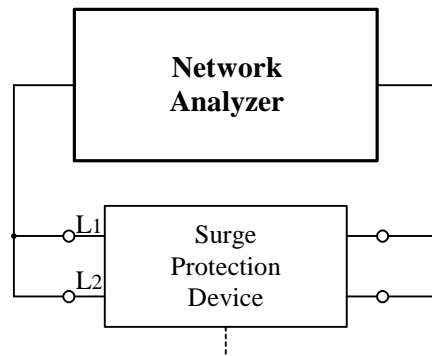
(b) 수신신호

그림 4.1 근거리 네트워크 신호의 측정 파형  
 Fig. 4.1 Measured waveforms of LAN signal

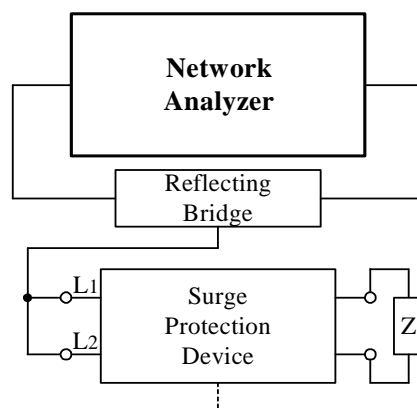
#### 4.1.2 성능 평가

일반적으로 근거리 네트워크에 적용되는 신호대역은 10 [Mbps] 및 100 [Mbps]의 범위를 사용한다. 따라서 서지방호장치를 삽입하더라도 최소 100 [MHz] 범위까지는 신호의 감쇄가 발생하지 않아야 한다.

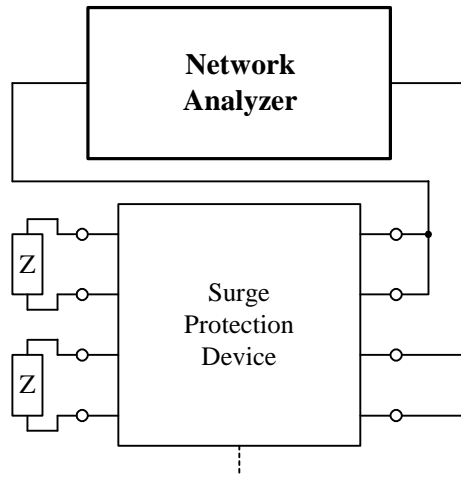
서지방호장치의 신호전송특성을 평가하기 위하여 그림 4.2와 같이 IEC 61643-21에 정의된 실험 회로를 구성하였다. 신호전송특성 평가에는 네트워크 분석기(HP8753D, 30 [kHz] ~ 6 [GHz])를 사용하였으며 S-파라미터를 측정함으로써 전송특성을 평가하였다.



(a) 삽입손실 측정회로



(b) 반사손실 측정회로



(c) 근단누화 측정회로



(d) 사진

그림 4.2 측정계의 구성

Fig. 4.2 Configuration of the measurement system

IEC규격에서는 신호전송특성 평가를 위해 정상상태에서의 삽입손실, 반사손실 및 근단누화 손실을 측정하도록 규정되어 있다. 따라서 본 연구에서는 신호전송특성을 평가하기 위해 제안한 방식인 아발란치 다이오드와 고속회복 다이오드를 직렬로 접속한 회로(SPD #2)와 아발란치 다이오드만으로 구성된 회로(SPD #1)에 대한 삽입손실과 반사손실을 측정하였다.

먼저 삽입손실에 대한 평가는 주파수대역을 30 [kHz] ~ 500 [MHz]에서 측정하였으며, 주파수에 따른 손실계수의 값은 1600개의 데이터로 취득하여 그림 4.3과 같이 Matlab을 이용하여 나타내었다.

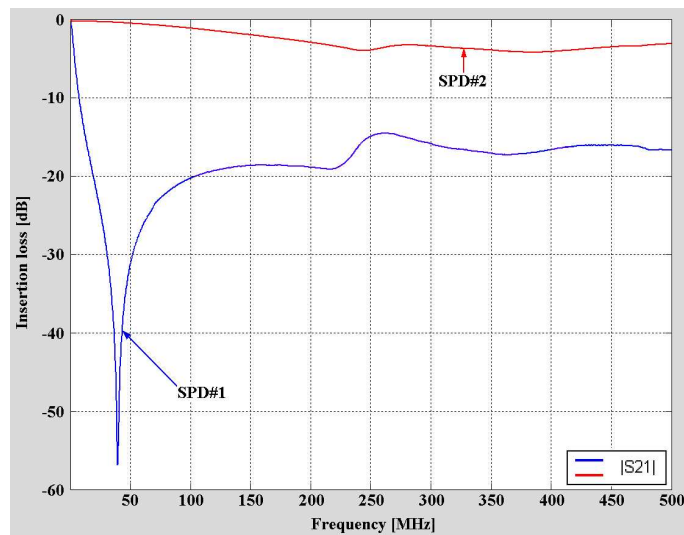


그림 4.3 삽입손실

Fig. 4.3 Insertion loss

삽입손실의 측정결과 아발란치 다이오드가 접속되어 있지 않은 SPD #1은 -3 [dB]가 되는 주파수가 2.5 [MHz]로 측정되는데 이는 2.5 [MHz] 이상의 주파수 범위에서는 신호에 대한 감쇄가 크기 때문에 신호전송선로로는 부적합한 특성을 나타낸다. 이러한 특성은 아발란치 다이오드의 정전

용량이 크기 때문에 판단된다. 고속회복 다이오드를 직렬로 접속한 SPD #2에서  $-3$  [dB]가 되는 상한주파수는  $204$  [MHz]로 측정되었으며, 특히  $100$  [MHz] 범위까지는 신호감쇄가 거의 발생하지 않으므로 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치로 사용하더라도 신호전송에 아무런 영향을 미치지 않는다.

반사손실은 서지방호장치의 입력단과 출력단의 임피던스 변화에 따른 영향을 받아 반사된 에너지를 손실로 나타낸 것이며, 네트워크 분석기에서 반사계수인 S11을 측정함으로써 알 수 있다. 그림 4.4는 반사손실의 측정결과를 나타낸 것으로 SPD #1에서는 전송되는 신호는 적고 반사되는 신호만이 대부분 존재하는 결과를 나타내었다. 이는 송신부에서의 신호가 수신부에 제대로 전송되지 못하고 반사되는 것으로 네트워크 통신자체가 불가능하다. SPD #2는 중심주파수가  $90$  [MHz]인 부근에서 신호를 가장 잘 전송할 수 있는 것으로 평가되었으며, 다른 주파수범위에서도 비교적 반사에 의한 손실이 적게 나타나는 것으로 측정되었다. 특히 네트워크 신호의 주파수 범위인  $500$  [kHz] ~  $100$  [MHz]의 범위에서는 반사손실이  $-10$  [dB] 이하로 우수한 신호전송특성을 나타내었다. 결과적으로 반사손실이 적기 때문에 송신부의 신호는 수신부에 그대로 전달되는 특성을 나타낸다. 삽입손실과 반사손실에 대한 평가결과 SPD #1은 서지방호장치의 접속으로 인한 삽입손실과 반사손실로 전송신호가 수신부에 전달되지 못하기 때문에 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치로는 적용이 불가능한 것으로 평가되었다.

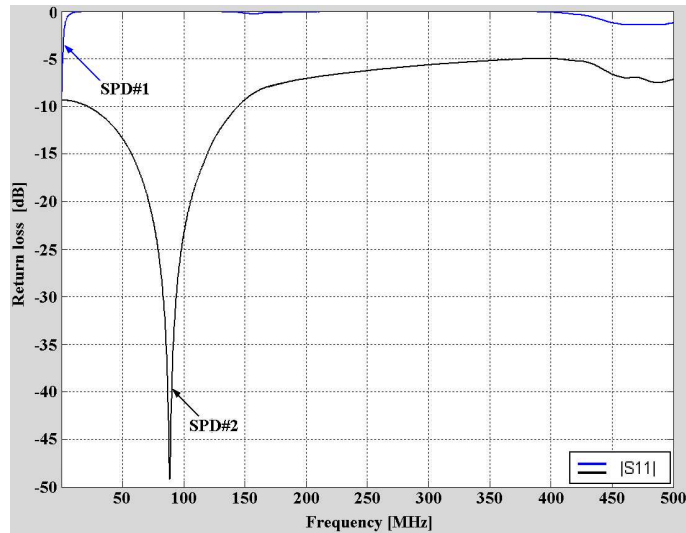


그림 4.4 반사손실  
Fig. 4.4 Return loss

본 연구에서 제안한 서지방호장치인 SPD #2는 적은 삽입손실과 반사손실을 가지므로 컴퓨터 네트워크 회로 보호에 적합한 것으로 평가되었다. 따라서 누화 측정에는 SPD #2의 회로에 대해서만 특성평가를 실시하였다.

누화는 인접하는 회선과의 전자기적 결합에 의해 인접회선의 신호가 유도되어 잡음상태로 존재하는 것을 말하며 주파수가 높아질수록 선로의 누화에 의한 전송특성이 저하되는 원인이 된다. 일반적으로 누화에는 근단누화(Near-end crosstalk)와 원단누화(Far-end crosstalk)가 있으며, 전송특성을 결정하는데 있어 근단누화가 많은 영향을 주게 되며 근단누화는 송신측에 가까운 선간에서 신호 결합으로 나타난 손실을 나타낸다. 본 연구에서는 서지방호장치의 누화에 대한 영향을 평가하기 위하여 근단누화를 측정하였다. 근단누화 측정시에는 네트워크 통신선로의 특성임피던스가 100 [Ω]이므로 신호의 왜곡과 감쇄를 방지하기 위하여 서지방호장치의

입력단에 정합저항 100 [Ω]을 접속하고 S-파라미터의 S21을 측정함으로써 근단누화를 평가하였다. 측정결과는 그림 4.5와 같이 얻어졌으며 서지 방호장치의 접속으로 인한 선로간의 신호결합정도는 10 [MHz]에서 -45.3 [dB], 100 [MHz]에서 -36.179 [dB]로 측정되었다. 컴퓨터 네트워크용으로 적용하고자하는 주파수 범위인 500 [kHz] ~ 100 [MHz]의 범위에서 약 -20 [dB] 이하로 측정되므로 국제규격을 만족하는 것은 물론 신호의 간섭에 의한 왜곡이나 감쇄는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

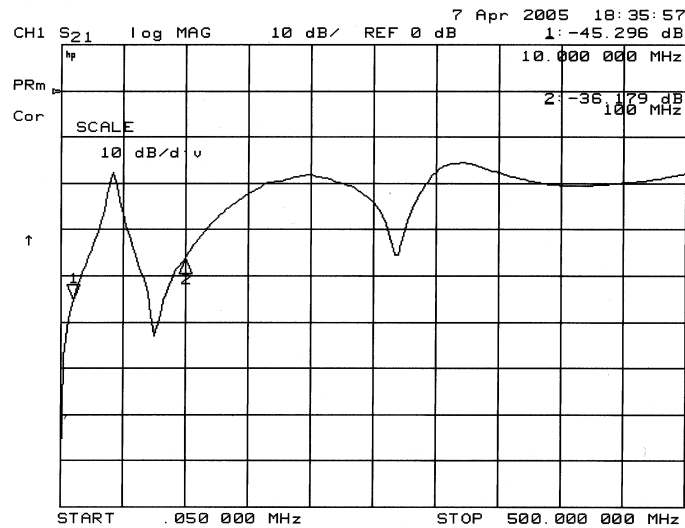


그림 4.5 근단누화  
 Fig. 4.5 Near-end crosstalk



## 4.2 서지차단특성

서지방호장치는 서지의 차단이 근본적인 목적이므로 우수한 서지차단특성이 요구된다. 서지에 대한 차단특성 평가를 위하여 국제규격에 정의된 서지발생장치를 설계·제작하였으며, IEC 61000-4-5와 IEC 61643-21에 따라 서지시험을 수행하였다.

### 4.2.1 서지발생장치 제작<sup>[23]</sup>

서지발생장치는 주변으로부터 침입 가능한 서지를 발생시킬 수 있어야 하며, 인가되는 파형은 시험대상의 동작임피던스에 따라 달라지므로 평가대상을 고려하여 설계하여야 한다. 본 연구에서 제작한 서지방호장치는 8/20 [ $\mu$ s] 5 [kA], 5/300 [ $\mu$ s] 100 [A], 10/1000 [ $\mu$ s] 100 [A]에 대한 서지시험을 수행해야하기 때문에 이를 만족하는 3종류의 서지발생장치를 설계·제작하였다.

먼저 서지의 발생원리는 콘덴서에 전하를 충전한 후 전하를 방전시켜 필요한 파형의 전압 또는 전류를 얻는 것으로 서지발생장치의 등가회로는 그림 4.6과 같다.

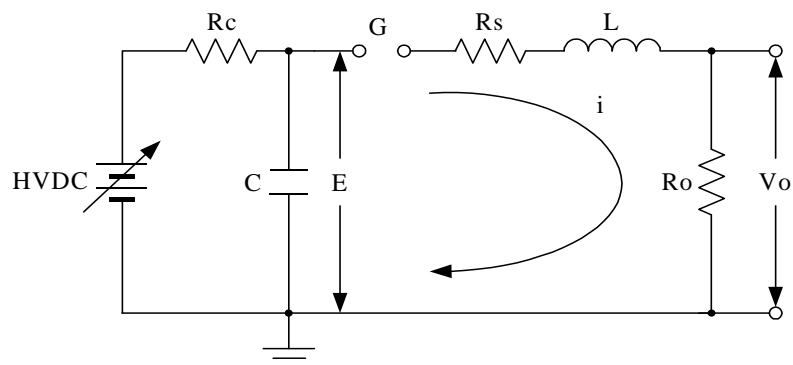


그림 4.6 서지발생장치의 등가회로

Fig. 4.6 Equivalent circuit of the surge generator

직류 고전압 발생장치로부터 고전압이 공급되면 충전저항  $R_c$ 를 통하여 콘덴서  $C$ 는 충전된다. 콘덴서  $C$ 의 충전전압이  $E$ 가 되었을 때 방전전극  $G$ 를 통하여  $LR_s + R_o$ 회로에  $C$ 에 충전된 전하를 방전시키게 되면,  $R_o$ 단자에 서지전압이 발생한다.

그림 4.6에서 방전전극  $G$ 의 방전저항을 무시하면 다음의 식이 성립한다.

$$L \frac{di}{dt} + (R_s + R_o)i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = E \quad (4.1)$$

초기조건  $t=0$ 일 때,  $R_s + R_o = R$ 이라 하고,  $i=0$ 를 넣어 위 식을 풀면,

i)  $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  일 때,

$$V_o = iR_o = \frac{R_o E}{R} \cdot \frac{\alpha}{\beta} \{ \varepsilon^{-(\alpha-\beta)t} - \varepsilon^{-(\alpha+\beta)t} \} \quad (4.2)$$

ii)  $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  일 때,

$$V_o = iR_o = \frac{R_o E}{R} \cdot 2\alpha t \cdot \varepsilon^{-\alpha t} \quad (4.3)$$

iii)  $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  일 때,

$$V_o = iR_o = \frac{R_o E}{R} \cdot \frac{2\alpha}{\omega} \cdot \varepsilon^{-\alpha t} \sin \omega t \quad (4.4)$$

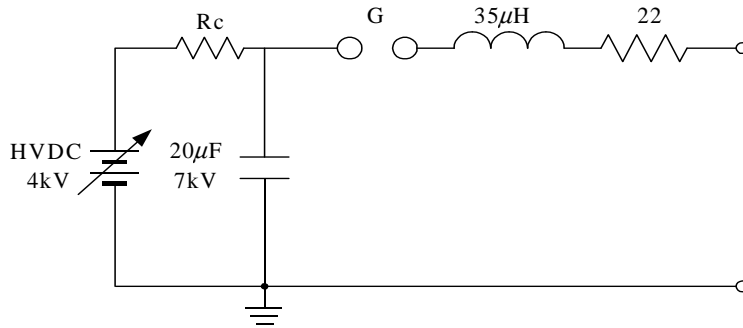
가 된다.

여기서,  $\alpha = \frac{R}{2L}$ ,  $\beta = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$  이다.

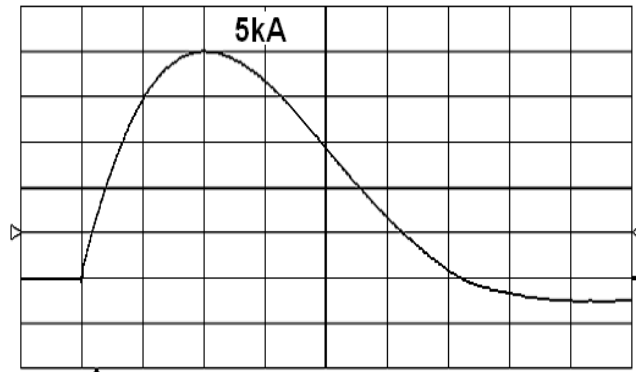
i)의 파형은 파두가 급준하고 서서히 감쇄하는 형태이며, ii)는 임계적이며 iii)은 진동성분을 포함하게 된다.

본 연구에서 필요한 서지파형은  $5/300 [\mu s]$ ,  $10/1000 [\mu s]$ 의 파형과 같이

급준하고 서서히 감쇄하는 형태,  $8/20 [\mu s]$ 의 파형과 같이 임계적 파형의 형태를 가지는 것이 필요하다. 식 (4.1)로부터 필요한 파두장 및 파미장을 계산하여 회로 정수값을 선정하였으며, PSpice 시뮬레이션을 통해 검증하고 최종적으로 3종류의 서지발생장치를 제작하였다. 3종류의 서지발생장치의 등가회로 및 출력파형을 그림 4.7, 그림 4.8, 그림 4.9에 각각 나타내었다.



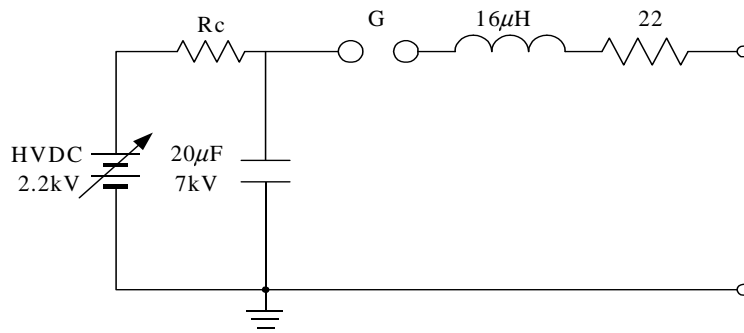
(a) 등가회로



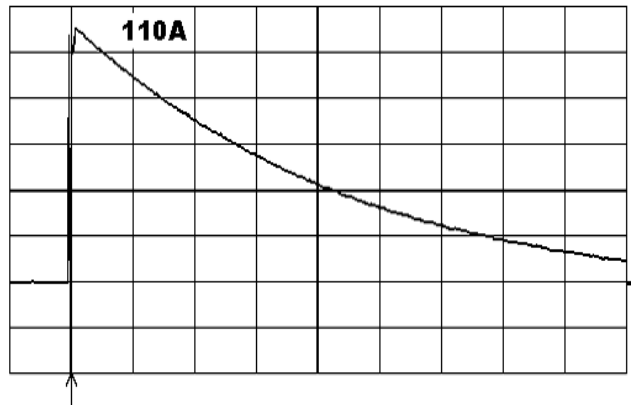
Ch.1 : 출력전류 [1 kA/div, 5  $\mu s$ /div]

(b) 출력파형

그림 4.7  $8/20 [\mu s]$  5 [kA] 서지발생장치  
 Fig. 4.7  $8/20 [\mu s]$  5 [kA] surge generator



(a) 등가회로

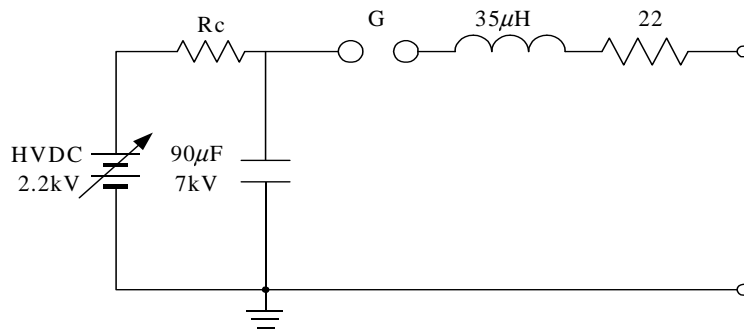


Ch.1 : 출력전류 [20 A/div, 100 µs/div]

(b) 출력파형

그림 4.8 5/300 [µs] 100 [A] 서지발생장치

Fig. 4.8 5/300 [µs] 100 [A] surge generator



(a) 등가회로



Ch.1 : 출력전류 [20 A/div, 100 μs/div]

(b) 출력파형

그림 4.9 10/1000 [μs] 100 [A] 서지발생장치

Fig. 4.9 10/1000 [μs] 100 [A] surge generator

#### 4.2.2 성능 평가

서지방호장치는 서지의 차단이 근본적인 목적이므로 우수한 서지차단특성이 요구된다. 서지에 대한 차단특성 평가를 위하여 그림 4.10과 같이 실험회로를 구성하고, 국제규격에 준한 서지시험을 수행하였다. 실험과정에서 서지방호장치에 흐르는 방전전류는 고주파 변류기(Stangenes CT 3-0.01, 50 [kA<sub>max</sub>])로 측정하였으며 가스 튜브의 제한전압은 고전압 프로브(Tektronix P6015A 75[MHz], 40[kV<sub>max</sub>]), 아발란치 다이오드양단의 출력전압은 수동 프로브(Tektronix P6114B 400 [MHz])로 측정하였다.

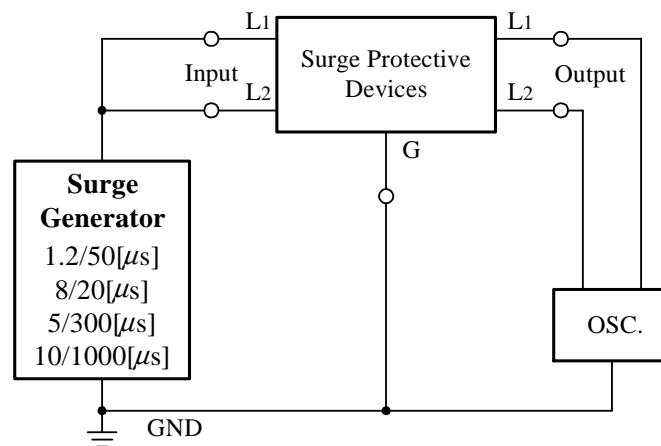


그림 4.10 서지차단특성 시험회로

Fig. 4.10 Test circuit for surge blocking characteristics

본 연구에서 언급한 두 가지의 국제규격을 동시에 만족하도록 서지발생장치를 이용하여 8/20 [μs] 5 [kA]의 서지를  $L_1 - G$ ,  $L_2 - G$  사이에 10회씩 인가하고 서지차단특성을 측정된 결과 그림 4.11과 같이 나타났으며, 시험도중 서지방호장치에 장애나 손상은 발생하지 않았다.

아발란치 다이오드의 동작속도는 1 [ns] 이하로 대단히 빠르기 때문에

피보호기기에는 서지에 대한 영향이 전혀 없으며, 가스 튜브에 의해 5 [kA]의 전류가 흘러나가게 되고, 서지는 차단된다. 최종적으로 피보호기기에 전달되는 전압은 16.9 [V]로 관측되는데 이는 피보호기기에 아무런 영향을 주지 않는 크기로 8/20 [ $\mu$ s] 5 [kA]의 서지에 대해서는 충분한 보호성능을 나타내었다.

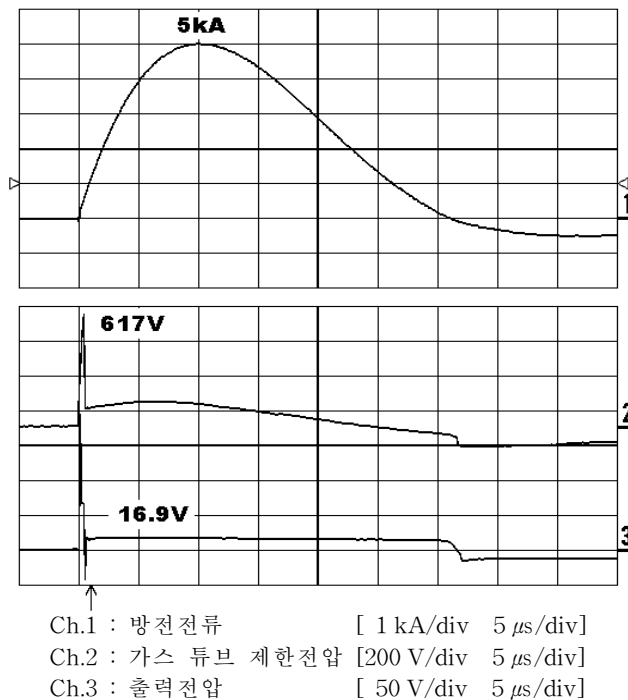


그림 4.11 8/20 [ $\mu$ s] 서지전류에 대한 응답 파형

Fig. 4.11 Response waveforms to the 8/20 [ $\mu$ s] surge current

컴퓨터 네트워크 회로에 적용하기 위해서 IEC 61643-21에 정의된 5/300 [ $\mu$ s] 100 [A] 및 10/1000 [ $\mu$ s] 100 [A]의 서지를  $L_1-G$   $L_2-G$  사이 30회를 인가하였다. 5/300 [ $\mu$ s] 및 10/1000 [ $\mu$ s]의 서지파형은 신호·통신선

로에서 많이 발생하며 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 4.12와 같이 나타났으며, 피보호기에 전달되는 최대전압은 20 [V]로 기기나 회로에 전혀 영향을 주지 않는 크기이다. 따라서 5/300 [ $\mu\text{s}$ ]의 서지에 대해서도 안정된 보호동작 특성을 나타내었다.

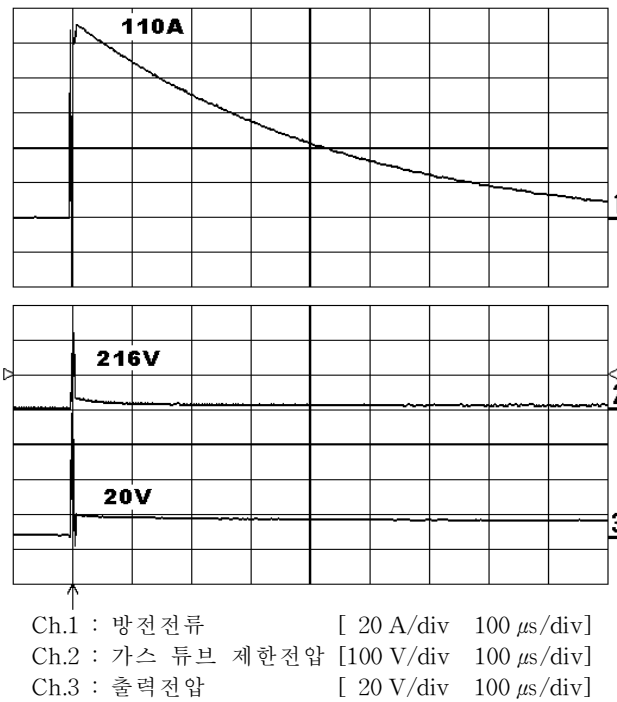


그림 4.12 5/300 [ $\mu\text{s}$ ] 서지 전류에 대한 응답 파형

Fig. 4.12 Response waveforms to the 5/300 [ $\mu\text{s}$ ] surge current



그림 4.13에는 10/1000 [ $\mu\text{s}$ ] 100 [A]의 서지에 대한 서지방호장치의 차단 특성을 나타낸 것으로 피보호기기에 전달되는 전압은 18 [V]로 안정된 보호 특성을 나타내었다.

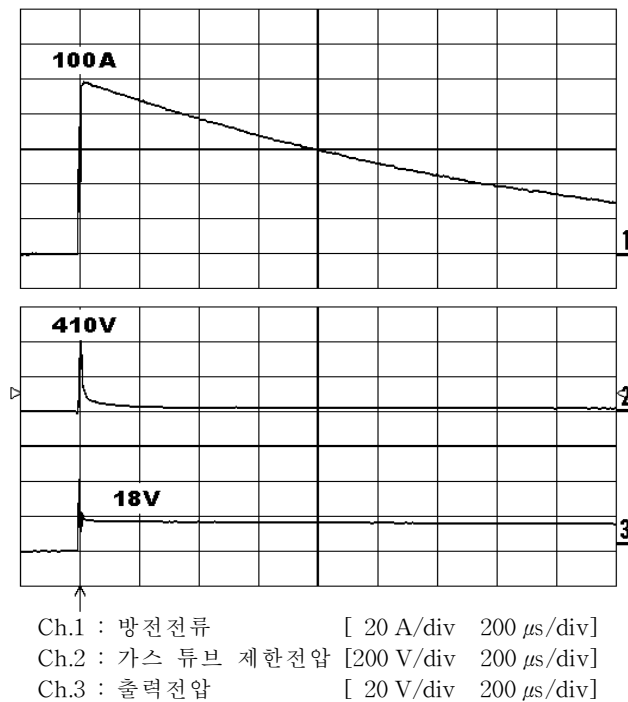


그림 4.13 10/1000 [ $\mu\text{s}$ ] 서지전류에 대한 응답 파형  
 Fig. 4.13 Response waveforms to the 10/1000 [ $\mu\text{s}$ ] surge current

전기·전자기기 및 신호회로에 대한 국제규격인 IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21에 정의된 서지시험결과 피보호기기에 전달되는 제한전압은 16.9 ~ 20 [V]로 기기에 아무런 영향이 없는 범위로 나타났으며, 시험도중 서지방호장치 및 피보호기기의 손상은 전혀 발생하지 않았다.

본 연구에서 제안한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치는 우수한 신호전송특성과 충분한 서지차단특성을 가지는 것으로 평가되었다.

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 서지전압차단을 위한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치를 설계·제작하였으며, 신호전송특성과 서지차단특성에 대한 실험적 평가를 수행하였다. 실험결과로부터 100 [Mbps]급 근거리 네트워크의 적용에 있어 신호전송특성과 서지차단특성은 국제규격을 만족하며 세부적인 결론은 다음과 같다.

1. IEC 61000-4-5 및 IEC 61643-21 규격에서 정의하고 있는 표준 뇌서지 전류 8/20 [ $\mu$ s] 5 [kA]의 서지를 인가한 결과 피보호기기에 전달되는 제한전압은 16.9 [V]로 기기의 절연레벨 이하로 차단되었다.
2. 통신선로의 대표적인 표준파형인 5/300 [ $\mu$ s] 및 10/1000 [ $\mu$ s]의 서지를 인가했을 때 피보호기기에 전달되는 서지방호장치의 출력전압은 18 ~ 20 [V]로 피보호기기에 영향을 주지 않는 범위로 제한한다.
3. 삽입손실은 30 [kHz]에서 500 [MHz] 범위에서 측정하였으며, 측정결과 본 연구에서 제안한 서지방호장치는 -3 [dB]가 되는 주파수 범위가 204 [MHz]로 컴퓨터 네트워크 보호용으로 적용하여도 서지방호장치에 의한 삽입손실은 발생하지 않는다.
4. 반사손실 측정결과, 중심주파수가 90 [MHz]인 부근에서 신호를 가장 잘 전송할 수 있는 것으로 평가되었으며, 컴퓨터 네트워크 신호의 주파수 범위인 500 [kHz] ~ 100 [MHz]의 범위에서는 반사손실이 -10 [dB] 이하로 국제규격을 충족하였다.

5. 서지방호장치의 접속으로 인한 선로간의 신호결합정도를 나타내는 근 단누화는 최대  $-45.3$  [dB]로 나타났으며, 적용하고자 하는 주파수 범위인  $500$  [kHz] ~  $100$  [MHz]의 범위의 구간에서 약  $-20$  [dB] 이하로 측정되므로 국제규격을 만족하는 것은 물론 신호의 간섭에 의한 왜곡이나 감쇄는 발생하지 않는다.

국제규격에 의거한 성능 평가 결과, 본 연구에서 제안한 컴퓨터 네트워크용 서지방호장치는 우수한 신호전송특성과 서지차단특성을 가지므로 향후 컴퓨터 네트워크의 신뢰성 확보를 위한 서지방호장치로 그 활용가치가 클 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [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] Bachman, L. Gullberg, F. Stricker, and H. Sachs, "An Assessment of shipboard Power Line Transients", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 218~223, 1981.
- [3] 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.
- [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] R. A. Harris and M. Darveniza, "The transient Blocking Device : A State of the Art Development in Protection for Sensitive Electronic Systems", Proc. of International Conference on Electromagnetic Compatibility, pp. 168~175, 1995.4.
- [6] Martin A. Uman, The Lightning Discharge, ACADEMIC PRESS, INC., 1987.
- [7] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuit from Overvoltage, Wiley, 1988.
- [8] IEEE Power Engineering Society, IEEE Recommended Practice On Surge Voltages In Low-Voltage AC Power Circuit : IEEE C62.41-1991 pp. 22~98, 1991.
- [9] Underwriters Laboratories Inc, Standard for Transient Voltage Surge Suppressors : UL 1449, 1st Edition, 1985.
- [10] National Electrical Manufactures Association, American National Standard for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings : ANSI C84.1-1989, pp. 7~18, 1989.

- [11] Surge Protective Devices Committee of the IEEE Power Engineering Society, An American National Standard, IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuits : ANSI/IEEE C62.45-1987, IEEE, pp. 9~49, 1987.
- [12] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60~77, 2002.
- [13] IEC 61643-21, Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks-Performance requirements and testing methods, 2000
- [14] IEC 1312-1, Protection against lightning electromagnetic impulse-1. General principles , 1995
- [15] IEC 667, Insulation Coordination for Equipment Within Low-Voltage System, 1995
- [16] 길경석, “정보통신기기용 과도이상전압의 고속도 차단장치의 설계 및 제작”, 대한전기학회 논문지, Vol. 48, No. 1, pp.51~56, 1999
- [17] 길경석, 송재용, 박진길, “정보통신기기용 과도전압 차단장치의 개발에 관한 연구”, 박용기관학회지, Vol. 23, No. 2, pp. 159~167, 1999.
- [18] 길경석, 박영호, 송재용, “PSpice시뮬레이션을 위한 바리스터의 모델링”, 97 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표회 논문집, pp. 202~205, 1997. 5.
- [19] 길경석, 박영호, 송재용, “응답시간특성을 고려한 가스어레스터 모델”, 97 대한전기학회 추계학술발표회 논문집, pp. 202~204, 1997. 11.
- [20] James A. Svoboda, PSpice for Linear Circuits, WILEY, 2003
- [21] Roy W. Goody, OrCAD PSpice for Windows Volume II, Prentice Hall, 2003
- [22] 길경석, 송재용, 박진길, “가스 튜브와 산화아연 바리스터의 PSpice 모델, 한국박용기관학회지, Vol. 23, No. 2, pp. 150~158, 1999
- [23] 길경석, “선박전기설비 시험용 조합형 써지 발생장치의 제작과 특성”, 한국박용기관학회지, Vol. 21, No.4, pp. 387~392, 1997.

## 감사의 글

먼저 본 논문이 있기까지 부족한 저에게 항상 아버지와 같은 관심과 배려를 베풀어 주시고 공학도로서의 자세를 몸소 보여주신 길경석 교수님께 감사의 말씀을 올립니다. 또한 대학원 생활동안 많은 가르침을 주시고 보다 좋은 논문이 되기 위해 가르침을 주신 김윤식 교수님, 이성근 교수님, 그리고 장낙원 교수님, 서동환 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

본 논문을 위해 바쁜 와중에도 애써가며 지도 많이 해주신 송재용 선배님께 이 글을 빌어 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 또한, 언제나 큰 형처럼 저를 이끌어 주신 한주섭 선배님, 김일권 선배님께도 감사의 말을 전하고 바쁜 직장생활에도 불구하고 논문에 관심을 보여주신 천상규 선배님, 이종혁 선배님, 김명진 선배님, 손원진 선배님, 그리고, 문노형, 영진 이형께도 감사의 말을 전하고 연구실에서 항상 열심히 생활하고 공부하는 황동이형과 승보에게도 감사의 말을 전합니다.

대학원 생활에서 항상 마음의 여유와 즐거움을 갖게 해 주었던 전기공학과 97학번 동기들, 그리고 전기공학과 선후배님들께 고마움을 전합니다.

한 때 힘든 시절에 현실에 안주하려는 저에게 충고와 관심을 보여준 96학번 조치훈, 조현일, 장민익 학우에게도 감사의 말을 전하며, 친구 철이와 섭이에게도 고마운 마음을 전합니다.

불초자인 제가 공부할 수 있도록 뒷바라지 해 주신 어머님께 깊은 감사를 드리며, 타지에서 일하면서 관심과 응원을 보내준 동생 대규에게도 고마운 마음을 전합니다.

제가 본 논문을 쓸 수 있도록 관심과 격려를 보내주신 모든 분들에게 다시 한번 감사를 드리며 하늘에 계신 아버지께 미흡하나마 본 논문을 바칩니다.