

# 비선형 소자를 이용한 과도 전압에 대한 전자 기기의 보호 기술



이 복 회

인하대학교 공과대학

전자·전기·컴퓨터공학부 부교수

당 학회 조사 이사

## 1. 서 론

최근 정보화 사회가 발전함에 따라서 정보·통신 기기, 제어 기기, 무인 자동화 기기 등 전자 기기의 이용 증대와 함께 일반 가전 기기의 생활 적용 폭이 더욱 넓어지는 추세이며, 양질의 전력에 대한 안정적 공급의 필요성이 한층 높아져 가고 있다. 정보·통신 기기는 반도체 부품 및 기기의 소형화, 고밀도 실장화, IC화가 이루어지면서 뇌서지, 개폐 서지 등의 과도과전압에 대한 내전압 특성이 저하되었으며, 서지전압에 기인하는 전기 설비의 손상 및 정보·통신 전자 제어 장치의 고장과 파괴를 일으키는 사고가 급증하고 있다. 한편 기상 이변으로 인한 낙뢰의 발생 빈도도 증가하여 낙뢰로 인한 재해와 피해의 정도도 대단히

많이 늘어나고 있는 추세이므로 이와 같은 뇌서지 등의 과도과전압에 대해 현재 다각적인 연구가 진행되고 있다. 정보·통신 설비에 발생하는 과도 이상 전압으로는 뇌방전 현상에 의해 전원 또는 신호 선로를 통하여 침입하는 뇌서지, 개폐기 조작에 의하여 발생하는 개폐 서지로 분류되는데 전자 장비의 손상과 파괴를 일으키는 것은 주로 뇌서지의 침입이다. 뇌서지는 동전기적, 유도적, 용량적 결합에 의하여 정보·통신 설비에 유입하게 되며, 상승시간이 매우 빠르고 과도적 현상으로 나타나므로 해석적인 회로 기술을 이용한 해결 방법은 아직까지 정립되어 있지 못하다. 특히 정보·통신 장치의 신뢰성, 경제성을 충족시킬 수 있는 합리적인 뇌서지 보호 대책을 위한 보호 장치의 성능 평가 기법과 적용 기술을 개발하기 위해서는 정보·통신 장치에 침입하는 뇌서지의 특성이나 통신 장치의 서지에 대한 내력 및 보호장치·회로의 능력 등 다방면의 기술적 고려가 필요하게 된다. 그러나 고성능의 피뢰기와 바리스터 등 뇌서지를 차단할 수 있는 소자의 개발로 보호 기술도 많이 향상되었다.

따라서 본 고에서는 뇌서지의 침입 경로와 발생 기구, 보호 소자, 보호 시스템의 적용, 특히 정보·통신·제어 기기가 전화선에 접속되어 운용되므로 이들에 대해서 개략적으로 기술한다

## 2. 과도 전압의 침입 경로

일반적으로 널리 사용하고 있는 전자/정보 기기는 VLSI와 IC의 반도체를 사용한 전자 회로로 구성되어 있다. 이러한 반도체 회로는 전원선 또는 신호 선로로부터 침입하는 이상전압·전류에 취약하며 회로의 절연과괴와 소손의 피해를 받게 된다. 정보통신 및 전자·제어 기기에 있어서 전원선이나 접지선을 통하여 침입하는 이상전압으로부터 보호하는 대책이 필요하며, 이상 전압이 침입하는 대표적인 경로에 대해서 간단하게 기술한다.

① 전원선에서 정전 이행하는 뇌서지 이상전압

뇌서지는 주파수 성분이 높기 때문에 배전선로에 침입한 뇌서지는 주상 변압기의 1차 권선과 2차 권선 사이의 표류정전용량을 통하여 그림 1에 표시한 바와 같이 저압 전원 회로로 정전 이행한다.

② 배전용 피뢰기의 동작에 의한 대지 전위 상승이 저압측 2중 접지 전위를 상승시켜 저압 전원선에 침입하는 이상전압

배전선에 낙뢰가 내습하였을 때 배전용 피뢰기가 동작하여 그림 2와 같이 피뢰기  $A_T$ 를 통해서 방출되는 전류  $I_a$ 에 의해 접지극의 전위 상승이 발생한다. 배전용 피뢰 접지  $E_a$ 에 인접되어 설치된 주상 변압기의 제2중 접

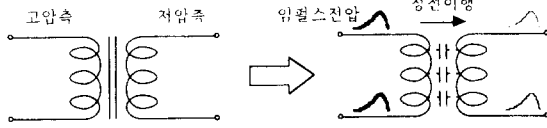


그림 1. 과도 이상전압의 정전 이행

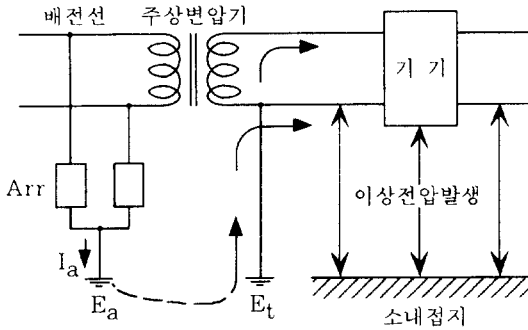


그림 2. 배전용 피뢰기의 동작에 의한 전원 회로에의 이상 전압 침입

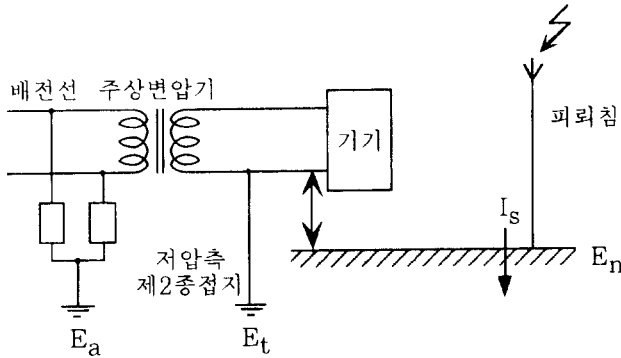


그림 3. 피뢰침에 낙뢰가 내습한 경우 이상 전압의 발생

지  $E_t$ 의 전위는 전위 상승의 영향으로 인해 높아지게 된다. 더구나 그 대지 전위 상승은 저압측 전원 회로의 전위를 상승시켜 그 주상 변압기의 2차측에 접속되어 있는 각 기기와 그 기기에 접속되어 있는 접지간, 특히 분리된 기기에 인입되어 있는 회선이 있는 경우에는 그 회선간에

이상전압이 발생한다.

3. 피뢰침에의 낙뢰에 의한 접지선위 상승시 전원 기기와 접지 사이에 발생하는 이상 전압

건물의 피뢰침에 낙뢰가 내습한 경우 피뢰 도선을 거쳐 접지극을 통하여 뇌격전류가 대지로 흐르게 된다. 그림 3에 표시되

어 있는 바와 같이 그 뇌격전류  $I_s$ 의 유입에 의해 피뢰침 접지극의 전위  $E_n$ 이 상승하여 건물 접지의 전위가 상승하게 된다. 따라서 건물 내에 수용되어 있는 기기가 배전선에 의해서 외부로부터 전원 공급을 받는 경우 전원 선로 및 그에 접속되어 있는 기기와 건물 접지 사이에 이상 전압이 발생되므로 기기의 절연 파괴 및 소손이 생기게 된다.

④ 전원선으로 직접 침입하는 유도뢰 등의 이상전압

주상 변압기로부터 전원 기기까지의 저압 배전선이 긴 경우에는 그 사이에서 뇌격을 받아 전력계통으로의 전자유도 작용에 의해 전원 기기에 이상 전압이 발생하게 된다. 그것은 각종 원인으로 인해 배전선으로부터 전원 기기에 이상 전압이 침입되어 건물에 인입된 배전선과 건물 접지 사이에 이상 전압이 발생하기 때문이다. 또한 저압 전원선이 고압선과의 혼촉에 의해서 이상 전압이 전원선에 발생하게 되는 경우도 있다.

### 3. 뇌서지 보호 소자

낙뢰에 의한 뇌서지나 개폐서지가 피보호 회로에 침입하는 에너지를 최소화하기 위하여 다음의 소자들을 사용하여 차단 회로를 구성한다.

#### 3.1 가스 피뢰기(Gas Arrester)

가스 피뢰기는 병렬 요소로서 선간이나 선-접지간을 연결하여 사용한다. 이들 가스 피뢰기의 특징으로는 큰 전류를 한꺼번에 전환시킬 수 있는 장점을 가지고 있지만, 침입하는 서지의 상승시

간에 비해 응답 시간이 느리다는 단점을 가지고 있다. 그렇기 때문에 과도 전압을 효과적으로 차단하기 위해서는 가스 피뢰기를 단독으로 사용하지 않고, 또 다른 차단 소자들과 함께 조합하여 사용한다. 최근에는 밀폐 구조로

하는 방전 갭(spark gap)이 주로 사용되며, 차단 특성, 안정성, 경제성 면에서 우수한 이점을 가지고 있다.

### 3.2 바리스터(Varistors)

바리스터는 비선형적인 전압-전류 특성을 가지며, 전압에 의해 동작하는 비선형 레지스터이다. 바리스터는 빠른 동작 특성을 가지고 있으며, 서지 전류의 양을 조절할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이러한 장점 때문에 바리스터는 대부분의 전원 회로 보호와 전원용 필터로서 빠른 응답 속도를 얻기 위해 가스 피뢰기와 함께 조합하여 사용되며, 가스 피뢰기 단독으로 사용되었을 때 보다 낮은 제한 전압을 얻을 수 있다. 그림 4에 접속선의 길이가 짧은 상용화되어 있는 바리스터의 테스트 결과를 나타내었다. 7 [kA]인 8/20 [ $\mu$ s] 임펄스 전류를 가했을 때 클램핑 전압은 900 [V]이다.

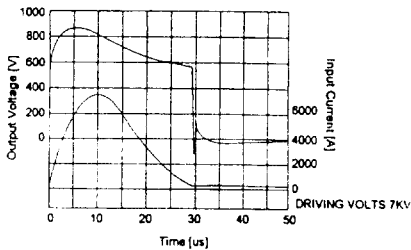


그림 4. 바리스터의 차단 전압

### 3.3 차단용 다이오드 (Blocking Diode)

대단히 빠른 상승시간을 가지는 과도 전압을 차단하기 위해서 제너다이오드, 사태다이오드, 트랜저브 다이오드 등이 사용된다. 이들은 대단히 우수한 비선형성의 전압 전류 특성을 가지고 있다. 하지만 이들 다이오드는 제한할 수 있는 서지 에너지의 용량이 한정되어 있기 때문에 가스 피뢰기나 바리스터의 후단에 접속하여 빠른 상승시간을 가지는 서지나 고주파 성분의 제거하는 역할로서 주로 사용된다.

### 3.4 기타 과전압 보호 소자

뇌서지나 개폐 서지의 차단 소자로 광분리기(optoisolator), 절연 변압기, 공통 모드 필터 등이 사용되고 있다. 이들은 대지를 통하여 침입하는 서지를 차단하기 위해서 전가적 신호를 광으로 변환하여 전송하거나 자기적 결합으로 이용하는 방식으로 가

스 피뢰기, 바리스터, 차단용 다이오드 등으로 제거할 수 없는 과도 전압의 차단에 유용하므로 이들과 병용하여 효과적인 보호 장치를 구성하게 된다.

## 4. 대표적인 보호 대책

### 4.1 전원용 보호장치

전원용 뇌서지 보호장치는 그림 5에 나타난 바와 같이 실드부착 고내전압 절연 변압기 SIT, 변압기의 1차측에 설치한 방전전류 내량이 큰 1차 피뢰기, 변압기의 2차측에 설치한 동작 전압이 낮은 서지 흡수기 Z를 조합하여 보호 회로를 구성하고 있다. 절연 변압기는 침입하는 종전압에 대한 변압기의 1차 권선과 2차 권선 사이의 절연에 의해 이상 전압의 직류분을 차단하는 것으로 뇌서지에 의한 높은 주파수 성분을 포함한 파형은 절연 변압

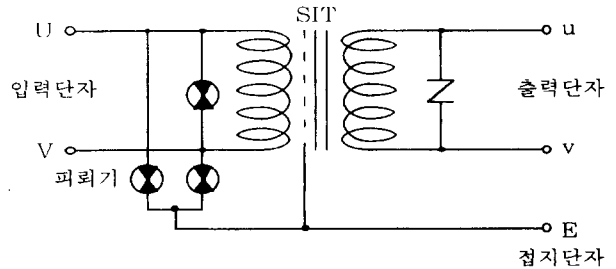


그림 5. 전원용 보안 장치의 표준 회로

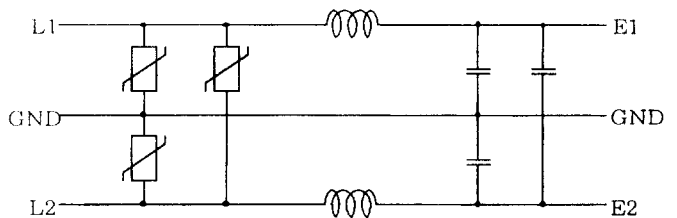


그림 6. 필터를 포함하는 전원용 서지 보호장치

기의 1차 권선과 2차 권선 사이의 정전용량을 통하여 1차측으로부터 2차측으로 전달된다. 그러므로 1차 권선과 2차 권선 사이에 정전 실드판을 설치한 실드 변압기가 사용된다. 실드 변압기는 임펄스 내전압 30 kV의 변압기가 일반적으로 사용되고 있다. 그 내전압에 의해 높은 이상전압이 침입하여 실드 변압기 부분에서 절연과피를 일으키는 경우도 있으므로, 1차 권선과 접지 사이에 1차 피뢰기 Z를 설치하여 절연과피를 보호한다.

일반적으로 단순히 사용하는 전원용 서지 차단 장치를 그림 6에 나타내었으며, 바리스터와 저역 통과 필터의 2단계로 이루어져 있다. 이 필터는 공통 모드(common mode)와 차동 모드(transverse mode) 모두에서 동작하며, 전원 계통의 회로나 RTU 등 개개의 민감한 부하에 사용된다.

#### 4.2 전화 회선용 보호장치

대지 전위 상승 전압으로 외선 케이블에 접속된 단말기와 건물 내의 보수자 등의 인체를 보호하는 목적으로 지금까지 실용화된 보호 장치에는 여러 가지 종류의 보호 방식이 있다. 일반적으로 대지 전위 상승에 의한 이상 전압이 있고, 통신·제어케이블 등의 외선으로부터 침입하는 이상 전압도 있으나, 기기 등을 보호하기 위한 기본적인 보호 방식은 3종류의 방식이 있지만 모두 장·단점이 있다.

전화 회선용으로서 대지 전위 상승 보호 회로를 그림 7에 나타내었다. 이 보호장치는 피뢰기  $Ar_1 \sim Ar_4$ 와 중화 변압기 NT로 구성되어 있고, NT는 통신케이블의 심선 수에 상응하는 권선

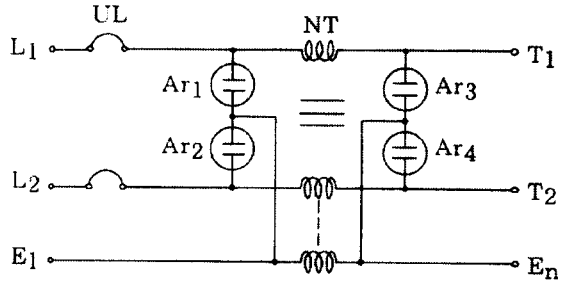


그림 7. 전화회선용 보안장치

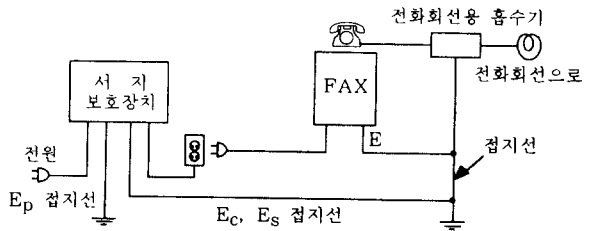
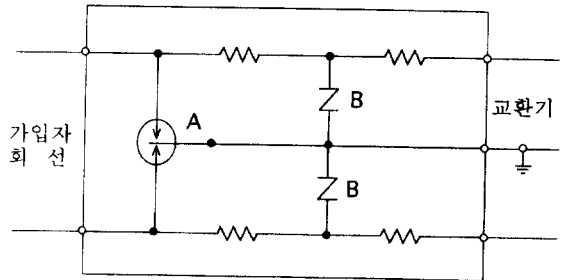


그림 8. 팩스의 보호방식의 예



A : 가스 피뢰기 B : 산화 아연 바리스터

그림 9. 전자 교환기용 보호 회로의 구성 예

(이하 통신 권선)의 외부에 1권선 정도 여분의 권선(이하 접지 권선)을 동일 철심 상에 감는다. 이런 권선 구성의 중화 변압기를 3권선형 중화 변압기라 한다. 또한 접지 권선을 초기에 갖지 않는 NT를 2권선형 중화 변압기라고 한다.

팩스의 경우에는 전원측에는

절연 변압기를 사용하고, 전화 등의 신호선에는 전화 회로용 흡수기를 사용한다. 그 예를 그림 8에 나타내었다.

#### 4.3 전자 교환기 보호장치

통신 설비는 뇌서지에 대하여 절연 강도가 낮기 때문에 그에 대한 보호 대책은 중요하다. 최

근의 전자 교환기에 대해서는 통신 장치와 가입자 회로의 전자화, IC화가 이루어져 뇌서지에 대한 내량이 대단히 낮다. 그 결과 반도체 소자를 구성함에 있어서 전자 교환기에 대한 뇌서지 대책은 충분히 보호되고 있지 않기 때문에 새로운 보호 회로가 개발되고 있다. 그림 9는 새로운 보호 회로를 구성한 전자 교환기의 한 예를 보여 주고 있다. 침입하는 뇌서지 에너지의 대부분을 앞단에 설치되어 있는 서지 내량이 큰 3극 가스 피뢰기에서 흡수되며, 나머지는 후단에 설치되어 있는 산화 아연 바리스터가 흡수함으로써 전자 교환기를 보호하게 된다.

#### 4.4 신호선 보호 회로

저전압의 신호 선로와 제어 회로를 보호하기 위해 다단(Multistage)회로로 구성된 뇌서지 차단 장치를 사용하며, 그 회로를 그림 10에 나타내었다.

회로는 그림 10에서와 같이 큰 전류를 차단하기 위해 3극 피뢰기를 사용하며, 다음에 산화 아연 바리스터와 트랜저브 다이오드가 연계되어 있다. 신호 회로의 차단을 위해 다음과 같은 것을 고려하여 선택하여야 한다.

㉑ 동작 전압 : 동작 전압은 정상 신호의 피크치보다 커야 하며, 손상을 입히는 전압보다는 낮아야 한다. 즉, 파괴 전압 > 제한 전압 > 피크 동작 전압이 되도록 구성 부품을 선정하여야 한다.

㉒ 동작 전류 : 다단 과도 전압 차단 회로는 각각의 단계마다 저항이나 인덕턴스로 되어 있는 직렬 요소를 가지고 있다. 차단 회로 사이에 걸리는 전압 강하가 정상 동작 전류를 초과해서는 안

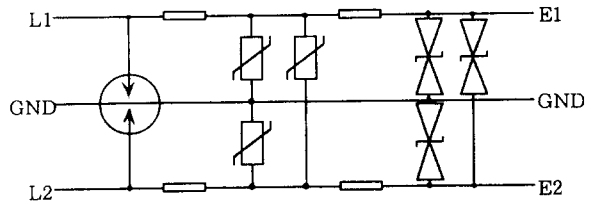


그림 10. 다단식 신호선 보호 회로

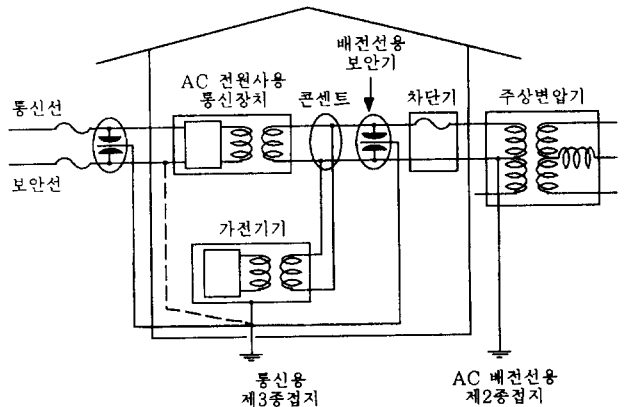


그림 11. 공통 접지화 보호 방식의 예

된다.

㉓ 동작 주파수 : 차단 회로의 주파수 응답은 각각의 바리스터와 트랜저브 다이오드의 커패시턴스에 의해 주파수 응답이 제한된다. 또한 직렬 인덕터와 조합되어 저역 통과필터를 구성한다.

#### 4.5 일괄 력기형 공통접지법

이 보호 방법은 하나의 구내에 대해서 통신 계통 접지와 전원 계통 접지를 공통화하여 건물 및 건물 내의 접지계의 전위를 등전위화하는 방법이다. AC 전원선의 중성선에 접속된 보안용 접지선을 건물 내에 인입하고, 건물 구조체와 다른 모든 접지선을 이것에 접속하여 공통 접지를 한다.

그림 11에 표시한 것처럼 AC 전원선에 피뢰기를 설치하고, 이 접지와 보안용 접지, 통신선 보안기용 접지 및 다른 접지를 연결하는 방법을 제안하고 있다. 이 방법은 과전압에 대한 공통 접지 조건이며, 공통 접지하에 설치되는 통신 장치를 설치한다. 일괄 피뢰기형 공통 접지법의 기본적 요구 조건으로는 피뢰기와 구내에 대해서 모든 시스템의 공통 접지를 실현하기 때문에 직렬된 전류를 고려한 내량이 필요하다. 더욱이 인체의 안전을 고려하면 AC 전원 계통의 현행 법규를 만족할 필요가 있다. 또한 접지 저항에 대해서는 통신 보안 장치 및 배전선 피뢰기에 요구되는 접지 저항을 만족할 필요가

있으나 양자의 접지 저항값에 대한 규정은 없다. 그러나 인체 안전의 관점에서부터 배전선 피뢰기도 AC 전원을 사용하는 제어기와 동등한 고려에 기초를 두어 이 접지를 제3종 접지(100Ω)로 한다.

보호 설계는 통신선 보안기와 배전선 피뢰기의 방전 개시전압을 일정치로 정하고, 모든 장치가 그 이상의 내전압 특성을 가져야 됨을 유의할 필요가 있다. 또한 통신선-AC 전원선간, 통신선-외환간, AC 전원선-외환간의 전압은 통신선 보안 장치와 배전선 피뢰기간을 접속하는 접지선의 임피던스에 의해 결정해야 하며, 그 부분을 낮은 임피던스로 하는 것이 중요하다.

## 5. 결 론

피뢰 소자를 이용하여 낙뢰 및 전원 설비의 개폐 서지, 대지 전위 상승으로부터의 영향을 저감시켜 정보·통신 설비의 핵심이 되는 전자 기기와 컴퓨터 등의 보호를 위한 대책 기술에는 여러 가지 보호 방식이 제안되어 사용되고 있으며, 이들 중에서 기본적으로 대표적이고 몇 가지에 대해서 기술하였다. 지능화 건물 내의 정보·통신 기기의 뇌서지 보호 기술은 전자 기기가 다양화 및 고기능화되어 고신뢰도가 요구되므로 내뢰 특성의 문제에 유의할 필요가 있다고 생각되기 때문에 우선 각 정보·통신 기기에 대해 개별적으로 By-pass 피뢰기를 취부하는 대책을 실시하고, 지능형 건물과 지능형 주택 등의 건축물에는 건물 일괄 피뢰기형 공통 접지법을 적용해 가는 것이 바람직하다고 생각된다. 장거리의 세어 선로, 신호 선로, 전화

선로에 접속되는 전자 기기는 낙뢰 및 유도뢰의 영향을 많이 받기 때문에 뇌서지 보호 소자(가스 피뢰기, 바리스터, 사태 다이오드, 제너 다이오드 등)와 적절한 접지 및 분당을 실시하여 정보화 설비 및 계측 시스템을 보호하는 것이 적당한 방법이다.

낙뢰와 전기적 과도 현상의 영향은 컴퓨터 및 전자 기기 등에 물리적 손상이나 운전시 오동작을 야기시켜 막대한 경제적 손실을 발생시킬 수 있다. 따라서 이에 대한 보호 방식으로는 첫째, 시설하기 전에 합리적인 뇌서지 보호 설비의 설계를 해야 한다. 즉, 네트워크 및 장비, 접지 시스템, 빌딩의 환경 및 피뢰 설비, 전원 공급기, 장치의 배치 등이 앞으로 변동될 수도 있음을 고려해야 한다. 둘째, 적절한 보호 장비를 갖추고, 각각의 장비와 전체의 네트워크 및 모든 시설과 보호시설을 하지 않을 경우에 설비 손상 비용과 운전 유지 관리 비용의 손실을 감안해야만 하는 사항 등을 고려한 적합한 계획과 보호 설비를 갖추어 경제적 및 운전상의 안정성을 구축하는 것이 바람직하다.

## 참 고 문 헌

- [1] National Electrical Manufacturers Association, Low Voltage Surge Protective Devices ; NEMA Standard Publication No. LS1-1992, pp. 1~6, 1992
- [2] IEEE Power Engineering Society, IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits, IEEE C62.41-1991, pp. 22~98, 1991
- [3] 關野吉廣, 大竹和虎, 清谷幸雄, 外., "通信用電力設備に

侵入雷サージに対する防護"研究實用化報告 第30卷 第5號, pp. 1187~1198, 1981

- [4] General Electric Co., Transient Voltage Suppression Manual, Second Edition, pp. 37~108, 1978
- [5] Standards Committee of the IEEE Electromagnetic Compatibility Group, An American National Standard, IEEE Standard for the Measurement of Impulse Strength and Impulse Bandwidth, ANSI /IEEE Std. 376-1975, 1992
- [6] Underwriters Laboratories Inc., Standard for Safety, Protectors for Paired Conductor Communication Circuits, UL497, 5th Edition, 1991
- [7] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuits from Overvoltages, A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, pp. 80~100, 1989
- [8] International Electrotechnical Commission, Electromagnetic Compatibility for Industrial-Process Measurement and Control Equipment, IEC Publication, 801-1-5, 1984
- [9] 木村 茂, "Lightning Protection technique for the Electronics and Communication Equipment", 日本電氣設備學會誌, pp. 643~651, 1988. 9
- [10] Stephen Gumley, etc, Introduction to transient Protection Concepts, Critec Pty Ltd, 1994
- [11] CCITT, Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electricity lines, 1960

< 조한구 박사 >