

# 서지의 발생에서 방지까지 ①

비사달기전(주) 이사 허 광 무



## 목 차

### 제1장 Surge의 발생

1. Surge의 개요
2. Surge의 피해현황
3. Surge의 종류
4. Surge의 특성과 크기
5. 전자부품에 미치는 영향
6. Surge의 측정

### 제2장 번개의 발생과 베팅

### 제3장 피뢰침과 접지

### 제4장 Surge Protection에 사용되는 보호소자

### 제5장 Surge로 부터의 보호대책

### 제6장 Surge 방지기

## 제1장. 서지의 발생

### 1. 서지의 개요

서지(Surge)란 line 또는 회로를 따라서 전달되며, 급속히 증가하고 서서히 감소하는 특성을 지닌 전기적 전류, 전압 또는 전력의 과도파형이다.(IEC IEV 161-02-01)

비가 오거나, 번개가 치는 날이면 전기가 끊어지거나, 전화가 불통이 되는 경우를 많이 겪게 되고, 전등이나 전기기기의 스위치를 켜는 경우 오디오의 음이 찌그러지거나, TV의 화면이 떨리는 것도 경험하게 됩니다. 이러한 원인의 대부분은 Surge에 의한 것이다.

첨단 과학이 우리의 주위를 점하며 우리 주변에 첨단 반도체가 전기, 전자 분야에 광범위하게 사용되고, 그에 따라 Surge에 의한 피해가 급속도로 커지고 있다.

반도체의 집적도가 커질수록 반도체 내부의 회로 선폭이 좁아지고, 저전압으로 동작 시키기 위해 전도성이 우수한 소재를 사용하게 되므로 인하여 단락(短絡.Short circuit)현상의 최고치가 낮아져, 반도체를 많이 내장한 system은 내압에 약해지고, 그에 비례하여 Surge에 취약해



지고 있다.

Surge란 우리 주변에서 흔히 발생하는 현상이다. 예를 들어 벼락이 떨어질 경우, 뇌(雷.Lightning) Surge는 ground를 통하여 역류해 전자기기를 파괴 시키며, switch·relay·용접 등의 Arc와 단락에 의한 개폐 Surge, Motor·엘리베이터 등의 구동 Surge 등 우리 주변에서는 끊임없이 Surge가 발생한다.

Surge가 system에 미치는 영향은 인체에 생기는 병과 같아서, 작은 Surge의 반복은 소자를 열화시켜 만성적으로 파괴시키며, 강한 Surge는 일거에 회생불능 상태로 파괴 시킨다. 특히 근래의 system은 기기와 기기의 결합에서, system과 system이 결합되는 total system을 구축하는 것이 일반화 되어 가고 있다. 이는 한 지점에서 발생한 피해가 전 system의 마비를 가져오며, 극한적인 경우 전 system이 연쇄적으로 파손되는 경우도 초래할 수 있다. 따라서 Surge의 피해가 발생한 지점에서 타지역으로 Surge의 피해가 전이되는 것을 차단할 Surge Protection System을 구축하는 것이 필요하다.

## 2. Surge의 피해현황

### 2.1 서지의 피해 규모

국내의 경우 아직 Surge로 인한 피해에 관하여 정확한 연구가 없지만, 미국의 경우 고압과 과전류로 인하여 전자화한 자동화 system의 장애가 발생하여 시간과 경비의 피해 규모가 산업계에서만 매년 260억 달러에 이르는 것으로 추정하고 있다.

일본의 자료에서도 1년에 1%정도의 비율로 큰 피해를 보며, 가벼운 피해 까지 더한다면 5% 정도가 피해를 보는 것으로 집계되었다.

우리나라의 경우 가장 잘 알려진 서지의 피해는 노태우, 김영삼 대통령 시절 각기 한번씩 청와대에 벼락이 떨어져 경비시스템에 이상이 발생하므로 인하여 연막탄이 터지는 등 소동이 벌어진 것은 모두 알고 있는 대표적인 뇌서지 피해의 사례라 할 수 있다.

다음 표에서 보는 바와 같이 전자장비의 경우 원인불명의 고장 중 88.3%는 Surge에 의한 것이다.

Power Disturbance	월 평균 발생 횟수	백분율(%)
Oscillatory Transients	62.2	48.8
Voltage Spike	50.7	39.5
Undervoltage	14.4	11.2
Overvoltage	00.0	00.0
Blackout	00.6	00.5
Total	127.9	100

\* Transactions on "Power Apparatus and Systems" July-August, 1974 issue 1974 IEEE (IEEE : 전기전자기술자협회)

## 2.2 서지의 피해 유형

### 1)기기의 파손

서지란 간단한 예로 권투 선수의 주먹과 비슷하다. 가벼운 서지는 권투 선수의 잭과 같아 한 방에 큰 손상을 주지는 않지만 반복되면 그 충격이 누적되어 어느 순간에 시스템이 다운되는 것이며, 강한 뇌서지 등이 들어올 때는 카운터 펀치와 같아 한방에 기기가 파괴되어 버리는 것이다.

### 2)기기의 오동작

뇌서지로 인하여 누전차단기의 오동작이 일어나는 예는 다반사이며, 뇌서지로 인하여 모터가 동작하는 예까지 있다.

## 3. Surge의 종류

### 3.1 발생 원인에 의한 분류

#### 1) 자연현상에 의한 Surge

Surge의 피해 중 가장 많은 피해를 입히는 것이 벼락으로 인한 피해다. 따라서 벼락에 관한 것은 장을 달리하여 다음에서 상술 하기로 한다.

#### 2) 개폐 및 기동에 의한 Surge

Inductive Switching. 내부적으로 발생하는

Surge로 75~90%가 여기에 속한다.

2.1) 개폐 Surge

Inductive load의 On/Off시 발생하는데, 계통 전력 공급선의 개폐나 사고 등으로 인한 전위 차이나, Inductive motor, Compressors (Turn Off/6,000V), Pump, Welding machines(용접기), Furnace igniter (점화기) 의 switch On/Off시 발생하는 Spike로 인하여 250~6,000V 의 Surge가 0~500ms로 발생한다.

2.2) 기동 Surge

Induction motor, DC motor drives, Inverter(or VVVF), Power switching, Elevators, 발전기, Compressors, Pump motors, 역을 개선용 Capacitor, Relay, Tr, IC 등의 작동 중에 250~1,000V의 Surge가 발생한다.

3) 정전기에 의한 Surge

ESD(Electro-Shortic Discharge)는 rise time이 2kv/ns로 빠르고 20kv 이상의 고압이므로 일반 lighting surge와는 구별하여 방지하여야 한다.

4) 핵에 의한 Surge

NEMP(Nuclear Eletro-Magnetic Pulse)는 rise time이 5kv/ns로 surge 중에서 가장 빠르다. NEMP는 크기와 주파수스펙트럼이 크기 때문에 NEMP펄스를 줄이거나 제어할 수 있는 R-C나 L-C필터는 구하기 어렵고, 서지방지기를 제작하기 위해서는 고도의 기술을 요한다.

5) Surge의 종류별 특성

	FIELD DENSITY OR MAGNITUDE	RISE TIME
NEMP	50KV/m @500km	5KV/uS
LIGHTING	3V/m @10km	600V/uS
STATIC DISCHARGE	20KV/m AT IMPACT	2KV/uS

3.2 전이 과정에 의한 분류

1) 전도성 Surge

송전선로, 금속배관, 전원 및 신호, 접지, 회로 등과 같은 도체를 통하여 유입되는 Surge를 말한다.

2) 유도성 Surge

갑작스런 전류의 변화로 인하여 인접회로에 유도되는 서지로 대표적인 것으로 낙뢰시 전원 cable과 인접한 signal cable 사이에 발생하는 것이다.

3) 전파성 Surge

공중파의 형태로 회로에 유입되며 대표적인 것이 FRI(Radio Frequency Interference)다. 요즘 항공기나, 병원 등에서 휴대폰이나 노트북 등의 사용을 금지하는 것도 이 전파서지가 예민한 전자기기에 오동작 등의 문제를 발생 시키기 때문에 취해진 조치다.

생산 공장의 경우에도 이 전파 서지의 피해는 많이 보고 되고 있으며, 자동화 장비가 점점 첨단화 되어 갈수록 그 피해는 빈도수도 늘고, 피해 규모도 비례하여 커지고 있다.

4) 복합성 Surge

상기 3가지가 복합적으로 전이되는 것으로 대부분의 서지가 이러한 형태를 취하고 있다.

3.3 Surge 형태에 의한 분류

1) 전류형 Surge

다량의 전류가 일시에 유입됨으로 인하여 열이 발생하고, 이로 인하여 IC 등 부품이나, 기판과 부품의 soldering 부위가 손상 된다.

전류형 Surge는 low impedance 회로에 많은 영향을 미친다.

2) 전압형 Surge

반도체소자의 절연내압 보다 큰 Surge전압이 침투하게 되면 절연 파괴에 의해 기능을 상실하



게 되며, MOS 소자가 손상을 입기 쉽다. 전압형 Surge는 high impedance 회로에 많은 영향을 미친다.

### 3.4 전원선에 의한 분류

#### 1) Normal Mode

Surge가 Line과 Line 사이, 또는 Line(Hot)과 Neutral 사이에 발생하는 것으로 controll system이나, 전자기기의 전자회로에 사용되는 반도체 소자를 파손 시킨다.

#### 2) Command Mode

Surge가 Line과 Ground 사이, 또는 Neutral과 Ground 사이에 발생하는 것으로 Processor의 Memory Logic을 파손 시킬 수도 있다.

Microprocessor or Digital Logic Controll System에서는 Neutral과 Ground 사이를 이론상의 Zero Voltage로 설정하기 때문에 Neutral과 Ground 사이에서 발생하는 Surge는 많은 문제를 일으킨다.

Command Mode Surge는 Software 문제, 즉 Memory Loss를 발생 시켜, 각종 Data의 출력에 이상을 초래할 수 있다.

Command Mode Surge는 부적절한 접지에 의해서도 발생한다.

### 4 Surge의 특성과 크기

Surge는 뇌운의 활동으로 일어나는 것으로 직접적으로 피해를 보는 것과 간접적으로 피해를 입을 수 있는 경우 두 종류로 분류할 수 있다. 직접적으로 피해를 주는 경우는 보호 대책에서 설명하기로 하고 이곳에서는 간접적인 유도뇌에 대하여 알아 보기로 한다.

#### 4.1 Surge의 특성

순시과전압(Transient)과 서지(Surge)는 국제기구(IEEE,UL,NEC 등)에서는 구분 하지

않으며, 일반적으로 같은 의미로 사용하고 있지만, General Semiconductor Industries에서는 Transient와 Surge의 특성을 다음과 같이 구분하고 있다.

<p>Transient</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지속시간이 8.4us보다 짧다.</li> <li>2. 정현파(sine wave)와 지수함수적인 파형이다.</li> <li>3.일반적으로 high impedance source와 관계가 있다.</li> <li>4. 과도전압 level은 표준작업환경하에서 수 mV에서 18,000까지의 범위다.</li> </ol>
<p>Surge</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지속시간이 8.4us보다 길다.</li> <li>2. 구형파와 지수함수적인 파형이 있다.</li> <li>3.일반적으로 low impedance source와 관계가 있다.</li> <li>4. Surge 크기의 90%가 표준동작준위의 2 배보다 작다.</li> <li>4. Surge 크기의 99%가 표준동작준위의 3 배보다 작다.</li> </ol>

#### 1) Transient의 구분

##### 1.1) Impulse Transient

상승 시간이 매우 짧고, 급속히 하강하며, 높은 에너지를 함유하고 있다.

단극성(Unipolar)으로 수백V 에서 수천V 까지 전위가 올라간다.

지속시간은 수msec 부터 200msec 까지다. Impulse Transient의 크기는 0V에서 부터가 아니라 sine-wave상에서 부터 측정된 수치다.

Positive Impulse Transient는 "Spike"라 부르기도 하며, Negative Impulse Transient는 "Notch"라 부르기도 한다.

##### 1.2) Oscillatory Transient or Ringwave Transient

상승 시간이 빠르고 수백Hz~수십MHz의 주파수로 oscillation을 하며, 지수함수적으

로 감쇄한다. Impulse Transient 보다 낮은 energy를 함유(250~2500V)하며, 보통 1cycle 이상의 지속시간(16.7msec)을 가진다.

\* Transient Sources

	Voltage	Current	Rise Time	Duration
Lightning	a)25KV/M	20KA	1.5 $\mu$ s이하	40 $\mu$ s
	b)8KV	1KA	10 $\mu$ s이하	1ns
Switching	a)2500KV이하	200A	10 $\mu$ s	1ns이상
	b)800KV이하	500A이하	50 $\mu$ s이하	10ns이상
EMP	a)100KV/M	10KA	10ns	150ns
	b)1KV	1KA이상	20ns	1 $\mu$ s
ESD	a)40KV/M	80A	1-5ns	100ns이상
	b)5-1KV	10A이상	10ns	100ns이하

5 전자부품에 미치는 영향

Surge 전압은 부품을 태울 정도의 큰 열에너지를 발산하는데 반해, 반도체의 집적도가 높아지고, 속도가 높아지면서 입력 impulse의 rising time이 높아지게 되고, 이는 반도체의 energy 수용 능력이 급속히 떨어지게 되어, Surge에 대한 대처 능력이 현격히 떨어지게 되었다. 따라서 반도체 소자를 내장한 장비들은 과도전압에 매우 약해 수십  $\mu$ s의 짧은 과전압 유입시에도 소자를 파괴 시키거나 열화시켜 수명 단축, 기능 저하 등을 초래한다.

-반도체의 파손한계(Failure Threshold)

Semiconductor Device Type	Disruption (Joules)	Disruption Energy(Joules)
Digital integrated Dircuits	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>
Analog integrated Dircuits	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>
Lower Noise Transistor & Diodes	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
High Speed Transistor & ICs	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>
Lower Power Transistor & Single Diodes	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-1</sup>
Medium Power Transistor	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>
Zeners & Rectifiers	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>
High Power Transistor	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>
Power SCRs and Power Diodes	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-6</sup>

특히 접합점이 많은 반도체소자는 접합점 파괴를 야기하여 소자의 과잉 누설전류를 흐르게

하므로 low impedance 회로를 형성하게 된다. 절연체인 경우 일시적인 과전압은 절연체에 따라 정도의 차이는 있지만 대부분 순간적인 절연파괴로 장비의 고장을 초래하는 절연항복을 가져온다.

\* Disruption Energy

소자의 전기적 허용 범위 내에서 기능적인 성능이 점차로 떨어지는 energy 내량을 말하며, 소자의 열화 및 memory error, 오동작 등이 일어나며, 지속될 경우 소자의 절연파괴를 초래한다.

\* Destruction Energy

소자가 절연 파괴되는 energy 내량을 말하며, system의 hardware를 직접적으로 손상시킨다.

6 서지의 측정

6.1 기존설비에서 발생하는 서지의 측정

설비에 유입되는 서지나 설비에서 발생하는 서지를 측정하기 위해서는 정밀한 장비가 필요하다.

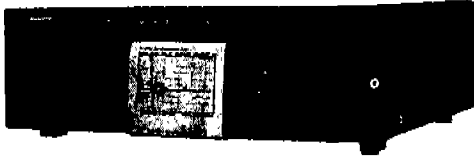
최소 150MHz(권장: 300MHz) 이상의 오실로스코프나 전력분석기로 측정해야 하며, 리얼타임으로는 볼 수 없으므로 limit event를 샘플링하여 저장할 수 있어야 한다.

위와 같은 장비를 갖고 있다면 서지의 측정에는 어려움이 없다. 주의할 점은 아주 강한 서지가 길게 발생하는 경우가 있으며, 이로 인하여 장비를 파손시키는 경우도 있으므로 이런 경우는 특히 주의하여야 한다.

본인이 모 제철소의 설비를 측정하던 중 6000V 이상의 서지가 ms 단위로 발생하는 것을 경험한 적이 있다. 이럴 경우 일반 측정기는 손상을 입을 가능성이 크다. 때문에 강한 서지가 우려되는 곳에는 1000:1 정도의 프로브를 사용하는 것이 좋다. 낮은 배율의 프로브는 대부분 고압에 취약하다.



측정시간은 가급적 긴 것이 좋다. 어떤 상황에서 발생할지 모르므로 가급적 모든 조건에서 측정이 이루어져야 하며, 시간에 따라 상황이 바뀔 수도 있기 때문이다.



6,180V 까지 1:1 측정이 가능한 전력분석기

### 6.2 인위적인 서지 측정

인위적인 서지 측정이란 인위적으로 서지를 발생시켜 제품이나 선로에 인가시키는 것을 말한다.

#### 1) 전자기기

일반설비에서는 인위적으로 서지를 인가하여 측정할 필요가 없지만 전자제품을 생산하는 경우라면 서지시험을 필히 거쳐야 한다. 국가의 인증을 받는 경우는 강제규정에 의하여 시행하여야 하는 경우도 많지만, 강제규정이 없더라도 서지에 대한 대책이 전혀 없다면 제품의 수명은 현격히 떨어지게 되며, 잦은 고장의 원인이 된다.

시험방법은 제품의 인입선(전원, 통신, 신호)에 다양한 전압과 전류 서지를 인가하여 서지에 어느 정도까지 견딜 수 있는가를 측정하는 방법과 특정 전압/전류의 서지를 제품에 인가하였을 때 제품에 이상이 있는가 유무를 판단하는 방법이 있다.

#### 2) 서지방지기

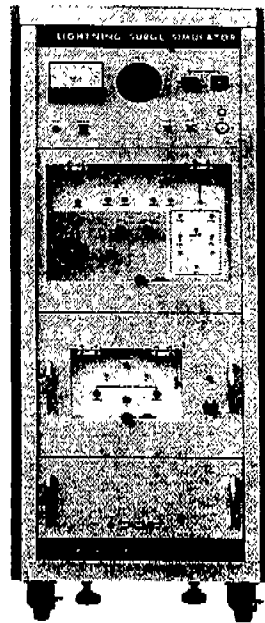
서지방지기의 경우 제 기능을 발휘하지 못할 경우 피보호 시스템에 치명적인 손상을 줄 수 있다. 때문에 이들을 제작하는 데는 다양한 서지를 반복적으로 실험하여 최상의 제품을 생산

하여야 한다.

서지방지기의 성능을 제대로 파악하지 못하고 출고하는 경우 믿고 사용한 사용자는 엄청난 피해를 입게 된다.

실제 예로 모 시스템 업체가 서지방지기를 가지고 와서 성능시험을 해 달라고 하여 시험을 하여준 적이 있다. 그 제품은 220V에나 사용할 수 있을 정도로 높은 서지역제전압을 나타냈다. 그런데 자신들의 제어시스템 중 485통신(5V)에 이 제품을 부착하여 지하철에 납품하였는데 낙뢰 피해를 입었다는 것이었다. 나중에 들은 바에 의하면 제조업체에서도 그렇게 높은 서지역제전압을 갖고 있는지 몰랐다는 것이다.

이러한 경우는 수입업체 출신들이 대부분인 국내 서지방지기 제조업체에 한정된 것이 아니라 외산 중에서도 이러한 문제가 발생하고 있다.



12,000V 까지 낙뢰 서지를 발생시키는 서지 시뮬레이터

다음호에 계속됩니다