

# 산업체 기고문

## 산업 플랜트의 서지 발생 실태 및 보호 대책

이재복 · 장석훈 ·

명성호 · 조연규

한국전기연구원

### I. 서 론

최근 산업 사회의 규모가 증대해지고 고도의 정보화 사회가 발전함에 따라 정보·통신 기기, 제어 기기, 자동화 기기 등 각종 전기 기기의 이용 증대와 더불어 양질의 전력에 대한 안정적 공급의 필요성이 한층 높아져 가고 있다. 한편, 전력용 정보 통신 기기는 각종 반도체 부품 및 기기의 소형화, 고밀도화, 집적화가 이루어지면서 뇌서지 등의 전자기 펄스에 대한 내전압 특성이 낮아졌으며, 이로 인한 전기 설비의 손상으로 인해 전력 계통의 신뢰도를 저하시키는 사고가 급증하고 있다. 따라서 이러한 서지로 인해 발생하는 피해를 최소화하고 적절한 피뢰 대책을 수립하기 위해 서지의 발생 기구에 관한 연구는 물론 산업 플랜트 현장에서 사고 양상과 발생 실태를 파악할 필요가 있다. 이와 같은 취지에 따라 최근 수년간 수행된 조사 실태 결과 중 몇 가지를 소개하고자 한다. 산업 플랜트의 전기, 전자, 통신 시스템 설비의 소손이나 전자기 외란(Disturbance) 등의 영향을 미칠 수 있는 서지의 발생원은 다음과 같다.

- 고전압 회로의 차단기, 단로기의 개폐 작용으로 인한 전기적인 과도 현상
- 낙뢰나 지락에 의한 접지계의 전위 상승 및 전기적 과도 현상
- 저압 설비의 개폐 작용에 의한 전기적 고속 과도 현상

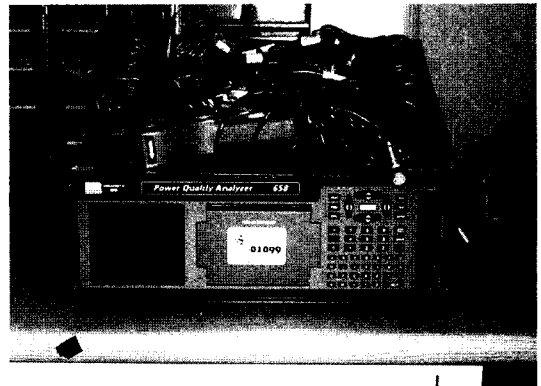
- 정전기 방전
- 전기, 전자 장비에서 발생하는 방사 혹은 전도 현상의 고주파
- 핵 전자기 펄스(NEMP)

### II. 산업 플랜트 서지 발생 현황

#### 2.1 서지 발생 현황

저압 회로에서의 서지 발생 현황에 관한 조사는 1960년대 중반 Bull-Nethercot 씨의 240 V 전원에 대한 과도 전압 모니터링 연구<sup>[1]</sup>로부터 1970대 Allen-Segal<sup>[2]</sup>의 IBM사의 컴퓨터 전원상의 전원 품질 측정 조사 연구, 1980년대 Goldsein-Speranza<sup>[3]</sup>의 컴퓨터 설비 전원에서의 10년간의 전원 품질 관측에 이르기까지 많은 조사자들에 의해 전원 품질 조사 과정의 일부로서 서지 전압의 크기와 파형에 대해 관측이 이루어졌었다. 그러나, 이들 관측 데이터는 측정 장치의 사양과 측정 환경에 따라 커다란 차이를 보이고 있다. 한편, IEC 및 IEEE 표준에는 실측 데이터를 근거로 하여 저압 수용가 전원 회로에서 발생 가능한 서지를 서지 발생 위치 카테고리에 따라 제시하였다<sup>[4],[5]</sup>. 이에 따르면 개폐 서지의 경우 6 kV 미만, 뇌 서지는 최대 20 kV 이하의 서지가 발생할 수 있는 것으로 보고 되어 있으나, 이들 시험 기준에 만족하는 서지 대책을 적용하였음에도 불구하고 실제 현

장에서는 서지 발생시 기기 오동작, 리셋 혹은 소손 현상이 자주 보고되고 있다. 이에 대한 주요 원인은 설비의 디지털화에 따른 내성 저하와 더불어 '70, 80년대 아날로그 기반의 측정 장치와 저속의 디지털 측정 장비를 사용하여 얻어진 부정확한 데이터를 기반으로 설비의 서지 시험 규격이 제시되었으며, 이는 국내의 전기 환경에서 얻어진 데이터가 아니므로 국내 상황을 반영했다고 볼 수 없어 다 본 조사 연구에서는 정밀 계측기를 사용하여 산업 현장에서 서지 전압 파형을 측정하였다.



[그림 1] 측정 장비 DWA 외형

## 2-2 산업 플랜트 서지 발생 실태

### 2-2-1 조사 방법

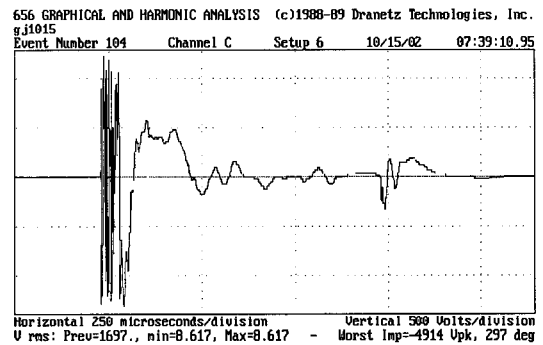
- DWA를 이용한 서지 모니터링
- 전원 및 신호선 유입 서지의 크기 및 빈도
- 접지, 배선, 접속 실태 조사
- 서지 보호 대책 실시 실태 조사
- 서지 침입 경로 및 피뢰침 보호 특성 조사
- 서지 보호를 위한 대책 및 설계

### 2-2-2 서지 발생 실태 조사

산업 플랜트에서 낙뢰로 인한 뇌서지와 각종 개폐 기류의 조작으로 인한 개폐 서지가 전원 회로 및 통신 회로에 어떤 양상으로 나타나는지 측정 조사함으로써 통신 설비의 서지 유입 경로와 발생 실태를 파악하고 보호 대책 방안을 강구하기 위하여 서지 발생 실태를 모니터링 분석하였다. [그림 1]은 측정에 사용된 DWA(Disturbance waveform analyzer)로써 뇌 서지에 취약한 곳을 선정하여 모니터링 장비를 설치하고 뇌 서지 침입 경로 및 양상을 측정 조사하였다. 측정 대상으로는 A공사의 관리 시설 및 아파트 같은 공동 주택을 대상으로 하였다.

#### 2-2-2-1 관리 시설(A공사)

측정 기간 중 임펄스 발생 횟수는 총 856회로 전



[그림 2] 뇌서지 전압 측정 파형 예

원측에서 발생한 임펄스는 23회, 신호측에서 발생한 임펄스는 831회로 대부분의 서지는 신호선을 통해 유입되는 것으로 측정되었다. [그림 1]은 서지 전압 파형의 예를 <표 1, 2>와 [그림 3]은 전원선 및 통신선에서 측정한 서지 전압의 크기 분포를 나타내고 있다.

#### 2-2-2-2 수용가 선로 유입 서지 측정

아파트를 비롯한 일반 수용가에 유입되는 서지를 측정하기 위해 PLDA(Power Line Disturbance Analyzer) 장비를 서지 침입이 예상되는 현장에 설치하여 서지의 피크 전압, 파형 등을 모니터링 하였다.

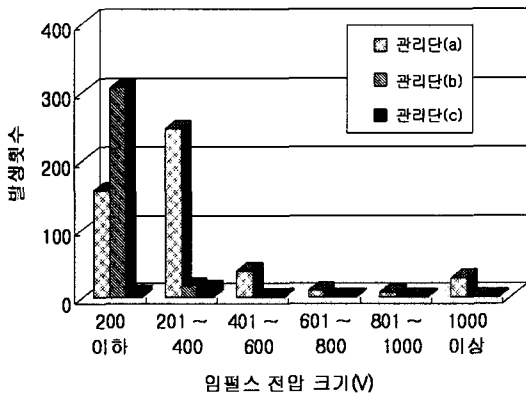
[그림 5~8]은 수용가에서 2006년 8월 14일부터

<표 1> 전원선에서 측정된 임펄스 전압 크기별 분포표  
[단위 : 횟수]

임펄스 전압(V)	관리단 (a)		관리단 (b)		관리단 (c)	
200 이하						
201~400	2.0		19.0		1.0	
401~600			2.0			
601~800						
801~1,000						
1,000 이상			1.0			
합계 (23회)	(+)극성	2	2	11	1	0
	(-)극성		0	11		1

<표 2> 신호선에서 측정된 임펄스 전압 크기 분포표  
[단위 : 횟수]

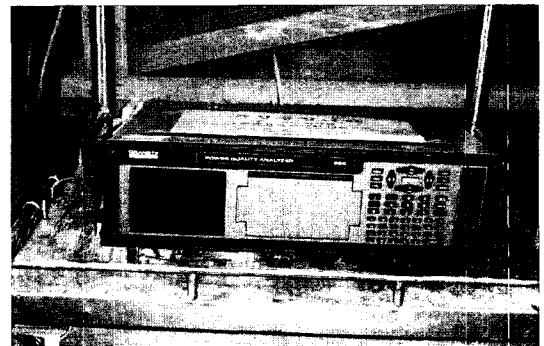
임펄스 전압(V)	관리단(a)		관리단(b)		관리단(c)	
200 이하	156		307		6	
201~400	247		17		14	
401~600	39					
601~800	10					
801~1,000	7					
1,000 이상	28					
합계 (831회)	(+)극성	487	288	324	201	11
	(-)극성		199		123	9



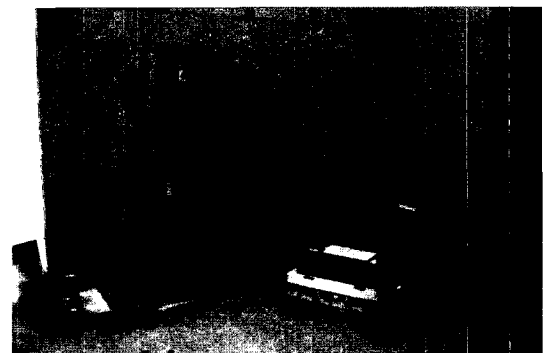
[그림 3] 서지 전압 크기별 분포도(신호선)

1. 측정기 설치 현황

설치 현장	경북 B 수련원 (뇌정산)			강원도 원주시 C아파트		
측정 일시	2006년 7월 21일 ~10월 24일			2006년 7월 21일 ~10월 24일		
대상 설비	자재 보관실 전원 라인 (단상 220 V)			엘리베이터 분전반 (3상4선 380 V)		
채널 별 측정 현황	채널	측정점	RMS	채널	측정점	RMS
	CH A	L - N	220 V	CH A	R - G	220 V
	CH B	L - G	226 V	CH B	S - G	220 V
	CH C	N - G	6 V	CH C	T - G	220 V
				CH D	N - G	1 V
비고	낙뢰 발생 빈도 높음			낙뢰 사고 발생 이력 (2건/년)		



(a) B수련원 측정 모습



(b) 엘리베이터 분전반 측정 모습

[그림 4] 서지 측정기 운용 현장

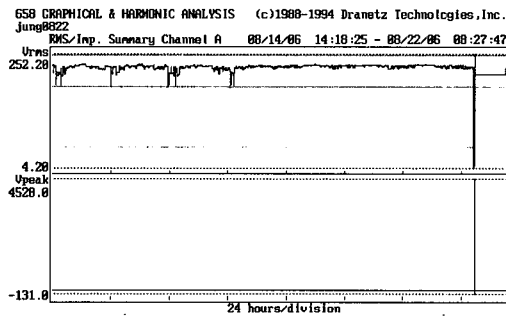
2006년 8월 22일까지 측정된 결과이다.

2. 분석 결과

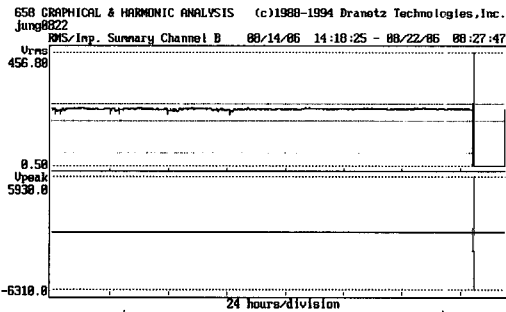
[그림 5]는 일정 기간 동안 모니터링한 결과를 요약해서 나타낸 것으로 각 채널별 RMS 및 Impulse에 대한 추이를 나타낸다.

나오는 대표적인 공통 모드 서지로써 뇌격시 대

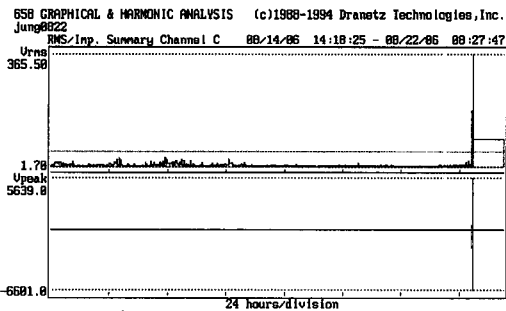
지로 큰 뇌격 전류를 방류하며, 이에 따라 대지 전위가 순간적으로 상승함으로써 선-대지(접지)간에 높은 전압이 발생하게 된다. [그림 6]은 동시에 측정된 각 채널별 파형으로써 Channel B(L-G)와 Channel C(N-G)에 높은 전압이 나타남을 확인할 수 있다. 측정된 데이터 중 400 V 이상의 임펄스에 대해서 발생 전압의 크기별 발생 빈도 분포를 [그림 7]에 나타내



(a) CH. A

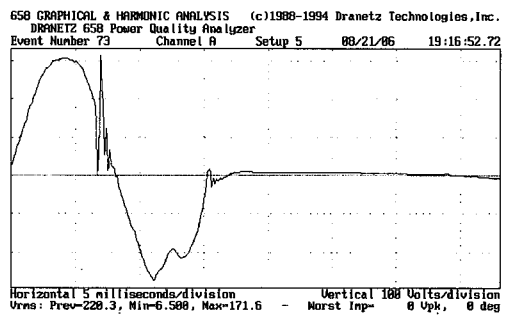


(b) CH. B

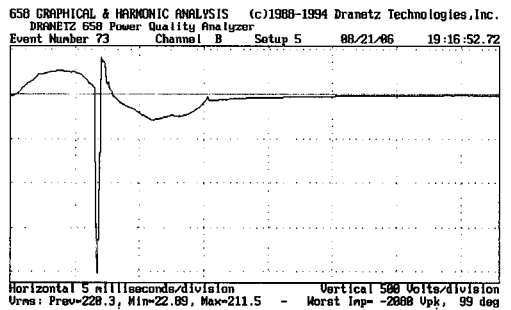


(c) CH. C

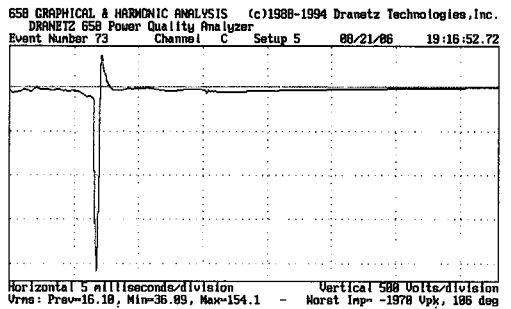
[그림 5] 서지 측정 Summary 예



(a) CH. A

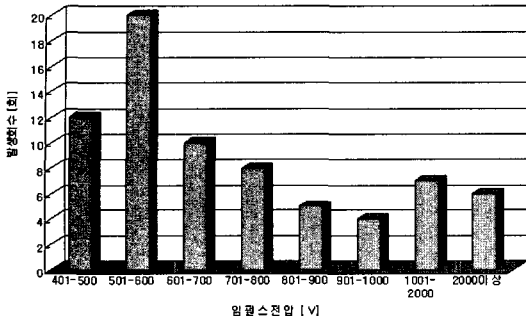


(b) CH. B



(c) CH. C

[그림 6] 채널별 서지 파형 예



[그림 7] 서지 전압 크기별 발생 빈도 분포

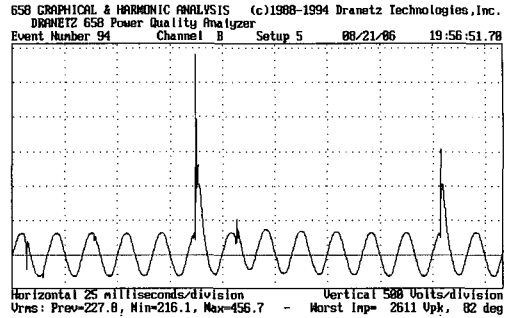
었다. 500~600 V 레벨의 서지가 많이 발생하였으며, 최대 6,600 V의 서지도 관측되었다. 1,000 V 이상의 서지는 뇌우를 동반한 우기에 집중적으로 발생하였으며, 그 뇌서지 파형의 예를 [그림 8]에 나타내었다. 이러한 결과는 비교적 짧은 기간에 일부 장소에서 얻어진 데이터로써 향후에는 넓은 범위에서 데이터를 수집시 다양한 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### Ⅲ. 산업 플랜트 서지 피해 현황

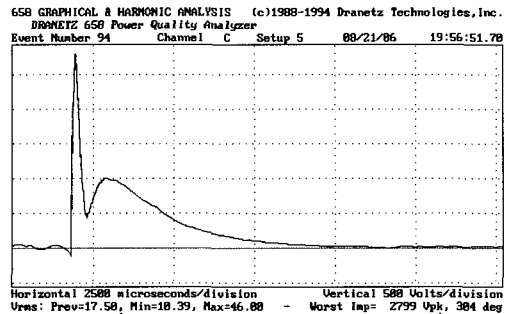
산업 플랜트에서 서지에 의한 피해 실태 조사를 수행한 일부를 <표 3>에 정리하였다. 발변전소를 비롯한 대규모 산업 플랜트에서 서지로 인한 피해가 발생하고 있었으며, 주로 통신 및 제어 관련 회로에 사고가 많이 발생하는 경향이 있다. 이는 전기 회로에 비해 집적화된 전자 회로가 서지에 대한 내성이 취약하기 때문이며, 이러한 제어 회로의 소손 또는 오동작으로 인한 사고의 파급 효과는 상당히 크다고 할 수 있다.

[그림 9]에 저압 회로 및 정보 통신 설비의 서지에 대한 피해 사례를 나타내었다. 설비 파손 원인은 근거리에서 발생한 낙뢰로 인해 유도된 과도 과전압에 기인한 것으로 분석된다.

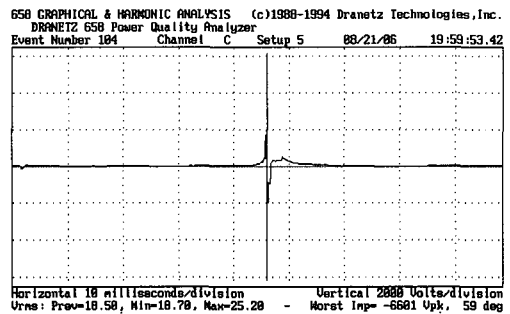
서지 침입으로 인해 전자회로의 소손은 물론 서



(a) 서지 측정 예(최대 전압 2,611 V)



(b) 서지 측정 예(최대 전압 2,799 V)



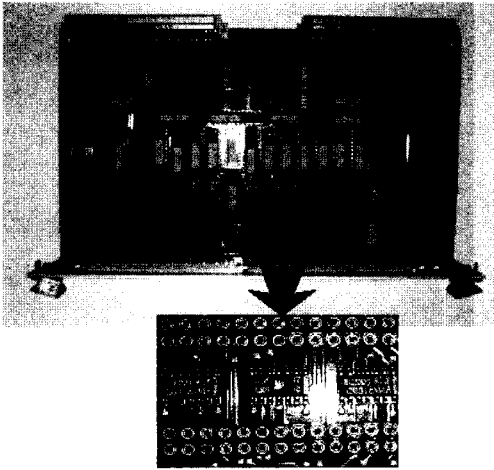
(c) 서지 측정 예(최대 전압 6,601 V)

[그림 8] 낙뢰시 발생한 서지 파형 예

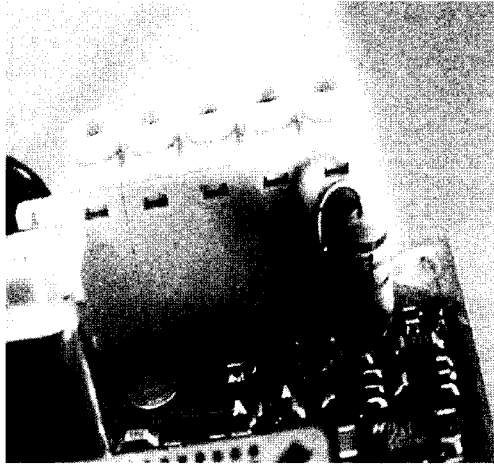
지 보호기의 소손 사례도 있었으며, 저압 회로에 적용되는 누전 차단기의 파손 사례도 보고되고 있다.

### Ⅳ. 산업 플랜트 서지 보호 대책

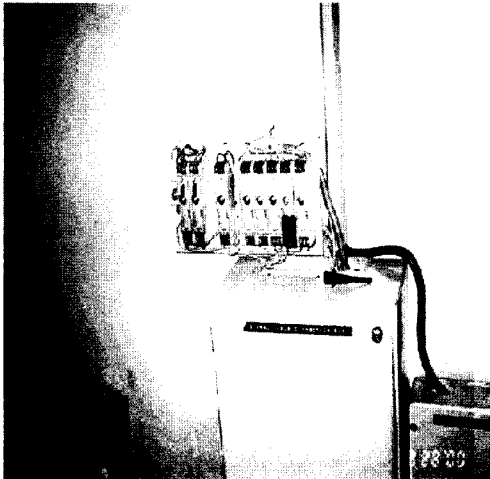
서지 보호 대책으로써 전원용 서지 보호기(SPP) 및



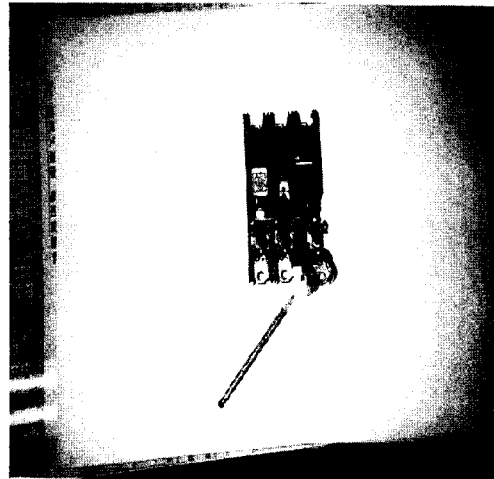
(a) 신호 변환 카드 IC 파손



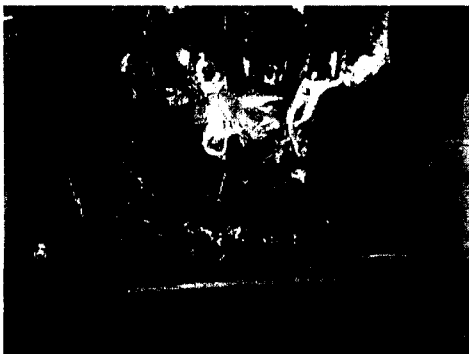
(b) 전자 회로의 파손



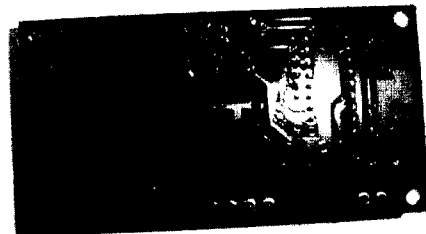
(c) 신호용 보호기의 파손



(d) 차단기의 파손



(e) 보호기 소손에 의한 분전반 화재 발생 모습



(f) 제어 회로의 파손

[그림 9] 뇌서지에 의한 피해 사례

<표 3> 이상 전압 피해 실태 조사 현황(2006년)

현 장	조사 내용
A공사 정수장	- 낙뢰에 의한 이상 과전압으로 인해 CCTV 시스템 소손 - 유량 및 수위 계측 시스템, 통신 장비 소손 발생 - 현장 조사 및 피해 원인 분석
B댐	- 서지에 의해 적외선 경보 장치 및 CSU 장비 소손 - 누전 차단기 오동작 - 서지 보호기 소손
C연구소 시험장	- 고층 안테나 타워의 서지 발생 현상 분석 - 계측 장비 서지 보호 대책
D공단	- 지하철 제어 시스템 장치 소손
E발전회사	- 양수 발전소 접지/제어 설비
F사업소	- 유량계, 제어 설비 소손 - 중앙조 정실 DSU 소손 - CCTV 카메라 소손 - 울타리 감시장치 소손
G정수장	- FEP 판넬 PLC 소손 - 유량계, 압력계, 수위계 센서 소손 - CCTV 시스템
H시설 관리 공단	- 가로등 자동 제어기 소손
I원전	- 압력 전송계 (PT) 소손 - 화재 경보 장치 오작동

신호용(SPDS), 동축용(SPCO) 보호기의 주요 설비별 설치 기법을 기술한다.

#### 4-1 UPS

UPS는 중요 장비에 고품질의 전원을 중단 없이 공급하기 위한 장비로 현재 일부 지역에서는 내뢰 변압기(TPT)를 UPS의 입력단에 설치하여 운용하기도 한다. 전원으로부터 유입되는 서지를 차단하기 위해서는 우선적으로 UPS 입력단에서부터 서지를 억제할 필요가 있다. 따라서 UPS의 입력단에는 전원용 서지 보호기가 필요하다. 보호기의 선정시 UPS

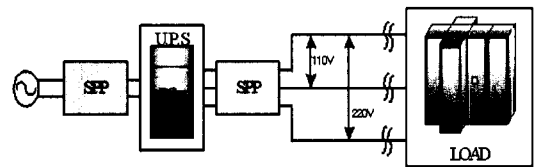
입력단의 전압(220 V 혹은 380 V)을 고려하여 선정하여야 하며, 보호기의 접지는 UPS의 외함 접지에 접속되는 것이 바람직하다. 이 때 분당을 위한 리드선은 가능한 한 짧게 하여야 한다. UPS의 출력으로부터 전원을 공급받는 설비까지의 경로가 긴 경우(직선 거리 50 m 이상의 외부 현장에 설치된 CCTV 전원) UPS 후단에도 보호기를 설치할 필요가 있다.

#### 4-2 MODEM

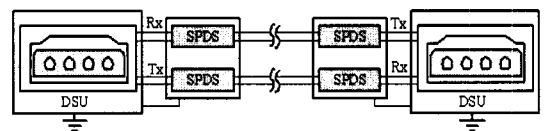
각 산업 현장의 중앙 조정실에서는 각 현장 설비의 모니터링 및 신호 제어가 가능한 구조로 운용되고 있다. 이는 각 현장에서 얻어지는 데이터를 LPU 판넬이나 TM/TC 판넬 등에서 종합하여 DSU 또는 모뎀을 통해 수신하고 제어 신호를 전송함으로써 이루어진다. 이러한 DSU간의 신호 통신 선로는 대체로 매우 긴 편이며 이들 통신 라인을 통해 서지가 유입될 수 있다. 따라서 각 DSU마다 2회선(Rx, Tx)의 데이터 신호용 보호기(SPDS)가 설치되어야 한다.

#### 4-3 CCTV 시스템

CCTV시스템에서 카메라가 옥외에 설치된 경우에는 낙뢰나 서지 등에 직접적으로 노출되어 있는



[그림 10] UPS에 대한 서지 보호기의 설치



[그림 11] DSU에 대한 서지 보호기의 설치

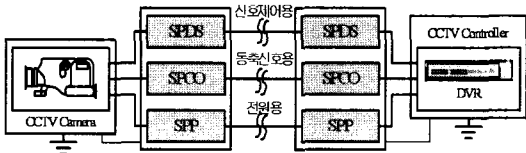
현실이다. 이를 보호하기 위해서는 동축 신호용 보호기(SPCO)가 필요하며, 카메라의 각도 제어를 위한 신호선이 있는 경우에는 추가적으로 데이터 신호용 보호기(SPDS)도 설치되어야 한다. 또한, 전원으로 유입되는 것을 방지하기 위해 전원용 보호기(SPP)도 필요하다. 이들 보호기는 카메라의 제어반 박스안에 설치하며, 이들 신호를 수신하는 DVR 장비의 신호 입력단에도 설치되어야 한다.

#### 4.4 유량계 및 압력계

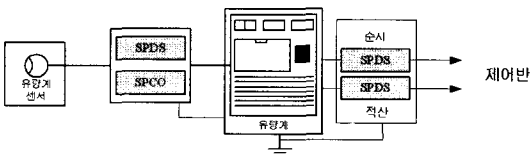
유량계 및 압력계는 서지에 민감하며, 절연 내력이 매우 낮으므로 유량계/압력계의 Local 단자에 신호용 보호기의 설치가 요구된다. 유량계의 경우, 순시치와 적산단자가 있는 경우 두 회선 모두에 대한 보호 대책이 요구된다. 동축용 케이블을 사용하는 센서에서는 신호를 감쇠없이 전송하기 위해서는 주파수 특성(Bandwidth=DC~4 MHz)이 우수한 동축용 보호기가 선정해야 한다.

#### 4.5 현장 계측 센서

대부분의 현장 계측 센서는 보통 계측된 센서량을 4~20 mA 아날로그 신호로 변환하여 데이터를 장거



[그림 12] CCTV 시스템에 대한 서지 보호기의 설치

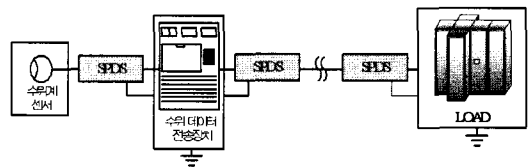


[그림 13] 유량계/압력계에 대한 서지 보호기의 설치

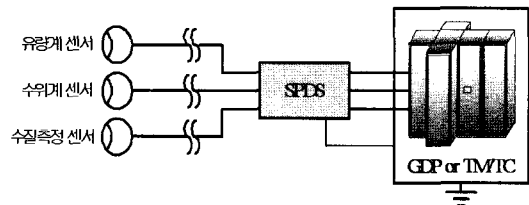
리 통신 선로를 통해 전송하거나 직접 신호선 전체가 원격의 중앙 조정실 혹은 통신실에 전송된다. 따라서 장거리 통신 선로에는 유도뢰 과전압과 대지전위 상승으로 인한 과전압이 선로로 유입될 가능성이 매우 높기 때문에 데이터 전송부와 수신부 양단에는 각 회선을 보호하기 위한 데이터 신호용 보호기가 삽입되어야 한다.

#### 4-6 GDP 및 TM/TC 판넬

중앙 감시 판넬이나 TM/TC 판넬은 각 현장의 센서에서 전송되는 신호를 표시하거나 분석하고 다른 장소로 신호를 전송한다. 따라서 옥외에 설치되어 서지가 유입될 수 있는 환경에 노출된 각종 센서를 통해 서지가 전파될 수 있으므로 이들 신호의 입력단에 각 회선마다 보호기가 설치되어야 한다. 또한, 센서가 옥내에 설치된 경우라도 그 전송 경로가 장거리이거나 옥외에 노출되어 있다면 역시 보호기를 설치하는 것이 바람직하다.



[그림 14] 현장 계측 센서에 대한 서지 보호기의 설치  
※참조: 비접촉식 센서의 경우 센서측의 SPDS (신호용 Surge protector)가 불필요.



[그림 15] GDP 및 TM/TC 판넬에 대한 서지 보호기의 설치



#### 4.7 기타 설비

기타 지락 및 낙뢰의 침입 가능성이 많은 외부 현장에 노출되어 설치된 전원 및 신호 회로는 다음과 같은 곳에 서지 보호기를 사용하여 서지 대책이 이루어져야 한다.

- 전원실의 외부 전원 인입부와 출력부
- 전원 출력부중 외부로 연결된 전원선
- 제어 실내의 각종 패널로부터 외부로 인입, 인출되는 신호선

### V. 결 론

최근 산업 사회의 규모가 증대해지고 고도의 정보화 사회가 발전함에 따라 정보·통신 기기, 제어 기기, 자동화 기기 등 각종 전기 기기의 이용 증대와 더불어 낙뢰, 서지 등의 서지에 의한 고장이나 사고 사례도 증가하는 추세이다. 이에 본 기고에서는 국내의 산업 플랜트 및 공동 주택 등에 발생하는 서지 데이터를 장기간 측정 분석한 일부를 소개하였다. 측정 결과 뇌우를 동반하는 우기에 1,000 V 이상의 서지가 집중적으로 발생하였으며, 6 kV 이상의 서지도 관측되었다. 이러한 전압은 신호, 제어 기기에 파

해를 주기에 충분하며 적절한 보호 대책이 마련되어야 한다. 또한, 산업 플랜트에서 발생하는 전자 기펄스에 의한 피해 실태를 조사하고 설비별 기본적인 대책 방안을 소개하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] H. Bull, M. A. Nethercot, "The frequency of occurrence and magnitude of short duration transients in low-voltage supply mains", *Radio Electronic Engineer*, Sep. 1964.
- [2] G. W. Allen, D. Segall, "Monitoring of computer installation for power line disturbances", *Presented at the IEEE PES Winter Meeting Conference*, New York, Paper C74199-6, Jan. 1974.
- [3] M. Goldstein, P. D. Speranza, "The quality of U.S. commercial ac power", in *Proc. INTELEC Conf.*, 1982.
- [4] IEEE Recommended Practice on Surge Voltage AC Power Circuit, C62.41-1991.
- [5] IEC 664-1980, "Insulation coordination within low-voltage system including clearances and creepage distance for equipment".

≡ 필자소개 ≡

이 재 복



1985년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학사)

1987년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학석사)

1999년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학박사)

1987년 2월~현재: 한국전기연구원 전기환경연구그룹 책임연구원, 전자기과도현상 대책기술 팀장  
[주 관심분야] 전력계통 서지해석/대책, 접지계 해석

장 석 훈



1996년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학사)

1999년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학석사)

2003년 2월~현재: 한국전기연구원 환경연구그룹 선임연구원

[주 관심분야] 전력계통 서지해석/대책,

접지계 해석

명 성 호



1981년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1983년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1996년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)

1985년 8월~현재: 한국전기연구원 전기

환경연구그룹장

[주 관심분야] EMI/EMC, ELF EMF, 전기환경 등

조 연 규



2003년 2월: 경남대학교 전기공학과 (공학사)

2005년 8월: 국립창원대학교 전기공학과 (공학석사)

1988년 2월~현재: 한국전기연구원 전기환경연구그룹 선임기술원

[주 관심분야] EMI/EMC 대책설계, ELF

EMF, 전기환경 대책설계