

## 옥외용 전자장비의 낙뢰 서지 대책

### Protecting electronic equipment against lightning surge

임 순 재\*·이 주 광\*·이 완 규\*·최 만 용\*

S. J. Lim · J. G. Lee · W. K. Lee · M. Y. Choi

(1995년 5월 8일 접수, 1997년 3월 28일 채택)

#### ABSTRACT

Precision electronic equipments for outdoor use are composed of sophisticated microcircuits that are extremely vulnerable to lightning-caused voltage spike. This transient voltage spike may cause upset, latent failure or interference on electronic equipments.

In order to develop efficient lightning protection measures on AC power lines of a road traffic controller as a electronic equipment for outdoor use, experimental surge immunity tests were conducted according to IEC standard 801-5. The combination of gas tube arrester and metal-oxide varistor was installed at the input of AC power lines and the silicon avalanche suppressor installed at the output of DC power supply for the lightning protection measures.

#### 1. 서 론

교류 전원을 이용하여 작동되는 옥외용 전자장비들이 전원선을 통하여 침입하는 전기 노이즈에 감응되어 오동작이나 고장을 초래하여 많은 산업 안전 문제를 일으키고 있다. 낙뢰에 의하여 사용 전압이 급상승하는 서지(surge), 전원 스위치 개방에 의하여 발생하는 유도 서지, 릴레이나 모터류에 의하여 발생하는 버스트(burst) 노이즈, 정전기 방전(electrostatic discharge) 등을 포함하는 전기 노이즈의 발생은 정밀 전기·전자기기에 장해현상

을 일으키는 바, NC 공작기계가 공구교환시 오동작을 일으켜 공구를 부러뜨리거나, 로봇트가 명령과 상관 없는 동작으로 주변 기계 또는 인체와 충돌을 일으키거나, 정전기 방전으로 인하여 컴퓨터가 오동작을 하거나, 번개치는 날 교통신호제어기가 제어기능을 잃어 교통사고를 일으키거나, 병원에서 수술 중 의료기기의 고장으로 인명을 잃는 등 여러가지 문제를 야기시키고 있으며, 이들 사고들은 심각한 사회·경제적 문제를 일으키고 있는 실정이다. 마이크로프로세서를 사용한 전자 장비의 불량 중 75% 이상이 낙뢰, 유도성 부하의 개폐,

\* 한국표준과학연구원

정전기 등에 기인한다고 발표되고 있다<sup>4)</sup>.

한편, 유럽연합은 이러한 옥내외에서 사용되는 전기·전자 제품의 산업안전을 위하여 1996년 1월부터 유럽연합 영역에 수출되는 모든 전기·전자제품 즉, NC 공작기계와 같은 산업기계, 전원에 의해 동작되는 의료기기, 컴퓨터와 같은 업무용 기기, TV와 같은 가전제품 등에 상기 노이즈에 대한 내성시험을 의무적으로 요구하고 있다.

## 2. 문헌 연구

전기·전자 제품이 전도 노이즈에 감응되는 주된 이유는 제품내 존재하는 전자부품들이 대부분 디지털 회로를 구성하고 있는 바, 이러한 디지털 회로가 펄스에 의하여 동작되기 때문이다. 즉, 디지털 회로가 전도성 노이즈를 하나의 신호로 여기기 때문에 전혀 예기치 못한 동작을 하여 결국은 제품이 오동작을 하게 되는 것이다. 최근의 디지털 회로는 꾸준히 그 동작주파수와 동작시간이 빨라지고 있으며, 동작전압의 범위도 좁아지고 있고, 제품의 크기도 현저하게 작아져 그에 따른 감응성이 보다 민감해지고 있는 것이 주지의 사실이다.

네 곳의 송배전 시스템에서 1년간 낙뢰를 측정 한 결과 모두 952회의 방전 전압이 기록되었다<sup>7)</sup>. 가장 큰 전압은 27.9kV였고 95%의 서지는 17kV 이하의 크기를 가졌다. 상대적으로 낙뢰 전압이 낮은 것은 발생한 낙뢰 전압이 대부분 직접적인 것이 아니고 측정소 근처에 있는 나무나 건물 등에 떨어진 낙뢰로부터 유기된 것이기 때문이다. 약 60~80%가 유기된 서지 전압이다. 또 다른 1년간 방전 전류 측정하였는데, 모두 357개의 방전 전류가 측정되었다. 가장 큰 방전 전류의 피크치는 28kA이었고, 약 95%의 방전 전류의 크기는 2kA 이하였다.

현재 상용화되고 있는 많은 전자기기들(TV, 라디오, 스테레오 장비)은 2핀 플러그를 사용하므로, 그 2선간에만 서지 억제 소자를 필요로 하지만, 전자레인지는 안전을 위해 접지를 사용하고 있으므로, 각 전원선-접지 사이 및 전원선간에 3개의 소자를 사용하는 것이 가장 좋고, 접지선을 포함하여 2개만 사용하여도 서지역제효과가 있는 것으로 보고 있다<sup>2)</sup>.

이론적 연구로 바리스타를 시불변 비선형 저항으로 모델링하여 PC상에서 모의 실험을 한 바도 있다<sup>3)</sup>. 전원선을 3m의 크기로 집중정수회로로 모델링 하였고, 모델링 회로의 수치는 실험에 의해 얻었으며, 모의 실험 결과는 실험에서 측정 한 값과 유사하였다.

교류 전원선의 서지 대책 수립시 다음 조건을 고려하여야 한다<sup>1)</sup>.

① 대부분의 에너지가 피뢰기에 가해지도록 하여야 한다.

② 작은 양의 서지 전압만이 피뢰기를 통과하도록 하여야 한다.

③ 장비에는 충분히 작은 피크 전압만이 걸리도록 하여야 한다.

모뎀이나 LAN처럼 네트워크로 연결된 컴퓨터 장비들은 대부분 I/O 라인에 서지에 대한 대비가 없어 40~90V 정도의 서지에 의해서도 쉽게 손상을 입고 있다<sup>4)</sup>. 전화국에 설치된 보호소자들은 대부분 500V 이하의 서지는 그대로 통과시키기 때문에 모뎀과 같은 통신 장비에는 보조적으로 보호소자를 붙여야 한다. 한편, 고속 응답화, 소형화, 저용량화가 요구에 따라 방호기능이 우수한 제너다이오드를 내장한 전압 제어형 사이리스타를 개발하기도 하였다<sup>5)</sup>.

전원 필터는 전원선에 유기된 노이즈 전압을 제거하거나 과도파의 작용을 느리게 함에 따라, 부하에 병렬로 설치된 서지 피뢰기가 이온화 시간을 갖도록 하여 대부분의 에너지를 제거할 수 있게 한다<sup>6)</sup>. 한편, 6.5kA의 전류에 견딜 수 있다고 하는 바리스타의 규격은 오직 한번의 펄스에 대해서만 유효하고 6.5kA의 펄스를 10회 정도 인가하면 2kA이상의 전류에 견딜 수 없게 된다<sup>6)</sup>.

가로 1.5km 세로 2.5km의 면적에 40군데의 구멍을 파서 각 구멍의 수위(水位)를 측정하는 시스템을 설치하여 8년에 걸쳐 측정이 행해졌다. 이 시스템을 운용하는데 필요한 낙뢰 보호장치의 경우가 설명되었다<sup>8)</sup>.

## 3. 낙뢰 서지 내성시험, 대책 및 고찰

현재 국내에서 설계 제작되고 있는 3개 회사의 교통신호제어기를 옥외용 전자장비로 선정하여 낙뢰 서지 내성 시험을 국제시험규격 IEC 801-5에

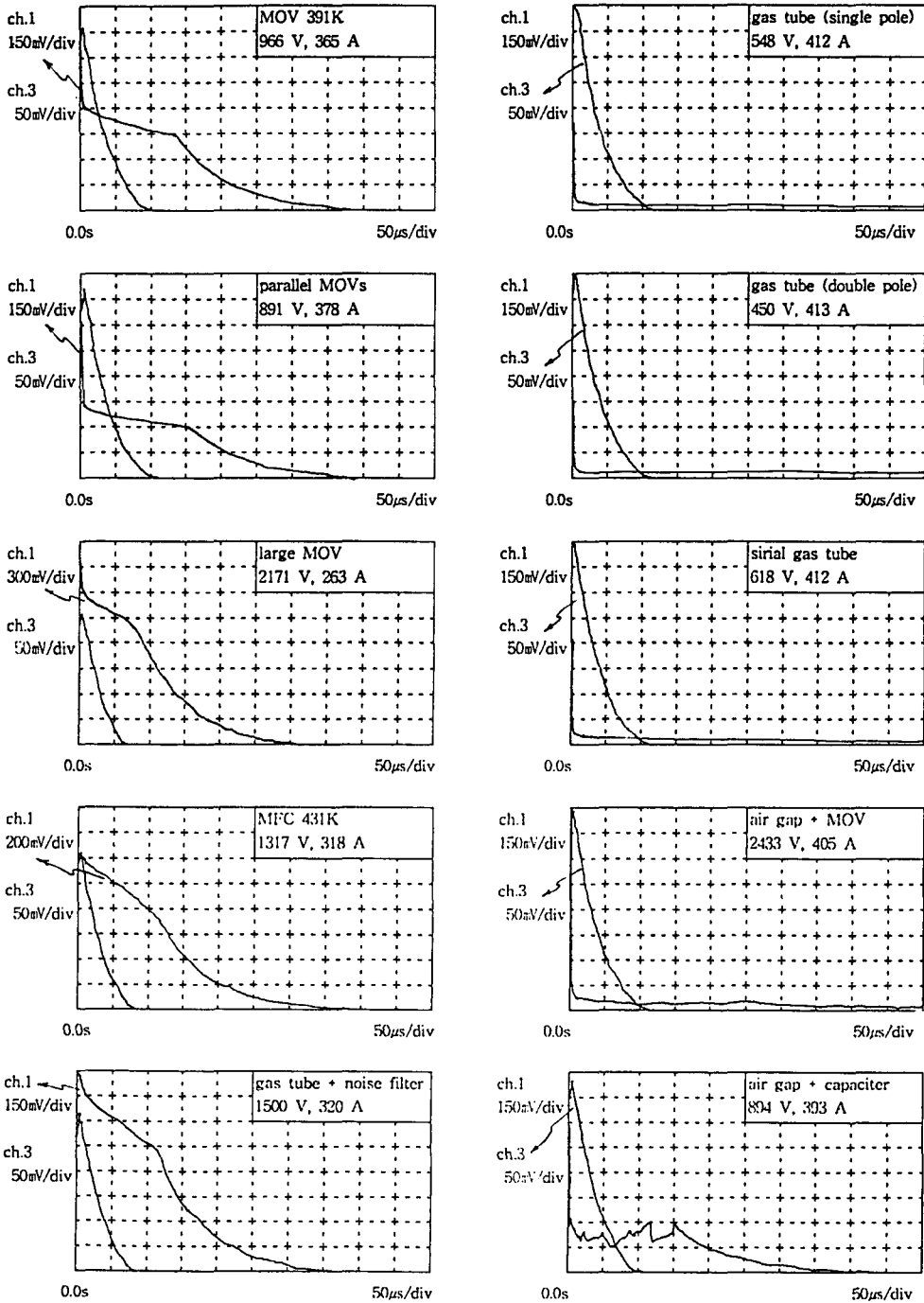


Fig. 1 Surge absorbing characteristics of protector against the high impedance combination wave  
 3 : 1 volt of figure=1000 Amps) (channel 1 : 1 volt of figure=1000 volts, channel

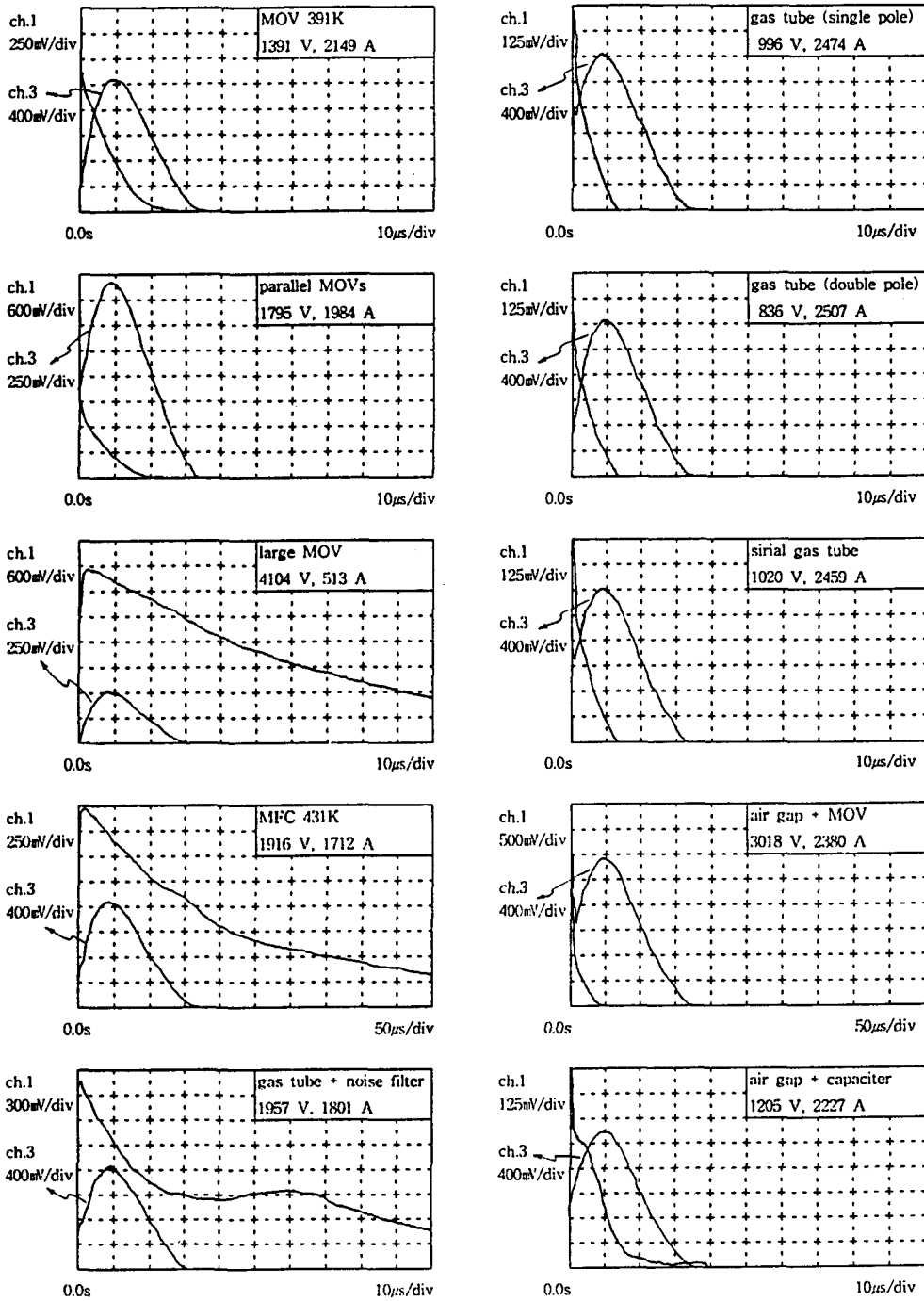


Fig. 2 Surge absorbing characteristics of protector against the low impedance combination wave (channel 1 : 1 volt of figure=1000 volts, channel 3 : 1 volt of figure=1000 Amps)

의거하여 실시하였다. 교통신호제어기를 피시험 기기로 선정할 이유는 교통신호제어기가 주제어장치에 마이크로프로세서를 사용하고 있으면서, 실제로 옥외에 설치되어 여름철에 낙뢰 서지의 피해를 당하고 있기 때문이다. 그 어느 정밀 제어기기도 이러한 열악한 환경에서 운용되고 있지 않기 때문에 교통신호제어기에 낙뢰 서지 대책 기술을 수립하면 그 보급효과가 크리라 생각되었기 때문이다. 종전에 대책을 세운 교통신호제어기에 개방회로 전압 5000V, 단락회로 전류 3000A의 조합파형을 인가한 결과, 3개 회사 제품 모두 오동작을 보이거나, 교통신호제어기 내부에 있는 모순 검지 회로가 작동하여 적색 등을 점멸하는 오동작을 보이거나, 혹은 모든 동작이 정지되는 고장현상을 보였다. 종래에는 낙뢰 서지에 대한 대책으로 주로 가스 피뢰기나 바리스타를 단독으로 전원선과 접지사이에 연결한 것이 주를 이루었다. 바리스타는 낙뢰 서지를 몇차례 흡수하면 그 특성이 매우 나빠지며, 특히 누설 전류가 많아져 발열 되어 화재의 원인이 되기도 한다. 따라서 별도의 화재에 대한 안전 대책이 필요로 하나 국내에선 거의 무방비 상태인 것으로 나타났다. 독일의 경우 전원선에 바리스타 단독으로 사용하는 것을 규제하고 있는 실정이다.

그래서, 본 연구에서는 교통신호제어기에 낙뢰 서지 대책을 세우기 위하여, 시중에서 유통되고 있는 여러 종류의 피뢰용 소자를 구입하여 서지 흡수 특성을 실험하였다. Fig. 1은 소자가 전원선-접지사이에 설치되었다고 가상하여 서지 조합파형을 인가했을 때의 흡수특성이고, Fig. 2는 소자가 전원선-전원선사이에 설치되었다고 가상하여 서지 파형을 인가했을 때의 흡수 특성이다. 각 그림의 우측 상단에 소자의 종류와 시험파형발생기 내부에서 측정된 전압-전류 최대값을 참고로 명시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 바리스타(MOV: Metal-Oxide Varistor) 종류는 가스 피뢰기(gas tube arrester)종류보다 소위 '크로우바(crowbar)' 현상이 없어 고주파 노이즈의 발생을 억제한다. 이상의 결과를 참고하여, Fig. 3에 보인 것처럼 AC전원 입력단에 가스 피뢰기와 바리스타를 직렬로 각 전원선(L1, L2)과 접지선(PE)사이에 설치하였다. 이렇게 직렬로 연결하면 누설전류에 의한 화재 위험이 극히 줄어들게 된다. 그리고나서 개

방회로 전압 5000V의 조합파형을 각 AC 전원선과 접지선 사이에 극성(+)와 (-)로 각 5회씩 인가하였다. Fig. 4는 서지 발생기의 출력을 differential mode로 측정된 오실로스코프의 결과이며, Fig. 5은 가스 피뢰기와 바리스타의 뒷단에서 같은 방법으로 측정된 결과이며, Fig. 6는 교통신호제어기 내부에 있는 직류 전원 공급기의 출력을 나타낸다. Fig. 7은 개방회로 전압 5000V의 조합파형을 AC전원선 L1과 L2사이에 인가한 것을 differential mode로 측정된 결과이며, Fig. 8은 가스 피뢰기와 바리스타의 뒷단에서 전원선 L1과

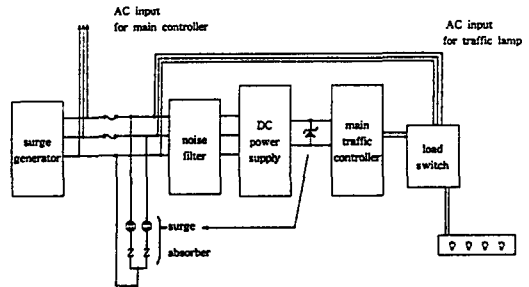


Fig. 3 Surge protection on power lines in equipment

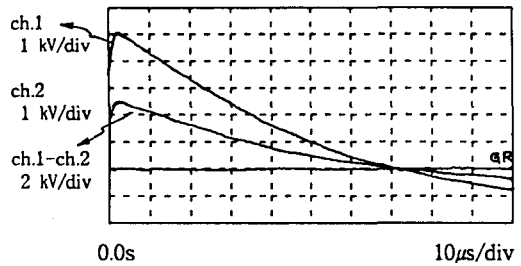


Fig. 4 Surge wave applied between line and earth and measured by differential probe

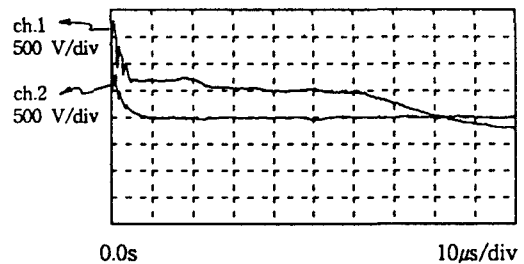


Fig. 5 Surge wave applied between line and earth and measured at the output of surge absorber via differential probe

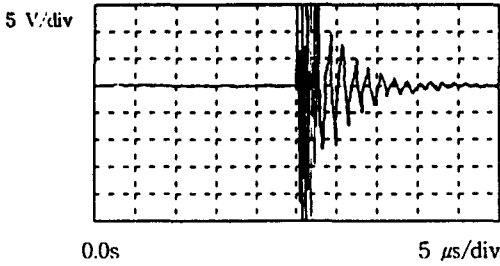


Fig. 6 Ringing on DC 5V line caused CPU upset

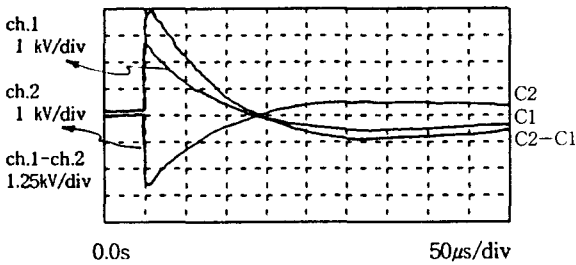


Fig. 7 Surge wave applied between line and line and measured by differential probe

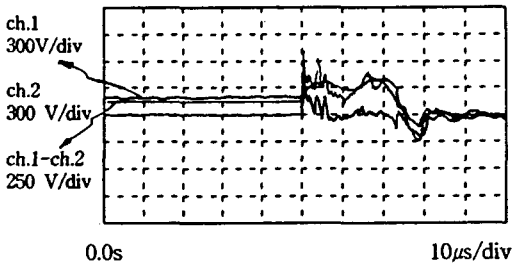


Fig. 8 Surge wave applied between line and line and measured at the output of surge absorber via differential probe

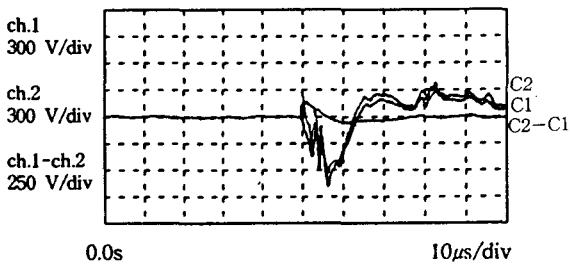


Fig. 9 Surge wave applied between line and line and measured between line 1 and earth at the output of surge absorber

L2 사이를 측정한 결과이며, Fig. 9는 전원선 L1과 접지선 PE 사이를 측정한 결과이며, Fig. 10은 전원선 L2와 접지선 PE 사이를 측정한 결과이다. 이 때에도 직류 전원 공급기의 출력은 Fig. 6과 유사하였다.

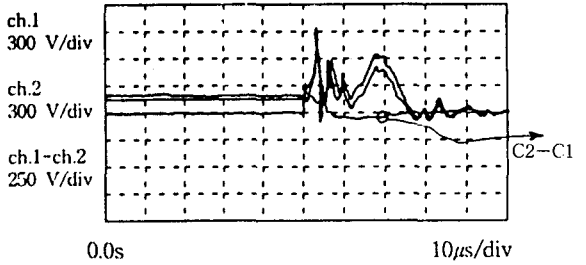


Fig. 10 Surge wave applied between line and line and measured between line 2 and earth at the output of surge absorber

시험결과 교통신호제어기는 마치 주제어기의 cpu를 reset한 것처럼 초기조건으로 점프하는 오동작을 보였다. AC전원 입력단에 여러 종류의 피뢰용 소자를 조합하거나 복합형 소자를 단독으로 설치하여, 같은 방법으로 낙뢰 서지 내성 시험을 해 보았으나 결과는 비슷하였다.

그래서 주제어기 내부의 각 프린트 회로 기판 직류전원 입력단에 클램핑 전압 15V의 실리콘 애버랜치(avalanche) 다이오드를 설치하였더니, Fig. 11에 보인 것처럼 직류 전원이 상당히 안정되는 것을 볼 수 있었으며, 교통신호제어기도 정상적으로 동작하였다. 결국 낙뢰 서지에 대한 정밀기기의 대책은 피뢰용 소자들에 의하여 사용기기의 교류전원 입력단에서만 처리해서 되는 것은 아니라고 생각된다.

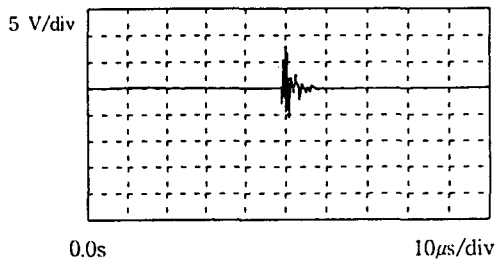
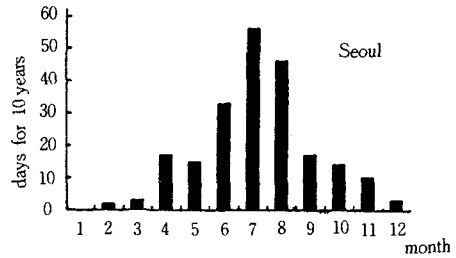


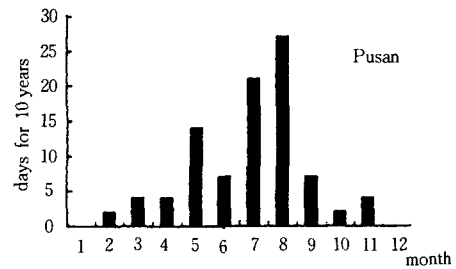
Fig. 11 Ringing on DC 5V line

Table 1 Thunderstorm days for 10 years in local area

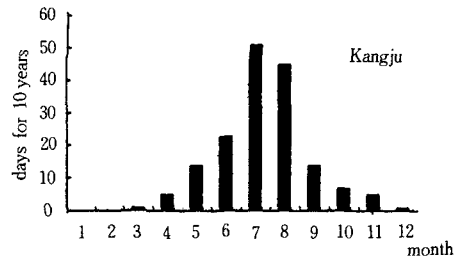
년월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
84				1	1	3	7	7	3	2			24
85				1	1	4	5	10	2	1			24
86					2	5	4	7		2	1		21
87					1	1	2	9	1		2		16
88				2		1	6	1	2		2		14
89				3	2	3	3	4		2	1		18
90		1	1	3	6	10	4	3	1	1	3		33
91		1			1	7	2	3	2	2			18
92		2		5	3	6	8	1	1	3	1		30
93		1	1	2	3	4	1	2	1				18
원계	2	3	17	15	33	56	46	17	14	10	3		



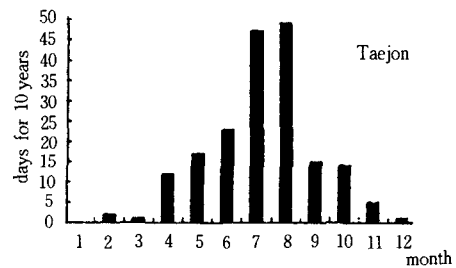
년월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
84	1				1		1	3	2				8
85							1	1	2	1			8
86					1	1				1			4
87							1	4					5
88			1	2			3	4				1	11
89	1	1		1	1	3	5				1		13
90					3		2	1	1				7
91			1	1	3	2	5	1	1		1		15
92					4	1	1	1			1		8
93		1	1	1	2	4	3	1					13
원계	2	4	4	14	7	21	27	7	2	4			



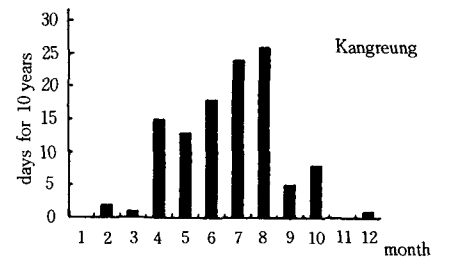
년월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
84					3	3	5	4	5	2			22
85				2	5	7	6	3	1				24
86					3	2	4	8		1			18
87							3	6					9
88				1	1	1	6				2		15
89					1	3	5	8	2		1		20
90					2	2	8	7		1	1		21
91			1	1	2	1	4	1	2				12
92				2		3	1			2	1		9
93		1			3	6	4	2	1				17
원계	1	5	14	23	51	45	14	7	5	1			



년월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
84			1	1	2	1	1	7	1				14
85				1		3	3	1	1				12
86						5	1	5		2			13
87		2			1			1				1	8
88				6									6
89			1		1	3		2	3				10
90				6	1	6	3		1				17
91				2	1	1	1		1				8
92				3	2	2	3						11
93				3	4	3	3	1					11
원계	2	1	15	13	18	24	26	5	8	1			



년월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
84				1	1	4	4	7	3	1			24
85				1		1	9	7	6	2			29
86					2	2	1	9		3			17
87		1		1	1		2	10					15
88				2		1	5	2				2	12
89	1		1	3	3	8	2	2	2	2			22
90		1		2	3	7	1	2		1			30
91					1	1	3		1	1	1		8
92				2	3	1	3	1		2	1		19
93				4	1	1	5	1	1	3		1	20
원계	2	1	12	17	23	47	49	15	14	5	1		



#### 4. 결 론

본 연구에서는 낙뢰 서지 내성에 관한 국제시험 규격인 IEC 801-5에 의거하여, 국내에서 설계 제작된 마이크로프로세서를 이용한 교통신호제어기에 낙뢰 서지 시험을 수행하였으며, 그 대책기술로써 가스피뢰기, 바리스타, 실리콘 애버랜치 다이오드 등을 사용하여 교통신호제어기 AC 전원선 사이와 동 제어기 내부의 프린트 회로 기판 상에 적절한 대책을 세워, 전원선에 실리는 낙뢰 서지로부터 완전한 보호를 할 수 있게 되었다.

Table 1과 같이 년 20일 이상 낙뢰가 있는 국내 실정을 감안한다면 바리스타만으로 낙뢰서지 대책을 세운 경우, 정기적인 교체가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Ronald B. Standler, Transmission line model for coordination of surge-protective devices. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 358~362, 1993.
- 2) Ronald B. Standler, Design and performance of surge suppressors, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 363~368, 1993.
- 3) Michael F. Stringfellow and Bruce T. Stonely, Coordination of surge suppressors in

- low-voltage ac power circuits, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 464~468, 1991.
- 4) O.M. Clark, R.E. Gavender, Lightning protection for microprocessor-based electronic systems, IEEE Transactions on industry applications. Vol. 26, No. 5, sep./oct. pp. 947~953, 1990.
- 5) Toshiji Kobayashi, Masakatsu Higake, Yutaka Furukawa, Renya Ikeda, Kanji Mukai, Yuuichiro Nagataki, Solid-state protector device, NEC Technical Report, Vol. 45, No. 10, pp. 125~128, 1992.
- 6) K. A.W. Hobbins. EMP and Transient suppressed mains filters, Seventh International Conference on EMC, pp. 318~323, IEE
- 7) Philip P. Barker, Ramon T. Mancao, David J. Kvaltine, Dee E. Parrish, Characteristics of lightning surges measured at metal oxide distribution arresters, IEEE Transaction on power delivery, Vol. 8, No. 1, pp. 301~310, January, 1993.
- 8) J.R. Saltvold, Protecting a distributed data acquisition system from lightning, Wescanes '91 IEEE Western Canada Conference on Computer, Power and Communications systems in a rural environment, pp. 51~53, May, 1991.