

## Characteristics of the Electric Fields Produced by Multiple Lightning Return Strokes

李 福 熙\* · 鄭 東 喆\*\* · 李 東 汶\*\*

(Bok-Hee Lee · Dong-Cheol Jeong · Dong-Moon Lee)

**Abstract** - In this work, in order to obtain the detailed information about lightning electromagnetic pulses, the electric fields radiated from multiple lightning return strokes were measured and analyzed statistically. The electric field measuring system consists of a hemisphere antenna of 30 cm in diameter, integrator and data acquisition device, and its frequency bandwidth ranges from 200 Hz to 1.56 MHz, and the sensitivity is 0.96 mV/V/m. The electric field signals are digitized every 200 ns with the transient signal analyzer having the resolution of 12-bit and the recording length of 5 kilowords and are registered at personal computer. As a result, the electric fields produced by the first return stroke begin with a slow initial part or front, which starts just after or during the last stepped leader. On the average the rise times of the electric fields for the positive first, second and third strokes are 4.21  $\mu$ s, 3.94  $\mu$ s and 2.75  $\mu$ s, respectively, and those for the negative first, second and third strokes are 3.46  $\mu$ s, 3.15  $\mu$ s and 2.79  $\mu$ s, respectively. The zero-crossing times of the electric fields for first return strokes range from about 10 to 80  $\mu$ s. The mean zero-crossing times for subsequent return strokes are shorter than those for first lightning return strokes.

**Key Words** : Multiple lightning return strokes, Electric field, Rise time, Zero-crossing time, Lightning electromagnetic pulse, Lightning protection, Electric field measuring device, Magnetic field measuring device

### 1. 서 론

낙뢰에 의한 사고의 예방은 낙뢰가 빈번하게 발생하는 골프장뿐만 아니라 전력회사, 폭발물을 사용하는 공사현장, 광산, 석유 저장시설, 공항설비, 건축설비 등에서 핵심요소이다. 특히 낙뢰의 대부분은 다중 뇌격인데, 피뢰기 성능시험에 있어서는 현재 단일 뇌격에 대해서만 시험을 수행하고 있는 실정이다. 따라서 다중 뇌격의 특성을 파악하여 다중 뇌격에 대한 보호설비의 구축에 관한 기초적 연구가 필요하다. 또한 낙뢰에 의해서 발생하는 전장 신호에는 뇌격위치, 극성, 뇌격전류의 파형과 강도 등 여러 가지 파라미터에 관한 정보를 포함하고 있기 때문에 이를 정확하게 측정하고 평가하는 것은 학술적인 측면뿐만 아니라 공학적 응용에서도 대단히 중요하다.[1-4] 따라서 다중 낙뢰에 수반되어 발생하는 전장 파형을 관측하고, 상승시간과 영점교차시간 등의 파라미터를 통계적으로 분석할 목적으로 본 연구를 수행하였다.

뇌방전에 의해서 방사되는 전장 파형의 검출에는 정전안테나를 이용하였다. 아울러 낙뢰의 발생이 언제 일어날지

모르기 때문에 항상 계속 대기상태에 있다가 신호가 입력되면 이것을 자동적으로 측정하고, 검출된 신호를 저장하기 위한 데이터 저장시스템을 구성하였다. 또한 시변성 전장측정센서와 데이터기록시스템을 조합시켜 다중 낙뢰에 의해서 발생하는 전장 파형을 관측하고, 이들에 대한 파라미터의 분석을 수행하였다. 즉, 다중 낙뢰에 의해서 발생하는 전장 파형을 관측하여 상승시간과 영점교차시간 등에 대한 특성을 통계적으로 분석하고, 다른 연구자의 측정결과와 비교·검토하였다. 산업사회의 발달과 더불어 경제부흥이 급속히 발전하였고, 가정용 전기기구에 있어서도 고성능화나 다양화가 이루어져 왔으며, 광대역 네트워크를 구성한 멀티미디어사회가 실현되었다. 사회시스템이 전기에너지에 대한 의존도가 증가함에 따라 낙뢰의 피해 양상도 다각도로 변화하였다. 따라서 현대 산업사회시스템에 있어서 고도정보화, 도시기능화, 전기에너지 이용의 하이테크화 등에 의해 전기의 안정적인 공급에 대한 사회적 요구가 높아지고 있다. 전원계통의 자연재해에 의한 피해를 받을 기회가 많고, 특히 그 중에서 뇌에 의한 피해가 큰 비중을 차지하고 있다.[1,2]

\* 正 會 員 : 仁 荷 大 學 電 子 · 電 氣 工 學 科 教 授

\*\* 正 會 員 : 仁 荷 大 學 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

接 受 日 字 : 2004 年 2 月 2 日

最 終 完 了 : 2004 年 4 月 20 日

### 2. 실험장치 및 방법

낙뢰에 의해서 대기 중에 방사되는 전장 파형을 검출하고

기록할 수 있는 시변성 전장계측시스템을 구성하였으며, 그의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 전장 센서는 외부 노이즈의 영향을 줄이기 위하여 반구형으로 제작하였으며, 대지면에서 약 1 m인 점에 센서를 설치하였다.[5,6] 센서의 직경은 30 cm이고, 센서의 하부에 증폭 및 버퍼회로를 설치할 수 있게 육면체 상자를 만들어 신호처리 회로 및 축전지를 내장하였다. 반구형 센서를 적용한 전장계측시스템의 주파수 대역은 200 Hz~1.56 MHz이고, 응답감도는 0.96 mV/V/m이다.

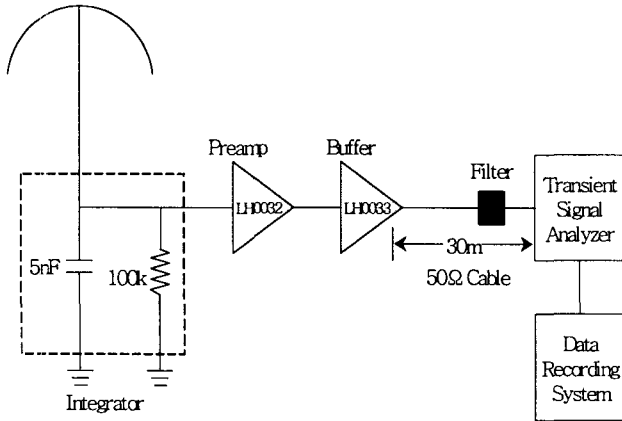


그림 1 전장계측시스템의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the electric field measurement system

전장 센서에 의해서 검출된 신호는 수동성 적분기에 의해서 복원되며, 증폭기를 거쳐 과도신호해석기에 의해 디지털화 되어 일시적으로 저장된 후 개인용 컴퓨터로 전송된다. 과도신호해석기의 분해능은 12 bit이며, 검출된 신호를 200 ns의 샘플링시간으로 디지털화시켜 1 event당 512 kbyte로 저장된다. 저장된 신호는 크기와 샘플링시간을 조절하여 출력할 수 있으며, 상승시간이나 영점교차시간 등의 파라미터는 적절한 시간범위로 출력시켜 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 다중 낙뢰에 의해 발생한 전장 파형

다중 낙뢰에 의해서 발생한 전형적인 전장 파형의 예를 그림 2에 나타내었으며, 다른 연구자에 의해 보고된 것과 유사하게 낙뢰의 특성을 잘 나타내고 있다.[6-9] 또한 후속귀환뇌격에 의하여 발생하는 전장 파형도 제1귀환뇌격에 의한 파형과 거의 동일한 양상으로 나타났다. 후속 뇌격에 의한 전장의 세기는 제1귀환뇌격에 비하여 낮으며, 지속시간은 짧게 나타났다. 대부분의 귀환뇌격은 뇌운 내에 존재하는 뇌운의 집중현상과 분기채널에 의해서 이와 같은 다중 뇌격(multiple stroke)의 형태로 나타나게 된다. 뇌격전류는 수백 kA 정도에까지 이를 수도 있으며, 제1귀환뇌격 또는 다중

귀환뇌격이 형성되는 과정을 도식적으로 그림 3에 나타내었다.[10]

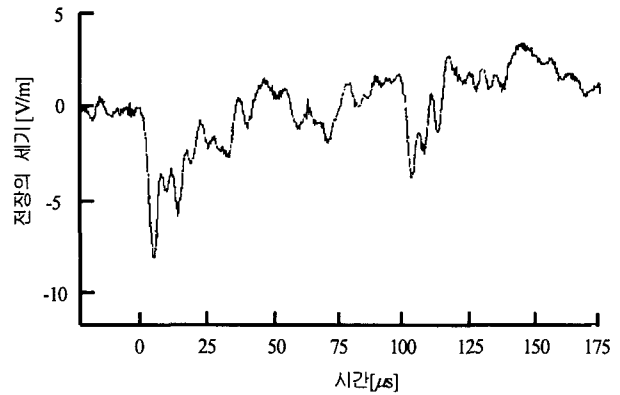
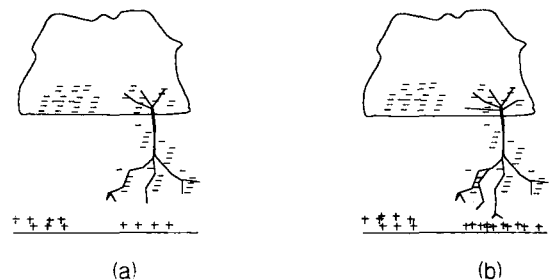


그림 2 다중 낙뢰에 의해서 발생한 전형적인 전장 파형  
Fig. 2 A typical waveform of the electric field produced by multiple lightning return strokes

대개의 경우 뇌운의 내부에는 여러 곳에 부(-)전하들이 집중적으로 분포되어 있으며, 그림 3(a)은 두 곳에 부전하가 집중적으로 분포되어 있는 경우 한 곳의 부전하 중심에서 계단상의 리더가 개시되어 대지를 향하여 진전하는 과정을 나타낸 것으로 그림 2 파형의 시작점 부근에 해당된다. 그림 3(b)은 지상으로부터의 귀환리더가 만나기 직전의 단계이며, 그림 3(c)에서 제1귀환뇌격이 이루어지고, 강한 귀환리더가 뇌운 쪽으로 진전하는 과정으로 급격한 정(+)전하의 상향 이동으로 발생하는 그림 2의 원점에서의 전장변화를 나타낸다. 그리고 그림 3(d)은 계단상 리더의 도전채널이 형성되고, 제1귀환뇌격에 의해 대부분의 전하운이 방전된 후 다른 위치에 집중된 부전하운의 중심을 향하여 스트리머가 진전되는 과정으로 그림 2에서 제1귀환뇌격에 의한 급격한 전장 변화 후의 전장의 세기가 서서히 감쇠하는 부분에 상당한다. 그림 3(e)은 두 번째 부전하운이 첫 번째 부전하운과 교락 되고, 닥트 리더가 생성되어 뇌격채널을 따라 대지를 향해 진전하는 단계로 그림 2 전장 파형의 제2귀환뇌격 직전에 해당한다. 마지막으로 그림 3(f)은 제2귀환뇌격이 상향으로 진전하여 뇌운속의 두 번째 부전하운의 전하를 방전시키는 과정으로 정(+)전하의 상향 진전으로 급격하게 전장의 세기가 변동하며, 그림 2 전장 파형의 두 번째 피크부분에 해당된다.



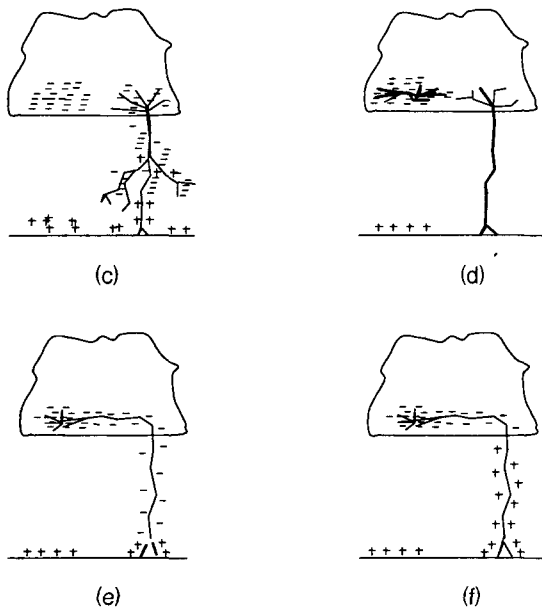


그림 3 다중 낙뢰의 진전기구  
 Fig. 3 Development mechanism of multiple lightning return strokes

이와 같이 주 방전 채널을 통하여 뇌운의 다른 곳에 남아 있던 잔류전하가 화살형(dart)리더로 진전되어 상승리더와 접촉하여 다중 귀환뇌격으로 진전되는 경우가 대부분이지만, 주 방전 채널에서 분기되어 진전된 전구방전 리더가 대지에서 상승 또는 다른 리더와 접촉하여 다중 귀환뇌격으로 진전되는 경우도 발생한다.

3-2. 다중 낙뢰에 의해 발생한 전장 파라미터의 통계  
 3-2-1 파라미터의 정의

뇌방전시에 관측된 전장 파형에는 이의 방사원인 뇌격전류에 관한 정보도 포함되어 있으므로 이들의 파형 형상에 관한 정보의 통계적 해석은 뇌방전 특성의 파악에 유효하기 때문에 많은 연구가 이루어져 왔다.[7,11-12] 전장 파형은 상승시간, 영점교차시간과 반대 방향으로의 오버슈트 등의 파라미터에 의하여 특징 지워지며, 특히 낙뢰위치표정시스템의 낙뢰포착에 대한 정확도를 높이기 위해서는 전장 파형의 정확한 분석이 필요하다. 더불어 피뢰기의 동작특성을 정확하게 평가하고 적절한 보호협조체계의 구축을 위해서는 낙뢰에 대한 정확한 특성의 평가가 선행되어야 한다. 낙뢰는 대부분 다중 뇌격으로 이루어지며, 현재 국내에 보급되어 있는 피뢰기의 특성은 모두 단일 낙뢰에 의한 특성만으로 평가되므로 다중 낙뢰에 대한 피뢰기의 동작 특성 및 보호 성능을 파악하기 위해서는 다중 낙뢰에 의한 전장 파형의 정확한 파라미터분석이 중요하다.

그림 4에는 그림 2에 나타낸 제1귀환뇌격에 의해서 발생한 전장 파형을 고속 시간영역으로 나타내고, 본 연구에서 분석하고자 하는 파두부분의 특성인 상승시간과 영점교차시간의 정의에 대해서 나타내었다. 귀환뇌격에 의한 전장 파형의 파두의 특성은 전송선로 모델에 따르며, 파두부에 포함

되어 있는 주파수 성분을 고려할 때 원거리에서 발생한 귀환뇌격에 의한 전장 파형의 파두 부분은 고주파 성분이 감소하고 변형이 적다.

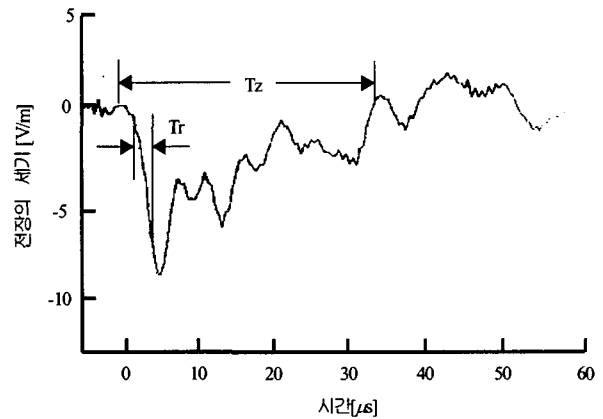
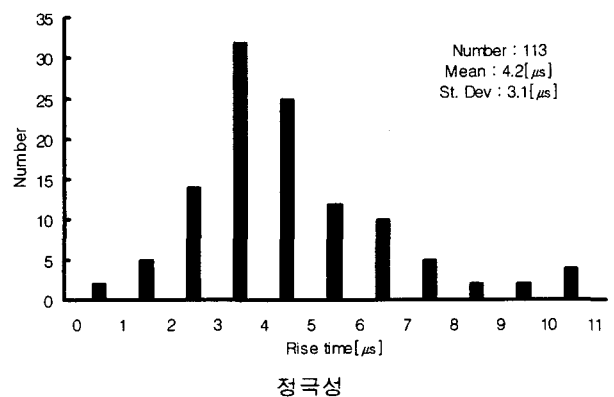


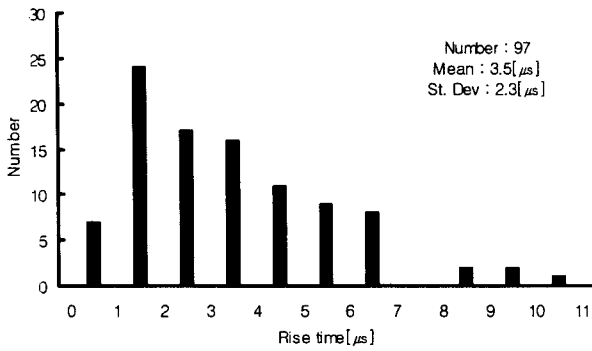
그림 4 낙뢰에 의한 전장 파형의 상승시간과 영점교차시간의 정의  
 Fig. 4 Definitions of the rise time and zero-crossing time of lightning return stroke fields

전장 파형의 상승시간(rise time: Tr)은 파형의 시작점에서부터 최대치까지 걸리는 시간에 대한 10~90 %점사이의 시간으로 하였다. 상승시간은 거의 느린 상승부분의 시간이며, 시작점을 결정하기에는 다소 애매한 점이 있으므로 10~90 % 상승시간은 파두의 성질을 나타내는 데에 있어 매우 유용하다. 영점교차시간(zero-crossing time: Tz)은 파형이 시작되는 규약원점으로부터 극성이 바뀌는 시점까지 걸리는 시간을 나타내는 파라미터이다.[13] 인천 근방에서 발생한 낙뢰에 의해 방사된 전장 파형에 대한 상승시간과 영점교차시간에 대한 통계적인 분석을 하였으며, 노이즈 성분이 심하거나 관측이 불분명한 데이터는 분석 대상에서 제외시켰다.

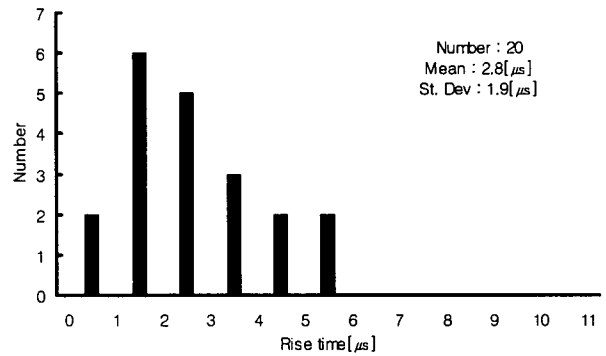
3-2-2 상승시간의 분포

귀환뇌격에 의해서 발생하는 전장 파형의 10~90 % 상승시간의 분포를 그림 5에 나타내었다. 전장 파형의 상승시간은 12 μs 이내에 분포되어 있으며, 귀환뇌격 횟수의 증가와 더불어 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 정극성의 상승시간은 약 4 μs로 부극성의 상승시간 3.2 μs보다 길게 나타났다.

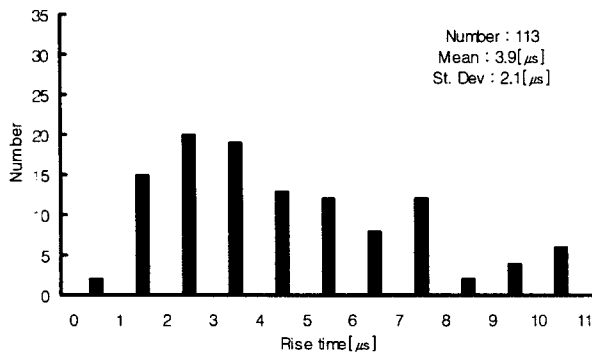




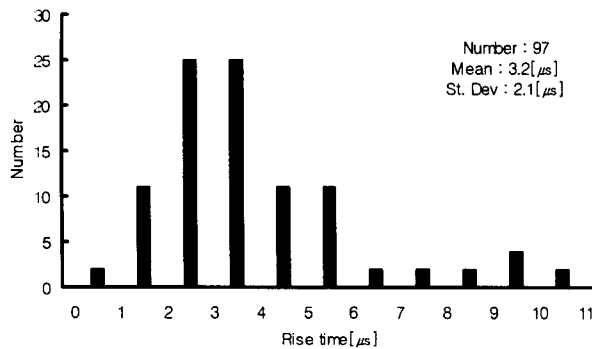
부극성  
(a) 제 1 뇌격



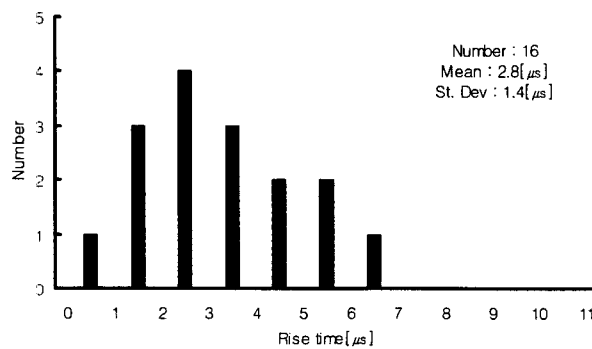
부극성  
(c) 제 3 뇌격



정극성



부극성  
(b) 제 2 뇌격



정극성

그림 5 다중 낙뢰에 의한 전장 파형의 10~90%상승시간의 분포

Fig. 5 Histograms of the 10~90% rise time of the electric fields due to multiple lightning return strokes

Tiller 등은 플로리다에서 낙뢰에 의해서 발생한 전장 파형을 측정하고 10~90%상승시간의 분포를 산출하였으며 [14], 62개의 제1귀환뇌격의 상승시간의 평균은 3.0  $\mu\text{s}$ 이고, 표준편차는 1.2  $\mu\text{s}$ 이었다. 또한 151개의 후속뇌격에 의한 전장 파형의 상승시간은 2.6  $\mu\text{s}$ 이고, 표준편차는 1.0  $\mu\text{s}$ 이었다. Fisher와 Uman은 플로리다에서 26개의 제1귀환뇌격에 대하여 측정된 전장 파형의 상승시간은 3.6  $\mu\text{s}$ , 표준편차 1.8  $\mu\text{s}$ 를 얻었으며, 26개의 후속뇌격에 대한 상승시간은 3.1  $\mu\text{s}$ , 표준편차 1.9  $\mu\text{s}$ 의 결과를 보고하였다.[15] 그리고 Lin과 Uman은 플로리다 케네디우주센터에서 12개의 제1귀환뇌격에 대해서 표준편차 2.2  $\mu\text{s}$ , 상승시간의 평균은 4  $\mu\text{s}$ 인 전장 파형을 측정하였으며, 83개의 후속뇌격에 대해서는 표준편차 1.1  $\mu\text{s}$ , 평균 상승시간 1.2 $\mu\text{s}$ 의 전장 파형에 대한 연구결과를 발표하였다.[8] 여러 연구자들에 의해서 발표된 결과와 본 연구결과의 비교를 표 1에 나타내었다.

플로리다에서 측정된 전장 파형의 상승시간은 본 연구에서 측정된 결과보다는 모두 짧게 나타났다. 플로리다의 측정 장소는 모두 해상에 위치해 있으므로 뇌방전에 의해서 발생된 전자파는 도전율이 양호한 경로를 따라 전파하게 된다. 귀환뇌격에 의해서 발생하는 전장 파형의 상승시간은 전자파의 전파 즉, 전파경로의 도전율과 밀접한 관련성을 가지고 있다. 전장 파형의 파두부분은 전구 리더의 대지와 접촉에 의해 이루어지는 완만히 상승하는 부분과 피크 부근에서의 급상승하는 부분으로 구성되며, 특히 피크 직전의 급상승하는 부분에 대한 대지도전율의 영향이 크다. 대지도전율이 낮으면 급격히 상승하고 대지도전율이 높은 경우는 상승의 정도가 완만해져 상승시간이 길어지게 된다.

예를 들면 귀환뇌격에 의해서 발생한 전장장이 육상 또는 해상을 통하여 진전되었는가에 따라서도 상승시간과 특성이 달라진다. 귀환뇌격에 의해서 발생하는 전장 파형의 파두부의 특징은 뇌격지점과 관측점사이의 대지도전율과도 밀접한 상관관계를 가지게 되므로 통계적인 분석이 필수적이다. 따라서 본 연구의 결과와 다른 연구자에 의해서 플로리다에서 측정된 귀환뇌격에 의해서 발생한 전장 파형의 상승시간의

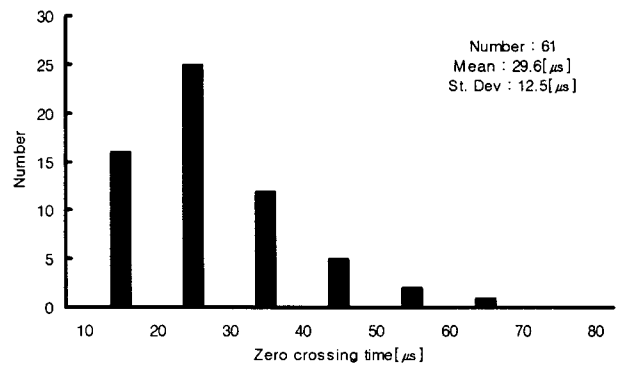
차이는 뇌방전에 의해서 발생한 전자파의 진행 경로의 도선  
 율의 차이 때문에 기인된 것으로 볼 수 있다.

표 1 본 연구와 플로리다에서 얻은 결과와의 비교  
**Table 1** Comparison between the data of works conducted  
 in Florida and the results obtained in this work

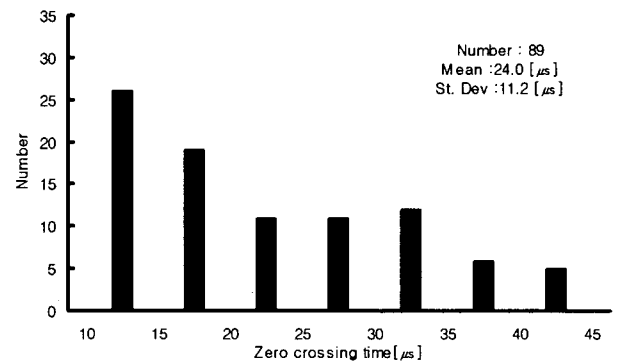
연구자	뇌격의 분류		상승시간	표준편차	데이터수	비 고
			$\mu s$	$\mu s$		
본 연구	제1 뇌격	정극성	4.2	3.1	113	은대 대륙성 기후
		부극성	3.5	2.3	97	
	제2 뇌격	정극성	3.9	2.1	113	
		부극성	3.2	2.1	97	
	제3 뇌격	정극성	2.8	1.4	16	
		부극성	2.8	1.9	20	
Till, et al.	제1뇌격		3.0	1.2	62	Florida 아열대 해양성 기후
	후속뇌격		2.6	1.0	151	
Fisher & Uman	제1뇌격		3.6	1.8	26	Florida 아열대 해양성 기후
	후속뇌격		3.1	1.9	26	
Lin & Uman	제1뇌격		4.0	2.2	12	Florida 아열대 해양성 기후
	후속뇌격		1.2	1.1	83	

3-2-2 영점교차시간의 분포

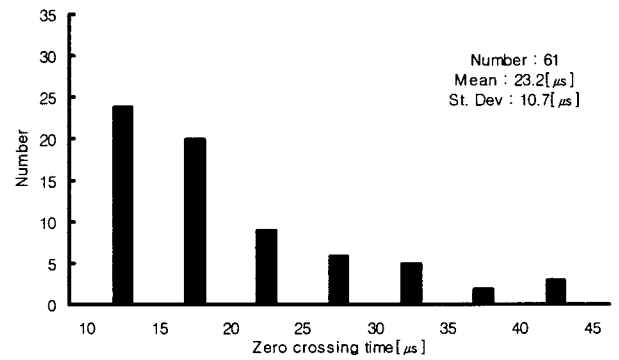
영점교차시간은 그림 4에 나타낸 바와 같이 전장 파형의  
 원점에서부터 극성이 바뀌는 시점까지 걸리는 시간으로 파  
 형의 지속시간을 나타낸다. 귀환뇌격이 지속되는 정도를 평  
 가하는 파라미터로 뇌격에 의해서 대지로 전달되는 에너지  
 의 양을 평가할 때 적용되며, 낙뢰지점과 관측점사이의 거리  
 의존성을 가지고 있어, 낙뢰지점과 관측점사이의 거리가 멀  
 수록 영점교차시간은 짧아지게 된다. 본 연구에서 관측한  
 전장 파형의 영점교차시간 분포를 그림 6에 나타내었다.



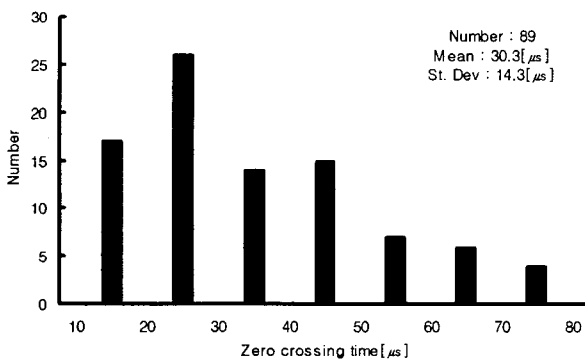
부극성  
 (a) 제 1 뇌격



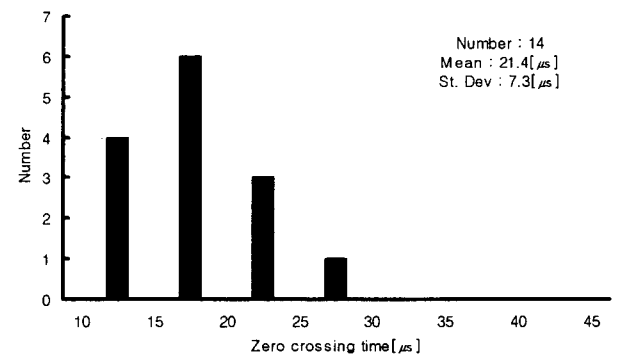
정극성



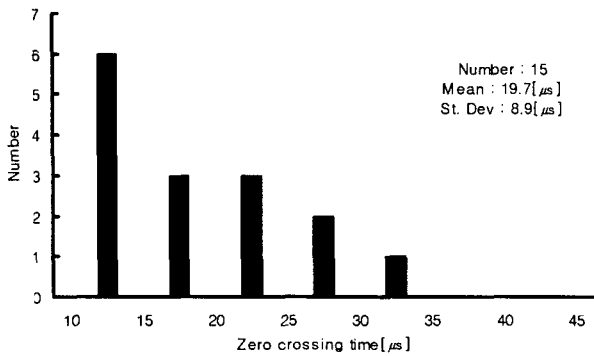
부극성  
 (b) 제 2 뇌격



정극성



정극성



부극성  
(c) 제 3 뇌격

그림 6 다중 낙뢰에 의한 전장 파형의 영점교차시간의 분포  
Fig. 6 Histograms of the zero crossing time of the electric fields due to multiple lightning return strokes

영점교차시간은 후속뇌격으로 진행되어감에 따라 짧아졌으며, 이는 낙뢰에 의해 전달되는 에너지가 점차적으로 감소하고 있음을 의미한다. 또한 정극성이 부극성보다 크게 나타났으며, 정극성일 때 전달되는 에너지가 많음을 보여주고 있다. 전장 파형의 영점교차시간은 대부분 10~50 μs 사이에 분포되어 있으며, 정극성의 경우 후속뇌격으로 진행될수록 30.3 μs, 24.0 μs, 21.43 μs으로 나타났고, 부극성에서는 29.6 μs, 23.2 μs, 19.7 μs으로 나타났다. 정극성 귀환뇌격에 의해서는 뇌격전류가 흐르는 지속시간이 길기 때문인 것으로 생각된다.

Cooray와 Lundquist는 스웨덴에서 하절기에 측정된 전장 파형의 영점교차시간은 102개의 제1뇌격의 경우 49±12 μs, 94개의 후속뇌격의 경우는 39±7.5 μs의 결과를 보고하였다.[9] 또한 Lin 등은 Florida에서 다중 낙뢰에 의한 전장 파형의 특성을 발표하였다.[16] 이 문헌에서는 뇌격점과 관측점 사이의 거리가 50 km이내인 경우 영점교차시간은 제1뇌격의 경우 60±15 μs, 후속뇌격의 경우는 44±15 μs이었다. 그리고 200 km이내일 때 제1뇌격의 영점교차시간은 54±18 μs, 후속뇌격의 경우는 36±17 μs이었다. 영점교차시간은 뇌격채널과 뇌격점의 전기전도도와 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 열대지방 또는 아열대지방과 같이 뇌운의 높이가 높은 지역에서는 뇌격채널의 길이가 길어져 영점교차시간은 길어진다. 또한 해안 또는 해상에 낙뢰가 떨어지는 경우는 전기전도도가 좋으므로 전자파의 감쇠가 비교적 적어 영점교차시간은 길어지게 된다. 이와 같은 이유로 본 연구에서 측정된 결과는 Cooray 또는 Lin 등이 측정된 결과보다 영점교차시간이 다소 짧게 나타난 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

다중 낙뢰에 의하여 발생하는 전장 파형을 측정하고, 상승시간과 영점교차시간 등의 파라미터를 통계적으로 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다중 낙뢰에 의해 발생한 전장 파형의 상승시간은 1~12 μs 범위이었으며, 제1뇌격의 평균 상승시간은 정극성 4.21±3.08 μs, 부극성 3.46±2.30 μs이고, 후속뇌격의 상승시간이 짧게 나타났으며, 다른 연구자의 결과와 거의 일치하였다.

(2) 전장 파형의 영점교차시간은 정극성의 경우가 부극성보다 길게 나타났으며, 넓은 범위에 걸쳐 분산된 특징으로 나타났다.

(3) 본 연구에서 얻은 다중 낙뢰에 의해서 발생하는 전장 파형에 대해 데이터를 통계적으로 분석한 결과는 우리나라의 환경에 적합한 전력계통의 절연협조 및 뇌보호장치의 설계와 개발에 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. D. Weidman, E. P. Krider, "The Fine Structure of Lightning Return Stroke Wave Forms", J. Geo. Res., Vol.83, No. C12, pp.6239-6247, 1978.
- [2] M. A. Uman and E. P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modelling", IEEE Trans., Vol.EMC-24, No.2, pp.79-105, 1982.
- [3] M. Ishii and J. Hojo, "Statistics on Fine Structure of Colud-to-Ground Lightning Field Waveforms", J. Geo., Res., Vol.94, No.D11, pp.267-274, 1989.
- [4] 이복희, 안창환, 주문노, "뇌방전에 의해서 발생하는 전계의 특성", 전기학회 논문지, Vol.45, No.10, pp.1467~1472, 1996.
- [5] Bok-Hee Lee, Seung-Chil Lee, Chang-Hwan Ahn and Tatsuo Kawamura, "Physical Properties of Radiation Fields Produced by Multiple In-cloud Lightning Discharges", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, Pt.1, No.1, pp.299-306, 2001.
- [6] 이복희, 이승철, 박성열, "낙뢰에 의해서 발생한 전계와 자계 파형의 파라미터", 전기학회 논문지, Vol.47, No.5, pp.652-658, 1998.
- [7] Bok-Hee Lee, M. Ishii and J. Hojo, "Characterization and Evaluation of the Electric Fields Produced by Lightning Return Strokes", Proc. of 4th Conf. of IEE of Japan, pp.545-546, 1993.
- [8] Y. T. Lin, M. A. Uman, "Electric Radiation Fields of Lightning Return Strokes in Three Isolated Florida Thunderstorms", J. Geo., Res., Vol.78, pp.7911-7915, 1973.
- [9] V. Cooray and S. Lundquist, "Characteristics of the Radiation Fields from Lightning in Sri Lanka in the tropics", J. Geo. Res., Vol.90, No.D4, pp.6099-6109, 1985.

- [10] K. Denno, "High Voltage Engineering in Power System", New Jersey Institute of Technology. Newark, New Jersey, pp.31~37, 1992.
- [11] K. Nakahori, T. Egawa, and H. Motani ; "Charateristics of Winter Lightning Currents in Hokuriku District", IEEE Trans., Vol. PAS-101, pp.4407~4412, 1982.
- [12] W. Beasley, M.A. Uman, and P. L. Rustan, "Electric Fields Proceeding Cloud-to-Ground Lightning Flashes", J. Goe., Res., Vol.87, No. C7, pp.4883~4902, 1982.
- [13] M. Ishii and J. Hojo, "Statistics on Fine Structure of Colud-to-Ground Lightning Field Waveforms", J. Geo., Res., Vol.94, No. D11, pp.267~274, 1989.

## 저 자 소 개



### 이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~89년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 4월-2000년 2월 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기공학부 교수.  
Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822  
E-mail : bhlee@inha.ac.kr



### 정동철 (鄭東喆)

1964년 9월 18일생. 1989년 2월 영남대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 2월 고려대 산업대학원 졸업(공학석사). 현재 한진중공업 주식회사 근무 및 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.  
Tel. (032) 860-7398, Fax. (032) 863-5822,  
E-mail : dcjeong@korea.com



### 이동문 (李東汶)

1958년 4월 20일생. 1987년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 한진중공업 주식회사 근무 및 동 대학원 박사과정.  
Tel. (032) 860-8847, Fax. (032) 863-5822,  
E-mail : lidm7@hanmail.net