

# 뇌방전에 의하여 발생하는 전계파형의 측정과 분석

이복희<sup>0</sup> 주문노 길경석 안창환  
인하대학교 공과대학 전기공학과

The measurement and analysis of the electric field  
waveforms produced by lightning discharges

B. H. Lee, <sup>0</sup>M. N. Ju, G. S. Kil, C. H. Ahn  
Inha University\*

## Abstract

This paper deals with hemisphere-type sensor for measuring the electric field waveforms by lightning discharges. The theoretical principle and design rule of the device are introduced, and also the calibration and application investigations are carried out.

From the calibration experiments, the frequency bandwidth of the hemisphere-type electric field measuring device ranges from 200 [Hz] to 1.56 [MHz], and the sensitivity of sensor is 0.96 [mV/V/m].

The electric field waveforms produced by lightning discharges were observed for June and August 1995. It is shown that the electric field waveforms produced at the distance of more than 50 [km] include only radiation component.

## 1. 서론

대기중에서 낙뢰의 발생시 방출되는 에너지는 약  $10^5$  [J/m]이며, 이것은 거의 TNT 22 [g/m]이 폭발할 때의 에너지양과 비슷하다. 미국의 경우 매년 낙뢰에 의해서 수 백명가량의 인명피해와 자연환경에의 심각한 영향을 받으며, 그 결과 건물에 약 45만달러의 재산피해와 10000 여 건의 산불이 발생한다.<sup>[1]</sup>

뇌방전특성은 기후와도 직접적으로 관련이 있으며, 지역에 따라 특성도 다르다. 우리나라에서도 전력계통의 절연설계시 뇌과전압을 고려한 내뢰설계도 병행하여 설비를 설계하고 시설하지만, 다른 나라에서의 뇌방전 특성을 적용하는 경향이므로 신뢰성 또는 경제성의 적합성이 타당한지의 평가도 불가능한 실정이다. 뇌방전에 의하여 발생하는 전계 신호에는 극성, 뇌방전특성 해석을 위한 여

러가지 파라메터, 즉, 뇌방전시 전계의 변화 등 여러가지 정보를 함유하고 있기 때문에 이를 정확하게 측정하는 것은 학술적인 측면 뿐만 아니라 공학적 응용면에서도 대단히 중요하므로 본 연구에서는 광대역 고감도인 반구형 센서를 이용한 전계측정장치를 구성하였으며, 이에 대한 연구결과의 개요에 대하여 보고하고자 한다.

## 2. 측정계의 구성

본 연구에서는 뇌방전시 발생하는 전계파형을 측정 분석할 목적으로 반구형 전계센서를 제작하였다. 그림 1에는 반구형 센서를 포함한 전계측정계의 개략도를 나타내었다. 반구형 센서는 이미 보고된 평판형 센서<sup>[2]</sup>와 전극의 모양만 다를 뿐 신호전송 방법 및 구동회로는 평판형 센서의 설계 과정과 유사하다. 반구형 센서의 반구 직경은 300 [mm]이며, 센서 밑부분에는 증폭 및 버퍼회로를 설치할 수 있게 전자차폐용 금속제 육면체상자를 만들어 회로 및 전원을 내장하였으며, 지면에서 약 1 [m] 인 점에 센서를 설치하였다.

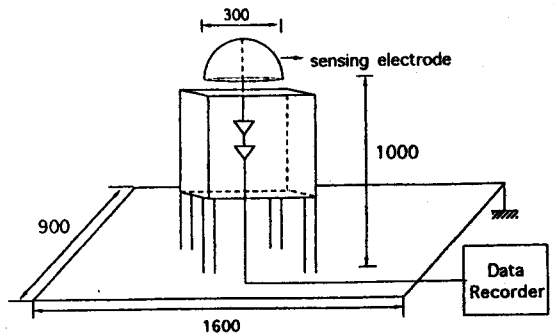
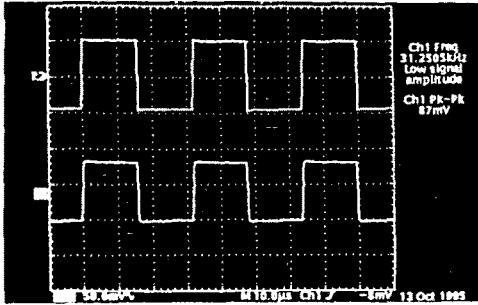


그림 1 반구형 전계센서의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the hemisphere-type electric field sensor



상 : 입력전계 [45.4V/m/div, 10µs/div]  
 하 : 본 측정계의 출력파형 [50mV/div, 10µs/div]

그림 2 입력전압과 측정계의 출력파형  
 Fig. 2. Input and output voltage waveforms of the measurement system

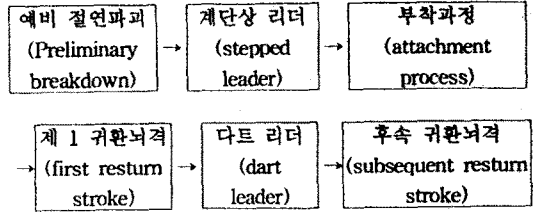
교정실험을 통하여 측정계의 기본특성, 즉, 주파수 대역과 응답감도를 파악한 결과, 센서응답의 직각파입력에 대한 상승시간은 약 225 [ns]이며 감쇠시간은 800 [µs]이므로 주파수 대역은 200 [Hz]에서 1.56 [MHz]이다.

또한 전계측정계의 응답감도를 산출하기 위하여, 구형파 인가전계에 대한 응답파형의 측정 결과를 그림 2에 나타내었으며, 따라서 본 측정계의 응답감도는 0.96 [mV/V/m]이다.

설치 지점을 선정시 주변의 지형지물과 접지상의 문제점으로 측정파형의 왜곡을 가져올 수 있으므로 뇌방전에 의한 전계파형을 측정하기 위해 제작된 반구형 전계센서의 측정지점은 평지의 대지면으로 하였다. 접지 문제를 제거하기 위하여 먼저 지면에 접지봉을 설치하고 접지판 (900×1600mm)을 지면에 설치하였다. 접지판 위에 반구형 전계센서의 전극이 약 1 [m] 위에 위치하도록 전계센서를 설치하였고, 검출된 신호를 본 연구실까지(약 30 [m]거리) 동축케이블(RG-58A/U)로 전송하여 데이터 기록장치(Nicolet Pro 30)에 저장하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

뇌방전현상은 과도 대전류전기방전으로 일반적으로 그 경로는 수십 [km]이다. 가장 빈번한 뇌방전 현상은 운방전(intracloud)이지만 실제 연구의 중요성은 낙뢰가 많이 차지한다. 뇌운과 대기 사이의 방전은 결국 뇌운의 정(+), 부(-)전하가 중성으로 됨으로써 방전은 종료된다. 이 모든 방전과정을 플래시(Flash)라 하는데 플래시는 여러 가지 방전성분요소로 구성되어 있으며 그 가운데 스트로크(Strokes)라고 불리는 3 ~ 4개 정도의 높은 펄스형태가 포함되어 있다. 스트로크의 지속 시간은 1 [msec]정도이며, 진전속도는  $8 \times 10^7$  [m/sec]이다. 낙뢰에 대한 메카니즘은 다음과 같은 성분들로 이루어진다.<sup>13)</sup>



뇌방전의 발달과 진전에 대해서는 본 연구실에서 이미 상세히 보고한 바 있다.<sup>14)</sup>

뇌방전시 발생하는 전자계변화의 파형을 측정분석함으로써 뇌방전을 형태별로 구별할 수 있다. 뇌방전에 의하여 발생하는 전계변화 성분을 살펴보면 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$E = \frac{[M]}{4\pi\epsilon_0 D^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c D^2} \left[ \frac{dM}{dt} \right] + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 D} \left[ \frac{d^2 M}{dt^2} \right] \quad (1)$$

여기서  $M = 2 \sum Q_i I_i$  로서, 뇌운의 전기적 쌍극자 모멘트로 뇌운속의 각 전하와 그의 영상전하의 쌍극자 모멘트의 합이고,  $c$ 는 빛의 속도,  $D$ 는 뇌운과 측정지점의 수평거리이다. 위 식에서 첫번째항은 정전계항이고 두번째항은 유도성분, 그리고 마지막 항은 방사성분이다. 전계의 유도성분은 거리의 제곱에 반비례하고, 방사성분은 거리에 반비례한다. 즉 거리에 따라 감쇠특성이 다르기 때문에 관측된 전계파형은 거리에 따라 변화한다. 따라서 약 50 [km] 이상의 원거리에서는 전계파형은 방사전자계성분만 나타난다. 이러한 전계파형은 귀환뇌격(Return stroke)이 발생하여 영으로 되는 시간(Zero crossing time)이 대략 50 [µs]이다. 이것은 대기에서 뇌운으로 귀환뇌격이 발생하여 뇌운에서 중성으로 되어 방전이 끝나는 시간이다.

본 전계측정계는 본교(인하대학교 2호관 앞 잔디밭)에 설치하여 1995년 6월에서 8월까지 300여개의 데이터를 측정 분석하였다. 측정지점에서부터 본 연구실의 측정장치까지의 거리는 약 30 [m]정도 떨어져 있었기 때문에 피뢰에 비퍼를 설치하여 신호의 왜곡을 방지했다.

낙뢰시 발생하는 전계파형에 대한 대표적인 예를 그림 3에 나타내었다.

측정파형을 분석하여 보면 다음과 같은 특징이 있다. 그림 3에서 L은 계단상리더로서 귀환뇌격이 발생하기 전에 뇌운에서 대기로의 방전 진전과정이며, 보고된 바에 의하면 길이는 수 십[m]이고, 평균진전속도는  $1.5 \sim 2 \times 10^8$  [m/sec]이다. 본 측정 결과에서 귀환뇌격직전의 리더스텝 시간은 대략 10 [µs] 전후 이었다. F는 부착과정 동안에 생긴 것으로 완만한 파두(Front)부분이며 제 1 귀환뇌격이 발생했을때 F는 피크치의 50%정도 상승하는 시간으로 2~8 [µs]정도이고 F'은 F 다음으로 나타나는 현상으로 매우 빠른 피크치의 파두(Front)상승부분이며, 상

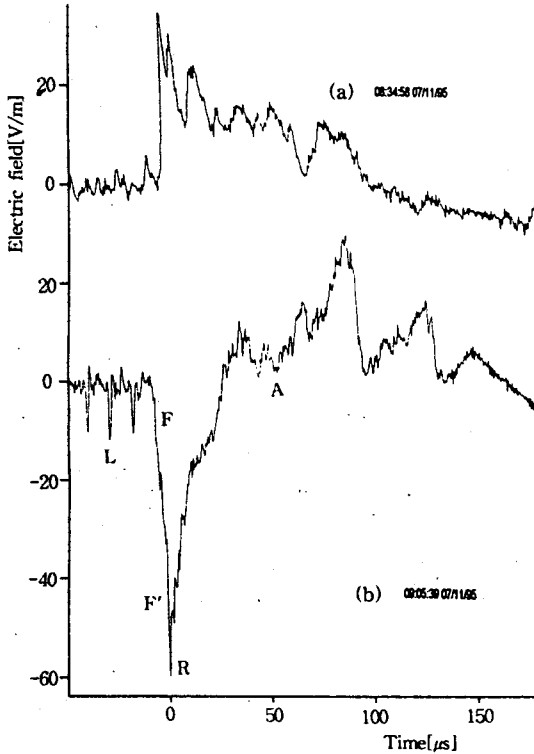


그림 3 낙뢰에 의해 발생하는 전계파형의 예

Fig. 3 A typical electric field waveforms produced by lightning return stroke

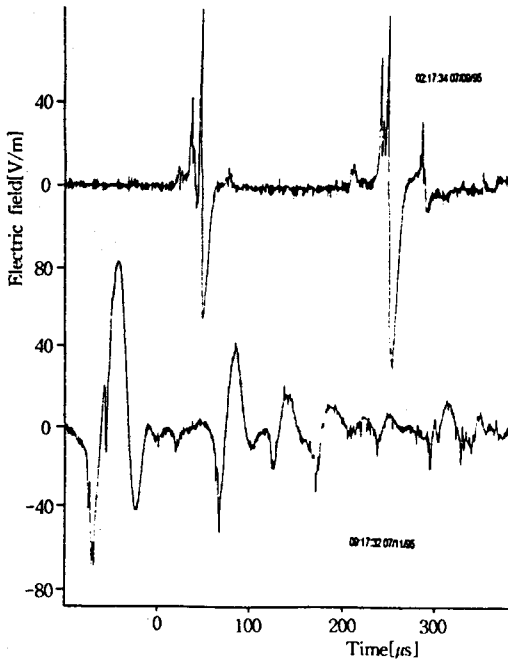


그림 4 운방전시 발생하는 전계파형의 예

Fig. 4 Examples of the electric field waveforms produced by cloud discharges

승시간은 약 90 [ns]이다.<sup>[3]</sup> R은 대기에서 귀환뇌격전류의 발생으로 급격한 기온기를 가진 피크가 발생한다. A는 귀환뇌격전류가 계단상 리더와 만나 채널을 형성하게 되는데 이 채널은 A와 같이 피크를 발생하면서 팽창하게 된다. 이렇게 팽창하면서 너운으로 진전하여 귀환뇌격에 의한 리더의 진전은 완료되게 된다. (a)파형은 부(-)극성 뇌방전이고, (b)파형은 정(+ )극성 뇌방전이다. 부극성의 파형이 대체적으로 상승시간이 짧고, Zero crossing time이 정극성에 비해 짧다. 그림 3에서 Zero crossing time이 이와 반대로 나타나는 것은 (a)파형이 (b)보다는 근거리 뇌방전이라 식(1)에서 보듯이 거리에 영향을 덜 받기 때문이라고 사료된다.

그림 4에는 대표적인 운방전 파형의 예를 나타내었다. 운방전시 발생하는 파형의 특징을 살펴 보면 상승 부분에는 미세한 펄스들이 중첩되어 나타나고, 반드시 양극성의 형태로 나타난다. 다중 운방전인 경우에도 진전과정의 양상이 거의 동일한 특징으로 나타났다. 운방전에 의해 발생하는 전계파형은 귀환뇌격시에 발생하는 전계파형의 형상과는 판이하게 다르다는 것을 알 수 있다.

#### 4.결론

본 연구에서는 낙뢰에 의하여 발생하는 전계변화 성분을 측정할 수 있는 반구형 전계센서를 구성하였다. 교정 실험과 실측실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1)본 측정계에서 제안된 반구형 전계센서의 주파수 대역은 200 [Hz] - 1.56 [MHz]이고, 응답감도는 0.96 [mV/V/m]이다
- (2)낙뢰에 의해 발생하는 전계변화 성분을 측정하여 분석한 바, 약 50 [km] 이상 떨어진 원거리에서 발생된 전계파형은 방사성분이 관측되었고, 상승시간이 수 [μs] 정도이고 영(Zero)으로 되는 시간이 대략 50 [μs] 정도임을 알 수 있었다.
- (3)낙뢰뿐 만 아니라 운방전시 발생하는 전계파형을 측정하여 분석한 바, 상승부분에 미세한 펄스들이 중첩되었고, 반드시 양극성의 형태로 나타났다.

#### References

- [1]William C. Hart, Edgar W. Malone ; "Lightning and lightning protection", pp. 1.1~1.2, 1979
- [2]이복희, 주문노, 길경석, 안창환, 박희로 ; "고전압임펄스발생기의 주변에서 발생하는 과도전계의 측정과 평가", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집 pp. 38~41, 1995.4
- [3] Martin A. Uman ; "Lightning", DOVER PUBLICATIONS INC. NEW YORK, pp. 1~12, 1982
- [4]하봉철 ; "낙뢰에 의하여 발생하는 자계파형의 측정과 분석", 인하대학교 전기공학과 석사논문, 1995.2