

뇌방전에 의해서 발생하는 전계파형의 특성

박 성열*, 이 복희*, 안 창환*, 전 덕규**

* 인하대학교 전기공학과

** 국립 서울산업대학교 자동차공학과

Characteristics of the Electric Field Waveforms Associated with Lightning Discharges

Sung-Yeol Park*, Bok-Hee Lee*, Chang-Hwan Ahn*, Duk-Kyu Jeon**

* Dept. of Electrical Engineering, Inha University

** Dept. of Automotive Engineering, Seoul National Polytechnic University

Abstract

This paper describes the fine structure of electric field waveforms produced by lightning return strokes. The electric field measuring system consists of hemisphere antenna 30 cm in diameter, integrator and data acquisition device. Its frequency bandwidth is from 200 Hz to 1.56 MHz, and the sensitivity is 0.96 mV/V/m. Electric field signals are digitized every 200 ns with the resolution of 12-bit and the length of 5 kilowords, and those are registered by a personal computer. Also data are analyzed by means of the fast Fourier transform (FFT) method.

1. 서론

뇌방전은 낙뢰, 뇌운내의 방전, 뇌운과 뇌운사이의 방전, 뇌운과 주변의 공기에 대한 대기방전 등으로 분류되는데, 특히 낙뢰에 관한 연구는 운방전에 비하여 인축의 사망, 전력 및 통신설비의 고장, 산불, 항공기의 장애 등 실제적으로 중대한 사고를 유발시키므로 연구의 대상이다. 최근 측정기술과 계산 방법의 진보에 따라 선진 외국에서는 뇌방전 파라미터에 관해서도 활발적으로 연구되고 있지만, 우리 나라에서는 거의 연구되지 않고 있는 실정이며, 단지 낙뢰위치표정과 낙뢰빈도분포에 대한 통계적인 연구만 이루어지고 있다.^{[1]-[4]}

따라서 본 연구에서는 뇌방전시에 발생하는 대기중의 전계 변화 파형을 분석하기 위하여 반구형 전계센서를 이용한 전계 측정시스템을 설계, 제작하였다. 1995년 6월부터 시제작한 전계 측정시스템을 본교(인하대학교)에 설치하여 뇌방전에 의해서 방사되는 전계를 계속하고, 전계파형의 특성과 주파수성분을 분석하였으며, 이들의 결과를 보고한다.

2. 측정계의 구성

평판형 전계센서를 장기간 대기중에 노출하여 전계를 측정하면 비, 또는 눈이 내리는 날 빗물 또는 빙설에 의해서 센서전극과 접지판이 단락되거나 특성이 변화하므로

안정한 측정이 어렵게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 센서를 반구형으로 제작하였다. 반구형 센서의 직경은 30 cm이고, 센서 일부분에는 중폭 및 버퍼회로를 설치할 수 있도록 육면체 상자를 만들어 회로 및 전원을 내장할 수 있는 구조로 하였으며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

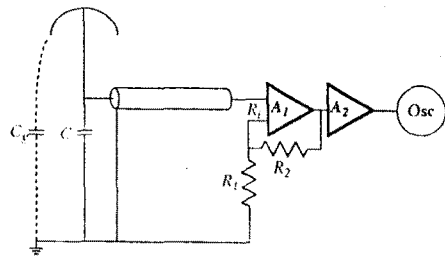


그림 1 전계측정계의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the electric field measuring system

센서의 전극에 검출된 전계신호는 시도함수로 나타나기 때문에 실신호로 출력시키기 위하여 수동성 적분기와 중폭회로를 구성하였다. 연산중폭기로는 주파수대역이 DC ~ 70 MHz인 LH0032를 사용하였고, 데이터취득장치까지의 신호전송에 사용된 동축케이블에 의한 신호의 왜곡을 방지하기 위해서 중폭기 후단에 전압버퍼(LH0033, 대역 : DC ~ 100 MHz)를 연결하여 임피던스 정합이 이루어진 회로를 구성하였다.

3. 데이터취득시스템 및 방법

뇌방전은 불규칙적이고 순시 다발적으로 발생하기 때문에 뇌방전 순간을 포착하여 데이터를 얻는 것은 불가능하므로 측정시스템을 기록대기상태에 있다가 뇌방전으로 인한 전계신호의 발생을 포착하여 관측하여야 한다. 따라서 본 연구에 적용한 데이터취득시스템은 뇌방전에 의한 전계신호에 의하여 트리거 되며, 검출된 신호를 12 bit의 해상도로 100 ns ~ 500 μs의 시간 간격으로 샘플링하여 저

강할 수 있는 과도신호해석기(Nicolet Pro30)를 적용하였다. 본 데이터취득시스템은 트리거 전후의 신호검출도 가능하며 취하고자 하는 시간 범위의 조정이 다양한 장점을 가지고 있다.

접지에 의한 노이즈의 침입을 제거하기 위하여 먼저 지면에 접지봉을 병렬로 2개 설치하고 접지판(900 × 1600 mm²)을 지면에 설치하였다. 접지판 위에 반구형 전계센서의 전극을 약 1 m 높이의 지점에 설치되도록 측정계를 설치하였다. 1995년 6월이래 400여 개의 뇌방전과 관련된 전계파형의 데이터를 얻었으며, 본 논문에서는 하절기의 데이터를 중점적으로 분석하고, FFT에 의해 주파수성분에 대한 결과를 검토하였다.

4. 결과 및 고찰

뇌방전 현상은 뇌운에서 대지로 방전하는 낙뢰(cloud to ground discharge)와 뇌운안에서 일어나는 방전(intracloud discharge), 뇌운과 뇌운사이에서 일어나는 방전(intercloud discharge), 뇌운과 대기사이에서 일어나는 방전(air discharge)으로 분류된다.

가장 빈번한 뇌방전현상은 운방전이지만 실제 연구의 공학적인 측면에서의 중요성은 낙뢰이다. 뇌운과 대기사이의 방전인 낙뢰는 뇌운의 정(+), 부(-)전하가 중성으로 됨으로써 방전은 종료되는데 이의 방전과정은 그림 2와 같은 메커니즘으로 이루어진다.⁵⁾

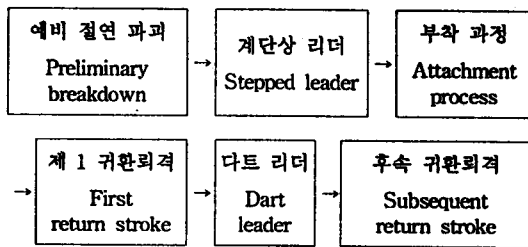


그림 2 낙뢰의 진전과정

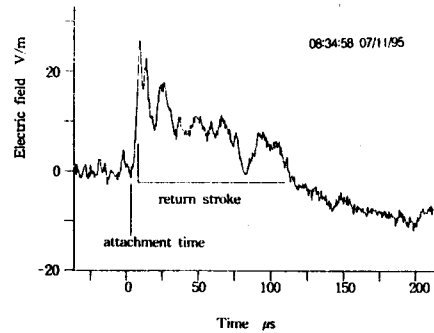
Fig. 2 Propagation process of lightning return strokes

낙뢰에 의해서 발생하는 전계의 파형은 상승시간, 영점교차시간, 반대방향으로의 오버슈트 등의 파라미터로 특징지어지는데 이들 파라미터는 낙뢰지점으로부터 전계신호 검출용 센서까지의 거리에 따라 변화한다. 귀환뢰격에 의하여 발생된 전계파형의 예를 그림 3에 나타내었고, 50 km이상의 먼 곳에서 발생한 낙뢰라고 판단되며, 이의 전계파형을 분석하여 보면 다음과 같은 특징이 있다. 그림 3에서 L은 계단상의 리더(leader)로서 귀환뢰격이 발생하기 전에 뇌운에서 대지로의 방전진전과정이다. 본 측정결과에서 귀환뢰격 직전의 리더스텝시간은 대략 10 μs 전후이었다.

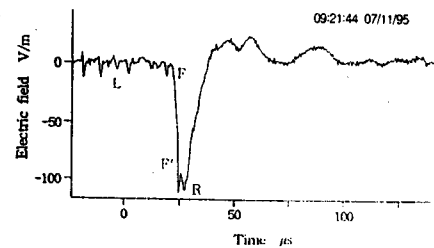
파두부분의 상승시간은 전기전도도가 유한인 대지를 상전파하게 됨으로써 길어지게 되며, 리더가 중복되는 경우도 있다. 먼 거리로부터의 뇌방전에 의한 방사전계성분이

검출될 때 거리에 따른 파두부 형상의 변화는 거의 없다. F는 하향 리더와 상향리더의 부착과정 동안에 생긴 것으로 완만한 파두상승부분이며, F'은 F 다음으로 나타나는 현상으로 매우 빠른 피크치의 파두상승부분이다. 이와 같이 파두부의 특징은 초기에 서서히 상승하는 부분과 그 후 급상승하는 부분으로 분류된다. 서서히 상승하는 것은 마지막 리더의 진전에 의한 것이고 급상승하는 부분이 귀환뢰격의 발단으로 발생되어지는 것으로 생각된다. 즉, R은 대기에서 귀환뢰격전류의 발생으로 급격한 기울기를 가진 피크로 발생하게 된 것이다.

이렇게 팽창하면서 뇌운으로 진전하여 귀환뢰격의 진전은 완료되게 된다. 그림 3에서 (a)는 정(+)-극성 낙뢰시의 전계파형이고, (b)는 부(-)-극성 낙뢰시의 전계파형의 예를 나타내었다. 부극성 낙뢰시의 전계파형이 대체적으로 상승시간(Risetime)이 짧고, 영점교차시간(Zero-crossing time)이 정극성에 비해 짧게 나타났다. 또한 관측된 전계파형중 90% 이상이 부(-)극성 낙뢰에 의해서 관측되었으며, 우리나라의 여름철에는 부(-)극성 낙뢰가 정(+)-극성 낙뢰보다 훨씬 많이 발생함을 알 수 있었다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 3 낙뢰에 의해 발생하는 전계파형의 예
Fig. 3 Typical electric field waveforms produced by lightning return stroke

그림 4에 운방전시에 발생하는 전계파형의 대표적인 예를 나타내었다. 운방전시에 발생하는 전계파형은 낙뢰에 의하여 발생하는 전계파형과는 대단히 다르며, 이의 특징을 살펴보면, 운방전시에 낙뢰시와 마찬가지로 주방전이 일어나기 직전에 리더가 진전되며, 운방전시의 리더는 낙

의 리더보다는 더 긴 시간간격으로 나타났다. 또한 상승 부분에는 미세한 펄스들이 중첩되어 나타나고, 반드시 양극성의 형태로 나타났다. 다중 운방전인 경우에도 진전과정의 양상이 거의 동일한 특성으로 나타났다. 운방전에 의해 발생하는 전계파형은 귀환뢰격시에 발생하는 전계파형의 형상과는 판이하게 다르다는 것을 알 수 있다.

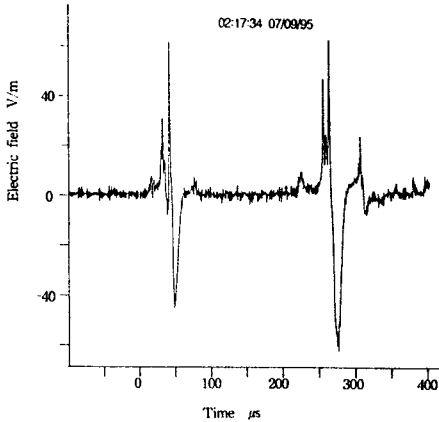
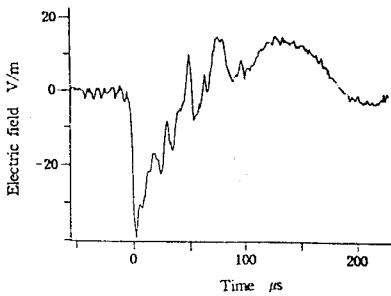
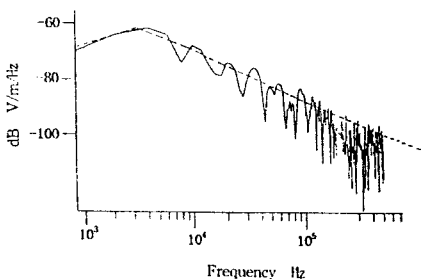


그림 4 운방전시 발생하는 대표적인 전계파형
Fig. 4 A typical electric field waveform produced by intracloud discharges



(a) 전계 파형



(b) FET 결과

그림 5 낙뢰에 의해 발생하는 전계파형과 FFT결과
Fig. 5 A typical electric field waveform produced by lightning return stroke and its FFT result

그림 5에는 낙뢰시에 발생한 전계파형의 예와 이에 대한 FFT에 의한 주파수분석 결과를 나타내었다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 주로 낙뢰시에 발생하는 전계파형의 주파수 성분은 수 kHz ~ 수 백 kHz 성분이 주로 관측되었다. 그림 5 (b)에서의 점선은 Martin A. Uman^[6]이 연구한 낙뢰발생시에 나타나는 주파수성분의 결과로서 본 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 시변공간전계를 측정할 수 있는 측정시스템을 구성하였으며, 뇌방전시 발생하는 전계파형을 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서 구성한 전계측정시스템의 주파수대역과 응답감도는 각각 200 Hz ~ 1.56 MHz, 0.96 mV/V/m이며, 뇌방전에 의하여 발생하는 전계를 측정하기에 적합하며 뇌방전에 관련된 여러 가지 유용한 정보를 얻을 수 있는 계측시스템을 얻었다.

(2) 낙뢰지점과 관측점사이의 거리에 따라서 전계파형의 양상이 다르게 나타났으며, 우리나라에서 여름철에는 부(-)극성의 낙뢰가 정(+)극성 낙뢰보다 훨씬 많이 관측되었다.

(3) 낙뢰뿐만 아니라 운방전시 발생하는 전계파형을 측정하여 분석한 바, 운방전시에 발생하는 리더는 전계파형의 상승부분에서 미세한 펄스로 중첩되었고, 반드시 양극성의 형태로 나타났다.

(4) 낙뢰시에 발생하는 전계파형의 주파수성분은 주로 수 kHz ~ 수백 kHz이 주로 관측되었으며, 운방전시 보다 강렬한 고주파성분이 포함되어 있음이 밝혀졌다.

참고 문헌

- [1] Bok-Hee Lee, M. Ishii and J. Hojo, "Characterization and Evaluation of the Electric Fields Produced by Lightning Return Strokes", Proc. of 4th Annual Conference of Power & Energy Society. IEE of Japan, pp.545~546, 1993.7
- [2] 홍사우, 김영환, 김재영, "전력계통 낙뢰감지 및 진로 예측시스템", 대한전기학회 하계학술대회 논문지, pp.70~73, 1992.7
- [3] 李福熙, 石井 勝, 北條 準一, "뇌방전에 의하여 발생하는 전계파형", 대한전기학회 방전 및 고전압방전연구회 춘계학술발표대회 논문집, pp.4~7, 1993.5
- [4] F. Heidler, "E(t)-signals of Near Lightning Strokes Using Vedio Tape Recorder", Proc. of 22nd International Conference on Lightning Protection, R 1c-03, pp.1~6, 1994.10
- [5] M. A. Uman and P. L. Rustan, "Electric Fields Proceeding Cloud-to-Ground Lightning Flashes", J. Geophys. Res., Vol. 87, No. C7, pp.4883~4902, 1982
- [6] M. A. Uman and E. P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling", IEEE Trans., Vol. EMC-24, No. 2, pp.79-105, 1982.5