

뇌격거리측정계 및 뇌방전에 의해 발생하는 전장의 스펙트럼 분석

이복희, 장석훈, 정광희, 전덕규  
인하대학교, 서울산업대학교

Measurement System of a Distance from Lightning Strokes to Observatory and Spectrum Analysis of Electric Fields Radiated from Lightning Discharges

B. H. Lee, S. H. Chang, K. H. Jeang, D. K. Jeon  
Inha University, Seoul National Polytechnic University

**Abstract** - This paper deals with a measurement system of a distance between lightning strokes and observatory station and spectrum analysis of electric fields radiated from lightning discharges. The distance measurement system, which consists of a loop type magnetic field sensor, a microphone and one chip microprocessor, is connected to a personal computer through RS232 port to acquire and process the data. This system is to use a difference of propagation velocity between an electromagnetic wave and a sonic wave produced by lightning discharge. Also, an electric field waveform and a frequency spectrum were investigated by an electric field measurement system with a hemisphere antenna and a spectrum analyzer with a biconical antenna and a log-periodic antenna, respectively. The results would be used as a basic reference to protect the power systems and electric circuits from lightning overvoltages.

서 관측점까지의 거리를 측정하기 위해 자장센서와 마이크로폰을 이용한 뇌격거리 측정시스템을 설계·제작하였다. 뇌방전에 의해 발생하는 전자파는 대기중에서 거의 빛의 속도( $3 \times 10^8$  m/s)로 진행하며, 천둥소리는 이에 비해 매우 느린 음속(340m/s)으로 진행하므로 동일한 관측점에는 시간차를 두고 두 신호가 도달하게 된다. 이러한 진행속도의 차이에 의한 뇌방전의 발생위치에서 관측점까지의 도달시간차를 이용한 뇌방전 거리측정 시스템을 구현하였으며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

1. 서 론

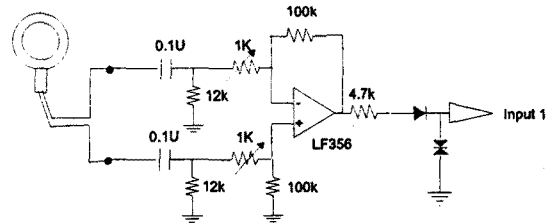
전원의 안정적인 공급 및 전력계통의 내뢰설계를 위해 세계 각국에서 뇌방전 현상에 대한 다각적인 연구가 활발히 진행되고 있으나 우리 나라에서는 이에 대한 연구는 아직 기초적 단계인 실정이다.<sup>(1),(2)</sup> 우리나라 근방에서 발생하는 뇌방전에 의해 방사되는 전장과 자장 파형의 계측 및 뇌격거리, 낙뢰의 위치와 극성 분석 등의 통계적인 연구는 뇌방전의 진전과정과 특성해석의 기초자료로 활용가능하며, 전력계통의 절연설계와 피뢰대책 수립을 위해 중요하다. 또한 뇌방전에 의해서 방사된 강하고 주파수 성분의 전자파는 정보/통신 선로에 이상전압을 유기시켜 전자기기의 손상이나 오동작을 유발하기도 하므로 낙뢰와 운방전에 의해 발생하는 전자파의 세기와 주파수분석에 대한 연구도 요구되어진다.

본 연구에서는 뇌방전에 의해서 발생하는 전자계의 주파수 분석과 거리에 따른 특성을 해석하기 위해서 뇌방전에 의하여 발생하는 전자파와 천둥의 음파와의 진행속도의 차이에서 기인하는 관측점까지의 도달시간차를 이용하여 뇌방전 거리 측정계를 구현하였다. 또한 반구형 전계센서를 이용하여 전장파형을 관측하였으며, 바이코니칼 안테나, 대수 주기 안테나와 스펙트럼 해석기를 이용하여 낙뢰 및 운방전에 의해 발생하는 전자파의 주파수 성분 분석이 가능한 측정계를 구성하였다.

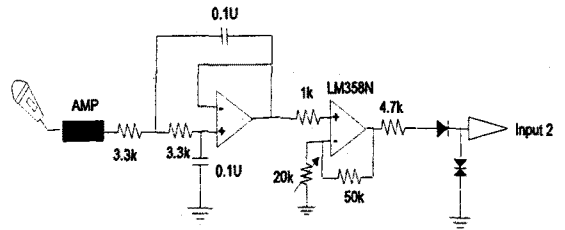
2. 측정 시스템의 구성

2.1 뇌방전 거리 측정계

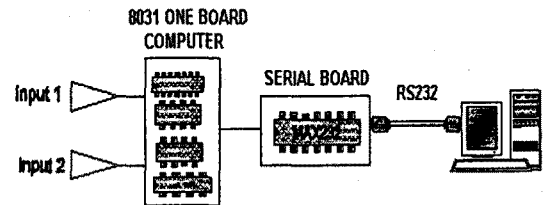
낙뢰 및 운방전의 발생거리 즉, 뇌방전의 발생 위치에



(a) 자장신호 검출기의 회로도



(b) 음파신호 검출기의 회로도

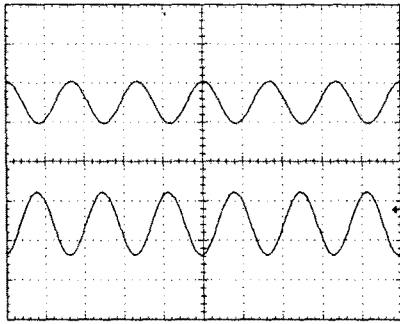


(c) 신호처리 시스템의 계통도

그림 1. 뇌방전거리측정시스템의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the measurement system of a distance from lightning strokes to observatory site

뇌방전시 발생하는 자장신호를 반경 220 [mm], 권수 15회의 루프형 자장센서를 이용하여 검출하고 8031 원칩 마이크로프로세서의 입력으로 사용하기 위해 차동 증폭하였다. 뇌방전에 의해 발생하는 자장파형은 일반적으로 수 kHz 이상의 주파수성분을 가지므로 상용 주파수 성분의 검출에 의한 측정계의 오동작을 방지하기 위해 차단주파수 130 Hz인 고역통과필터를 적용하였다. 후단의 제너다이오드는 마이크로프로세서를 이상 과전압으로부터 보호하기 위해 사용하였다. 그림 2에 자장센서의 응답특성을 나타내었으며, 사각루프형 교정장치를 통해 0.1  $\mu$ T의 균일한 자장을 발생시켜 루프형 자장센서에 인가하였을 때 마이크로프로세서를 구동시키기에 충분한 신호를 발생함을 확인하였다. 또한 증폭비의 조절을 통해 손쉽게 센서의 감도를 조정할 수 있는 구조로 설계·제작하였다.



상 : 인가한 자장 [ 0.1  $\mu$ T/div, 10 $\mu$ s/div]  
 하 : 증폭기 후단의 출력전압 [10V/div, 10 $\mu$ s/div]

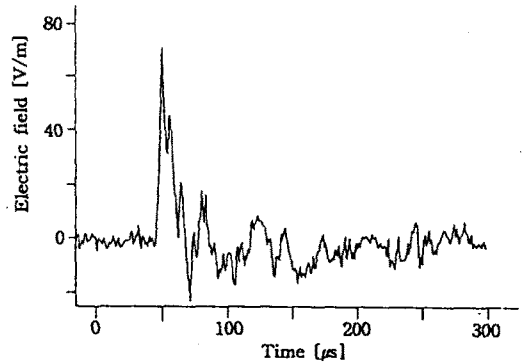
그림 2. 자장 검출기의 응답특성  
 Fig. 2. Response characteristic of the magnetic field detection device

또한 천둥소리의 음파신호는 고감도형 마이크로폰과 저역통과필터를 이용해 검출한다. Arabadzhi, Latham 등에 의한 천둥의 주파수 분석에 대한 연구에 의하면 천둥의 음파신호는 주로 200 Hz 부근에서 최대값을 나타낸다.<sup>(3),(4)</sup> 따라서 다른 노이즈로부터 천둥소리의 음파신호를 구별하기 위해서는 저역 통과 필터가 필요하며, 그림 1(b)에 나타난 회로도에서처럼 480Hz의 차단주파수를 가지는 저역 통과 필터를 적용하였다. 마이크로프로세서의 입력신호로 충분한 크기의 신호를 얻기 위해 증폭비의 조절이 가능한 회로를 구성하였다.

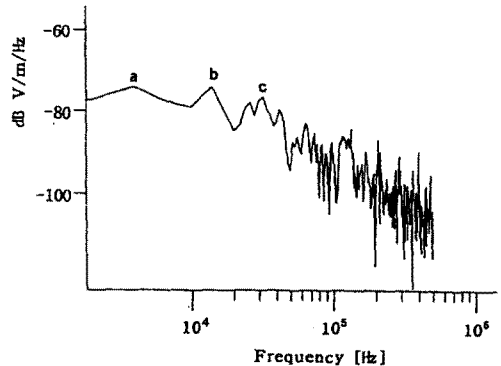
검출된 자장신호와 음파신호가 각각 8031 마이크로프로세서의 입력단에 시간차를 두고 인가되면 두 신호의 도달시간차를 계산하여 뇌방전거리를 연산한다. 먼저 자장 신호의 검출에 의해 마이크로프로세서에 인터럽트를 발생하면 내부클럭수를 증가시키며 음파신호의 검출에 의해 정지하게 되고 두 신호의 도달시간을 10(ms) 단위로 계산한다. 따라서 최대 10(ms), 즉 약 3.4(m) 정도의 오차가 발생할 수 있으나 이는 신호전송과정에서도 발생할 수 있는 정도의 매우 미소한 값이므로, 제안된 측정계는 뇌격거리 측정의 고정도 계측이 가능하다고 판단된다. 연산된 결과는 RS232 포트로 연결된 개인용 컴퓨터로 전송되어 데이터를 저장하게 된다. 이때 일반적으로 천둥에 의한 음파의 검출 가능 거리는 약 20(km)이내로 전자파보다 짧으므로 음파신호가 검출되지 않을 경우에는 자동으로 대기상태로 복귀되도록 설계하였다.<sup>(5)</sup>

## 2.2 전장 측정 시스템

뇌방전에 의해 발생하는 전장파형은 반구형 센서와 증폭회로, 버퍼회로 등으로 구성된 전장 센서로 관측한다.<sup>(6)</sup> 센서의 전극에서 검출되는 전장신호는 시도함수로 나타나므로 수동성 적분회로를 적용하여 실신호 관측이 가능하도록 하였다. 전장 측정계의 응답감도는 0.96 (mV/V/m)이며, 주파수 대역은 200(Hz)~1.56(MHz)로 낙뢰 및 운방전에 의해서 발생하는 전장신호의 정확한 검출이 가능하다. 계측된 신호를 연속적으로 저장할 수 있도록 12bits의 분해능을 가지며, 100(ns)에서 500(ns)의 범위로 샘플링 시간을 조정할 수 있는 과도신호해석기(Nicolet Pro30)를 이용하여 자동 데이터 기록 시스템을 구성하였다. 그림 3에 낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 한 예를 나타내었다. 뇌방전 거리 측정시스템과 연계하여 낙뢰 및 운방전의 발생거리에 따른 전장파형의 계측이 가능하다.



(a) 전장 파형



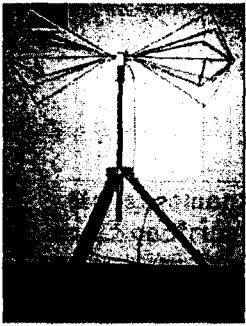
a : Return stroke radiation  
 b : K-change radiation  
 c : stepped leader radiation

(b) FFT 결과

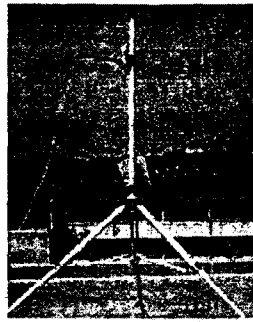
그림 3. 낙뢰에 의해 발생하는 전장파형과 FFT결과  
 Fig. 3. Typical electric field waveform produced by lightning return stroke and its FFT results.

## 2.3 주파수 스펙트럼 분석 시스템

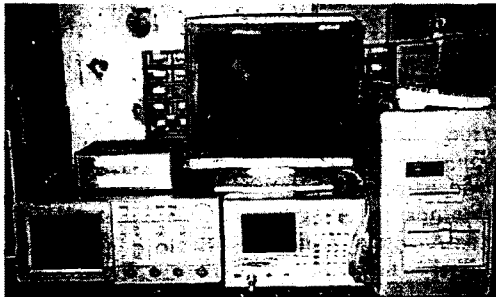
뇌방전에 의해 발생하는 전장의 스펙트럼 분석을 위해 스펙트럼 분석기(Anritsu社, MS2601B, 9kHz~2.2 GHz)와 바이코니칼 안테나(Biconical Antenna) 및 대수 주기 안테나(Log-periodic Antenna)를 이용하여 측정계를 구성하였다. 그림 4에 각각의 안테나와 측정계의 사진을 나타내었다.



(a) 바이코니칼 안테나



(b) 대수주기 안테나



(c) 주파수 스펙트럼 분석 시스템

그림 4. 전자파 측정기 및 주파수 스펙트럼 분석기의 사진

Fig. 4. Photographs of electromagnetic measurement system and spectrum analyzer

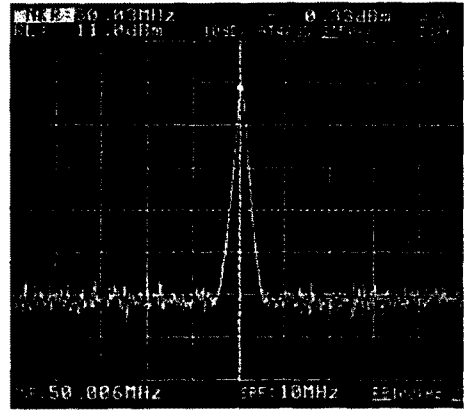
바이코니칼 안테나는 뇌방전시 발생하는 전자파의 주요 주파수 성분을 포함하는 300(MHz) 이내의 주파수 대역에서 스펙트럼 분석이 가능하며, 대수주기 안테나를 사용하면 최대 2(GHz)까지의 주파수 스펙트럼 분석이 가능하다. 함수발생기(AFG2020, Tektronix社)를 이용하여 50(MHz)의 구형파 전압을 사각루프형 교정장치에 인가시와 10/1000 $\mu$ s의 임펄스 전압을 인가하였을 때 바이코니칼 안테나로 검출한 전장의 스펙트럼 분석 파형의 예를 그림 5에 나타내었다. 10/1000 $\mu$ s 임펄스 전압 인가시 방사되는 전장의 주파수 스펙트럼 분석 결과 138~144MHz정도의 고주파 성분도 계측되었다.

### 3. 결 론

뇌방전시 발생하는 자장신호와 천둥소리의 음파신호의 도달시간차를 이용한 뇌방전 거리 측정 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 10(ms)이내의 오차범위를 가지며, 뇌방전 지점부터 관측점까지 거리의 고정도 측정이 가능하다.

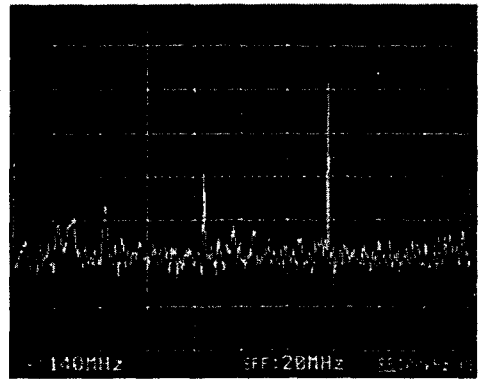
또한 반구형 전장측정 시스템과 연결하여 뇌방전 거리에 따른 전장파형의 분석을 통해 뇌격강도 및 방사전자파의 세기 등의 연구에 적용할 수 있다.

바이코니칼 안테나, 대수주기 안테나와 스펙트럼 분석기로 뇌방전에 의해 방사되는 전자파의 주파수 스펙트럼 측정계를 구성하였다. 이를 통해 뇌방전시 방사된 전자파의 스펙트럼 분석이 가능하며, 뇌방전의 발생과 진전 과정시의 전자파 특성을 해석하기 위한 기초자료로 이용할 수 있다.



Center Frequency : 50.006MHz  
Span Frequency : 10MHz

(a) 50MHz 구형파 전압 인가시



Center Frequency : 140MHz  
Span Frequency : 20MHz

(b) 10/1000 $\mu$ s 임펄스 전압 인가시

그림 5. 스펙트럼 파형의 예

Fig. 5. Example of Spectrum waveform

(참 고 문 헌)

- [1] William C. Hart, Edgar W. Malone, "Lightning and lightning protection" interference control technologies, Inc. pp.1.6~1.9, 1988
- [2] Martin A. Uman, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling" IEEE transaction on Electromagnetic compatibility, vol 24, No. 2, pp. 79~112, 1982, 5.
- [3] Arabadzhi, "Some Characteristics of the electrical state of thunderclouds and thunderstorm activity" Associated Technical Services, Inc., 1957
- [4] Latham, "A Study of Thunder from Close Lightning Discharges", New Mexico Institute of Mines and Technology, Socorro, N.M., 1964
- [5] Martin A. Uman, "Lightning", Dover publication, Inc., pp. 181~201, 1984.
- [6] 이복희, 안장환, 길경석, "뇌방전에 의해서 발생하는 전장의 자동측정 시스템", 센서학회지, Vol. 5, No. 2, pp.47~54, 1996