

뇌방전에 의해 발생된 전장 및 자장의 특성

이복희, 이우철*, 백영환, 조성철¹

인하대학교 차세대 고전압전력기술연구센터, ¹기초전력연구원

Features of the electric and magnetic fields produced by lightning discharges

B. H. Lee, W. C. Lee^{*}, Y. H. Baek and S. C. Cho¹
HVPT, Inha University, ¹KESRI

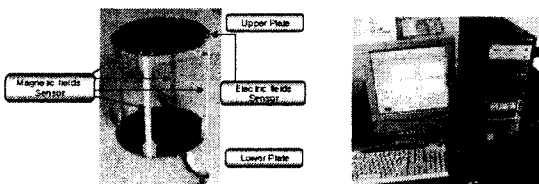
Abstract - This paper describes the features of electric and magnetic fields produced by lightning discharges. The measuring system consists of fast electric field sensor, crossed-loop magnetic field sensors, signal processing circuit, A/D converter and data acquisition equipment with a 12bit resolution and 10 [MS/s] sampling rate. The frequency bandwidth and responsivity of the electric field measuring system were 40 [Hz] ~ 2.6 [MHz] and 2.08 [V/m/mV] and those of the magnetic field measuring system were 400 [Hz] ~ 1 [MHz] and 2.78 [nT/mV], respectively. The electric and magnetic fields produced by lightning discharges were observed, and the features and parameters of the waveforms were analyzed.

1. 서 론

최근 기상이변 등에 의해 낙뢰에 의한 피해가 급증하고 있으며, 인명피해도 점차 늘어가고 있는 실정이다. 또한 초소형 전자기기의 보급에 따른 정보통신설비의 피해역시 증가하고 있는 추세이다. 이에 대한 보다 효과적인 대책수립을 위해서는 우리나라에서 발생하는 낙뢰의 특성에 연구가 필요하다. 본 연구에서는 뇌방전 현상의 전자기적 특성의 해석을 위해서 루프형 자장 센서 및 LabVIEW program을 적용하여 구축한 400 [Hz] ~ 1 [MHz]의 주파수 대역과 2.78 [nT/mV]의 응답감도를 갖는 자장 측정 시스템과 40 [Hz] ~ 2.6 [MHz]의 주파수 대역과 2.08 [V/m/mV]의 응답감도를 갖는 전장 측정 시스템을 이용하여 뇌 방전에 의해 발생한 전자장을 측정하였다. 관측된 춘계뢰 및 추계뢰에서 발생한 전자장의 여러 파라미터 (상승시간, 반전도 깊이, 펄스폭 등)를 비교 분석함으로써 우리나라에서 발생하는 운방전 및 귀환 뇌격에 의한 전장 및 자장의 특성을 파악함으로써 전자유도에 의한 유도장해대책에 기초적 자료를 제공하고자 한다.

2. 측정 시스템 및 방법

2.1 측정 장비



(a) 전장 및 자장 센서 (b) 데이터 취득 장치

그림 1. 전장과 자장센서 및 데이터 취득 장치의 사진
Fig 1. Photos of the electric and magnetic field sensor and data acquisition system

전장과 자장 센서 및 데이터 취득 장치의 사진을 그림 1에 나타내었다. 검출 장치는 직경 253[mm], 간격 3 [mm]의 평판형 전장 센서 및 한 변의 길이 25.3 [cm], 쇠교 면적 640 [cm²]의 루프형 자장 센서로 이루어져 있다. 평판형 전장 센서의 경우 2.6 [nF]의 정전용량을 가지며, 고저항을 연결하여 감쇠시정수를 9.5 [ms]로 정하였다. 자장 센서는 직교의 6턴과 2턴의 루프로 이루어져 있으며, 6턴의 경우 21 [μH], 2턴의 경우 3 [μH]의 인덕턴스를 갖는다. 데이터 취득 장치는 12 bit 분해능과 10 [MS/s]의 샘플링 레이트를 가진 A/D 변환기를 사용하여 실시간 측정 및 저장하도록 하였다. 또한 데이터 기록시간을 10 [ms]로 하여 뇌방전시 후속뇌격에 의해 발생하는 전장 및 자장을 한 이벤트 안에 측정할 수 있도록 하였다.

2.2 측정 시스템

본 측정 시스템은 주변의 상용 전원에 의한 전장 및 자장에 영향을 쉽게 받으므로 노이즈의 영향을 최소화하기 위해 15층 건물의 옥상에 설치하였다.

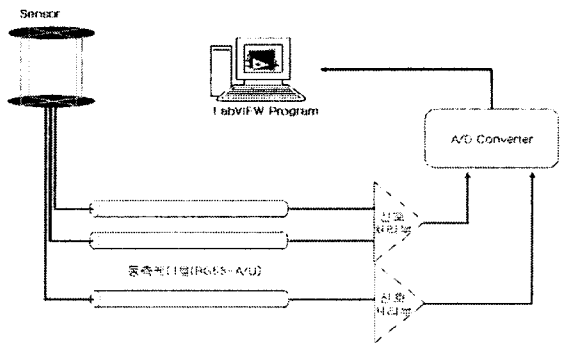
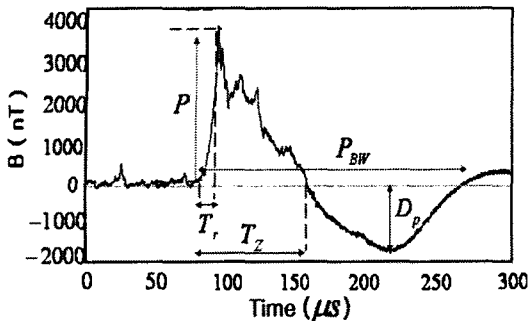


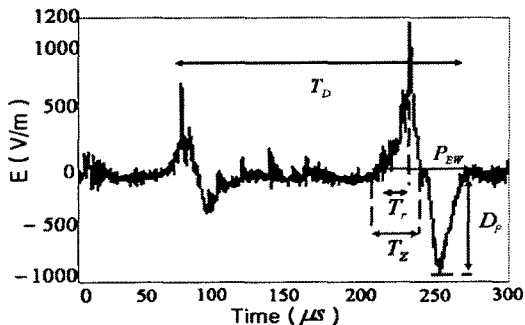
그림 2. 측정 시스템의 구성도
Fig 2. Schematic diagram of the measurement system

측정 시스템 구성도를 그림 2에 나타내었다. 전장 및 자장 센서를 통해 검출된 전장 및 자장 신호는 차동 증폭 및 적분회로, 전압 버퍼 회로로 신호처리한 후 실시간 측정 및 저장되도록 하였다. 뇌방전의 발생시점을 예측할 수 없으므로 측정시스템은 항상 계측대기상태를 유지한다.

2.3 전장 및 자장 파형의 분석방법



(a) 귀환뇌격에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터



(b) 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터

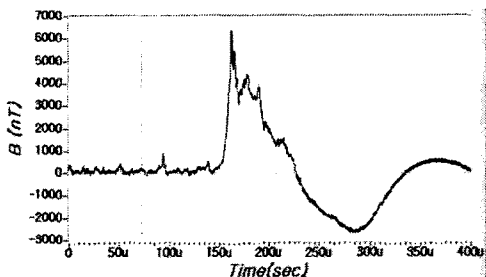
그림 3. 뇌방전에 의해 발생한 전장과 자장 파형의 파라미터의 정의
Fig 3. Definition of the parameters of the electric and magnetic field waveforms produced by lightning discharges

그림 3에 뇌방전에 의해 발생한 전장 및 자장 파형의 특성을 파악하기 위해 분석대상 파라미터의 정의를 나타내었다. 지속시간, 상승시간, 영점교차시간, 반전도 깊이, 펄스폭, 피크치, 운방전 발생시의 펄스 수 등을 분석하였다.

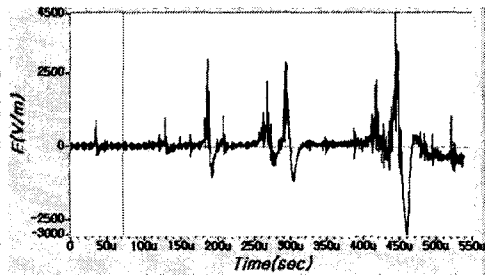
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 뇌방전에 의해 발생된 전장 및 자장 파형

뇌방전에 의해 발생된 전장 및 자장 파형의 예를 그림 4에 나타내었다. 4-(a)의 파형은 귀환뇌격에서의 자장 파형으로서 귀환뇌격이 일어나기 전에 계단상의 펄스가 진전되는 것이 보이며 빠른 상승시간 부분과 느린 상승시간 부분으로 나뉜 것을 볼 수 있다. 또한 4-(b)의 파형은 운방전에서의 전장 파형으로서 빠른 상승시간을 갖고 여러 개의 양극성 진동 형태를 띠는 것이 특징이다.



(a) 귀환뇌격



(b) 운방전

그림 4. 뇌방전에 의해 발생된 전장 및 자장 파형

Fig 4. Waveforms of the electric and magnetic fields produced by lightning discharges

3.2 귀환뇌격에 의해 발생된 전장 및 자장의 특성

표 1에서는 귀환뇌격에 의해 발생한 전장 및 자장 파형의 파라미터에 대해서 나타내었다. 위의 표는 2005년 4월 및 5월에 측정된 전장 및 자장 파형을 대상으로 분석한 것이다.

표 1. 귀환뇌격에 의해 발생한 전장과 자장 파형의 파라미터
Table 1. Parameters of the electric and magnetic field waveforms produced by lightning return strokes

	평균		표준편차	
	전장	자장	전장	자장
반전도 깊이(%)	37	34.1	22.7	25.8
상승시간(μs)	3.8	3	3.2	1.2
영점교차시간(μs)	68	83	49.7	35.4

전장 파형의 파라미터는 33개의 전장 파형을 분석한 결과이며, 자장 파형의 파라미터는 48개의 자장 파형을 분석한 결과이다. 반전도 깊이의 경우 37 [%], 34.1 [%]로 전장 및 자장 파형 모두 비슷하였으나 표준 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 상승시간도 3.8 [μs], 3 [μs]로 비슷하였으나 영점교차시간에서 큰 차이를 나타내었다.

3.3 운방전에 의해 발생된 전장 및 자장의 특성

측정 장비의 데이터 기록시간을 10[ms]로 하여 비교적 긴 시간동안 파형을 측정할 수 있으며 운방전에 의해 발생한 하나의 이벤트에서 일어나는 파형을 연속적으로 모두 측정하였다.

표 2. 운방전에 의해 발생한 전장 및 자장 파형의 파라미터
Table 2. Parameters of the electric and magnetic field waveforms produced by intracloud lightning discharges

(a) 전장 파형		평균	표준편차
지속시간 (ms)		1.1	0.5
펄스 수	총 펄스 (개)	7.6	2
	50% 이상 (개)	2.8	1.28
	33% 이상 (개)	4.3	1.45
상승시간 (μs)		4.8	3
반전도 깊이 (%)		53.4	18.1
펄스 폭 (μs)		39.2	15.3
영점교차시간 (μs)		21.2	8.85

(b) 자장 파형

	평균	표준편차
상승시간 (μs)	5.6	4.8
반전된 깊이 (%)	56.7	19.2
펄스폭 (μs)	37	18.7
영점교차시간 (μs)	20	9.8

운방전에 의해 발생한 전장 및 자장 파형의 파라미터를 표 2에 나타내었다. 표 2에 나타낸 결과는 2005년 4월 및 5월에 측정된 운방전에 의해 발생한 전장 및 자장 파형의 파라미터를 분석한 결과이다. 운방전에 의해 발생한 전장과 자장 파형의 지속시간, 펄스 수, 상승시간, 반전된 깊이, 펄스폭, 영점교차시간 등 모든 파라미터에 의한 특성이 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

3.4 전장 및 자장의 특성 비교분석

현재 미국 및 일본 그리고 다른 여러 나라에서 뇌방전에 의해 발생하는 전장 및 자장 파형을 측정하여 전장 및 자장 파형의 파라미터를 분석하는 간접적인 방법으로 뇌방전 현상에 대해 연구하고 있다. 표 3에는 운방전에 의해 발생한 자장 파형의 파라미터들을 비교 분석한 결과를 나타내었다.

표 3. 운방전에 의해 발생한 자장 파형의 파라미터 비교
Table 3. Comparison of the parameters of the magnetic field waveform produced by intracloud lightning discharges

		2004년 인천 가을 자장	2005년 인천 봄 자장	1985년 플로리다 자장
지속시간 (ms)		1.3	1.1	
펄스 수	총 펄스 (개)	8	7.6	
	50% 이상 (개)	3	2.8	
	33% 이상 (개)	5.4	4.3	
상승시간 (μs)		6.15	5.6	12 - 18
반전된 깊이 (%)		41.1	56.7	75 - 81
펄스폭 (μs)		21.94	37	26 - 35
영점교차시간 (μs)		9.61	20	

인천에서 봄과 가을에 나타난 운방전에 의해 발생한 자장 파형의 파라미터를 비교 분석해 보면 지속 시간, 펄스 수, 상승시간 등은 거의 비슷한 양상을 보이거나 반전된 깊이, 펄스폭과 영점 교차 시간에서 많은 차이를 보이고 있다. 또한 인천과 미국 플로리다에서 운방전에 의해 발생한 자장 파형의 파라미터를 비교해 보면 상승 시간, 반전된 깊이, 펄스폭 등 모든 파라미터에서 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

초소형 전자기기의 보급에 따라 전자유도에 의한 유도 서지의 피해가 점차 증가하므로 본 연구는 보다 향상된 뇌해 대책 수립에 관련된 기초적 자료를 제공하고자 수행하였다. 전장 및 자장 센서, 신호처리부와 A/D 변환기 등으로 구성된 측정 시스템을 이용하여 뇌방전에 의해 발생하는 전장과 자장 파형을 측정하고 파라미터를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 뇌방전에 의해 측정된 전장과 자장 파형과 파라미터가 거의 비슷한 결과로 보아 방사성분이 지배적인 것으로 판단된다.

(2) 인천에서 운방전에 의해 발생한 자장 파형의 파라미터와 미국 플로리다에서 운방전에 의해 발생한 자장 파형의 파라미터를 비교한 결과 상승시간, 반전된 깊이, 펄스폭 등이 차이를 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이복희, 조성철, 엄우홍, 이우철, "뇌방전에 의한 유도전압의 측정에 대한 기초적 연구", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.559-564, 2004.
- [2] Fridolin Heidler, Christian Hopf, "Measurement Results of the Electric Fields in Cloud-To-Ground Lightning in Nearby Munich, Germany", IEEE Trans. on EC, Vol. 40, No 4, pp. 4 36~443, Nov. 2004
- [3] 이복희, 조성철, 이우철, 심용보, 우정욱, "뇌방전에 의한 유도전압과 자장의 측정", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p p.1866-1868, 2004
- [4] 이복희, 이우철, 조성철, "뇌방전에 의해 발생하는 전장과 자장 측정시스템", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, p.p. 14 7~150, 2005
- [5] M. A. Uman and E. P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling", IEEE Trans., V ol.EMC-24, No.2, pp.79-105, 1982.