

운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터 분석

(Parametric analysis of the electric and magnetic field waveforms produced by intracloud lightning discharges)

이복희 · 이우철* · 조성철¹

(Bok-Hee Lee, Woo-Chul Lee, Bong Lee, Sung-Chul Cho¹)

(인하대 차세대고전압전력기술연구센터, ¹기초전력연구원)

Abstract

This paper deals with the parametric analysis of electric and magnetic fields generated by lightning discharges. The measuring system consisted of the plate-type electric field and loop-type magnetic field sensor, the voltage follower, the active integrator and LabVIEW software. The parameters of the electric and magnetic field waveforms produced by intracloud lightning strokes were presented.

1. 서론

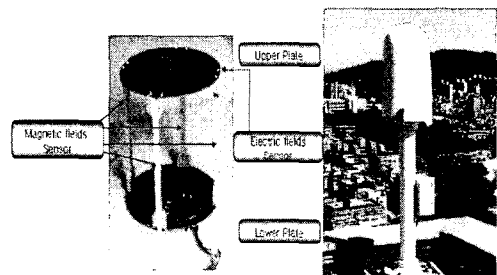
최근 정보화기기의 보급에 따른 정보통신설비의 피해가 증가하고 있는 추세이다. 기존의 뇌서지 보호의 목적으로 인명사고 예방 및 화재예방이 주를 이루었으나 최근에는 보호대상으로 초고밀도 집적회로로 이루어진 통신기기 및 전자기기까지 확대되고 있다. 컴퓨터 및 초소형 기기는 건축물의 파괴침에 낙뢰가 침입하거나 건축물 주변에 낙뢰가 발생할 경우 유도되는 유도전압과 전자장에 의해 정보화 시스템의 오동작, 손상 및 파괴까지 이어져 엄청난 사고를 초래할 수 있으며, 막대한 경제적 손실을 가져올 수 있으므로 내뢰성이 향상과 뇌해 대책기술이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 뇌방전시에 발생하는 전장 및 자장 파형을 관측할 목적으로 평판형 전장 센서와 루프형 자장 센서를 포함한 측정시스템을 설계·제작하고, A/D컨버터를 통한 디지털신호를 컴퓨터 프로그램으로 전장과 자장 파형을 측정하고 전장과 자장 파형의 파라미터를 분석함으로써 뇌보호 대책기술에 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험

2.1 측정 장비

그림 1에 평판형 전장 센서 및 루프형 자장 센서의 사진을 보여주고 있다. 평판형 전장 센서이므로 우천시 위판에 고이는 비와 눈, 바람 등의 영향에 의해 측정에 오차가 생길 수 있으므로 센서를 보호하도록 설치해 놓았다.



(a) 전장 및 자장 센서 (b)센서의 보호부

그림 1. 전장 및 자장 센서의 사진

Fig. 1. Photo of the electric and magnetic field sensors

위판과 아래판으로 이루어진 전장 센서와 2개의 직교 루프형 자장 센서로 구성되어 있다. 센서 규격으로는 전장 센서는 직경 253 [mm], 전극과 접지극 사이 3 [mm]로 되어 있으며 전극과 접지극 사이의 정전용량 C는 약 2.6 [nF]이다. 자장 센서는 한 변이 253 [mm]이며, 자속 쇄교면적 64,000[mm²]를 갖는 루프형 센서로 되어 있다. 두 개의 루프 센서는 6턴과 2턴으로 이루어져 다른 응답감도를 갖고 있다. 센서의 인덕턴스와 저항은 21 [uH] 1.5 [Ω] (6턴), 3 [uH] 0.6 [Ω] (2턴)으로 되어 있다.

2.2 데이터 취득시스템

센서로부터 측정된 후 신호 처리한 신호를 취득하는 것으로 LabVIEW 프로그램을 사용하였다. 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

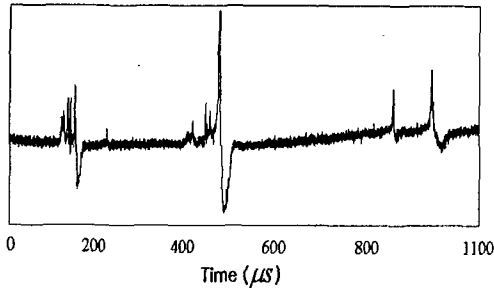
수 있도록 하였다.

본 연구에서는 평판형 전장 센서, 루프형 자장 센서, 신호처리회로, 데이터 취득 장치 등으로 구성된 전장과 자장 측정시스템을 구축하였다. 계측장비로써 전장 측정시스템의 교정실험을 한 결과 40[Hz] ~ 2.6[MHz]의 주파수 대역과 2.08[V/m/mV]의 응답감도이다. 또한 자장 측정시스템의 경우 300[Hz] ~ 1 [MHz]의 주파수 대역과 2.78[nT/mV]의 응답감도이다. 이러한 측정시스템을 이용하여 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형을 측정하고 전자장 파형의 파라미터에 대해 통계적 분석을 실시하였다.

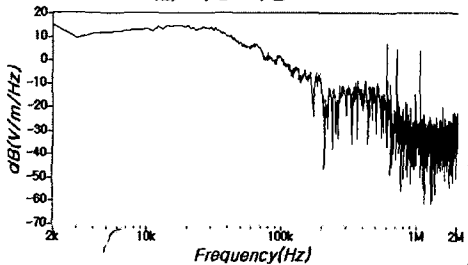
3. 결과 및 고찰

3.1 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형

운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 주파수 성분을 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transformation : FFT)기법을 이용한 파형의 주파수 성분의 분석을 수행하였으며, 운방전에 의해서 발생한 자장 파형과 이의 주파수 스펙트럼을 그림 2에 나타내었다.



(a) 자장 파형



(b) 주파수 분석

그림 2. 정극성 운방전에 의해 발생된 자장의 대표적인 파형 및 주파수 분석
Fig. 2. Typical magnetic field waveform produced by positive cloud lightning discharges and its FFT result

운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 주파수 성분의 경우 수[kHz] ~ 수백[kHz]의 주파수 성분을 나타내는 것을 볼 수 있었으며, 고주파 발생원은 뇌운 내의 빠른 전장 변화에 의해 수백[kHz]의 고주파 성분이 방사된다.

3.2 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터 정의

운방전에 의하여 방사된 전장 및 자장 파형의 대부분이 다중 펄스의 형태로 나타났으며, 다중도가 낙뢰 파형에 비해 높은 것을 알 수 있었다.

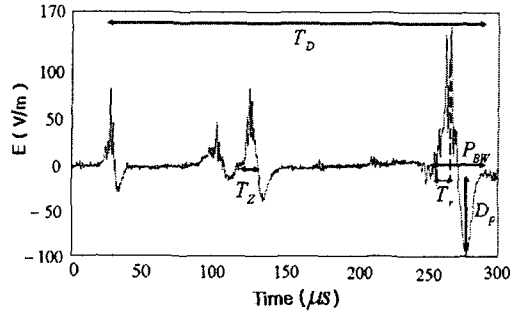


그림 3. 운방전에 의해 발생된 전자장 파형의 파라미터
Fig. 3. Parameters of the electric and magnetic field waveform produced by lightning cloud discharges

그림 3에 운방전에 의해 발생되는 전장 및 자장 파형의 파라미터를 정의하였다. 운방전에 의해서 발생하는 전장 및 자장 파형은 이벤트 진행 동안의 지속시간, 한 이벤트당 총 펄스 수, 최대피크치의 50[%]이상인 펄스 수, 최대피크치의 33[%]이상인 펄스 수, 상승시간, 영점교차시간, 펄스 폭, 반전도 깊이 등의 파라미터를 분석함으로써 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 특성에 대해서 알아볼 수 있었다.

3.3 운방전에 의해 발생된 전장 및 자장 파형의 파라미터

운방전에서는 귀환뇌격과 같이 급격하게 변동하는 파형이 발생하지 않고 임펄스성의 양극성 펄스가 발생하게 된다. 이와 같이 운방전은 양극성의 펄스성 파형을 가지므로 운방전의 특성은 크게 영점교차시간과 펄스폭에 대한 파라미터로서 나타낼 수 있다. 이번 연구에서 분석 대상으로 정한 운방전의 이벤트 수는 정극성의 경우 7개의 이벤트, 부극성의 경우 23개의 이벤트를 대상으로 하였다. 펄스 수로는 정극성의 경우 20개의 펄스, 부극성의 경우 74개의 펄스를 대상으로 분석하였다. 부극성 전자장 파형의 상승시간, 반전도의 깊이, 펄스폭, 영점교차시간 등의 파라미터를 그림 4 ~ 그림 11에 나타내었다. 부극성 운방전의 경우 지속시간이 0.5 ~ 2.5 [ms]의 분포를 가졌으며, 평균 1.33[ms]의 지속시간을 가진 운방전이 발생하였다. 이 지속시간동안 총 6.83개의 펄스가 발생하였으며, 최고 피크치의 50[%]이상인 펄스 수는 평균 1.91개, 33[%]이상인 것은 3.22개의 펄스가 발생하였다.

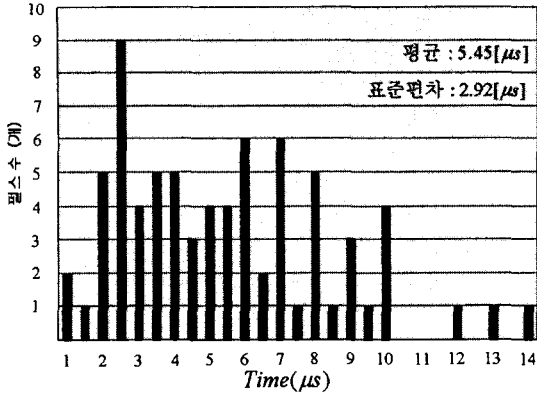


그림 4. 운방전에 의해 발생된 자장의 상승시간 분포
 Fig. 4. Histograms of the rise time of the magnetic field waveforms generated by intracloud lightning discharges

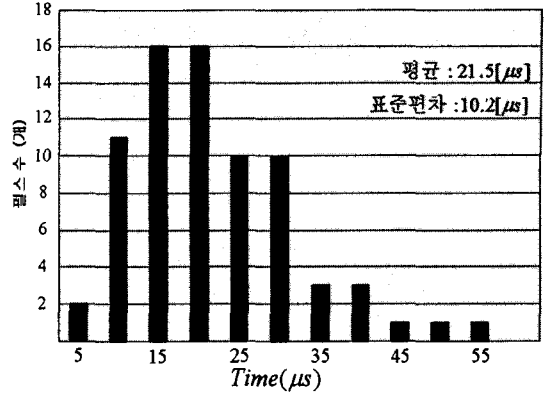


그림 7. 운방전에 의해 발생된 자장의 영점교차시간 분포
 Fig. 7. Histograms of the zero-to-crossing time of the magnetic field waveforms generated by intracloud lightning discharges

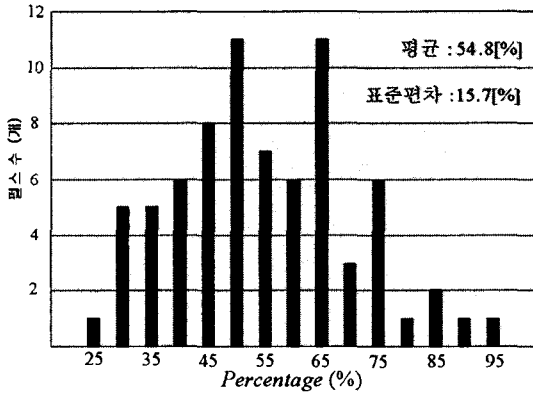


그림 5. 운방전에 의해 발생된 자장의 반전깊이 분포
 Fig. 5. Histograms of the depth of the dip to opposite polarity in the magnetic field waveforms generated by intracloud lightning discharges

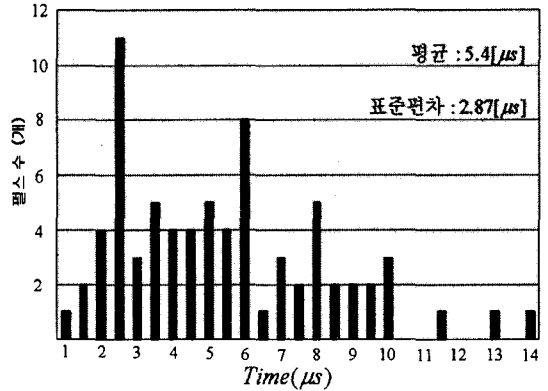


그림 8. 운방전에 의해 발생된 전장의 상승시간 분포
 Fig. 8. Histograms of the rise time of the electric field waveforms generated by intracloud lightning discharges

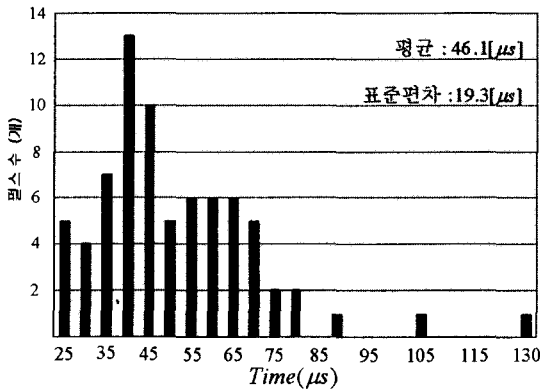


그림 6. 운방전에 의해 발생된 자장의 펄스폭 분포
 Fig. 6. Histograms of the full pulse width of the magnetic field waveforms generated by intracloud lightning discharges

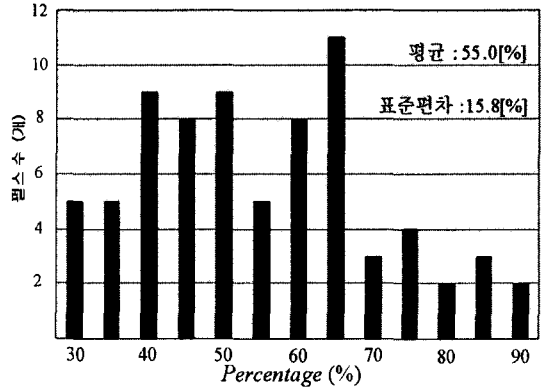


그림 9. 운방전에 의해 발생된 전장의 반전깊이 분포
 Fig. 9. Histograms of the depth of the dip to opposite polarity for the electric field waveforms generated by intracloud lightning discharges

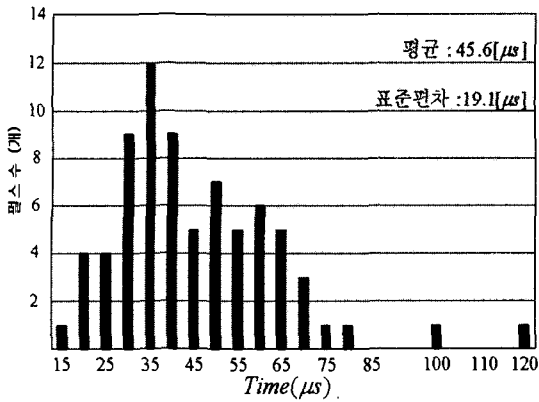


그림 10. 운방전에 의해 발생된 전장의 펄스폭 분포
 Fig. 10. Histograms of the full pulse width of the electric field waveforms generated by intracloud lightning discharges

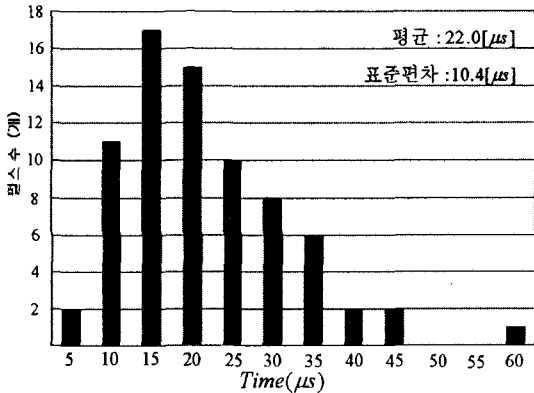


그림 11. 운방전에 의해 발생된 전장의 영점교차시간 분포
 Fig. 11. Histograms of the zero-to-crossing time of the electric field waveforms generated by intracloud lightning discharges

부극성 운방전에 의해 발생된 전장 및 자장 파형의 파라미터를 비교분석해 보면 자장 파형의 경우 상승시간 5.45[μs], 펄스폭 46.1[μs], 영점교차시간 21.5[μs], 반전도 깊이 54.8[%]를 보였으며 전장 파형의 경우 상승시간 5.4[μs], 펄스폭 45.6[μs], 영점교차시간 22[μs], 반전도 깊이 55[%]의 결과를 보였다. 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터를 분석해 본 결과 전장 파형의 파라미터와 자장 파형의 파라미터가 거의 같은 것을 알 수 있었다. 이를 미루어볼 때 방사성분이 지배적으로 나타났다는 것을 알 수 있었다.

표 1에 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터 비교를 보여주고 있다. 방사성분이 지배적이므로 전장의 파라미터와 자장의 파라미터를 비교했을 때 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있었으나 정극성과 부극성의 파라미터를 비교했을 때는 차이가 나는 것을 볼 수 있었다.

표 1. 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형의 파라미터 비교

Table 1. Comparison of parameters of the electric and magnetic field waveforms produced by intracloud lightning discharges

	정극성		부극성	
	전장	자장	전장	자장
상승시간[μs]	6.0	5.8	5.4	5.45
반전도 깊이[%]	61.75	57.3	55	54.8
영점교차 시간[μs]	20	20	22	21.5
펄스폭[μs]	39.7	40.5	45.6	46.1

4. 결론

본 연구에서는 운방전에 의해 발생되는 전장 파형과 자장 파형을 측정할 수 있는 전장 및 자장 측정계를 구성하여 실측실험을 통하여 운방전에 의해 발생되는 전장과 자장 파형을 측정하고 파형의 파라미터에 대해 통계적 분석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 자장 파형 뿐만이 아니라 전장 파형을 측정함에 따라 운방전의 극성을 파악할 수 있게 되어 더 세밀한 통계적 분석이 가능하게 되었다.
- (2) 운방전에 의해 발생된 전장과 자장 파형이 측정되어 전장과 자장 파형의 파라미터에는 거의 차이가 없었으나 극성에 따라서는 전장과 자장 파형의 파라미터에 차이가 나는 것을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- (1) M. A. Uman, "The Lightning Discharge", New York : Academic Press, pp11~36, 1987.
- (2) N. Kitawa and M. Kobayashi, "Field Changes and Variations of Luminosity Due to Lightning Flashes", in Rec. Adv. Atmos. Electricity, London : Pergamon, pp.485~501, 1959.
- (3) 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. 436~443, Nov. 2004
- (4) 이복희, 조성철, 이우철, 심용보, 우정욱, "뇌방전에 의한 유도전압과 자장의 측정", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1866~1868, 2004
- (5) 이복희, 이우철, 백영환, 조성철, "뇌방전에 의해 발생된 전장 및 자장의 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.2135~2137, 2005