

운방전에 의해 발생한 전자장 펄스의 특성

(Characteristics of the Electromagnetic Pulses Radiated from Intracloud Lightning Discharges)

이복희 · 이동문 · 이승철 · 정동철*

(Bok-Hee Lee · Dong-Moon Lee · Seung-Chil Lee · Dong-Cheol Jeong)

Abstract

The wave shapes of electromagnetic pulses radiated from lightning discharges are significantly changeable one of the topics concerning on EMI/EMC of modern electronic systems is the efficient and economic protection of electronic circuits against transient voltages caused by not only by cloud-to-ground lightning but also by intracloud lightning discharges. In this work, in order to obtain the detailed information about lightning electromagnetic pulses, the electromagnetic pulses radiated from intracloud lightning discharge processes were measured and analyzed statistically.

1. 서 론

낙뢰의 특성과 영향에 관한 연구는 인체의 손상, 전력 및 통신설비에의 장애, 산불재해 등 실제적으로 중대한 사고를 유발시키므로 많이 이루어져 왔다.[1-4] 이에 비하여 운방전은 전력설비, 석유 저장시설, 공항설비, 건축설비 등에 직접적으로 영향을 미치지 않기 때문에 학술적인 측면에서의 연구가 주로 이루어져 왔다. 그러나 최근에는 초소형 고속 반도체 소자의 출현으로 초고 밀도의 집적회로를 사용하는 전자기기의 개발과 이의 이용이 일반화되면서 운방전에 의한 피해와 이에 따른 문제점이 대두되었다. 운방전에 의해서 방사되는 뇌전 자파에 의해서 전자회로에 뇌서지 전압이 유도되어 전자기기의 파손이나 오동작을 초래하는 장애가 늘어나면서 이 분야에 대한 연구의 관심이 집중되기 시작하였으나 아직 극명하게 밝혀진 성과는 발표되고 있지 않다.[5] 따라서 본 연구에서는 운방전에 의해서 방사되는 뇌전자파 펄스를 측정하여 이들의 물리적 특성을 분석하기 위한 목적으로 광대역 전자장 측정시스템을 구성하여 뇌방전에 의해서 방사되는 전장과 자장의 파형을 측정하고 분석하는 연구를 수행하였다. 또한 운방전에 의해 방사된 뇌전자장 펄스의 특성을 검토하고, 뇌전자장 펄스의 영점교차시간과 펄스폭 등의 파라미터를 통계적으로 분석하여 EMI/EMC에 관련된 기초 자료의 제공을 위한 결과를 발표한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 뇌방전에 의해서 대기중에 방사되는 전장과 자장 파형을 검출하고 기록할 수 있는 시변성 전자장 계측시스템을 구성하였으며, 그의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

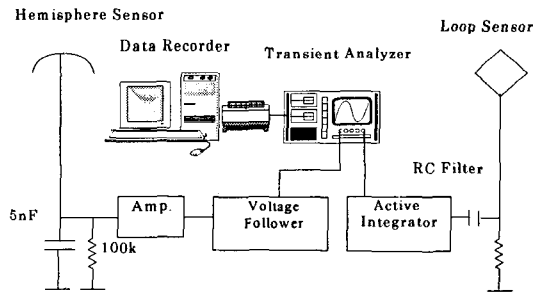


그림 1. 뇌방전에 의해 발생하는 전장과 자장측정시스템의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the instrument system used in measurement of lightning electric and magnetic fields

전장 센서는 외부 노이즈의 영향을 줄이기 위하여 반구형으로 제작하였으며, 대지면에서 약 1 [m]인 위치에 설치하였다. 센서의 직경은 30 [cm]이고, 센서의 하부에 증폭기 및 버퍼회로를 설치할 수 있게 육면체의 금속함을 만들어 신호처리회로 및 축전지를 내장하였다. 과도 신호해석기의 분해능은 12 [bit]이며, 검출된 신호를 200 [ns]의 샘플링시간으로 디지털화 시켜 1 event당 512 [kbyte]로 저장된다. 전자장측정시스템의 주파수대역은 200 [Hz]~1.56 [MHz]이고, 응답감도는 0.96 [mV/V/m]이다.

또한 뇌방전시 발생하는 자장 파형의 자속밀도는 대

략 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ [μT] 정도이므로 루프형 자장센서는 한 번의 길이를 0.5 [m]으로 제작하였다. 전장에 의하여 차폐선에 유기된 기전력을 서로 상쇄시키기 위하여 센서의 중앙 부분을 절단하였다[6,7]. 센서에 의하여 검출된 신호를 아무런 왜곡 없이 차동적분기의 입력으로 전송하기 위하여 고주파 특성이 우수하며, 특성임피던스가 50 [Ω]인 동축케이블(RG-58A/U)를 사용하였다.[14] 자장 측정시스템의 주파수 대역은 270 [Hz]~2.3 [MHz] (-3dB)이고, 단위자속밀도에 대한 응답전압 즉, 응답감도는 136 [mV/ μT]이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 운방전에 의한 전자장 파형의 특성

운방전은 뇌운 안에 존재하는 정(+)/전하의 중심과 부(-)전하의 중심사이를 리더의 진전에 의해 교락된 후 전하운의 재결합과정에 의하여 발생하는 물리적 현상이다. 이와 같은 방전의 진전양상을 운방전 또는 운내방전이라 한다.

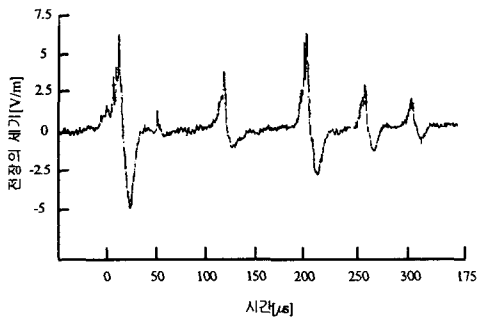


그림 2. 다중 운방전에 의해서 발생한 전자장 파형의 예
Fig. 2. A typical waveform of the electromagnetic fields produced by intracloud lightning discharges

운방전은 낙뢰와 같이 주방전이 일어나기 전 앞부분에 리더가 생기는데, 이러한 운방전의 리더는 낙뢰의 리더보다는 더 긴 시간간격으로 나타났다. 또한 운방전에 의해서 발생한 전자장 파형의 상승부분에는 미세한 펄스들이 중첩되어 나타나고, 커다란 진폭으로 진동하는 양극성의 형태로 나타나는 것이 특징이다. 운방전인 경우 후속 스트로크의 진전과정의 양상은 제 1스트로크와 거의 동일한 특성으로 나타났으며, 운방전에 의해 발생하는 전자장 파형은 귀환뇌격시에 발생하는 전자장 파형의 형상과는 대단히 다르다는 것을 알 수 있다. 운방전에 의해서 방사되는 전자장 파형의 예를 그림 2에 나타내었으며, 뇌운의 내부방전에 의한 것으로 판단된

다. 파두부분은 비교적 빠른 상승시간을 가지며, 양극성 진동의 파형을 나타내고, 리더 전류에 의한 2~3개의 펄스가 상승부분에 중첩되는 형태를 나타내는 것이 특징이다. 주방전 이전의 미세한 펄스상의 신호는 정전하운과 부전하운 사이에 리더가 진전됨을 의미하며, 이는 운방전시의 전자장 파형은 계단상의 리더에 의한 도전 채널의 형성과 관련된 매우 빠른 펄스상의 전류와 도전 채널이 형성되는 도중 또는 도전채널의 형성 직후에 흐르는 양방성 전류서지성분에 의하여 발생한 전자장의 중첩인 것으로 생각된다.

3.2. 운방전에 의한 전자장 펄스의 파라미터

3.2.1 파라미터의 정의

운방전에 의하여 방사된 전자장 파형의 대부분이 다중 펄스의 형태로 나타났다. 운방전에 의해서 발생하는 전자장 파형은 방전의 진전형태와 규모에 따라 동일하지는 않았지만 양상은 뚜렷하게 나타났으며, 양극성, 상승부분에 리더 펄스의 중첩 등 명확한 특징을 가지고 있으며, 그림 3에는 전자장 펄스의 파라미터의 정의를 나타내었다.

운방전에 의해서 발생한 전자장 펄스에 대하여 정극성과 부극성으로 나누어 분석하였으며, 극성의 구분은 동시에 관측된 전장 파형을 기준으로 판정하였다.[8,9]

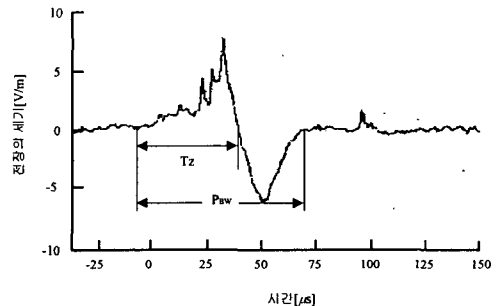


그림 3. 운방전에 의한 전자장 펄스의 파라미터의 정의
Fig. 3. Definition of the parameters of the electromagnetic pulses produced by multiple intracloud lightning discharges

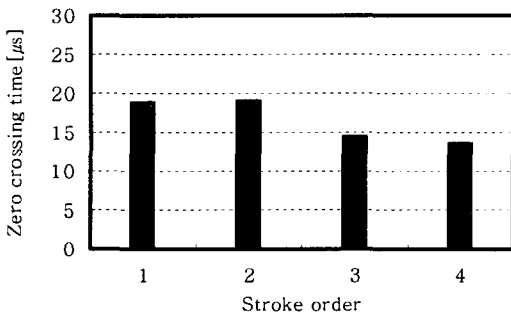
영점교차시간(zero-crossing time; T_z)은 파형이 시작되는 규약원점으로부터 극성이 바뀌는 시점까지 걸리는 시간을 나타내는 파라미터이고, 펄스폭(full pulse width): P_{bw} 은 운방전의 영점으로부터 펄스의 피크를 지난 후 역극성의 피크를 지나 나타나는 영점까지의 시간을 운방전의 펄스폭으로 규정하였다.

3.2.2 영점교차시간의 분포

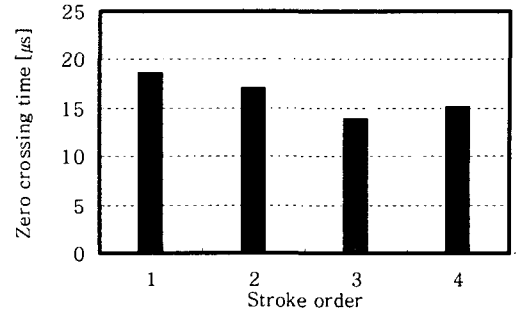
운방전은 펄스상 형태로 나타나지만 본 연구에 사용된 시스템의 한계로 평균적으로 펄스가 4개까지 관측되었으며, 데이터 분석의 신뢰도를 위하여 펄스가 4개까지 관측된 파형에 대하여 분석을 수행하였다. 그림 4와 그림 5는 운방전의 전자장 펄스에 대한 영점교차시간의 분포를 나타내었다.

약 260개의 데이터들을 중점적으로 분석하였는데, 운방전에 의한 다중 펄스로 규정하기 애매한 데이터들에 대해서는 분석대상에서 제외하였으므로 실제 뇌방전 신호 중에 운방전이 매우 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

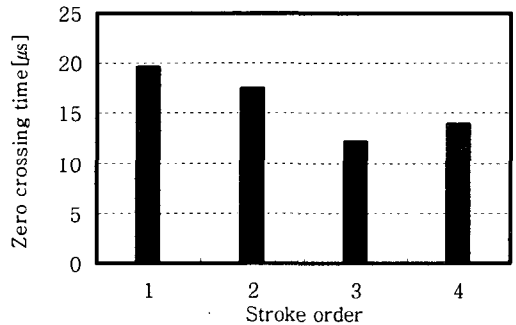
관측된 데이터들을 통계적으로 분석한 결과 제 1뇌격에서 후속뇌격으로 진행됨에 따라 정극성에 대해서는 19.0, 19.1, 14.6, 13.7 [μs]로 나타났으며, 부극성에 대해서는 22.0, 24.1, 16.7, 13.8 [μs]로 나타났다.



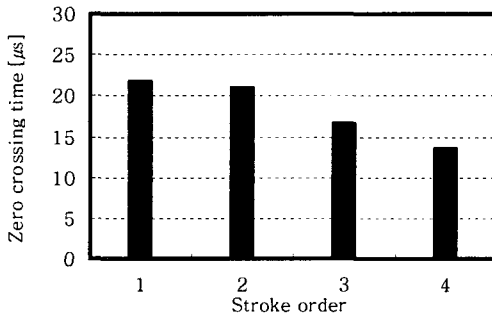
(a) 정극성



(a) 정극성



(b) 부극성



(b) 부극성

그림 4. 운방전에 의한 전자장 펄스의 평균 영점교차시간의 분포

Fig. 4. Histograms of the mean zero crossing time of the electric fields in intracloud lightning discharges

전반적으로 부극성이 정극성보다 더 크게 나타났으

며, 이는 부극성에 의해서 전달된 에너지량이 정극성에 의해 전달된 에너지량보다 더 많음을 의미한다. 또한 자장 파형에 대해서는 그림 5와 같은 분포를 나타내었으며, 자장보다 전장의 경우가 영점교차시간이 더 크게 나타났다.

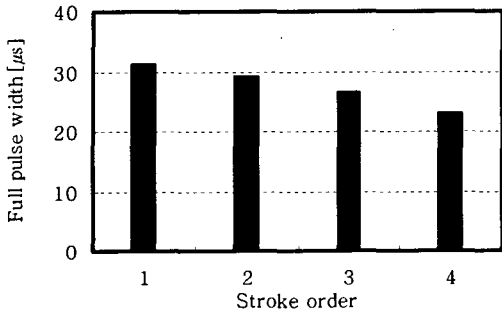
그림 5. 운방전에 의한 자장 펄스의 평균 영점교차시간의 분포

Fig. 5. Histograms of the mean zero crossing time of the magnetic fields in intracloud lightning discharges

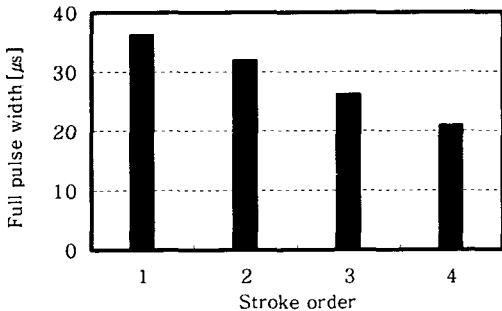
3.2.3 펄스폭의 분포

운방전은 리더의 진전 후에 나타나는 펄스의 형태는 영점으로부터 피크까지의 상승부분과 피크에서 다시 영점을 지나 역극성의 펄스가 다시 나타났다. 이러한 양방성의 진동 파형 형태로 나타나는 이유는 뇌운내에 존재하는 정전하와 부전하가 리더에 의해 서로 만나 재결합되어 소멸과정 동안에 반복적으로 발생하는 동특성에 의한 것으로 추정된다. 그림 6과 그림 7에 운방전에 의한 전자장 파형의 펄스폭 분포에 대해서 통계적으로 분석한 결과를 나타내었으며, 각각의 펄스에 대해서 평균

값을 취하여 나타내었다. 운방전의 펄스폭 분포는 극성 의존성이 거의 나타나지 않았으며, 후속뇌격으로 진행할수록 점차적으로 감소하는 양상을 나타내었다. 전장 파형에서는 정극성에 대해서 제 1뇌격에서 후속뇌격으로 전진할수록 감소하고 있음을 볼 수 있다. 자장 파형의 경우는 제 1뇌격에서 제 4뇌격까지 후속뇌격으로 전진할수록 정극성에 대해서 35.3, 36.7, 32.0, 30.3 [μs]로 나타났으며, 부극성에 대해서는 제 1뇌격으로부터 36.7, 35.4, 25.2, 25.4 [μs]로 나타났다.



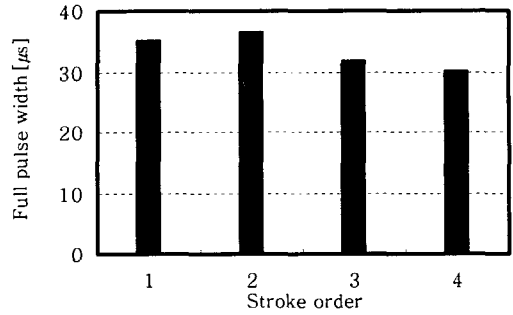
(a) 정극성



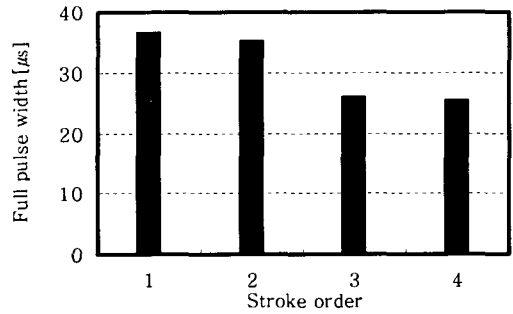
(b) 부극성

그림 6. 운방전에 의한 전장 파형의 펄스폭의 분포
Fig. 6. Histograms of the full pulse width of the electric fields in intracloud lightning discharges

전장과 마찬가지로 극성에 따른 의존성은 발견되지 않았으며, 후속뇌격으로 전진되어짐에 따라 점차적으로 감소하는 특성을 보였다. 본 연구 결과와 해외의 여러 연구자의 결과를 비교해 볼 때 펄스폭의 차이가 약간 나타났으며, 계절적 영향이 큰 것으로 나타났다. 특히 열대지방과 아열대 지방에서의 펄스폭이 길게 나타났으며, 일본에서의 동절기 운방전에 의한 전자장 파형의 펄스폭이 가장 짧게 나타났다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 7. 운방전에 의한 자장 파형의 펄스폭의 분포
Fig. 7. Histograms of the full pulse width of the magnetic fields in intracloud lightning discharges

4. 결 론

본 연구에서는 운방전에 의해 방사되는 전자장 파형을 측정하고, 전자장 펄스의 특성 및 영점교차시간과 펄스폭의 파라미터를 통계적으로 분석한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

운방전에 의해서 발생한 전자장의 파형은 초기 상승부에 리더 펄스가 중첩되며 양극성의 형태를 나타내는 특징을 가지고 있다. 영점교차시간은 주로 10~30 [μs] 범위에 분포되었으며, 후속뇌격일수록 짧게 나타났다. 또한 운방전에 의한 전자장 파형의 펄스폭은 20~60 [μs]에 주로 분포되고 후속뇌격일수록 짧게 나타났다. 운방전에 의해서 발생하는 전자장 펄스의 특성에 미치는 요인은 계절적, 기상학적 영향이 지배적임을 알았다.

뇌방전에 의해서 발생하는 전자장 파형에 대한 데이터를 통계적으로 분석한 결과는 EMI/EMC 관련 기본기술의 확립에 유용한 기본 데이터로 활용될 것으로 기대

된다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] William Beasley, Martin A. Uman, and P.L. Rustan, "Electric Fields Proceeding Cloud-to-Ground Lightning Flashes", J. Geophys. Res., Vol.87, No.7, pp.4883-4902, 1982.
- [2] C.D. Weidman, E.P. Krider, "The Fine Structure of Lightning Return Stroke Wave Forms", J. Geophys. Res., Vol.83, No.12, pp.6239-6247, 1978.
- [3] M.A. Uman and E.P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modelling", IEEE Trans., Vol.EMC-24, No.2, pp.79-105, 1982.
- [4] M. Ishii and J. Hojo, "On the Statistics of Field waveforms Associated with Lightning Return Strokes", Proc. of ICQLSE, 3B-1, 1988.
- [5] Bok-Hee, Seung-Chil Lee, Chang-Hwan Ahn and T. Kawamura, "Physical Properties of Radiation Fields Produced by Multiple In-Cloud Lightning Discharges", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.40, pp.299-306, 2001.
- [6] Sung-Yeol Park, Bok-Hee Lee, Chang-Hwan Ahn, Kyoung-Ok Lee, "Characteristics of the Electric Field Waveform Associated with Cloud-to-Ground Lightning Discharges", The Eight Asian Conference on Electrical Discharge, pp. 605-1 ~ 4, 1996.10.
- [7] E. Philip Krider and R. Carl Noggle; "Broadband Antenna System for Lightning Magnetic Fields", J. Appl. Meteorol., Vol.14, pp.252-256, 1975.
- [8] 안철환, "뇌방전에 의하여 발생하는 전장과 자장의 측정과 분석", 인하대학교 박사학위논문, pp.37-98, 1999.
- [9] C. D. Weidman and E. P. Krider, " The Radiation Field Wave Forms Produced by Intracloud Lightning Discharge Processes", J. Geophys. Res., Vol. 84, No. C6, pp.3159~3164, 1979.