

낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 통계적 분석

이복희*, 박성열*, 안창환*, 길경석**

*인하대학교 전기공학과, **한국해양대학교 전기공학과

Statistical Analysis of Electric Field Waveforms Produced by Lightning Return Strokes

B.H. Lee*, S.Y. Park*, C.H. Ahn*, K.S. Kil**

*Inha University, **Korea Maritime University

Abstract - In this paper, in order to obtain statistical informations on lightning electromagnetic waveforms, electric field waveforms produced by lightning return strokes were measured and analyzed. The electric field measuring system consists of hemisphere antenna 30[cm] in diameter, integrator and data acquisition system. The frequency bandwidth of the measuring system is 200[Hz] to 1.56[MHz], and the sensitivity is 0.96[mV/V/m]. The mean value of front time of electric field waveforms produced by positive lightning return strokes is 5.87[μ s], and that of negative is 4.12[μ s]. The mean values of zero-crossing time for positive or negative electric field waveforms are 35.00 and 26.61[μ s], respectively. The mean value of percentage dip-depth for positive electric field waveforms is 33.68[%], and that for negative is 28.36[%].

1. 서 론

전기에너지 수송의 근간인 송전선의 내뢰성능의 향상에 대하여 많은 연구가 추진되어 왔으며, 송전선 사고의 주요한 원인은 낙뢰가 지배적임이 이미 밝혀졌다. 선진 외국에서는 뇌방전 파라미터에 관해서도 대단히 활발적으로 연구되고 있지만, 우리 나라에서는 미흡한 실정이며 이 분야에 대한 활발한 연구가 요망된다.

낙뢰에 의해서 발생하는 전장신호내에는 뇌방전의 극성, 뇌격강도, 뇌방전현상의 해석을 위한 여러 가지 파라미터 등 여러 가지 정보를 내포하고 있으므로, 이들에 대한 통계적 연구를 수행하기 위해 측정시스템을 구성하였다. 그것을 이용하여 낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형을 관측하여 뇌방전의 물리적 성질, 뇌방전시의 전장파형의 파두시간, 영점교차시간, 백분율 반전깊이 등에 대한 통계적인 특성을 분석하였다.

2. 측정시스템

2.1 측정시스템의 구성

낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형을 관측하기 위해서 센서를 반구형으로 제작하였으며, 센서의 직경은 30[cm]이다. 센서 밑부분에는 육면체의 금속상자를 만들어 증폭 및 버퍼회로를 내장할 수 있도록 하였으며, 이의 개

략도를 그림 1에 나타내었다.^[1] 센서의 전극에 검출된 전장신호는 시도함수로 나타내기 때문에 실신호로 출력시키기 위하여 수동성 적분기와 증폭회로를 설치하였다. 또한 데이터취득장치까지의 신호전송에 의한 왜곡을 방지하기 위해서 증폭기 후단에 전압버퍼를 연결하여 임피던스정합이 이루어지도록 회로를 구성하였다. 낙뢰는 불규칙적이고 순시다발적으로 발생하기 때문에 데이터취득 시스템에서는 낙뢰에 의해 발생한 전장신호에 의하여 트리거되도록 하였으며, 검출된 신호를 12 bit의 분해능으로 100[ns] ~ 500[μ s]의 시간간격으로 샘플링하여 저장할 수 있는 과도신호해석기(Nicolet Pro30)를 적용하였다.

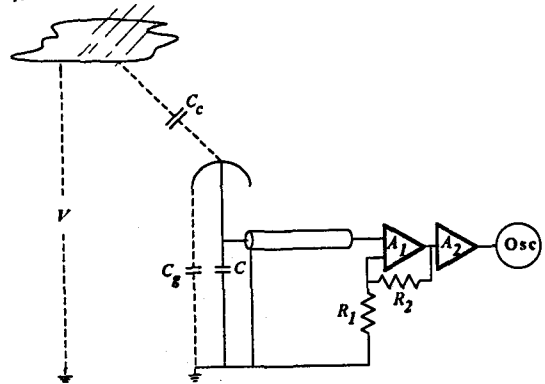


그림 1 전장측정계의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of the electric field measuring system

2.2 측정시스템의 기본 특성

전장센서의 기본성능을 파악하기 위해서 단위계단 입력 응답특성의 측정실험을 수행하였다. 그 결과 전장측정시스템의 주파수대역은 200[Hz] ~ 1.56[MHz]이었으며, 낙뢰에 의해서 발생하는 전장신호의 정확한 검출이 가능함을 알 수 있다. 또한 본 전장측정시스템의 응답감도는 0.96[mV/V/m]로 산출되었다. 따라서 미약한 전구방전신호까지도 검출이 가능하다.^[1]

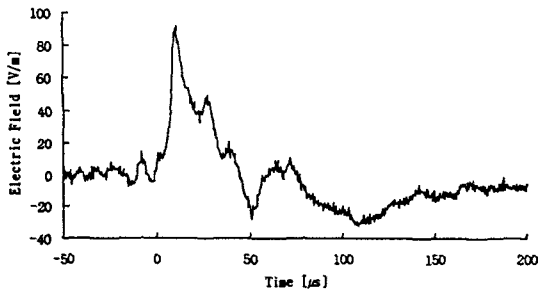
3. 결과 및 고찰

3.1 낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 특성

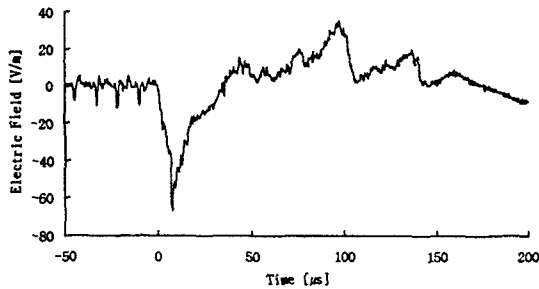
낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 한 예를 그림 2에

나타내었다. 뇌운의 전하에 의하여 형성된 전장의 세기가 대기의 절연파괴강도를 넘어서면 초기 방전이 시작되고, 계단상의 점진적인 진전이 이루어진다. 그림 2에서 주방전 이전의 간헐적 펄스는 계단상 리더가 귀환뢰격이 발생하기 전에 뇌운에서 대지로 방전이 진전되는 과정을 의미하며, 파두의 급상승부분은 귀환뢰격에 의해서 형성된 것이다.^{[2][3]}

파미부분의 특성은 낙뢰지점과 관측점사이의 거리에 따라 변화되며, 대체로 근거리일 때는 주로 정전성분만이 나타나며, 50[km] 이내의 거리에서는 방사성분과 유도성분이 혼재하는 파형으로, 50[km] 이상의 먼 거리에서는 주로 방사성분만이 나타난다.^[4] 그림 2의 예에서는 낙뢰지점과 관측점사이의 거리가 대략 50[km] 이상인 것으로 추정된다. 전장의 파형이 영점을 지나 역극성으로 되기까지의 시간(zero-crossing time)은 낙뢰위치와 관측점사이의 거리에 따라 변화하며 관측점까지의 거리가 멀수록 짧아진다. 그리고 역극성으로 반전된 피크치의 절대값은 귀환뢰격의 피크치보다는 작으며 관측점까지의 거리가 멀수록 크다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 2 낙뢰에 의해 발생하는 전장파형의 예
Fig. 2 Typical electric field waveforms produced by lightning return stroke

3.2 낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 파라미터

낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 개략을 그림 3에 나타내었으며, 전구방전의 리더 펄스, 파두의 상승시간, 두 번째 피크, 피크에서 영점교차까지의 시간, 영점교차 후 반대방향으로의 피크 등의 파라미터로 특징을 나타낼 수 있다.^[5] 낙뢰지점과 관측점사이의 거리가 50[km] 이상인 경우가 운방전에 의한 전장의 파형과 확실히 구별되므로 본 연구에서는 이들에 대한 데이터만 분석하였다.

1995년 6월 이후 인천 부근에서 발생한 낙뢰에 의해

방사된 전장파형에 대해서 통계적으로 분석하였다. 그러나, 노이즈 성분이 심하거나 판독이 불분명한 데이터는 분석대상에서 제외시켰다.

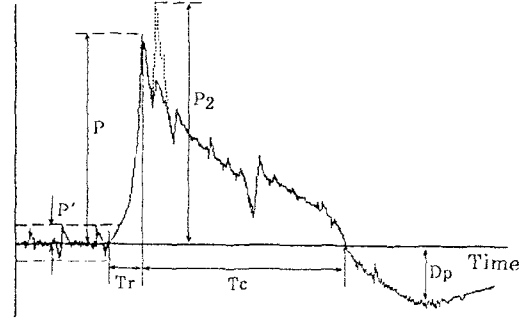
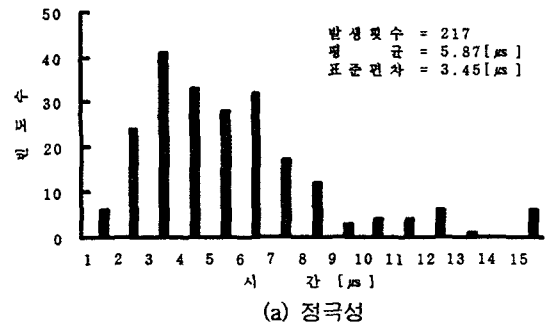
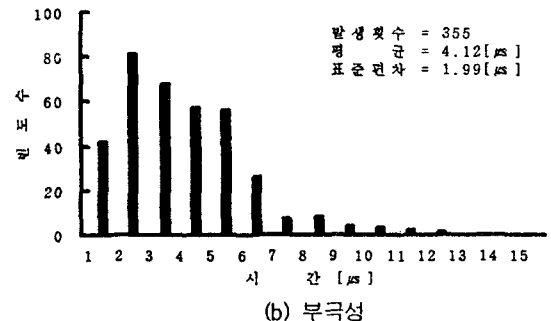


그림 3 낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 파라미터
Fig. 3 Parameters of electric field waveforms produced by lightning return strokes

낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형의 파두시간(T_r) 분포를 그림 4에 나타내었으며, 극성의 영향이 나타남을 알 수 있다. 정극성의 경우에는 넓은 범위에 걸쳐 분산되었으며, 파두시간이 15[μ s] 이상이 되는 것도 있는 반면, 부극성의 경우에는 모두 13[μ s] 이하로서 주로 2~6[μ s]에 밀집되어 나타났다. 정극성의 경우 평균파두시간이 5.87[μ s]이고, 표준편차는 3.45[μ s]이었으나, 부극성의 평균파두시간은 4.12[μ s]이었고, 표준편차는 1.99[μ s]로서 정극성에 비해 부극성의 평균값이 다소 작게 나타났다. 따라서 정극성 낙뢰가 부극성에 비해 진전이 완만하다는 것을 알 수 있다.

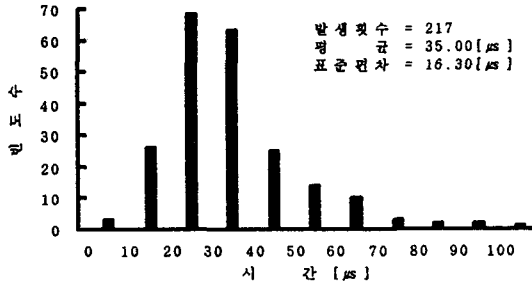


(a) 정극성

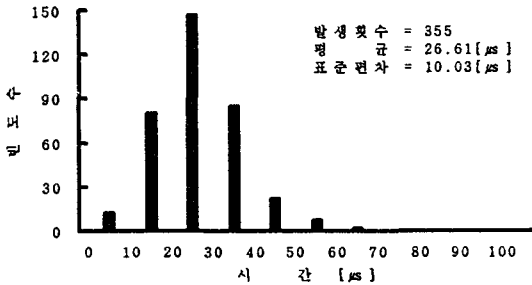


(b) 부극성

그림 4 전장파형의 파두시간
Fig. 4 The front time of electric field waveforms

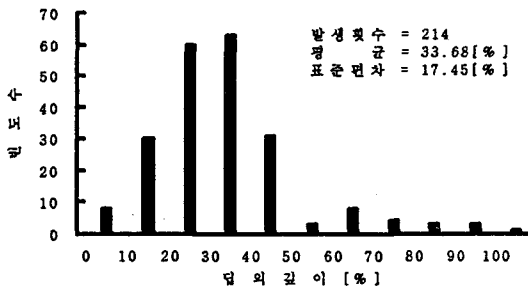


(a) 정극성

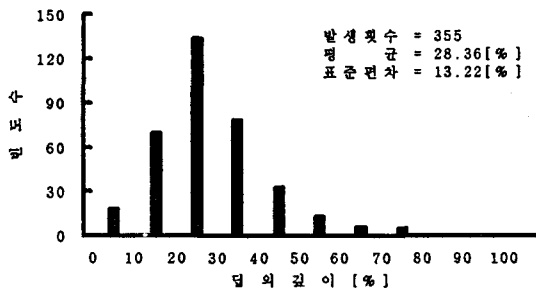


(b) 부극성

그림 5 전장파형의 영점교차시간
Fig. 5 The zero-crossing time of electric field waveforms



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 6 전장파형의 백분율 반전딥깊이
Fig. 6 The percent of dip-depth of electric field waveforms

영점교차시간(t_c)은 파형의 피크점의 시각에서부터 극성이 바뀌는 시점까지 걸리는 시간으로 정의하였으며, 이는 파미의 특성을 나타낸다. 낙뢰가 지속되는 정도를 평가하는 파라미터로 뇌격에 의해서 대지로 전달되는 에너지의 양을 평가할 때 적용되며, 낙뢰지점과 관측점사이의 거리의존성을 가지게 된다. 그림 5에서 정극성의 경우 전장파형의 평균영점교차시간은 $35.00[\mu s]$, 표준편

차는 $16.30[\mu s]$ 이다. 반면에 부극성의 경우 전장파형의 평균영점교차시간은 $26.61[\mu s]$ 이고, 표준편차는 $10.03[\mu s]$ 로 정극성에 비해서 뇌격의 지속시간이 짧다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 측정한 전장파형의 영점교차시간의 평균값은 다른 연구자들의 결과에 비해서 약간 짧게 나타났으며, 영점교차시간은 낙뢰지점과 관측점사이의 거리, 지형, 계절적 영향을 받게 되므로 절대비교는 의미가 적다.

첫 번째 피크치와 반대방향으로 반전된 두 번째 피크치와의 비율을 나타내는 백분율 반전딥깊이(d_b)는 파미의 특성을 나타낸다. 전장파형의 백분율 반전딥깊이는 낙뢰지점과 관측점사이의 거리에 따라 변화하게 되며, 원거리 낙뢰의 경우는 크고 근접 낙뢰의 경우는 작게 나타나게 된다. 그림 6에 낙뢰에 의해서 발생한 전장파형의 최초 피크치와 반전된 두 번째 피크치의 비를 나타낸 백분율 반전딥깊이에 대한 데이터를 나타내었다. 전장파형의 정극성의 경우 평균값이 $33.68[\%]$, 표준편차가 $17.45[\%]$ 로 측정되었다. 또한 부극성의 경우에는 평균값이 $28.36[\%]$, 표준편차는 $13.22[\%]$ 이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙뢰에 의해서 방사되는 전장파형을 측정하였고, 이들의 특성을 통계적으로 분석하였다.

낙뢰에 의해 발생하는 전장파형은 낙뢰지점과 관측점사이의 거리에 의존하며, 뇌격지점과 관측점사이의 거리가 약 $50[\text{km}]$ 이상 떨어진 원거리에서 발생한 전장파형은 방사성분이 주로 관측되었으며, 파두시간의 평균은 정극성의 경우가 $5.87[\mu s]$ 이고 부극성의 경우가 $4.12[\mu s]$ 로서 정극성 낙뢰가 부극성 낙뢰에 비해 진전이 완만하다는 것을 알 수 있었다. 또한 파미의 특성을 나타내는 영점교차시간도 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 더 길게 나타났으며, 정극성의 경우는 넓은 범위에 걸쳐 분산된 반면, 부극성의 경우는 주로 $20\sim 30[\mu s]$ 에 밀집되어 나타났다. 그리고 백분율 반전딥깊이는 부극성이 정극성보다 더 작은 값으로 나타났다.

낙뢰에 의해서 발생하는 전장파형을 본 연구에서 제작한 전장측정장치를 이용하여 다년간에 걸쳐 측정하여 관측된 데이터를 통계적으로 분석한다면 뇌보호설비, 전력계통의 절연설계 및 개발 등에 있어서 유용한 기본자료로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이복희, 안창환, 길경석, "뇌방전에 의해서 발생하는 전장의 자동측정시스템", 센서학회지, Vol.5, No.2, pp.47~54, 1996.
- [2] 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.
- [3] M.A. Uman, "Lightning", Dover Publications INC. New York, pp.1~12, 1984.
- [4] Paul W. Casper, "The LPATS Time of Arrival Lightning Positioning System : Critical Performance Aspects", 20th ICLP, pp.1~12, 1990.
- [5] B.H. Lee, M. Ishii and J. Hojo, "Characterization and Evaluation of the Electric Fields Produced by Lightning Return Strokes", Proc. of 4th Conf. of IEE of Japan, pp.545~546, 1993.