

뇌방전의 리더진전에 따른 전장파형의 측정과 분석

이복희, 정광희
인하대학교

Measurement and Analysis for Electric Fields due to Lightning stepped leaders

B.H.Lee, K.H.Jeang
Inha University

Abstract - This paper is describes the measured electric field waveform radiated by lightning discharge. We have performed measurement and analysis of the electric fields associated with stepped leaders. Electric field measurement system was composed of hemisphere electric field sensor, measurement system of a distance from lightning strokes, automatical recording system, A/D board, personal computer etc. A/D board have high sampling time, high speed data processing, 8bit of resolution. Also, measured characteristics of stepped leaders radiated by were analyzed.

1. 서 론

전력 수요의 상승과 더불어 더욱 안정적인 전력 공급에 대한 수요자들의 요구가 급증하고 있으며, 이에 대해 이상전압의 하나로서 뇌방전 현상에 관한 연구가 세계 각지에서 다각적인 방향으로 활발히 진행중이다. 또한 미국의 경우 낙뢰에 의해 각종 인명 피해와 재산 피해 등이 발생하며, 약 10,000여 건 이상의 산불로 인한 자연 환경의 심각한 손실이 나타나고 있다.⁽¹⁾ 뇌방전의 특성은 기후, 지역적 환경 등과도 매우 밀접한 관련이 있으므로 다양한 자료와 각종 파라미터에 대한 다각적인 연구들이 요구되어진다. 우리 나라에서 발생하는 뇌방전에 의해 방사되는 전장과 자장 파형의 계측 및 통계적 분석들은 전력 계통의 피뢰대책 및 절연 설계를 수립하는데 있어서 활용 가능하며, 뇌방전의 기초자료로서 중요하다.

본 연구에서는 뇌방전에 의해서 발생하는 전장의 리더 펄스를 관측하였으며, 뇌방전이 일어날 때 발생하는 전자파와 천둥의 음파에 대한 시간차를 계산하여 뇌방전의 거리를 측정할 수 있는 시스템을 이용하여 거리에 따른 낙뢰 파형을 관측할 수 있도록 하였다. 또한 반구형 전계 센서와 자동 측정 기록계로서 측정계 I 과 측정계 II를 이용하여 전장파형을 관측하였으며, 리더 펄스를 분석하는데 있어서 몇 가지 파라미터를 선정하여 이를 분석하였다.

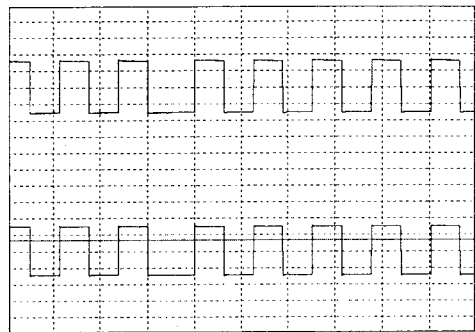
2. 본 론

2.1 측정계의 구성

뇌방전은 한번의 섬락과정이 아닌 연속적인 펄스의 조합으로 나타나는데, 낙뢰시의 진전 메카니즘은 초기 방전에 의한 대기중의 예비 절연 파괴, 스텝 리더, 부착과정, 제1 귀환뇌격, 닥트 리더, 후속 귀환뇌격으로 이루어진다.⁽²⁾ 이중 스텝리더는 Uman등의 연구에 의하면 진전속도가 약 1.5×10^8 m/s 이며, 리더간의 시간 간격의 대표값이 50[μs]임을 알 수 있다. 따라서 측정계를 구성할 때, 이의 특성을 고려하였다.

스텝리더와 귀환뇌격의 두 파형을 동시에 실시간으로

관측하기 위해 반구형 전계 센서의 출력신호를 계측기 I 과 계측기 II 사이에 병렬로 입력하였다. 신호 처리는 50[Ω] 동축 케이블을 사용하였으며, 동축 케이블 자체의 저항과 커패시턴스 등에 의한 전압강하를 고려하였다. 그림 1에 구형파를 인가했을 때 나타난 전압의 파형을 나타내었으며, 약 0.2[mV] 가량의 피크치 감소를 보여주는 것을 알 수 있다.



상 : 증폭회로의 출력신호(0.1ms/div, 20mV/div)
하 : 증폭회로 출력의 병렬 신호(0.1ms/div, 20mV/div)

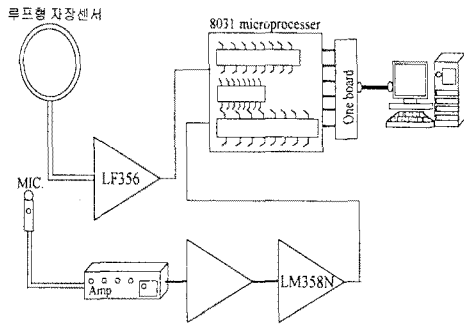
그림 1. 입력신호에 대한 병렬 신호 시험

Fig. 1. Parallel output signal test for the input signal

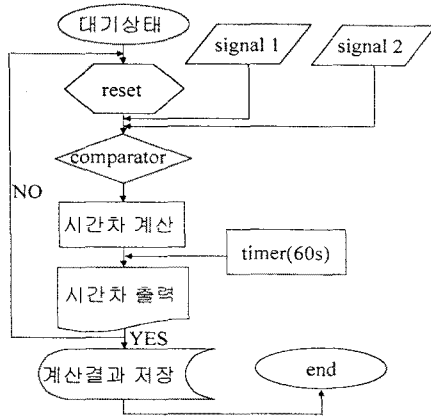
2.2 거리측정 시스템

낙뢰 또는 운방전시의 발생거리를 측정하기 위해 마이크로폰과 자장센서를 이용하여 제작하였다. 전자파는 대기중에서 빛의 속도(3×10^8 m/s)로 이동하며, 천둥소리는 이보다 매우 느린 음속(340m/s)으로 진행하므로 두 입력신호를 비교하여 시간차를 계산하도록 하였다. 이의 개략도와 알고리즘을 그림 2에 나타내었다.

자장신호를 마이크로 프로세서의 입력으로 사용하였으며, 신호 검출기로는 루프형 자장센서를 이용하였고, 입력 II로 사용한 음파신호는 고감도형 마이크로폰을 사용하였다. 천둥의 음파신호는 200[Hz] 성분에서 최대값 나타내므로 다른 노이즈로부터 음파를 구분해 내기 위해 서 저역통과필터를 채용하였다.⁽³⁾ 두 입력 신호는 각각 입력 단계 시간차를 두고 인가되는데, 낙뢰의 진전시 두 신호의 차이가 비교적 짧은 시간 간격을 가지므로 10[ms] 단위로 연산하도록 하였다. 첫 번째 입력신호 후에 두 번째 신호간의 간격은 60[μs]로 설정하여 2차 신호가 입력되지 않을 때는 자동으로 대기상태로 전환하도록 하였다.



(a) 뇌격 거리 측정계의 개략도



(b) Programming 알고리즘

그림 2. 뇌격 거리 측정계의 개략도와 알고리즘
Fig. 2. Schematic diagram and algorithm of measurement system of a distance from lightning strokes

2.3 뇌격신호 측정계

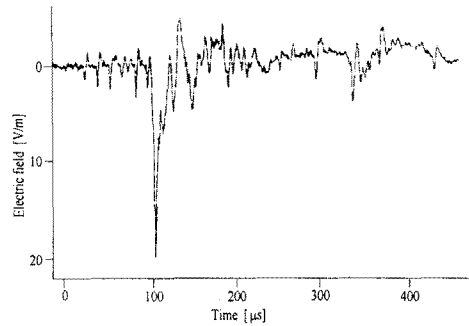
뇌방전에 의해 발생하는 전장 파형은 반구형 센서와 증폭회로, 버퍼회로 등으로 구성된 전장센서로 관측하였다. 센서의 반구형 전극에서 검출되는 신호는 시도함수로 나타나므로 실신호의 관측이 가능하도록 하기 위해 수동성 적분회로를 적용하였다. 전장 측정계의 응답감도는 0.96(mV/V/m)이며, 주파수 대역은 200(Hz)~1.56(MHz)로 낙뢰시에 발생하는 전장신호의 정확한 검출이 가능하다.

전계센서에 입력된 신호는 전송선로를 통해 병렬로 연결된 각각의 계측기로 입력된다. 계측기 I, II는 대기 상태로 있다가 계측된 신호를 연속적으로 저장할 수 있는 장비로서, 계측기 I로는 과도신호 해석기(Nicolet Pro30)를 이용하였으며, 이는 12bit의 분해능을 가지고 100(ns)에서 500(ns)의 범위로 샘플링 시간을 조절할 수 있다. 계측기 II는 ISA방식으로서 8bit의 분해능을 가지며, 128kbyte의 메모리, 25MSampling을 갖는 고속 A/D보드(Gage社, CS225)를 사용하였다.

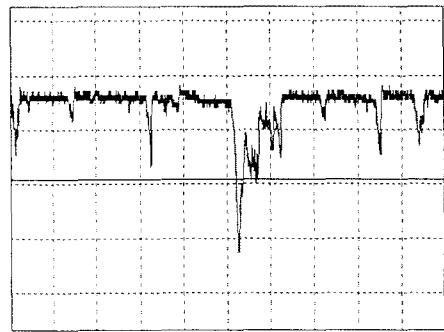
각각의 계측기가 샘플링과 분해능에 차이를 보이므로 계측기간의 특성을 고려하여 계측기 I은 스텝리더의 관측용으로, 계측기 II는 귀환뇌격의 관측용으로 사용하였다. 그림 3은 두 파형의 예를 보여준다.

각 파형에서 보여지는 대로 스텝리더의 파형은 전장파형이 진전될수록 증가하는 것을 볼 수 있으며, 귀환뇌격

이후에 나타나는 리더 펄스도 관측되었다.



(a) 낙뢰시 발생하는 전장파형의 예



(b) 낙뢰시 발생하는 전장파형(Gage社, 5MS, 300μs time base)

그림 3. 낙뢰시 발생하는 전장파형의 예

Fig. 3. Samples of electric field waveforms produced by Lightning

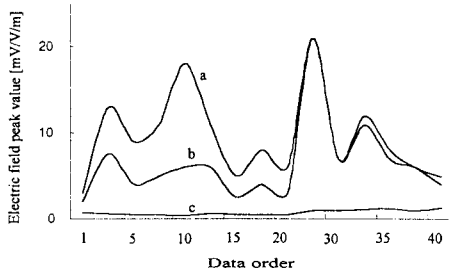
2.4 스텝리더의 파라미터 산정

스텝리더의 경우 귀환뇌격 이전의 부착과정까지 진전되는 동안 리더펄스가 점점 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 리더의 진전시 전하량의 이동량이 상승하는 것으로 볼 수 있다. 리더의 총 진전속도는 일반적으로 20(ms)로 보고 되고 있으므로⁽²⁾, 스텝리더 간의 시간 간격, 리더의 전하량의 증가비, 즉 최후 스텝리더와 최후 스텝리더 이전의 리더간의 피크비를 통하여 리더의 수와 뇌운의 높이를 산출할 수 있다. 뇌운의 높이와 전장, 자장의 크기를 알게 되면 뇌격전류의 산출 또한 수식적으로 가능하므로 스텝리더의 물리적인 파라미터를 선정하여 이들을 관찰하였다. 약 40개의 관측된 파형에 대해 파라미터를 적용하였으며, 이 중 리더간의 피크비를 부극성과 정극성의 경우에 대해서 그림 4에 나타내었다.

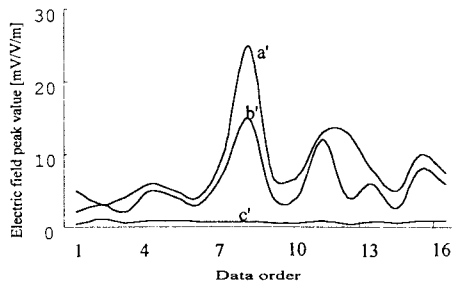
리더펄스의 피크치를 보면 최후 리더의 피크값이 이전의 피크값 보다 크게 나타났을 알 수 있다. 부극성의 경우 최후 리더의 피크치와 이전 리더의 피크값이 같은 값인 경우도 관측 되었으며, 피크비 또한 균일하지 않음을 알 수 있다. 이는 스텝리더의 진전 메카니즘에서 보여지는 계단상 진전에서 전하량의 이동이 서로 균일하지 않음을 의미한다. 반대로 정극성의 경우 최후 리더의 피크치와 이전 리더의 피크값이 같은 경우는 관측되지 않았으며, 리더의 피크비 또한 균일함을 알 수 있다.

부극성의 경우 최후 리더와 최후 리더 이전의 피크값의 최대값이 모두 21(mV/V/m)로 관측되었으며, 정극성의 경우는 최후 리더가 26(mV/V/m), 이전 리더가

15(mV/V/m)로 관측되었다. 최후 리더 피크값의 평균값은 부극성의 경우 8.33(mV/V/m), 이전 리더 피크값의 평균값은 6.6(mV/V/m)로 관측되었다. 정극성의 경우 최후 리더 피크값의 평균값은 8.58(mV/V/m)이고, 이전 리더 피크값의 평균값은 5.73(mV/V/m)로 관측되었다.



a: 최후 리더의 피크값
b: 부극성 리더의 피크값
c: 부극성 리더의 피크값/최후 리더의 피크값
(a) 부극성 펄스의 최후 피크값과의 비



a': 최후리더의 피크값
b': 정극성 리더의 피크값
c': 정극성 리더의 피크값/최후 리더의 피크값
(b) 정극성 펄스의 최후 피크값과의 비

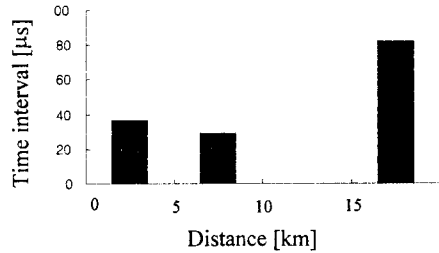
그림 4. 최후 리더와의 피크비

Fig. 4. Peak ratio of leader peak amplitude to last leader peak

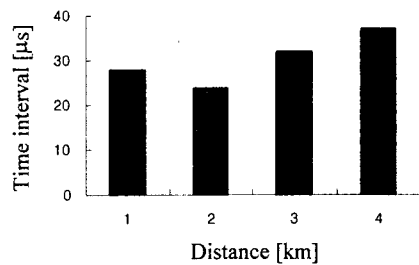
그림 5는 뇌격거리에 따른 리더 피크치의 시간 간격을 나타내었다. 여기서 1~2[mV]이하의 매우 작은 오버슈트 같은 리더 펄스의 값은 취하지 않았으며, 그 이상의 값이므로 스텝리더로 확인이 가능한 리더 펄스의 경우만 취하였다.

정극성의 경우 10~15(km)사이에는 리더로 확인 가능한 펄스가 관측되지 않았으며, 15(km)이상의 거리에서 관측된 스텝리더의 경우 리더간의 시간 간격이 매우 넓게 나타남을 알 수 있다. 최대 간격은 약 136(μ s), 최소 시간 간격은 14(μ s)이며, 리더간의 평균 시간 간격은 약 49(μ s)로 이전의 외국에서 보고된 자료⁽²⁾와 거의 일치하였다. 부극성의 경우는 거리별로 고른 분포도를 나타냈으며, 역시 15(km)이상의 거리에서 최대 시간 간격을 나타내었고, 1~5(km)사이에서 가장 짧은 시간 간격을 나타내었다. 또한 1(km)미만의 거리에서 측정된 파형의 경우는 비교적 짧은 시간 간격이 나타났다. 최대 시간 간격은 105(μ s), 최소 시간 간격은 9.1

(μ s)로 관측되었으며, 평균 시간 간격은 30(μ s)로 관측되었다. 정극성·부극성의 경우 주로 관측된 시간 간격은 10~20(μ s)로서 외국에서 보고된 자료들과 일치함을 보여준다.⁽⁴⁾



(a) 정극성 리더 펄스의 피크 대 피크 시간



(b) 부극성 리더 펄스의 피크 대 피크 시간

그림 5. 리더 펄스의 피크 대 피크 시간
Fig. 5. Time interval for peak-to-peak of stepped leader

3. 결 론

낙뢰가 진전할때 발생하는 전장의 측정은 이상전압의 대책으로 많이 사용될 수 있다. 스텝리더와 관련된 물리적인 특성들을 통해서 낙뢰의 발생을 미리 예측할 수 있다면, 이상전압으로부터 전력설비를 보호할 수 있을 것이다. 그리고 거리별 스텝리더의 시간간격과 피크값 분포를 관찰함으로써 뇌운의 높이를 유추할 수 있으며, 또한 뇌운의 높이와, 뇌격거리와 전장·자장의 크기 및 각종 파라미터를 적용하여 뇌격 전류의 수식적 산출 또한 가능하다.

(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, "Lightning", DOVER Publications inc. New York, pp.1~12. 1982
- [3] Latham, "A Study of Thunder from Close Light Discharges", New Mexico Institute of Mines Technology. Socorro. N.M..1964
- [4] E. Philip Krider and George J. Radda, "Radiation Field Wave Forms Produced by Lightning Stepped Leader", Journal of Geo physical Research, vol.80, no.18, pp.2653~2657