

### 다중 뇌방전에 의하여 발생하는 전계 변화의 특성

이복희, 인창환, 이승철, 심판섭  
인하대학교, 공대, 전기공학과

### Characteristics of Electric Field Change Associated with Multiple-Lightning Discharges

Bok-H. Lee, Chang-H. Ahn, Seung-C. Lee and Pan-S. Sim  
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

**Abstract** - This paper describes characteristics of electric field waveforms associated with multiple-lightning discharges. The electric field measurement system, consists of hemi-sphere antenna 30 cm in diameter, integrator and data acquisition device. The frequency bandwidth is from 200 Hz to 1.56 MHz, and the sensitivity is 0.96 mV/V/m. The detected electric field signal is digitized every 500 ns with the resolution of 12-bit and the length of 2 kilowords and is registered at a personal computer. Also parameters of the electric fields associated with multiple-lightning discharges are ststistically analyzed.

한 전계신호에 의하여 트리거되며, 검출된 신호를 12 bit의 해상도로 500 ns의 시간 간격으로 샘플링하고, 기록시간 길이가 500 μs가 되도록 설정하여 저장하였다. 1995년 6월이래 400여 개의 뇌방전과 관련된 전계파형의 데이터를 얻었으며, 본 논문에서는 다중 뇌방전에 의한 전계변화 파형을 중점적으로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

운방전에 의하여 방사된 전계 변화 파형의 대부분이 다중펄스의 형태로 나타났으며, 다중도가 낮되 파형에 비하여 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 운방전에 의하여 발생하는 전계파형중에서 다중도가 2회 이상인 다중펄스에 대하여 그림 1과 같이 다중펄스의 특성을 나타내는 파라미터를 정하여 다중뇌방전에 의한 전계의 특성을 분석하였다.

### 1. 서 론

정보화 기기의 보급과 에너지원으로서 전력에의 의존 비율이 개인 생활이나 사회 환경에 있어서의 증가로 양질의 전력의 안정적 공급과 전력계통의 신뢰도 향상이 더 한층 요구되고 있으며, 낙뢰가 전력계통 사고 발생의 주요한 요인으로 대두됨에 따라 전력 계통의 내뢰특성에 대한 중요성이 더욱 부각되고 있다. 최근 계측기술과 계산 방법의 진보에 따라 선진 외국에서는 뇌방전 파라미터에 관해서도 활발적으로 연구되고 있지만, 우리나라에서는 초보적 단계의 수준으로, 단지 낙뢰위치표정과 낙뢰빈도분포에 대한 통계적인 연구만 이루어지고 있다.[1]~[3]

뇌방전에 의해서 발생하는 전계에는 뇌격 전류의 크기, 극성 등 뇌방전 특성의 해석을 위한 각종 파라미터를 포함하고 있기 때문에 이를 정확하게 측정하는 것은 학술적인 측면 뿐만 아니라 공학적 응용면에서도 대단히 중요하다. 따라서 본 연구에서는 뇌방전시에 발생하는 대기중의 전계 변화 파형을 반구형 전계 센서를 이용하여 계측하고 그 특성을 분석하였다. 운방전에 의하여 방사된 전계 변화 파형은 대부분 다중 뇌방전에 의한 다중펄스의 형태로 나타났으며, 특히 다중도가 낮되 파형에 비하여 높은 것을 알 수 있었으며, 이들의 통계적인 특성을 분석·보고한다.

### 2. 전계 측정 시스템

본 연구에 적용한 반구형 전계센서의 직경은 30 cm 이고, 센서 밑부분에는 증폭 및 버퍼회로를 설치할 수 있도록 육면체 상자를 만들어 회로 및 전원을 내장할 수 있는 구조로 하였다. 센서의 전극에는 전계의 미분신호가 검출되기 때문에 실신호로 출력시키기 위하여 수동성 수분기와 증폭회로를 구성하였다. 연산증폭기로는 주파수대역이 DC ~ 70 MHz인 LH0032를 사용하였고, 데이터취득장치의 신호의 왜곡을 방지하기 위해서 증폭기 후단에 전압버퍼를 연결하여 임피던스 정합이 이루어진 회로를 구성하였다.[4] 데이터취득시스템은 뇌방전에 의

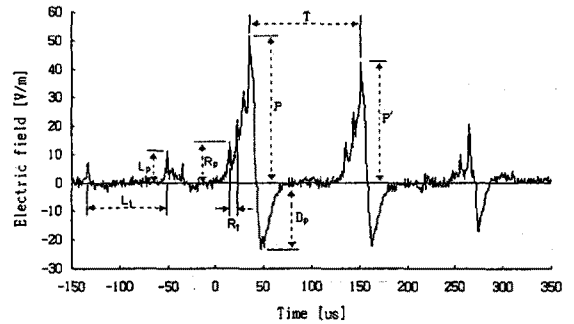


그림 1. 다중 뇌방전에 의한 전계파형의 파라미터  
Fig. 1. Parameters of the electric field due to multiple lightning discharges

그림 1은 대표적인 다중 운방전에 의해 발생한 전계 파형의 예를 나타냈으며, 운방전시 발생하는 파형의 특징을 살펴보면 파두부가 빠른 상승시간을 가지며 양극성의 진동파형을 나타내고, 상승부분에는 미세한 펄스들이 중첩되는 형태를 가지는 것이 특징이다. 이러한 양극성 전계 신호는 뇌운내에 존재하는 정전하와 부전하가 리더에 의해 서로 만나 재결합에 의한 소멸과정 동안의 동특성이라고 생각되며, 운방전에 의해 발생하는 전계파형은 귀환뇌격시에 발생하는 전계파형의 형상과는 판이하게 다르다는 것을 알 수 있다. 또한 초기 단계에 몇 개의 미세한 펄스들이 중첩되는 양상을 보이는데, 부극성 운방전의 경우에는 그림 1에서와 같이 피크에 이르기 전에 미세한 펄스들이 중첩되어 나타나고, 정극성의 경우에는 주로 피크 후에도 나타나기도 하는데 이의 차이점에 대한 정확한 원인은 밝혀지지 않았지만 정극성 리더와 부극성 리더의 전전양상이 다르기 때문인 것으로 추정된다. 불평등전계중에서 깎길이가 긴 경우 정극성

일 때는 계단상, 또는 연속리더, 혹은 스트리머에 의해서 방전이 진전되지만 부극성의 경우는 반드시 방전 진전기구에 의한 계단상의 리더진전에 의하여 방전이 진전된다. 운방전의 리더는 낙뢰의 리더보다는 더 긴 시간 간격으로 생긴다. 그림 1과 같은 부극성 파형의 경우에는 리더에 의하여 진전된 다중뇌격이며, 정극성인 경우는 스트리머상의 다중뇌격으로 추측된다. 또한 운방전의 경우는 낙뢰의 경우와는 다르게 뇌방전이 발생되어 종료되기까지의 시간이 짧으며, 고주파성분의 미세한 펄스를 포함하고 있으므로 방사성분이 주로 나타난다. 이와 같이 운방전에 의한 전계파형은 대단히 다양하며, 이들 파형의 특성은 방사원으로 되어 있는 방전과정을 반영할 뿐만 아니라 전계 파형의 특징을 추출하므로써 낙뢰위치표정시스템에 있어서 뇌방전에 의한 신호중에서 낙뢰에 의한 신호의 식별이 가능하므로 정확하게 파악해 둘 필요가 있다.

다중 뇌방전에 의해서 발생하는 전계파형의 특성을 나타내는 전구방전의 리더펄스의 시간간격과 피크비, 운방전시에 나타나는 과도 상승펄스의 시간 간격과 피크비, 다중 뇌격에 의한 펄스의 영점 교차후 반대 방향으로의 피크비, 주방전 이후에 발생된 후속뇌격의 시간 간격과 피크비 등을 파라미터로 선정하였다. 본 논문에서는 다중 뇌방전의 특성을 나타내는 주방전 이후의 후속뇌격의 다중도 및 제1뇌격과 후속뇌격간의 시간간격(T)과 제1뇌격의 피크치에 대한 후속뇌격의 피크치의비(P)를 분석한 결과를 보고하였다.

표 1 다중뢰의 분포

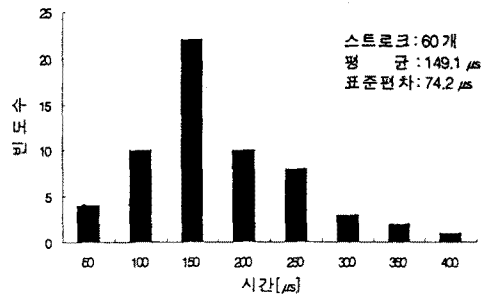
Table 1 Distribution of multiple lightnings

해석대상		다중도							총수
		2	3	4	5	6	7	8	
운방전	부극성	17	16	11	9	4	1	2	60
	정극성	23	18	12	11	2	2	1	69
낙뢰	부극성	31	8	6	7		2		54
	정극성	16	12	3	2				33

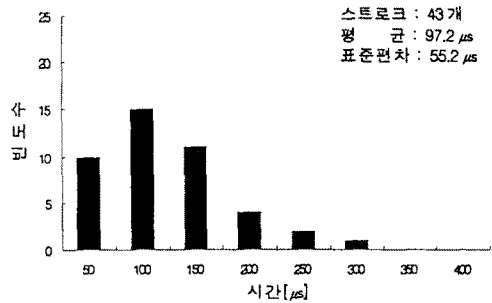
다중 뇌방전에 의하여 측정된 전계파형중에서 해석대상으로한 다중뢰의 수는 216개로서, 운방전에 의한 것이 129개, 낙뢰에 의한 것이 87개로 운방전에 의한 다중뇌가 훨씬 더 많이 발생하였고, 운방전의 경우 부극성이 60개, 정극성은 69개로 거의 비슷한 분포를 갖는 반면 낙뢰의 경우에는 정극성이 33개, 부극성이 54개로서 부극성 다중낙뢰가 훨씬 더 많은 분포를 나타냈다. 표 1에서 보는바와 같이, 부극성 운방전시에는 다중도가 2~6 사이의 고른 분포를 보여 평균 3.6의 가장 높은 다중도를 나타냈으며, 정극성 운방전시에는 평균 다중도가 3.4로서 부극성의 경우보다는 다소 낮게 나타났다. 낙뢰의 경우는 뇌격의 대부분이 다중도 2에 집중적으로 분포 되어 있으며 부극성은 평균 다중도가 2.9이며, 정극성은 2.7로서 부극성의 다중도가 약간 높게 나타났다. 또한 운방전에 한 전계파형의 의 다중도가 낙뢰의 경우보다 훨씬 높게 나타난 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 적용한 기록장치의 제한도 있으므로 실제로는 다중도가 더 클수도 있다.

주방전 이후에 다중적으로 발생하는 후속뇌격에 의하여 나타나는 후속전계파형의 피크치까지의 시간간격(T)은 부극성의 운방전인 경우 그림 2에서와 같이 제 1 뇌격 직후에 나타나는 후속피크까지의 시간이 평균 149.1 $\mu$ s로서 100~150 $\mu$ s 사이에 가장 많은 스트로크가 분포하고 있으며, 제 2 뇌격과 제 3 뇌격사이의 시간간격은 평균치가 97.2 $\mu$ s로 나타나 제 1 뇌격 직후에 나타나는 후속피크까지의 시간보다 훨씬 더 짧게 나타났다. 또한 제 2 뇌격 이후에는 시간간격이 점점 더 짧아지는 것을 알 수 있었다.

그림 3은 정극성 운방전시의 다중전계펄스에 대한 시

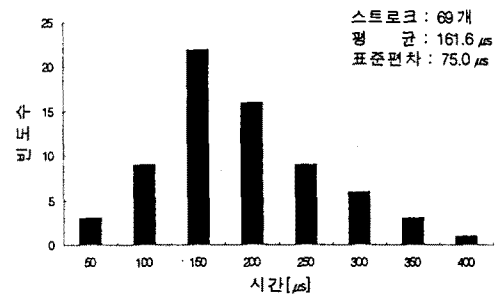


(a) 제 1피크와 제 2피크간의 시간간격

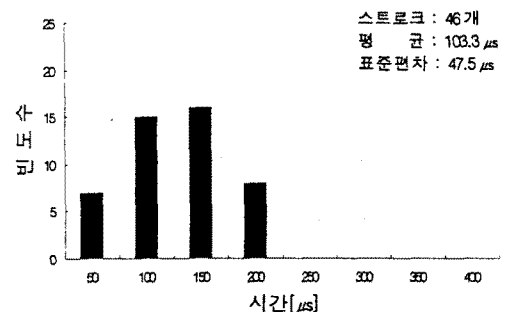


(b) 제 2피크와 제 3피크간의 시간간격

그림 2. 부극성 운방전시의 후속뇌격간 시간간격의 분포  
Fig. 2. Distributions of time interval between subsequent strokes due to negative intracloud discharge

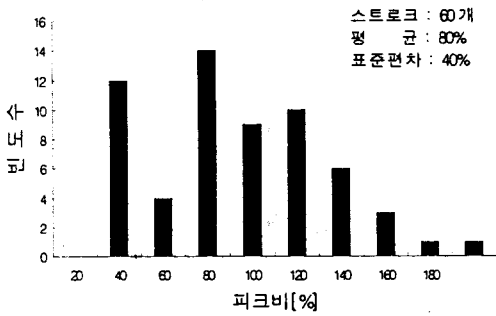


(a) 제 1피크와 제 2피크간의 시간간격

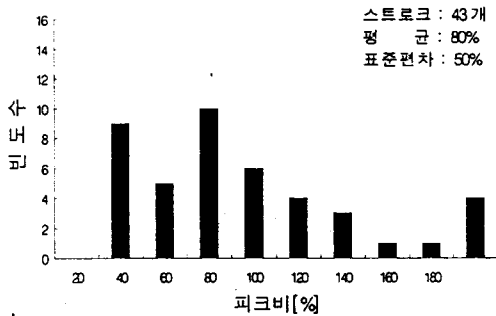


(b) 제 2피크와 제 3피크간의 시간간격

그림 3. 정극성 운방전시의 후속뇌격간 시간간격의 분포  
Fig. 3. Distributions of time interval between subsequent strokes due to positive intracloud discharge

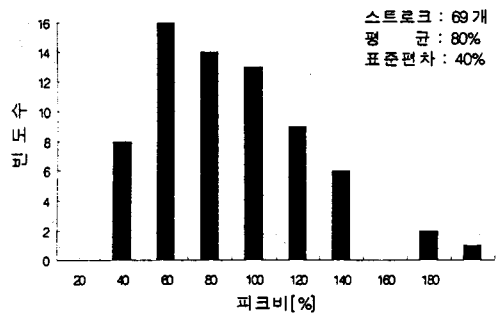


(a) 제 1 피크에 대한 제 2 피크비

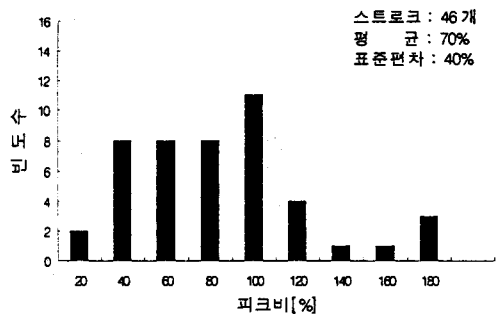


(b) 제 1 피크에 대한 제 3 피크비

그림 4. 부극성 운방전시의 후속뇌격의 피크비 분포  
Fig. 4. Distributions of the ratio between the peak values of subsequent strokes due to negative intracloud discharge



(a) 제 1 피크에 대한 제 2 피크비



(b) 제 1 피크에 대한 제 3 피크비

그림 5. 부극성 운방전시의 후속뇌격의 피크비 분포  
Fig. 5. Distributions of the ratio between the peak values of subsequent strokes due to negative intracloud discharge

간격 분포이며, 제 1 뇌격 직후에 나타나는 후속피크까지의 시간이 부극성의 경우보다는 약간 높은  $161.6 \mu s$ 로서  $100 \sim 150 \mu s$  사이에 가장 많은 스트로크가 분포하고 있고, 제 2 뇌격과 제 3 뇌격사이의 시간간격은 평균치가  $103.3 \mu s$ 로서 제 1 뇌격 직후에 나타나는 후속피크까지의 시간보다 더 짧게 나타났으며, 부극성 운방전의 경우와 거의 유사한 양상으로 나타났음을 알 수 있었다.

제 1 뇌격 이후에 다중적으로 발생하는 후속뇌격에 의하여 나타나는 후속전계펄스의 피크치의 제 1 뇌격에 의한 피크치에 대한 비( $P'$ )를 산출하였으며, 부극성 운방전시의 통계적인 분포를 그림 4에 나타냈다. 제 1 뇌격 피크치에 대한 제 2 후속 뇌격 피크치의 비가 평균 80%로서  $30 \sim 100 \mu s$  사이에 분포되어 있으며 100%를 초과하는 경우도 총 60개의 데이터중 10개의 스트로크가 있어 주방전 이후의 후속뇌격의 피크치가 매우 불규칙적임을 알 수 있다. 또한 제 3 뇌격의 피크치의 비와 제 4 뇌격의 피크치의 비도 평균값이 모두 80%로 나타나 제 2 뇌격의 경우와 같게 나타났으며, 스트로크의 분포율도 거의 유사하게 나타났다.

그림 5에는 정극성 운방전시의 다중 후속전계펄스의 제 1 뇌격에 대한 피크비( $P'$ ) 분포를 나타냈다. 제 1 뇌격 직후에 나타나는 제 2 뇌격의 피크비가 부극성의 경우와 같이 80%로서  $50 \sim 100 \mu s$  사이에 가장 많은 스트로크가 분포하고 있고, 160%를 초과하는 것도 3개의 스트로크가 있었다. 제 3 뇌격시의 피크비는 평균치가 70%로 나타나 제 2 뇌격시 보다는 약간 낮지만  $20 \sim 180 \mu s$ 까지의 분포를 보여 부극성의 경우와 마찬가지로 주방전 이후의 후속뇌격의 피크치가 매우 불규칙적임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 뇌방전에 의해서 방사되는 전계파형을 관측하고, 다중 운방전에 의해서 나타난 전계파형의 특성을 통계적으로 분석하였다. 운방전에 의하여 방사된 전계 변화 파형의 대부분이 다중펄스의 형태로 나타났으며, 부극성 운방전시의 다중도가 평균 3.6 이었다. 주방전 이후에 다중적으로 발생하는 후속뇌격에 의하여 나타나는 제 2 후속전계파형의 피크치까지의 시간간격은 부극성의 운방전인 경우 평균  $149.1 \mu s$ 로서 제 2 뇌격과 제 3 뇌격사이의 시간간격 평균치  $97.2 \mu s$ 보다 훨씬 더 길게 나타났으며, 또한 제 2 뇌격 이후에는 시간간격이 점점 더 짧아지는 것을 알 수 있었다. 정극성 운방전시의 다중전계펄스에 대한 시간간격 분포도 부극성 운방전의 경우와 거의 유사한 양상으로 나타났음을 알 수 있었다. 뇌방전에 의해 발생하는 전계파형의 특성을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 더 많은 데이터를 분석할 필요가 있으며, 이들 결과는 뇌보호장치의 설계와 개발에 유용한 기초자료로 활용될 것이다.

#### [참고 문헌]

- [1] Bok-Hee Lee, M. Ishii and J. Hojo, "Characterization and Evaluation of the Electric Fields Produced by Lightning Return Strokes", Proc. of 4th Annual Conference of Power & Energy Society, IEE of Japan, pp.545~546, 1993.7
- [2] 홍사우, 김영환, 김재영, "전력계통 낙뢰감지 및 진로 예측시스템", 1992년도 대한전기학회 하계학술대회 논문지, pp.70~73, 1992.7
- [3] 李福熙, 石井 勝, 北條 準一, "뇌방전에 의하여 발생하는 전계파형", 대한전기학회 방전 및 고전압방전연구회 춘계학술발표대회 논문집, pp.4~7, 1993.5
- [2] 박성열, 이복희, 안창환, 전덕규, "뇌방전에 의해서 발생하는 전계파형의 특성", 1996년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1879~1881, 1996.7