

논문 96-5-2-07

뇌방전에 의하여 발생하는 전장의 자동측정시스템

이복희, 안창환, 길경석

An Automatic Measuring System of the Electric Fields
Produced by Lightning Strokes

Bok-Hee Lee, Chang-Hwan Ahn, Gyung-Suk Kil

요약

본 논문은 뇌방전에 의하여 발생하는 시변성 전장의 검출용 센서와 자동측정계에 대하여 기술하였다. 전장측정장치의 이론적인 동작원리 및 설계방법에 대하여 고찰하고, 반구형 전장센서와 신호처리계를 제작하였다. 교정실험으로부터 증폭기의 이득이 10일 때 전장측정시스템의 주파수 대역은 200 [Hz]~1.56 [MHz]이고, 응답감도는 0.96 [mV/V/m]이었다.

더불어 뇌방전에 의하여 발생하는 전장파형을 반구형 전장센서를 이용해서 1995년 6월에서 8월까지 측정하였으며, 데이터는 200 [ns]의 샘플링시간으로 12비트의 과도신호해석기로 기록하여 개인용 컴퓨터에 저장하였다. 뇌방전에 의하여 발생하는 전장파형의 형태는 양극성으로 상승부분은 폭이 좁고 2~3개의 펄스가 중첩되는 형태로 나타났다.

Abstract

This paper deals with the electric field sensor and automatic measuring system of the time-varying space electric field produced by lightning discharges. The theoretical principle and the design rule of the measuring devices are investigated, and the hemisphere-type electric field sensor and the signal process system are fabricated. From the calibration experiments, the frequency bandwidth of the measuring system ranges from 200 [Hz] to 1.56 [MHz] and the sensitivity is 0.96 [mV/V/m] as the amplification gain is 10.

In addition, the electric field waveforms produced by lightning discharges are observed by the proposed electric field measuring system from June to August in 1995. The data is sampled with the time interval of 200 [ns] and is automatically recorded by transient signal analyzer(Necolet Pro 30), the resolution of which is 12 bit. And it is registered at personal computer. The electric field waveforms produced by intracloud discharge tend to be bipolar, with two or three narrow and fast rising pulses superimposed on the initial half-cycle.

1. 서론

대기전기현상인 뇌방전의 관측방법으로는 광학적 계측, 뇌명의 분석방법과 전기적 계측방법이 등이 있다.

전기적 해석방법은 뇌방전에 의하여 방사되는 전장과 자장의 측정으로 낙뢰위치와 극성, 강도, 뇌방전의 프로세스, 뇌격전류 등 여러가지 정보를 알아낼 수 있으므로 이 분야에 대하여 중점적으로 연구되어 왔다.^{[1][2]} 미국에서는 캐나다우주센타의 연구설비로 뇌방전 현상의 측정, 낙뢰위치표정, 뇌방전기구, 전력계통의 내뢰설계 등 뇌방전에 관한 연구의 선도적 역할을 하여 왔다. 세계 각국에서의 이 분야에 대한 연구도 1970년대에 들어서면서 고성능 전자부품과 디지털 측정기기의 출

인하대학교 공과대학 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, College of
Engineering, Inha University)
<접수일자 : 1996년 1월 25일>

현으로 팔목할 만큼 발전되었으며, 1 MHz급인 광대역 전자부품의 등장으로 뇌방전에 의하여 방사되는 전자기장 변화에 대한 고정도 측정과 미세구조의 해명도 이루어지게 되었다.^{[3],[4],[5]}

뇌방전에 의하여 발생하는 전자기 신호에는 극성, 뇌방전전과정의 해석을 위한 각종 파라미터, 뇌방전시 전장의 변화 등 여러가지 정보를 함유하고 있기 때문에 이를 정확하게 측정하는 것은 학술적인 측면 뿐만 아니라 공학적 응용면에서도 대단히 중요하다. 즉, 우리나라 부근에서 발생하는 뇌방전의 계절적 빈도, 극성, 강도 등의 통계적인 파악이 가능하게 되면 뇌방전에 의해서 유도되는 전압의 양상이나 특성의 해석이 가능하므로 전력계통의 절연설계를 비롯하여 피뢰기, 가공지선, 보호설비의 설정 등 뇌사고 방지와 보호에 큰 역할을 하게 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 불규칙적으로 일어나는 뇌방전에 의하여 발생하는 과도전장을 고정도 관측할 수 있는 자동계측시스템을 실현할 목적으로 반구형 전장센서와 신호처리계를 설계, 제작하였다. 시제작한 자동전장측정시스템의 응답특성과 주파수대역 등의 기본성능을 파악하기 위해서 교정실험을 수행하였으며, 본 전장측정시스템을 적용하여 뇌방전시 발생하는 전자기파형을 1995년 6월부터 8월까지 본교(인하대학교)에 설치하여 관측하고, 구성된 자동전장측정시스템의 성능과 신뢰성에 대하여 분석하였다.

2. 측정원리

뇌운내에 존재하는 정(+)전하와 부(-)전하는 낙뢰, 운방전 또는 공전 등의 뇌방전에 의하여 이동하거나 소멸되며, 이 과정 동안에 전장과 자장 변화 즉, 전기적 현상의 과도적 변화를 일으키게 된다. 그림 1에 뇌방전시 발생하는 전장변화의 측정에 대한 개념도를 나타내었다. 뇌운의 전하에 의하여 센서의 검출전극에는 반대부호의 전하가 유도되며, 마치 뇌운과 검출전극은 콘덴서를 형성하는 것으로 볼 수 있다. 전장센서의 검출전극은 뇌방전에 의해서 뇌운에 존재하는 전하의 소멸에 의한 전장의 변화를 감지하게 되는데, 이 신호는 전장의 변화량이므로 RC적분기를 통하여 오실로스코프에 출력시키면 전장의 실신호를 얻게 되는 것이 본 연구에서의 전장측정에 대한 기본원리이다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 뇌운과 대지사이의 전위

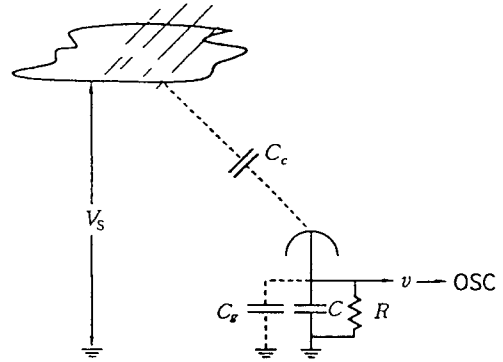


그림 1. 뇌방전에 의하여 발생하는 전장측정의 개념도
Fig. 1. Conceptual diagram of the electric field system measurement produced by lightning strokes

차를 V_S 라고 하면 뇌운과 센서의 검출전극사이의 표류정전용량과 측정계의 정전용량에 의하여 분압되며, 오실로스코프에서 측정되는 전압은 다음과 같다.

$$v = V_S \frac{C_c}{C_g + C_c + C} \quad (1)$$

여기서 C_c 는 뇌운과 센서의 검출전극사이의 표류정전용량이고, C_g 는 센서전극과 대지사이의 정전용량이다. 그러나 센서의 검출전극과 대지사이의 정전용량은 대단히 작기 때문에 회로의 특성이 불안정하므로 이를 개선하기 위하여 센서의 검출전극과 대지사이에 정전용량 C 인 콘덴서를 병렬로 연결하고, 증폭회로에 의해 검출신호를 증폭하여 처리할 필요가 있다.^[6] 따라서 실제 전장측정계에서 $C > C_g$ 이므로 검출되어지는 전압은 정전용량 C 의 값과 병렬저항 R 의 값에 따라 좌우되고, R 은 감쇠시정수 $R(C+C_g)$ 에 영향을 미치므로 측정하고자 하는 미지신호의 주파수대역에 따라 RC 시정수가 대단히 커야 전장성분을 정확하게 측정할 수 있다. 또한, 전장변화성분을 관측하려면 RC 시정수가 작은 측정계의 구성이 필요하다.

3. 전장측정계의 구성

3.1 전장측정계

평판형 검출전극을 가지는 전장센서를 대기중에 노

출시켜 전장을 측정하게 되면 비 또는 눈이 오는 날 빗물이나 적설에 의해서 센서의 검출전극과 접지판이 단락되므로 측정이 불가능하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 제거하기 위해서 센서의 검출전극을 반구형으로 제작하여 대기중에 설치하여 일기에 관계없이 특히 뇌방전이 많이 발생하는 비오는 날에도 전장측정이 가능하도록 하였다. 또한 평판형 센서는 전장의 수직 또는 수평성분만을 감지하는데 비하여 반구형 센서는 방사상의 성분을 검출하게 되며, 먼 거리에서의 뇌방전에 의한 전장신호 검출에도 효과적인 장점을 가지고 있다.

반구형 검출전극의 직경은 30 [cm]이며, 센서전극 하단부에는 증폭 및 버퍼회로를 설치할 수 있도록 유면체의 금속상자를 만들어 신호처리회로 및 전원을 내장하였으며, 지면에서 약 1 [m]인 점에 센서의 검출전극을 설치하였다. 또한 접지판과 금속상자의 다리는 전기적으로 접속하였으며, 접지판의 4개의 모서리에 $\phi 16 \times 1,800$ [mm]의 접지봉으로 접지하였다 그림 2에 반구형 센서를 포함한 전장측정계의 개략도를 나타내었다.

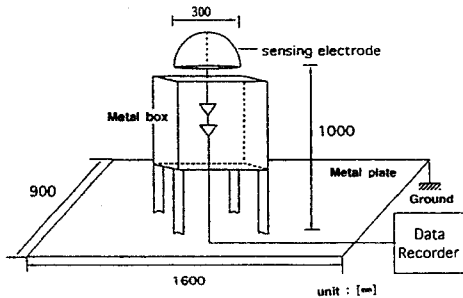


그림 2 반구형 검출전극을 이용한 전장측정계의 개략도

Fig. 2 Schematic diagram of the electric field measuring system with the hemisphere-type sensing electrode

센서에 의해서 감지된 신호는 시도함수로 나타나기 때문에 실신호로 출력시키기 위하여 수동성 적분기, 증폭회로와 임피던스정합용 전압버퍼회로를 구성하였으며, 그림 3에 이의 회로도를 나타내었다. 연산증폭기로는 입력임피던스가 대단히 크며(약 $10^{12} \Omega$) 주파수대역이 DC~70 [MHz]에 이르는 LH0032를 사용하였다. 특히 고주파 영역에서 연산증폭기의 입력전압의 안정화

를 위해서 0.1 [μ F]와 0.01 [μ F]의 콘덴서를 접속하였다. 신호전송에 사용된 동축케이블(RG-58/AU)의 정전용량(90~100 [pF/m])에 의해서 신호의 왜곡이 생기기 때문에 이것을 제거하기 위해서 증폭기 후단에 전압버퍼(LH0033, 대역 : DC~100 [MHz])를 연결하여 임피던스정합이 정확하게 이루어진 회로를 구성하여 신호를 전송하였다.

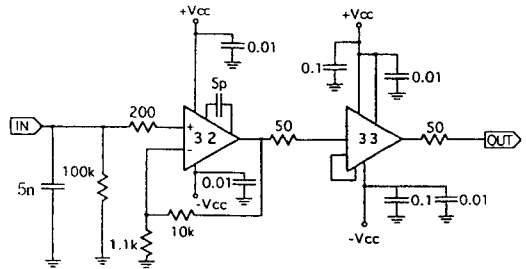


그림 3 증폭기 및 전압버퍼의 회로도

Fig. 3 Circuit diagram of the amplifier and voltage buffer

또한 뇌방전은 대단히 불규칙적으로 발생하게 되므로 계속대기상태에 있다가 신호가 발생하면 즉시 검출하고 데이터를 기록할 수 있는 자동계측 및 데이터기록장치가 필요하다. 뇌방전에 의하여 대기중에 순시적으로 전장변화가 발생하게 되면 전장센서에 의하여 검출되어 증폭기와 전압버퍼를 거쳐 입력된 전장신호는 계속대기중인 과도신호해석기를 트리거시키게 되며 과도신호해석기에 의하여 자동적으로 측정된다. 계속된 신호는 GPIB를 통하여 개인용 컴퓨터로 전송되어 디스켓에 저장되며, 신호해석도 가능하고 프린터로 출력된다. 본 실험에 사용한 오실로스코우프는 12비트의 분해능(Resolution)을 가지고 있으며, 검출신호를 100 [ns]에서 500 [μ s]의 샘플링 시간과 신호의 크기를 조절할 수 있다. 뇌방전에 의해 발생한 전장신호가 입력되면 오실로스코우프(Nicolet, Model Pro 30)에 의해 샘플링되면서 순시 저장된다. 1개의 입력데이터(1 event)의 저장용량(Data record length)은 512 kbytes이며, 순시저장된 데이터는 GPIB를 통하여 486 개인용 컴퓨터로 전송되어 하드디스켓에 저장되며, 데이터의 전송시간은 약 15 초이다.

3.2 교정실험계

반구형 전장센서의 교정실험에 평판형 교정시스템을 적용하면 입사전장의 크기가 검출전극에 균일하게 입사되지 않으므로 검출전극에 입사되는 전장의 평균치를 취해서 입력전장을 계산할 필요가 있다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 반구형 전장센서의 검출전극의 밑부분으로부터 전장을 인가시키는 교정장치의 전극사이의 거리는 20 [cm]로 하였다.

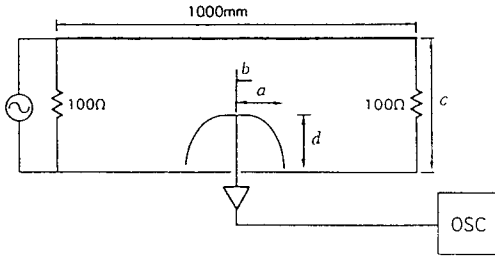


그림 4 반구형 전장센서의 교정실험시스템의 개략도
Fig. 4 Schematic diagram of the calibration experiment system of the semispherical electric field sensor

그림 4의 반구형 전장센서의 검출전극면에 입사되는 전장의 세기는 각 위치에 따라 다르므로 평균값을 구할 필요가 있다. 따라서 검출전극의 각 부분에 입사된 전장의 세기와 면적의 곱을 투영면적으로 나누면 평균값을 구할 수 있으며, 다음의 식 (2)로부터 산출할 수 있다.

$$E = \frac{A}{\pi a^2} \quad (2)$$

여기서 A는 검출전극의 각 부분에 입사된 전장의 세기와 면적의 곱으로

$$A = \frac{V}{(c-d)} \pi b^2 + \sum_{n=1}^n \frac{V}{c - \sqrt{a^2 - (b + \Delta l n_i)^2}} \times \pi [(b + \Delta l n_i)^2 - \{b + \Delta l (n_i - 1)\}^2]$$

와 같이 근사적으로 구할 수 있다. $\Delta l = (a - b)/n$, n 은 $a-b$ 사이를 등분한 구간의 수이며, 검출전극의 a 는 15 [cm], b 는 5.5 [cm], c 는 20 [cm], d 는 14 [cm]이다. 시제작된 전장측정시스템은 본 교정시스템을 이용하여 단위계단응답특성과 응답감도 등 기본특성을 평가하였다.

3.3 뇌방전에 의해 발생하는 전장의 측정

뇌방전시에 뇌운의 이동과 뇌운내에 존재하는 전하의 이동과 소멸 등에 수반하여 나타나는 전장파형을 측정하기 위하여 본 연구에서 시제작한 반구형 전장센서를 데이터자동기록장치로부터 약 30 [m] 떨어진 인하대학교의 교정에 설치하였다. 설치지점을 선정할 때 주변의 지형지물과 접지상의 문제점으로 측정에 왜곡을 가져올 수 있으므로 정확한 뇌방전시에 방사되는 전장파형을 측정하기 위해 제작된 반구형 전장센서의 측정지점은 평지인 대지면으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 교정실험결과

전장측정시스템의 응답도와 주파수대역 등 계측기로서의 기본성능을 알아보기 위해서는 단위계단 응답특성의 측정이 필요하므로 이에 대한 교정실험을 수행하였다. 직각과 입력전원으로는 펄스발생기(Tek. TM502A)를 적용하였으며, 직각과 입력펄스의 상승시간은 1.5 [ns]이다. 전장측정계의 응답도를 나타내는 계단응답의 순수상승시간은 다음의 식 (3)에 의해서 결정된다.^{[7],[8]}

$$t_r = \sqrt{t_3^2 - t_1^2 - t_2^2} \quad (3)$$

t_1 = 오실로스코프 자체의 상승시간

t_2 = 펄스발생기의 상승시간

t_3 = 센서를 포함한 전장측정계의 응답파형의 상승시간

측정계의 최대응답인 고역측 차단주파수는 주파수대역폭과 상승시간사이의 관계로부터 결정되며, 만일 측정에 사용된 오실로스코프용 증폭기의 응답특성이 가우시안 응답분포(Gaussian response distribution)를 갖는다면 주파수대역폭과 응답의 상승시간사이의 관계는 다음 식 (4)와 같이 표현된다.^{[7],[8]}

$$B_w \cdot t_r = 350 \quad (4)$$

여기에서 B_w 는 주파수 대역폭 [MHz]이고 t_r 은 센서응답의 순수응답시간 [ns]이다.

규격화된 출력응답전압의 크기가 -3 [dB]로 감쇠되는 저역측 차단주파수 f_L 은 입력임피던스 R [Ω], 센서의

정전용량 C [F]에 의해서 결정되는 감쇠시정수가 τ 일 때

$$f_L = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (5)$$

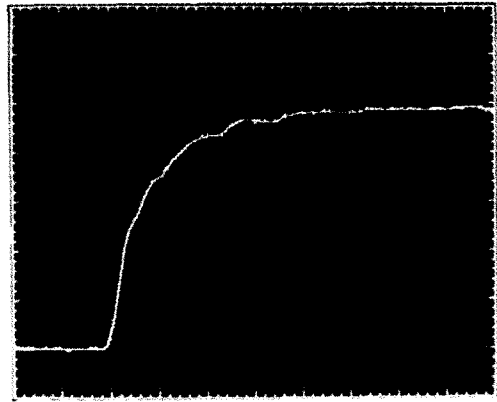
에 의하여 정하여진다.^{[8],[9]}

전장센서의 출력을 증가시키기 위해서는 전장센서의 정전용량은 작아져야 하지만 주파수대역의 상한이 제한된다. 그러므로 전장측정시스템을 제작하기 위해서는 전장센서의 응답감도와 주파수대역의 관계를 고려하여 설계하여야 한다.

그림 4의 교정장치의 평판전극에 펄스발생기를 적용하여 상승시간이 1.5 [ns]인 직각파를 입력시켰을 때의 응답파형을 그림 5에 나타내었으며, 응답파형의 상승시간은 오실로스코프의 자체상승시간(1 [ns]미만)과 직각파 입력펄스의 상승시간에 비하여 대단히 길게 나타났다. 그림 5 (a)의 응답파형에서 상승시간을 구하고, 이의 값을 식 (3)에 적용하여 산출한 전장측정계의 순수응답시간 t_r 은 225 [ns]이다. 따라서 직각파 응답파형의 순수상승시간을 식 (4)에 적용하여 주파수 대역폭을 산출한 결과, 1.56 [MHz]이고 저역측 차단주파수가 200 [Hz]이므로 고역측 차단주파수는 주파수 대역폭의 상한을 적용해도 커다란 오차는 없다.

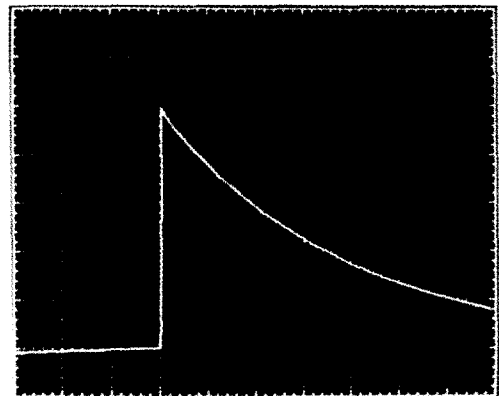
센서의 감쇠시정수를 산출하기 위하여 응답의 감쇠시정수 τ 즉, 최대응답의 0.368(1/e, e:자연대수의 밑수)배로 감쇠되는데 소요되는 시간을 산출하였는데, 본 전장측정계의 감쇠시정수는 그림 5(b)의 직각파 응답파형에서 780 [μ s]이다. 따라서 식 (5)에 의하여 저역측 차단주파수 f_L 은 200 [Hz]이다. 즉, 반구형 전장측정계의 주파수대역은 200 [Hz] ~ 1.56 [MHz]임을 알 수 있다. 직각파 입력에 대한 반구형 전장센서의 응답파형의 상승부분에는 미약한 계단상으로 증가하는 성분이 포함되어 있는데, 이는 교정시스템의 인가전극과 접지선 사이의 리드선의 인덕턴스와 인가전극과 센서의 감지전극사이의 정전용량, 센서자체의 정전용량의 진동주파수에 의해서 나타난 것으로 생각된다.

응답감도의 산출을 위하여 구형과 전장을 교정실험계에 인가한 입력전장과 응답파형을 그림 6에 나타내었다. 식 (2)를 적용하여 계산한 결과 즉, 평균전장의 세기는 최대전장의 세기의 0.55배이었으며, 평등전장으로 등가화시켜 응답감도의 산출에 적용하였다. 그림 6의 결과에서 인가전장의 세기의 평균값은 90.91 [V/m]이고, 반구형 전장측정계의 출력전압은 87 [mV]이다.



[20 mV/div, 100 ns/div]

(a) 상승시간



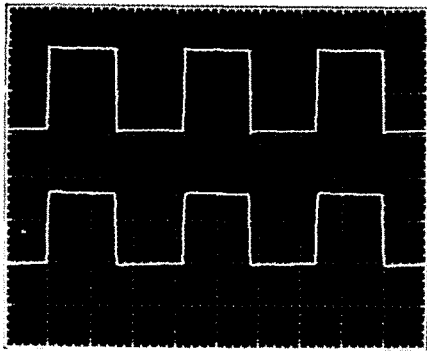
[10 mV/div, 200 μ s/div]

(b) 감쇠시간

그림 5 반구형 전장측정계의 단위계단응답의 파형

Fig. 5 Waveforms of unit step response of the semisphere-type electric field measuring system

그러므로 출력전압을 입력전계로 나누면 반구형 검출전극을 이용한 전장측정계의 응답감도는 0.96 [mV/V/m]이다. 응답감도는 그림 3의 증폭회로에서 알 수 있는 바와 같이 증폭도가 10인 경우이며, 연산증폭기의 증폭도 조정으로 미세 전장으로부터 강전장까지의 측정 을 위한 감도조정의 간편성이 본 전장측정계의 장점 중의 하나이다. 그러나 연산증폭기의 증폭도 조정과 더불어 주파수대역의 상한은 다소 변화하므로 증폭도를 조절할 때는 주파수대역의 변화를 확인할 필요가 있다.



상 : 입력 [45.45V/m/div, 10 μ s]
하 : 출력 [50mV/div, 10 μ s]

그림 6 구형파 입력에 대한 반구형 전장측정시스템의 응답파형

Fig. 6 Response waveforms of the the semispherical-type electric field measuring system to a square wave input

4.2 뇌방전에 의하여 발생하는 전장파형

뇌방전시에 대기중에 방사되는 전장을 반구형 센서는 검출하게 되며, 검출된 신호는 계측대기중인 과도신호해석기를 자동적으로 트리거하게 되며 데이터는 개인용 컴퓨터로 전송되어 디스켓에 저장된다. 이 때 검출된 신호는 12비트의 과도신호해석기에 의하여 200 [ns]의 시간간격으로 샘플링되도록 설정하여 기록하였다.

본 전장측정시스템을 적용하여 낙뢰에 의하여 발생하는 전장파형의 예를 그림 7에 나타내었다. 이 때 뇌운내부에서 전구방전이 발생되어 계단상의 리더로 진전하여 대지에 도달되기까지는 대체로 수 ms 정도 걸리므로 pretrigger하면 data record length가 대단히 길어야 하고, 관측하고자 하는 전장파형이 낙뢰순간의 전후의 신호이므로 post trigger하여 관측하였다. 측정한 전장파형을 분석하여 보면 다음과 같은 특징이 있다. 그림 7에서 L은 계단상 리더(steped leader)로서 귀환뇌격(lightning return stroke)이 발생하기 전에 뇌운에서 대지로의 방전진전과정이다. F는 부착과정 동안에 생긴 것으로 완전한 파두부분이며, F'는 F 다음에 나타나는 현상으로 매우 빠른 피크치의 파두상승부분으로 귀환뇌격에 의하여 발생하게 된다. R은 대지에서 귀환뇌격 전류의 발생으로 급격한 기울기를 가진 피크가 발생한다. A는 귀환뇌격전류가 계단상 리더

와 만나 도전채널(conduction channel)을 형성하게 되는데 이 도전채널은 A와 같이 피크를 발생하면서 팽창하게 된다. 이렇게 팽창하면서 뇌운으로부터 진전하여 온 리더는 귀환뇌격에 의하여 진전을 완료하게 된다.

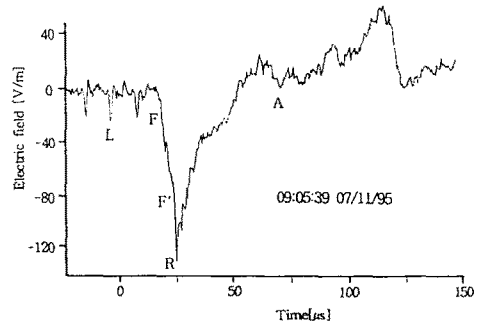


그림 7 낙뢰에 의해 발생하는 전장파형의 예

Fig. 7 Typical electric field waveforms produced by lightning return strokes

그림 8에는 운방전(intracloud discharge)시에 발생하는 전장파형의 대표적인 예를 나타내었다. 운방전시 발생하는 전장파형의 특징을 살펴보면, 운방전시에 낙뢰시와 마찬가지로 부(-)극성 방전이 많이 관측되었다. 또한 상승부분에는 미세한 리더형태의 펄스들이 중첩되어 나타났고, 반드시 양극성의 형태로 나타났다. 다중 운방전인 경우에도 진전과정의 양상이 거의 동일한 특성으로 나타나며, 반복적인 현상으로 나타난다. 특히 운방전에 의해 발생하는 전장파형은 귀환뇌격시에 발생하는 전장파형의 형상과는 판이하게 다르다는 것을 알 수 있다.



그림 8 운방전시 발생하는 전장파형의 예

Fig. 8 Examples of the electric field waveforms produced by intracloud discharges

본 연구에서 구성한 시변성 전장의 측정시스템은 응답특성이 우수하였으며, 적용실험으로 뇌방전시에 발생하는 전장을 측정할 때 매우 안정한 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 본 연구결과는 뇌방전시에 방사되는 전장측정에 이용될 수 있으며, 뇌방전 파라미터의 해석을 위한 연구에 적용될 수 있어 이 분야의 연구에 활용될 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 시변성 공간전장을 측정할 수 있는 반구형 전장센서를 이용한 자동전장측정시스템을 구성하였으며, 적용실험으로 뇌방전시 발생하는 전장파형을 측정하고 분석한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공간전장의 측정원리와 계측시스템의 설계, 교정 실험 및 기본성능의 평가방법을 제안하였으며, 구성된 자동전장측정시스템은 시간적으로 불규칙하게 입력되는 신호의 계측에 적합하며, 그의 성능과 안정성이 우수하였다.

(2) 반구형 전장센서를 이용한 과도전장의 자동측정시스템의 주파수대역과 응답감도는 각각 200 [Hz] ~ 1.56 [MHz], 0.96 [mV/V/m]이었으며, 응답감도는 연산 증폭기의 증폭도 조절에 의하여 간편하게 이루어지는 장점을 가지고 있다.

(3) 낙뢰 뿐만 아니라 운방전시 발생하는 전장파형을 측정하여 분석한 바, 운방전시의 전장파형의 앞부분의 리더는 낙뢰시의 리더보다는 더 긴 시간간격을 가지며, 상승부분에 미세한 펄스들이 중첩되었고, 반드시 양극성의 형태로 나타났다.

(4) 본 연구에서 제안한 자동전장측정시스템은 뇌방전에 의하여 발생하여 과도적으로 변화하는 전장파형의 자동측정에 적합함을 확인하였으며, 최근 문제시되고 있는 전력설비 및 전자기기 주변에 있어서 전자환경의 영향평가를 위한 연구에 이용될 것으로 기대된다.

※ 본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구(과제번호 : 951-0912-017-2) 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. A. Uman and P. L. Rustan ; "Electric Fields Proceeding Cloud-to-Ground Lightning Flashes", J. Geophys.Res., Vol.87, No.C7, pp.4883-4902, 1982.
- [2] C. D. Weidman and E. P. Krider ; "The Fine Structure of Lightning Return Stroke Wave Forms", J. Geophys. Res., Vol.83, No.C12, pp.6239-6247, 1978.
- [3] M. A. Uman and E. P. Krider ; "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling", IEEE Trans., Vol. EMC-24, No.2, pp.79-105, 1982.
- [4] C. D. Weidman and E. P. Krider ; "The Radiation Field Wave Forms Produced by Intracloud Lightning Discharges Processes", J. Geophys. Res., Vol.84, No.C6, pp.3159-3164, 1979.
- [5] M. Ishii and J. Hojo ; "Statistics on Fine Structure of Cloud-to-Ground Lightning Field Waveforms", J. Geophys. Res., Vol.94, No. D11, pp.267-274, 1989.
- [6] Martin A. Uman ; Lightning, Dover Publication Inc., New York, 1982, pp. 61~65.
- [7] Edmund K. Miller ; Time-Domain Measurements in Electromagnetics, Van Norstand Reinhold Co., 1986, pp. 175~290.
- [8] 이복희, 5인 ; "가스절연개폐설비에서 급준성 과도 과전압의 측정장치", 대한전기학회 논문지, Vol.43, No.10, pp.1721-1728, 1994.
- [9] G. G Wolzak and R.C.T. Van der Laan ; "A new concept for impulse voltage dividers", Proc. of 4th Int. Sym. on High Voltage Engineering, Paper No. 61-11, 1983.

 著 者 紹 介



이 복 희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 일본 동경대 생산기술연구소 객원연구원. 현재 인하대 공대 전기공학과 부교수.



길 경 석 (吉暲碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하대 공대 전기공학과 강사.



안 창 환 (安昌煥)

1959년 11월 4일생. 1983년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.