

뇌방전에 의해 방사되는 전계와 자계파형의 특성

Characteristics of the Electric and Magnetic Field Waveforms Radiated by Lightning Discharges

이복희 · 이경옥

Bok-Hee Lee · Kyoung-Ok Lee

요약

뇌방전에 의해 방사되는 전계와 자계의 세기는 시변성으로 세기도 대단히 크게 변화하며, 최신의 전자기기에 관련한 전자계 양립성에 대한 과제 중의 하나가 직격뢰뿐만 아니라 근접뢰에 의해 발생하는 과도전압에 대한 효율적이고 경제적인 보호에 관한 것이다.

본 논문에서는 뇌전자기 임펄스파형에 관한 상세한 정보를 얻기 위해서 1995년의 여름에 발생한 뇌방전에 의해 방사된 전계와 자계를 고속전계센서와 루프형 자계센서로 측정된 파형과 이들의 특성을 분석한 결과를 기술하였다. 전계와 자계의 신호는 12비트의 분해능과 5000포인트의 기억용량을 가지는 기록장치를 이용하여 200 ns의 시간간격으로 샘플링되어 연속적으로 기록하였다.

귀환뇌격시에 방사된 전계와 자계의 파형은 운내방전의 전계와 자계파형과는 매우 달랐다. 50 km이상의 거리에서 발생한 운내뇌방전에 의해 방사된 자계파형은 전계파형과 거의 일치하였다. 또한 뇌방전에 의해 방사되는 전계와 자계의 주요 주파수 성분은 수 kHz에서 수백 kHz의 범위를 갖는 것으로 나타났다.

Abstract

The electric and magnetic fields radiated by lightning discharges are significantly changeable in amplitude and time, one of the topics concerning electromagnetic compatibility of modern electronic systems is the efficient and economic protection against transient voltages caused by not only by direct but also by nearby lightning strokes.

In this paper, in order to obtain the detailed informations about lightning electromagnetic impulse waveforms, the electric and magnetic fields radiated by lightning discharges in the summer of 1995 were measured by a fast electric antenna and a loop-type magnetic field sensor, and their characteristics were presented and analyzed. The signals of the electric and magnetic fields were recorded continuously by a transient digitizer having a resolution of 12 bit and a memory capacity of 5000 point and using a sampling time of 200 ns.

The electric and magnetic field waveforms associated with lightning return strokes are significantly different with those of intracloud discharges. The magnetic fields radiated by intracloud lightning discharges have essentially the same waveforms as the electric field when the lightning discharges are at distance of 50 km or more. Also the main frequency components of the electric and magnetic fields radiated by lightning discharges range from a few kHz to several hundred kHz.

인하대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Inha University)

「본 연구는 1996년 인하대학교 산업과학기술연구소 연구비 지원에 의하여 수행되었음.」

· 논문번호 : 96-3-031

· 접수일자 : 1996년 7월 10일

I. 서 론

전기에너지의 수송수단인 전력계통이 낙뢰에 의해서 사고가 일어나며, 전력공급의 신뢰성을 저하시키고 있다. 뇌방전의 전기적 파라미터와 이들에 상응하는 송전선로의 절연특성의 파악이 요구되어 뇌방전 현상에 대한 연구는 주로 전력계통의 보호와 신뢰도 향상의 측면에서 이루어져 왔다. 최근 고도의 정확도를 가지는 자동계측기술과 컴퓨터를 이용한 계산방법의 진보에 따라 뇌방전시에 발생하는 전자계 특성의 해석에 관한 연구성과는 많이 보고되어 있지만 아직 규명되지 않은 현상과 특성이 많이 남아 있으며, 이 분야에 대한 연구가 요구되고 있다.

뇌방전에 의해서 전하의 이동이 일어나거나 대기 중에 전류가 흐르게 되면 전자파가 발생된다. 뇌방전에 의해서 방사되는 전자파원은 정보화 기기의 제어장치나 통신설비 등 반도체 기기 및 컴퓨터와 같은 소세력 전자기기의 오동작을 초래하고, 인체에 위해를 미치게 되므로 이에 대한 영향의 평가와 대책의 수립 및 뇌방전 현상의 해석에 있어서 공간 전계와 자계의 세기와 주파수 성분을 파악하는 것은 뇌방전의 악영향을 방지하는 측면에서 대단히 중요하며, 이 분야에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1]~[3]. 아울러 뇌방전에 의해서 방사되는 전계와 자계의 악영향에 대한 대책의 수립, 이른바 EMI/EMC(Electromagnetic interference, Electromagnetic compatibility)의 중요성이 요즈음 반도체 소자를 사용한 전자기기의 보급과 정보화 사회의 발달로 대단히 심각한 문제로 대두되었다.

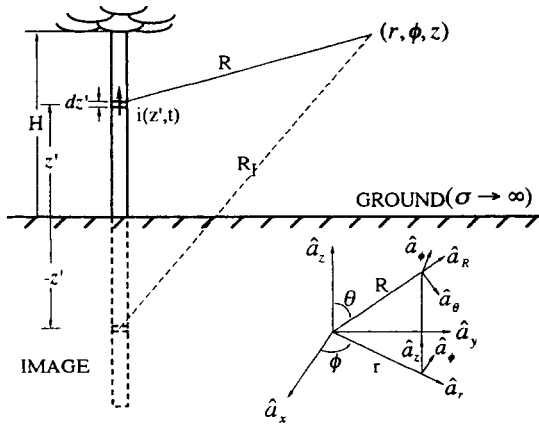
뇌방전시에 관측된 전자계 변화 파형에는 이의 방사원인 뇌격전류에 관한 정보도 포함되어 있으므로 이들의 파형형상에 관한 정보의 통계적 해석은 뇌방전특성의 파악에 유효하다. 특히 자계신호에 의한 낙뢰위치표정시스템에서는 전자계 변화의 파형현상에 따라 낙뢰인지 또는 뇌운방전인지를 판별하므로 낙뢰의 포착율 평가 등에도 직접 적용된다

[4],[5]. 뇌방전시 지배적으로 발생하는 전자파의 양상은 계절, 뇌방전의 극성과 거리에 따라 변화되며, 공기중에 전류가 흐르는 단계에서는 대체로 중파대의 주파수범위를 가지는 전자계가 발생되고, 뇌방전이 생성되는 과정동안은 단파대역의 전자파가 지배적으로 방사된다. 이와 같이 뇌방전에 의하여 발생된 전계와 자계의 파형에는 뇌격전류와 전하량에 관한 정보를 포함하고 있고, 방사원으로부터의 거리 의존성을 가지므로 낙뢰위치표정에 관한 정보를 얻을 수 있으며, 전자계 방사원의 특성에 대한 근본적 요인도 파악할 수 있다.

이와 같이 뇌방전에 의해서 발생하는 전계와 자계에 의해서 야기되는 반도체 기기 및 정보화 기기의 손상과 오동작 등 장애를 제거하기 위해서는 뇌방전으로부터 방사되는 전계와 자계의 세기, 주파수 성분 등의 정확한 원인 파악이 근본이 된다. 따라서 본 연구에서는 뇌방전시에 발생하는 전계와 자계파형을 측정할 수 있는 계측시스템을 구성하였으며, 1995년에 우리나라 인천지역 부근에서 발생한 낙뢰와 운방전에 의해서 발생한 전계와 자계의 파형을 측정하고, 주파수 성분을 분석·검토한 결과에 대하여 기술하였다.

II. 뇌방전에 의한 전계와 자계

대기중에서 상승기류에 의해 전하의 분리 및 축적이 이루어져 뇌운이 형성되며, 공기의 절연파괴로 뇌방전이 일어나게 되고, 이에 상응하는 전하의 이동이 일어나거나 대기중에 전류가 흐르게 되면 전자파가 방사된다. 뇌방전의 여러 가지 단계마다 방사되는 전자파의 양상도 다르며, 대기중에 대전류가 흐르는 귀환뇌격의 단계에서는 중파대보다 파장이 긴 전자파가 방사되고, 그 전후의 새로운 방전로가 생성되는 과정동안에는 단파보다 파장이 짧은 전자파가 지배적으로 방사된다. 대기중에 대전류가 흐르는 모우드에서는 여러 개의 전류쌍극자에 의해서 방사되는 전자계로 근사화시킬 수 있으며, 이상적인 뇌방전 도전로와 이 도전로에 흐르는 전류에



[그림 1] 귀환뇌격도모델링에서의 기하학적, 물리적 파라미터

[Fig. 1] Geometrical and physical parameters used in return stroke modeling.

의해서 발생하는 전계와 자계를 표현하기 위해 필요한 기하학적 그리고, 물리적 매개변수를 [그림 1]에 나타내었다.

완전 도전성 대지상의 H_B (보통 Zero 또는 대지 전위)와 H_T 높이 사이의 수직 도전로에 대한 원통좌표계에서의 전자계는 다음 식으로 표현된다[6], [7].

$$E(r, \phi, 0, t) = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \left[\int_{H_B}^{H_T} \frac{2z' - r^2}{R^5} \int_0^t i(z', \tau - \frac{R}{c}) d\tau dz' + \int_{H_B}^{H_T} \frac{2z'^2 - r^2}{cR^4} i(z', t - \frac{R}{c}) dz' - \int_{H_B}^{H_T} \frac{r^2}{c^2 R^3} \frac{\partial i(z', t - \frac{R}{c})}{\partial t} dz' \right] a_z \quad (1)$$

$$B(r, \phi, 0, t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\int_{H_B}^{H_T} \frac{r}{R^3} i(z', t - \frac{R}{c}) dz' - \int_{H_B}^{H_T} \frac{r}{c R^2} \frac{\partial i(z', t - \frac{R}{c})}{\partial t} dz' \right] a_\phi \quad (2)$$

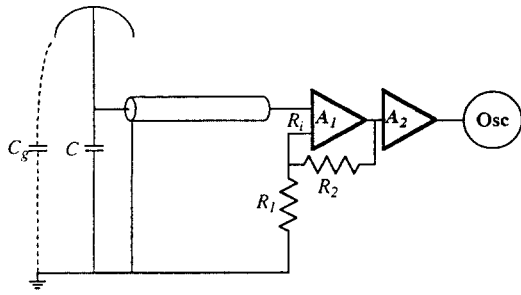
여기서 ϵ_0 와 μ_0 는 각각 진공중의 유전율 및 투자율이며, c 는 광속이다. (1)식에서 제1항은 정전계 성분이고, 제2항은 중간 또는 유도계 성분이며, 제3항은 방사계 성분이다. (2)식에서 제1항은 정자계 또는 유도계 성분이며, 제2항은 방사계 성분이다. $r \cong R$ 인 경우의 Source로부터 멀리 떨어진 곳에서는 전자방사계성분이 r^{-1} 의 거리 의존성을 갖으며, 파형은 $E_r/B_\phi=c$ 로 빛의 속도와 동일하다는 것을 주목할 필요가 있다. 따라서 전계와 자계의 유도성분과 방사성분은 서로 대응하지만 정전계 성분에 대응하는 자계성분은 없기 때문에 유도성분까지만 측정할 수 있으며, 각 성분에 따른 파형도 변화하므로 광대역의 측정장치가 필요하다.

III. 측정시스템 및 방법

3-1. 측정시스템

대기중에서 시시각각으로 변화하는 전계와 자계의 계측은 EMI/EMC 측면에서 대단히 중요하다. 특히 뇌방전시에 방사되는 전계와 자계에는 수 Hz에서 UHF에 이르는 주파수 성분이 포함되어 있으므로 이들의 모든 주파수 성분을 측정할 수 있는 계측시스템의 구성은 불가능하다. 따라서 현재까지는 정전계 성분을 주로 측정하기 위한 저속측정계, 중·단파대역의 고속측정계와 전계와 자계의 변화 특성을 파악하기 위한 초고속측정계로 나누어 연구되고 있으며, 본 연구에서는 고속측정계를 최대한의 광대역으로 구성하였다.

[그림 2]는 반구형의 전계센서를 이용하여 구성된 뇌방전에 의하여 방사되는 전계측정시스템의 개략도를 나타내었으며, 측정의 원리와 기본성능평가 결과는 이미 발표된 바 있다[8]. 반구형 검출전극의 직경은 30 cm이며, 센서전극 하단부에는 증폭 및 버퍼회로를 설치할 수 있도록 육면체의 금속상자를 만들었다. 센서에 의해서 감지된 신호는 시도함수로 나타나기 때문에 적분기 및 증폭회로와 임피던스 정합용 전압버퍼회로를 적용하였다. 연산증



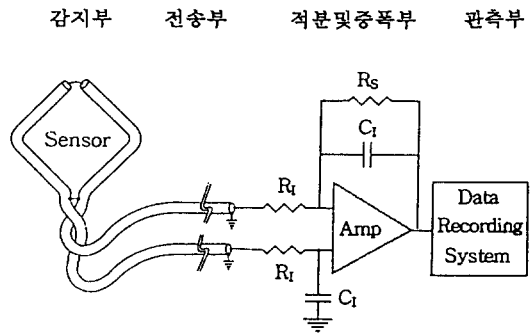
[그림 2] 전계측정장치의 개략도
 [Fig. 2] Schematic diagram of the electric field measuring device.

폭기로는 LH0032를 사용하였고, 신호의 왜곡을 없애기 위해서 증폭기 후단에 전압버퍼(LH0033)를 접속하여 임피던스 매칭을 하였다. 본 전계측정시스템의 주파수대역과 응답감도는 각각 200 Hz~1.56 MHz, 0.96 mV/V/m이었으며, 응답감도는 연산증폭기의 증폭도 조절에 의하여 간편하게 이루어지는 장점을 가지고 있다.

또한 뇌방전에 의하여 방사되는 자기성분을 검출하기 위하여 루우프형 센서를 이용하였으며, 자기 센서는 미지의 신호를 시도함수로 검출하므로 원래의 신호로 복원시키기 위한 신호처리과정으로는 검출신호의 증폭과 적분을 동시에 시킬 수 있는 능동성 적분회로를 구성하여 적용하였다. 미지의 자계가 센서에 의하여 검출되어 출력되기까지의 측정시스템을 [그림 3]에 나타내었다.

뇌방전시에는 자기뿐만 아니라 전계도 동시에 방사되기 때문에 전계에 의한 영향을 줄이는 방법은 검출도체를 정전적으로 차폐시키는 것이다. 전계에 의하여 차폐선에 유기된 기전력을 서로 상쇄시키기 위하여 동축케이블의 시일드선을 절단하였다.

자기센서에 의하여 검출된 미분신호는 차동증폭기를 이용한 능동성 적분기를 통하여 원래의 신호로 복원된다. 연산증폭기로는 LH0032를 사용하였으며, 적분기의 앞단에는 60 Hz 필터를 접속하여 측정시스템 주변의 상용주파 전원에 의한 60 Hz의

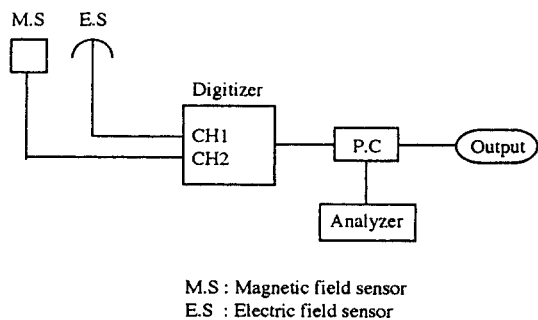


[그림 3] 자기측정장치의 개략도
 [Fig. 3] Schematic diagram of the magnetic field measuring device.

노이즈성분이 제거되도록 하였다. 본 연구에서 구성한 자기측정계의 주파수 대역은 270 Hz~2.3 MHz이고, 응답감도가 128 mV/μT이다.

3-2. 측정방법

뇌방전은 대단히 불규칙적으로 발생되므로 계속 대기상태에 있다가 전계 또는 자기신호가 발생하는 순간에 검출하고 데이터를 기록할 수 있는 자동계측 및 데이터기록장치가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 [그림 4]에 나타낸 바와 같이 12비트의 분해능(resolution)을 가지는 축적형 오실로스코프



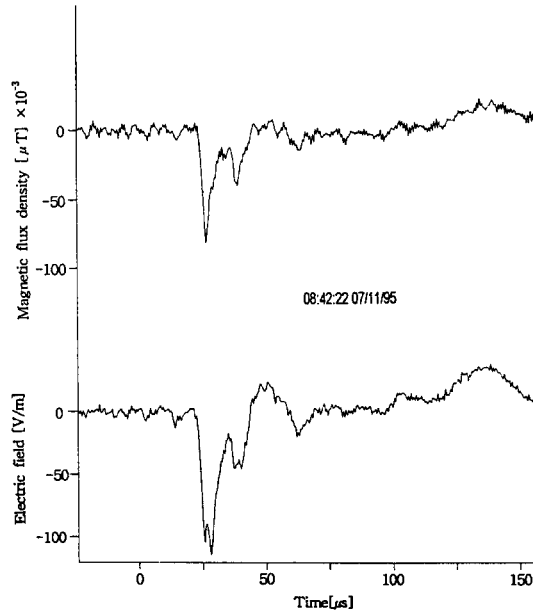
[그림 4] 계측시스템의 구성
 [Fig. 4] Construction of the recording system.

를 이용하여 전계와 자계신호를 동시에 계측하도록 구성하였으며, 샘플링시간은 100 ns에서 500 μ s의 범위로 조절할 수 있다. 계측된 전계와 자계의 신호는 GPIB를 통하여 자동적으로 개인용 컴퓨터로 전송되어 디스켓에 저장되며 신호해석도 가능하고 프린터로 출력된다.

제작된 전계와 자계측정계를 인하대학교 교정과 옥상에 설치하였으며, 전계센서는 대지면으로부터 1 m의 높이에 설치하였고 자계센서는 주변의 철구조물의 영향을 받지 않는 4층 건물의 옥상에 설치하였다. 또한 검출된 전계와 자계신호는 2중차폐된 동축케이블을 통하여 약 30 m 떨어진 기록장치까지 전송된다. 1995년 6월부터 10월말까지 500여 데이터를 측정하였으며, 본 논문에서는 하절기의 뇌방전에 의해서 방사된 전계와 자계의 파형특성에 대하여 기술하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

낙뢰의 특성과 이의 영향에 관한 연구는 뇌운방전에 비하여 인체의 손상, 전력 및 통신설비에의 장애, 산불재해 등 실제적으로 중대한 사고를 유발시키므로 많이 수행되어 왔다. 그러나 EMI/EMC 측면에서 보면 뇌운 내부 또는 뇌운과 뇌운사이에서 발생하는 순간방전의 과정동안에도 고주파 성분의 전자파가 발생하므로 이에 대한 원인의 분석과 대책에 관한 연구도 중요하다. 우리나라의 하절기에는 부극성 낙뢰가 거의 90% 이상이었고, 부극성 낙뢰시에 방사된 전계와 자계파형의 예를 [그림 5]에 나타내었으며, 전계와 자계파형은 상승시간, 피이크 후 영점교차까지의 시간과 반대방향으로의 오우버슈트 등의 여러 가지 파라미터에 의하여 특징지어지는데, 이들 파라미터는 식 (1)과 식 (2)로 표현된 바와 같이 낙뢰지점 또는 운방전 위치로부터 감지용 센서까지의 거리에 따라 변화된다. [그림 5]에서 전계파형과 자계파형이 약간 다른 이유는 식 (1)과 (2)에서와 같이 낙뢰가 발생한 위치와 측정지점 사이의 거리에 기인된 것으로 볼 수 있



[그림 5] 낙뢰에 의해서 방사된 전계와 자계파형
[Fig. 5] Typical waveforms of the electric and magnetic fields radiated by lightning return stroke.

며, 전계파형에는 대단히 미약하지만 정전계 성분이 포함되어 있는 것으로 생각된다.

낙뢰는 뇌운내에서 방전로가 형성되기 시작한 후 뇌운외부로 진전된 방전로는 수~수십 μ s의 간격으로 대지를 향하여 계단상 리더로 진전한다. 진전속도는 10^6 m/sec 정도이며, 대지에 도달하면 귀환뇌격이라 하는 리더가 방전로의 역방향 즉, 대지에서 뇌운을 향하여 거의 광속으로 진전하게 되며, 뇌운에 도달한 리더는 뇌운중의 전하를 대지로 방출시키므로써 제1뇌격은 완료되게 된다[9]. [그림 5]에서 파형의 앞부분은 리더의 진전으로 방사된 전계와 자계의 신호를 나타내며, 간헐적인 펄스상의 형상을 가진다.

파두의 급상승 부분은 귀환뇌격에 의해서 형성되며, 전자파의 전파경로가 육지인지 또는 해상인지에 따라 달라진다[10]. 낙뢰에 의해서 방사되는 전

계와 자계의 파형에서 급상승하는 것은 뇌격전류의 변화에 대응하는 것으로 상승시간은 1~수 μs 정도이며, 초기의 비교적 완만히 상승하는 부분과 급상승하는 부분으로 나뉘어지고, 전기전도도가 유한인 대지 또는 해상을 전파하게 됨으로써 길어지게 되며, 최종리더가 중복되는 경우도 있다. 먼 거리로부터의 전계와 자계의 방사성분만이 검출될 때는 거리에 따른 파두부 형상의 변화는 거의 없다.

파두부의 특징은 초기에 서서히 상승하는 부분과 그후의 급상승 부분으로 분류된다. 서서히 상승하는 부분은 최후 리더의 진전에 의한 것이며, 급상승 부분이 귀환뇌격에 의하여 발생되어진다. 전계파형에서 2번째 피이크가 1번째 피이크보다도 크며, 이것 역시 전파경로의 도전률에 기인된 것으로 전파경로의 도전률이 양호한 위치에서 도전률이 나쁜 경로를 거쳐 센서에 도달되었기 때문인 것으로 볼 수 있다.

파미부분의 특성은 낙뢰지점과 관측점 사이의 거리에 따라 변화되어지며, 대체로 수 km 정도에서는 초기 피이크 후 정전계의 수직성분의 변화에 의하여 비례적으로 증가하는 파형으로 나타난다. 50km 이내의 근거리일 때는 방사성분과 유도성분이 혼재하는 파형으로 되며, 50km 이상의 먼 거리에서는 주로 방사성분만이 나타나고, 전계와 자계의 파형은 거의 동일한 형상을 나타낸다[11].

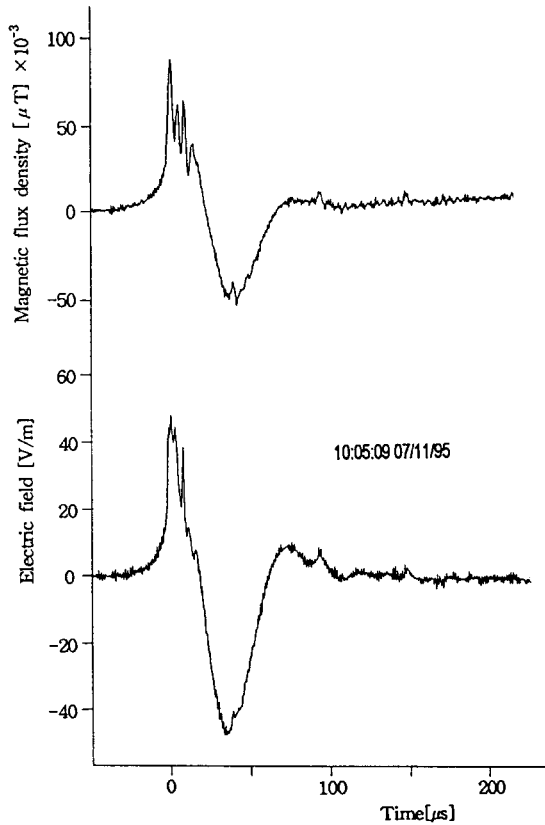
[그림 5]의 전계와 자계파형은 50km 전후의 거리에서 발생한 낙뢰에 의해서 방사된 것으로 추정되며, 전기도전도가 유한인 대지상의 전파에 의하여 고주파 성분은 상당히 소멸되었으므로[5] 파미부분에 고주파 진동성분은 거의 나타나지 않았다. 전계 또는 자계의 파형이 영점을 지나 역극성으로 되기까지의 시간(zero-crossing time)은 낙뢰위치와 관측지점 사이의 거리에 따라 변화하며, 관측지점까지의 거리가 멀수록 짧아진다. 그리고 역극성으로 반전된 피이크치의 절대값은 귀환뇌격의 피이크치보다는 적으며 관측지점까지의 거리가 멀수록 크다.

운방전에는 뇌운 내부에서 발생하는 운내 방전과

뇌운과 뇌운 사이의 운간방전 2가지가 있으며, 이들에 의해서 방사되는 전계와 자계파형은 낙뢰에 의한 전계와 자계파형과는 전혀 다르고, 운방전에 의해서 방사되는 전계와 자계파형의 예를 [그림 6], 그리고 다중 운내방전시의 전계와 자계파형의 전형적인 예를 [그림 7]에 나타내었으며, [그림 7]은 이미 발표된 다른 연구자들[12]의 측정결과와 거의 일치하는 뇌운내부방전(intracloud lightning discharge)의 양상을 보이고 있다. 그러나 [그림 6]의 결과는 뇌운 내부에서의 운내방전인지 또는 뇌운과 뇌운사이에서 일어난 운간방전인지의 명확한 식별은 불가능하다. 따라서 전계 또는 자계파형의 특징을 추출하므로써 뇌방전에 의한 신호중에서 낙뢰에 의한 신호의 식별이 가능하다. 특히 파두부의 빠른 상승시간을 가지며 양극성(bipolar)진동파형을 나타내고, 전류가 중첩되는 형태를 가지는 것이 특징이다. 이러한 양극성 전계와 자계신호는 뇌운내에 존재하는 정전하와 부전하가 리더에 의해서 만나 재결합에 의한 소멸과정동안의 동특성이라고 생각된다.

또한 초기 단계에 몇 개의 미세한 펄스들이 중첩되는 양상을 보이고 있으며, [그림 6]의 파형에서는 피이크 후에 그리고 [그림 7]의 결과에서는 피이크에 이르기 전에 미세한 펄스들이 중첩되어 있음이 차이점이다. 이의 차이점에 대한 정확한 원인의 규명은 지금까지의 연구결과로는 불가능하지만 [그림 6]은 정극성, [그림 7]은 부극성 운방전의 경우로 정극성 리더와 부극성 리더의 진전양상이 다르기 때문인 것으로 추정된다.

불평등전계 중에서 갭길이가 긴 경우 정극성일 때는 계단상 또는 연속리더 혹은 스트리머에 의해서 방전이 진전되지만 부극성의 경우는 반드시 방전진전기구에 의하여 계단상의 리더진전에 의하여 방전이 진전된다. 따라서 이 파형에 나타난 결과의 경우 정극성에서는 스트리머상의 다중뇌격이며, 부극성의 경우는 리더에 의하여 진전된 다중뇌격으로 추측된다. 더불어 운방전의 경우는 낙뢰의 경우와는 다르게 뇌방전이 발생되어 종료되기까

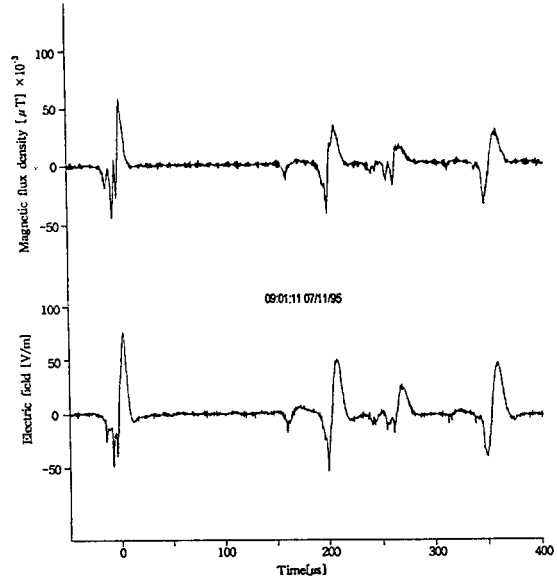


[그림 6] 운방전에 의해서 방사된 전계와 자기파형의 예

[Fig. 6] Typical waveforms of the electric and magnetic fields radiated by a cloud discharge.

지의 시간이 짧으며, 고주파 성분의 미세한 펄스를 포함하고 있으므로 방사성분이 주로 나타나 전계와 자계의 파형이 거의 동일한 특징을 보이고 있다.

뇌방전에 의해서 넓은 대역의 전자파가 방사되며, 대기권내의 자연전자잡음은 대부분 뇌방전에 의해서 발생하는 것으로 알려져 있다. 뇌방전에 의해서 방사되는 전자계의 최대치를 나타내는 주파수는 방전형태에 따라 다르지만 대체로 수 kHz 이다. [그림 8]은 낙뢰시에 발생하는 전계파형을 관측한 예로 보다 명확한 전계특성을 보이고 있다. [그림

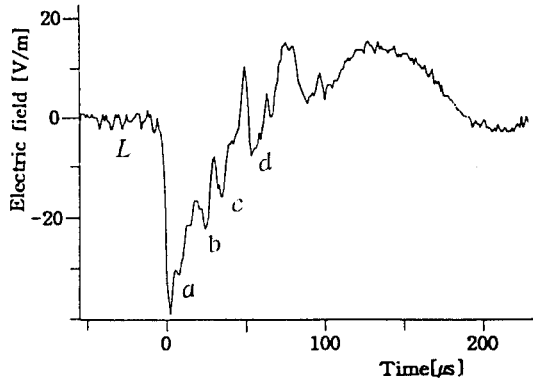


[그림 7] 다중 운내방전에 의하여 방사된 전계와 자기파형의 예

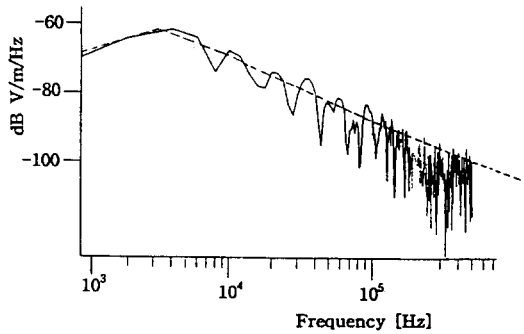
[Fig. 7] Typical waveforms of the electric and magnetic fields radiated by multi-intra-cloud lightning discharges.

8(a)]에서 L 은 뇌운에서 발생한 리더가 대지를 향하여 간헐적으로 진전해 오는 계단상의 리더 펄스를 나타내며, 귀환뇌격후 파미부분에서 시간과 더불어 감소하는 후속의 피이크 a, b, c, d 등은 귀환뇌격 리더가 대지에서 뇌운까지 진전하는 양상의 특징을 나타낸다.

[그림 8(b)]는 시간영역으로 측정된 낙뢰시의 전계파형을 고속푸리에변환(fast Fourier transformation: FFT)기법으로 분석한 주파수 스펙트럼의 결과이다. 대체적으로 1에서 수백 kHz 범위의 주파수성분을 가지고 있으며, 4 kHz 전후에서 최대치를 보이고 있다. [그림 8(a)]에서 귀환뇌격 전후의 전자파 방사강도는 대단히 강하며, 이들의 펄스상 신호들이 주파수 스펙트럼의 피이크를 나타내게 된다. 또한 점선으로 표시한 것은 다른 연구자 [7]에 의해서 발표된 결과를 병기한 것으로 본 실



(a) 전계파형



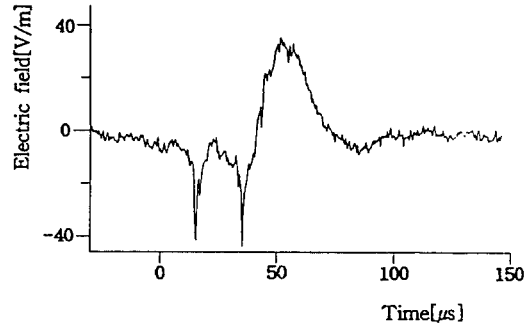
(b) 주파수스펙트럼

[그림 8] 낙뢰에 의해서 발생한 전계파형과 주파수 스펙트럼

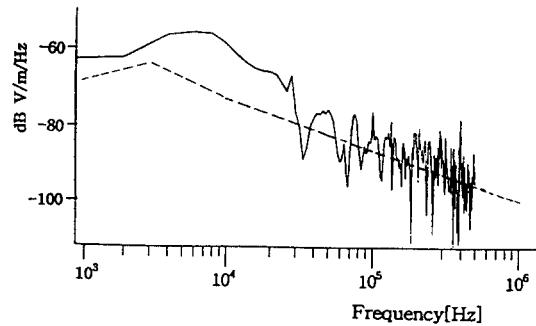
[Fig. 8] Waveform of the electric field radiated by lightning return stroke and its frequency spectrum.

험결과와 거의 일치하고 있다.

또한 [그림 9]에는 운방전에 의해서 발생한 전계파형의 예와 이의 주파수 스펙트럼을 나타내었다. 최대치가 나타나는 주파수가 낙뢰의 경우보다 높게 나타났으며, 대체적인 경향은 비슷하다. 전계파형의 앞 부분에 포함되어 있는 빠른 펄스들은 계단상의 리이더전류에 의한 것이고 후속의 커다란 양극성의 전계는 계단상의 리이더에 의해서 형성된 도



(a) 전계파형



(b) 주파수스펙트럼

[그림 9] 운내방전에 의해 방사된 전계파형과 주파수 스펙트럼

[Fig. 9] Waveform of the electric field radiated by intracloud lightning discharge and its frequency spectrum.

전통로를 흐르는 느린 전류써-지에 의해서 발생된 것이다.

양극성 펄스는 운방전에서 가장 강력한 방전상태이며, 뇌방전의 매우 활성적인 부분과 관련되어 있다. 또한 M.A. Uman과 E.P. Krider[13]가 발표한 결과를 점선으로 나타내었으며, 30 kHz이하에서는 크기의 차이는 있지만 변화의 양상은 비슷하다. 이러한 크기의 차이는 방전의 형태와 강도, 뇌방전위치와 관측지점 사이의 거리에 따라 변화하며, 본 연구의 결과는 [그림 9(a)]파형에 대한 단

일 데이터인데 비하여 다른 연구자는 여러 개의 데이터에 대한 평균치를 나타낸 것으로 다소의 차이는 나타날 수도 있다.

뇌방전에 의해서 발생하는 전자파의 영향의 평가와 대책기술에서 중요한 것은 대체적으로 뇌운방전에 의해서 발생하는 전자파의 주파수 성분과 통계적으로 분석한 크기의 변동범위라고 생각된다. [그림 8]과 [그림 9]에 나타낸 전자파의 주파수 성분은 본 연구에 적용한 측정장치의 주파수 대역과 FFT해석기의 분해능에 따라 제한된 범위의 데이터이고, 보다 낮은 주파수 성분과 RF영역의 주파수도 포함되어 있으며, 수 MHz이상의 고주파 성분의 크기는 대단히 적은 것으로 발표되어 있다.

V. 결 론

뇌방전에 의해 방사되는 전계와 자계파형을 측정할 수 있는 자동측정시스템을 구성하였으며, 전계 측정시스템의 기본 특성으로 주파수대역과 응답감도는 각각 200 Hz~1.56 MHz, 0.96 mV/V/m이고, 자계측정시스템의 주파수대역과 응답감도는 270 Hz~2.3 MHz, 응답감도가 128 mV/ μ T이다. 전계와 자계파형은 뇌방전 위치와 관측점사이의 거리에 따라 변화되며, 먼 거리에서의 낙뢰와 운방전에 의해 발생한 전계와 자계파형은 주로 방사성분으로 거의 유사한 파형으로 나타났다. 또한 운내방전에 의해서 방사되는 전계와 자계파형은 낙뢰에 의해서 방사되는 전계와 자계파형과는 전혀 달랐으며, 이것으로부터 낙뢰인지 또는 뇌운방전인지의 판별이 가능하였다. 뇌방전시의 전계파형에 대한 주파수 스펙트럼을 구해 본 바 1~수백 kHz성분이 주로 나타났고, 다른 연구자의 결과와 거의 일치하였다. 본 연구결과는 뇌방전에 의해서 발생하는 전자파의 영향에 대한 대책과 EMI/EMC연구에 적용될 수 있는 중요한 기초자료로 활용될 것이며, 앞으로 보다 많은 데이터를 통계적으로 분석, 검토에 대한 연구를 추진할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Bok-H 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] 李福熙, 石井 勝, 北條準一, "뇌방전에 의하여 발생하는 전계파형", 대한전기학회 방전 및 고전압방전연구회 춘계학술발표회 논문집, pp. 4-7, 1993. 5.
- [3] F. Heidler, "E(t)-signals of Near Lightning Strokes Using Vedio Tape Recorder", *Proc. of 22nd International Conference on Lightning Protection*, R 1c-03, pp. 1-6, 1994. 10.
- [4] 北條準一外, "落雷に伴う電磁變化波形の特性と評價法", *電學論 B*, vol. 108, no. 4, pp. 165-172, 1988.
- [5] M. Ishii, et al., "Observation of Lightning Field Waveforms in Bandung", *20th ICLP*, no. 6.3, 1990.
- [6] Y. T. Lin, M. A. Uman and R. B. Standler, "Lightning Return Stroke Models", *J. Geophysical Res.*, vol. 85, no. C3, pp. 1571-1583, 1980.
- [7] Martin A. Uman, "Lightning Return Stroke Electric and Magnetic Fields", *J. Geophysical Research*, vol. 90, no. D4, pp. 6121-6130, 1985.
- [8] 이복희, 안창환, 길경석, "뇌방전에 의하여 발생하는 전계의 자동측정시스템", *센서학회지*, vol. 5, no. 2, pp. 47-54, 1996.
- [9] Martin A. Uman, "Lightning", Dover Publications INC. New York, 1984, pp. 1-65.

[10] 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.

[11] 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. 12.

[12] 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. 6.

[13] 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. 5.

이 복 희

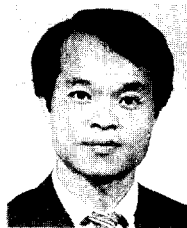


1954년 : 6월 29일생
 1980년 2월 : 인하대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
 1987년 2월 : 동 대학원 전기공학과 (공학박사)
 1988년 4월~1989년 9월 : 일본 동경

대 생산기술연구소 객원연구원

1990년 3월~현재 : 인하대학교 공과대학 전기공학과 부교수
 [주 관심분야] EMI /EMC, 전자계 측정 및 해석, 뇌방전현상, 뇌서지보호, 고전압 및 기체절연재료 분야

이 경 옥



1960년 6월 24일생
 1987년 2월 : 인하대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
 1989년 2월 : 인하대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1988년 12월~1991년 2월 : 동양

나이론 해외사업부 ROYAL PROJECT팀 사원

1991년 3월~현재 : 인하사대 부속 고등학교 교사
 1996년 3월~현재 : 인하대학교 대학원 전기공학과 박사과정

[주 관심분야] EMI /EMC, 전자계 센서, 기체절연재료 분야